



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01N 5/02 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018141751, 26.11.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.11.2018

Дата регистрации:  
11.07.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.11.2018

(45) Опубликовано: 11.07.2019 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

115409, Москва, Каширское ш., 31, НИЯУ  
МИФИ, ОУИС УНИ, Бейгул Г.В.

(72) Автор(ы):

Симонов Валерий Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

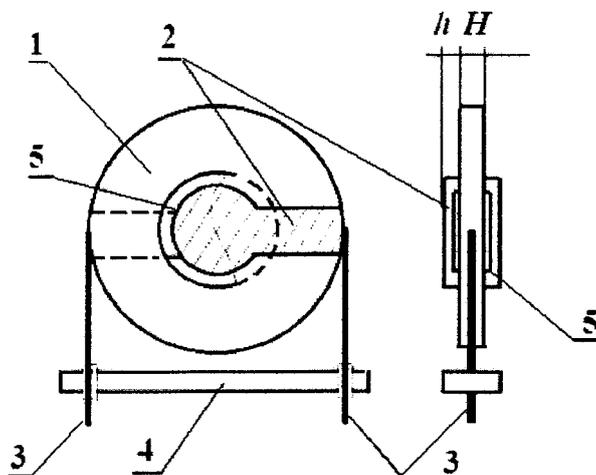
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2145707 C1, 20.02.2000. RU  
2377551 C2, 27.12.2009. RU 2592209 C2,  
20.07.2016. US 3329004 A1, 04.07.1967.

## (54) ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫЙ СОРБЦИОННЫЙ СЕНСОР КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗООБРАЗНОГО ВЕЩЕСТВА

(57) Реферат:

Полезная модель относится к аналитическому приборостроению, в частности к области измерения концентрации газов или паров. Пьезорезонансный сорбционный сенсор концентрации газообразного ацетона содержит пьезоэлемент, на обе поверхности которого

нанесена пленка сорбента из полиметилметакрилата. Толщина пленки выбрана из интервала 0,4-0,6% от толщины пьезоэлемента. Техническим результатом полезной модели является повышение чувствительности сенсора. 2 ил.



Фиг. 1

Полезная модель относится к аналитическому приборостроению, в частности к области измерения концентрации тех или иных газообразных, включая пар, веществ в воздухе или ином газе. Она может применяться в медицине для определения сахарного диабета на ранней стадии путем анализа выдыхаемого человеком воздуха на наличие критического содержания паров ацетона, а также в промышленности, например, для предупреждения пожароопасных и взрывоопасных ситуаций в производстве, химических исследованиях и т.д.

Существует целый класс пьезосорбционных измерительных устройств для измерения концентрации газообразных химических веществ (Малов В.В., Пьезорезонансные датчики, Энергоатомиздат, Москва, 1989 г.). Эти устройства представляют собой измерительный комплекс, в состав которого входят пьезорезонансный сенсор (далее просто сенсор), схема возбуждения в нем механических колебаний и устройство, которое формирует выходной сигнал, пропорциональный измеряемой концентрации. Сенсор представляет собой пьезорезонатор (ПР), обычно кварцевый, содержащий пьезоэлемент в форме пластины, на которую нанесена пленка из материала, являющегося сорбентом к веществу (газу или пару), концентрацию которого необходимо измерять. При изменении концентрации вещества изменяется количество поглощенного пленкой вещества, что приводит к изменению параметров ПР. Обычно таким параметром является резонансная частота толщино-сдвиговых колебаний пьезоэлемента. Пленка сорбента в пьезорезонансном сенсоре обычно используется в режиме пассивного с точки зрения колебаний слоя - только как масса, изменяющаяся в зависимости от концентрации измеряемого вещества (далее аналита). Разработчики этих сенсоров работают исключительно над подбором материала пленки с максимальной сорбционной емкостью. При этом технология нанесения пленки представляет собой нанесение раствора полимера с последующим высушиванием растворителя. В результате полезное изменение частоты сенсора не превышает 1 Гц на 1 ppm измеряемой концентрации, что часто становится недостаточным для современной химической и медико-биологической науки.

Наиболее близким аналогом к предлагаемой полезной модели, ее прототипом, является химический сенсор паров ацетона, в котором в качестве чувствительной пленки используется полиметилметакрилат (ПММА), нанесенный на поверхность кварцевого пьезоэлемента методом плазменной полимеризации (S.P. Russell, D.H. Weinkauff, «Vapor Sorption in Plasma Polymerized Vinyl Acetate and Methyl Methacrylate Thin Films» // Polymer. V. 42. 2001. P. 2827-2836). Пленка нанесена на ПР частотой 10 МГц. Толщина пленки сенсора-прототипа составляет 0,045% от толщины пьезоэлемента. Сенсор с такой пленкой имеет в 2 раза более высокую сорбционную емкость и соответственно в 2 раза более высокую чувствительность к парам ацетона по сравнению с сенсором, изготовленным по традиционной технологии. Однако, даже при таком подходе чувствительность сенсора оказывается недостаточной для определения критической концентрации паров ацетона в выдыхаемом воздухе больного сахарным диабетом.

Технический результат предлагаемой полезной модели заключается в повышении чувствительности сенсора.

Достижение указанного результата обеспечивается тем, что в пьезорезонансном сорбционном сенсоре концентрации газообразного ацетона, содержащем пьезоэлемент, на обе поверхности которого нанесена пленка полиметилметакрилата, толщина пленки выбрана из интервала 0,4-0,6% от толщины пьезоэлемента.

Суть предлагаемого технического решения заключается в том, что выходной сигнал пьезорезонансного сенсора - изменение частоты колебаний ПР - зависит не только от

массы поглощаемого сорбентом аналита, но и от изменения под влиянием аналита модуля упругости пленки. Это дополнительное приращение приводит к увеличению коэффициента преобразования сенсора, и оно тем выше, чем больше толщина пленки. Однако такое увеличение сопровождается увеличением влияния модуля потерь пленки, выражающееся в повышении кратковременной нестабильности частоты (шума) выходного сигнала. В результате, начиная с некоторого значения толщины пленки, повышение коэффициента преобразования компенсируется повышением нестабильности выходного сигнала и, как следствие, ухудшением чувствительности сенсора. Таким образом, существует область оптимальных значений толщины пленки, при которой чувствительность сенсора максимальна. Эта область определяется соотношением между модулями упругости и потерь материала пленки, т.е. материалом пленки и между толщинами пленки и пьезоэлемента. Для пленки из ПММА оптимальная толщина пленки находится в интервале 0,4-0,6% от толщины пьезоэлемента.

Предлагаемая полезная модель иллюстрируется Фиг. 1 и Фиг. 2.

На Фиг. 1 изображен внешний вид сенсора.

На Фиг. 2 изображен график зависимости коэффициента  $K(h/H)$ , отображающего, во сколько раз повышается чувствительность сенсора паров ацетона при значениях толщины пленки ПММА, отличных от оптимального значения, равного 0,5% от толщины пьезоэлемента.

На Фиг. 1 используются следующие обозначения. 1 - пьезоэлемент, 2 - электроды, 3 - выводы, 4 - основание, 5 - пленка сорбента,  $H$  - толщина пьезоэлемента,  $h$  - толщина пленки.

Сенсор на примере измерителя концентрации паров ацетона (Фиг. 1) выполнен на основе кварцевого пьезоэлемента 1, выполненного в форме пластины, на которую нанесены металлические пленочные электроды 2. Эти электроды соединены с выводами 3. Выводы 3 и пьезоэлемент 1 смонтированы на основании 4. На обе поверхности пьезоэлемента 1 нанесены пленки сорбента 5, выполненные, из ПММА толщиной  $h$ . Частота колебаний пьезоэлемента 1 при толщине пьезоэлемента  $H=330$  мкм составляет 5 МГц. Толщина пленок лежит в пределах  $h=(1,32-1,98)$  мкм, что составляет 0,4-0,6% от толщины  $H$ .

Устройство работает следующим образом. При изменении концентрации паров анализируемого вещества ацетона нарушается термодинамическое равновесие между количеством молекул пара над поверхностью пленки и в объеме пленки. В результате изменяется масса пленки и модули упругости и потерь материала пленки. Как следствие, изменяется резонансная частота сенсора, являющаяся выходным сигналом. Поскольку толщина пленок выбрана из диапазона толщин (1,32-1,98) мкм, сенсор обладает максимально возможной для данного аналита (ацетона), данного материала пленки (ПММА) и толщины пьезоэлемента (330 мкм) способностью почувствовать пары ацетона. Зависимость Фиг. 2 показывает, что чувствительность сенсора по предлагаемому техническому решению, у которого  $h/H=0,5\%$  примерно в 30 раз выше, чем у прототипа, у которого отношение  $h/H=0,045\%$ . Этот результат был подтвержден экспериментально в процессе работ над проектом №16-07-00097а, поддержанным Российским Фондом фундаментальных исследований.

Таким образом, предлагаемая полезная модель позволяет повысить чувствительность пьезорезонансных сенсоров концентрации газообразного ацетона на порядок и более.

(57) Формула полезной модели

Пьезорезонансный сорбционный сенсор концентрации газообразного ацетона,

содержащий пьезоэлемент, на обе поверхности которого нанесена пленка полиметилметакрилата, отличающийся тем, что толщина пленки сорбента выбрана из интервала 0,4-0,6% от толщины пьезоэлемента.

5

10

15

20

25

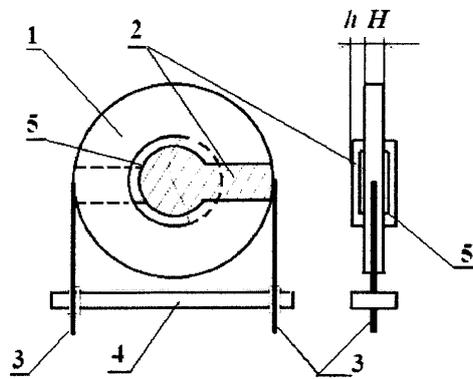
30

35

40

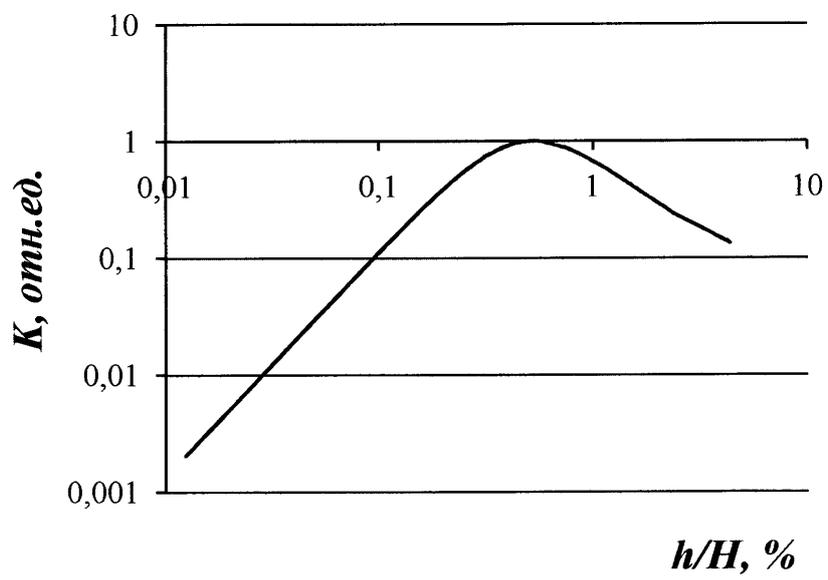
45

1



Фиг.1

2



Фиг.2