



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01L 41/08 (2006.01); *G01N 5/00* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2018102388, 22.01.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.01.2018

Дата регистрации:
21.06.2018

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 22.01.2018

(45) Опубликовано: 21.06.2018 Бюл. № 18

Адрес для переписки:
121087, Москва, ул. Новозаводская, 2, корп. 6-7,
кв. 66, пат. пов. Скомороховой Т.С.

(72) Автор(ы):
Аленков Владимир Владимирович (RU),
Базалевская Светлана Сергеевна (RU),
Забелин Алексей Николаевич (RU),
Сахаров Сергей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Открытое акционерное общество
"Фомос-Материалс" (RU)

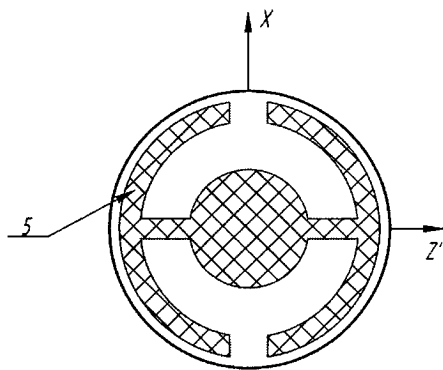
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 8215171 B1, 10.07.2012. WO
1997045723 A1, 04.12.1997. US 5869763 A1,
09.02.1999. JP 2014157099 A, 28.08.2014. US
20020088284 A1, 11.07.2002.

(54) ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ МАСС-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ
ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ ДАТЧИКОВ

(57) Реферат:

Использование: для измерения малых изменений массы с точностью до нескольких микрограммов при высоких температурах в режиме реального времени. Сущность полезной модели заключается в том, что высокотемпературный резонансный масс-чувствительный элемент для пьезорезонансных датчиков содержит плосковыпуклую пластину и электроды, выполненные в виде слоев металлизации на плоской и выпуклой сторонах пластины, где пластина выполнена из пьезоэлектрического материала, относящегося к семейству лангасита, и имеет ориентацию Y-среза, при этом электрод плоской стороны пластины

выполнен в виде сплошного слоя металлизации, а электрод выпуклой стороны и пластины выполнен дискретным и состоит из центральной части и периферической части, указанные части электрода выпуклой стороны пластины соединены между собой слоем металлизации в направлении кристаллофизической оси Z, а в направлении кристаллофизической оси Y в слое металлизации периферической части электрода выполнен разрыв. Технический результат: обеспечение возможности увеличения интервала температур эксплуатации датчиков в области высоких температур. 6 з.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг. 4

RU 180725 U1

RU 180725 U1

Полезная модель относится к измерительной технике, в частности к устройствам для измерения малых изменений массы (10^{-6} г) с точностью до нескольких микрограммов в режиме реального времени. Более конкретно, полезная модель относится к масс-чувствительным элементам резонансного типа с колебаниями сдвига по толщине, содержащим пьезоэлектрические кристаллы семейства лангасита. В частности, данный чувствительный элемент предназначен для контроля толщины и скорости нанесения диэлектрических, полупроводниковых и проводящих пленок в высокотемпературном диапазоне.

Известно, что важнейшим функциональным узлом систем контроля являются датчики физических величин, воспринимающие информацию о состоянии параметров контролируемого объекта техники. Первичным узлом датчиков, регистрирующим и передающим информацию о параметрах объекта, является чувствительный элемент из пьезоэлектрического материала, который преобразует неэлектрические физические величины в электрические сигналы (см., например, патент Японии JP, 2014157099, патент US, 5869763). Достоинствами таких датчиков являются малые размеры, безинерционность и пассивный принцип действия (не требуется внешний источник электрической энергии).

Масс-чувствительный датчик, находящийся в рабочей камере установки для нанесения пленок на подложку в тех же условиях, что и подложка, является так называемым спутником подложки, при этом резонансная структура чувствительного элемента используется как шкала для определения массы в режиме реального времени и позволяет контролировать толщину наносимых пленок в диапазоне от нескольких нанометров до единиц микрометров.

В основе работы масс-чувствительных элементов для пьезорезонансных чувствительных датчиков лежит обратный пьезоэлектрический эффект, который заключается в преобразовании электрического напряжения, подводимого к электродам, расположенным на противоположных поверхностях пьезоэлектрической пластины, в механические деформации пластины. Принцип работы пьезорезонансного масс-чувствительного элемента основан на зависимости собственной резонансной частоты механических колебаний чувствительного элемента от величины присоединяемой к его поверхности массы вещества, причем относительное изменение собственной резонансной частоты механических колебаний чувствительного элемента пропорционально относительному изменению массы чувствительного элемента. Изменение массы чувствительного элемента в течение процесса нанесения пленок материалов приводит к изменению его резонансной частоты, что обеспечивает возможность расчета толщины нанесенной пленки и скорости ее нанесения при известной плотности материала пленки.

Чувствительный элемент имеет набор собственных резонансных частот механических колебаний, спектр которых определяется упругими свойствами пьезоматериала, ориентацией, размерами и конструктивным выполнением пьезоэлектрической пластины и электродов, а также типом деформаций пьезоэлектрической пластины в процессе колебаний. Для того, чтобы заданный тип колебаний был возбужден, необходимо, чтобы электрическое поле, создаваемое при подводе к электродам электрического сигнала, возбуждало на основе обратного пьезоэлектрического эффекта соответствующий тип деформаций в объеме пьезоэлектрической пластины.

Последнее время востребованы устройства для измерения толщины пленок в условиях высоких температур. В процессе вакуумного нанесения пленок на подложку датчики для измерения толщины пленок работают в экстремальных условиях, т.к. средняя температура в установке нанесения пленок достигает величины порядка 1000°C . Кроме

того, датчик, предназначенный для контроля толщины пленок в условиях повышенных температур, должен обладать высокой точностью измерения контролируемого параметра и быть надежен.

В связи с этим к материалу для изготовления чувствительного элемента пьезорезонансных масс-чувствительных датчиков предъявляются жесткие требования: отсутствие фазовых переходов в пьезоэлектрическом кристалле вплоть до температур вакуумного нанесения пленок, отсутствие пьезоэлектрического эффекта, отсутствие гистерезиса физических свойств, высокая чувствительность, определяемая высоким значением пьезомодулей материала; высокое удельное электрическое сопротивление; низкая деградация поверхности материала при контакте с электродами (см., например, J. Stade, et. all. "Electro-optic, Piezoelectric and Dielectric Properties of Langasite ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$), Langanite ($\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{14}$) and Langataite ($\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$)". Crystall Res. Technology 37, p. 1113-1120, 2002, а также патент US, 7622851, "High temperature piezoelectric material").

Типичные резонансные конструкции чувствительных элементов основаны на использовании кристаллов кварца для контроля изменений по массе в процессе осаждения пленок при производстве твердотельных электронных устройств. Так, опубликованная Европейская патентная заявка EP 1365227 раскрывает датчики, которые состоят из кварцевого резонатора АТ-среза или ВТ-среза. Увеличение или удаление массы с резонатора приводит к изменению частоты. Изменение по массе может быть рассчитано на основе изменения частоты. Для малых изменений по массе, изменение частоты линейно пропорционально изменению по массе, при условии, что температура остается постоянной в процессе нанесения пленки.

Известны резонансные кварцевые масс-чувствительные датчики, предназначенные для измерения толщины пленки в процессе их напыления на подложку (см. Малов В.В. «Пьезорезонансные датчики», 1989, а также патенты US, 8925385 и US, 5869763; патент JP, 2008026099 и опубликованная патентная заявка US, Patent Appln. 2002/0088284).

Кварц является наиболее широко распространенным пьезоэлектрическим материалом для масс-чувствительных датчиков благодаря его физическо-химическим свойствам. Достоинством известного типа датчиков на кварце является то, что резонаторы на основе кварца могут производиться в большом количестве при невысокой себестоимости, а также позволяют работать в температурном диапазоне от абсолютного нуля до температуры 350°C . К недостатку кварцевых датчиков относится ограниченный температурный диапазон применения в области высоких температур. Применение кварцевых масс-чувствительных датчиков в установках вакуумного напыления, в частности при молекулярно-лучевой эпитаксии, где процесс выращивания пленок происходит в глубоком вакууме при температуре $400\text{-}800^\circ\text{C}$, невозможно, так как у кристаллов кварца наблюдается фазовый переход при температуре 573°C , при этом рабочая температура кварцевых масс-чувствительных датчиков значительно ниже и составляет 350°C . Еще одним существенным недостатком кварца является относительно малое значение коэффициента электромеханической связи (КЭМС), приблизительно 7%.

Опубликованная патентная заявка US, 2002/0088284 раскрывает конструкцию масс-чувствительного элемента, в котором коммуникационная плата и диафрагма соединены друг с другом соответствующими сторонами в направлении, перпендикулярном направлению, в котором диафрагма соединена с платой, а пьезоэлектрический элемент, состоящий из пьезоэлектрической пленки и электрода, установлен на одной из плоских поверхностей чувствительной платы, и резонансной части, включающей диафрагму, плату, коммуникационную плату, а пьезоэлектрический элемент соединен с сенсорной

подложной. Изменение массы диафрагмы измеряется путем измерения изменения резонансной частоты резонансной части элемента, сопровождающей изменение массы диафрагмы. Известный масс-чувствительный датчик позволяет точно измерять массу с помощью наногаммы, в том числе массу микроорганизмов, таких как бактерии и вирусы, химические субстанции, а также известный датчик позволяет измерять толщину пленок, осажденных из паровой фазы.

Известен также масс-чувствительный датчик на основе кристалла лангасита для контроля свертываемости крови (D. Shen et al., Sensor and Actuator B 119 (2006) 99-14). Пьезоэлектрические кристаллы из семейства лангасита, принадлежащие к точечной группе симметрии 32, представляют большой интерес для современной акустоэлектроники и пьезотехники. В отличие от кварца, кристаллы из семейства лангасита, сохраняют свои пьезоэлектрические свойства вплоть до температуры плавления 1470°C, что позволяет создавать на их основе различные типы высокотемпературных датчиков.

Преимуществом кристаллов лангасита $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ (LGS) является также коэффициент электромеханической связи КЭМС, величина которого в три раза превышает значение КЭМС кварца. Однако известный чувствительный элемент вследствие его конструктивных особенностей не пригоден для контроля толщины и скорости нанесения диэлектрических, полупроводниковых и проводящих пленок. Хотя резонансная частота кристаллического резонатора из лангасита высоко чувствительна к изменениям массы, она также чувствительна к изменениям температуры, т.е. изменение резонансной частоты, зависит от обоих изменений как по массе, так и по температуре. Поскольку температура испарителя материала пленки может превышать 1000-1300°C, то потоки тепла с него могут изменить среднюю температуру резонатора на 20-100°C. Поэтому для обеспечения точности измерения масс-чувствительными датчиками резонансного типа необходимо, чтобы чувствительные элементы имели минимальное влияние температуры на изменение частоты.

По этой причине имеется потребность в промышленном производстве экономически эффективных миниатюрных высокоточных чувствительных элементов, которые могли бы обеспечить работу датчиков массы и толщины пленок при температурах не ниже 250°C в режиме реального времени, при этом точность измерения толщины должна составлять нанометры.

В рамках данной заявки решается задача разработки такой конструкции масс-чувствительного элемента для пьезорезонансных датчиков, которая позволила бы увеличить интервал температур эксплуатации датчиков в область высоких температур и обеспечить их работоспособность при температуре не ниже 250°C путем исключения фазового перехода в пьезоэлектрическом материале датчика. Решается также задача сохранения точности и надежности измерения массы и толщины сверхтонких пленок в процессе их напыления на подложку. Имеется потребность в решении задачи разработки такой конструкции высокотемпературных чувствительных элементов для пьезорезонансных датчиков, резонансная частота которых практически не зависела бы от температуры эксплуатации датчиков при температуре в диапазоне не ниже 250°C, т.е. в диапазоне температур $\geq 250^\circ\text{C}$.

Поставленная задача решается тем, что высокотемпературный резонансный масс-чувствительный элемент для пьезорезонансных датчиков содержит плосковыпуклую пластину и электроды, выполненные в виде слоев металлизации на плоской и выпуклой сторонах пластины, где пластина выполнена из пьезоэлектрического материала, относящегося к семейству лангасита, и имеет ориентацию Y-среза, при этом электрод

плоской стороны пластины выполнен в виде сплошного слоя металлизации, а электрод выпуклой стороны пластины выполнен дискретным и состоит из центральной части и периферической части, указанные части электрода выпуклой стороны пластины соединены между собой слоем металлизации в направлении кристаллофизической оси Z, а в направлении кристаллофизической оси Y в слое металлизации периферической части электрода выполнен разрыв.

Предпочтительно, плосковыпуклая пластина выполнена из материала, взятого из ряда: лангасит $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, лангатат $\text{La}_3\text{Ta}_{0,5}\text{Ga}_{5,5}\text{O}_{14}$, катангасит $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$, при этом данная пластина имеет ориентацию повернутого Y-среза с углом поворота β , взятым из диапазона $0^\circ < \beta \leq 60^\circ$.

Целесообразно, что пьезоэлектрическая пластина имеет толщину из диапазона от 0,060 до 0,69 мм и собственную частоту колебаний из диапазона от 2,0 МГц до 20,0 МГц, а отношение диаметра плоской стороны пластины к толщине пластины составляет величину не менее 50. Кроме того, радиус кривизны выпуклой стороны пластины составляет величину из диапазона 200-300 мм, при этом шероховатость поверхностей плосковыпуклой пластины не превышает 0,2 мкм.

Предпочтительно, что слои металлизации плоской и выпуклой сторон пластины выполнены из металлов, взятых из ряда: иридий, золото, платина.

Сущность полезной модели состоит в том, что пьезоэлектрический масс-чувствительный элемент для датчиков содержит пластину, которая изготавливается из повернутых Y-срезов кристаллов семейства лангасита, при этом предъявляются требования к форме пластины и геометрии электродов. Для обеспечения в пьезоэлектрической пластине механических колебаний вида сдвиг по толщине, а также для обеспечения минимального ухода собственной частоты от температуры, пьезоэлектрическая пластина имеет плосковыпуклую форму и ориентацию, соответствующую кристаллографической плоскости (01.0), повернутой относительно кристаллофизической оси Y на угол β , величина которого предпочтительно взята из диапазона $0^\circ < \beta \leq 60^\circ$.

Как было указано выше, собственная частота колебаний чувствительного элемента может изменяться не только вследствие изменения его массы, но и вследствие температурной зависимости собственной частоты колебаний чувствительного элемента. Для того чтобы снизить влияние температуры на работу чувствительного элемента в данной полезной модели использованы повернутые Y-срезы монокристаллов (см. фиг. 2), таких как лангасит (ЛГС - $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$), лангатат (ЛГТ - $\text{La}_3\text{Ta}_{0,5}\text{Ga}_{5,5}\text{O}_{14}$), катангасит (КТГС - $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$). Выбор монокристалла (ЛГС, ЛГТ или КТГС) определяется температурой эксплуатации датчика, при этом для более высокотемпературных диапазонов эксплуатации предпочтительнее использование монокристалла катангасита КТГС.

Экспериментально было установлено, что спектр колебаний чувствительных элементов плосковыпуклого профиля пластины значительно чище, чем спектр колебаний чувствительных элементов плоского профиля пластины.

Сущность высокотемпературного резонансного масс-чувствительного элемента для пьезорезонансных датчиков, согласно данной полезной модели, поясняется графическим материалом, где:

Фиг. 1 иллюстрирует вертикальное сечение пьезоэлектрической пластины плосковыпуклой формы.

Фиг. 2 иллюстрирует кристаллофизическую ориентацию пьезоэлектрической пластины

и расположение кристаллофизических осей X, Y, Z для повернутых Y-срезов на поверхности пьезоэлектрической пластины.

Фиг. 3 изображает вид на плоскую сторону пластины чувствительного элемента.

Фиг. 4 изображает вид на выпуклую сторону пластины чувствительного элемента.

5 Фиг. 5 иллюстрирует пьезоэлектрический датчик с чувствительным элементом.

Фиг. 6 иллюстрирует зависимость изменения резонансной частоты чувствительного элемента от температуры.

Фиг. 7 иллюстрирует зависимость изменения резонансной частоты чувствительного элемента от изменения толщины нанесенной пленки.

10 Для пояснения сущности полезной модели на чертежах введены следующие обозначения: 1 - пьезоэлектрическая пластина; 2 - выпуклая сторона пластины; 3 - плоская сторона пластины; 4 - электрод плоской стороны пьезоэлектрической пластины; 5 - электрод выпуклой стороны пьезоэлектрической пластины; 6 - чувствительный элемент; 7 - металлический корпус; 8 - металлическая крышка; 9 - отверстие в
15 металлическом корпусе.

Масс-чувствительный элемент 6, согласно полезной модели, представляет собой плосковыпуклую пьезоэлектрическую пластину 1 (см. фиг. 1) с нанесенными на ее стороны 2 и 3 электродами 4 и 5 (см. фиг. 3 и фиг. 4). Чувствительный элемент
20 изготавливается путем осаждения пленки металла на обе стороны 2, 3 тонкой плосковыпуклой пьезоэлектрической пластины 1 с образованием пары металлических электродов 4 и 5, а электрическое напряжение подается на эти электроды. Когда прикладывается электрическое поле между парой электродов, пьезоэлектрическая
25 пластина генерирует вибрацию, имеющую постоянную периодичность. Когда вещество осаждается на один электрод, генерируется сигнал уменьшения частоты. В этом случае существует линейная зависимость между весом осаждаемого вещества и изменением
резонансной частоты чувствительного элемента. Например, когда Y-срез лангасита работает на частоте $f=6$ МГц, осаждение на один электрод вещества, имеющего вес 1 нг, вызывает изменение частоты примерно на 1 Гц, поэтому масса вещества, имеющая
экстремально малый вес, может быть измерена.

30 Частота колебаний - удобный параметр для дальнейшей обработки информации о массе и толщине пленки, а при определенной кристаллографической ориентации пластины, выполненной согласно данной полезной модели, резонансная частота практически не зависит от температуры, что позволяет измерять массу и толщину с
высокой точностью.

35 Колебания, соответствующие резонансной частоте, возбуждаются, согласно полезной модели, в области центрального слоя металлизации выпуклой стороны пластины 2, выполненного, например, в форме круга. Данная форма слоя металлизации выпуклой стороны пластины выбрана таким образом, чтобы обеспечить моночастотность
амплитудно-частотной характеристики чувствительного элемента. Резонансная частота
40 чувствительного элемента выбирается из диапазона от 2,0 МГц до 20,0 МГц.

Материал электродов не оказывает влияние на частотный отклик и температурно-частотные характеристики чувствительных элементов. Материал электродов должен
быть выбран в зависимости от рабочей температуры и среды, в которой используется чувствительный элемент. В качестве материала для электродов в зависимости от
45 конкретной температуры применения датчика, служит золото, иридий или платина. Для применения датчика при относительно невысоких температурах (до 500°C) используются как золото, так и иридий. Для высокотемпературного диапазона эксплуатации датчика (выше 500°C) в качестве материала электрода используется

только иридий.

Ниже приведены неограничивающие примеры реализации высокотемпературного чувствительного элемента, согласно данной полезной модели, для контроля толщины пленки в режиме реального времени, т.е. во время процесса напыления в установке вакуумного напыления пленок и химического осаждения пленок.

Пример 1.

Чувствительный элемент, согласно данной полезной модели, изготавливается путем резки предварительно выращенного объемного кристалла лангасита на пьезоэлектрические пластины, имеющие ориентацию Y-среза, последующей шлифовки полученных пластин семейства лангасита до заданного радиуса кривизны выпуклой стороны пластины и до заданной толщины, соответствующей заданной собственной резонансной частоте механических колебаний чувствительного элемента, и последующего формирования пары электродов на плоской и выпуклой сторонах пластины путем нанесения слоев металлизации заданной толщины и геометрии.

Предварительно изготавливается пьезоэлектрическая пластина 1 диаметром, равным 14 мм, одна сторона пластины плоская, а радиус кривизны R выпуклой стороны 2 равен $R=250$ мм (см. фиг. 1). При шлифовке плосковыпуклая форма пьезоэлектрической пластины 1 выполняется с отношением диаметра плоской стороны 3 к толщине пластины равным 56. Пластина шлифуется до толщины из диапазона от 0,060 до 0,69 мм, что соответствует собственной частоте колебаний из диапазона от 2,0 МГц до 20,0 МГц. Толщина пластины чувствительного элемента 0,23 мм определяет собственную частоту колебаний величиной 6,0 МГц.

Шероховатость выпуклой стороны 2 пьезоэлектрической пластины (обратная сторона чувствительного элемента 6) и плоской стороны 3 пьезоэлектрической пластины (лицевая сторона чувствительного элемента 6) не превышает 0,2 мкм. Электрод плоской стороны пьезоэлектрической пластины 4 и электрод выпуклой стороны пьезоэлектрической пластины 5 формируют в виде слоев металлизации методом вакуумного напыления. На плоской стороне 3 пластины (лицевой стороне) электрод 4 покрывает всю плоскую поверхность пьезоэлектрической пластины 1 с односторонней фаской, величина диаметра электрода равна 13 мм (см. фиг. 3). Для локализации энергии механических колебаний в пьезоэлектрической пластине 1, на выпуклой стороне пластины 2 (обратная сторона чувствительного элемента 6) методом вакуумного напыления формируется электрод 5 диаметром от 3 мм до 6 мм, покрывающий только центральную часть выпуклой стороны пьезоэлектрической пластины 1 (см. фиг. 4). В качестве материала электродов 4 и 5 используется золото, платина или иридий. Золотые электроды толщиной 100 нм наносятся резистивным методом, а иридиевые электроды аналогичных диаметра и толщины наносятся методом магнетронного напыления в вакууме.

Для работы датчика при температуре 250°C в данной полезной модели чувствительный элемент 6 выполнен из пьезоэлектрического материала лангасита Y-среза, угол поворота β равен 15°. Для данного среза температурно-частотная характеристика представляет собой параболу с экстремумом при температуре 250°C (см. фиг. 6). В области экстремума зависимость резонансной частоты от температуры имеет минимальное значение. Соответственно при эксплуатации датчика при температуре 250°C данный чувствительный элемент имеет минимальный уход частоты от температуры и, следовательно, в данной области температур изменение частоты будет происходить только от присоединенной массы к чувствительному элементу, тем самым повышается точность измерения массы/толщины.

Резонансный масс-чувствительный элемент работает следующим образом. Для

обеспечения снятия сигнала с чувствительного элемента 6 его устанавливают в металлический корпус 7, имеющий отверстие 9 и снабженный крышкой 8 (см. фиг. 5). Чувствительный элемент 6 установлен в металлическом корпусе 7 таким образом, что плоская сторона 3 пьезоэлектрической пластины 1 расположена напротив отверстия 9, сквозь которое во время процесса напыления на электрод плоской стороны 4 чувствительного элемента наносится пленка металла, вследствие чего происходит увеличение массы электрода и изменение резонансной частоты. Сверху чувствительный элемент 6 зажимается металлической крышкой 8 (фиг. 5). Металлический корпус 7 и металлическая крышка 8 предназначены для снятия электрического сигнала с чувствительного элемента. Электрический контакт чувствительного элемента с металлическим корпусом осуществляется за счет механического прижима металлической крышкой чувствительного элемента к металлическому корпусу.

В процессе вакуумного нанесения пленок на подложку происходит изменение массы электрода плоской стороны пьезоэлектрической пластины 4, и изменяется собственная частота чувствительного элемента 6. Собственная резонансная частота механических колебаний, возникающих в чувствительном элементе при воздействии на него электрического поля, обратно пропорциональна толщине чувствительного элемента и массе электродов.

Для определения зависимости изменения резонансной частоты чувствительного элемента от толщины пленки металла, предварительно проводится несколько процессов напыления пленки на пластину. С помощью измерителя «Micron-7» во время процесса напыления пленки фиксируется изменение резонансной частоты чувствительного элемента. После проведения каждого процесса напыления пленки измеряется толщина пленки на образце. По полученным данным строится зависимость изменения частоты чувствительного элемента от толщины металлической пленки. На фиг. 7 представлена зависимость изменения частоты чувствительного элемента от изменения толщины нанесенной пленки металла. Изменение массы электрода чувствительного элемента в течение процесса нанесения пленок материалов приводит к изменению его резонансной частоты, а информация об изменении частоты в свою очередь обеспечивает возможность расчета толщины нанесенной пленки и скорости ее нанесения при известной плотности материала пленки. Зная зависимость изменения частоты от изменения массы электрода, можно определить толщину пленки и скорость напыления в режиме реального времени.

Пример 2.

Пьезорезонансный датчик с чувствительным элементом из кристалла лангатата Y-среза с углом поворота β , равным 26° , эксплуатируется в установке молекулярно-лучевой эпитаксии для нанесения пленки германия Ge на подложку из кремния Si. Температура подложки в процессе нанесения пленки составляет 600°C , а температура испарителя имеет величину выше величины температуры плавления германия 937°C . Потоки тепла с испарителя изменяют среднюю температуру чувствительного элемента датчика на величину из диапазона $20-100^\circ\text{C}$.

Данный чувствительный элемент изготавливается аналогично чувствительному элементу в примере 1. Для Y-среза кристалла лангатата температурно-частотная характеристика представляет собой параболу с экстремумом при температуре 450°C . В области экстремума зависимость резонансной частоты от температуры имеет минимальное значение, поэтому при эксплуатации датчика при температуре в области температуры 450°C данный чувствительный элемент будет иметь минимальный уход резонансной частоты от температуры и, следовательно, в данной области температур изменение частоты будет происходить только от присоединенной массы к

чувствительному элементу, и тем самым повышается точность измерения массы и толщины пленки германия.

Возможность работы чувствительного элемента на основе кристалла лангатата при температуре 450°C обеспечивает точность измерения за счет того, что датчик можно расположить в непосредственной близости от подложки, а также за счет того, что вблизи температуры экстремума 450±30°C зависимость резонансной частоты от температуры имеет минимальное значение.

Пример 3.

На основе масс-чувствительного элемента резонансного типа с колебаниями сдвига по толщине изготовлен высокотемпературный ультрафиолетовый датчик, предназначенный для эксплуатации при температуре более 800°C. Пленки из оксида цинка ZnO наносятся на пластину лангасита Y-среза методом химического осаждения из газовой фазы при температуре более 800°C и имеют структуру так называемых нанотрубок. Для изготовления высокотемпературного чувствительного элемента для ультрафиолетового датчика на пластину из кристалла лангасита Y-среза наносится электрод, выполненный из материала, способного изменять свои свойства при облучении ультрафиолетом. Таким материалом являются нанотрубки из оксида цинка ZnO. При облучении чувствительного элемента ультрафиолетом из оксида цинка ZnO уходит кислород, тем самым меняется масса нанотрубок, а также меняется резонансная частота чувствительного элемента.

Данная полезная модель с масс-чувствительным элементом резонансного типа на основе кристаллов семейства лангасита, имеющих ориентацию Y-среза, может применяться для высокотемпературных датчиков высокой точности и чувствительности в режиме реального времени при температуре не менее 250°C. Указанные кристаллы в виду отсутствия фазовых переходов остаются пьезоактивными вплоть до их температуры плавления.

(57) Формула полезной модели

1. Высокотемпературный резонансный масс-чувствительный элемент для пьезорезонансных датчиков, содержащий плосковыпуклую пластину и электроды, выполненные в виде слоев металлизации на плоской и выпуклой сторонах пластины, где пластина выполнена из пьезоэлектрического материала, относящегося к семейству лангасита, и имеет ориентацию Y-среза, при этом электрод плоской стороны пластины выполнен в виде сплошного слоя металлизации, а электрод выпуклой стороны и пластины выполнен дискретным и состоит из центральной части и периферической части, указанные части электрода выпуклой стороны пластины соединены между собой слоем металлизации в направлении кристаллофизической оси Z, а в направлении кристаллофизической оси Y в слое металлизации периферической части электрода выполнен разрыв.

2. Устройство по п. 1, характеризующееся тем, что пластина выполнена из материала, взятого из ряда: лангасит $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, лангатат $\text{La}_3\text{Ta}_{0,5}\text{Ga}_{5,5}\text{O}_{14}$, катангасит $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$.

3. Устройство по п. 1, характеризующееся тем, что пластина имеет ориентацию повернутого Y-среза с углом поворота β , взятым из диапазона $0^\circ < \beta \leq 60^\circ$.

4. Устройство по п. 1, характеризующееся тем, что пьезоэлектрическая пластина имеет толщину из диапазона от 0,060 до 0,69 мм, при этом отношение величины диаметра плоской стороны пластины к толщине пластины составляет величину не менее 50, а собственная частота колебаний пластины находится в диапазоне от 2 МГц до 20 МГц.

5. Устройство по п. 1, характеризующееся тем, что радиус кривизны выпуклой стороны пластины составляет величину из диапазона 200-300 мм.

6. Устройство по п. 1, характеризующееся тем, что шероховатость плоской и выпуклой сторон пластины не превышает величину 0,2 мкм.

5 7. Устройство по п. 1, характеризующееся тем, что слои металлизации плоской и выпуклой сторон пластины выполнены из металлов, взятых из ряда: иридий, золото, платина.

10

15

20

25

30

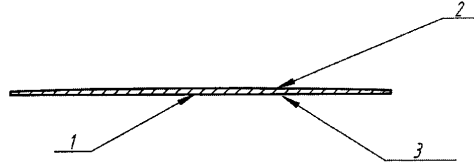
35

40

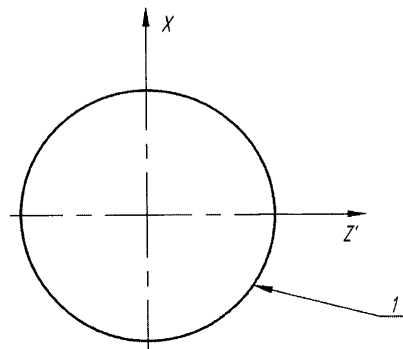
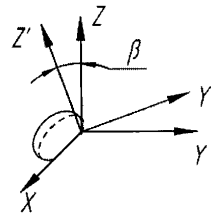
45

1

1/4



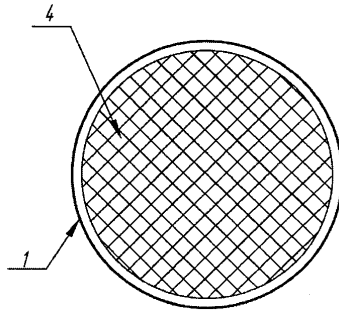
Фиг 1



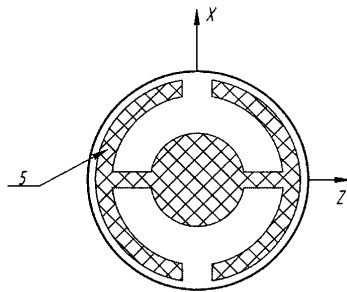
Фиг.2

2

2/4

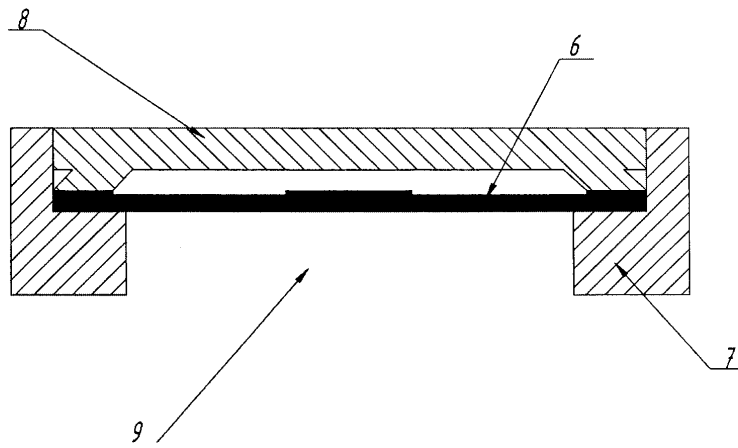


Фиг. 3

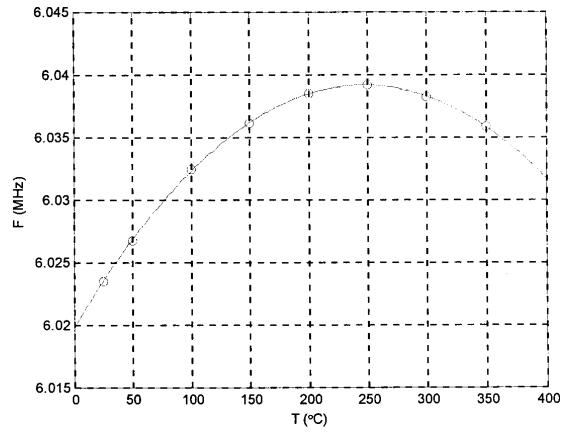


Фиг. 4

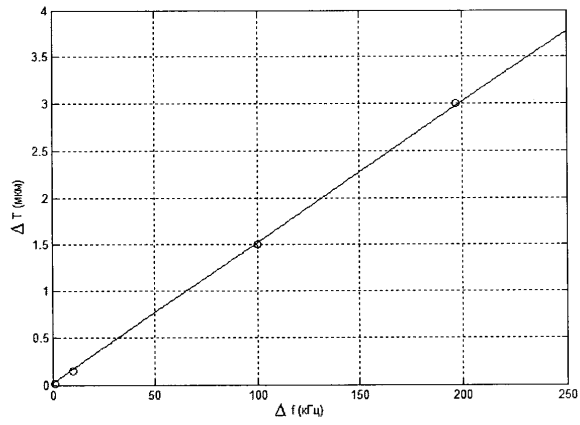
3/4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7