



УДК 621.362.1

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.577.578

# РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕСТОВОГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА ТЕПЛОВОГО ПОТОКА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ЗЕЕБЕКА

## DEVELOPING THE DESIGN AND MANUFACTURING TECHNIQUES FOR TEST SENSITIVE ELEMENT OF THERMAL STREAM SENSOR BASED ON SEEBECK'S EFFECT

КЕРНАСОВСКИЙ Ю. М.<sup>1</sup>KERNASOVSKIY YU. M.<sup>1</sup>ТАРАТЫН И. А.<sup>1</sup>TARATYN I. A.<sup>1</sup>РЫЖКОВСКАЯ Д. С.<sup>1</sup>RYZHKOVSAYA D. S.<sup>1</sup>ЧАКУКОВ Р. Ф.<sup>1</sup>CHAKUKOV R. F.<sup>1</sup>ФИЛАТОВ С. А.<sup>2</sup>

fil@hmti.ac.by

FILATOV S. A.<sup>2</sup>

fil@hmti.ac.by

КУЧИНСКИЙ Г. С.<sup>2</sup>KUCHINSKIY G. S.<sup>2</sup>БАТЫРЕВ Е. В.<sup>2</sup>BATYREV E. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»  
220024, г. Минск, улица лейтенанта Кижеватова, 86/2  
mniirm@mniirm.by

<sup>2</sup> Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова  
НАН Беларуси  
220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15

<sup>1</sup> "Minsk Research Institute of Radiomaterials" OJSC  
86/2 Lietenanta Kizhevatova St., Minsk, 220024  
mniirm@mniirm.by

<sup>2</sup> A. V. LUIKOV Institute of Heat and Mass Transfer Institute of  
National Academy of Sciences of Belarus  
15 P. Brovki St., Minsk, 220072

Разработана конструкция и технология изготовления тестового чувствительного элемента датчика теплового потока на основе эффекта Зеебека. Проведены измерения интегральных оптических характеристик поглощения и отражения пассивирующего покрытия в спектральном диапазоне 0,1–14,0 мкм.

*Ключевые слова:* датчик теплового потока; эффект Зеебека; МЭМС чувствительный элемент; оптические характеристики; поглощение; отражение.

The paper presents design and manufacturing techniques for a test sensitive element of thermal stream sensor based on Seebeck's effect as well as measurements of integrated optical characteristics of the passivating covering absorption and reflection in the spectral range of 0.1–14.0 microns.

*Keywords:* sensor of a thermal stream; Seebeck's effect; MEMS sensitive element; optical characteristics; absorption; reflection.

Современные датчики теплового потока (далее — ДТП) — специализированные приборы, непосредственно измеряющие плотность теплового потока, среди которых наибольшее распространение получили пирозлектрические, болометрические, термоэлектрические (на основе эффекта Зеебека) датчики, отличающиеся высокими эксплуатационными характеристиками и надежностью [1].

В последнее время в связи с активным развитием МЭМС-технологий открылись новые возможности создания эффективных многоэлементных сенсоров, чувствительных к тепловому излучению. Успешные продвижения в этом направлении обусловлены результатами разработок технологических процессов формирования микро- и наноразмерных мембран. Совместимость этих процессов с современной кремниевой КМОП-технологией обеспечивает МЭМС-сенсорам достижение

высоких характеристик преобразования теплового излучения, прежде всего таких, как чувствительность и быстродействие.

Особое место среди МЭМС-приемников занимают сенсоры с чувствительными элементами на основе микротермопар. Такие элементы включают в себя диэлектрическую мембрану с высоким поглощением тепла и несколько последовательно соединенных микротермопар, «горячие» спаи которых расположены на мембране, а «холодные» имеют хороший тепловой контакт с подложкой [2]. Тонкие диэлектрические мембраны с хорошей изоляцией относительно кремниевой подложки обеспечивают возможность размещения в одном чипе как чувствительных элементов, так и схем усиления и мультиплексирования сигналов, позволяют достичь предельно возможных рабочих характеристик.

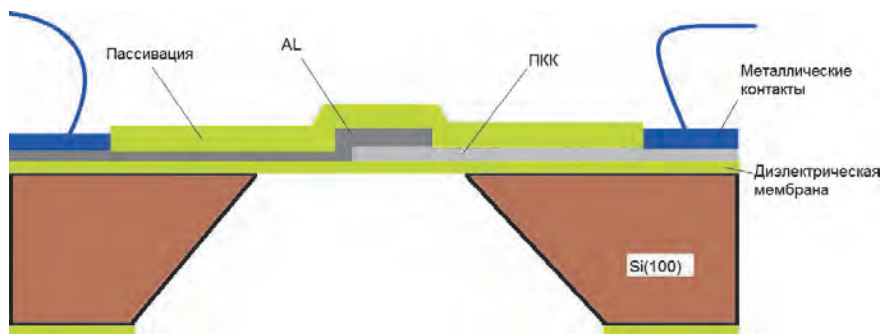


Рис. 1. Разрез тестового ЧЭ кристалла

Благодаря хорошей тепловой изоляции и минимизации массы термопарных МЭМС элементов создаются предпосылки создания на их основе неохлаждаемых ДТП с высокой чувствительностью, линейностью преобразования, малой потребляемой мощностью и высокой скоростью реакции на тепловое воздействие [3].

Разрабатываемый ДТП предназначен измерения тепловых потоков с длиной волны от 0,1 до 14 мкм в диапазоне от 0 до 1500 Вт/м<sup>2</sup>.

Особенностью технологии изготовления датчика является реализация конструкции на базе МЭМС-технологии.

Диэлектрическая мембрана сформирована на основе нестехиометрического нитрида кремния с использованием процессов двухсторонней фотолитографии и процессов анизотропного травления кремния в водном растворе гидроксида калия при температуре 95–100 °С при интенсивном перемешивании.

Размер тестового кристалла 5×5 мм, толщина кремниевой подложки 380 мкм. Тестовый кристалл состоит из диэлектрической мембраны толщиной 1 мкм и площадью — 6,4 мм<sup>2</sup>, и трех микротермопар, площади которых равны 0,72 мм<sup>2</sup>, 0,16 мм<sup>2</sup>, 0,002 мм<sup>2</sup> и расположены в центральной части диэлектрической мембраны (рис. 1–2). Микротермопары изготовлены из поликремния, легированного бором и алюминия. Сопротивление термопар от 4 кОм до 100 кОм.

Тестовый кристалл разварен с помощью платиновой проволоки диаметром 20 мкм в стандартном восьми выводном корпусе с оптическим окном (рис. 3).

Испытания тестовых чувствительных элементов ДТП с пассивирующими покрытиями в целях определения интегральных оптических характеристик поглощения и отражения пассивирующего покрытия в спектральном диапазоне 0,1–14,0 мкм проводились в лаборатории синтеза и анализа микро- и наноразмерных материалов Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси.

Для проведения испытаний использовался специализированный стенд для измерения характеристик ДТП. При проведении испытаний поток оптического излучения составил  $4,0 \pm 0,1$  кВт/м<sup>2</sup>, контроль потока оптического излучения в диапазоне 0,1–14,0 мкм осуществлялся с помощью балансомера Пеленг СФ-06, контроль теплового потока осуществлялся с помощью измерителя плотности теплового потока и температуры ИТП-МГ4.03/5 (III) «Поток». При проведении испытаний чувствительность тестовых чувствительных элементов ДТП с пассивирующими покрытиями составила 500 мкВ/кВт·м<sup>-2</sup>. Оптические характеристики тестовых чувствительных элементов ДТП с пассивирующими покрытиями были определены с помощью ИК Фурье спектрометра Nicolet Nexus 670 (компания Thermo, США). Интегральный коэффициент поглощения оптического излучения тестового чувствительного элемента ДТП без поглощающего покрытия составил 0,11

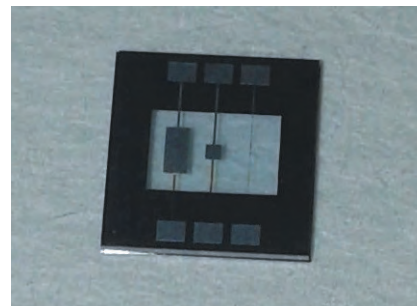


Рис. 2. Кристалл тестового чувствительного элемента

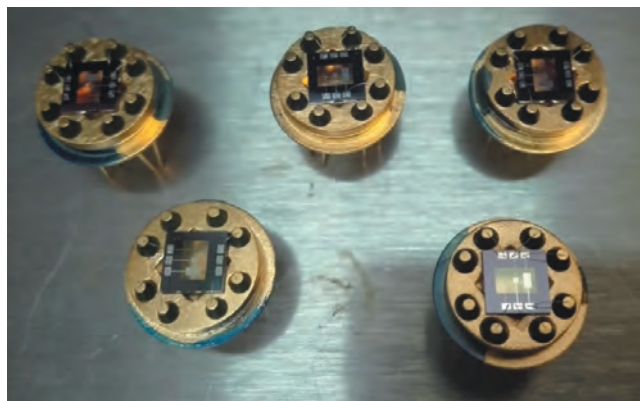


Рис. 3. Тестовые чувствительные элементы

при интегральном коэффициенте отражения 0,41 в диапазоне 0,1–14,0 мкм, что связано с малой оптической толщиной мембраны и термопар. На дальнейших этапах разработки ДТП планируется доработка конструкции датчика, а именно нанесение неселективного поглощающего покрытия на горячие спаи микротермопар в целях повышения интегрального коэффициента поглощения.

Выполненные исследования позволили определить оптимальную топологию датчика теплового потока для последующего серийного производства. Использование МЭМС-технологий позволило создать датчик теплового потока с малой тепловой инерцией и высокой радиационной стойкостью, сохраняющий чувствительность в широком диапазоне температур и исследуемых тепловых потоков. МЭМС-датчик теплового потока может найти широкое применение при регулировании температурных процессов, дистанционного измерения температур (турбинные двигатели, медицина), селективного измерения лучистой энергии определенных диапазонов спектра, систем ориентации малых космических аппаратов, систем наземного тестирования космических аппаратов.

Авторы считают, что в данной работе новым является использование ненапряженного нитрида кремния, позволяющие обеспечить высокую надежность мембраны при измерении характеристик больших тепловых потоков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Герашенко О.А. Основы теплотрии / О.А. Герашенко. — Киев: Наукова думка, 1971. — 191 с.
2. Graf A, Arndt M, Sauer M *et al.* Review of micromachined thermopiles for infrared detection // Measurement Science and Technology, 2007. Vol. 18. № 7. P. 59–75.
3. Socher E., Bochobza-Degani O., Nemirowsky Y. Optimal performance of CMOS compatible IR thermoelectric sensors // Journal of Microelectromechanical Systems, 2000. Vol. 9. № 1. P. 38–46.