

УДК 621.317.39.084.2

ВЛИЯНИЕ ТОПОЛОГИИ НАГРЕВАТЕЛЯ НА ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАТАЛИТИЧЕСКИХ СЕНСОРАХ ПРИ МИНИМАЛЬНОМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИИ Таратын И.А.¹, Горох Г.Г.², Лозовенко А.А.², Реутская О.Г.¹, Федосенко В.С.², Иджи М.М.²

¹Белорусский национальный технический университет²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Представлены результаты исследований теплообменных процессов в каталитических сенсорах с разными вариантами тонкопленочных нагревателей, обеспечивающими оптимальные температурные параметры при минимальном энергопотреблении.

Ключевые слова: каталитический сенсор, тонкопленочный нагреватель, вольтамперные характеристики.

INFLUENCE OF HEATER TOPOLOGY ON HEAT EXCHANGE PROCESSES IN CATALYTIC SENSORS WITH MINIMUM ENERGY CONSUMPTION

Taratyn I.¹, Gorokh G.², Lazavenka A.², Reutskaya O.¹, Fedosenko V.², Iji M.²¹Belarusian National Technical University²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The results of studies of heat exchange processes in catalytic sensors with different versions of thin-film heaters that provide optimal temperature parameters with minimal power consumption are presented.

Key words: catalytic sensor, thin-film heater, current-voltage characteristics.

Адрес для переписки: Горох Г.Г., ул. П. Бровки, 6, Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: gorokh@bsuir.by

Одним из наиболее используемых типов сенсоров при контроле токсичных и взрывоопасных газов является термокаталитический сенсор [1]. Конструкция такого сенсора представляет собой нагреватель с нанесенным на него газочувствительным слоем с катализатором из благородных металлов, активирующим экзотермическое окисление горючего газа [2]. Обладая очевидными достоинствами, такими как, возможность детектирования широкого перечня токсичных и взрывоопасных газов, простота конструкции, позволяющая обходиться без эталонных газов, и низкая стоимость изготовления, термокаталитические сенсоры характеризуются большим энергопотреблением, ограниченным сроком службы и низкой надежностью [3]. Поэтому весьма актуальной является задача по повышению стабильности и улучшению рабочих характеристик термокаталитических сенсоров. Улучшение этих параметров возможно за счет совершенствования технологии изготовления чувствительного элемента [4] и оптимизации процессов теплообмена, происходящих в области нагревателя. Обеспечение же эффективного нагрева и управление процессами теплообмена возможно путем оптимизации конструкции сенсора и нагревателя.

В настоящей работе мы анализируем варианты конструкции каталитических сенсоров, имеющие три разные топологии нагревателя, в которых обеспечиваются оптимальные теплообменные процессы при минимальном энергопотреблении, в частности, линейная температурная зависимость от тока нагрева и величина диапазона изменения токов при измерениях.

Конструкция сенсора представляла собой Si подложку площадью 1,35×1,35 мм и толщиной 0,38 мм, в центре которой сформирована диэлектрическая мембрана размером 500×500×1,2 мкм, состоящая из 0,3 мкм слоя Si_xN_y и 0,9 мкм слоя АОА. На планарной стороне мембраны сформирован Pt нагреватель и информационные электроды к чувствительному слою. Толщина слоя платины составляла 300 нм. Нагревательные элементы были выполнены в форме меандров, но имели разную топологию и длину резисторов.

Первый вариант нагревателя представлял меандр шириной 100 мкм и длиной 460 мкм, состоящий из шести последовательных петель, с шириной проводника 30 мкм и зазором между ними 5 мкм. Внешний вид топологии нагревателя и его структура приведены на рис. 1.

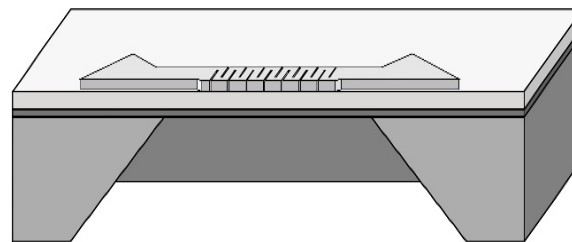


Рисунок 1 – Первый вариант топологии нагревателя сенсора на двухслойной мембране

Второй вариант нагревателя состоял из двух параллельно размещенных меандров аналогичных по размерам первому варианту. Этот вариант нагревателя предусматривал параллельное и последовательное подключение (рис. 2, а). Третий

вариант нагревателя представлял собой трехпетельный меандр, укороченный в два раза по сравнению с первым вариантом (рис. 2, б). Оценку степени нагрева сенсора проводили путем измерения вольт-амперных характеристик при пропускании через нагреватели тока, возрастающего с шагом 10 мА, при этом визуально регистрировали степень разогрева рабочей области от темно-красного до ярко-красного свечения и фиксировали величины токов, при которых возникало свечение. Была проведена аппроксимация полученных зависимостей и оценка линейности температурных характеристик.

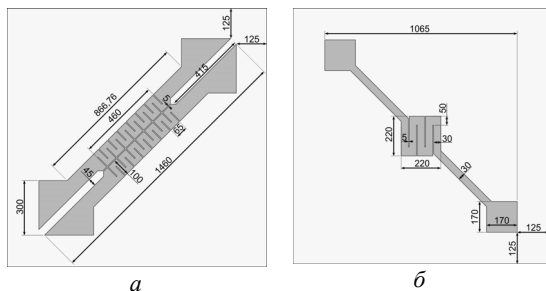
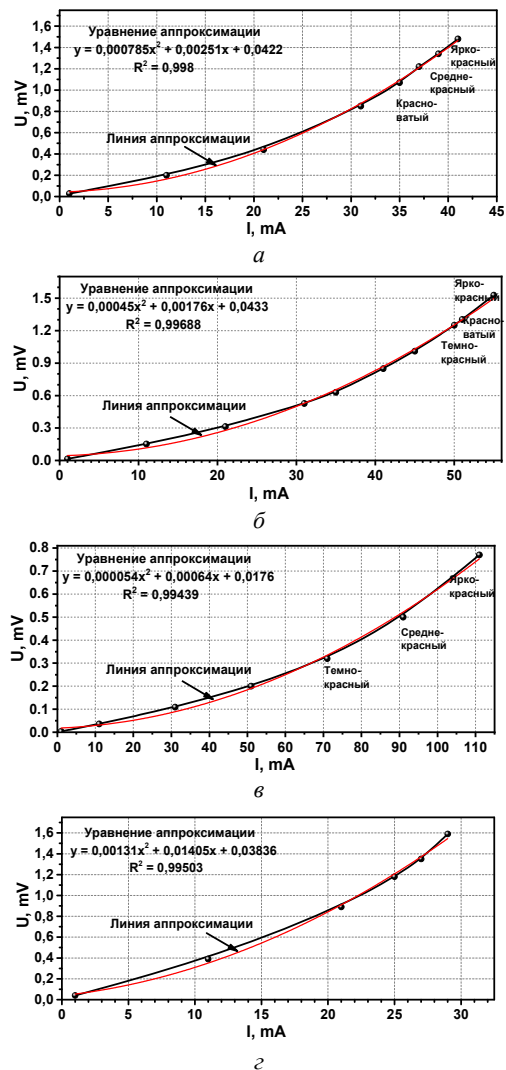


Рисунок 2 – Второй вариант (а) и третий (б) варианты топологии нагревателя сенсора на двухслойной мембране Si_xN_y/Al₂O₃

На рисунке 3,а приведена ВАХ нагревателя с одним протяженным меандром, которая имеет нелинейный вид и описывается уравнением, представленным на зависимости. Темно-красное свечение появлялось при токе 33 мА и переходило в ярко-красное при 45 мА, что соответствовало рассеиваемой мощности 35 мВт. На рисунке 3,б приведена ВАХ составного нагревателя, в котором оба меандра были соединены последовательно. Свечение рабочей области сенсора, ограниченной площадью 0,04 мм², изменяется от темно-красного при токе 48 мА до ярко-красного при токе 71 мА. При параллельном включении двойного меандра ВАХ имеет наиболее близкую к линейной, что является важным требованием к рабочей характеристике каталитического сенсора. Для данного включения темно-красная область появляется уже при мощности 25 мВт, средне-красная при 35 мВт, а ярко-красная при 90 мВт (110мА). Для данного варианта включения наблюдается более широкий диапазон регулирования температуры путем изменения тока нагревателя от 70 мА до 110 мА. Для третьего варианта топологии нагревателя ВАХ имеет максимальную нелинейность, темно-красное свечение появляется при минимальной мощности 30 мВт (25 мА) и переходит в ярко красное уже при 30 мА.

Анализ трех вариантов топологии нагревателей каталитического сенсора показал, что наиболее равномерный нагрев в широком токовом диапазоне обеспечивает нагреватель при параллельном включении двух меандров.



а – 1-й вар топологии 1 меандр;
б – 2-й вар топологии, 2 меандра соединены последовательно; в – 2-й вар топологии, 2 меандра соединены параллельно; г – 3-й вар топологии нагревателя

Рисунок 3 – ВАХ и сенсоров с разными топологиями нагревателя

Литература

1. A fast and sensitive catalytic gas sensors for hydrogen detection based on stabilized nanoparticles as catalytic layer / E. Brauns [et. al.] // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2014. – Vol. 193. – P. 895–903.
2. Work function analysis of gas sensitive WO₃ layers with Pt doping / G. Halek [et al.] // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2013. – Vol. 187. – P. 379–385.
3. Таратын, И. А. Особенности сенсорного отклика термокatalитического сенсора с нагревателем из монокристаллического кремния / И. А. Таратын, В. В. Хатько // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – Вып. 12. – С. 119–122.
4. A miniaturized catalytic gas sensor for hydrogen detection based on stabilized nanoparticles as catalytic layer / E. Brauns [et al.] // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2013. – Vol. 187. – P. 420–425.