

казана кинетика релаксации сразу трех типов ДДР для пленки PbTe толщиной 0,7 мкм на стеклянной подложке.

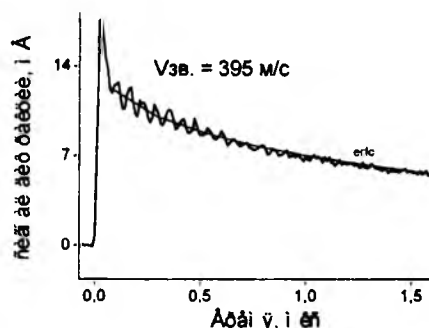


Рисунок 4 – На фоне сравнительно медленной тепловой компоненты наблюдаются высокочастотные акустические осцилляции, а также узкий пикоч дифракции электронного происхождения.  
Зондирование в отраженном свете

Требуется повышенное временное разрешение для оценки длительности электронной компоненты. Осцилляции сигнала обусловлены формированием акустической волны в тонком

приповерхностном слое воздуха. По измеренной частоте и известной температурной зависимости скорости звука в воздухе оценена температура этого слоя, а по средней плотности поглощенной энергии - коэффициент поглощения на длине волны возбуждения (532 нм) в  $\text{см}^{-1}$ .

В докладе также обсуждаются специфические проблемы метрологии измерений.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ по проектам Ф11ЛИТ-006 и Ф13К-063.

1. Научные приборы. Каталог приборов и установок, разработанных по ГНТП «Эталонны и научные приборы» (2006-2010 гг.). Минск, 2011. Под ред. В.В. Машко,
2. Кардона, М. Модуляционная спектроскопия. Перевод с англ., М. Мир. 1972.
3. Ивакин, Е.В. / Е.В. Ивакин, А.В. Суходолов, В.Г. Ральченко, А.В. Власов, А.В. Хомич // Квант. электроника, -2002 -, Т.32, №4 - С. 367-372.
4. Šcajev, P. / P. Šcajev, V. Gudelis, K. Jarasiunas, E. Ivakin, I. Kisialiou, M. Nesladek, K. Haenen // Phys. Stat. Sol. – 2012, V. 2012 - , №9, P. 1744-1749.

УДК 51-73

## ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ И МИКРОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Хатько В.В.<sup>1</sup>, Горох Г.Г.<sup>2</sup>, Таратын И.А.<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>ОАО Минский НИИ радиоматериалов, Минск, Республика Беларусь

Цель настоящей работы является разработка научных основ, материалов и технологий для изготовления высокочувствительных химических и биохимических сенсоров и микросистем на их основе.

К решаемым в настоящее время и в ближайшей перспективе задачам относятся:

- разработка конструкции и технологии изготовления полупроводниковых высокочувствительных газовых сенсоров с низким уровнем энергопотребления (потребляемая мощность < 1 мВт, чувствительность  $\leq 1 \text{ppm}$ ) на основе подложек и мембран из нанопористого анодного оксида алюминия (АОА);

- разработка и изготовление макетных образцов полупроводникового газового сенсора на кремниевых подложках и подложках из нанопористого анодного оксида алюминия с чувствительными слоями на основе упорядоченных массивов наностолбиков оксидов вентильных металлов;

- разработка и изготовление макетных образцов 4-х сенсорной газовой микросистемы на подложках из нанопористого анодного оксида алюминия;

- разработка и изготовление макетных образцов термокаталитических и одноэлектродных полупроводниковых газовых сенсоров с нагревателем из монокристаллического кремния (потребляемая мощность < 30-40 мВт) и встраиваемых сенсорных систем контроля и безопасности;

- разработка конструкции и технологии изготовления макетного образца микросистемы “Электронный нос” с преконцентратором на подложках из нанопористого анодного оксида алюминия для дистанционного контроля здоровья (e-health control);

- разработка сенсорных платформ для биосенсоров на микробы и вирусы.

Потребность во всевозможных сенсорах и системах мониторинга различных газовых сред

постоянно возрастает. Это связано и с безопасностью условий труда на предприятиях, необходимостью строгого контроля технологических процессов, загрязнением окружающей среды, для обнаружения и предотвращения потенциальных террористических актов, для осуществления постоянного контроля в ограниченных пространствах, таких как подводные лодки, космические корабли, самолеты и т.д. При этом все более возрастают требования к характеристикам датчиков, таким как их чувствительность, селективность, потребляемая мощность и т.д. Особое внимание уделяется разработке газовых сенсоров и сенсорных систем, способных регистрировать очень низкие концентрации различных загрязнений в окружающей среде.

При увеличении эффективной поверхности чувствительного слоя чувствительность и селективность газовых сенсоров возрастает. Увеличение эффективной поверхности можно добиться несколькими путями, например: использованием нанопористых мембран и подложек в качестве основы для нанесения полупроводниковых чувствительных слоев; формированием чувствительных слоев на основе массивов металлооксидных столбиков; нанесением на поверхность чувствительного слоя массивов наночастиц и нанокластеров металлов и др.

Первый путь повышения характеристик полупроводниковых газовых сенсоров был реализован при выполнении Задания 1.2.2 НТП Союзного государства "Нанотехнологии - СГ" (2009-2012 гг.). В результате проведенной работы разработаны: технология изготовления нанопористых подложек и мембран из анодного оксида алюминия; технология микро-механической обработки (micro-machining) нанопористых подложек из анодного оксида алюминия; опытные образцы высокочувствительного полупроводникового газового сенсора, характеристики которого (предел чувствительности по  $H_2$  и  $CO \geq 10$  ppm, потребляемая мощность  $\leq 40$  мВт) значительно лучше характеристик имеющихся в РФ и за рубежом сенсоров.

На рис. 1 представлены схематический вид разработанного сенсора и фото сенсорного кристалла разваренного в корпус.

Высокие эксплуатационные характеристики данных газовых сенсоров, а именно: высокая чувствительность и селективность, низкое энергопотребление, позволяют использовать этот тип сенсоров совместно с другими типами газовых сенсоров, например – термokatалитическими, для создания электронного сенсорного устройства (прибора) и методики селективного контроля токсичных и парниковых газов в окружающей среде. Создание сенсорного устройства на основе набора каталитических и

полупроводниковых сенсоров, а также методик контроля позволит осуществлять селективный контроль взрывоопасных и токсичных газов в окружающей атмосфере закрытых помещений. Его высокая селективность будет обеспечиваться выбором материала чувствительного слоя газового сенсора, например, использование  $WO_3$  обеспечит регистрацию газов окислителей, в первую очередь оксидов азота.

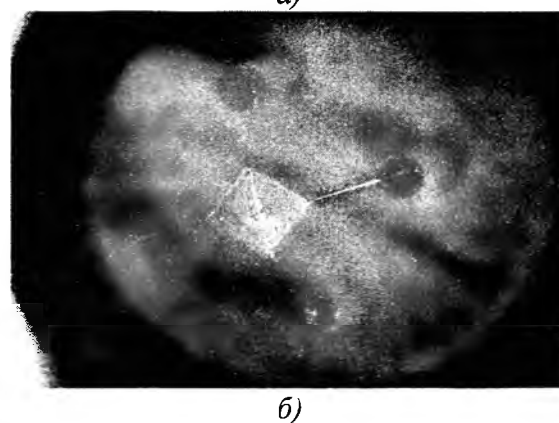
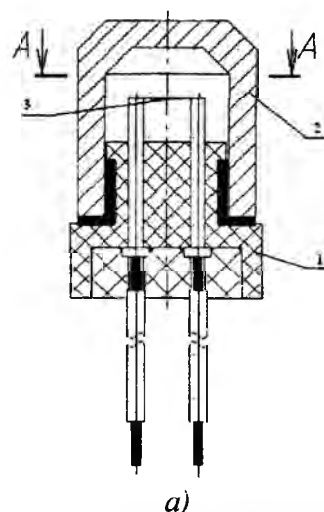


Рисунок 1 – Схематический вид сенсора в газопроницаемом корпусе (а) и фотография сенсорного кристалла разваренного в корпус (б): 1 – основание, 2 – крышка, 3 – кристалл сенсора

Перспективным методом создания наноструктурированных металлооксидных пленок с развитой удельной поверхностью является электрохимическое анодирование двухслойных пленочных композиций Al с вентильным металлом. В результате проведения процесса происходит локальное окисление вентильного металла под порами АОА и образование столбиковых металлооксидных наноструктур. Упорядоченные массивы наноструктур могут быть использованы в качестве активного слоя в высокочувствительных газовых сенсорах. При совмещении методов анодирования и нанесения полупроводниковых тонких пленок открываются

возможности формирования сложных наноконпозиционных газочувствительных слоев, а вариации этих методов весьма перспективны для повышения селективности и чувствительности химических сенсоров.

На рис. 2 представлены схематическое изображение предлагаемого к разработке сенсора на кремниевой подложке (а) и микрофотография поверхности его чувствительного слоя (б).

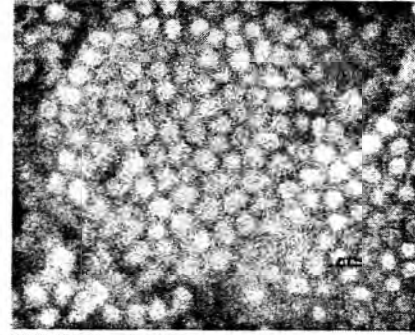
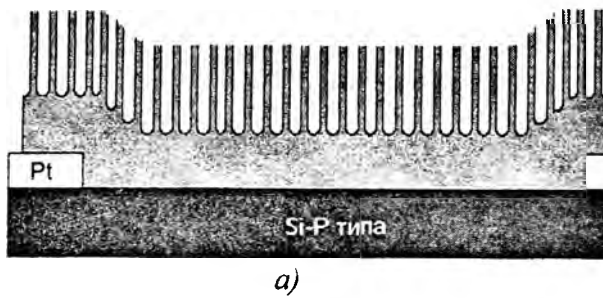


Рисунок 2 – Химический сенсор на основе кремниевой подложки (а) и его чувствительный элемент из массива упорядоченных столбиков анодного оксида вентильного металла (б)