

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040915**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.08.16

(51) Int. Cl. **G01S 13/88** (2006.01)
G01S 7/03 (2006.01)

(21) Номер заявки
202191951

(22) Дата подачи заявки
2019.03.01

(54) **ГЕНЕРАТОР СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ И МАТРИЧНЫЙ ГЕНЕРАТОР СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ**

(43) **2021.10.07**

(56) US-A1-20030106891
US-A1-20080099447
US-A1-20060249705
US-A1-20060249705

(86) **PCT/US2019/020260**

(87) **WO 2020/180281 2020.09.10**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭмДабл-ю МАТРИКС ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
Тарасов Марк (RU)

(74) Представитель:
**Ловцов С.В., Левчук Д.В., Вилесов
А.С., Коптева Т.В., Гавриков К.В.,
Ясинский С.Я. (RU)**

(57) Изобретение относится к области сверхвысокочастотной (СВЧ) техники, в частности к генераторам СВЧ излучения. Предложенные варианты генератора и матричного генератора СВЧ излучения позволяют эффективно направлять СВЧ излучение от одного или множества источников СВЧ излучения и складывать СВЧ излучения, обеспечивая высокие значения КПД и выходной мощности, расширение функциональных возможностей устройства, высокую степень синхронизации излучений источников СВЧ излучения. Генератор СВЧ излучения содержит источник СВЧ излучения и резонатор, в котором выполнен СВЧ канал. Резонатор включает короб и основу, электрически связанные друг с другом, а в СВЧ канале размещено средство подавления обратной волны. Матричный генератор представляет собой множество указанных генераторов СВЧ излучения, электрически соединенных друг с другом.

040915
B1

040915
B1

Область техники

Изобретение относится к области сверхвысокочастотной (СВЧ) техники, в частности к генераторам СВЧ излучения, или СВЧ генераторам.

Уровень техники

Высокая стоимость мощных источников СВЧ излучения сильно тормозит разработку перспективных СВЧ технологий и их внедрение в промышленное производство. В то же время во всем мире развернуто производство источников СВЧ излучения, или СВЧ источников, средней мощности, таких как магнетроны для бытовых СВЧ печей (микроволновых печей), стоимость единицы мощности которых значительно ниже, чем стоимость единицы мощности СВЧ источников большой мощности. Поэтому эффективное сложение СВЧ излучений от множества СВЧ источников средней мощности является актуальной задачей с точки зрения снижения стоимости устройств генерации суммарного мощного СВЧ излучения, уменьшения их веса и габаритных размеров, решения проблемы теплоотвода. Однако сложение излучения множества СВЧ источников с целью увеличения общей мощности СВЧ излучения сталкивается с серьезными трудностями из-за сложностей обеспечения условий взаимной синхронизации СВЧ источников без существенного снижения общего КПД устройства при их совместной работе.

Наиболее близким аналогом настоящего изобретения является генератор СВЧ излучения, представляющий собой устройство сложения мощностей нескольких СВЧ источников, в качестве которых выступают магнетроны, раскрытый в патенте РФ RU 2394357 (опубликован 10.07.2010; МПК H03B 9/10). Известное устройство состоит из резонатора в виде отрезка прямоугольного волновода, закороченного по торцам, с установленными на нем магнетронами. Магнетроны расположены вплотную друг к другу на широкой стенке резонатора так, что выводы энергии магнетронов входят в резонатор через середину широкой стенки. Между выводами энергии магнетронов внутри резонатора симметрично установлены закорачивающие селекционные вставки. В другой широкой стенке резонатора, напротив каждого магнетрона расположены излучающие щели для вывода энергии в окружающее пространство. Размер широкой стенки резонатора равен половине длины волны, соответствующей рабочей частоте магнетронов. Данное известное устройство позволяет складывать мощности некоторого числа магнетронов заданной мощности для получения большей суммарной мощности СВЧ излучения в режиме взаимной синхронизации и когерентного излучения.

По сути, известное устройство согласно патенту РФ RU 2394357 является матричным генератором СВЧ излучения, т.е. устройством, в котором объединены несколько СВЧ источников.

Сложение СВЧ излучений от нескольких СВЧ источников происходит при синхронизации указанных СВЧ излучений, для чего источники следует размещать в пространстве так, чтобы колебания СВЧ волн, которые они генерируют, складывались в фазе с учетом противофазного возбуждения соседних СВЧ источников.

Обычно условием синхронизации излучений от нескольких СВЧ источников является следующее:

$$|\sin \phi| < 1 / (n - 1),$$

где ϕ - мгновенная разность фаз между колебаниями СВЧ источника и синхронизирующим сигналом;
n - число СВЧ источников.

Однако данное условие не учитывает способа связи между СВЧ источниками.

Обычно для синхронизации работы нескольких СВЧ источников используют стабилизирующий резонатор, представляющий собой отрезок прямоугольного волновода, закороченный с торцов, как это сделано в упомянутом выше аналоге согласно патенту РФ RU 2394357. В таком стабилизирующем резонаторе основным типом колебаний можно считать одну из волн H(101-104), которая образуется при резонансе. Для селекции колебаний данного типа в резонаторе между широкими стенками через равные промежутки устанавливаются закорачивающие селекционных вставки в виде штырей.

В ближайшем аналоге даже при расположении всего четырех магнетронов в ряд и близких значениях их частот СВЧ излучений оказалось достаточно сложно достичь высокой степени синхронизации СВЧ излучений от магнетронов и, как следствие, высокого значения КПД устройства, что явно следует из табл. 1 патента РФ RU 2394357. Однако еще большим недостатком указанного аналога является практическая невозможность получить приемлемые значения КПД устройства при размещении вместе нескольких таких линейчатых генераторов СВЧ излучения параллельно друг другу, т.е. рядом друг с другом (но не друг за другом), сформировав из них двухмерную матрицу магнетронов. Данный факт накладывает ограничение на количество СВЧ источников, которые можно расположить на малой площади, следовательно, ограничивает общую мощность СВЧ излучения известного устройства сложения СВЧ излучений.

Раскрытие изобретения

Задачей изобретения является разработка такого генератора СВЧ излучения, который позволил бы объединять множество СВЧ источников не только в ряд, но и в двухмерную матрицу, обеспечивая при этом высокое значение КПД и высокую общую мощность СВЧ излучения.

Техническим результатом изобретения является расширение функциональных возможностей генератора СВЧ излучения, высокая степень синхронизации излучений от нескольких генераторов СВЧ излучения, повышение КПД и мощности такого устройства.

Согласно первому аспекту настоящего изобретения генератор СВЧ излучения содержит СВЧ источник и резонатор. В резонаторе выполнен СВЧ канал для направления излучения от указанного СВЧ источника. Резонатор включает короб, на котором установлен СВЧ источник и в котором выполнен первый канал, и основу с выполненным в ней вторым каналом. Указанные короб и основа электрически соединены друг с другом. Второй канал является продолжением первого канала, таким образом формируя СВЧ канал. При этом в СВЧ канале может быть размещено средство подавления обратной волны.

В заявляемом генераторе СВЧ излучения резонатор состоит из двух элементов, а именно короба и основы, через которые проходит СВЧ канал. СВЧ излучение от СВЧ источника проходит по СВЧ каналу через первый канал, выполненный в коробе и служащий для предварительного направления СВЧ излучения. Далее в основе выполняется окончательное формирование СВЧ волны, когда СВЧ излучение проходит по второму каналу.

Поскольку короб и основа электрически соединены, токи, которые возникают при прохождении СВЧ излучения по СВЧ каналу, влияют на СВЧ излучение при прохождении через первый канал и второй канал.

Кроме того, на СВЧ излучение может влиять размещенное в СВЧ канале средство подавления обратной волны. С одной стороны, указанное средство подавления обратной волны позволяет СВЧ излучению без заметных потерь выйти наружу из генератора СВЧ излучения при условии правильно подобранной формы, размера и положения средства подавления обратной волны. С другой стороны, средство подавления обратной волны не позволяет СВЧ излучению, отраженному от внешних объектов (например, объектов, которые нагреваются посредством излучения, производимого генератором СВЧ излучения), проходить обратно в СВЧ канал и тем самым существенно снижать общую выходную мощность генератора СВЧ излучения, приводить к его существенному нагреву и другим нежелательным последствиям, хорошо известным специалистам в данной области техники.

Результатом является формирование на выходе из второго канала, т.е. выходе канала СВЧ, излучения высокой мощности, при этом генератор СВЧ излучения характеризуется высоким КПД и узким пространственным распределением СВЧ излучения в двухмерном и трехмерном пространстве.

В генераторе СВЧ излучения может быть использован рупор (волновод), установленный на основе со стороны, противоположной стороне основы, контактирующей с коробом. Рупор позволяет фокусировать выходящее СВЧ излучение с минимальными потерями, при этом сохраняя КПД и выходную мощность СВЧ излучения.

Для обеспечения лучшего теплоотвода СВЧ источник может быть установлен на отдалении от короба. При этом для минимизации потерь излучения и обеспечения равномерности распределения поля СВЧ источник, предпочтительно, устанавливается на коробе через волновод.

Для эффективной передачи СВЧ излучения от СВЧ источника и, как следствие, повышения КПД генератора СВЧ излучения, СВЧ каналы могут иметь переменное сечение.

Поверхность СВЧ канала может быть покрыта слоем электропроводящего материала. Этого можно достигнуть различными способами, например выполнением короба и основы из электропроводящего материала, или нанесением на поверхности первого канала и второго канала проводящих покрытий (одинаковых или отличающихся по своим характеристикам, таким как толщина, электропроводность, термомеханические свойства и др.) в виде пленки, фольги или подобного, или установкой на указанные поверхности каналов проводящих экранов, или любым другим способом, известным специалисту в данной области техники.

Короб и основа могут быть как отдельными деталями, так и единой деталью. Выполнение короба и основы отдельными деталями, т.е. выполнение резонатора составным, позволяет подобрать такую форму короба и основы, которая обеспечивает требуемые КПД устройства и хороший теплоотвод. Если же короб и основа выполнены единой деталью, т.е. резонатор является цельным, это увеличивает КПД и выходную мощность генератора СВЧ излучения.

Генератор СВЧ излучения может дополнительно содержать по меньшей мере один канал охлаждения, предназначенный для охлаждения устройства. Это позволяет обеспечить стабильную работу источника СВЧ излучения.

Согласно второму аспекту настоящего изобретения предложен матричный генератор СВЧ излучения, который содержит по меньшей мере два указанных выше генератора СВЧ излучения, резонаторы которых электрически соединены друг с другом.

Как было указано выше, проблема с эффективной синхронизацией излучений от множества СВЧ источников, входящих в состав устройства СВЧ излучения, является причиной относительно низкого КПД известных устройств. Кроме того, известные устройства требуют использования СВЧ источников с одинаковыми или достаточно близкими значениями частоты излучения и мощности излучения.

Благодаря тому, что в настоящем изобретении резонаторы генераторов СВЧ излучения электрически соединены друг с другом, токи, которые возникают при прохождении СВЧ излучения через все СВЧ каналы матричного генератора, взаимодействуют между собой и, следовательно, влияют на СВЧ излучение во всех СВЧ каналах. Этим обеспечивается высокая степень синхронизации СВЧ излучений от всех СВЧ источников, входящих в состав матричного генератора, и, как следствие, высокий КПД матричного

генератора.

Еще более высокой степени синхронизации излучений от нескольких СВЧ источников можно достичь, если матричный генератор дополнительно содержит синхронизирующие каналы, выполненные между генераторами СВЧ излучения и соединяющие соседние СВЧ каналы. Альтернативно, матричный генератор может содержать синхронизирующие вставки, размещенные в основах и/или коробах между соседними СВЧ каналами, аналогичные тем, которые используются в ближайшем аналоге согласно патенту РФ RU 2394357.

Предпочтительно, если матричный генератор содержит общий рупор (волновод), установленный на основах, что позволяет более эффективно фокусировать выходящее СВЧ излучение без потери мощности излучения.

Возможны различные варианты реализации коробов и основ генераторов СВЧ излучения, входящих в состав матричного генератора. Так, в матричном генераторе, по крайней мере, некоторые основы всех генераторов СВЧ излучения, либо, по крайней мере, некоторые коробки всех генераторов СВЧ излучения, либо, по крайней мере, некоторые резонаторы всех генераторов СВЧ излучения могут быть выполнены единой деталью.

Упомянутая выше степень синхронизации непосредственно влияет на КПД матричного генератора и может быть определена сравнением количества подведенной к матричному генератору (т.е. ко всем СВЧ источникам, входящим в состав матричного генератора) электрической энергии с количеством совершенной полезной работы матричным генератором. Для определения указанного количества совершенной полезной работы можно измерить, например, насколько за заданное время возрастет температура некоего вещества, нагреваемого посредством матричного генератора. Чем больше указанный рост температуры, тем выше степень синхронизации и, соответственно, выше КПД матричного генератора.

Краткое описание чертежей

Далее заявленные генераторы СВЧ излучения более подробно поясняются со ссылками на прилагаемые фигуры, на которых приведены некоторые возможные варианты осуществления изобретения:

- на фиг. 1а представлен общий вид варианта генератора СВЧ излучения;
- на фиг. 1b - общий вид еще одного варианта генератора СВЧ излучения с волноводом;
- на фиг. 2а приведен вид в разрезе варианта генератора СВЧ излучения с первым каналом переменного сечения и вторым каналом постоянного сечения;
- на фиг. 2b - вид в разрезе еще одного варианта генератора СВЧ излучения со вторым каналом переменного сечения;
- на фиг. 2с - вид в разрезе еще одного варианта генератора СВЧ излучения с показанным средством подавления обратной волны;
- на фиг. 2d - вид в разрезе еще одного варианта генератора СВЧ излучения с каналами охлаждения;
- на фиг. 2е - увеличенный вид в разрезе части варианта генератора СВЧ излучения с электропроводящим слоем на поверхностях первого канала и второго канала;
- на фиг. 3а представлен вариант генератора СВЧ излучения с коробом цилиндрической формы;
- на фиг. 3b - вариант генератора СВЧ излучения с коробом сферической формы;
- на фиг. 4а - общий вид варианта матричного генератора СВЧ излучения, в котором генераторы СВЧ излучения расположены вдоль прямой линии;
- на фиг. 4b - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения, в котором генераторы СВЧ излучения расположены вдоль изогнутой линии;
- на фиг. 4с - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения с общим рупором, в котором генераторы СВЧ излучения расположены вдоль прямой линии;
- на фиг. 4d - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения с общим рупором, в котором генераторы СВЧ излучения расположены вдоль изогнутой линии;
- на фиг. 5а схематически показано распределение поля СВЧ излучения от четырех независимых генераторов СВЧ излучения;
- на фиг. 5b схематически показано распределение поля СВЧ излучения от матричного генератора СВЧ излучения согласно изобретению, включающего четыре генератора СВЧ излучения согласно изобретению;
- на фиг. 6а приведена зависимость КПД устройства, включающего несколько независимых генераторов СВЧ излучения (аналогичного показанному на фиг. 5а) от количества источников СВЧ излучения;
- на фиг. 6b - зависимость КПД матричного генератора СВЧ излучения согласно изобретению (аналогичного показанному на фиг. 5b) от количества источников СВЧ излучения;
- на фиг. 7а приведен вид в разрезе варианта матричного генератора СВЧ излучения;
- на фиг. 7b - увеличенный вид фиг. 7а, на котором показаны синхронизирующие каналы;
- на фиг. 8а представлен общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения;
- на фиг. 8b - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения;
- на фиг. 8с - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения;
- на фиг. 8d - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения;
- на фиг. 8е - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения;

на фиг. 8f - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения;
 на фиг. 8g - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения;
 на фиг. 8h - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения;
 на фиг. 8i - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения;
 на фиг. 9 - общий вид еще одного варианта матричного генератора СВЧ излучения с источниками разной мощности и частоты СВЧ излучения.

Осуществление изобретения

В общем случае генератор 1 СВЧ излучения включает СВЧ источник 2, установленный на коробе 3, и основу 4, прилегающую к коробу 3. Источник 2 может быть установлен как непосредственно на коробе 3 (фиг. 1a), так и через волновод 5, соединяющий источник 2 и короб 3 (фиг. 1b).

Короб 3 и основа 4 формируют резонатор генератора 1. Резонатор может быть выполнен в виде единой детали или в виде отдельных, электрически соединенных друг с другом короба 3 и основы 4.

На фиг. 2a-2e приведены виды в разрезе, раскрывающие внутреннее устройство генератора 1.

В коробе 3 выполнен первый канал 6, по которому СВЧ излучение от источника 2 проходит к основе 4. Короб 3 может быть полым, и тогда первый канал 6 является внутренней полостью такого короба 3 (фиг. 2a-2c). Альтернативно, короб 3 может быть массивным (фиг. 2d), и тогда первый канал 6 будет представлять собой сквозной канал, проходящий через короб 3. Первый канал 6 может иметь постоянное поперечное сечение, как показано на фиг. 2b, 2c, 2d, или переменное поперечное сечение, например, в виде сужающегося или расширяющегося конусного сквозного канала, как показано на фиг. 2a. Возможны и другие формы первого канала 6.

В основе 4 выполнен второй канал 7, по которому СВЧ излучение, поступающее из первого канала 6, проходит через основу 4. Таким образом, первый канал 6 и второй канал 7 вместе формируют СВЧ канал 8, который простирается через резонатор. СВЧ излучение от источника 2 проходит и выходит наружу из генератора 1 через выходное отверстие СВЧ канала 8.

Предпочтительно, основа 4 выполняется массивной (фиг. 2b, 2c, 2d), хотя возможно ее выполнение и полый (фиг. 2a). Аналогично первому каналу 6 второй канал 7 может являться внутренней полостью основы 4 (фиг. 2a) или сквозным каналом, проходящим через основу 4 (фиг. 2b, 2c, 2d). Второй канал 7 может иметь постоянное поперечное сечение, как показано на фиг. 2a, 2c, 2d, или переменное поперечное сечение, например, как показано на фиг. 2b. Допускается разнообразная форма сечений первого канала 6 и второго канала 7, подбираемая в зависимости от используемого источника 2, конкретных условий применения генератора 1, требуемого КПД и т.п. Однако предпочтительно, если второй канал 7 выполнен расширяющимся в сторону от первого канала 6 к выходному отверстию СВЧ канала 8.

Генератор 1 также содержит средство подавления 9 обратной СВЧ волны, которое, по меньшей мере, частично размещается в СВЧ канале 8, например во втором канале 7, как показано на фиг. 2c. Средство подавления 9 предназначено для подавления СВЧ волны, отраженной от внешнего объекта (его поверхности) при облучении его СВЧ излучением генератора 1.

Проникновение отраженной СВЧ волны обратно в генератор 1 приводит к ряду нежелательных эффектов. Во-первых, отраженная СВЧ волна приводит к дополнительному нагреву основы 4 и короба 5, и тогда необходимо принимать меры для охлаждения генератора 1. Во-вторых, это будет приводить к снижению суммарной выходной мощности генератора 1. В-третьих, проникновение отраженной СВЧ волны через СВЧ канал 8 по первому каналу 6 вплоть до источника 2 может привести к повышенной нагрузке на источник 2 и выходу его из строя.

Как обнаружили авторы, снижение указанных нежелательных эффектов возможно с использованием средства подавления 9 обратной СВЧ волны, размещаемого, по меньшей мере, частично в СВЧ канале 8.

Предпочтительно, средство подавления 9, по меньшей мере, частично размещается во втором канале 7, как показано на фиг. 2c. В этом случае отраженная СВЧ волна гасится на выходе из генератора 1 и практически не проникает во второй канал 7. Форма (например, вытянутая, цилиндрическая, конусообразная, сферическая), крепление (например, посредством одной или нескольких перемычек, кронштейнов, подвесов, выполнением заодно целое с СВЧ каналом 8), физические параметры (например, используемый материал, значение его электропроводности) средства подавления 9 выбирают таким образом, чтобы оно оказывало наименьшее влияние на СВЧ излучение, проходящее по СВЧ каналу 8 и выходящее наружу из генератора 1, и при этом максимально препятствовало проникновению отраженной СВЧ волны во второй канал 7. Специалисту будет понятно, что также возможно размещение средства подавления 9 в первом канале 6, или частично в первом канале 6 и частично во втором канале 7, или частично за пределами второго канала 7.

Как показали эксперименты, существует наиболее оптимальное соотношение поперечных сечений СВЧ канала 8 и средства подавления 9. Так, наилучшие результаты достигались, когда минимальная площадь поперечного сечения СВЧ канала 8 в той его части, через которую выходит СВЧ излучение, т.е. в области выходного отверстия СВЧ канала 8, была примерно в 8-12 раз больше максимальной площади поперечного сечения средства подавления 9. Меньшие значения указанного соотношения, т.е. когда средство подавления 9 занимает большую площадь поперечного сечения СВЧ канала 8, приводят к сни-

жению КПД генератора 1. Большие значения указанного соотношения, т.е. когда средство подавления 9 занимает меньшую площадь поперечного сечения СВЧ канала 8, приводят к повышению проникновения обратной СВЧ волны в СВЧ канал 8, вызывая повышенный нагрев и снижение КПД генератора 1.

В резонаторе могут быть выполнены каналы охлаждения 10. Каналы охлаждения 10 позволяют контролировать температуру нагрева генератора 1, не доводя ее до критической, при которой работа источника 2 может быть нарушена или нежелательна. Специалисту будет понятно, что каналы охлаждения также могут быть выполнены только в коробе 3, или только в основе 4, или в коробе 3 и основе 4 (именно этот вариант показан на фиг. 2d).

Для функционирования генератора 1 и достижения указанных выше преимуществ над известными аналогами необходимо, чтобы короб 3 и основа 4 были электрически соединены. Тогда токи, возникающие в резонаторе при прохождении СВЧ излучения от источника 2, будут протекать и по основе 4 и по коробу 5, а значит, оказывать влияние на прохождении СВЧ излучения по первому каналу 6 и второму каналу 7. Чтобы короб 3 и основа 4 были электрически соединены, по меньшей мере, поверхность СВЧ канала 8, т.е. поверхности первого канала 6 и второго канала 7 выполняют электропроводящими. Этого можно достичь различными путями, понятными специалисту: выполнением короба 3 и основы 4 целиком из электропроводящих материалов; нанесением электропроводящего слоя 11 на поверхность СВЧ канала 8, как показано на фиг. 2e (при этом покрытия на поверхности короба 3 и поверхности основы 4 могут отличаться по материалу, толщине и другим характеристикам); установкой дополнительных электропроводящих экранов на поверхность СВЧ канала 8; и другое.

Форма и выполнение короба 3 и основы 4 могут быть разными. Как было указано выше, основа 4 может быть выполнена массивной, а короб 3 - полым, но предпочтительно, если короб 3 и основа 4 выполнены массивными. При этом форма короба 3 может быть прямоугольной или цилиндрической (фиг. 3a), сферической (фиг. 3b), конусообразной и т.п.

Объединение нескольких генераторов 1 таким образом, что их резонаторы электрически соединены друг с другом, позволяет сформировать матричный генератор СВЧ излучения, более подробно описываемый далее.

В рамках настоящей заявки под матричным генератором СВЧ излучения понимается два и более генераторов 1 СВЧ излучения, соединенных друг с другом. Указанные два или более генератора 1 могут быть соединены в цепочку, т.е. расположены один за другим вдоль одной условной линии. Указанная условная линия может быть прямой или изогнутой. Примеры такого матричного генератора приведены на фиг. 4a-4d. Другим возможным вариантом соединения нескольких генераторов 1 могут являться целые матрицы генераторов 1, размещенные на условной поверхности, которая может быть ровной поверхностью или изогнутой поверхностью. Примеры таких матричных генераторов приведены на фиг. 8a-8i, 9. Очевидно, что возможны и другие варианты соединения двух и более генераторов 1, некоторые из которых будут раскрыты далее.

На фиг. 4a-4d приведены различные варианты исполнения матричного генератора 12, в которых матричный генератор 12 выполнен в форме прямой полоски, как показано на фиг. 4a, или изогнутой полоски, как показано на 4b, или любой другой формы.

Электрическое соединение резонаторов соседних генераторов 1 может обеспечиваться, например, посредством соединителей 13, соединяющих, в частности, соседние генераторы 1 (фиг. 4a, 4b), или посредством общего рупора 14 (фиг. 4c, 4d), или общего короба и/или основы (фиг. 7a, 7b). Специалисту будет понятно, что возможны и другие варианты электрического соединения резонаторов соседних генераторов 1, не приведенные на фигурах.

Генераторы 1 матричного генератора 12 могут иметь общий рупор 14, посредством которого формируется требуемое пространственное распределение выходящего СВЧ излучения. При этом генераторы 1 могут располагаться как вдоль одной прямой (фиг. 4c) или под углом друг к другу (фиг. 4d).

На фиг. 5a схематически показано распределение поля СВЧ излучения от четырех источников СВЧ излучения (например, источников 2), размещенных поблизости друг к другу. Более темные области соответствуют высокой удельной мощности СВЧ излучения (мощности излучения на единицу площади), а более светлые - низкой удельной мощности СВЧ излучения. Видно, что суммарное СВЧ излучение сильно неоднородно.

Как показали исследования, даже использование резонатора согласно ближайшему аналогу по патенту РФ RU 2394357 не позволяет существенно повысить однородность поля суммарного СВЧ излучения. При этом сильно снижается величина выходной суммарной мощности СВЧ излучения, т.е. устройство характеризуется невысоким значением КПД: согласно табл. 1 патента РФ RU 2394357, сумма мощностей четырех магнетронов составляет 3036 Вт, тогда как выходная мощность устройства сложения согласно этому патенту составляет 2200 Вт, т.е. КПД равен примерно 72%.

Для сравнения на фиг. 5b схематически показано распределение поля СВЧ излучения от матричного генератора 12 СВЧ излучения согласно изобретению с тем же числом источников 2, что и на фиг. 5a. Поле суммарного СВЧ излучения от матричного генератора 12 характеризуется компактностью и высокой пространственной однородностью распределения мощности, что является важным преимуществом настоящего изобретения над известными аналогами.

Однако есть еще одно преимущество настоящего изобретения над известными аналогами, отраженное на кривых, представленных на фиг. 6а, 6б. На указанных фигурах приведены зависимости КПД устройства, включающего несколько источников СВЧ излучения (фиг. 6а), размещенных поблизости друг к другу (далее также называемого как "известное устройство СВЧ излучения"), и КПД матричного генератора СВЧ излучения согласно изобретению (фиг. 6б) от количества источников 2. На фиг. 6а, 6б по горизонтальной оси отложено количество источников 2, по вертикальной оси - значение КПД.

В известных аналогах, включая ближайший аналог, добавление очередного источника 2 приводит к падению КПД известного устройства СВЧ излучения (см. фиг. 6а). В противоположность этому, КПД матричного генератора 12 согласно настоящему изобретению не только не снижается, но даже растет с добавлением источников 2 (см. фиг. 6б). При этом абсолютные значения КПД матричного генератора 12 выше, чем значения КПД известного устройства СВЧ излучения.

Таким образом, для специалиста будут очевидны преимущества матричного устройства 12 перед известными устройствами СВЧ излучения, включающими два и более источника СВЧ излучения.

Указанные преимущества по мнению авторов достигаются за счет того, что, во-первых, токи, возникающие в каждом резонаторе матричного устройства 12 при прохождении СВЧ излучения от источников 2 по СВЧ каналам 8 (т.е. первым каналам 6 и вторым каналам 7), оказывают влияние на проходящее СВЧ излучение. Учитывая, что резонаторы генераторов 1 электрически соединены друг с другом, токи протекают не только по "своим" резонаторам, но и по соседним резонаторам, приводя к синхронизации СВЧ излучений во всех СВЧ каналах 8 матричного устройства 12.

Во-вторых, достижению указанных преимуществ способствует наличие в СВЧ каналах 8 средств подавления 9, которые, помимо собственно подавления обратной СВЧ волны, также способствуют выравниванию поля суммарного СВЧ излучения и, возможно, синхронизации СВЧ излучений во всех СВЧ каналах 8 матричного устройства 12.

Как показали многочисленные эксперименты, еще более высокого КПД и лучшей равномерности поля суммарного СВЧ излучения можно достичь, если в матричном генераторе 12 выполнить синхронизирующие каналы 15, соединяющие соседние СВЧ каналы 8, как показано на фиг. 7а и в увеличенном масштабе - на фиг. 7б. При этом поверхность синхронизирующих каналов 15, как и поверхность СВЧ каналов 8, должна быть электропроводящей, чего можно достичь различными известными способами, например, описанными выше способами обеспечения электропроводимости поверхностей первых каналов 6 и вторых каналов 7. Альтернативно или в дополнение к выполнению поверхности синхронизирующих каналов 15 электропроводящей, синхронизирующие каналы 15 могут быть заполнены проводящей жидкостью, металлом, проводящим порошком или любым другим проводящим веществом.

Синхронизирующие каналы 15 могут быть выполнены или в коробах 3 для соединения первых каналов 6, или в основах 4 для соединения вторых каналов 7, или в коробах 3 и основах 4 для соединения первых каналов 6 и вторых каналов 7, или в соединителях 13.

Как еще один возможный вариант исполнения синхронизирующие каналы 15 могут быть реализованы в виде синхронизирующих вставок в коробах 3 и/или основах 4, как это сделано в резонаторах в ближайшем аналоге согласно патенту РФ RU 2394357.

Допускаются различные варианты исполнения коробов 3 и основ 4 матричного генератора 12. Так, коробки 3 всех или части генераторов 1, формирующих матричный генератор 12, могут являться цельной (единой) деталью, в которой посредством сверления, фрезерования, лазерного или плазменного прожига или любого другого подходящего способа выполняются первые каналы 6. Альтернативно или в дополнение к этому, основы 4 всех или части генераторов 1, формирующих матричный генератор 12, могут являться цельной (единой) деталью, в которой посредством сверления, фрезерования, лазерного или плазменного прожига или любого другого подходящего способа выполняются вторые каналы 7 и, где применимо, синхронизирующие каналы 15 и/или каналы охлаждения 10.

Выполнение по крайней мере одного из коробов 3 и основ 4 матричного генератора 12 цельной деталью позволяет обеспечить высокую степень синхронизации СВЧ излучений за счет более оптимального распределения токов, индуцируемых (наводимых) в коробах 3 и основах 4, а также хороший теплоотвод, что является важным преимуществом при использовании даже относительно небольшого числа генераторов 1 в составе матричного генератора 12.

Кроме того, коробки 3 и основы 4 все вместе могут быть выполнены одной цельной (единой) деталью, что, помимо указанного выше преимущества, еще и повышает технологичность изготовления матричного генератора 12.

Как было указано выше, матричный генератор 12 СВЧ излучения согласно настоящему изобретению представляет собой два или более генераторов 1, электрически соединенных друг с другом. Соединение может быть не только последовательным, как показано на фиг. 4а-4д, но и вообще любым, как далее поясняется со ссылками на фиг. 8, 9.

Так, на фиг. 8а-8і приведены различные варианты матричного генератора 12. Важным является то, что все генераторы 1 электрически соединены друг с другом, например, посредством соединителей 13, соединяющих соседние основы 4 (фиг. 8а, 8ф, 8h) или соседние коробки 3 (на фигурах не показано), или соединителей 13а, 13б, соединяющих соответственно соседние основы 4 и соседние коробки 3

(фиг. 8b).

Электрическое соединение генераторов 1 также может быть обеспечено посредством общего рупора (волновода) (фиг. 8с), или общей основы (фиг. 8d, 8е, 8i), или общего короба (на фигурах не показано). Возможен и комбинированный вариант, когда часть генераторов 1 электрически соединена, например, посредством основ 4, а другая часть - посредством соединителей 13, как показано на фиг. 8g. Специалисту будет понятно, что возможны и другие варианты электрического соединения генераторов 1.

Следует отметить, что указанные соединители 13, 13а, 13b могут быть жесткими, упругими, подвижными, гибкими, что позволяет придать матричному генератору 12 форму, необходимую для формирования заданного поля суммарного СВЧ излучения.

Существенно то, что резонаторы всех генераторов 1, входящих в состав матричного генератора 12, электрически соединены друг с другом. Это, как было указано выше, обеспечивает синхронизацию СВЧ излучений во всех СВЧ каналах 8 и, как следствие, высокую однородность поля суммарного СВЧ излучения и высокий КПД устройства.

Высокая степень синхронизации СВЧ излучений в предложенном матричном генераторе 12 позволяет не только получить однородное поле суммарного СВЧ излучения и высокий КПД устройства, но и использовать источники 2, существенно отличающиеся по мощности и/или длине волны. Так, авторам настоящего изобретения удалось добиться стабильной работы матричного генератора 12, схематично показанного на фиг. 9, в котором использовался один генератор 1а с рабочей частотой 915 МГц и двенадцать генераторов 1b с рабочей частотой, близкой к значению 2400 МГц. При этом был достигнут КПД около 80%. Однако наиболее высокие значения КПД матричного генератора 12 достигаются при разбросе рабочих частот генераторов 1 не более 25%. При этом рост КПД обратно пропорционален величине разброса рабочих частот.

Кроме того, как показали испытания, наилучших результатов в синхронизации излучений множества генераторов 1 и повышении КПД матричного генератора 12 удастся достичь, если поверхность СВЧ каналов 8 является достаточно гладкой. Чем ниже шероховатость указанной поверхности, тем меньше СВЧ излучение, которое проходит по СВЧ каналам 8, переотражается от поверхности СВЧ каналов 8 и поглощается указанной поверхностью. В частности, наилучших результатов удалось достичь при параметре R_z шероховатости поверхности СВЧ каналов 8 не более 2 мкм, причем рост КПД обратно пропорционален величине шероховатости.

Таким образом, предложенные варианты устройства СВЧ излучения, а именно генератора 1 и матричного генератора 12, позволяют эффективно направлять СВЧ излучение от одного или множества источников 2 СВЧ излучения и складывать СВЧ излучения, обеспечивая высокие значения КПД и выходной мощности, расширение функциональных возможностей устройства, высокую степень синхронизации излучений источников 2.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Генератор СВЧ излучения, содержащий источник СВЧ излучения; и резонатор, в котором выполнен СВЧ канал для направления излучения от источника СВЧ излучения, причем резонатор включает короб, на котором установлен источник СВЧ излучения и в котором выполнен первый канал; и основу, которая электрически соединена с коробом и в которой выполнен второй канал, причем второй канал является продолжением первого канала и указанные каналы формируют СВЧ канал, имеющий выходное отверстие, через которое выходит СВЧ излучение, причем в СВЧ канале, по меньшей мере, частично размещено средство подавления обратной волны, и причем минимальная площадь поперечного сечения СВЧ канала в области выходного отверстия в 8-12 раз больше максимальной площади поперечного сечения средства подавления.
2. Генератор по п. 1, дополнительно содержащий волновод между источником СВЧ излучения и коробом.
3. Генератор по п. 1, в котором резонатор выполнен единой деталью.
4. Генератор по п. 1, в котором СВЧ канал имеет переменное сечение.
5. Генератор по п. 4, в котором второй канал выполнен расширяющимся в сторону от первого канала к выходному отверстию СВЧ канала.
6. Генератор по п. 1, в котором поверхность СВЧ канала покрыта слоем электропроводящего материала.
7. Генератор по п. 1, дополнительно содержащий по меньшей мере один канал охлаждения, выполненный в резонаторе.
8. Матричный генератор СВЧ излучения, содержащий по меньшей мере два генератора СВЧ излучения по любому из пп. 1-7, причем резонаторы указанных по меньшей мере двух генераторов СВЧ излучения электрически соединены друг с другом.
9. Матричный генератор по п. 8, дополнительно содержащий рупоры, установленные на основах

указанных по меньшей мере двух генераторов СВЧ излучения.

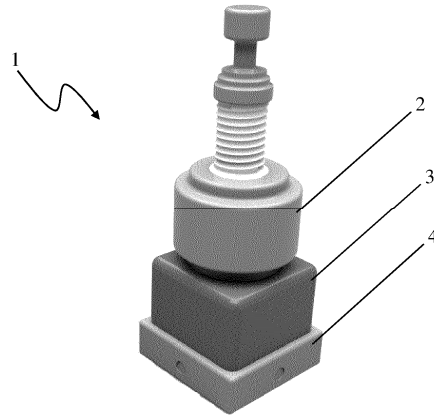
10. Матричный генератор по п.9, в котором все рупоры указанных по меньшей мере двух генераторов СВЧ излучения выполнены единой деталью.

11. Матричный генератор по п.8, в котором все основы указанных по меньшей мере двух генераторов СВЧ излучения выполнены единой деталью.

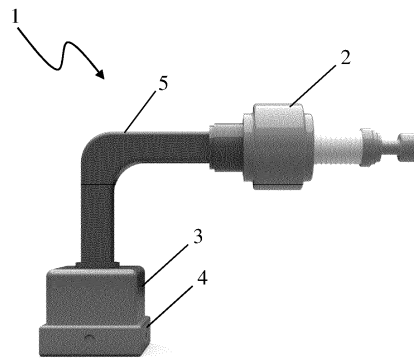
12. Матричный генератор по п.8, дополнительно содержащий синхронизирующие каналы, соединяющие СВЧ каналы указанных по меньшей мере двух генераторов СВЧ излучения.

13. Матричный генератор по п.8, дополнительно содержащий синхронизирующие вставки, размещенные в коробах и/или основах указанных по меньшей мере двух генераторов СВЧ излучения.

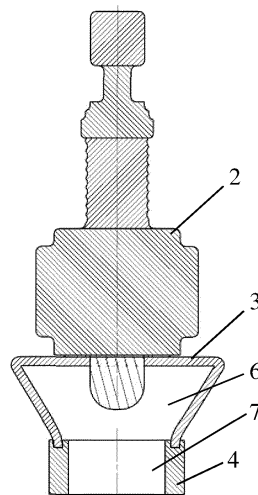
14. Матричный генератор по п.8, в котором, по крайней мере, некоторые из указанных по меньшей мере двух генераторов СВЧ излучения электрически соединены друг с другом посредством соединителей.



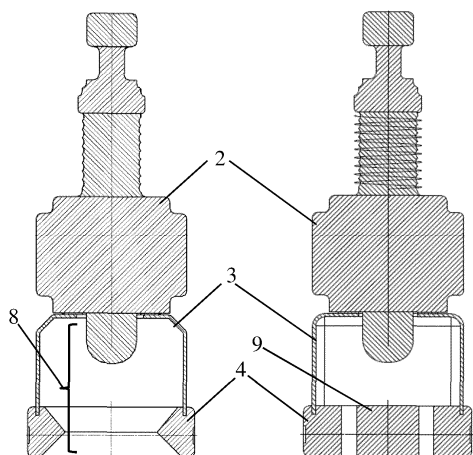
Фиг. 1а



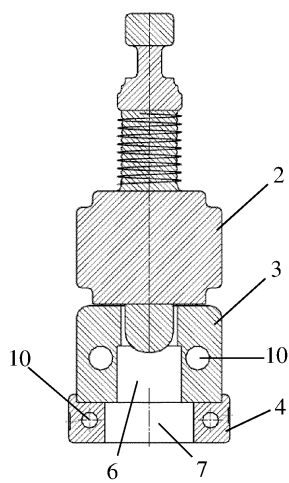
Фиг. 1б



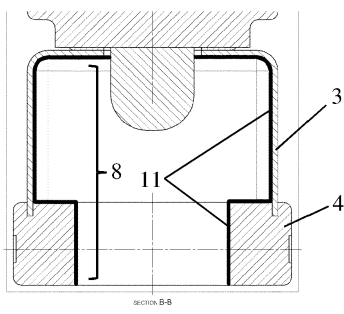
Фиг. 2а



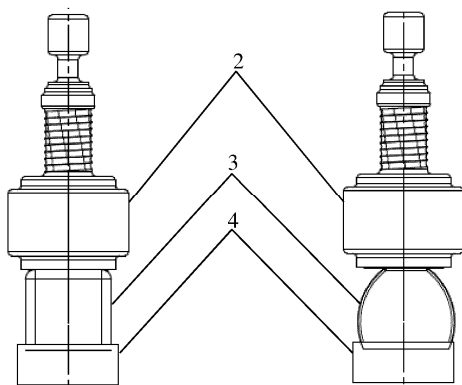
Фиг. 2b-2c



Фиг. 2d

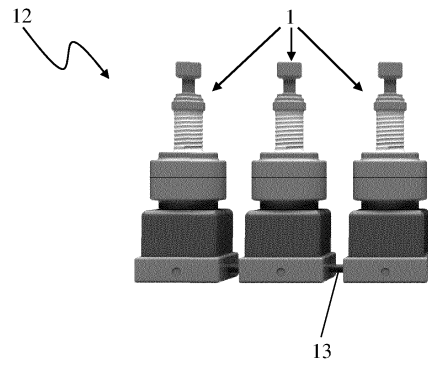


Фиг. 2e

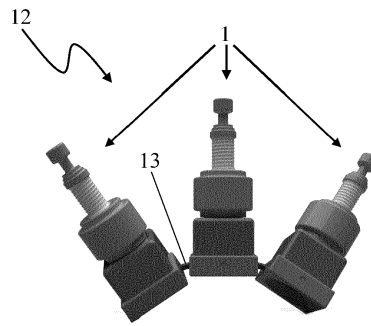


Фиг. 3a-3b

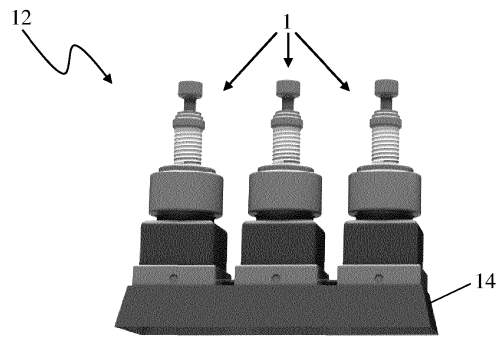
040915



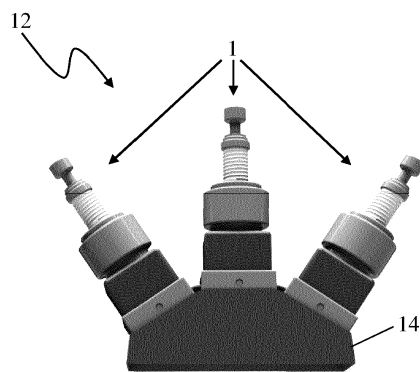
Фиг. 4а



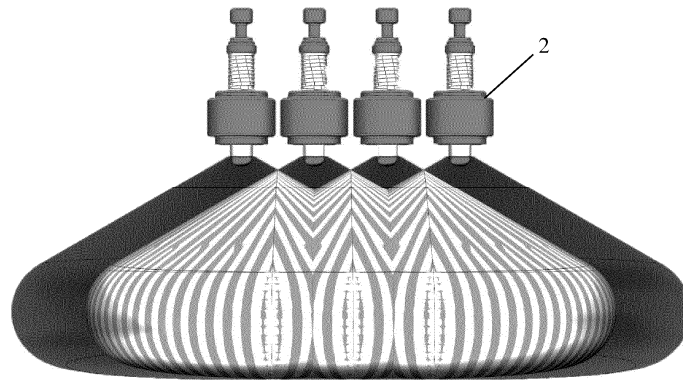
Фиг. 4б



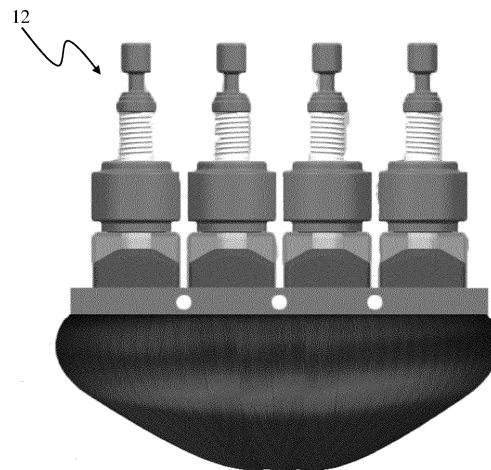
Фиг. 4с



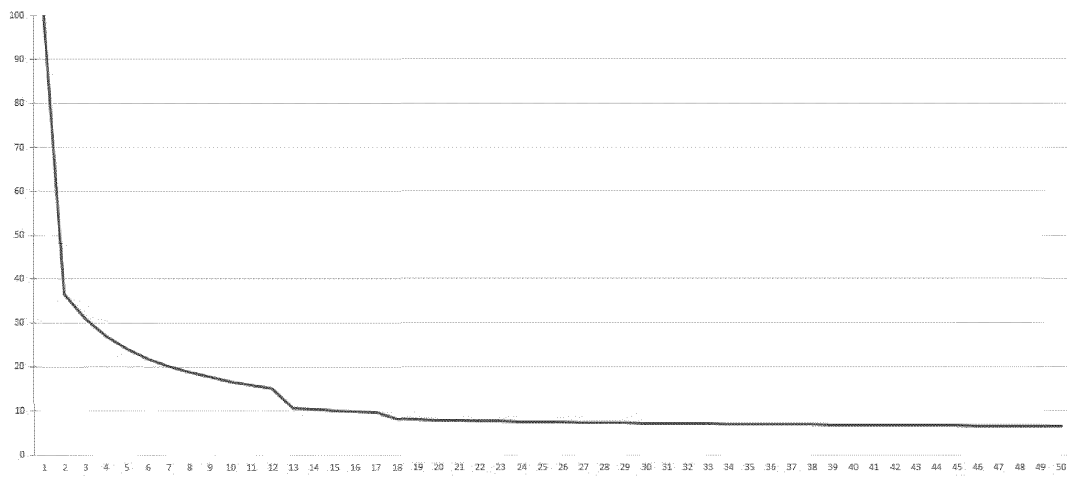
Фиг. 4д



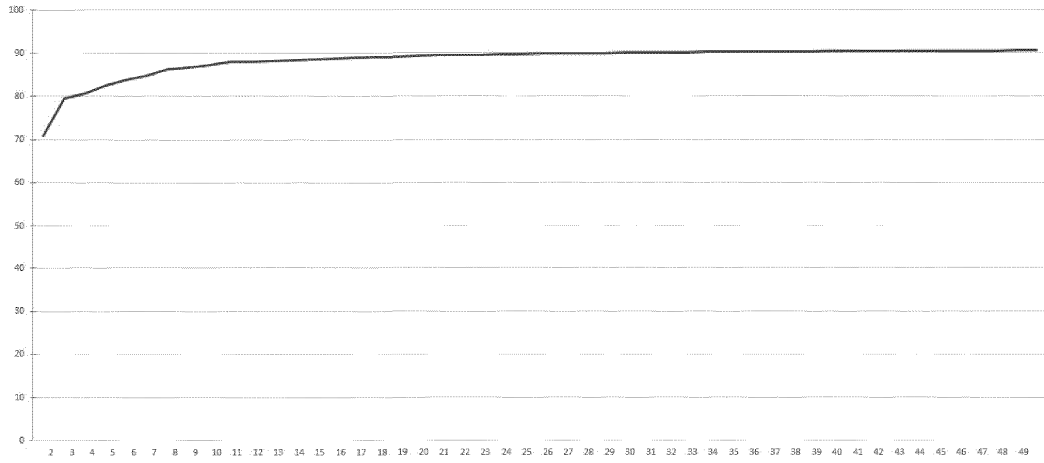
Фиг. 5а



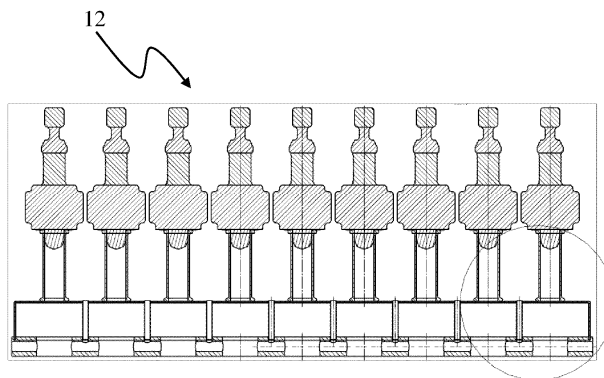
Фиг. 5б



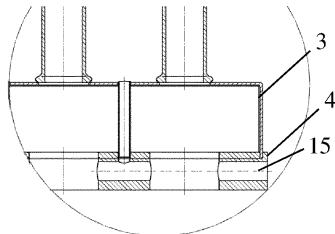
Фиг. 6а



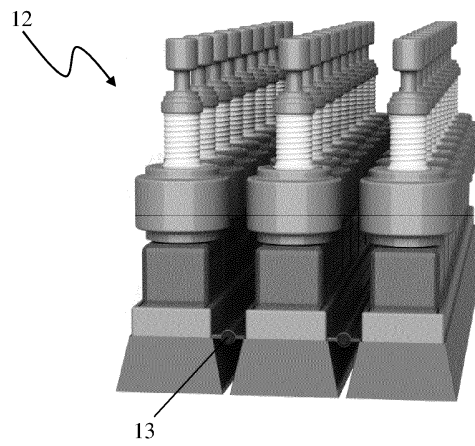
Фиг. 6b



Фиг. 7a

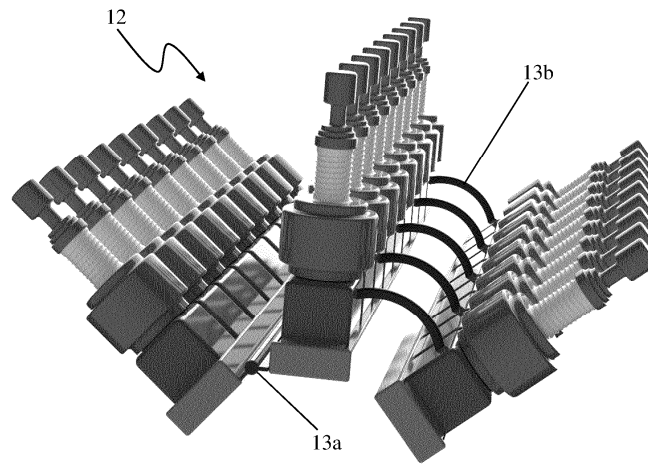


Фиг. 7b

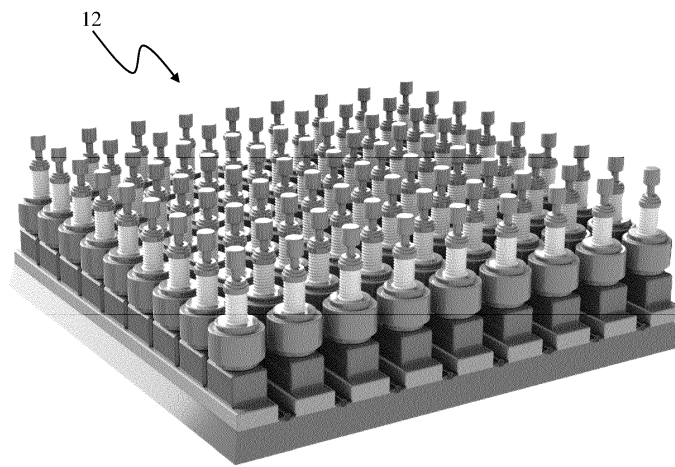


Фиг. 8a

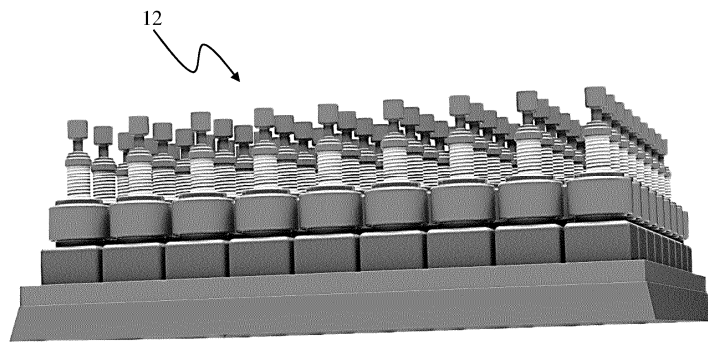
040915



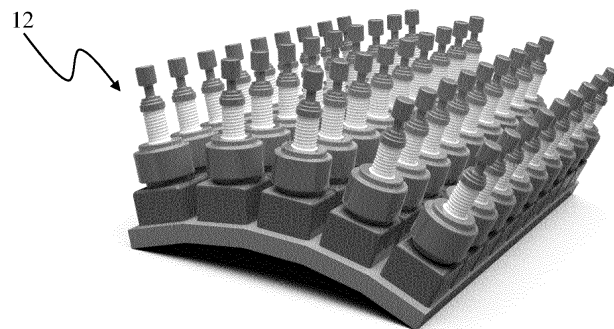
Фиг. 8b



Фиг. 8c

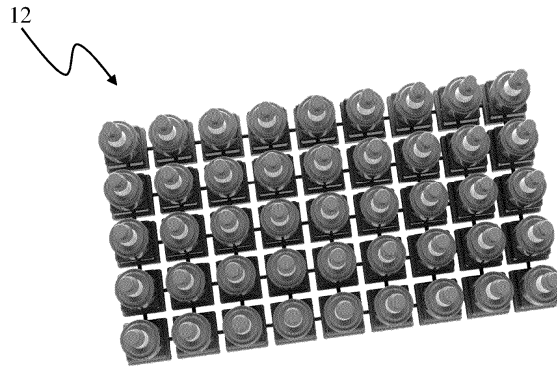


Фиг. 8d

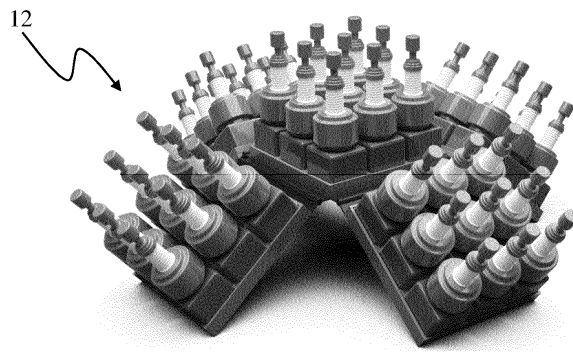


Фиг. 8e

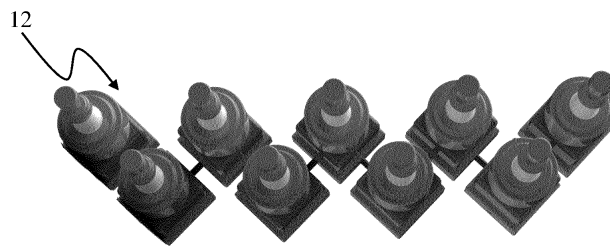
040915



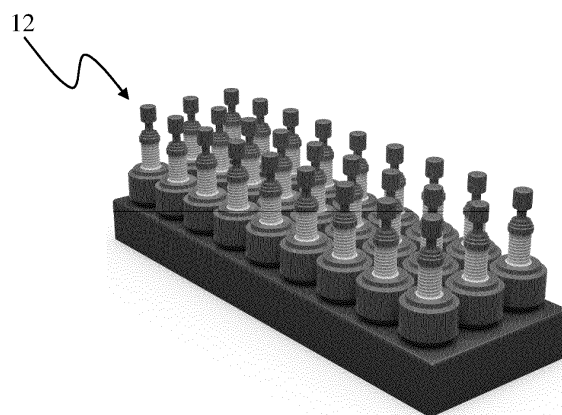
Фиг. 8f



Фиг. 8g

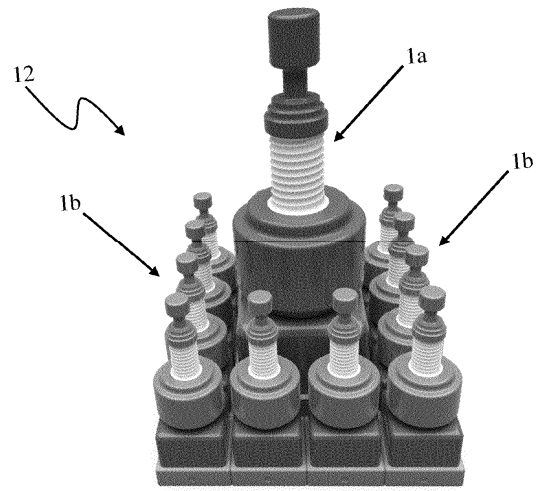


Фиг. 8h



Фиг. 8i

040915



Фиг. 9



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
