(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 202292175 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.12.30

(22) Дата подачи заявки
2021.02.02

(51) Int. Cl. ***B23K 26/067*** (2006.01)
B23K 26/04 (2014.01)
B23K 26/06 (2014.01)
B23K 26/08 (2014.01)

(54) ПЛАТФОРМА, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

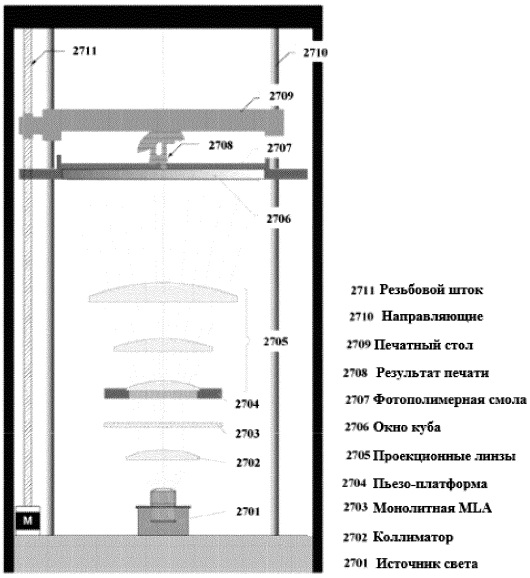
(31) **62/969,434; 63/010,405**
(32) **2020.02.03; 2020.04.15**
(33) **US**
(86) **PCT/US2021/016187**
(87) **WO 2021/158529 2021.08.12**

(71) Заявитель:
СТАММ ВЕГХ КОРПОРЭЙШН (US)

(72) Изобретатель:
Лламазарес Хуан Франциско, Кампанелли Игнасьо Гектор, Корти Гастон Оскар, Хосс Эмильяно (US)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Изобретением предложены платформы для 3D-печати, содержащие устройства для стереолитографической 3D-печати, в которых используется статический оптический блок и приложения для процедурного моделирования, отображающие 3D-сцены в виде знаковой функции расстояния. Настоящим изобретением также предложены структуры, такие как биореакторы, которые могут быть напечатаны с использованием указанных платформ, а также их характеристики и использование.



202292175 A1

202292175 A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-576049EA/032

ПЛАТФОРМА, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Ссылка на родственные заявки

[001] Данная заявка испрашивает приоритет по предварительной заявке на патент США № 62/969,434, поданной 3 февраля 2020 года, и по предварительной заявке на патент США № 63/010,405, поданной 15 апреля 2020 года, содержание каждой из которых полностью включено в настоящий документ посредством ссылки.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

[002] Кристаллические решетки могут представлять собой объекты (например, симметричные объекты), содержащие одномерные или многомерные узоры, которые при их повторении с заданной периодичностью (например, через равные интервалы) могут создавать различные структуры, например, кристаллографические структуры. Такие структуры широко исследуются в самых разных областях науки и техники.

[003] В области трехмерной (3D) печати принцип стереолитографии (SLA) основан на проецировании светового пучка на светочувствительную смолу, которая содержится в печатном кубе. Проецируемый световой пучок может инициировать реакцию полимеризации, в результате которой может быть получена сшитая полимерная структура, способная прилипнуть к печатной платформе.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

[004] Моделирование или построение объектов с использованием кристаллографических структур может занимать много времени. Более того, в зависимости от количества кристаллов, задействованных в сцене, визуализация таких сцен с помощью таких методов, как использование сеточных средств отображения и/или манипулирование, осуществляемое человеком, может быть сильно затруднена. Во многих случаях для этих методов могут потребоваться инструменты моделирования, которые смогут предоставить пользователю надлежащие функциональные возможности. В некоторых случаях тестирование таких сложных сцен с помощью традиционных инструментов геометрического моделирования может оказаться затратным в вычислительном отношении и отнимающим много времени, а в некоторых случаях даже невозможным.

[005] Альтернативным способом традиционному геометрическому моделированию может выступать процедурная геометрия, которая может предусматривать описание одной или нескольких сцен с использованием одного или нескольких алгоритмов в качестве альтернативы геометрическим примитивам или в сочетании с рядом геометрических примитивов. В некоторых областях компьютерной графики процедурное моделирование может предусматривать использование приложений в качестве альтернативы подходам на базе геометрических объектов или в качестве дополнительного способа. В некоторых примерах для генерирования геометрических объектов определенных типов могут быть использованы некоторые инструменты моделирования,

такие как AutoCAD и SolidWorks, или авторы изобретения могут использовать процедурное моделирование. Однако из практических соображений существующие инструменты не могут рассматриваться в качестве целевых средств, обеспечивающих эффективную визуализацию или управление геометрическими объектами в качестве функции; и в большинстве случаев вместо этого они могут преобразовывать неявное представление геометрических объектов в перечень вершин. Во многих случаях такой подход может, по меньшей мере, частично нивелировать или сводить на нет потенциальные преимущества метода процедурного моделирования. Преимущества метода процедурного моделирования могут включать в себя способность эффективной визуализации сцен, в том числе крупноразмерных и детализированных объектов, и/или сохранения таких визуализированных объектов, при котором на диске занимается меньше пространства, причем в некоторых случаях объем занятой дисковой памяти составляет всего несколько байт.

[006] Согласно одному из аспектов, раскрытому в настоящем документе, предложены пакеты программ для процедурного моделирования, которые обеспечивают множество преимуществ, таких как способность визуализации и управления кристаллографическими структурами, состоящими из бесконечного числа кристаллических решеток, с неограниченным уровнем детализации. В плане используемого объема памяти также предложен инновационный способ компактного сохранения сложных сцен в файлах, состоящих всего из нескольких килобайт, вместо напрасного расходования терабайт памяти для хранения геометрических параметров всего одной сцены. В некоторых случаях пакет программ для процедурного моделирования, описанный в настоящем документе, передает команды на одно или несколько устройств 3D-печати таким образом, что моделируемые структуры могут быть реализованы физически, что эффективно используется во многих областях науки и техники.

[007] Согласно другому аспекту, раскрытому в настоящем документе, предложены технологии 3D-печати, которые содержат усовершенствования SLA, в частности, SLA на основе цифровой обработки света (DLP). При использовании SLA на основе DLP спроецированный узор доставляется цифровой маской. После проецирования первого слоя в течение заданного периода времени и прилипания полимеризованного слоя к печатной платформе эта печатная платформа смещается вверх по оси Z, после чего проецируется второй слой. Затем этот слой сцепляется с предыдущим слоем. Посредством последующего проецирования слоев создается трехмерная конфигурация.

[008] В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения SLA на основе DLP, описанная в настоящем документе, обеспечивает возможность попиксельной модуляции и управления световым пучком, и она подходит для создания структур микрометрового размера. Важные структуры микрометрового размера включают в себя, помимо прочего, структуры, содержащие кристаллографические геометрические элементы, пространственно распределенные на периодической основе для создания кристаллической решетки. В некоторых случаях такие структуры представляют собой

пористые структуры, а в некоторых дополнительных примерах такие структуры представляют собой микрожидкостные структуры. В некоторых конкретных случаях технологии 3D-печати, описанные в настоящем документе, подходят для печати в промышленном масштабе полноразмерных микробиореакторов непрерывного действия, например, раскрытых в заявке на патент США № 62/743,974 и в международной заявке № PCT/US19/55231, содержание которых полностью включено в настоящий документ посредством ссылки.

[009] Исходные ограничения, возникающие в ходе совершения этих попыток, включают в себя тот факт, что доступная на рынке технология SLA (например, жидкокристаллическая (LCD), лазерная и на основе DPL) не может обеспечить разрешение, необходимое для многих микроструктур, причем LCD- и лазерные технологии не могут обеспечить требуемое разрешение из-за размеров пикселя или пятна лазерного пучка, соответственно. Более того, коммерчески доступная технология SLA на основе DLP может обеспечить требуемое разрешение, но только для печати деталей с низким «объемом пор».

[010] Одной из самых непростых задач является, в частности, сохранение высокого разрешения при 3D-печати крупногабаритных деталей. Один из способов печати крупногабаритных деталей с сохранением высокого разрешения известен под названием растровая проекционная стереолитография. Она основана на использовании портала, который обеспечивает возможность прокрутки проектора под печатным кубом. Основные ограничения, присущие растровой проекционной стереолитографии, включают в себя тот факт, что механический шум может перейти на процесс печати, в результате чего возникают ошибки печати в диапазоне ее разрешения, а также происходит замедление процесса печати из-за смещения проектора в области печати на большое расстояние.

[011] Одна из технологий непрерывной 3D-печати известна под аббревиатурой CLIP (непрерывное создание жидкой межфазной границы), но при использовании технологии CLIP объем печати будет невелик, и при этом не могут печататься крупные структуры. Для преодоления этих ограничений, присущих существующим методам, авторы настоящего изобретения предлагают технологию 3D-печати на основе статической оптической системы для печати крупных структур с высоким разрешением.

[012] Соответственно, согласно одному из аспектов заявленного изобретения, описанному в настоящем документе, предложены стереолитографические устройства для 3D-печати, содержащие: статический оптический блок, включающий в себя: источник света, выполненный с возможностью проецирования светового пучка, содержащего множество пикселей, по оси Z; по меньшей мере, одну коллимирующую линзу, выполненную с возможностью коллимирования светового пучка; микролинзовую матрицу (MLA), выполненную с возможностью сведения коллимированного светового пучка в конечный пучок меньшего диаметра, причем каждый пиксель светового пучка разделен на множество подпикселей для увеличения разрешения конечного пучка; микродиафрагменную матрицу (MDA), выполненную с возможностью уменьшения шума

и перекрестных помех между линзами MLA; по меньшей мере, одну проекционную линзу; и подвижную платформу, выполненную с возможностью перемещения одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y; причем расстояние по оси Z между источником света, коллимирующей линзой, MLA, по меньшей мере, одной проекционной линзой и подвижной платформой статического оптического блока является фиксированным; печатный куб, содержащий печатную платформу, перемещающуюся по оси Z; и схему управления, выполненную с возможностью управления, по меньшей мере, одним источником света, подвижной платформой и печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения источник света представляет собой проектор ультрафиолетового (УФ) излучения или проектор дальнего УФ-излучения. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения источник света характеризуется длиной рабочей волны в пределах 370-415 нм. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения источник света характеризуется длиной рабочей волны около 405 нм. В других конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения источник света характеризуется длиной рабочей волны около 380 нм. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения источник света представляет собой первый источник света, выполненный с возможностью проецирования первой рабочей волны, и устройство дл 3D-печати дополнительно содержит второй источник света, выполненный с возможностью проецирования второй рабочей волны. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения второй источник света работает параллельно с первым источником света, а длина волны второго источника света выбирается таким образом, чтобы препятствовать полимеризации фотополимерной смолы в печатном кубе. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения источник света содержит цифровое микрозеркальное устройство (DMD). В различных дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения DMD имеет разрешение около 2560 пикселей на около 1600 пикселей. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения источник света представляет собой устройство LCoS (жидкие кристаллы на кремниевом основании). В различных дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения разрешение устройства LCoS составляет около 4096 пикселей на около 2400 пикселей. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения источник света характеризуется площадью генерации света около 90 мм на около 50 мм. В других конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения источник света характеризуется площадью генерации света около 140 мм на около 90 мм. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения устройство для 3D-печати содержит систему коллимирующих линз. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения система коллимирующих линз содержит 2-6 коллимирующих линз. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения подвижная платформа содержит пьезоэлектрический механизм, выполненный с возможностью перемещения

одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения пьезоэлектрический механизм перемещает одну или несколько линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y с нанометровым разрешением. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения платформа характеризуется диапазоном перемещения, по меньшей мере, 50 мкм по оси X и, по меньшей мере, 50 мкм по оси Y. А в некоторых других дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения платформа характеризуется диапазоном перемещения, по меньшей мере, около 100 мкм по оси X и около 100 мкм по оси Y. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения платформа характеризуется разрешением перемещения, не превышающим длину подпикселей. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения MLA представляет собой двояковыпуклую матрицу, двояковогнутую матрицу, одновыпуклую матрицу, одновогнутую матрицу или сочетание перечисленных матриц. В конкретных дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения MLA представляет собой монолитную двояковыпуклую матрицу. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения MLA содержит планарную подложку и множество микролинз на каждой из двух самых больших лицевых сторон плоскости подложки. В различных дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения планарная подложка представляет собой боросиликатное или травленое стекло, а множество микролинз выполнено из полимера или стекла. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения MDA располагается между планарной подложкой и одной из множества микролинз MLA. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения устройство для 3D-печати содержит множество MDA, например, два, три или четыре MDA. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения MDA характеризуется размером диафрагменного отверстия в пределах 10-15 мкм. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения MLA делит каждый пиксель светового пучка на 4-7498 подпикселей. В различных дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения MLA делит каждый пиксель светового пучка на 4-100 подпикселей. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения MLA делит каждый пиксель светового пучка на девять подпикселей. В других конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения MLA делит каждый пиксель светового пучка на 25 подпикселей. В других конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения MLA делит каждый пиксель светового пучка на 49 подпикселей. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, одна проекционная линза расширяет окончательную площадь печати. В альтернативных вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, одна проекционная линза уменьшает окончательную площадь печати. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения окончательная площадь печати, по меньшей мере, в два раза превышает площадь генерации светового пучка в источнике света. В дополнительных

вариантах осуществления настоящего изобретения окончательная площадь печати, по меньшей мере, в четыре раза превышает площадь генерации светового пучка в источнике света. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения схема управления выполнена с возможностью управления, по меньшей мере, источником света, подвижной платформой и печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати по полунепрерывной, по существу непрерывной или непрерывной схеме. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения схема управления выполнена с возможностью управления печатной платформой таким образом, чтобы эта платформа перемещалась по оси Z с заданной постоянной скоростью. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения схема управления выполнена с возможностью управления подвижной платформой для перемещения одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y с целью развертки светового пучка по заранее заданной схеме. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения заранее заданная схема представляет собой спиральный узор. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения заранее заданная схема содержит непрерывную пространство-заполняющую кривую. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения заранее заданная схема содержит кривую Серпинского. В конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, не носящих ограничительного характера, схема управления выполнена с возможностью управления, по меньшей мере, источником света, подвижной платформой и печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати пористой структуры, содержащей гироиды, пространственно распределяемые на периодической основе. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения устройство для 3D-печати дополнительно содержит роботизированный портал, выполненный с возможностью прокрутки статического оптического блока в плоскости X-Y относительно печатного куба. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения схема управления выполнена с дополнительной возможностью управления роботизированным порталом. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения схема управления выполнена с возможностью управления печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати снизу вверх. В альтернативных вариантах осуществления настоящего изобретения схема управления выполнена с возможностью управления печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати сверху вниз. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения печатный куб содержит стерильную смолу, отверждаемую под действием света в ходе многофазного процесса. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения устройство для 3D-печати рассчитано на стерильную 3D-печать, а печатный куб содержит стерильную смолу, отверждаемую под действием света.

[013] Согласно еще одному из аспектов, раскрытому в настоящем документе, предложены компьютеризированные системы, включающие в себя: по меньшей мере, один процессор, память и команды, исполняемые, по меньшей мере, одним процессором

для создания приложения для процедурного моделирования, содержащего: графический интерфейс пользователя (GUI) с окном просмотра; модуль презентации, выполненный с возможностью отображения сцены в виде знаковой функции расстояния и рендеринга сцены с использованием метода марша лучей, причем модуль презентации содержит: библиотеку сцен, содержащую один или несколько процедурных объектов (PO); редактор сцен, обеспечивающий пользователю возможность добавления одного или нескольких PO в сцену и создания для сцены дерева CSG (конструктивной твердотельной геометрии); редактор процедурных объектов (PO), позволяющий пользователю редактировать свойства каждого PO, добавленного в сцену; редактор имитационного моделирования, позволяющий пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены; редактор печати, позволяющий пользователю сконфигурировать сцену для печати; модуль имитационного моделирования, выполненный с возможностью проведения одного или нескольких имитационных моделирований сцены; и модуль печати, выполненный с возможностью генерирования очереди секционированных файлов и передачи секционированных файлов на 3D-принтер. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения модуль презентации позволяет пользователю перетащить PO из библиотеки сцен и поместить его в окно просмотра для добавления этого PO в сцену. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения модуль презентации позволяет пользователю сохранить отредактированный PO в библиотеке сцен. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько PO представляют собой кристаллографическую ячейку. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения модуль презентации позволяет пользователю дублировать кристаллографическую ячейку для формирования кристаллической решетки сцены. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения свойства PO включают в себя связи для соединения с одним или несколькими соседними PO и каналы, соединяющие эти связи. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, не носящих ограничительного характера, кристаллографическая ячейка представляет собой гироид. В дополнительных конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, не носящих ограничительного характера, кристаллическая решетка содержит гироиды, пространственно распределенные на периодической основе. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния не содержит перечня геометрических примитивов. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения имитационное моделирование включает в себя один или несколько следующих видов моделирования: микрофлюидное моделирование, моделирование с применением методов CFD (вычислительной гидродинамики), использование метода решеточных уравнений Больцмана (LBM) в сочетании со знаковой функцией расстояния для решения задачи CFD-моделирования или сочетание перечисленных видов моделирования. В некоторых

вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько видов имитационного моделирования предусматривает визуализацию одной или нескольких характеристик имитационной модели. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения редактор печати позволяет пользователю сконфигурировать один или несколько следующих параметров: профиль поверхности, последовательность выполнения операций принтером, толщину слоя, время воздействия светового пучка и пиксельную разрешающую способность. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения производительность приложения для процедурного моделирования не снижается при увеличении размеров сцены или количества деталей в сцене. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, один процессор включает в себя множество графических процессоров (GPU). В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, один процессор содержит платформу облачных вычислений.

[014] Согласно еще одному из аспектов, раскрытому в настоящем документе, предложены энергонезависимые машиночитаемые носители данных с зашифрованными командами, исполняемыми, по меньшей мере, одним процессором для создания приложения для процедурного моделирования, содержащего: графический интерфейс пользователя (GUI) с окном просмотра; модуль презентации, выполненный с возможностью отображения сцены в виде знаковой функции расстояния и рендеринга сцены с использованием метода марша лучей, причем модуль презентации содержит: библиотеку сцен, содержащую один или несколько процедурных объектов (PO); редактор сцен, обеспечивающий пользователю возможность добавления одного или нескольких PO в сцену и создания дерева CSG (конструктивной твердотельной геометрии) сцены; редактор процедурных объектов (PO), позволяющий пользователю редактировать свойства каждого PO, добавленного в сцену; редактор имитационного моделирования, позволяющий пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены; редактор печати, позволяющий пользователю сконфигурировать сцену для печати; модуль имитационного моделирования, выполненный с возможностью проведения одного или нескольких имитационных моделирований сцены; и модуль печати, выполненный с возможностью генерирования очереди секционированных файлов и передачи секционированных файлов на 3D-принтер. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения модуль презентации позволяет пользователю перетащить PO из библиотеки сцен и поместить его в окно просмотра для добавления этого PO в сцену. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения модуль презентации позволяет пользователю сохранить отредактированный PO в библиотеке сцен. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько PO представляют собой кристаллографическую ячейку. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения модуль презентации позволяет пользователю дублировать кристаллографическую ячейку для формирования кристаллической решетки сцены. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения свойства PO

включают в себя связи для соединения с одним или несколькими соседними РО и каналы, соединяющие эти связи. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, не носящих ограничительного характера, кристаллографическая ячейка представляет собой гироид. В дополнительных конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, не носящих ограничительного характера, кристаллическая решетка содержит гироиды, пространственно распределенные на периодической основе. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния не содержит перечня геометрических примитивов. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения имитационное моделирование включает в себя один или несколько следующих видов моделирования: микрофлюидное моделирование, моделирование с применением методов CFD (вычислительной гидродинамики), использование метода решеточных уравнений Больцмана (LBM) в сочетании со знаковой функцией расстояния для решения задачи CFD-моделирования или сочетание перечисленных видов моделирования. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько видов имитационного моделирования предусматривают визуализацию одной или нескольких характеристик имитационного моделирования. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения редактор печати позволяет пользователю сконфигурировать один или несколько следующих параметров: профиль поверхности, последовательность выполнения операций принтером, толщину слоя, время воздействия светового пучка и пиксельную разрешающую способность. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения производительность приложения для процедурного моделирования не снижается при увеличении размеров сцены или количества деталей в сцене. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, один процессор включает в себя множество графических процессоров (GPU). В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, один процессор содержит платформу облачных вычислений.

[015] Согласно еще одному из аспектов, раскрытому в настоящем документе, предложены компьютеризированные способы процедурного моделирования, предусматривающие следующие стадии: обеспечение наличия приложения для процедурного моделирования, содержащего: библиотеку сцен, содержащую один или несколько процедурных объектов (РО); редактор сцен, обеспечивающий пользователю возможность добавления одного или нескольких РО в сцену и создания дерева CSG (конструктивной твердотельной геометрии) сцены; редактор процедурных объектов (РО), позволяющий пользователю редактировать свойства каждого РО, добавленного в сцену; редактор имитационного моделирования, позволяющий пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены; редактор печати, позволяющий пользователю сконфигурировать сцену для печати; отображение сцены в виде знаковой

функции расстояния; рендеринг сцены с использованием метода марша лучей; проведение одного или нескольких имитационных моделирований сцены; генерирование очереди секционированных файлов; и передачу секционированных файлов на 3D-принтер. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения модуль презентации позволяет пользователю перетащить РО из библиотеки сцен и поместить его в окно просмотра для добавления этого РО в сцену. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения модуль презентации позволяет пользователю сохранить отредактированный РО в библиотеке сцен. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько РО представляют собой кристаллографическую ячейку. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения модуль презентации позволяет пользователю дублировать кристаллографическую ячейку для формирования кристаллической решетки сцены. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения свойства РО включают в себя связи для соединения с одним или несколькими соседними РО и каналы, соединяющие эти связи. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, не носящих ограничительного характера, кристаллографическая ячейка представляет собой гироид. В дополнительных конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, не носящих ограничительного характера, кристаллическая решетка содержит гироиды, пространственно распределенные на периодической основе. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния не содержит перечня геометрических примитивов. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения имитационное моделирование включает в себя один или несколько следующих видов моделирования: микрофлюидное моделирование, моделирование с применением методов CFD (вычислительной гидродинамики), использование метода решеточных уравнений Больцмана (LBM) в сочетании со знаковой функцией расстояния для решения задачи CFD-моделирования или сочетание перечисленных видов моделирования. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько видов имитационного моделирования предусматривает визуализацию одной или нескольких характеристик имитационного моделирования. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения редактор печати позволяет пользователю сконфигурировать один или несколько следующих параметров: профиль поверхности, последовательность выполнения операций принтером, толщину слоя, время воздействия светового пучка и пиксельную разрешающую способность.

[016] Согласно еще одному из аспектов, раскрытому в настоящем документе, предложены способы изготовления 3D-объекта, содержащего множество повторяющихся структурных единиц, которые предусматривают следующие стадии: обеспечение наличия приложения для процедурного моделирования, позволяющего пользователю выполнять,

по меньшей мере, следующие операции: добавление одной или нескольких кристаллографических ячеек в 3D-сцену; дублирование одной или нескольких кристаллографических ячеек для формирования кристаллической решетки сцены; конфигурирование связей для соединения дублируемых кристаллографических ячеек и каналов, соединяющих эти связи; создание дерева CSG (конструктивной твердотельной геометрии) для сцены; отображение сцены в виде знаковой функции расстояния; рендеринг сцены с использованием метода марша лучей; генерирование очереди секционированных файлов; и передачу секционированных файлов на 3D-принтер, такой как устройство для стереолитографической 3D-печати. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения кристаллографические ячейки пространственно распределяются на периодической основе для создания кристаллической решетки. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения приложение для процедурного моделирования дополнительно позволяет пользователю выполнить, по меньшей мере, одну или несколько следующих операций: выбор одной или нескольких кристаллографических ячеек из библиотеки сцен; редактирование свойств каждой кристаллографической ячейки, добавляемой к сцене; конфигурирование одной или нескольких имитационных моделей сцены; и конфигурирование сцены для 3D-печати. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения предложенный способ дополнительно предусматривает проведение одного или нескольких имитационных моделирований в сцене. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько видов имитационного моделирования включают в себя микрофлюидное моделирование. В других вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько видов имитационного моделирования включают в себя моделирование с применением методов CFD (вычислительной гидродинамики). А в некоторых других вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько видов имитационного моделирования включают в себя использование метода решеточных уравнений Больцмана (LBM) в сочетании со знаковой функцией расстояния для решения задачи CFD-моделирования. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько видов имитационного моделирования предусматривают визуализацию одной или нескольких характеристик имитационного моделирования. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния не содержит перечня геометрических примитивов. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения кристаллографические ячейки дублируются в кристаллической решетке с высокой плотностью. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения, не носящих ограничительного характера, 3D-объектом служит биореактор.

[017] Согласно еще одному из аспектов, раскрытому в настоящем документе, предложены способы изготовления биореактора, причем один из таких способов

предусматривает следующие стадии: обеспечение наличия приложения для процедурного моделирования, позволяющего пользователю выполнить, по меньшей мере, следующие операции: добавление множества микромодулей в 3D-сцену; сведение множества микромодулей в макроструктуру для создания биореактора; создание дерева CSG (конструктивной твердотельной геометрии) для сцены; отображение 3D-сцены в виде знаковой функции расстояния; рендеринг сцены с использованием метода марша лучей; генерирование очереди секционированных файлов; и передачу секционированных файлов в устройство для стереолитографической 3D-печати. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько микромодулей представляют собой двойной гироид (DG) или модифицированный DG. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения микромодули распределены по множеству слоев в пределах макроструктуры. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения множество слоев сведено в первую матрицу и вторую матрицу, причем вторая матрица занимает свободное пространство в первой матрице; при этом первая матрица и вторая матрица занимают одинаковый объем, не содержат точек контакта и удерживаются на постоянном минимальном расстоянии друг от друга. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения 3D-сцена и секционированные файлы сконфигурированы для печати на площади около 320 мм на 320 мм. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один кубический миллиметр объема 3D-сцены содержит до около 14 микромодулей. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения объем печати биореактора доходит до около 102 400 000 кубических миллиметров. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения объем печати биореактора содержит до около 1 496 704 035 микромодулей. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько микромодулей включают в себя канал, причем диаметр этого канала составляет от около 8 мкм до около 2000 мкм. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения каждый микромодуль характеризуется длиной кромки около 40-9797 мкм. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения каждый микромодуль имеет объем от около 68417 до около 9,4×1011 кубических микрометров.

[018] Согласно еще одному из аспектов, раскрытому в настоящем документе, предложены биореакторы, содержащие: множество объемных областей, причем каждая объемная область содержит кристаллографическую ячейку, симметрично воспроизводимую в трехмерной кристаллической решетке, причем каждая трехмерная кристаллическая решетка функционализирована и сообщается по текучей среде, обеспечивая, по меньшей мере, один микроканал или камеру; инокуляционный микроканал, выполненный с возможностью приема множества клеток биореактором; собирающий микроканал, выполненный с возможностью получения множества клеток или их производных из биореактора; первую канальную систему, включающую в себя, по меньшей мере, один микроканал, образованный, по меньшей мере, одним микроканалом или камерой одной или нескольких объемных областей из множества объемных областей;

и вторую канальную систему, включающую в себя, по меньшей мере, один микроканал, образованный, по меньшей мере, одним микроканалом или камерой одной или нескольких объемных областей из множества объемных областей; при этом первая канальная система и вторая канальная система обеспечивают отдельные входы в биореактор. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор представляет собой беспузырьковый биореактор. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор создает непрерывный ламинарный поток сред. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор создает непрерывный ламинарный поток газа. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор характеризуется сферической топологией. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей располагается концентрическими слоями на варьирующемся расстоянии от центра сферической топологии. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор содержит 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 или 10 объемных областей. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор содержит восемь объемных областей. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения кристаллографическая ячейка характеризуется структурой в виде двойного гироида или структурой в виде модифицированного двойного гироида. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения инокуляционный микроканал доставляет множество клеток в центральную объемную область биореактора. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения первая канальная система представляет собой систему жидких сред, соединяющую по текучей среде инокуляционный микроканал и собирающий микроканал. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения система сред дополнительно содержит, по меньшей мере, один микроканал для забора сред. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор дополнительно содержит устройство для ввода жидкой среды, выполненное с возможностью подачи жидкой среды в каждый микроканал для забора сред. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения система сред выполнена с возможностью обеспечения равномерного распределения сред. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя одну или несколько объемных областей, функционализированных для культивирования клеток. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя четыре объемные области, функционализированные для культивирования клеток. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения вторая канальная система представляет собой газовую систему. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения газовая система дополнительно содержит, по меньшей мере, один газозаборный микроканал. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения газовая система соединяет по текучей среде, по меньшей мере, один газозаборный микроканал и внешнее пространство биореактора. В дополнительных вариантах

осуществления настоящего изобретения биореактор дополнительно содержит газовпускное устройство, выполненное с возможностью подачи газового состава в каждый микроканал для забора газа. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения газовая система выполнена с возможностью обеспечения равномерного распределения газа. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя одну или несколько объемных областей, функционализированных для распределения газа и содержащих газораспределительную камеру. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя пять объемных областей, функционализированных для распределения газа и содержащих газораспределительную камеру. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения система сред и газовая система представляют собой неперекрывающиеся системы, разделенные одной или несколькими пористыми мембранами. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя собирающий слой, сообщающийся по текучей среде с собирающим микроканалом и содержащий собирающую камеру. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор дополнительно содержит внешний слой. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя один или несколько переходных слоев между объемными областями с разной функционализацией, а кристаллографическая ячейка содержит переходной кристалл.

[019] Согласно еще одному из аспектов, раскрытому в настоящем документе, предложены способы выращивания множества клеток или их производных, причем эти способы предусматривают следующие стадии: подготовку биореактора, содержащего: множество объемных областей, причем каждая объемная область содержит кристаллографическую ячейку, симметрично воспроизводимую в трехмерной кристаллической решетке, причем каждая трехмерная кристаллическая решетка функционализирована и сообщается по текучей среде, обеспечивая, по меньшей мере, один микроканал или камеру; инокуляционный микроканал, выполненный с возможностью приема первого множества клеток биореактором; собирающий микроканал, выполненный с возможностью получения второго множества клеток или биопродукта из биореактора; первую канальную систему, включающую в себя, по меньшей мере, один микроканал, образованный, по меньшей мере, одним микроканалом или камерой одной или нескольких объемных областей из множества объемных областей; и вторую канальную систему, включающую в себя, по меньшей мере, один микроканал, образованный, по меньшей мере, одним микроканалом или камерой одной или нескольких объемных областей из множества объемных областей; при этом первая канальная система и вторая канальная система обеспечивают отдельные входы в биореактор; и направление первого множества клеток в инокуляционный микроканал, после чего это множество клеток отводится из инокуляционного микроканала, по меньшей мере, через один

микроканал или камеру множества объемных областей, при этом первое множество клеток проходит период роста клеток для производства второго множества клеток. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения предложенный способ дополнительно предусматривает сбор второго множества клеток или их субпопуляции из собирающего микроканала. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения второе множество клеток или их субпопуляция создает биопродукт. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения предложенный способ дополнительно предусматривает сбор биопродукта из собирающего канала. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биопродукт представляет собой белок, антитело, малую молекулу и/или метаболит. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения первое множество клеток включает в себя прокариотические клетки. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения первое множество клеток включает в себя эукариотические клетки. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения множество клеток выбирается из группы, включающей в себя: бактериальные клетки, грибковые клетки, дрожжевые клетки, клетки водорослей, растительные клетки, клетки птичьего происхождения, клетки млекопитающих и их сочетания. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор представляет собой беспузырьковый биореактор. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор создает непрерывный ламинарный поток сред. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор создает непрерывный ламинарный поток газа. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор характеризуется сферической топологией. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей располагается концентрическими слоями на варьирующемся расстоянии от центра сферической топологии. В различных вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор содержит 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 или 10 объемных областей. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор содержит восемь объемных областей. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения кристаллографическая ячейка характеризуется структурой в виде двойного гироида или структурой в виде модифицированного двойного гироида. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения инокуляционный микроканал доставляет множество клеток в центральную объемную область биореактора. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения первая канальная система представляет собой систему жидких сред, соединяющую по текучей среде инокуляционный микроканал и собирающий микроканал. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения система сред дополнительно содержит, по меньшей мере, один микроканал для забора сред. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор дополнительно содержит устройство ввода жидкой среды, выполненное с возможностью подачи жидкой среды в каждый микроканал для забора сред. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения система сред

выполнена с возможностью обеспечения равномерного распределения сред. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя одну или несколько объемных областей, функционализированных для культивирования клеток. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя четыре объемные области, функционализированные для культивирования клеток. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения вторая канальная система представляет собой газовую систему. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения газовая система дополнительно содержит, по меньшей мере, один микроканал для забора газа. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения газовая система соединяет по текучей среде, по меньшей мере, один микроканал для забора газа и внешнее пространство биореактора. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор дополнительно содержит газовпускное устройство, выполненное с возможностью подачи газового состава в каждый микроканал для забора газа. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения газовая система выполнена с возможностью обеспечения равномерного распределения газа. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя одну или несколько объемных областей, функционализированных для распределения газа и содержащих газораспределительную камеру. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя пять объемных областей, функционализированных для распределения газа и содержащих газораспределительную камеру. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения система сред и газовая система представляют собой неперекрывающиеся системы, разделенные одной или несколькими пористыми мембранами. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя собирающий слой, сообщающийся по текучей среде с собирающим микроканалом и содержащий собирающую камеру. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения биореактор дополнительно содержит внешний слой. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения множество объемных областей включает в себя один или несколько переходных слоев между объемными областями с разной функционализацией, а кристаллографическая ячейка содержит переходной кристалл.

[020] Согласно еще одному из аспектов, раскрытому в настоящем документе, предложены компьютеризированные системы, содержащие: по меньшей мере, один процессор, память и команды, исполняемые, по меньшей мере, одним процессором для создания приложения для процедурного моделирования, содержащего: интерфейс, позволяющий пользователю выполнять, по меньшей мере, следующие операции: определение, по меньшей мере, одной объемной области в сцене, идентификацию кристаллографической ячейки, по меньшей мере, для одной объемной области, идентификацию симметрии для кристаллографической ячейки и редактирование свойств

кристаллографической ячейки; модуль презентации, выполненный с возможностью: дублирования идентифицированной кристаллографической ячейки на основании идентифицированной симметрии для создания трехмерной кристаллической решетки, причем трехмерная кристаллическая решетка функционализирована и сообщается по текучей среде, обеспечивая, по меньшей мере, один микроканал или камеру, отображения сцены в виде знаковой функции расстояния и рендеринга сцены; редактор имитационного моделирования, позволяющий пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены; модуль имитационного моделирования, выполненный с возможностью проведения одного или нескольких имитационных моделирований сцены; редактор печати, позволяющий пользователю сконфигурировать сцену для печати; и модуль печати, выполненный с возможностью генерирования очереди секционированных файлов и передачи секционированных файлов на 3D-принтер. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения интерфейс дополнительно позволяет пользователю сконфигурировать один или несколько микроканалов, по меньшей мере, в одной объемной области. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, один микроканал или камера содержит систему непрерывной по текучей среде передачи жидкости или газа. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения свойства кристаллографической ячейки включают в себя связи для соединения с одной или несколькими соседними кристаллографическими ячейками и каналы, соединяющие эти связи. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения кристаллографическая ячейка представляет собой гироид. В дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения кристаллическая решетка содержит гироиды, пространственно распределенные на периодической основе. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения приложение для процедурного моделирования дополнительно включает в себя алгоритм глубокого обучения, обученный прогнозировать переходную объемную область между объемными областями разной функционализации, и переходную кристаллографическую ячейку для переходной объемной области. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения указанный алгоритм включает одну или несколько нейросетей (NN). В различных дополнительных вариантах осуществления настоящего изобретения одна или несколько NN включают в себя одну или несколько генеративно-состязательных сетей (GAN) или один или несколько вариационных автокодировщиков (VAE). В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения один или несколько видов имитационного моделирования включает в себя анализ методом конечных элементов (FEA). В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения в ходе одного или нескольких имитационных моделирований оценивается микрофлюидная непрерывность, по меньшей мере, одного микроканала или камеры. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения знаковая функция расстояния не содержит

перечня геометрических примитивов. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения производительность приложения для процедурного моделирования не снижается при увеличении размеров сцены или количества деталей в сцене. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, один процессор включает в себя множество графических процессоров (GPU). В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, один процессор содержит платформу облачных вычислений.

Краткое описание фигур

[021] Более глубокое понимание признаков и преимуществ предмета заявленного изобретения может быть достигнуто после ознакомления с последующим подробным описанием, в котором представлены иллюстративные варианты осуществления настоящего изобретения и прилагаемые чертежи, где:

[022] На фиг. 1 приведен пример 3D-конфигурации, в данном случае кристаллографической структуры в виде трехмерной модели, образованной элементарными ячейками, многократно воспроизведенными с заданной периодичностью;

[023] На фиг. 2 представлена блок-схема, не носящая ограничительного характера и иллюстрирующая конвейер растеризации; в данном случае конвейер растеризации начинается с 3D-сетки и предусматривает стадии обработки вершин, растеризации, выполнения растровых операций и обработки фрагментов для генерирования выходного изображения;

[024] На фиг. 3 представлено схематическое изображение, не носящее ограничительного характера и иллюстрирующее методологию трассировки лучей; в данном случае метод трассировки лучей предусматривает проецирование лучей, испускаемых из камеры-источника, для определения того, какую часть сцены охватывает каждый луч;

[025] На фиг. 4 приведен неограничивающий пример блок-схемы; в данном случае блок-схема иллюстрирует конвейер марша лучей, используемый для отображения полностью процедурных сред по одному математическому уравнению, например, по знаковой функции расстояния;

[026] На фиг. 5-7 приведен неограничивающий пример метода марша лучей, используемого для рендеринга 3D-сцены; в данном случае - метода марша лучей, в котором лучи проецируются из виртуальной камеры, обращенной в сторону 3D-сцены, и в котором предусмотрен марш лучей в направлении движения луча и оценка (на каждой стадии) математического уравнения, отображающего сцену, для расчета того, насколько далеко он находится от ближайшей точки на поверхности;

[027] На фиг. 8 приведен неограничивающий пример схемы архитектуры платформы; в данном случае схема архитектуры платформы включает в себя пакет программ с модулем презентации, который используется разработчиками модели и имитационного моделирования, модулем сохранения, модулем имитационного моделирования и модулем печати; 3D-принтер; и систему облачных вычислений;

[028] На фиг. 9 приведен неограничивающий пример общего вида графического интерфейса пользователя (GUI) в приложении для процедурного моделирования; в данном случае общий вид GUI включает в себя центральное окно просмотра; окно для отображения представления текущей сцены в виде CSG-дерева; библиотеку сцен, содержащую процедурные объекты; и окно для отображения свойств выбранного в настоящий момент процедурного объекта;

[029] На фиг. 10 приведен неограничивающий пример GUI в приложении для процедурного моделирования; в данном случае GUI позволяет пользователю выбрать процедурный объект, при этом предусмотрены интерфейсные элементы, обеспечивающие пользователю возможность редактирования свойств процедурного объекта;

[030] На фиг. 11 приведен неограничивающий пример GUI в приложении для процедурного моделирования; в данном случае GUI позволяет пользователю выбрать текстуру, при этом предусмотрены опции форматирования и предварительного просмотра;

[031] На фиг. 12 приведен неограничивающий пример GUI в приложении для процедурного моделирования; в данном случае GUI позволяет пользователю перетащить процедурный объект из библиотеки сцен и поместить его в редактор процедурных объектов, чтобы начать редактирование свойств процедурного объекта;

[032] На фиг. 13 приведен неограничивающий пример GUI в приложении для процедурного моделирования; в данном случае GUI дает возможность пользователю просмотреть редактируемые свойства выбранного процедурного объекта (кубического кристалла), который отображается в окне просмотра, и создать множество кристаллографических ячеек из кубического кристалла;

[033] На фиг. 14 приведен неограничивающий пример GUI в приложении для процедурного моделирования; в данном случае GUI позволяет пользователю установить связи для каждой грани процедурного объекта в виде кубического кристалла и задать положение каждой связи на этих гранях для формирования, например, гироида;

[034] На фиг. 15 приведен неограничивающий пример GUI в приложении для процедурного моделирования; в данном случае GUI позволяет пользователю сохранить отредактированный процедурный объект (элементарную ячейку в виде гироида) в библиотеке сцен;

[035] На фиг. 16 приведен неограничивающий пример GUI в приложении для процедурного моделирования; в данном случае GUI позволяет пользователю идентифицировать сохраненный в библиотеке сцен процедурный объект, причем отредактированному объекту (элементарной ячейке в виде гироида) передаются свойства процедурного объекта, по которому он был создан, и при этом GUI также позволяет пользователю дублировать процедурный объект для формирования кристаллической решетки, такой как гироидная решетка;

[036] На фиг. 17 приведен неограничивающий пример блок-схемы; в данном случае блок-схема иллюстрирует процесс взаимодействия пользователя с приложением

для создания, редактирования и сохранения процедурного объекта по предварительно созданному объекту;

[037] На фиг. 18 приведен неограничивающий пример блок-схемы; в данном случае блок-схема иллюстрирует процесс взаимодействия пользователя с приложением для создания и редактирования нового процедурного объекта;

[038] На фиг. 19 приведен неограничивающий пример схемы кристаллографической ячейки; в данном случае - схемы, иллюстрирующей номенклатуру признаков кристаллографической ячейки, таких как грани, связи и каналы;

[039] На фиг. 20 приведен неограничивающий пример GUI в приложении для процедурного моделирования; в данном случае - GUI, где проиллюстрирована настройка имитационного моделирования в модели 3D-сцены;

[040] На фиг. 21 приведен неограничивающий пример GUI в приложении для процедурного моделирования; в данном случае GUI показывает результат имитационного моделирования, воплощенного в модели 3D-сцены;

[041] На фиг. 22 приведен неограничивающий пример схемы архитектуры; в данном случае - схемы архитектуры слайсера и модуля синхронизации принтера;

[042] На фиг. 23 приведен неограничивающий пример принципиальной схемы конструкции 3D-принтера; в данном случае принципиальная схема конструкции 3D-принтера включает в себя элемент генерирования светового пучка, коллимирующую линзу, монолитную MLA и ряд проекционных линз, одна из которых поворачивается пьезоэлектрической платформой;

[043] На фиг. 24 приведен неограничивающий пример схемы, иллюстрирующей перемещение проекционной линзы пьезоэлектрической платформой и его влияние на траекторию развертки светового пучка; в данном случае траектория развертки демонстрирует полунепрерывный процесс поблочной печати со спиральным узором;

[044] На фиг. 25A-25C приведены неограничивающие примеры схем, иллюстрирующих перемещение проекционной линзы пьезоэлектрической платформой и его влияние на световой пучок; в данном случае - попиксельного смещения светового пучка в плоскости X-Y в пределах поля пикселей;

[045] На фиг. 26 приведен неограничивающий пример схемы, иллюстрирующей процесс поблочной печати; в данном случае объект печатается в ходе непрерывного процесса поблочной печати;

[046] На фиг. 27 приведен неограничивающий пример принципиальной схемы конструкции 3D-принтера; в данном случае принципиальная схема конструкции 3D-принтера включает в себя источник света, коллиматор, монолитную MLA, пьезоэлектрический элемент, ряд проекционных линз, окно куба, объемную область фотополимерной смолы (например, отверждаемой под действием света) и печатный стол, а также направляющие и резьбовой шток, обеспечивающие генерирование результата печати;

[047] На фиг. 28 приведен неограничивающий пример источника света для

устройства 3D-печати;

[048] На фиг. 29 приведен неограничивающий пример элемента амплитудной модуляции для устройства 3D-печати;

[049] На фиг. 30A приведен неограничивающий пример микролинзы; в данном случае - простой двояковыпуклой микролинзы;

[050] На фиг. 30B приведен неограничивающий пример структурной схемы MLA; в данном случае MLA содержит планарную подложку и матрицу микролинз, наложенную на каждую из лицевых плоскостей подложки;

[051] На фиг. 30C приведен неограничивающий пример оптической схемы MLA; в данном случае оптическая схема включает в себя путь прохождения светового пучка через первую матрицу микролинз, подложку и вторую матрицу микролинз;

[052] На фиг. 31 приведен неограничивающий пример пьезоэлектрической платформы для устройства 3D-печати;

[053] На фиг. 32 приведен неограничивающий пример устройства обработки данных (например, вычислителя); в данном случае предусмотрено устройство с одним или несколькими процессорами, памятью, запоминающим устройством и сетевым интерфейсом;

[054] На фиг. 33A-33F приведены примеры схемы сведения микромодулей в макроструктуры; при этом на фиг. 33A приведен пример микромодуля; на фиг. 33B приведен пример сведения микромодулей в один из примеров трехмерной матрицы; на фиг. 33C приведен пример трехмерной матрицы; на фиг. 33D приведен пример слоя трехмерной матрицы; а на фиг. 33E-33F приведен пример сборок, содержащих множество трехмерных слоев;

[055] На фиг. 34A-34F приведены примеры пакетов слоев различной формы, такой как квадратная и квадратообразная;

[056] На фиг. 35A-35F приведены примеры модульных слоев, соединенных с иллюстративными схемами питания;

[057] На фиг. 36 приведен пример слоя для формы в виде полой пирамиды;

[058] На фиг. 37A и 37B приведен пример наращивания формы в виде полой пирамиды;

[059] На фиг. 38 приведен пример внешней схемы питания для формы в виде полой пирамиды;

[060] На фиг. 39 приведен пример пластинчатой макроструктуры;

[061] На фиг. 40 приведен пример пластинчатой макроструктуры со схемами питания;

[062] На фиг. 41 приведен пример макроструктуры;

[063] На фиг. 42 приведен пример схемы питания и сбора;

[064] На фиг. 43A-43E приведен пример соединительной системы; при этом на фиг. 43A показан общий вид одного из примеров реализации соединительной системы, содержащей соединитель между модулем кристалла и источником текучей среды; на фиг.

43B приведен пример соединительной системы с входными и выходными иглами; на фиг. 43C приведен пример соединений, созданных иллюстративной соединительной системой; на фиг. 43D приведен пример осуществления соединительной системы с иглами, проникающими в камеру в одном из примеров реализации модуля кристалла; а на фиг. 43E приведен пример соединительной системы с иглами, проникающими во вторую камеру;

[065] На фиг. 44 представлена схема, иллюстрирующая примеры реализации способов выращивания клеток, сохранения, оптимизации среды и расширенного производства;

[066] На фиг. 45 показана скорость наращивания кубатуры сферической структуры в зависимости от ее радиуса;

[067] На фиг. 46A и 46B показаны виды в поперечном разрезе, иллюстрирующие один из примеров реализации сферического биореактора и его компонентов;

[068] На фиг. 47 приведен пример реализации сферического биореактора;

[069] На фиг. 48 приведены примеры внутренних микромодулей или компоновочных блоков одного из примеров реализации биореактора и внутренних элементов, таких как каналы, тракты и камеры, рассчитанных на поток текучей среды в биореакторе;

[070] На фиг. 49 показано математическое представление структуры в соответствии со способами и системами согласно настоящему изобретению;

[071] На фиг. 50 проиллюстрировано математическое и геометрическое представление структуры в соответствии со способами и системами согласно настоящему изобретению;

[072] На фиг. 51A и 51B приведены примеры структур, таких как фасонные части или микромодули, которые могут быть построены с использованием способов согласно настоящему изобретению;

[073] На фиг. 52 приведен пример трехмерной сферической макроструктуры и ее вокселизированного представления;

[074] На фиг. 53 приведен пример структур множества соединителей согласно настоящему изобретению;

[075] На фиг. 54 приведен пример конфигурации оптики 3D-принтера с микродиафрагменной матрицей и матрицей микролинз;

[076] На фиг. 55A и 55B приведен пример, схематически иллюстрирующий 3D-принтер, включающий в себя генератор вторичных волн;

[077] На фиг. 56A и 56B приведен пример, схематически иллюстрирующий 3D-принтер, включающий в себя покрытие на окне куба;

[078] На фиг. 57A и 57B приведен пример процесса печати и цифрового рендеринга биореактора, изготовленного методом трехмерной печати; при этом на фиг. 57A приведен пример процесса печати, а на фиг. 57B проиллюстрирован цифровой рендеринг биореактора, изготовленного методом трехмерной печати, и представлены его виды в

поперечном разрезе в зависимости от высоты расположения; и

[079] На фиг. 58 приведен пример 3D-принтера и напечатанного биореактора.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

[080] Настоящим изобретением предложены системы, способы и устройства для печати объектов. Эти системы, устройства и способы могут включать в себя устройства и способы для трехмерной печати объектов.

[081] Если не указано иное, то все технические термины, используемые в настоящем документе, имеют одно и то же значение в обычном понимании специалиста в данной области техники, к которому относится предмет настоящего изобретения. В контексте представленного описания и прилагаемой формулы изобретения формы единственного числа, на которые указывают неопределенные и определенные артикли, включают в себя формы множественного числаs, если только из контекста явным образом не вытекает иное. При этом предполагается, что любая ссылка на «или» в контексте настоящего документа означает «и/или», если только не указано иное.

[082] Всякий раз, когда термин «по меньшей мере», «более чем» или «больше или равно» предваряет первое числовое значение в ряду из двух и более числовых значений, термин «по меньшей мере», «более чем» или «больше или равно» применим к каждому числовому значению в этом ряду числовых значений. Например, больше или равно одному, двум или трем эквивалентно больше или равно одному, больше или равно двум или больше или равно трем.

[083] Всякий раз, когда термин «не более чем», «менее чем» или «меньше или равно» предваряет первое числовое значение в ряду из двух и более числовых значений, термин «не более чем», «менее чем» или «меньше или равно» применим к каждому числовому значению в этом ряду числовых значений. Например, меньше или равно трем, двум или одному эквивалентно меньше или равно трем, меньше или равно двум или меньше или равно одному.

[084] В контексте настоящего изобретения термин «элементарная ячейка», в общем, обозначает наименьший повторяющийся элемент с полной симметрией кристаллографической структуры (см., например, поз. 195 на фиг. 1).

[085] В контексте настоящего изобретения термин «кристаллическая решетка», в общем, обозначает элемент трехмерной структуры, при дублировании которого образуются кристаллографические структуры (см., например, поз. 110 на фиг. 1).

[086] В контексте настоящего изобретения термин «гироид», в общем, обозначает связанную периодическую минимальную поверхность, не содержащую прямых линий. Такая поверхность может содержать математически неограниченное число соединений. В некоторых примерах гироид представляет собой единственный нетривиальный вложенный член из ассоциированного семейства поверхностей Шварца P и D с углом ассоциации около 38,01°. Гироид может быть сконфигурирован в виде единичного гироида или двойного гироида. Двойной гироид может быть ориентирован и сконфигурирован для конкретного применения в микрофлюидном устройстве. Двойной

гироид может быть сконфигурирован путем уравновешивания геометрических аспектов, относящихся к гидродинамическим характеристикам, которые наблюдаются в микромодулях и макроструктурах (например, макропрофилях), таких как кристаллографическая структура в виде двойных гироидов и пространственная группа. Гироид или двойной гироид может быть реализован в самых разных кристаллографических структурах.

[087] Термин «производственный биореактор» или «биореактор» в контексте настоящего документа, в общем, относится к биореакторному устройству, пригодному для масштабного производства клеток и/или продуктов, производимых клетками. Производственный биореактор может включать в себя один или несколько каналов или иных отверстий для ввода клеток с целью обеспечения наличия жидких сред, газового состава и прочих факторов влияния на клеточную среду, а также один или несколько каналов для сбора клеток и/или продуктов, производимых клетками.

[088] В контексте настоящего документа термин «устройство формирования питательной среды», в общем, относится к компоненту или устройству, предназначенному для смешивания ингредиентов, используемых в качестве питательной среды для выращивания клеток.

[089] В контексте настоящего документа термин «микромодуль», в общем, относится к сегменту биореактора, который может быть взаимоувязан с более крупной структурой (например, макроструктурой или макропрофилем) или встроен в состав такой структуры для формирования, по меньшей мере, части биореактора или всего биореактора в целом.

[090] В контексте настоящего документа термин «гироид», в общем, относится к связанной периодической минимальной поверхности, не содержащей прямых линий. Такая поверхность может представлять собой математически неограниченное число соединений. В некоторых примерах гироид представляет собой единственный нетривиальный вложенный член из ассоциированного семейства поверхностей Шварца P и D с углом ассоциации около 38,01°. Гироид может быть сконфигурирован в виде единичного гироида или двойного гироида. Двойной гироид может быть ориентирован и сконфигурирован для конкретного применения в микрофлюидном устройстве. Двойной гироид может быть сконфигурирован путем уравновешивания геометрических аспектов, относящихся к гидродинамическим характеристикам, которые наблюдаются в микромодулях и макроструктурах (например, макропрофилях), таких как кристаллографическая структура в виде двойных гироидов и пространственная группа. Гироид или двойной гироид может быть реализован в самых разных кристаллографических структурах.

[091] В контексте настоящего документа термин «беспузырьковый», в общем, относится к биореактору или иному устройству с ламинарным или по существу ламинарным движением текучей среды, при котором не образуются пузырьки или по существу не образуются пузырьки. Беспузырьковые биореакторы обычно не содержать

перемешивающих компонентов, таких как подвижные лопатки, пластины, лопасти или иные компоненты подобного рода, которые могли бы создавать пузырьки в текучей среде.

[092] Настоящим изобретением предложены устройства и системы для 3D-печати. Эти устройства могут представлять собой устройства для стереолитографической 3D-печати. Настоящим изобретением также предложены способы использования таких устройств для таких сфер применения, как 3D-печать. Стереолитографическое устройство может содержать оптический блок. Оптический блок может представлять собой статический оптический блок. В некоторых примерах оптический блок может альтернативно представлять собой динамический оптический блок. Предложенное устройство может дополнительно содержать источник света, который может быть выполнен с возможностью проецирования одного или нескольких лучей. Луч может содержать или представлять собой световой пучок. Луч (например, световой пучок) может содержать один или несколько пикселей. Один или несколько пикселей могут представлять собой множество пикселей. Один или несколько пикселей могут располагаться по оси, например, по оси Z.

[093] Устройство и/или оптический блок могут дополнительно содержать одну или несколько линз. Одна или несколько линз могут включать в себя коллимирующую линзу. Линза (например, коллимирующая линза) может быть выполнена с возможностью коллимирования светового пучка. В некоторых примерах оптический блок может содержать микролинзовую матрицу (MLA), которая может быть выполнена с возможностью сведения коллимированного светового пучка в модифицированный пучок меньшего диаметра в сравнении со световым пучком. В некоторых случаях модифицированный пучок может представлять собой конечный пучок. В альтернативном варианте модифицированный луч может не являться конечным пучком; например, он может представлять собой промежуточный пучок, и далее может быть сгенерировано больше пучков. В некоторых примерах один или несколько пикселей светового пучка (например, каждый пиксель светового пучка) могут быть разделены на множество подпикселей, что может увеличить разрешение модифицированного пучка и/или конечного пучка.

[094] Устройство может дополнительно содержать микродиафрагменную матрицу (MDA), которая может быть выполнена с возможностью уменьшения шума и/или перекрестных помех между линзами MLA.

[095] Устройство может дополнительно содержать, по меньшей мере, одну проекционную линзу и подвижную платформу, которые могут быть выполнены с возможностью перемещения одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости. Эта плоскость может представлять собой двухмерную (2D) плоскость, такую как плоскость в пространстве. Двухмерной плоскостью может служить плоскость между двумя осями в пространстве. Пространство может представлять собой многомерное пространство, например, трехмерное (3D) пространство. К примеру, плоскостью может служить плоскость между осью X и осью Y

(например, плоскость X-Y). В альтернативном варианте плоскостью может служить плоскость X-Z или плоскость Y-Z. Эта плоскость может быть задана двумя векторами, каждый из которых может проходить параллельно двум осям в пространстве. Например, плоскость может представлять собой плоскость X-Y, а расстояние между источником света, коллимирующей линзой, MLA, по меньшей мере, одной проекционной линзой и подвижной платформой оптического блока по оси Z (или любой другой оси, перпендикулярной плоскости) могут быть фиксированными. В некоторых случаях эти расстояния альтернативно могут быть не фиксированными, и со временем они могут меняться.

[096] Устройство может дополнительно содержать печатный куб. Печатный куб может содержать печатную платформу. В некоторых примерах печатная платформа может быть фиксированной. В некоторых примерах печатная платформа может быть подвижной. Печатная платформа может быть выполнена с возможностью перемещения в любом направлении или по любой оси в пространстве. Перемещение платформы может быть задано в декартовой системе координат, в полярной системе координат, в сферической системе координат или в любой иной системе координат. В некоторых примерах печатная платформа может быть выполнена с возможностью перемещения (т.е. она может быть выполнена подвижной) по оси X, по оси Y и/или по оси Z в трехмерном пространстве в декартовой системе координат. В некоторых примерах эта платформа может перемещаться по более чем одной оси. В некоторых примерах печатная платформа может быть выполнена с возможностью вращения и/или перемещения в направлении угла или радиуса окружности в полярной системе координат или в сферической системе координат.

[097] Устройство, такое как печатный куб предложенного устройства, может дополнительно содержать схему управления. Схема управления может быть выполнена с возможностью управления одним или несколькими компонентами устройства, например, источником света, подвижной платформой и/или печатной платформой для достижения поставленной цели, такой как печать объекта, например, методом стереолитографической 3D-печати.

[098] В некоторых примерах осуществления настоящего изобретения также раскрыты компьютерные системы и компьютеризированные системы и способы, которые могут включать в себя один или несколько процессоров и один или несколько блоков памяти. Компьютерная система может содержать команды, которые могут исполняться, по меньшей мере, одним процессором и создавать приложение. Приложение может предусматривать моделирование, такое как процедурное моделирование.

[099] Приложение для процедурного моделирования может содержать графический интерфейс пользователя (GUI). Графический интерфейс пользователя может содержать окно просмотра. Способы и системы, такие как приложение для процедурного моделирования, могут дополнительно включать в себя модуль презентации. Модуль презентации может быть выполнен с возможностью отображения сцены. В некоторых примерах сцена может отображаться в виде знаковой функции расстояния, а рендеринг

сцены может осуществляться с использованием метода марша лучей.

[0100] Модуль презентации может содержать библиотеку сцен. Библиотека сцен может содержать один или несколько процедурных объектов (PO). Модуль презентации может дополнительно содержать редактор сцен. Редактор сцен позволяет пользователю добавить один или несколько PO в сцену и/или создать дерево CSG (конструктивной твердотельной геометрии) для сцены. Модуль презентации может дополнительно содержать редактор процедурных объектов (PO), который позволяет пользователю редактировать свойства PO, который мог быть добавлен в сцену. Модуль презентации может дополнительно содержать редактор имитационного моделирования, который позволяет пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены. Модуль презентации может дополнительно содержать редактор печати, который позволяет пользователю сконфигурировать сцену для печати.

[0101] Способы и системы (например, модуль презентации) могут дополнительно включать в себя модуль имитационного моделирования. Модуль имитационного моделирования может быть выполнен с возможностью проведения одного или нескольких имитационных моделирований сцены. Имитационное моделирование может проводиться в отношении сцены. Способы и системы (например, модуль презентации) могут дополнительно включать в себя модуль печати. Модуль печати может быть выполнен с возможностью генерирования очереди секционированных файлов и передачи секционированных файлов на 3D-принтер. Этот 3D-принтер может содержать или представлять собой устройство или систему, описанную где-либо еще в настоящем документе, или другое устройство или систему.

[0102] Настоящим изобретением также предложены машиночитаемые носители данных с зашифрованными командами, которые исполняются, по меньшей мере, одним процессором, например, с целью создания приложения для процедурного моделирования.

[0103] Приложение для процедурного моделирования может содержать графический интерфейс пользователя (GUI). Графический интерфейс пользователя может содержать окно просмотра и модуль презентации. Модуль презентации может быть выполнен с возможностью отображения сцены, например, в виде знаковой функции расстояния и рендеринга сцены с использованием метода марша лучей. Модуль презентации может содержать библиотеку сцен.

[0104] Библиотека сцен может содержать один или несколько процедурных объектов (PO). Модуль презентации может дополнительно содержать редактор сцен, который позволяет пользователю добавить в сцену один или несколько PO и/или создать для сцены конструктивную геометрию, такую как дерево конструктивной твердотельной геометрии (CSG). Модуль презентации может содержать редактор процедурных объектов (PO), который позволяет пользователю редактировать свойства каждого PO, добавленного в сцену; редактор имитационного моделирования, который позволяет пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены; и редактор печати, который позволяет пользователю сконфигурировать сцену для печати; модуль

имитационного моделирования, который может быть выполнен с возможностью проведения одного или нескольких имитационных моделирований сцены; и модуль печати, который может быть выполнен с возможностью генерирования очереди секционированных файлов и передачи секционированных файлов на 3D-принтер. Этот 3D-принтер может представлять собой устройство или систему, описанную где-либо еще в настоящем документе, или другое устройство или систему.

[0105] Настоящим изобретением предложены компьютеризированные способы процедурного моделирования. Компьютеризированные способы процедурного моделирования могут предусматривать обеспечение наличия приложения для процедурного моделирования. Приложение для процедурного моделирования может содержать библиотеку сцен. Библиотека сцен может содержать один или несколько процедурных объекта (PO). Приложение для процедурного моделирования может дополнительно содержать редактор сцен, который позволяет пользователю добавить один или несколько PO в сцену и/или создать для сцены геометрию, такую как дерево конструктивной твердотельной геометрии (CSG). Приложение для процедурного моделирования может дополнительно содержать редактор процедурных объектов (PO), который позволяет пользователю редактировать свойства PO, например, каждого PO, добавленного в сцену. Приложение для процедурного моделирования может дополнительно содержать редактор имитационного моделирования. Редактор имитационного моделирования позволяет пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены. Приложение для процедурного моделирования может содержать редактор печати, который позволяет пользователю сконфигурировать сцену для печати, отобразить сцену в виде знаковой функции расстояния, осуществить рендеринг сцены с использованием метода марша лучей, выполнить одно или несколько имитационных моделирований сцены, сгенерировать очередь секционированных файлов и/или передать секционированные файлы на 3D-принтер. Этот 3D-принтер может представлять собой устройство или систему, описанную где-либо еще в настоящем документе, или другое устройство или систему.

[0106] Настоящим изобретением предложены способы изготовления многомерного объекта, такого как 2D- или 3D-объект. В некоторых случаях многомерный объект (например, 3D-объект) может содержать одну или несколько структурных единиц. В некоторых примерах одна или несколько структурных единиц могут включать в себя множественные структурные единицы или множество структурных единиц. В некоторых примерах структурные единицы могут дублироваться или представлять собой повторяющиеся структурные единицы. Предложенный способ может предусматривать: обеспечение наличия приложения для процедурного моделирования. Приложение для процедурного моделирования может соответствовать приложению для процедурного моделирования, описанному где-либо еще в настоящем документе, или представлять собой другое приложение для процедурного моделирования. Приложение для процедурного моделирования может быть сконфигурировано с возможностью

выполнения одной или нескольких функций. В некоторых примерах эти функции могут выполняться по запросу пользователя, который может предоставлять приложению вводные данные или подавать ему команды. В альтернативном варианте для выполнения одной или нескольких функций может быть использован искусственный интеллект, машинное обучение или иная методика.

[0107] В некоторых примерах приложение для процедурного моделирования может быть сконфигурировано с возможностью добавления в сцену одного или нескольких объектов. Сцена может представлять собой многомерную сцену. Сцена (например, многомерная сцена) может характеризоваться любым количеством размеров, например, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 или большим количеством размеров. В некоторых примерах структурной единицей может служить кристаллографическая ячейка. Например, кристаллографическая ячейка может быть добавлена в сцену (например, в 3D-сцену). Предложенный способ может дополнительно предусматривать дублирование одной или нескольких структурных единиц (кристаллографических ячеек) для формирования структуры. Эта структура может содержать или представлять собой решетку. Например, эта структура может содержать кристаллическую решетку сцены. Предложенный способ может дополнительно предусматривать конфигурирование связей и/или соединений, которые могут соединять между собой структурные единицы (например, дублируемые кристаллографические ячейки). Структура может дополнительно содержать один или несколько каналов. Эти каналы могут соединять между собой связи. Предложенный способ может предусматривать создание дерева конструктивной твердотельной геометрии (CSG) для сцены. Предложенный способ может дополнительно предусматривать отображение 3D-сцены в виде знаковой функции расстояния, рендеринг сцены с использованием метода марша лучей, генерирование очереди секционированных файлов и/или передачу секционированных файлов на определенное устройство, такое как устройство для 3D-печати, например, устройство для стереолитографической 3D-печати. Это устройство может представлять собой любое устройство, описанное где-либо еще в настоящем документе, другое устройство или сочетание этих устройств.

[0108] При визуализации и выполнении манипуляций с какой-либо виртуальной сценой определенные опасения может вызывать отображение геометрии или множества геометрических элементов, входящих в сцену или любую ее структуру. Примеры подходов к решению этой проблемы могут включать в себя использование явного представления и/или неявного представления.

[0109] В некоторых случаях при явном представлении геометрия может быть сохранена в виде списка геометрических примитивов. Геометрические примитивы могут включать в себя геометрический примитив с любым количеством размеров и любой формы. Например, геометрические примитивы могут включать в себя точки, треугольники, многоугольники или иные геометрические примитивы. Геометрические примитивы могут характеризоваться любым количеством размеров, например, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 или большим количеством размеров. В некоторых примерах геометрические

примитивы могут характеризоваться n-ым количеством размеров, причем величина n представляет собой целое число от нуля до бесконечности в n-мерном пространстве.

[0110] В некоторых случаях явное представление не требует обязательного преобразования с целью извлечения отображаемой в трехмерном пространстве модели для печати, и оно позволяет производить локальные манипуляции с моделью, например, по вершинам. В некоторых случаях явное представление может характеризоваться определенными недостатками. Примеры недостатков явного представления могут включать в себя фиксацию максимальной степени детализации, определяемой распределением вершин; потерю собственной информации геометрии, которая в некоторых случаях может отображаться просто в виде списка всего из нескольких геометрических примитивов; сложность, связанную с выполнением глобальных манипуляций; и размытость при компактном представлении данных всей сцены в целом. Например, в некоторых случаях отображение данных всей сцены в целом может быть не компактным и занимать много места, например, в памяти. Примеры широко используемого явного представления могут включать в себя геометрические примитивы, такие как многоугольники и/или треугольники. В некоторых случаях поверхность может быть разделена или подразделена и подвергнута рендерингу, например, с использованием растеризации.

[0111] При неявном представлении геометрия может сохраняться в виде математической функции или уравнения, которое может определяться по многообразию. Неявное представление может выигрывать от использования механизма извлечения необходимой информации для целей печати, и может облегчать локальное или глобальное манипулирование моделью. Неявное представление может характеризоваться несколькими преимуществами. Например, неявное представление может не фиксировать заданную степень детализации, и может предоставлять возможность получения безграничной степени детализации. Неявное представление может не инициировать утрату собственной информации геометрии. При использовании неявного представления удобно выполнять глобальные манипуляции. В некоторых примерах данные могут быть компактными, и они могут занимать меньше места на диске, например, в сравнении с подходом, предусматривающим использование явного представления.

[0112] Марширующие кубы/тетраэдры: Эта методика предусматривает преобразование неявного представления всей сцены в целом в ее явное представление. Это не очень подходит для масштабных сцен, поскольку после такого преобразования утрачивается компактность данных, присущая неявному представлению.

[0113] Растеризация: Последние несколько десятилетий эта методика широко используется в компьютерной графике в реальном времени из-за своей высокой эффективности и разносторонности для получения достаточно удовлетворительных визуальных результатов. Рендеринг характеризуется временной сложностью решения задачи, являющейся линейной по количеству треугольников, потребных для вычерчивания. С другой стороны, пространственно-временная сложность задачи является

линейной по количеству вершин, необходимых для отображения всей сцены в целом.

[0114] На фиг. 2 приведен пример конвейера растеризации. В этом примере конвейер растеризации начинается с 3D-сетки 205. На первой иллюстративной стадии 210 обработки вершин главная программа заполняет буфер вершин API (интерфейс программирования приложений) матрицами вершин. Эти вершины обычно задаются в глобальной системе координат; следовательно, затем они преобразуются в координаты пространства камеры. Теперь вершины могут быть спроецированы на экранную координату. Эта трансформация развивается из 3D-координат пространства камеры в 2D-координаты экранной системы. На этой стадии вершины рассматриваются в качестве 2D-треугольников 215 в экранном пространстве. На второй иллюстративной стадии 220 растеризации треугольники преобразуются в пиксельные фрагменты 225. На третьей иллюстративной стадии 230 выполнения растровых операций указанные фрагменты окрашиваются в соответствии с требуемой технологией/технологиями освещения и, в необязательном варианте, с фильтрацией текстур для получения окрашенных фрагментов 235. И, наконец, после стадии 240 обработки фрагментов выводится конечное изображение 245.

[0115] Этот процесс, иногда именуемый «графическим конвейером», обычно реализуется аппаратными средствами, но им можно управлять посредством выполнения промежуточных стадий, называемых «затенением» или «построением теней». На протяжении последних двух десятилетий этот графический конвейер непрерывно совершенствовался для максимального увеличения количества треугольников, доступных для вычерчивания. Растеризация вызывает серьезные вопросы, связанные с производительностью, в частности, поскольку временная сложность выполнения алгоритма является линейной в отношении количества вершин, поскольку все они должны быть протестированы для получения конечного изображения. Следует отметить, что этот процесс может быть приведен к логарифмическому уровню сложности с использованием AABB (ограничивающего параллелепипеда, выровненного по координатным осям) для того, чтобы отсортировать элемент в сцене; тем не менее, временная сложность будет по-прежнему прочно увязана с количеством элементов в сцене. Следовательно, алгоритм не масштабируется надлежащим образом. Иначе говоря, этот способ завоевал популярность из-за простоты его параллелизации с использованием GPU.

[0116] Трассировка лучей (Бросание лучей): Согласно современному подходу, описанному в настоящем документе, в некоторых примерах трассировка лучей используется в качестве способа рендеринга, который отличается ключевыми преимуществами в сравнении с растеризацией. Современные GPU эволюционируют, превращаясь на данный момент в легкопрограммируемые параллельные процессоры с плавающей точкой. Эта новая концепция параллельного выполнения множества потоков на множестве источников данных (процессоров MTMD) открывает путь к новым возможностям традиционных и хорошо известных методов рендеринга путем бросания лучей.

[0117] На фиг. 3 приведен пример схемы трассировки лучей. В отличие от конвейера растеризации выполнение этого способа начинается на пикселях растрового изображения 310 для наведения лучей вдоль усеченного конуса камеры 305, чтобы определить, какую часть сцены охватывает каждый луч/пиксель. Некоторые лучи могут попасть (320) на объект в сцене 315, а некоторые - промахнуться (325).

[0118] На фиг. 4 приведен пример метода марша лучей. В этом примере для каждого пикселя в сцене отслеживается (стадия 405) прохождение луча через сцену, обычно это делается с использованием BVH. Далее в этом примере предусмотрено, что если луч пересекает (стадия 415) какой-либо объект, то его попадание (стадия 420) вычисляется и сохраняется. После прохождения (стадия 410) всей структуры алгоритм определяет (стадия 425), попал ли луч на поверхность (стадия 435) или нет (стадия 430); если да, то вычисляется цвет, или же из требуемого положения бросается дополнительный луч.

Трассировка лучей и кристаллические решетки

[0119] Решетка представляет собой упорядоченный массив точек, описывающий конфигурацию частиц, которые образуют кристалл. Такой порядок расположения в конфигурации частиц обеспечивает полезные свойства, которые положительно сказываются на времени выполнения задач при использовании метода рендеринга.

Марш лучей

[0120] Эта методика предусматривает определение пересечения ортогональной проекции всей сцены с одной плоскостью. В большинстве случаев 3D-принтерам требуется ограниченный набор слоев, а обычно - всего один слой. После начала процесса печати единовременно может обновляться один слой; следовательно, нет необходимости в сохранении представления всей сцены до начала процесса печати. Для решения этих задач хорошо подходит неявное представление с использованием знаковых функций расстояния (SDF), что обусловлено простотой извлечения пересечения 3D-сцены с плоскостью.

[0121] Эта методика схожа с методом отслеживания лучей, но она может быть использована для генерирования полностью процедурных сред исключительно по одному математическому уравнению. Идея состоит в том, чтобы изменить как абстрактное представление сцены, так и методику рендеринга для их объединения в одной методике, которая может лучше справиться, как с пространственной сложностью, так и с временной сложностью выполнения задач. Теперь сцена отображается в виде математической функции, такой как SDF. Поскольку кристаллические решетки состоят из упорядоченной конфигурации точек, найти такую функцию вполне возможно. Функция SDF фиксирует точку в пространстве и вычисляет, насколько далеко эта точка отстоит от поверхности.

[0122] Пример: Последующая функция описывает окружность в двух измерениях:

[0123] // params:

[0124] // p: произвольная точка в 3D-пространстве

[0125] // c: центр нашей сферы

[0126] // r: радиус нашей сферы

[0127] float sphere_distance(in vec3 p, in vec3 c, float r)

[0128] {

[0129] return length(p - c) - r;

[0130] }

[0131] Для рендеринга сцены эта методика предусматривает бросание лучей из виртуальной камеры, обращенной в сторону сцены (см., например, фиг. 5). Для каждого из пикселей растрового изображения эта методика предусматривает марш в направлении движения луча (см., например, фиг. 6), и на каждой стадии - оценку SDF для вычисления того, насколько далеко он находится от ближайшей точки на поверхности (см., например, фиг. 7).

[0132] Метод марша лучей существенно повышает производительность. Поскольку при использовании метода марша лучей вся сцена отображается в виде одного математического уравнения, временная сложность выполнения задачи зависит не от количества объектов в сцене, а от сложности SDF. При анализе пространственной сложности становится ясно, что сцена может быть описана одной математической функцией, и нет необходимости в дискретизации сцены по вершинам. Это позволяет значительно уменьшить пространство памяти, необходимое для сохранения сцены, и одновременно сохранить детализацию исходной геометрии, которая наследуется математической функцией.

[0133] Эти улучшения производительности усиливаются при моделировании кристаллических решеток, которые состоят из упорядоченных повторов одной и той же структуры в виде элементарных ячеек. В некоторых примерах для достижения требуемого количества повторов пакет программ для рендеринга, описанный в настоящем документе, отдельно не задает положение каждой элементарной ячейки; а, наоборот, в таких примерах для отображения всей кристаллической структуры находится математическое уравнение.

Приложение для процедурного моделирования

[0134] Как показано на фиг. 8, в одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения приложение для процедурного моделирования характеризуется архитектурой, содержащей модуль презентации, модуль сохранения, модуль печати и модуль имитационного моделирования. В этом варианте осуществления архитектура приложения также функционально сообщается с системой облачных вычислений, а также, по меньшей мере, с одним устройством для 3D-печати, таким как устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе.

[0135] На фиг. 8 также показано, что в этом варианте осуществления настоящего изобретения модуль презентации содержит пакет программ с инструментами, рассчитанными на использование пользователем проектировщика модели. Неограничивающие примеры инструментов, рассчитанных на использование пользователем проектировщика модели, включают в себя библиотеку сцен, редактор процедурных объектов (PO) и редактор сцен. В этом варианте осуществления настоящего

изобретения редактор сцен обеспечивает пользователю доступ к признакам редактора печати и редактора имитационного моделирования.

[0136] В некоторых примерах модуль презентации, входящий в состав приложения для процедурного моделирования, содержит библиотеку сцен. В дополнительных примерах библиотека сцен содержит один или несколько РО, доступных для добавления в сцену. В различных примерах РО в библиотеке сцен включают в себя такие объекты, которые созданы заранее и снабжены приложением, созданы пользователем de novo (заново), созданы пользователем путем редактирования свойств других РО, загружены с внешних источников, и т.п. В одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения пользователь необязательно добавляет РО в сцену путем перетаскивания пиктограммы, отображающей РО, из библиотеки сцен и ее размещения в окне просмотра или ином компоненте модуля презентации, отображающего сцену.

[0137] В некоторых примерах модуль презентации, входящий в состав приложения для процедурного моделирования, содержит редактор РО. В дополнительных примерах редактор РО обеспечивает возможность создания и редактирования файла РО для каждого РО. В дополнительных примерах редактор РО характеризуется наличием средств, дающих пользователю возможность редактирования одного или нескольких свойств каждого РО в библиотеке сцен и/или каждого РО, добавленного в сцену. Неограничивающие примеры редактируемых свойств РО включают в себя тип, масштаб, положение, связи для соединения с одним или несколькими соседними РО (включая тип, масштаб, форму и положение каждой связи), каналы, соединяющие связи (включая тип, масштаб, форму, тракт и положение каждого канала), и свойства дублирования/репликации, такие как количество реплик, шаблон реплик, плотность реплик и т.п.

[0138] В некоторых примерах модуль презентации, входящий в состав приложения для процедурного моделирования, содержит редактор сцен. В дополнительных примерах редактор сцен обеспечивает возможность создания и редактирования файла проекта для сцены. В других дополнительных примерах редактор сцен характеризуется наличием средств, дающих пользователю возможность добавления одного или нескольких РО в сцену. В некоторых других дополнительных примерах редактор сцен создает для сцены дерево конструктивной твердотельной геометрии (CSG) и обновляет дерево CSG по мере построения и изменения сцены. В одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения редактор сцен характеризуется наличием средств, дающих пользователю возможность дублирования кристаллографической элементарной ячейки с точно заданным масштабом, узором, плотностью и т.п. для формирования кристаллической решетки в сцене.

[0139] В некоторых примерах приложение для процедурного моделирования содержит модуль сохранения. В дополнительных примерах на файл/файлы РО ссылается файл проекта, а на файл проекта ссылается файл печати. В других дополнительных примерах файл/файлы РО, файл/файлы проекта и/или файл/файлы печати сохраняются модулем сохранения в базе данных проекта, сообщающейся с локальной файловой

системой, обеспечивая поиск, извлечение файлов и т.п.

[0140] На фиг. 8 также показано, что в этом варианте осуществления настоящего изобретения модуль презентации также содержит инструменты, рассчитанные на использование пользователем проектировщика имитационного моделирования, который может представлять собой того же самого пользователя, что и пользователь проектировщика моделей, или другого пользователя; а приложение для процедурного моделирования содержит модуль имитационного моделирования. Неограничивающие примеры инструментов, рассчитанных на использование пользователем проектировщика имитационного моделирования, включают в себя редактор имитационного моделирования. В дополнительных примерах редактор имитационного моделирования характеризуется наличием средств, дающих пользователю возможность конфигурирования одной или нескольких имитационных моделей сцены. В некоторых других дополнительных примерах редактор имитационного моделирования генерирует и сохраняет входной файл имитационного моделирования, который вводится в компьютер вместе с информацией о сцене и проекте модулем имитационного моделирования для выполнения имитационных моделирований с использованием вычислительных ресурсов.

[0141] Для использования в приложении для процедурного моделирования подходят многие типы имитационного моделирования, описанные в настоящем документе. Подходящие типы моделирования включают в себя, помимо прочего, микрофлюидное моделирование, моделирование с применением методов CFD (вычислительной гидродинамики) и использование метода решеточных уравнений Больцмана (LBM) в сочетании со знаковой функцией расстояния для решения задачи CFD-моделирования. В некоторых конкретных вариантах осуществления настоящего изобретения модуль имитационного моделирования обеспечивает визуализацию одной или нескольких характеристик имитационного моделирования, таких как характеристики производительности.

[0142] На фиг. 8 также показано, что в этом варианте осуществления настоящего изобретения модуль презентации содержит редактор печати, а приложение для процедурного моделирования включает в себя модуль печати. В некоторых примерах редактор печати обеспечивает пользователю возможность создания и редактирования файла печати для сцены. В дополнительных примерах редактор печати характеризуется наличием средств, дающих пользователю возможность конфигурирования сцены для печати. В некоторых других дополнительных примерах редактор печати характеризуется наличием средств, дающих пользователю возможность конфигурирования, помимо прочего, профиля/профилей поверхности, последовательностей выполнения операций принтером, толщину слоя/слоев, время воздействия светового пучка и пиксельную разрешающую способность/способности. В некоторых примерах модуль печати вводит в компьютер файл печати и другую информацию из редактора печати вместе с информацией об имитационной модели через слайсер для создания секционированных файлов. В дополнительных примерах файловый сервер передает секционированные

файлы в кэш, который находится внутри или за пределами одного или нескольких устройств для 3D-печати. Пример архитектуры синхронизации слайсера/принтера приведен на фиг. 22.

Графический интерфейс пользователя

[0143] В некоторых примерах приложение для процедурного моделирования содержит GUI для представления элементов и признаков, обеспечивающих пользователю доступ к функциям этого приложения.

[0144] Как показано на фиг. 9, в одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения приложение для процедурного моделирования, описанное в настоящем документе, включает в себя GUI, содержащий центральное окно просмотра, окно для отображения представления текущей сцены в виде дерева CSG, библиотеку сцен с процедурными объектами и окно для отображения свойств выбранного в данный момент процедурного объекта.

[0145] В некоторых примерах приложение для процедурного моделирования, описанное в настоящем документе, включает в себя GUI, обеспечивающий пользователю возможность доступа к множеству функций, включая, помимо прочего, возможность выбора пользователем процедурного объекта, при этом предусмотрены элементы интерфейса, позволяющие пользователю редактировать процедурный объект (см., например, фиг. 10); возможность выбора пользователем текстуры, причем доступны опции форматирования и предварительного просмотра (см., например, фиг. 11); возможность перетаскивания пользователем процедурного объекта из библиотеки сцен и его помещения в редактор процедурных объектов для начала редактирования свойств процедурного объекта (см., например, фиг. 12); возможность просмотра пользователем редактируемых свойств выбранного процедурного объекта (кубического кристалла), который отображается в окне просмотра, и создания множества кристаллографических ячеек из кубического кристалла (см., например, фиг. 13); возможность установления пользователем связей для каждой грани кубического кристаллографического процедурного объекта и задания положений для этих связей на гранях с целью формирования, например, гироида (см., например, фиг. 14); возможность сохранения пользователем отредактированного процедурного объекта (элементарной ячейки в виде гироида) в библиотеке сцен (см., например, фиг. 15); и возможность идентификации пользователем сохраненного процедурного объекта в библиотеке сцен, причем отредактированный объект (элементарная ячейка в виде гироида) наследует свойства процедурного объекта, из которого она была создана; при этом GUI также позволяет пользователю дублировать процедурные объекты для формирования кристаллической решетки, такой как гироидная решетка (см., например, фиг. 16).

[0146] На фиг. 19 представлена схема кристаллографической ячейки, включая терминологию. Терминология, показанная на схеме, включает в себя термины «грань» 1910, «симметричная грань» 1920, «связь» 1915 и «канал» 1905.

[0147] В различных дополнительных примерах приложение для процедурного

моделирования, описанное в настоящем документе, включает в себя GUI, обеспечивающий пользователю доступ к множеству функций имитационного моделирования, включая, помимо прочего, возможность настройки пользователем имитационного моделирования, выполняемого в модели 3D-сцены (см., например, фиг. 20), и возможность просмотра пользователем результатов имитационного моделирования, выполненного в модели 3D-сцены (см., например, фиг. 21).

Примеры процессов

[0148] Как показано на фиг. 17, в одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения предусмотрен процесс взаимодействия пользователя с приложением для создания, редактирования и сохранения процедурного объекта по ранее созданному объекту. В этом варианте осуществления на стадии 1705 пользователь выбирает РО из библиотеки сцен (в данном случае РО в виде кубического кристалла). Затем на стадии 1710 пользователь выбирает РО щелчком правой клавишей мыши по РО и выбирает в меню опцию «Дублировать». В результате в библиотеку сцен добавляется новый РО в виде кубического кристалла (стадия 1715). Далее на стадии 1720 пользователь может выбрать новый РО, и на стадии 1725 переименовать новый РО в «гироидную решетку». Затем на стадии 1730 пользователь может задать количество связей для каждой пары симметричных граней на РО, а также может задать количество каналов (стадия 1735). И, наконец, в этом примере процесса на стадии 1740 пользователь соединяет группу связей с разных граней посредством каналов, обеспечивая тем самым связность решетки по текучей среде.

[0149] Кроме того, если обратиться к фиг. 18, то можно увидеть, что в одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения предусмотрен процесс взаимодействия пользователя с приложением для создания и редактирования новых процедурных объектов. В этом варианте осуществления пользователь начинает этот процесс со стадии 1805 перетаскивания РО из библиотеки сцен. Затем на стадии 1810 пользователь помещает РО в требуемое место. Если это место недопустимо, то пользователь должен начать все сначала.

[0150] На фиг. 18 также показано, что если указанное место допустимо, и пользователь помещает РО в окно просмотра редактора, то на стадии 1825 в библиотеку сцен добавляется новый РО. После этого на стадии 1820 пользователь может выбрать новый РО, и на стадии 1825 анализатор свойств по умолчанию покажет переменные РО. На стадии 1830 пользователь может выбрать случайную переменную и необязательно изменить значение переменной на стадии 1835. Если значение допустимо, то на стадии 1840 оно будет изменено.

[0151] На фиг. 18 также показано, что если указанное место допустимо, но пользователь не поместил РО в окно просмотра редактора, то на стадии 1845 в дерево CSG сцены добавляется новый узел, и на стадии 1850 в библиотеку сцен добавляется новый РО. Затем на стадии 1855 пользователь может выбрать новый узел, и на стадии 1860 анализатор свойств покажет узловые переменные. На стадии 1865 пользователь

может выбрать случайную переменную и необязательно изменить значение этой переменной на стадии 1870. Если это значение допустимо, то на стадии 1875 оно будет изменено, и на стадии 1880 внесенные изменении будут визуализированы в окне просмотра.

Устройство для 3D-печати

[0152] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат статический оптический блок. В дополнительных примерах статический оптический блок содержит источник света, выполненный с возможностью проецирования светового пучка, содержащего множество пикселей вдоль оси Z; по меньшей мере, одну коллимирующую линзу, выполненную с возможностью коллимирования светового пучка; микролинзовую матрицу (MLA), выполненную с возможностью сведения коллимированного светового пучка в конечный пучок меньшего диаметра, причем каждый пиксель светового пучка разделен на множество подпикселей для увеличения разрешения конечного пучка; микродиафрагменную матрицу (MDA), выполненную с возможностью уменьшения шума и перекрестных помех между линзами MLA; по меньшей мере, одну проекционную линзу; и подвижную платформу, выполненную с возможностью перемещения одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y. В дополнительных примерах в том, что касается статического оптического блока, предусмотрено, что расстояния по оси Z между источником света, коллимирующей линзой, MLA, по меньшей мере, одной проекционной линзой и подвижной платформой статического оптического блока могут быть фиксированными или нефиксированными.

[0153] Как показано на фиг. 23, в одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения устройство для стереолитографической 3D-печати содержит несущую конструкцию в виде рамы, удерживающую прочие компоненты этого устройства и задающую ось Z. В этом варианте осуществления устройство для 3D-печати дополнительно содержит статический оптический блок. Если начать снизу и идти вверх в направлении верхней части этого устройства по оси Z, то статический оптический блок содержит генератор светового пучка, коллиматор, монолитную MLA, пьезоэлектрическую платформу и, по меньшей мере, одну проекционную линзу. Кроме того, в этом варианте осуществления настоящего изобретения предусмотрен шаговый электродвигатель, приводящий в действие резьбовой шток, который корректирует положение печатного куба, содержащего платформу печати, по оси Z. К прочим компонентам относятся линейные направляющие, управляющая электроника и пр. И, наконец, в этом варианте осуществления настоящего изобретения статический оптический блок выполнен с возможностью проецирования поля пикселей на платформу печати.

Архитектура синхронизации слайсера/принтера

[0154] В некоторых примерах приложение для процедурного моделирования передает команды печати на одно или несколько устройств для 3D-печати через устройство, устройства или конвейер синхронизации слайсера/принтера. Для

генерирования и управления очередью секционированных файлов подходит множество аппаратных и/или программных архитектур, которые выдают команды, например, устройству для стереолитографической 3D-печати. В некоторых примерах приложение для процедурного моделирования, описанное в настоящем документе, передает команды печати на одной устройство для 3D-печати. В других примерах приложение для процедурного моделирования, описанное в настоящем документе, передает команды печати на множество устройств для 3D-печати, последовательно или параллельно. В дополнительных примерах множество устройств для 3D-печати может включать в себя, например, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 80, 90, 100 или больше устройств для 3D-печати, в том числе их приращений.

[0155] Как показано на фиг. 22, в одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения архитектура синхронизации слайсера/принтера включает в себя редактор 2205 печати в составе модуля презентации приложения для процедурного моделирования. В этом варианте осуществления редактор 2205 печати генерирует и сохраняет файл 2210 печати, который передается в слайсер 2215. Слайсер 2215 генерирует очередь 2220 секционированных файлов, которые передаются на файловый сервер 2225 для координации с 3D-принтером посредством «сигала последнего секционирования». Кроме того, в этом варианте осуществления принтер 2230 генерирует «сигнал непрерывного секционирования», передаваемый через вентиль 2230 синхронизации, который генерирует «сигнал итерации», образуя контур обратной связи со слайсером 2215. В различных примерах слайсер 2215 и/или файловый сервер 2225 могут представлять собой отдельные устройства, могут быть объединены друг с другом или интегрированы в 3D-принтер 2230.

Полунепрерывная печать: процесс поблочной печати

[0156] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат схему управления, выполненную с возможностью управления, по меньшей мере, источником света, подвижной платформой и печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати. В дополнительных примерах схема управления выполнена с возможностью управления печатной платформой для ее перемещения с заданной постоянной скоростью по оси Z. В дополнительных примерах схема управления выполнена с возможностью управления подвижной платформой для перемещения одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y.

[0157] В различных примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат схему управления, выполненную с возможностью управления, по меньшей мере, источником света, подвижной платформой и печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати по полунепрерывной, по существу непрерывной или непрерывной схеме. В конкретных примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, выполнены с возможностью выполнения полунепрерывного процесса печати. В дополнительных примерах полунепрерывный

процесс печати предусматривает процесс поблочной печати.

[0158] В некоторых примерах схема управления выполнена с возможностью управления подвижной платформой для перемещения одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y для развертки светового пучка по заданной схеме. Для развертки светового пучка подходит множество схем, таких как, помимо прочего, построчная схема, схема развертки по столбцам, схема развертки в виде штриховки диагональными поперечными линиями и схема, обусловленная геометрией 3D-объекта/сцены, которая должна быть напечатана. В некоторых примерах заданная схема содержит непрерывную пространство-заполняющую кривую. В дополнительных примерах заранее заданная схема содержит кривую Серпинского. Иногда заданная схема представляет собой по существу спиральный узор или спиральный узор.

[0159] В некоторых примерах процесс печати основывается на количестве технических моментов. В таких примерах одним техническим моментом является перемещение пьезоэлектрической платформы в плоскости X-Y для развертки светового пучка под печатным кубом. Другим техническим моментом в таких примерах является количество кадров проецируемого изображения в секунду (fps). Еще одним техническим моментом в таких примерах является перемещение печатной платформы с заданной постоянной скоростью по оси Z.

[0160] В некоторых конкретных примерах указанный процесс предусматривает развертку светового пучка по спирали, как это показано на фиг. 24. В дополнительных конкретных примерах время выдержки кадра определяется количеством подпикселей, находящихся в области печати. В одном из примеров, не носящих ограничительного характера, предусмотрено, что если количество подпикселей равно девяти, то первый кадр на смоле выдерживается в течение 1/9 того времени, в течение которого должен выдерживаться каждый кадр, второй кадр - в течение 2/9 этого времени, и так далее вплоть до последнего кадра. В таких примерах этот процесс повторяется с каждым освещаемым пикселем. В некоторых примерах воспроизведение схемы освещения обеспечивается пьезоэлектрической платформой, смещающейся в плоскости X-Y на около 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 мкм или больше к каждой стороне, что не носит ограничительного характера. В этом примере с помощью описанной развертки можно осуществлять «запись» поверх смолы со сверхвысоким разрешением, пользуясь преимуществом непрерывной печати и статической структуры. В некоторых примерах нижняя часть печатного куба содержит материал, полунепроницаемый и/или по существу проницаемый для кислорода. В таких примерах проницаемость печатного куба по кислороду препятствует инициированию полимерной реакции. На фиг. 24 показано движение по спиралевидному пути с использованием пьезоэлектрической платформы.

[0161] На фиг. 25A показано нейтральное положение пьезоэлектрической платформы в плоскости X-Y без смещения пикселя вследствие развертки световым лучом.

На фиг. 25B показано перемещение пьезоэлектрической платформы вправо в плоскости X-Y, генерирующее смещение пикселя влево вследствие развертки световым лучом. На фиг. 25C показано перемещение пьезоэлектрической платформы влево в плоскости X-Y, генерирующее смещение пикселя вправо вследствие развертки световым лучом. На фиг. 26 показан ряд стадий, выполняемых в ходе процесса поблочной печати, носящего иллюстративный характер.

Пример осуществления устройства для 3D-печати

[0162] Как показано на фиг. 27, в одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения свет, исходящий из источника 2701 света, проецируется на коллиматор 2702. После прохождения коллиматора свет достигает монолитной MLA 2703. Монолитная MLA 2703 фокусирует коллимированный пучок для получения конечного пучка меньшего диаметра. В этом конкретном варианте осуществления это является ключевым принципом для повышения разрешения статического оптического блока, описанного в настоящем документе. Теперь площадь одного пикселя может быть разбита, например, на 9, 25 или 49 подпикселей и даже вплоть до 7498 подпикселей с любым приращением в пределах 4-7498, что зависит от требуемого разрешения печати. После фокусировки светового пучка с помощью MLA 2703 выполняется развертка светового луча за счет перемещения линзы в плоскости X-Y пьезоэлектрической платформой 2704. Пьезоэлектрическая платформа 2704 обеспечивает возможность развертки светового пучка в пределах большей площади. Все подпиксели увеличиваются в диаметре и проецируются через ряд из трех проекционных линз 2705 на окно 2706 куба в пределах области развертки. Такая конформация и увеличение производится проекционными линзами 2705, которые располагаются за MLA 2703 по ходу движения света. В этом иллюстративном варианте осуществления настоящего изобретения предполагается, что площадь конечной области печати в четыре раза превышает площадь исходной области печати 90 мм × 85 мм. Печатный куб содержит фотополимерную смолу 2707. Результат печати, такой как 3D-объект, создается слой за слоем на печатном столе 2709 по мере активации фотополимерной смолы 2707 УФ-излучением источника света и перемещения печатного стола 2709 вверх по направляющим 2710 с помощью резьбового штока 2711, который приводится в действие шаговым электродвигателем.

Источник света

[0163] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат источник света. В некоторых примерах источник света представляет собой источник ультрафиолетового (УФ) света на базе технологии DMD (цифровые микрозеркальные устройства). В других примерах источник света представляет собой источник УФ-излучения на базе технологии LCoS (жидкий кристалл на кремниевом основании). В некоторых примерах источник света содержит проектор УФ-излучения и/или проектор дальнего УФ-излучения. В некоторых примерах источники света характеризуются длиной рабочей волны около 350, 355, 360, 365, 370, 375, 380, 385, 390, 395, 400, 405, 410, 415, 420, 425, 430, 435, 440, 445 или 450 нм, включая их приращения. В

некоторых примерах источник света характеризуется длиной рабочей волны, выбираемой таким образом, чтобы инициировать полимеризацию фотополимерной смолы в печатном кубе.

[0164] Первый пример осуществления источника света, описанный в настоящем документе, основан на технологии DMD. В некоторых примерах этот подход предусматривает использование промышленного проектора УФ-излучения (светового пучка), который функционирует на длине рабочей волны 405 нм или 380 нм. Источник света освещает оптический путь для куба, содержащего фотополимерную смолу. В дополнительных примерах этого подхода выполняется пространственная модуляция света с помощью устройства DMD, которое включает в себя электромеханическое устройство на базе матрицы из зеркал микрометрового размера на алюминиевой основе. Свет проецируется УФ-светодиодами на миниатюрные зеркала и отражается активируемыми зеркалами. Каждое зеркало имеет два положения: «вкл.» и «выкл.». Когда они находятся в положении «вкл.», они могут отражать падающий свет. Каждое миниатюрное зеркало отображает один пиксель. В некоторых примерах этого подхода шаг пикселя DMD составляет 5,4 мкм. В некоторых примерах источник света характеризуется рабочим расстоянием 177,8 мм с соответствующим шагом пикселя, например, 35 мкм и площадью 90×50 мм^2. В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения световой пучок характеризуется разрешением 2560×1600 пикселей и выходной мощностью 7 Вт. Интенсивность излучения светового пучка на рабочем расстоянии в некоторых примерах составляет 150 мВт/см^2. На фиг. 28 приведен неограничивающий пример подходящего светового пучка.

[0165] Второй пример осуществления источника света, описанный в настоящем документе, основан на технологии LCoS. В некоторых примерах LCoS отвечает за пространственную модуляцию света (амплитудную). В дополнительных примерах LCoS содержит жидкокристаллическую (ЖК) панель в своей верхней части и зеркало на задней панели. Жидкокристаллический экран активирует пиксели, при этом падающий свет может попасть на заднее зеркало и отразиться в сторону оптического пути вплоть до куба. В одном из примеров шаг пикселя в LCoS может составлять 3,5 мкм, а разрешение устройства LCoS может составлять 4K x 2K (4096×2400) пикселей. На фиг. 29 приведен пример подходящего устройства LCoS.

[0166] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат первый источник света, выполненный с возможностью проецирования первой рабочей волны, и второй источник света, выполненный с возможностью проецирования второй рабочей волны. В некоторых примерах второй источник света работает параллельно со вторым источником света, а вторая рабочая волна выбирается таким образом, чтобы препятствовать полимеризации фотополимерной смолы в печатном кубе. В некоторых примерах второй источник света проецирует изображение, дополняющее собой и противоположное изображению, которое проецируется первым источником света, для повышения верности и точности воспроизведения печатного

объекта.

Коллиматор

[0167] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат коллиматор. В некоторых примерах коллиматор содержит одну или несколько коллимирующих линз. Коллиматор представляет собой оптическую линзу или линзы, которые преобразуют расходящийся пучок на входе в параллельный пучок. Световой пучок содержит неколлимированный луч света. Коллимация луча света необходима для равномерного распределения светового излучения. Для использования подходят самые разные оптические схемы коллимирующих линз. В некоторых примерах коллиматор содержит одну коллимирующую линзу. В других примерах коллиматор содержит множество коллимирующих линз. В некоторых примерах множество коллимирующих линз включает в себя, например, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 или больше коллимирующих линз, входящих в состав блока или системы коллимирующих линз.

Микролинзовая матрица (MLA)

[0168] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат MLA. В некоторых примерах MLA представляет собой оптическое устройство, содержащее матрицу линз микрометрового размера в виде квадратного пакета (см., например, фиг. 30A). Матрица MLA может располагаться в источнике света, перед источником света или за источником света. Для MLA подходят микролинзы различных типов, определяющих характер матрицы. В одном из примеров, не носящих ограничительного характера, MLA содержит двояковыпуклую матрицу, двояковогнутую матрицу, одновыпуклую матрицу, одновогнутую матрицу или их сочетание. В одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения MLA представляет собой монолитную двояковыпуклую матрицу.

[0169] Как показано на фиг. 30B в одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения MLA содержит планарную подложку с первой матрицей MLA 1 микролинз, прикрепленной к одной ее стороне, и со второй матрицей MLA 2 микролинз, прикрепленной к другой ее лицевой стороне. В этом варианте осуществления с обеих сторон подложки также предусмотрен полимерный слой, располагающийся между подложкой и каждой из матриц микролинз. Кроме того, в этом конкретном варианте осуществления между подложкой и каждой из матриц микролинз (например, MLA 2) располагается MDA.

[0170] Для изготовления подложки подходят самые разные материалы, включая, помимо прочего, боросиликатное стекло, травленое стекло или их сочетание. Аналогичным образом для изготовления микролинз также подходят самые разные материалы, включая, помимо прочего, полимер, стекло (например, термополированное боросиликатное стекло BOROFLOAT® или иное высокопрозрачное стекло, способное выдерживать тепловое напряжение) или их сочетание. В одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения основная подложка выполнена из боросиликата, а микролинзы выполнены из полимерного материала.

[0171] Как показано на фиг. 30C, в одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения путь прохождения каждого пучка света через лицевые линзы MLA обеспечивает фокусировку каждого пикселя светового пучка.

[0172] В различных примерах MLA делит каждый пиксель светового пучка на 4-7498 подпикселей. Например, в различных примерах MLA делит каждый пиксель светового пучка на 4, 8, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4098 или больше подпикселей, включая приращения этих величин.

[0173] В одном из конкретных примеров осуществления настоящего изобретения MLA представляет собой монолитную матрицу двояковыпуклых микролинз, шаг каждой из которых равен 30 мкм. В этом конкретном варианте осуществления настоящего изобретения предусмотрены такие размеры MLA: длина: 139,12 мм; ширина: 88,24 мм; и высота: 1,1 мм. Кроме того, в этом варианте осуществления расчетный радиус кривизны (ROC) составляет 130 мкм, а сагиттальная высота - 1,5 мкм. И, наконец, в этом примере MLA делит каждый пиксель светового пучка на 9, 25 или 49 подпикселей.

Микродиафрагменная матрица (MDA)

[0174] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат одну или несколько MDA. В дополнительных примерах одна или несколько MDA выполнены с возможностью уменьшения шума и перекрестных помех между световыми пучками, проходящими через линзы MLA. В таких примерах микродиафрагмы одной или нескольких MDA представлены в таком количестве и выстроены таким образом, чтобы они соответствовали микролинзам MLA. В некоторых примерах размеры отверстия в каждой микродиафрагме одной или нескольких MDA составляет около 5, 10, 15, 20, 25, 30 мкм или больше, включая их приращения. В других примерах размеры отверстия в каждой микродиафрагме одной или нескольких MDA не превышает примерно 30, 35, 30, 15, 10, 5 мкм или меньше, включая их приращения. Уменьшение размера отверстия в микродиафрагме одной или нескольких MDA может повысить контрастность и обеспечить более высокое разрешение печати. Однако уменьшение размера отверстия в микродиафрагме одной или нескольких MDA может, в свою очередь, уменьшить количество энергии, подаваемой на смолу для полимеризации. Таким образом, в некоторых примерах размер отверстия в каждой микродиафрагме одной или нескольких MDA составляет около 5-10, 5-15, 5-20, 5-25, 5-30, 10-15, 10-20, 10-25, 10-30, 15-20, 15-25, 15-30, 20-25, 20-30 или 25-30 мкм. В одном из примеров размер отверстия в каждой микродиафрагме одной или нескольких MDA составляет около 10-15 мкм.

[0175] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат MDA. В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат множество MDA. Устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, надлежаще содержат 2, 3, 4 или больше MDA. Для MDA подходят самые разные положения в пределах статического оптического блока. В некоторых примерах, не носящих ограничительного характера, MDA может располагаться в пределах MLA и/или в любом ином месте в пределах блока. В некоторых примерах

MDA может располагаться между планарной подложкой MLA и одним или обоими множествами микролинз MLA. В некоторых примерах MDA и MLA могут располагаться рядом друг с другом. В некоторых примерах MDA и MLA могут располагаться рядом друг с другом и вблизи LCoS. В другом примере MDA и MLA могут располагаться на траектории светового пучка в месте, отстоящем от LCoS. В еще одном примере устройство для 3D-печати включает в себя, по меньшей мере, одну MDA, но не включает в себя MLA. В еще одном примере устройство для 3D-печати включает в себя, по меньшей мере, одну MDA и кристалл, выполненный с возможностью фокусировки коллимированного светового пучка. Этот кристалл может представлять собой стеклянную подложку с широким диапазоном рабочих температур и высоким коэффициентом пропускания на используемой длине волны, такую как, например, боросиликатное стекло BOROFLOAT® 33.

[0176] На фиг. 54 приведен пример конфигурации оптики 3D-принтера с MDA и MLA. Оптика 3D-принтера может включать в себя источник 5401 света, выполненный с возможностью генерирования одного или нескольких пучков света (например, пучка УФ-излучения). Пучок света, генерируемый источником 5401 света, может быть направлен на расщепитель 5402 поляризованного пучка (PBS). Устройство PBS 5402 может направить свет на волновую пластину (например, четвертьволновую пластину) 5403. Оптика может дополнительно включать в себя матрицы MDA 5404 и MLA 5406, располагающиеся между волновой пластиной 5403 и LCoS 5406. В одном из примеров MLA 5405 может располагаться между MDA 5404 и LCoS 5406. Пучок света может пройти через волновую пластину 5403, MDA 5404 и MLA 5405, чтобы отразиться от задней поверхности LCoS 5406 и пройти обратно через MLA 5405, MDA 5404 и волновую пластин 5403 в виде множества дискретных пучков света. После контакта с PBS 5402 пучки света могут отражаться под углом падения, составляющим, по меньшей мере, 45, 60, 90 или 135 градусов. В одном из примеров свет отражается устройством PBS 5402 под углом около 90 градусовs. Отраженный свет может пройти через одну или несколько проекционных линз 5407 для генерирования микропятен 5409 на стороне окна 5408 печатного куба. Микропятна 5409 обеспечивают возможность полимеризации смолы при контакте с окном 5408 печатного куба или нахождении вблизи этого окна.

Подвижная платформа

[0177] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат подвижную платформу. В дополнительных примерах подвижная платформа характеризуется принципом работы на основе пьезоэлектрического эффекта; например, предусмотрена пьезоэлектрическая подвижная платформа. В некоторых примерах подвижная платформа выполнена с возможностью перемещения одной или нескольких проекционных линз в плоскости X-Y с нанометровым разрешением для развертки светового пучка в пределах области печати.

[0178] Для подвижных платформ, описанных в настоящем документе, подходят самые разные диапазоны перемещения. В некоторых примерах, не носящих

ограничительного характера, подходящие диапазоны перемещения в направлении X составляют около 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 мкм или больше, включая их приращения. В некоторых примерах, не носящих ограничительного характера, подходящие диапазоны перемещения в направлении Y составляют около 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 мкм или больше, включая их приращения. В некоторых примерах подвижная платформа представляет собой пьезоэлектрическую платформу, которая характеризуется диапазоном перемещения 100 мкм в направлении X и 100 мкм в направлении Y. В дополнительных конкретных примерах рабочая частота лежит в килогерцовом диапазоне.

[0179] Для подвижных платформ, описанных в настоящем документе, подходят самые разные шаги перемещения. В некоторых примерах, не носящих ограничительного характера, подходящие шаги перемещения в направлении X составляют около 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 нм или больше, включая их приращения. В дополнительных неограничивающих примерах подходящие шаги перемещения в направлении X составляют около 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 мкм или больше, включая их приращения. В некоторых примерах, не носящих ограничительного характера, подходящие шаги перемещения в направлении Y составляют около 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 нм или больше, включая их приращения. К примеру, в дополнительных примерах, не носящих ограничительного характера, подходящие шаги перемещения в направлении Y составляют около 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 мкм или больше, включая их приращения.

[0180] В некоторых примерах подвижная платформа характеризуется разрешением смещения (перемещения) в направлении X или Y или в обоих направлениях X и Y, не превышающим длину подпикселей, на которые разделен каждый пиксель источника света.

[0181] На фиг. 31 приведен неограничивающий пример подходящей пьезоэлектрической платформы.

Проекционные линзы

[0182] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат одну или несколько проекционных линз. В дополнительных примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат одну проекционную линзу. В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат множество проекционных линз, например, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 или больше проекционных линз, что не носит ограничительного характера. В таких примерах проекционные линзы могут входить в состав блока или системы проекционных линз.

[0183] В некоторых примерах одна или несколько проекционных линз представляют собой набор концентрически расположенных линз, основной задачей

которого является конфигурирование конечной конформации пучка света с целью обеспечения надлежащего распределения энергии и пространственной характеристики пучка на печатном кубе. Проекционная линза составлена из асферических линз, выполненных с возможностью индивидуальной настройки с целью удовлетворения потребности в конкретном разрешении печати. В некоторых примерах одна или несколько проекционных линз расширяют конечную площадь печати. В некоторых примерах одна или несколько проекционных линз расширяют конечную площадь печати примерно в 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 или более раз в сравнении с площадью генерирования света в источнике света, включая их приращения. В некоторых примерах одна или несколько проекционных линз уменьшают конечную площадь печати.

Печатный куб

[0184] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат печатный куб. В некоторых примерах этот куб представляет собой контейнер с фотополимерной смолой, используемой в процессе стереолитографической 3D-печати. В некоторых примерах нижняя часть куба выполнена из материала, проницаемого или полупроницаемого по кислороду, что позволяет остановить фотополимеризацию. В некоторых примерах печатный куб рассчитан на стерильную 3D-печать, и отверждаемая светом смола может сохраняться в стерильном состоянии. Печатный куб может включать в себя одну или несколько оптически прозрачных поверхностей (например, окно куба). Одна или несколько оптически прозрачных поверхностей обеспечивают возможность передачи светового пучка от источника света до части/через часть печатного куба для полимеризации отверждаемой светом смолы. Неограничивающие примеры оптически прозрачных поверхностей (например, окон куба) включают в себя стекло или оптически чистые полимеры, такие как, например, циклоолефиновые сополимеры.

Генератор вторичных волн

[0185] В некоторых примерах устройство для 3D-печати, описанное в настоящем документе, может включать в себя генератор вторичных волн. Генератор вторичных волн может располагаться вблизи одного из концов оптически прозрачной поверхности печатного куба (например, примыкать к одному из концов стеклянного куба). Генератор вторичных волн может спроецировать пучок света на один из концов оптически прозрачной поверхности печатного куба (например, на окно куба) таким образом, что пучок света подвергнется полному внутреннему отражению в пределах и вдоль длинной стороны оптически прозрачной поверхности. Полное внутреннее отражение может сгенерировать затухающее поле, которое передается наружу оптически прозрачной поверхности и проходит через смолу, прилегающую к оптически прозрачной поверхности. Затухающее поле может уменьшить, по существу воспрепятствовать или воспрепятствовать полимеризации смолы, отверждаемой под действием света, которая прилегает к поверхности печатного куба или контактирует с этой поверхностью, с целью уменьшения или предотвращения сцепления полимеризованной смолы с поверхностью

окна печатного куба. Затухающее поле может уменьшить или предотвратить полимеризацию в пределах около 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200 нанометров или больше от поверхности окна печатного куба. В одном из примеров затухающее поле уменьшает или предотвращает полимеризацию в пределах около 100 нм от оптически прозрачной поверхности печатного куба. Угол падения и критический угол преломления воздуха, под которыми волна света проецируется на оптически прозрачную поверхность (например, на окно куба) и отражается внутри для обеспечения возможности полного внутреннего отражения, могут быть определены уравнениями 1 и 2.

$$\theta_C = \sin^{-1}\left(\frac{n_R}{n_G}\right) (1)$$

$$\theta_A = \sin^{-1}\left(\frac{n_G}{n_A}\sin\theta_C\right) (2)$$

[0186] , где величина n_R обозначает коэффициент преломления смолы; величина n_G обозначает коэффициент преломления оптически прозрачной поверхности (например, окна куба); а величина n_A обозначает коэффициент преломления воздуха. Длина волны пучка света может быть любой при условии, что она обеспечивает уменьшение или предотвращение полимеризации. Например, длина волны пучка света может лежать в УФ-диапазоне (например, составлять от около 350 нм до около 450 нм), или лежать в красной области видимого спектра (например, в пределах от около 600 нм до около 650 нм). Длина волны пучка света может составлять, по меньшей мере, около 350, 355, 360, 365, 370, 375, 380, 385, 390, 395, 400, 405, 410, 415, 420, 425, 430, 435, 440, 445 или 450 нм, включая приращения этих величин. Длина волны пучка света может составлять, по меньшей мере, около 575, 580, 585, 590, 595, 600, 605, 610, 615, 620, 625, 630, 635, 640, 645, 650, 655, 660, 665, 670, 675 нм или больше, включая приращения этих величин. В одном из примеров длина волны пучка света может лежать в диапазоне от около 375 нм до 650 нм. В другом примере длина волны пучка света может лежать в диапазоне от около 375 нм до 400 нм. Длина волны пучка света может быть больше или меньше длины волны, используемой для полимеризации смолы, но не совпадать с ней.

[0187] На фиг. 55A и 55B приведен пример, схематически иллюстрирующий 3D-принтер, включающий в себя генератор вторичных волн. Как показано на фиг. 55A, свет, исходящий из источника 5501 света, проецируется на коллиматор 5502. После прохождения коллиматора свет достигает матрицы MLA 5503. Матрица MLA 5503 фокусирует коллимированный свет, в результате чего образуется один или несколько пучков меньшего диаметра. После фокусировки пучков света матрицей MLA 5503 осуществляется развертка пучка света путем перемещения линзы в плоскости X-Y пьезоэлектрической платформой 5504. Пьезоэлектрическая платформа 5504 обеспечивает возможность развертки пучка света в пределах большей площади. Все подпиксели увеличиваются в диаметре и проецируются через ряд из трех проекционных линз 5505 на окно 5506 куба в пределах области развертки. Такая конформация и увеличение производится проекционными линзами 5505, которые располагаются за MLA 5503 по

ходу движения света. Печатный куб содержит фотополимерную смолу 5507. Результат 5508 печати, такой как 3D-объект, создается слой за слоем на печатном столе 5509 по мере активации фотополимерной смолы 5507 УФ-излучением источника света и перемещения печатного стола 5509 вверх по направляющим 5510 с помощью резьбового штока 5511, который приводится в действие шаговым электродвигателем. Устройство для 3D-печати включает в себя генератор 5512 вторичных волн, выполненный с возможностью проецирования пучка 5513 света через длинную сторону окна 5506 куба. На фиг. 55B показана развернутая схема генератора 5512 вторичных волн и границы раздела окна 5506 куба. Пучок 5513 света, проецируемый через длинную сторону окна 5506 куба, подвергается полному внутреннему отражению, генерируя затухающее поле, которое уменьшает или предотвращает полимеризацию смолы, контактирующей с поверхностью окна 5506 куба или прилегающей к ней. Источник света, генерирующий пучок 5513 света, может представлять собой светодиод (LED) или лазер. Генератор вторичных волн может включать в себя одну или несколько линз, выполненных с возможностью придания свету определенной формы или его направления для обеспечения возможности полного внутреннего отражения пучка 5513 света.

Покрытие печатного куба

[0188] В некоторых примерах устройство для 3D-печати может включать в себя одно или несколько покрытий, наложенных на окно куба или иные поверхности печатного куба для уменьшения, по существу предотвращения или предотвращения сцепления полимеризованной смолы с поверхностью окна куба. Это покрытие может представлять собой покрытие любого типа, предотвращающее полимеризацию на границе раздела, или иным образом включать в себя антиадгезивные свойства. В одном из примеров покрытие представляет собой мезопористое покрытие. Мезопористое покрытие может включать в себя один или несколько основных составов, таких как, помимо прочего, оксиды металлов, кремнеземы, органические кремнеземы, углеродные материалы, металлоорганические структуры, цеолиты или их сочетание. Покрытие может накладываться с использованием золь-гелевой химии, методов физического осаждения, метода окунания, метода центрифугирования или любых иных методов нанесения покрытий.

[0189] Покрытие может характеризоваться любой толщиной, пригодной для уменьшения или предотвращения сцепления полимеризованной смолы. Например, покрытие может характеризоваться толщиной, по меньшей мере, около 5, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 нм или больше. Покрытие может характеризоваться толщиной в пределах около 5-10, 5-25, 5-50, 5-75, 5-100, 5-125, 5-150, 5-175, 5-200, 10-25, 10-50, 10-75, 10-100, 10-125, 10-150, 10-175, 10-200, 25-50, 25-75, 25-100, 25-125, 25-150, 25-175, 25-200, 50-75, 50-100, 50-125, 50-150, 50-175, 50-200, 75-100, 75-125, 75-150, 75-175, 75-200, 100-125, 100-150, 100-175, 100-200, 125-150, 125-175, 125-200, 150-175, 150-200 и 175-200 нм. В оном из примеров покрытие характеризуется толщиной в пределах от около 25 нм до 100 нм. Покрытие может содержать поры диаметром от около 2 нм до 50 нм. Межпоровое

расстояние может варьироваться в пределах от около 5 нм до 10 нм, 5-15 нм или 5-20 нм. В одном из примеров межпоровое расстояние варьируется в пределах от 5 нм до 20 нм. Покрытие может характеризоваться контактным углом, по меньшей мере, около 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 или 60 градусов. В одном из примеров покрытие характеризуется контактным углом, по меньшей мере, около 25 градусов.

[0190] На фиг. 56A и 56B приведен пример, схематически иллюстрирующий 3D-принтер, включающий в себя покрытие на окне куба. Как показано на фиг. 56A, свет, исходящий из источника 5601 света, проецируется на коллиматор 5602. После прохождения коллиматора свет достигает матрицы MLA 5603. Матрица MLA 5603 фокусирует коллимированный свет, в результате чего образуется один или несколько пучков меньшего диаметра. После фокусировки пучков света матрицей MLA 5603 осуществляется развертка пучка света путем перемещения линзы в плоскости X-Y пьезоэлектрической платформой 5604. Пьезоэлектрическая платформа 5604 обеспечивает возможность развертки пучка света в пределах большей площади. Все подпиксели увеличиваются в диаметре и проецируются через ряд из трех проекционных линз 5605 на окно 5606 куба в пределах области развертки. Такая конформация и увеличение производится проекционными линзами 5605, которые располагаются за MLA 5603 по ходу движения света. Печатный куб содержит фотополимерную смолу 5607. Результат 5608 печати, такой как 3D-объект, создается слой за слоем на печатном столе 5609 по мере активации фотополимерной смолы 5607 УФ-излучением источника света и перемещения печатного стола 5609 вверх по направляющим 5610 с помощью резьбового штока 5611, который приводится в действие шаговым электродвигателем. Устройство для 3D-печати включает в себя покрытие 5612, нанесенное на поверхность окна 5605 куба. На фиг. 56B показана развернутая схема, иллюстрирующая покрытие 5612 и границу раздела окна 5506 куба. Покрытие 5612 нанесено на поверхность окна 5606 куба, контактирующую со смолой. Покрытие может уменьшить или предотвратить сцепление полимеризованной смолы с поверхностью окна 5606 куба.

Печатный стол (платформа)

[0191] В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, содержат печатный стол. В некоторых примерах смола, отверждаемая под действием света, фотополимеризируется на поверхности печатного стола. Печатный стол шарнирно поворачивается, перемещаясь по оси Z под управлением схемы управления для выполнения процесса печати. Например, печатный стол может быть собран на направляющих штангах и соединен с резьбовым штоком, который приводится в действие шаговым электродвигателем. В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, используют метод печати снизу вверх, и печатная платформа перемещается, соответственно, по оси Z. В некоторых примерах устройства для 3D-печати, описанные в настоящем документе, используют метод печати сверху вниз, и печатная платформа перемещается, соответственно, по оси Z.

Пример 3D-объектов/сцен

[0192] Платформы, системы и устройства (вместе именуемые «системой печати») согласно настоящему изобретению применимы для печати пористых структур на основе кристаллографических геометрических элементов, пространственно распределенных на периодической основе. В одном из примеров система печати применяется для генерирования такой структуры. В некоторых примерах кристаллографический геометрический элемент может включать в себя или представлять собой кристаллическую решетку на основе элементарных ячеек. Элементарная ячейка может характеризоваться определенной формой. Форма элементарной ячейки может быть любой, включая формы, описанные где-либо еще в настоящем документе. В одном из примеров элементарная ячейка может иметь форму гироида, двойного гироида, модифицированного гироида или модифицированного двойного гироида. В некоторых случаях для целей 3D-печати подходящим геометрическим элементом может служить гироид, поскольку он представляет собой самоподдерживающийся элемент, не требующий наличия дополнительной внешней опоры для изготовления 3D-объекта, включающего в себя указанную структуру. В некоторых примерах указанная структура содержит каналы диаметром от 150 мкм до 600 мкм и внутримембранное пространство (например, материал, который разделяет две независимые схемы) толщиной от 200 мкм до 400 мкм в самом тонком месте. В таких примерах для обеспечения достаточной степени детализации на каждой кромке должен быть предусмотрен воксел размером 15 мкм для плавного завершения структуры размером 300 мкм. Чем меньше будет размер воксела, тем более гладкой будет поверхность в макромасштабе.

[0193] Система печати согласно настоящему изобретению может также применяться для печати биореакторов. В некоторых примерах система печати используется для создания биореактора, такого как миниатюрный биореактор. В некоторых примерах биореактор состоит из множества микромодулей. Каждый микромодуль может характеризоваться определенной формой, и микромодули могут быть встроены, например, впечатаны в макроструктуру. В настоящем документе также приведены примеры таких биореакторов с различными макроструктурами и микромодулями. Биореакторы согласно настоящему изобретению содержат различные макроструктуры, различные микромодули разных форм и различные характеристики, подробно описанные в любом ином месте настоящего документа. Настоящим изобретением также предложены способы изготовления и использования таких биореакторов.

[0194] В некоторых примерах система печати, описанная в настоящем документе, может генерировать микромодули разного размера, например, такого, что один или оба канала структуры (например, микромодуль и/или микромодули, сведенные в макроструктуру, такую как биореактор или слой биореактора) могут вмещать в себя поток объектов заданного размера (например, поток биологических организмов и клеток). В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения, по меньшей мере, один из каналов структуры выполнен с возможностью ограничения количества клеток,

проходящих по этому каналу в любой его точке, например, с возможностью пропускания клеток по одной, а не множества клеток, двигающихся вместе. В некоторых примерах диаметр канала немного превышает размер одной клетки; например, канал примерно на 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% или 40% шире, чем диаметр одной клетки, включая приращения. В некоторых примерах размер клетки лежит в пределах от около 0,5 мкм до около 100 мкм. В некоторых примерах клетка представляет собой прокариотическую клетку, а размер одной клетки лежит в пределах от около 0,5 мкм до около 5 мкм. В некоторых примерах клетка представляет собой микроорганизм, такой как бактерия, дрожжевой грибок и плесень, а размер клетки варьируется в пределах от около 0,5 мкм до около 30 мкм или в пределах от около 3 мкм до около 30 мкм. В некоторых примерах клетка представляет собой эукариотическую клетку, а размер одной клетки лежит в пределах от около 10 мкм до около 100 мкм или в пределах от около 10 мкм до около 30 мкм.

[0195] В некоторых примерах может быть напечатан микромодуль с каналом диаметром от около 8 мкм до 2000 мкм. В некоторых примерах может быть напечатан микромодуль с кромкой в 40-9797 мкм. В примерах, приведенных в настоящем документе, может быть напечатан микромодуль объемом от около 68417 до $9{,}4\times10^{11}$ кубических микрометров.

[0196] В некоторых примерах микромодули могут характеризоваться регулярной структурой в виде кубической упаковки с кромкой длиной L. Величина L может быть увязана с общим диаметром. В некоторых примерах величина L равна двум третям общего диаметра микроканала, умноженного на квадратный корень двух, умноженного на квадратный корень трех. Полная поверхность и объем микроканалов, соответствующих жидкому компоненту, могут быть равны соответствующим размерам газообразного компонента при одинаковом радиусе обоих этих компонентов в микромодулях. В некоторых примерах может быть предусмотрен разный радиус компонентов. В некоторых примерах, когда оба радиуса равны друг другу, радиус микроканала не может превышать 0,7 общего радиуса. Самое короткое расстояние между двумя микромодулями двух разных граней равно общему радиусу, умноженному на квадратный корень двух за вычетом добавления радиуса канала каждого компонента.

[0197] В некоторых примерах площадь первого канала в пределах DG может быть равна площади второго канала в пределах DG, причем площадь матричной фазы является суммой площади первого канала и площади второго канала. Расстояние между матричной фазой, разделяющей каналы и центр каждого из каналов, является неизменным.

[0198] В некоторых примерах система печати может напечатать ряд микромодулей в макроструктуре. В некоторых примерах микромодуль представляет собой модифицированный двойной гироид (DG), который встраивается в макроструктуру для создания 3D-объекта, такого как биореактор. В некоторых примерах микромодули могут располагаться в макроструктуре послойно. Блок соединенных между собой и идентично ориентированных микромодулей называется «слоем». Слой может иметь, например,

ромбовидную форму, вследствие чего в некоторых примерах, если в выбранных направлениях соединено одинаковое количество модулей, итоговый рост не будет пропорциональным, и поэтому нарастание слоев относительно друг друга будет неравномерным. В некоторых примерах слой имеет квадратную форму или такую форму, которая обеспечивает пропорциональность итогового роста.

[0199] В некоторых примерах первая сборка слоев микромодулей («первая матрица») может быть совмещена со второй сборкой слоев микромодулей («вторая матрица»), причем вторая матрица занимает свободные пространства, оставленные первой матрицей, и при этом матрицы, занимающие один и тот же объем, не имеют точек соприкосновения и располагаются на постоянном минимальном расстоянии друг от друга.

[0200] В некоторых примерах микромодули могут быть сведены в макроструктуру в виде полой пирамиды. В некоторых примерах макроструктура в виде полой пирамиды может создать биореактор в виде полой пирамиды, описанный где-либо еще в настоящем документе. Полая пирамида может характеризоваться определенным объемом в полом центре и увеличивающимся поперечным сечением. В некоторых примерах полая пирамида может характеризоваться увеличением объема между слоями (т.е. увеличением количества микромодулей, добавленных между одним слоем и следующим слоем в направлении течения) и упорядоченной структурой, обеспечиваемой: (i) чередующимся направлением роста между кромками ее внешнего периметра; и (ii) увеличением ее внутреннего периметра (т.е. периметра внутреннего полого центра). Например, если величина N обозначает количество модулей на одной из кромок внешнего периметра полой пирамиды, а величина n обозначает количество микромодулей, которые составляют одну из кромок внутреннего периметра полой пирамиды, то если в одном слое N=(8; 8), тогда n=(4; 4). Эта логика поочередно повторяется между наружными кромками пирамиды в каждом слое и в направлении по часовой стрелке (с учетом направления течения). В результате получается ступенчатая пирамида, ступени которой образуют граненую спираль. Внутренний периметр также характеризуется спиральным ростом, но с меньшей частотой в сравнении с внешним периметром, а направление роста по внутреннему периметру противоположно направлению роста по внешнему периметру.

[0201] Согласно некоторым примерам осуществления настоящего изобретения предложены способы и системы (например, устройство для 3D-печати, другие системы, такие как аппаратные средства и программные средства, а также любые способы, системы или материалы, описанные где-либо еще в настоящем документе) для генерирования пластинчатой макроструктуры. В некоторых примерах пластинчатая макроструктура может быть использована в качестве пластинчатого биореактора. В некоторых примерах биореактор использует пластинчатую макроструктуру, состоящую из множества микромодулей. Микромодули могут представлять собой DG, или же они могут иметь другую форму. Пластинчатая макроструктура характеризуется наличием пленки постоянной толщины и увеличивающимся поперечным сечением, содержащим микромодули. Постоянная толщина пленки обеспечивает равномерное поступление

веществ в биореактор, например, из питающей схемы. Увеличение объема между слоями (т.е. количества модулей, добавленных между одним слоем и соседним слоем в направлении течения) может быть обусловлено биореактором, и может быть упорядочено чередующимся направлением роста между самыми короткими краями пленок. В пластинчатой макроструктуре может быть предусмотрена одна или несколько пленок, например, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 или больше пленок, располагающихся параллельно друг другу. Пространство между каждой пленкой может быть использовано для размещения питающей схемы или ее части, которая питает модули в пленке.

[0202] В некоторых примерах способы и системы согласно настоящему изобретению могут быть использованы для создания дерева, такого как макроструктура в виде шахматной доски. Макроструктура в виде шахматной доски может составить биореактор в виде шахматной доски. В некоторых примерах микромодули любой формы (например, в форме DG или в любой иной форме, описанной где-либо еще в настоящем документе) могут быть сведены в древовидно-шахматную макроструктуру, которая содержит, по меньшей мере, один столбец с постоянным поперечным сечением, который пересекает в продольном направлении слои микромодулей. В некоторых примерах древовидно-шахматная макроструктура содержит 1, 2, 3, 4 или больше таких столбцов. Эти столбцы могут быть использованы для предоставления пространства для транспортировки жидких сред и прочих веществ по каналам, которые следуют за продольным столбцом.

[0203] В некоторых примерах системы и способы 3D-печати согласно настоящему изобретению, такие как системы печати, могут предоставит функциональные возможности по непрерывной печати поверхности с высоким разрешением, например, для построения биореакторов с макроструктурами, содержащими повторяющиеся микромодули. В некоторых примерах площадь печати может достигать 320 мм на 320 мм. В некоторых примерах площадь печати может достигать 320 мм на 320 мм, и каждый полностью насыщенный куб с размерами области печати 1×1 x 1 мм удерживает до около 14 616 микромодулей (например, таких как DG или модифицированные DG). В некоторых примерах объем печати составляет до около 320 мм x 1000 мм (координаты X, Y, Z объема печати), и объем печати удерживает до около 1 496 704 035 микромодулей или меньше. Хотя во многих примерах способы, устройства и системы 3D-печати используются для изготовления биореакторов, такие способы, устройства и системы 3D-печати могут быть также использованы для получения любого другого объекта, такого как 3D-объект. Аналогичным образом, хотя во многих примерах реакционные сосуды, такие как биореакторы, изготавливаются с использованием систем и способов 3D-печати, описанных в настоящем документе, в других примерах такие биореакторы могут быть изготовлены по другим методикам.

[0204] Настоящим изобретением предложены способы построения 3D-объектов с помощью таких технологий, как 3D-печать, которые могут предусматривать использование способов и систем, описанных где-либо еще в настоящем документе. В

некоторых примерах способы и/или системы согласно настоящему изобретению могут быть использованы для построения 3D-структур, которые могут применяться в различных сферах. В некоторых случаях 3D-структура, подлежащая построению или изготовлению, может содержать части, компоненты, сегменты или структурные единицы, такие как подблоки или модули, которые в некоторых случаях могут быть сведены в определенную структуру или объект. К примеру, 3D-объектом может служить реакционный сосуд или биореактор. Биореактор может соответствовать любому биореактору, описанному где-либо еще в настоящем документе. Биореактор может содержать один или несколько микромодулей. Микромодули биореактора могут быть сведены в макроструктуру. Макроструктура может представлять собой макроструктуру биореактора согласно настоящему изобретению.

[0205] В некоторых примерах реализации способов, описанных в настоящем документе, пространство может быть математически описано непрерывной и/или упорядоченной матрицей. Матрица может характеризоваться любым количеством размеров, например, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 размерами или больше. В одном из примеров матрица может представлять собой 3D-матрицу. Пространство может представлять собой 3D-пространство. В некоторых случаях матрица может быть непрерывной и упорядоченной, такой как непрерывная и упорядоченная трехмерная (3D) матрица. Матрица может определять границы доступных пространств, где могут размещаться элементы, для функционализации пространства в соответствие с требованиями к пространству, которое они занимают. Этот способ может быть реализован с помощью компьютера. Настоящим изобретением предложена компьютерная система, которая может быть использована для реализации способов согласно настоящему изобретению. В некоторых примерах эти способы могут включать в себя компьютеризированные способы, такие как программы, код или набор команд для реализации способов, описанных в настоящем документе. Такие способы могут быть подробнее описаны в других разделах настоящего документа.

[0206] В некоторых случаях микромодули могут быть сведены в определенные структуры (например, макроструктуры), обеспечивающие целевое управление средами, а также течением и распределением газов в структуре (например, в биореакторе). В других примерах этот же подход может быть реализован для получения множества частей, блоков, компонентов, модулей или микромодулей для построения структуры, отличной от реактора или биореактора. Трехмерные объекты, структуры или модули, полученные с использованием способов или систем согласно настоящему изобретению, могут быть использованы в самых разных сферах применения.

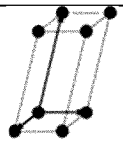
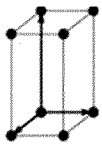
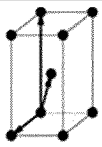
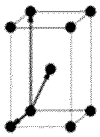
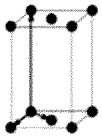
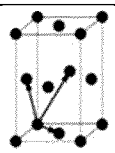
[0207] В некоторых примерах микромодули могут характеризоваться определенной формой или структурой. Такая форма или структура может представлять собой любую форму или структуру, описанную где-либо еще в настоящем документе. В одном из примеров микромодуль может иметь форму или структуру модифицированного двойного гироида (DG), который может быть встроен в макроструктуру для создания

производственного биореактора согласно настоящему изобретению. На фиг. 33A-33F проиллюстрирована сборка, начинающаяся с первого микромодуля (например, DG), и сборка дополнительных микромодулей, вследствие чего обеспечивается повторение геометрии с формированием трехмерной (3D) матрицы, рост которой может быть ограничен двумя из трех возможных размеров. Связанные точки, соединяющие один микромодуль с другим микромодулем, могут называться «раструбом». Эта первая сборка взаимосоединенных микромодулей, которые могут быть идентично ориентированы, называется «слоем». Слой может быть выстроен, например, в форме ромба таким образом, что в некоторых примерах в выбранных направлениях соединено одинаковое количество модулей, а итоговый рост непропорционален, и поэтому рост слоев оказывается неравномерным по отношению друг к другу. В некоторых примерах слой быть выстроен в форме квадрата или таким образом, что итоговый рост будет пропорциональным. На фиг. 33D-33F проиллюстрирован один из примеров сборки и роста слоев. Сборка и рост слоев могут происходить в любом направлении.

[0208] Микромодули могут представлять собой компоновочные блоки более крупной структуры, которой может служить биореактор. Микромодули могут быть построены путем сборки множества компоновочных единиц меньшего размера, таких как элементарные ячейки, которыми могут служить вокселы, которые могут быть использованы для задания пространства или определенной структуры в пространстве. Элементарная ячейка может характеризоваться определенной формой. Микромодуль может иметь любую форму, например, любую геометрическую форму, и характеризоваться любыми размерами. Микромодуль может представлять собой кристаллографическую элементарную ячейку, которая может быть использована для упорядочения или задания пространства. Например, пространство или его характеристика может быть задана, построена или сформована в зависимости от наличия или отсутствия элементарной ячейки или от ее положения в пространстве. Например, в заданной области пространства может быть обеспечена высокая плотность взятых для примера элементарных ячеек или вокселов для задания или создания монолитного объекта. Например, большое количество элементарных ячеек или вокселов может располагаться в пределах небольшой области; следовательно, эта область может быть плотно заполнена элементарными ячейками или вокселами, и она может быть задана или воспринята пользователем, субъектом, программными средствами, машиной или искусственным интеллектом (AI) как монолитная структура, такая как стенка заданной толщины. В другом примере элементарные ячейки могут быть разреженны в заданной области. В таких случаях элементарные ячейки или вокселы могут собираться для формирования полого пространства, по существу пустого пространства, канала, отверстия или иного элемента подобного рода. Например, ряд элементарных ячеек подходящей формы может быть собран для того, чтобы создать микромодуль или компоновочный блок, такой как тракт или полая камера, такая как полая камера биореактора (например, камера 4840). Настоящим изобретением предложены способы построения таких конструкций. Способ

построения таких конструкций может быть реализован с помощью компьютерных систем, например, программных компонентов, описанных в настоящем документе, искусственного интеллекта (AI), машинного обучения, других компьютеризированных способов и любых их сочетаний. В некоторых примерах компьютеризированные способы могут предоставить набор команд (например, исполняемых команд), которые могут быть использованы устройствами, описанными в настоящем документе, для 3D-печати заданных структур, таких как биореактор согласно настоящему изобретению.

[0209] Микромодуль может быть построен путем сборки множества компоновочных единиц меньшего размера, таких как вокселы или элементарные ячейки. В некоторых примерах микромодуль может состоять из кристаллографических элементарных ячеек, которые могут быть использованы для задания и/или упорядочения пространства, такого как 3D-пространство, в соответствии со способами согласно настоящему изобретению. Форма элементарной ячейки может относиться к определенному классу. Примеры такого класса элементарных ячеек или кристаллографических элементарных ячеек могут включать в себя класс примитивных, объемно-центрированных, гранецентрированных, бокоцентрированных ячеек, другие классы ячеек и их сочетания. Примеры формы элементарной ячейки могут включать в себя кубическую форму, сферическую форму, прямоугольную форму, пирамидальную форму, форму гироида, форму двойного гироида, триклинную форму, моноклинную форму, орторомбическую форму, тригональную форму, гексагональную форму или любую иную геометрическую форму. Варианты формы элементарной ячейки могут включать в себя решетку Браве. Решетка Браве может характеризоваться формой, описанной в настоящем документе. Примеры решетки Браве и форм элементарных ячеек или кристаллографических ячеек представлены в Таблице 1.1. Элементарная ячейка может быть использована в качестве воксела для упорядочивания или генерирования пространства и создания микромодуля.

Решетка Браве	Параметры	Простая (P)	Объемно-центрированная (I)	Базо-центрированная (C)	Гране-центрированная (F)
Триклинная	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} \neq \alpha_{23} \neq \alpha_{31}$				
Моноклинная	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$ $\alpha_{12} \neq 90°$				
Орторомбическая	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$				

Тетрагональная	$a_1 = a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$				
Тригональная	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} < 120°$				
Кубическая	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$				
Гексагональная	$a_1 = a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = 120°$ $\alpha_{23} = \alpha_{31} = 90°$				

Таблица 1.1: Решетки Браве в трехмерном представлении

[0210] Кристаллографическая ячейка или элементарная ячейка может содержать один или несколько элементов, а в некоторых случаях - бесконечное количество элементов. Элемент может представлять собой набор координат, которым может быть придано определенное значение. Примеры элемента могут включать в себя точку, собственную ось, несобственную ось, центр, плоскость или иной элемент. В некоторых примерах сборка из элементарных ячеек и элементов может сформировать структуру, такую как макроструктура или микромодуль. В одном из примеров такие сборки могут сформировать полый цилиндр, который может быть выполнен с возможностью обеспечения прохождения через него текучей среды, такой как газ или жидкость. Например, сборка из элементарных ячеек, элементов и/или их комбинаций может сформировать канал, тракт, камеру или иной микромодуль или компоновочный блок биореактора, описанный в настоящем документе, такой как канал (например, канал 4820, 4810 или иной канал, описанный где-либо еще в настоящем документе). В некоторых примерах сборка из элементарных ячеек и элементов может сформировать монолитную структуру, такую как сплошная стенка, сплошной блок или иная структура.

[0211] В некоторых случаях схема размещения элементов в пределах элементарных ячеек (например, в кристаллографической ячейке или кристалле) может иметь большое значение для минимизации или предотвращения в максимально возможной степени потенциальных нарушений функциональной целостности в рассматриваемом объеме или структуре, которая получена путем сборки таких элементарных ячеек и/или элементов. В некоторых примерах размещение элементарных ячеек и/или элементов может осуществляться с помощью иллюстративных математических команд, уравнений или формулировок, которые могут включать в себя математическую функцию, математическую операцию и/или математический оператор. Одним из примеров такого математического оператора может служить оператор симметрии.

[0212] Математический оператор может, в общем, называться отображением или функцией, которая может воздействовать на элементы первого пространства (например, 3D-пространства) для создания элементов другого пространства. В некоторых случаях второе пространство может совпадать с первым пространством. Один из операторов может представлять собой линейное отображение, которое может воздействовать на векторное пространство. В некоторых случаях оператор может сохранить определенное свойство пространства и/или элементов, такое как их непрерывность. Оператором может служить линейный оператор, ограниченный оператор или оператор иного типа. Примеры операторов, которые могут быть использованы в отношении элементов, могут включать в себя оператор переноса, оператор вращения, обратный оператор, оператор отражения и оператор тождественности. Одним из примеров оператора, который может быть использован для реализации способов согласно настоящему изобретению, может служить оператор симметрии.

[0213] В некоторых примерах микромодули биореактора могут иметь форму двойного гироида или модифицированного двойного гироида. Двойной гироид (DG) содержит два гироида, и он может включать в себя две проросшие неперекрывающиеся области. Модифицированный двойной гироид (DG) может включать в себя две проросшие неперекрывающиеся области, которые могут быть ограничены двумя поверхностями постоянной гауссовой кривизны (CMC), разделенными матричной фазой. Структура в виде модифицированного двойного гироида может содержать незначительные модификации для соединения с немодифицированным двойным гироидом с целью адаптации структуры под заданную макроструктуру или функцию. Модификации могут включать в себя блокирование части соединений или пересечений (например «раструбов»), изменение диаметра канала для одной или обеих фаз в структуре или полное или частичное удаление любого из фазных каналов, имеющихся в структуре DG. Двойной гироид (DG) или модифицированный DG может включать в себя первую гироидную структуру, переплетенную со второй гироидной структурой. Два канала могут быть разделены, например, пористой мембраной.

[0214] В одном из примеров в биореакторе согласно настоящему изобретению на обеих кромках каждого слоя несвязанные раструбы ячеек (например, микромодулей) могут быть использованы для соединения слоя с другими функциональными элементами, такими как вход для потока сред или газа и выход для отработавших сред (например, собирающий слой 4610 и/или собирающий канал 4696) и отработавшего газа (например, газозаборный канал, канал для сбора газа, не показан), а также выход для клеток или биопродукта, производимого клетками. В некоторых случаях выход для клеток или биопродуктов, производимых клетками, может совпадать с выходом для отработавших сред или отличаться от него.

[0215] В некоторых примерах первая сборка слоев микромодулей («первая матрица») может быть совмещена со второй сборкой слоев микромодулей («вторая матрица»), причем вторая матрица занимает свободные пространства, оставленные первой

матрицей, и при этом матрицы, занимающие один и тот же объем, могут не иметь точек соприкосновения и могут располагаться на постоянном минимальном расстоянии друг от друга. В дополнительных примерах сборки слоев микромодулей более высокого порядка могут быть получены путем совмещения одной или нескольких последующих матриц (например, второй матрицы, третьей матрицы, четвертой матрицы, пятой матрицы и т.д.) с исходной матрицей, вследствие чего одна или несколько последующих матриц займут свободные пространства, оставленные исходной матрицей, причем матрицы, занимающие один и тот же объем, и они могут не иметь точек соприкосновения и могут располагаться на постоянном минимальном расстоянии друг от друга. Пример сборки из двух матриц приведен на фиг. 34A-34F. На фиг. 34A приведен пример части двойного гироида, вписанного в куб. На фиг. 34B показан вид под прямым углом и в частичном разрезе структуры, показанной на фиг. 34A. На фиг. 34C и 34D приведен пример направления роста второго слоя относительно первого слоя. На фиг. 34E приведен пример объема, вычтенного из пирамиды, и роста в направлении против часовой стрелки. На фиг. 34F приведен пример направления роста макроструктуры по часовой стрелке вдоль вертикальной оси полой пирамиды.

Примеры макроструктур

Макроструктура в виде полой пирамиды

[0216] В некоторых примерах микромодули могут быть сведены в макроструктуру в виде полой пирамиды. Макроструктура в виде полой пирамиды может характеризоваться определенным объемом в полом центре и увеличивающимся поперечным сечением. Используя макроструктуру в виде полой пирамиды, питающая схема может обслуживать как внешний, так и внутренний периметр. Для построения полой пирамиды матрица может иметь исходный слой, который может быть связан с распределителем, и слой, который - в свою очередь - может соединяться с коллектором. Количество верхних раструбов исходного слоя, если считать от нижних раструбов слоя, которые соединяются с коллектором, могут относиться к набору $M=2^n$. Таким образом, собирающие каналы (или деревья) могут разветвляться попарно и сбалансированно. Дерево может представлять собой распределенную структуру (на входе) и сведенную структуру (на выходе) биореактора. В некоторых случаях биореактор может быть беспузырьковым. Как на входе, так и на выходе биореактора и/или его модуля канал может переходить или разветвляться на множество каналов, например, на 2^n каналов. Увеличение объема между слоями (т.е. увеличение количества микромодулей, добавленных между одним слоем и следующим слоем в направлении течения) может быть обусловлено биореактором и может быть упорядочено за счет: (i) чередующегося направления роста между кромками ее внешнего периметра; и (ii) увеличения ее внутреннего периметра (т.е. периметра внутреннего полого центра). Например, если величина N обозначает количество модулей на одной из кромок внешнего периметра полой пирамиды, а величина n обозначает количество микромодулей, которые составляют одну из кромок внутреннего периметра полой пирамиды, то если в одном слое N=(8; 8),

тогда n=(4; 4) (см., например, фиг. 36). Эта логика поочередно повторяется между наружными кромками пирамиды в каждом слое и в направлении по часовой стрелке (с учетом направления течения). В результате образуется ступенчатая пирамида, ступени которой образуют граненую спираль. В некоторых примерах внутренний периметр также может характеризоваться спиральным ростом, в некоторых случаях - с меньшей частотой в сравнении с внешним периметром, а направление роста по внутреннему периметру противоположно направлению роста по внешнему периметру (см. фиг. 37A и 37B). В некоторых примерах взаимодействие между внутренней и внешней спиралями и направлением течения может привести к вихревому перемещению текучих сред внутри структуры в виде полой пирамиды.

[0217] В некоторых примерах система питания биореактора может быть соединена с биореактором посредством одного или нескольких каналов, таких как подканалы. Подканал питающей схемы может охватывать периметр одного или нескольких слоев в биореакторе с отступом на некоторое расстояние (например, на равное расстояние) на каждой лицевой поверхности заданного слоя. Подканалы могут соединяться у одного или нескольких раструбов микромодулей в виде кромок слоя. Один из примеров набора соединений показан на фиг. 36A-36F.

[0218] В некоторых примерах питающая схема может соединяться с биореактором в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 или более точках. В одном из примеров питающая схема может обслуживать биореактор с макроструктурой в виде полой пирамиды, и эта питающая схема может подразделяться на пять подканалов. Один или несколько таких подканалов могут заходить во внутренний канал пирамиды, а остальные питающие подканалы - проходить параллельно кромкам каждого слоя (внутренним каналам). Баланс давления и расхода питающей схемы может поддерживаться за счет пропорциональности внешних и/или внутренних каналов системы питания. Один из примеров питающей схемы для полой пирамиды показан на фиг. 38.

Пластинчатая макроструктура

[0219] В некоторых примерах макроструктура биореактора может быть пластинчатой. В некоторых примерах система питания может быть соединена с биореактором посредством одного или нескольких подканалов. Подканал питающей схемы может охватывать периметр одного или нескольких слоев в биореакторе с отступом на равное расстояние на каждой лицевой поверхности заданного слоя. Подканалы могут соединяться у одного или нескольких раструбов микромодулей в виде кромок слоя. Один из примеров набора соединений показан на фиг. 35A-35F.

[0220] В некоторых примерах биореактор может использовать пластинчатую макроструктуру, состоящую из микромодулей. Эти микромодули могут характеризоваться любой формой или структурой. Такая форма или структура может представлять собой любую форму или структуру, описанную где-либо еще в настоящем документе, такую как, например, DG или иная форма или структура. Пластинчатая макроструктура может характеризоваться наличием пленки постоянной толщины и увеличивающимся

поперечным сечением, состоящим из микромодулей. Постоянная толщина пленки обеспечивает возможность равномерной или уравновешенной подачи веществ из питающей схемы. Увеличение объема между слоями (т.е. количества модулей, добавленных между одним слоем и соседним слоем в направлении течения) может быть обусловлено биореактором, и может быть упорядочено чередующимся направлением роста между самыми короткими краями пленок (см., например, фиг. 39). В пластинчатой макроструктуре может быть предусмотрена одна или несколько пленок, например, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 или больше пленок, которые могут располагаться параллельно или по иной схеме. Пространство между каждой из пленок может быть использовано для размещения питающей схемы или ее части, которая может питать модули в пленке (см., например, фиг. 40).

Шахматная макроструктура

[0221] В некоторых примерах микромодули могут быть сведены в древовидно-шахматную макроструктуру, которая может характеризоваться наличием, по меньшей мере, одного полого столбца с поперечным сечением постоянного размера, который может пересекать (например, в продольном направлении или в каком-либо еще направлении) слои микромодулей. В некоторых примерах древовидно-шахматная макроструктура может содержать 1, 2, 3, 4 или больше таких столбцов. Эти столбцы могут быть использованы для предоставления пространства для транспортировки жидких сред и прочих веществ по каналам и/или иным структурам, которые следуют за продольным столбцом. Сбор отработавших сред, газа, клеток и биопродуктов может осуществляться на одной или нескольких или всех наружных поверхностях структуры, например, под действием разности давления в центре столбца и на наружных поверхностях или с помощью другого метода или усилия. Один из примеров древовидно-шахматной макроструктуры приведен на фиг. 41, а один из примеров схемы питания и сбора показан на фиг. 42.

Сферическая макроструктура

[0222] В некоторых примерах микромодули могут быть сведены в сферическую макроструктуру. Сферическая макроструктура может быть использована для создания сферического биореактора. Один из примеров сферической макроструктуры с множеством микромодулей приведен на фиг. 52. Множество микромодулей 5210 сведено в 3D-макроструктуру сферической формы.

[0223] Примеры реализации сферического биореактора показаны на фиг. 46A, 46B и 47 и подробно описаны в других разделах настоящего документа.

Соединительные системы

[0224] Модули могут быть соединены или связаны друг с другом или сообщаться между собой по текучей среде с помощью одной или нескольких соединительных систем. На фиг. 43A и 43B приведен пример, в котором соединительная система может содержать соединитель, располагающийся между модулем кристалла и источником текучей среды или модулем для сбора текучей среды. Этот соединитель может содержать опору и набор

полых игл, которые обеспечивают возможность введения и выведения текучей среды и/или клеток, содержащих текучую среду. В некоторых примерах с помощью этих игл соединитель может быть соединен с первым модулем, таким как модуль кристалла. Модуль кристалла может представлять собой любой модуль кристалла, описанный где-либо еще в настоящем документе. Иглы могут быть сконфигурированы в виде наборов игл таким образом, что каждый набор игл может включать в себя одну иглу для подачи текучей среды, а другую - для вывода текучей среды из модуля кристалла. Один из концов иглы может быть использован для заведения в камеру или канал в модуле кристалла, а другой конец иглы может быть соединен с источником текучей среды, устройством сбора или другим модулем.

[0225] В некоторых примерах набор игл может содержать, по меньшей мере, одну вводную иглу и одну выводную иглу. В некоторых примерах может быть предусмотрено множество наборов игл. Каждый набор игл может быть направлен в отдельную камеру и/или отдельный канал, в который может быть направлена текучая среда, и из которого она может быть отведена.

[0226] В некоторых примерах биореакторная система согласно настоящему изобретению может содержать один или несколько модулей. Один или несколько модулей могут включать в себя модуль кристалла, тестовый биореактор, производственный биореактор и/или больше модулей. Устройство может дополнительно содержать один или несколько соединителей, которые могут соединять модули друг с другом или с внешними устройствами, компонентами, источниками, модулями и т.п. Например, соединитель может соединять модуль кристалла с одним или несколькими источниками текучей среды, такой как питательная среда, питательные добавки, химикаты, трипсин, промывные/буферные растворы, которые могут быть использованы для снабжения модуля кристалла текучей средой и, что необязательно, для отведения отработавшей текучей среды. В некоторых примерах соединитель может соединять модуль кристалла со вторым модулем, таким как тестовый биореактор или производственный биореактор, например, для переноса клеток из одного модуля в другой модуль.

[0227] В одном из примеров соединительная система может дополнительно содержать очистительную камеру, благодаря наличию которой иглы могут очищаться и/или стерилизоваться до захода в модуль, такой как модуль кристалла. В одном из примеров очистительная камера может включать в себя одну или несколько камер (например, отдельных камер) на одном из концов модуля кристалла. В некоторых примерах очистительная камера/камеры могут быть ограничены на своем первом конце перегородкой, которая может отделять очистительную камеру от внешней среды, и через которую иглы могут заходить в очистительную камеру с одного из концов. В некоторых примерах на своем втором конце очистительная камера может быть ограничена защитной пленкой или иной ограничивающей поверхностью, которая может содержать чистящую или стерилизующую текучую среду (или газ) в очистительной камере. Соединитель в таких примерах может быть соединен на другом конце игл с источником текучей среды,

такой как чистящее или обеззараживающее средство и промывочный раствор/растворы.

[0228] На другой стороне защитной пленки или ограничивающей поверхности может быть предусмотрен канал. После очистки и стерилизации иглы могут быть заведены в этот канал через защитную пленку или ограничивающую поверхность. Этот канал может представлять собой канал для питательной среды, по которому питательная среда перетекает с иглы на другие участки в пределах кристалла. Этот канал может представлять собой собирающий канал, из которого клетки, находящиеся в пределах кристалла (такие как клетки, растущие и размножающиеся в кристалле), могут быть впоследствии направлены в канал, а затем - через иглу в отдельный модуль или компонент для их сбора. Этот канал может представлять собой сбросной канал, по которому отработавшие среды могут направляться и удаляться из кристалла.

[0229] На фиг. 43C приведен пример соединений, установленных соединительной системой с компонентами, содержащими питательные среды и обеззараживающее средство, а также с модулем для сбора отходов и с тестовым модулем. От соединительной системы отходят соединительные трубки или каналы, в которых в некоторых случаях могут быть использованы клапаны для направления текучих сред из соединителя в соответствующий источник, коллектор или модуль.

[0230] На фиг. 43D приведен пример соединительной системы с иглами, проникающими в первую камеру в модуле кристалла, например, для очистки и стерилизации или в иных целях, который иллюстрирует один из примеров реализации соединительной системы в процессе очистки, где текучая среда перетекает из компонента, содержащего обеззараживающую текучую среду, в обеззараживающие камеры в модуле кристалла, причем один из наборов игл предназначен для удаления отработавшей обеззараживающей текучей среды.

[0231] На фиг. 43E приведен пример соединительной системы с иглами, проникающими во вторую камеру после очистки/стерилизации. Первый набор игл (слева) может располагаться таким образом, что вводная игла заходит в канал/каналы для питательной среды и обеспечивает возможность захождения новой питательной среды в модуль кристалла. Средний набор игл может располагаться таким образом, что одна из игл удаляет отработавшие среды и культуральные отходы из канала в модуле кристалла. Третий набор игл (справа) может располагаться таким образом, что только выводная игла проникает в камеру/канал и устанавливается в положение для удаления среды и клеток из модуля кристалла.

Материалы для построения модулей биореактора и прочих печатных объектов

[0232] Системы, компоненты и модули, описанные в настоящем документе, могут быть выполнены из самых разных материалов, которые могут быть адаптированы под используемые для выращивания клетки и клеточные среды. В некоторых примерах компоненты и модули или их части изготавливаются методом 3D-печати с использованием системы печати, описанной в настоящем документе. При печати могут

быть использованы доступные на рынке смолы и биосовместимые полимеры, отверждаемые под действием ультрафиолета (УФ). В некоторых примерах используемые биоматериалы могут включать в себя сочетание трех подкомпонентов: биосовместимого полимера, фотоинициатора и поглотителя УФ-излучения.

[0233] Примеры смол включают в себя, помимо прочего, поликапролактон (PCL), полиэтиленгликоль (PEG), полиэтиленгликоль диакрилат (PEGDA), полигликолиевую кислоту (PGA), полилактидную кислоту (PLA), молочная-со-гликолевую кислоту, полипропилен фумарат (PPF), полиуретан (PU), поливиниловый спирт (PVA), шелк, поли(глицеролсебацинат) акрилат (PGSA), эпоксидные смолы, смолы на основе натуральных полимеров, смолы на основе биокерамики, смолы на основе альгинатов, смолы на основе GelMA, смолы на основе нанокомпозитов, биочернила и смолы на основе целлюлозы.

Компьютерные системы

[0234] На фиг. 32 представлена блок-схема, иллюстрирующая один из примеров реализации машины, которая включает в себя, по меньшей мере, один процессор 3200 (например, систему обработки данных или вычислительную систему), в пределах которой может исполняться набор команд, инициирующих выполнение устройством одного или нескольких аспектов и/или методов статического планирования программного кода согласно настоящему изобретению.

[0235] Устройство 3200 обработки данных может включать в себя один или несколько процессоров 3201, память 3203 и стационарную память 3208, которые могут сообщаться друг с другом и с другими компонентами посредством шины 3240. Шина 3240 может также связывать дисплей 3232, одно или несколько устройств 3233 ввода (которыми могут служить, например, клавишная панель, клавиатура, мышь, стилус или иное устройство подобного рода), одно или несколько устройств 3235 вывода и различные физические носители данных 3236. Все эти элементы могут быть связаны с шиной 3240 напрямую или через один или несколько интерфейсов или адаптеров. Например, различные физические носители данных 3236 могут быть связаны с шиной 3240 через интерфейс 3226 носителей данных. Устройство 3200 обработки данных может быть представлено в любом подходящем физическим виде, в том числе, помимо прочего, в виде одной или нескольких интегральных схем (IC), печатных монтажных плат (PCB), мобильных переносных устройств (таких как мобильные телефоны или карманные персональные компьютеры (PDA)), лэптопов или ноутбуков, распределенных вычислительных систем, сетей вычислительных средств или серверов.

[0236] Устройство 3200 обработки данных может включать в себя один или несколько процессоров 3201 (например, центральный процессоры (CPU), графические процессоры (GPGPU) общего назначения или квантовые процессоры (QPU)), которые выполняют определенные функции. Процессор/процессоры 3201 необязательно содержат блок 3202 кэш-памяти для временного хранения команд, данных или компьютерных адресов. Процессор/процессоры 3201 выполнены с возможностью осуществления

содействия в исполнении машиночитаемых команд. Устройство 3200 обработки данных может обеспечивать функционирование компонентов, изображенных на фиг. 32, в результате действий процессора/процессоров 3201, исполняющих энергонезависимые, исполняемые процессором команды, включенные в один или несколько машиночитаемых носителей данных, таких как память 3203, стационарная память 3208, запоминающие устройства 3235 и/или носители данных 3236. В машиночитаемых носителях данных может храниться программное обеспечение, которое может реализовать способ согласно настоящему изобретению, и которое может приводиться в исполнение процессором/процессорами 3201. Память 3203 может считывать программное обеспечение с одного или нескольких машиночитаемых носителей (таких как запоминающее устройство/устройства 3235 и 3236 большой емкости) или с одного или нескольких иных источников данных через подходящий интерфейс, такой как сетевой интерфейс 3220. Программное обеспечение может инициировать выполнение процессором/процессорами 3201 одного или нескольких процессов или одной или нескольких стадий одного или нескольких процессов, описанных или проиллюстрированных в настоящем документе. Выполнение таких процессов или стадий может предусматривать определение структур данных, хранящихся в памяти 3203, и модифицирование структур данных в соответствии с указаниями программного обеспечения.

[0237] Память 3203 может включать в себя различные компоненты (например, машиночитаемые носители), в том числе, помимо прочего, оперативное запоминающее устройство (например, RAM 3204) (например, статическое RAM (SRAM), динамическое RAM (DRAM), сегнетоэлектрическое оперативное запоминающее устройство (FRAM), оперативное запоминающее устройство на фазовых переходах (PRAM) и т.п.), постоянное запоминающее устройство (например, ROM 3205) и любые их сочетания. Память ROM 3205 может выполнять функцию однонаправленной передачи данных и команд в процессор/процессоры 3201, а память RAM 3204 может выполнять функцию двунаправленной передачи данных и команд в процессор/процессоры 3201 и из них. Память ROM 3205 и память RAM 3204 могут включать в себя любой подходящий материальный машиночитаемый носитель данных, описанный ниже. В одном из примеров в памяти 3203 может быть сохранена базовая система 3206 ввода/вывода (BIOS), включая подпрограммы, которые способствуют передачи информации между элементами в пределах устройства 3200 обработки данных, например, во время пуска.

[0238] Стационарная память 3208 двунаправленно соединена с процессором/процессорами 3201, необязательно через устройство 3207 управления памятью. Стационарная память 3208 обеспечивает дополнительные возможности по хранению данных, и она может также включать в себя любые подходящие материальные машиночитаемые носители данных, описанные в настоящем документе. Стационарная память 3208 может быть использована для хранения операционной системы 3209, исполняемого файла/файлов 3210, данных 3211, приложений 3212 (прикладных

программ) и т.п. Стационарная память 3208 может также включать в себя оптический дисковод, твердотельный накопитель (например, системы на базе флэш-памяти) или сочетание любых перечисленных элементов. В соответствующих случаях информация, содержащаяся в стационарной памяти 3208, может быть инкорпорирована в виде виртуальной памяти в память 3203.

[0239] В одном из примеров запоминающее устройство/устройства 3235 могут быть соединены с возможностью съема с устройством 3200 обработки данных (например, через разъем внешнего порта (не показан)) с помощью интерфейса 3225 запоминающих устройств. В частности, запоминающее устройство/устройства 3235 и сопряженный машиночитаемый носитель данных могут обеспечить энергонезависимое и/или энергозависимое хранение машиночитаемых команд, структур данных, программных модулей и/или иных данных для устройства 3200 обработки данных. В одном из примеров программное обеспечение может храниться полностью или частично на машиночитаемом носителе данных в запоминающем устройстве/устройствах 3235. В другом примере программное обеспечение может храниться полностью или частично в процессоре/процессорах 3201.

[0240] Шина 3240 соединяет между собой множество подсистем. В данном случае ссылка на шину может включать в себя одну или несколько цифровых сигнальных линий, выполняющих общую функцию тогда, когда это необходимо. Шина 3240 может представлять собой шинную структуру любого типа из нескольких типов шинных структур, включающих в себя, помимо прочего, шину памяти, контроллер памяти, периферийную шину, локальную шину и любые их сочетания, в которых используется любая архитектура из множества шинных архитектур. В одном из неограничивающих примеров варианты такой архитектуры включают в себя, помимо прочего, шину со стандартной промышленной архитектурой (ISA), шину с усовершенствованной стандартной промышленной архитектурой (EISA), шину с микроканальной архитектурой (MCA), локальную шину VLB (согласно требованиям Ассоциации по стандартам в области видеоэлектроники), локальную шину для подключения периферийных компонентов (PCI), высокопроизводительную шину PCI (PCI-X), шину AGP (ускоренный графический порт), гипертранспортную (HTX) шину, шину SATA (усовершенствованная технология подключения внешних устройств) и любые их сочетания.

[0241] Устройство 3200 обработки данных может также включать в себя устройство 3233 ввода. В одном из примеров пользователь устройства 3200 обработки данных может вводить команды и/или иную информацию в устройство 3200 обработки данных с помощью устройства/устройств 3233 ввода. Примеры устройства/устройств 3233 ввода включают в себя, помимо прочего, буквенно-цифровое устройство ввода (например, клавиатуру), устройство наведения (например, мышь или сенсорную панель), сенсорную панель, сенсорный экран, мультисенсорный экран, джойстик, стилус, геймпад, входное аудиоустройство (например, микрофон, систему с речевым ответом и т.п.), оптический сканер, устройство захвата неподвижного изображения или видео (например, камеру) и

любое сочетание перечисленных устройств. В некоторых примерах устройство ввода представляет собой устройство Kinect, Leap Motion или иное устройство подобного рода. Устройство/устройства 3233 ввода могут быть связаны с шиной 3240 через самые разные входные интерфейсы (например, входные интерфейсы 3223), в том числе, помимо прочего, последовательный порт, параллельный порт, игровой порт, порт USB, порт FIREWIRE, порт THUNDERBOLT или любое их сочетание.

[0242] В некоторых примерах, когда устройство 3200 обработки данных соединено с сетью 3230, это устройство обработки данных может сообщаться с другими устройствами, в частности, с мобильными устройствами и системами масштаба предприятия, распределенными вычислительными системами, системами облачного хранения данных, системами облачных вычислений и прочими устройствами и системами подобного рода, соединенными с сетью 3230. Сообщения на/из устройства 3200 обработки данных могут передаваться через сетевой интерфейс 3220. Например, сетевой интерфейс 3220 может принимать входящие сообщения (такие как запросы или ответы с других устройств) в виде одного или нескольких пакетов (таких как пакеты Интернет-протокола (IP)) из сети 3230, а устройство 3200 обработки данных может сохранять эти входящие сообщения в памяти 3203 для последующей обработки. Устройство 3200 обработки данных может аналогичным образом сохранять исходящие сообщения (такие как запросы или ответы с других устройств) в виде одного или нескольких пакетов в памяти 3203 и передаваемых в сеть 3230 через сетевой интерфейс 3220. Процессор/процессоры 3201 могут иметь доступ к этим пакетам сообщений, хранящимся в памяти 3203 для последующей обработки.

[0243] Примеры сетевых интерфейсов 3220 включают в себя, помимо прочего, плату сетевого интерфейса, модем или их сочетание. Примеры сети 3230 или сетевого сегмента 3230 включают в себя, помимо прочего, распределенную вычислительную систему, систему облачных вычислений, глобальную сеть (WAN) (например, сеть Интернет, корпоративную сеть), локальную сеть (например, сеть, связывающую офис, здание, университетский городок или иное относительно небольшое географическое пространство), телефонную сеть, прямое соединение между двумя вычислительными устройствами, одноранговую сеть или сочетания таких сетей. Сеть, такая как сеть 3230, может использовать проводной и/или беспроводной способ связи. В общем, может быть использована любая топология сети.

[0244] Информация и данные могут отображаться на дисплее 3232. Примеры дисплея 3232 включают в себя, помимо прочего, электроннолучевую трубку (CRT), жидкокристаллический дисплей (LCD), жидкокристаллический дисплей на тонкопленочных транзисторах (TFT-LCD), жидкокристаллический дисплей на органических светодиодах (OLED), такой как OLED-дисплей с пассивной матрицей (PMOLED) или OLED-дисплей с активной матрицей (AMOLED), плазменный дисплей и любое сочетание перечисленных дисплеев. Дисплей 3232 может быть сопряжен с процессором/процессорами 3201, памятью 3203 и стационарной памятью 3208, а также с

другими устройствами, такими как устройство/устройства 3233 ввода, через шину 3240. Дисплей 3232 связан с шиной 3240 через видеоинтерфейс 3222, а перенос данных между дисплеем 3232 и шиной 3240 может регулироваться с помощью устройства 3221 управления графикой. В некоторых примерах дисплеем служит видеопроектор. В некоторых примерах дисплей представляет собой наголовный дисплей (HMD), такой как шлем виртуальной реальности (VR). В некоторых примерах подходящие шлемы виртуальной реальности включают в себя, помимо прочего, VR-шлемы HTC Vive, Oculus Rift, Samsung Gear VR, Microsoft HoloLens, Razer OSVR, FOVE VR, Zeiss VR One, Avegant Glyph, Freefly и т.п. В некоторых примерах дисплей представляет собой сочетание устройств, таких как устройства, описанные в настоящем документе.

[0245] Помимо дисплея 3232 устройство 3200 обработки данных может включать в себя одно или несколько других периферийных устройств 3234 вывода, в том числе, помимо прочего, динамик, принтер, запоминающее устройство и любое их сочетание. Такие периферийные устройства 3234 вывода могут быть соединены с шиной 3240 через выходной интерфейс 3224. Примеры выходного интерфейса 3224 включают в себя, помимо прочего, последовательный порт, параллельный порт, порт USB, порт FIREWIRE, порт THUNDERBOLT и любые их сочетания.

[0246] Дополнительно или в качестве альтернативы устройство 3200 обработки данных может обеспечивать функциональные возможности логики, подключенной на постоянной основе или иным образом встроенной в схему, которая может функционировать вместо или вместе с программным обеспечением для выполнения одного или нескольких процессов или одной или нескольких стадий одного или нескольких процессов, описанных и проиллюстрированных в настоящем документе. Ссылка на программное обеспечение в представленном описании может включать в себя логику, а ссылка на логику может включать в себя программное обеспечение. Более того, ссылка на машиночитаемый носитель данных может включать в себя электрическую схему (такую как IC), в которой хранится исполняемое программное обеспечение; схему, содержащую исполняемую логику; или и ту и другую схему, если это представляется целесообразным. Настоящее изобретение охватывает любые возможные сочетания аппаратных средств, программных средств или средств обоих этих типов.

[0247] Специалистам в данной области техники очевидно, что различные проиллюстрированные логические блоки, модули, электрические схемы и шаги алгоритма, описанные в привязке к вариантам осуществления заявленного изобретения, описанным в настоящем документе, могут быть реализованы в виде электронных аппаратных средств, компьютерных программных средств или их сочетания. Для прояснения такой взаимозаменяемости аппаратных и программных средств выше описаны различные иллюстративные компоненты, блоки, модули, электрические схемы и стадии, в общем, в привязке к их функциональным возможностям.

[0248] Различные иллюстративные логические блоки, модули и электрические схемы, описанные в привязке к вариантам осуществления заявленного изобретения,

описанным в настоящем документе, могут быть реализованы или выполнены с помощью универсального процессора, цифрового сигнального процессора (DSP), специализированной заказной интегральной схемы (ASIC), программируемой логической матрицы типа FPGA или иного программируемого логического устройства, логического элемента на дискретных компонентах или транзисторной логики, дискретных аппаратных средств или любого сочетания этих элементов, сконфигурированных с возможностью выполнения функций, описанных в настоящем документе. Универсальный процессор может представлять собой микропроцессор, но в альтернативном варианте процессором может служить любой обычный процессор, контроллер, микроконтроллер или конечный автомат. Процессор может быть также реализован в виде комбинации вычислительных устройств, например, комбинации DSP и микропроцессора, множества микропроцессоров, одного или нескольких микропроцессоров во взаимодействии с ядром DSP или любой иной подобной конфигурации.

[0249] Стадии способа или алгоритма, описанные в привязке к вариантам осуществления заявленного изобретения, раскрытым в настоящем документе, могут быть реализованы напрямую аппаратными средствами или в программном модуле, приводящимся в исполнение одним или несколькими процессорами, или в виде сочетания этих двух вариантов реализации. Программный модуль может храниться в RAM, флеш-памяти, ROM, EPROM (стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство), EEPROM (электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство), в регистрах, на жестком диске, на съемном диске, в CD-ROM (ROM на компакт-дисках) или на любом другом носителе данных, известном из уровня техники. Иллюстративный носитель данных соединен с процессором таким образом, что процессор может считывать с него информацию и записывать на него информацию. В альтернативном варианте носитель данных может представлять собой составную часть процессора. Процессор и носитель данных могут находиться в ASIC. Схема ASIC может располагаться в терминале пользователя. В альтернативном варианте процессор и носитель данных могут храниться в терминале пользователя в виде дискретных элементов.

[0250] Согласно описанию, представленному в настоящем документе, подходящие устройства обработки данных включают в себя, помимо прочего, серверные компьютеры, настольные компьютеры, лэптопы, ноутбуки, субноутбуки, нетбуки, нетпады, карманные персональные компьютеры, устройства для подключения к Интернету, смартфоны и планшетные компьютеры.

[0251] В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения устройство обработки данных содержит операционную систему, выполненную с возможностью реализации исполнимых команд. Операционная система представляет собой, например, программное обеспечение, содержащее программы и данные, которые управляют аппаратными средствами устройства и предоставляют сервисы для исполнения приложений. Специалистам в данной области техники понятно, что подходящие

серверные операционные системы включают в себя, помимо прочего, FreeBSD, OpenBSD, NetBSD®, Linux, Apple® Mac OS X Server®, Oracle® Solaris®, Windows Server® и Novell® NetWare®. Специалистам в данной области техники понятно, что подходящие операционные системы для персональных компьютеров включают в себя, помимо прочего, Microsoft® Windows®, Apple® Mac OS X® и UNIX®, а также операционные системы, подобные UNIX, такие как GNU/Linux®. В некоторых примерах операционная система обеспечивается облачными вычислениями. Специалистам в данной области техники понятно, что подходящие операционные системы для смартфонов включают в себя, помимо прочего, Nokia® Symbian® OS, Apple® iOS®, Research In Motion® BlackBerry OS®, Google® Android®, Microsoft® Windows Phone® OS, Microsoft® Windows Mobile® OS, Linux® и Palm® WebOS®.

Энергонезависимый машиночитаемый носитель данных

[0252] В некоторых примерах платформы, системы, среды и способы, описанные в настоящем документе, включают в себя один или несколько энергонезависимых машиночитаемых носителей данных с зашифрованной программой, включающей в себя команды, исполнимые операционной системой вычислительного устройства, необязательно связанного с сетью. В некоторых примерах машиночитаемый носитель данных представляет собой материальный компонент вычислительного устройства. В некоторых примерах машиночитаемый носитель данных выполнен с необязательной возможностью съема с вычислительного устройства. В некоторых примерах машиночитаемый носитель данных включает в себя, помимо прочего, CD-ROM, DVD, устройства флеш-памяти, твердотельную память, магнитные жесткие диски, накопители на магнитной ленте, накопители на оптических дисках, распределенные вычислительные системы, включая системы облачных вычислений, и сервисы, а также иные устройства подобного рода. В некоторых случаях программа и команды зашифрованы на носителях на постоянной основе, по существу на постоянной основе, на полупостоянной основе или не на временной основе.

Исполнимые команды

[0253] В некоторых примерах платформы, системы, среды и способы, описанные в настоящем документе, включают в себя, по меньшей мере, один набор исполнимых команд (например, компьютерную программу, компьютерное приложение), или же они предусматривают его использование. Компьютерная программа содержит последовательность команд, исполнимых одним или несколькими процессорами CPU вычислительного устройства, которые написаны под выполнение поставленной задачи. Машиночитаемые команды могут быть реализованы в виде программных модулей, таких как функции, объекты, интерфейсы прикладных программ (API), вычислительные структуры данных и т.п., которые выполняют конкретные задачи или реализуют абстрактные данные конкретных типов. В свете описания, представленного в настоящем документе, специалистам в данной области техники должно быть понятно, что компьютерная программа может быть написана в различных версиях самых разных

языков.

[0254] Функциональные возможности машиночитаемых команд могут быть по желанию объединены или распределены по различным средам. В некоторых примерах компьютерная программа может предусматривать одну последовательность команд. В некоторых примерах компьютерная программа содержит множество последовательностей команд. В некоторых примерах компьютерная программа может предоставляться из одного места. В некоторых примерах компьютерная программа может предоставляться из множества мест. В некоторых примерах компьютерная программа содержит один или несколько программных модулей. В некоторых примерах компьютерная программа может включать в себя, полностью или частично, одно или несколько веб-приложений, одно или несколько мобильных приложений, одно или несколько автономных приложений, один или несколько подключаемых модулей браузера, расширений, надстроек или дополнений или их сочетания. Функциональные возможности машиночитаемых команд могут включать в себя способы построения пространства с использованием множества микромодулей и способы построения структур, таких как биореакторы, которые подробнее описаны в других разделах настоящего документа.

Веб-приложение

[0255] В некоторых примерах компьютерная программа включает в себя веб-приложение. С учетом описания, представленного в настоящем документе, специалистам в данной области техники должно быть понятно, что в некоторых примерах веб-приложение использует одну или несколько программных платформ (фреймворков) и одну или несколько систем управления базами данных. В некоторых примерах веб-приложение создается на такой программной платформе, как Microsoft® .NET или «Ruby on Rails» (RoR). В некоторых примерах веб-приложение использует одну или несколько систем управления базами данных, в том числе, помимо прочего, системы управления реляционными, нереляционными, объектно-ориентированными, ассоциативными, документными базами данных и базами данных с XML-поддержкой. В некоторых примерах подходящие системы управления реляционными базами данных включают в себя, помимо прочего, сервер Microsoft® SQL, mySQL™ и Oracle®. Специалистам в данной области техники также понятно, что в некоторых примерах веб-приложение может быть написано на одной или нескольких версиях одного или нескольких языков. Веб-приложение может быть написано на одном или нескольких языках разметки, языках описания представления, скриптовых языках программирования на стороне клиента, языках программирования серверной части, языках запросов к базе данных или их сочетаний. В некоторых примерах веб-приложение отчасти записывается на языке разметки, таком как HTML (язык разметки гипертекста), XHTML (расширяемый язык гипертекстовой разметки) или XML (расширяемый язык разметки). В некоторых примерах веб-приложение отчасти записывается на языке описания представления, таком как CSS (каскадная таблица стилей). В некоторых примерах веб-приложение отчасти записывается на скриптовом языке программирования на стороне клиента, таком как

Asynchronous JavaScript и XML (AJAX), Flash® ActionScript, JavaScript или Silverlight®. В некоторых примерах веб-приложение отчасти записывается на языке программирования серверной части, таком как ASP (активные серверные страницы), ColdFusion®, Perl, Java™, JavaServer Pages (JSP), Hypertext Preprocessor (PHP), Python™, Ruby, Tcl, Smalltalk, WebDNA® или Groovy. В некоторых примерах веб-приложение отчасти записывается на языке запросов к базе данных, таком как язык структурированных запросов (SQL). В некоторых примерах веб-приложение интегрирует корпоративные серверные продукты, такие как IBM® Lotus Domino®. В некоторых примерах веб-приложение включает в себя мультимедийный проигрыватель. В различных дополнительных примерах мультимедийный проигрыватель использует одну или несколько подходящих мультимедийных технологий, в том числе, помимо прочего, Adobe® Flash®, HTML 5, Apple® QuickTime®, Microsoft® Silverlight®, Java™ и Unity®.

Мобильное приложение

[0256] В некоторых примерах компьютерная программа включает в себя мобильное приложение, предназначенное для мобильного вычислительного устройства. В некоторых примерах это приложение устанавливается в мобильном вычислительном устройстве при его изготовлении. В некоторых примерах мобильное приложение предоставляется мобильному вычислительному устройству через компьютерную сеть, описанную в настоящем документе.

[0257] В свете описания, представленного в настоящем документе, мобильное приложение создается по технологиям, известным специалистам в данной области техники с использованием аппаратных средств, различных языков и сред разработки, известных из уровня техники. Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что мобильные приложения записываются на нескольких языках. Подходящие языки программирования включают в себя, помимо прочего, языки C, C++, C#, Objective-C, Java™, JavaScript, Pascal, Object Pascal, Python™, Ruby, VB.NET, WML и XHTML/HTML с/без CSS или их сочетания.

[0258] Подходящие среды разработки мобильного приложения могут быть получены из различных источников. Доступные на рынке среды разработки включают в себя, помимо прочего, такие среды, как AirplaySDK, alcheMo, Appcelerator®, Celsius, Bedrock, Flash Lite, .NET Compact Framework, Rhomobile и WorkLight Mobile Platform. Доступны также другие бесплатные среды разработки, включающие в себя, помимо прочего, такие среды, как Lazarus, MobiFlex, MoSync и Phonegap. Кроме того, производители мобильных устройств распространяют комплекты разработчика программного обеспечения (SDK), в том числе, помимо прочего, SDK для iPhone и iPad (iOS), SDK для Android™, SDK для BlackBerry®, SDK для BREW, SDK для операционной системы Palm®, SDK для Symbian, SDK для webOS и SDK для Windows® Mobile.

[0259] Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что для распространения мобильных приложений существует несколько коммерческих магазинов, в том числе, помимо прочего, Apple® App Store, Google® Play, Chrome WebStore,

BlackBerry® App World, App Store для наладонных устройств, App Catalog для webOS, Windows® Marketplace для мобильных устройств, Ovi Store для устройств Nokia® и Samsung® Apps.

Автономное приложение

[0260] В некоторых примерах компьютерная программа включает в себя автономное приложение, представляющее собой программу, которая выполняется как независимый вычислительный процесс, а не как дополнение к существующему процессу, например, не как расширение. Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что автономные приложения часто компилируются. Компилятор представляет собой компьютерную программу/программы, которые преобразуют исходный код, написанный на языке программирования, в бинарный объектный код, такой как язык ассемблера или машинный код. Подходящие компилируемые языки программирования включают в себя, помимо прочего, такие языки, как C, C++, Objective-C, COBOL, Delphi, Eiffel, Java™, Lisp, Python™, Visual Basic и VB.NET или их сочетания. Компиляция часто выполняется, по меньшей мере, частично для создания исполнимой программы. В некоторых примерах компьютерная программа включает в себя одно или несколько исполнимых скомпилированных приложений.

Программные модули

[0261] В некоторых примерах платформы, системы, среды и способы, описанные в настоящем документе, включают в себя программные модули, серверные модули и/или модули баз данных, или же они предусматривают их использование. В свете описания, представленного в настоящем документе, программные модули создаются по технологиям, известным специалистам в данной области техники, с использованием машин, программного обеспечения и языков, известных из уровня техники. Программные модули, описанные в настоящем документе, реализуются самыми разными способами. В некоторых примерах программный модуль содержит файл, секцию кода, объект программирования, структуру программирования или их комбинации. В различных дополнительных примерах программный модуль содержит множество файлов, множество секций кода, множество объектов программирования, множество структур программирования или их сочетания. В некоторых примерах один или несколько программных модулей содержат, в качестве неограничивающего примера, веб-приложение, мобильное приложение и автономное приложение. В некоторых примерах программные модули располагаются в одной компьютерной программе или приложении. В некоторых примерах программные модули располагаются в более чем одной компьютерной программе или приложении. В некоторых примерах программные модули развернуты на одной машине. В некоторых примерах программные модули развернуты более чем на одной машине. В некоторых примерах программные модули развернуты на распределенной вычислительной платформы, такой как платформа облачных вычислений. В некоторых примерах программные модули развернуты на одной или нескольких машинах в одном месте. В других примерах программные модули развернуты на одной

или нескольких машинах в более чем одном месте.

Базы данных

[0262] В некоторых примерах платформы, системы, среды и способы, описанные в настоящем документе, включают в себя одну или несколько баз данных, или же они предусматривают использование одной или нескольких баз данных. В свете описания, представленного в настоящем документе, специалистам в данной области техники должно быть понятно, что для хранения и извлечения процедурного объекта, 3D-сцены, знаковой функции расстояния, рендеринга, печати и информации о 3D-объекте подходят самые разные базы данных. В некоторых примерах подходящие базы данных включают в себя, помимо прочего, реляционные базы данных, нереляционные базы данных, объектно-ориентированные базы данных, объектные базы данных, базы данных типа «объект-отношение», ассоциативные базы данных, базы данных с XML-поддержкой и документные базы данных. Дополнительные неограничивающие примеры включают в себя SQL, PostgreSQL, MySQL, Oracle, DB2, Sybase и MongoDB. В некоторых примерах база данных доступна через Интернет. В некоторых примерах база данных доступны через сайт. В некоторых примерах база данных основана на облачных вычислениях. В одном из конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения база данных представляет собой распределенную базу данных. В некоторых примерах база данных извлекается из одного или нескольких локальных устройств компьютерного хранения.

Биореакторы и способы получения биореакторов

[0263] Устройства и системы согласно настоящему изобретению, такие как устройство и системы для 3D-печати, могут быть использованы для построения многомерной (например, трехмерной) структуры любой формы или любого типа, которая может выполнять любые функции. В некоторых примерах способы и системы согласно настоящему изобретению могут быть использованы для создания биореакторов. В настоящем документе также описаны биореакторы, их структуры, конструкции, морфология, сферы применения, а также способ их изготовления и способы их использования.

[0264] В некоторых примерах описаны реакционные сосуды, такие как биореакторы, и способы изготовления таких реакционных сосудов. В некоторых примерах раскрыты системы, содержащие реакционный сосуд. Реакционный сосуд может представлять собой реактор. Реакционный сосуд и/или реактор могут быть выполнены с возможностью проведения любой подходящей реакции или процесса. В некоторых примерах реактор может проводить химическую реакцию для генерирования определенного химиката. В некоторых примерах реактор может синтезировать определенный биологический материал. Биологический материал может включать в себя или представлять собой клетку, компонент клетки, такой как органодиды, ядро, ДНК, любой внутриклеточный компонент или материал и/или любое их сочетание. В некоторых примерах реакционный сосуд или реактор может содержать или представлять собой биореактор. Системы, содержащие биореактор, могут быть идентичны системам,

предложенным в заявке № PCT/US19/55231, содержание которой полностью включено в настоящий документ посредством ссылки для любых целей.

[0265] Способ генерирования реакционного сосуда, такого как биореактор, может предусматривать обеспечение наличия приложения для процедурного моделирования. Приложение для процедурного моделирования может совпадать с приложением для процедурного моделирования, описанным где-либо еще в настоящем документе, другими приложениями или любым их сочетанием. В некоторых примерах способ генерирования реакционного сосуда, такого как биореактор, может предусматривать выполнение определенной функции. Приложение может быть сконфигурировано с возможностью выполнения определенной функции после получения запроса или ввода входных данных пользователем или независимо от пользователя. Например, выполнение функции с использованием приложения для процедурного моделирования может предусматривать применение искусственного интеллекта (AI) и/или машинного обучения. В некоторых примерах выполнение функции может предусматривать добавление множества структурных единиц в сцену. Структурные единицы могут соответствовать любым структурным единицам, описанным где-либо еще в настоящем документе. В некоторых примерах структурная единица может включать в себя модуль или микромодуль. Например, в сцену может быть добавлен микромодуль. Сцена может представлять собой любую сцену, описанную где-либо еще в настоящем документе. В некоторых примерах сценой может служить 3D-сцена. Например, микромодуль может быть добавлен в 3D-сцену.

[0266] В некоторых примерах способ генерирования реакционного сосуда, такого как биореактор, например, с использованием приложения для процедурного моделирования может дополнительно предусматривать сведение множества структурных единиц (например, микромодулей) в структуру для создания реакционного сосуда или реактора (например, биореактора). Этот способ может дополнительно предусматривать создание дерева конструктивной твердотельной геометрии (CSG) для сцены, отображающего сцену (например, 3D-сцену) в виде знаковой функции расстояния; рендеринг сцены с использованием метода марша лучей; генерирование очереди секционированных файлов; и передачу секционированных файлов в устройство для стереолитографической 3D-печати или другое устройство. Устройство (например, устройство или система дл 3D-печати) может содержать или представлять собой любое устройство или систему, описанную где-либо еще в настоящем документе, другое устройство и/или любое их сочетание.

[0267] В настоящем документе описаны реакционные сосуды, такие как биореакторы, которые могут быть изготовлены и использованы в соответствии со способами согласно заявленному изобретению. В некоторых примерах реакционные сосуды (например, биореакторы) согласно настоящему изобретению могут включать в себя или представлять собой системы или компоненты для производства и удержания клеток, а также для производства и изоляции клеток и продуктов, полученных из клеток.

Настоящим изобретением также предложены способы создания и использования таких систем. Предложенные системы, компоненты и способы могут обеспечить гибкость подгонки производства под разные типы клеток, типы клеточного окружения и типы производимых молекул. Системы, компоненты и способы их получения и использования могут также обеспечить гибкость масштабов производства. Например, системы, компоненты и способы, описанные в настоящем документе, могут обеспечить наращивание масштабов производства без изменения или существенного изменения условий роста в лаборатории.

[0268] В некоторых примерах биореакторы согласно настоящему изобретению могут быть использованы для выращивания клеток. Биореакторы могут характеризоваться любыми размерами или масштабом. В некоторых примерах биореакторы могут быть масштаба микробиореакторов, вследствие чего система может быть сконструирована в виде настольного биореактора с возможностью выращивания и производства клеток и/или клеточных продуктов в больших и малых объемах. Эта система и способы ее использования обеспечивают преимущества масштабируемости, гибкости и экономии ресурсов.

[0269] В некоторых примерах биореакторы согласно настоящему изобретению могут представлять собой беспузырьковые биореакторы. В некоторых случаях процесс, выполняемый в реакторе или биореакторе, может выиграть от процедуры гомогенизации среды, находящейся внутри реактора, или потребовать проведения такой процедуры. В некоторых случаях для придания однородности содержимому реактора в заданных зонах может потребоваться или оказаться целесообразной стадия перемешивания или эквивалент стадии перемешивания. В некоторых случаях в реакторах обычного типа для гомогенизации содержимого реактора традиционно используется такие средства перемешивания, как лопасти или пузырьки. Такое перемешивание может создавать завихрения внутри биореактора, которые способствуют гомогенизации и могут увеличить скорость переноса массы, теплопередачи и переноса текучей среды во внутренних зонах реактора. Однако в некоторых случаях такое завихрение может оказаться неприемлемым или неоптимальным. Турбулентный поток внутри реактора может затруднить точное регулирование параметров. Следовательно, в некоторых случаях целесообразно избегать перемешивания, предотвращать возникновение пузырьков и/или использование лопастей. Настоящим изобретением предложены биореакторы, которые в некоторых случаях способны и/или могут быть выполнены с возможностью выполнения своих функций без особой потребности в наличии мешалок или газа или применения способа перемешивания с целью создания завихрений внутри биореактора. Например, может быть предотвращено возникновение пузырьков и турбулентных потоков внутри биореактора. В некоторых примерах в биореакторах согласно настоящему изобретению на протяжении всего процесса (например, такого процесса или реакции в биореакторе, как рост клеток) протекает ламинарный поток. Внутренние и внешние структуры, топология и характеристики, описанные где-либо еще в настоящем документе, обеспечивают

возможность изготовления и использования биореактора, который может выполнять свои целевые функции с ламинарным потоком, и которому для гомогенизации могут быть не нужны пузырьки или завихрение. В некоторых примерах в реакторе может быть обеспечен гомогенизированный ламинарный поток газа и/или жидкости.

[0270] В некоторых примерах реакционный сосуд (например, биореактор) может содержать соединенные между собой компоненты, такие как модули или микромодули, которые могут все вместе или по отдельности выполнять процесс или проводить реакцию, например, по производству или выращиванию клеток, или выполнять иные функции. Клетки могут представлять собой клетки любых типов. Примеры клеток могут включать в себя бактериальные клетки, грибковые клетки, дрожжевые клетки, эукариотические клетки, растительные клетки или клетки водорослей. Клетки могут представлять собой рекомбинантные клетки.

[0271] В некоторых примерах реакционный сосуд или биореактор может содержать или представлять собой производственный модуль или производственный слой биореактора (например, производственный слой 4694, показанный на фиг. 47). Производственный биореактор или производственный слой 4696 биореактора может обеспечивать среду для масштабируемого роста и производства клеток и/или биопродукта из клеток или других биологических видов.

[0272] Реакционный сосуд согласно настоящему изобретению, такой как биореактор (например, биореактор 4700 или любой иной биореактор, описанный где-либо еще в настоящем документе), может содержать многомерную структуру, такую как 3D-структура, которая может включать в себя один или несколько (например, множество) микромодулей. Биореактор может содержать не менее 1, 2, 4, 6, 8, 10 или более микромодулей, включая их приращения. Микромодули могут создать один или несколько (например, ряд) каналов и камер для роста и перемещения клеток и для прохождения жидких сред, газов и биопродукта.

[0273] Микромодули производственного биореактора могут характеризоваться определенной формой, такой как геометрическая форма. Такая геометрическая форма может представлять собой гироид. Гироид может быть представлен или реализован в самых разных формах и/или в виде самых разных структур. В некоторых примерах эти формы и/или структуры могут включать в себя кристаллографические структуры.

[0274] В некоторых примерах микромодуль может иметь форму, например, двойного гироида, модифицированного двойного гироида или любую иную форму, которая может быть описана как трижды периодическая поверхность минимальной энергии (TPMS). Этот тип поверхности может сформировать решетчатую систему, которая может расти в любом направлении или по любой размерности системы координат. Например, решетка может расти по одной или нескольким осям в декартовой системе координат, таким как оси X, Y и/или Z. В некоторых примерах рост может происходить периодически.

[0275] В некоторых случаях TPMS может не содержать самопересечений и может

делить заданную объемную область на две (или больше) независимые объемные подобласти. Самопересечение может содержать поверхность с одним нормальным вектором на точку, который может задавать поверхность. Если поверхность делит объемную область, в которую она вписана, на две независимые и конгруэнтные объемные подобласти, то эта поверхность называется уравновешенной поверхностью. В некоторых примерах поверхность TPMS может быть описана с точки зрения ее базового участка или асимметричной структурной единицы, используемой для составления всей поверхности в целом с помощью ее элементов симметрии.

[0276] В некоторых примерах микромодули могут сообщаться по текучей среде (например, могут быть взаимосвязаны) друг с другом таким образом, что газы, текучие среды и/или биопродукт могут перетекать их одного микромодуля в другой микромодуль.

[0277] В некоторых примерах микромодули производственного биореактора могут характеризоваться определенной формой. Эта форма может быть любой, например, любым геометрическим представлением. Варианты формы микромодулей могут быть описаны в любом разделе настоящего документа, например, в Таблице 1.1. В некоторых случаях формы могут дополнительно содержать модификацию или переход. Например, модифицирована может быть форма микромодуля, его соединения и/или и то и другое. Модификация или переход формы может быть незначительным или значительным. Модификация или переход может адаптировать структуру или форму (например, микромодуля) под заданную макроструктуру или функцию. В некоторых примерах модификации могут включать в себя блокирование части соединений или пересечений (например, «раструбов»), изменение диаметра одного или нескольких каналов структуры или полное или иное изменение формы.

[0278] В одном из примеров форма микромодулей биореактора может включать в себя форму двойного гироида или модифицированного двойного гироида. Форма двойного гироида (DG) может содержать два гироида и/или две проросшие неперекрывающиеся области. Модифицированный двойной гироид (DG) может включать в себя две проросшие неперекрывающиеся области, которые могут быть ограничены двумя поверхностями постоянной гауссовой кривизны (CMC), разделенными матричной фазой. Например, структура в виде модифицированного двойного гироида может содержать модификации для соединения с немодифицированным двойным гироидом с целью адаптации структуры под заданную макроструктуру или функцию. Модификации могут быть значительными и незначительными. В некоторых примерах модификации могут включать в себя блокирование части соединений или пересечений (например, «раструбов»), изменение диаметра канала для одной или обеих фаз в структуре или полное или частичное удаление любого из фазных каналов, имеющихся в структуре DG. Двойной гироид (DG) или модифицированный DG может характеризоваться первой гироидной структурой, переплетенной со второй гироидной структурой. Два канала могут быть разделены, например, пористой мембраной (матричной фазой). Матричная фаза может обеспечивать диффузию молекул клеток таким способом, который может быть

основан, по меньшей мере, частично на удельном давлении и составе газа. Когда радиусы обоих микроканалов для жидкой и газообразной фаз равны друг другу, поверхность матричной фазы может быть равна их сумме. Две поверхности СМС могут сформировать два непрерывных канала, когда между собой соединено (например, подогнано друг к другу) множество DG. Эти два канала могут создать два неперекрывающихся канала для потока жидких сред и/или газа. Пористая мембрана может обеспечивать поверхность, к которой могут прилипать, и на которой могут расти клетки определенных типов. В некоторых примерах один канал может пропускать жидкие среды через весь производственный биореактор. В некоторых примерах по обоим каналам может проходить жидкость. В некоторых примерах один канал может подавать жидкие среды, а другой канал может подавать газ в производственный биореактор. В некоторых примерах диаметр микроканала микромодулей может варьироваться в зависимости от конкретного типа клеток, производственных нужд и характеристик, и т.п.

[0279] В некоторых примерах микромодули могут характеризоваться регулярной структурой в виде кубической упаковки с кромкой длиной L. Величина L может быть увязана с общим диаметром. В некоторых примерах величина L равна двум третям общего диаметра микроканала, умноженного на квадратный корень двух, умноженного на квадратный корень трех. Полная поверхность и объем микроканалов, соответствующих жидкому компоненту, могут быть равны соответствующим размерам газообразного компонента при одинаковом радиусе обоих этих компонентов в микромодулях. В некоторых примерах может быть предусмотрен разный радиус компонентов. В некоторых примерах, когда оба радиуса равны друг другу, радиус микроканала не может превышать 0,7 общего радиуса. В некоторых примерах самое короткое расстояние между двумя микромодулями двух разных граней может быть по существу равно общему радиусу, умноженному на квадратный корень двух за вычетом добавления радиуса канала каждого компонента.

[0280] В некоторых примерах площадь первого канала в DG может быть эквивалентна площади второго канала в DG, а площадь матричной фазы может представлять собой сумму площади первого канала и площади второго канала.

[0281] В некоторых примерах, например, в двойном гироиде расстояние между матричной фазой, разделяющей каналы, и центром каждого канала может быть постоянным.

[0282] На скорость, с которой среды и поток газа проходят через производственный слой (например, производственный слой 4696 или любой иной производственный слой или производственный биореактор, описанный где-либо еще в настоящем документе) в биореакторе любой формы (например, в биореакторе в форме DG или в любой иной форме, описанной где-либо еще в настоящем документе), могут влиять самые разные факторы, такие как выбранный тип клетки и плотность клеток, а также напряженные состояния, которые должны быть созданы для клеток. Скорость диффузии газа через матрицу в жидкие среды может определяться различными факторами, такими

как состав газа и давление газа в газовом канале, образованным структурами, а также толщиной мембраны и материала, выбранного для изготовления каналов и окружающих зон. Расход газа и рабочее давление могут соотноситься с плотностью культуральных клеток. В некоторых примерах расход газа может быть равен минутному объему газообразного компонента. В некоторых примерах расход газа может быть примерно в 2, 3, 5 или 10 раз больше минутного объема газообразного компонента или равен таким величинам. В некоторых примерах рабочее давление может варьироваться в пределах от около одной атмосферы (atm) до пяти атмосфер. В некоторых примерах рабочее давление может быть больше или равно примерно 1 atm, 2 atm, 3 atm, 4 atm, 5 atm или больше.

[0283] Форма микромодуля биореактора может быть сконфигурирована с возможностью обеспечения заданных характеристик. Каждая форма может дать определенные преимущества. Например, одним из примеров преимуществ формы в виде DG может служить ослабление гравитационных сил, которые в других структурах могут обуславливать неравномерное воздействие на среду и газообмен. Форма в виде DG может создавать трехмерные (3D) ламинарные силы, вследствие чего колебание расстояния от любой из клеток до стенки структуры может быть уравновешено, обеспечивая более постоянное и равномерное воздействие на популяцию клеток. Кроме того, форма в виде DG может способствовать предотвращению появления застойных зон жидкости или газа, где может не возникать течение, или же где такое течение может быть прервано. Это обеспечивает возможность повышения производительности биореактора со снижением скоростей, и может привести к уменьшению явной нагрузки на клетки. Это может предотвратить турбулентность в биореакторе. Это также позволяет добиться гомогенизации при использовании ламинарного потока в биореакторе.

[0284] В некоторых примерах средняя скорость текучей среды в канале биореактора (например, DG-биореактора) может быть больше или равна 1 мкм/секунду, 3 мкм/секунду, 5 мкм/секунду, 10 мкм/секунду, 15 мкм/секунду, 20 мкм/секунду, 50 мкм/секунду, 100 мкм/секунду, 200 мкм/секунду или больше. Например, структуры DG могут обеспечивать подходящую и оптимизированную диффузию сред и газов в сравнении с некоторыми другими биореакторными системами. В некоторых примерах скорость движения жидкой среды по каналу внутри DG может превышать скорость свободного падения клетки по этому же каналу.

[0285] Структуры микромодулей в форме DG могут обеспечить увеличение площади поверхности в сравнении со многими другими вариантами формы, и эта увеличенная площадь поверхности может обеспечить пространство для роста клеток, а также улучшить течение, перемешивание и газообмен в потоке жидких сред. Когда величина L равна L1, поверхность каждого компонента может быть описана как Y=3258,6. XE (-1), где величина Y обозначает квадратные миллиметры/микролитры, а величина X равна радиусу, описанному величиной L1.

[0286] В некоторых примерах структуры микромодулей биореактора (например, DG-структуры или структуры, имеющие любую иную форму, описанную где-либо еще в

настоящем документе) могут быть сведены в макроструктуру или макроформу, составляющую производственный биореактор. Макроструктура или макроформа может характеризоваться любой формой, любой геометрией, любым геометрическим представлением, любыми размерами и/или любым сочетанием этих параметров. В некоторых примерах макроструктура может представлять собой куб, пирамиду, сферу, цилиндр, многомерную геометрическую форму и/или любые сочетания перечисленных форм. К примеру, макроструктура может представлять собой полую пирамиду, пластинчатую пирамиду, структуру в виде шахматной доски, столбик, сферу или структуру любой иной формы.

[0287] В некоторых примерах макроструктура и ее форма, а также количество микромодулей в производственном биореакторе, могут быть рассчитаны с учетом различных факторов, таких как скорость деления выращиваемых клеток, регулирующая скорости движения жидких сред, газообмена и прохождения клеток через биореактор, и другие факторы. Каждая макроструктура может обеспечить разные возможности взаимодействия с клетками, и она может быть выбрана с учетом конкретного процесса, который должен быть выполнен производственным биореактором.

[0288] Иллюстративный пример реализации биореактора может характеризоваться формой макроструктуры. Например, для формирования макроструктуры может быть собрано множество микромодулей. Макроструктура может быть представлена в различных формах. Макроструктурой может служить сфера, пирамида, полая пирамида или пластина; или же может быть предусмотрена иная форма, структура или топология, такая как варианты формы и/или топологии макроструктуры, описанные где-либо еще в настоящем документе.

[0289] В некоторых примерах реактор может характеризоваться макроструктурой в форме пирамиды или полой пирамиды. Такая структура обеспечивает подходящую среду для роста, сохраняя при этом постоянство скоростей и плотности клеток по всему биореактору. Более чувствительные линии со временем могут потребовать вмешательства, и полые пирамиды могут обеспечить такую возможность.

[0290] В некоторых примерах биореактор может характеризоваться макроструктурой в форме пластинчатой полой пирамиды. Такая форма макроструктуры может обеспечить подходящую среду для роста и развития, например, за счет сохранения постоянства (например, по существу постоянства) скорости и плотности. В некоторых случаях к поднабору клеток или, в некоторых случаях, к каждой клетке может быть обеспечен доступ в течение заданного периода времени, а в некоторых случаях - в каждый момент времени. Макроструктура в форме пластинчатой пирамиды также обеспечивает возможность прямого вмешательства и обработки.

[0291] В одном из примеров биореактор может характеризоваться макроструктурой в виде шахматной доски или схемой расположения в виде столбика. Схемы расположения в виде шахматной доски или столбика могут обеспечить удобный доступ (например, в некоторых случаях, полный доступ) к поднабору клеток, а в некоторых случаях - к каждой

клетке в биореакторе в течение заданного периода времени, а в некоторых случаях - в каждый момент времени выполнения процесса. В некоторых примерах схемы расположения в виде шахматной доски и/или столбика могут обеспечить или облегчить контроль над поддержанием равномерной скорости и/или плотности текучей среды и/или клеток в биореакторе. В некоторых примерах клетки могут поступать в биореактор в заданной точке или месте (например, в верхней части макроструктуры), и в заданном месте в биореакторе (например, у основания макроструктуры) может быть предусмотрено устройство для сбора клеток.

[0292] В одном из примеров биореактор может характеризоваться формой в виде сферической макроструктуры. Пример сферического биореактора 4700 приведен на фиг. 47. Сферический биореактор может представлять собой беспузырьковый сферический биореактор. Например, биореактор может быть изготовлен с использованием способов согласно настоящему изобретению, и этот биореактор может содержать минимальное количество пузырьков или по существу не содержать пузырьков. В некоторых случаях в биореакторе может присутствовать некоторое количество пузырьков. В некоторых примерах сферический биореактор 4700 может содержать ряд плоскостей симметрии (плоскостей зеркального отражения). Например, биореактор может содержать одну или несколько структурных единиц, которые могут дублироваться для построения структуры биореактора. К примеру, сферический биореактор, обозначенный позицией 4700, содержит три плоскости симметрии (например, плоскости 4740, 4750 и 4760). Плоскости симметрии могут делить структуру сферического биореактора на ряд повторяющихся структурных единиц (например, на восемь повторяющихся структурных единиц в этом примере). Повторяющиеся структурные единицы могут быть схожи или по существу идентичны друг другу. Например, в сферическом биореакторе 4700 повторяющаяся структурная единица может составлять одну восьмую сферы. Один из примеров такой повторяющейся структурной единицы 4698 показан на фиг. 46А. Повторяющаяся структурная единица 4698 может составлять одну восьмую объема биореактора 4700. Иначе говоря, для формирования сферического биореактора 4700 могут воспроизводиться (например, симметрично по объему) восемь повторяющихся структурных единиц, которые могут быть, по меньшей мере, до определенной степени идентичны повторяющимся структурным единицам 4698. В некоторых примерах повторяющиеся структурные единицы могут быть полностью схожи или идентичны друг другу. В некоторых примерах повторяющиеся структурные единицы могут быть схожи друг с другом до определенной степени. В некоторых примерах повторяющиеся структурные единицы могут быть до некоторой степени разными, и они могут характеризоваться некоторыми отличиями друг от друга. Аналогичная концепция и/или подход может быть использован для построения биореактора с макроструктурой иной формы и/или топологии.

[0293] Биореактор (например, сферический биореактор) может содержать один или несколько каналов. Каналы биореактора могут включать в себя один или несколько

вытяжных собирающих каналов 4710, которые могут быть использованы для сбора клеток. Каналы биореактора могут включать в себя один или несколько газозаборных каналов 4720. Газозаборные каналы могут быть использованы для введения газа в биореактор, например, в газовую камеру (например, 4620 или 4840). Каналы могут включать в себя один или несколько каналов 4730 для забора жидкости (например, питательной среды), которые могут быть использованы для впрыска жидкости, такой как питательная среда, в биореактор. Обеспечение подачи жидкости может соответствовать способам и системам, описанным где-либо еще в настоящем документе в отношении макроструктуры биореактора. Вся система в целом может быть оптимизирована для каждой структуры или конфигурации, и при необходимости в нее могут быть внесены коррективы.

[0294] В некоторых примерах различные газозаборные каналы 4720 биореактора могут быть в какой-то степени схожи друг с другом. В некоторых примерах различные газозаборные каналы биореактора могут отчасти отличаться друг от друга. Например, газозаборные каналы, каждый из которых может содержать отверстие для введения газа, могут быть предназначены для подачи газа в заданную область биореактора, которая может располагаться на заданном расстоянии от центра сферы. В некоторых примерах газозаборные каналы, предназначенные для доставки газа в разные области (например, расположенные на разном радиальном расстоянии от центра сферы) биореактора, могут характеризоваться некоторым сходством и некоторыми отличиями в зависимости от предполагаемой сферы применения.

[0295] Поперечные сечения одного из примеров реализации сферического биореактора показаны на фиг. 46А и 46В. На фиг. 46А показан канал 4600 для забора питательной среды, который может быть использован для введения жидкости в биореактор. Эта жидкость может представлять собой питательную среду. Подаваемая жидкость может содержать дополнительные компоненты. Подаваемая жидкость или среда может соответствовать подаваемой жидкости или среде, описанной где-либо еще в настоящем документе, или представлять собой их сочетания.

[0296] В качестве одного из примеров на фиг. 46В показано поперечное сечение одного из сегментов иллюстративного сферического биореактора в соответствии со способами и системами согласно настоящему изобретению. Этот биореактор может содержать один или несколько каналов, например, множество каналов. Эти каналы могут включать в себя собирающий канал 4696. В некоторых случаях собирающий канал может соответствовать каналам, описанным где-либо еще в настоящем документе. Биореактор может дополнительно содержать собирающий слой 4610, одну или несколько газовых камер, один или несколько культуральных слоев и другие компоненты и/или модули. Собирающий канал и собирающий слой могут быть использованы для извлечения жидкой среды и клеток из биореактора. В некоторых примерах биореактор может дополнительно содержать аналогичные собирающие каналы для газа (не показаны на фигуре), предназначенные для отведения использованного газа из биореактора. В примере,

показанном на фиг. 46B, биореактор содержит первую газовую камеру 4620, четвертый культуральный слой 4630, вторую газовую камеру 4640, третий культуральный слой 4650, третью газовую камеру 4660, второй культуральный слой 4670, четвертую газовую камеру 4680, первый культуральный слой 4690, пятую газовую камеру 4692 и прочие компоненты. Биореактор согласно настоящему изобретению, такой как сферический биореактор или любой иной биореактор, характеризующийся любой формой макроструктуры, может содержать любое количество слоев, любое количество каналов, любое количество газовых камер и/или других компонентов, модулей, каналов или камер, в любой конфигурации и в любом их сочетании.

[0297] Биореактор (например, сферический биореактор, такой как биореактор, показанный на фиг. 46B) может содержать один или несколько культуральных слоев и/или один или несколько производственных слоев или производственных объемных областей. Культуральный слой (например, 4630, 4650, 4670, 4690 и/или иные культуральные слои) может представлять собой слой биореактора, где могут культивироваться клетки. В некоторых примерах в культуральном слое может находиться производственная объемная область. Например, культуральный слой биореактора может содержать производственный слой. Производственный слой может включать в себя множество каналов, пример которых представлен в виде производственных каналов 4690 и производственных каналов 4694. Производственные каналы 4690 могут быть насыщенными. Например, относительно небольшой объем может быть заполнен большим количеством каналов (например, характеризоваться высокой плотностью каналов). В альтернативном варианте каналы могут быть ненасыщенными. В качестве примера на фиг. 46B показано поперечное сечение производственных каналов 4695.

[0298] Биореактор с макроструктурой заданной формы, такой как форма макроструктуры, описанная где-либо еще в настоящем документе, например, с макроструктурой в форме пирамиды, полой пирамиды, шахматной доски, столбика, сферы, куба, цилиндра или в любой иной форме, описанной в настоящем документе, может содержать множество микромодулей, которые могут быть сведены воедино для создания макроструктуры. Сведение микромодулей (например, микромодуля в форме DG или микромодуля иной формы, например, любого микромодуля, описанного где-либо еще в настоящем документе) в макроструктуру может обеспечить механизм для определения и оптимизации расхода жидких сред и газа в биореакторе. В некоторых примерах макроструктура состоит из слоев или уровней микромодулей. В некоторых примерах микромодули могут располагаться по уровням или слоям, причем скорость движения жидких сред на каждом уровне может быть по существу одинаковой. В альтернативном варианте или дополнительно скорость движения жидких сред в каждом слое или на каждом уровне может варьироваться. Например, скорость движения жидких сред между уровнями или слоями может увеличиваться или уменьшаться. Скорость движения жидких сред может варьироваться от одного микромодуля к другом, или же она может быть по существу постоянной между микромодулями.

[0299] В некоторых примерах биореактор (например, производственный биореактор или производственная объемная область или слой) может дополнительно содержать устройство для ввода жидких сред. Устройство для ввода жидких сред может быть структурировано таким образом, чтобы обеспечивать подачу жидких сред на каждый уровень микромодулей в пределах макроструктуры. В некоторых примерах объем жидких сред, подаваемый на каждый уровень, может поддерживать по существу постоянную плотность клеток на каждом уровне.

[0300] Биореактор может содержать один или несколько микроканалов. Микроканалы могут характеризоваться разными размерами. В некоторых случаях радиус микроканала может соотноситься с радиусом клеток, плотностью клеток или иными параметрами (например, нитевидными расположением, цепочечным расположением и т.д.). В некоторых примерах плотность клеток может варьироваться в пределах от 1×106 клеток/мл до 1×1012 клеток/мл. В некоторых примерах скорость прохождения жидких сред через каждый микромодуль может определяться скоростью деления клеток, вследствие чего время пересечения одного микромодуля или уровня микромодулей может быть по существу равно скорости деления клеток, или же оно может быть пропорционально скорости деления клеток, так что время перехода клетка может делиться ровно или более 1, 2, 3, 4 и 5 раз или более 5 раз. В некоторых примерах первый уровень может характеризоваться, к примеру, объемом «x» жидких сред, так что при заданном количестве клеток (их плотностью в объеме x) и объеме жидких сред 2x на втором уровне в течение времени перехода клеток с первого уровня на второй уровень количество клеток удваивается (например, поднабор клеток (например, каждая клетка) может делиться в среднем один раз) таким образом, что их плотность во втором слое может оставаться равной x (например, плотность клеток между слоями остается постоянной).

[0301] Дополнительная оптимизация может быть обеспечена путем определения предполагаемого количества клеток у основания макроструктуры, т.е. оконечной части макроструктуры, куда поступают клетки и/или биопродукт перед выходом из структуры через выпускное отверстие в контейнер для сбора. Предполагаемое количество клеток может быть также определено для разных уровней макроструктуры. Исходя из предполагаемого количества клеток у основания и на разных уровнях, можно отрегулировать расход газа и жидких сред для каждого уровня, чтобы компенсировать повышенную потребность в газе и жидких средах по мере увеличения количества клеток вследствие их деления, перемещения и накопления при прохождении клеток через биореактор в направлении основания структуры.

Подача жидких сред в биореакторы

[0302] Биореактор может содержать один или несколько компонентов для подачи жидких сред в биореактор или его модуль. Эти компоненты могут включать в себя один или несколько устройств формирования питательной среды, электропоратор или иное стерилизующее устройство, емкость, насос, датчик пузырьков и ловушка для пузырьков. Устройство формирования питательной среды может генерировать жидкие среды для

биореактора путем перемешивания компонентов сред с водой, исходя из конкретных условий, необходимых для обеспечения роста клеток в модулях. Электропоратор может быть взаимно соединен с генератором сред, например, для очистки сред и обеспечения стерильных исходных сред, подаваемых в один или несколько модулей для выращивания клеток. В состав системы может быть включен датчик пузырьков, а также ловушка для пузырьков для детектирования и/или удаления каких-либо пузырьков газа в жидких средах, которые могли бы возникнуть в процессе генерирования и очистки сред, а также по каким-либо иным причинам.

[0303] В некоторых примерах система (например, биореакторная система) может содержать одну или несколько емкостей для хранения резервного объема сред, например, перед их подачей в модуль или микромодуль. В некоторых примерах система (например, биореактор) может содержать, по меньшей мере, 2, 3, 4, 6, 8, 10 или более емкостей, включая их приращения. Емкости могут наполняться асинхронно, благодаря чему одна емкость может наполняться, когда другая (уже заполненная) емкость может быть использована для снабжения биореактора и/или его модуля жидкой средой. Такое разделение емкостей может оказаться эффективным для изоляции модулей системы (например, биореактора), предназначенных для выращивания клеток, от соединения с иллюстративными электрическими схемами. Наполняемая емкость может подвергаться воздействию электрического тока, который может протекать от располагающихся выше по его течению компонентов, таких как электропоратор. Заполненная емкость может быть изолирована от электрического тока таким образом, что она не может передавать ток на расположенные ниже по его течению компоненты и модули системы (например, биореактора). В некоторых примерах объем такой емкости может быть увязан с пропускной способностью производственного биореактора в течение времени деления клеток, выбранного для данного процесса. В некоторых примерах множество емкостей может быть установлено параллельно и таким образом, что они гальванически развязаны относительно друг друга. В некоторых примерах множество емкостей может быть установлено последовательно. В некоторых примерах множество емкостей может быть установлено в конфигурации, сочетающей как последовательное, так и параллельное соединение, в какой-либо иной конфигурации и/или в любом сочетании этих конфигураций.

[0304] В некоторых примерах компоненты системы (например, биореакторной системы) для подачи жидких сред могут дополнительно включать в себя один или несколько датчиков. Эти датчики могут измерять параметры, включая показатель Ph и температуру среды. Датчик может представлять собой встроенный датчик, или же он может быть соединен с пробоотборным устройством, которое периодически отбирает пробы одного или нескольких компонентов подаваемой жидкой среды. Система подачи может обеспечивать подачу жидкой среды в диапазоне ее расхода, который зависит от использования, размеров и условий эксплуатации системы. В некоторых примерах система подачи жидких сред может обеспечить подачу от 100 микролитров до около 1000

микролитров среды в час в биореактор или его модуль, такой как камера для выращивания клеток. В некоторых примерах система подачи жидких сред может обеспечить подачу от 0,5 литров до 1000 литров среды в час в биореактор или его модуль, канал или камеру, такую как камера для выращивания клеток. В некоторых примерах система подачи жидких сред может обеспечить подачу от 0,5 литров до 5 литров среды в час в биореактор или его модуль, компонент, канал или камеру. В некоторых примерах система подачи жидких сред может обеспечить подачу от около 10 литров до 80 литров среды в час в биореактор или его модуль, компонент, канал или камеру, например, в канал или камеру для выращивания клеток. В некоторых примерах система подачи жидких сред может обеспечить подачу от около 100 литров до 1000 литров среды в час в биореактор или его модуль, компонент, канал или камеру, например, в канал или камеру для выращивания клеток.

[0305] Компоненты для подачи жидких сред могут включать в себя один или несколько насосов для перекачки сред из емкости или устройства формирования питательной среды в один из компонентов биореакторной системы, такой как кристалл, тестовый биореактор или производственный биореактор. В некоторых примерах система (например, биореакторная система) может содержать ровно или более 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 насосов, включая их приращения. Насосы могут быть одного типа или разных типов. Примеры насосов могут включать в себя шприцевой насос, перистальтический насос и/или нагнетательный насос.

[0306] В некоторых случаях система подачи жидких сред может быть выполнена с возможностью обеспечения однонаправленного потока, проходящего через заданную область, модуль, компонент, канал или камеру биореактора. В некоторых примерах насос может представлять собой шприцевой насос, который может быть использован для подачи среды в кристалл. Кристалл может представлять собой кристалл или модуль кристалла, описанный где-либо еще в настоящем документе. В некоторых примерах насос может представлять собой шприцевой насос, который может быть использован для подачи среды в тестовый биореактор. В некоторых примерах насос может представлять собой перистальтический насос, используемый для подачи среды в производственный биореактор. В некоторых примерах система (например, биореакторная система) может содержать три насоса, а именно: два шприцевых насоса, питающих кристалл и тестовый реактор, и один перистальтический насос, питающий производственный биореактор. Насосы могут работать синхронно или по отдельности. В некоторых примерах все три насоса могут работать синхронно. Один или несколько насосов могут подавать среду (например, в большом объеме и с точным расходом) в биореактор или его модуль или компонент, например, в модули, располагающихся за насосами (например, в нижерасположенные модули). Нижерасположенные модули могут соответствовать нижерасположенным модулям, описанным где-либо еще в настоящем документе. В некоторых примерах точность расхода может лежать в пределах 1, 2, 3, 4 или 5 нанолитров.

Подача газа и состав газа в биореакторах

[0307] В некоторых примерах системы согласно настоящему изобретению (например, биореакторная система) могут быть совместимы для использования с клетками, которые могут воспользоваться преимуществами газа особого состава, или которым может потребоваться газ особого состава, такими как клетки, для роста и/или выживания которых может потребоваться кислород. Материалы, используемый при построении модулей биореактора, могут включать в себя стекло, акрил, коллаген, полидиметилсилоксан (PDMS), полиэтиленгликоль диакрилат (PEGDA), поли(D, L-лактид), шелк, целлюлозу, GelMA, альгинат, керамику и/или иные биосовместимые полимеры, которые обеспечивают возможность окисления сред. В некоторых примерах система (например, биореакторная система) может дополнительно содержать контроллер, который может регулировать диффузию кислорода и других газовых растворов в биореакторе или его модуле. В некоторых примерах газовый раствор может быть составлен из чистых газовых компонентов, подаваемых, например, из резервуаров для хранения газа или с помощью иных механизмов подачи, например, для составления смеси или получения чистого газового раствора в различных концентрациях и с разным расходом. В альтернативном варианте или дополнительно газовая смесь может быть обеспечена очищенной воздушной смесью. Газовый раствор может быть использован для создания среды насыщения, и он может регулировать показатель pH. Газовый раствор может снабжать жидкую фазу углеродом, азотом, фосфором, серой и/или иными компонентами среды. В некоторых примерах система может содержать более одного контроллера или механизма регулирования газа, благодаря чему в разные модули, компоненты, части, каналы или камеры в пределах системы (например, в пределах заданной части биореактора) могут подаваться разные газовые растворы.

[0308] В некоторых примерах поток газа и/или жидкости в пределах структуры биореактора может проходить вдоль линейной оси, такой как единая линейная ось. Примеры такой структуры могут включать в себя пластинчатый биореактор, реактор в виде полой пирамиды или биореактор, характеризующийся иной макроструктурой. В таких примерах в некоторых случаях поток может быть описан, исходя из среднего значения перемещения по указанной единой оси.

[0309] Как показано на фиг. 46A и 46B, в некоторых примерах в сферическом биореакторе канал для подачи жидкости (например, канал 4600), канал для введения газа (например, газовые камеры 4620, 4640, 4660, 4680 и 4692) и один или несколько инокуляционных каналов (не показаны) могут проходить через производственные структуры (например, производственную объемную область 4694, которая может располагаться внутри культуральных слоев 4630, 4650, 4670 и 4690), достигая, соответственно, требуемых точек. Направление и/или расход подаваемой в биореактор жидкости или газа может влиять на скорость роста клетки или микроорганизма в биореакторе. Например, канал 4600, показанный на фиг. 46A, проходит в направлении радиуса сферического биореактора, и он может выполнять функцию канала подачи

жидкости (например, канала забора питательной среды). В некоторых примерах такой канал, как канал 4600, может быть использован для введения жидкой среды, такой как питательная среда, в разные части (например, разные слои) биореактора (например, сферического биореактора). Направление потока 4697 жидкости может представлять собой угловое направление, как это показано на фиг. 46А. В некоторых примерах направление потока жидкости может быть угловым или радиальным (радиальное направление потока жидкости на этой фигуре не показано) и/или представлять собой сочетание указанных направлений. Жидкая среда может затекать в биореакторы, например, в его слои, и она может доставлять питательную среду клеткам, выращиваемым в биореакторе (например, в культуральные слои 4630, 4650, 4670, 4690 и любые иные культуральные слои). Жидкая среда может достигать клеток и питать их, обеспечивая выживание и рост клеток. Топология и макроструктура биореактора, а также направление потока и способ введения в него жидкости и газа, могут влиять на скорость роста клеток.

[0310] В некоторых примерах биореактор, например, биореактор, показанный на фиг. 46А, 46В и/или 47, может содержать один или несколько инокуляционных каналов (не показаны на фигурах). В одном из примеров биореактор содержит один инокуляционный канал. В некоторых случаях один или несколько инокуляционных каналов могут быть использованы в случае необходимости для обработки и/или засевания клеток.

[0311] На фиг. 48 показан вид каналов и камер внутри биореактора согласно настоящему изобретению, а также течение подаваемого в него газа и жидкости (например, питательной среды, воды, питательных веществ и т.п.). Биореактор, показанный на фиг. 48, может характеризоваться любой формой макроструктуры или любой формой микромодулей. В одном из примеров биореактор, показанный на фиг. 48, может представлять собой сферический биореактор, такой как биореактор 4700, показанный на фиг. 47.

[0312] Газ (например, поток 4830 газа) может нагнетаться в биореактор через определенное отверстие (например, отверстие газозаборных каналов 4720, показанных на фиг. 47) и пропускаться через каналы 4820 для потока газа. Нагнетаемый газ может подпитываться свежим газом подходящего состава (например, в соответствии с составом газа, описанным где-либо еще в настоящем документе). В некоторых случаях газозаборный канал или любой иной подводящий канал, который может быть по существу идентичен газозаборному каналу 4720, может быть использован для отведения или удаления газа из биореактора после прохождения газом определенных зон биореактора и достижения им клеток внутри биореактора. В некоторых примерах для отведения газа из биореактора могут быть использованы разные способы. Примеры таких подходов могут предусматривать использование наружного слоя или внешней оболочки биореактора (например, мембраны вокруг биореактора), которая может контактировать с окружающей средой. Такой наружный слой или мембрана может быть пористой, и может обеспечивать отвод газа из биореактора. В альтернативном варианте или дополнительно биореактор

может содержать слой для сбора газа (не показан) и/или канал для сбора газа (не показан), которые могут быть в некоторой степени схожи с собирающим каналом 4690 и собирающим слоем 4610 и/или в некоторой степени отличаться от них. Например, канал для сбора газа может располагаться в зоне, отличной от зоны расположения собирающего канала 4696, причем он может быть выполнен с возможностью пропускания через себя потока газа, и он может быть использован для отведения газа из биореактора после того, как такой газ пройдет через определенное подмножество зон биореактора. Газ может отводиться из биореактора с использованием любого из этих подходов. В некоторых случаях аналогичный подход может применяться к биореактору, отличному от сферического биореактора 4700.

[0313] Жидкость может вводиться в биореактор через определенное отверстие (например, отверстие канала 4730 для забора жидкости) и пропускаться через канал для потока жидкости (например, канал 4810 для потока жидкости). Жидкость может содержать питательную среду или состав, перечисленный где-либо еще в настоящем документе, который может подаваться в биореактор для содействия росту клеток. Жидкость может протекать через структуры биореактора. Жидкость может содержать питательную среду. В некоторых случаях жидкость может содержать взвешенные в ней клетки. Состав жидкости может соответствовать составу жидкости, описанного где-либо еще в настоящем документе.

[0314] Внутри биореактора может быть предусмотрено множество микромодулей. Микромодуль может представлять собой микромодуль биореактора. Сам микромодуль может состоять из более мелких элементарных ячеек. В некоторых случаях множество элементарных ячеек может быть сведено воедино для получения такого микромодуля. В некоторых примерах микромодуль (например, такой микромодуль, как компоновочный блок 4860) может содержать, по меньшей мере, канал 4810 для потока жидкости и канал 4820 для потока газа, в который может быть введен, и по которому может быть пропущен поток газа (например, поток 4830 газа). Микромодуль (например, компоновочный блок 4860) может повторяться по всей структуре биореактора. Хотя на фиг. 48 показан поток газа и текучей среды в сферическом биореакторе, который взят в качестве примера, аналогичная схема может быть использована в биореакторах с другой топологией и структурой.

[0315] Биореактор может дополнительно содержать газовую камеру 4840 (например, аналогичную газовым камерам 4620, 4640, 4660, 4680 и 4692). Газовая камера 4840 может характеризоваться любой топологией и/или структурой в типовом биореакторе любой формы и/или структуры. В сферическом биореакторе 4700 газовая камера может представлять собой полую сферическую камеру. Например, в некоторых случаях, как это, например, показано на фиг. 48, каналы 4820 для потока газа и каналы 4810 для потока жидкости могут не пересекать или не проходить через полую газовую камеру (например, 4810). Полая газовая камера 4840 может вмещать в себя множество культуральных каналов 4850, в которых могут культивироваться клетки или

микроорганизмы. В некоторых случаях, как это, например, показано на фиг. 48, культуральные каналы 4850 могут располагаться внутри газовой камеры 4840.

[0316] Потоки газа и жидкости могут проходить по своим собственным соответствующим каналам (например, по каналам 4810 и 4820) в микромодулях (например, в компоновочных блоках 4860); и когда такие каналы достигают газовой камеры 4840, потоки газа и жидкости могут заходить в культуральные каналы 4850, размещенные в газовой камере, и проходить через них. Следовательно, культуральные каналы 4850 могут питаться, как газом, так и жидкостью, что способствует росту и/или выживанию клеток. В некоторых примерах канал может представлять собой тракт.

[0317] Макроструктура или топология биореактора может быть выбрана, исходя из применения и целевых характеристик процесса (например, роста клеток). В некоторых случаях сферический биореактор может оказаться более подходящим, чем биореактор с другими геометрическими параметрами, и он может обеспечить некоторые преимущества по сравнению с другими топологиями и/или формами макроструктуры биореактора, такими как структуры пластинчатой формы, пирамидальной формы, в виде полой пирамиды или иные структуры биореактора. Одна из характеристик сферического биореактора заключается в том, что объем сферы или объем оболочки (объемная область между двумя соответствующими радиусами сферы) в сфере связан с радиусом кубическим соотношением (например, $V=(4\pi r^3)/3$, где V=объем, а r=радиус). Пример отображающего это соотношение графика приведен на фиг. 45. Объем биореактора или его сферической оболочки может соответствовать объему, в котором растет клетка или микроорганизм, или содержать такой объем. Следовательно, объем, в котором растут клетки, может увеличиваться в кубе относительно линейного увеличения радиуса сферы, например, с учетом радиального расстояния от центра сферы. Это может быть не так в биореакторе с пирамидальной или пластинчатой структурой. Эта характеристика может обеспечить преимущество, состоящее в том, что повышенная скорость или тренд роста (например, в кубе) может больше соответствовать тренду скорости размножения (например, естественной скорости роста) иллюстративных микроорганизмов или клеток, которые могут расти в биореакторе, в сравнении с другими топологиями и структурами биореактора, и во многих случаях это может давать положительный эффект. Например, поддержание постоянного и/или однородного давления, расхода текучей среды, роста и концентрации клеток в сферическом биореакторе может осуществляться удобным и эффективным образом и/или оказаться практически достижимым, и при этом могут быть обеспечены подходящие условия для выращивания клеток. В одном из примеров может предотвращаться утрата клеток в результате чрезмерного увеличения популяции клеток в заданной зоне.

Способы использования биореакторов

[0318] В некоторых примерах реакционный сосуд или биореактор согласно настоящему изобретению может быть использован для производства или выращивания клеток. На фиг. 44 проиллюстрирован один из примеров реализации способа

использования реакционного сосуда или биореактора согласно настоящему изобретению для производства клеток. В некоторых случаях биореактор может содержать выпускной канал. В некоторых случаях клетки могут собираться через выпускной канал биореактора или его модуля. В некоторых примерах клетки могут собираться в пределах биореактора или его модуля, и могут далее храниться в биореакторе или его модуле, например, в модуле кристалла биореактора.

[0319] В некоторых примерах биореактор может быть использован для получения биопродукта (например, из клеток), такого как малые молекулы, белок, антитела, метаболит или иной продукт, получаемый из клеток, выращиваемых в биореакторе. Биопродукт может быть собран через выпускной канал биореактора и отделен от растущих клеток, например, методом диффузии через пористую мембрану, методом фильтрации или с помощью иного метода. В некоторых примерах биопродукт может быть внутренним по отношению к клетке. Для сбора биопродукта может быть обеспечена возможность сбора и/или растворения клеток, после чего биопродукт может быть дополнительно очищен, если/когда в этом есть необходимость. В некоторых примерах биопродукт может быть выделен из клеток, и может быть получен без сбора или растворения клеток.

[0320] Биореакторы, описанные в настоящем документе, и системы, включающие в себя такие биореакторы, обладают гибкостью для оптимизации роста и масштабирования клеток различных типов. В некоторых примерах биореактор системы представляет собой производственный биореактор, предназначенный для масштабирования роста клеток, получения большого объема клеток или выращивания клеток в условиях, обеспечивающих возможность получения и сбора биопродукта в непрерывном режиме и/или масштабным образом. В некоторых примерах система, содержащая производственный биореактор, может включать в себя один или несколько дополнительных модулей. Одним из примеров дополнительных модулей может служить модуль кристалла. В некоторых примерах система может включать в себя модуль кристалла, используемый для обеспечения начального роста клеток и/или хранения клеток с целью предоставления производственному биореактору клетки/клеток конкретного типа, причем такой производственный биореактор затем используется для масштабирования роста или производства клеток и/или получения биопродукта. Еще одним примером дополнительных модулей может служить тестовый модуль. В некоторых примерах система может включать в себя тестовый модуль (например, в последовательной или любой иной конфигурации) с производственным модулем биореактора (с модулем кристалла или без модуля кристалла в качестве части системы), где такой тестовый модуль предназначен для тестирования, анализа и/или оптимизации условий роста клеток до начала их масштабирования в производственном модуле биореактора.

[0321] Системы, содержащие биореактор, могут быть использованы для производства клеток и биопродуктов самых разных типов. Например, система,

включающая в себя биореактор, описанный в любом разделе настоящего документа, как сам по себе, так и с одним или несколькими модулями кристалла и/или тестовыми модулями (также именуемыми в настоящем документе тестовым биореактором), может обеспечить возможность производства стволовых клеток и/или других типов лечебных клеток, в том числе аутологичного и аллогенного производства. Система может обеспечить возможность производства стволовых клеток и/или других типов лечебных клеток, в том числе аутологичного и аллогенного производства. В некоторых примерах может быть выполнено наращивание Т-клеток, доставка генов в Т-клетки или активация Т-клеток для персонифицированной обработки Т-клеток с химерными антигенными рецепторами (CAR-T). В некоторых примерах стволовые клетки могут быть недифференцированными, выращенными и/или дифференцированными.

[0322] В некоторых примерах выращиваемые в системе клетки могут представлять собой прокариотические клетки, такие как бактериальные клетки. В некоторых примерах выращиваемые клетки могут представлять собой эукариотические клетки, такие как дрожжевые клетки, грибковые клетки, клетки водорослей, растительные клетки, клетки птичьего происхождения или клетки млекопитающих. Клетки могут свободно плавать в питательной среде, или же они могут представлять собой прилипающие клетки, которые могут прилипать к одной или нескольким поверхностям, таким как поверхности в биореакторе и/или в других модулях системы. Клетки могут трансформироваться или конструироваться иным образом для производства биопродукта, такого как чужеродный белок, антитела, малые молекулы и/или метаболит.

[0323] В некоторых примерах системы, содержащие биореактор, описанный в настоящем документе, могут обеспечивать возможность производства вирусов, бактериофагов и/или их антигенов.

[0324] В некоторых примерах системы, содержащие биореактор, описанный в настоящем документе, могут обеспечивать возможность производства не встречающихся в природе организмов, не встречающихся в природе вирусов, синтетических организмов и/или ксеноботов.

[0325] В некоторых примерах системы, устройства и способы, описанные в настоящем документе, могут быть использованы при нулевой силе земного притяжения или в условиях микрогравитации, вследствие чего клетки растут при нулевой силе земного притяжения или в условиях микрогравитации.

Способы и материалы для построения модулей биореактора

[0326] Системы, компоненты и модули, раскрытые в настоящем документе, могут быть изготовлены из самых разных материалов, и такие материалы могут быть адаптированы под тип выращиваемых клеток и используемые клеточные среды. В некоторых примерах компоненты и модули или их составные части могут быть изготовлены методом 3D-печати. В некоторых примерах 3D-печать может выполняться с использованием способов и/или систем, описанных где-либо еще в настоящем документе, других способов и/или систем и/или любого их сочетания. При такой печати могут

применяться имеющиеся на рынке смолы и биосовместимые полимеры, отверждаемые под действием ультрафиолета (УФ). В некоторых примерах форма каждого микромодуля может быть отдельно разработана в виртуальной среде. В некоторых примерах компоненты и модули могут быть составлены из доступных на рынке компонентов, которые могут быть объединены и сведены воедино так, как это описано в настоящем документе. В некоторых примерах используемый биоматериал может включать в себя комбинацию из трех подкомпонентов, таких как биосовместимый полимер, фотоинициатор и поглотитель УФ-излучения.

[0327] Устройства и системы согласно настоящему изобретению могут быть сформированы методом 3D-печати, например, стереолитографии. В некоторых примерах для системы 3D-печати, которая может использовать стереолитографию, может быть подготовлена CAM/CAD-модель устройства (модель для системы автоматизированного производства (CAM) или для системы автоматического проектирования (CAD)). Такой способ может предусматривать обеспечение контейнера со смолой, содержащей фотоинициатор, и один или несколько полимерных прекурсоров. Например, для нанесения предварительно запрограммированной конструкции или структуры на поверхность контейнера, содержащего смолу, может быть использован источник света (например, лазер ультрафиолетового (УФ) излучения или иной подходящий источник света). Смола может представлять собой фотополимер, который фотохимически отверждается с формированием единого слоя после контакта со светом (например, УФ-лазером). В процессе производства может быть добавлена и отверждена дополнительная смола. В некоторых примерах процесс производства может включать в себя или представлять собой процесс послойного производства. Стереолитография может быть использована для построения объектов и/или модулей в любом направлении. В некоторых примерах стереолитография может быть использована для построения модулей по адаптивной схеме сверху вниз или снизу вверх.

[0328] В некоторых примерах построение реактора, биореактора или их модуля может предусматривать самосборку полимеров, например, блочных сополиметров, для формирования 3D-структур (например, гироида, геометрической формы или конструкции любой формы, вида, геометрии или размеров) или использование способов субтрактивной обработки.

[0329] Способы субтрактивной обработки могут предусматривать химическое или механическое удаление абляционных материалов. Например, абляционные материалы могут быть получены методом адгезивного производства с помощью спекающего лазера. Абляционный материал может быть покрыт биосовместимыми полимерами методом погружения, окунания или иным способом. Затем абляционный материал может быть растворен или механически удален для получения 3D-форм или структур (например, гироидов) из биосовместимых полимеров.

Пример биореактора, полученного методом 3D-печати

[0330] Беспузырьковый биореактор может быть напечатан с помощью устройств и

способов 3D-печати, описанных где-либо еще в настоящем документе. На фиг. 57A приведен пример процесса печати. Система каналов и матриц биореактора вместе с вспомогательными структурами может быть сконфигурирована методом 3D-моделирования. Трехмерная модель может быть преобразована в слайды для 3D-печати. Перед началом печати может быть сформована биополимерная смола, и может быть подготовлен контроллер принтера. Затем с помощью устройства для 3D-печати может быть напечатан биореактор, после чего напечатанный биореактор может быть подвергнут постобработке. На фиг. 57B представлена цифровая визуализация биореактора, напечатанного методом 3D-печати, и показаны его поперечные сечения в зависимости от высоты расположения. Первое поперечное сечение показывает впускное и выпускное отверстия реактора. Второе поперечное сечение показывает внутреннюю структуру гироидной формы. Третье поперечное сечение показывает основные каналы реактора, которые соединяются с каналами гироида.

[0331] Один из примеров реализации 3D-принтера и напечатанного биореактора приведен на фиг. 58. Напечатанный биореактор содержит кристаллы в форме двойного гироида с суммарным объемом пустот около 500 миллилитров (мл). Диаметр каналов гироида составляет 500 мкм с межмембранной толщиной 300 км. В других примерах межмембранная толщина может составлять примерно менее 300 мкм. Например, межмембранная толщина может составлять примерно менее 275, 250, 225, 200, 175, 150, 125, 100 или 75 мкм или еще меньше. Один из примеров реализации 3D-принтера включает в себя печатный куб 5804 с дренажной трубкой 5801. Материал, находящийся в печатном кубе 5804, перекачивается внутри печатного куба 5804 с помощью системы рециркуляции. Система рециркуляции включает в себя емкость 5806, содержащую фотоотверждаемую биосмолу, магнитную мешалку 5805 для перемешивания биосмолы и рециркуляционные перистальтические насосы 5807 для перекачки биосмолы в печатный куб 5804. Биореактор может располагаться между печатным кубом 5804 и платформой 5802. Печатная платформа 5802 может быть соединена с реверсивным шариковым винтом 5803, выполненным с возможностью подъема печатной платформы 5802.

Примеры

[0332] В некоторых примерах исполнимые команды согласно настоящему изобретению могут включать в себя способ конструирования пространства или структуры из множества структурных единиц, микромодулей, элементарных ячеек и элементов в соответствии со способами, описанными где-либо еще в настоящем документе. Такие способы могут предусматривать сборку микромодулей для построения макроструктуры. Макроструктура может иметь любую форму, описанную где-либо еще в настоящем документе, такую как сфера, пирамида, полая пирамида, пластина, шахматная доска или любая иная форма. В некоторых примерах макроструктура может сформировать биореактор. Биореактор может быть составлен из множества микромодулей, собранных воедино с помощью способов согласно настоящему изобретению. Эти способы могут предусматривать подготовку математической модели и одного или нескольких операторов

и/или операций для манипулирования микромодулем (например, кристаллографической элементарной ячейкой) с использованием компьютеризированных способов, таких как программное обеспечение (например, компьютерные системы, описанные где-либо еще в настоящем документе).

[0333] В настоящем документе представлены структуры, которые могут быть использованы в качестве биореакторов. Также представлен способ построения таких структур. В некоторых примерах структура может быть напечатана методом 3D-печати с использованием способов, раскрытых в настоящем документе. Способ построения структур может включать в себя стереолитографию и/или кристаллографию. В некоторых примерах машиночитаемые команды могут включать в себя способы конструирования пространства с использованием множества микромодулей и способы построения структур, таких как биореакторы.

[0334] В одном из примеров структура (например, канал или любая иная структура) может быть получена с использованием способов, описанных в настоящем документе. В некоторых случаях элементарная ячейка может быть задана или смоделирована путем распределения узлов кристаллической решетки по телу элементарной ячейки или решетчатой структуры. Узлом может служить элемент. Тело может представлять собой тело кристалла или элементарной ячейки. Элемент может располагаться в элементарной ячейке. Например, в элементарной ячейке или решетке схема расположения узлов может отображаться в виде атомов решетки. Атомы в решетке могут вибрировать таким образом, чтобы минимизировать полную поверхность решетки в результате достижения устойчивого равновесия (например, равновестности электростатических сил), вследствие чего атомы соединяются между собой и/или удерживаются на своем месте. В некоторых случаях структура может быть задана минимизированной поверхностью, полученной в результате соответствующего размещения узлов или элементов. В альтернативном варианте или дополнительно в некоторых случаях может оказаться целесообразным и/или удобным построить и/или задать структуру (например, канал или иную структуру) с учетом траектории, которая может соединять поднабор узлов кристаллической решетки.

[0335] Структуры, которые могут быть построены и применены с использованием способов согласно настоящему изобретению, могут включать в себя один или несколько микромодулей. В некоторых примерах микромодуль может представлять собой компоновочный блок биореактора. Микромодули могут включать в себя один или несколько внешних микромодулей (например, компоновочных блоков) и/или один или несколько внутренних микромодулей (например, компоновочных блоков). В некоторых примерах внешние и/или внутренние микромодули (например, компоновочные блоки) могут содержать один или несколько каналов. Одним из примеров может служить внешний канал, такой как канал в пределах внешнего микромодуля биореактора, описанного в настоящем документе. Функция внешнего микромодуля может предусматривать питание одного или нескольких внутренних микромодулей, например, путем подачи жидкости и/или газа в один или несколько микромодулей из внешнего

источника, такого как емкость. Емкостью может служить емкость биореакторной системы, описанная где-либо еще в настоящем документе. В некоторых примерах внешний микромодуль может представлять собой систему питания биореактора, описанную где-либо еще в настоящем документе, такую как система подачи газа и жидкости в биореактор или его часть.

[0336] В некоторых примерах способ получения внешнего микромодуля или его составной части (например, канала внешнего микромодуля) может быть отчасти схож и/или отчасти отличаться от способа получения внутреннего микромодуля или его составной части (например, компонента внутри биореактора, внутреннего канала, внутреннего тракта или иной составной части внутреннего микромодуля биореактора). Например, в некоторых случаях внутренний микромодуль может содержать или представлять собой элементарную ячейку. Элементарная ячейка может быть симметричной. В некоторых примерах внешний микромодуль (например, компоновочный блок, составляющий внешнюю систему питания, такую как внешний канал) может не являться элементарной ячейкой и/или может не быть симметричным. В некоторых случаях математическое или кристаллографическое представление внешнего микромодуля может заключаться во входных и/или выходных связях микромодулей (например, компоновочных блоков).

[0337] Микромодули или компоновочные блоки могут включать в себя переходные микромодули или компоновочные блоки. В некоторых примерах переходные микромодули могут соединять между собой внутренний микромодуль и внешний микромодуль или облегчать сообщение между ними. В некоторых случаях характеристики переходного микромодуля могут зависть от внутренних и внешних микромодулей и/или внешних источников (например, внешнего блока, такого как емкость или другой внешний компонент биореакторной системы) или соотноситься с ними. В одном из примеров один или несколько трактов и/или каналов могут проходить через один или несколько микромодулей ряда примыкающих друг к другу объемных областей (например, двух соседних объемных областей). Переходной микромодуль может соединять между собой один или несколько каналов или облегчать сообщение между ними. Например, переходной микромодуль может облегчать прохождение текучей среды между одним каналом и другим.

[0338] Поток текучей среды в микромодулях биореактора может обладать определенными характеристиками, включая механику текучих сред (например, режим течения), профили температур при нагреве, профили состава, а также перенос текучей среды, теплопередачу и перенос массы между различными текучими средами и зонами. В некоторых примерах эти характеристики и/или свойства могут быть учтены, сконфигурированы и/или отрегулированы. В некоторых случаях указанные характеристики могут быть учтены при проектировании и/или конструировании переходных микромодулей.

[0339] Способы построения переходных компоновочных блоков могут

выполняться пользователем, который может подавать соответствующие команды (например, подавать исполнимые команды и/или использовать компьютеризированные способы любого типа). В некоторых примерах пользователь может выполнить проектирование вручную с использованием типовых средств отображения (например, программы AUTOCAD или иного средства отображения) и с последующим предоставлением результатов для компьютеризированных способов, описанных где-либо еще в настоящем документе, для проектирования и/или конструирования микромодуля (например, внутреннего микромодуля, внешнего микромодуля и/или переходного микромодуля). В некоторых случаях такое проектирование и конструирование может отнимать у пользователя много времени. В альтернативном варианте или дополнительно проектирование компоновочного блока (например, переходного микромодуля) может быть выполнено или облегчено с помощью генеративного проектирования на основе искусственного интеллекта, которое может автоматизировать проектирование и/или конструирование микромодулей, по меньшей мере, в некоторой степени. Генеративное проектирование на основе искусственного интеллекта в некоторых случаях может улучшить характеристики, такие как механика текучих (например, режим течения), профили температур при нагреве, профили состава, а также перенос текучей среды, теплопередача и перенос массы между различными текучими средами и зонами в микромодулях. В некоторых примерах два микромодуля, которые должны быть соединены между собой, могут быть снабжены метками. В альтернативном варианте или дополнительно также может быть отмечено количество внешних переменных структуры. Процедура снабжения метками может быть использована для предоставления набора обучающих данных, с помощью которых может быть обучен алгоритм глубокого обучения. В некоторых примерах алгоритм может включать нейросеть. Примеры алгоритмов и/или нейросетей могут включать в себя генеративно-состязательные сети и вариационные автокодировщики.

[0340] В некоторых примерах структура может быть представлена в математическом виде. Структура может содержать или представлять собой внутренние и/или внешние микромодули. В одном из примеров представляемой структурой может служить канал. Канал может быть внутренним или внешним. Пример математического представления каналов на основе узлов (например, элементов) кристаллической решетки приведен на фиг. 49. Математическое представление каналов 4900 может включать в себя одну или несколько кривых (например, параметрических кривых) 4910. Кривые 4910 могут быть математически представлены или построены с использованием полиномиальных уравнений. Многочлены могут оказаться подходящими для такого представления из-за своей простоты и эффективности. Многочлены могут обеспечивать гибкость при отображении кривых в случае необходимости и/или там, где это необходимо для различных сфер применения, например, для конструирования микромодулей и структур. В некоторых примерах для отображения кривых могут быть использованы различные математические уравнения, а примерами математических уравнений, которые

могут быть использованы, могут служить многочлены, синусы, косинусы, логарифмические, экспоненциальные и/или иные математические уравнения в зависимости от того, что больше подходит. В некоторых примерах могут быть использованы кривые Безье (например, в 3D). В некоторых случаях узел кристаллической решетки может быть использован в качестве контрольных точек и/или крайних точек кривых. Примеры крайних точек могут включать в себя точки A, B, C, D и E, показанные на фиг. 49. Примеры контрольных точек могут включать в себя точки C_{A1}, C_{A2}, C_{B1}, C_{B2}, C_{C1}, C_{C2}, C_{D1} и C_{D2}, показанные на фиг. 49.

[0341] В настоящем документе раскрыты способы математического представления камеры. В некоторых примерах камера может располагаться в пределах микромодуля. В некоторых примерах камера может характеризоваться итоговой формой, полученной в результате пересечения траекторий, проходящих через узел кристаллической решетки. Представление может варьироваться в зависимости, помимо прочих факторов, от типа и структуры камеры. В некоторых примерах каналы или тракты могут создавать камеры, например, из сталкивающихся траекторий, проходящих через узел кристаллической решетки. Конструкция в каждом случае может зависеть от характеристик биореактора, в котором могут быть использованы такие каналы и/или камеры. Пример такого представления приведен на фиг. 50. На этой фигуре величины C_{P1} и C_{P3} обозначают контрольные точки величины A. Величины C_{P1} и C_{P2} обозначают контрольные точки величины C. Величины C_{P2} и C_{P3} обозначают контрольные точки величины B.

[0342] В некоторых случаях для генерирования камеры может быть использована функция, такая как математическая функция, или математический оператор. Например, камера может быть сгенерирована функцией пересечения, используемой для кривых (например, 3D-кривых). В некоторых случаях для завершения представления камеры и/или ее конструирования дополнительное моделирование может не потребоваться. В альтернативном варианте в некоторых случаях дополнительное моделирование может оказаться целесообразным, полезным и/или необходимым, по меньшей мере, для выполнения подмножества стадий процесса. На фиг. 51A приведен пример представления 5100 типовой структуры. Представление 5100 может отображать неявную камеру. В некоторых примерах, когда две или более траектории (например, кривые, такие как 2D- или 3D-кривые, например, кривая 5110) могут достичь одной и той же точки (например, пересечения в одной точке, такой как точка пересечения 5120), математическая функция или оператор пересечения может соединить, связать и/или объединить две кривые или траектории таким образом, что получается определенная форма, такая как структура. В зависимости от функции пересечения, используемой для создания соединения между двумя кривыми, точка пересечения может быть гладкой (как, например, точка 5120 пересечения) или острой, как кромка пирамиды или иной структуры (пример не показан). Сгенерированной структурой (например, представлением 5100) может служить любая структура. Например, кривые могут представлять собой каналы и/или тракты; они могут пересекаться в определенной точке, и функция пересечения может соединять и/или

объединять их, и может вносить в них некоторые дополнительные модификации для генерирования структуры, такой как камера. К примеру, функция пересечения, используемая для генерирования представления 5100, является точной функцией пересечения. Другой пример генерирования структуры с использованием этого способа приведен на фиг. 51B. Аналогичный подход может быть применен для генерирования представления 5130, показанного на фиг. 51B. В одном из примеров функция пересечения, используемая для получения представления 5130, является экспоненциальной сглаженной функцией пересечения. Представление 5130 может отображать неявную камеру.

[0343] В некоторых примерах структура, такая как камера и/или ее отображение, может быть явной (например, явные камеры). Выбор неявной или явной структуры или ее отображения может зависеть от целевых характеристик итогового микромодуля или структуры, такой как биореактор. В некоторых случаях структура, такая как камера и/или ее отображение, может быть параметрической. Результат может варьироваться в зависимости от способа, используемого для генерирования структуры (например, камеры).

[0344] В некоторых примерах для генерирования микромодуля может быть собрано множество элементарных ячеек. Например, элементарная ячейка может быть использована в качестве воксела для вокселизации структуры, такой как микромодуль биореактора, или всего биореактора в целом. Микромодулем может служить компоновочный блок всей структуры. В некоторых случаях микромодуль или компоновочный блок может унаследовать некоторые свойства элементарной ячейки, которая может быть использована для генерирования микромодуля. Например, в некоторых случаях противоположные грани элементарной ячейки могут проходить параллельно друг другу. В некоторых случаях смежные грани двух микромодулей или компоновочных блоков могут соединять эквивалентные связи. В некоторых случаях имеется возможность построения вокселизированной структуры (например, верхней вокселизированной структуры) с использованием типовой элементарной ячейки в качестве воксела. Элементарная ячейка может характеризоваться любой формой из числа вариантов формы, перечисленных в настоящем документе, такой как кубическая или иная форма (например, представленная в Таблице 1.1).

[0345] Один из примеров построения структуры путем сборки элементарных ячеек приведен на фиг. 52. На этой фигуре показана 3D-сфера и ее вокселизированные представления с использованием кубических элементарных ячеек. В некоторых примерах первая стадия способа может состоять в определении формы конструируемой структуры. Например, форма структуры может быть задана сочетанием математических уравнений (например, параметрических уравнений) и конструктивной твердотельной геометрии. Форма структуры (например, макроструктуры) может быть задана как 3D-объект (например, как идеальный 3D-объект), в некоторых случаях - независимо от формы элементарной ячейки или воксела, который будет использован для ее построения. В некоторых примерах конструируемая структура может представлять собой

макроструктуру, такую как биореактор. В некоторых случаях конструируемая структура может представлять собой микромодуль. К примеру, после задания геометрии макроструктуры (например, сферы 5200) может быть выполнена вокселизация для отображения макроструктуры в виде сборки из множества элементарных ячеек или вокселов (например, элементарных ячеек или вокселов 5210). В некоторых случаях вокселизация может быть выполнена с учетом типа элементарной ячейки (например, см. Таблицу 1.1). В некоторых примерах в целях вокселизации схемой расположения узлов кристаллической решетки внутри элементарной ячейки можно пренебречь. В ходе этого процесса могут быть созданы микромодули и/или компоновочные блоки. Вся макроструктура в целом может содержать множество таких микромодулей или компоновочных блоков. Такие микромодули и/или компоновочные блоки могут включать в себя внутренние, внешние, переходные микромодули и/или компоновочные блоки и/или микромодули и/или компоновочные блоки любого иного типа, описанные где-либо еще в настоящем документе.

[0346] Следующая стадия может предусматривать инкорпорирование каналов в структуру, например, в микромодули и/или компоновочные блоки. Свойства каналов могут быть точно заданными, и они могут быть унифицированы (например, в соответствии со способами, описанными где-либо еще в настоящем документе). Каналы могут включать в себя удлиненные каналы, которые могут переносить газы и жидкость по всей структуре биореакторов.

Внешние соединители

[0347] В некоторых примерах структура может содержать ряд внешних соединителей. Например, структура может включать в себя ряд подводящих каналов (например, каналы 4720 или 4730), показанных на фиг. 47. К примеру, структура, такая как биореактор (например, биореактор 4700), может содержать, по меньшей мере, около 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 10, 20 или больше подводящих каналов, включая их приращения. В некоторых случаях может оказаться целесообразным предусмотреть относительно небольшое количество подводящих каналов или - в некоторых случаях - минимизировать количество подводящих каналов. Структура может дополнительно содержать ряд каналов, таких как внутренние каналы (например, каналы 4810 и 4820, показанные на фиг. 48). Каналы могут представлять собой тракты. Внешние соединители (например, подводящие канал, например, каналы 4720 или 4730) могут питать внутренние каналы (например, каналы 4810 и 4820). Каналом может служить тракт (например, канал или тракт 1905, показанный на фиг. 19). Структура может характеризоваться любым количеством трактов. В некоторых примерах структура может содержать от одного до нескольких миллионов трактов (включая любое их промежуточное количество). Может оказаться целесообразным обеспечить точное (например, равномерное) распределение газа и/или текучей среды по каналам и/или трактам, а в некоторых случаях - по всем каналам биореактора. В некоторых случаях может оказаться целесообразным иметь небольшое количество подводящих каналов с тем, чтобы обеспечить возможность более удобного и

эффективного управления ими. В некоторых случаях способы построения структур (например, процедурное проектирование) могут предусматривать прослеживание подводящего канала от внешнего компоновочного блока или микромодуля и/или подведение каналов к внешним соединителям разных типов. В некоторых случаях соединители могут быть протестированы заранее для обеспечения возможности равномерного распределения поступающего потока по каналам (например, трактам) структуры впускными и выпускными каналами.

Древовидные соединители

[0348] Структуры, раскрытые в настоящем документе, могут содержать один или несколько соединителей. Структурой может служить биореактор, описанный в настоящем документе, который может быть напечатан методом 3D-печати с использованием способов согласно настоящему изобретению. Структура, такая как биореактор, или иная структура, которая может быть напечатана методом 3D-печати в соответствии со способами, описанными в настоящем документе, может содержать один или несколько соединителей. Соединители могут характеризоваться самыми разными формами и очертаниями. Один из примеров реализации соединителей может представлять собой древовидные соединители. Один из примеров древовидных соединителей представлен на фиг. 53. Форма этих соединителей может соответствовать форме дерева. К примеру, корень типового дерева может отображать внешний соединитель (например, соединитель на наружной поверхности биореактора). Листья дерева могут отображать подводящие каналы, отходящие от внешних микромодулей биореактора. В некоторых примерах, уровень за уровнем, количество впускных подводящих каналов может делиться на положительное число (например, целое число > 1) до тех пор, пока не останется всего один канал. Полученный в итоге один канал может быть корнем дерева, представляющим внешний соединитель.

[0349] Примеры разных форм соединителей могут включать в себя древовидные соединители, одногранные соединители и соединители других форм. В некоторых примерах форма одногранных соединителей может варьироваться в разных конструктивных решениях. В одногранных соединителях внешний соединитель может заполнить камеру, которая может содержать один или несколько каналов или трактов (например, множество трактов), которые могут быть соединены с подводящими каналами внешних микромодулей (например, внешних компоновочных блоков). В некоторых примерах для облегчения однородного и/или равномерного распределения текучих сред по трактам ширина соединителей, камер и/или трактов может регулироваться для обеспечения возможности заполнения трактов целевым объемом текучей среды, например, после заполнения камеры.

[0350] В настоящем документе раскрыты архитектурные решения и способы архитектурного проектирования структур, таких как биореакторы. В некоторых примерах способы могут предусматривать функционализацию микромодулей (например, компоновочных блоков). В некоторых примерах компоновочные блоки и/или

микромодули могут быть соединены между собой посредством связей (например, связи 1915, показанной на фиг. 19). Кристаллическая ячейка, показанная на фиг. 19, может представлять собой пример микромодуля, который характеризуется наличием ряда граней (например, граней 1910 и 1920) и ряда каналов (например, канала 1905). Такая кристаллическая ячейка или микромодуль может быть соединен с другими элементарными ячейками, микромодулями или компоновочными блоками посредством связей (например, связи 1915). В некоторых примерах связь (например, связь 1915) может представлять собой внешнюю связь, и она может располагаться на одной или нескольких гранях (например, на грани 1910) микромодуля. Микромодуль может быть представлен в виде кристаллической ячейки. В некоторых случаях один из примеров реализации микромодуля может представлять собой повторяющуюся ячейку, такую как компоновочный блок 4860, показанный на фиг. 48. В некоторых случаях связь может располагаться на кромке двух и более граней, например, на одной из сторон геометрической формы (например, кубической или иной формы) элементарной ячейки, показанной на фиг. 19. В некоторых примерах связь может совместно использоваться более чем двумя гранями, например, тремя или более гранями, и она может располагаться на вершине компоновочного блока, например, на вершине кубической кристаллической ячейки, показанной на фиг. 19, или на кристаллической ячейке любой другой формы или типа. В некоторых примерах два или более соседних блока (например, соседних микромодулей или соседних кристаллических ячеек) могут быть сопрягаемыми (например, соединимыми), если они совместно используют одно и то же положение на соединяемых гранях, и если прикрепленная к ним связь характеризуется такой же формой в поперечном сечении. Затем связь может быть соединена с двумя соседними микромодулями.

[0351] В некоторых примерах конструкция биореактора может предусматривать различное количество фазовых объемных областей, которые могут быть соединены между собой. Фазовые объемные области в некоторых случаях могут иметь большое значение для макроструктуры, составленной из множества внутренних микромодулей (например, компоновочных блоков). Например, в некоторых случаях способ соединения микромодулей и/или компоновочных блоков может предусматривать учет среды, находящейся внутри таких микромодулей. Например, микромодуль может быть выполнен с возможностью протекания через него текучей среды, такой как газ или жидкость. Одним из примеров реализации такого микромодуля может служить канал или тракт или иная структура (например, биореактор). К примеру, согласующийся унифицированный канал может быть построен в результате соединения между собой двух соседних каналов, при этом среда, которая транспортируется по таким каналам, также может быть согласующейся. Это согласование может быть обеспечено за счет маркировки каналов, используемых в компоновочных блоках или микромодулях (например, в фазовом объеме). В некоторых примерах такие метки могут также соотноситься с такими свойствами, как давление, нагрев, состав текучих сред и т.п. В некоторых примерах может потребоваться

сохранение таких свойств. Например, такие свойства не могут быть нарушены вследствие соединения компоновочных блоков или микромодулей. В одном из примеров друг с другом могут быть соединены два канала, в каждом из которых может протекать текучая среда, причем каждая текучая среда может характеризоваться набором свойств, таких как расход, температура, давление, состав и т.п. Каналы могут соединяться между собой с учетом этих свойств таким образом, чтобы в результате соединения каналов их свойства сохранялись или поддерживались в подходящих условиях. Это может быть достигнуто с помощью схемы маркировки, описанной в настоящем документе. В некоторых примерах ряд таких факторов тестируется, анализируется и/или верифицируется, например, до завершения структурального проектирования.

[0352] Микромодули или компоновочные блоки могут включать в себя переходные микромодули и/или компоновочные блоки. Переходной микромодуль может содержать переходную фазовую объемную область. Переходная фазовая объемная область микромодуля может учитывать как фазовые объемы, образуемые соединяемыми переходными микромодулями, так и соответствующие характеристики соседних фазовых объемных областей этих переходных микромодулей.

[0353] В некоторых примерах соединитель может быть выполнен с возможностью переноса среды (например, текучей среды, такой как газ или жидкость) снаружи биореактора во впускной тракт или подводящий канал (например, подводящий канал, такой как подводящий канал 4720 или 4730) во внешнем компоновочном блоке или микромодуле биореактора, а в некоторых случаях - во все подводящие каналы. Соединители могут характеризоваться наличием множества уровней. Соединители могут представлять собой соединители нижнего уровня. В некоторых примерах соединитель нижнего уровня (например, соединитель первого уровня) может характеризоваться структурой, которая может трансформировать канал в подводящий канал большего размера, который в результате может постепенно превратиться в ряд подводящих каналов (например, подводящий канала 4720 или 4730) на внешней поверхности биореактора (например, биореактора 4700).

[0354] Соединители могут дополнительно включать в себя соединители верхнего уровня или более высокого уровня. Соединитель верхнего уровня может постепенно (например, послойно) надстраивать подводящие каналы большего размера от соединителей низшего уровня. Такие соединители могут представлять собой внешние соединители, древовидные соединители и/или одногранные соединители, функциональные возможности которых могут соответствовать информации, представленной где-либо еще в настоящем документе.

Имитационное моделирование и модели

[0355] В настоящем документе раскрыты способы моделирования и/или имитационного моделирования элементарной ячейки (например, кристаллографической элементарной ячейки) и ее поведения и/или функционирования. Такое имитационное моделирование может облегчить определение расчетных характеристик с учетом

предполагаемого применения и/или ожидаемых результатов в отношении сгенерированного биореактора. Имитационное моделирование может включать в себя компьютерное моделирование и/или числовое моделирование. Примеры имитационного моделирования могут включать в себя комплексное моделирование, использование метода решеточных уравнений Больцмана, моделирование методом конечных элементов, функциональное микрофлюидное моделирование с обратной связью и коррекцией (например, на втором и/или третьем уровне), по условиям непрерывности фаз и прочие методы.

[0356] К примеру, для решения задач, связанных с проектированием и/или конструированием структур согласно настоящему изобретению может быть использован анализ методом конечных элементов (FEA). В некоторых примерах FEA может быть использован для прогнозирования, моделирования и/или имитирования поведения 3D-модели с учетом различных факторов, включающих в себя внешние силы, нагрев, расход и другие факторы, такие как физические явления. В некоторых случаях имитационное моделирование может быть использовано в процессе разработки продукта в качестве обратной связи для повышения качества проектирования. В некоторых случаях анализ FEA может начинаться с деления объекта на множество конечных элементов (например, миллионы конечных элементов). Это может быть важной операцией для обеспечения эффективности и точности прогнозирования. В некоторых случаях проведение анализа FEA может отнимать много времени, например, из-за топологии кристаллической структуры. Образ действий, с помощью которого структура делиться на конечные элементы, может иметь большое значение для обеспечения эффективности и/или точности модели.

[0357] В некоторых примерах моделирование или имитационное моделирование может включать в себя использование метода решеточных уравнений Больцмана. В некоторых примерах имитационное моделирование методом решеточных уравнений Больцмана может быть совместимо с неявным представлением модели или структуры. Этот способ может дополнительно предусматривать использование функции для повышения эффективности и/или точности имитационного моделирования методом решеточных уравнений Больцмана. В некоторых примерах такая функция может представлять собой математическую функцию или оператор, например, знаковую функцию расстояния.

[0358] Способ имитационного моделирования кристаллических структур может предусматривать предварительное вычисление компоновочных блоков. В некоторых примерах компоновочные блоки или микромодули могут быть по существу схожими, а в некоторых случаях - идентичными друг другу. Может быть выполнено распределение микромодулей по категориям с ограниченным количеством (например, небольшим числом) выборок. К примеру, может быть обеспечена возможность предварительного расчета экспериментов с различным количеством входных переменных, вводимых в подмножество выборок или все выборки. Предварительное вычисление может быть

использовано для ускорения имитационного моделирования биореактора. Предварительное вычисление может выполняться в отношении подмножества структур (например, выборок). В некоторых примерах может быть улучшено проектирование внутренних и внешних микромодулей или компоновочных блоков. Такое усовершенствование может не зависеть от макроструктуры биореактора в целом. В альтернативном варианте в некоторых случаях также может учитываться макроструктура биореактора.

[0359] В некоторых примерах способы и системы могут включать в себя базы данных имитационных моделей и способы их создания и использования. К примеру, в базе данных могут быть сохранены рассчитываемые и используемые имитационные модели. База данных имитационных моделей может быть использована для предоставления аналитических оценок для последующего имитационного моделирования. Имитационное моделирование может проводиться с заданной скоростью. Скорость имитационного моделирования может быть увеличена за счет использования предыдущих вычислений. В некоторых случаях может быть обеспечена ускоренная аппроксимация. Например, такая аппроксимация может основываться на информации, хранящейся в базе данных имитационных моделей или других вычислений, хранящихся где-либо еще. Это позволяет удешевить имитационное моделирование в вычислительном отношении.

[0360] Способы согласно настоящему изобретению могут предусматривать использование искусственного интеллекта и/или машинного обучения. В некоторых примерах обучающие данные для алгоритма могут предоставляться подмножеством данных, например, платформой на основе AI, к примеру, на основе глубокого обучения. Целью этого может являться ускорение и/или улучшение прогнозирования и имитационного моделирование. В некоторых примерах маркировка микромодулей или компоновочных блоков может облегчить сохранение предыдущих имитационных моделей и/или метаинформации, извлеченной по результатам экспериментов или предварительных вычислений. В некоторых примерах база данных имитационных моделей может быть использована для сохранения таких данных. Для обучения модели могут быть использованы обучающие данные. Информацию может предоставлять платформа (например, платформа на основе искусственного интеллекта (AI)) путем более быстрого, более эффективного и/или боле точного выполнения имитационного моделирования. Это может быть частью цикла разработки продукта согласно способам, описанным в настоящем документе. Способ может предусматривать имитационное моделирование, выполняемое пользователем; имитационное моделирование, выполняемое AI; и/или сочетания этих вариантов. Эти способы могут предусматривать итерационные процессы. Использование AI может повысить скорость, эффективность и/или точность итераций. В итоговых структурных и/или производственных конфигурациях могут быть учтены, помимо прочего, функциональные факторы и/или конструктивные факторы. Примеры конструктивных характеристик могут включать в себя механическую прочность, промышленную совместимость и т.д.

[0361] Хотя в настоящем документе были описаны и проиллюстрированы предпочтительные варианты осуществления заявленного изобретения, специалистам в данной области техники должно быть очевидно, что такие варианты осуществления представлены исключительно для примера. Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что в заявленное изобретение могут быть внесены многочисленные изменения, модификации и замены без отступления от его предмета. Следует понимать, что при реализации заявленного предмета изобретения на практике могут быть использованы различные альтернативы вариантам его осуществления, описанным в настоящем документе.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для стереолитографической 3D-печати, содержащее:

a) статический оптический блок, включающий в себя:

i. источник света, выполненный с возможностью проецирования светового пучка, содержащего множество пикселей, вдоль оси Z;

ii. по меньшей мере, одну коллимирующую линзу, выполненную с возможностью коллимирования светового пучка;

iii. микролинзовую матрицу (MLA), выполненную с возможностью сведения коллимированного светового пучка в конечный пучок меньшего диаметра, причем каждый пиксель светового пучка разделен на множество подпикселей для увеличения разрешения конечного пучка;

iv. микродиафрагменную матрицу (MDA), выполненную с возможностью уменьшения шума и перекрестных помех между линзами MLA;

v. по меньшей мере, одну проекционную линзу; и

vi. подвижную платформу, выполненную с возможностью перемещения одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y;

при этом расстояния по оси Z между источником света, коллимирующей линзой, MLA, по меньшей мере, одной проекционной линзой и подвижной платформой статического оптического блока является фиксированными;

b) печатный куб, содержащий печатную платформу, выполненную подвижной по оси Z; и

c) схему управления, выполненную с возможностью управления, по меньшей мере, источником света, подвижной платформой и печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати.

2. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором источник света представляет собой проектор ультрафиолетового (УФ) излучения или проектор дальнего УФ-излучения.

3. Устройство для 3D-печати по п. 2, в котором источник света характеризуется длиной рабочей волны в пределах 370-415 нм.

4. Устройство для 3D-печати по п. 3, в котором источник света характеризуется длиной рабочей волны около 405 нм.

5. Устройство для 3D-печати по п. 3, в котором источник света характеризуется длиной рабочей волны около 380 нм.

6. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором источник света представляет собой первый источник света, выполненный с возможностью проецирования первой рабочей волны, и устройство для 3D-печати дополнительно содержит второй источник света, выполненный с возможностью проецирования второй рабочей волны.

7. Устройство для 3D-печати по п. 6, в котором второй источник света работает параллельно с первым источником света, а длина волны второго источника света выбирается таким образом, чтобы препятствовать полимеризации фотополимерной смолы в печатном кубе.

8. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором источник света содержит цифровое микрозеркальное устройство (DMD).

9. Устройство для 3D-печати по п. 8, в котором DMD имеет разрешение около 2560 пикселей на около 1600 пикселей.

10. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором источник света представляет собой устройство LCoS (жидкие кристаллы на кремниевом основании).

11. Устройство для 3D-печати по п. 10, в котором разрешение устройства LCoS составляет около 4096 пикселей на около 2400 пикселей.

12. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором источник света характеризуется площадью генерации света около 90 мм на около 50 мм.

13. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором источник света характеризуется площадью генерации света около 140 мм на около 90 мм.

14. Устройство для 3D-печати по п. 1, содержащее систему коллимирующих линз.

15. Устройство для 3D-печати по п. 14, в котором система коллимирующих линз содержит 2-6 коллимирующих линз.

16. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором подвижная платформа содержит пьезоэлектрический механизм, выполненный с возможностью перемещения одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y.

17. Устройство для 3D-печати по п. 16, в котором пьезоэлектрический механизм перемещает одну или несколько линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y с нанометровым разрешением.

18. Устройство для 3D-печати по п. 16, в котором платформа характеризуется диапазоном перемещения, по меньшей мере, 50 мкм по оси X и, по меньшей мере, 50 мкм по оси Y.

19. Устройство для 3D-печати по п. 18, в котором платформа характеризуется диапазоном перемещения, по меньшей мере, около 100 мкм по оси X и около 100 мкм по оси Y.

20. Устройство для 3D-печати по п. 16, в котором платформа характеризуется разрешением перемещения, не превышающим длину подпикселей.

21. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором MLA представляет собой двояковыпуклую матрицу, двояковогнутую матрицу, одновыпуклую матрицу, одновогнутую матрицу или сочетание перечисленных матриц.

22. Устройство для 3D-печати по п. 21, в котором MLA представляет собой монолитную двояковыпуклую матрицу.

23. Устройство для 3D-печати по п. 21, в котором MLA содержит планарную подложку и множество микролинз на каждой из двух самых больших лицевых сторон плоскости подложки.

24. Устройство для 3D-печати по п. 23, в котором планарная подложка представляет собой боросиликатное или травленое стекло, а множество микролинз выполнено из полимера или стекла.

25. Устройство для 3D-печати по п. 23, в котором MDA располагается между планарной подложкой и одной из множества микролинз MLA.

26. Устройство для 3D-печати по п. 1, содержащее множество MDA.

27. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором MDA характеризуется размером диафрагменного отверстия в пределах 10-15 мкм.

28. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором MLA делит каждый пиксель светового пучка на 4-7498 подпикселей.

29. Устройство для 3D-печати по п. 28, в котором MLA делит каждый пиксель светового пучка на 4-100 подпикселей.

30. Устройство для 3D-печати по п. 29, в котором MLA делит каждый пиксель светового пучка на девять подпикселей.

31. Устройство для 3D-печати по п. 29, в котором MLA делит каждый пиксель светового пучка на 25 подпикселей.

32. Устройство для 3D-печати по п. 29, в котором MLA делит каждый пиксель светового пучка на 49 подпикселей.

33. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором, по меньшей мере, одна проекционная линза расширяет окончательную площадь печати.

34. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором, по меньшей мере, одна проекционная линза уменьшает окончательную площадь печати.

35. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором окончательная площадь печати, по меньшей мере, в два раза превышает площадь генерации светового пучка в источнике света.

36. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором окончательная площадь печати, по меньшей мере, в четыре раза превышает площадь генерации светового пучка в источнике света.

37. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором схема управления выполнена с возможностью управления, по меньшей мере, источником света, подвижной платформой и печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати по полунепрерывной, по существу непрерывной или непрерывной схеме.

38. Устройство для 3D-печати по п. 37, в котором схема управления выполнена с возможностью управления печатной платформой таким образом, чтобы эта платформа перемещалась по оси Z с заданной постоянной скоростью.

39. Устройство для 3D-печати по п. 37, в котором схема управления выполнена с возможностью управления подвижной платформой для перемещения одной или нескольких линз из числа, по меньшей мере, одной проекционной линзы в плоскости X-Y с целью развертки светового пучка по заранее заданной схеме.

40. Устройство для 3D-печати по п. 39, в котором заранее заданная схема представляет собой спиральный узор.

41. Устройство для 3D-печати по п. 39, в котором заранее заданная схема содержит непрерывную пространство-заполняющую кривую.

42. Устройство для 3D-печати по п. 41, в котором заранее заданная схема содержит кривую Серпинского.

43. Устройство для 3D-печати по п. 37, в котором схема управления выполнена с возможностью управления, по меньшей мере, источником света, подвижной платформой и печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати пористой структуры, содержащей гироиды, пространственно распределенные на периодической основе.

44. Устройство для 3D-печати по п. 1, дополнительно содержащее роботизированный портал, выполненный с возможностью прокрутки статического оптического блока в плоскости X-Y относительно печатного куба.

45. Устройство для 3D-печати по п. 44, в котором схема управления выполнена с дополнительной возможностью управления роботизированным порталом.

46. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором схема управления выполнена с возможностью управления печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати снизу вверх.

47. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором схема управления выполнена с возможностью управления печатной платформой для осуществления стереолитографической 3D-печати сверху вниз.

48. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором печатный куб содержит смолу, отверждаемую под действием света в ходе многофазного процесса.

49. Устройство для 3D-печати по п. 1, в котором печатный куб содержит стерильную смолу, отверждаемую под действием света.

50. Компьютеризированная система, содержащая: по меньшей мере, один процессор, память и команды, исполняемые, по меньшей мере, одним процессором с целью создания приложения для процедурного моделирования, содержащего:

a) графический интерфейс пользователя (GUI) с окном просмотра;

b) модуль презентации, выполненный с возможностью отображения сцены в виде знаковой функции расстояния и рендеринга сцены с использованием метода марша лучей, причем модуль презентации содержит:

i. библиотеку сцен, содержащую один или несколько процедурных объектов (PO);

ii. редактор сцен, обеспечивающий пользователю возможность добавления одного или нескольких PO в сцену и создания для сцены дерева CSG (конструктивной твердотельной геометрии);

iii. редактор процедурных объектов (PO), позволяющий пользователю редактировать свойства каждого PO, добавленного в сцену;

iv. редактор имитационного моделирования, позволяющий пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены; и

v. редактор печати, позволяющий пользователю сконфигурировать сцену для печати;

c) модуль имитационного моделирования, выполненный с возможностью

проведения одного или нескольких имитационных моделирований в сцене; и

d) модуль печати, выполненный с возможностью генерирования очереди секционированных файлов и передачи секционированных файлов на 3D-принтер.

51. Система по п. 50, в которой модуль презентации позволяет пользователю перетащить РО из библиотеки сцен и поместить его в окно просмотра для добавления этого РО в сцену.

52. Система по п. 50, в которой модуль презентации позволяет пользователю сохранить отредактированный РО в библиотеке сцен.

53. Система по п. 50, в которой один или несколько РО представляют собой кристаллографическую элементарную ячейку.

54. Система по п. 53, в которой модуль презентации позволяет пользователю дублировать кристаллографическую элементарную ячейку для формирования кристаллической решетки в сцене.

55. Система по п. 53, в которой свойства РО включают в себя связи для соединения с одним или несколькими соседними РО и каналы, соединяющие эти связи.

56. Система по п. 54, в которой знаковая функция расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом.

57. Система по п. 54, в которой кристаллографическая элементарная ячейка представляет собой гироид.

58. Система по п. 57, в которой кристаллическая решетка содержит гироиды, пространственно распределенные на периодической основе.

59. Система по п. 50, в которой знаковая функция расстояния не содержит перечня геометрических примитивов.

60. Система по п. 50, в которой одно или несколько имитационных моделирований включает в себя микрофлюидное моделирование.

61. Система по п. 50, в которой одно или несколько имитационных моделирований включает в себя моделирование с применением методов CFD (вычислительной гидродинамики).

62. Система по п. 50, в которой одно или несколько имитационных моделирований включает в себя использование метода решеточных уравнений Больцмана (LBM) в сочетании со знаковой функцией расстояния для решения задачи CFD-моделирования.

63. Система по п. 50, в которой одно или несколько имитационных моделирований предусматривает визуализацию одной или нескольких характеристик имитационной модели.

64. Система по п. 50, в которой редактор печати позволяет пользователю сконфигурировать один или несколько следующих параметров: профиль поверхности, последовательности выполнения операций принтером, толщину слоя, время воздействия светового пучка и пиксельную разрешающую способность.

65. Система по п. 50, в которой производительность приложения для процедурного моделирования не снижается при увеличении размеров сцены или количества деталей в

сцене.

66. Система по п. 50, в которой, по меньшей мере, один процессор содержит множество графических процессоров (GPU).

67. Система по п. 50, в которой, по меньшей мере, один процессор содержит платформу для облачных вычислений.

68. Энергонезависимый машиночитаемый носитель данных с кодированными командами, исполняемыми, по меньшей мере, одним процессором с целью создания приложения для процедурного моделирования, содержащего:

a) графический интерфейс пользователя (GUI) с окном просмотра;

b) модуль презентации, выполненный с возможностью отображения сцены в виде знаковой функции расстояния и рендеринга сцены с использованием метода марша лучей, причем модуль презентации содержит:

i. библиотеку сцен, содержащую один или несколько процедурных объектов (PO);

ii. редактор сцен, обеспечивающий пользователю возможность добавления одного или нескольких PO в сцену и создания для сцены дерева CSG (конструктивной твердотельной геометрии);

iii. редактор процедурных объектов (PO), позволяющий пользователю редактировать свойства каждого PO, добавленного в сцену;

iv. редактор имитационного моделирования, позволяющий пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены; и

v. редактор печати, позволяющий пользователю сконфигурировать сцену для печати;

c) модуль имитационного моделирования, выполненный с возможностью проведения одного или нескольких имитационных моделирований в сцене; и

d) модуль печати, выполненный с возможностью генерирования очереди секционированных файлов и передачи секционированных файлов на 3D-принтер.

69. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором модуль презентации позволяет пользователю перетащить PO из библиотеки сцен и поместить его в окно просмотра для добавления этого PO в сцену.

70. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором модуль презентации позволяет пользователю сохранить отредактированный PO в библиотеке сцен.

71. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором один или несколько PO представляют собой кристаллографическую элементарную ячейку.

72. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором модуль презентации позволяет пользователю дублировать кристаллографическую элементарную ячейку для формирования кристаллической решетки в сцене.

73. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором свойства PO включают в себя связи для соединения с одним или несколькими соседними PO и каналы, соединяющие эти связи.

74. Машиночитаемый носитель данных по п. 73, в котором знаковая функция

расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом.

75. Машиночитаемый носитель данных по п. 73, в котором кристаллографическая элементарная ячейка представляет собой гироид.

76. Машиночитаемый носитель данных по п. 74, в котором кристаллическая решетка содержит гироиды, пространственно распределенные на периодической основе.

77. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором знаковая функция расстояния не содержит перечня геометрических примитивов.

78. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором одно или несколько имитационных моделирований включает в себя микрофлюидное моделирование.

79. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором одно или несколько имитационных моделирований включает в себя моделирование с применением методов CFD (вычислительной гидродинамики).

80. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором одно или несколько имитационных моделирований включает в себя использование метода решеточных уравнений Больцмана (LBM) в сочетании со знаковой функцией расстояния для решения задачи CFD-моделирования.

81. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором одно или несколько имитационных моделирований предусматривает визуализацию одной или нескольких характеристик имитационной модели.

82. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором редактор печати позволяет пользователю сконфигурировать один или несколько следующих параметров: профиль поверхности, последовательности выполнения операций принтером, толщину слоя, время воздействия светового пучка и пиксельную разрешающую способность.

83. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором производительность приложения для процедурного моделирования не снижается при увеличении размеров сцены или количества деталей в сцене.

84. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором, по меньшей мере, один процессор содержит множество графических процессоров (GPU).

85. Машиночитаемый носитель данных по п. 68, в котором, по меньшей мере, один процессор содержит платформу для облачных вычислений.

86. Компьютеризированный способ процедурного моделирования, предусматривающий:

a) обеспечение наличия приложения для процедурного моделирования, содержащего:

i. библиотеку сцен, содержащую один или несколько процедурных объектов (PO);

ii. редактор сцен, обеспечивающий пользователю возможность добавления одного или нескольких PO в сцену и создания для сцены дерева CSG (конструктивной твердотельной геометрии);

iii. редактор процедурных объектов (PO), позволяющий пользователю

редактировать свойства каждого РО, добавленного в сцену;

iv. редактор имитационного моделирования, позволяющий пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей сцены; и

v. редактор печати, позволяющий пользователю сконфигурировать сцену для печати;

b) отображение сцены в виде знаковой функции расстояния;

c) рендеринг сцены с использованием метода марша лучей;

d) проведение одного или нескольких имитационных моделирований сцены;

e) генерирование очереди секционированных файлов; и

f) передачу секционированных файлов на 3D-принтер.

87. Способ по п. 86, в котором модуль презентации позволяет пользователю перетащить РО из библиотеки сцен и поместить его в окно просмотра для добавления этого РО в сцену.

88. Способ по п. 86, в котором модуль презентации позволяет пользователю сохранить отредактированный РО в библиотеке сцен.

89. Способ по п. 86, в котором один или несколько РО представляют собой кристаллографическую элементарную ячейку.

90. Способ по п. 86, в котором модуль презентации позволяет пользователю дублировать кристаллографическую элементарную ячейку для формирования кристаллической решетки в сцене.

91. Способ по п. 86, в котором свойства РО включают в себя связи для соединения с одним или несколькими соседними РО и каналы, соединяющие эти связи.

92. Способ по п. 90, в котором знаковая функция расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом.

93. Способ по п. 91, в котором кристаллографическая элементарная ячейка представляет собой гироид.

94. Способ по п. 93, в котором кристаллическая решетка содержит гироиды, пространственно распределенные на периодической основе.

95. Способ по п. 86, в котором знаковая функция расстояния не содержит списка геометрических примитивов.

96. Способ по п. 86, в котором одно или несколько имитационных моделирований включает в себя микрофлюидное моделирование.

97. Способ по п. 86, в котором одно или несколько имитационных моделирований включает в себя моделирование с применением методов CFD (вычислительной гидродинамики).

98. Способ по п. 86, в котором одно или несколько имитационных моделирований включает в себя использование метода решеточных уравнений Больцмана (LBM) в сочетании со знаковой функцией расстояния для решения задачи CFD-моделирования.

99. Способ по п. 86, в котором одно или несколько имитационных моделирований предусматривает визуализацию одной или нескольких характеристик имитационной

модели.

100. Способ по п. 86, в котором редактор печати позволяет пользователю сконфигурировать один или несколько следующих параметров: профиль поверхности, последовательности выполнения операций принтером, толщину слоя, время воздействия светового пучка и пиксельную разрешающую способность.

101. Способ изготовления 3D-объекта, содержащего множество повторяющихся структурных единиц, причем этот способ предусматривает:

a) обеспечение наличия приложения для процедурного моделирования, позволяющего пользователю выполнить, по меньшей мере, следующие операции:

i. добавление одной или нескольких кристаллографических элементарных ячеек в 3D-сцену;

ii. дублирование одной или нескольких кристаллографических элементарных ячеек для создания кристаллической решетки в сцене; и

iii. конфигурирование связей для соединения дублированных кристаллографических элементарных ячеек и каналов, соединяющих эти связи;

b) создание дерева конструктивной твердотельной геометрии (CSG) для сцены;

c) отображение сцены в виде знаковой функции расстояния;

d) рендеринг сцены с использованием метода марша лучей;

e) генерирование очереди секционированных файлов; и

f) передачу секционированных файлов на устройство для стереолитографической 3D-печати.

102. Способ по п. 101, в котором кристаллографические элементарные ячейки пространственно распределяются на периодической основе, образуя кристаллическую решетку.

103. Способ по п. 101, в котором приложение для процедурного моделирования позволяет пользователю выполнить, по меньшей мере, следующие операции:

a) выбор одной или нескольких кристаллографических элементарных ячеек из библиотеки сцен;

b) редактирование свойств каждой кристаллографической элементарной ячейки, добавленной в сцену;

c) конфигурирование одной или нескольких имитационных моделей сцены; и

d) конфигурирование сцены для 3D-печати.

104. Способ по п. 103, дополнительно предусматривающий выполнение одного или нескольких имитационных моделирований в сцене.

105. Способ по п. 104, в котором одно или несколько имитационных моделирований включает в себя микрофлюидное моделирование.

106. Способ по п. 104, в котором одно или несколько имитационных моделирований включает в себя моделирование с применением методов CFD (вычислительной гидродинамики).

107. Способ по п. 104, в котором одно или несколько имитационных

моделирований включает в себя использование метода решеточных уравнений Больцмана (LBM) в сочетании со знаковой функцией расстояния для решения задачи CFD-моделирования.

108. Способ по п. 104, в котором одно или несколько имитационных моделирований предусматривает визуализацию одной или нескольких характеристик имитационной модели.

109. Способ по п. 104, в котором знаковая функция расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом.

110. Способ по п. 101, в котором знаковая функция расстояния не содержит перечня геометрических примитивов.

111. Способ по п. 101, в котором кристаллографические элементарные ячейки воспроизводятся в кристаллической решетке с высокой плотностью.

112. Способ по п. 101, в котором 3D-объектом служит биореактор.

113. Способ изготовления биореактора, причем этот способ предусматривает:

a) обеспечение наличия приложения для процедурного моделирования, позволяющего пользователю выполнить, по меньшей мере, следующие операции:

i. добавление множества микромодулей в 3D-сцену; и

ii. сведение множества микромодулей в макроструктуру для создания биореактора;

b) создание дерева конструктивной твердотельной геометрии (CSG) для сцены;

c) отображение сцены в виде знаковой функции расстояния;

d) рендеринг сцены с использованием метода марша лучей;

e) генерирование очереди секционированных файлов; и

f) передачу секционированных файлов на устройство для стереолитографической 3D-печати.

114. Способ по п. 113, в котором один или несколько микромодулей представляют собой двойной гироид (DG) или модифицированный DG.

115. Способ по п. 113, в котором микромодули распределяются по множеству слоев в пределах макроструктуры.

116. Способ по п. 115, в котором множество слоев сводится в первую матрицу и вторую матрицу, причем вторая матрица занимает свободное пространство в первой матрице; при этом первая матрица и вторая матрица занимают одинаковый объем, не содержат точек контакта и удерживаются на постоянном минимальном расстоянии друг от друга.

117. Способ по п. 113, в котором 3D-сцена и секционированные файлы сконфигурированы для печати на площади до около 320 мм на 320 мм.

118. Способ по п. 113, в котором один кубический миллиметр объема 3D-сцены содержит до около 14 микромодулей.

119. Способ по п. 113, в котором объем печати биореактора доходит до около 102 400 000 кубических миллиметров.

120. Способ по п. 113, в котором объем печати биореактора содержит до около 1

496 704 035 микромодулей.

121. Способ по п. 113, в котором один или несколько микромодулей включают в себя канал, причем диаметр этого канала составляет от около 8 мкм до около 2000 мкм.

122. Способ по п. 113, в котором каждый микромодуль характеризуется длиной кромки от около 40 мкм до около 9797 мкм.

123. Способ по п. 113, в котором каждый микромодуль характеризуется объемом от около 68417 до около 9,4×1011 кубических микрометров.

124. Биореактор, содержащий:

a) множество объемных областей, причем каждая объемная область содержит кристаллографическую элементарную ячейку, симметрично воспроизводимую в трехмерной кристаллической решетке, причем каждая трехмерная кристаллическая решетка функционализирована и сообщается по текучей среде, образуя, по меньшей мере, один микроканал или камеру;

b) инокуляционный микроканал, выполненный с возможностью приема множества клеток биореактором;

c) собирающий микроканал, выполненный с возможностью получения множества клеток или их производных из биореактора;

d) первую канальную систему, включающую в себя, по меньшей мере, один микроканал, образованный, по меньшей мере, одним микроканалом или камерой одной или нескольких объемных областей из множества объемных областей; и

e) вторую канальную систему, включающую в себя, по меньшей мере, один микроканал, образованный, по меньшей мере, одним микроканалом или камерой одной или нескольких объемных областей из множества объемных областей;

при этом первая канальная система и вторая канальная система обеспечивают отдельные входы в биореактор.

125. Биореактор по п. 124, отличающийся тем, что этот биореактор представляет собой беспузырьковый биореактор.

126. Биореактор по п. 124, отличающийся тем, что этот биореактор создает непрерывный ламинарный поток сред.

127. Биореактор по п. 124, отличающийся тем, что этот биореактор создает непрерывный ламинарный поток газа.

128. Биореактор по п. 124, отличающийся тем, что этот биореактор характеризуется сферической топологией.

129. Биореактор по п. 128, в котором множество объемных областей располагается концентрическими слоями на варьирующемся расстоянии от центра сферической топологии.

130. Биореактор по п. 124, отличающийся тем, что этот биореактор содержит 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 или 10 объемных областей.

131. Биореактор по п. 130, отличающийся тем, что этот биореактор содержит восемь объемных областей.

132. Биореактор по п. 124, в котором кристаллографическая элементарная ячейка характеризуется структурой в виде двойного гироида или модифицированного двойного гироида.

133. Биореактор по п. 124, в котором инокуляционный микроканал доставляет множество клеток в центральную объемную область биореактора.

134. Биореактор по п. 124, в котором первая канальная система представляет собой систему жидких сред, соединяющую по текучей среде инокуляционный микроканал и собирающий микроканал.

135. Биореактор по п. 134, в котором система сред дополнительно содержит, по меньшей мере, один микроканал для забора сред.

136. Биореактор по п. 135, отличающийся тем, что этот биореактор дополнительно содержит устройство для ввода жидкой среды, выполненное с возможностью подачи жидкой среды в каждый микроканал для забора сред.

137. Биореактор по п. 134, в котором система сред выполнена с возможностью обеспечения равномерного распределения сред.

138. Биореактор по п. 124, в котором множество объемных областей включает в себя одну или несколько объемных областей, функционализированных для культивирования клеток.

139. Биореактор по п. 138, в котором множество объемных областей включает в себя четыре объемные области, функционализированные для культивирования клеток.

140. Биореактор по п. 124, в котором вторая канальная система представляет собой газовую систему.

141. Биореактор по п. 140, в котором газовая система дополнительно содержит, по меньшей мере, один газозаборный микроканал.

142. Биореактор по п. 141, в котором газовая система соединяет по текучей среде, по меньшей мере, один газозаборный канал и внешнее пространство биореактора.

143. Биореактор по п. 141, отличающийся тем, что этот биореактор дополнительно содержит газовпускное устройство, выполненное с возможностью подачи газового состава в каждый газозаборный микроканал.

144. Биореактор по п. 140, в котором газовая система выполнена с возможностью обеспечения равномерного распределения газа.

145. Биореактор по п. 124, в котором множество объемных областей включает в себя одну или несколько объемных областей, функционализированных для распределения газа и содержащих газораспределительную камеру.

146. Биореактор по п. 145, в котором множество объемных областей включает в себя пять объемных областей, функционализированных для распределения газа и содержащих газораспределительную камеру.

147. Биореактор по п. 124, в котором система сред и газовая система представляют собой неперекрывающиеся системы, разделенные одной или несколькими пористыми мембранами.

148. Биореактор по п. 124, в котором множество объемных областей включает в себя собирающий слой, сообщающийся по текучей среде с собирающим микроканалом и содержащий собирающую камеру.

149. Биореактор по п. 124, отличающийся тем, что этот биореактор дополнительно содержит наружный слой.

150. Биореактор по п. 124, в котором множество объемных областей включает в себя один или несколько переходных слоев между объемными областями с разной функционализацией, а кристаллографическая элементарная ячейка содержит переходной кристалл.

151. Способ выращивания множества клеток или их производных, предусматривающий:

a) обеспечение наличия биореактора, содержащего:

i. множество объемных областей, причем каждая объемная область содержит кристаллографическую элементарную ячейку, симметрично воспроизводимую в трехмерной кристаллической решетке, причем каждая трехмерная кристаллическая решетка функционализирована и сообщается по текучей среде, формируя, по меньшей мере, один микроканал или камеру;

ii. инокуляционный микроканал, выполненный с возможностью приема первого множества клеток биореактором;

iii. собирающий микроканал, выполненный с возможностью получения второго множества клеток или биопродукта из биореактора;

iv. первую канальную систему, включающую в себя, по меньшей мере, один микроканал, образованный, по меньшей мере, одним микроканалом или камерой одной или нескольких объемных областей из множества объемных областей; и

v. вторую канальную систему, включающую в себя, по меньшей мере, один микроканал, образованный, по меньшей мере, одним микроканалом или камерой одной или нескольких объемных областей из множества объемных областей;

при этом первая канальная система и вторая канальная система обеспечивают отдельные входы в биореактор; и

b) направление первого множества клеток в инокуляционный микроканал, после чего это множество клеток отводится из инокуляционного микроканала, по меньшей мере, через один микроканал или камеру из множества объемных областей, при этом первое множество клеток проходит период роста клеток для производства второго множества клеток.

152. Способ по п. 151, отличающийся тем, что этот способ дополнительно предусматривает сбор второго множества клеток или их субпопуляции из собирающего микроканала.

153. Способ по п. 151, в котором второе множество клеток или их субпопуляция создает биопродукт.

154. Способ по п. 151, отличающийся тем, что этот способ дополнительно

предусматривает сбор биопродукта из собирающего канала.

155. Способ по п. 151, в котором биопродуктом служит белок, антитела, малые молекулы или метаболит.

156. Способ по п. 151, в котором первое множество клеток включает в себя прокариотические клетки.

157. Способ по п. 151, в котором первое множество клеток включает в себя эукариотические клетки.

158. Способ по п. 151, в котором множество клеток выбирается из группы, включающей в себя: бактериальные клетки, грибковые клетки, дрожжевые клетки, клетки водорослей, растительные клетки, клетки птичьего происхождения, клетки млекопитающих и любые их сочетания.

159. Способ по п. 151, в котором биореактор представляет собой беспузырьковый биореактор.

160. Способ по п. 151, в котором биореактор создает непрерывный ламинарный поток сред.

161. Способ по п. 151, в котором биореактор создает непрерывный ламинарный поток газа.

162. Способ по п. 151, в котором биореактор характеризуется сферической топологией.

163. Способ по п. 162, в котором множество объемных областей располагается концентрическими слоями на варьирующемся расстоянии от центра сферической топологии.

164. Способ по п. 151, в котором биореактор содержит 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 или 10 объемных областей.

165. Способ по п. 164, в котором биореактор содержит восемь объемных областей.

166. Способ по п. 151, в котором кристаллографическая элементарная ячейка характеризуется структурой в виде двойного гироида или модифицированного двойного гироида.

167. Способ по п. 151, в котором инокуляционный микроканал доставляет множество клеток в центральную объемную область биореактора.

168. Способ по п. 151, в котором первая канальная система представляет собой систему жидких сред, соединяющую по текучей среде инокуляционный микроканал и собирающий микроканал.

169. Способ по п. 168, в котором система сред дополнительно содержит, по меньшей мере, один микроканал для забора сред.

170. Способ по п. 169, в котором биореактор дополнительно устройство для ввода жидкой среды, выполненное с возможностью подачи жидкой среды в каждый микроканал для забора сред.

171. Способ по п. 168, в котором система сред выполнена с возможностью обеспечения равномерного распределения сред.

172. Способ по п. 151, в котором множество объемных областей включает в себя одну или несколько объемных областей, функционализированных для культивирования клеток.

173. Способ по п. 172, в котором множество объемных областей включает в себя четыре объемные области, функционализированные для культивирования клеток.

174. Способ по п. 151, в котором вторая канальная система представляет собой газовую систему.

175. Способ по п. 174, в котором газовая система дополнительно содержит, по меньшей мере, один газозаборный микроканал.

176. Способ по п. 175, в котором газовая система соединяет по текучей среде, по меньшей мере, один газозаборный микроканал и внешнее пространство биореактора.

177. Способ по п. 175, в котором биореактор дополнительно содержит газовпускное устройство, выполненное с возможностью подачи газового состава в каждый газозаборный микроканал.

178. Способ по п. 174, в котором газовая система выполнена с возможностью обеспечения равномерного распределения газа.

179. Способ по п. 151, в котором множество объемных областей включает в себя одну или несколько объемных областей, функционализированных для распределения газа и содержащих газораспределительную камеру.

180. Способ по п. 179, в котором множество объемных областей включает в себя пять объемных областей, функционализированных для распределения газа и содержащих газораспределительную камеру.

181. Способ по п. 151, в котором система сред и газовая система представляют собой неперекрывающиеся системы, разделенные одной или несколькими пористыми мембранами.

182. Способ по п. 151, в котором множество объемных областей включает в себя собирающий слой, сообщающийся по текучей среде с собирающим микроканалом и содержащий собирающую камеру.

183. Способ по п. 151, в котором биореактор дополнительно содержит наружный слой.

184. Способ по п. 151, в котором множество объемных областей содержит один или несколько переходных слоев между объемными областями с разной функционализацией, а кристаллографическая элементарная ячейка содержит переходной кристалл.

185. Компьютеризированная система, содержащая: по меньшей мере, один процессор, память и команды, исполняемые, по меньшей мере, одним процессором с целью создания приложения для процедурного моделирования, содержащего:

а) интерфейс, позволяющий пользователю выполнять, по меньшей мере, следующие операции:

i. определение, по меньшей мере, одной объемной области в сцене;

ii. идентификацию кристаллографической элементарной ячейки, по меньшей мере, для одной объемной области;

iii. идентификацию симметрии для кристаллографической элементарной ячейки; и

iv. редактирование свойств кристаллографической элементарной ячейки;

b) модуль презентации, выполненный с возможностью:

i. дублирования идентифицированной кристаллографической элементарной ячейки на основании идентифицированной симметрии для создания трехмерной кристаллической решетки, причем трехмерная кристаллическая решетка функционализирована и сообщается по текучей среде, формируя, по меньшей мере, один микроканал или камеру;

ii. отображения сцены в виде знаковой функции расстояния; и

iii. рендеринга сцены;

c) редактор имитационного моделирования, позволяющий пользователю сконфигурировать одну или несколько имитационных моделей в сцене;

d) модуль имитационного моделирования, выполненный с возможностью проведения одного или нескольких имитационных моделирований в сцене;

e) редактор печати, позволяющий пользователю сконфигурировать сцену для печати; и

f) модуль печати, выполненный с возможностью генерирования очереди секционированных файлов и передачи секционированных файлов на 3D-принтер.

186. Система по п. 185, в которой интерфейс дополнительно позволяет пользователю сконфигурировать один или несколько микроканалов, по меньшей мере, в одной объемной области.

187. Система по п. 185, в которой, по меньшей мере, один микроканал или камера содержит систему непрерывной по текучей среде передачи жидкости или газа.

188. Система по п. 185, в которой свойства кристаллографической элементарной ячейки включают в себя связи для соединения с одной или несколькими соседними кристаллографическими элементарными ячейками и каналы, соединяющие эти связи.

189. Система по п. 185, в которой знаковая функция расстояния содержит математическое уравнение, представляющее всю кристаллическую решетку в целом.

190. Система по п. 185, в которой кристаллографическая элементарная ячейка представляет собой гироид.

191. Система по п. 190, в которой кристаллическая решетка содержит гироиды, пространственно распределенные на периодической основе.

192. Система по п. 185, в которой приложение для процедурного моделирования дополнительно включает в себя алгоритм глубокого обучения, обученный прогнозировать:

a) переходную объемную область между объемными областями разной функционализации; и

b) переходную кристаллографическую элементарную ячейку для переходной объемной области.

193. Система по п. 185, в которой алгоритм включает одну или несколько нейросетей (NN).

194. Система по п. 193, в которой одна или несколько NN включают в себя одну или несколько генеративно-состязательных сетей (GAN) или один или несколько вариационных автокодировщиков (VAE).

195. Система по п. 185, в которой один или несколько видов имитационного моделирования включает в себя анализ методом конечных элементов (FEA).

196. Система по п. 185, в которой в ходе одного или нескольких имитационных моделирований оценивается микрофлюидная непрерывность, по меньшей мере, одного микроканала или камеры.

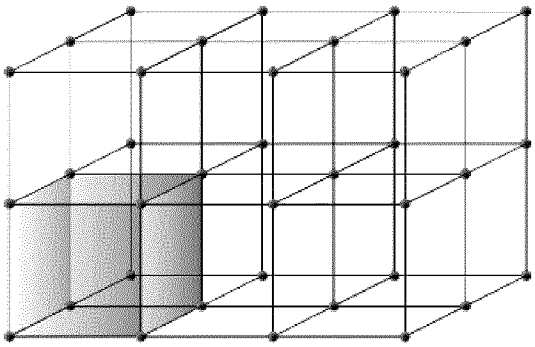
197. Система по п. 185, в которой знаковая функция расстояния не содержит списка геометрических примитивов.

198. Система по п. 185, в которой производительность приложения для процедурного моделирования не снижается при увеличении размеров сцены или количества деталей в сцене.

199. Система по п. 185, в которой, по меньшей мере, один процессор содержит множество графических процессоров (GPU).

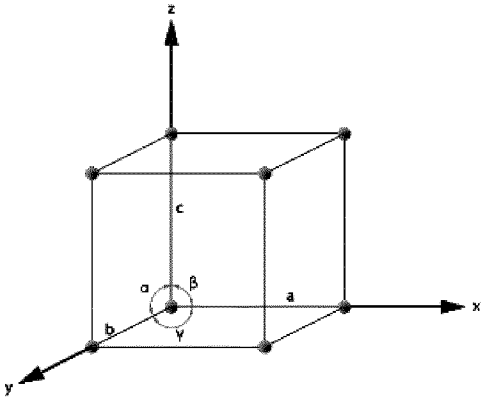
200. Система по п. 185, в которой, по меньшей мере, один процессор содержит платформу для облачных вычислений.

По доверенности



КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА

110



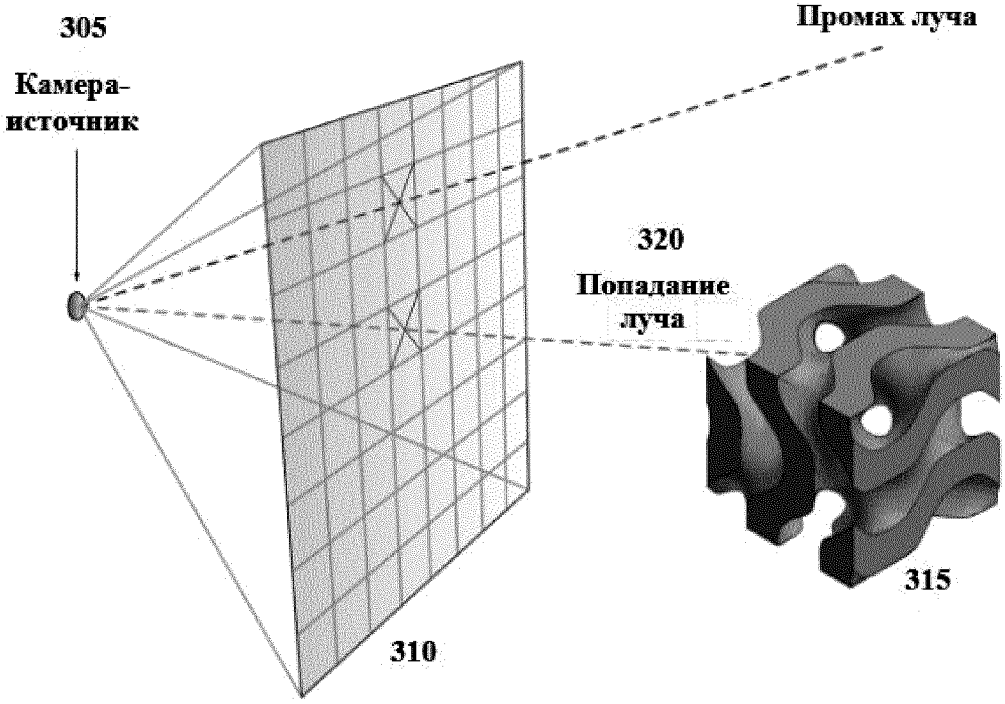
ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ЯЧЕЙКА

105

ФИГ. 1

205
3D-сетка
215
Треугольники в экранном пространстве
225
Фрагменты
235
Окрашенные фрагменты
245
Выведенное изображение
Обработка вершин
210
Растеризация
220
Растровые операции
230
Обработка фрагментов
240

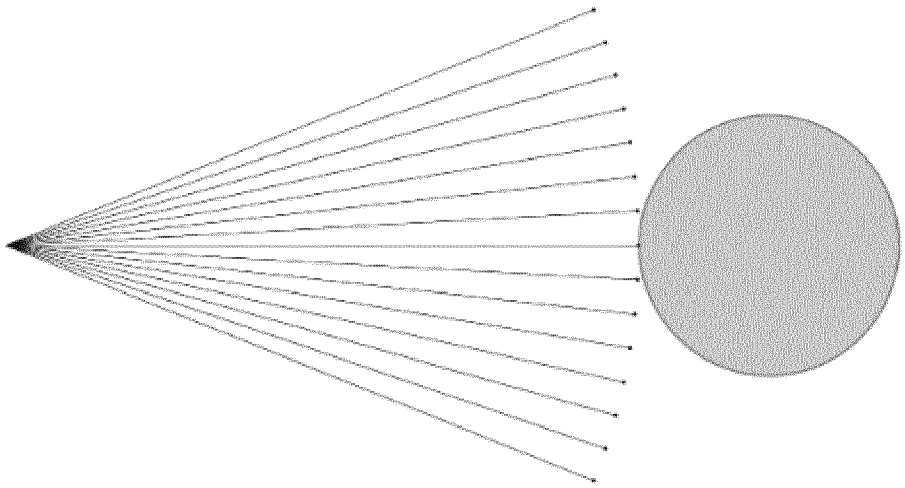
ФИГ. 2



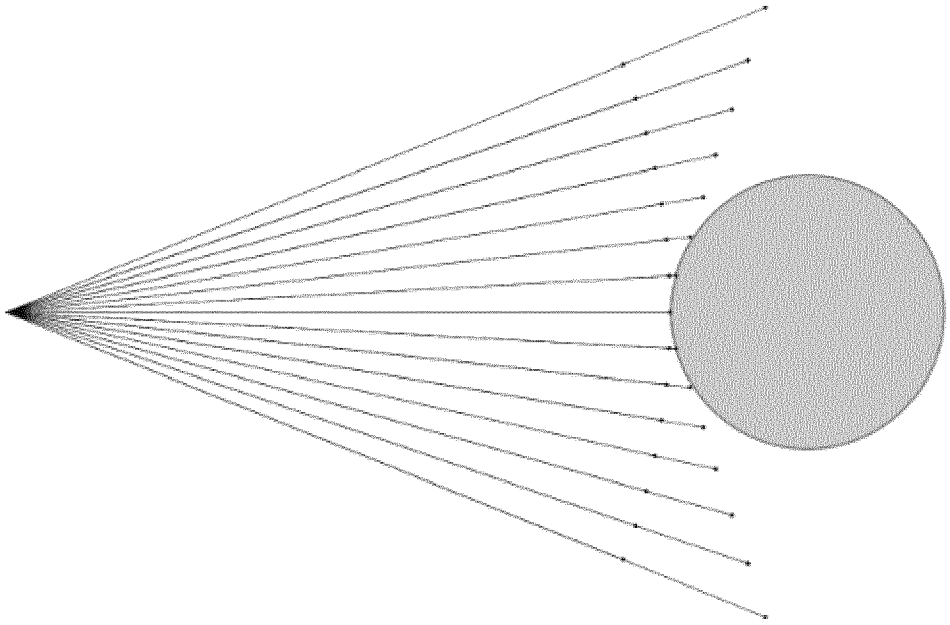
ФИГ. 3

405
Генерация луча
Трассировка луча ()
410
Прохождение структуры ускорения
420
Любое попадание
415
Пересечение
425
Попал?
Нет
Да
430
Промах
435
Самое близкое попадание

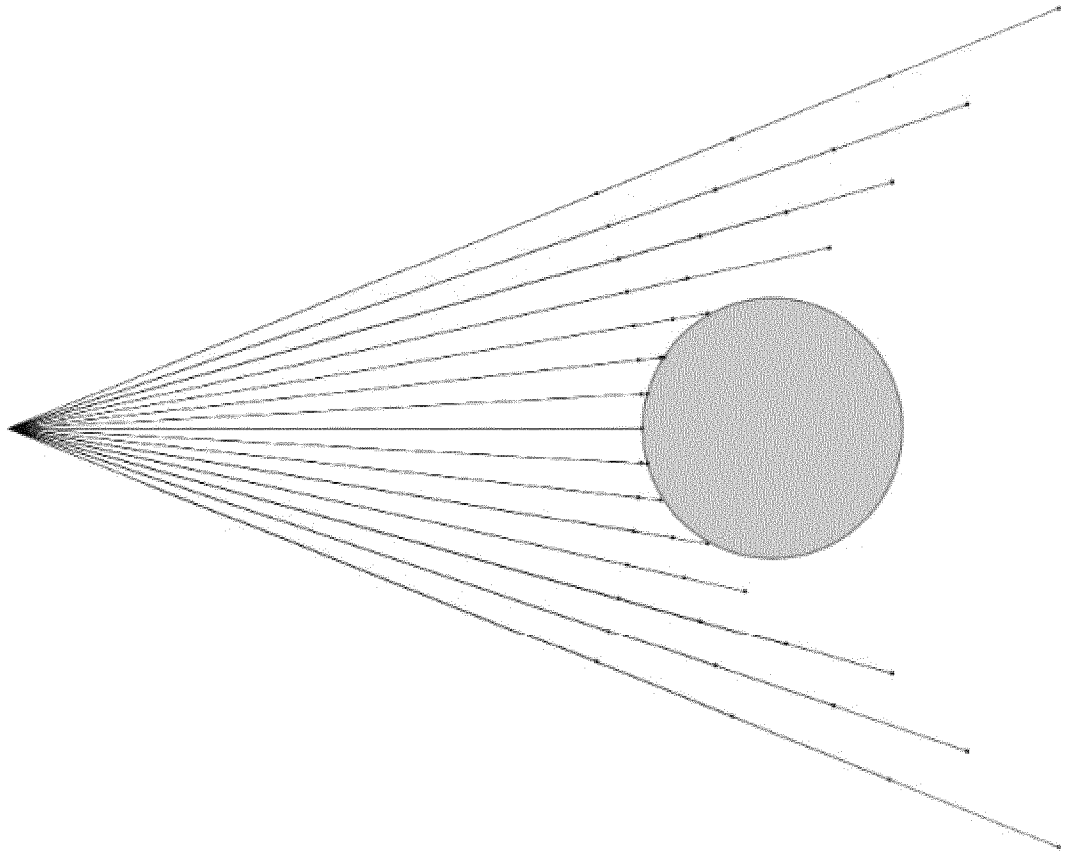
ФИГ. 4



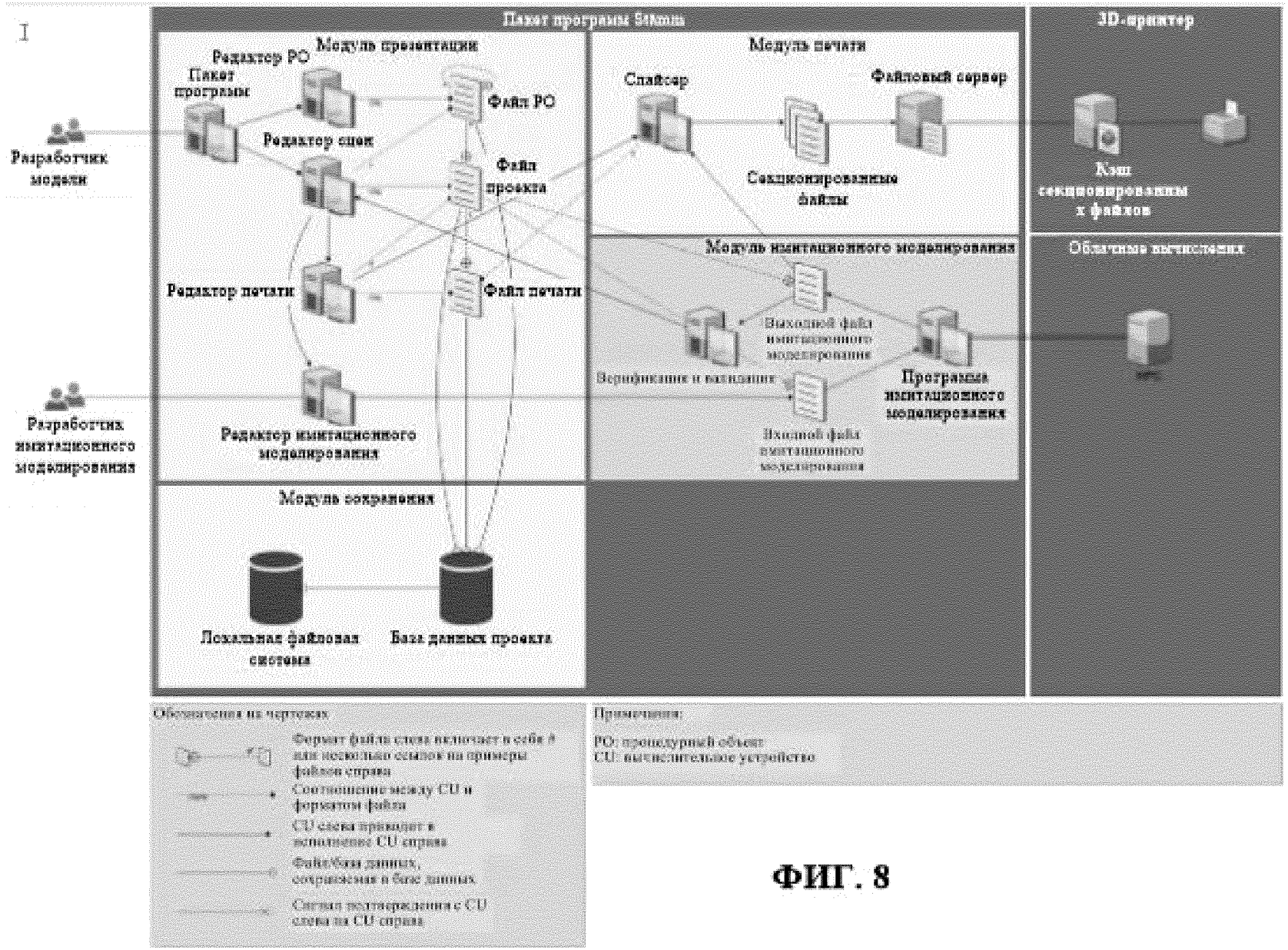
ФИГ. 5



ФИГ. 6



ФИГ. 7


I
Пакет программ SiMain
Модуль презентации
Редактор РО
Пакет программ
Файл РО
Разработчик модели
Редактор сцен
Файл проекта
Редактор печати
Файл печати
Разработчик имитационного моделирования
Редактор имитационного моделирования
Модуль печати
Слайсер
Файловый сервер
Секционированные файлы
Модуль имитационного моделирования
Выходной файл имитационного моделирования
Верификация и валидация
Программа имитационного моделирования
Входной файл имитационного моделирования
Модуль сохранения
Локальная файловая система
База данных проекта
3D-принтер
Кэш секционированных файлов
Облачные вычисления
Обозначения на чертежах
Формат файла слева включает в себя 1 или несколько ссылок на примеры файлов справа
Соотношение между CU и форматом файла
CU слева приводит в исполнение CU справа
Файл/база данных, сохраняемая в базе данных
Сигнал подтверждения с CU слева на CU справа
Примечания:
РО: процедурный объект
CU: вычислительное устройство

ФИГ. 8

ФИГ. 9

Файл Редактирование Окна
Дерево CSG x
Сцена x
Редактор PO: гирокл x
Анализатор свойств x
Это окно содержит представление текущей сцены в виде дерева CSG
ОКНО ПРОСМОТРА
Это окно содержит свойства выбранного процедурного объекта и их соответствующие значения
Консоль
Библиотека сцен x
Библиотека сцен: содержит все процедурные объекты проекта

ФИГ. 10

Файл Редактирование Окна
Дерево CSG x
Сцена
Редактор РО: гирона x
Анализатор свойств x
Кочера редактора
Инфоокуб.прим. Лицевая Верхняя Правая
Опция
Библиотека сцен x
Объекты Текстуры куб_прист. Текстуры

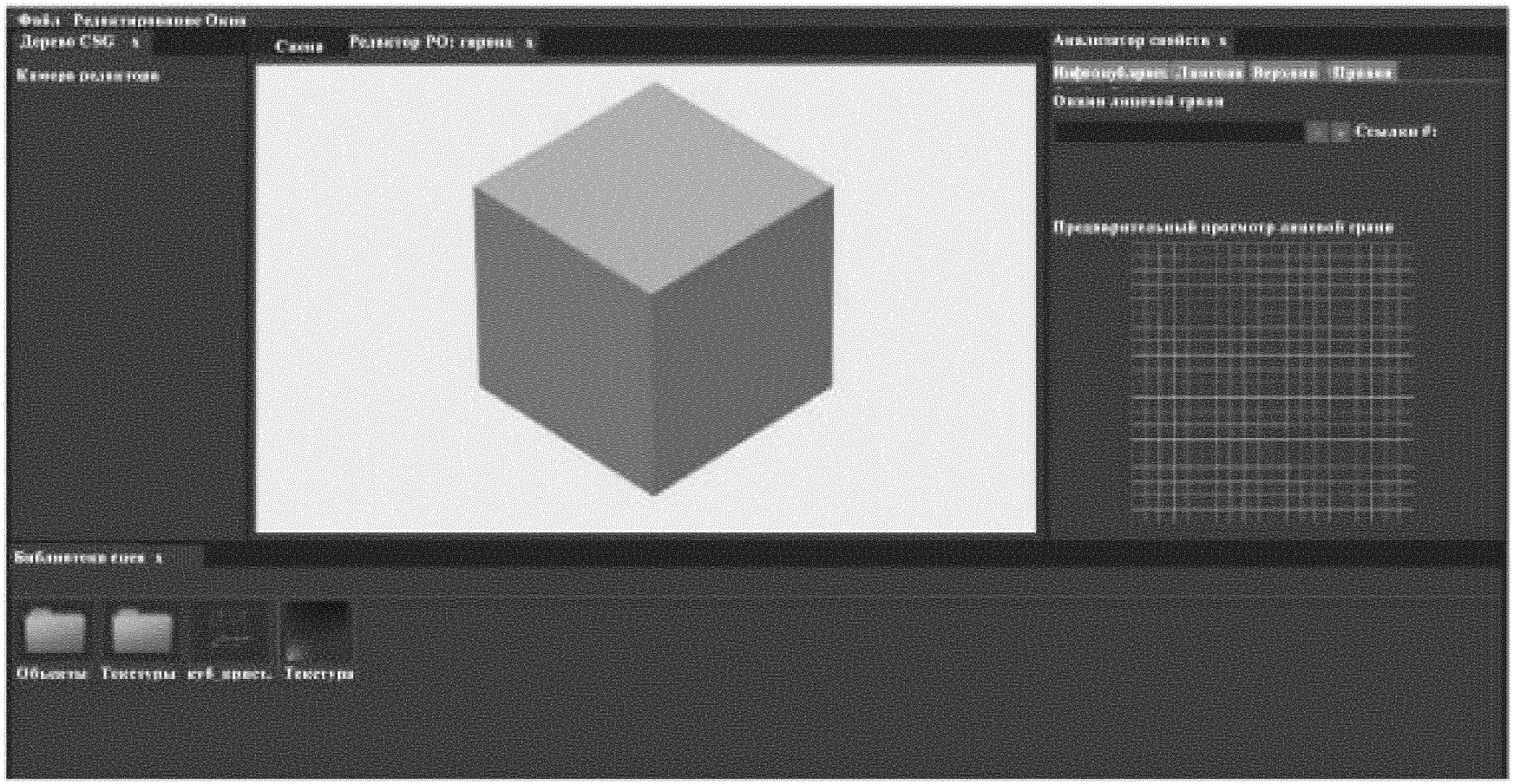
ФИГ. 11

Файл Редактирование Окна
Дерево CSG
Сцена
Редактор РО: гарнец
Аналитатор свойств
Камера редактора
Инфо
Формат
Библиотека сцен
Объекты
Текстуры
куб_крест.
Текстура

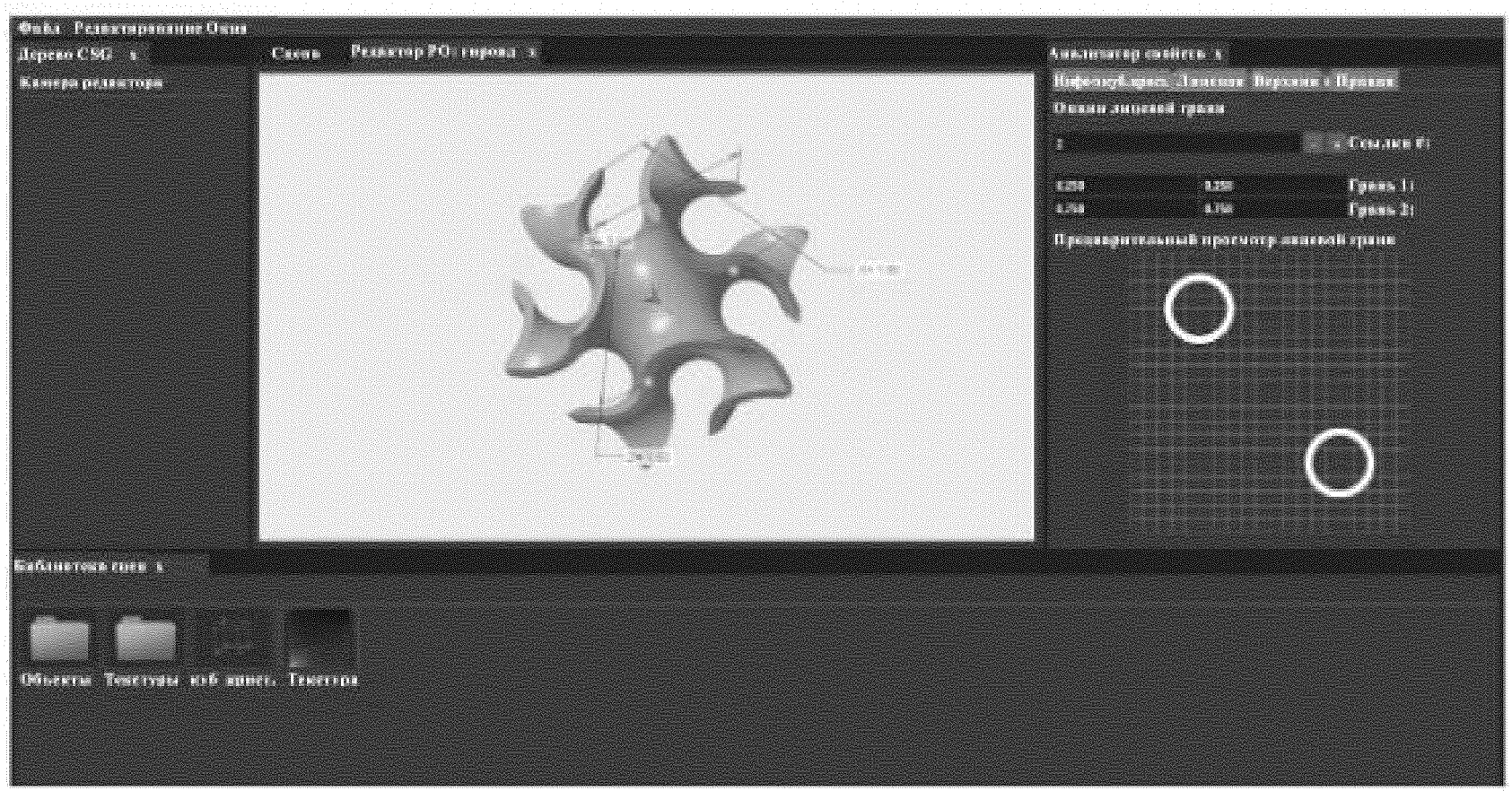
ФИГ. 12

Файл Редактирование Окна
Дерево CSG
Сцена Редактор РО: гирока
Анализатор свойств
Камера редактора
Конвр.
куб_крист.
Формат
Библиотека сцен
Объекты
Текстуры
куб_крист.
Текстура

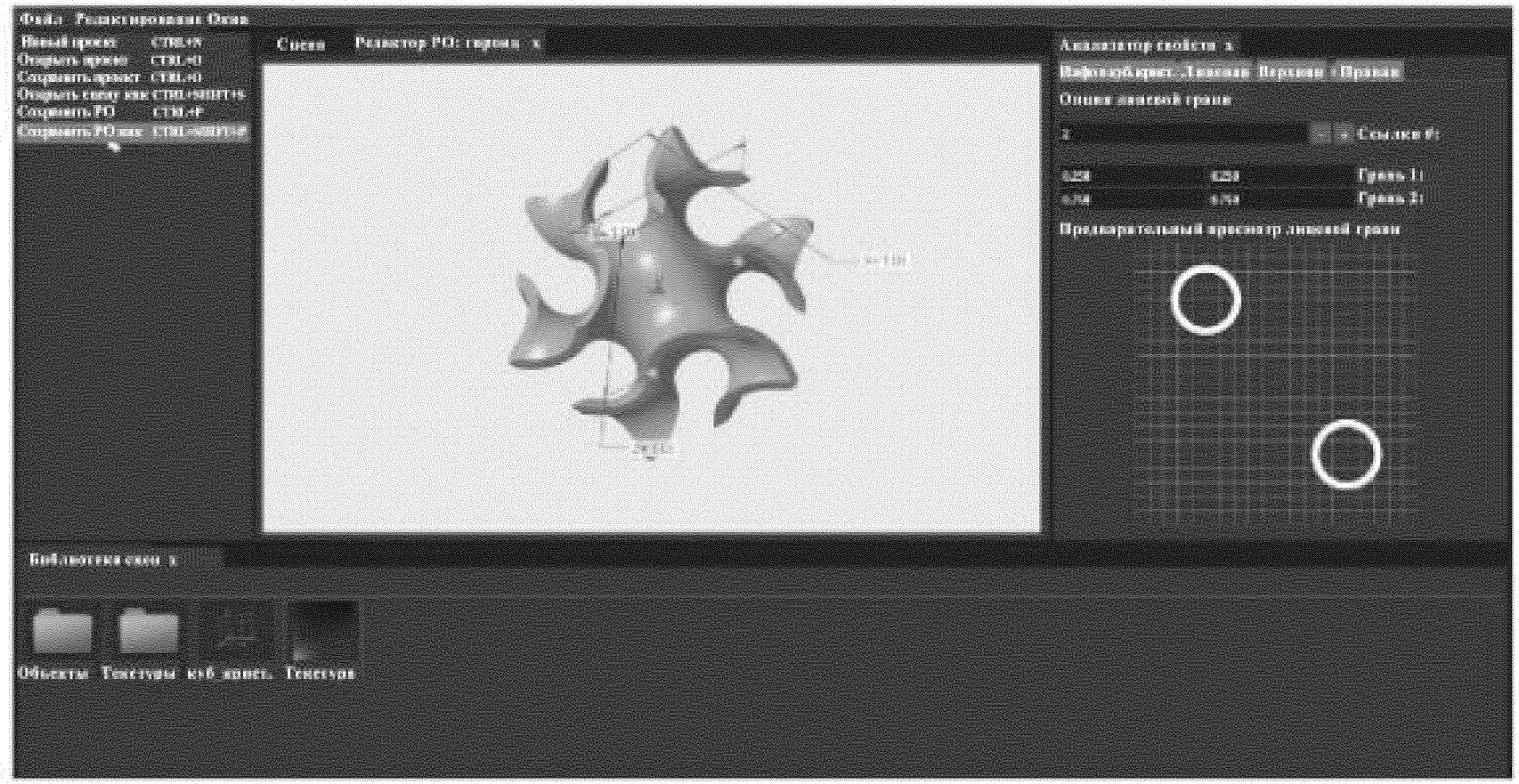
ФИГ. 13


Файл Редактирование Окна
Дерево CSG
Камера редактора
Сцена
Редактор PO: группа
Анализатор свойств
Инфоизуборис Линейка Вершина Правка
Окна линейной грани
Ссылки #:
Предварительный просмотр линейной грани
Библиотека сцен
Объекты Текстуры куб. прист. Текстура

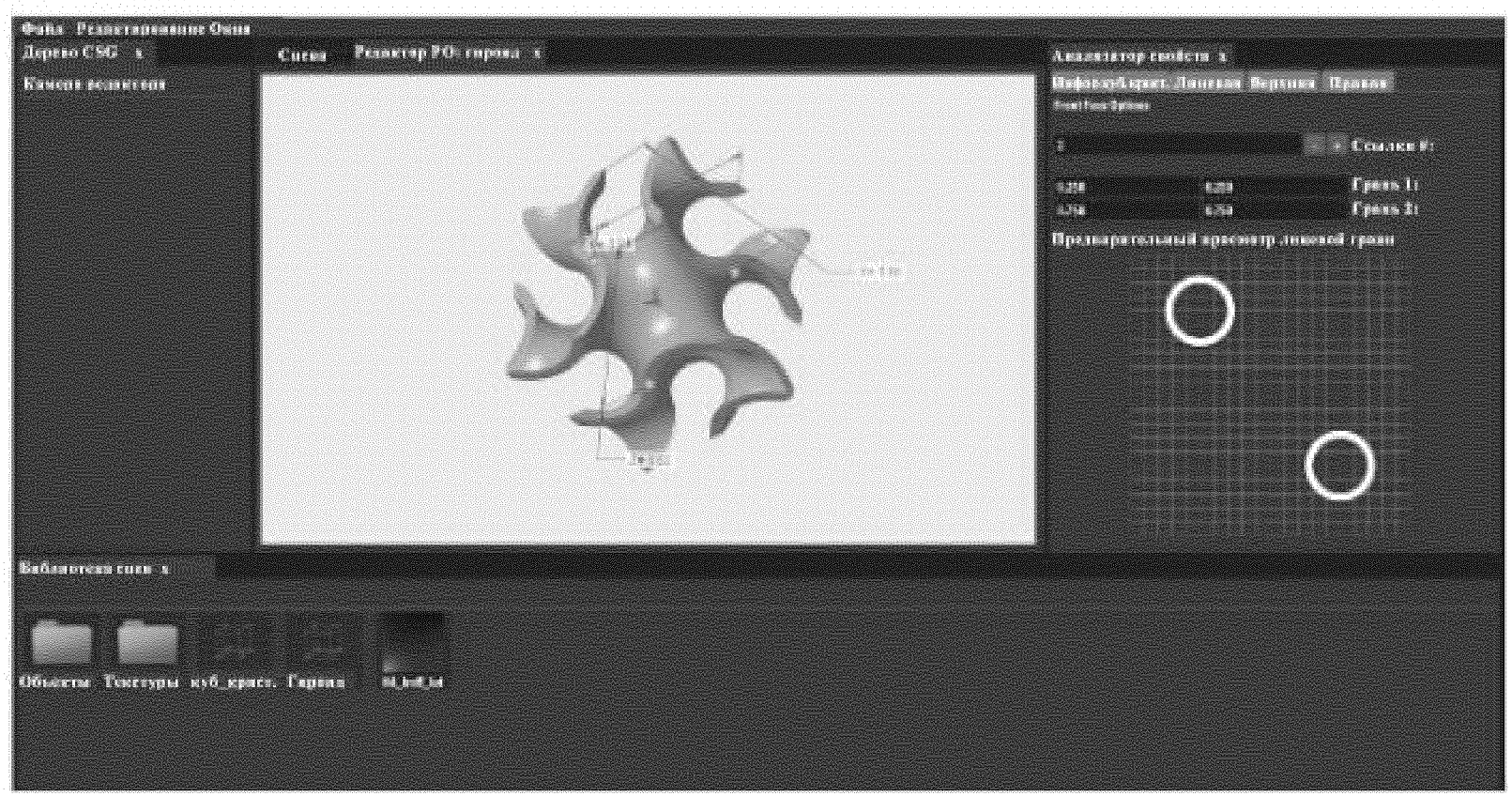
ФИГ. 14

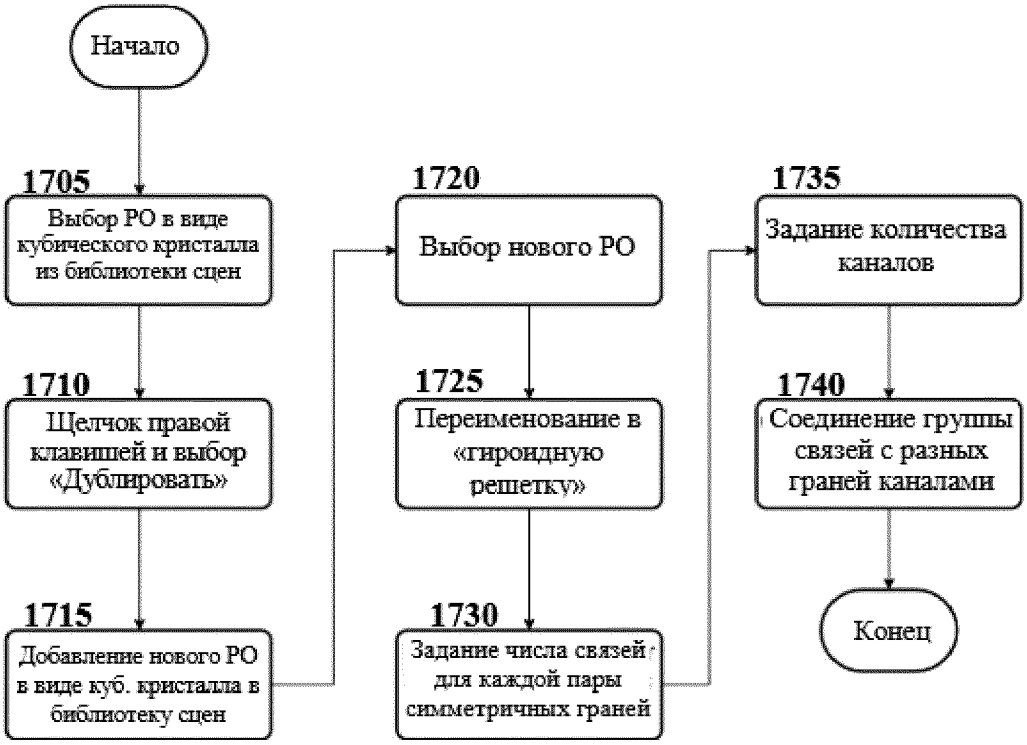

Файл Редактирование Окна
Дерево CSG
Сцена
Редактор PO: гиронд
Камера редактора
Анализатор свойств
Информация Лицевая Верхняя Правая
Окна лицевой грани
Стылки 0:
Грань 1:
Грань 2:
Предварительный просмотр лицевой грани
Библиотека сцен
Объекты
Текстуры
куб. прист.
Текстура

ФИГ. 15

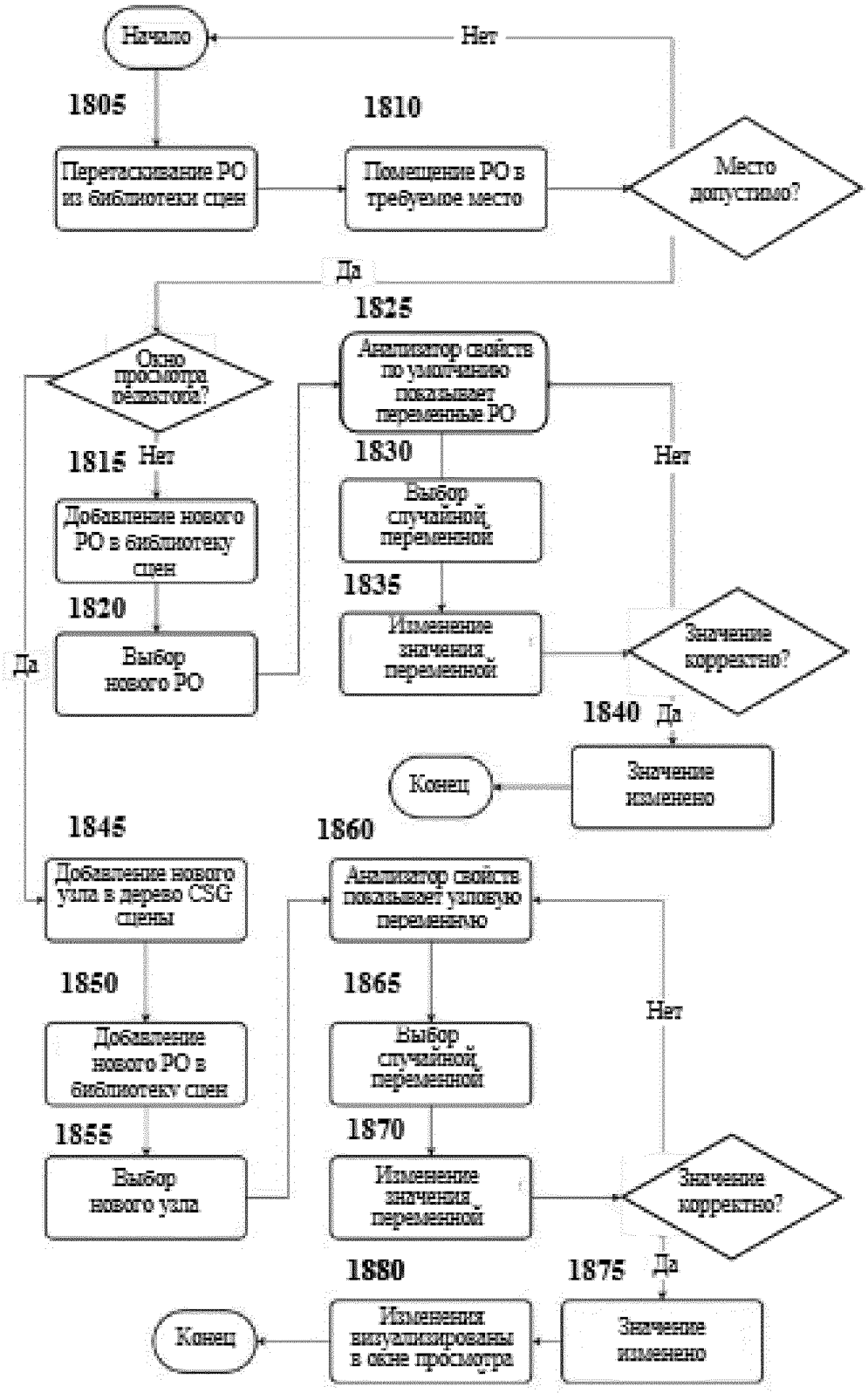

Сцена
Редактор РО: гирона x
Анализатор свойств x
Опции линевой грани
Ссылки #:
Грань 1:
Грань 2:
Предварительный просмотр линевой грани
Библиотека сцен x
Объекты
Текстуры
Текстура

ФИГ. 16

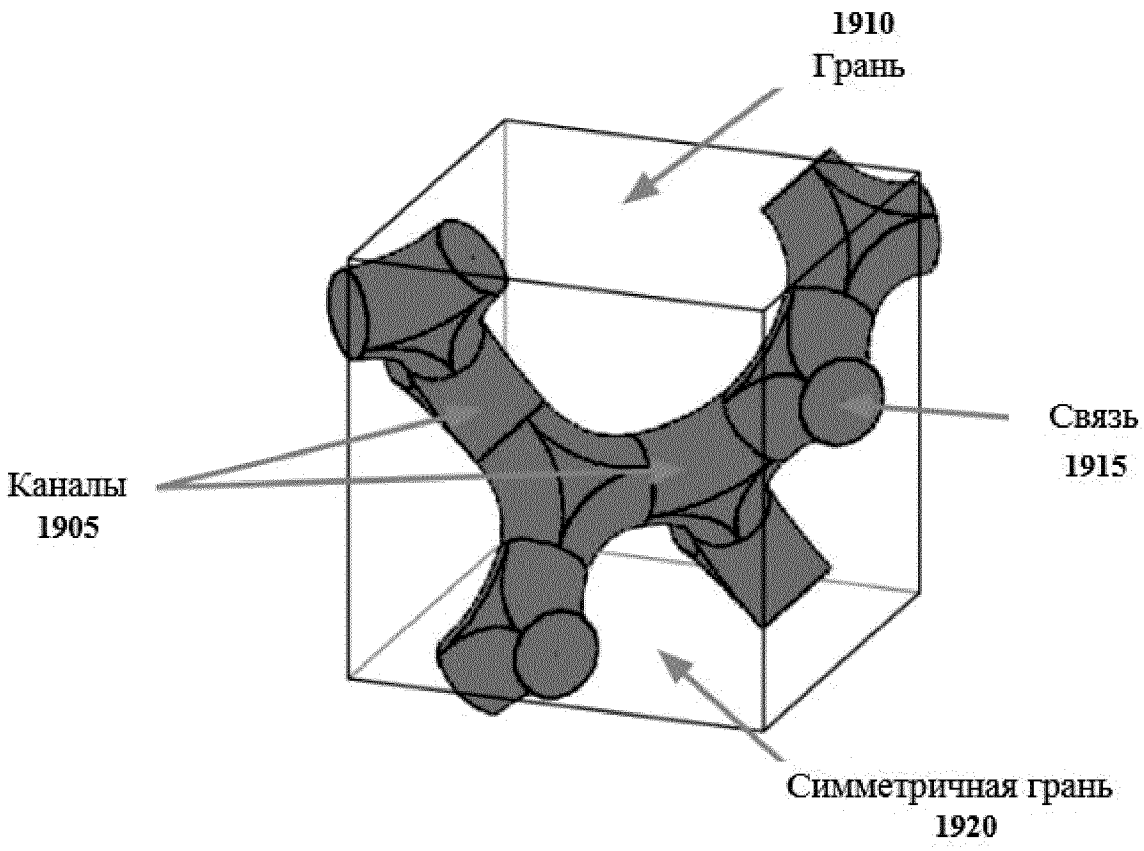

Файл Редактирование Окна
Дерево CSG
Сцена
Редактор РО: гирона
Аналитатор свойств
Ссылки #:
Грань 1:
Грань 2:
Предварительный просмотр линейной грани
Библиотека сцен
Объекты
Текстуры
куб_крист.
Гирона


Начало
1705
Выбор РО в виде кубического кристалла из библиотеки сцен
1710
Щелчок правой клавишей и выбор «Дублировать»
1715
Добавление нового РО в виде куб. кристалла в библиотеку сцен
1720
Выбор нового РО
1725
Переименование в «гироидную решетку»
1730
Задание числа связей для каждой пары симметричных граней
1735
Задание количества каналов
1740
Соединение группы связей с разных граней каналами
Конец

ФИГ. 17

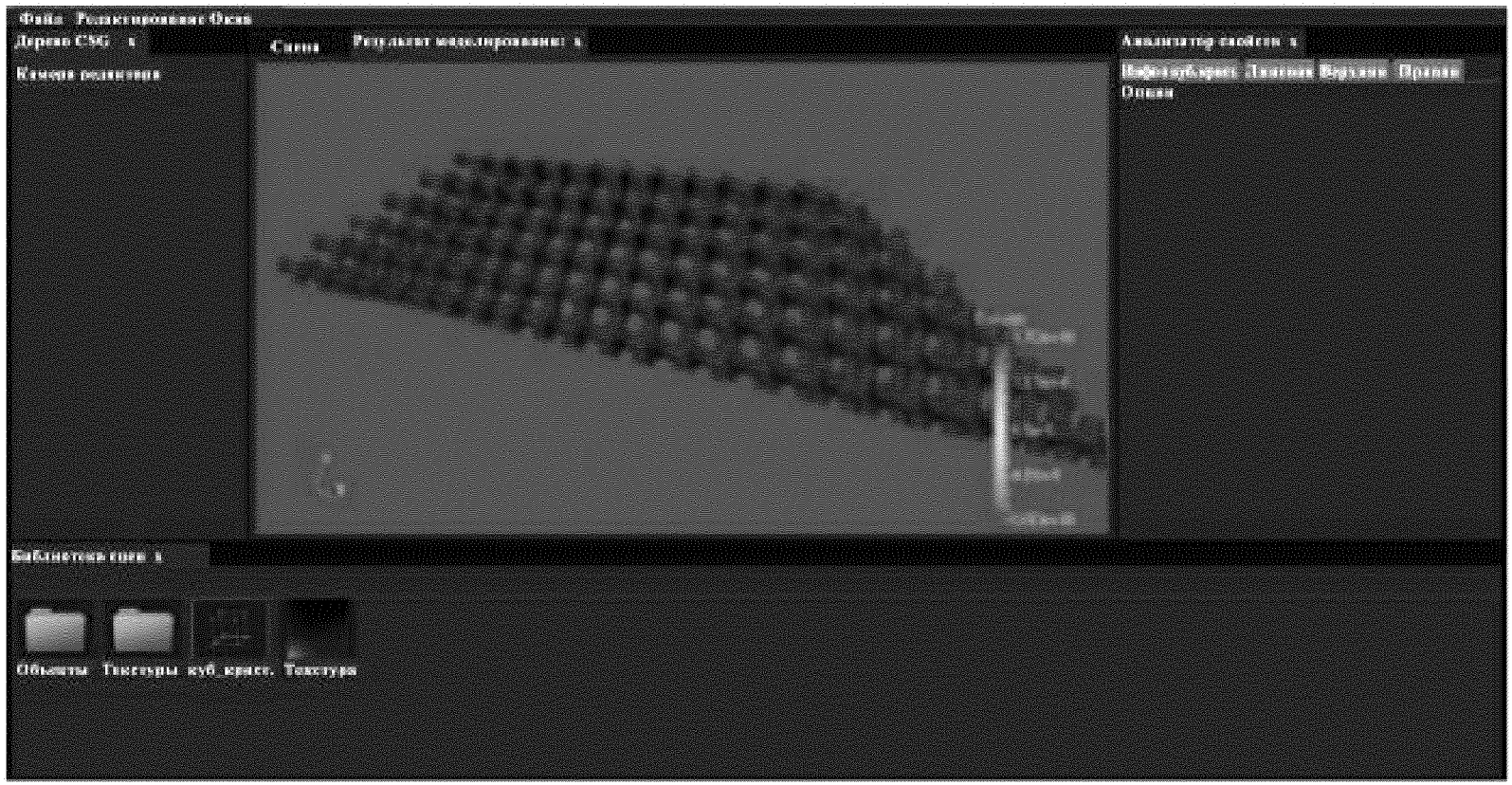

Начало
Нет
1805
1810
Перетаскивание РО из библиотеки сцен
Помещение РО в требуемое место
Место допустимо?
Да
1825
Окно просмотра редактора?
Анализатор свойств по умолчанию показывает переменные РО
1815
Нет
1830
Нет
Добавление нового РО в библиотеку сцен
Выбор случайной переменной
1835
1820
Да
Выбор нового РО
Изменение значения переменной
Значение корректно?
1840
Да
Конец
Значение изменено
1845
1860
Добавление нового узла в дерево CSG сцены
Анализатор свойств показывает узловую переменную
1850
1865
Нет
Добавление нового РО в библиотеку сцен
Выбор случайной переменной
1855
1870
Выбор нового узла
Изменение значения переменной
Значение корректно?
1880
1875
Да
Конец
Изменения визуализированы в окне просмотра
Значение изменено

ФИГ. 18

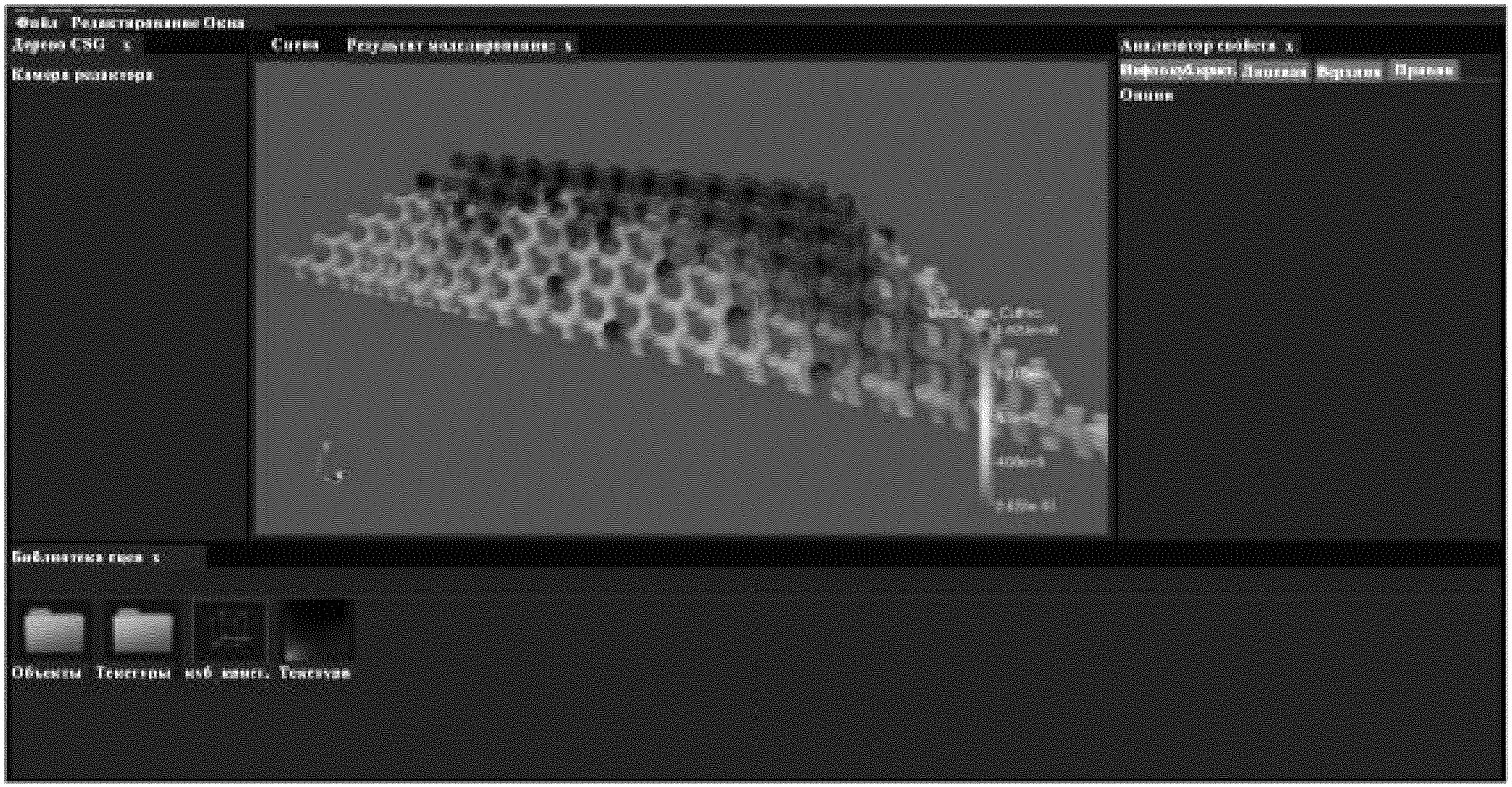


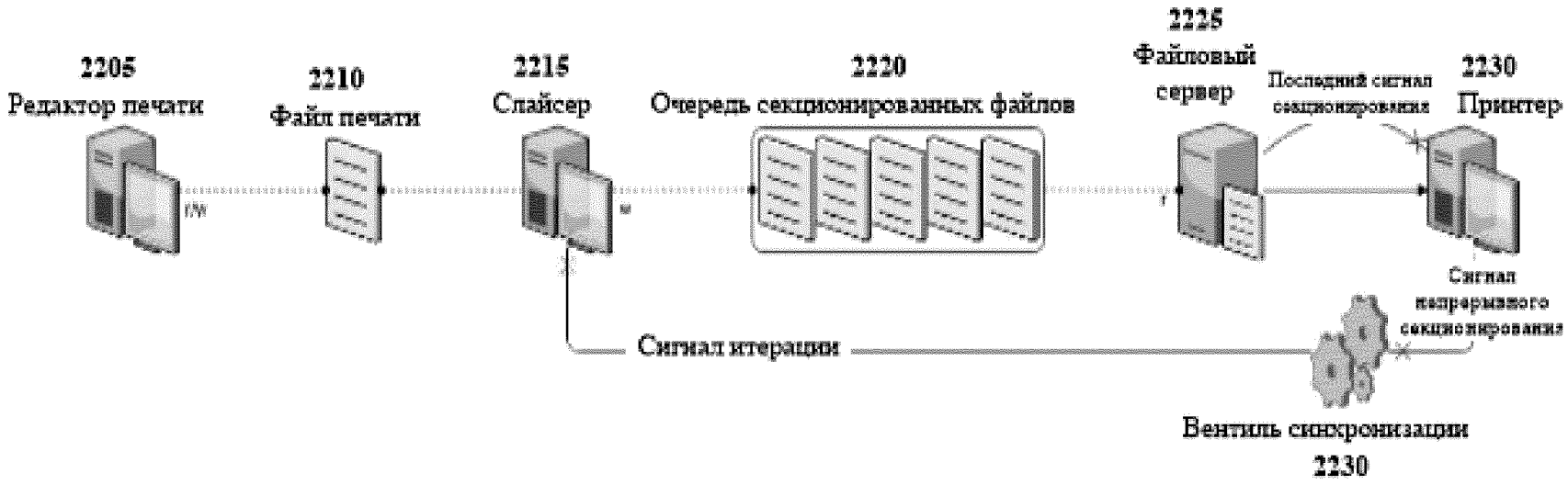
ФИГ. 19

ФИГ. 20


Файл Редактирование Окна
Дерево CSG x
Сцена
Результат моделирования: x
Аналитатор свойств x
Камера редактора
Инфоаудиторы Линейки Верхняя Правая
Опции
Библиотека сцен x
Объекты Текстуры куб_кристс. Текстура

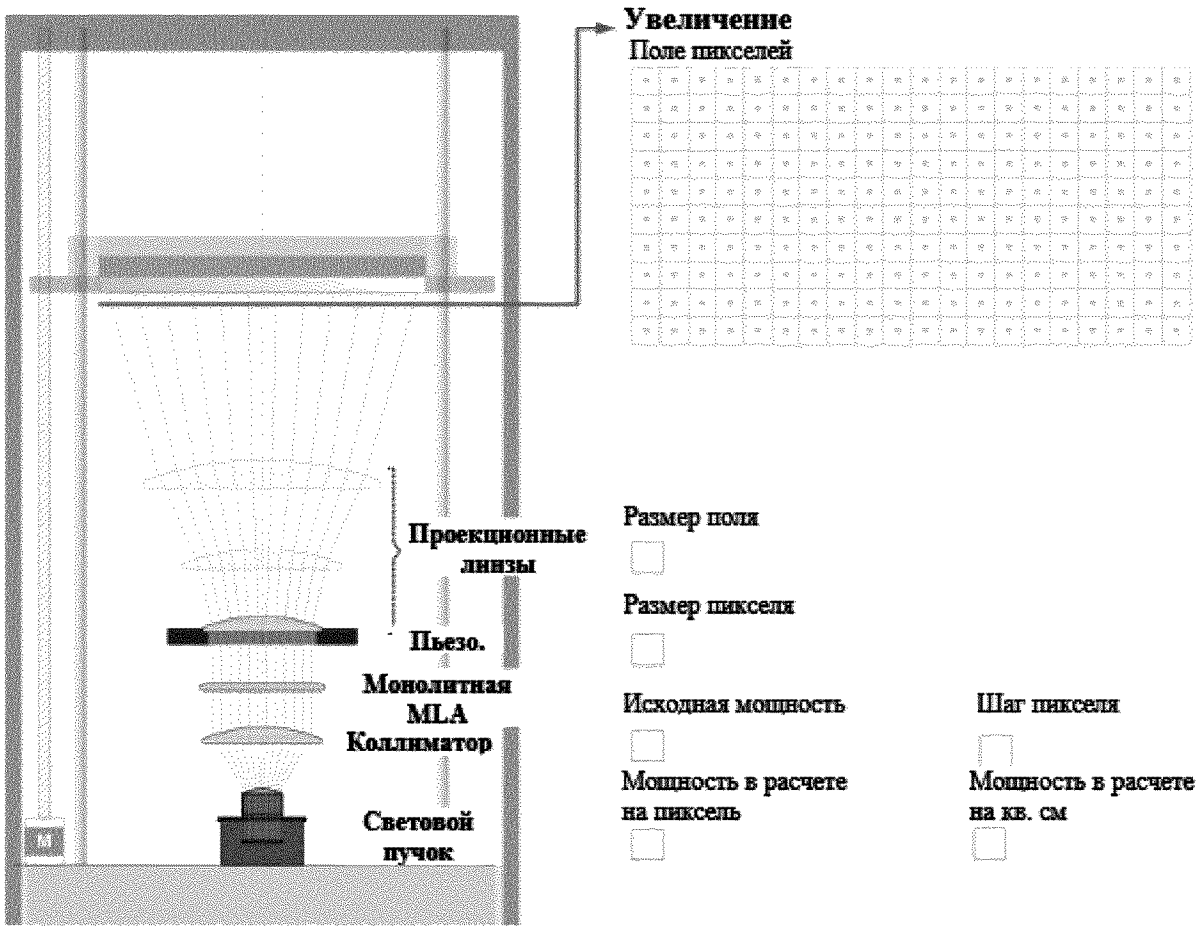
ФИГ. 21


Файл Редактирование Окна
Дерево CSG x
Камера редактора
Сцена
Результат моделирования: x
Анализатор свойств x
Инфоблуб.прект.
Линейка
Вершина
Правая
Оппин
Библиотека сцен x
Объекты
Текстуры
куб камер.
Текстура

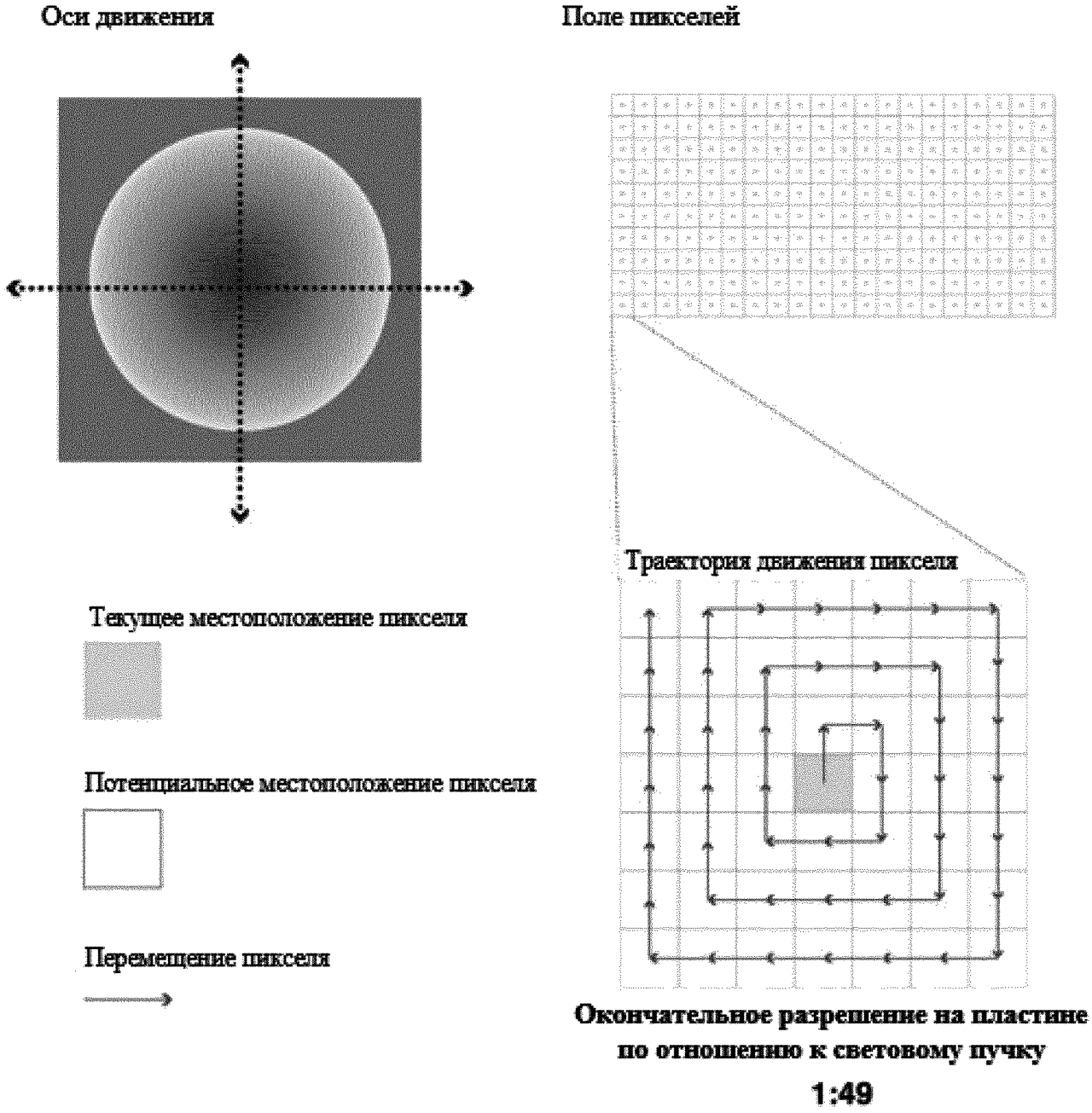

2205
Редактор печати
2210
Файл печати
2215
Слайсер
2220
Очередь секционированных файлов
2225
Файловый сервер
Последний сигнал секционирования
2230
Принтер
Сигнал итерации
Сигнал непрерывного секционирования
Вентиль синхронизации
2230

ФИГ. 22

Компоновка 3D-принтера



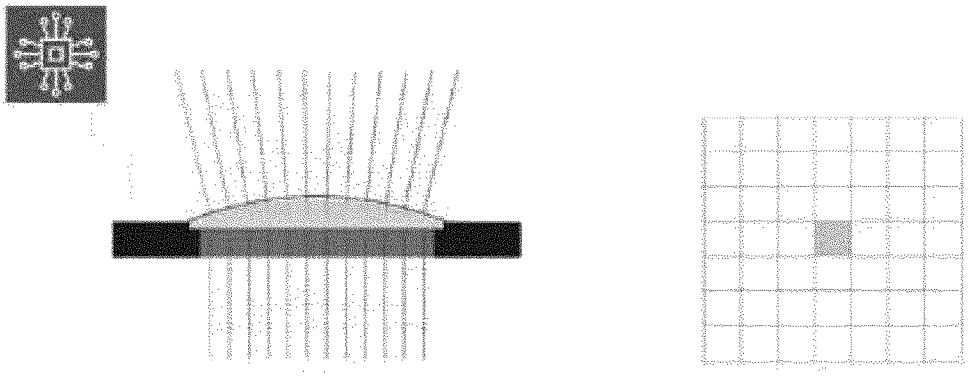
ФИГ. 23


Оси движения
Поле пикселей
Траектория движения пикселя
Текущее местоположение пикселя
Потенциальное местоположение пикселя
Перемещение пикселя
Окончательное разрешение на пластине
по отношению к световому пучку
1:49

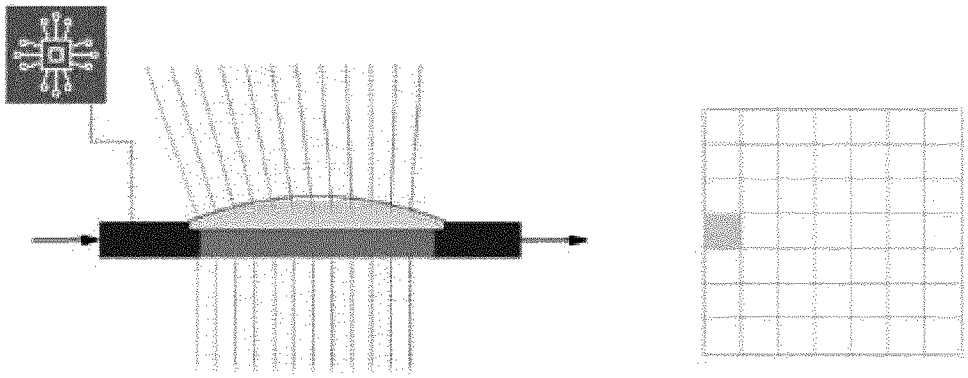
ФИГ. 24

XY-перемещение пикселя

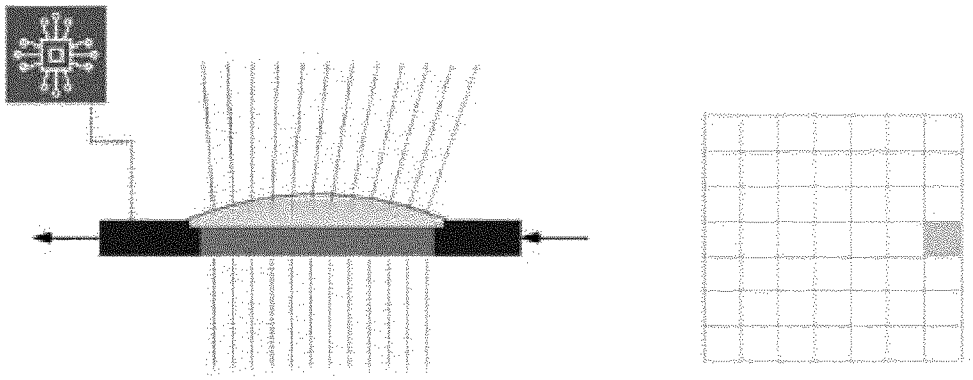
ФИГ. 25A

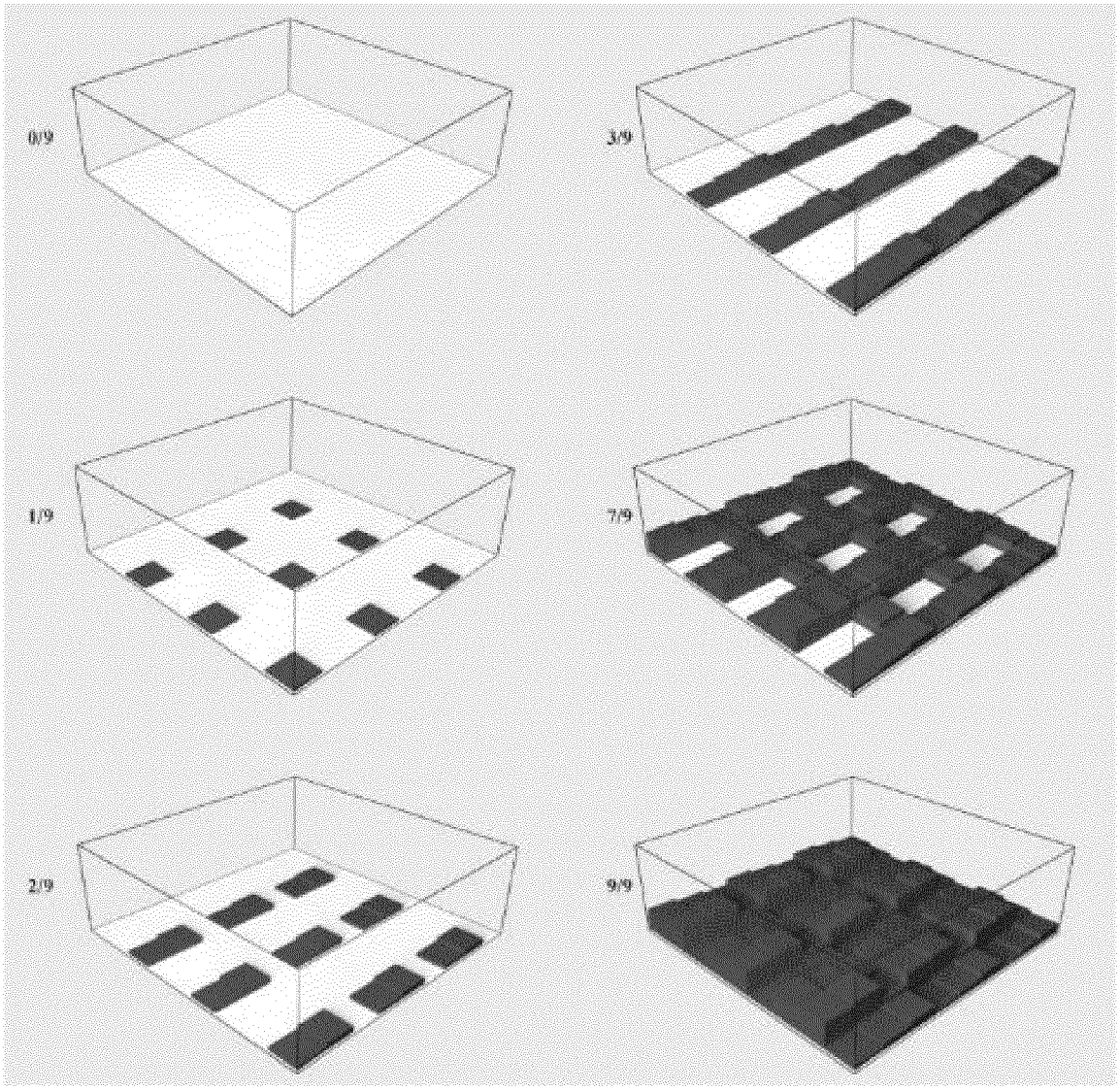


ФИГ. 25B

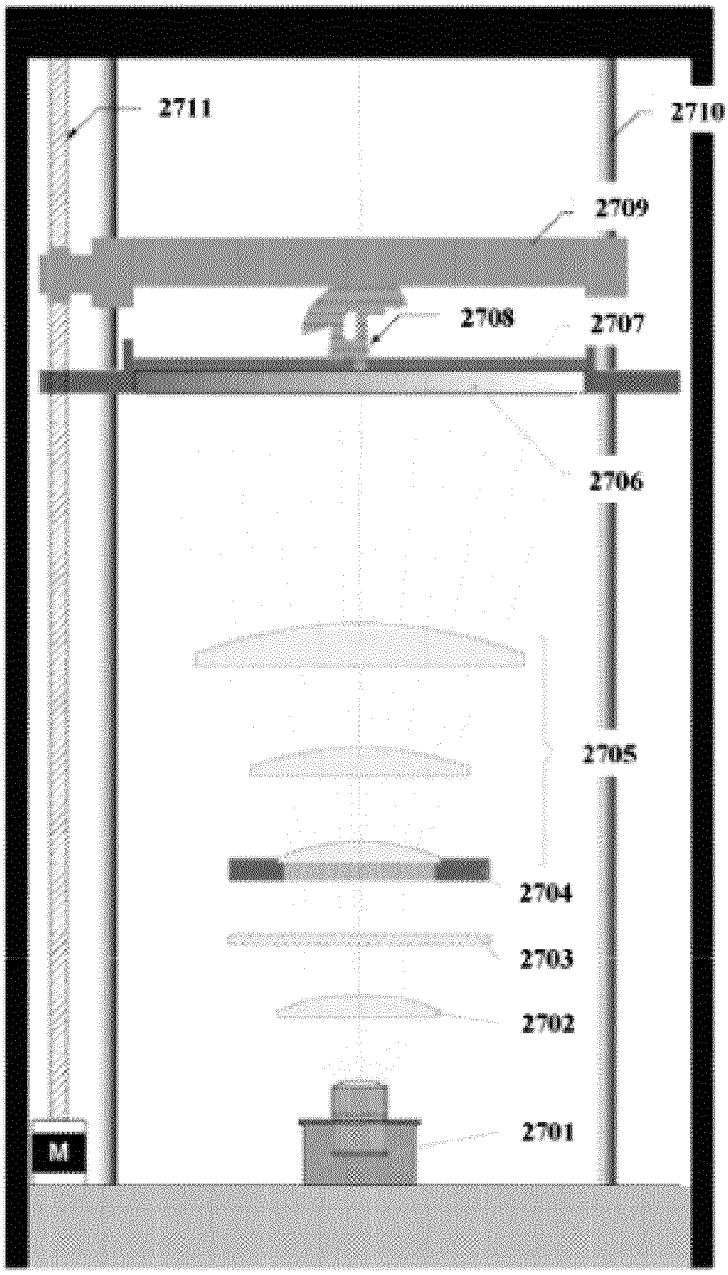


ФИГ. 25C





ФИГ. 26



2711 Резьбовой шток

2710 Направляющие

2709 Печатный стол

2708 Результат печати

2707 Фотополимерная смола

2706 Окно куба

2705 Проекционные линзы

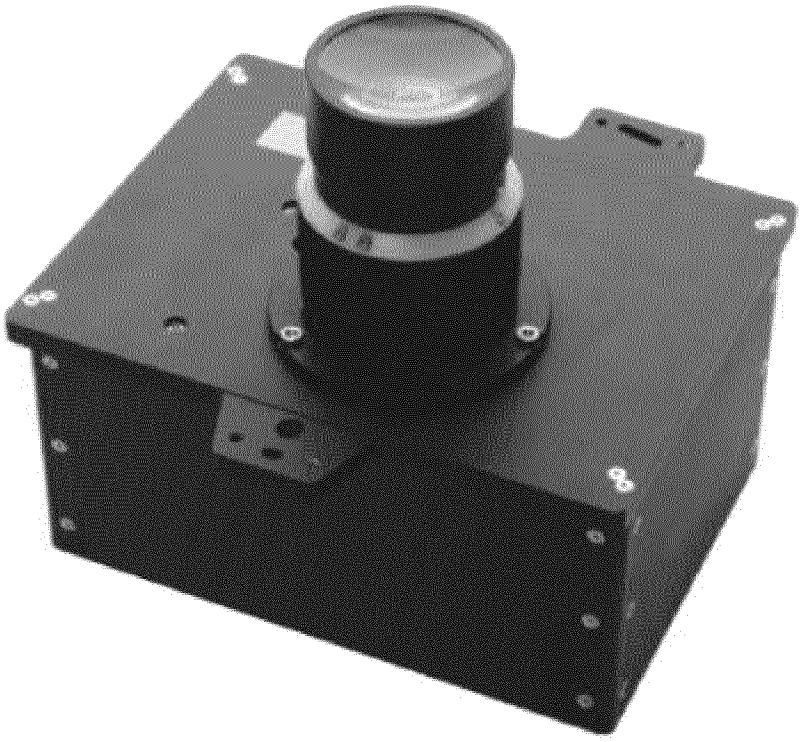
2704 Пьезо-платформа

2703 Монолитная MLA

2702 Коллиматор

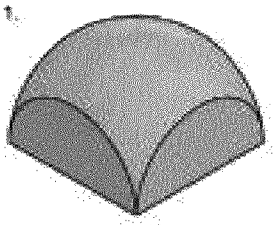
2701 Источник света

ФИГ. 27

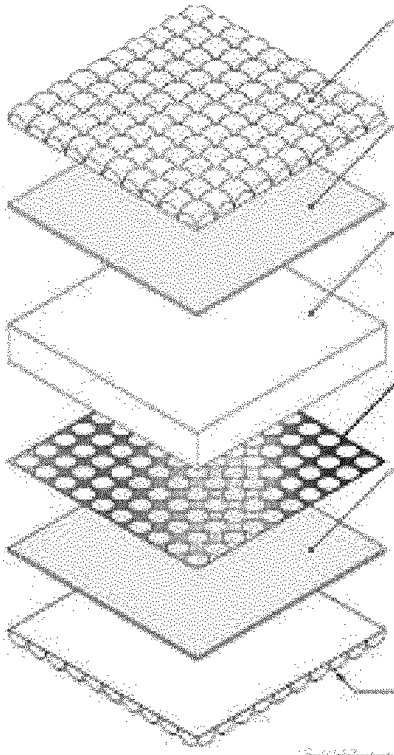


ФИГ. 28

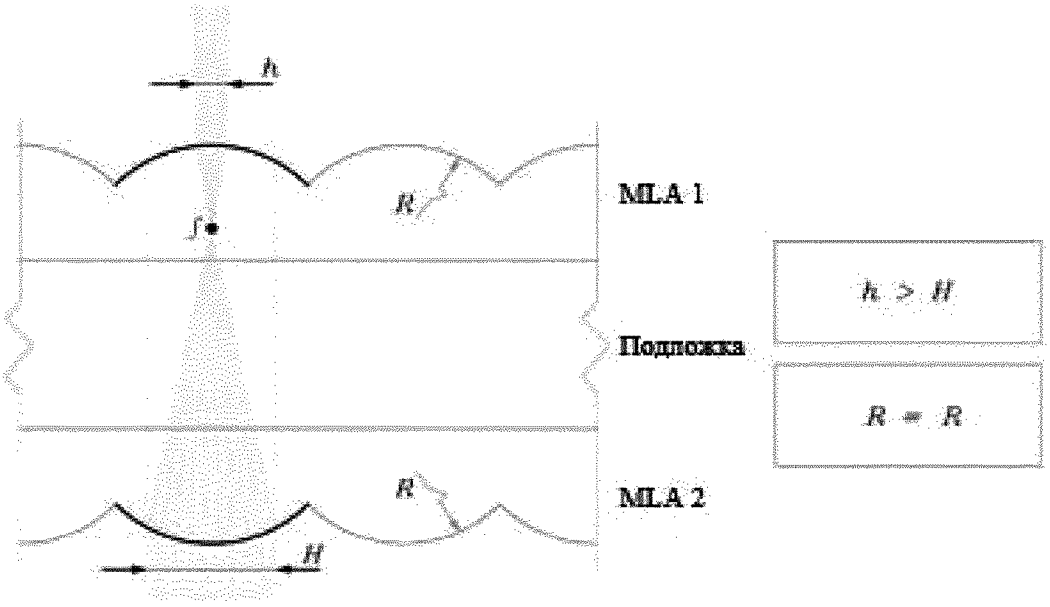
ФИГ. 29



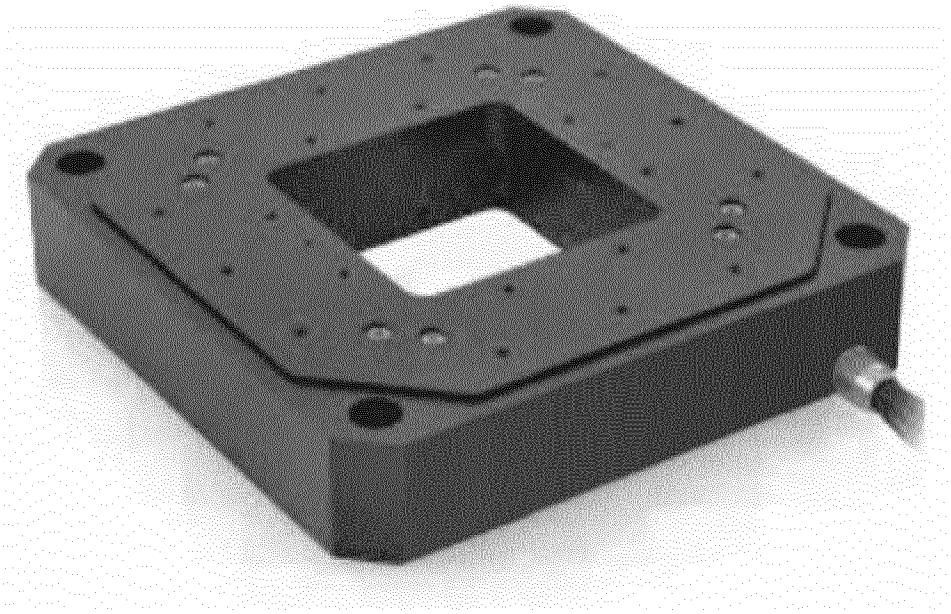
ФИГ. 30A



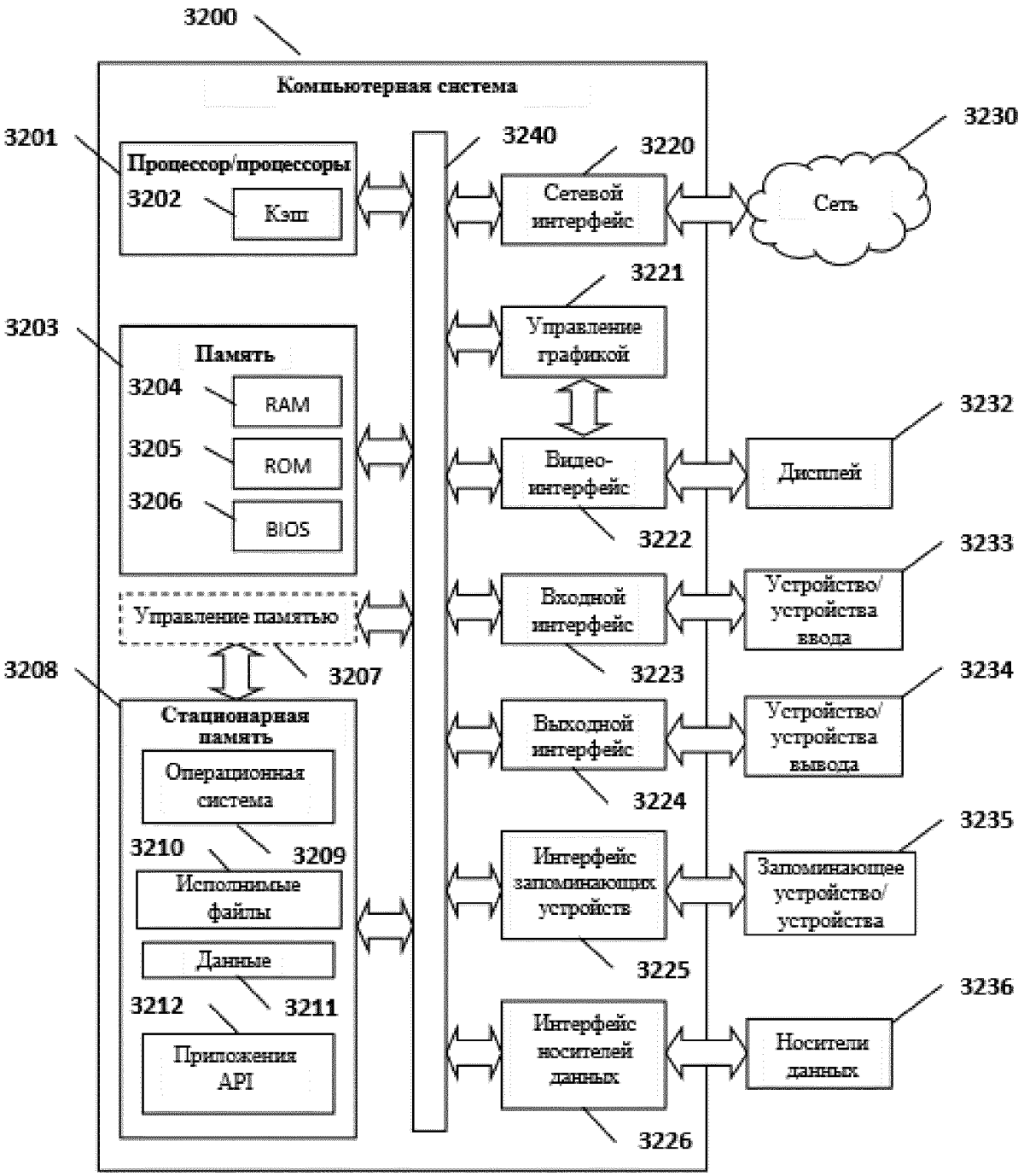
ФИГ. 30B



ФИГ. 30C



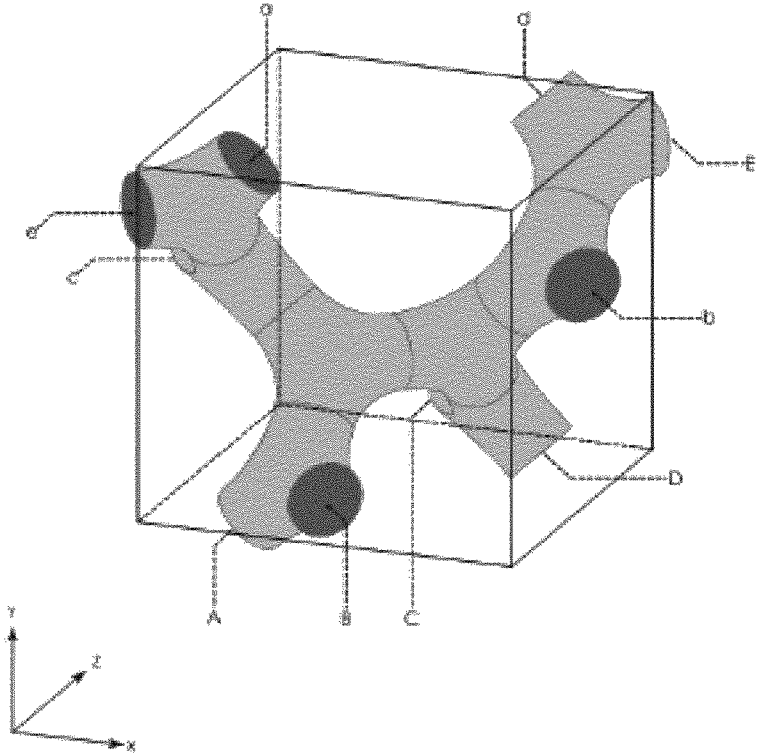
ФИГ. 31


3200
Компьютерная система
3201
Процессор/процессоры
3202
Кэш
3203
Память
3204
RAM
3205
ROM
3206
BIOS
Управление памятью
3207
3208
Стационарная память
Операционная система
3210
3209
Исполнимые файлы
Данные
3212
3211
Приложения API
3240
3220
Сетевой интерфейс
3221
Управление графикой
Видео-интерфейс
3222
Входной интерфейс
3223
Выходной интерфейс
3224
Интерфейс запоминающих устройств
3225
Интерфейс носителей данных
3226
3230
Сеть
3232
Дисплей
3233
Устройство/ устройства ввода
3234
Устройство/ устройства вывода
3235
Запоминающее устройство/ устройства
3236
Носители данных

ФИГ. 32

Модульная сборка

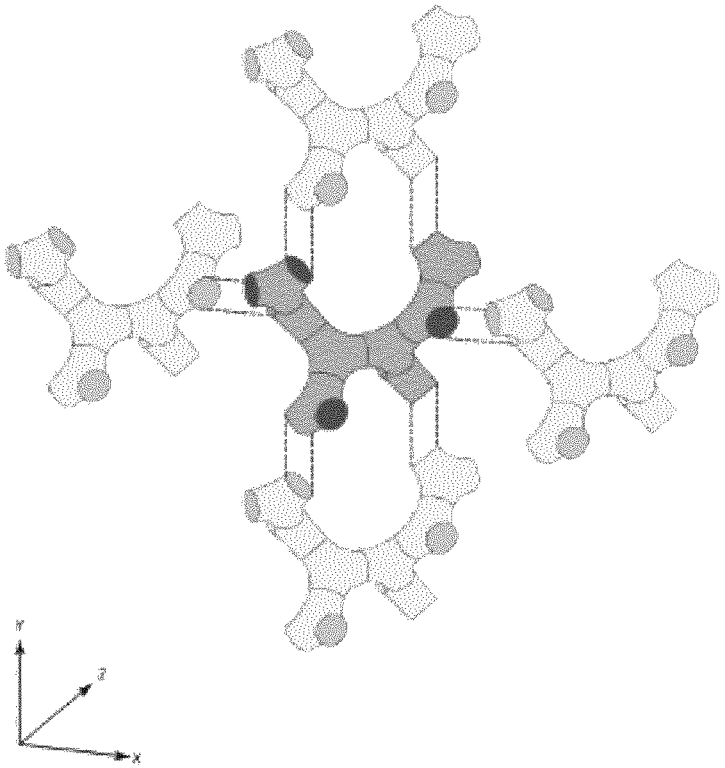
1. Пары параллельных плоскостей:
A/a - B/b - C/c - B/b - D/d - E/e
Общее количество соединительных плоскостей: 10



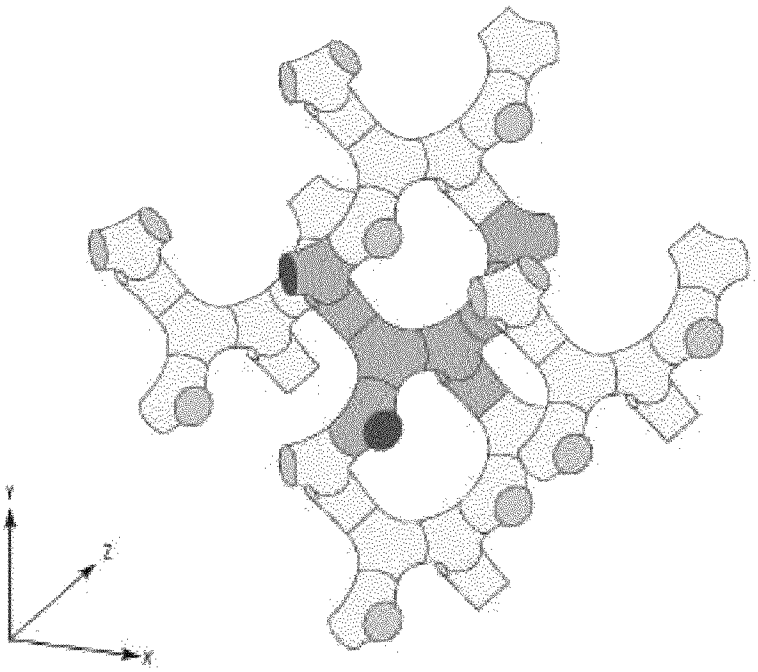
ФИГ. 33A

Модульная сборка

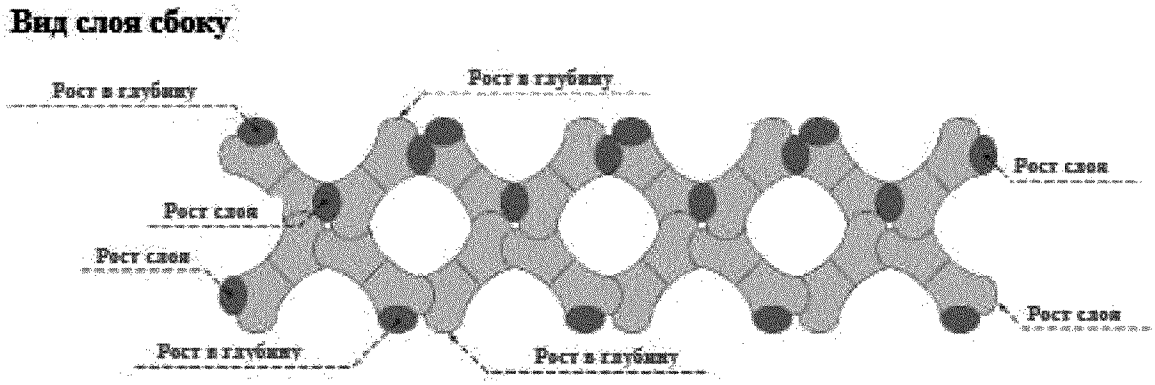
1.



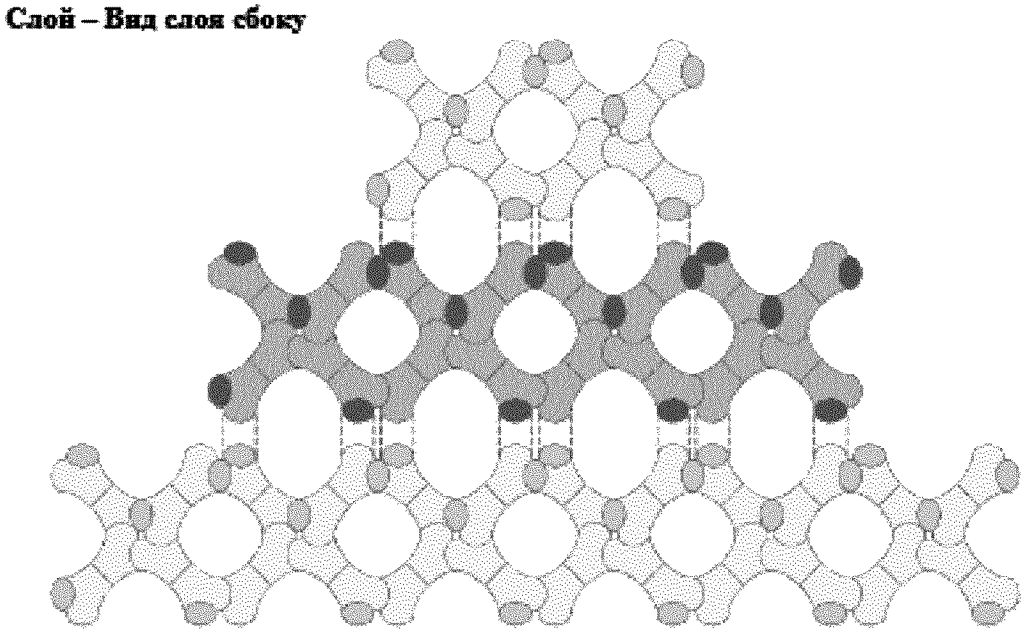
ФИГ. 33B



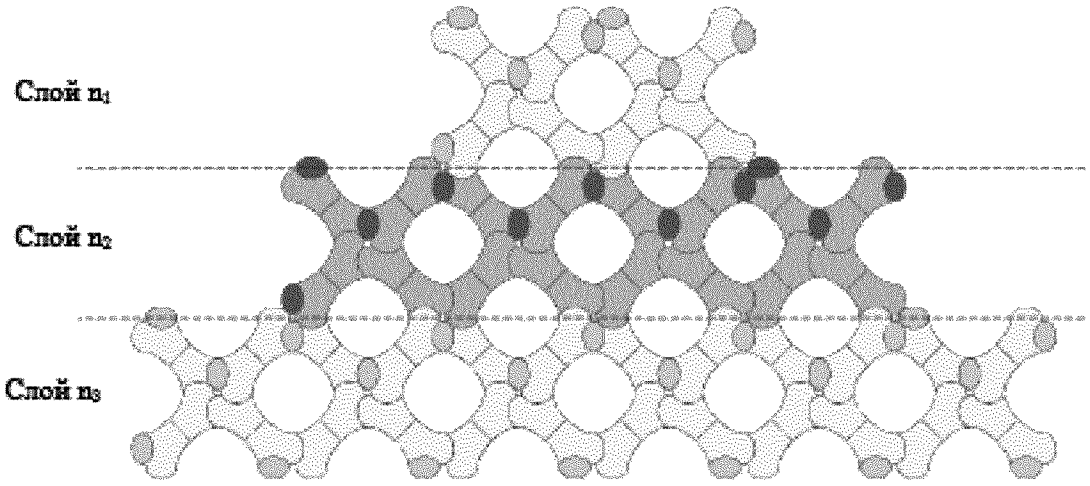
ФИГ. 33C



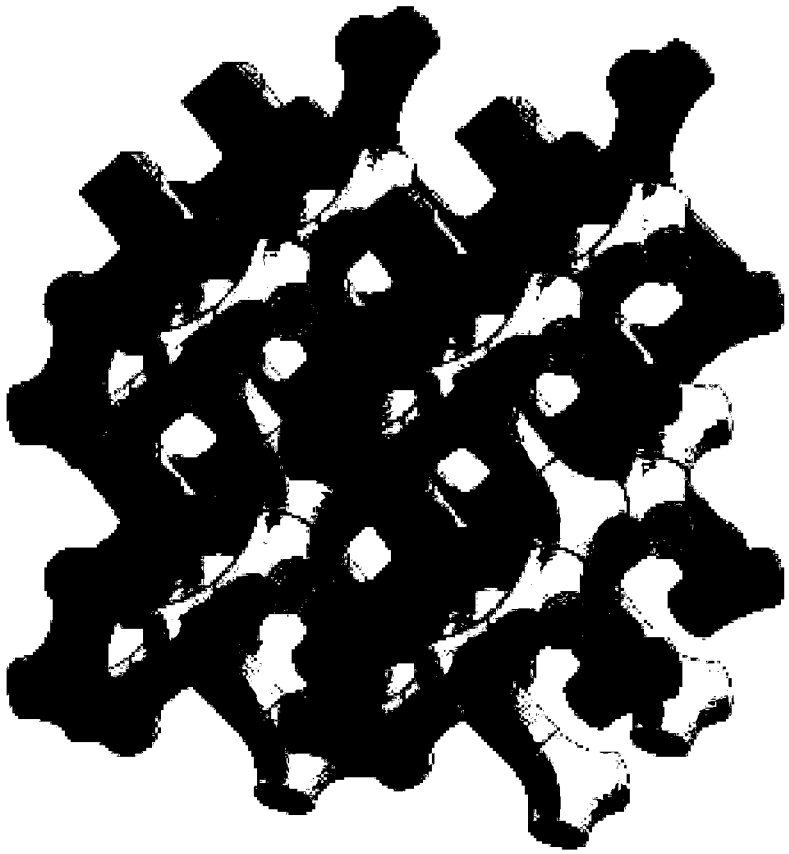
ФИГ. 33D



ФИГ. 33E

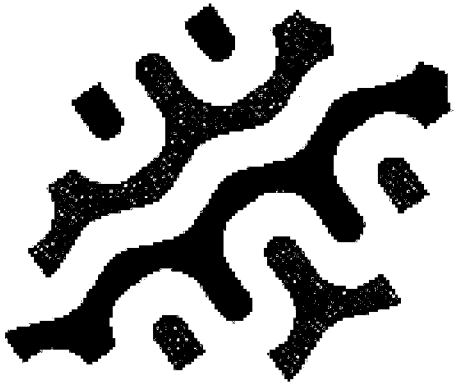


ФИГ. 33F

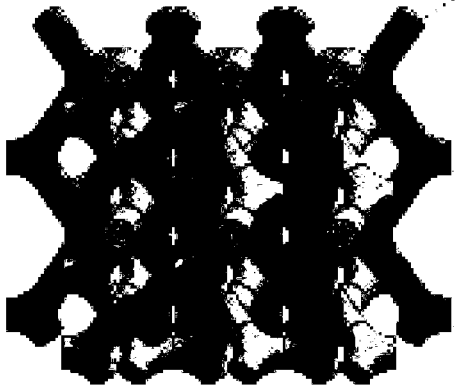


ФИГ. 34А

Вид в частичном разрезе

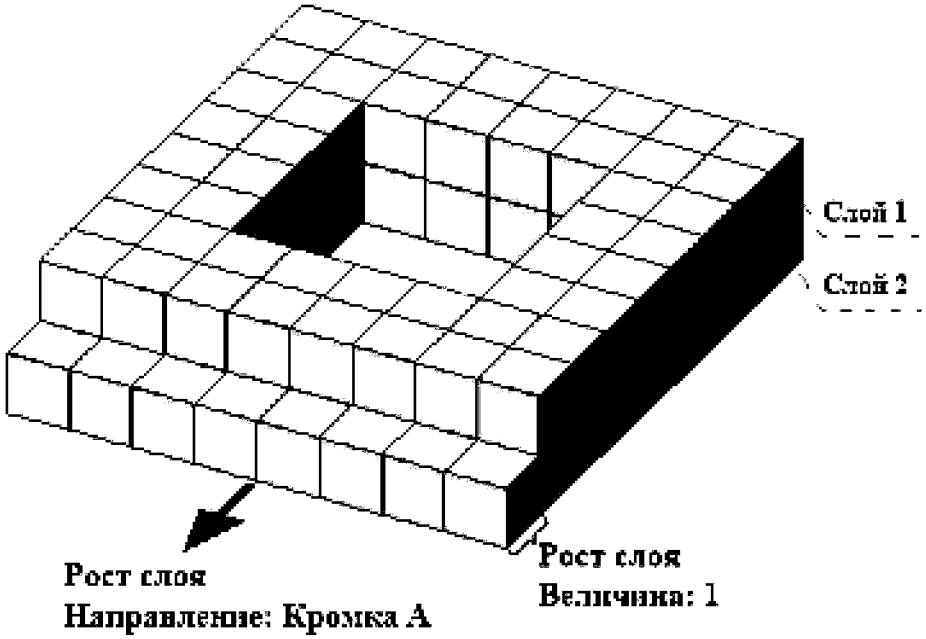


Сечение А-А

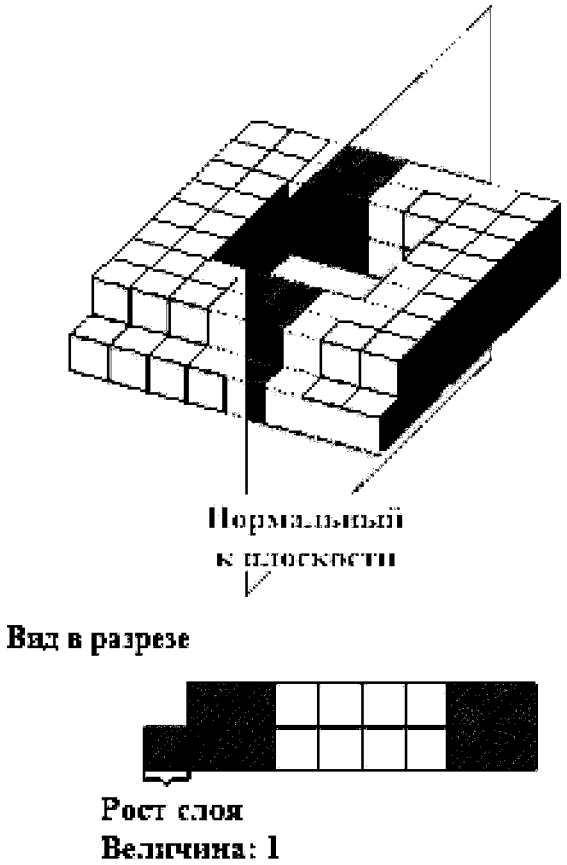


Вид в плоскости В-b

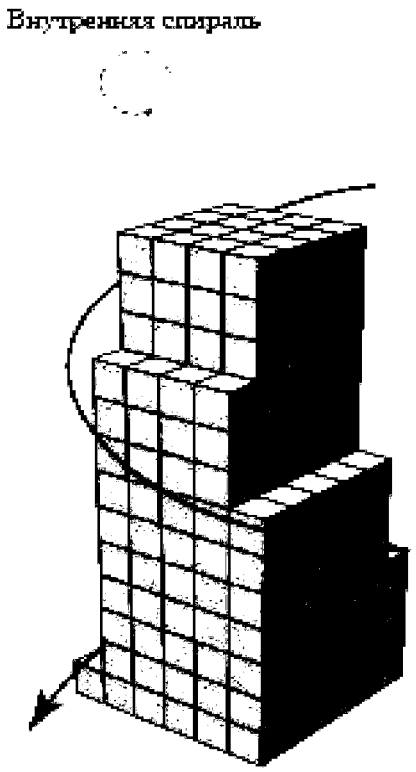
ФИГ. 34В



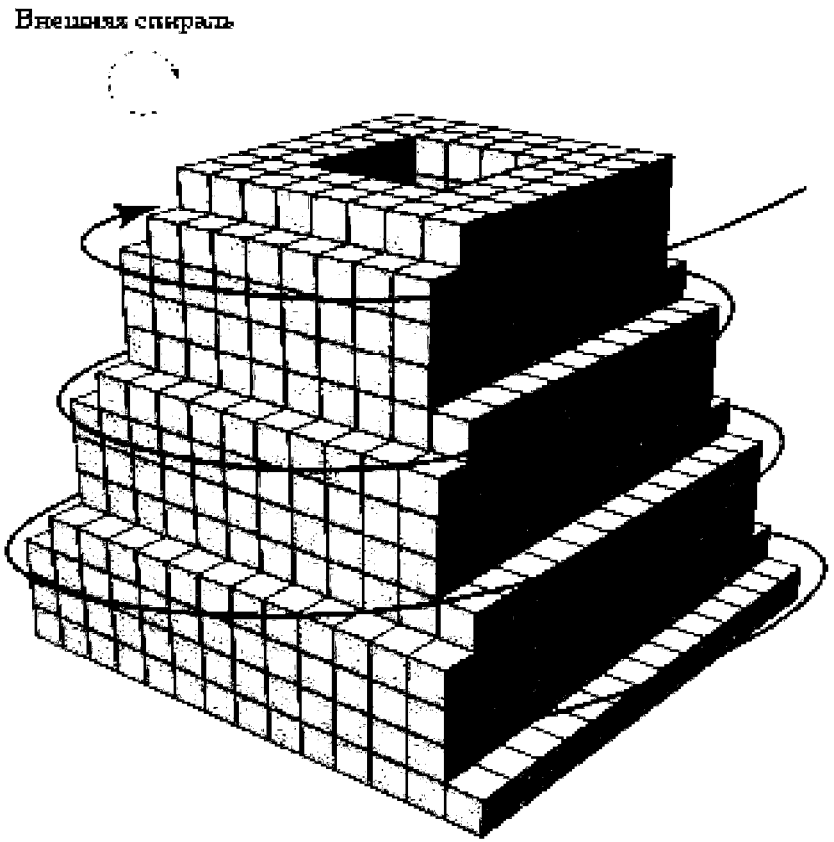
ФИГ. 34C



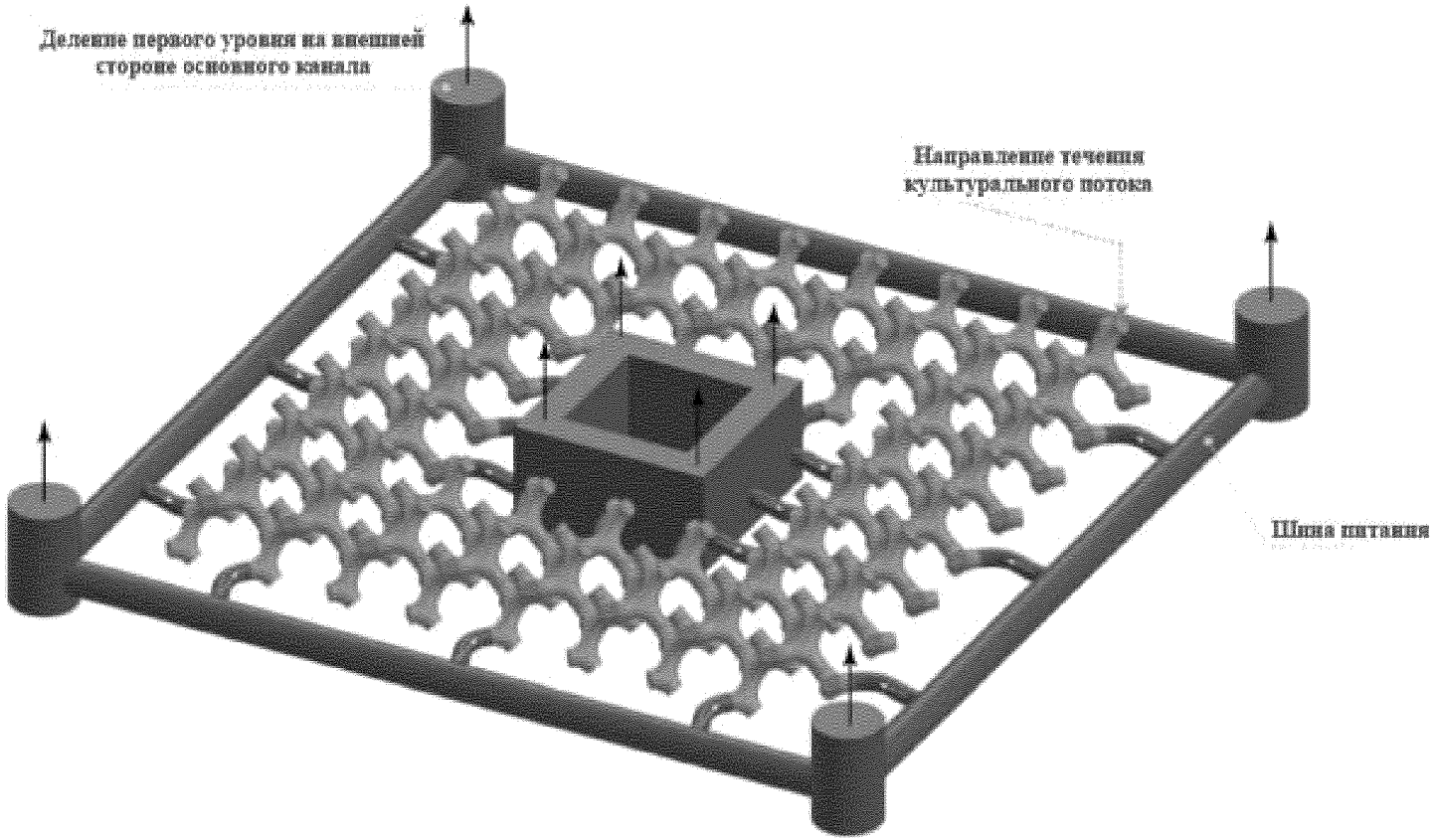
ФИГ. 34D



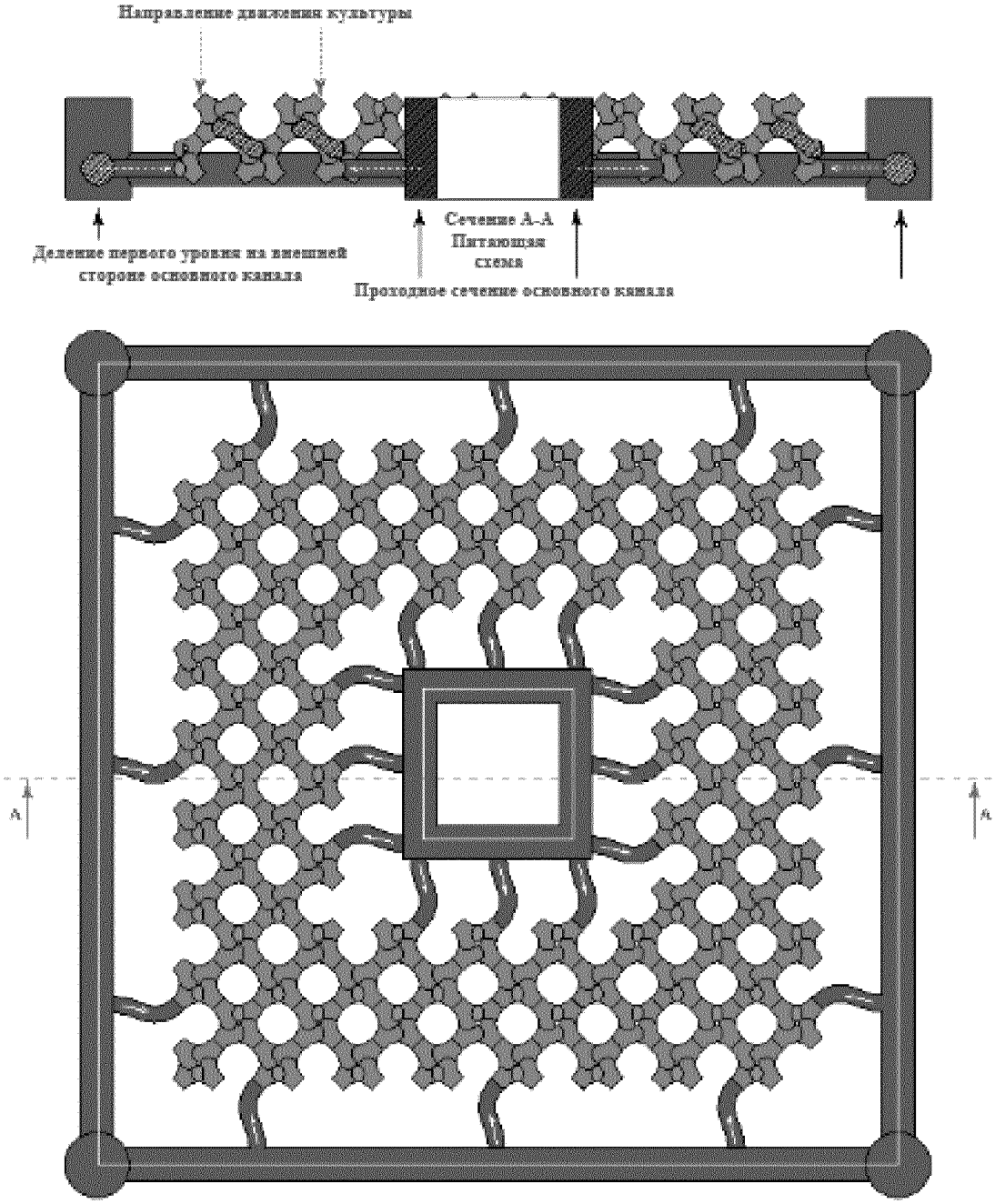
ФИГ. 34E



ФИГ. 34F


Деление первого уровня на внешней стороне основного канала
Направление течения культурального потока
Шина питания

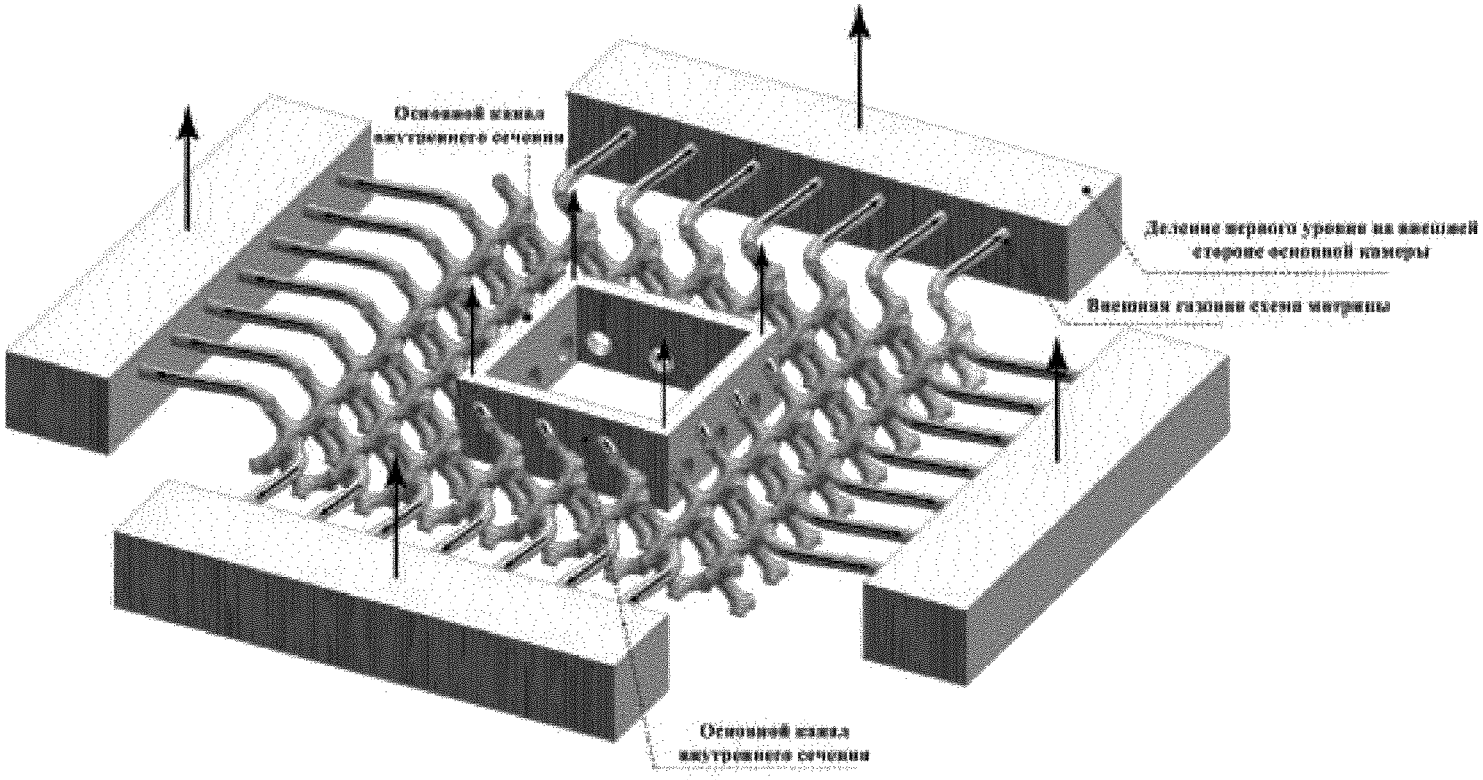
ФИГ. 35А

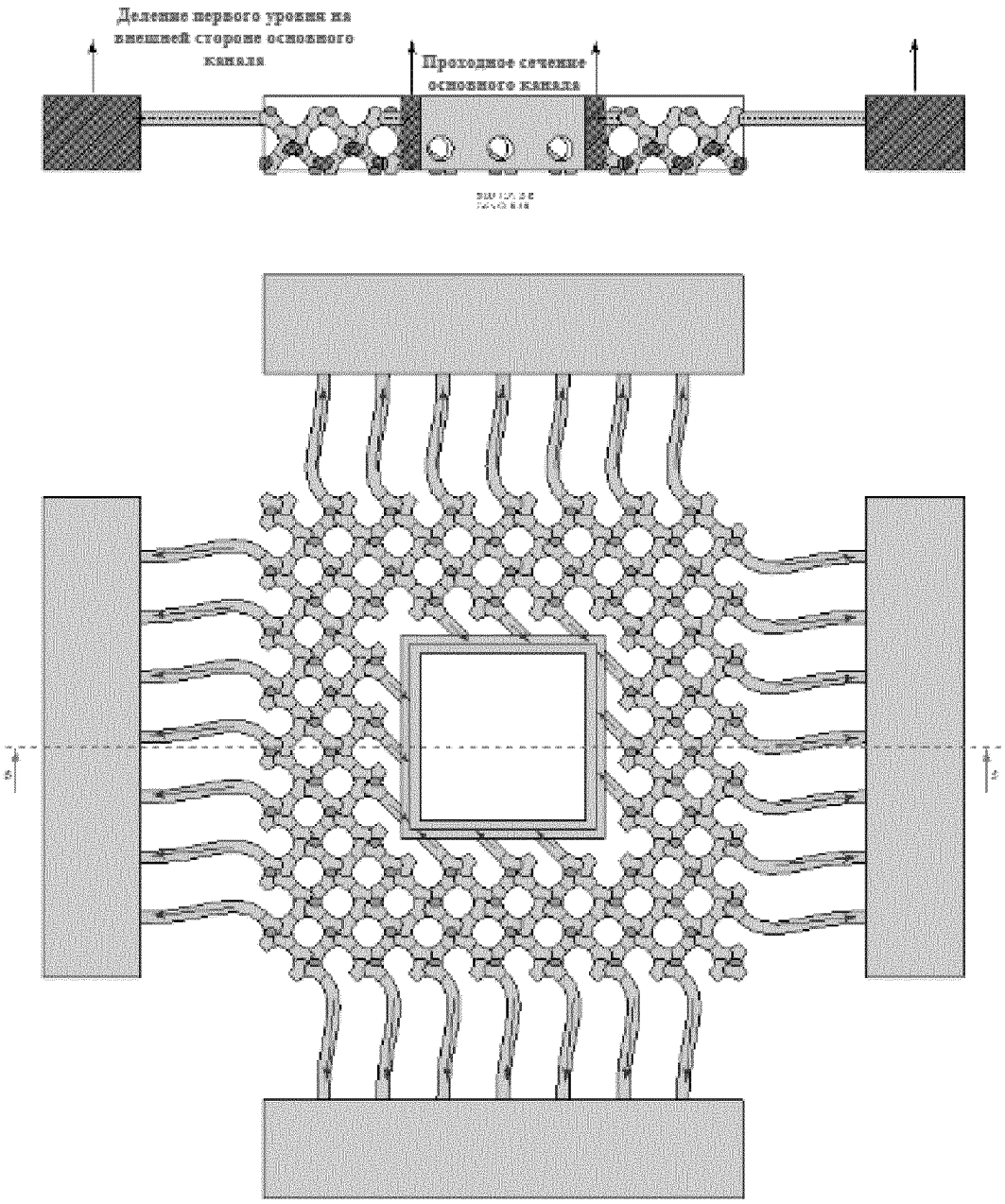

Направление движения культуры
Деление первого уровня на внешней стороне основного канала
Сечение А-А
Питающая схема
Проходное сечение основного канала
A
A

ФИГ. 35B

Подмножество газовых схем матрицы

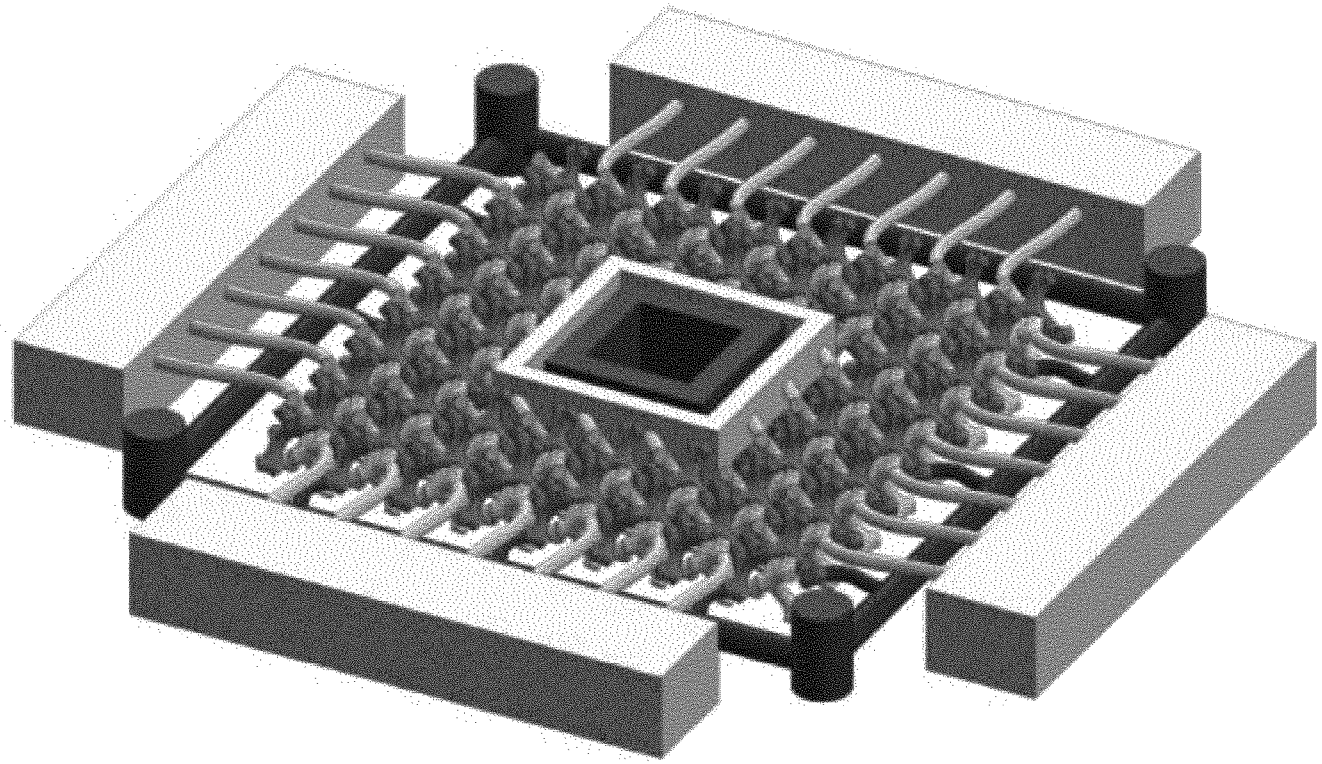
ФИГ. 35C



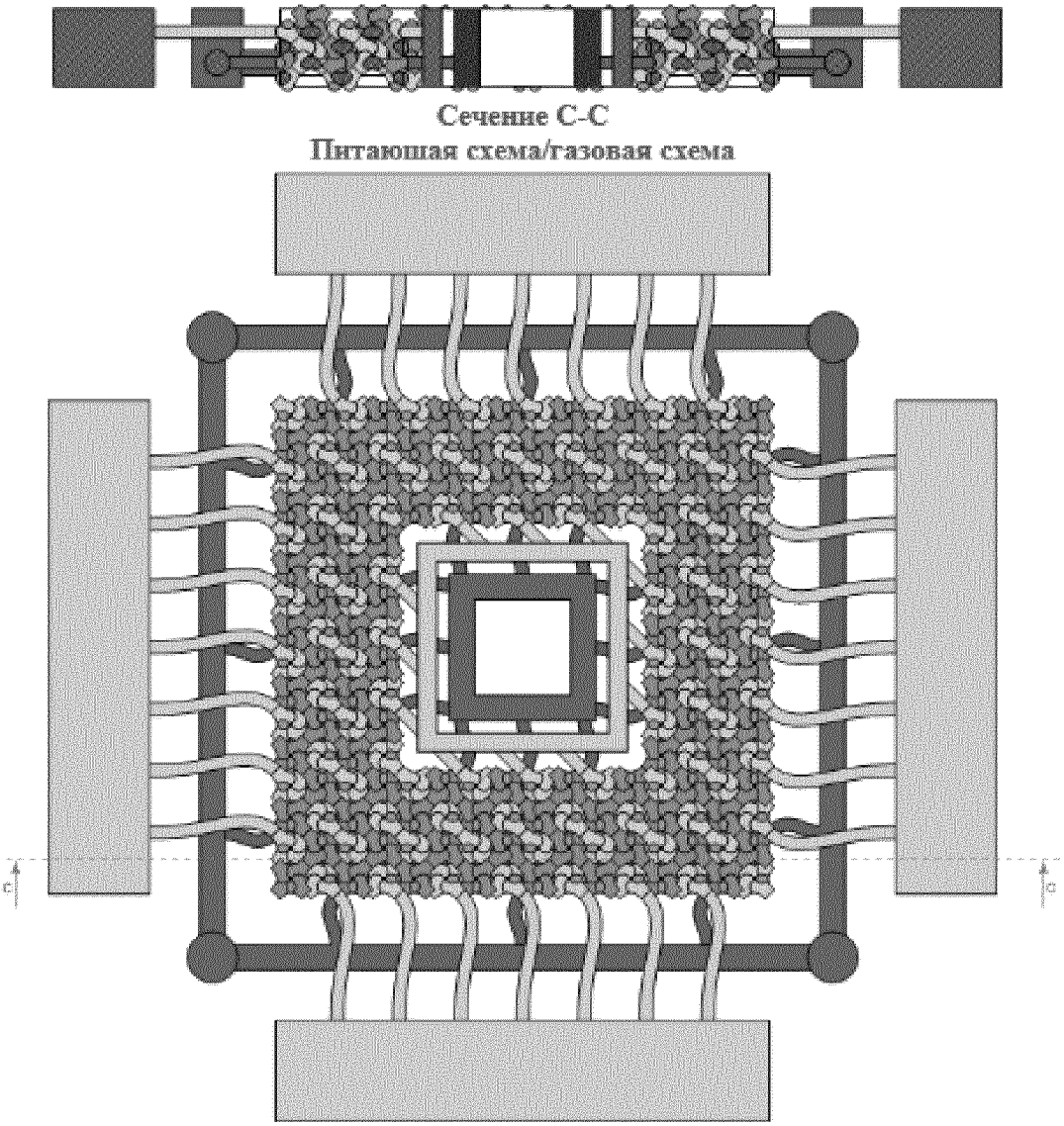

Деление первого уровня на внешней стороне основного канала
Проходное сечение основного канала

ФИГ. 35D

Подмножество газовых схем матрицы с подмножеством питающих схем матрицы в сборе

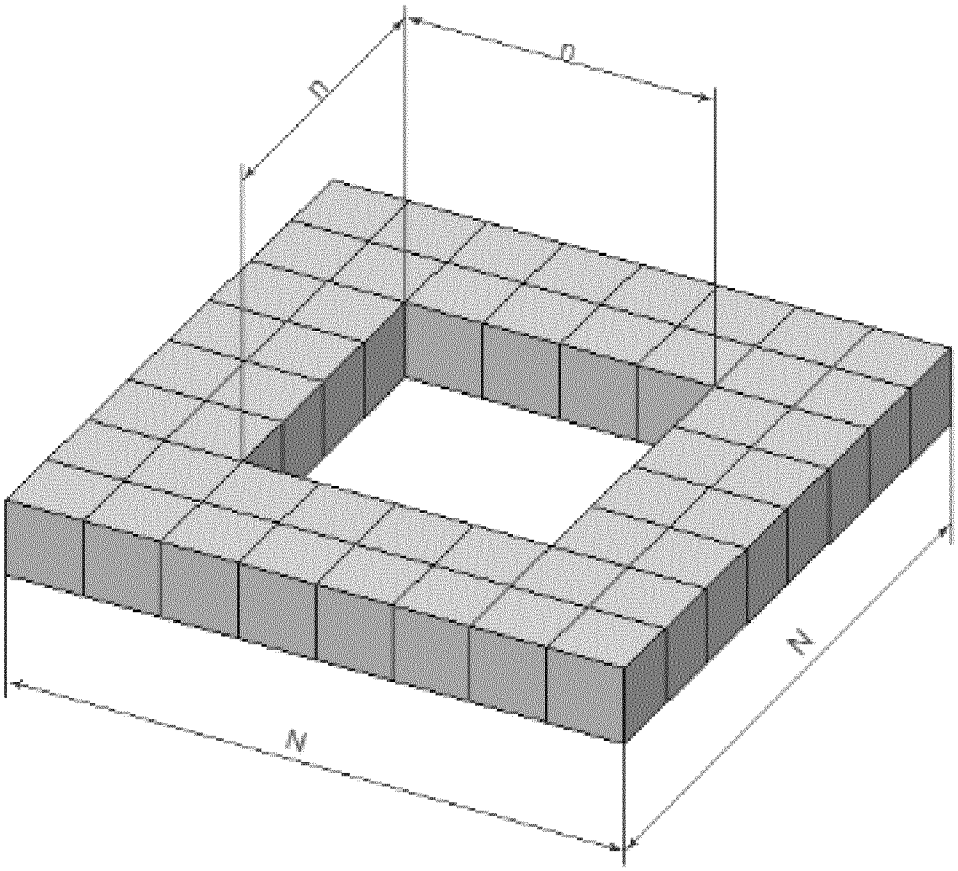


ФИГ. 35E

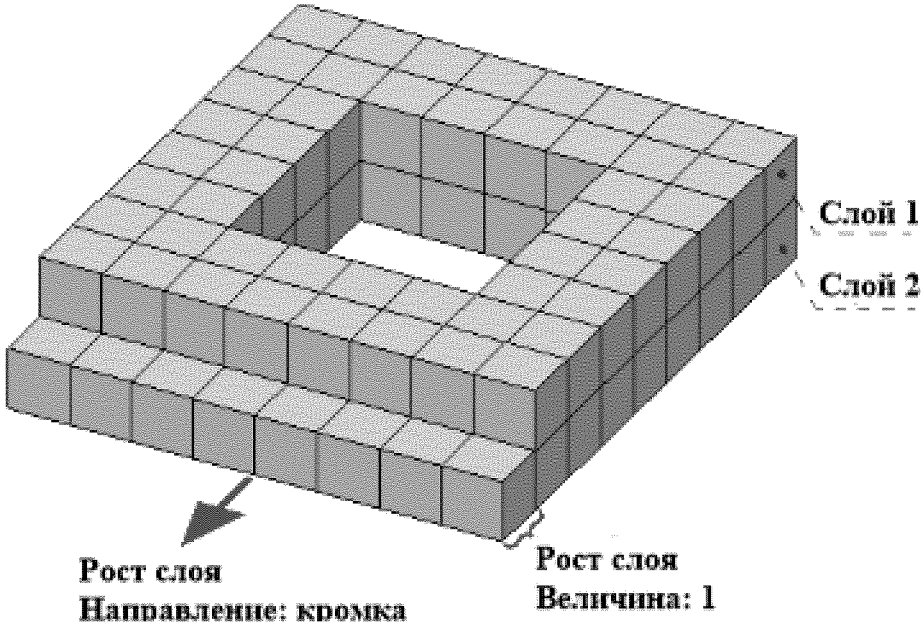


ФИГ. 35F

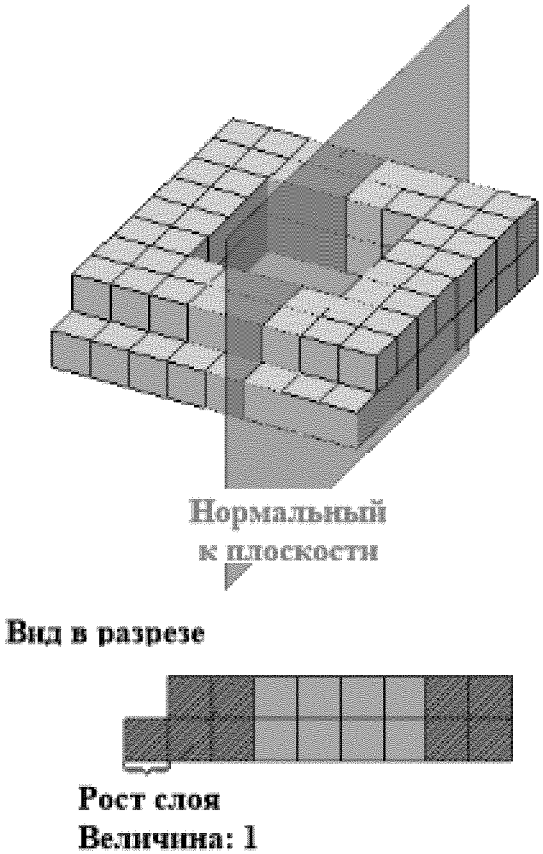
Пример слоя



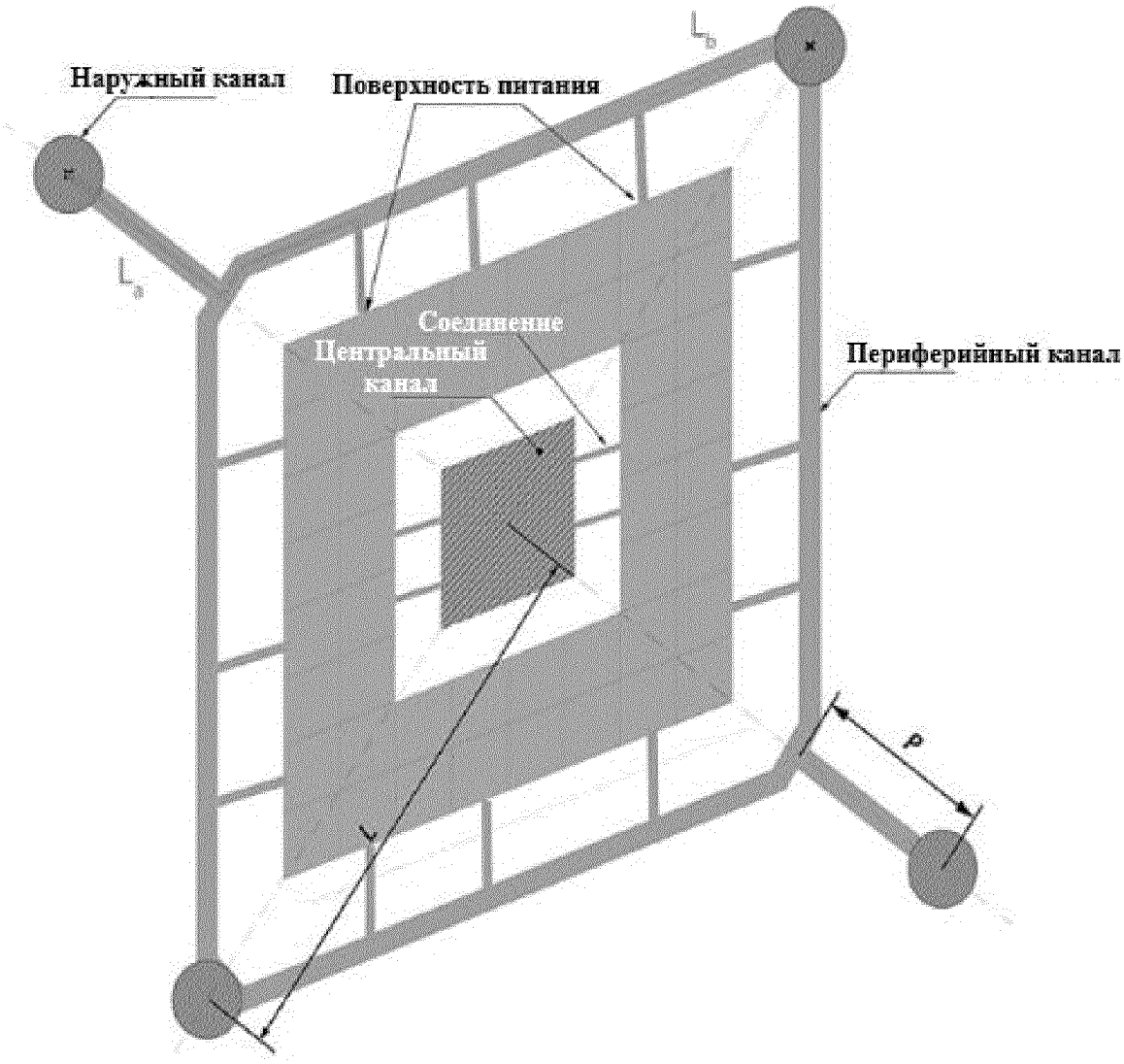
ФИГ. 36



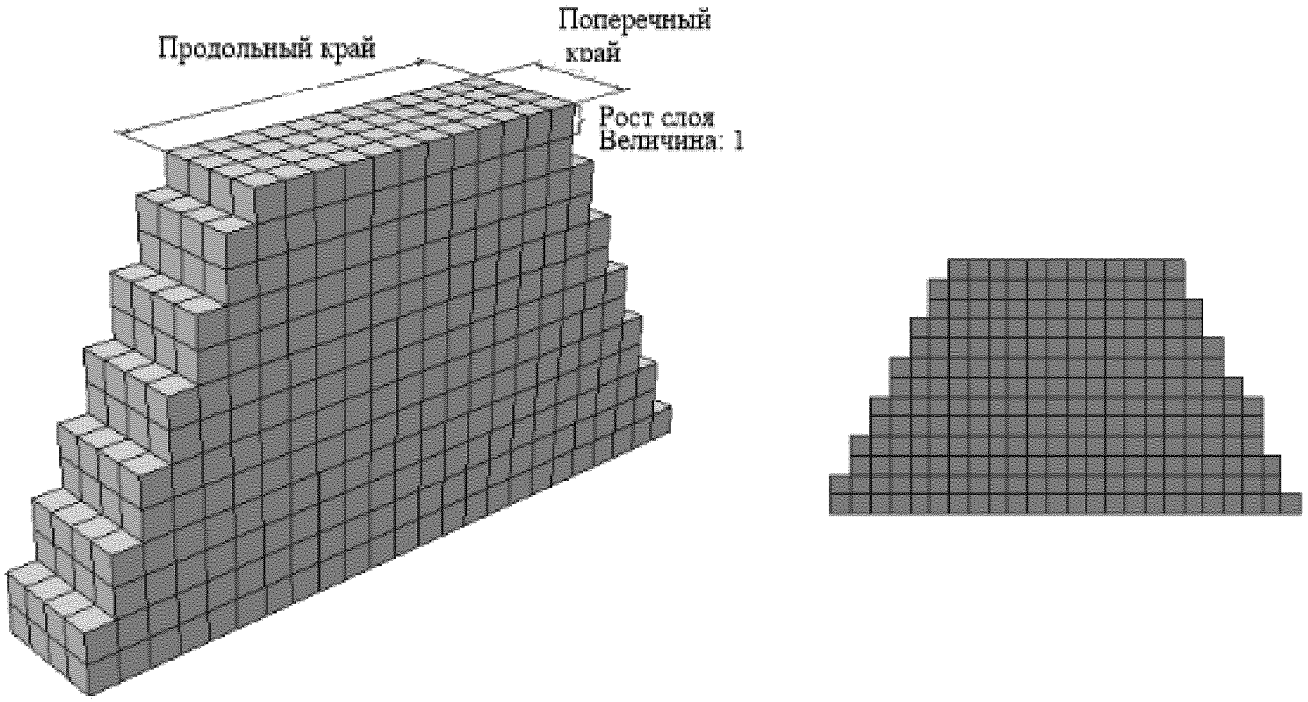
ФИГ. 37А



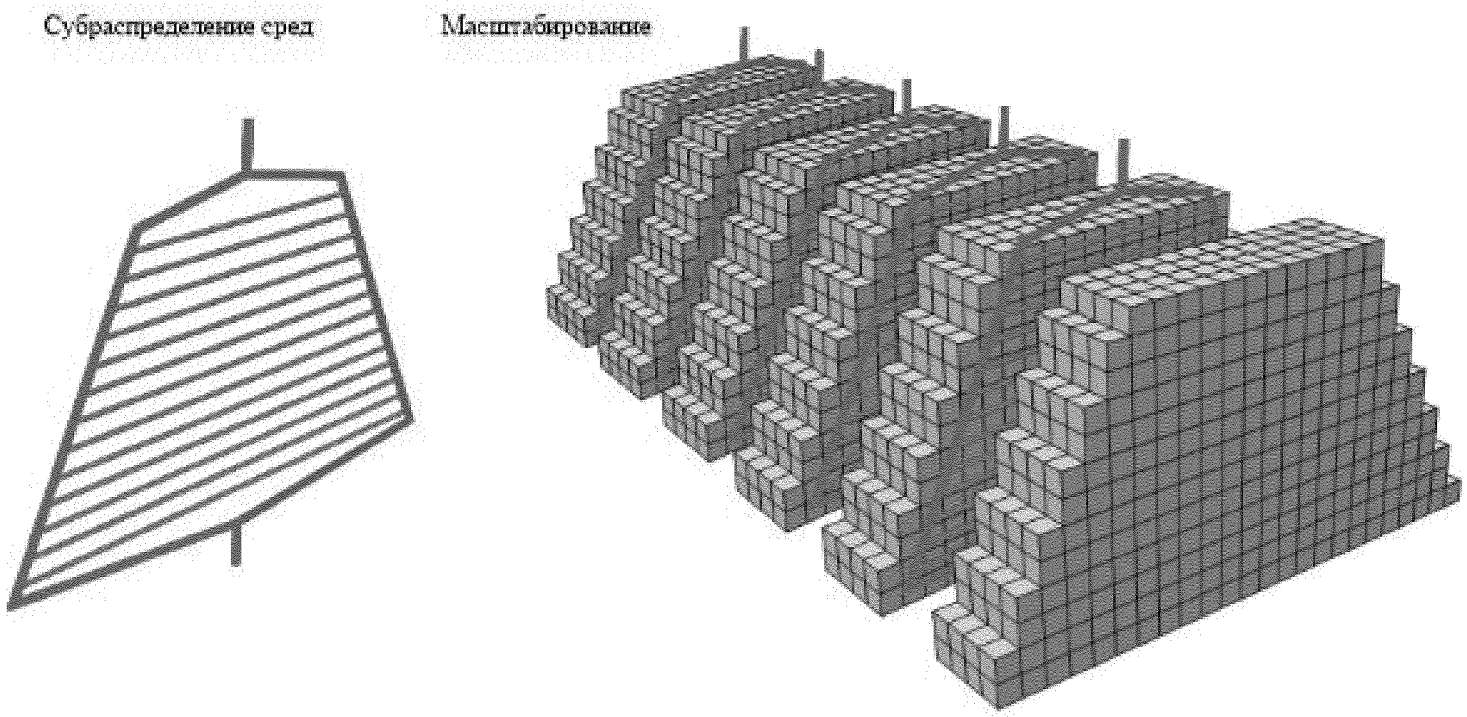
ФИГ. 37В


Наружный канал
Поверхность питания
Соединение
Центральный канал
Периферийный канал
L_b
L_b
L
P

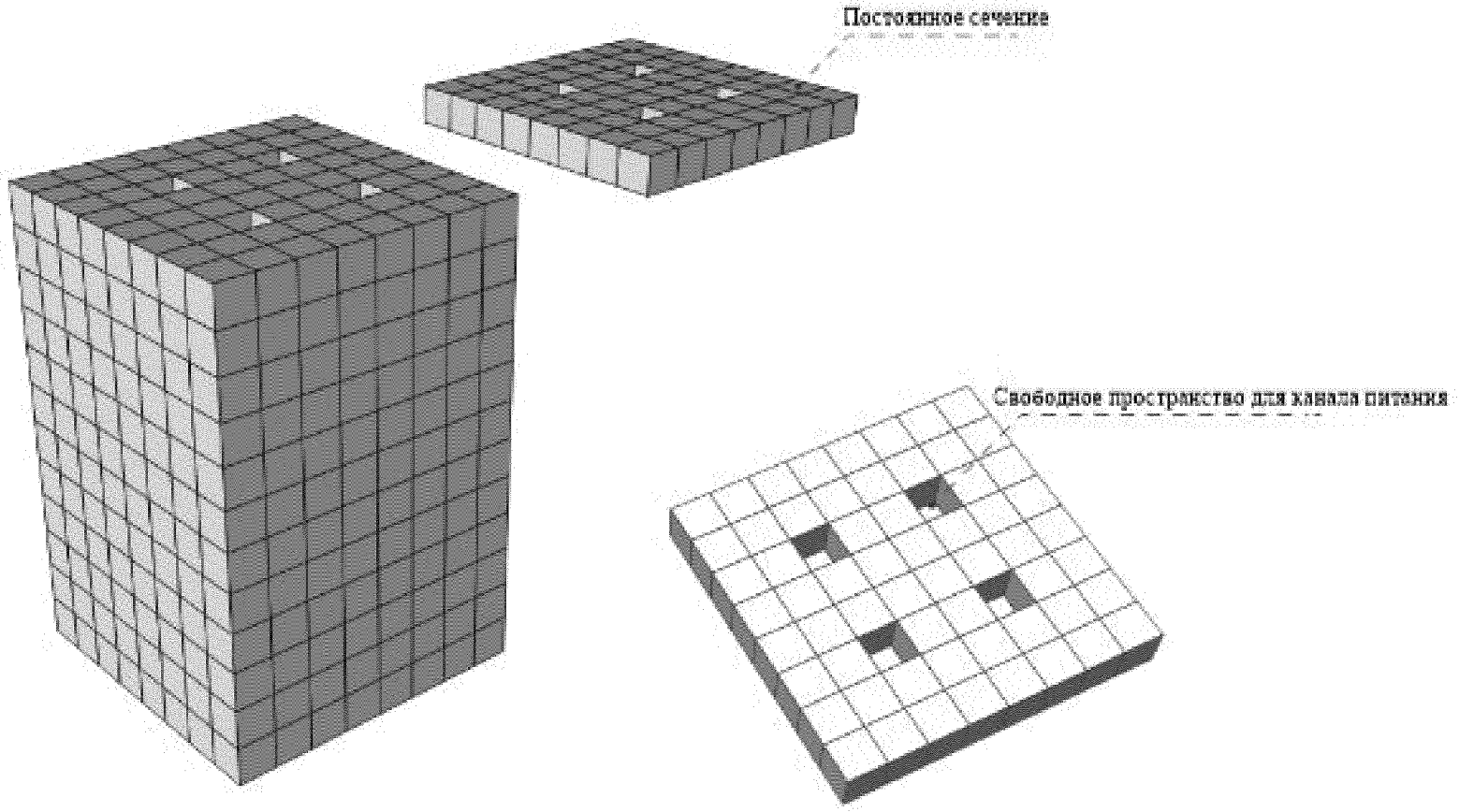
ФИГ. 38



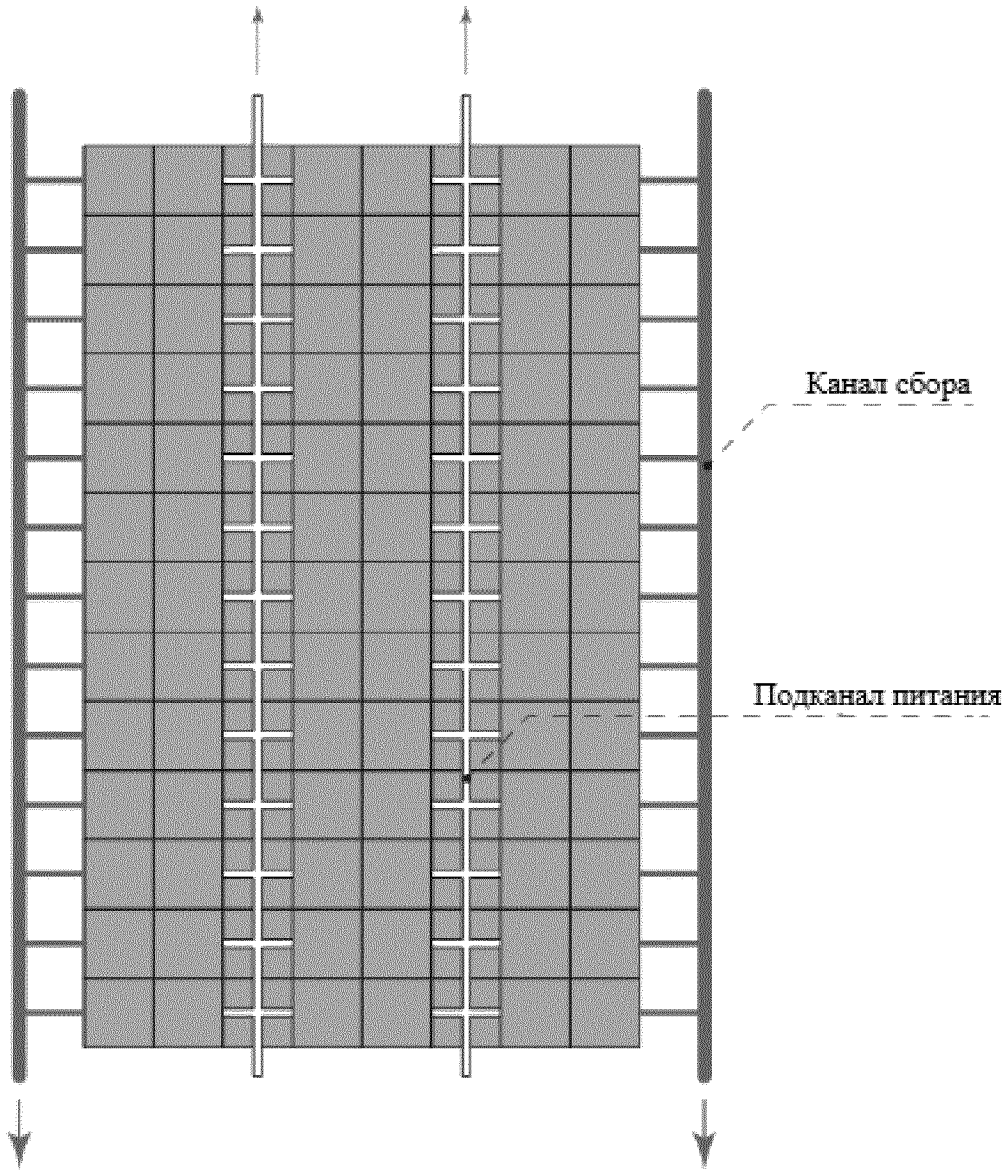
ФИГ. 39



ФИГ. 40

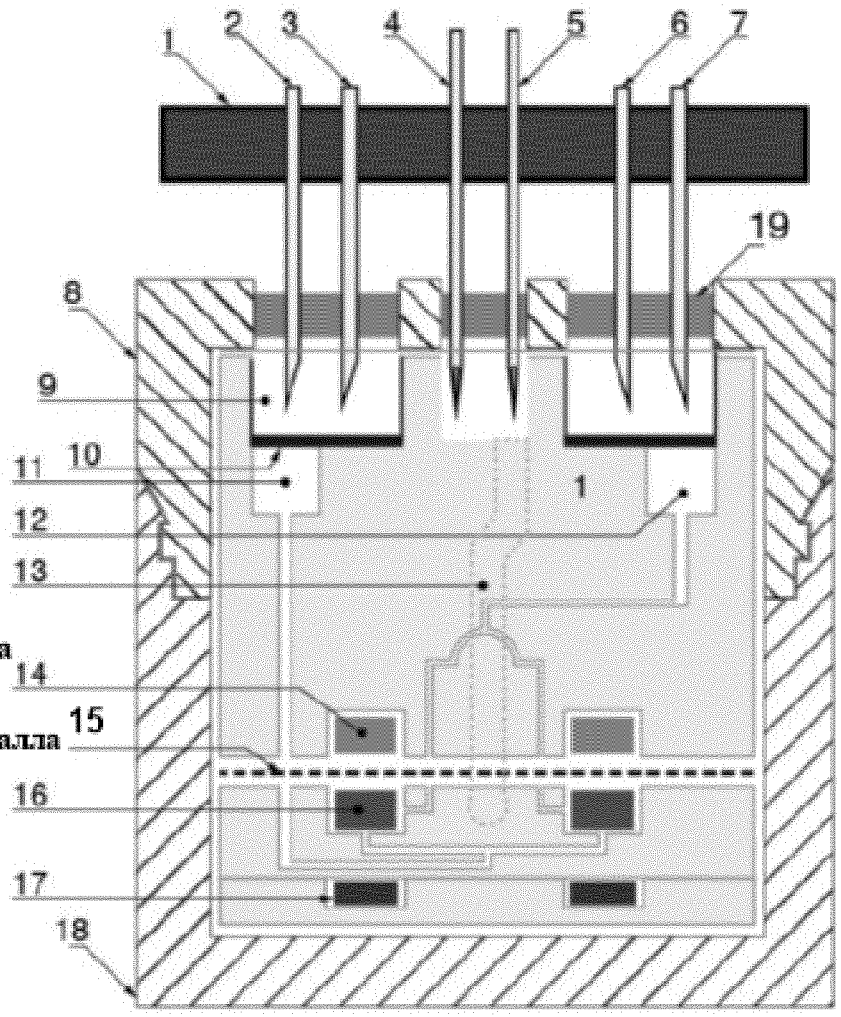

Постоянное сечение
Свободное пространство для канала питания

ФИГ. 41

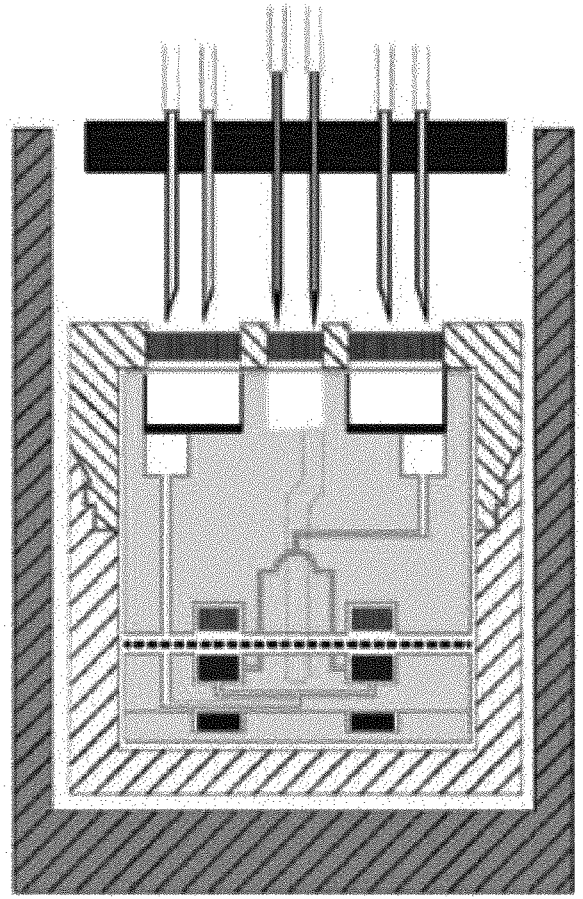


ФИГ. 42

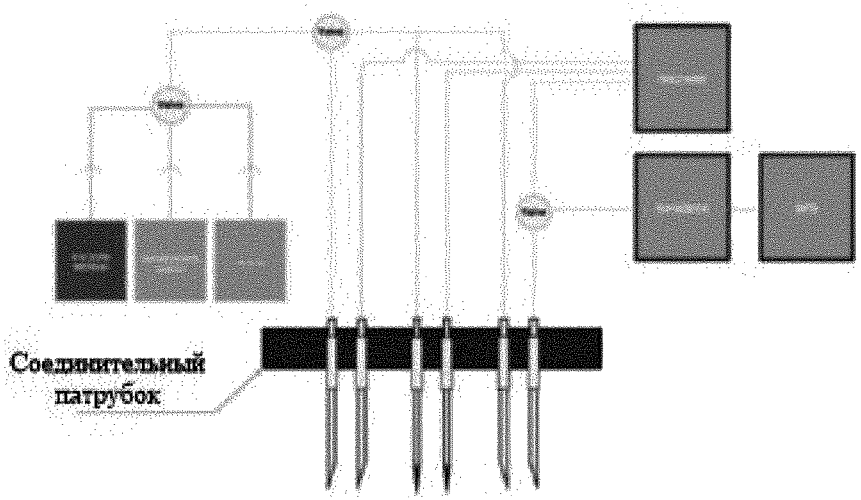
1-Опора соединителя
2-Вход 1
3-Выход 1
4-Сбросной канал 1
5-Сбросной канал 2
6-Вход 2
7-Выход 2
8-Первый корпус SoC
9-Камера очистки
10- Защитная пленка
11-Входной канал модуля кристалла
12-Канал сбора
13-Фильтр на выходе модуля кристалла
14-Отфильтрованный поток
15-Пористая мембрана
16-Микроорганизмы
17-Поток газа
18-Второй корпус SoC
19-Перегородка



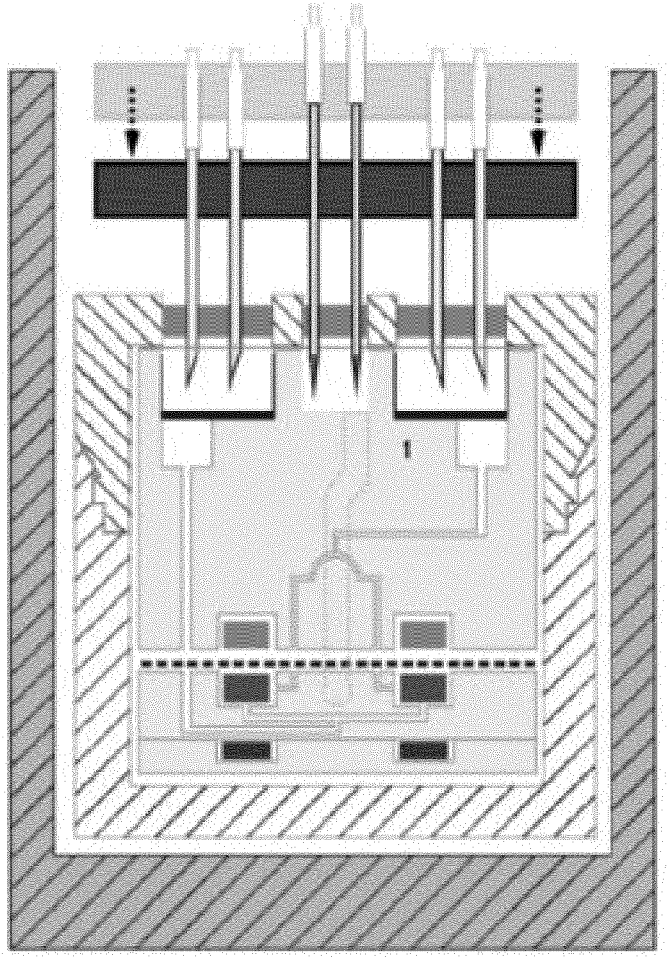
ФИГ. 43А



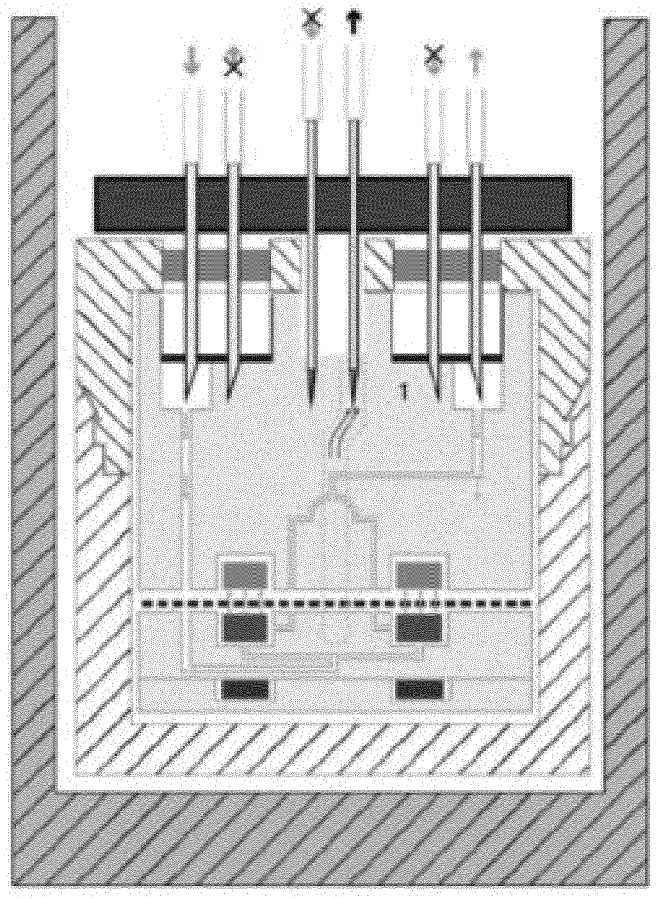
ФИГ. 43B



ФИГ. 43C



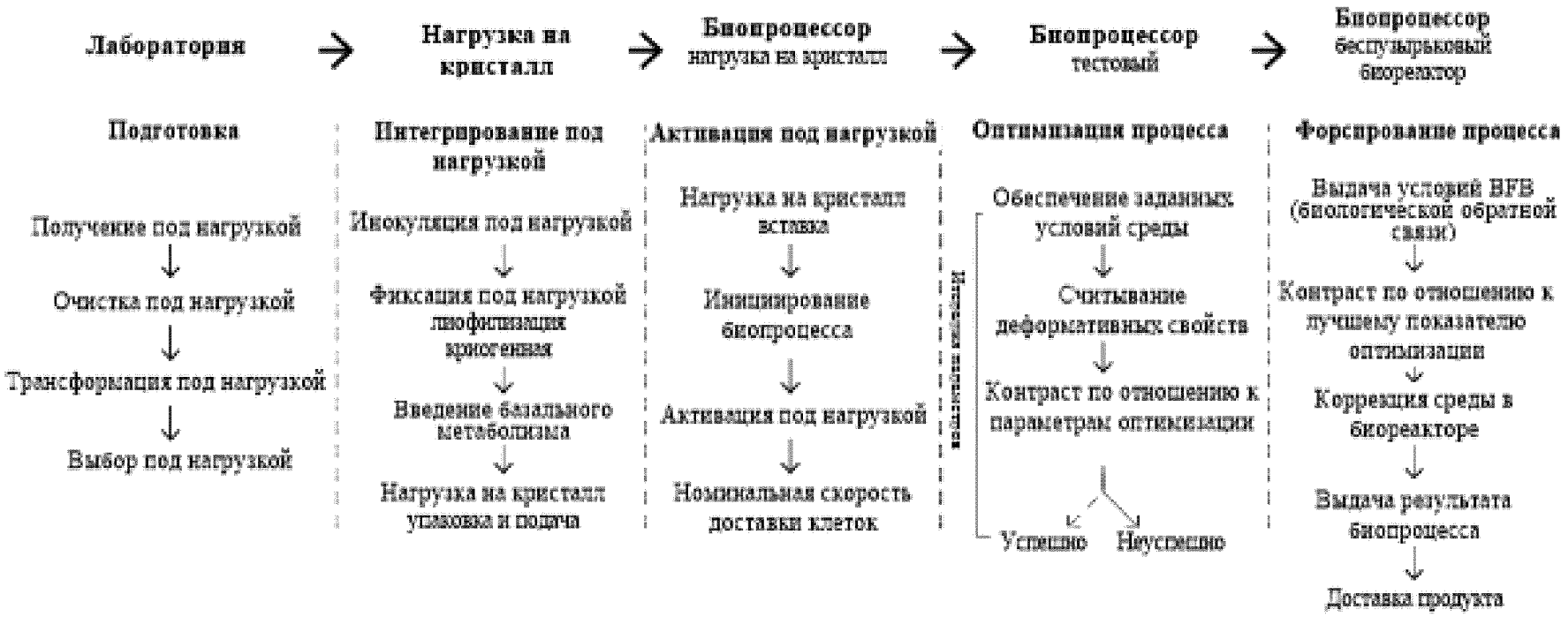
ФИГ. 43D



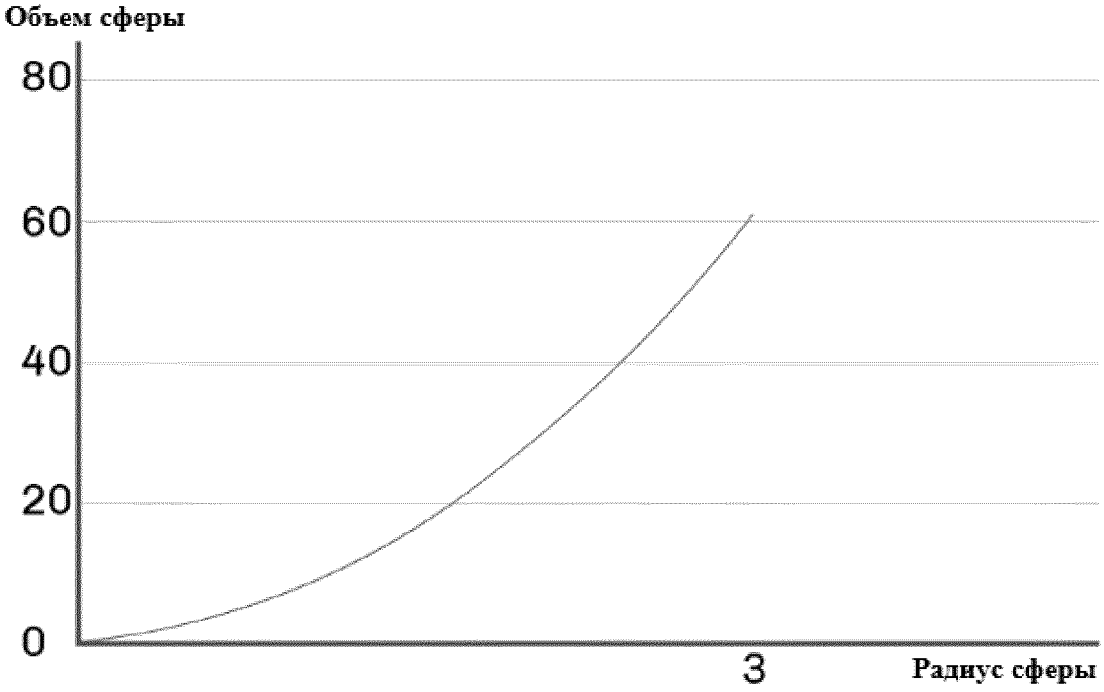
ФИГ. 43E

.МЕТОД.

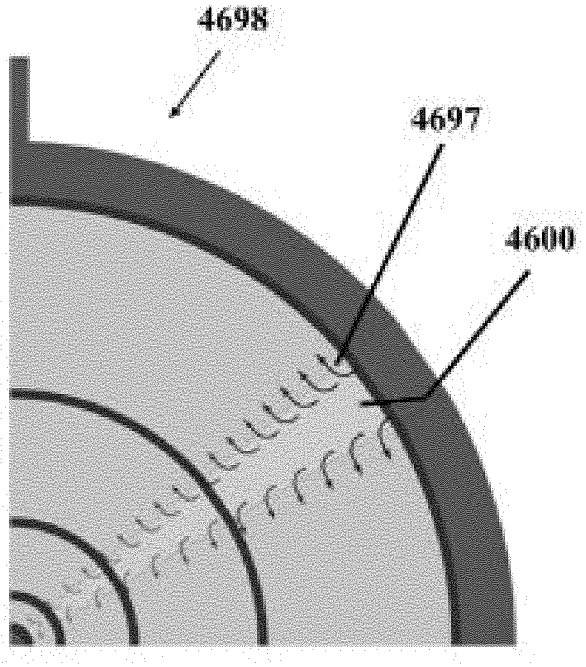
Рост и хранение клеток, оптимизация клеточной среды и масштабное производство клеток



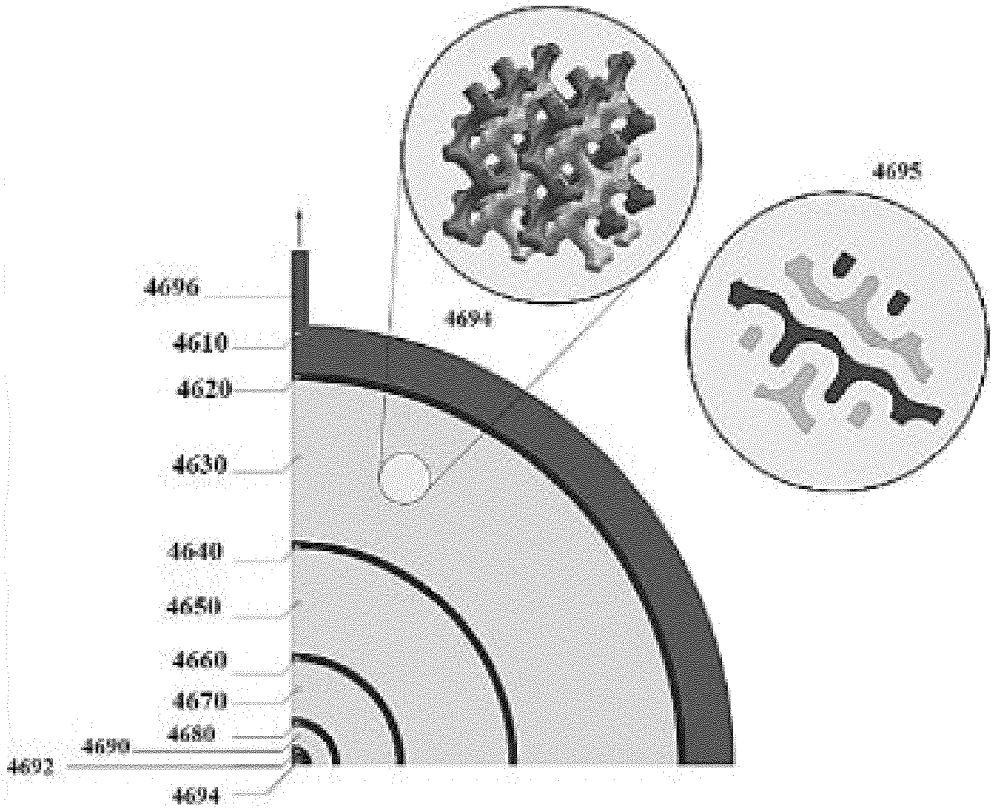
ФИГ. 44



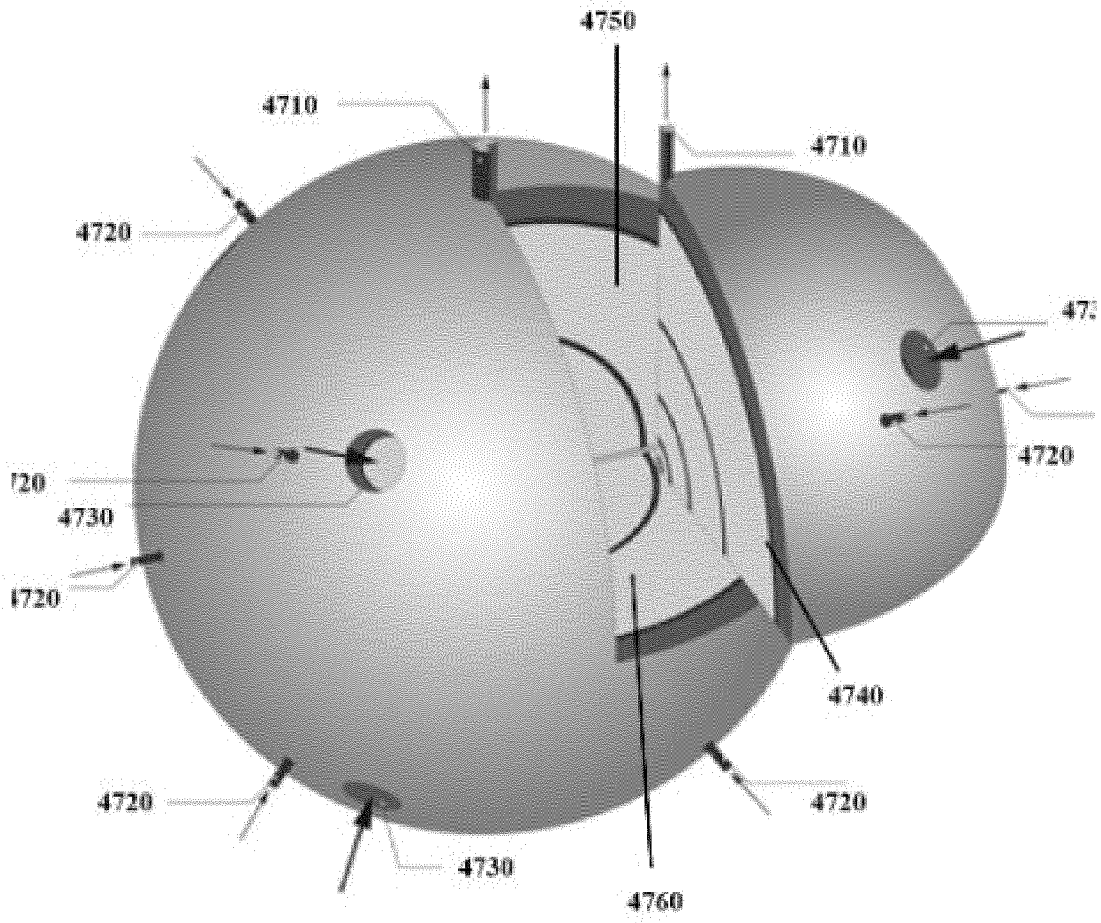
ФИГ. 45



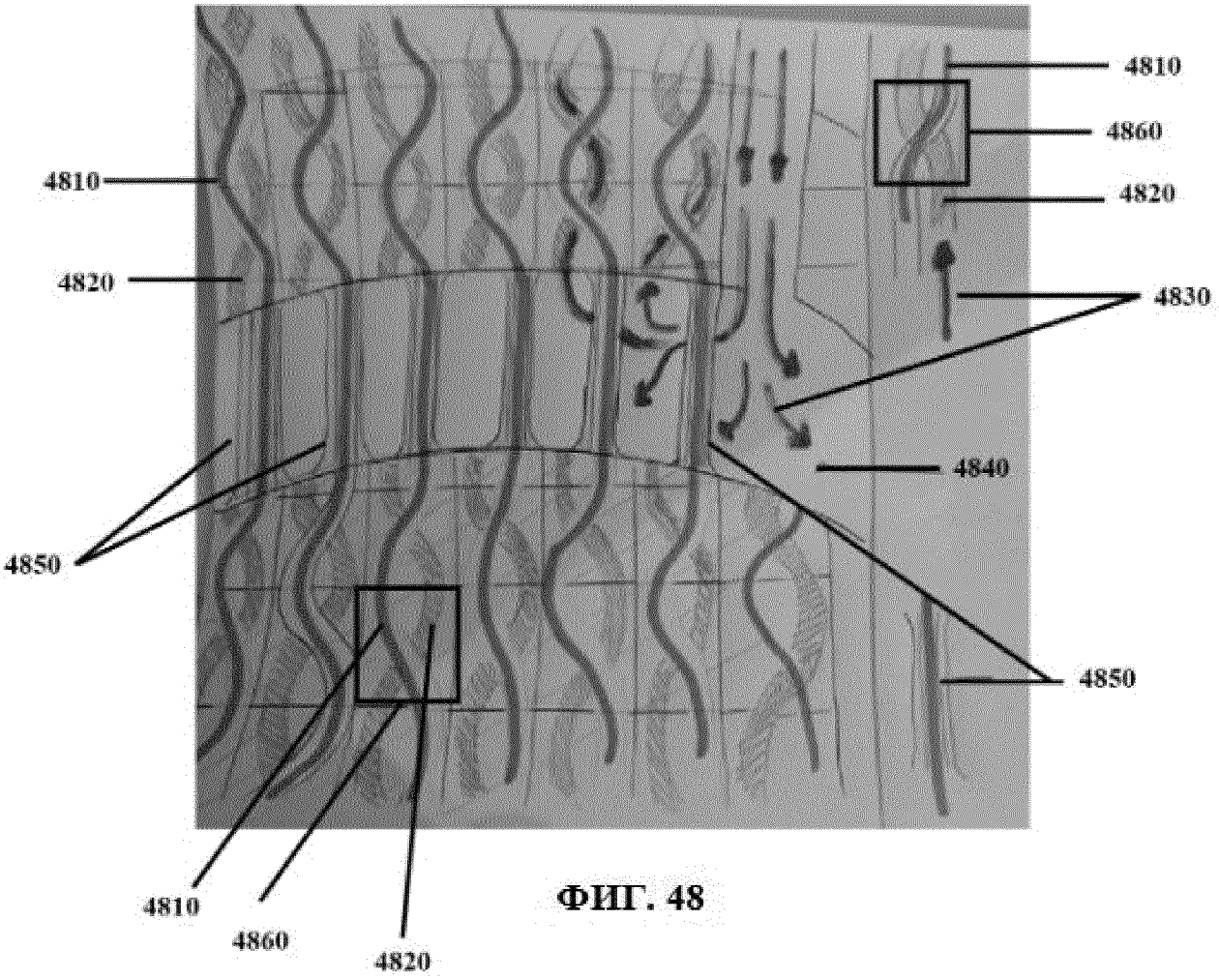
ФИГ. 46А



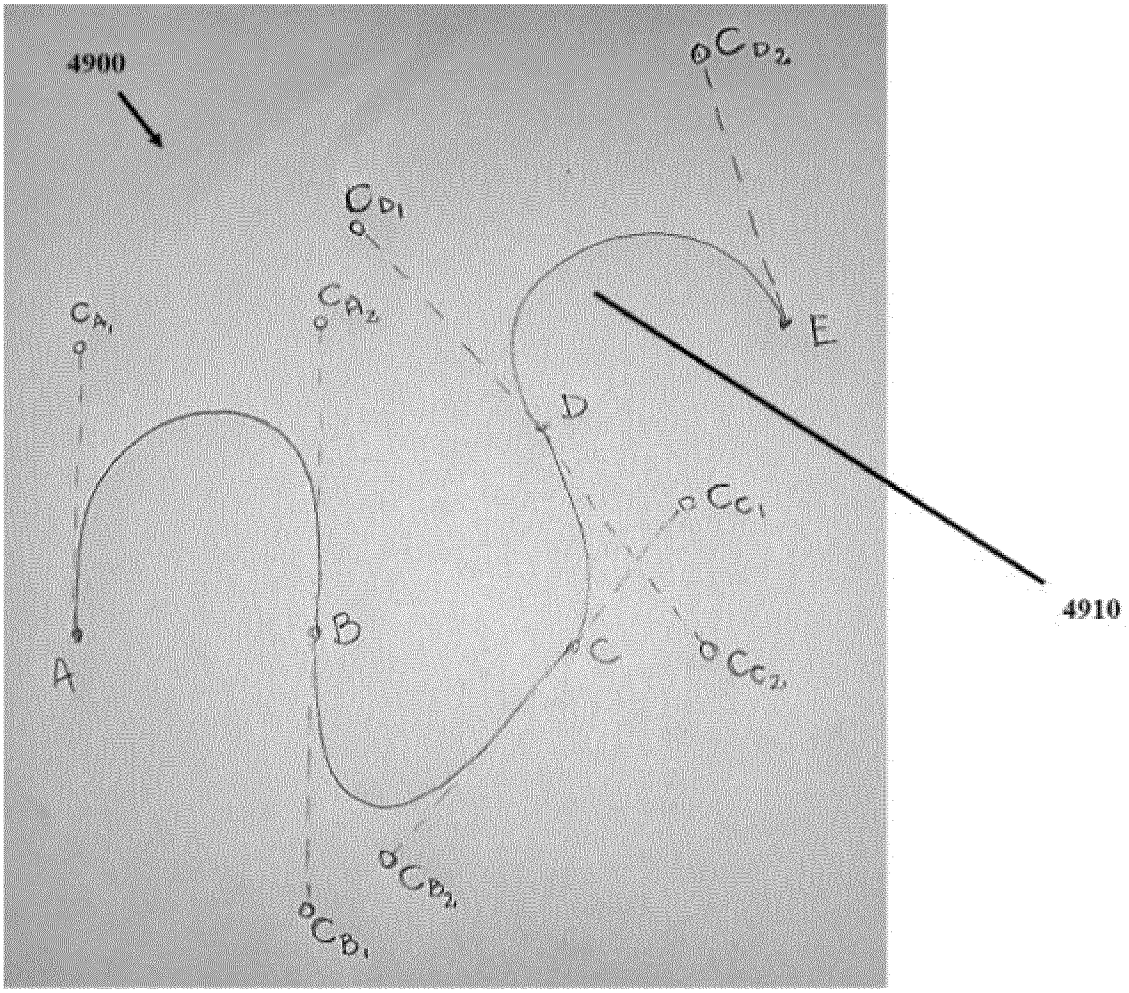
ФИГ. 46В


4750
4710
4710
4720
4720
4730
4720
4720
4740
4720
4720
4730
4760

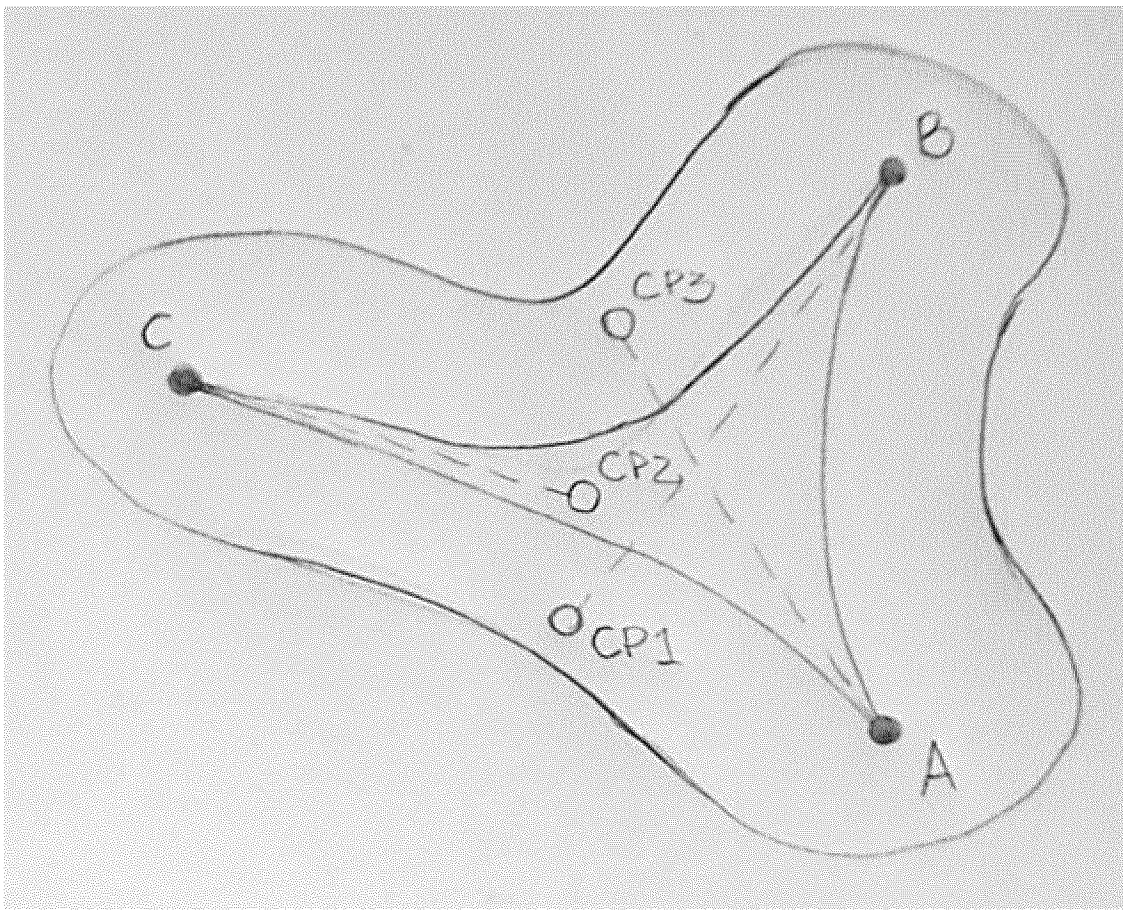
ФИГ. 47



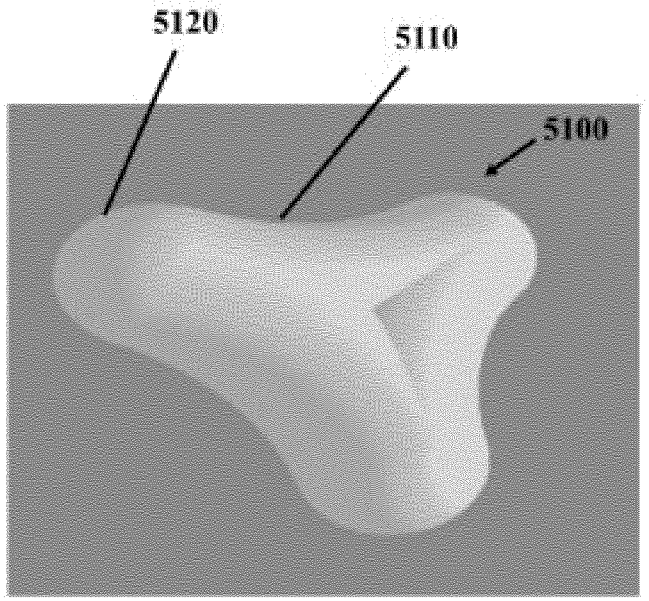
ФИГ. 48



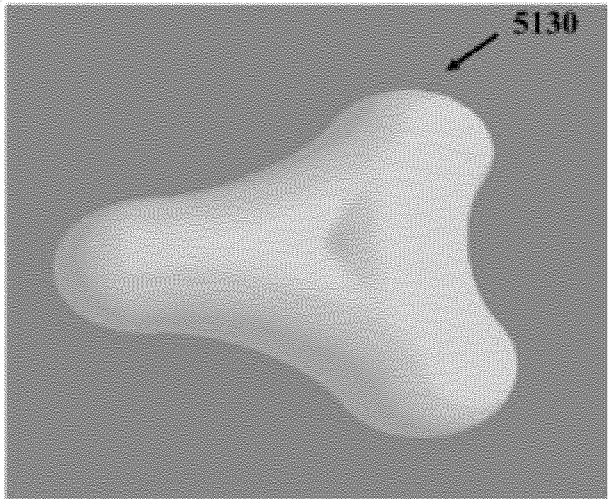
ФИГ. 49



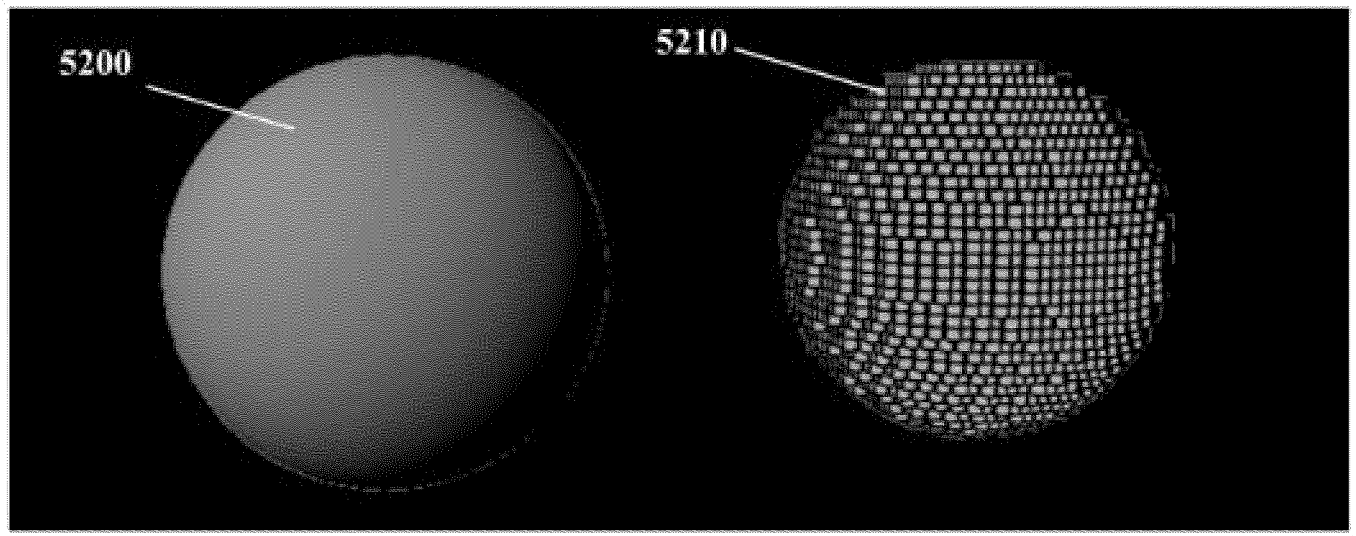
ФИГ. 50



ФИГ. 51A

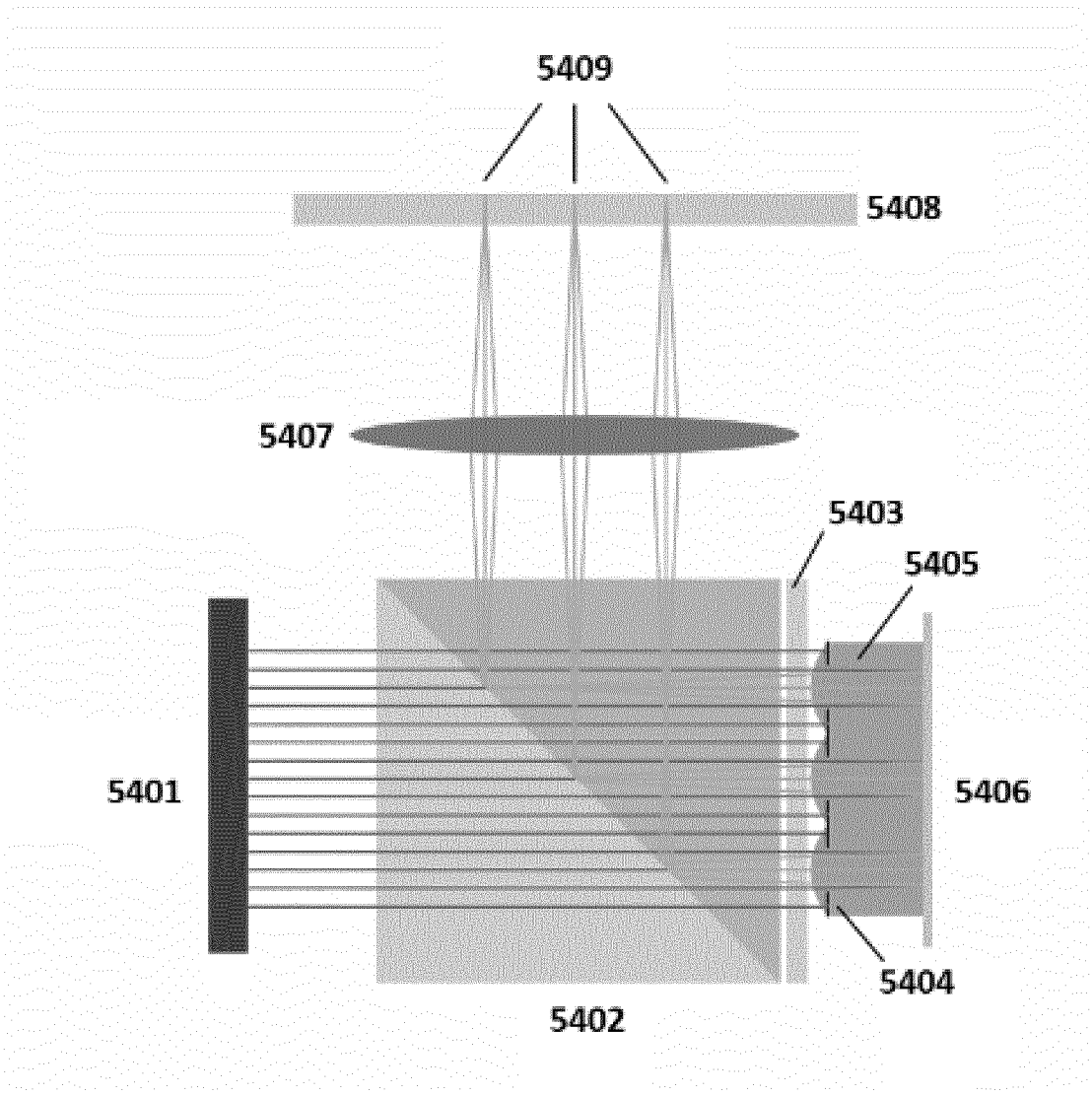


ФИГ. 51B

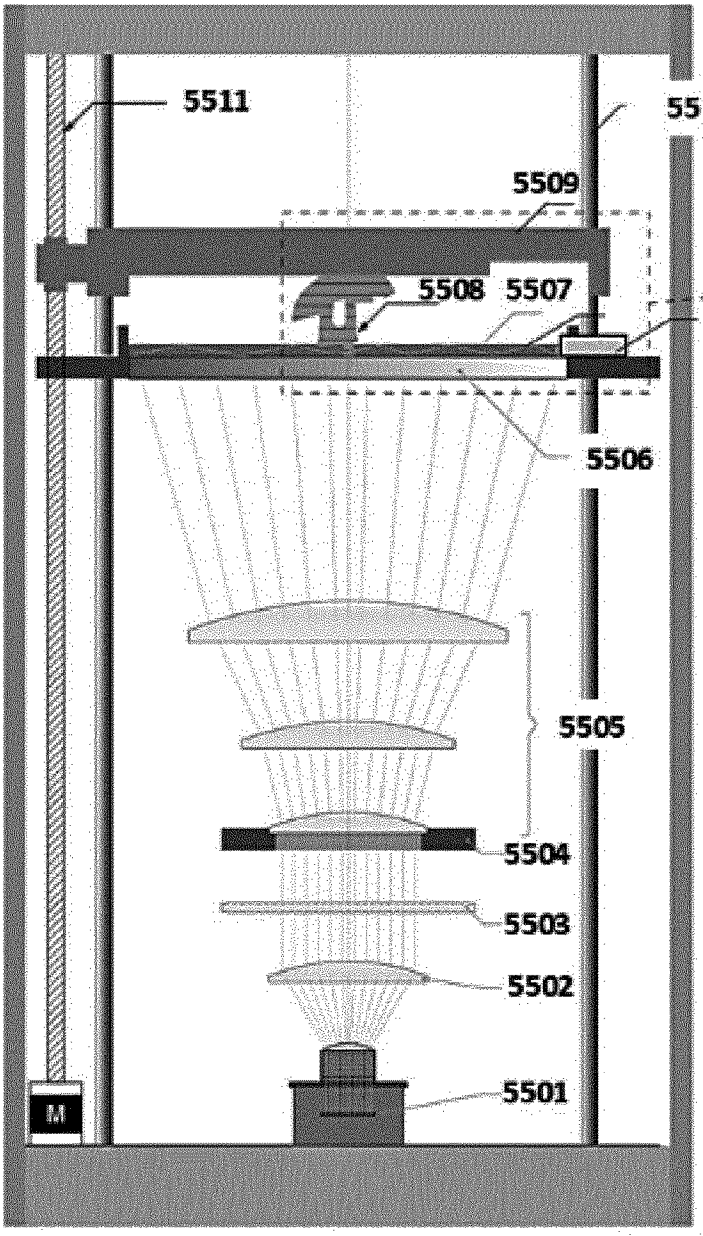


ФИГ. 52

ФИГ. 53

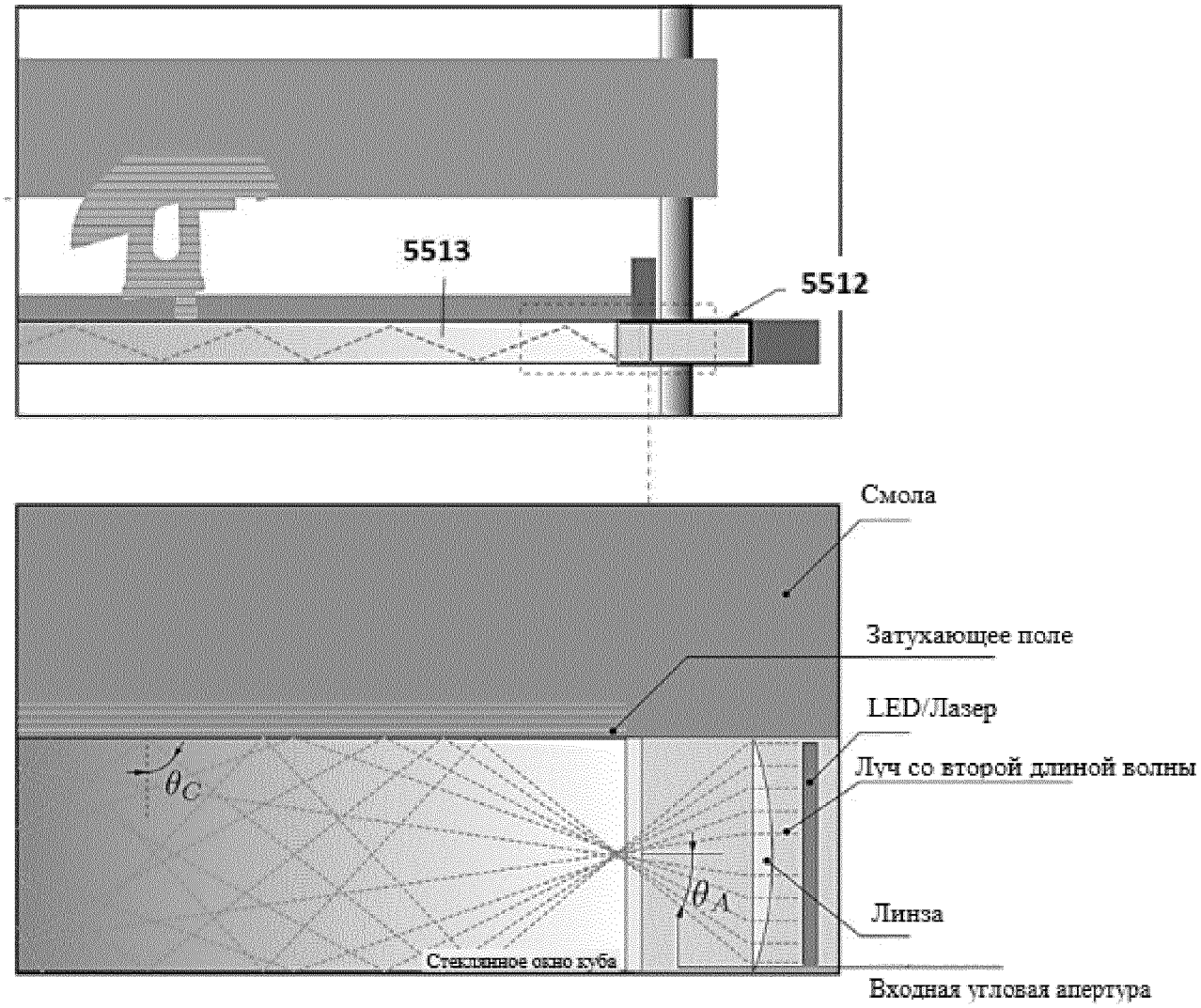


ФИГ. 54

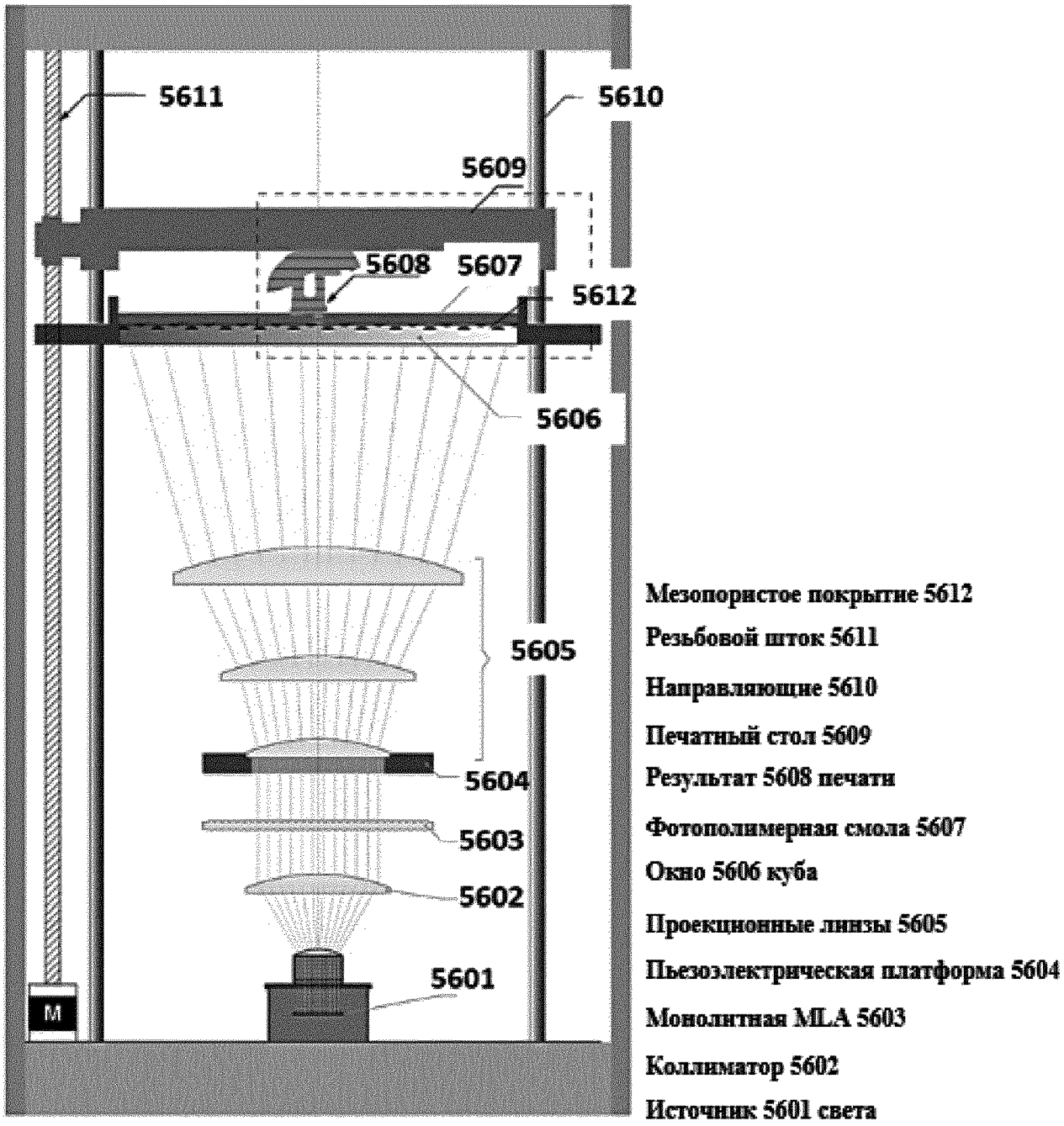


Луч 5513 вторичной волны
Генератор 5512 вторичных волн
Резьбовой шток 5511
Направляющие 5510
Печатный стол 5509
Результат 5508 печати
Фотополимерная смола 5507
Окно 5506 куба
Проекционные линзы 5505
Пьезоэлектрическая платформа 5504
Монолитная MLA 5503
Коллиматор 5502
Источник 5501 света

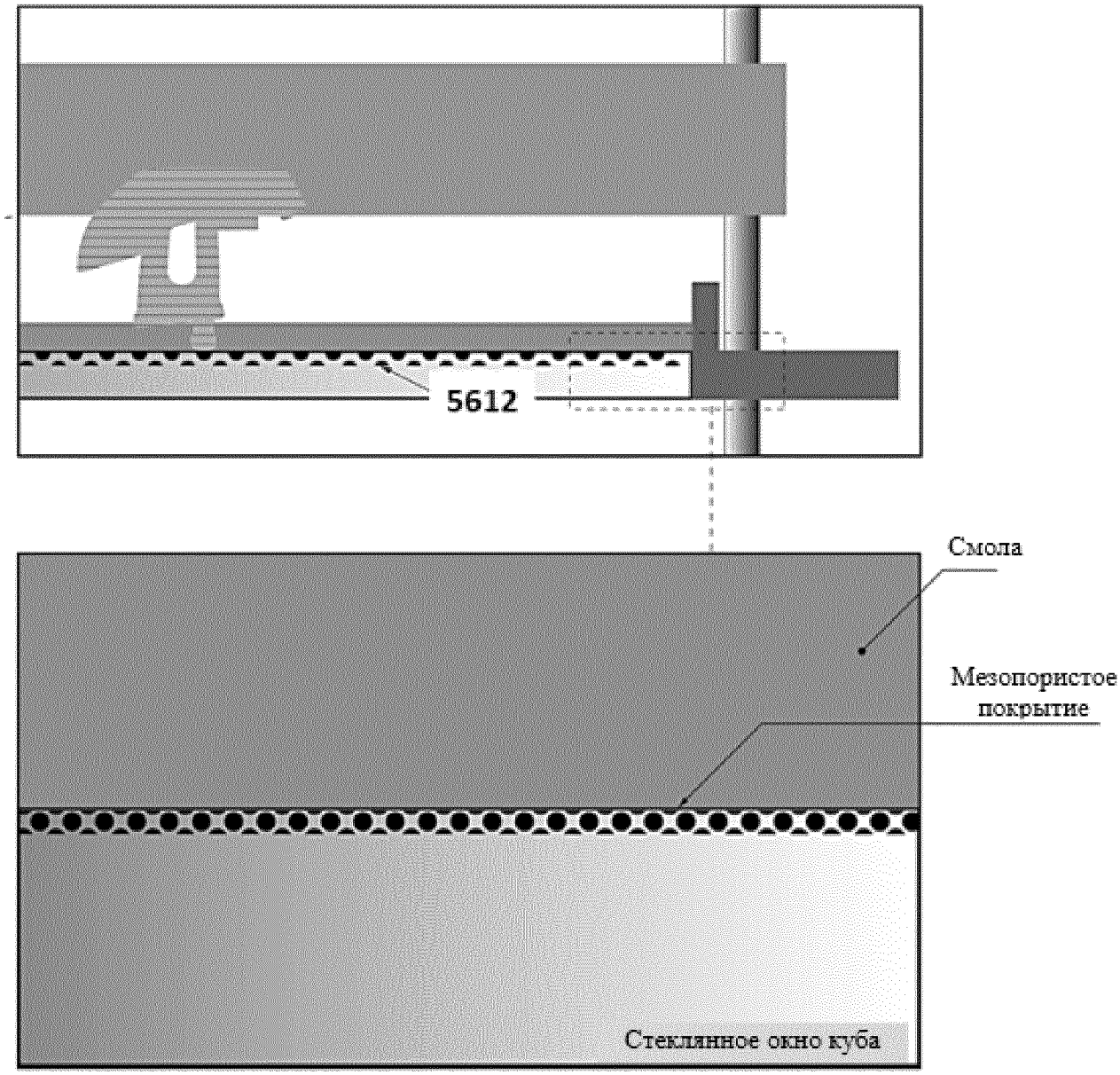
ФИГ. 55А


5513
5512
Смола
Затухающее поле
LED/Лазер
Луч со второй длиной волны
θ_C
θ_A
Линза
Стеклянное окно куба
Входная угловая апертура

ФИГ. 55B

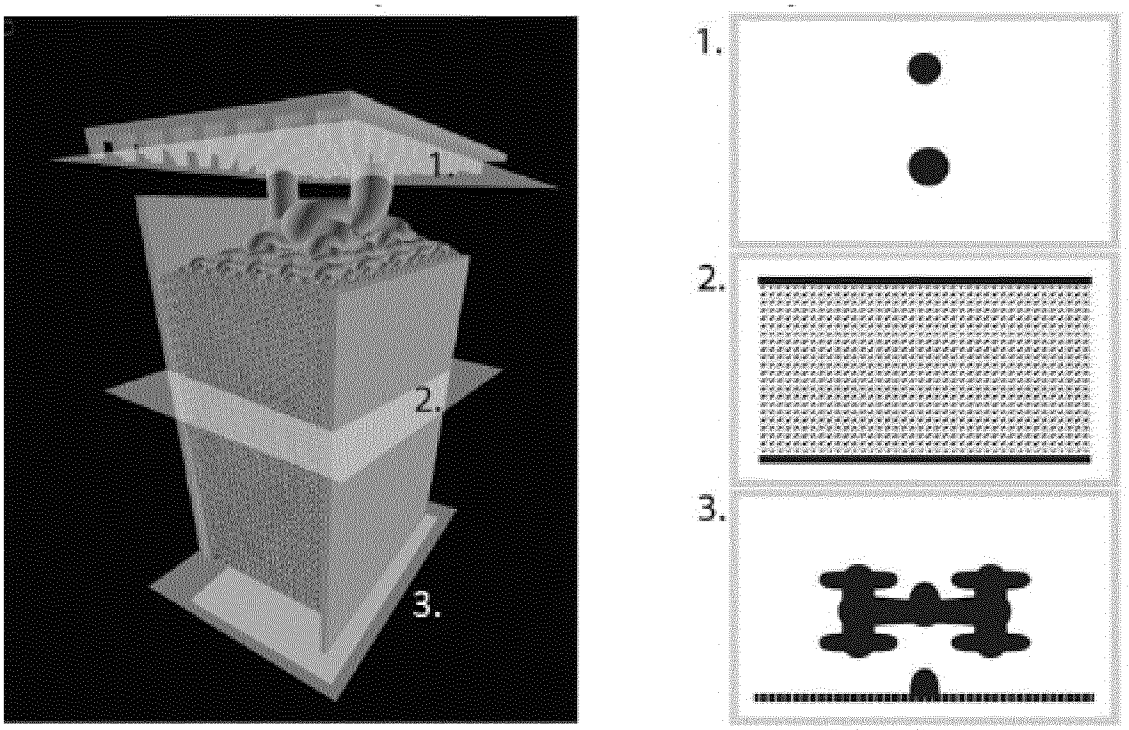

5611
5610
5609
5608
5607
5612
5606
5605
5604
5603
5602
5601
M
Мезопористое покрытие 5612
Резьбовой шток 5611
Направляющие 5610
Печатный стол 5609
Результат 5608 печати
Фотополимерная смола 5607
Окно 5606 куба
Проекционные линзы 5605
Пьезоэлектрическая платформа 5604
Монолитная MLA 5603
Коллиматор 5602
Источник 5601 света

ФИГ. 56А

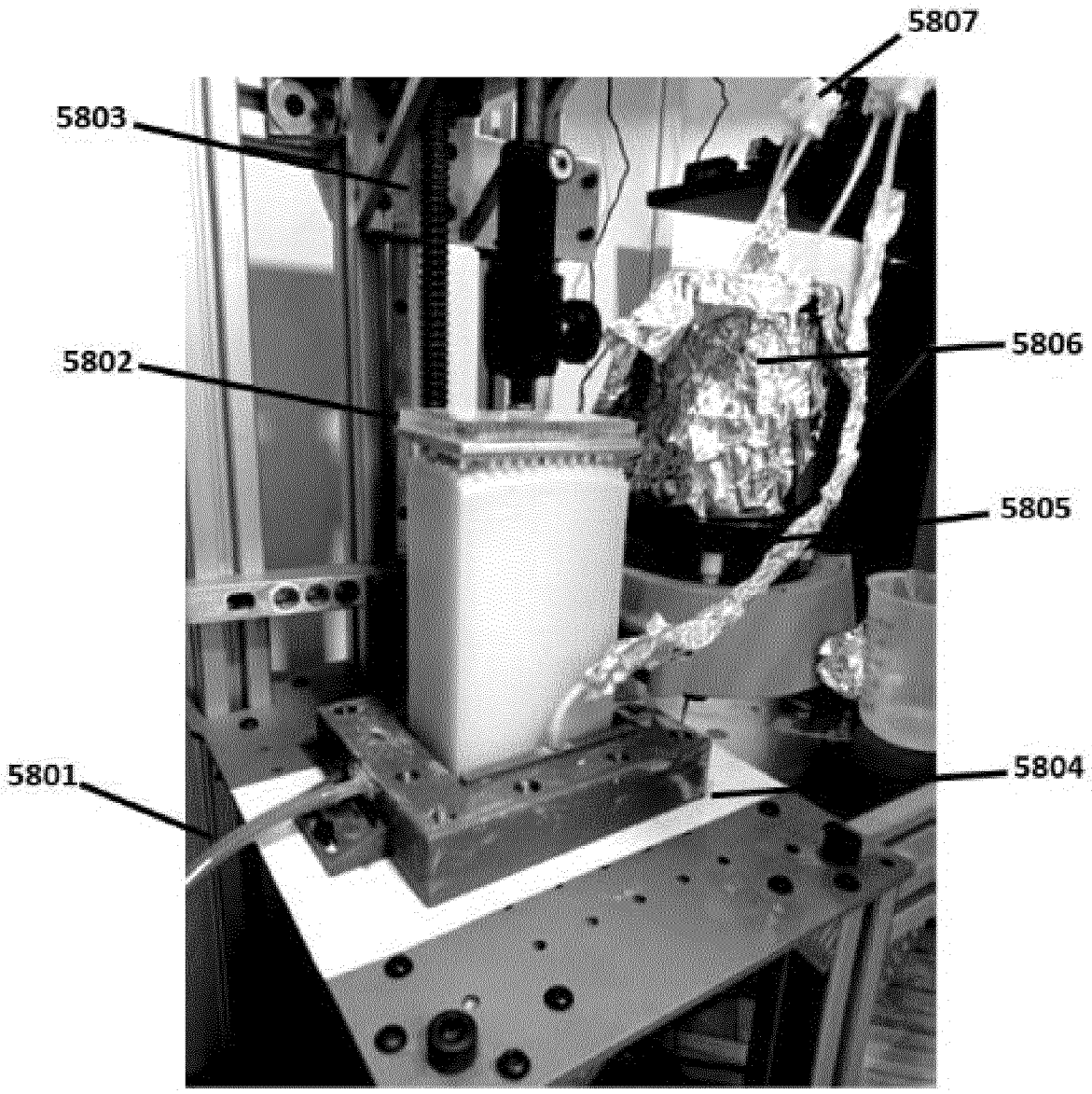


ФИГ. 56B

ФИГ. 57А



ФИГ. 57В



ФИГ. 58