

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 539 104** <sup>(13)</sup> **C1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК  
[H01L 41/22 \(2013.01\)](#)

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса):  
17.04.2017)  
Пошлина: учтена за 3 год с 25.07.2015 по 24.07.2016

(21)(22) Заявка: [2013134491/28](#), 24.07.2013(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
24.07.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.07.2013

(45) Опубликовано: [10.01.2015](#) Бюл. № 1(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **RU 2233354 C1, 27.07.2004 . JP**  
**8298347 A, 12.11.1996 . US 6550116 B2,**  
**22.04.2003 . JP 11261127 A, 24.09.1999 .**

Адрес для переписки:

620000, г.Екатеринбург, пр. Ленина, 51,  
Уральский федеральный университет, зам.  
проректора по науке Иванову А.О.

(72) Автор(ы):

**Шур Владимир Яковлевич (RU),**  
**Батурин Иван Сергеевич (RU),**  
**Мингалиев Евгений Альбертович (RU),**  
**Конев Михаил Владимирович (RU),**  
**Зорихин Дмитрий Владимирович (RU),**  
**Удалов Артур Рудольфович (RU),**  
**Грешняков Евгений Дмитриевич (RU)**

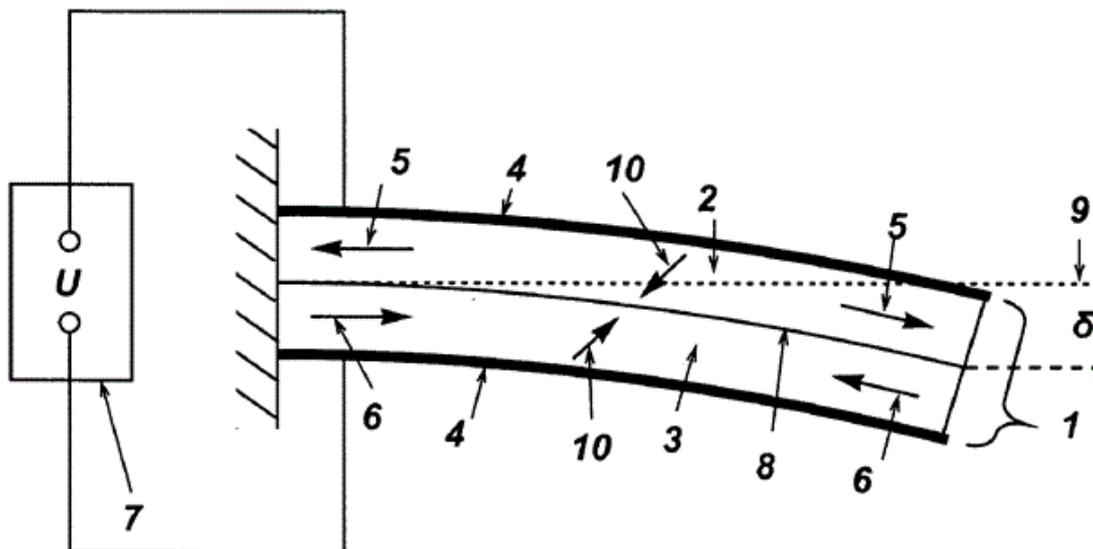
(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего**  
**профессионального образования**  
**"Уральский федеральный университет**  
**имени первого Президента России Б.Н.**  
**Ельцина" (RU)**

**(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕЗГИСТЕРЕЗИСНОГО АКТЮАТОРА С ЛИНЕЙНОЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области изготовления устройств точного позиционирования на основе пьезоэлектрических актюаторов, характеризующихся широким интервалом рабочих температур, в частности для изготовления прецизионных безгистерезисных сканеров сканирующих зондовых микроскопов и устройств юстировки оптических систем. Сущность: способ включает соединение плоскостями по меньшей мере двух монокристаллических пластин ниобата лития или танталата лития таким образом, чтобы направления спонтанной поляризации в пластинах были противоположны друг другу. Для этого предварительно отполированные соединяемые плоскости пластин ниобата лития или танталата лития очищают таким образом, чтобы обеспечить их гидрофильность. Затем пластины соединяют плоскостями, сжимают пластины до исчезновения интерференционных колец, после чего отжигают для формирования бидоменной пластины. На противоположные плоскости пластины наносят электроды из материала, устойчивого к высоким температурам. Технический результат: возможность получение безгистерезисных актюаторов с линейной характеристикой, работоспособных в широком интервале температур, повышение технологичности. 1



Фиг. 1

Изобретение относится к области изготовления устройств точного позиционирования на основе пьезоэлектрических актюаторов, характеризующихся широким интервалом рабочих температур, в частности для изготовления прецизионных безгистерезисных сканеров сканирующих зондовых микроскопов и устройств юстировки оптических систем.

Известен способ формирования бидоменной структуры в монокристалле ниобата лития для создания безгистерезисных пьезоэлектрических актюаторов (Nakamura K., Shimizu H. Hysteresis-free piezoelectric actuators using LiNbO<sub>3</sub> plates with a ferroelectric inversion layer. // Ferroelectrics. - 1989. - Vol.93, №1. - P.211-216), основанный на высокотемпературной термической обработке. В данном способе монокристаллическую пластину ниобата лития толщиной 0,5 мм, вырезанную перпендикулярно кристаллографической оси Y, повернутой на 140° вокруг оси X по направлению к оси Z, помещают на 10 часов в кварцевую трубчатую печь при температуре 1140°C с потоком аргона, содержащего пары воды, в результате чего происходит формирование бидоменной структуры с доменной границей, расположенной приблизительно посередине толщины пластины. Показано, что такая бидоменная структура может служить основой для создания устройств пьезоэлектрических актюаторов для устройств точного позиционирования без гистерезиса, с небольшим дрейфом и линейной зависимостью смещения от приложенного электрического напряжения. Среди недостатков данного способа следует отметить необходимость длительной термообработки при температуре, близкой к температуре Кюри кристалла (выше 1100°C), а также отсутствие данных по стабильности получаемой таким способом бидоменной структуры к изменениям температуры. Кроме того, в данном методе невозможно обеспечить расположение стенки точно посередине пластины по толщине и плоскую форму стенки.

Известен способ получения пьезоэлектрических монокристаллов с полидоменной структурой для устройств точного позиционирования (Патент RU 2233354 С1, опубликованный 27.07.2004), согласно которому заготовку из сегнетоэлектрического монокристалла, в котором возможно образование только 180 градусных доменных границ, в которой по крайней мере две грани параллельны друг другу, а перпендикуляры к этим граням не совпадают с направлением оси спонтанной поляризации, перемещают в тепловом поле из зоны с температурой выше температуры Кюри в зону с температурой ниже температуры Кюри с одновременным приложением периодически изменяющегося знакопеременного электрического поля к параллельным граням заготовки, при этом после охлаждения всего объема заготовки ниже температуры Кюри в ней образуется упорядоченная доменная структура, размеры доменов в которой задаются скоростью перемещения заготовки и периодом изменения полярности приложенного к ней электрического поля, после чего разделяют заготовку на пластины, две плоскости которых параллельны доменным границам и содержат равное число доменов противоположной полярности. Данный способ позволяет создавать бидоменные пластины с необходимой ориентацией кристаллографических осей, которые остаются стабильными при температуре от 77

до 900 К, однако он имеет ряд недостатков. Для реализации данного способа необходимо использовать объемные заготовки и невозможно использовать готовые пластины, предлагающиеся производителями. Необходимость нагрева кристалла выше температуры Кюри с созданием определенного градиента температуры и необходимость контролируемого движения заготовки в тепловом поле требует применения специализированной печи сложной конструкции. При помещении заготовки в градиентное тепловое поле возможно искажение формы доменной границы, вызванное пространственной неравномерностью градиента температуры в кристалле. Кроме того, необходимость разделения заготовки на бидоменные пластины после формирования доменной структуры существенно усложняет контроль положения доменной границы, что делает этот способ малопригодным для реализации в промышленных масштабах для создания актюаторов со стабильными и воспроизводимыми характеристиками.

Наиболее близким к описываемому изобретению является: Способ создания линейных безгистерезисных пьезоэлектрических актюаторов (Kawamata A., Hosaka H., Morita T. Non-hysteresis and perfect linear piezoelectric performance of a multilayered lithium niobate actuator. // Sens. Actuators, A. - 2007. - Vol.135, №2. - P.782-786) (прототип), основанный на склейке многослойной структуры, состоящей из прямоугольных монодоменных монокристаллических пластин ниобата лития толщиной 0,5 мм, вырезанных перпендикулярно оси Y, повернутой на 36°, между которыми помещают пластины латуни таких же размеров с помощью проводящего клея Dotite FA-705A (Fujikura Kasei Co., Ltd, Япония) так, чтобы поляризация пластин ниобата лития в каждом слое была направлена в противоположном направлении по сравнению с соседними слоями. При этом выступы латунных пластин за пределы пластинок ниобата лития служат для электрического соединения пластинок в две группы между собой так, чтобы пластинки, относящиеся к разным группам, чередовались. В результате формируется многослойный пьезоэлектрический актюатор, дающий перемещение по оси, перпендикулярной плоскости пластинок  $\pm 380$  нм при подаче напряжения  $\pm 1$  кВ на электроды, причем величина перемещения линейно зависит от приложенного напряжения с электромеханическим коэффициентом 385 пм/В. Недостатками данного способа являются необходимость использовать большое число слоев, а также применение клея и промежуточных слоев латуни при сборке многослойной структуры, что негативно сказывается на ресурсе работы актюатора и ограничивает температурный диапазон его применения.

Задачей изобретения является изготовление прецизионных биморфных актюаторов с линейной характеристикой на основе пластин ниобата лития или танталата лития без применения клеевого соединения пластин, работоспособных в широком интервале температур. Кроме того, предлагаемый способ является более технологичным за счет возможности соединения пластин большой площади и последующего разделения на большое количество заготовок актюаторов, что позволит существенно упростить и удешевить производство.

Поставленная задача достигается за счет того, что в способе изготовления безгистерезисных пьезоэлектрических актюаторов с линейной характеристикой, при котором соединяют плоскостями по меньшей мере две монодоменные монокристаллические пластины сегнетоэлектрика таким образом, чтобы направления спонтанной поляризации в пластинах были противоположны друг другу, причем ориентацию пластин по отношению к кристаллографическим осям выбирают так, чтобы получить максимальное значение эффективного пьезоэлектрического коэффициента, предварительно отполированные соединяемые плоскости пластин ниобата лития или танталата лития очищают таким образом, чтобы обеспечить их гидрофильность, затем пластины соединяют плоскостями, сжимают пластины до исчезновения интерференционных колец, после чего отжигают не менее чем 3 часа при температуре в диапазоне 300-500°C для формирования бидоменной пластины, причем скорость нагрева охлаждения выбирают не более 5°C/мин, после чего на противоположные плоскости бидоменной пластины наносят электроды из материала, устойчивого к высоким температурам, причем геометрические размеры исходных пластин выбирают исходя из значений эффективного пьезоэлектрического коэффициента и требуемых значений коэффициента электромеханической передачи актюатора.

Бидоменная пластина с нанесенными электродами может быть разделена на отдельные плоские актюаторы, причем размеры актюаторов выбирают исходя из значений эффективного пьезоэлектрического коэффициента и требуемых значений коэффициента электромеханической связи.

Изобретение поясняется следующими чертежами.

На Фиг.1 изображена схема актюатора при приложении к электродам электрического напряжения: 1 - бидоменная пластина, состоящая из двух слоев 2 и 3 с противоположным направлением векторов спонтанной поляризации 10, соответствующих двум исходным пластинам с границей между ними 8. В двух слоях 2 и 3 бидоменной пластины 1 стрелками показаны деформации расширения 5 и сжатия 6 при приложении к электродам, нанесенным на противоположные плоскости пластины 4 электрического напряжения  $U$  от источника 7. Деформация приводит к смещению незакрепленного конца актюатора относительно исходного положения 9 на расстояние 5.

На Фиг.2 показана схема ориентации пластины и осей повернутой системы координат  $X', Y', Z'$  относительно кристаллографических осей  $X, Y, Z$  при повороте оси  $Y$  вокруг оси  $X$  в направлении оси  $Z$  (на примере поворота на  $128^\circ$ ).

На Фиг.3 представлен график зависимости абсолютного значения компонент пьезоэлектрического тензора  $d'_{23}$  и  $d'_{24}$  кристалла ниобата лития от угла поворота  $\vartheta$  оси  $Y$  вокруг оси  $X$  в направлении оси  $Z$ .

На Фиг.4 представлен график зависимости смещения незакрепленного конца актюатора  $\delta$  от величины приложенного напряжения  $U$  для актюатора с длиной незакрепленной части 20 мм, шириной 3 мм и толщиной 1 мм (круглые точки) и результат линейной аппроксимации зависимости (сплошной линией).

На Фиг.5 представлен график температурной зависимости коэффициента электромеханической связи актюатора  $k$ .

Предлагаемый способ изготовления безгистерезисного актюатора с линейной пьезоэлектрической характеристикой осуществляется следующим образом.

Монокристаллические сегнетоэлектрические материалы ниобат лития и танталат лития являются изоморфными и обладают пьезоэлектрическими свойствами. Данные материалы являются одноосными, то есть спонтанная поляризация может быть направлена в одном из двух направлений. При этом знаки пьезоэлектрических коэффициентов зависят от направления спонтанной поляризации. В общем случае кристалл ниобата лития или танталата лития может быть разбит на домены - области с противоположным направлением спонтанной поляризации. Для изготовления пьезоэлектрических безгистерезисных актюаторов с линейной характеристикой требуется по меньшей мере две монокристаллических монокристаллических пластины ниобата лития или танталата лития. Требование монокристаллическости пластин исходит из необходимости обеспечения однородности пьезоэлектрических свойств. При промышленном производстве данных кристаллов, как правило, проводят процесс их монокристаллизации.

Ориентацию пластин по отношению к кристаллографическим осям кристалла выбирают такой, чтобы обеспечить максимальный эффективный пьезоэлектрический коэффициент актюатора. Кристаллы ниобата лития и танталата лития относятся к группе пространственной симметрии  $3m$  ( $C_{3v}$ ). Поэтому тензор пьезоэлектрического коэффициента (в сокращенной нотации) выглядит следующим образом:

$$d_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & -d_{22} \\ -d_{22} & d_{22} & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Расчет эффективных значений компонент пьезоэлектрического тензора  $d'_{ij}$  в пластине, повернутой на произвольные углы вокруг  $X$  и  $Z$  осей на углы  $\vartheta$  и  $\phi$ , производят, вводя новую систему координат  $X', Y', Z'$  и осуществляя известное преобразование компонент тензора (W. Yue, J. Yi-jian, Crystal orientation dependence of piezoelectric properties in  $\text{LiNbO}_3$  and  $\text{LiTaO}_3$  // Opt. Mater. - 2003. - Vol.23, №1-2. - P.403-408). Для изготовления рассматриваемого биморфного актюатора величина поперечного пьезокоэффициента определяется компонентой  $d'_{23}$  пьезоэлектрического тензора при следующем выборе осей новой системы координат:  $Y'$  - перпендикулярно плоскости пластины,  $Z'$  - в плоскости пластины вдоль рабочего направления актюатора,  $X'$  - в плоскости пластины по нормали к  $Z'$  так, чтобы получилась правая тройка векторов. При этом компонента пьезоэлектрического тензора  $d'_{24}$  описывает деформацию сдвига. Показано, что максимальное значение компоненты  $d'_{23}$  пьезоэлектрического тензора в кристаллах ниобата лития и танталата лития можно получить при повороте оси  $Y$  вокруг оси  $X$  на угол  $\vartheta$ , оставляя угол  $\phi=0$ . При этом ось  $X'$  совпадает по направлению с исходной осью  $X$ , а оси  $Y'$  и  $Z'$  повернуты относительно  $Y$  и  $Z$  на одинаковый угол  $\vartheta$ . При этом конкретное значение угла

поворота 9 выбирается исходя из обеспечения максимального значения компоненты  $d'_{23}$  при минимальном значении компоненты  $d'_{24}$ .

Для изготовления актюатора пластины ниобата лития или танталата лития соединяют плоскостями таким образом, чтобы направления спонтанной поляризации 10 в пластинах были противоположны друг другу. При этом за счет зависимости пьезоэлектрического коэффициента одна из пластин при приложении электрического напряжения будет испытывать деформацию расширения 5 вдоль оси  $Z'$ , а другая - деформацию сжатия 6, что обеспечит изгиб актюатора и смещение незакрепленного его конца по отношению исходному положению 9 на расстояние 5.

Для соединения пластин по описываемому способу используют пластины с предварительно отполированными соединяемыми плоскостями. Соединяемые плоскости пластин очищают таким образом, чтобы обеспечить их гидрофильность. Затем пластины соединяют плоскостями и сжимают их до исчезновения интерференционных колец, что соответствует формированию так называемого оптического контакта пластин плоскостями без зазора между ними. Гидрофильность поверхности обеспечивает формирование тонкой пленки адсорбированной воды на поверхности. Сжатие пластин приводит к образованию водородных связей между слоями воды, вызывающих притяжение соединяемых плоскостей пластин друг к другу, которое сохраняется и после прекращения внешнего сжатия. При этом исчезает воздушный зазор между поверхностями пластин, что контролируется по исчезновению интерференционных полос в видимом свете.

После образования оптического контакта соединенные пластины отжигают не менее чем 3 часа при температуре в диапазоне от 300 до 500°C, причем скорость нагрева охлаждения выбирают не более 5°C/мин. В результате такой обработки формируется пластина, состоящая по толщине из двух плоских слоев 2 и 3 с противоположным направлением поляризации, то есть бидоменная пластина 1 (см., например, Патент RU 2233354 С1, опубликованный 27.07.2004). Проведенные экспериментальные исследования показали, что при выбранных таким образом продолжительности, температуре отжига и скорости нагрева охлаждения достигается необходимая прочность бидоменной пластины 1 к механическим и термическим воздействиям, а также не происходит изменения доменной структуры.

На противоположные плоскости полученной бидоменной пластины 1 для приложения электрического напряжения наносят электроды 4 из материала, устойчивого к высоким температурам. Необходимость использования материала, устойчивого к высоким температурам, требуется для обеспечения широкого температурного диапазона эксплуатации актюатора. Для нанесения электродов 4 может быть выбрано напыление золота, платины, других тугоплавких химически инертных металлов или механическое нанесение металлосодержащей пасты, например на основе серебра, с последующей сушкой.

Приложение напряжения к электродам 4, нанесенным на плоскости бидоменной пластины 1, приводит к появлению поперечной деформации 5 и 6 слоев 2 и 3 бидоменной пластины, знак которой определяется направлением спонтанной поляризации 10. Таким образом, один слой пластины будет растягиваться, а другой сжиматься, что приведет к отклонению одного конца актюатора по отношению к другому. Данный эффект известен и описан, например в патенте RU 2233354 С1, опубликованном 27.07.2004. Зависимость смещения актюатора на основе бидоменной пластины длиной  $L$  и толщиной  $d$  от приложенного к электродам напряжения  $U$  описывается выражением (J.G. Smits, S.I. Dalke, T.K. Cooney, The constituent equations of piezoelectric bimorphs. // Sens. Actuators, A. - 1991. - Vol.28, №1. - P.41-61):

$$\delta = \frac{3}{2} d'_{23} \frac{L^2}{d^2} U = kU, \quad (2)$$

где  $k$  - коэффициент электромеханической передачи.

Геометрические размеры исходных пластин выбирают исходя из значений эффективного пьезоэлектрического коэффициента  $d'_{23}$  и требуемых значений коэффициента электромеханической передачи актюатора, пользуясь выражением (2). Выражение (2) свидетельствует о линейности характеристики актюатора.

Возможен также и другой вариант реализации способа, при котором исходные пластины берут большего размера, чем требуется, а сформированную бидоменную пластины 1 с нанесенными электродами 4 разделяют по нормали к плоскости на отдельные элементы актюаторов, например, с помощью известного способа резки алмазной дисковой пилой. В данном случае размеры отдельных элементов выбирают исходя из значений эффективного пьезоэлектрического коэффициента и требуемых значений коэффициента электромеханической связи. Производимые промышленно

пластины ниобата лития и танталата лития достигают 127 мм в диаметре, что позволяет изготовить из одной сформированной бидоменной пластины множество отдельных элементов актюаторов, что существенно упрощает их массовое производство.

Изобретение поясняется примером реализации предлагаемого способа. Для получения безгистерезисных актюаторов с линейной пьезоэлектрической характеристикой брали две пластины ниобата лития конгруэнтного состава толщиной 0,5 мм и диаметром 76 мм, вырезанные перпендикулярно оси  $Y'$ , соответствующей повороту кристаллографической оси  $Y$  кристалла на  $128^\circ$  в вокруг оси  $X$  в направлении оси  $Z$  (см. Фиг.2), причем одна из поверхностей пластин, соответствующая положительному направлению вектора спонтанной поляризации, была отполирована. Рассчитанные компоненты пьезоэлектрического тензора для данной ориентации пластины составили  $d'_{23} = -27,3$  пКл/Н и  $d'_{24} = -7,4$  пКл/Н (см. Фиг.3). Такая ориентация выбрана из ассортимента серийно производимых пластин ниобата лития как обладающая максимальным абсолютным значением поперечного пьезокоэффициента  $d'_{23}$  и минимальным абсолютным значением сдвигового коэффициента  $d'_{24}$ .

Для исключения загрязнения пластин в процессе соединения его проводили в условиях чистого производственного помещения. Пластины очищали от загрязнений путем притирки безворсовыми салфетками, смоченными в сверхчистой деионизованной воде. Затем для обеспечения гидрофильности плоскостей пластины их очищали погружением на 10 минут в деионизованную воду в емкости, установленной в ультразвуковой ванне, затем погружением в емкость с раствором перекиси водорода  $H_2O_2$  (с исходной концентрацией 30%), водного аммиака  $NH_4OH$  и деионизованной воды в объемных частях 1:1:5, подогретого до  $80^\circ C$  на 10 минут. После чего проводили окончательную очистку в потоке сверхчистой деионизованной воды и последующую сушку потоком сухого азота при центрифугировании (3000 об/мин) в установке очистки пластин SSE Optiwet ST30, Германия. Степень гидрофильности контролировали измерением контактного угла капли воды на плоскостях пластин, который составил менее  $5^\circ$ , что свидетельствовало о высокой степени гидрофильности поверхности.

Очищенные пластины соединяли полированными сторонами, соблюдая ориентацию с помощью стандартных меток на краях пластин так, чтобы вектор спонтанной поляризации в них был направлен в противоположные стороны. После соединения пластин надавливанием в центр плоскости сжимали пластины до исчезновения интерференционных полос. После этого соединенные пластины помещали на плоскую нагревательную плиту и нагревали до температуры  $300^\circ C$ , при которой выдерживали в течение 5 часов, ограничивая скорость нагрева и охлаждения величиной  $5^\circ C/мин$ . Затем на противоположные плоскости пластин наносили электроды 4 из серебряной пасты.

Для измерения пьезоэлектрических характеристик из пластины с помощью алмазной дисковой пилы вырезали прямоугольный актюатор с поперечными размерами: длиной 25 мм и шириной 3 мм. Актюатор закрепляли в держателе из латуни, который обеспечивал зажатие одного из концов актюатора на расстояние 5 мм так, чтобы длина незакрепленной части, соответствующая длине  $L$  актюатора в выражении (2) составляла 20 мм, и позволял подвести напряжение от источника 7. Измерения характеристик проводили на установке для анализа пьезоэлектрических свойств материалов aixPES, aixACCT, Германия с помощью встроенного лазерного интерферометрического виброметра SP-120, SIOS, Германия.

На Фиг.4 приведены результаты измерения зависимости смещения незакрепленного конца актюатора 5 от величины приложенного напряжения и линейная аппроксимация зависимости. Максимальное смещение составило около 400 нм при величине приложенного напряжения 25 В. Коэффициент электромеханической передачи, определенный из линейной аппроксимации составил  $k = 15,7$  нм/В, что близко к теоретическому значению 16,2, полученному из выражения (2). Максимальное отклонение зависимости от линейной и величина гистерезиса не превысили 0,8%, что свидетельствует о высокой степени линейности характеристики изготовленного актюатора и его безгистерезисности.

Для проверки стабильности свойств аналогичные измерения зависимости смещения от приложенного напряжения проводили для того же актюатора после выдержки его при температуре жидкого азота 77 К и при температуре 900 К. Обнаружено, что коэффициент электромеханической передачи после выдержки при температуре 77 К составил  $k = 15,9$  нм/В, а после выдержки при 900 К -  $k = 15,5$  нм/В. Таким образом, различие коэффициента электромеханической передачи составило не

более 3%, что сравнимо с воспроизводимостью измерений и свидетельствует о высокой стабильности свойств актюатора при воздействии как низких, так и высоких температур.

Для проверки функционирования актюатора при высоких температурах проводили измерения температурной зависимости коэффициента электромеханической передачи, помещая актюатор в трубчатую кварцевую печь с оптическим окном для пропускания луча лазерного интерферометрического виброметра и измеряя зависимость смещения от напряжения при каждом значении температуры, которую изменяли по ступенчатому закону от комнатной до 900 К. Результаты, представленные на Фиг.5, свидетельствуют о сохранении функциональных свойств актюатора в широком температурном диапазоне.

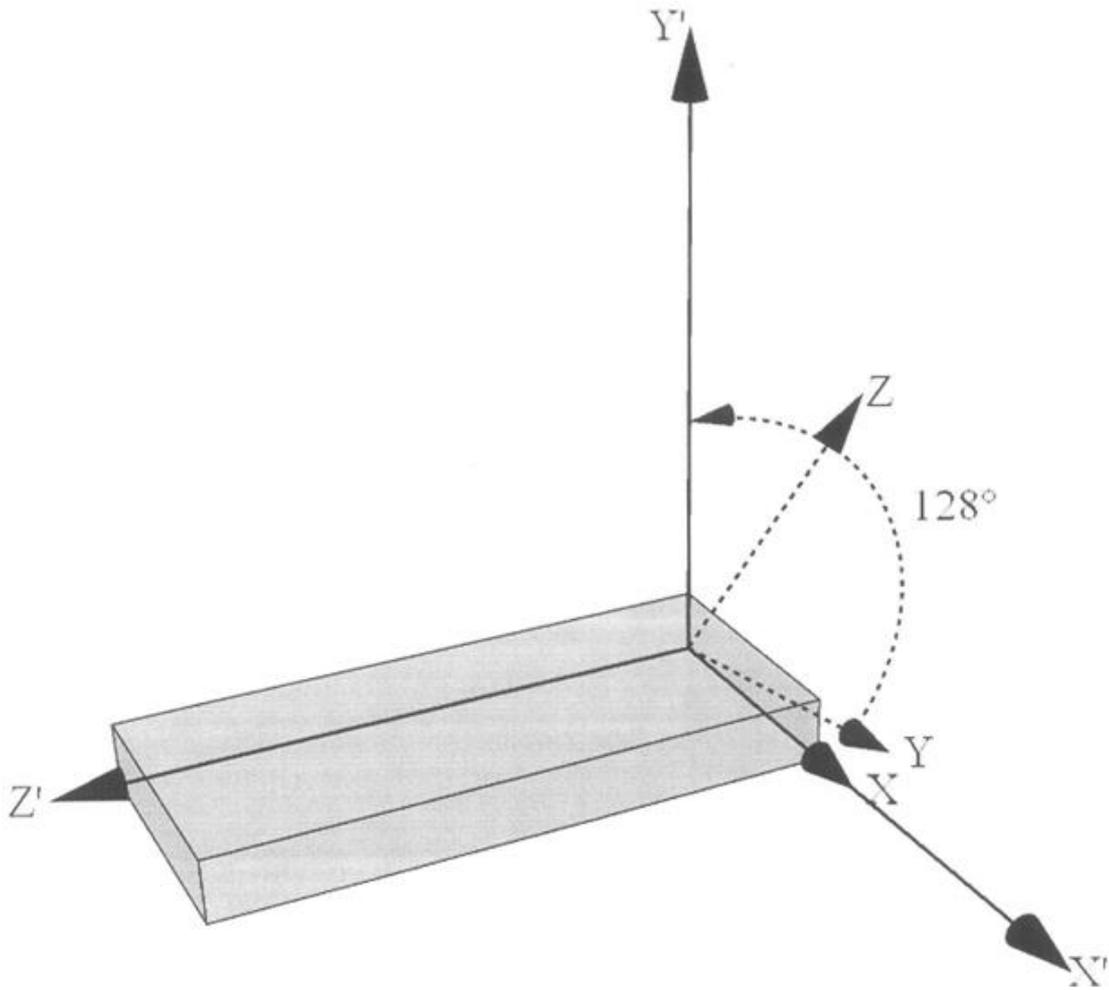
Таким образом, предложенный способ позволяет изготавливать прецизионные безгистерезисные пьезоэлектрические актюаторы с линейной характеристикой на основе пластин ниобата лития или танталата лития без применения клеевого соединения пластин, работоспособных в широком интервале температур.

Кроме того, предлагаемый способ является существенно более технологичным за счет возможности соединения пластин большой площади и последующего их разделения на большое количество заготовок актюаторов, что позволит существенно упростить и удешевить производство.

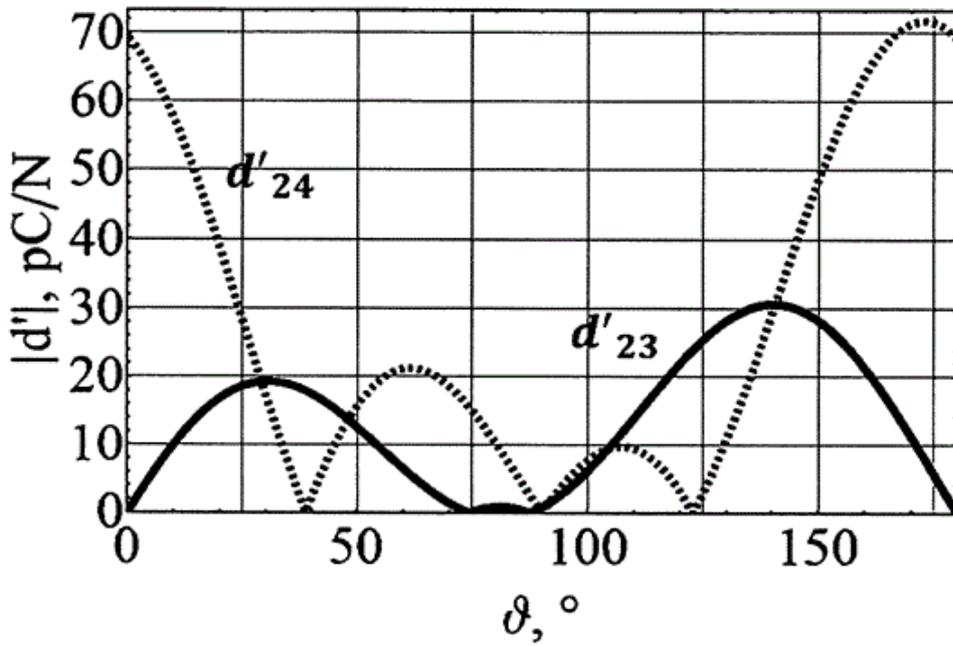
#### Формула изобретения

1. Способ изготовления безгистерезисных пьезоэлектрических актюаторов с линейной характеристикой, при котором соединяют плоскостями по меньшей мере две монодоменные монокристаллические пластины сегнетоэлектрика таким образом, чтобы направления спонтанной поляризации в пластинах были противоположны друг другу, причем ориентацию пластин по отношению к кристаллографическим осям выбирают так, чтобы получить максимальное абсолютное значение эффективного пьезоэлектрического коэффициента, отличающийся тем, что предварительно отполированные соединяемые плоскости пластин ниобата лития или танталата лития очищают таким образом, чтобы обеспечить их гидрофильность, затем пластины соединяют плоскостями, сжимают пластины до исчезновения интерференционных колец, после чего отжигают не менее чем 3 часа при температуре в диапазоне 300-500°C для формирования бидоменной пластины, причем скорость нагрева охлаждения выбирают не более 5°C/мин, после чего на противоположные плоскости бидоменной пластины наносят электроды из материала, устойчивого к высоким температурам, причем геометрические размеры исходных пластин выбирают, исходя из значений эффективного пьезоэлектрического коэффициента и требуемых значений коэффициента электромеханической передачи актюатора.

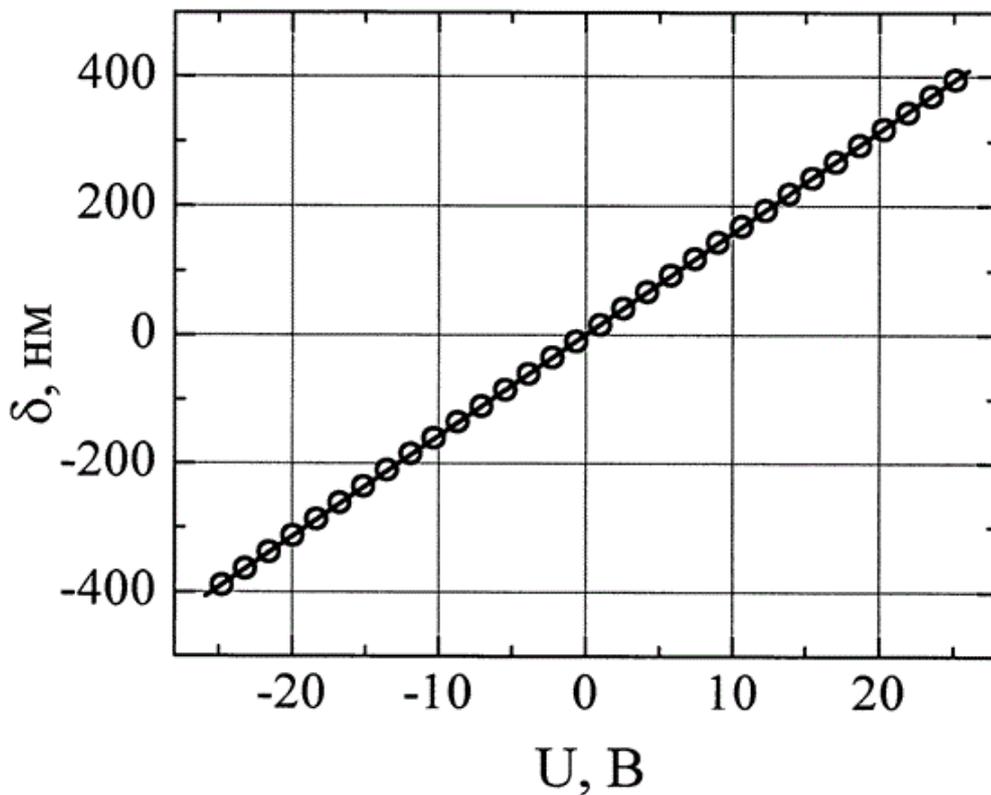
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что бидоменную пластину с нанесенными электродами разделяют на отдельные плоские актюаторы, причем размеры актюаторов выбирают исходя из значений эффективного пьезоэлектрического коэффициента и требуемых значений коэффициента электромеханической связи.



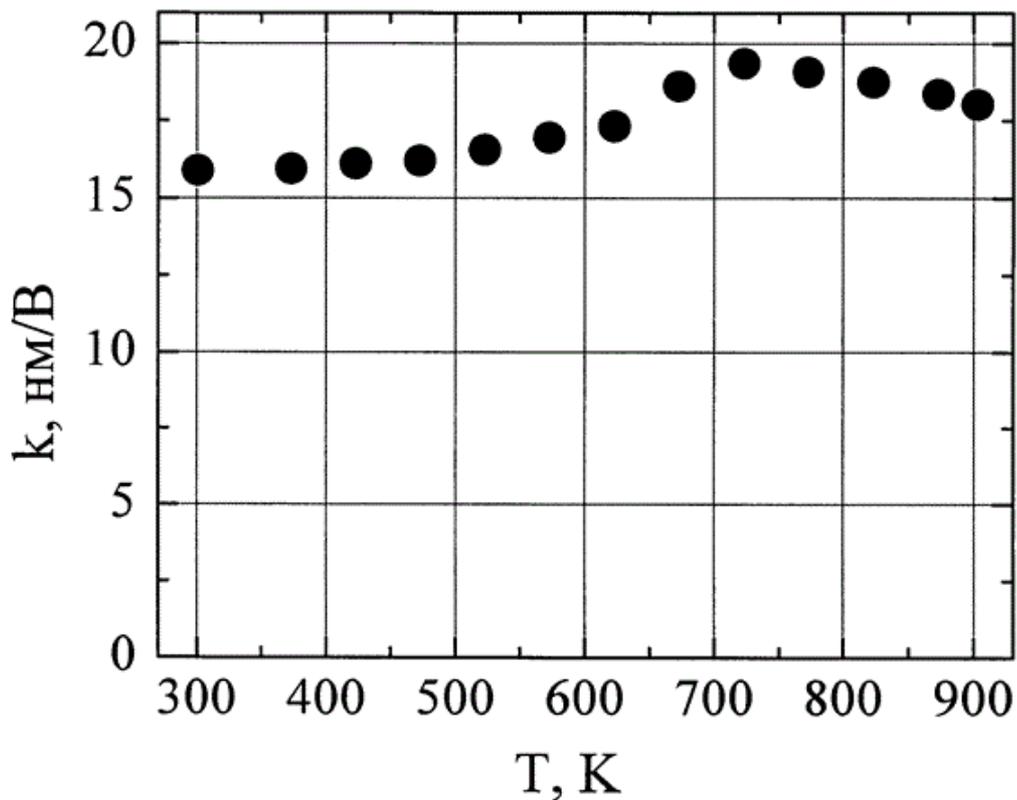
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

## ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: 25.07.2016

Дата внесения записи в Государственный реестр: **13.04.2017**

Дата публикации: [13.04.2017](#)