



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004106743/28, 05.03.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.03.2004

(43) Дата публикации заявки: 10.08.2005

(45) Опубликовано: 10.10.2006 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: JP 61169099 A, 30.07.1986. JP 6327098
A, 25.11.1994. US 4686409 A, 11.08.1987. EP
0178346 A1, 23.04.1986. US 4523122 A,
11.06.1985. GB 867326 A, 03.01.1961.

Адрес для переписки:

199034, Санкт-Петербург, Университетская
наб., 7/9, Университет, отдел
интеллектуальной собственности, патентов и
лицензий, Т.И. Матвеевой

(72) Автор(ы):

Борисов Борис Федорович (RU),
Гартвик Андрей Витальевич (RU),
Чарная Елена Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

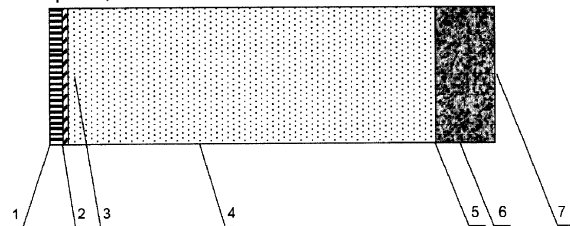
Санкт-Петербургский государственный
университет (RU)

(54) УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С СУХИМ АКУСТИЧЕСКИМ КОНТАКТОМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к пьезоэлектрическим преобразователям. Техническим результатом изобретения является увеличение коэффициента передачи и расширение рабочего диапазона температур. Ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом содержит твердотельный звукопровод, имеющий внутреннюю рабочую грань с закрепленным на ней пьезоэлементом и внешнюю рабочую грань для сухого акустического контакта с исследуемой средой. Твердотельный звукопровод состоит из двух соединенных между собой в единый блок частей одного или разных составов,

одна из которых, содержащая внутреннюю рабочую грань, выполнена из сплошного материала, а другая, содержащая внешнюю рабочую грань, выполнена в виде пластины из пористого материала, имеющего твердотельную матрицу, с объемом пор не менее 17% от объема пластины. 7 з.п. ф-лы, 1 ил.





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

H04R 17/00 (2006.01)*G10K 11/00* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2004106743/28, 05.03.2004**(24) Effective date for property rights: **05.03.2004**(43) Application published: **10.08.2005**(45) Date of publication: **10.10.2006 Bull. 28**

Mail address:

**199034, Sankt-Peterburg, Universitetskaja
nab., 7/9, Universitet, otdel
intellektual'noj sobstvennosti, patentov i
litsenzij, T.I. Matveevoj**

(72) Inventor(s):

**Borisov Boris Fedorovich (RU),
Gartvik Andrej Vital'evich (RU),
Charnaja Elena Vladimirovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj
universitet (RU)**

(54) **ULTRASOUND PIEZO-TRANSFORMER WITH DRY ACOUSTIC CONTACT**

(57) Abstract:

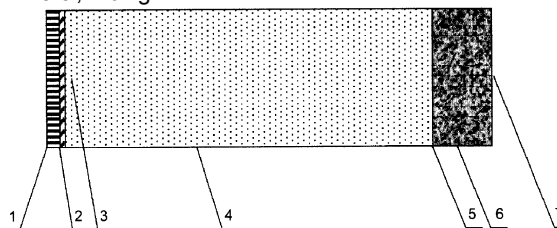
FIELD: engineering of piezo-electric transformers.

SUBSTANCE: ultrasound piezo-transformer with dry acoustic contact contains solid sound duct, having internal working side for dry acoustic contact with environment being researched. Solid sound duct consists of two parts of similar or different compositions, combined as single block, one of which, containing internal working side, is made of solid material, and another one, containing external working side, is made in form of plate of porous material, having solid matrix,

with volume of pores not less than 17% of plate volume.

EFFECT: increased transfer coefficient, expanded working range of temperatures.

8 cl, 1 dwg



Изобретение относится к области физической и технической акустики твердого тела, работа которого основана на прямом и обратном пьезоэффекте, достигаемом за счет взаимного преобразования механических деформаций в электрические сигналы, и может быть применено в качестве датчиков и исполнительных элементов во многих областях науки и техники, связанных с акустикой и ультразвуковой спектроскопией, в частности

5 материаловедении, неразрушающем контроле, автоматизированном технологическом процессе и/или экспресс-анализе материалов, ультразвуковом мониторинге, в том числе при экстремальных температурах, в акустике микронеоднородных сред и т.д.

Известны пьезопреобразователи, которые можно отнести к устройствам простой конструкции, выполненные в виде бруска, пластины или тонкой пленки той или иной формы из материала, обладающего пьезоэффектом. Обязательными дополнительными элементами подобных преобразователей являются электроды на рабочих гранях пьезоэлемента либо иные устройства для излучения и приема электрических сигналов [1]. Однако такие устройства имеют ограниченную область применения, в частности узкую

10 область рабочих температур.

Известны пьезопреобразователи, которые можно отнести к устройствам более сложной конструкции. Они могут состоять из нескольких, не обязательно одинаковых, пьезоэлементов, по-разному соединенных между собой: последовательно (блоком), параллельно (мозаикой), либо более сложным образом.

20

Акустические пьезопреобразователи объемных мод могут содержать дополнительный звукопровод той или иной формы на внешней рабочей грани пьезоэлемента и/или акустический демпфер на внутренней его грани [2]. Однако такие устройства также имеют ограниченную область применения, в частности узкую область рабочих температур.

Известны пьезопреобразователи объемных мод, применяемые в акустике твердого тела, традиционным элементом которых является наличие акустического контактного слоя (склейки) на внешней рабочей грани преобразователя (то есть на внешней рабочей грани пьезоэлемента или твердотельного звукопровода, если таковой имеется) [3]. Однако такие устройства непригодны для работы в широком температурном диапазоне.

25

Известен ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим контактом, наиболее близкий к предлагаемому изобретению и выбранный в качестве прототипа [4]. В литературе такие устройства имеют названия пьезопреобразователи с «оптическим», «бесклеечным» или «glue free» контактом. При этом согласование преобразователя с исследуемой средой осуществляется без посредства указанного выше традиционного контактного слоя [5].

30

Известный пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом [4] выполнен в виде цилиндра из плавленного кварца или ультрафарфора с параллельными торцами; к одному из торцов, являющемуся внутренней рабочей гранью звукопровода, приклеен пьезоэлемент в виде пластины кристалла или керамики с нанесенными на него электродами. Другой торец, являющийся внешней рабочей гранью звукопровода и всего преобразователя в целом, имеет высокий класс механической обработки (0,3

35 интерференционной полосы) и служит поверхностью прямого бесклеечного акустического контакта с твердотельной средой.

При использовании прототипа и подобных ему ультразвуковых пьезопреобразователей акустическая энергия передается из одной среды в другую не по всей поверхности их соприкосновения, а только через те области, где атомы обеих сред находятся в непосредственном (молекулярном) контакте друг с другом. От остальных участков поверхности ультразвуковой сигнал полностью отражается обратно, не переходя в другую среду. Таким образом, коэффициент передачи пропорционален площади непосредственного контакта. Для достижения приемлемого уровня данного коэффициента необходимо, чтобы внешняя рабочая грань преобразователя и грань согласуемой с ним

45 твердотельной среды отвечали самому высокому классу обработки поверхностей на уровне оптической полировки. Отсюда название "оптический контакт".

Но даже в самом оптимальном варианте доля непосредственно контактирующих областей реально не превосходит 10-15% от всей поверхности соприкосновения этих сред.

50

Из этого, например, следует, что пьезопреобразователи на оптическом контакте обязательно должны иметь твердотельный звукопровод, отделяющий активный пьезоэлемент от исследуемой среды. В противном случае, то есть при непосредственном сухом контакте пьезоэлемента с твердой средой, их неполное согласование приводит к

5 недостаточному отводу энергии от активного элемента и, как следствие, к его перевозбуждению, так называемому "звону". Таким образом, в подобных ультразвуковых пьезопреобразователях пьезоэлемент должен крепиться на внутренней рабочей грани звукопровода стандартным образом при помощи традиционной акустической склейки.

Прототип и аналогичные ему пьезопреобразователи с сухим контактом имеют два

10 исключительных преимущества перед традиционными.

1) Через область сухого контакта передаются все типы механических напряжений и деформаций. Вследствие этого пьезопреобразователи данного класса равно пригодны для работы как на продольных, так и на сдвиговых волнах любой поляризации, что позволяет при закреплении на звукопроводе набора соответствующих пьезоэлементов проводить

15 комплексные исследования на всех акустических модах в один прием, без перестановки образца.

2) Пьезопреобразователи без ограничений применимы во всем температурном интервале существования согласуемых твердых сред, поскольку эти среды не склеены жестко друг с другом и вследствие этого могут без разрушений гасить избыточные

20 (разрушающие) статические тангенциальные напряжения на границе их соприкосновения, возникающие из-за различия температурных коэффициентов расширения.

Недостатками известного пьезопреобразователя являются низкая точность измерений за счет малого значения коэффициента передачи и его нестабильность вследствие неконтролируемых вариаций площади непосредственного контакта в поле изменяющихся

25 температур, механических напряжений и/или градиентов этих параметров, что значительно снижает надежность устройства, большая стоимость и трудоемкость изготовления за счет высоких требований, предъявляемых к качеству механической обработки поверхностей, в том числе к поверхности исследуемой среды, а также низкая надежность из-за сложности установки контакта за счет высокой чувствительности к чистоте поверхностей, что

30 практически не позволяет применять пьезопреобразователи в автоматических и экспресс-методах.

Кроме этого, малая площадь непосредственного контакта согласуемых сред требует высокого прижимного давления (как правило, свыше 3 МПа), что усложняет устройство.

Предлагаемое изобретение лишено этих недостатков.

35 Технический результат заявленного изобретения состоит в повышении точности, удешевлении устройства, повышении его надежности и упрощении его в работе.

Указанный технический результат достигается тем, что в известном ультразвуковом пьезопреобразователе с сухим акустическим контактом, содержащем один пьезоэлемент и твердотельный звукопровод, имеющий внутреннюю рабочую грань с закрепленным на ней

40 пьезоэлементом, и внешнюю рабочую грань для сухого акустического контакта с исследуемой средой, в соответствии с предлагаемым изобретением твердотельный звукопровод состоит из двух соединенных между собой в единый блок частей одного или разных составов, одна из которых, содержащая внутреннюю рабочую грань, выполнена из сплошного материала, а другая, содержащая внешнюю рабочую грань, выполнена в виде

45 пластины из пористого материала, имеющего твердотельную матрицу, с объемом пор не менее 17% от объема пластины.

Кроме того, технический результат достигается тем, что в качестве пористого материала использованы пористые стеклянные матрицы.

Помимо этого, технический результат достигается тем, что в качестве материала

50 пластины, содержащей внешнюю рабочую грань, использованы пористые стекла на основе двухфазного натриевоборосиликатного стекла со средним диаметром пор от 1 до 2000 нм.

Вместе с тем, технический результат достигается тем, что в качестве сплошного материала для части звукопровода, содержащей внутреннюю рабочую грань с

пьезоэлементом, использовано двухфазное натриевоборосиликатное стекло, идентичное материалу пластины.

Наряду с этим, указанный технический результат достигается тем, что качестве сплошного материала для части звукопровода, содержащей внутреннюю рабочую грань с пьезоэлементом, использовано двухфазное натриевоборосиликатное стекло, идентичное материалу пластины.

Кроме того, указанный технический результат достигается тем, что в качестве материала для пористой пластины использованы синтетические опалы.

Указанный технический результат достигается также тем, что в качестве материала для пористой пластины использовано пористое стекло марки "Vycor".

Помимо того, указанный технический результат достигается тем, что в качестве материала для пористой пластины использованы полимерные матрицы со средним диаметром пор от 10 нм до 10 мкм.

Вместе с тем, указанный технический результат достигается тем, что в качестве материала для пористой пластины использована керамика со средним размером частиц от 100 нм до 10 мкм.

Схема предлагаемого устройства представлена на чертеже.

Устройство состоит из пьезоэлемента (1), слоя традиционной акустической склейки (2), внутренней рабочей грани звукопровода (3), сплошной части звукопровода (4), границы между сплошной и пористой частями звукопровода (5), собственно пористой части звукопровода (6), поверхности внешней рабочей грани для сухого акустического контакта с твердотельной средой (7).

Пьезоэлемент (1) в виде пластины с нанесенными на обе его грани электродами закрепляется на внутренней рабочей грани (3) сплошной части звукопровода (4) посредством традиционной контактной склейки (2). Пористая часть звукопровода (6), заканчивающаяся внешней рабочей гранью (7), выполняется в виде пластины из твердотельных пористых матриц различной природы (стеклянных, полимерных, керамических) с относительным объемом пор не менее 17%. Акустический контакт (5) между сплошной (4) и пористой (6) частями звукопровода может быть как сухим, так и традиционным (склеечным). В последнем случае коэффициент передачи повышается. Толщина пористой пластины (6) выбирается в зависимости от материала, но в любом случае не должна превышать нескольких миллиметров во избежание больших потерь на поглощение и рассеяние акустической энергии. Необходимым условием получения достаточной площади сухого контакта пьезопреобразователя со средой является их взаимный прижим на внешней рабочей грани (7) давлением порядка 50-200 кПа.

Работа предлагаемого устройства в режимах излучения и приема акустических сигналов осуществляется следующим образом. В режиме излучения пьезоэлемент (1) преобразует поступившие на него электрические сигналы в соответствующие механические деформации, которые в виде акустических волн распространяются последовательно по всем элементам звукопровода (2-6) и через поверхность сухого контакта на рабочей грани (7) излучаются во внешнюю среду. В режиме приема все происходит в строго обратном порядке. Акустические сигналы из внешней среды через поверхность сухого контакта на рабочей грани (7) поступают в звукопровод и, распространяясь последовательно по всем его элементам (6-2), достигают пьезоэлемента, который преобразует их в электрические.

Причина трудности устройств-аналогов работать в широком температурном диапазоне обусловлена тем, что две твердых поверхности невозможно, в силу их неидеальности, привести в соприкосновение так, чтобы прямой контакт пограничных атомов имел место по всей без исключения площади соприкосновения этих поверхностей. Это объясняется тем, что акустические колебания передаются от атома к атому только при непосредственном их механическом контакте, то есть на расстояниях порядка длины химической или ван-дер-ваальсовой связи. Проблему полного согласования подобных сред решает наличие между ними промежуточного слоя - акустической контактной склейки. Контактная склейка

представляет собою жидкий (в случае продольных волн) или затвердевший (в случае сдвиговых и/или продольных волн) тонкий слой какого-либо вещества. Это вещество заполняет все пространство между соприкасающимися поверхностями, остающееся свободным после их прижима друг к другу [3]. Ясно, что твердые склейки в момент

5 прижима должны находиться в жидком состоянии и лишь потом затвердевать, то есть они в буквальном смысле играют роль клея.

В преобразователях подобного типа энергия колебаний каждого поверхностного атома одной среды полностью или частично передается (прямо или через атомы контактного слоя) каждому поверхностному атому другой среды. Коэффициент передачи здесь

10 максимален и определяется только соотношением удельных акустических импедансов трех участвующих сред и резонансными свойствами контактного слоя.

Однако, как выше было отмечено, такой принцип устройства пьезопреобразователей порождает серьезные проблемы при их использовании в широком температурном диапазоне. Твердые склейки рано или поздно начинают механически разрушаться из-за

15 различия температурных коэффициентов расширения всех трех контактирующих сред (двух согласуемых и одной согласующей), а жидкие переходят в другие агрегатные состояния, то есть твердеют или выпариваются. При этом все они подвержены термическим разрушениям. Кроме того, согласуемые поверхности должны хорошо смачиваться материалом склейки. Таким образом, практически невозможно подобрать

20 универсальный материал контактного слоя, обеспечивающий надежный акустический контакт в диапазоне нескольких сотен градусов для различных пар сред. Для пьезопреобразователей сдвиговых волн с твердым контактом этот диапазон еще уже.

В предлагаемом изобретении, которое лишено этих недостатков, технический результат достигается за счет того, что в заявленном устройстве внешняя часть звукопровода

25 выполнена из твердотельной пористой матрицы с относительным объемом пор не менее 17%. Это так называемая в литературе перколяционная концентрация, при которой поры образуют единую связную систему [6, 7]. Подобные пористые матрицы обладают необычным для сплошных материалов сочетанием механических свойств, таких как высокая упругость (на микроуровне) и, одновременно, высокая податливость (на

30 макроуровне). Последняя позволяет значительно повысить (по сравнению со сплошными твердыми материалами) общую площадь непосредственного контакта соприкасающихся поверхностей при значительно меньших прижимных усилиях (0,1-0,4 МПа) и менее качественной обработке поверхностей. При этом сам процесс обработки пористой матрицы

35 резко снижается и не обеспечивает достаточной площади сухого контакта при стандартных прижимных давлениях порядка 0,4 МПа.

Примеры конкретной реализации

Реализация предлагаемого устройства была осуществлена нами в нескольких вариантах по схеме, представленной на чертеже. В качестве сплошной части звукопровода

40 использовались стержни из плавленого кварца марки «КИ» (>99% SiO₂) с классом механической обработки контактных поверхностей 0,3 интерференционной полосы. В качестве материалов для пористых пластин использованы 4 разных типа пористых стеклянных матриц близкого (>90% SiO₂) химического состава, одна полимерная матрица на основе полиакрилонитрила и пористая матрица алюмината лантана с двухпроцентным

45 содержанием манганитов лантана и стронция (2%La_{0,67}Sr_{0,33}MnO₃-LaAlO₃), изготовленная по керамической технологии. Контактные поверхности полимерной и стеклянных матриц механически обработаны абразивным порошком "М-10", керамическая матрица - порошком "М-5". Толщина пластин от 2 до 4 мм. Материалом для акустического контакта между

50 сплошной и пористой частями звукопровода, а также между пьезоэлементом и звукопроводом служила вакуумная смазка.

В таблице представлены экспериментальные данные сравнения прототипа [4] и заявленного пьезопреобразователя по величине коэффициента передачи энергии через границу сухого контакта. Контакт осуществлялся между внешними гранями двух

пьезопреобразователей - излучающего и приемного. В качестве приемного использовался пьезопреобразователь, аналогичный прототипу, а излучающими поочередно были испытываемые пьезопреобразователи: такое же устройство, аналогичное прототипу, и заявленное устройство (в соответствии с формулой изобретения). Звукопроводами в аналогах прототипа служили уже упомянутые стержни из плавленного кварца марки «КИ».

Ввиду технических трудностей определения абсолютных значений коэффициента передачи и с учетом того, что наиболее показательными являются относительные методы сравнения, в качестве нормировочного эталона взят коэффициент передачи традиционных пьезопреобразователей со склейкой. В нашем эксперименте - это два аналога прототипа, склеенные вакуумной смазкой. В таблице приведены амплитуды A_i прошедших через границу сигналов при стандартном уровне излученного сигнала и при стандартном прижимном давлении 400 кПа. Принимая коэффициент передачи преобразователя со склейкой условно за 1, относительный энергетический коэффициент передачи D_i в каждом случае определяем как квадрат отношения амплитуд данного и эталонного сигналов:

$$D_i = (A_i/A_0)^2.$$

Таблица			
№п/п	Материал внешней части звукопровода, средний размер пор (в нм) и их относительный объем (в %)	Амплитуда принятого сигнала A_i , мВ	Относительный энергетический коэффициент передачи D_i
0	Сплошное стекло со склейкой (эталон)	1350	1
1	Сплошное стекло марки КИ (прототип)	65	0,002
2	Микропористое стекло (4 нм, 22%)	390	0,08
3	Макропористое стекло (200 нм, 35%)	420	0,10
4	Микропористое стекло марки "Усор" (8 нм, 28%)	340	0,06
5	Синтетический опал (70 нм, 43%)	290	0,05
6	Полимерная матрица (100 нм, 26%)	315	0,05
7	Керамика (3000 нм, 32%)	135	0,010

Результаты проведенных в Санкт-Петербургском государственном университете исследований показали преимущество технического результата, достигаемого предложенным устройством по сравнению с известным пьезопреобразователем, выбранным в качестве прототипа, которое состоит в повышении точности, удешевлении устройства, повышении его надежности и упрощении его в работе за счет достижения существенно превосходящей величины коэффициента передачи энергии через границу сухого контакта, а также за счет снижения требований к качеству обработки рабочих поверхностей звукопровода и согласуемой среды.

Кроме того, предлагаемое изобретение по сравнению с известными аналогами [1-3] имеет практически неограниченный температурный диапазон применения и универсальность при работе на всех акустических модах.

Физико-химические и технологические особенности изготовления пористых стекол, в том числе на основе трехкомпонентного двухфазного натриевоборосиликатного стекла [6, 7], позволяют реализацию заявленного устройства единым монолитным блоком. Поскольку пористые матрицы подобного типа получают химическим вытравливанием одной из фаз расслоившихся двухфазных стекол, представляется возможным получить твердотельный звукопровод с заявляемыми свойствами по следующей технологии.

Массив трехкомпонентного натриевоборосиликатного стекла, расслоившегося в результате высокотемпературной ликвации на две фазы разного химического состава, представляет собой твердый сплошной (без пустот) композит этих стеклообразных фаз [6]. Они взаимно диспергированы друг в друге в виде связанных частиц со средними размерами от 2 до 200 нм (в зависимости от технологии) [6, 7]. Из данного материала изготавливается сплошной звукопровод нужной геометрической формы с формированием рабочих граней. После этого со стороны внешней рабочей грани производится химическое вытравливание одной из фаз на нужную глубину, чем достигается получение пористого слоя необходимой толщины. Непротравленная часть остается, очевидно, сплошной. Механический и акустический контакт между сплошной и пористой частями звукопровода получается в этом случае естественным и тем самым наиболее оптимальным, ибо,

обладая всеми позитивными свойствами обеих сред, он не имеет никаких дополнительных негативных. На внутренней рабочей грани полученного таким образом звукопровода при помощи традиционной акустической склейки закрепляется пьезоэлемент с нанесенными электродами, после чего ультразвуковой пьезопреобразователь готов к использованию.

5 Таким образом, заявленное устройство имеет существенные преимущества как по сравнению с мировыми аналогами [1-3], которые состоят в практически неограниченном температурном диапазоне применения и универсальности при работе на всех акустических модах, так и по сравнению с ближайшим аналогом-прототипом [4], которые состоят в
10 повышении его надежности и упрощении его в работе, в том числе при экспресс-анализе в экстремальных условиях, за счет достижения существенно превосходящей величины коэффициента передачи энергии через границу сухого контакта, а также за счет снижения требований к качеству обработки рабочих поверхностей звукопровода и согласуемой среды.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

- 15 1. Л.Бергман. Ультразвук и его применение в науке и технике. Изд-во иностранной литературы. М. 1957.
2. И.Матаушек. Ультразвуковая техника. Металлургиздат, М., 1962, с.205-237.
3. Б.Кэрлин. Ультразвук (технические применения ультразвука для дефектоскопии и сигнализации), М., Изд-во иностранной литературы, 1950, с.100.
- 20 4. В.Ф.Борисов, Е.В.Чарная, and А.К.Раджабов. Acoustic Studies of LiKSO₄ Crystals in the 290 to 930 K Region. Physica Status Solidi (b), №181, p.337 (1994).
5. Б.Ф.Борисов, А.А.Жилин, В.М.Сарнацкий, Т.И.Чуваева. Термоупругие свойства оптически прозрачных ситаллов литиевоалюмосиликатной системы. // Неорганические материалы, Т.28, №8, с.1760-1765 (1992).
- 25 6. Двухфазные стекла. Ред. Б.Г.Варшал. Л.: Наука, 1991.
7. Адсорбция и пористость. Материалы IV всесоюзного совещания. М. 1976.

Формула изобретения

1. Ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом, содержащий,
30 по крайней мере, один пьезоэлемент и твердотельный звукопровод, имеющий внутреннюю рабочую грань с закрепленным на ней пьезоэлементом, и внешнюю рабочую грань для сухого акустического контакта с исследуемой средой, отличающийся тем, что твердотельный звукопровод состоит из двух соединенных между собой в единый блок частей одного или разных составов, одна из которых, содержащая внутреннюю рабочую
35 грань, выполнена из сплошного материала, а другая, содержащая внешнюю рабочую грань, выполнена в виде пластины из пористого материала, имеющего твердотельную матрицу, с объемом пор не менее 17% от объема пластины.

2. Ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом по п.1, отличающийся тем, что в качестве пористого материала использованы пористые
40 стеклянные матрицы.

3. Ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом по п.2, отличающийся тем, что в качестве материала пластины, содержащей внешнюю рабочую грань, использованы пористые стекла на основе двухфазного натриево-боросиликатного стекла со средним диаметром пор от 1 до 2000 нм.

45 4. Ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом по п.1 или 3, отличающийся тем, что в качестве сплошного материала для части звукопровода, содержащей внутреннюю рабочую грань с пьезоэлементом, использовано двухфазное натриево-боросиликатное стекло, идентичное материалу пластины.

50 5. Ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом по п.2, отличающийся тем, что в качестве материала для пористой пластины использованы синтетические опалы.

6. Ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом по п.2, отличающийся тем, что в качестве материала для пористой пластины использовано

пористое стекло марки "Vycor".

7. Ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом по п.1, отличающийся тем, что в качестве материала для пористой пластины использованы полимерные матрицы со средним диаметром пор от 10 нм до 10 мкм.

5 8. Ультразвуковой пьезопреобразователь с сухим акустическим контактом по п.1, отличающийся тем, что в качестве материала для пористой пластины использована керамика со средним размером частиц от 100 нм до 10 мкм.

10

15

20

25

30

35

40

45

50