

2. Семченков Ю.М., Мильто В.А., Шумский Б.Е. Внедрение методики контроля кипения теплоносителя в активной зоне ВВЭР – 1000 в систему внутриреакторной шумовой диагностики // Атомная энергия. – 2008. – Т. 105, вып. 2. – С. 79–82.

3. Калинушкин А.Е., Семченков Ю.М. Современная система контроля, управления и диагностики реакторов ВВЭР большой мощности // Доклады БГУИР. – 2015. – № 2(88). – С. 81–85.

УДК 54.087:681.2.082

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕНСОРНОГО ОТКЛИКА ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЕНСОРОВ НА КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ

Реутская О.Г.<sup>1</sup>, Таратын И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»  
Минск, Республика Беларусь

Определение количественного и качественно состава окружающей среды в реальных условиях проводят по средствам различных датчиков и систем. Химические сенсоры являются одними из наиболее оптимальных устройств в соотношении цены и качества. В качестве газочувствительных слоев в таких сенсорах используют каталитические и полупроводниковые соединения. Для снижения энергопотребления при сохранении высокого уровня чувствительности применяют полупроводниковые слои, полученные по золь-гель технологии, которые позволяют достигать качественный результат, а также стабильное и долговременное определение газового состава анализируемой среды [1, 2].

Выбор состава газочувствительного слоя обеспечивает уровень сенсорного отклика к определяемому газу. Это связано с процессами сорбции-десорбции, проходящими на поверхности и внутри самого слоя.

Общепринятая схема подключения сенсорного устройства включает нагреватель и пару информационных электродов, на поверхности которых размещается детектирующий слой. Сигнал определяется величиной изменяющегося напряжения или электросопротивления между электродами [1].

В данной работе представлен полупроводниковый газовый сенсор, выполненный на кремниевой подложке. На поверхности подложки были сформированы нагреватель и информационные электроды. Размещена вся топология на одной стороне кристалла на поверхности мембраны, толщиной 100–120 мкм (рисунок 1).

Газочувствительный слой сформирован на поверхности встречно-штыревой системы. В состав него входит композиция полупроводниковых материалов  $In_2O_3+SnO_2$ . Выбор такого состава обусловлен высокой реакционной способностью при воздействии горючих и токсичных газов.

Особенностью такого сенсора является то, что газочувствительный слой одновременно является нагревателем и газоаналитическим слоем в схеме

подключения устройства. Вольтамперные характеристики сенсора представлены на рисунке 2.

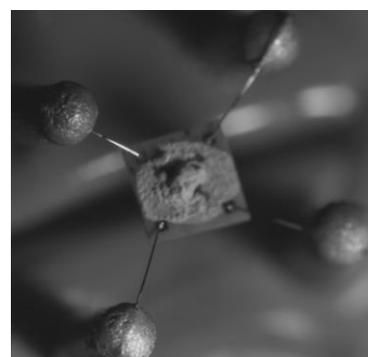


Рисунок 1 – Фотографическое изображение сенсора на кремниевой подложке

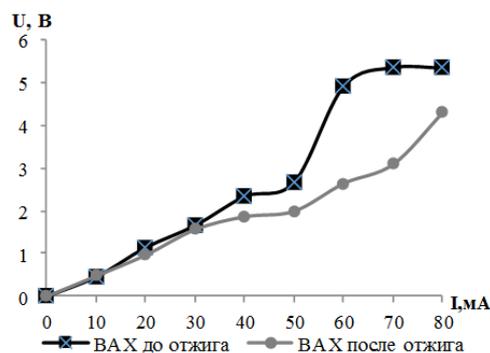


Рисунок 2 – Вольтамперные характеристики сенсора на кремниевой подложке

Как показано на рисунке 2 измерение вольтамперных характеристик проводилось до длительного отжига и после него. Время отжига составило 48 часов. В результате данного процесса наблюдается уменьшение потребляемой мощности и стабилизация характеристик сенсора.

Длительные термоэлектрические отжижки позволяют уменьшить временной «дрейф» сигнала сенсорного устройства, а также проводить измерения сенсорного отклика при мощности потребления от 1 мВт до 500 мВт.

Предложенный сенсор был исследован на воздействие низких концентраций монооксида углерода (CO) и пропана (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>). Для определения величины сенсорного отклика проведено измерение выходного сигнала во всем рабочем диапазоне сенсора. При измерении пропана было учтено, что для получения сигнала температура нагревательного элемента не должна быть ниже 350–400 °С. Результаты измерения зависимости напряжения от времени при воздействии CO и C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> представлены на рисунках 3 и 4 соответственно. Потребляемая мощность при этом составляет 300 мВт.

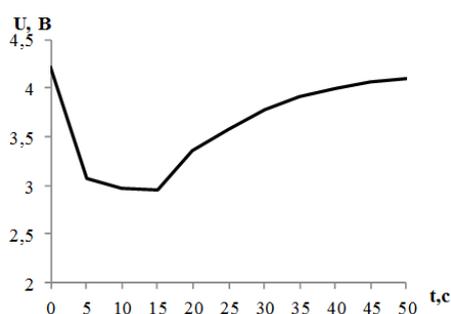


Рисунок 3 – Зависимость изменения напряжения от времени при воздействии CO с концентрацией 0,02 % об.

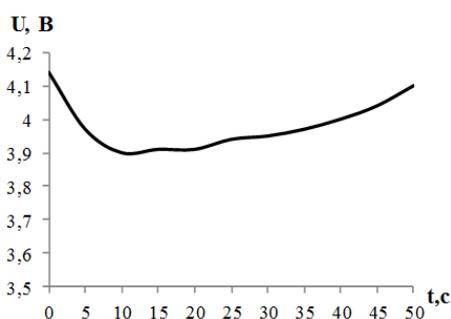


Рисунок 4 – Зависимость изменения напряжения от времени при воздействии C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> с концентрацией 0,015 % об.

При измерениях сигнала сенсоров наблюдается падение напряжения при воздействии газов. Время восстановления сигнала после воздействия газа в среднем составляет 30 с. Следует отметить, что такое время возврата обеспечивается стабильным состоянием поверхности сенсора. Когда мощность потребления достигла 350 мВт при измерении пропана наблюдалась каталитическая реакция на поверхности газочувствительного слоя.

Значения сенсорного отклика при измерениях представлены на рисунках 5 и 6. Измерение CO при исследуемых режимах показывает более высокий сенсорный отклик по отношению к C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>. Время насыщения сенсора не превышает 5 с. Следовательно, потребляемую мощность для устройства при измерении можно уменьшить, что существенно не отразится на сенсорном сигнале

(рисунок 5). При определении метана насыщение газочувствительного слоя составляет не более 10 с. При этом время реакции наступает менее, чем через 1 с (рисунок 6).

Следует отметить, что определение пропана является одной из актуальных проблем современного контроля газового состава бытовых и производственных помещений. Поэтому выбор режимов и схем подключения, предложенных в работе, позволит проводить обнаружение данного газа в анализируемой среде.

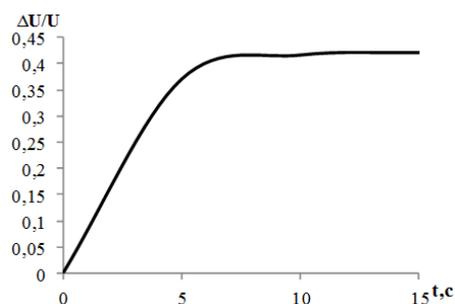


Рисунок 5 – Сенсорный отклик при воздействии CO с концентрацией 0,02 % об.

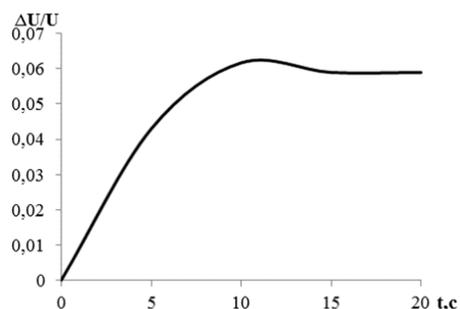


Рисунок 6 – Сенсорный отклик при воздействии C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> с концентрацией 0,015 % об.

Различные схемы подключения элементов сенсоров позволяют моделировать величину выходного сигнала. Выбор режимов измерения приводит к достижению избирательности сенсорного сигнала к детектируемому газу или нескольким газовым компонент. Предложенные сенсоры на кремниевых подложках обеспечивают непрерывный контроль окружающей среды при сниженном энергопотреблении.

## Литература

1. Реутская, О.Г. Измерения концентрации газов CO и NO<sub>2</sub> мультисенсорной микросистемой в режиме импульсного нагрева / О.Г. Реутская, Ю.М. Плескачевский // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т.8, № 2. – С. 160–167.
2. Реутская, О. Г. Полупроводниковые сенсорные устройства на кремниевых подложках / О. Г. Реутская, Ю. М. Плескачевский, И. А. Таратын // Приборостроение-2018, 14-16 ноября 2018 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 69–70.