

УДК 621.317

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ГАЗОВЫЙ СЕНСОР С НАГРЕВАТЕЛЕМ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Таратын И.А.<sup>1</sup>, Горох Г.Г.<sup>2</sup>, Лозовенко А.А.<sup>2</sup>, Кевра Е.В.<sup>1</sup><sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Представлены результаты исследований полупроводникового газового сенсора с нагревателем кремниевым из монокристаллического кремния. Приведены вольтамперные и температурные зависимости кремнивого нагревателя. Максимальное значение химического отклика на воздушную смесь с содержанием 0,49 об% CH<sub>4</sub> получено при мощности нагревателя 108,12–111,47 мВт.

**Ключевые слова:** монокристаллический нагреватель, полупроводниковый газовый сенсор, вольтамперные характеристики

## SEMICONDUCTOR GAS SENSOR WITH MONOCRYSTAL SILICON HEATER

Taratyn I.<sup>1</sup>, Gorokh G.<sup>2</sup>, Lazavenka A.<sup>2</sup>, Kevra E.<sup>1</sup><sup>1</sup>Belarusian National Technical University<sup>2</sup>Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The results of studies of a semiconductor gas sensor with a silicon heater made of single-crystal silicon are presented. The current-voltage and temperature dependences of the silicon heater are given. The maximum value of the chemical response to 0.49 vol% CH<sub>4</sub> was obtained at a heater power of 108.12–111.47 mW.

**Key words:** monocrystalline heater, semiconductor gas sensor, current-voltage characteristics.

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

Полупроводниковые металлооксидные пленки, электропроводность которых сильно меняется в зависимости от состава и состояния поверхности, нашли широкое применение в качестве материалов чувствительных слоев газовых сенсоров [1]. Наиболее энергозатратной частью химических сенсоров является их чувствительный элемент, так как для обеспечения работы сенсора требуется его нагрев до температур в пределах 250–500 °С в зависимости от типа детектируемого газа. Снижение энергопотребления обеспечивается в сенсоре путем уменьшения размеров области нагрева газочувствительного слоя и уменьшения потерь при рассеивании тепла. При всех оптимизированных параметрах, успешное функционирование современных сенсоров, возможно только при правильном и контролируемо управляемом температурном режиме, обеспечивающем температурные номиналы в заданном диапазоне. В первую очередь это связано с конструкцией нагревателя и материала из которого он сделан. Использование в полупроводниковом сенсоре нагревателя из монокристаллического кремния значительно влияет на выходные характеристики сенсора при детектировании газов, что связано с нелинейностью вольтамперной характеристики нагревательного элемента сенсора [2, 3].

В данной работе рассмотрены электрофизические характеристики полупроводникового сенсора в качестве нагревателя которого используется монокристаллический кремний.

В качестве нагревателя был использован кристалл кремния р-типа проводимости ориентации (100) с размерами 0?25×0?25×0?15мм. Контакты были сформированы из платиновой проволоки диаметром 20 мкм методом термокомпрессии. В качестве газочувствительного слоя использовалась керамика состава In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с SnO<sub>2</sub>(5 %) с формированием стабильной структуры при T = 700°С в течении двух часов. Измерение характеристик сенсора проводились в режиме постоянного тока. Вольтамперные характеристики сенсора измерялись на воздухе и в смеси искусственного воздуха CH<sub>4</sub>(0,49 об%). Сенсорный отклик  $\Delta U = U_{\text{газа}} + U_0$  определялся как разность между напряжением на сенсоре при взаимодействии с газом и напряжением сенсора на воздухе.

На рис. 1 представлена зависимость температуры сенсора от величины мощности, подаваемой на кремниевый резистор. Измерения температуры сенсора проводились с помощью пирометра IP-140.

Зависимость выходного напряжения от времени в течение 768 часов при токе I = 71 мА что соответствует температуре T = 350 °С представлена на рис 2.

Вольтамперная характеристика сенсора с газочувствительным слоем представлена на рис. 3. Линейный участок рассматриваемой зависимости соответствует токам нагрева до 50 мА, что соответствует температуре около 300 °С, в диапазоне токов от 50 до 60–65 мА наблюдается резкое увеличение зависимости напряжения от тока, что со-

ответствует переходу в область примесной проводимости. Последующий вид характеристики определяется зависимостью сопротивления кремниевого нагревателя р-типа проводимости с  $\rho = 0.3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  (концентрация  $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ) и низкоомного газочувствительного слоя  $\text{In}_2\text{O}_3 + \text{SnO}_2$ , представляющего полупроводник n-типа проводимости, от температуры.

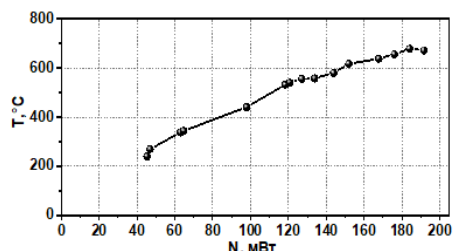


Рисунок 1 – Зависимость температуры сенсора от величины мощности, подаваемой на кремниевый резистор

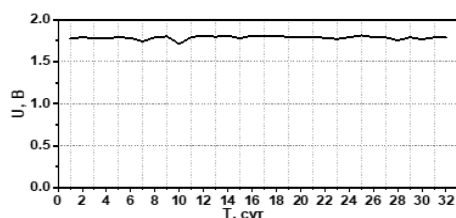


Рисунок 2 – Зависимость среднего значения напряжения на нагревателе от времени (1 ед. соответствует 24 часам)

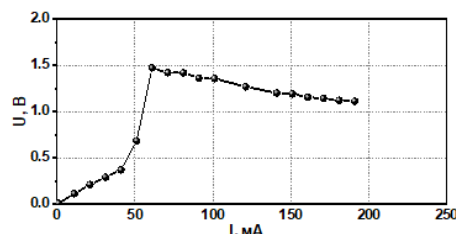


Рисунок 3 – Вольтамперная характеристика сенсора с газочувствительным слоем  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$

На рис. 4 представлена зависимость изменения выходного сигнала сенсора  $\Delta U = U_{\text{газа}} + U_0$  от величины тока, подаваемого на Si-резистор для

$\text{CH}_4 = 0,49 \text{ об\%}$ . Максимальное значение сигнала получено при токе  $I = 68\text{--}71 \text{ мА}$  при напряжении  $U = 1,59\text{--}1,57 \text{ В}$  что соответствует мощности  $108,12\text{--}111,47 \text{ мВт}$ .

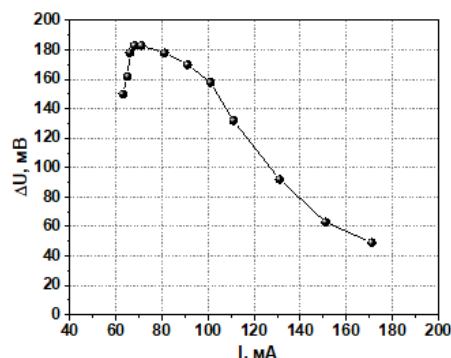


Рисунок 3 – Зависимость  $\Delta U = U_{\text{газа}} - U_0$  при воздействии  $\text{CH}_4 = 0,49 \text{ об\%}$  от величины тока нагрева

Представленные результаты показали, что применение монокристаллического резистора в качестве нагревателя тонкопленочного полупроводникового сенсора является весьма перспективным, так как такой конструктивный элемент является весьма простым в изготовлении и дешевым по сравнению с платиновым нагревателем, обеспечивает стабильные температурные характеристики в течение длительного непрерывного времени работы, а также хорошую чувствительность к малым концентрациям горючих газов при относительно невысоких температурах, и следовательно, при небольшой потребляемой мощности.

### Литература

1. Dey, A.. Semiconductor metal oxide gas sensors: A review / A. Dey // Materials Science & Engineering B. – 2018. – Vol. 229. – P. 206–217.
2. Таратын, И. А. / Каталитический газовый сенсор с нагревателем из монокристаллического кремния / И. А. Таратын, В. В. Хатько // Письма в ЖТФ. – 2011. – Т. 37. – С. 9–17.
3. Таратын, И. А. Особенности сенсорного отклика термокаталитического сенсора с нагревателем из монокристаллического кремния / И. А. Таратын, В. В. Хатько // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – Вып. 12. – С. 119–122.