



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 21/05 (2024.01); *B01J 19/12* (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023125750, 09.10.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.10.2023

Дата регистрации:
28.02.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.10.2023

(45) Опубликовано: 28.02.2024 Бюл. № 7

Адрес для переписки:
115409, Москва, Каширское ш., 31, НИЯУ
МИФИ, ОУИС ЦТТ, Радько И.Д.

(72) Автор(ы):

Соколов Павел Михайлович (RU),
Самохвалов Павел Сергеевич (RU),
Набиев Игорь Руфайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Национальный
исследовательский ядерный университет
МИФИ" (НИЯУ МИФИ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 211014 U1, 18.05.2022. RU 195095
U1, 15.01.2020. RU 2666853 C1, 12.09.2018. WO
2013017961 A2, 07.02.2013. RU 2800624 C2,
25.07.2023.

(54) МИКРОФЛЮИДНАЯ ПРОТОЧНАЯ ЯЧЕЙКА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

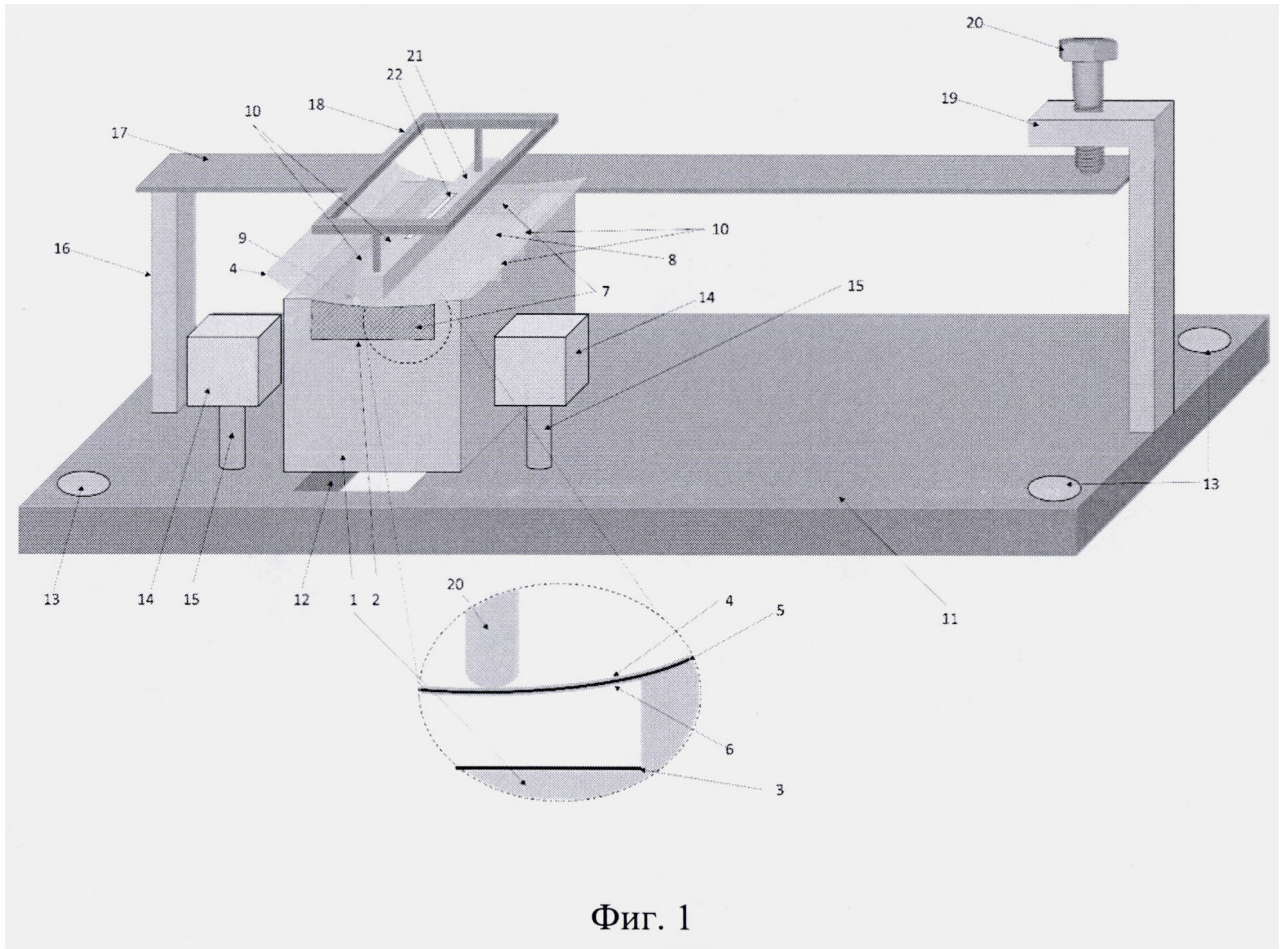
(57) Реферат:

Полезная модель относится к области прикладных исследований, направленных на оптимизацию условий проведения химических реакций, например, для повышения их скорости, увеличения выхода продуктов реакции или смещения равновесия в пользу требуемых продуктов реакции, в частности создания микрофлюидной проточной ячейки для

проведения химических реакций, в которой выполняется условие резонансной сильной связи между собственной электромагнитной модой микрофлюидной проточной ячейки и электронными и/или колебательными переходами молекул субстратов или катализаторов реакции для снижения энергии активации химической реакции. 12 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 223681 U1

RU 223681 U1



Фиг. 1

RU 223681 U1

RU 223681 U1

Полезная модель относится к области прикладных исследований, направленных на оптимизацию условий проведения химических реакций, например для повышения их скорости, увеличения выхода продуктов реакции или смещения равновесия в пользу требуемых продуктов реакции, в частности создания микрофлюидной проточной ячейки для проведения химических реакций, в которой выполняется условие резонансной сильной связи между собственной электромагнитной модой микрофлюидной проточной ячейки и электронными и/или колебательными переходами молекул субстратов или катализаторов реакции для снижения энергии активации химической реакции.

Возможность прохождения химической реакции, как и равновесие между субстратами и продуктами, или различными возможными продуктами реакции, в заданных внешних условиях, определяются энергией активации, концентрациями субстратов и продуктов, внешними условиями, например, давлением и температурой и т.д.

Энергия активации, параметр характеризующий зависимость константы скорости реакции от температуры, определяет минимальное количество энергии, необходимое для перевода субстратов реакции в продукт, то есть является энергетическим барьером, который нужно преодолеть для получения продуктов реакции.

Катализаторы - это специальные соединения, которые могут снизить энергию активации реакции и сделать ее протекание возможным при заданных условиях.

Также химическая реакция может проходить с образованием двух различных продуктов реакции, причем одного с большей эффективностью, так как энергетический барьер к его образованию ниже, чем второго продукта. Для снижения энергии активации образования желаемого продукта и смещения реакции в сторону желаемых продуктов также применяются катализаторы, однако не для всех реакций и их продуктов существуют эффективные катализаторы или их разработка и синтез целесообразны.

Энергию активации можно снизить за счет расщепления энергетических уровней связей между атомами в молекуле. Для этого возможно применение резонаторных ячеек, в которых достигается условие резонанса между собственной электромагнитной модой резонаторной ячейки и электронными и/или колебательными переходами молекул субстратов или катализаторов реакции. В условиях резонанса происходит расщепление энергетических уровней связей между атомами молекулы, что приводит к снижению энергии активации реакции или смещению реакции в сторону определенных продуктов.

Известна проточная ячейка для проведения химических реакций, описанная в патенте [1], которая выбрана в качестве прототипа. Известное устройство содержит проточный канал, поверхность которого образована двумя отражающими структурами, составляющими резонаторную ячейку, собственную резонаторную моду которой можно изменять. Это достигается за счет того, что расстояние между отражающими структурами можно изменять, так как одна из отражающих структур выполнена из гибкого упругого материала, на который можно совершать давление с помощью прижимного вала, положение которого можно задавать с помощью дифференциального винта и кронштейна. В конструкции проточной ячейки предусмотрены два магнита для повышения среднего дипольного момента ансамбля молекул образца и, соответственно, увеличения силы связи с собственной электромагнитной модой проточной ячейки. К недостаткам известного решения стоит отнести то, что отверстие для подачи субстратов реакции и отверстие для отведения продуктов реакции расположены по разные стороны от центра продольной плоскости канала и реакционная смесь пересекает область, в которой выполняется условие сильной связи, всего один раз, что снижает эффективность прохождения химической реакции.

Техническим результатом предлагаемой полезной модели является создание

микрофлюидной проточной ячейки для проведения химических реакций.

Микрофлюидная проточная ячейка позволяет повысить эффективность проведения химических реакций, протекающих в жидкой фазе, в условиях резонанса собственной электромагнитной моды отражающих структур предлагаемой микрофлюидной проточной ячейки и электронными или колебательными переходами молекул субстратов реакции и/или катализатора реакции, иммобилизованного в микрофлюидной проточной ячейке, и пространственной ориентации дипольного момента молекул субстратов, в комплексе с многократным прохождением компонентов реакции через зону выполнения условий резонанса, за счет применения микрофлюидной структуры проточной ячейки. Кроме того, микрофлюидная проточная ячейка применима для проведения различных реакций, за счет конструкции, выполненной с возможностью изменения и точной подстройки собственной электромагнитной моды в ходе протекания химических реакций.

Технический результат достигается за счет того, что предложена микрофлюидная проточная ячейка для проведения химических реакций, состоящая из нижней прозрачной и верхней прозрачной пластин, скрепленных с помощью нижней и верхней крепежных пластин. Верхняя прозрачная пластина выполнена из гибкого упругого материала, и на ее нижнюю поверхность нанесен слой отражающего материала. Нижняя крепежная пластина, имеет отверстие для прохождения электромагнитного излучения внутрь микрофлюидной проточной ячейки, также она содержит крепежные отверстия, и на ее поверхности установлены два магнита с возможностью регулировки их положения в плоскости нижней крепежной пластины. При этом верхняя крепежная пластина, содержит отверстие для прохождения электромагнитного излучения внутрь микрофлюидной проточной ячейки. Прижимной вал, который выполнен с возможностью совершения давления на верхнюю прозрачную гибкую пластину и также содержит отверстие для прохождения электромагнитного излучения внутрь микрофлюидной проточной ячейки. Один конец верхней крепежной пластины соединен стойкой с нижней крепежной пластиной с возможностью регулировки угла между плоскостями крепежных пластин в горизонтальной плоскости, а другой конец верхней крепежной пластины находится в механическом контакте с дифференциальным винтом, закрепленным на нижней крепежной пластине с помощью кронштейна, для обеспечения регулировки горизонтального положения верхней крепежной пластины. Конструкция дополнена тем, что в нижней прозрачной пластине расположен микрофлюидный канал, который содержит прямоугольные чередующиеся перегородки, высота которых равна глубине микрофлюидного канала, попеременно примыкающие к противоположным боковым граням микрофлюидного канала и перекрывающие его поперечное сечение на 80% от ширины микрофлюидного канала. Поверхность микрофлюидного канала покрыта слоем отражающего материала, с противоположных торцов микрофлюидного канала расположены сквозные отверстия для подачи субстратов реакции и отведения ее продуктов, причем отверстия для подачи субстратов реакции и отведения ее продуктов расположены по разные стороны от центральной оси микрофлюидного канала, а торцы микрофлюидного канала, образованного двумя прозрачными пластинами, герметично заглушены с помощью упругого материала. Слой катализатора нанесен на верхнюю прозрачную пластину поверх слоя отражающего материала.

Предлагаемая полезная модель позволяет повысить эффективность химических реакций, проходящих в проточных резонаторных ячейках. В отличие от выбранного прототипа, где реакционная смесь всего один раз проходит через резонансную область, то есть область, где выполняется условие взаимной параллельности двух отражающих структур и достигается условие резонанса между собственной электромагнитной модой

резонаторной ячейки и электронными и/или колебательными переходами молекул субстратов или катализаторов реакции, в предлагаемой микрофлюидной проточной ячейке реакционная смесь многократно проходит через резонансную область.

Эффективность прохождения реакции зависит от энергии активации, концентраций субстратов, конечных продуктов реакции, и других параметров. В условиях резонанса между собственной электромагнитной модой резонаторной ячейки и электронными и/или колебательными переходами молекул субстратов или катализаторов реакции происходит расщепление энергетических уровней химических связей между атомами субстратов, что приводит к снижению энергии активации реакции или смещает реакцию в сторону определенных продуктов. Скорость и эффективность реакции тем выше, чем выше концентрация субстратов реакции и ниже концентрация ее продуктов. Так как типичное время прохождения химической реакции составляет порядка фемтосекунд, а скорость прокачивания реакционной смеси составляет несколько микролитров в минуту, то локально, в области где достигается условие резонанса, создается избыток продуктов реакции и недостаток ее субстратов, что снижает эффективность и скорость реакции в этой области. Для повышения эффективности реакции достаточно произвести перемешивание реакционной смеси и повторно прокачать ее через область, где достигается условие резонанса, однако это технически затруднительно. Для решения этой задачи и повышения эффективности реакций на поверхности нижней прозрачной пластины создан микрофлюидный канал, который образован чередующимися прямоугольными перегородками, попеременно примыкающими к противоположным боковым граням микрофлюидного канала и за счет своей длины перекрывающие его поперечное сечение на 80% ширины микрофлюидного канала. Это позволяет образовать микрофлюидный проток змеевидной формы, который многократно пересекает плоскость вдоль оси канала, в области вокруг которой выполняется условие резонанса. В этом случае при протекании реакционной смеси происходит ее перемешивание и при повторном и последующих прохождениях через область, где достигается условие резонанса, эффективность реакции не снижается. Таким образом, в сравнении с прототипом, за счет многократного прохождения реакционной смеси через область, где выполняется условие резонанса и постоянном выравнивании концентрации продуктов реакции (снижении) и концентрации субстратов (повышении) за счет перемешивания реакционной смеси достигается повышение эффективности реакции. При этом микрофлюидный канал может быть изготовлен путем литографии, а отражающий слой может быть нанесен методом вращающейся подложки уже поверх микрофлюидного канала. Слой катализатора наносится на верхнюю отражающую пластину, чтобы снизить изменение геометрии микрофлюидного канала за счет нанесения слоя катализатора. Также стоит отметить, что при использовании в качестве материала нижней прозрачной пластины полимера, например, полидиметилсилоксана, и в случае не превышения толщины прямоугольных перегородок 3-5 мкм, и расстояние между соседними перегородками составляет порядка 300-500 мкм, то это не мешает осуществлению тонкой подстройки расстояния между двумя отражающими структурами, в пределах до 50% от изначальной толщины микрофлюидного канала, что позволяет сохранить универсальность конструкции микрофлюидной проточной ячейки.

Возможен первый частный случай, когда в качестве материала нижней отражающей структуры выбран полидиметилсилоксан, полистирол, поликарбонат, полиметилметакрилат, полиуретан.

Возможен второй частный случай, когда толщина прямоугольных перегородок составляет от 1 мкм до 5 мкм.

Возможен третий частный случай, когда расстояние между соседними прямоугольными перегородками, примыкающими к противоположным боковым граням микрофлюидного канала, составляет от 100 мкм до 500 мкм.

5 Возможен четвертый частный случай, когда количество прямоугольных перегородок составляет от 3 до 200 штук.

Возможен пятый частный случай, когда глубина микрофлюидного канала составляет от 3 нм до 6 мкм.

Возможен шестой частный случай, когда толщина слоя отражающего материала составляет от 1 нм до 50 нм.

10 Возможен седьмой частный случай, в котором в качестве отражающего материала применяют пленки металлов и/или фотонные структуры.

Возможен восьмой частный случай, когда слой, отражающий материал, покрыт прозрачной пленкой толщиной от 10 до 200 нм.

15 Возможен девятый частный случай, в котором фотонные структуры представляют собой диэлектрик из органического или неорганического материала.

Возможен десятый частный случай, в котором в качестве слоя катализатора применяются благородные металлы, полупроводники, неорганические соединения, а также органические соединения, например, белки, иммобилизованные на поверхности отражающего материала.

20 Возможен одиннадцатый частный случай, когда магниты закреплены на поверхности нижней крепежной пластины с возможностью регулировки их положения относительно канала микрофлюидной проточной ячейки, в продольном, поперечном, а также вертикальном направлениях.

25 Возможен двенадцатый частный случай, в котором в качестве упругого материала для заглушения торцов микрофлюидного проточного канала применен парафин, силикон, пластилин, резина, губчатые или вспененные структуры, обработанные герметизирующими и клеящими составами.

На фиг. 1 представлен конкретный пример микрофлюидной проточной ячейки для проведения химических реакций.

30 Цифрами обозначены следующие элементы: нижняя прозрачная пластина - 1; микрофлюидный канал - 2; отражающий материал, нанесенный на поверхность микрофлюидного канала - 3; верхняя прозрачная пластина - 4; отражающий материал, нанесенный на верхнюю прозрачную пластину - 5; слой катализатора - 6; упругий материал, заглушающий торцы канала - 7; сквозное отверстие для подачи субстратов реакции - 8; сквозное отверстие для отведения продуктов реакции - 9; прямоугольная перегородка - 10; нижняя крепежная пластина - 11; отверстие для прохождения электромагнитного излучения в нижней крепежной пластине - 12; отверстия для крепления нижней крепежной пластины - 13; магнит - 14; крепление магнита - 15; стойка - 16; верхняя крепежная пластина - 17; отверстие для прохождения электромагнитного излучения в верхней крепежной пластине - 18; кронштейн - 19; дифференциальный винт - 20; прижимной вал - 21; отверстие для прохождения электромагнитного излучения в прижимном вале - 22.

45 Функционирование предлагаемой микрофлюидной проточной ячейки продемонстрировано на примере реакции разложения этанола в сравнении с проточной ячейкой, выбранной в качестве прототипа (П1), а также проточной ячейкой (П2), конструкция которой аналогична прототипу (П1), за тем исключением, что слой катализатора нанесен на верхнюю прозрачную пластину, а не на нижнюю. Реакция разложения этанола на этилен и воду является эндотермической реакцией, то есть

прохождения необходим нагрев реакционной смеси до 300°C и использование оксида алюминия в качестве катализатора. Так как предлагаемая микрофлюидная ячейка, П1 и П2 отличаются строением верхней и нижней отражающих структур, то в начале опишем отличия их строения, а потом приведем описание общей одинаковой части указанных ячеек.

Проточная ячейка П1: в качестве верхней прозрачной пластины использована плоская пластина из поликарбоната размером 12×36 мм и толщиной 400 мкм, с нанесенным слоем из серебра толщиной 50 нм. В качестве нижней прозрачной пластины использована плоская пластина из поликарбоната размером 12×36 мм и толщиной 2 мм, на поверхности которой изготовлен проточный канал длиной 36 мм, шириной 8 мм и глубиной 4 мкм. На поверхность канала нанесен слой серебра толщиной 50 нм, а поверх него слой оксида алюминия толщиной 10 нм.

Проточная ячейка П2: в качестве верхней прозрачной пластины использована плоская пластина из поликарбоната размером 12×36 мм и толщиной 400 мкм, с нанесенным слоем из серебра толщиной 50 нм и нанесенным поверх слоя серебра слоем оксида алюминия толщиной 10 нм. В качестве нижней прозрачной пластины использована плоская пластина из поликарбоната размером 12×36 мм и толщиной 2 мм, на поверхности которой изготовлен проточный канал длиной 36 мм, шириной 8 мм и глубиной 4 мкм. На поверхность канала нанесен слой серебра толщиной 50 нм.

Микрофлюидная проточная ячейка: в качестве верхней прозрачной пластины использована плоская пластина из поликарбоната размером 12×36 мм и толщиной 400 мкм, с нанесенным слоем из серебра толщиной 50 нм и нанесенным поверх слоя серебра слоем оксида алюминия толщиной 10 нм. В качестве нижней прозрачной пластины использована плоская пластина из поликарбоната размером 12×36 мм и толщиной 2 мм, на поверхности которой методом литографии изготовлен микрофлюидный канал глубиной 4 мкм, образованный десятью прямоугольными чередующимися перегородками, высота которых равна глубине микрофлюидного канала, толщина равна 3 мкм, длина 6,4 мм, а расстояние между соседними перегородками равно 500 мкм. Структура микрофлюидного канала, при виде сверху, представлена на фиг. 2, на которой цифрами обозначены следующие элементы: нижняя прозрачная пластина - 1; микрофлюидный канал - 2; сквозное отверстие для подачи субстратов реакции - 8; сквозное отверстие для отведения продуктов реакции - 9; прямоугольная перегородка - 10. На поверхность микрофлюидного канала нанесен слой серебра толщиной 50 нм.

Отверстия для подачи отведения продуктов реакции диаметром 1 мм выполнены методом сверления на расстоянии 10 мм от торцевых краев канала и 2 мм от торцевых граней канала. Остальные элементы у П1, П2 и предлагаемой микрофлюидной проточной ячейки одинаковы. На нижней крепежной пластине, выполненной из поликарбоната высокой плотности, закреплены два магнита, создающие внутри проточной резонаторной ячейки напряженность магнитного поля равную 0,1 Тл, что необходимо для пространственной ориентации дипольных моментов молекул субстрата в одном направлении. Верхняя крепежная пластина, стойка, кронштейн, а также прижимной вал изготовлены из поликарбоната высокой плотности. Расстояние от стойки до прижимного вала равно 2 см, а расстояние от стойки до кронштейна равно 20 см, что позволяет в 10 раз увеличить точность позиционирования прижимного вала с помощью дифференциального винта и обеспечить необходимую силу давления без создания избыточного усилия на дифференциальный винт. Торцы микрофлюидного канала заглушены с помощью воска.

Внутри предлагаемой микрофлюидной проточной ячейки через отверстие для

подачи субстратов реакции было внесено 20 мкл этанола, до тех пор, пока этанол не стал выступать из отверстия для отведения продуктов реакции. После этого предлагаемая микрофлюидная проточная ячейка была установлена на ИК-Фурье спектрометр для задания расстояния между двумя отражающими структурами, с помощью дифференциального винта, при котором расщепление колебательного перехода С-ОН связи в молекуле этанола было максимальным (порядка 3 мкм). Затем этанол прокачивали через ячейки с помощью перистальтического насоса со скоростью 10 мкл в минуту, в течение 20 минут при комнатной температуре. Аналогичная процедура была проведена для проточных ячеек П1 и П2. Продукты реакции анализировали с помощью газового хроматографа. В результате было показано, что в случае, когда максимальное расщепление колебательного перехода С-ОН связи в молекуле этанола было подтверждено спектрометрически коэффициент полезного действия предлагаемой микрофлюидной проточной ячейки, определенный по трем независимым повторениям, составил $37\pm 4\%$, для П1 - $24\pm 5\%$, а для П2 - $24\pm 4\%$. Это свидетельствует о том, что за счет конструкции предлагаемой микрофлюидной проточной ячейки можно повысить эффективность химических реакций, проходящих в проточных резонаторных ячейках.

Предложенная микрофлюидная проточная ячейка подходит для повышения эффективности химических реакций, проходящих в проточных резонаторных ячейках, что достигается путем многократного прохождения компонентов реакции через резонансную область, а также постоянного усреднения концентрации субстратов и продуктов реакции внутри микрофлюидного канала.

Источники информации

1. Соколов П.М., Самохвалов П.С., Гунько Ю.К. Проточная ячейка для проведения химических реакций. Патент РФ RU 211014 U1.

(57) Формула полезной модели

1. Микрофлюидная проточная ячейка для проведения химических реакций, состоящая из нижней прозрачной и верхней прозрачной пластин, скрепленных с помощью нижней и верхней крепежных пластин, верхняя прозрачная пластина выполнена из гибкого упругого материала, и на ее нижнюю поверхность нанесен слой отражающего материала, в то время как нижняя крепежная пластина имеет отверстие для прохождения электромагнитного излучения внутрь микрофлюидной проточной ячейки, также она содержит крепежные отверстия, и на ее поверхности установлены два магнита с возможностью регулировки их положения в плоскости нижней крепежной пластины, а верхняя крепежная пластина содержит отверстие для прохождения электромагнитного излучения внутрь микрофлюидной проточной ячейки, прижимной вал, который выполнен с возможностью совершения давления на верхнюю прозрачную гибкую пластину и также содержит отверстие для прохождения электромагнитного излучения внутрь микрофлюидной проточной ячейки, при этом один конец верхней крепежной пластины соединен стойкой с нижней крепежной пластиной с возможностью регулировки угла между плоскостями крепежных пластин в горизонтальной плоскости, а другой конец верхней крепежной пластины находится в механическом контакте с дифференциальным винтом, закрепленным на нижней крепежной пластине с помощью кронштейна, для обеспечения регулировки горизонтального положения верхней крепежной пластины, отличающаяся тем, что в нижней прозрачной пластине расположен микрофлюидный канал, который содержит прямоугольные чередующиеся перегородки, высота которых равна глубине микрофлюидного канала, попеременно примыкающие

к противоположным боковым граням микрофлюидного канала и перекрывающие его поперечное сечение на 80% от ширины микрофлюидного канала, поверхность микрофлюидного канала покрыта слоем отражающего материала, с противоположных торцов микрофлюидного канала расположены сквозные отверстия для подачи субстратов реакции и отведения ее продуктов, причем отверстия для подачи субстратов реакции и отведения ее продуктов расположены по разные стороны от центральной оси микрофлюидного канала, торцы микрофлюидного канала, образованного двумя прозрачными пластинами, герметично заглушены с помощью упругого материала, а слой катализатора нанесен на верхнюю прозрачную пластину поверх слоя отражающего материала.

2. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что в качестве материала нижней отражающей структуры выбран полидиметилсилоксан, полистирол, поликарбонат, полиметилметакрилат, полиуретан.

3. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что толщина прямоугольных перегородок составляет от 1 до 5 мкм.

4. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что расстояние между соседними прямоугольными перегородками, примыкающими к противоположным боковым граням микрофлюидного канала, составляет от 100 мкм до 500 мкм.

5. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что количество прямоугольных перегородок составляет от 3 до 200 штук.

6. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что глубина канала составляет от 3 нм до 6 мкм.

7. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что толщина слоя отражающего материала составляет от 1 нм до 50 нм.

8. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что в качестве отражающего материала применяют пленки металлов и/или фотонные структуры.

9. Микрофлюидная проточная ячейка по пп 1, 8, отличающаяся тем, что слой отражающего материала, покрыт прозрачной пленкой толщиной от 10 нм до 200 нм.

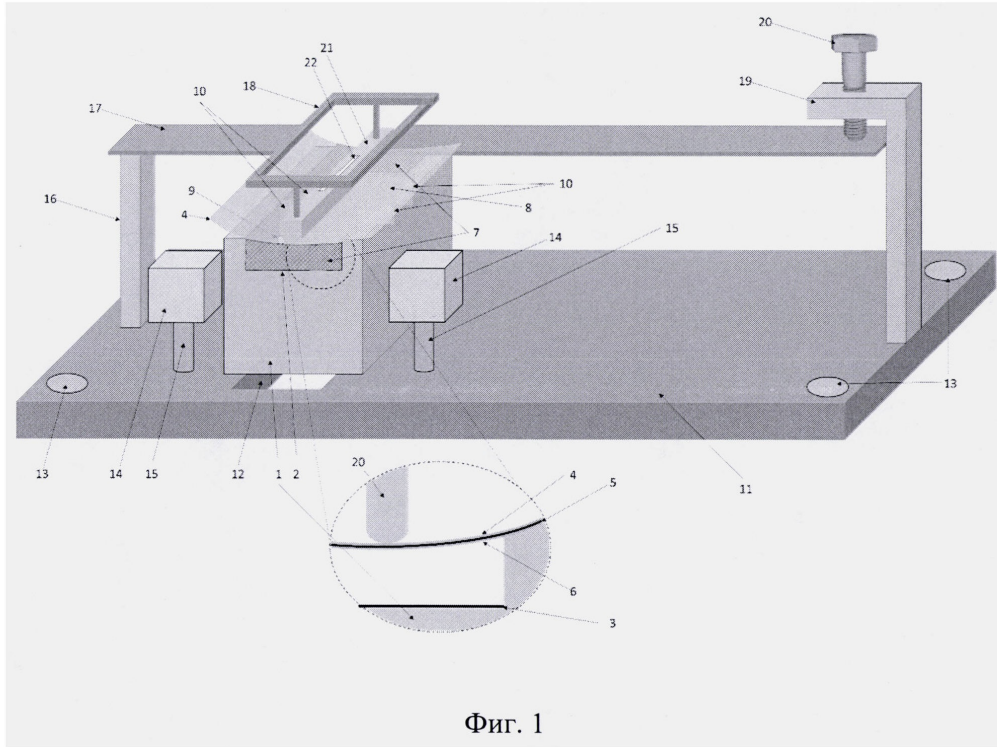
10. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 8, отличающаяся тем, что фотонные структуры представляют собой диэлектрик из органического или неорганического материала.

11. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что в качестве слоя катализатора применяются благородные металлы, полупроводники, неорганические соединения, а также органические соединения, например белки, иммобилизованные на поверхности отражающего материала.

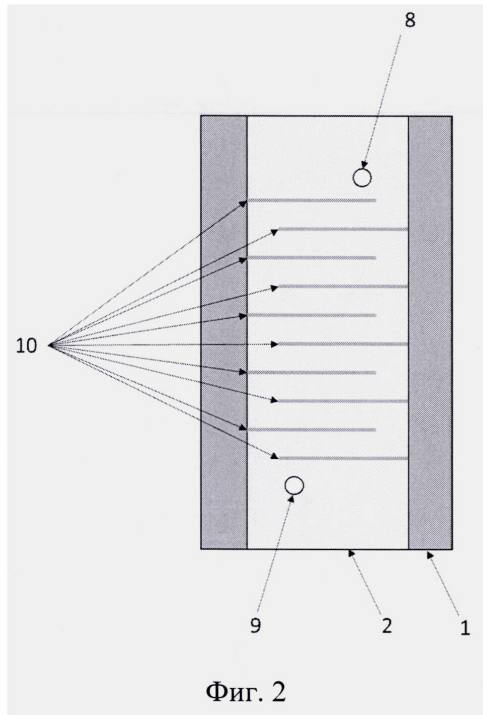
12. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что магниты закреплены на поверхности нижней крепежной пластины с возможностью регулировки их положения относительно канала проточной ячейки, в продольном, поперечном, а также вертикальном направлениях.

13. Микрофлюидная проточная ячейка по п. 1, отличающаяся тем, что в качестве упругого материала для заглушения торцов проточного канала применен парафин, силикон, пластилин, резина, губчатые или вспененные структуры, обработанные герметизирующими и клеящими составами.

1



2



Фиг. 2