

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **034405**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.02.05

(51) Int. Cl. **G01L 9/00** (2006.01)
G01L 11/02 (2006.01)

(21) Номер заявки
201890993

(22) Дата подачи заявки
2016.11.29

(54) **ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ**

(31) **20151618**

(56) **US-B2-7359067**
US-A1-2005105098

(32) **2015.11.29**

(33) **NO**

(43) **2018.11.30**

(86) **PCT/EP2016/079145**

(87) **WO 2017/089624 2017.06.01**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ТЬЮНАБЛ ИНФРАРЭД
ТЕКНОЛОДЖИЗ АС (NO)**

(72) Изобретатель:
Йохансен Иб-Руне (NO)

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев
А.В. (RU)**

(57) Изобретение относится к оптическому датчику давления, такому как микрофон, состоящему из двух мембран, в котором звук входит не перпендикулярно мембране, а сбоку. Мембраны могут располагаться параллельно, как в интерферометре Фабри-Перо, или немного под углом, как в интерферометре с воздушным клином. В датчике давления используется интерферометрическое считывание, и он содержит две мембраны, по существу, с одинаковыми характеристиками, при этом по меньшей мере одна из мембран частично пропускает и частично отражает свет, а другая мембрана, по меньшей мере частично, отражает свет, мембраны разделены полостью, определяемой распорной деталью, расстояние между мембранами является переменным, и они образуют резонатор Фабри-Перо, чувствительный к смещению, при этом две мембраны имеют общий тыльный герметичный или, по существу, герметичный объем на частоте измерения, причем увеличение давления приводит к тому, что мембраны двигаются в противоположных направлениях.

034405
B1

034405
B1

Изобретение относится к оптическому датчику давления, в котором используется интерферометрическое считывание.

До последнего времени работа датчиков давления, таких как микрофоны, была основана на использовании емкостных структур и измерении импеданса. Этому способу присуще множество недостатков, связанных с чувствительностью, предварительной нагрузкой при высоких напряжениях, местоположением мембраны относительно тыльного электрода, шумом, генерируемым вследствие сжатия пленки между тыльным электродом и мембраной, высокими требованиями к качеству преусилителей и тем, что мембрана должна быть предварительно подвергнута достаточно сильному напряжению, чтобы избежать увлечения мембраны к тыльному электроду. Эти недостатки приводят к дорогим и сложным решениям.

В последнее время было найдено несколько решений с использованием оптического считывания. В заявке на патент США № 2004/0130728 для измерения перемещений мембраны используется модулированная дифракционная решетка. В заявке на патент США № 2005/0018541 описано усовершенствование, в котором используется дифракционная структура с модулированной эффективностью дифракции, например для измерительного давления. В заявке на патент США № 2005/0105098 описана конструкция Фабри-Перо со встроенным детектором на одной из поверхностей, где мембрана образована другой поверхностью, а в патентах США № 5832157 и № 7359067 описано, как можно использовать лазер с управляемой длиной волны с датчиком Фабри-Перо и как можно использовать длину волны для получения оптимального отклика. Управление длиной волны обычно требует управления как температурой, так и током через лазерный диод и часто включает использование дополнительных элементов, таких как элементы Пельтье, датчики температуры, а также электронные схемы для управления и регулировки.

Все описанные выше технические решения требуют чрезвычайно точной обработки и множества шагов для создания элемента датчика или же сложных способов управления и регулировки. Кроме того, работа такого датчика может быть нарушена внешними вибрациями. Поэтому целью настоящего изобретения является создание улучшенного решения вышеуказанных проблем.

Настоящее изобретение относится к датчику давления, например к микрофону, измеряющему флуктуации давления и состоящему из двух мембран, при этом звук или волны давления падают не перпендикулярно к мембране, а сбоку, как показано на фиг. 1. Мембрана может иметь параллельную конфигурацию, как одна из поверхностей в датчике Фабри-Перо, или идти немного не параллельно, как в интерферометре с воздушным клином (https://en.wikipedia.org/wiki/Air-wedge_shearng_interferometer).

При изменении давления расстояние между мембранами меняется, и вариацию расстояния можно считывать оптически, как известно из принципов работы интерферометров Фабри-Перо и интерферометров с воздушным клином. Если мембраны имеют одинаковую толщину и размеры и одинаковую напряженность (мягкость), то внешние колебания воздействуют на них, по существу, с одинаковой амплитудой в одинаковом направлении, в то время как измеряемый звук или волны давления перемещают мембраны в противоположных направлениях. Если измерять расстояние между мембранами, такой датчик меньше подвержен влиянию внешних колебаний и шумов. Это будет преимуществом во многих приложениях, например когда требуется обнаружить очень слабые сигналы и при использовании в шумной окружающей среде. Такое использование относится к фотоакустическому обнаружению в газовых датчиках, где требуется обнаружение очень слабых сигналов, но внешние колебания и внешний шум часто являются ограничительным фактором.

В фотоакустических детекторах для возбуждения газовой или аналогичной среды используются импульсные источники света, при этом свет поглощается средой, которая расширяется с генерацией звукового сигнала на частоте импульсного источника света. В этих приложениях часто используются очень низкие частоты, и настоящее изобретение хорошо подходит для создания датчиков, имеющих высокую чувствительность на низких частотах. Мембраны могут быть сделаны очень мягкими (низкая напряженность) и, таким образом, могут быть чувствительными к низким частотам. Если использовать такие мягкие мембраны в емкостном микрофоне, мембрану притянет к тыльному электроду, и микрофон не будет работать. Поскольку изобретение не содержит мембрану, блокирующую вход, как имеет место во многих микрофонах, можно поместить пробу газа между мембранами. Это также позволяет поместить адсорбционный блок между мембранами или близко к ним, так чтобы можно было сконцентрировать газ в пробе, адсорбируя газ в течение долгого времени, а затем освободить его в небольшой объем, определяемый мембранами. Это также позволяет измерять очень низкие концентрации газа с использованием относительно простого датчика. При использовании полупроницаемых мембран, таких как спеченный фильтр с порами между 0,1 и 50 мкм, и при толщине фильтра между 0,1 и 3 мм можно изготовить акустический фильтр, пропускающий газ и в то же время фильтрующий низкочастотный шум от окружающей среды, а также останавливающий утечку фотоакустического сигнала. Такое техническое решение известно, см., например, патенты US 4818882 и CN 689925. Комбинируя это известное техническое решение с настоящим изобретением, можно создать систему, хорошо подходящую для подавления внешних шумов и колебаний, и в то же время обнаруживающую очень слабые сигналы вследствие фотоакустического процесса. Ее можно дополнительно усовершенствовать путем добавления активных и пассивных фильтров, удаляющих внешний шум в пределах частоты или частот, используемых фотоакустическим датчиком.

Поскольку используется принцип интерферометрического считывания между двумя отражающими

поверхностями, расстояние между поверхностями может быть сделано относительно большим, и по практическим причинам это расстояние должно быть больше 10 мкм, чтобы избежать эффектов сжатия пленки, ослабляющих механические перемещения, или генерации шумов. На практике расстояние между мембранами может быть в диапазоне от 10 мкм до 10 мм.

В параллельном интерферометре можно настроить рабочую точку путем настройки длины волны света. Рабочая точка обычно расположена близко к области максимальной чувствительности, или когда достигнута наибольшая линейность отклика, или когда достигнут наивысший динамический диапазон. Источником света, как правило, является лазерный диод 1, и длину волны можно настроить изменением температуры и/или тока через лазерный диод. Можно также настроить рабочую точку путем изменения расстояния между мембранами, например с помощью пьезоэлектрического элемента, электростатических сил, теплового расширения и т.д.; кроме того, рабочую точку можно также изменить путем изменения угла распространения направленного света относительно мембран, например, перемещая лазерный чип относительно линзы или изменяя угол положения мембран относительно направленного света.

Если мембраны расположены немного непараллельно, то направленный свет, проходя через мембраны, создаст интерференционную картину, например линейную картину, и можно обнаружить эту картину одномерным или двумерным массивом детекторов. Альтернативно можно получить интерференционную картину, если лазерный луч параллелен менее чем на 100%, то есть слабо сходится или расходится, и затем измерить его массивом детекторов. Или можно выполнить в мембранах малые углубления (или плоские параллельные углубления) так, чтобы в интерферометре имелось несколько интервалов различной протяженности, но каждый интервал был локализован в определенной области, чтобы можно было считывать каждый интервал соответствующими детекторами. Предпочтительно подобрать эти интервалы так, чтобы получить или, по существу, получить фазовый сдвиг в интерференционном сигнале 0° и 90° , или 0° , 120° и 240° , или 0° , 60° и 120° , или другие комбинации, обеспечивающие хорошую чувствительность или динамический диапазон, например, как раскрыто в US 2016/0138906. В простейшем варианте можно произвести выбор нескольких каналов для линеаризации сигнала и/или расширения динамического диапазона. Альтернативно углублениям можно обеспечить слой материала в том же самом месте, чтобы изменилась длина оптического пути, и можно было получить заданные фазовые сдвиги в интерференционных сигналах.

Ниже изобретение описано со ссылками на сопровождающие чертежи, которые иллюстрируют изобретение посредством примеров.

На фиг. 1 показано поперечное сечение предпочтительного варианта выполнения настоящего изобретения.

На фиг. 2 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, в котором используется сходящийся свет.

На фиг. 3 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, в котором используется расходящийся свет.

На фиг. 4 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, в котором используется одна наклонная мембрана.

На фиг. 5 показано поперечное сечение второго варианта выполнения настоящего изобретения, в котором используется наклонная мембрана.

На фиг. 6 показано поперечное сечение третьего варианта выполнения настоящего изобретения, в котором используется наклонная мембрана.

На фиг. 7 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, в котором используются углубления для создания различных расстояний в различных местах.

На фиг. 8 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, в котором используется выпуклость на одной мембране для создания различных расстояний в различных местах.

На фиг. 9 показано поперечное сечение двух мембран в варианте выполнения настоящего изобретения, в котором используются углубления в обеих мембранах для создания различных расстояний в различных местах.

На фиг. 10 показано типичное расположение углублений в середине мембраны.

На фиг. 11 показан процесс создания трех или четырех высот или расстояний при использовании только одного углубления на мембрану.

На фиг. 12 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, в котором используется активный источник давления для изменения рабочей точки.

На фиг. 13 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, выполненного из кремниевой подложки.

На фиг. 14 показан компонент, изображенный на фиг. 13, с установленными полупроницаемыми мембранами.

На фиг. 15 иллюстрируется способ создания наклонной мембраны на кремниевой подложке.

На фиг. 16 показан возможный способ изготовления мембраны с ослабленными напряжениями, содержащей углубления.

На фиг. 17 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, используе-

мого в качестве фотоакустического обнаружителя газа.

На фиг. 18 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, используемого в качестве фотоакустического датчика газа и включающего активное шумоподавление.

На фиг. 19 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, используемого в качестве фотоакустического обнаружителя газа и содержащего пассивный фильтр для подавления шумов.

На фиг. 20 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, используемого в качестве фотоакустического обнаружителя газа, в котором газ поступает в пространство, связанное с мембранами.

На фиг. 21 показано поперечное сечение изобретения, используемого в качестве фотоакустического обнаружителя газа, содержащего адсорбционный блок.

На фиг. 22 показано другое поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, используемого в качестве фотоакустического обнаружителя газа, в котором газ поступает в пространство, связанное с мембранами.

На фиг. 23 показан процесс создания мембраны с управляемой разностью высот.

На фиг. 1 иллюстрируется принцип работы изобретения, содержащего оптический датчик давления, например оптический микрофон, содержащий две мембраны 3, 4, при этом акустический источник 10 находится сбоку от мембран. Мембраны установлены на несущей конструкции 5, и разделительная распорная деталь 6 разделяет мембраны на выбранное расстояние. Мембраны 3,4, несущая конструкция 5, разделительная распорная деталь 6 и корпус 8, закрывающий всю конструкцию, составляют герметичный или почти герметичный блок для измерения желаемых звуковых частот. Таким образом, закрытый объем также представляет общий тыльный или эталонный объем для этих двух мембран, перемещающихся в ответ на колебания давления в объеме, то есть действующий как объем датчика. Если этот датчик-измеритель абсолютного давления, блок должен быть абсолютно герметичным, но в микрофоне обычно используется канал утечки, обеспечивающий выравнивание давления. Канал утечки характеризуется, как правило, постоянной времени между 0,01 и 10 с, в зависимости от частоты измеряемых волн давления или звуковых волн.

Материал мембран 3, 4 зависит от приложения, а также от доступных материалов и может быть выбран из широкого спектра материалов, имеющих достаточную жесткость, гибкость и прочность, способных работать в условиях окружающей среды конкретного применения системы, а также иметь соответствующие характеристики отражения и пропускания.

Как сказано выше, увеличение давления меняет расстояние между мембранами. Мембраны 3, 4, как правило, выполнены из материала, который частично отражает, а частично пропускает свет, поэтому они совместно образуют интерферометр. Если они, по существу, параллельны, то образуют интерферометр Фабри-Перо. Путем подачи между мембранами света из источника 1 света с достаточной когерентностью длин волн можно измерить изменение взаимного положения мембран детектором или массивом 7 детекторов, регистрируя вариации интенсивности света, прошедшего через интерферометр, с использованием по меньшей мере одного светочувствительного датчика или путем регистрации результирующих изменений интерференционной картины на стороне детектора интерферометра с использованием одно- или двумерных массивов детекторов, например, как раскрыто в US 2016/0138906. Как правило, источник 1 света представляет собой лазер или светодиод с узкой полосой частот. Если требуется коллимированный или почти коллимированный луч света, между источником света и мембранами может использоваться оптический элемент 2. Как правило, это линза, преломляющая или дифракционная, или же отражающий оптический элемент. На фиг. 1 свет распространяется, по существу, перпендикулярно к мембранам. В некоторых случаях желательно избежать отражений назад к источнику 1 света и поэтому желательно выбрать несколько наклонное распространение света через мембраны.

Основная цель распорной детали 6 состоит в том, чтобы обеспечить, по существу, фиксированное расстояние между несущими конструкциями, удерживающими мембраны, но разделительная распорная деталь 6 может также быть выполнена из материала, меняющего это расстояние, такого как пьезоэлектрический элемент (PZT), меняющий расстояние в ответ на приложенное напряжение. Такой материал, меняющий расстояние, может использоваться для управления расстоянием между мембранами и, таким образом, оптимизации рабочей точки интерферометрического считывателя. Эту рабочую точку можно также оптимизировать, изменяя длину волны источника 1 света.

На фиг. 2 показано, как для формирования интерференционной картины 9 можно использовать сходящийся лазерный свет. Различные углы падения дают различные пути распространения света и генерируют интерференционную картину. Интерференционный узор будет зависеть от формы линзы 2. Линза может направлять свет в одном направлении относительно оптической оси, но при этом немного собирая его в другом, что требует использования обыкновенной линзы в комбинации с цилиндрической оптикой. В современной оптике можно генерировать, по существу, любые требуемые параметры линзы. Затем интерференционную картину можно считывать одномерным или двумерным массивом детекторов или детектором с кольцевыми сегментами или частями кольцевых сегментов.

На фиг. 3 показано, как для формирования интерференционной картины 9 можно использовать рас-

ходящийся лазерный свет. Как сказано выше, различные углы падения дают различные пути распространения света и генерируют интерференционную картину. Интерференционная картина будет зависеть от формы линзы. Как показано на фиг. 3, линза может направлять свет в одном направлении и делать его немного расходящимся в другом направлении, что требует использования обыкновенной линзы в комбинации с цилиндрической оптикой, такой как цилиндрическая линза. Линза или линзы могут быть выполнены с использованием преломляющих оптических элементов или дифракционных оптических элементов. Интерференционную картину можно считать одномерным или двумерным массивом детекторов или детектором с кольцевыми сегментами или частями кольцевых сегментов.

Если желательна изготовить датчик давления согласно одному из вариантов выполнения настоящего изобретения, параллельные мембраны легко изготовить с использованием способов микромеханической обработки полупроводников, таких как кремний. Однако сложнее изготовить мембрану с управляемым углом.

На фиг. 4 показано, как можно объединять мембраны, которые не являются параллельными, с использованием распорной детали 12. Свет через мембраны может идти параллельно, расходиться или сходиться. Если идет параллельный свет и мембраны расположены параллельно в одном направлении и немного непараллельны в другом направлении, можно обнаружить линейную картину на одномерном массиве. Указанную распорную деталь можно регулировать так, чтобы расстояние менялось, например подавая определенное напряжение. Таким образом, чтобы получить полезную рабочую точку, можно использовать только один одиночный детекторный элемент и регулировать высоту.

Другой способ получения непараллельных мембран показан на фиг. 5. Мембрана может быть подвергнута микрообработке и выполнена способом изготовления непараллельных мембран либо созданием микромеханической обработкой разности высот на одной стороне, либо изготовлением мембран на клиновидной подложке. В обоих случаях можно использовать распорную деталь 6, которая в высокой степени параллельна, и в то же самое время получить управляемый угол между мембранами.

На фиг. 6 показан другой способ создания угла между мембранами. Можно "распараллелить" мембраны, втягивая один конец мембраны 11, например с использованием известным способом электростатической силы между электродом на несущей конструкции 5 и другим электродом 11 вблизи края мембраны 4. В зависимости от материала и напряжения иногда можно поместить мембрану в постоянное положение, не подавая напряжение постоянно. В принципе это можно использовать для сжатия мембраны, находящейся под некоторым механическим напряжением, или управления расстоянием так, чтобы получить оптимальную рабочую точку.

На фиг. 7 показано, как можно обеспечить различные длины оптического пути в различных областях. Интерференционная картина между двумя мембранами, освещенными параллельным светом, будет меняться в зависимости от расстояния, и картина повторяется для каждой половины длины волны. Если отражение относительно мало, как правило меньше 50%, интерференционная картина меняется медленно, поэтому можно обнаружить расстояние, представляющее область с хорошей чувствительностью и пригодной линейностью (оптимальную или близкую к оптимальной рабочую точку). Если мембрана выполнена с несколькими различными высотами, можно обнаружить область, которая может использоваться в качестве рабочей точки, и использовать ее. Или же можно обнаружить много хорошо определенных расстояний и использовать их для реконструкции перемещения мембран в течение нескольких периодов длин волн, как раскрыто в US 2016/0138906.

На фиг. 8 показано поперечное сечение варианта выполнения настоящего изобретения, в котором выпуклость на мембране используется для создания различных расстояний в мембране для различных местоположений. Эта выпуклость может быть, например, слегка сферической, чтобы обеспечить формирование интерференционной картины в виде колец, или же выпуклость может быть треугольной или пилообразной. Цель состоит в создании интерференционной картины, которая изменяется в достаточной степени, чтобы можно было найти подходящую рабочую точку или можно было измерить относительное изменение положения для нескольких интерференционных периодов.

На фиг. 9 показано поперечное сечение мембран 3, 4 в варианте выполнения настоящего изобретения, в котором используются углубления для создания различных расстояний между отражающими поверхностями мембран в различных местах вдоль поверхностей мембран. Выполняя углубление 29 в верхней мембране, можно создать две различные высоты 24, 25 по сравнению с плоской мембраной. Если у второй мембраны также имеется углубление на отражающей поверхности, можно создать четыре различных расстояния 24, 25, 26, 27 между отражающими поверхностями мембран, если углубления 28, 29 в этих двух мембранах имеют различную глубину, и три различных расстояния между мембранами, если углубления имеют одинаковую глубину, поскольку тогда расстояния 25, 27 между углублением и неуглублением будут одинаковыми.

На фиг. 10 на виде сверху показано, как можно выполнить углубления в середине мембран так, чтобы можно было использовать параллельный лазерный луч для освещения всей области и можно было поместить детектор 2x2 непосредственно под мембранами без дополнительных оптических элементов. Положение в центре мембран обеспечивает, кроме того, максимальное изменение расстояния во время флуктуации давления.

На фиг. 11 показано, как можно обеспечить три или четыре различных расстояния между мембранами с использованием только одного углубления в каждой мембране, поворачивая их относительно друг друга и относительно центра мембран и оптической оси так, чтобы обеспечить их частичное наложение. В процессе производства с использованием кремниевых подложек, подходящих для изготовления нескольких мембран согласно варианту выполнения настоящего изобретения, можно сформировать углубления 25, 27 в виде полумесяца, повернутые на 45° , прежде чем собрать их вместе. Если использовать две таких подложки, одна с углублением 25, а другая с углублением 27, одну перевернуть и установить друг на друга с частичным наложением углублений одинаковыми сторонами внутрь (или одинаковыми сторонами наружу), можно обеспечить три различных расстояния между мембранами, если углубления имеют одинаковую глубину, и четыре расстояния, если глубины отличаются, поскольку расстояния будут равны следующим: без углубления 24, первое углубление 25, второе углубление 27 и сумма первого и второго углублений 26. Как правило, можно изготовить 10×10 таких мембран на кремниевом диске, а затем соединить два диска вместе, верхняя сторона напротив верхней стороны или нижняя сторона напротив нижней стороны.

Каждое из углублений 25, 27 может иметь форму полумесяца, или прямоугольника, или может быть составленным из двух меньших соседних друг с другом углублений в пределах области, определяемой, например, вышеуказанными углублениями 25, 27 так, чтобы одно углубление перекрывало углубление на другой мембране, а другое не перекрывало. Преимущество использования двух малых углублений состоит в том, что связь между боковой стенкой и областью углубления делает более малые углубления более жесткими и сохраняет их форму лучше, чем большое углубление, в случае, когда мембрана свободна.

На фиг. 12 показан альтернативный вариант выполнения настоящего изобретения, обеспечивающий подходящую рабочую точку для датчика. При использовании громкоговорителя 43 (или любого устройства, предназначенного для создания перепада давлений в тыльном объеме), предпочтительно с тесным тыльным объемом, можно создавать управляемое давление (ограниченное динамическим диапазоном громкоговорителя или генератора давления) в тыльном объеме микрофона так, чтобы расстояние между мембранами было близко к оптимальной рабочей точке или совпадало с ней. При повышении давления в тыльном объеме мембраны будут сближаться, а при понижении давления в тыльном объеме мембраны будут расходиться. При использовании обратной связи от интерферометрического считывателя давление в тыльном объеме можно отрегулировать для достижения подходящей рабочей точки. Это может не подходить для датчика, который должен поддерживать постоянную рабочую точку: 1) поскольку изменения внешнего давления и температуры могут сделать динамический диапазон громкоговорителя недостаточным; или 2) в случае, если в тыльном объеме имеются утечки или он оборудован выравнивателем давления. Однако это решение может быть полезным, когда достаточно поддерживать оптимальную рабочую точку в течение ограниченного промежутка времени. Возможный способ производства, подходящий, например, для изготовления внешнего корпуса 34 с прозрачными для инфракрасного света окнами 30 из двух кремниевых дисков показан на фиг. 13, где два совершенно одинаковых кремниевых диска установлены вместе один над другим. В этом случае для изготовления углубления 32 величиной 400 мкм в кремниевой подложке 31 толщиной 600 мкм используется, например, жидкостное травление. На той же самой стороне выполнено более мелкое углубление 33, например глубиной 50 мкм, и оно связано с первым углублением каналом 32, выполненным между ними механической обработкой. Затем на подложку и в углубления можно нанести материал, такой как нитрид кремния, который после удаления подложки травлением с другой стороны составит одну из мембран. Если сделать два одинаковых диска с использованием одинаковой обработки, выполнить в них одинаковые углубления и соединить углубления друг с другом, можно получить область корпуса 34 и полость между двумя противолежащими мембранами. В конце можно использовать жидкостное травление для освобождения мембран 35 с внешней стороны. Перемещения мембран можно затем считывать, как описано выше, пропуская световой луч из источника 1 света и, возможно, через линзу 2 и мембраны 3, 4 в детектор или массив 7 детекторов.

Согласно этому варианту выполнения настоящего изобретения проба газа может быть проанализирована в фотоакустическом приложении, если анализируемый газ диффундирует или закачивается в область измерительного корпуса 34 и затем газ облучают светом с подходящими длинами волн (не показан) для создания акустического сигнала. Акустический сигнал затем передается через канал к мембранам, обеспечивая относительное перемещение мембран, которое можно измерить. Если газ в камере поглощает свет импульсного светового луча, то амплитуда перемещений мембран с частотой следования импульсов обеспечит индикацию количества поглощающего газа в камере.

Если нитрид кремния, осажденный при изготовлении мембран, не удален активно за пределы камеры или корпуса 34, он может сформировать антиотражающий слой как внутри, так и снаружи кремния.

Нитрид кремния имеет показатель преломления приблизительно равный 2 и поэтому при выбранной толщине подходит для использования в качестве антиотражающего покрытия на кремнии, имеющем показатель преломления приблизительно 3,4. Толщина антиотражающего покрытия может в некоторых случаях быть, по существу, равной толщине нитридной мембраны 30, а именно в диапазоне 50-200 нм.

На фиг. 13 показано, как две, по существу, одинаковые части 31 могут быть соединены с формированием единого блока. Каждая из этих частей выполнена из кремниевой подложки, в которых сначала

вытравлены углубления 32, 33, а также канал между ними. После этого осаждают материал мембраны, состоящий из нитрида кремния, оксинитрида кремния, алмазоподобных углеродистых материалов или других материалов мембраны. Когда материал мембраны осажден, предпочтительно он связывает подложки вместе. Затем можно использовать эффективные способы соединения с использованием активизации поверхности и скрепить подложки вместе, не удаляя материал мембраны на связываемых поверхностях, или материал мембраны удаляют, и можно использовать окисный слой для защиты поверхности и осуществить связь с использованием соединения сплавлением. Альтернативно между двумя подложками можно использовать третью подложку. Это может быть диск из пирекса со сквозными отверстиями там, где находятся мембрана 30 и полость 34, при этом диск из пирекса связан с двумя подложками с использованием анодного соединения.

На фиг. 14 показан компонент, изображенный на фиг. 13, с полупроницаемой мембраной 14, установленной на каждой стороне. Устанавливая полупроницаемую мембрану, такую как фильтр из спеченного оксида металла или алюминия на каждой стороне измерительной области 34, можно создать измерительную область, которая акустически герметична в пределах частоты измерения, в то время как газ может, например, медленно течь в измерительную полость 34. Такая полупроницаемая мембрана может выполнять функцию акустического фильтра нижних частот, обеспечивая отсутствие утечек акустического сигнала после фотоакустических измерений. Мембрана 14 может быть заменена другими акустическими фильтрами, выполняющими ту же функцию. На чертеже показан такой компонент, сделанный, например, из полупроводниковых материалов 31, таких как кремний, с мембраной 30, например из нитрида кремния, при этом спеченный фильтр установлен на боковых сторонах. При использовании кремния он выполняет функции инфракрасного окна.

Если углубление 33 перекрывается с областью 35 травления для освобождения мембраны, можно получить полную или частичную релаксацию напряжения в мембране. Травление для освобождения мембраны также на боковой стенке сделает мембрану более длинной. Для использования в микрофоне оптимальна частичная релаксация напряжения, например уменьшение напряжения в нитриде кремния с 1 ГПа до 10-20 МПа.

На фиг. 15 показан один из способов уменьшения напряжения в мембране. Освобождающим травлением, при котором большое углубление 35 смещено относительно мембраны, можно обеспечить меньшее травление 36 на одной стороне мембраны. Поскольку мембрана часто имеет высокое напряжение деформации и натянута как кожа на барабане, мембрана натягивается почти прямо, как показано пунктирной мембраной 37 на чертеже. В мембране из нитрида кремния может иметься напряжение величиной 1 ГПа, и тогда мембрана становится весьма напряженной и жесткой. В этом случае перемещения при данном звуковом давлении будут относительно малы. Если уменьшить напряжение в мембране, например до 10 МПа, то мембрана станет намного мягче (приблизительно в 100 раз) и намного более чувствительной к тому же самому звуковому давлению. Наклонная мембрана, изготовленная согласно изложенным выше принципам, обладает двумя преимуществами: меньшим напряжением и большей чувствительностью, и эти две мембраны вместе образуют наклонный интерферометр, который даст линейную картину при освещении параллельным лазерным лучом. Располагая массив детекторов линейно, можно обнаружить области, наиболее чувствительные к изменениям расстояния между мембранами, а также можно реконструировать акустический сигнал за несколько периодов, если массив достаточно длинный, чтобы охватить по меньшей мере один период интерференционной картины.

Один из способов уменьшения напряжения в мембране путем освобождающего травления концевой кромки 36 можно, конечно, сделать в высокой степени симметричным путем травления края на одну и ту же величину с обеих сторон или со всех четырех сторон. Затем можно комбинировать эту мембрану с одним из других способов для считывания перемещений мембраны. Можно также выбрать, подвергать ли освобождающему травлению боковые края или нет. Если края подвергнуты освобождающему травлению, мембрана станет более мягкой (меньшее напряжение).

Если углубление 35 шире, чем углубление 33, когда мембрана подвергнута освобождающему травлению, мембрана 30 станет более длинной, так как длина мембраны станет суммой длин основания и боковых стенок углубления 33. Увеличение длины мембраны приведет к уменьшению окончательного напряжения в мембране. Путем регулировки глубины углубления 33 можно управлять напряжением в мембране 30 или 37 и отрегулировать его до нужной величины. Если только три стороны углубления 33 подвергнуты освобождающему травлению, то мембрана будет растянута между стороной, которая не подвергнута освобождающему травлению, и противоположной стороной, и мы получим наклонную мембрану.

Для вычисления уменьшения напряжения в качестве первого приближения можно использовать закон Гука.

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \varepsilon = \Delta L/L$$

Если напряжение (σ) мембраны равно 1 ГПа, а модуль Юнга (E) равен 280 ГПа, то 5-миллиметровая мембрана релаксирует, если анкерные точки мембраны переместятся приблизительно на 9 мкм к центру мембраны.

$$\Delta L = \epsilon L = L \sigma / E = 5 \text{ мм} * 1 \text{ ГПа} / 280 \text{ ГПа} = 18 \text{ мкм}$$

Если воспользоваться коэффициентом Пуассона σ (0,27), релаксация достигается после приблизительно 7 мкм.

$$\sigma = E / (1 - \nu) \epsilon$$

Двумерная мембрана более сложна, и, как правило, имеют место небольшие изменения различных параметров в зависимости от процессов и производства, поэтому окончательная релаксация часто достигается экспериментальной проверкой.

На фиг. 16 иллюстрируется возможный способ изготовления мембраны с полностью или частично снятыми напряжениями, содержащей углубления и выполненной, например, из нитрида кремния. Для создания мембраны с полностью или частично снятыми напряжениями необходимо вытравить углубления 40 без острых краев или углов, например в кремниевом диске. Эти углубления могут иметь треугольную или скругленную форму в зависимости от типа травления. Можно также осадить нитрид кремния заданной толщины, например 100 нм, а затем произвести освобождающее травление мембраны для удаления кремниевой подложки в той области. Так как стандартный нитрид кремния характеризуется высокими напряжениями, обычно углубления растягиваются без образования острых углов, и мембрана окажется относительно плоской, как показано в нижней части фиг. 16. Выбирая размер и форму, а возможно используя несколько соседних углублений, можно обеспечить заданное напряжение или гибкость мембраны. В некоторых случаях необходимо углубление определенной высоты, и желательно избежать, чтобы углубление растягивалось до плоского состояния. Если вытравливать углубления 38 с относительно острыми углами (то есть близко к 90°), осажденная мембрана, как правило, будет более толстой в углах, и мембрана вблизи этих острых углов будет функционировать как согнутая пластина, которая, как правило, является более жесткой, чем обыкновенная пластина. Можно также еще более усилить этот эффект, добавив дополнительное углубление 39 с внешней стороны от первого 38. Это новое углубление может быть более узким и более глубоким, чем первое. Глубина способствует жесткости, и, если углубление является достаточно узким, его можно заполнить каким-нибудь материалом. Одна из возможностей состоит в том, чтобы заполнить его поликремнием, а затем травить поликремний сверху до тех пор, пока он не останется только в дополнительном углублении 39 и, таким образом, обеспечит жесткость.

Основным моментом в связи с напряжениями является то, что необходимо сохранить область с углублениями 38 относительно плоской, чтобы сделать ее пригодной к использованию для оптического считывания. Кроме того, можно сделать несколько углублений рядом друг с другом и с различной глубиной, чтобы обеспечить достаточно информации для реконструкции сигнала более чем за несколько периодов и с хорошим отношением сигнал/шум. Если использовать второй измерительный тракт с разностью высот, обеспечивающей фазовый сдвиг $\pm 90^\circ$ (и комбинировать два сигнала), можно реконструировать сигнал, как рассмотрено выше. Еще лучшие результаты обычно получаются с использованием трех сигналов, имеющих сдвиг фаз $0, \pm 60$ и $\pm 120^\circ$, поскольку удается избежать деления на нуль и не возникает проблемы обнаружения, достигает ли сигнал максимума на синусоидальной кривой. Кроме того, можно использовать более трех разных высот или расстояний. Кроме того, можно сделать углубления так, чтобы они формировали такой рисунок, как у массива из 2×2 детекторов или 1×3 детекторов, но можно также установить детекторы на монтажной плате один за другим, а затем использовать три отдельных детектора, установленных в соответствии с каждой разностью углублений или высоты/расстояния.

У датчика, описанного выше, имеется множество различных приложений и, в частности, в области фотоакустического обнаружения с высокой чувствительностью и надежностью в отношении колебаний и внешнего шума. На фиг. 17 показан возможный узел фотоакустического детектора, содержащего объем газа между мембранами 3, 4, возбуждаемый световым лучом 15 в пределах выбранного диапазона длин волн, при этом световой луч пульсирует или меняется с выбранной скоростью для генерации пробой газа акустического сигнала, который обнаруживается как относительные перемещения между мембранами.

Для впуска газа в микрофонную часть предусмотрен спеченный фильтр, гаситель пламени или проницаемая/полупроницаемая мембрана 14, и в иллюстрируемом примере световой луч 15, возбуждающий газ в упомянутом объеме, генерирует фотоакустический сигнал, измеряемый оптической системой обнаружения. В этой конструкции нежелателен вклад от внешнего звукового источника 10, и полупроницаемый фильтр 14 может выполнять функцию фильтра нижних частот, впускающего газ внутрь и уменьшающего внешний шум на частотах, на которых модулирован возбуждающий свет 15, и на возможных высших гармониках. На частоте обнаружения полупроницаемый фильтр будет работать как фильтр нижних частот, не допуская увеличения давления, генерируемого в фотоакустическом процессе.

Предпочтительно использовать возможно более тонкие мембраны, поскольку уменьшится масса мембран, а также влияние вибраций. Кроме того, предпочтительно использовать такие возможно более тонкие мембраны, так как газ, перемещающий мембраны, передает энергию мембране, которая возвращает эту энергию газу в виде тепла и увеличения давления. Эти мембраны имеют низкую удельную теплопроводность и поэтому дают большой вклад в рост давления.

Световой луч 15 может быть любым типом электромагнитного излучения, которое может погло-

щаться средой или газом. Обычно используют ультрафиолетовый, видимый или инфракрасный свет, но излучение в пределах миллиметрового диапазона длин волн и обычные радарные волны также поглощаются газами. Световые лучи, как правило, отфильтровываются электронно-управляемым фильтром, интерферометрическим фильтром, таким как фильтр Фабри-Перо или интерферометр Майкельсона, или управляемым лазером. Обычно световой луч является модулированным, или импульсным, или модулированным по длине волны.

На фиг. 18 показано, как можно получить дополнительное шумоподавление с использованием активного шумоподавления с помощью звука в противофазе для подавления звуков от окружающей среды 10 с использованием внешнего микрофона 16 и громкоговорительного элемента 17. Поскольку в данном изобретении необходимо подавить шум прежде всего на одной единственной частоте или в узком диапазоне частот, задача намного проще, чем активное звукоподавление в наушниках, мобильных телефонах и т.д. Обнаруженный в микрофоне 16 сигнал можно масштабировать относительно измеренного подавления в полупроницаемом фильтре, а затем вычесть из измеренного фотоакустического сигнала. Этот принцип обсуждается в документе US 2012/0279280.

Кроме того, можно измерить силу внешнего шума с помощью микрофона на частоте, используемой при фотоакустическом измерении, и, если известно, насколько звук ослаблен при проходе через полупроницаемый фильтр, можно вычислить, уменьшает ли внешний шум отношение сигнал/шум (SNR). Если величина шума уменьшает отношение сигнал/шум, можно не пропускать ту часть сигнала, которая дает вклад в вычисление концентрации газа. В принципе это можно выполнять для каждого импульса оптического источника, генерирующего световой луч 15 и, таким образом, фотоакустический сигнал. Тогда можно сделать алгоритм для интегрирования амплитуды каждого импульса и удалять отдельные импульсы, которые будут давать отрицательный вклад в шум, а затем использовать среднее значение для других измерений для улучшения отношения сигнал/шум.

В 1933 г. было изобретено активное подавление помех (см. документ US 2043416), и можно найти многочисленные модификации и усовершенствования исходной конструкции. В конструкции, показанной на фиг. 18, полупроницаемая мембрана 14 в виде спеченного фильтра с порами в диапазоне 1-20 мкм и толщиной 0,1-6 мм, как правило, имеет постоянную времени порядка секунд, действует, таким образом, как акустический фильтр нижних частот и может подавлять внешний шум на величину порядка 40 дБ при частоте модуляции 100 Гц светового источника 15, возбуждающего газ. Для измерения шума окружающей среды может использоваться микрофон 16, установленный вне акустического фильтра нижних частот, а для создания акустического противополя можно использовать громкоговоритель. В простейшей форме амплитуду шума измеряют и посылают назад через громкоговоритель в противофазе, при этом масштабируют амплитуду в достаточной степени, чтобы удалить шум. Может быть предпочтительно ограничить ширину зоны вокруг фактической частоты обнаружения, убеждаясь, однако, что фаза сигнала меняется незначительно. На частоте 100 Гц длина звуковой волны составляет приблизительно 3,3 м, и если погрешность фазы составляет менее 1%, относительное расстояние между громкоговорителем и микрофоном должно составлять меньше 1% от этой длины волны, то есть 0,033 м=3,3 см. Кроме того, предпочтительно поместить громкоговоритель 17 как можно ближе к акустическому фильтру нижних частот, а микрофон 16 - как можно дальше, но главное - обеспечить фазовый сдвиг менее 1% для фактической акустической длины волны, используемой для обнаружения фотоакустического сигнала. Если акустическая волна распространяется через свободное пространство, сила звука уменьшается как квадрат расстояния. Поэтому можно генерировать звуковое поле, близкое к нулю, в полупроницаемой мембране 14, в то время как звуковое поле у микрофона значительно отличается для генерации разностного сигнала. Современные методы подавления помех обычно обеспечивают уменьшение шума на 20-40 дБ.

Использование режекторного фильтра, как показано на фиг. 19, известно в литературе. Режекторный акустический фильтр, часто называемый полосовым заградительным фильтром, описан в документе https://en.wikibooks.org/wiki/Acoustics/Filter_Design_and_Implementation. Частота заграждения определяется размерами резонатора Гельмгольца с объемом V , соединенным с исходной трубой площадью S посредством шейки площадью S_n и эффективной длиной L . Объем V режекторного фильтра 19 сравнительно большой для низких частот, и при использовании его в газоопределителе газовый объем в режекторном фильтре влияет на время реакции газоопределителя. Если подан газ с некоторой концентрацией, то объем газа в режекторном фильтре разбавляет концентрацию добавленного газа, и, таким образом, объем газа в пределах акустического режекторного фильтра также должен быть заменен прежде, чем датчик сможет измерить правильную концентрацию газа. Проблема может быть решена с использованием тонкой мембраны 18. Тонкая мембрана 18 препятствует разбавлению газа в объеме режекторного фильтра, поэтому время реакции газоопределителя не уменьшается, но при этом мембрана должна быть достаточно гибкой, чтобы не влиять на работу режекторного фильтра. Что касается мембраны 18а, для выравнивания давления между передней и задней стороной гибкой мембраны можно также использовать канал утечки так, чтобы мембрана не деформировалась от перепада давления. Кроме того, при использовании при низких температурах предпочтительно подогревать мембрану, чтобы лед, роса и т.д. не воздействовали на работу мембраны.

Кроме того, можно использовать короб снаружи от блока, при этом полупроницаемый фильтр 14

запускает газ в короб, а в коробе имеются два или четыре окна 20, чтобы можно было, например, использовать четыре независимых источника света: сверху, снизу, в направлении в и из плоскости чертежа, как показано на фиг. 20. Преимущество этого решения состоит в том, что легче использовать источники света размером от 1 мм и выше. Короб соединен с мембранами так, чтобы фотоакустический сигнал можно было генерировать в коробе и переносить к мембранам 3, 4.

При использовании внешнего источника света может понадобиться уменьшить объем газа, который требуется нагреть. Это может быть сделано путем выбора формы внутренней части газовой ячейки. Как правило, если источник фокусируется на газовую ячейку, то оптимальная форма совпадает с формой луча, и можно получить форму, показанную на фиг. 22. При использовании конической формы вместо цилиндрической объем 44 газа уменьшается до $1/3$, и амплитуда фотоакустического сигнала будет, как правило, увеличиваться с множителем 3. Канал 42 соединяет объем 44 газа с полупроницаемым фильтром 14, а другой канал 43 соединяет объем 44 газа с мембранами 3 и 4 обнаружения. У тыльного объема мембран может иметься канал утечки для выравнивания давления, или же канал (не показан) может идти прямо от полупроницаемого фильтра 14 в тыльный объем. Подбирая длину и сечение различных каналов, можно получить равный вклад от внешнего шума для обеих сторон мембран 3 и 4 и, таким образом, уменьшить влияние внешнего шума на фотоакустический сигнал. Газовая ячейка, показанная на фиг. 22, может использоваться аналогично газовой ячейке на фиг. 20 с 4 окнами и 4 источниками. Или с 2 источниками и 2 контрольными детекторами, при этом контрольные детекторы установлены на противоположной стороне газовой ячейки относительно источника для контроля количества света, прошедшего через газовую ячейку. Сигнал, обнаруженный в контрольном детекторе, может использоваться для проверки работы источника или для повышения точности обнаруженной концентрации газа путем компенсации изменений в источнике.

Путем установки адсорбционного блока 21 близко к фотоакустическому измерительному объему, как показано на фиг. 21, а затем использования фильтра 22 для препятствия диффузии газа из измерительного объема, можно повысить концентрацию газа. Измерительный объем связан с всасывающим блоком или насосом посредством трубы 23. Адсорбционный блок, как правило, подбирают для измеряемого газа. Газ проходит через адсорбционный блок и осаждается в нем. Затем газ можно освободить быстрым нагревом адсорбционного блока, и, таким образом, концентрацию газа можно измерить прежде, чем у газа будет время диффундировать через полупроницаемые мембраны 14 и 22.

В микрофоне или датчике давления должен иметься объем позади мембраны, позволяющий ей перемещаться в ответ на изменение давления. Это важно, прежде всего, для микрофонов, поскольку объем газа позади мембраны (тыльный объем) будет сжат до известной степени, что приведет к возникновению силы реакции, ограничивающей чувствительность микрофона. Поэтому тыльный объем должен быть достаточно большим, чтобы не ограничивать перемещения мембраны. В данном случае используются две противоположащих мембраны, установленные параллельно или почти параллельно. Чтобы увеличение давления приводило к изменению расстояния между мембранами, мембране нужен тыльный объем, который не позволяет при повышении давления в тыльном объеме возникать встречной силе, равной силе с передней части. Таким образом, тыльный объем должен быть образован либо герметичной, либо почти герметичной оболочкой, и эта оболочка должна быть либо герметичной, либо почти герметичной на частоте, на которой должны проводиться измерения.

В данном изобретении используются две мембраны, имеющие общий тыльный объем. Это дает несколько преимуществ. Одно преимущество заключается в том, что легче изготовить блок с одним тыльным объемом, чем с двумя тыльными объемами, так как общее количество компонентов в узле меньше. Микрофон, как правило, использует канал утечки из окружающей среды в тыльный объем. Этот канал утечки используется для уравнивания давления между окружающей средой и тыльным объемом, и без него изменение статического давления внутри тыльного объема привело бы к выталкиванию мембраны из области, где она наиболее чувствительна. Таким образом, канал утечки позволяет газу, например воздуху, входить, но только на нижних частотах, чтобы частотная характеристика осталась неизменной. При наличии общего тыльного объема необходим только один канал утечки. Другое преимущество состоит в том, что звуковой источник, детектор и мембраны могут быть смонтированы и установлены в общей оболочке, также составляющей тыльный объем.

В газовой хроматографии (GC) и масс-спектрометрии (MS) полезно повысить концентрацию газа. Это может быть сделано путем пропуска газа через адсорбент или сорбент так, чтобы сорбент захватил газ, действуя как губка. Когда газ адсорбировался в течение заданного времени или пропущен заданный объем, объем, содержащий сорбент, закрывают и газ освобождают. Это может быть сделано, например, с использованием тепла, освобождающего газ, или понижения давления так, чтобы газ испарился. Можно, например, применить химические продукты, газы, свет, ультразвук или электромагнитное излучение, чтобы освободить адсорбированный газ, а в некоторых случаях желательно изменить газ, и тогда можно комбинировать сорбент с катализатором. Катализатор может быть независимым компонентом или может находиться на сорбенте. Такие сорбенты и системы взятия проб коммерчески доступны от поставщиков системы газовой хроматографии (GC) и масс-спектрологии (MS). Такие сорбенты могут быть изготовлены из пористого (ди)оксида кремния, оксида алюминия или, возможно, другой керамики

или цеолитов с большой поверхностью.

Для сорбентов, используемых для обнаружения газа, типично то, что они адсорбируют большие молекулы, в то время как малые молекулы, такие как O_2 и N_2 , пропускают.

Цель вариантов обнаружения газа согласно настоящему изобретению, как показано на фиг. 17-21, состоит в том, чтобы скопировать нос собаки. В носу собаки имеется много чувствительных датчиков, рецепторов. Они используются для обнаружения газа и распознавания типа газа. Чувствительным нос собаки делает усовершенствованная система взятия проб. В нос поступает большое количество газа, и молекулы захватываются влажной тонкой пленкой/слизистой оболочкой носа. Кроме того, геометрия носа собаки повышает вероятность того, что молекула запаха прикрепится к слизистой оболочке на рецепторах. Когда собака нюхает, другими словами, запускает воздух в анализатор, она удерживает этот воздух неподвижно и анализирует. Именно этот процесс копирует данный вариант выполнения настоящего изобретения.

Непрактично делать систему, содержащую влажную слизистую оболочку для приема газа. Что нужно сделать, так это обеспечить наличие поверхности с сорбентом и сконцентрировать на ней газ, а затем освободить его. Самый эффективный способ состоит в том, чтобы прокачать газ через сорбент, а затем быстро освободить его. Это можно выполнить, если сделать мембрану с отверстиями или мелкую сетку и быстро нагревать мембрану или сетку, пропуская через нее электрический ток. В мембране может находиться сорбент, активно действующий в качестве катализатора, или другие химические продукты или биологические субстанции, которые способны увеличить захват соответствующих молекул.

В некоторых случаях предпочтительно использовать определенную температуру сорбента и катализатора для увеличения захвата, и затем увеличить температуру для освобождения газа или преобразования его в другой газ, который легче обнаружить. Это может быть сделано, например, для обнаружения взрывчатых веществ, содержащих азот, при этом молекулы взрывчатых веществ адсорбируются сорбентом, имеющим катализатор, и сорбент при быстром нагревании преобразует молекулы взрывчатого вещества во множество молекул N_2O .

Одним из способов сделать такую мембрану является механическая микрообработка тонкой мембраны из кремния, например имеющего толщину от 4 до 20 мкм, и легировать эту мембрану до получения сопротивления, подходящего для быстрого нагрева при доступных напряжениях, а затем выполнить множество отверстий или прорезей в мембране, например сухим травлением (DRIE). Диаметр отверстий, как правило, равен от 2 до 20 мкм. Затем на перфорированную мембрану наносят сорбент, например методом окунания в раствор, содержащий пористый порошок оксид алюминия, или наносят оксид алюминия набрызгиванием или импульсным лазерным осаждением (PLD). В конце мембрана может быть снабжена собственным катализатором, например путем опускания ее в раствор, содержащий катализатор.

Альтернативно в качестве материала, имеющего сопротивление, может использоваться сетка. Это может быть, например, сетка из сплава FeCrAl, сплава NiCr или другого материала, имеющего сопротивление и способного выдерживать пребывание на воздухе. Сетку можно заранее сплести с контактами на каждой стороне, через них ток пойдет в сетку, или же она может быть сделана спиральной. Главное, что сетка частично пропускает воздух, который всасывается или продувается, чтобы анализируемый газ адсорбировался на поверхности сорбента и катализатора.

Одна из возможностей изготовления искусственной слизистой оболочки состоит в том, чтобы установить сорбент на тонком охлаждающем элементе, а затем понижать температуру до точки росы, чтобы на поверхности образовался тонкий слой воды, затем произвести забор газа в течение длительного времени, а затем нагреть сорбент и смочить пленку, чтобы выпустить газ.

Ниже мы называем блок, предназначенный для забора и выпуска газа, адсорбционным блоком. Такой блок может быть выполнен из мембраны, сетки, проволоки с высоким сопротивлением, охлаждающих или нагревательных элементов, сорбентов, катализаторов, химических веществ и т.д.

Если поместить адсорбирующий блок в фотоакустический датчик согласно настоящему изобретению, объем, в который будет выпущен газ, может быть сделан очень малым, и газ окажется более сконцентрированным. Если поместить адсорбирующий блок в фотоакустический датчик, выполненный согласно изобретению, в котором находится газонепроницаемая стенка 6, изображенная на чертежах и рассмотренная выше, а за пределами этого места находится новый спеченный фильтр, можно сформировать объем, из которого газ может только медленно диффундировать. Альтернативно можно после адсорбционного блока использовать канал, являющийся таким длинным и тонким, что газ будет вынужден медленно (по сравнению с частотами, используемыми в измерительной системе) диффундировать через него. У газового канала, например с диаметром 1 мм и длиной 50 мм, временной отклик на уменьшение концентрации газа составляет порядка нескольких секунд. Газовый канал или полупроницаемый фильтр могут иметь такие размеры, чтобы газ выходил достаточно медленно, и можно было измерить этот эффект, но в то же время он должен быть достаточно плотным, чтобы не допустить утечки фотоакустического сигнала или его значительного уменьшения.

Кроме того, в одном из вариантов выполнения настоящего изобретения можно использовать два акустических детектора и два адсорбционных блока и попеременно запускать газ в один датчик и адсор-

бировать его, в то время как одновременно выключать поток газа через другой датчик. Затем можно сделать переключение, чтобы второй датчик адсорбировал газ, в то время как первый анализирует его. Как правило, такой цикл занимает от 2 до 60 с, но он может быть выполнен быстрее или медленнее. Такой вариант выполнения настоящего изобретения подходит, например, для обнаружения взрывчатых веществ или наркотиков, где на практике приемлема продолжительность цикла 5 с. Таким образом, такой датчик проводил бы измерения непрерывно, но концентрировал газ в 170 раз, если объем измерительной ячейки равен 0,5 мл, и выпускал забранный газ со скоростью 1,0 л/мин.

На фиг. 23 показан процесс создания мембраны с управляемой разностью высот. Материал 45 мембраны, то есть нитрид кремния, осаждают на кремниевую подложку. Материал мембраны удаляют за исключением мест, где требуется создать разность высот, оставляя малую область материала 46 мембраны. Затем осаждают новый слой материала 47 мембраны, то есть нитрида кремния. Затем добавляют новый материал мембраны поверх предыдущего материала 46 мембраны, создавая мембрану с разностью высот в данном месте. Наконец, применяют травление подложки мембраны с другой стороны 48, получая мембрану с разностью высот в выбранной области. Соединяя две таких мембраны, как показано на фиг. 9, 10 и 11, можно получить высоту двух, трех или четырех различных значений. Область материала 46 мембраны может, конечно, быть обработана и с другой стороны мембраны. Это, как правило, будет включать больше шагов обработки, поскольку сначала необходимо травить кремний на малую глубину, осадить нитрид кремния, удалить нитрид кремния вне углублений, осадить новый слой нитрида кремния и окончательно протравить мембрану.

Для оптического считывания перемещений мембраны в качестве источника, как правило, используют лазер или лазерный диод. Если расстояние между мембранами достаточно мало, можно использовать светодиод или аналогичный источник с достаточно большой длиной когерентности. В некоторых случаях нет необходимости использовать линзу, тогда как в других случаях может быть предпочтительно собирать свет источника. Самыми дешевыми являются лазерные диоды для среднего инфракрасного и видимого диапазона, и можно использовать кремниевые детекторы, если мембраны сделаны из материалов, прозрачных в диапазоне между 200 и 1200 нм. Источники света и детекторы могут быть выбраны или приспособлены согласно параметрам прозрачности предпочтительного материала мембраны.

Подводя итог, изобретение относится к оптическому датчику давления, в котором используется интерферометрическое считывание вариаций давления, таких как звук, то есть действующему как микрофон в пределах выбранного частотного диапазона, или волн сжатия, генерируемых при фотоакустическом обнаружении газа. Датчик содержит две мембраны, по существу, с аналогичными механическими характеристиками, при этом по меньшей мере одна из мембран частично пропускает, а частично отражает свет, а вторая мембрана, по меньшей мере частично, отражает свет, и эти мембраны разделены полостью, определяемой распорной деталью, которая сохраняет расстояние между мембранами, то есть мембраны образуют интерферометр Фабри-Перо или интерферометр с воздушным клином. Кроме того, датчик содержит блок считывания, предназначенный для считывания вариаций расстояния между мембранами и известный специалистам.

Полость между мембранами определяет первый объем, по существу, изолированный от второго объема вне мембран. Один из объемов представляет собой эталонный объем, а второй представляет собой объем датчика, на который так воздействуют вариации давления, что вариация давления в одном из указанных объемов приводит к изменению расстояния между мембранами, при этом мембраны двигаются в противоположных направлениях.

В контексте настоящего изобретения термин "изолированный" относится к затуханию между упомянутыми объемами частот, на которых измеряют вариации давления. Таким образом, фильтрация низких акустических частот, например низкочастотных каналов утечки для выравнивания давления между объемами, находится в объеме возможных вариантов выполнения настоящего изобретения.

Полость может быть определена указанными мембранами и может иметь отверстие по меньшей мере с одной стороны для приема указанных вариаций давления и, таким образом, она определяет объем датчика, а направление распространения вариаций давления, таким образом, параллельно мембранам. При этом в ответ на волны сжатия или вариации давления мембраны двигаются синхронно в противоположных направлениях.

Полость между мембранами может взаимодействовать с вариациями давления в окружающей среде, таким образом определяя объем датчика, в то время как объем вне мембран ограничен указанным эталонным объемом или альтернативно может составлять по меньшей мере часть указанного эталонного объема, в то время как объем снаружи от мембран составляет объем датчика, на который воздействуют вариации давления.

В одном из вариантов выполнения настоящего изобретения датчик и мембраны изготовлены из двух симметричных частей, каждая из которых определяет одну мембрану и углубление, при этом указанные мембраны и углубления определяют полость между ними. Симметричные части получены точной механической обработкой кремниевых дисков, при этом мембраны изготовлены, например, из нитрида кремния.

Как сказано выше, в датчике давления может использоваться два аналогичных интерферометра

Фабри-Перо с двумя параллельными мембранами или воздушный клин с одной мембраной, немного наклоненной относительно другой, для создания интерференционной картины при взаимодействии света с обеими мембранами, при этом по меньшей мере часть вариаций в интерференционной картине вследствие вариаций давления считывается указанным блоком считывания.

В варианте выполнения настоящего изобретения, в котором мембраны изготовлены на кремниевых подложках, а наклон получен механической обработкой/травлением с формированием разности высот на одном конце, осаждением материала мембраны и затем освобождением мембраны путем травления тыльной стороны подложки, напряжение материала мембраны растягивает мембрану так, что мембрана оказывается под некоторым углом относительно исходной ориентации поверхности.

Альтернативно, если мембраны изготовлены на кремниевых подложках, наклон может быть обеспечен растяжением части одной из указанных мембран с использованием электростатических сил.

Распорная деталь, сохраняющая основное расстояние между мембранами, может использоваться для регулировки расстояния и, таким образом, оптимальной рабочей точки между мембранами, то есть для сохранения расстояния, обеспечивающего максимальную чувствительность.

Блок считывания содержит по меньшей мере один источник света, излучающий свет по направлению к указанным мембранам, и по меньшей мере один детектор, принимающий свет, пропущенный или отраженный указанными мембранами, для измерения изменений в принятом свете в зависимости от вариаций расстояния между мембранами. Блок считывания может также содержать оптический элемент, например линзу, для создания света, немного расходящегося или сходящегося вдоль оптической оси, по существу, перпендикулярной по меньшей мере одной из указанных мембран, для создания интерференционной картины после взаимодействия с этими двумя мембранами, при этом по меньшей мере часть интерференционной картины считывается по меньшей мере одним детектором.

Мембраны могут быть изготовлены на кремниевых подложках, например путем осаждения нитрида кремния, с одним или большим количеством углублений, выполненных механической обработкой или травлением подложки до осаждения материала мембраны, при этом углубления задают форму вытравленных мембран, так что между этими двумя мембранами можно получить несколько различных расстояний, которые можно считывать оптическими способами. Углубления могут быть сформированы в виде полумесяца или прямоугольными и могут быть помещены в центральную часть мембраны. Используя две таких кремниевых подложки с частично перекрывающимися углублениями, можно получить три или четыре различных расстояния, в зависимости от того, равны или отличаются глубины углублений, как рассмотрено выше.

Для оптимизации качества интерферометров, активные компоненты мембран, используемых во время измерений, должны быть достаточно жесткими, чтобы сохранять форму под действием вариаций давления. Этого можно достичь изготовлением канавок на кремниевой подложке/диске с резкими углами на вершине и на дне вокруг углублений или активных частей мембраны, обеспечивающих разность расстояния между мембранами, и, таким образом, область вокруг углублений делается более жесткой, чтобы сохранить область с разностью расстояния относительно плоской. Для дальнейшего увеличения жесткости канавки можно заполнить подходящим материалом.

Кроме того, можно сформировать кремниевые подложки/диски, в которых канавки вытравлены без резких углов или краев в пределах области, выбранной для создания мембраны, так чтобы мембрана после осаждения и травления ее подложки растягивалась, что снижает напряжение в мембране.

Как рассмотрено выше, датчик давления, описанный здесь, может также использоваться в качестве датчика газа, в котором газ вводят в объем датчика и подвергают электромагнитному излучению от импульсного источника света с выбранной длиной волны, позволяющей возбуждать конкретный газ, который нужно обнаружить. Полученные в результате перемещения могут быть обнаружены блоком считывания, предназначенным для обнаружения вариаций давления на частоте импульсного излучения, указывающих на присутствие конкретного газа.

Датчик газа может содержать полупроницаемую мембрану, используемую в качестве акустического фильтра нижних частот и пропускающую газ из окружающей среды в объем датчика, с обеспечением шумоподавления в датчике и уменьшенной утечки фотоакустического сигнала в окружающую среду. Можно сформировать измерительный объем между полупроницаемой мембраной и датчиком давления, при этом в указанном измерительном объеме имеется несколько окон для использования нескольких различных источников электромагнитного излучения с одной и той же пробой газа.

Измерительный объем может быть выполнен в том же кремниевом диске, что и датчик давления, при этом измерительный объем связан с объемом датчика через канал, а стенки в измерительном объеме пропускают выбранное электромагнитное излучение, используемое для анализа газа.

Для уменьшения помех датчик газа может быть снабжен микрофоном и громкоговорителем снаружи от полупроницаемой мембраны, при этом активное шумоподавление используется для генерации звука в противофазе так, чтобы снизить амплитуду звука в полупроницаемой мембране, прежде всего на частоте или в частотном диапазоне, используемом для фотоакустического обнаружения газа.

Альтернативно снаружи от полупроницаемой мембраны устанавливают акустический режекторный фильтр, при этом отверстие, ведущее в объем резервуара, в пассивном режекторном фильтре закрыто

непроницаемой для газа мембраной, являющейся тонкой и достаточно гибкой, чтобы не воздействовать на акустический сигнал, при этом обеспечивающей, чтобы газ не диффундировал в объем резонатора.

Кроме того, мембрану можно нагревать, чтобы датчик можно было использовать при низких температурах без изменения отклика акустического фильтра.

Полупроницаемая мембрана пропускает газ в тыльный объем, обеспечивая выравнивание статического давления и давления для частот ниже частоты обнаружения. В другом варианте выполнения настоящего изобретения полупроницаемая мембрана пропускает в эталонный объем такое же давление, как и в объем между мембранами, чтобы внешний шум воздействовал на обе стороны одинаково, что снижает вклад от внешнего шума, особенно на частоте обнаружения.

Для повышения концентрации газа в пределах измерительного объема адсорбционный блок интегрируют в объем, используемый для обнаружения газа, при этом воздух нагнетают или всасывают через адсорбционный блок в течение заданного времени, а затем поток останавливают, и адсорбированный газ высвобождают, в результате анализ выполняют на высвобожденном газе.

Два таких газовых датчика, выполненных согласно изобретению, могут использоваться параллельно, но один из них анализирует газ без потока газа, в то время как другой адсорбирует газ из потока газа, а после заданного времени режим меняют: первый адсорбирует, а второй анализирует.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Оптический датчик давления, использующий интерферометрическое считывание вариаций давления и содержащий две мембраны, по существу, с одинаковыми механическими характеристиками, при этом по меньшей мере одна из мембран частично пропускает и частично отражает свет, а вторая мембрана, по меньшей мере частично, отражает свет, и мембраны разделены полостью, определяемой распорной деталью, которая сохраняет расстояние между мембранами, и, таким образом, мембраны образуют интерферометр, а датчик содержит также блок считывания, предназначенный для считывания вариаций расстояния между мембранами, и

указанная полость определяет первый объем между мембранами, по существу, изолированный от второго объема снаружи мембран, при этом один из этих объемов представляет собой эталонный объем, а другой является объемом датчика, на который действуют вариации давления, так что вариация давления в одном из указанных объемов приводит к изменению расстояния между мембранами, при этом мембраны двигаются в противоположных направлениях.

2. Датчик давления по п.1, в котором в полости, определенной указанными мембранами, имеется отверстие по меньшей мере с одной стороны для приема указанных вариаций давления, таким образом эта полость образует объем датчика, а направление распространения вариаций давления параллельно мембранам.

3. Датчик давления по п.1, в котором полость между мембранами сообщается с вариациями давления окружающей среды, таким образом образуя объем датчика, в то время как объем снаружи от мембран заключен в указанный эталонный объем.

4. Датчик давления по п.1, в котором полость между мембранами составляет по меньшей мере часть указанного эталонного объема, в то время как объем снаружи от мембран составляет объем датчика, на который действуют вариации давления.

5. Датчик давления по п.1, в котором датчик и мембраны изготовлены из двух симметричных частей, каждая из которых определяет одну мембрану и углубление, при этом указанные мембраны и углубления определяют полость между ними.

6. Датчик давления по п.5, в котором указанные симметричные части изготовлены путем механической обработки из кремниевых дисков, при этом мембраны изготовлены, например, из нитрида кремния.

7. Датчик давления по п.1, в котором одна из мембран наклонена относительно другой для формирования интерференционной картины при взаимодействии света с мембранами, и по меньшей мере часть вариаций интерференционной картины, обусловленной вариациями давления, считывается указанным блоком считывания.

8. Датчик давления по п.7, в котором мембраны сформированы на кремниевых подложках, при этом указанный наклон получен формированием разности высот на одном конце путем механической обработки/травления, осаждения материала мембраны, а затем удаления подложки травлением с тыльной стороны мембраны, в результате чего напряжение в материале мембраны растягивает мембрану так, что она располагается под острым углом относительно первоначальной ориентации поверхности.

9. Датчик давления по п.7, в котором мембраны изготовлены на кремниевых подложках, при этом указанный наклон получен путем растягивания части одной из указанных мембран с использованием электростатических сил.

10. Датчик давления по п.1, в котором мембраны установлены параллельно для формирования интерферометра Фабри-Перо, при этом по меньшей мере часть вариаций интерференционной картины, вызванной указанными вариациями давления, считывается указанным блоком считывания.

11. Датчик давления по п.1, в котором распорная деталь выполнена с возможностью регулировки

расстояния между мембранами и, таким образом, рабочей точки интерферометра.

12. Датчик давления по п.1, в котором блок считывания содержит по меньшей мере один источник света, посылающий свет к указанным мембранам, и по меньшей мере один детектор, принимающий свет, пропущенный или отраженный указанными мембранами, для измерения изменений принятого света в зависимости от вариаций расстояния между мембранами.

13. Датчик давления по п.1, в котором блок считывания содержит оптический элемент, например линзу, используемую для создания света, немного расходящегося или сходящегося вдоль оптической оси, по существу, перпендикулярной по меньшей мере к одной из указанных мембран, для создания интерференционной картины при взаимодействии с двумя мембранами, при этом по меньшей мере часть интерференционной картины считывается по меньшей мере одним детектором.

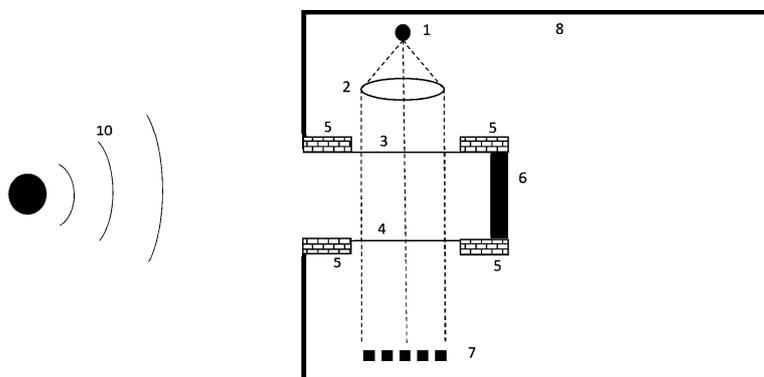
14. Датчик давления по п.1, в котором мембраны изготовлены на кремниевых подложках, при этом в подложках выполнено одно или более углублений путем машинной обработки или травления до осаждения материала мембраны, и эти углубления задают форму мембран после вытравливания подложки, так что между двумя мембранами имеется несколько различных расстояний, считываемых оптическими способами.

15. Датчик давления по п.1, в котором мембраны изготовлены на кремниевых подложках, имеющих углубления, сформированные механической обработкой или травлением подложки, при этом углубления двух мембран частично перекрываются в центральной части мембран с получением по меньшей мере трех различных расстояний между мембранами, считываемых оптическими способами.

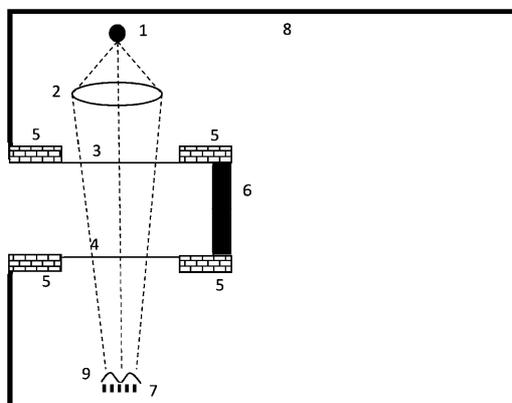
16. Датчик давления по п.14, в котором мембраны содержат одну или более канавок с резкими углами на вершине и на дне, которые расположены вокруг упомянутых углублений, обеспечивающих расстояние между мембранами по высоте, и тем самым обеспечивают жесткость области вокруг углублений, делая область углубления относительно плоской.

17. Датчик давления по п.16, в котором канавки заполнены подходящим материалом для увеличения жесткости.

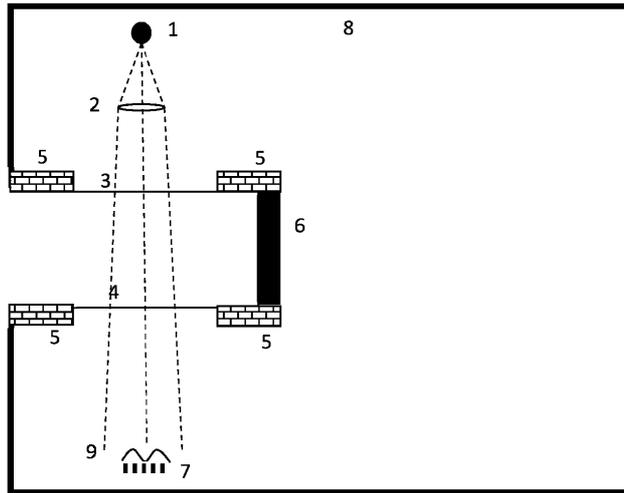
18. Датчик давления по п.1, в котором мембраны изготовлены на кремниевых подложках, в которых вытравлены канавки без резких углов или краев в пределах области, выбранной для изготовления мембран, так что мембрана после осаждения и травления будет растягиваться, уменьшая напряжение в мембране.



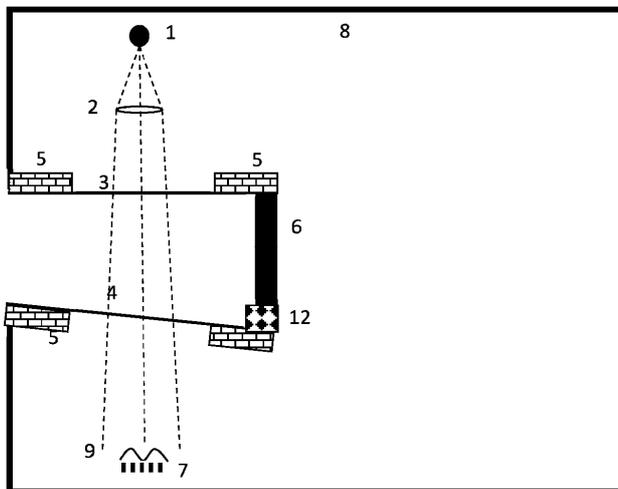
Фиг. 1



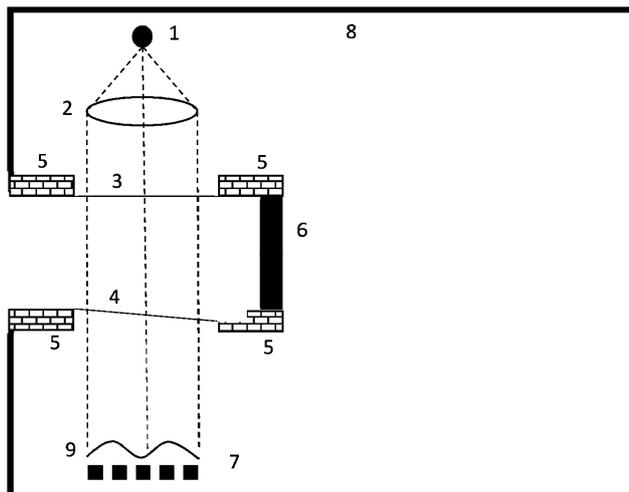
Фиг. 2



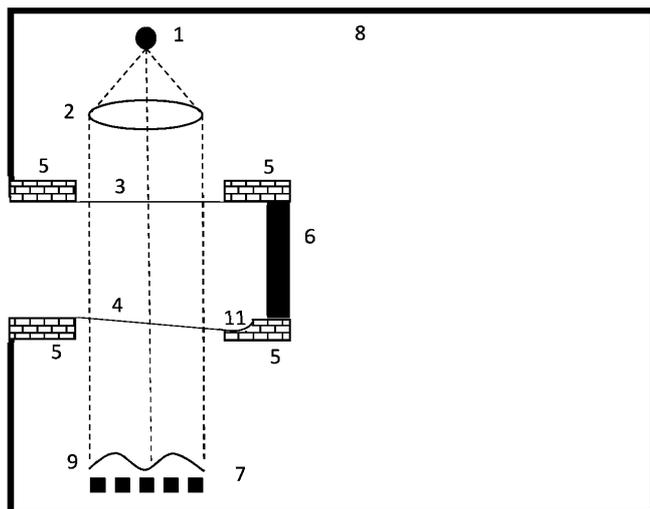
Фиг. 3



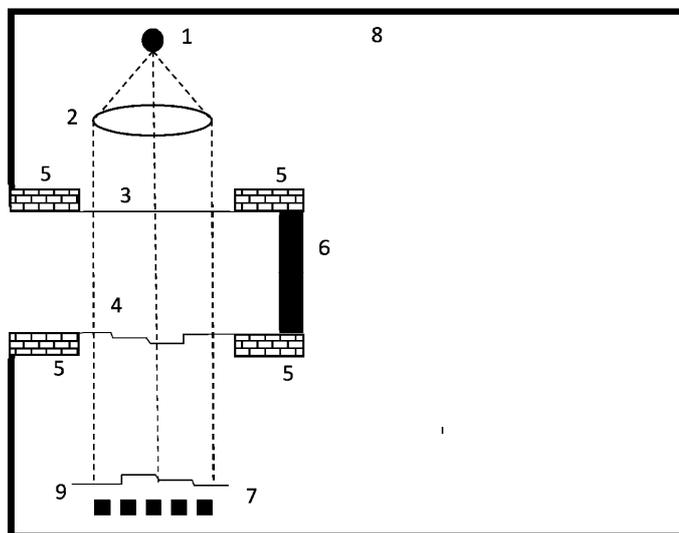
Фиг. 4



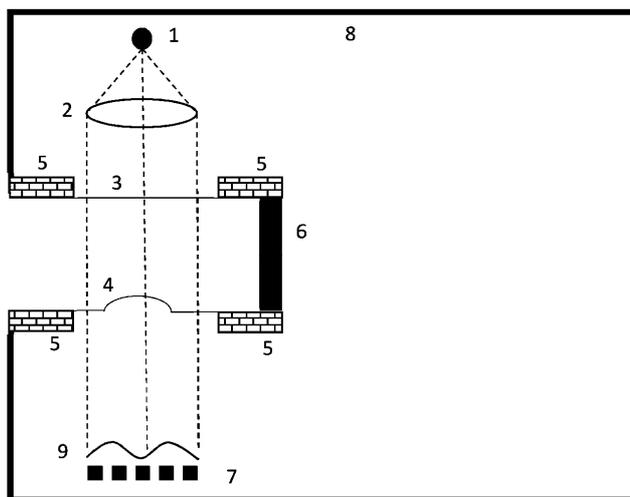
Фиг. 5



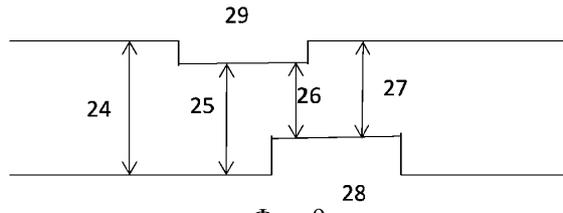
Фиг. 6



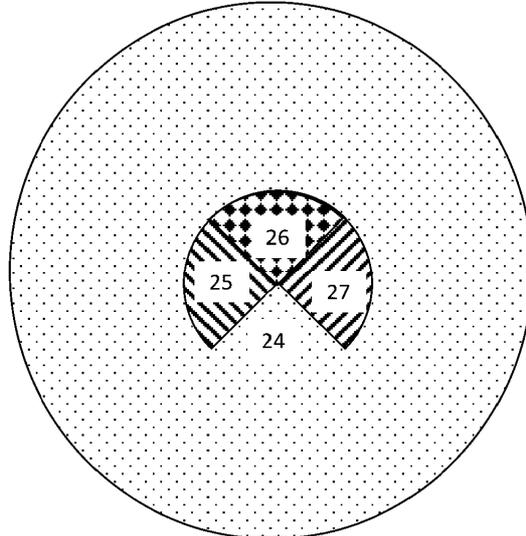
Фиг. 7



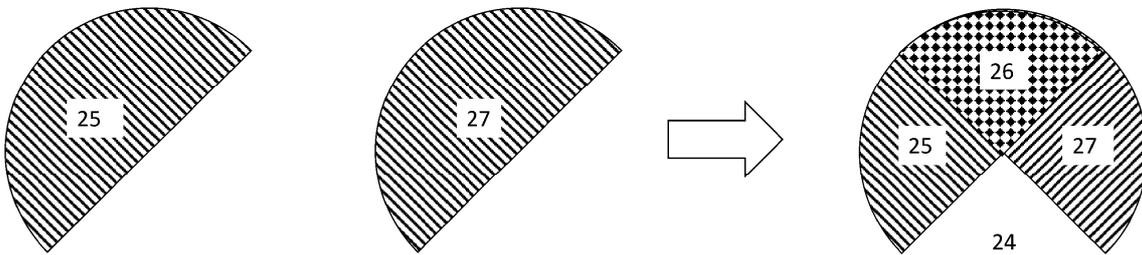
Фиг. 8



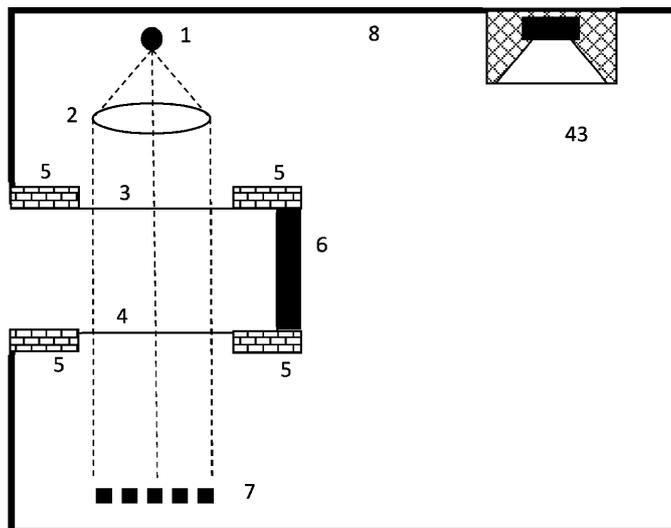
Фиг. 9



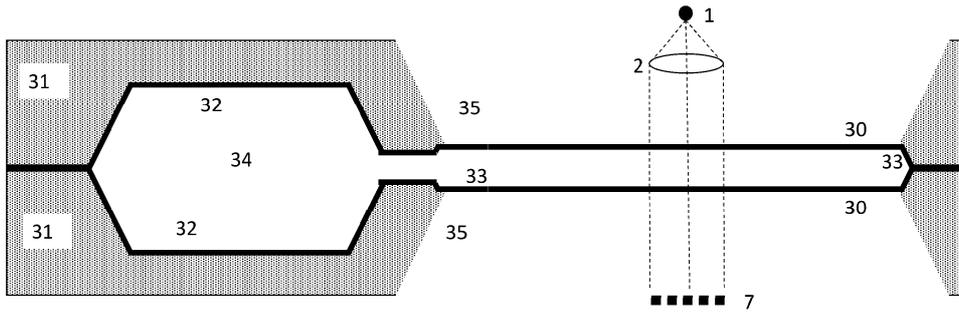
Фиг. 10



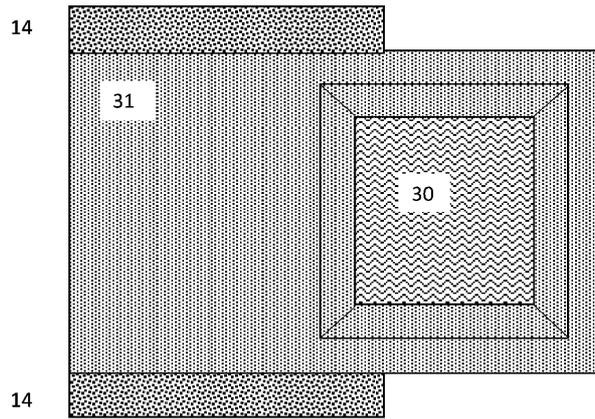
Фиг. 11



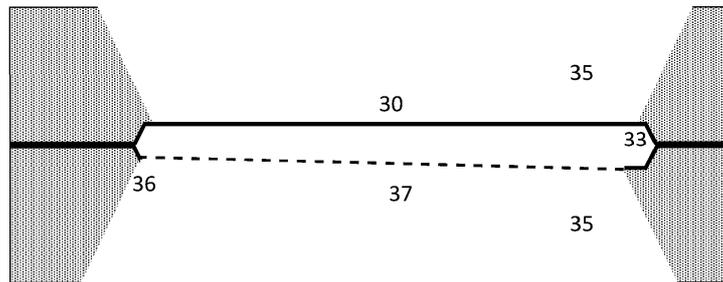
Фиг. 12



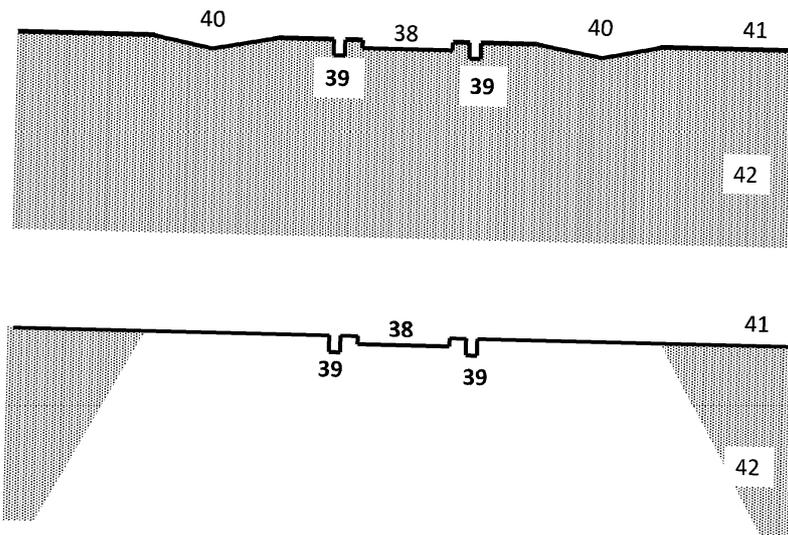
Фиг. 13



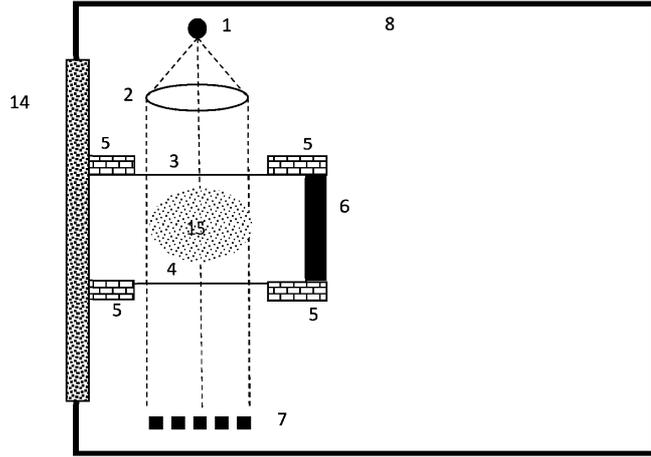
Фиг. 14



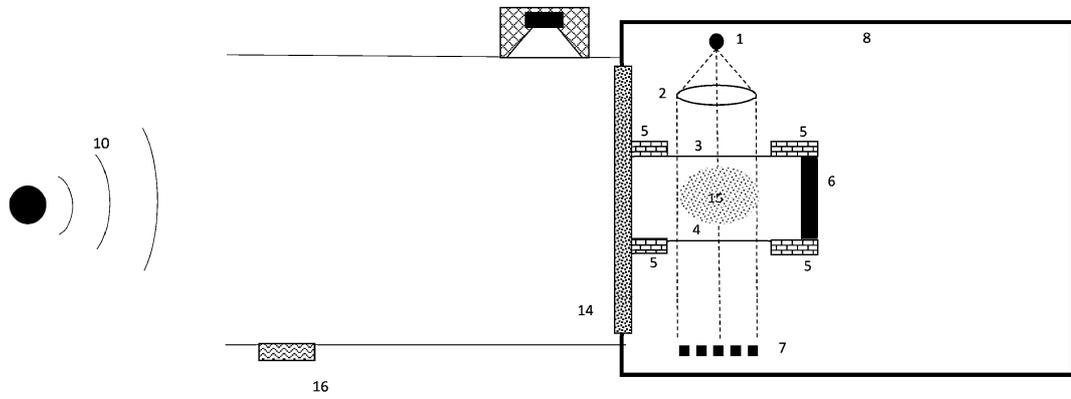
Фиг. 15



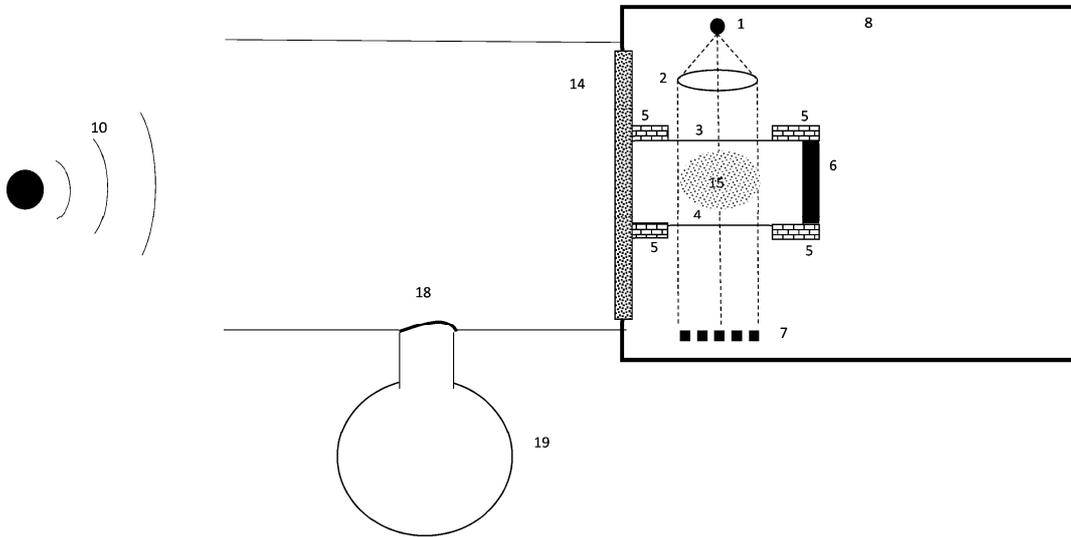
Фиг. 16



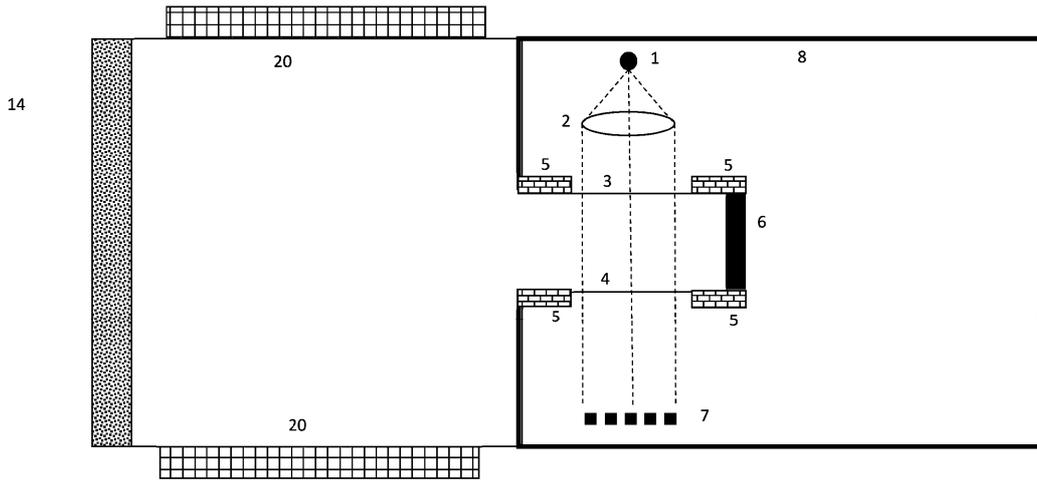
Фиг. 17



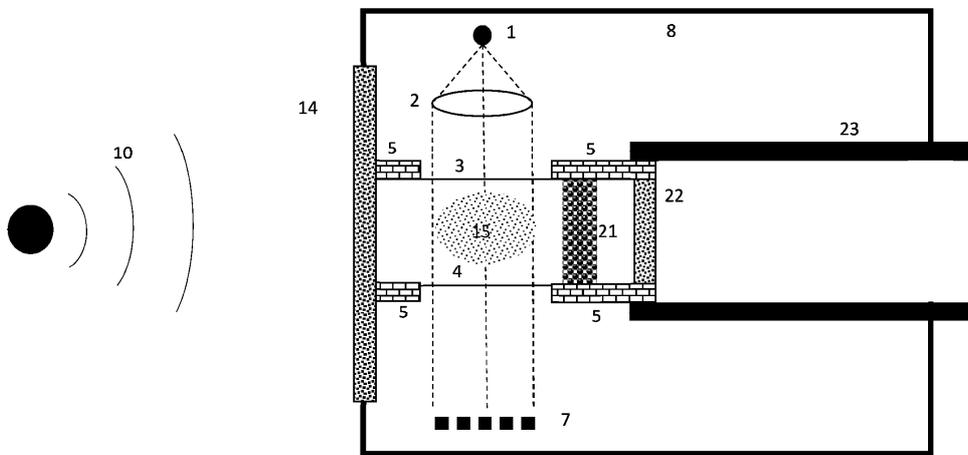
Фиг. 18



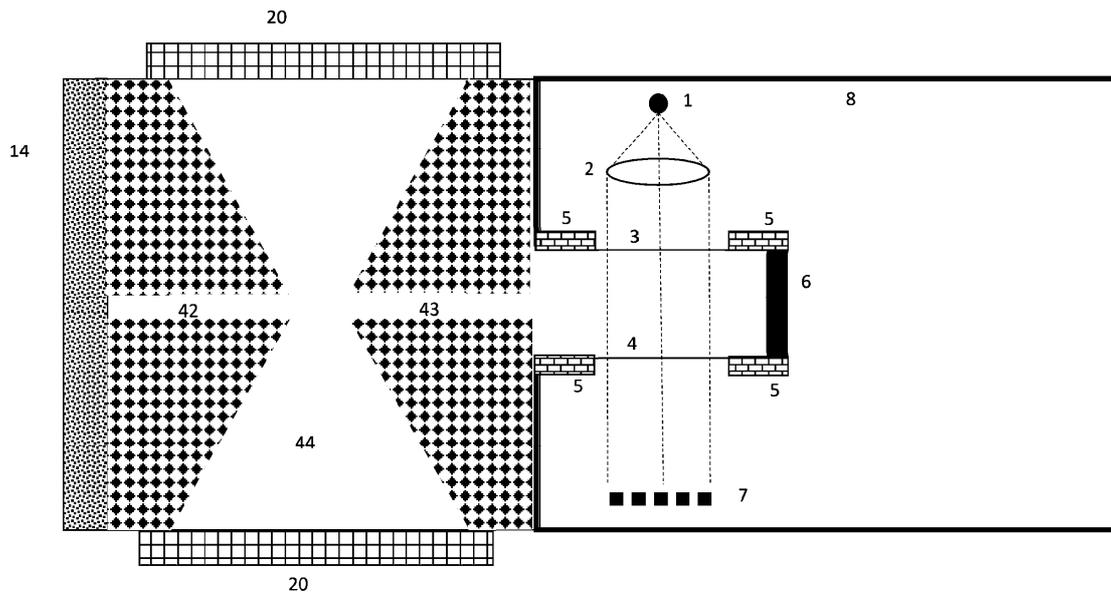
Фиг. 19



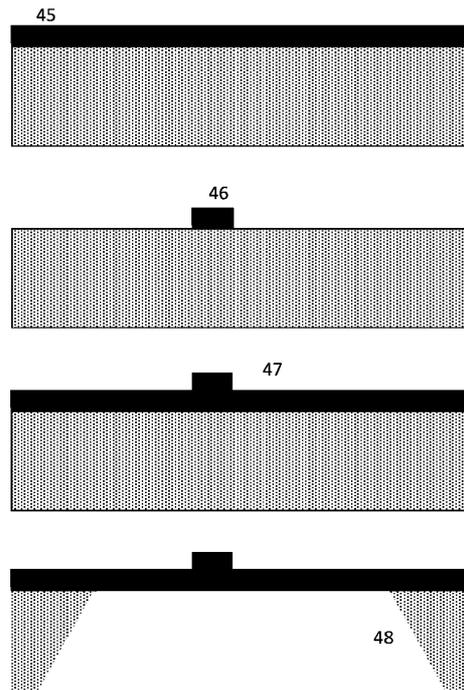
Фиг. 20



Фиг. 21



Фиг. 22



Фиг. 23

