

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202390953 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.07.24(51) Int. Cl. H05B 6/64 (2006.01)
B01J 19/12 (2006.01)
B01J 19/18 (2006.01)(22) Дата подачи заявки
2021.09.21(54) ОБЪЕДИНИТЕЛЬ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ И МАТЕРИАЛА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ
ПЕРЕВОДА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ЗАГРУЗКИ ИЗ ОДНОГО СОСТОЯНИЯ В ДРУГОЕ

(31) 63/204,278

(72) Изобретатель:
Жилков Станислав (US)

(32) 2020.09.24

(33) US

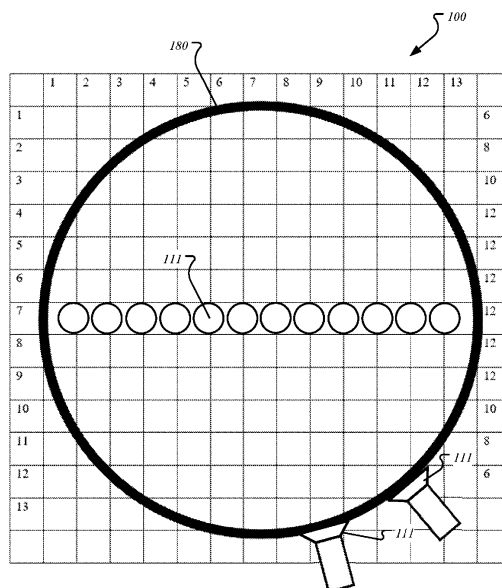
(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(86) PCT/US2021/051302

(87) WO 2022/066638 2022.03.31

(71) Заявитель:
АКСЕЛЬБИМ ФОТОНИКС, ЛЛС
(US)

(57) Устройство для проведения крупносерийных химических реакций с использованием энергии СВЧ-излучения включает в себя камеру, ограниченную наружной стенкой, и сосуд, расположенный внутри камеры, причем сосуд ограничен внутренней стенкой, и внутренняя стенка отделена от наружной стенки зазором. Сосуд выполнен с возможностью приема и удержания загрузки. Устройство дополнительно включает в себя первый аппликатор и второй аппликатор, выполненные с возможностью испускания энергии СВЧ-излучения на загрузку, причем точки, в которых энергия СВЧ-излучения, испускаемая первым аппликатором и вторым аппликатором, поступает в загрузку, разнесены друг от друга на расстояние, превышающее глубину проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку, таким образом, чтобы между первым аппликатором и вторым аппликатором не возникало электромагнитной взаимосвязи при испускании энергии СВЧ-излучения.



A1

202390953

202390953

A1

ОБЪЕДИНИТЕЛЬ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ И МАТЕРИАЛА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ
ПЕРЕВОДА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ЗАГРУЗКИ ИЗ ОДНОГО СОСТОЯНИЯ В
ДРУГОЕ

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Настоящая заявка испрашивает приоритет по предварительной заявке США № 63/204 278, поданной 24 сентября 2020 г., содержание которой полностью включено в настоящий документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Раскрытие настоящего изобретения относится к устройству для однородной обработки СВЧ-излучением больших загрузок реагентов при высоких мощности и давлении.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0003] Представленное в настоящем документе описание известного уровня техники предназначено для общего представления контекста раскрытия изобретения. Работа названных сейчас изобретателей в той мере, в какой эта работа описана в данном разделе, а также аспекты описания, которые не могут иначе квалифицироваться как известный уровень техники на момент подачи заявки, ни прямо, ни косвенно не признаются в качестве известного уровня техники относительно настоящего раскрытия.

[0004] Термин "сверхвысокочастотное излучение" (СВЧ-излучение) может применяться к частотам от 300 МГц до 300 ГГц, и согласно Федеральной комиссии США по связи (Federal Communications Commission, FCC) может быть шесть диапазонов СВЧ, применимых для промышленного использования, включая два, которые обычно используют для нагрева жидкостей в химических процессах в СВЧ-реакторах: 915 МГц и 2,45 ГГц (или, как правило, округленный до 2,5 ГГц). Обработка СВЧ-излучением загрузок реагентов при частоте 2,5 ГГц является, как правило, однородной в родственных технологиях, когда загрузки находятся в диапазоне 0,01-1 л; родственные технологии также предполагают использование одного или нескольких аппликаторов СВЧ-излучения. Большие загрузки реагентов могут привести к увеличению неравномерности нагрева. Равномерная обработка большой загрузки реагентов одним аппликатором СВЧ-излучения или небольшим количеством аппликаторов СВЧ-излучения может быть затруднена, а также может быть сложно одновременно настроить большое количество аппликаторов СВЧ-излучения в многорежимной камере вследствие взаимосвязи между устройствами.

[0005] Некоторые родственные решения вышеописанных проблем рассматривали загрузку реагентов как небольшую часть сосуда с реагентами (т.е. камеры или реактора) и пытались представить некоторые решения для достижения однородности СВЧ-излучения от нескольких устройств во всей камере без рассмотрения загрузки как части решения. Внедрение СВЧ-излучения в промышленное производство может потребовать обработки объемов ≥ 100 л; например, такое требование может быть применено к однократному производству в фармацевтической сфере. Примечательно, что нагревание при помощи СВЧ-излучения в контролируемых условиях оказалось ценной

технологией для любого применения, требующего нагрева реакционной смеси, поскольку оно часто значительно сокращает время реакции - обычно от дней или часов до минут или даже секунд. Таким образом, желательна равномерная обработка СВЧ-излучением крупномасштабных грузов реактивов.

[0006] В мелком масштабе был продемонстрирован органический синтез при помощи СВЧ-излучения (microwave-assisted organic synthesis, MAOS) различных активных фармацевтических ингредиентов (АФИ), строительных блоков (СБ) для производства лекарств и самих лекарств. Например, производство ацетаминофена, азитромицина, ципрофлоксацина, хлорохина фосфата, сульфата гидроксихлорохина и аналогичных препаратов может быть частично заменено MAOS с аналогичным или лучшим выходом и относительно быстрым временем реакции по сравнению с традиционным производством на основе нагрева. При помощи MAOS могут быть синтезированы не только заменители пяти вышеупомянутых соединений, но и дополнительные соединения из списка 15 приоритетных лекарственных средств уровня 1 для лечения COVID-19 (см. *Информацию офиса помощника секретаря по административным вопросам (HHS – Health and Human Services, Здравоохранение и социальное обеспечение). HHS-2020-RFI-COVID-19-2 - Priority ICU Medicines COVID-19 Response Sheet. 5 апреля 2020 г.*), а также многие другие, в том числе известные и новые соединения, демонстрирующие противораковую активность, противовирусные (например, Зовиракс), антибактериальные (например, Бактрим), противогрибковые, ингибиторы протеазы ВИЧ и препараты против болезни Альцгеймера. Также сообщалось о производстве АФИ посредством MAOS для лекарств, применимых для лечения мужского бесплодия, связанного с эректильной дисфункцией. (2005 г. Khan и др.

Легкий и улучшенный синтез аналогов силденафила (Виагры) при помощи СВЧ-облучения твердой подложки, обладающего потенциалом ингибирования тирозиназы, их конформационный анализ и исследования моделирования молекулярной динамики. Mol Divers, 2005 г., том 9(1-3), стр. 15-26) и (2010 г. Richard Wagner. Эффективное использование этапов обработки при помощи СВЧ-излучения в синтезе дженерика, подобного Сиалису. Личная беседа с С. Жилковым).). В дополнение к вышеупомянутым АФИ/СБ/лекарствам использование МАОС может быть полезным при производстве пептидов (см. 2011 г. Ghosh. Синтез пептидов при помощи СВЧ-излучения. Презентация из 32 слайдов, 8 декабря 2011 г.).

[0007] Например, весь синтез ацетаминофена, от начального гидрирования 4-нитрофенола до окончательного выделения ацетаминофена, был завершен менее чем за 90 минут, что составляет 70% экономии времени по сравнению с традиционным подходом (см. 2009 г., СЕМ ar0141, Быстрый двухэтапный синтез ацетаминофена при помощи СВЧ-излучения). Однако такой синтез проводили с использованием небольших стеклянных пробирок объемом 10 мл в качестве реакционного сосуда.

[0008] Например, с использованием стеклянных СВЧ-трубок под давлением объемом 10 мл были синтезированы конъюгаты нестероидного противовоспалительного препарата (НПВП) ацетаминофена с аминокислотными линкерами с использованием химии бензотриазола (см. 2014 г., Tiwari и др. Синтез при помощи СВЧ-излучения и исследование QSAR новых конъюгатов НПВП ацетаминофена с аминокислотными линкерами. Org. Biomol. Chem., 2014 г., том 12, стр. 7238–7249). Биологические данные, полученные для всех

бис-конъюгатов, показали, что (а) некоторые бис-конъюгаты проявляют более сильную противовоспалительную активность, чем их исходные препараты, (б) сильнодействующие бис-конъюгаты не вызывают видимых поражений желудка в отличие от исходных лекарств, которые являются высокоульцерогенными, и (в) сильнодействующие биоактивные соединения не имеют показателей смертности или токсических симптомов при 5-кратном превышении применяемой противовоспалительной дозы.

[0009] Например, при повторном осуществлении MAOS в сосудах объемом 10 мл соединение гидрохлорида пропакетамола было получено с практическим выходом 98%, когда реакционную смесь нагревали в СВЧ-устройстве менее 10 минут при 120 °C (см. 2016 г., *Murie и др. Пролечарственный препарат ацетаминофена: синтез при помощи СВЧ-излучения и оценка метаболизма in vitro посредством масс-спектрометрии. J. Braz. Chem. Soc., 2016 г*). Разработанный протокол MAOS также имеет дополнительные преимущества, такие как отсутствие катализатора, малый объем растворителя и малое время реакции. Следует отметить, что традиционные способы нагревания обеспечивают изготовление такого же соединения с выходом 50% и временем обработки 12 часов.

[0010] Использование СВЧ-излучения в органическом синтезе привело к созданию новых производных ацетамида (см. 2020 г., *Alsamarrai, Abdulmajeed SH и Abdulghani, Saba S. Синтез при помощи СВЧ-излучения, структурная характеристика аминопиридинов, пирролидина, пиперидина, морфолина, ацетамидов и оценка их антибактериальной активности. Препринт, 31 стр. Университет Самарры, Ирак. doi:10.20944/preprints202010.0077.v1*). Были синтезированы семь

соединений с использованием MAOS в попытке увеличить выход и сократить время реакции. Были достигнуты выходы от умеренных до хороших и сокращение времени реакции с 2-3 часов до нескольких минут. Применение против грамположительных и грамотрицательных видов бактерий продемонстрировало воодушевляющие результаты в отношении антибактериальной активности по сравнению с используемыми эталонными антибиотиками.

[0011] В настоящее время для производства лекарств используют около 450 АФИ. Примерно для половины из них использование технологии СВЧ-облучения может усовершенствовать производственный процесс в таких аспектах, как уменьшение этапов обработки, сокращение времени реакции, увеличение выхода продукта, экономия или даже отказ от использования катализаторов, упрощение управления процессом, уменьшение занимаемого оборудованием пространства, экономия энергопотребления, повышение производительности и общее снижение себестоимости продукции.

[0012] Как описано выше, обработка СВЧ-излучением демонстрирует многообещающий потенциал для усовершенствования производства лекарств в случае реализации такой обработки СВЧ-излучением в промышленных масштабах. Исследования меньшего масштаба продемонстрировали, что энергия СВЧ-излучения может быть применена к известным химическим процессам, которые, при наличии подходящего устройства, преодолевающего текущие проблемы крупномасштабного производства, могут привести к увеличению выхода желаемых лекарственных средств и химических продуктов потенциально большей чистоты. Таким образом, требуется устройство для

крупномасштабных химических процессов с использованием СВЧ-энергии.

[0013] Малоразмерные СВЧ-реакторы использовались в исследованиях по изысканию новых лекарственных средств и оптимизации процессов. Малоразмерные реакторы обеспечивают "доказательство правильности концепции" экспериментальных свидетельств потенциальных преимуществ MAOS для фармацевтической промышленности; такие реакторы работают с объемом обработки всего от 10 мл до 1 л.

[0014] Например, изучение инженерных принципов, составляющих технологическую базу малоразмерных реакторов, обычно позволяет достичь максимальных объемов обработки около 3 л при дискретном размещении до 40 небольших загруженных пробирок (например, по 20 мл каждая) в СВЧ-реакторе, работающем на частоте 2,45 ГГц в условиях высокой температуры (например, до 260 °C для увеличенного времени реакции или 300 °C для малого времени реакции) и высокого давления (например, до 200 бар / 200 атм.), но с низкой СВЧ-мощностью примерно (или меньше) 1 кВт (см. *UltraCLAVE*). Объемы менее или приблизительно 1 л подходят для исследований и разработок с целью поиска библиотеки новых потенциальных лекарств или оптимизации этапов требуемых процессов, но таких малых объемов недостаточно для производства лекарственных средств в промышленных масштабах из-за требований Управления по контролю за пищевыми продуктами и лекарственными препаратами США (Food and Drug Administration, FDA), согласно которым объем одной партии должен быть порядка 100-1000 л для сертификации.

[0015] Недавно было продемонстрировано линейное масштабирование результатов, полученных с использованием MAOS, при обработке объемов от 1-10 мл до 12 л (см. 2010, *Schmink и др. Изучение возможностей масштабирования органической химии с использованием крупносерийного СВЧ-реактора. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области органических процессов, том 14, № 1, стр. 205–214, 2010 г.*) с использованием реактора максимальной емкостью 12 л и в рабочих условиях высоких температуры (например, до 220 °C) и давления (например, до 20-24 бар).

[0016] В реакторе, испытанном Schmink и др., использованы три генератора СВЧ-излучения (каждый мощностью 2,5 кВт с частотой 2,45 ГГц), которые посылают излучение в герметичную (внешнюю) камеру, в которой размещен внутренний сосуд (объемом от 2 до 12 л) с загруженным веществом (веществами), подлежащим обработке, причем объем указанной камеры значительно превышает объем указанного внутреннего сосуда. Технические решения, которые сделали возможным указанный реактор, описаны в патенте США № 9 560 699, патентной заявке США № 20170118807A1, патентной заявке США № 20120305808A1, патентной заявке США № 20110189056 и патентной заявке США № 20100126987. Родственная конструкция показана на Фиг. 5В документа US 20120305808A1. Родственная конструкция представляет собой многорежимную камеру с загруженным сосудом, расположенным внутри многорежимной камеры. Три многоугольные микрополосковые антенны расположены на куполе или верхней части камеры довольно далеко от сосуда, а кратчайшее расстояние от любой антенны до сосуда превышает длину волны в свободном пространстве, то есть примерно 12 сантиметров при частоте примерно 2,45 ГГц. Между сосудом и стенками/куполом камеры имеется достаточное пространство и

отсутствие препятствий для свободного распространения СВЧ-волн и их отражения/преломления от одной антенны к другой. Антенны настроены таким образом, чтобы они были квазинезависимыми при наличии небольшой загрузки, такой как 1 литр воды, и в основном излучали волны в сторону указанной небольшой загрузки для нагрева; однако такая настройка антенн может стать более сложной в случае необходимости нагрева большей загрузки из-за значительного перенаправления волн от одной антенны к другой. Конструкция по Фиг. 5В в US 20120305808A1 может не позволять независимую работу генераторов (каждая антенна питается от соответствующего генератора) и может не поддерживать независимое управление генераторами в отношении передачи мощности на загрузку реактора. Конструкция с шестью антеннами может иметь те же ограничения, что описаны выше, и быть более сложной в поддержании настройки и обеспечении достаточной производительности при использовании большой загрузки.

[0017] Таким образом, когда загрузка представляет собой небольшую часть многорежимной камеры и питается (или снабжается энергией) от множества генераторов, а перенаправление волн с одной антенны на другую не предотвращено, то пакетная конструкция может иметь достижимый объем не более 10-20 л при частоте 2,45 ГГц. В такой многорежимной конструкции без предотвращения взаимосвязи множества антенн равномерная обработка большего объема (более 20 л) СВЧ-излучением практически недостижима. Этот предел подтвержден тем фактом, что самый большой имеющийся в продаже реактор MAOS имеет максимальный рабочий объем 20 л и может работать при высоких температурах при давлении близком к атмосферному до 1,5 бар (см. *Реактор Labotron 2020: 20 л, мощность непрерывной волны 6 кВт с частотой 2,45 ГГц. www.SAIREM.com*).

[0018] Промышленное использование СВЧ-реакторов в химических областях, не связанных с фармацевтикой, включает такие варианты применения, как пищевая промышленность, производство биотоплива, производство полимеров и композитов, спекание керамики, синтез наноматериалов и плазмохимическая обработка различных материалов, включающих полупроводники для оптоэлектроники и компьютерных аппаратных средств. Пищевая промышленность не требует никаких химических веществ - обычно требуется лишь умеренное нагревание. Кроме того, не учитывается высокое давление. Таким образом, эти простые условия обработки значительно отличаются от сложных требований, необходимых для обработки посредством MAOS, ориентированной на фармацевтику.

[0019] Для передачи СВЧ-излучения в объем соответствующие подходы направлены на эффективную передачу энергии СВЧ-излучения с минимальным влиянием обратных волн на устройство, осуществляющее передачу энергии. Такие устройства, помимо прочего, можно назвать "антеннами", "излучателями" и "излучающими апертурами". Теория антенн предполагает рассмотрение волн достаточно далеко от антенны на расстояниях по меньшей мере в десять раз превышающих длину волны излучения. Однако в типичных СВЧ-реакторах их размеры не так сильно превышают вышеупомянутые длины волн. Указанные антенные устройства кратко описаны в настоящем документе.

[0020] Открытый конец полого волновода или открытый конец коаксиальной линии передачи являются простейшими известными устройствами для передачи энергии СВЧ-излучения в интересующий объем. Будучи достаточно простыми, они, как правило, не обеспечивают

согласования генератора СВЧ-излучения с нагрузкой и малоэффективны. Что еще более важно, они не предотвращают отражение волн обратно к генератору. Две такие простые антенны с открытыми концами, работающие одновременно в одном пространстве, будут испытывать влияние интерференции волн и приведут к взаимосвязи генераторов, возбуждающих СВЧ-излучение в указанных антеннах. Указанные генераторы будут вредить друг другу, а энергия СВЧ-излучения будет не только подаваться на нагрузку, но и в значительной мере рассеиваться в генераторах с взаимосвязью. Такая работа не позволяет арифметически суммировать мощности генераторов, и управление подачей энергии является проблематичным.

[0021] Например, в патенте США № 4460814, имеющем один генератор, было предложено помещать коаксиальную антенну с открытым концом непосредственно в большой кусок мяса для его обработки, при этом указанный кусок и указанная антенна расположены внутри микроволновой печи. Например, в патенте США № 4795871 описано от 2 до 6 полых волноводов с открытым концом, направляющих излучение от 2-6 генераторов через прямоугольные окна в стенках СВЧ-камеры в ее полость для обработки предмета внутри указанной полости, при этом предполагалось, что перекрестная поляризация предположительно линейно поляризованных волн предотвратит взаимосвязь генераторов. В СВЧ-печах и СВЧ-реакторах можно использовать диэлектрическое окно, дипольную антенну, спиральную антенну, рупорную антенну, многоугольную микрополосковую антенну, волноводно-щелевую антенну и другие типы антенн. Кроме того, предлагаемые антенны могут быть изготовлены из различных типов материалов, включающих диэлектрический материал, металл или их комбинацию. Предполагалась перекрестная поляризация одновременно

излучающих антенн (преимущественно линейно поляризованных) с использованием до шести одновременно излучающих антенн, и ожидалось, что эта перекрестная поляризация предотвратит взаимосвязь генераторов. Немного отличающиеся перекрестно поляризованные антенны можно назвать "точками подачи СВЧ-излучения", как в патентной заявке США № US20030089707A1.

[0022] Во избежание перекрестных помех между антеннами в патентной заявке США № US20060191926A1 предложено использовать временное разделение между излучением первой антенны и второй антенны. Когда первая антенна излучает СВЧ-волны, вторая не работает, и наоборот. Временное разделение работы каждой антенны может решить проблему взаимосвязи. Однако указанное временное разделение не позволяет одновременно комбинировать большие мощности множества генераторов и, следовательно, имеет существенный недостаток ввиду необходимости обеспечения быстрого нагрева большой загрузки, что желательно для масштабируемого реактора на основе MAOS. Таким образом, требуется устройство для крупномасштабных химических процессов, использующее энергию СВЧ-излучения и при этом устраняющее проблемы взаимосвязи между антеннами (или аппликаторами).

[0023] Аспекты раскрытия изобретения могут обеспечить устранение некоторых из вышеописанных недостатков в данной области техники, в частности, с решениями, изложенными в формуле изобретения.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0024] Раскрытие настоящего изобретения относится к способам и устройствам для обработки больших загрузок при помощи СВЧ-излучения. Для обработки большой загрузки способы и устройства используют пространственное разделение для решения проблемы электромагнитной взаимосвязи и рассматривают загрузку как часть решения при обеспечении достаточного пространственного разделения. Предложено использовать множество аппликаторов СВЧ-излучения, каждый из которых занимает отдельное подпространство, причем подпространства не перекрываются. Каждый аппликатор соединен с загрузкой независимо от других. Поглощение СВЧ-излучения загрузкой делает эту загрузку частью разделительного средства, когда размер загрузки превышает глубину проникновения СВЧ-излучения. За исключением границы подпространства аппликатора, выровненной по загрузке, все остальные границы непрозрачны для СВЧ-волн без поглощения СВЧ-излучения этого аппликатора. Такое пространственное разделение позволяет как использовать множество аппликаторов без их взаимосвязи, так и арифметически суммировать мощности множества генераторов СВЧ-излучения без помех. Следовательно, общая передаваемая мощность может быть высокой и может быстро нагреть загрузку большого объема до высокой температуры.

[0025] Настоящее раскрытие дополнительно относится к обеспечению обработки СВЧ-излучением под высоким давлением. Еще одним аспектом изобретения является использование пространственного разделения для обеспечения обработки под высоким давлением. Загрузка помещена внутрь сосуда, а сосуд находится внутри камеры компенсации давления. Сосуд находится под давлением, камера находится под давлением, а перепад давления между сосудом и камерой может быть таким, что давление внутри сосуда может быть значительно

высоким для обработки. Партия разового изготовления может иметь достаточно большую емкость для соответствия требованиям фармацевтического производства, когда описанный способ применяется к конструкции СВЧ-реакторов, которые могут обрабатывать интересующие вещества в условиях высоких давлений и высоких температур.

[0026] Настоящее раскрытие дополнительно относится к устройству для проведения крупносерийных химических реакций с использованием энергии СВЧ-излучения, включающему в себя камеру, ограниченную наружной стенкой; сосуд, расположенный внутри камеры, причем сосуд ограничен внутренней стенкой, и внутренняя стенка отделена от наружной стенки зазором, при этом сосуд выполнен с возможностью приема и удержания загрузки; а также первый аппликатор и второй аппликатор, выполненные с возможностью подачи энергии СВЧ-излучения на загрузку, причем точки, в которых энергия СВЧ-излучения, испускаемая первым аппликатором и вторым аппликатором, поступает в загрузку, разнесены друг от друга на расстояние, превышающее глубину проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку, таким образом, чтобы между первым аппликатором и вторым аппликатором не возникало электромагнитной взаимосвязи при испускании энергии СВЧ-излучения.

[0027] Настоящее раскрытие дополнительно относится к способу обработки материала посредством применения энергии СВЧ-излучения, включающему в себя подачу загрузки, содержащей материал, в сосуд, расположенный внутри камеры; и приложение энергии СВЧ-излучения к загрузке в сосуде посредством первого аппликатора и второго аппликатора, выполненных с возможностью подачи энергии СВЧ-

излучения на загрузку, причем точки, в которых энергия СВЧ-излучения, испускаемая первым аппликатором и вторым аппликатором, поступает в загрузку, разнесены друг от друга на расстояние, превышающее глубину проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку, таким образом, чтобы между первым аппликатором и вторым аппликатором не возникало электромагнитной взаимосвязи при испускании энергии СВЧ-излучения.

[0028] Следует отметить, что в данном разделе "Сущность изобретения" не указаны все признаки и/или новые аспекты настоящего раскрытия или заявленного изобретения. Вместо этого в данном разделе представлено только предварительное описание различных вариантов осуществления и соответствующих элементов новизны. Для получения информации о дополнительных подробностях и/или возможных перспективах вариантов осуществления следует обратиться к разделу "Осуществление изобретения" и соответствующим фигурам настоящего раскрытия, как дополнительно описано ниже.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0029] Далее подробно описаны различные варианты осуществления настоящего раскрытия, предложенные в качестве примеров, со ссылками на нижеследующие чертежи, на которых:

[0030] На ФИГ. 1 изображена проекция дна сосуда с геометрической сеткой квадратов в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0031] На ФИГ. 2 изображена проекция плавающей пластины с геометрической сеткой квадратов в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0032] На ФИГ. 3 схематически изображено устройство 100, имеющее горизонтальную компоновку, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0033] На ФИГ. 4А-4С схематически изображено устройство 100 для осуществления серийных химических реакций с использованием энергии СВЧ-излучения в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0034] На ФИГ. 5 схематически изображено устройство 100 удлиненной формы в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0035] На ФИГ. 6 схематически изображена конфигурация замкнутого контура устройства 100 в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0036] На ФИГ. 7А схематически изображена конструкция аппликатора в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0037] На ФИГ. 7В схематически изображены оптимизированные размеры для конструкции аппликатора в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0038] На ФИГ. 7С изображен график зависимости коэффициента отражения мощности от рабочей частоты в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0039] На ФИГ. 8А схематически изображена компоновка и оптимальные размеры аппликатора с согласующим волноводом в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0040] На ФИГ. 8В изображен график зависимости коэффициента отражения от частоты для различных значений длины согласующего участка в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0041] На ФИГ. 9А схематически изображена модель двух рупорных аппликаторов, прикрепленных к цилиндрическому сосуду с водой на угловом расстоянии 23° между ними, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0042] На ФИГ. 9В схематически изображена модель двух рупорных аппликаторов, прикрепленных к цилиндрическому сосуду с водой на угловом расстоянии 180° между ними, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0043] На ФИГ. 9С изображен график частотной зависимости для двух аппликаторов по ФИГ. 9А в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0044] На ФИГ. 9D изображен график частотной зависимости для двух аппликаторов по ФИГ. 9B в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0045] На ФИГ. 10A схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов, расположенных рядом друг с другом, в случае осуществления излучения одним рупорным аппликатором в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0046] На ФИГ. 10B схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов, расположенных напротив друг друга, в случае осуществления излучения одним рупорным аппликатором в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0047] На ФИГ. 11A схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов, расположенных рядом друг с другом, в случае осуществления излучения обоими рупорными аппликаторами в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0048] На ФИГ. 11B схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов, расположенных напротив друг друга, в случае осуществления излучения обоими рупорными аппликаторами в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0049] На ФИГ. 12А схематически изображены оптимальные размеры аппликатора для свойств воды при 130 °С в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0050] На ФИГ. 12В изображен график частотной зависимости для аппликатора по ФИГ. 12А в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0051] На ФИГ. 13А изображен график зависимости коэффициента отражения двух аппликаторов, прикрепленных рядом друг с другом (сплошная линия) и напротив друг друга (пунктирная линия), от свойств воды при разных температурах в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0052] На ФИГ. 13В изображен график зависимости коэффициента пропускания двух аппликаторов, прикрепленных рядом друг с другом (сплошная линия) и напротив друг друга (пунктирная линия), от свойств воды при разных температурах в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0053] На ФИГ. 14А схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов, расположенных рядом друг с другом, в случае осуществления излучения одним рупорным аппликатором в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0054] На ФИГ. 14В схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных

аппликаторов, расположенных напротив друг друга, в случае осуществления излучения одним рупорным аппликатором в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0055] На ФИГ. 15А схематически изображен аппликатор, обладающий повышенной жесткостью конструкции за счет заполнения диэлектриком, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0056] На ФИГ. 15В схематически изображен аппликатор, обладающий повышенной жесткостью конструкции за счет заполнения диэлектриком на отдельных участках, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0057] На ФИГ. 15С изображен график сравнения зависимости коэффициента отражения от частоты в аппликаторе, заполненном диэлектриком, и в аппликаторе с толстым окном в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0058] На ФИГ. 16А схематически изображена модель распределения комплексного электрического поля в заполненных диэлектриком аппликаторах при 10 кВт входной мощности в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0059] На ФИГ. 16В схематически изображена модель распределения комплексного электрического поля в аппликаторах с толстой линзой при 10 кВт входной мощности в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0060] На ФИГ. 17 изображен график частотной зависимости отражений в аппликаторе с толстой линзой для различных значений диэлектрической проницаемости оксида алюминия в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[0061] На ФИГ. 18 изображен график зависимости радиочастотных потерь в диэлектрической линзе от тангенса угла диэлектрических потерь оксида алюминия в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0062] Нижеследующее раскрытие обеспечивает множество различных вариантов или примеров для реализации различных признаков предложенного изобретения. Конкретные примеры элементов и компоновок описаны ниже для иллюстрации настоящего раскрытия. Это, конечно, лишь примеры, и они не являются ограничивающими или неработоспособными в какой-либо комбинации. Если не указано иное, признаки и варианты осуществления, описанные в настоящем документе, являются работоспособными в любой комбинации. Например, формирование первого элемента над вторым элементом или на нем в последующем описании может включать варианты осуществления, в которых первый и второй элементы выполнены в непосредственном контакте, а также может включать варианты осуществления, в которых между первым и вторым элементами могут быть сформированы дополнительные элементы, так что первый и второй элементы могут не находиться в непосредственном контакте. Кроме того, в настоящем раскрытии ссылочные цифры и/или буквы могут

повторяться в различных примерах. Это повторение предназначено для простоты и ясности и само по себе не диктует связь между различными вариантами осуществления и/или обсуждаемыми конфигурациями.

Кроме того, в настоящем документе могут быть использованы пространственно относительные термины, такие как "верхняя часть", "нижняя часть", "под", "ниже", "нижний", "над", "верхний" и т.п., для простоты описания отношения одного элемента или признака к другому элементу(-ам) или признаку(-ям), как показано на фигурах.

Пространственно относительные термины охватывают различные ориентации устройства при использовании или эксплуатации в дополнение к ориентации, изображенной на фигурах. Разработанные устройства могут быть ориентированы иным образом (повернуты на 90 градусов или иметь другую ориентацию), и используемые в настоящем документе пространственные относительные характеристики также могут быть интерпретированы соответствующим образом.

[0063] Порядок обсуждения различных этапов, описанных в настоящем документе, представлен для ясности. В целом, эти этапы могут быть выполнены в любом подходящем порядке. Кроме того, хотя каждый из различных признаков, методов, конфигураций и т.д. в настоящем документе может обсуждаться в разных местах этого раскрытия, предполагается, что каждая из концепций может быть реализована независимо друг от друга или в сочетании друг с другом. Соответственно, настоящее раскрытие может быть реализовано и рассмотрено многими различными способами.

[0064] Как описано ранее, временное разделение работы множества антенн может решить проблему взаимосвязи. Однако указанное временное разделение может не обеспечивать возможность

одновременного комбинирования большой мощности множества генераторов и, следовательно, может иметь существенный недостаток ввиду необходимости обеспечения быстрого нагрева большой загрузки, что желательно для масштабируемого реактора на основе органического синтеза при помощи СВЧ-излучения (MAOS). Таким образом, в настоящем документе описано устройство, включающее в себя пространственное разделение для решения проблемы взаимосвязи, которое дополнительно рассматривает большую загрузку как часть решения по обеспечению пространственного разделения.

[0065] В одном варианте осуществления устройство 100 может содержать камеру, сосуд, расположенный внутри камеры, и более одного аппликатора 111 СВЧ-излучения (далее именуемого "аппликатор 111", см. ФИГ. 1), причем каждый аппликатор 111 занимает отдельное подпространство устройства 100, при этом подпространства не перекрываются. Иными словами, сосуд может быть ограничен внутренней стенкой 180 (см. ФИГ. 1, показывающую проекцию внутренней стенки 180 в разрезе на сетку, причем наружная стенка, образующая камеру, окружающую внутреннюю стенку 180, не показана), которая отделяет внутреннюю часть устройства (сосуда) от наружной части, окружающей сосуд (камеру), ограниченной наружной стенкой. Зазор между внутренней стенкой и наружной стенкой может ограничивать часть подпространства. Сосуд и камера вместе могут представлять собой то, что можно назвать химическим реактором устройства 100. Аппликаторы 111 могут быть разделены пространственным разделением (т.е. расположены на заданном расстоянии друг от друга и/или ограничены посредством электромагнитного экранирования). Каждый аппликатор 111 может быть соединен с генератором 113 СВЧ-излучения (см. ФИГ. 4) и прикреплен к

загрузке, расположенной в сосуде, независимо от других аппликаторов. Загрузка может представлять собой реакционную среду на основе жидкости, и эта среда может по меньшей мере частично поглощать энергию СВЧ-излучения. Генератор 113 СВЧ-излучения может быть выполнен с возможностью генерирования энергии СВЧ-излучения, испускаемой соответствующим аппликатором 111, прикрепленным к генератору 113 СВЧ-излучения. Устройство может содержать окно прозрачности в СВЧ-диапазоне для каждого аппликатора 111, причем окно прозрачности в СВЧ-диапазоне прозрачно для энергии СВЧ-излучения и может быть выполнено с возможностью пропускания СВЧ-излучения, испускаемого соответствующим аппликатором 111, в сосуд. Следует понимать, что аппликаторы 111 также могут быть расположены вдоль внутренней стенки (т.е. сосуда), а окна прозрачности в СВЧ-диапазоне могут быть выполнены как часть внутренней стенки. Следует понимать, что аппликаторы 111 также могут быть расположены вдоль дна сосуда, а окна прозрачности в СВЧ-диапазоне могут быть выполнены как часть дна сосуда (см. ФИГ. 1).

[0066] В варианте осуществления аппликаторы 111 или части аппликаторов 111, расположенные за пределами камеры, могут быть ограничены одной или более границами, такими как экран защиты от СВЧ-излучения или материалы, отражающие СВЧ-излучение.

[0067] В варианте осуществления поглощение СВЧ-излучения, испускаемого аппликаторами 111, в загрузке может сделать загрузку полезной для предотвращения проблем взаимосвязи за счет обеспечения разделения, когда размер загрузки больше, чем глубина проникновения испускаемого СВЧ-излучения. За исключением граничной области подпространства, выровненной по загрузке для каждого из аппликаторов

111, все остальные границы могут быть непрозрачными для СВЧ-излучения и могут не поглощать СВЧ-излучение соответствующего аппликатора 111. Таким образом, пространственное разделение обеспечивает возможность использования нескольких аппликаторов 111 без проблем взаимосвязи и обеспечивает возможность арифметического суммирования мощности от множества генераторов 113 СВЧ-излучения без помех. Следовательно, эта общая передаваемая мощность может быть высокой и может равномерно и быстро нагреть загрузку большого объема до требуемой температуры.

[0068] В варианте осуществления устройство может содержать смесительное устройство для равномерного перемешивания загрузки в процессе реакции. Например, смесительное устройство может представлять собой, среди прочего, мешалку с магнитной связью, насос или рабочее колесо с механическим приводом.

[0069] В варианте осуществления зазор между сосудом и наружной стенкой камеры может способствовать обработке под высоким давлением. Загрузка может быть помещена внутрь сосуда, который, в свою очередь, расположен внутри более прочной и усиленной камеры. И сосуд, и камера могут находиться под давлением, и перепад давления между сосудом и камерой может быть меньше, чем давление внутри сосуда, в то время как давление внутри сосуда может быть значительно высоким для обработки.

[0070] В варианте осуществления применение СВЧ-излучения осуществляется посредством направленных плосковолновых колебаний во избежание механизмов полостного резонанса от взаимосвязи аппликаторов 111.

[0071] В варианте осуществления электрические размеры сосуда могут быть больше длины волны испускаемого СВЧ-излучения в среде загрузки, и резонансные колебания в сосуде не возбуждаются (или их амплитуды пренебрежимо малы). Такой режим работы, помимо пространственного разделения, помогает обеспечить отсутствие взаимосвязи при использовании большого количества аппликаторов 111.

[0072] В варианте осуществления между наружной поверхностью сосуда и внутренней поверхностью камеры может быть расположено множество отдельных подпространств для соответствующих аппликаторов 111 без необходимости герметизации одного подпространства от другого. Аппликаторы 111 могут включать в себя электромагнитное экранирование. Экранирование каждого аппликатора 111 от любых других аппликаторов может быть достаточным для работы без взаимосвязи, и газовая среда может проходить из подпространства одного аппликатора в подпространство других. Граница между подпространствами может быть выполнена в виде металлической дифракционной решетки, или металлической пластины с отверстиями, или любой другой формы, обеспечивающей возможность прохождения газа или пара, но в достаточной степени предотвращающей взаимосвязь СВЧ-излучения.

[0073] В варианте осуществления аппликатор может подавать энергию СВЧ-излучения на загрузку. В описанных в настоящем документе реакторах на основе MAOS рассматривается независимая работа аппликаторов 111, каждый из которых получает энергию СВЧ-излучения от отдельного соответствующего генератора СВЧ-излучения. В целом, в настоящем документе описано следующее: 1) аппликатор 111

может быть размещен в зазоре между наружной стенкой, образующей камеру, и внутренней стенкой, образующей сосуд (также называемом объемом компенсации давления); 2) аппликатор 111 принимает энергию СВЧ-излучения от генератора 113, расположенного за пределами камеры; и 3) от аппликатора 111 энергию СВЧ-излучения передают внутрь сосуда. Следует отметить, что аппликатор 111 может содержать одно или несколько устройств и компонентов, описанных выше (например, любую из описанных эталонных антенн, волноводных компонентов и т.д.), в исходной или модифицированной форме при условии соблюдения принципа пространственного разделения в конструкции требуемого реактора для MAOS больших объемов обработки.

[0074] В варианте осуществления два или более внешних генераторов могут подавать энергию СВЧ-излучения в одно подпространство, и через одно окно прозрачности в СВЧ-диапазоне во внутренней стенке сосуда вся эта энергия направляется на загрузку. Аппликатор 111 может включать в себя антенну, излучатель, ответвитель и другие элементы, известные специалисту в данной области техники. Две или более перекрестно поляризованных антенн могут быть включены в подпространство одного из аппликаторов 111.

[0075] В варианте осуществления каждый аппликатор 111 расположен в отдельном индивидуальном кожухе, прикрепленном к сосуду. Кожухи могут быть, например, выполнены из металла или другого материала с аналогичными свойствами. Кожухи, каждый из которых включает в себя соответствующий аппликатор 111, могут окружать сосуд. В варианте осуществления внутри камеры может быть расположено герметичное уплотнение каждого из кожухов. В варианте

осуществления герметичное уплотнение не требуется, и поток газа может циркулировать через множество кожухов.

[0076] В варианте осуществления аппликатор 111 вместе с генератором 113 СВЧ-излучения может быть расположен в кожухе внутри камеры, а электрическое питание генератора 113 СВЧ-излучения может подаваться либо от батареи, включенной в тот же кожух, либо от внешнего источника питания.

[0077] В варианте осуществления аппликатор 111 и генератор 113 СВЧ-излучения вместе могут быть расположены в герметичном корпусе, расположенном в среде (т.е. загрузке) внутри сосуда, при этом дистанционное управление аппликатором 111 может быть осуществлено посредством беспроводной связи или проводного соединения, подходящего для агрессивной окружающей среды в сосуде.

[0078] В варианте осуществления внутренняя стенка, образующая сосуд, может иметь различные формы. Например, форма представляет собой вертикальный цилиндр с плоским дном и полусферической верхней частью, расположенный внутри камеры аналогичной формы. Например, форма сосуда представляет собой горизонтальный цилиндр, расположенный внутри камеры, имеющей аналогичную горизонтальную цилиндрическую форму и ориентацию. Объем загрузки в сосуде можно считать емкостью партии разового изготовления с точки зрения требований фармацевтического производства. Например, объем загрузки в сосуде равен или больше 40 л, либо равен или больше 50 л, либо равен или больше 60 л, либо равен или больше 75 л, либо равен или больше 90 л, либо равен или больше 100 л.

[0079] В варианте осуществления может быть организована и использована для обработки последовательность из множества горизонтальных камер с расположенными в них горизонтальными цилиндрическими сосудами. Последовательность образует замкнутый контур, и жидкая среда может многократно циркулировать по этому контуру во время обработки. В замкнутом контуре сумма загруженных объемов во всех сосудах в контуре может рассматриваться как емкость партии разового изготовления с точки зрения требований фармацевтического производства. Например, объем загрузки в сосуде равен или больше 40 л, либо равен или больше 50 л, либо равен или больше 60 л, либо равен или больше 75 л, либо равен или больше 90 л, либо равен или больше 100 л.

[0080] В варианте осуществления пространственное распределение энергии СВЧ-излучения от множества аппликаторов вместе со смешиванием, перемешиванием или гомогенизацией может обеспечивать однородную обработку загруженных сред и приводить к повышению эффективности и более высокому выходу. В варианте осуществления, таком как последовательность с замкнутым контуром, поток магнитных частиц может обеспечивать смешивание. В варианте осуществления смешивание, перемешивание или гомогенизация могут быть обеспечены посредством использования акустики/ультразвука/кавитации. Равномерное распределение энергии СВЧ-излучения от множества аппликаторов вместе со смешиванием, перемешиванием или гомогенизацией может обеспечивать однородную обработку загруженных сред и приводить к повышению эффективности и более высокому выходу.

[0081] ПРИМЕРЫ

[0082] Пример 1 - На ФИГ. 1 изображена проекция дна сосуда с геометрической сеткой квадратов в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления внутренняя стенка, образующая сосуд, может иметь вертикальную цилиндрическую форму с плоским дном и полусферической верхней частью, противоположной плоскому дну. Сосуд может быть расположен внутри камеры, имеющей вертикальную цилиндрическую форму. Устройство 100 может включать в себя горизонтальные перекладины для поддержки сосуда; дно сосуда может быть расположено над полом камеры и не соприкасаться с полом. Кожухи, в каждом из которых расположен соответствующий аппликатор 111, могут быть расположены под сосудом. Каждый из аппликаторов 111 в соответствующем кожухе может работать на сверхвысокой частоте приблизительно 2,45 ГГц. Другой аппликатор 111, работающий на частоте 915 МГц, может быть расположен близко к верхней части сосуда и выровнен с ней.

[0083] В Примере 1 радиус "r" внутренней окружности дна сосуда равен 4,25 дм (дециметра), а площадь "a" круга, ограниченного внутренней окружностью, равна 56,7 кв. дм (квадратных дециметров). "Н" - это высота среды (т.е. загрузки), загруженной в сосуд. Среда может представлять собой суспензию или жидкость. Объем "V" загрузки равен произведению а на Н, что дает 70 л для высоты Н 1,25 дм и 100 л для высоты Н 1,75 дм.

[0084] Здесь определяется мощность СВЧ-излучения, которая может быть подана на загрузку со стороны дна сосуда. В свободном пространстве половина длины волны СВЧ-излучения аппликаторов 111, расположенных на дне сосуда, составляет 6,1 см. Как показано на геометрической проекции ФИГ. 1 сетки квадратов (со стороной 6,1 см) на внутренней окружности, внутри внутренней окружности радиусом 4,25 дм находятся 120 узлов; каждый узел может подходить для одного из аппликаторов 111. Каждый узел считается подходящим для размещения одного из аппликаторов 111 СВЧ-излучения с частотой 2,45 ГГц. Следовательно, до 120 аппликаторов 111 могут быть выровнены по дну сосуда таким образом, чтобы они работали без взаимосвязи. Если каждый аппликатор 111 имеет мощность 0,3 кВт, то общая мощность всех аппликаторов 111 составляет $P=120 \times 0,3=36$ кВт. Аппликатор 111 такой мощности может быть выполнен со встроенным твердотельным генератором СВЧ-излучения внутри кожуха. В альтернативном варианте питающий генератор 113 СВЧ-излучения может быть размещен за пределами камеры и соединен с кожухом посредством кабельного соединения.

[0085] Для аппликаторов 111, расположенных близко к верхней части сосуда, может быть использована частота 915 МГц с генераторами большой мощности до 120 кВт постоянной мощности. Для Примера 1 мощность аппликаторов 111 составляла 50 кВт. Таким образом, общая мощность СВЧ-излучения в системе Примера 1 равна 36 кВт + 50 кВт = 86 кВт. Удельная мощность СВЧ-излучения равна $86 \text{ кВт}/70 \text{ л} = 1,23 \text{ кВт/л}$ для загрузки высотой 1,25 дм или $86 \text{ кВт}/100 \text{ л} = 0,86 \text{ кВт/л}$ для загрузки высотой 1,75 дм.

[0086] Пример 2 - В варианте осуществления, аналогичном Примеру 1, внутренняя стенка, образующая сосуд, может иметь цилиндрическую форму с плоским дном и полусферической верхней частью, противоположной плоскому дну. Сосуд может быть расположен внутри камеры, имеющей вертикальную цилиндрическую форму. Устройство 100 по данному варианту осуществления может не включать в себя горизонтальные перекладины для поддержки сосуда, и вместо этого дно сосуда может быть расположено на полу камеры. Иными словами, дно сосуда контактирует с полом камеры. Кожухи, в каждом из которых расположен соответствующий аппликатор 111, могут быть расположены под сосудом. Каждый из аппликаторов 111 в соответствующем кожухе может работать на сверхвысокой частоте приблизительно 2,45 ГГц. Другой аппликатор 111, работающий на частоте 915 МГц, может быть расположен близко к верхней части сосуда и выровнен с ней. Следовательно, до 24 аппликаторов 111 могут быть выровнены по плавающей пластине таким образом, что аппликаторы 111 могут работать без взаимосвязи.

[0087] Пример 3 - На ФИГ. 2 изображена проекция плавающей пластины с геометрической сеткой квадратов в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления, аналогичном Примеру 1, внутренняя стенка, образующая сосуд, может иметь вертикальную цилиндрическую форму с плоским дном и полусферической верхней частью, противоположной плоскому дну. Сосуд может быть расположен внутри камеры, имеющей вертикальную цилиндрическую форму. Сосуд может быть расположен на полу камеры аналогично Примеру 2, и геометрические размеры сосуда и загрузки аналогичны Примеру 1 и Примеру 2. 120 аппликаторов 111,

каждый из которых имеет мощность 0,3 кВт при частоте 2,45 ГГц, могут подавать общую мощность 36 кВт в направлении от дна сосуда.

[0088] В данном случае устройство 100 может включать в себя пластину, плавающую на поверхности загрузки в сосуде, причем загрузка может находиться в жидком состоянии. Пластина может иметь диаметр 75 см, и аппликаторы 111 СВЧ-излучения, работающие на частоте 915 МГц (аналогичные расположенным ближе к верхней части в Примере 1 и Примере 2), могут быть расположены на пластине, причем каждый аппликатор 111 размещен в соответствующем кожухе.

[0089] Здесь определяется мощность СВЧ-излучения, которая может быть подана на загрузку с плавающей пластины. В свободном пространстве половина длины волны СВЧ-излучения для аппликаторов 111, расположенных близко к пластине, составляет приблизительно 15 см. Как показано на геометрической проекции ФИГ. 2 сетки квадратов (со стороной 15 см), внутри окружности диаметром 75 см находятся 24 узла. Каждый узел считается подходящим для размещения одного аппликатора 111 СВЧ-излучения с частотой 915 МГц. Следовательно, до 24 аппликаторов 111 могут быть выровнены по дну сосуда таким образом, чтобы они работали без взаимосвязи. Если каждый аппликатор 111 имеет мощность 0,3 кВт, то общая мощность всех аппликаторов 111, расположенных близко к плавающей пластине, составляет 24 кВт. Аппликатор 111 такой мощности может быть выполнен со встроенным твердотельным генератором СВЧ-излучения внутри кожуха. В альтернативном варианте питающий генератор 113 СВЧ-излучения может быть размещен за пределами камеры и соединен с кожухом посредством кабельного соединения.

[0090] Общая мощность СВЧ-излучения в системе Примера 3 равна $36 \text{ кВт} + 24 \text{ кВт} = 60 \text{ кВт}$. Удельная мощность СВЧ-излучения равна $60 \text{ кВт}/70 \text{ л} = 0,86 \text{ кВт/л}$ для загрузки высотой 1,25 дм или $60 \text{ кВт}/100 \text{ л} = 0,60 \text{ кВт/л}$ для загрузки высотой 1,75 дм.

[0091] Пример 4 - В варианте осуществления, аналогичном Примеру 1, внутренняя стенка, образующая сосуд, может иметь вертикальную цилиндрическую форму с плоским дном и полусферической верхней частью, противоположной плоскому дну. Сосуд может быть расположен внутри камеры, имеющей вертикальную цилиндрическую форму. Устройство 100 может включать в себя горизонтальные перекладины для поддержки сосуда; дно сосуда может быть расположено над полом камеры и не соприкасаться с полом. Геометрические размеры сосуда и загрузка аналогичны Примеру 1, Примеру 2 и Примеру 3.

[0092] 120 аппликаторов 111, каждый из которых имеет мощность 0,3 кВт при частоте 2,45 ГГц, могут подавать общую мощность 36 кВт в направлении от дна сосуда. В данном примере одиночный аппликатор 111 мощностью 50 кВт на частоте 915 МГц подает мощность СВЧ-излучения на загрузку из верхней части сосуда. Кроме СВЧ-излучения в обработке жидкой загрузки в сосуде участвует ультразвук. Ультразвуковой генератор (по меньшей мере один ультразвуковой генератор) может быть расположен на цилиндрической стенке, образующей сосуд, и направлен на загрузку. В Примере 4 акустические волны от ультразвукового генератора изначально распространяются в горизонтальном направлении, в то время как волны СВЧ-излучения как от верхнего, так и от нижнего аппликаторов 111 изначально распространяются в вертикальном направлении (когда устройство 100

выровнено вертикально вдоль направления вертикальной цилиндрической формы). Таким образом, ультразвуковой генератор может быть расположен на высоте от 3 до 6 см от дна сосуда.

[0093] Пример 5 - На ФИГ. 3 схематически изображено устройство 100, имеющее горизонтальную компоновку, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления внутренняя стенка, образующая сосуд, может иметь горизонтальную цилиндрическую форму с плоским первым концом. Второй конец, противоположный плоскому первому концу, может также быть плоским или иметь полусферическую форму. Сосуд может быть расположен внутри камеры, имеющей аналогичную горизонтальную цилиндрическую форму. Как показано, аппликаторы 111 могут быть расположены внутри горизонтальной цилиндрической камеры и на стенке цилиндрического сосуда. На этой стенке каждый аппликатор 111 занимает площадь в пределах небольшого квадрата, длина стороны которого приблизительно равна половине длины волны. Количество аппликаторов 111 на длину сосуда может быть прямо пропорционально длине сосуда (причем длина аналогична высоте в предыдущих примерах).

[0094] В варианте осуществления, когда внутренний диаметр сосуда равен двум длинам волны, и каждый аппликатор 111 имеет мощность P , удельная мощность СВЧ-излучения в объеме сосуда может быть равна $8P$, поделенным на длину волны в кубе. Для оценки можно предположить, что каждый аппликатор 111 вырабатывает 0,3 кВт при частоте 2,45 ГГц или 1 кВт при частоте 915 МГц. Теперь при вышеописанных допущениях по мощности и геометрической конфигурации можно определить масштаб реактора для обработки

объема жидкой загрузки величиной 100 л и 1000 л: когда $\ell = 22$ дм и 2,45 ГГц объем составляет 100 л с 12 аппликаторами 111 вдоль круглого сечения. По длине сосуда могут быть расположены $2(\ell / f)$ аппликаторов 111. Тогда общее число N может быть $24 \cdot (22/1,2) = 440$. Объем сосуда может быть равен 1000 л для длины ℓ цилиндра 35 дм при частоте 915 МГц или 220 дм при частоте 2,45 ГГц. Ультразвуковые генераторы могут быть расположены на плоских концах и использоваться для смешивания и добавления энергии. Для сосуда объемом 1000 л количество аппликаторов СВЧ-излучения может составлять 280 при частоте 915 МГц или 4400 при частоте 2,45 ГГц. Реактор с замкнутым контуром объемом 1000 л может представлять собой тороид радиусом 0,55 м при частоте 915 МГц или 3,35 м при частоте 2,45 ГГц. Круговой поток магнитных частиц может быть использован для смешивания, перемешивания или гомогенизации загрузки.

[0095] Пример 6 - В варианте осуществления, как и в Примере 5, объем сосуда может составлять 100 л с 440 аппликаторами 111, вырабатывающими 0,3 кВт на частоте 2,45 ГГц. В дополнение к расположенным на стенке сосуда аппликаторам 111, внутренние аппликаторы 111 (с частотой 915 МГц) могут подавать излучение изнутри сосуда. Вдоль оси сосуда могут быть расположены, например, 4 внутренних аппликатора 111 на метр или всего 9 аппликаторов 111 на полные 22 дм длины.

[0096] Пример 7 - как описано ранее, в устройстве 100 для проведения серийных химических реакций используют СВЧ-энергию (СВЧ-излучение). Устройство 100 может включать в себя химический реактор (также известный как сосуд). Сосуд может быть ограничен внутренней стенкой, которая отделяет внутреннюю часть реактора от

окружающей его камеры, ограниченной наружной стенкой. Для проведения серийных химических реакций реакционная среда (т.е. загрузка) может быть загружена во внутреннюю часть реактора или сосуда. По меньшей мере один компонент реакционной среды является жидкостью. В качестве части устройства 100 может быть обеспечено смесительное устройство (например, мешалка с магнитной связью) для поддержания однородности реакционной среды. Внутренняя стенка может содержать окна прозрачности в СВЧ-диапазоне, выполненные с возможностью обеспечения поступления энергии СВЧ-излучения во внутреннюю часть сосуда. Для использования энергии СВЧ-излучения для управления химическими реакциями по меньшей мере один компонент реакционной среды может поглощать энергию СВЧ-излучения, и, таким образом, энергия СВЧ-излучения может поглощаться реакционной средой, и реакционная среда действует как распределенная загрузка для СВЧ-излучения.

[0097] Свойства среды к поглощению СВЧ-излучения можно охарактеризовать глубиной проникновения СВЧ-излучения, определяемой как глубина, на которой интенсивность излучения внутри материала падает до $1/e$ (0,37) от ее исходного значения на поверхности. Глубина проникновения СВЧ-излучения может изменяться в течение цикла химического процесса, который включает в себя время реакции, время подготовки (например, нагревания) среды и время постобработки (например, охлаждения). Наибольшая глубина проникновения может быть во время управления процессом при помощи энергии СВЧ-излучения. Энергия СВЧ-излучения может быть обеспечена аппликаторами 111 СВЧ-излучения, соединенными с генераторами 113 СВЧ-излучения, причем каждый аппликатор 111 питается по меньшей мере от одного генератора 113 СВЧ-излучения.

[0098] Энергия СВЧ-излучения может быть подана на загрузку посредством аппликаторов 111 СВЧ-излучения через окна прозрачности в СВЧ-диапазоне, либо аппликаторы 111 могут быть по меньшей мере частично расположены внутри сосуда, причем аппликаторы могут быть подключены к генераторам 113 СВЧ-излучения, расположенным за пределами реактора. Минимальное расстояние через загрузку (среду) между каждыми двумя аппликаторами 111 или между соответствующими окнами, когда аппликаторы 111 расположены за пределами реактора, может быть больше фиксированного расстояния, определяемого наибольшей глубиной проникновения СВЧ-излучения. Минимальное расстояние может быть выбрано в зависимости от чувствительности генераторов 113 СВЧ-излучения к внешнему СВЧ-излучению и может составлять 1, 1,5 или 2 величины наибольшей глубины проникновения. Максимальное расстояние может быть ограничено физическими размерами сосуда. Фактическое расстояние может быть выбрано таким образом, чтобы обеспечить требуемый уровень мощности СВЧ-излучения внутри сосуда, и его значение может находиться в диапазоне между минимальным и максимальным расстояниями.

[0099] Иными словами, в варианте осуществления, когда аппликаторы 111 расположены в сосуде, расстояние между местами расположения аппликаторов 111 внутри сосуда, например, в 1 или 1,5, или 2 раза больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, которые включают в себя испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку аппликаторами 111. В варианте осуществления при расположении аппликаторов 111 за пределами сосуда, расстояние между окнами прозрачности в СВЧ-диапазоне, например, в 1 или 1,5, или 2 раза

больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, которые включают в себя испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку аппликаторами 111.

[00100] В варианте осуществления могут быть использованы аппликаторы 111 для разных частот СВЧ-излучения, например, для 2,45 ГГц и 0,915 ГГц, и они могут быть установлены близко друг к другу. Например, все аппликаторы 111 могут быть выполнены с возможностью излучения на частоте 2,45 ГГц. Например, все аппликаторы 111 могут быть выполнены с возможностью излучения на частоте 915 МГц. Например, часть аппликаторов 111 может быть выполнена с возможностью излучения на частоте 2,45 ГГц, тогда как остальные аппликаторы 111 могут быть выполнены с возможностью излучения на частоте 915 МГц. Поскольку глубина проникновения зависит от частоты СВЧ-излучения, наибольшая глубина проникновения должна определяться после рассмотрения обеих частот. Фиксированное расстояние и минимальное расстояние через загрузку (среду) между этими двумя аппликаторами 111 или между соответствующими окнами, когда аппликаторы 111 расположены за пределами реактора, могут быть выбраны, как описано выше, с учетом наибольшей глубины проникновения, определенной после рассмотрения обеих частот.

[00101] В варианте осуществления аппликаторы 111 СВЧ-излучения или их части, расположенные за пределами сосуда, могут быть ограничены (окружены) одной или более границами, отражающими СВЧ-излучение, которые могут быть непрозрачными для СВЧ-излучения (например, экраны защиты от СВЧ-излучения).

[00102] В варианте осуществления расстояние между аппликатором 111 за пределами реактора и экраном от СВЧ-излучения может быть фиксированным и равным длине A , которая определяется длиной X волны СВЧ-излучения в пространстве, окружающем аппликатор 111 СВЧ-излучения. Зависимость между A и X описана формулой:

$$A = (\frac{1}{2} N + \frac{1}{4}) X,$$

[00103] где N - любое целое неотрицательное число. Разделение аппликаторов 111 распределенной нагрузкой и экраном защиты от СВЧ-излучения обеспечивает практически полное отсутствие электромагнитной взаимосвязи между аппликаторами 111. Вследствие почти полного отсутствия электромагнитной взаимосвязи между аппликаторами 111 можно использовать независимую автоматическую настройку аппликаторов 111 и/или генераторов СВЧ-излучения для минимизации отражения мощности СВЧ-излучения на генераторы СВЧ-излучения. Хотя потери энергии СВЧ-излучения могут иметь место из-за несовершенной связи между каждым генератором СВЧ-излучения и распределенной нагрузкой, а также потерь внутри аппликатора 111 и волновода между аппликатором 111 и генератором СВЧ-излучения, почти полное отсутствие электромагнитной взаимосвязи между аппликаторами 111 обеспечивает возможность арифметического суммирования мощности от аппликаторов 111, подаваемой на распределенную нагрузку (среду). Суммарная мощность СВЧ-излучения, подаваемая от всех аппликаторов 111 на нагрузку, равна P , объем нагрузки равен V , а отношение P/V находится в диапазоне от 0,05 кВт/л до 2,5 кВт/л.

[00104] В варианте осуществления сосуд может быть окружен камерой компенсации давления, и аппликаторы 111 СВЧ-излучения

могут быть расположены внутри камеры, тогда как генераторы СВЧ-излучения расположены снаружи камеры. Сосуд и камера могут находиться под давлением. Камера также обеспечивает тепловую изоляцию сосуда от внешней среды.

[00105] В варианте осуществления помимо СВЧ-излучения обработка загрузки дополнительно включает в себя, среди прочего, по меньшей мере один из следующих способов: нагрев с использованием индукционного нагревателя, резистивного электронагревателя или теплообменника с нагретой текучей средой; облучение с использованием излучения радиоактивного материала или пучка заряженных или нейтральных частиц высокой энергии; облучение лазером; и применение ультразвука.

[00106] На ФИГ. 4А-4С схематически изображено устройство 100 для осуществления серийных химических реакций с использованием энергии СВЧ-излучения в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления камера устройства 100 не показана. Сосуд 101 сфероидальной формы может включать в себя стенку 102, которая задает объем сосуда 101, причем сосуд 101 выполнен с возможностью содержания реакционной среды 103 на основе жидкости, которая обладает свойством поглощения энергии СВЧ-излучения. Стенка 102 может иметь отверстие для погрузочно-разгрузочных операций, которое может быть закрыто крышкой 108. Для обеспечения однородности реакционной среды 103 на основе жидкости сосуд 101 может также включать в себя мешалку 104, закрепленную на валу 105, которую может вращать двигатель 106 посредством магнитной муфты 107. Стенка 102 может содержать окна 109, 122, 123, 124 прозрачности в СВЧ-диапазоне, выполненные с возможностью

обеспечения поступления энергии СВЧ-излучения во внутреннюю часть сосуда 101. Энергия СВЧ-излучения может подаваться аппликаторами 111a, 111b, 111c, 111d СВЧ-излучения, соединенными с генераторами 113, 114 СВЧ-излучения, выровненными для облучения среды 103 внутри сосуда 101.

[00107] В варианте осуществления аппликаторы 111 СВЧ-излучения могут быть выполнены в виде рупорных антенн разных размеров, которые соответствуют разным длинам волн генераторов 114 СВЧ-излучения. Аппликатор 111a рупорной антенны может быть направлен на окно 109 прозрачности в СВЧ-диапазоне и оканчиваться на нем. Аппликатор 111d рупорной антенны может быть направлен на окно 124 прозрачности в СВЧ-диапазоне, но может не достигать его. Аппликатор 111b рупорной антенны может быть "закупорен" окном 122 прозрачности в СВЧ-диапазоне. Аппликатор 111 СВЧ-излучения с может быть выполнен в виде многоугольной микрополосковой антенны, установленной внутри сосуда 101.

[00108] В варианте осуществления генераторы 113, 114 СВЧ-излучения могут подавать энергию СВЧ-излучения на аппликаторы 111a, 111b, 111d рупорных антенн через волноводы 115, 116, 126 соответствующих размеров. Для уменьшения влияния мощности СВЧ-излучения, отраженной от границ между окном 109 (122, 124) и аппликатором 111a (111b, 111c) рупорной антенны и между окном 109 (122, 124) и средой 103, волноводы 115, 116, 126 могут содержать согласующее устройство 119 (см. ФИГ. 4В) или Y-циркулятор с неотражающей нагрузкой 120 (см. ФИГ. 4С).

[00109] В варианте осуществления аппликаторы 111a, 111d СВЧ-излучения, расположенные снаружи реактора, могут быть ограничены непоглощающими границами (т.е. экраном защиты от СВЧ-излучения) 117 и 127, которые непрозрачны для СВЧ-излучения. Аппликатор 111b СВЧ-излучения, также расположенный снаружи реактора, может иметь металлическую стенку 199, которая соединяет генератор 114 СВЧ-излучения и стенку 102 реактора. Эта стенка 199 играет роль непоглощающей границы (экрана защиты от СВЧ-излучения), которая может быть непрозрачной для СВЧ-излучения. Аппликатор 111c прямоугольной микрополосковой антенны может быть соединен с генератором 114 СВЧ-излучения коаксиальной линией 118, и внешний цилиндрический проводник этой линии может обеспечивать экранирование от СВЧ-излучения. Свойства среды 103 к поглощению СВЧ-излучения могут определяться глубиной проникновения СВЧ-излучения, изменяющейся во время цикла химического процесса. Наибольшая глубина проникновения (R_1 или R_2 в зависимости от частоты СВЧ-излучения) может быть во время управления химическим процессом при помощи энергии СВЧ-излучения. Границы 121, показанные на ФИГ. 4А, могут охватывать области в пределах наибольших глубин R_1 и R_2 проникновения. Фиксированное расстояние может быть выбрано в зависимости от чувствительности генераторов 113, 114 СВЧ-излучения к внешнему СВЧ-излучению и может составлять 1, 1,5 или 2 величины наибольшей глубины проникновения. Минимальное расстояние через среду "d" между окнами 109 прозрачности в СВЧ-диапазоне может быть установлено больше, чем фиксированное расстояние.

[00110] Хотя потери энергии СВЧ-излучения могут иметь место из-за несовершенной связи между каждым генератором 113, 114 СВЧ-излучения и средой 103, разделение аппликаторов 111 СВЧ-излучения

средой 103 и экраном защиты от СВЧ-излучения обеспечивает почти полное отсутствие электромагнитной взаимосвязи между аппликаторами 111 и обеспечивает возможность арифметического суммирования мощности от аппликаторов 111, подаваемой на среду 103, а также простой независимой автоматической настройки аппликаторов 111 и/или генераторов 113, 114 СВЧ-излучения для минимизации отражения мощности СВЧ-излучения на генераторы 113, 114. Иными словами, экранирование от СВЧ-излучения может охватывать соответствующий аппликатор 111 СВЧ-излучения, размещенный в зазоре, так что каждый аппликатор 111 СВЧ-излучения экранирован от другого.

[00111] На ФИГ. 5 схематически изображено устройство 100 удлиненной формы в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В одном варианте осуществления сосуд 201 может содержать крышку 205, достаточно толстую для выдерживания высокого давления, прикладываемого в течение всего цикла химического процесса. Стенка 202 сосуда 201 является тонкой и может не выдержать высокого давления в течение всего цикла химического процесса. Следовательно, тонкостенный сосуд 201 окружен камерой 203 компенсации давления, и стенка 204 камеры 203 может быть выполнена достаточно толстой для выдерживания высокого давления в течение всего цикла химического процесса. Иными словами, камера 203 может находиться под давлением, например, посредством газа, жидкости или другой текучей среды для выравнивания давления в сосуде 201. Поскольку стенка 204 может не подвергаться воздействию химического процесса, она может быть изготовлена из менее дорогого сплава и быть более толстой. Когда сосуд 201 закрыт для обработки, крышка 205 может быть соединена со стенкой 204 камеры 203 множеством замков 206, способных выдерживать давление в течение

всего цикла химического процесса. Давление внутри камеры 203 можно регулировать посредством сжатого газа, например, азота, так что перепад давления между сосудом 201 и камерой 203 в течение всего цикла химического процесса достаточно мал и безопасен для тонкой стенки 202 сосуда 201 и окон 207 прозрачности в СВЧ-диапазоне. Аппликаторы 111 СВЧ-излучения могут быть расположены внутри камеры 203, тогда как генераторы 211 СВЧ-излучения могут быть расположены снаружи камеры 203. Генераторы 211 СВЧ-излучения могут подавать энергию СВЧ-излучения на аппликаторы 111 СВЧ-излучения, выполненные в виде рупорных антенн, через волноводы 210. Аппликаторы 111 СВЧ-излучения и волноводы 210, расположенные снаружи сосуда 201, могут быть ограничены границами (экраном защиты от СВЧ-излучения) 209, не прозрачными для СВЧ-излучения и не поглощающими СВЧ-излучение. Стенка 202 реактора может окружать внутреннюю часть сосуда 201 с реакционной средой 212 на основе жидкости, которая обладает свойством поглощения энергии СВЧ-излучения.

[00112] В варианте осуществления для поддержания однородности реакционной среды 212 химический реактор 201 может содержать мешалку с множеством лопастей 256, закрепленных на валу 257, который вращается при помощи двигателя 258 через магнитную муфту 259, закрепленную на крышке 205.

[00113] В варианте осуществления устройство 100 может также содержать нагреватель 213 (например, помимо прочего, резистивный электрический, индукционный или паровой нагреватель), который может находиться в тепловом контакте со стенкой 202 нижней части сосуда 201. Предварительный нагрев среды 212 с использованием нагревателя

213 может обеспечить возможность уменьшения диапазона температур, когда требуется работа аппликаторов 111 СВЧ-излучения, и, таким образом, обеспечить лучшую связь между средой 212 и генераторами 211 СВЧ-излучения без настройки. Кроме того, устройство 100 может содержать радиоактивный материал 214, закрепленный на рычаге 215, прикрепленном к крышке 205. Излучение радиоактивного материала 214 может обеспечивать постоянную скорость образования химических радикалов в реакционной среде 212. Вместе с точным и равномерным регулированием температуры, обеспечиваемым энергией СВЧ-излучения и мешалкой, устройство 100 обеспечивает возможность точного управления скоростью химической реакции.

[00114] В варианте осуществления устройство 100 может включать в себя ультразвуковой преобразователь 216 цилиндрической формы, закрепленный на рычагах 217, прикрепленных к крышке 205. Ультразвуковой преобразователь 216 может питаться от ультразвукового генератора 218. Сочетание мощности СВЧ-излучения и ультразвуковых колебаний полезно для управления некоторыми химическими процессами.

[00115] На ФИГ. 6 схематически изображена конфигурация замкнутого контура устройства 100 в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления устройство 100 может включать в себя двухсосудный химический реактор. Иными словами, устройство 100 может включать в себя два или более сосудов 302, расположенных вдоль одной горизонтальной плоскости. Сосуды 302 могут быть соединены по текучей среде посредством труб 303 с насосами 304, которые обеспечивают циркуляцию среды 314 на основе жидкости в сосудах 302, и

соединительной гидравлики. Подобно ранее описанному устройству 100, стенки 305 сосудов 302 могут быть тонкими и не выдерживать давления в течение всего цикла химического процесса. Следовательно, тонкостенные сосуды 302 могут быть окружены камерами 306 компенсации давления, и стенки 313 камер 306 могут быть выполнены достаточно толстыми для выдерживания давления в течение всего цикла химического процесса. Поскольку стенки 313 не подвергаются воздействию химического процесса, они могут быть изготовлены из менее дорогого сплава и быть более толстыми. Давление внутри камер 306 регулируют посредством сжатого газа, например, азота, так что перепад давления между сосудами 302 и камерами 306 в течение всего цикла химического процесса достаточно мал и безопасен для тонких стенок 305 реакторов и окон 308 прозрачности в СВЧ-диапазоне.

[00116] В варианте осуществления устройство 100 может включать в себя несколько наборов 307 устройств и деталей, связанных с СВЧ-излучением. Каждый набор 307 может включать в себя окно 308 прозрачности в СВЧ-диапазоне в стенке 305 сосуда, аппликатор 111 СВЧ-излучения, волновод 311, генератор 312 СВЧ-излучения и границу (экран защиты от СВЧ-излучения) 310, которая может быть непрозрачной для СВЧ-излучения и не поглощать СВЧ-излучение. Аппликаторы 111 СВЧ-излучения, элементы 311 волноводов и границы 310 могут быть расположены внутри камер 306, тогда как генераторы 312 СВЧ-излучения могут быть расположены снаружи камер 306. Генераторы 312 СВЧ-излучения могут подавать энергию СВЧ-излучения на аппликаторы 111 СВЧ-излучения, выполненные в виде рупорных антенн, через волноводы 311. Стенка 305 реактора может окружать внутреннюю часть сосуда 302 с реакционной средой 314 на основе жидкости, которая может обладать свойством поглощения энергии СВЧ-

излучения. Для поддержания однородности реакционной среды 314 устройство 100 может включать в себя насосы 304.

[00117] МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК

[00118] Устройство 100 включает в себя сосуд радиусом 35 см, загруженный жидкими реагентами на водной основе, в котором проводят химическую реакцию в присутствии сильных радиочастотных (РЧ) полей. Эти РЧ-поля подают к сосуду через РЧ-ответвитель, который согласует круглый волновод (в котором распространяется поперечное электрическое колебание) с жидкой средой, в которой электромагнитные волны преобразуются в плоские волны. Другой функцией РЧ-ответвителя является физическое отделение жидкой среды от границы раздела волновода заполненного воздухом/под давлением/под вакуумом. Следующее электромагнитное моделирование демонстрирует процесс электромагнитного (ЭМ) разделения множества РЧ-ответвителей, прикрепленных к сосуду. РЧ-излучение и СВЧ-излучение могут быть использованы взаимозаменяемо и не задают конкретную полосу частот, а длина волны сигнала сравнима с размером системы, и система может не быть идеальной системой без необратимого рассеивания энергии, так что классическая теория сосредоточенных элементов неприменима.

[00119] ТИПИЧНЫЕ РАСТВОРИТЕЛИ ДЛЯ ЖИДКОФАЗНОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ ХИМИИ

[00120] Большинство реакций, имеющих отношение к MAOS, происходят в жидкой фазе, или когда жидкая и газовая фазы (включая пары указанной жидкости) сосуществуют под давлением, или когда

жидкость и газ находятся в равновесии при высоком давлении. Перед началом реакции реагенты, из которых должен начаться MAOS, растворяют в растворителе, причем концентрации реагентов в указанном растворителе в типичном случае значительно ниже 10%.

Диэлектрические свойства этого растворителя влияют на время MAOS, так как чем лучше растворитель поглощает СВЧ-излучение, тем быстрее нагревается жидкость, и тем быстрее завершается реакция.

[00121] Диэлектрическая постоянная, дипольный момент, диэлектрические потери, тангенс дельта и время диэлектрической релаксации - все это влияет на поглощающие характеристики отдельного растворителя в диапазоне частот СВЧ-излучения. Диэлектрическая постоянная (ϵ) также известна как относительная диэлектрическая проницаемость. Способность вещества преобразовывать электромагнитную энергию в тепло при заданной частоте и температуре определяется следующим уравнением: $\tan \delta = \epsilon''/\epsilon$. Тангенс дельта (δ) или тангенс угла диэлектрических потерь представляет собой коэффициент рассеяния образца или то, насколько эффективно энергия СВЧ-излучения преобразуется в тепловую энергию. Он задан как отношение диэлектрических потерь или комплексной диэлектрической проницаемости (ϵ'') к диэлектрической постоянной (ϵ). Диэлектрические потери представляют собой количество входной энергии СВЧ-излучения, которая теряется в образце за счет рассеяния в виде тепла. Именно это значение, ϵ'' , является решающим критерием для выбора конкретного растворителя для органической химии на основе эффективности микроволновой связи.

[00122] Диэлектрические свойства облученных жидких образцов могут зависеть как от температуры, так и от частоты СВЧ.

[00123] Есть обычно используемые растворители в MAOS; данные по тангенсу дельта, диэлектрической постоянной и значениям диэлектрических потерь для 30 распространенных растворителей представлены в Таблице 1 *Выбор растворителя для СВЧ-синтеза*. Растворители делятся на три разные группы: растворители с высокой, средней и низкой поглощающей способностью. Восемь растворителей с высокой поглощающей способностью имеют диэлектрические потери ϵ'' в диапазоне от 14 для 2-пропанола до 50 для этиленгликоля. Средняя группа имеет ϵ'' в диапазоне от 1 до 10. Для растворителей с низкой поглощающей способностью, таких как хлороформ и 7 других, значение ϵ'' меньше 0,5. Все вышеприведенные данные относятся к частоте 2,45 ГГц при комнатной температуре и давлении. Чистая вода при комнатной температуре и атмосферном давлении относится к средней группе ($\epsilon'' = 10$).

Материал	Вода	Оксид алюминия	Оксид алюминия
Чистота		99,5%	96%
Относительная диэлектрическая проницаемость	78	9,9	9,4
Относительная магнитная проницаемость	1	1	1
Тангенс угла диэлектрических потерь		0,0001	0,0004
Электропроводность	1,59 См/м		

Таблица 1 - Электромагнитные параметры материалов, использованных при моделировании

[00124] В некоторых случаях для проведения химического процесса исходные реагенты помещают в растворитель, представляющий собой растворитель с низкой поглощающей способностью без добавок, а также вводят в этот растворитель дополнительные мелкие шарики (так называемые "токоприемники", обладающие свойством высокой поглощающей способности СВЧ-излучения). Указанные шарики не участвуют ни в одной из химических реакций, но за счет поглощения энергии СВЧ-излучения обеспечивают объемный нагрев всей среды, в которой реагенты участвуют в указанном химическом процессе.

[00125] Вода, являющаяся обычной и пригодной для органического синтеза, была специально изучена в отношении ее диэлектрических свойств. Для промышленно используемых сверхвысоких частот величиной 915 МГц и 2,45 ГГц были проанализированы различные физические состояния воды, такие как лед (твердое тело), жидкость, ледяная суспензия с жидкостью, пар, парожидкостная смесь и другие межфазные смеси. Были найдены зависимости комплексной диэлектрической проницаемости от доли жидкости в смеси, температуры, давления и наличия добавок от солей в морской воде до метаболитов в биожидкостях. Применительно к MAOS в "зеленой химии" особенно важно, что сверхкритическая вода может быть эффективным растворителем, а реакционная среда обеспечивает ускоренный синтез целевого органического соединения с минимальным использованием катализаторов или вообще без них.

[00126] Для дальнейших численных экспериментов в качестве жидкой загрузки, подвергающейся СВЧ-облучению, рассматривалась чистая вода без добавок, причем в некоторых ситуациях водяной пар сосуществует с указанной жидкостью. Такие допущения достаточны для

исследования пространственного разделения при многогенераторном облучении большой загрузки и прогнозирования для сложных случаев (межфазные смеси, смеси растворителей, использование добавок и т.п.).

[00127] ОТВЕТВИТЕЛЬНАЯ АНТЕННА

[00128] РЧ-ответвитель служит в качестве антенны, передающей ЭМ-волны в воду в сосуде. Как упоминалось ранее, критерии проектирования являются следующими: физическое разделение между водой и воздухом в системе; минимальные внутренние отражения; и хорошая связь между круглым заполненным воздухом волноводом и водой. Рабочая частота 2,45 ГГц была выбрана в соответствии с действующими стандартами для промышленных диапазонов частот и для обеспечения доступности общедоступных источников питания.

[00129] На ФИГ. 7А схематически изображена конструкция аппликатора 111 в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления аппликатор 111 включает в себя круглый волновод 705 диаметром 8 см (причем такой диаметр поддерживает частоту среза волновода 705, т.е. 2,2 ГГц, ниже рабочей частоты устройства 100), соответствующее окно 710 из оксида алюминия, которое компенсирует отражения мощности от водной среды и других элементов связи, рупорную антенну 715, которая преобразует моды волновода 705 в плоские волны и улучшает направленность излучаемого сигнала, и диэлектрическую сферическую линзу 720 для фокусировки излучаемого сигнала и создания физического разделения между заполненным воздухом волноводом 705 и жидкой средой 725 (такой как вода). Волновод 705 может быть расположен на первом конце

аппликатора 111, а линза 720 может быть расположена на втором конце аппликатора 111. Между ними окно 710 из оксида алюминия может быть расположено рядом с волноводом 705, а рупорная антенна 715 может быть расположена рядом с линзой 720, так что рупорная антенна 715 разделяет линзу 720 и окно 710 из оксида алюминия (но контактирует с ними), а окно 710 из оксида алюминия разделяет рупорную антенну 715 и волновод 705 (но контактирует с ними). Как описано ранее, второй конец аппликатора 111 может быть направлен на сосуд. Волновод 705 может быть выполнен с возможностью направления энергии СВЧ-излучения через аппликаторы 111 от второго конца к первому концу аппликатора 111.

[00130] Оксид алюминия обычно используют в высокомоощных ответвителях для ускорителей. Однако могут быть использованы и другие материалы с аналогичными свойствами, такие как рексолит или фторопласт (политетрафторэтилен, ПТФЭ). Некоторые свойства материалов, использованных при моделировании, показаны в Таблице 1. Одно из преимуществ настоящего раскрытия заключается в том, что для отделения жидкой среды 725 от волновода 705 обеспечено более одного барьера, т.е. линза 720 и окно 710, что обеспечивает отсутствие протечки жидкой среды 725 в волновод 705. Зазор на месте окна 710 также может быть заполнен сжатым воздухом для компенсации давления воды. Окно 710 предпочтительно может быть припаяно к волноводу 705.

[00131] На ФИГ. 7В схематически изображены оптимизированные размеры для конструкции аппликатора 111 в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00132] На ФИГ. 7С изображен график зависимости коэффициента отражения мощности от рабочей частоты в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. На ФИГ. 7С изображена частотная зависимость отражений мощности в антеннах из ФИГ. 7В. На графике показано, что аппликатор 111 может быть эффективно согласован за счет введения диэлектрического окна и оптимизации размеров диэлектрической линзы. На ФИГ. 7С показано сравнение коэффициента отражения мощности в системе, имеющей согласующее диэлектрическое окно, и в системе без согласующего диэлектрического окна. Размеры круглой рупорной антенны 715, включающие радиус и толщину апертуры, длину и угол наклона рупора и радиус линзы 720, были оптимизированы таким образом, чтобы иметь менее 1% отражаемой мощности. В качестве критерия оптимизации был использован коэффициент отражения (параметр S_{11} матрицы рассеяния, определяемый как $S_{11} = 10 \lg \frac{P_{ref}}{P_{forw}}$). Размеры, полученные в ходе этой оптимизации, представлены на ФИГ. 7В, а частотная зависимость S_{11} - на ФИГ. 7С.

[00133] На ФИГ. 7С показано, что за счет оптимизации размеров (как на ФИГ. 7В) можно снизить отражения ниже -20 дБ (1%). В частности, на частоте 2,45 ГГц отражения составляют -24 дБ или 0,4%. Полное отражение представляет собой сумму отражений от жидкости, линзы и окна в разных фазах: $P_{reflected} = P_{ref_liquid} * e^{i * \varphi_{liquid}} + P_{ref_lens} * e^{i * \varphi_{lens}} + P_{ref_window} * e^{i * \varphi_{window}}$. Отражения от жидкости могут быть заданы свойствами жидкости. Линза выполнена с возможностью фокусировки ЭМ волны. Тогда, для компенсации этого баланса требуется другой согласующий элемент, такой как окно (как на ФИГ. 7А), или согласующий участок, такой как на ФИГ. 8А. Посредством регулировки их размеров (радиуса и толщины) можно настроить

амплитуду (P_{ref_window}) и фазу (φ_{window}), отражения от согласующего окна или согласующего участка для суммирования с отражениями от воды (P_{ref_liquid} , φ_{liquid}) и линзы (P_{ref_lens} , φ_{lens}) и сведения их к нулю, т.е. $P_{reflected} < -20$ дБ. Если окно убрать, только линза может компенсировать отражения от жидкости, чего может быть недостаточно (например, из-за нефизических размеров) для получения соответствующего согласования.

[00134] Из-за резонансного характера согласующего участка согласование менее -10 дБ наблюдается в пределах полосы пропускания ± 40 МГц, а согласование -20 дБ может быть достигнуто только в пределах ± 10 МГц вокруг рабочей частоты. Отражения на согласованной частоте составляют -28 дБ, что соответствует примерно 0,16% входной мощности.

[00135] На ФИГ. 8А схематически изображена компоновка и оптимальные размеры аппликатора 111 с согласующим волноводом 805 в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00136] На ФИГ. 8В изображен график зависимости коэффициента отражения от частоты для различных значений длины согласующего участка в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. График показывает, что частота может быть согласована посредством регулировки длины согласующего участка с чувствительностью примерно 6,7 МГц/мм. Для решения вышеупомянутой проблемы аппликатор 111 может быть согласован с волноводом 805 с регулируемым импедансом для компенсации отражений от жидкой среды 825, рупорной антенной 815 и линзой 820,

как показано на ФИГ. 8А. В показанной конструкции длина и радиус волновода согласующего участка играют роль, аналогичную согласующему окну. Следовательно, частота может быть согласована посредством регулировки любого из этих параметров. Например, телескопический согласующий участок 810 может регулировать центральную частоту (соответствующую минимальному S_{11}) с чувствительностью примерно 8 МГц/мм, как показано на ФИГ. 8В. Оптимальная производительность наблюдается при размерах, показанных на ФИГ. 8А, и соответствует $S_{11} = -38$ дБ (0,016% отраженной мощности), а полоса пропускания по отношению к рабочей частоте аналогична полосе пропускания для конструкции согласующего окна 710.

[00137] ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВУХ РУПОРНЫХ АППЛИКАТОРОВ
ЧЕРЕЗ ЗАПОЛНЕННЫЙ ВОДОЙ СОСУД

[00138] На ФИГ. 9А схематически изображена модель двух рупорных аппликаторов 111, прикрепленных к цилиндрическому сосуду с водой на угловом расстоянии 23° между ними, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00139] На ФИГ. 9В схематически изображена модель двух рупорных аппликаторов 111, прикрепленных к цилиндрическому сосуду с водой на угловом расстоянии 180° между ними, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления взаимодействие разработанных рупорных антенных систем друг с другом может быть оценено при контакте с одними и теми же жидкими средами. В этом случае рассматривался цилиндрический заполненный водой сосуд, имеющий радиус 35 см и

высоту, равную диаметру круглого рупорного аппликатора 111 (с каждой стороны были добавлены поля 1 см), как показано на ФИГ. 9А и 9В. Аппликаторы 111 с согласующими участками волноводов были прикреплены к криволинейной поверхности сосуда. Были рассмотрены и изображены два случая: 1) аппликаторы 111 расположены как можно ближе друг к другу (с углом 23° между их осями симметрии) таким образом, чтобы излучаемая мощность не сильно снижалась в воде, и 2) аппликаторы 111 расположены напротив друг друга (с углом 180° между их осями симметрии). В последнем случае пространственное разделение является наибольшим, но из-за хорошей направленности сигнал будет излучаться напрямую от одной антенны к другой. Для других угловых положений перекрестные помехи будут находиться между этими двумя случаями.

[00140] В варианте осуществления моделирование выполнялось аналогичным образом, но критерием эффективности было то, что параметр S_{21} (или коэффициент передачи) был задан как $S_{21} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$. Здесь P_1 представляет собой РЧ-мощность, имеющуюся в порту 1 (круглый волновод первого ответвителя), а P_2 представляет собой мощность, передаваемую на порт 2 (круглый волновод второго ответвителя).

[00141] На ФИГ. 9С изображен график частотной зависимости для двух аппликаторов 111 по ФИГ. 9А в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00142] На ФИГ. 9D изображен график частотной зависимости для двух аппликаторов 111 по ФИГ. 9В в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. Эти графики

показывают, что ответвители согласованы в широком диапазоне частот и что между двумя ответвителями не существует перекрестных помех независимо от места их крепления. Результаты моделирования показывают, что только менее 10^{-7} и 10^{-14} частей мощности достигают других ответвителей в случае близкого (см. ФИГ. 9А) и противоположного (см. ФИГ. 9В) положения соответственно.

[00143] На ФИГ. 10А схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов 111, расположенных рядом друг с другом, в случае осуществления излучения одним рупорным аппликатором 111 в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00144] На ФИГ. 10В схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов 111, расположенных напротив друг друга, в случае осуществления излучения одним рупорным аппликатором 111 в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. На ФИГ. 10А и 10В показана карта электрического поля системы, включающей в себя два аппликатора 111, и величину рассеяния поля. В варианте осуществления моделирования показывают, что перекрестные помехи между двумя рупорными аппликаторами 111 пренебрежимо малы.

[00145] На ФИГ. 11А схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов 111, расположенных рядом друг с другом, в случае осуществления излучения обоими рупорными аппликаторами 111 в

соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00146] На ФИГ. 11В схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов 111, расположенных напротив друг друга, в случае осуществления излучения обоими рупорными аппликаторами 111 в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. Важно оценить взаимодействие сигналов от двух антенн, возбуждаемых одновременно. В варианте осуществления комплексная амплитуда (максимальная амплитуда поля в заданной точке в любое заданное время) результирующего поля, представленного на ФИГ. 11А и 11В, показывает, что сигналы не перекрываются. Важно подчеркнуть, что в воде сигналы быстро затухают.

[00147] ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ

[00148] Таблица 2 получена из ФИГ. 2 *Oree и др.* *Микроволновая комплексная диэлектрическая проницаемость горячей воды под давлением в равновесии с ее паром. 2017. IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean, сентябрь 2017 г.,* и демонстрирует зависимость параметров диэлектрической проницаемости воды, измеренных при различных условиях температуры и давления на частоте 2,42 ГГц. В дальнейшем, когда речь идет о температуре, подразумевается, что соответствующее значение давления получено из указанной таблицы. Предполагается также, что вода находится в равновесии со своим паром.

T, °C	P, МПа	ϵ'	ϵ''	$\tan(\delta)$
21,5		78,6	10,8	0,138

50,0		69,2	5,3	0,076
79,0		60,1	3,2	0,053
94,0		56,3	2,5	0,045
110,0	0,14	52,2	2,1	0,040
128,5	0,25	48,1	1,9	0,039
147,5	0,44	43,4	1,6	0,037
168,5	0,77	39,0	1,5	0,038
188,0	1,2	35,5	1,45	0,041
219,5	2,32	30,5	1,4	0,046
238,0	3,3	27,0	1,4	0,052
259,0	4,6	24,3	1,45	0,059
280,0	6,5	21,1	1,45	0,068

Таблица 2 - Действительные и мнимые значения диэлектрической проницаемости воды, измеренные при частоте 2,42 ГГц для различных значений температуры и давления

[00149] На ФИГ. 12А схематически изображены оптимальные размеры аппликатора 111 для свойств воды при 130 °С в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00150] На ФИГ. 12В изображен график частотной зависимости для аппликатора 111 по ФИГ. 12А в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления действительная часть диэлектрической проницаемости воды варьируется от 20 до 80 и служит основным параметром, определяющим согласующие свойства аппликатора 111 (ответвителя). Следовательно, размеры ответвителя (см. ФИГ. 12А) были пересчитаны для воды при 130°С ($\epsilon=48$), чтобы стать средней точкой, так что

частотная расстройка системы из-за изменения свойств воды примерно одинакова как для 20°C, так и для 300°C.

[00151] На ФИГ. 13А изображен график зависимости коэффициента отражения двух аппликаторов 111, прикрепленных рядом друг с другом (сплошная линия) и напротив друг друга (пунктирная линия), от свойств воды при разных температурах в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00152] На ФИГ. 13В изображен график зависимости коэффициента пропускания двух аппликаторов 111, прикрепленных рядом друг с другом (сплошная линия) и напротив друг друга (пунктирная линия), от свойств воды при разных температурах в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления эти графики демонстрируют, что антенны хорошо согласованы для всего диапазона температур воды, и что в этом диапазоне практически отсутствуют перекрестные помехи между двумя аппликаторами 111. РЧ-моделирования для модели, представленной на ФИГ. 9А и 9В, выполнены для ответвителей с размерами, оптимизированными для воды при 130°C, и демонстрируют, что как отражения (S_{11}), так и перекрестные помехи (S_{21}) между двумя ответвителями остаются в допустимом диапазоне (<-15 дБ и <-50 дБ соответственно) как для близкорасположенных, так и для противоположных положений.

[00153] На ФИГ. 14А схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов 111, расположенных рядом друг с другом, в случае осуществления излучения одним рупорным аппликатором 111 в

соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00154] На ФИГ. 14В схематически изображена модель карты мгновенного электрического поля внутри сосуда для двух рупорных аппликаторов 111, расположенных напротив друг друга, в случае осуществления излучения одним рупорным аппликатором 111 в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления эти моделирования демонстрируют, что перекрестные помехи между двумя ответвителями пренебрежимо малы, даже когда рассеяние поля в воде ниже, чем при комнатной температуре. Подобно результатам, полученным для воды без давления при комнатной температуре, на ФИГ. 14А и 14В показано пренебрежимо малое рассеяние поля от одного аппликатора 111 к другому, если система повторно оптимизирована для воды с переменными параметрами в диапазоне температур от 20°C до 280°C, когда вода находится в равновесии с ее паром, и давление в система достигает 65 бар. Энергетическая эффективность устройства 100, определяемая как $k = 1 - |S_{1,1}| - |S_{2,1}|$ превышает 98% для всех случаев использования оптимизированной конструкции рупорных антенн/диэлектриков/и т.д. Устройство 100 обеспечивает очень эффективную передачу энергии на большую загрузку от множества генераторов, работающих независимо друг от друга.

[00155] МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ

[00156] На ФИГ. 15А схематически изображен аппликатор 111, обладающий повышенной жесткостью конструкции за счет заполнения

частей аппликатора 111 диэлектриком, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00157] На ФИГ. 15В схематически изображен аппликатор 111, обладающий повышенной жесткостью конструкции за счет заполнения частей аппликатора 111 диэлектриком на отдельных участках, в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. Может быть учтено механическое давление на диэлектрическую линзу, создаваемое объемом жидкости, которое может быть значительным и может привести к просачиванию воды в аппликатор 111 или даже к поломке линзы. В варианте осуществления для противодействия давлению описаны два решения: 1) полное заполнение аппликатора 111 диэлектриком и 2) увеличение толщины пластины оксида алюминия (не менее 2 см). В первом случае переходный участок соответствует ответвителю, как показано на ФИГ. 15А, а во втором случае эту функцию выполняет более толстое окно, как показано на ФИГ. 15В. Остальные размеры были оптимизированы для согласования антенны с водной средой (комнатной температуры). В этих моделированиях в качестве консервативного подхода были использованы свойства оксида алюминия чистотой 96% с параметрами, представленными в Таблице 1.

[00158] На ФИГ. 15С изображен график сравнения зависимости коэффициента отражения от частоты в аппликаторе 111, заполненном диэлектриком, и аппликаторе с толстым окном в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления для обеих моделей, показанных на ФИГ. 15А и 15В, частотная зависимость параметра S_{11} отражения представлена на ФИГ. 15С, и она показывает, что хорошее согласование (< -30 дБ)

возможно в обоих этих случаях, но диэлектрическая антенна кажется более широкополосной (30 МГц при уровне -20 дБ против 10 МГц для антенны с толстым окном/линзой).

[00159] Хотя оба варианта конструкции осуществимы с точки зрения оптимизации отражения РЧ-мощности, важно учитывать явления потерь РЧ-мощности в конструкции каждого аппликатора 111, чтобы убедиться, что они приемлемы, и с ними можно должным образом обращаться. В этом случае возможны два механизма РЧ-потерь: Потери на вихревые токи на медных деталях из-за магнитных полей и потери внутри диэлектрика из-за электрических полей. Потери пропорциональны объему диэлектрической среды. В Таблице 3 обобщен уровень потерь для обоих вариантов, демонстрирующий, что потери мощности (как диэлектрические, так и медные) в заполненной диэлектриком антенне в два раза больше, чем в случае толстой линзы.

Конструкция	Заполнение диэлектриком	Толстые линзы
Входная мощность	10 кВт	
Потери в оксиде алюминия	157 Вт	75 Вт (только линза)
Потери на медной поверхности	57 Вт	22 Вт
Отраженная мощность	3 Вт	10 Вт
Пиковая напряженность электрического поля	210 кВ/м	176 кВ/м

Таблица 3 - РЧ-потери в оптимизированных аппликаторных антеннах

[00160] Для консервативной оценки потерь был использован менее дорогой 96% оксид алюминия (Таблица 1), и результаты представлены в Таблице 3.

[00161] На ФИГ. 16А схематически изображена модель распределения комплексного электрического поля в заполненных диэлектриком аппликаторах 111 при 10 кВт входной мощности в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения.

[00162] На ФИГ. 16В схематически изображена модель распределения комплексного электрического поля в аппликаторах 111 с толстой линзой при 10 кВт входной мощности в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. Важно обеспечить небольшие пиковые электрические поля в аппликаторах 111 таким образом, чтобы не возникал разряд. Электрическая прочность воздуха составляет $30 \text{ кВ/см} = 3\,000 \text{ кВ/м}$, а электрическая прочность оксида алюминия составляет примерно $10 \text{ кВ/мм} = 10\,000 \text{ кВ/м}$ и растет как примерно $f^{1/2}$ с увеличением частоты. Смоделированные пиковые значения в электрическом поле для 10 кВт, представленные на ФИГ. 16А и 16В, показывают, что в обоих случаях ситуация далека от пробоя.

[00163] ЧАСТОТНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

[00164] На ФИГ. 17 изображен график частотной зависимости отражений в аппликаторе 111 с толстой линзой для различных значений диэлектрической проницаемости оксида алюминия в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления может быть оценена стабильность

характеристик ответвителя относительно параметров диэлектрического материала при изменении параметров. Для оценки диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь оксида алюминия варьировались на $\pm 10\%$, и моделирование показывает, что такие изменения приводят к оптимальному сдвигу частоты на ± 40 МГц (-40 МГц/[единица диэлектрической проницаемости]). Таким образом, изменением диэлектрических параметров можно управлять либо посредством регулировки частоты (для каждого ответвителя), либо при помощи механизма механической настройки. Поскольку эти операции независимы, может быть легко реализовано автоматическое управление.

[00165] На ФИГ. 18 изображен график зависимости радиочастотных потерь в диэлектрической линзе от тангенса угла диэлектрических потерь оксида алюминия в соответствии с вариантом осуществления раскрытия настоящего изобретения. В варианте осуществления изменение тангенса угла диэлектрических потерь может вызывать только изменение РЧ-потерь внутри оксида алюминия, поскольку оно не влияет на какие-либо другие РЧ-свойства с точки зрения распространения ЭМ-волн. Представленные результаты моделирования демонстрируют линейную зависимость мощности потерь от тангенса угла диэлектрических потерь.

[00166] ВЫВОДЫ

[00167] Таким образом, результаты численных экспериментов показали, что принцип пространственного разделения работает и может обеспечить возможность объединения множества генераторов СВЧ-излучения для облучения большой загрузки, например более 50 л или более 100 л, без интерференции между излучающими элементами (т.е.

аппликаторами 111) и с эффективно регулируемой независимой настройкой каждого из указанных генераторов СВЧ-излучения. Способы и устройства для смешивания/вращения/и т.д. могут быть добавлены к устройству 100, описанному в Примерах 1-7, или аналогичному устройству, и могут обеспечить однородный нагрев/обработку указанной загрузки.

[00168] Имеющиеся в продаже СВЧ-транзисторы мощностью 0,5 кВт на частоте 2,45 ГГц и 1,5 кВт на частоте 915 МГц являются довольно недорогими, что делает реактор промышленного масштаба с рядом таких транзисторов экономически выгодным и эффективным в аспектах фармацевтической области и за ее пределами, поскольку такие аспекты были ранее показаны в мелкомасштабном процессе, в то время как также было продемонстрировано линейное масштабирование СВЧ-обработки.

[00169] Примеры вариантов осуществления вместе с результатами моделирования и экспериментов вариантов осуществления доказали, что раскрытое устройство 100 обеспечивает возможность реализации на практике промышленного процесса производства лекарств и лекарственных компонентов, причем весь процесс или этап процесса осуществляют с использованием СВЧ-излучения. В конечном счете, производство, в котором используют обработку на основе разработанных СВЧ-реакторов, может обеспечивать невероятно своевременный и эффективный выпуск лекарств и лекарственных компонентов.

[00170] В предшествующем описании были изложены конкретные детали, такие как конкретная геометрия системы обработки

и описания различных компонентов и процессов, используемых в ней. Однако следует понимать, что методы, описанные в настоящем документе, могут быть применены в других вариантах осуществления, отличающихся от этих конкретных деталей, и что такие детали предназначены для объяснения, а не для ограничения. Варианты осуществления, раскрытые в настоящем документе, описаны со ссылкой на прилагаемые чертежи. Аналогичным образом, в целях объяснения приведены конкретные числа, материалы и конфигурации для обеспечения полного понимания. Тем не менее, варианты осуществления могут быть осуществлены на практике без таких конкретных подробностей. Компоненты, имеющие по существу одинаковые функциональные конструкции, обозначены одинаковыми ссылочными позициями, и поэтому любые избыточные описания могут быть опущены.

[00171] Различные методы описаны как множество дискретных операций, чтобы помочь понять различные варианты осуществления. Порядок описания не следует истолковывать как подразумевающий, что эти операции обязательно зависят от порядка их выполнения.

Действительно, эти операции необязательно выполнять в порядке изложения. Описанные операции могут быть выполнены в порядке, отличном от конкретно описанного порядка, если явно не указано иное. Могут быть выполнены различные дополнительные операции и/или описанные операции могут быть опущены.

[00172] Специалистам в данной области техники также понятно, что может быть выполнено множество вариантов операций методов, описанных выше, при достижении тех же целей раскрытия изобретения. Предполагается, что такие варианты входят в объем настоящего

раскрытия. В этой связи, приведенные выше описания вариантов осуществления не являются ограничивающими. Вместо этого любые ограничения вариантов осуществления представлены в нижеследующей формуле изобретения.

[00173] Варианты осуществления раскрытия настоящего изобретения также могут быть такими, как указано в следующих пунктах в скобках.

[00174] (1) Устройство для проведения крупносерийных химических реакций с использованием энергии СВЧ-излучения, содержащее: камеру, ограниченную наружной стенкой; сосуд, расположенный внутри камеры, причем сосуд ограничен внутренней стенкой, и внутренняя стенка отделена от наружной стенки зазором, при этом сосуд выполнен с возможностью приема и удержания загрузки; а также первый аппликатор и второй аппликатор, выполненные с возможностью испускания энергии СВЧ-излучения на загрузку, причем точки, в которых энергия СВЧ-излучения, испускаемая первым аппликатором и вторым аппликатором, поступает в загрузку, разнесены друг от друга на расстояние, превышающее глубину проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку, таким образом, чтобы между первым аппликатором и вторым аппликатором не возникало электромагнитной взаимосвязи при испускании энергии СВЧ-излучения.

[00175] (2) Устройство согласно пункту (1), дополнительно содержащее: первое окно прозрачности в СВЧ-диапазоне, образованное во внутренней стенке в положении, соответствующем местоположению первого аппликатора; и второе окно прозрачности в СВЧ-диапазоне, образованное во внутренней стенке в положении, соответствующем

местоположению второго аппликатора, причем материал первого окна прозрачности в СВЧ-диапазоне и второго окна прозрачности в СВЧ-диапазоне является по меньшей мере частично прозрачным для энергии СВЧ-излучения и химически устойчивым к реагентам в загрузке, при этом первый аппликатор выполнен с возможностью испускания энергии СВЧ-излучения через первое окно прозрачности в СВЧ-диапазоне в сосуд.

[00176] (3) Устройство согласно пункту (1) или (2), в котором первый аппликатор включает волновод на первом конце первого аппликатора и рупорную антенну на втором конце первого аппликатора, причем второй конец первого аппликатора расположен ближе к первому окну прозрачности в СВЧ-диапазоне, а первый конец первого аппликатора расположен дальше от первого окна прозрачности в СВЧ-диапазоне, волновод выполнен с возможностью приема энергии СВЧ-излучения и направления энергии СВЧ-излучения через волновод в рупорную антенну.

[00177] (4) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(3), в котором, когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены внутри сосуда, расстояние между местами расположения первого аппликатора и второго аппликатора внутри сосуда больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором, а когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены снаружи сосуда, расстояние между первым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне и вторым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии

СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором.

[00178] (5) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(4), в котором, когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены внутри сосуда, расстояние между местами расположения первого аппликатора и второго аппликатора внутри сосуда в 1,5 раза больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором, а когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены снаружи сосуда, расстояние между первым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне и вторым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне в 1,5 раза больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором.

[00179] (6) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(5), в котором, когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены внутри сосуда расстояние между местами расположения первого аппликатора и второго аппликатора внутри сосуда в 2 раза больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором, а когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены снаружи сосуда, расстояние между первым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне и вторым окном прозрачности в СВЧ-

диапазоне в 2 раза больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором.

[00180] (7) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(6), в котором первый аппликатор и второй аппликатор занимают каждый соответствующее подпространство в зазоре между наружной стенкой камеры и внутренней стенкой сосуда.

[00181] (8) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(7), дополнительно содержащее первый генератор СВЧ-излучения, выполненный с возможностью генерирования энергии СВЧ-излучения, имеющей первую частоту при первой мощности, и передачи энергии СВЧ-излучения на первый аппликатор, причем первый генератор СВЧ-излучения имеет электромагнитную связь с первым аппликатором.

[00182] (9) Устройство согласно пункту (8), дополнительно содержащее: первое окно прозрачности в СВЧ-диапазоне, образованное во внутренней стенке в положении, соответствующем местоположению первого аппликатора; и второе окно прозрачности в СВЧ-диапазоне, образованное во внутренней стенке в положении, соответствующем местоположению второго аппликатора, причем материал первого окна прозрачности в СВЧ-диапазоне и второго окна прозрачности в СВЧ-диапазоне является химически устойчивым к реагентам в загрузке, при этом первый аппликатор расположен внутри сосуда и выполнен с возможностью приема энергии СВЧ-излучения от первого генератора СВЧ-излучения через первое окно прозрачности в СВЧ-диапазоне.

[00183] (10) Устройство согласно пункту (8) или (9), в котором первый генератор СВЧ-излучения размещен за пределами камеры и соединен с первым аппликатором, который размещен в зазоре.

[00184] (11) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(10), в котором сосуд находится под давлением, и камера находится под давлением.

[00185] (12) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(11), дополнительно содержащее смесительное устройство, причем смесительное устройство выполнено с возможностью гомогенизации реагентов в загрузке.

[00186] (13) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(12), в котором загрузка содержит реакционную среду на основе жидкости, способную поглощать энергию СВЧ-излучения, а глубина проникновения энергии СВЧ-излучения представляет собой наибольшую глубину проникновения энергии СВЧ-излучения в реакционную среду на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в реакционную среду.

[00187] (14) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(13), в котором объем среды в сосуде равен или больше 40 л, либо равен или больше 50 л, либо равен или больше 60 л, либо равен или больше 75 л, либо равен или больше 90 л, либо равен или больше 100 л.

[00188] (15) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(14), дополнительно содержащее отдельные первую и вторую области экранирования от СВЧ-излучения, размещенные в зазоре и выполненные

с возможностью отражения энергии СВЧ-излучения, при этом первая область экранирования от СВЧ-излучения окружает первый аппликатор, размещенный в зазоре, а вторая область экранирования от СВЧ-излучения окружает второй аппликатор, размещенный в зазоре, таким образом, что первый аппликатор в зазоре экранирован от второго аппликатора в зазоре, а второй аппликатор в зазоре экранирован от первого аппликатора в зазоре.

[00189] (16) Устройство согласно пункту (15), в котором расстояние между первым аппликатором в зазоре и стенкой первой области экранирования от СВЧ-излучения является фиксированным и равным длине A , основанной на длине X волны СВЧ-излучения в пространстве, окружающем первый аппликатор, и описывается формулой $A = (\frac{1}{2} N + \frac{1}{4}) X$, где N - любое целое неотрицательное число.

[00190] (17) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(16), дополнительно содержащее множество аппликаторов, включающих первый аппликатор и второй аппликатор, причем общая мощность, подаваемая множеством аппликаторов, равна P , объем загрузки равен V , а отношение P к V находится в диапазоне от 0,05 кВт/л до 2,5 кВт/л.

[00191] (18) Устройство согласно любому из пунктов (1)-(17), дополнительно содержащее множество аппликаторов, включающих первый аппликатор и второй аппликатор, причем по меньшей мере два из множества аппликаторов испускают энергию СВЧ-излучения на частотах, отличающихся друг от друга, и глубина проникновения энергии СВЧ-излучения представляет собой наибольшую глубину проникновения из всех аппликаторов, испускающих энергию СВЧ-излучения на загрузку.

[00192] (19) Способ обработки материала посредством применения энергии СВЧ-излучения, включающий: подачу загрузки, содержащей материал, в сосуд, расположенный внутри камеры; и приложение энергии СВЧ-излучения к загрузке в сосуде посредством первого аппликатора и второго аппликатора, выполненных с возможностью испускания энергии СВЧ-излучения на загрузку, причем точки, в которых энергия СВЧ-излучения, испускаемая первым аппликатором и вторым аппликатором, поступает в загрузку, разнесены друг от друга на расстояние, превышающее глубину проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку, таким образом, чтобы между первым аппликатором и вторым аппликатором не возникало электромагнитной взаимосвязи при испускании энергии СВЧ-излучения.

[00193] (20) Материал, обработанный способом согласно пункту (19).

[00194] (21) Способ согласно пункту (19), дополнительно включающий по меньшей мере один этап растворения, нагревания, синтеза или иного преобразования материала, так что материал после осуществления способа имеет физические или химические характеристики, отличные от физических или химических характеристик материала до осуществления способа.

[00195] (22) Способ согласно пункту (19) или (21), дополнительно включающий применение по меньшей мере одного из экзотермической реакции, индукционного нагревателя, резистивного электронагревателя, нагретой текучей среды, пучка заряженных частиц, потока магнитных частиц, плазменного нагревателя, лазерного

нагревателя, ультразвука или другого источника энергии, вызывающего изменение физических или химических характеристик материала.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для проведения крупносерийных химических реакций с использованием энергии СВЧ-излучения, содержащее:

камеру, ограниченную наружной стенкой;

сосуд, расположенный внутри камеры, причем сосуд ограничен внутренней стенкой, и внутренняя стенка отделена от наружной стенки зазором, при этом сосуд выполнен с возможностью приема и удержания загрузки; и

первый аппликатор и второй аппликатор, выполненные с возможностью испускания энергии СВЧ-излучения на загрузку, причем точки, в которых энергия СВЧ-излучения, испускаемая первым аппликатором и вторым аппликатором, поступает в загрузку, разнесены друг от друга на расстояние, превышающее глубину проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку, таким образом, чтобы между первым аппликатором и вторым аппликатором не возникало электромагнитной взаимосвязи при испускании энергии СВЧ-излучения.

2. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее:

первое окно прозрачности в СВЧ-диапазоне, образованное во внутренней стенке в положении, соответствующем местоположению первого аппликатора; и

второе окно прозрачности в СВЧ-диапазоне, образованное во внутренней стенке в положении, соответствующем местоположению второго аппликатора, причем

материал первого окна прозрачности в СВЧ-диапазоне и второго окна прозрачности в СВЧ-диапазоне является по меньшей мере частично прозрачным для энергии СВЧ-излучения и химически устойчивым к реагентам в загрузке, при этом первый аппликатор выполнен с

возможностью испускания энергии СВЧ-излучения через первое окно прозрачности в СВЧ-диапазоне в сосуд.

3. Устройство по п. 2, в котором первый аппликатор включает волновод на первом конце первого аппликатора и рупорную антенну на втором конце первого аппликатора, причем второй конец первого аппликатора расположен ближе к первому окну прозрачности в СВЧ-диапазоне, а первый конец первого аппликатора расположен дальше от первого окна прозрачности в СВЧ-диапазоне, волновод выполнен с возможностью приема энергии СВЧ-излучения и направления энергии СВЧ-излучения через волновод в рупорную антенну.

4. Устройство по п. 2, в котором
когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены внутри сосуда, расстояние между местами расположения первого аппликатора и второго аппликатора внутри сосуда больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором, а

когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены снаружи сосуда, расстояние между первым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне и вторым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором.

5. Устройство по п. 2, в котором

когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены внутри сосуда, расстояние между местами расположения первого аппликатора и второго аппликатора внутри сосуда в 1,5 раза больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором, а

когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены снаружи сосуда, расстояние между первым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне и вторым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне в 1,5 раза больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором.

6. Устройство по п. 2 , в котором

когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены внутри сосуда, расстояние между местами расположения первого аппликатора и второго аппликатора внутри сосуда в 2 раза больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором, а

когда первый аппликатор и второй аппликатор расположены снаружи сосуда, расстояние между первым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне и вторым окном прозрачности в СВЧ-диапазоне в 2 раза больше, чем наибольшая глубина проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку на всех этапах цикла химического процесса,

включающих испускание энергии СВЧ-излучения в загрузку первым аппликатором и вторым аппликатором.

7. Устройство по п. 1, в котором первый аппликатор и второй аппликатор занимают каждый соответствующее подпространство в зазоре между наружной стенкой камеры и внутренней стенкой сосуда.

8. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее первый генератор СВЧ-излучения, выполненный с возможностью генерирования энергии СВЧ-излучения, имеющей первую частоту при первой мощности, и передачи энергии СВЧ-излучения на первый аппликатор, причем первый генератор СВЧ-излучения имеет электромагнитную связь с первым аппликатором.

9. Устройство по п. 8, дополнительно содержащее:
первое окно прозрачности в СВЧ-диапазоне, образованное во внутренней стенке в положении, соответствующем местоположению первого аппликатора; и

второе окно прозрачности в СВЧ-диапазоне, образованное во внутренней стенке в положении, соответствующем местоположению второго аппликатора, причем

материал первого окна прозрачности в СВЧ-диапазоне и второго окна прозрачности в СВЧ-диапазоне является химически устойчивым к реагентам в загрузке, при этом первый аппликатор расположен внутри сосуда и выполнен с возможностью приема энергии СВЧ-излучения от первого генератора СВЧ-излучения через первое окно прозрачности в СВЧ-диапазоне.

10. Устройство по п. 8, в котором первый генератор СВЧ-излучения размещен за пределами камеры и соединен с первым аппликатором, который размещен в зазоре.

11. Устройство по п. 1, в котором сосуд находится под давлением, и камера находится под давлением.

12. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее смесительное устройство, причем смесительное устройство выполнено с возможностью гомогенизации реагентов в загрузке.

13. Устройство по п. 1, в котором
загрузка содержит реакционную среду на основе жидкости, способную поглощать энергию СВЧ-излучения, а
глубина проникновения энергии СВЧ-излучения представляет собой наибольшую глубину проникновения энергии СВЧ-излучения в реакционную среду на всех этапах цикла химического процесса, включающих испускание энергии СВЧ-излучения в реакционную среду.

14. Устройство по п. 13, в котором объем реакционной среды на основе жидкости в сосуде равен или больше 100 л.

15. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее отдельные первую и вторую области экранирования от СВЧ-излучения, размещенные в зазоре и выполненные с возможностью отражения энергии СВЧ-излучения, при этом первая область экранирования от СВЧ-излучения окружает первый аппликатор, размещенный в зазоре, а вторая область экранирования от СВЧ-излучения окружает второй аппликатор, размещенный в зазоре, таким образом, что первый

аппликатор в зазоре экранирован от второго аппликатора в зазоре, а второй аппликатор в зазоре экранирован от первого аппликатора в зазоре.

16. Устройство по п. 15, в котором расстояние между первым аппликатором в зазоре и стенкой первой области экранирования от СВЧ-излучения является фиксированным и равным длине A , основанной на длине X волны СВЧ-излучения в пространстве, окружающем первый аппликатор, и описывается формулой

$$A = (\frac{1}{2} N + \frac{1}{4}) X,$$

где N - любое целое неотрицательное число.

17. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее множество аппликаторов, включающих первый аппликатор и второй аппликатор, причем общая мощность, подаваемая множеством аппликаторов, равна P , объем загрузки равен V , а отношение P к V находится в диапазоне от 0,05 кВт/л до 2,5 кВт/л.

18. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее множество аппликаторов, включающих первый аппликатор и второй аппликатор, причем

по меньшей мере два из множества аппликаторов испускают энергию СВЧ-излучения на частотах, отличающихся друг от друга, и

глубина проникновения энергии СВЧ-излучения представляет собой наибольшую глубину проникновения среди всех аппликаторов, испускающих энергию СВЧ-излучения на загрузку.

19. Способ обработки материала посредством применения энергии СВЧ-излучения, включающий:

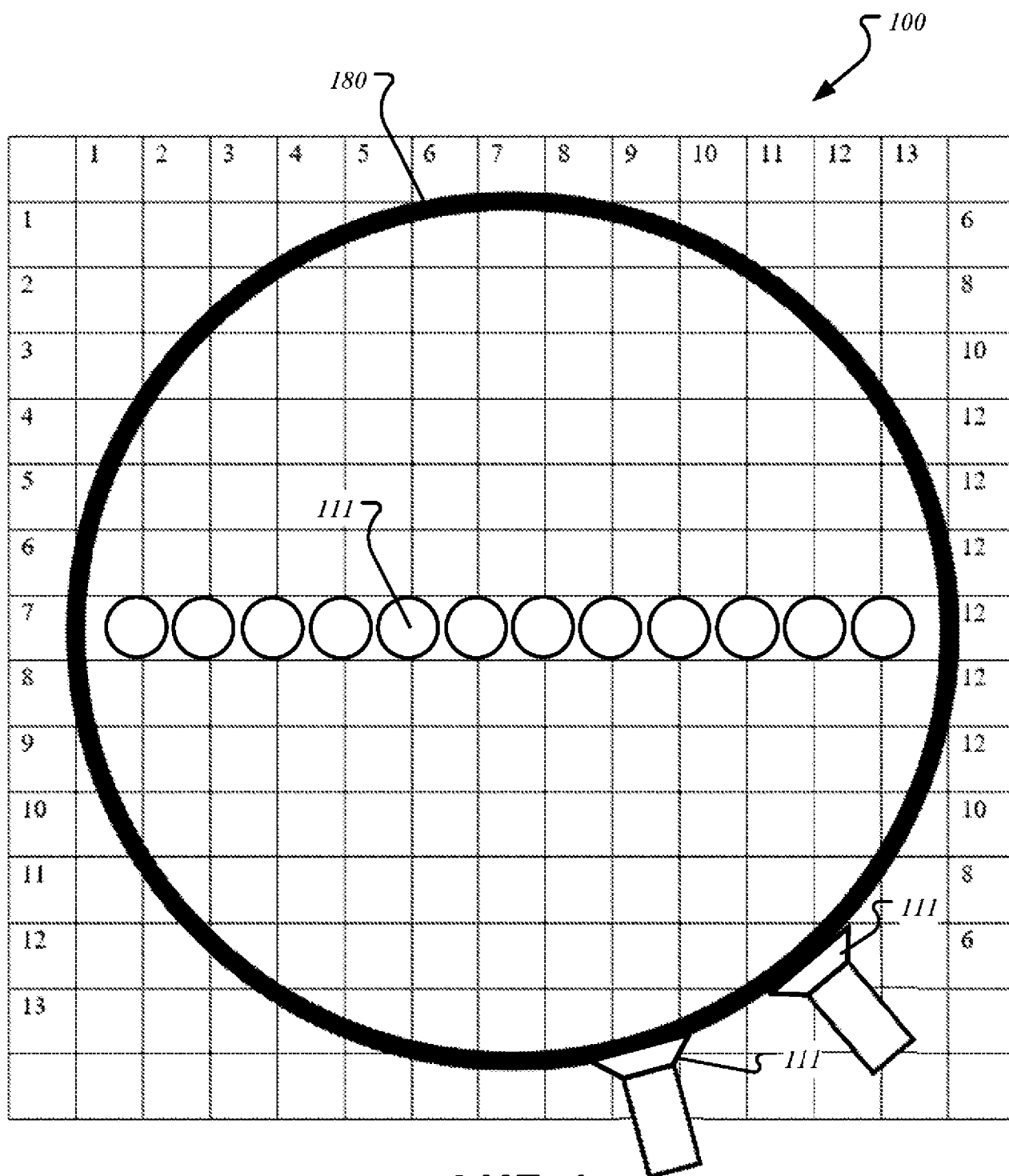
подачу загрузки, содержащей материал, в сосуд, расположенный внутри камеры; и

приложение энергии СВЧ-излучения к загрузке в сосуде посредством первого аппликатора и второго аппликатора, выполненных с возможностью испускания энергии СВЧ-излучения на загрузку, причем точки, в которых энергия СВЧ-излучения, испускаемая первым аппликатором и вторым аппликатором, поступает в загрузку, разнесены друг от друга на расстояние, превышающее глубину проникновения энергии СВЧ-излучения в загрузку, таким образом, чтобы между первым аппликатором и вторым аппликатором не возникало электромагнитной взаимосвязи при испускании энергии СВЧ-излучения.

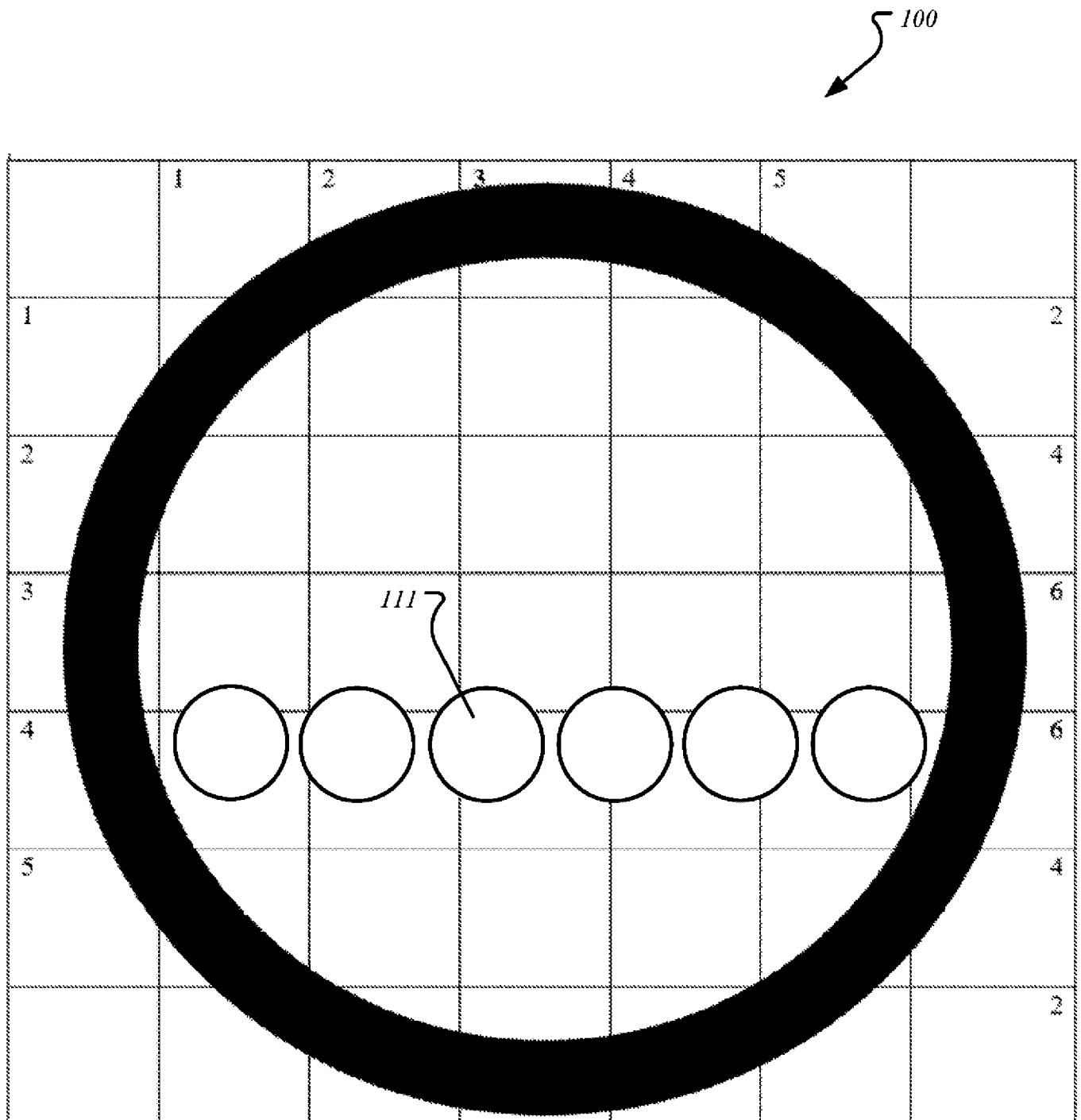
20. Материал, обработанный способом по п. 19.

21. Способ по п. 19, дополнительно включающий по меньшей мере один этап растворения, нагревания, синтеза или иного преобразования материала, так что материал после осуществления способа имеет физические или химические характеристики, отличные от физических или химических характеристик материала до осуществления способа.

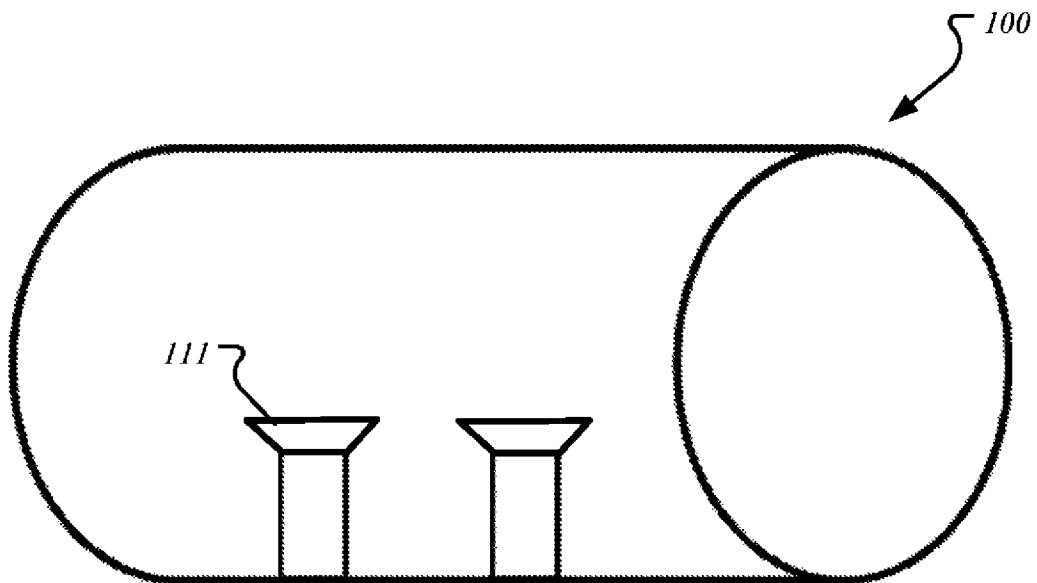
22. Способ по п. 21, дополнительно включающий применение по меньшей мере одного из экзотермической реакции, индукционного нагревателя, резистивного электронагревателя, нагретой текучей среды, пучка заряженных частиц, потока магнитных частиц, плазменного нагревателя, лазерного нагревателя, ультразвука или другого источника энергии, вызывающего изменение физических или химических характеристик материала.



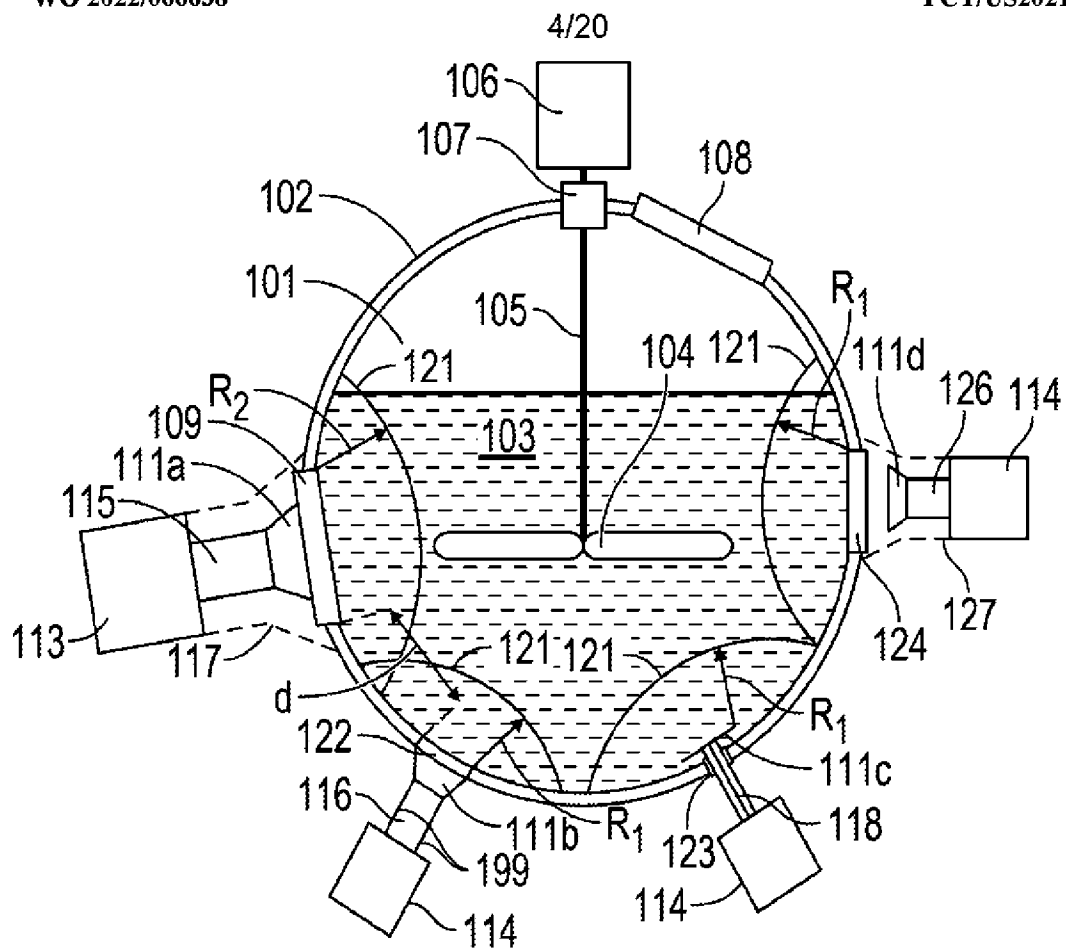
ФИГ. 1



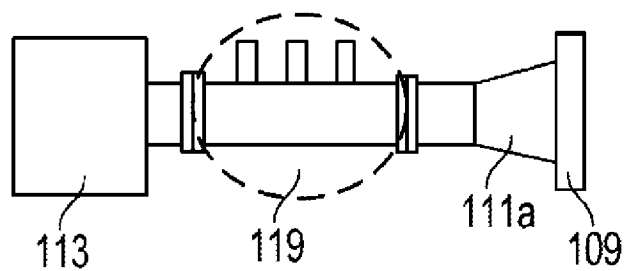
ФИГ. 2



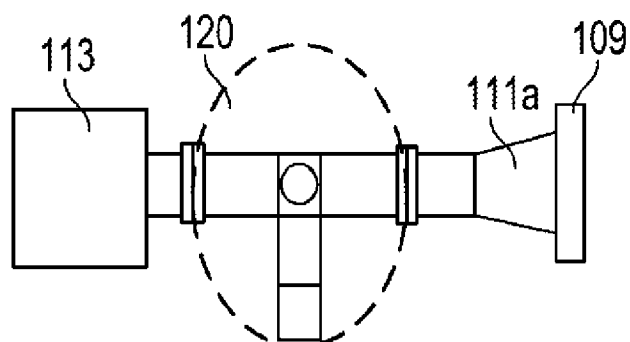
ФИГ. 3



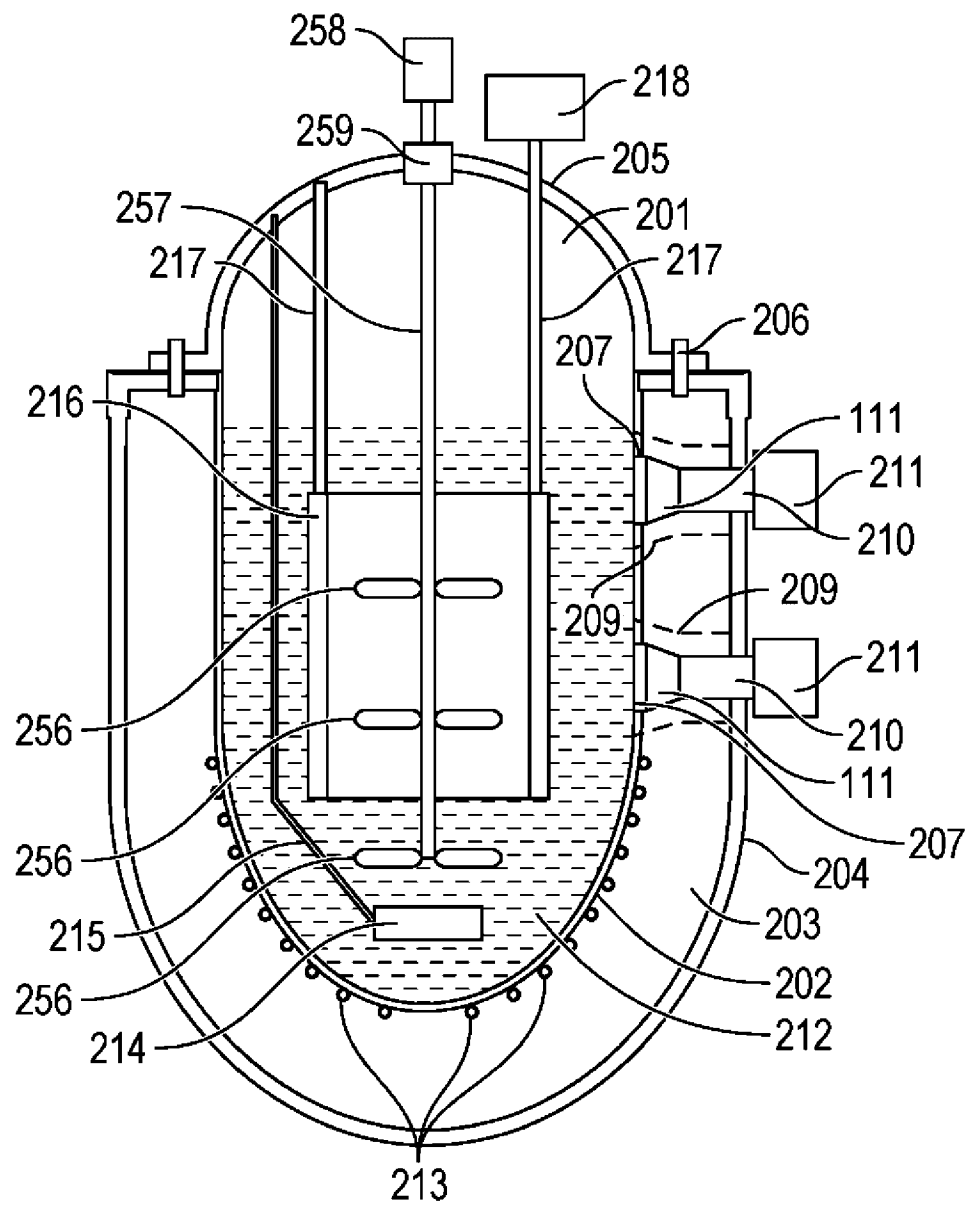
ФИГ. 4А



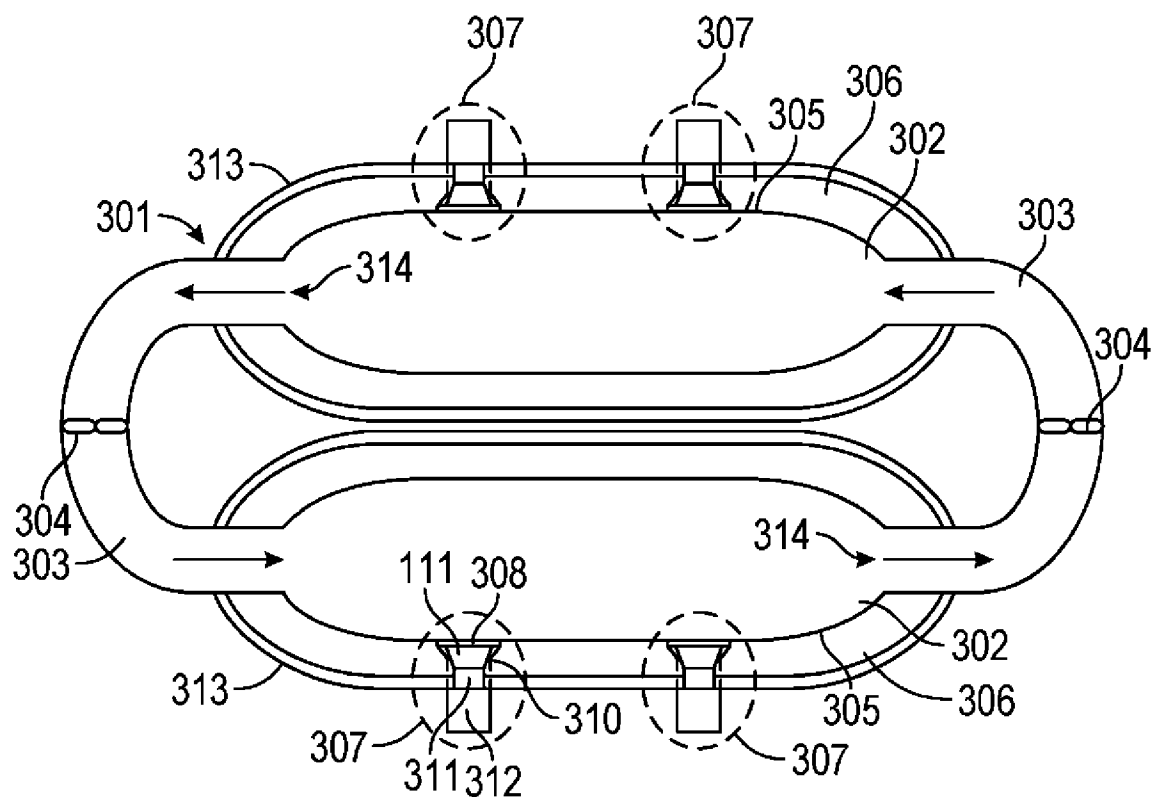
ФИГ. 4В

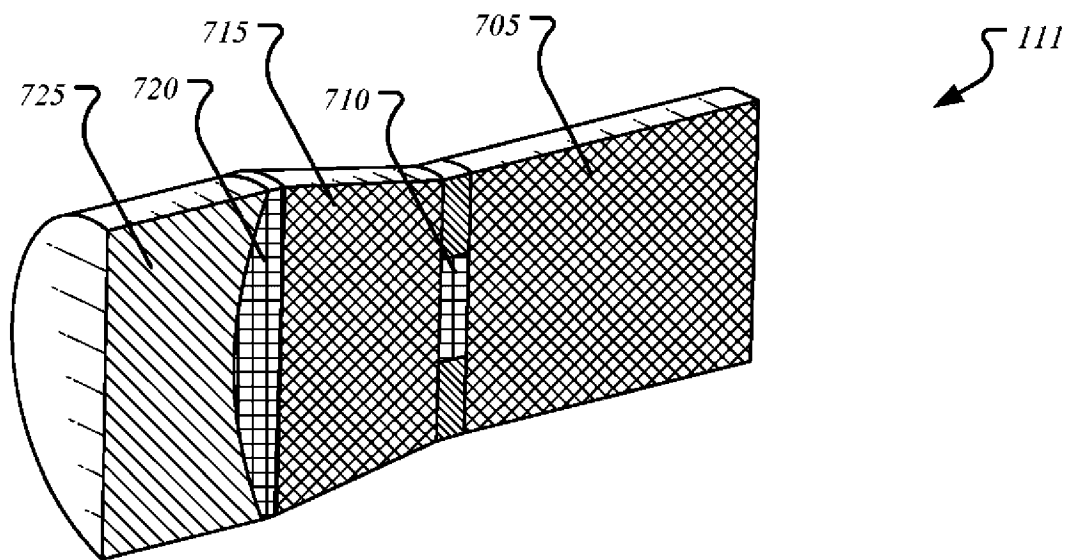


ФИГ. 4С

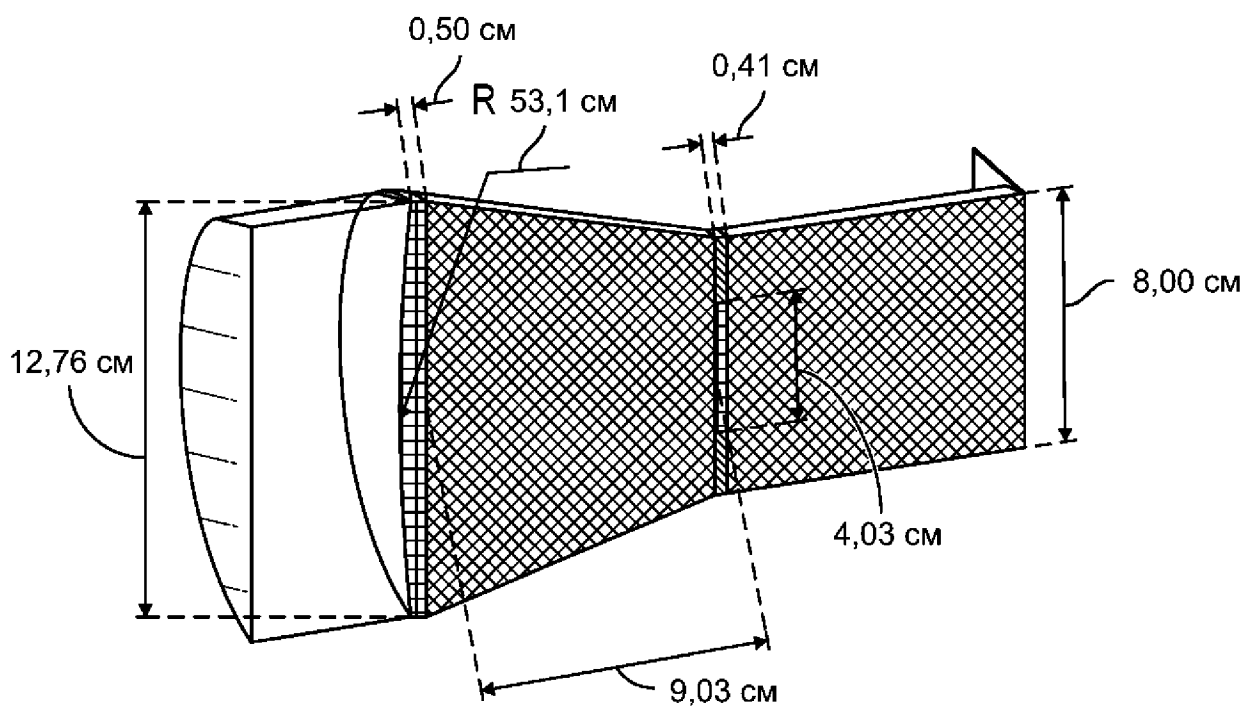


ФИГ. 5

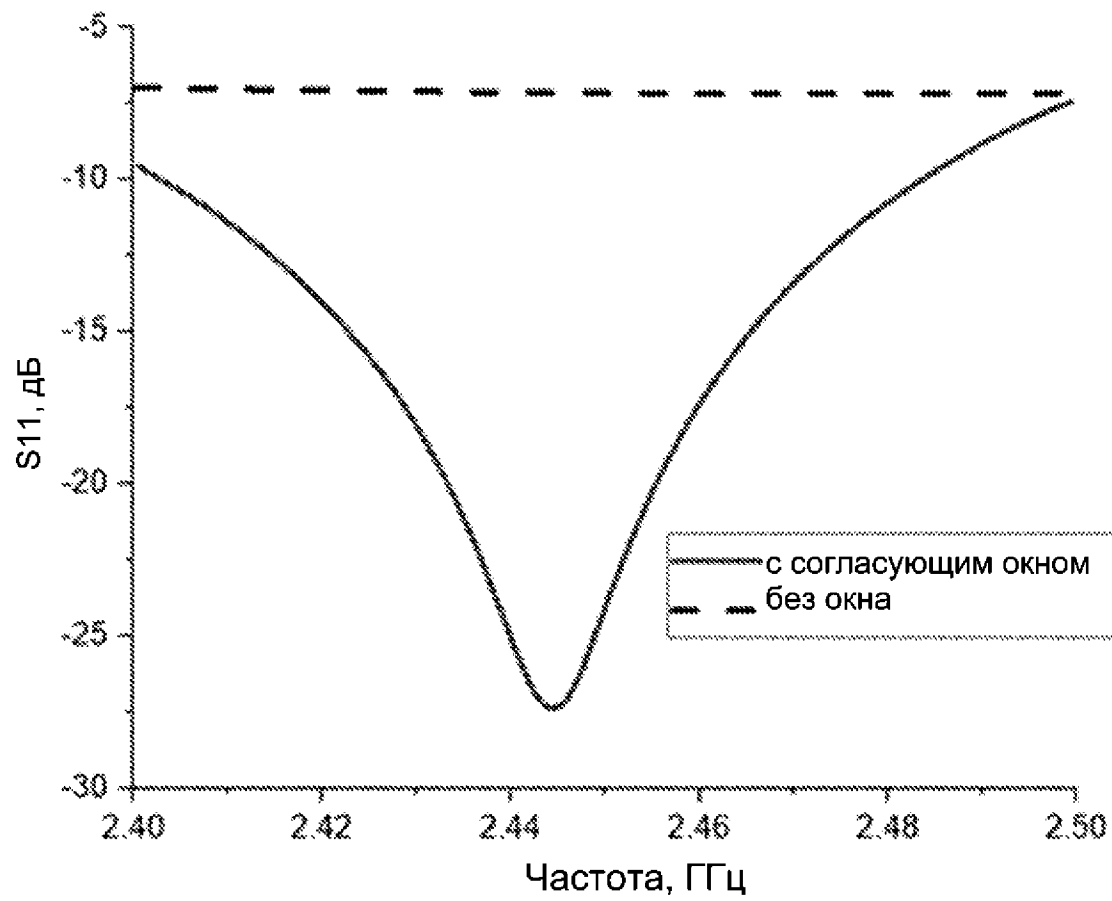
**ФИГ. 6**

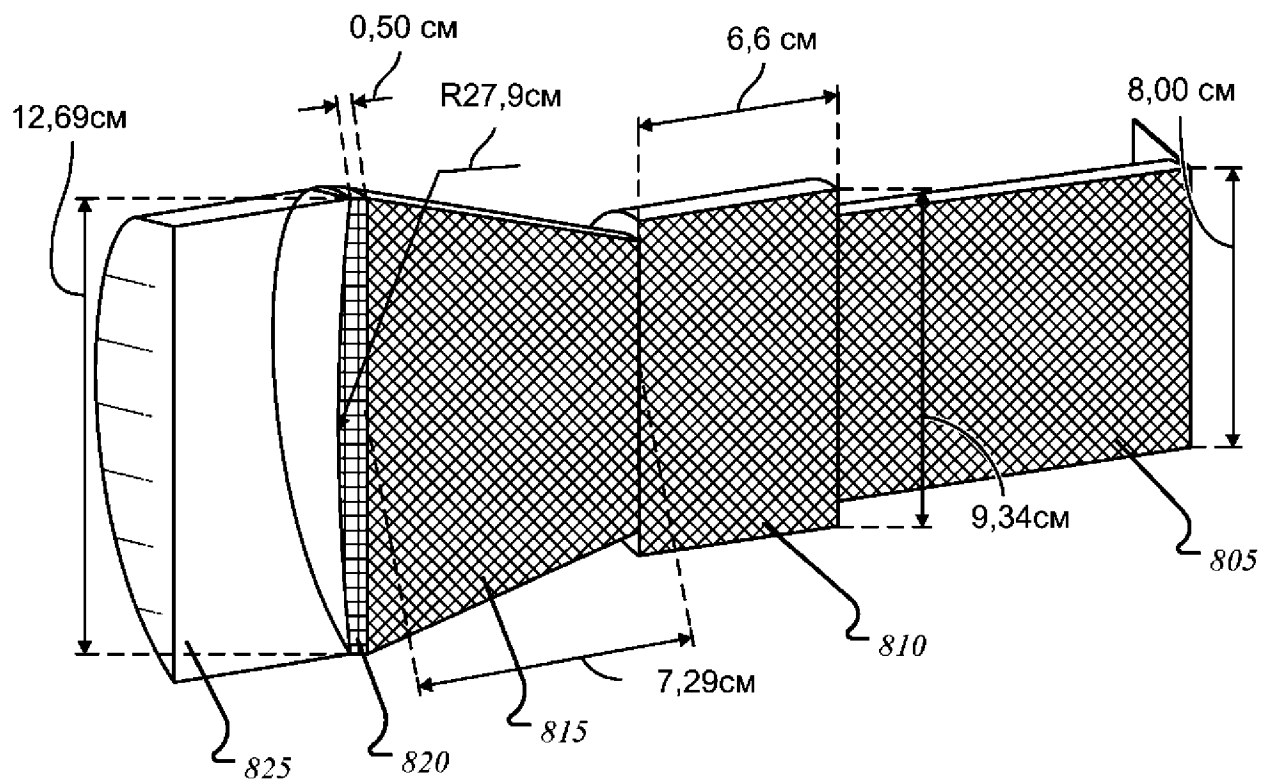


ФИГ. 7А

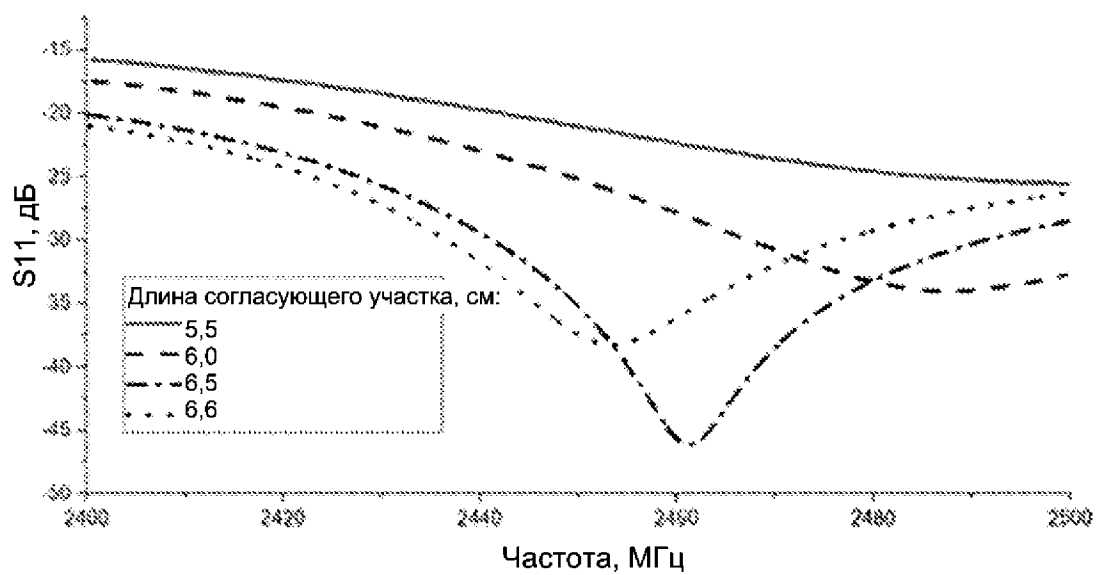


ФИГ. 7В

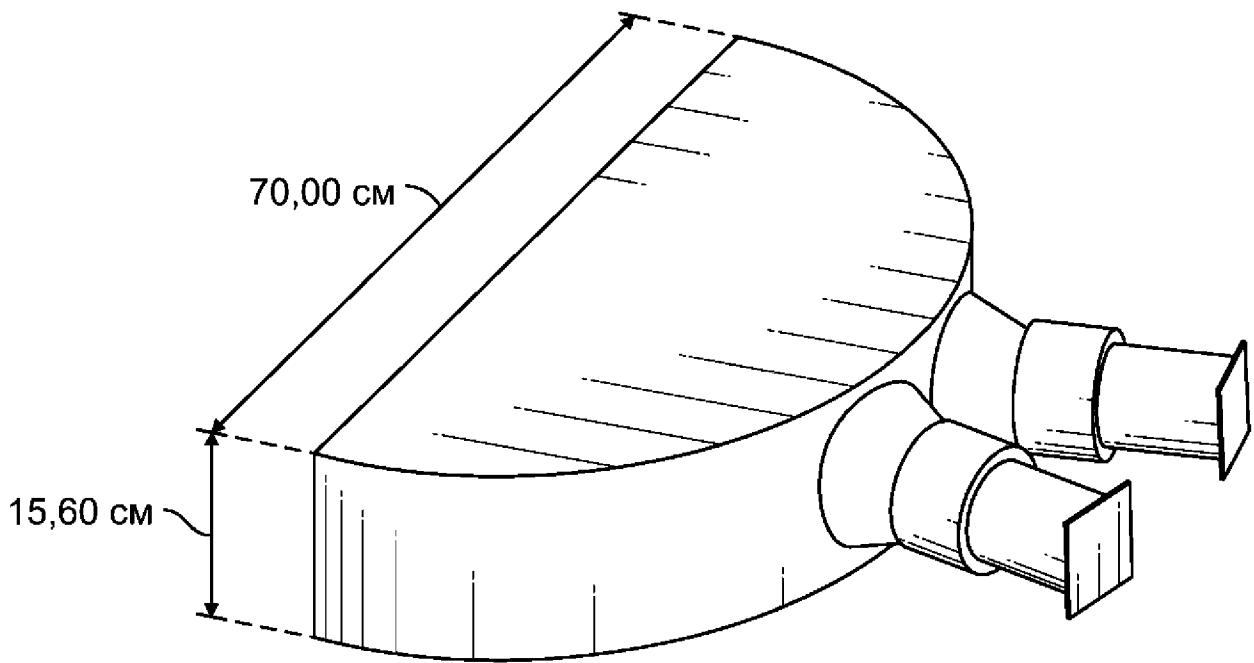
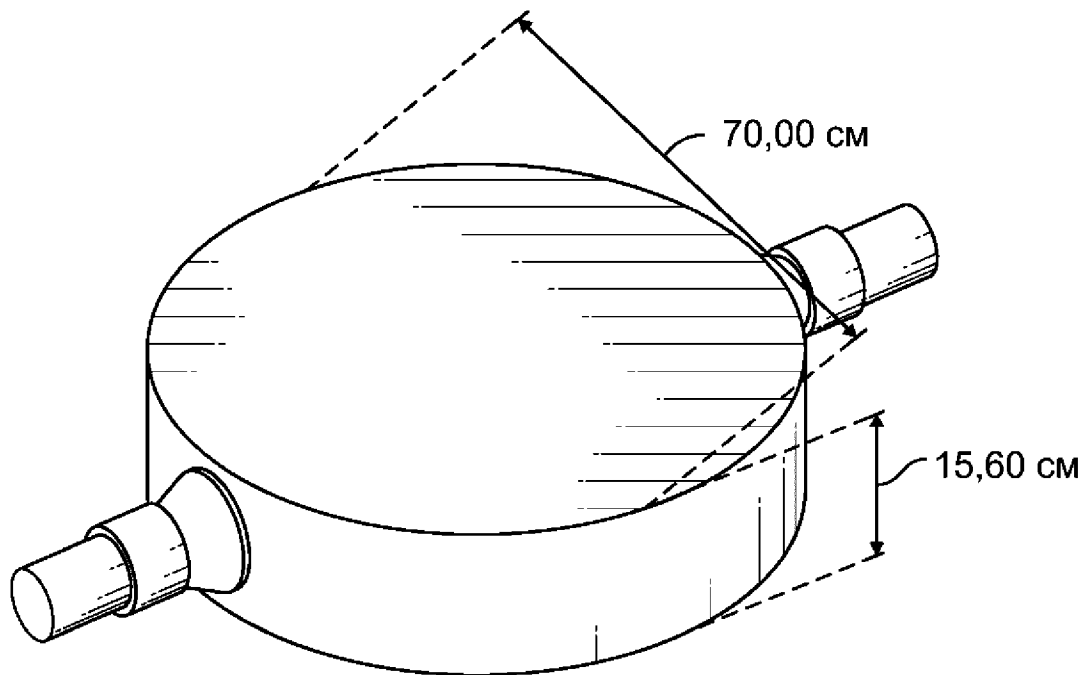
**ФИГ. 7С**

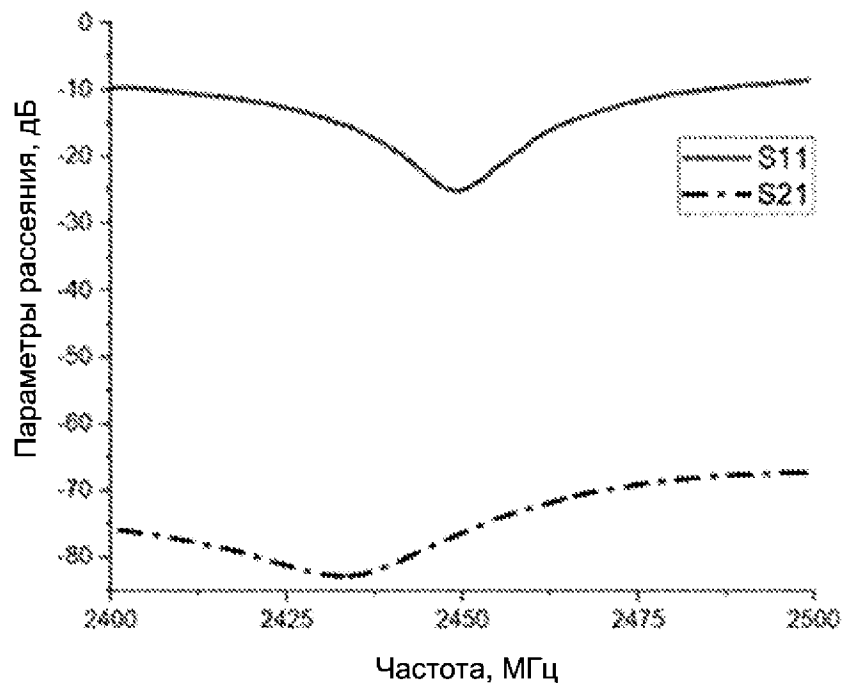


ФИГ. 8А

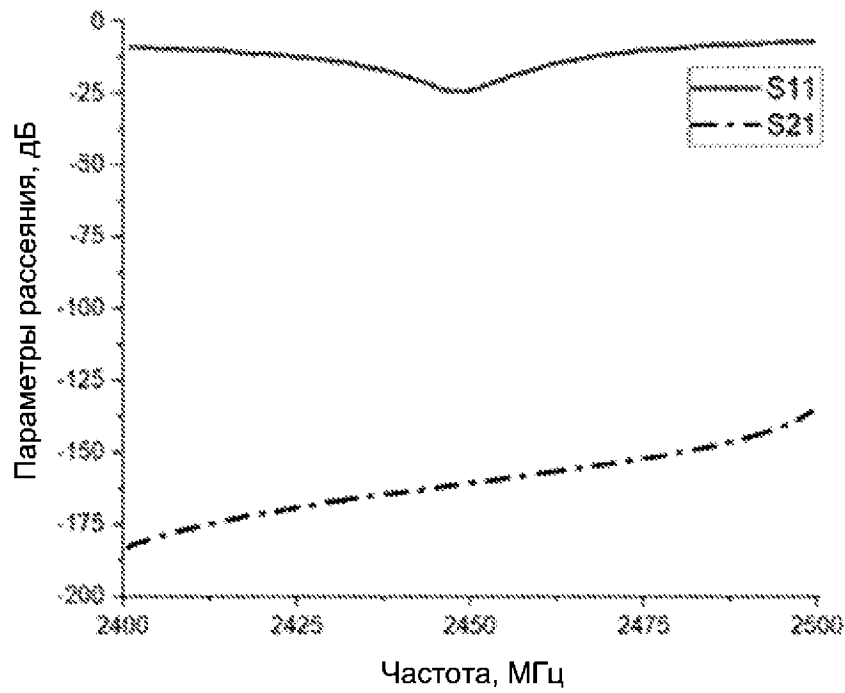


ФИГ. 8В

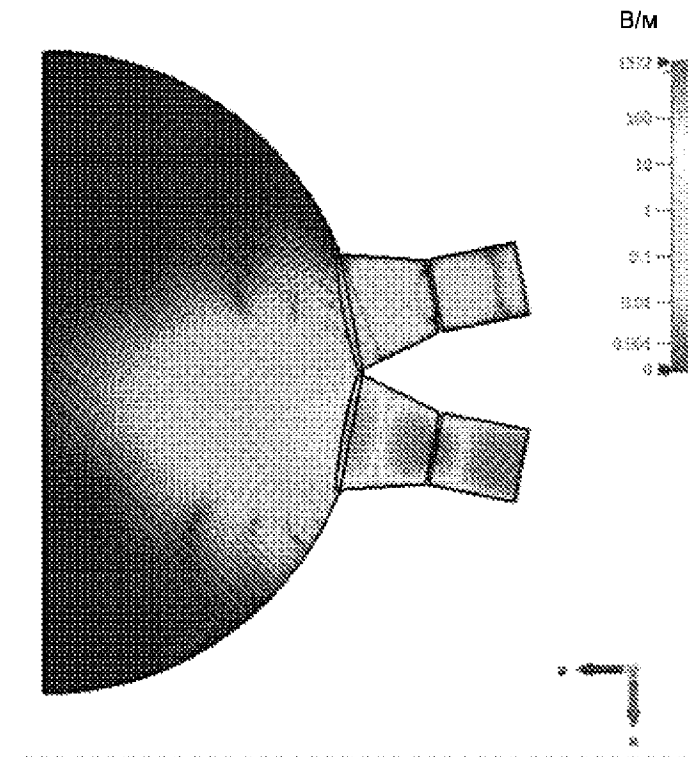
**ФИГ. 9А****ФИГ. 9В**



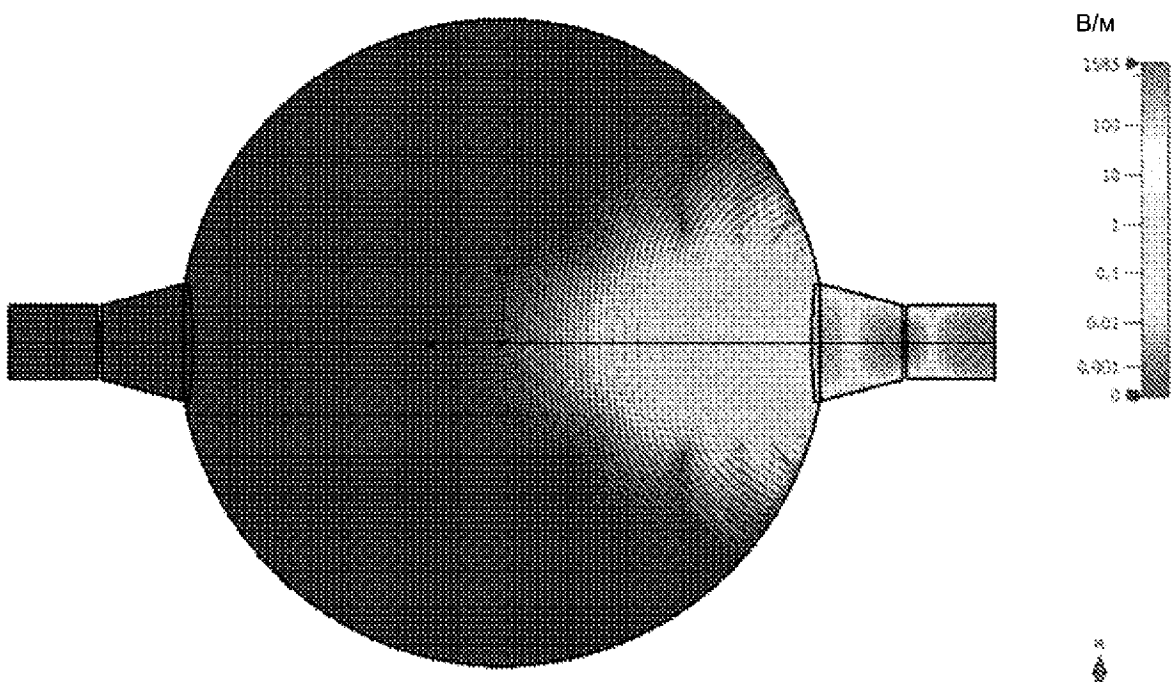
ФИГ. 9C



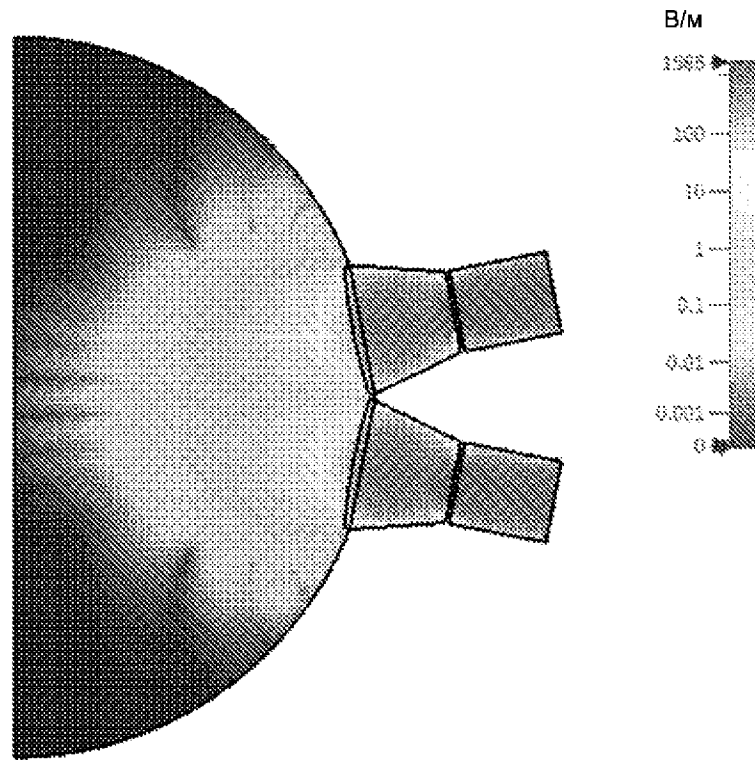
ФИГ. 9D



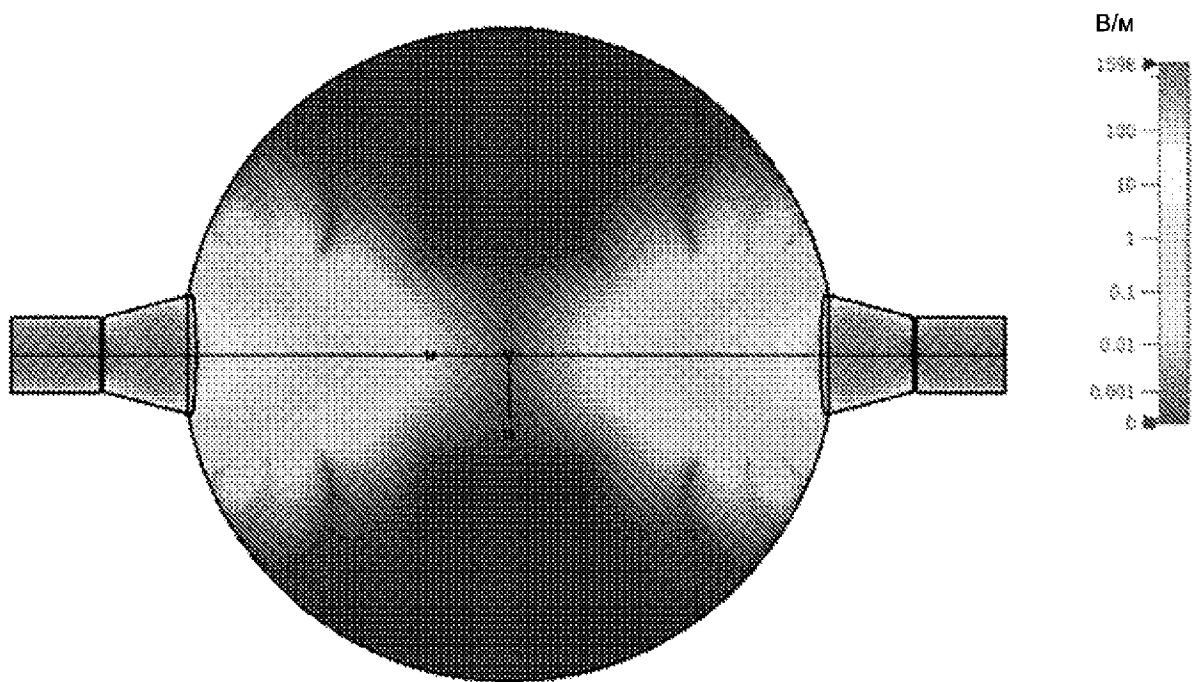
ФИГ. 10А



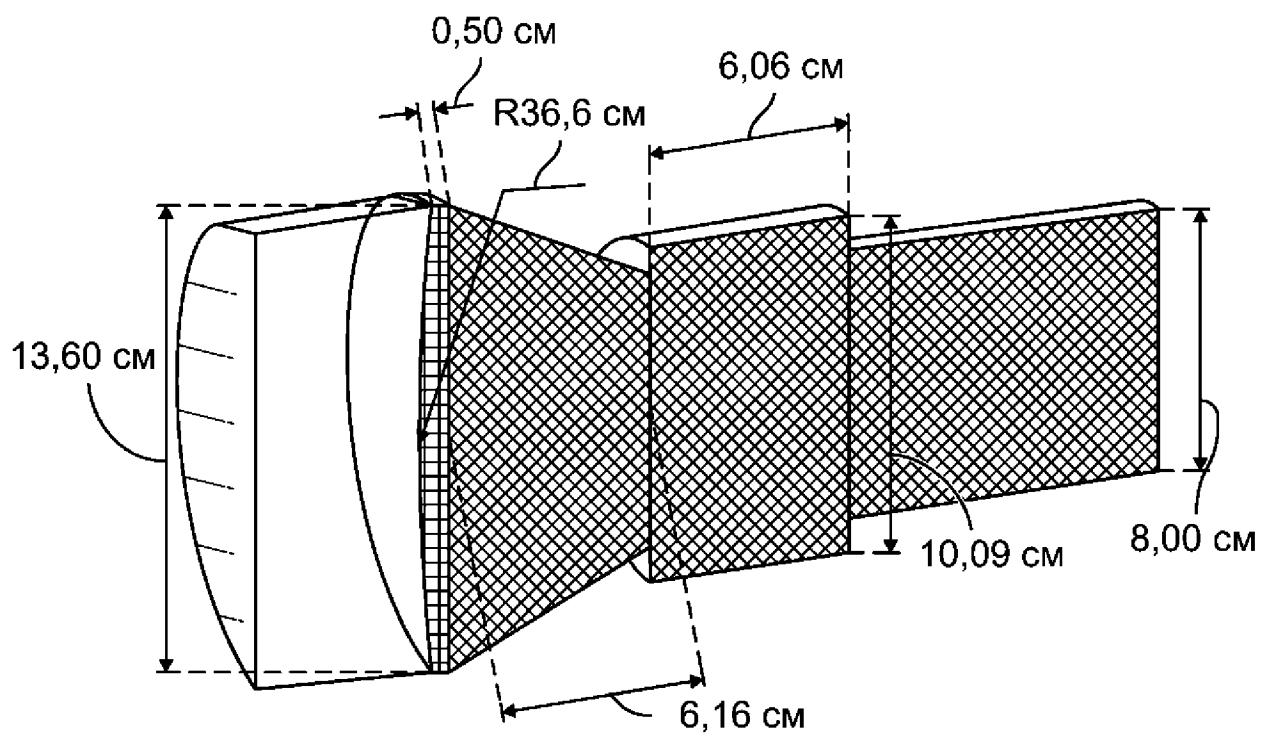
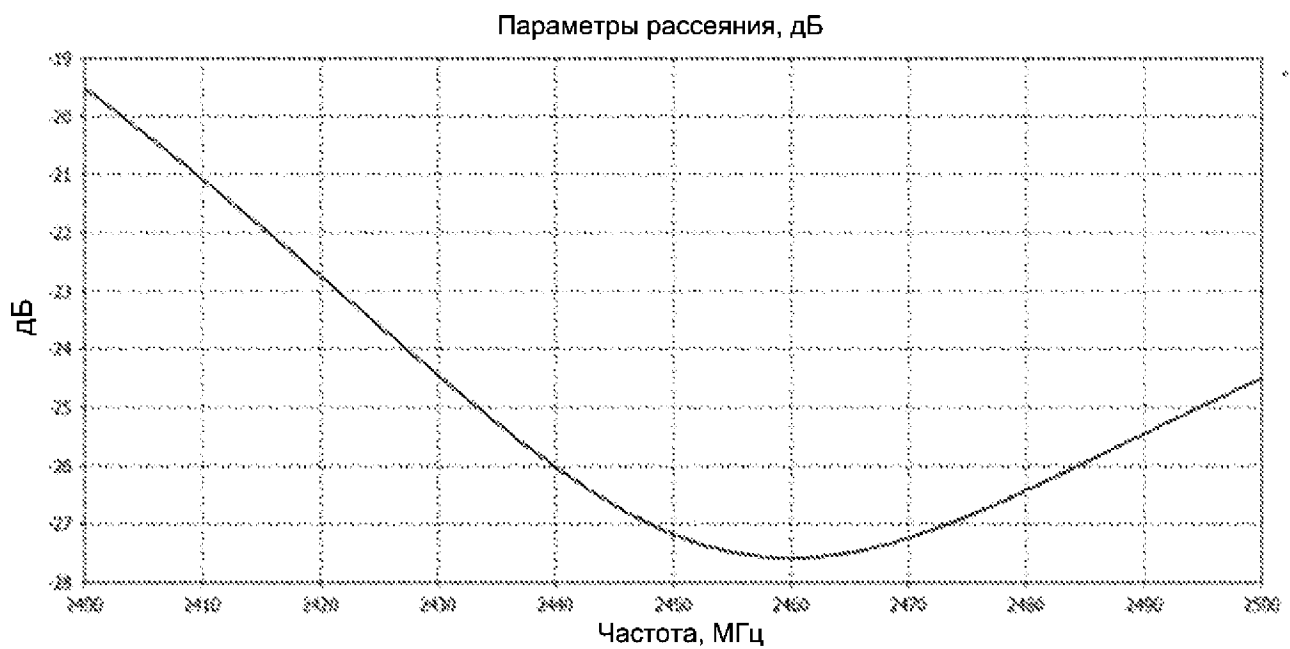
ФИГ. 10В

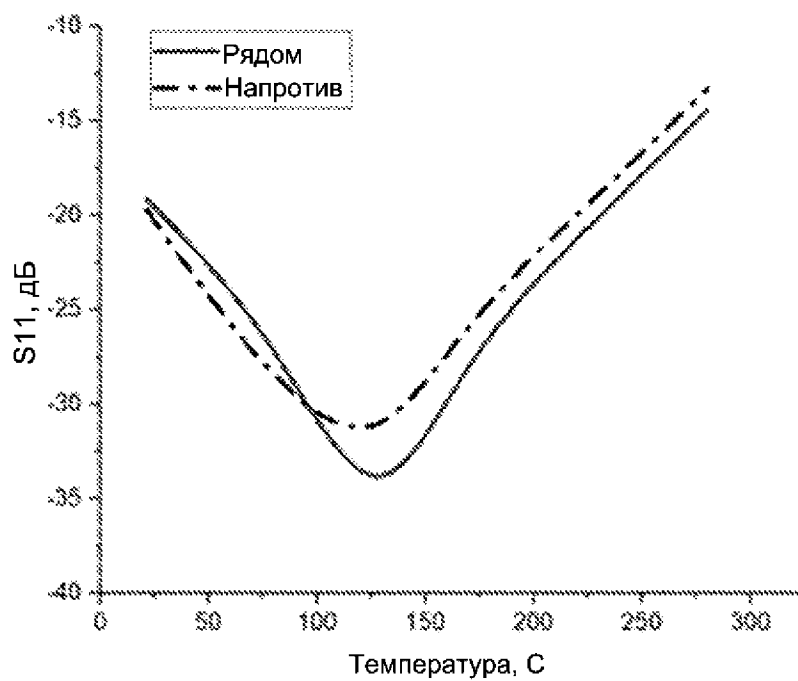


ФИГ. 11А

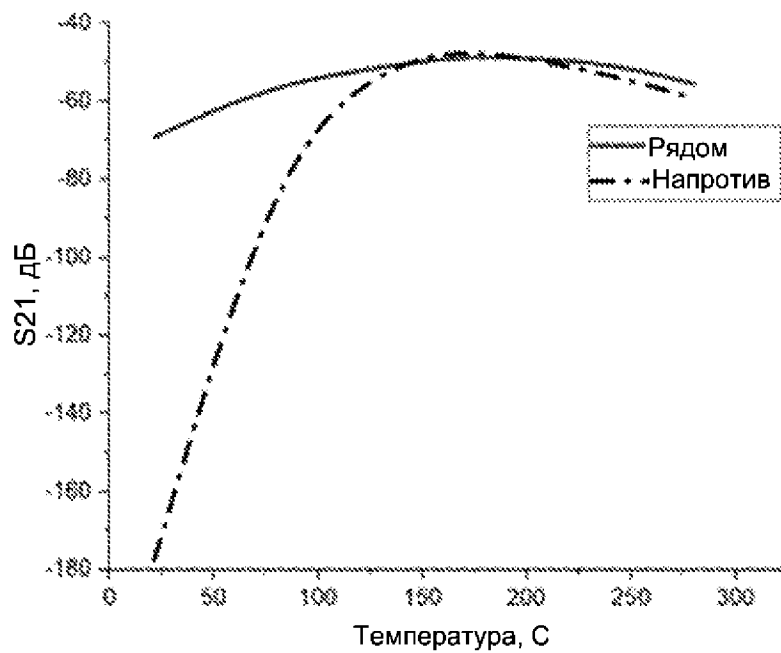


ФИГ. 11В

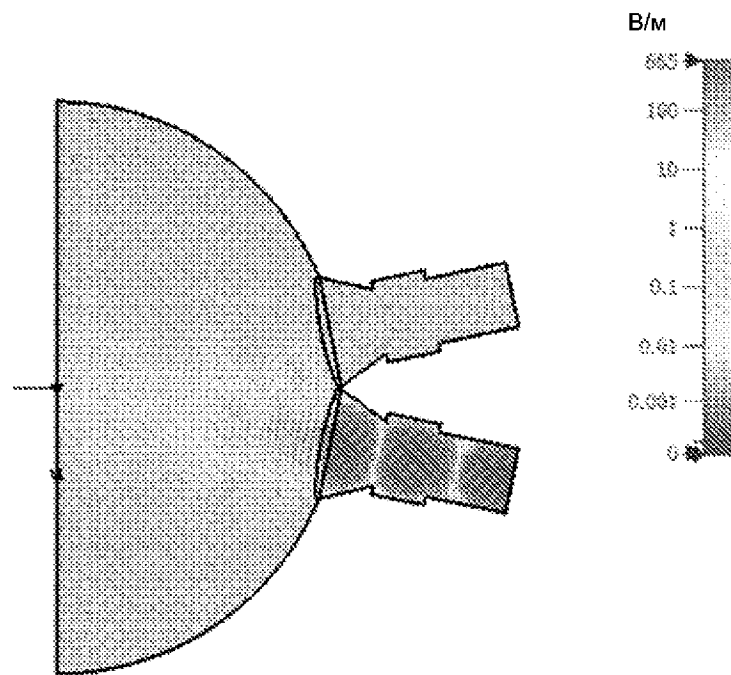
**ФИГ. 12А****ФИГ. 12В**



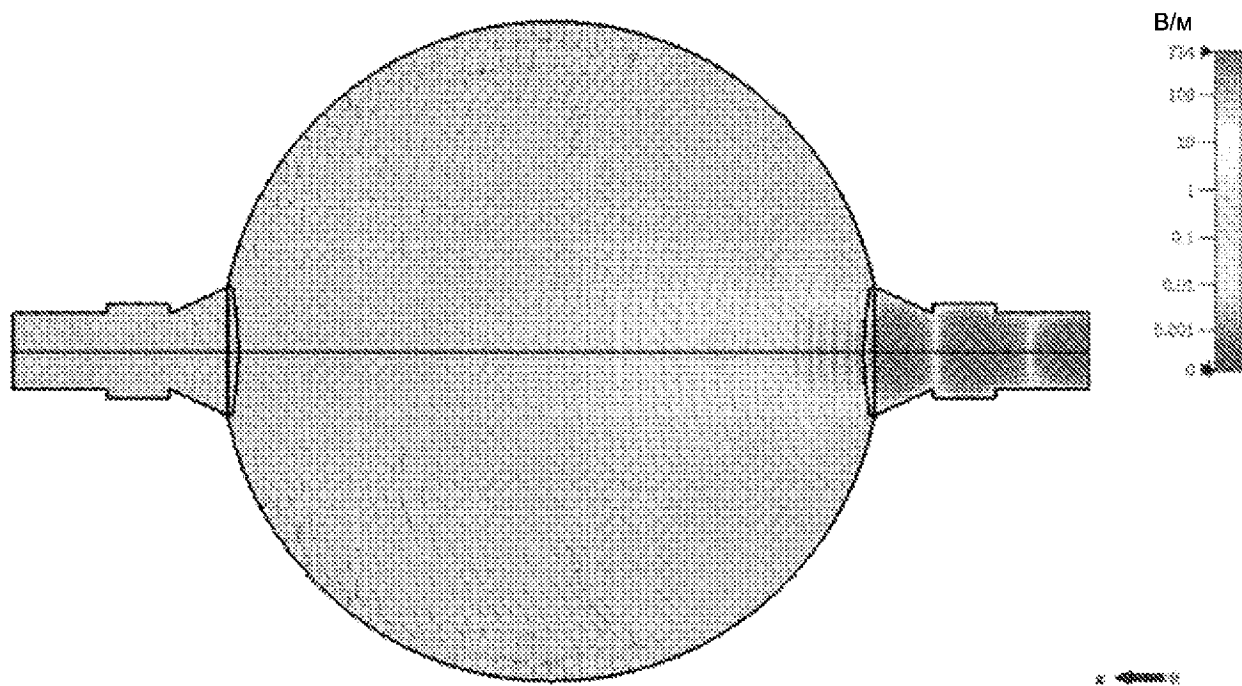
ФИГ. 13А



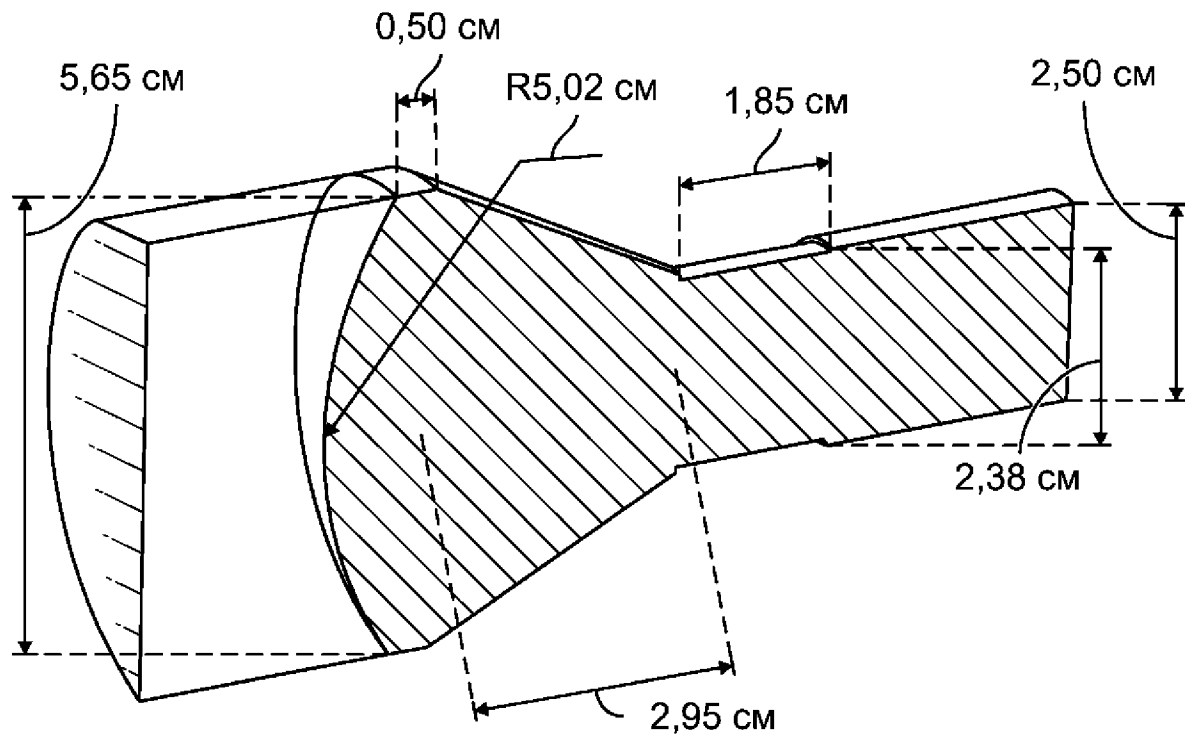
ФИГ. 13В



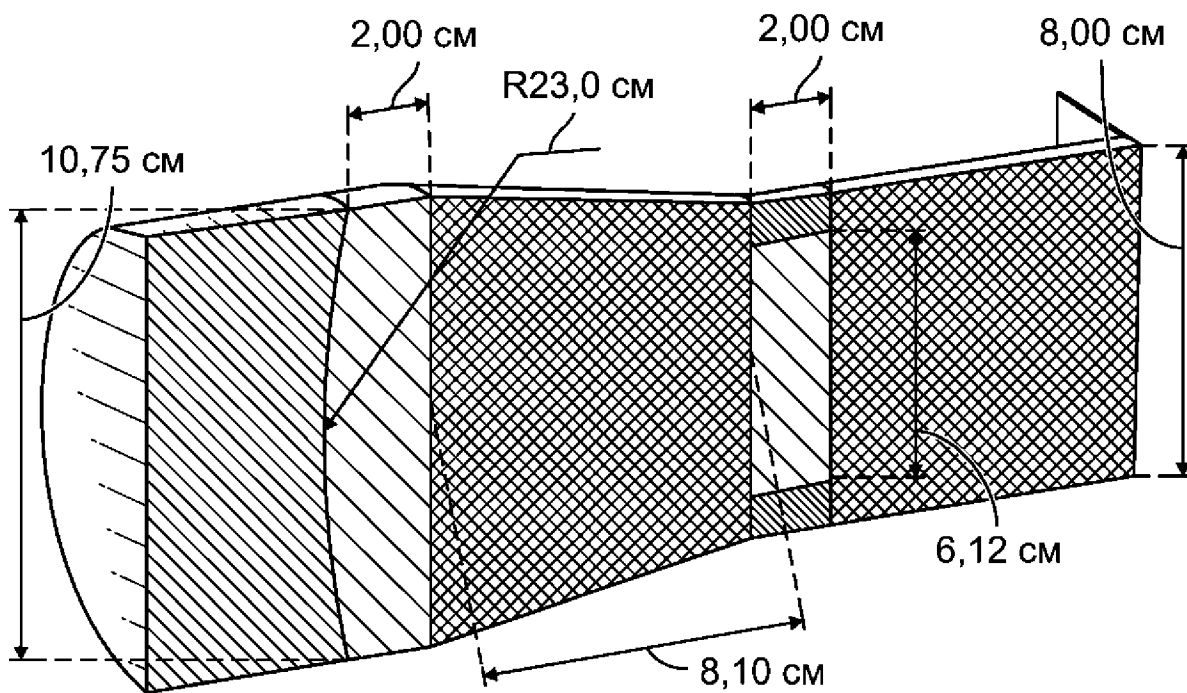
ФИГ. 14А



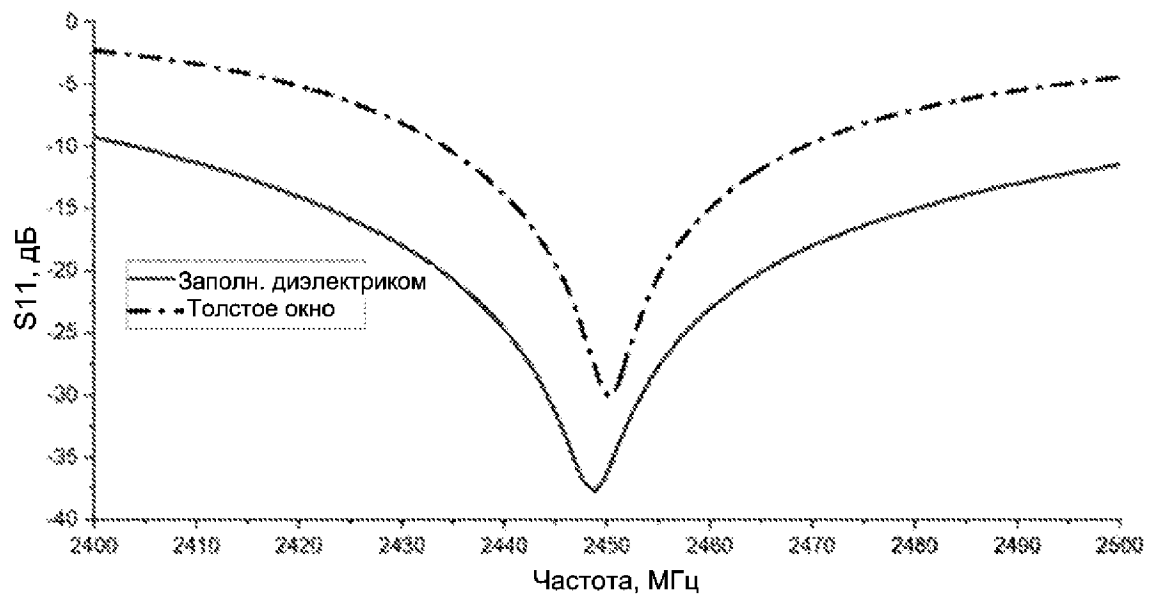
ФИГ. 14В

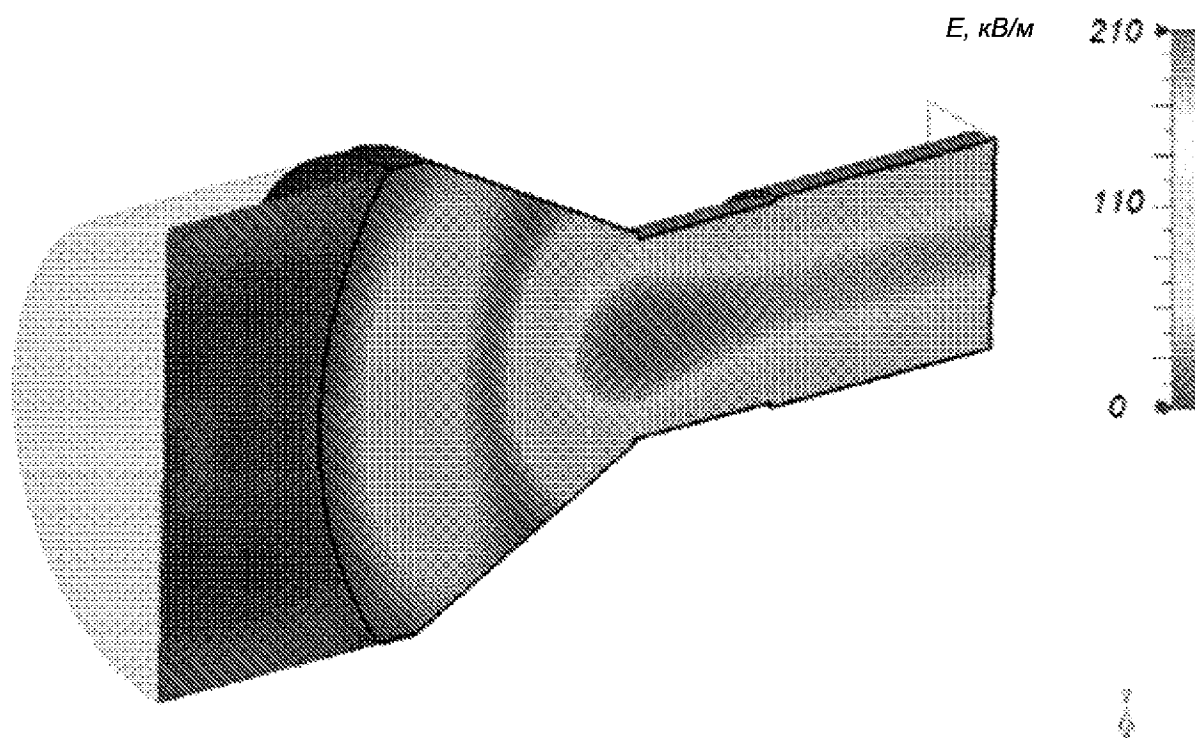


ФИГ. 15А

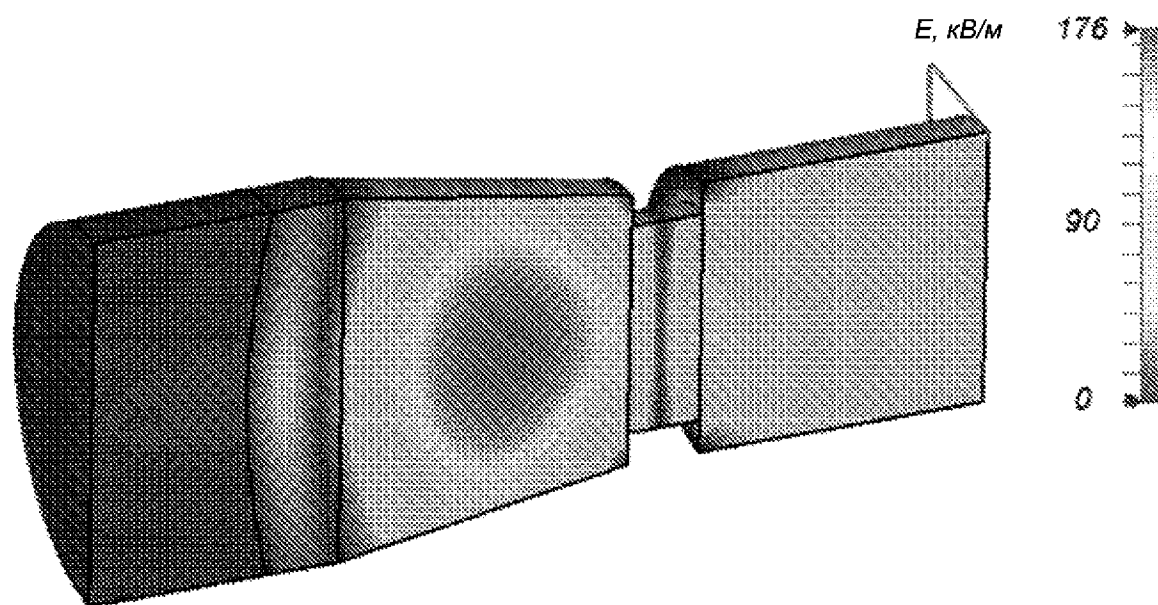


ФИГ. 15В

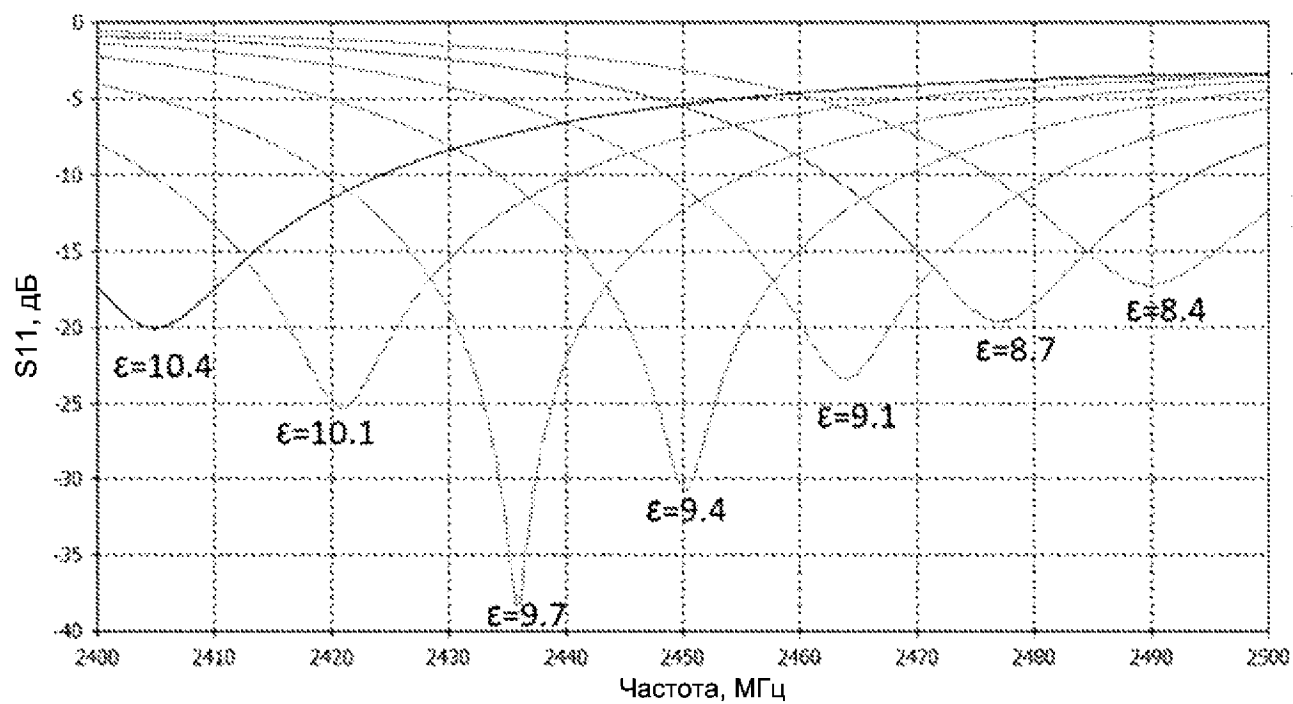
**ФИГ. 15С**



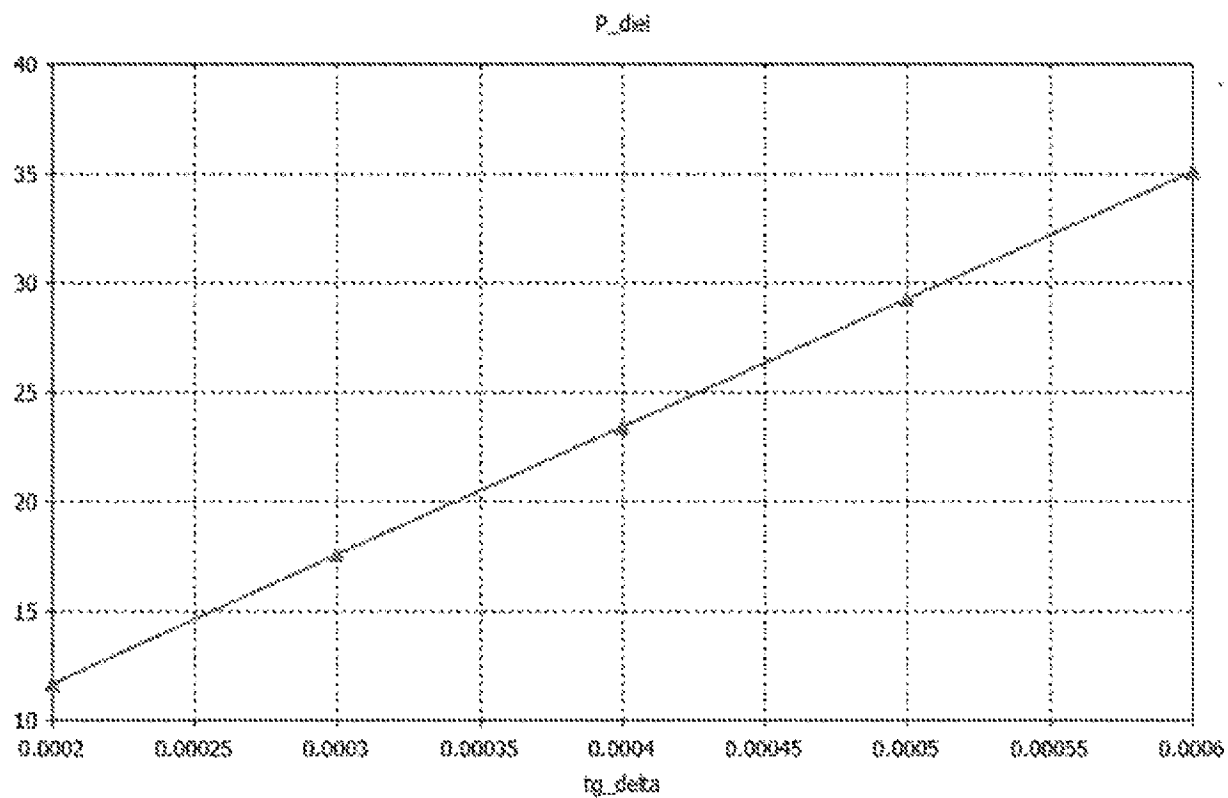
ФИГ. 16А



ФИГ. 16В



ФИГ. 17



ФИГ. 18