

УДК 538.911; 538.958; 548.4; 620.3

МЭМС ДАТЧИК ТЕПЛООВОГО ПОТОКА С МЕТАПОВЕРХНОСТЬЮ

Филатов С. А.¹, Кернасовский Ю. М.², Таратын И. А.³,
Долгих М. Н.¹, Филатова О. С.¹, Батырев Е. В.¹

¹Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси

²ОАО «Минский институт радиоматериалов»

³Белорусский национальный технический Университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются особенности создания датчиков теплового потока по МЭМС технологии с чувствительными термоэлектрическими элементами толщиной 20–80 нм (поликремний *n*- и *p*-типа, при этом каждая термопара состоит из контактирующих полосок поликремния *p*-типа и поликремния *n*-типа), на поверхности оптической мембраны толщиной до 200 нм, сформированной, как метаповерхность из повторяющихся проводящих структур на диэлектрической подложке, с металлизированной поверхностью. Наличие селективного поглощения ИК-излучения метаповерхностью в центральной части датчика, где расположены «горячие» пары термопар обеспечивает высокую чувствительность датчика, образованного термоэлектрической батареей с «холодными» парами контактов на периферии датчика.

Ключевые слова: МЭМС, сенсор, метаповерхность, многоэлементная термопара.

MEMS HEAT FLOW SENSOR WITH METASURFACE

Filatov S.¹, Kernasovsky Yu.², Taratyn I.³, Dolgikh M.¹, Filatova O.¹, Batyrev E.¹

¹A. V. Lykov Institute of Heat and Mass Transfer NAS of Belarus

²JSC “Minsk Institute of Radio Materials”

³Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the features of creating heat flow sensors using MEMS technology with sensitive thermoelectric elements 20-80 nm thick (*n*- and *p*-type polysilicon, with each thermocouple consisting of contacting strips of *p*-type polysilicon and *n*-type polysilicon). on the surface of an optical membrane up to 200 nm thick, formed as a metasurface from repeating conductive structures on a dielectric substrate, with a metallized surface. The presence of selective absorption of IR radiation by the metasurface in the central part of the sensor, where the “hot” pairs of thermocouples are located, ensures high sensitivity of the sensor formed by a thermoelectric battery with “cold” pairs of contacts on the periphery of the sensor.

Key words: MEMS, sensor, metasurface, multi-element thermocouple.

Адрес для переписки: Филатов С. А., ул. Бровки, 15, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: fil@hmti.ac.by

Оптические метаматериалы и метаповерхности, образованные массивами периодических субволновых структур, представляют собой искусственные среды и поверхности, сформированные из повторяющихся структурных элементов – метаатомов. Интерференция излучения, взаимодействующего с метаатомами позволяет управлять электромагнитными волнами, локально изменяя фазу падающего излучения в пределах 180°, хотя при некоторых условиях изменение фазы может быть более чем 180°. В зависимости от структуры метаатомов в метаматериалах и метаповерхностях наблюдаются дипольные резонансы либо, квадрупольные резонансы при взаимодействии излучения с массивом плазмонных наночастиц, как правило, размещенных на диэлектрическом слое над проводящей металлической пленкой. Характерный размер резонансных структур имеет толщину менее длины волны [1–2].

При взаимодействии излучения в субволновом объеме с метаатомами и атомами вещества, поме-

щенного на метаповерхность, можно локализовать сильное взаимодействие электромагнитное взаимодействие с формированием оптического резонанса, что позволяет создавать эффективные оптические фильтры и детекторы молекул. Кроме того, при использовании двухслойных метаповерхностей, возникновение резонансов между ними может быть использовано для селективного поглощения оптического излучения в заданном диапазоне. Использование плазмонных метаповерхностей, сформированных из диэлектрических и металлических наночастиц и решеток, позволяют достигать максимального усиления и локализации электромагнитных полей. Использование чередующихся диэлектрических слоев, например таких как оксид индия и олова (ИО), также позволяет осуществить эффективное управление селективным поглощением электромагнитного излучения.

При создании датчиков теплового потока по МЭМС технологии чувствительные термоэлек-

трические элементы толщиной 20–80 нм формируют на поверхности оптической мембраны толщиной до 200 нм, рисунок 1. Это обеспечивает высокую чувствительность датчика, образованного термоэлектрической батареей с «холодными» парами контактов на периферии датчика, но требует формирования дополнительного поглощающего слоя в центральной части датчика, где расположены «горячие» пары термопар (полукремний *n*- и *p*-типа, при этом каждая термопара состоит из контактирующих полосок поликремния *p*-типа и поликремния *n*-типа).

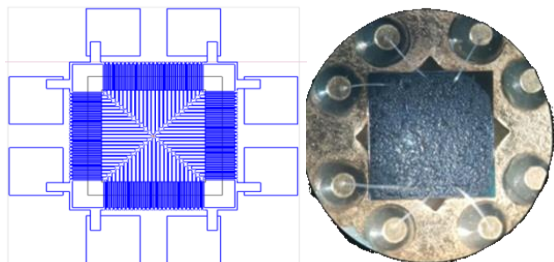


Рисунок 1 – Топология термоэлектрического датчика теплового потока и вид чувствительного элемента с поглощающим слоем

Механизм поглощения в этом случае, в основном, определяется возбуждением локализованных электромагнитных резонансов и сильно зависит от геометрии метатомов (структур образующих верхний металлический слой) и толщины диэлектрического слоя.

В качестве эффективного селективного поглотителя оптического излучения можно использовать метаповерхность сформированную из повторяющихся проводящих структур на диэлектрической подложке, с металлизированной поверхностью, рисунок 2. В случае поверхностной структуры образованной равноплечными проводящими крестами обеспечивается поляризационно-нечувствительное поглощение оптического излучения с порогом, определяемым размерами и периодом повторения металлических элементов структуры, рисунок 3.

Элементарная ячейка такого широкополосного абсорбера в форме металлического креста толщиной 50 нм на поверхности слоя диэлектрика 200 нм, лежащего на проводящем (Au) основании толщиной 50 нм повторяется с периодом 300 нм в квадратной решетке.

Для моделирования спектральных характеристик метаповерхностей в гигагерцовом диапазоне может быть использовано специализированное программное обеспечение Ansys HFSS (High Frequency Structure Simulator).

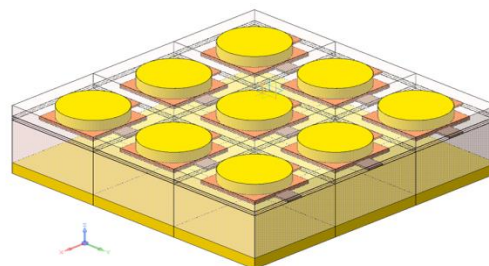


Рисунок 2 – Метаповерхность из повторяющихся металлических структур на слое диэлектрика на металле

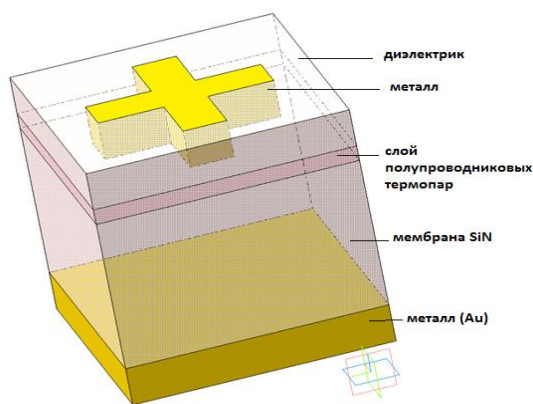


Рисунок 3 – Структура элементарной ячейки (метаатома) метаповерхности

Предложенные решения позволяют селективно оптимизировать спектральный диапазон чувствительности термоэлектрических многоэлементных МЭМС датчиков оптического излучения.

Литература

1. Высокоэффективный оптический поглотитель на основе плазмонного метаматериала / J. Hao [et al.] // *Appl. Phys. Lett.* – 2010. – V. 96. – P. 251104.
2. Wu, С. Проектирование поверхностей метаматериалов с широкополосным поглощением / С. Wu, G. Shvets // *Opt.Lett.* – 2012. – V. 37. – P. 308–310.