

17
2018

Сборник статей по материалам
XVII международной научно-практической
конференции
12.06.2018 г.

**Научные тенденции:
Вопросы точных и
технических наук**

Международная Объединенная Академия Наук

Санкт-Петербург



Международная Объединенная Академия Наук

Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук

Сборник научных трудов

**по материалам
XVII международной научной конференции**

12 июня 2018 г.

LJOURNAL.RU

Санкт-Петербург 2018

УДК 501
ББК 30

НЗ4

Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук.
Сборник научных трудов, по материалам XVII международной научно-практической конференции 12 июня 2018 г. Изд. ЦНК МОАИ, 2018. – 48с.

SPLN 001-000001-0307-ТТ
DOI 10.18411/spc-12-06-2018
IDSP 000001: spc-12-06-2018

В сборнике научных трудов собраны материалы из различных областей научных знаний. В данном издании приведены все материалы, которые были присланы на XVII международную научно-практическую конференцию **Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук**

Сборник предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

Все материалы, размещенные в сборнике, опубликованы в авторском варианте. Редакция не вносила коррективы в научные статьи. Ответственность за информацию, размещенную в материалах на всеобщее обозрение, несут их авторы.

Информация об опубликованных статьях будет передана в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и наукометрическую базу SPINDEX

Электронная версия сборника доступна на сайте ЦНК МНИФ «Общественная наука». Сайт центра: conf.sciencepublic.ru

УДК 501
ББК 30

SPLN 001-000001-0307-ТТ

<http://conf.sciencepublic.ru>

Содержание

РАЗДЕЛ I. МАТЕМАТИКА	4
Кадиев Р.И., Поносков А.В. Моментная устойчивость уравнений Ито с неограниченным запаздыванием и случайными коэффициентами	4
Самойленко Н.С. Алгоритм обучения нейронных сетей на малых выборках	6
РАЗДЕЛ II. ФИЗИКА	9
Костров Г.А. СВЧ влагомер на диоде Ганна	9
РАЗДЕЛ III. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	14
Гефнер В.В., Гефнер И.С. Моделирование угроз безопасности информационной системы	14
Кустов В.Н., Процко Д.К. Использование дискретного вейвлет-преобразования для внедрения информации в изображения	15
Литвиненко Р.С. Исследование прототипа микро модуля хранения информации с повышенной устойчивостью к радиационному излучению	20
Цибирова И.М. Компьютерная программа для расчета и анализа некоторых уравнений регрессии	23
РАЗДЕЛ IV. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	26
Баулин Ф.Б., Бурый Е.В. Особенности представления коэффициентами вейвлет-преобразования дальностных портретов, получаемых лазерными локационными системами	26
Виноградов Е.А. Оценка надежности управления газовыделением на выемочном участке при интенсивной отработке газоносных угольных пластов	29
Волков Э.А. Исследование методов измерения параметров и характеристик моп-транзисторов	32
Годовицын И.В., Суханов В.С., Панков В.В. Разработка высокотемпературного преобразователя давления на КНИ-структуре	35
Мамедова Ф.М. Исследование процесса утилизации схем комплексной переработки минерализованных вод	38
Чуйкова А.Г. Выявление устойчивости положения равновесия с использованием адаптивного регулятора с помощью второго (прямого) метода Ляпунова	40

Годовицын И.В., Суханов В.С., Панков В.В.

Разработка высокотемпературного преобразователя давления на КНИ-структуре
 НПК "Технологический центр"
 (Россия, Зеленоград)

doi:10.18411/spc-12-06-2018-11

idsp: 000001:spc-12-06-2018-11

В настоящее время в нефтегазовой отрасли, нефтехимической промышленности, автомобильном, авиационном и космическом транспорте существует потребность в измерении давления при высокой температуре [1-3]. Данная задача чаще всего решается с помощью высокотемпературных кремниевых преобразователей давления. Отличительной особенностью данных преобразователей являются высокие метрологические характеристики и низкая себестоимость изготовления. При создании высокотемпературного преобразователя давления решаются следующие конструкционные и технологические задачи: создание высокотемпературного чувствительного элемента (ЧЭ), создание высокотемпературного корпуса, создание механического соединения высокотемпературного преобразователя давления с высокотемпературным корпусом, создание электрического соединения преобразователя давления и выводов корпуса, стойкого к высокой температуре, создание жидкостного наполнения преобразователя (при необходимости использования в агрессивных средах).

Структура "кремний-на-изоляторе" (КНИ) обладает целым рядом важных достоинств, позволяющих решать наиболее сложную задачу – разработку и изготовление высокотемпературного ЧЭ. КНИ-структуры формируются с помощью спекания двух окисленных кремниевых пластин и шлифовки одной из них до требуемой толщины (bonded SOI), и широко используются как исходный материал для формирования МЭМС-приборов [4-5] и, в частности, преобразователей давления. Отличная изоляция тензорезисторов, обеспеченная толстым диэлектрическим слоем, позволяет реализовывать высокотемпературные преобразователи давления.

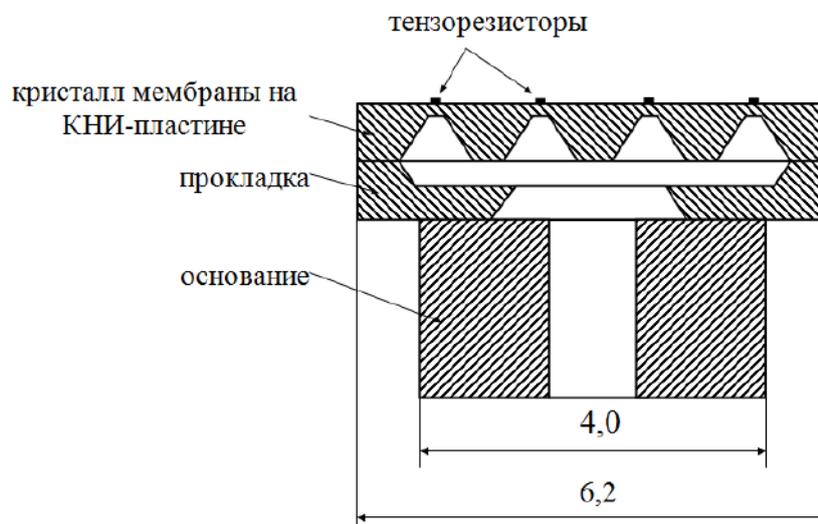


Рисунок 1 – Эскиз конструкции ЧЭ высокотемпературного преобразователя давления

В данной работе проведена разработка конструкции ЧЭ высокотемпературного преобразователя давления на основе КНИ-структуры для температурного диапазона от -45 °С до +220 °С. При разработке конструкции использован многолетний опыт НПК "Технологический центр" в области создания кремниевых преобразователей давления. Эскиз конструкции ЧЭ высокотемпературного преобразователя давления приведен на

рисунке 1. В качестве основы использована конструкция ЧЭ, используемого в датчиках давления серии ИПД5. ЧЭ состоит из 3х частей: основания, прокладки и кристалла мембраны. Кристалл мембраны формируется из КНИ-пластины. Основание обеспечивает крепление кристалла мембраны к корпусу. Прокладка соединяет основание и кристалл мембраны. Тензорезисторы расположены в местах концентрации механических напряжений на кристалле мембраны. Кристалл мембраны непосредственно осуществляет преобразование давления в выходное напряжение. Части кристалла преобразователя соединены между собой легкоплавким стеклом.

Предложенная конструкция ЧЭ высокотемпературного преобразователя давления имеет ряд характерных особенностей. В частности, кристалл мембраны имеет сложно-профилированную форму, которая образуется в результате глубокого анизотропного жидкостного травления кремния. Сформированные пирамидки из монокристаллического кремния обеспечивают достижение максимального уровня механических напряжений в заданных точках мембраны. Расчет характеристик ЧЭ с такой мембраной представляет сложную задачу. Наиболее эффективным подходом является использование конечно-элементного моделирования, которое позволяет учесть детали геометрии преобразователя, а также анизотропию тензорезистивных и упругих свойств монокристаллического кремния. Модуль упругости и коэффициент Пуассона монокристаллического кремния задается с учетом анизотропии свойств. Упругие свойства кристаллов с кубической симметрией (к которым относится кремний) описываются всего тремя коэффициентами упругости [6]. Также с учетом анизотропии свойств задаются тензорезистивные коэффициенты монокристаллического кремния, необходимые для расчета измерения сопротивления тензорезисторов. Основной вклад в изменение сопротивления тензорезистора дает главный тензорезистивный коэффициент π_{44} , который зависит от типа и концентрации примеси и от температуры. Традиционно тензорезисторы легируются бором с концентрацией $5 \cdot 10^{18}$ см⁻³, обеспечивающей высокий коэффициент π_{44} и низкую температурную чувствительность сопротивления тензорезисторов [6].

Основные этапы технологического маршрута изготовления кристалла мембраны с использованием КНИ-структуры незначительно отличаются от таковых при изготовлении кристалла мембраны с диффузионными тензорезисторами, используемого в серийном ЧЭ. Схожесть основных этапов изготовления позволяет использовать набор одинаковых процессов, что существенно облегчает реализацию этапов разработки и исследования. Кроме того, одинаковые технологические маршруты позволяют проводить обоснованную оценку качественных характеристик преобразователя.

На первом этапе (рисунок 2а) на пластину наносятся защитные диэлектрические слои, играющие роль защитной маски при травлении, на обратной стороне выполняется фотолитография, вскрываются окна к кремнию и проводится глубокое травление кремния с помощью концентрированного раствора KOH. В результате формируются выступы из монокристаллического кремния, имеющие форму правильной пирамидки с квадратным основанием – жесткие центры (рисунок 2б). Они расположены на мембране симметрично относительно центра и обеспечивают максимальную величину механических напряжений на участках мембраны, расположенных между ними. Далее защитные слои удаляются, и с лицевой стороны пластины проводится фотолитография тензорезисторов и плазмохимическое травление монокристаллического кремния. В результате формируется мостовая схема ЧЭ преобразователя. Тензорезисторы и шины разводки легируются бором. Доза легирования шин разводки выбирается исходя из необходимости снижения паразитного сопротивления, то есть достижения концентрации $(5-8) \cdot 10^{19}$ см⁻³. Полученная структура из монокристаллического кремния окисляется до толщины окисла 0,1-0,2 мкм. В окисле формируются контактные окна и контактные площадки из металла, стойкого к высокой температуре,

например, золота или платины. Далее кристалл мембраны соединяется с другими деталями ЧЭ с помощью легкоплавкого стекла (рисунок 2в)

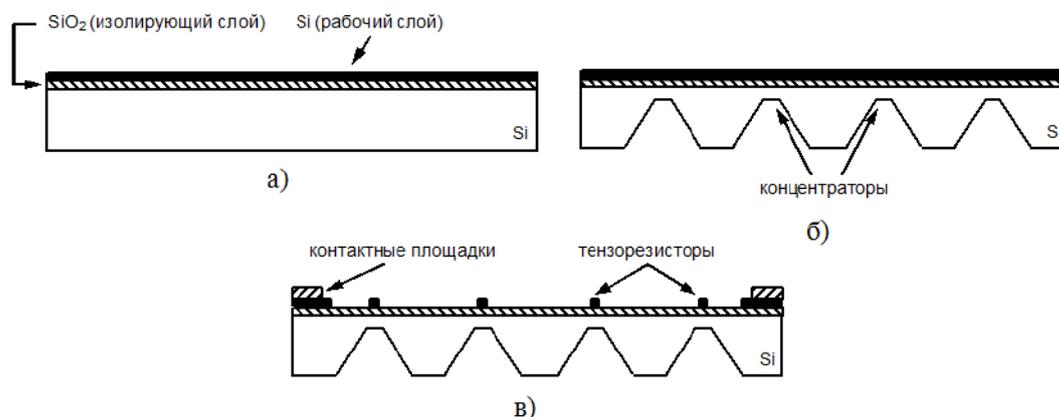


Рисунок 2 – Основные технологические этапы изготовления кристалла мембраны

Сформированный ЧЭ размещается в корпусе, который должен удовлетворять требованиям стойкости к высокой температуре. В наибольшей степени для этого подходят металлоглазненные цилиндрические корпуса типа ТО-5, которые позволяют легко интегрировать в конструкцию штуцера для подачи давления, как со стороны основания, так и со стороны крышки.

Наиболее приемлемым подходом для решения проблемы посадки ЧЭ в корпус представляется использование высокотемпературных силиконовых герметиков. Такие герметики благодаря своему составу обладают свойством не только выдерживать достаточно высокую температуру (до 250 °С), но и сохраняют при повышенной температуре свои упругие свойства. Кроме того, технология посадки ЧЭ в корпус при использовании силиконового герметика существенно упрощается и удешевляется. Электрическое соединение ЧЭ с корпусом представляется другим важным технологическим узлом изготовления высокотемпературного преобразователя давления. Электрическое соединение должно обеспечивать не только контакт с минимальным сопротивлением, но и надежное механическое соединение во всем диапазоне рабочих температур. Кроме того, при разработке конструкции и технологии электрического соединения необходимо учитывать, что высокая температура приводит к ускорению электрохимических и эвтектических процессов в контактных соединениях, что через определенное время может привести к драматическому изменению их свойств.

Работы выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.577.21.0245, уникальный идентификатор ПРИЭР RFMEFI57717X0245). В работе использовалось оборудование ЦКП "Функциональный контроль и диагностика микро- и наносистемной техники" (ЦКП НПК "Технологический центр").

1. Li S. et al, A novel SOI pressure sensor for high temperature application // 2015 J. Semicond. 36 014014.
2. Jiang X., High-Temperature Piezoelectric Sensing, Sensors 2014, 14, pp. 144-169.
3. Niu Z., Zhao Y., and Tian B., Design optimization of high pressure and high temperature piezoresistive pressure sensor for high sensitivity // Review Of Scientific Instruments 85, 015001 (2014).
4. Maszara W. P., SOI by Wafer Bonding: A Review // International Symposium on SOI Technology and Devices, Montreal, 1990.
5. Auberton-Herve A.J., SOI: materials to systems, Proc. of International Electron Devices Meeting, 1996. IEDM '96, pp.3-10.
6. Ваганов В.И., Интегральные тензопреобразователи, М., Энергоатомиздат, 1983, 136 с.



Научное издание

**Научный диалог:
Вопросы точных и технических наук**

Сборник научных трудов, по материалам
XVII международной научно-практической конференции
12 июня 2018 г.



SPLN 001-000001-0307-TT

Подписано в печать 06.07.2018. Тираж 400 экз.
Формат 60x84/16. Объем уч.-изд. л.2,76
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Отпечатано в типографии НИЦ «Л-Журнал»
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович