

1. Polman A. // Science. 2016. 322. 868.
2. Степанов А. Л., Осин Ю. Н. Трифонов А. А. [и др.] // Российские нанотехнологии. 2016. 9. 53.
3. Степанов А. Л., Нуждин В. И., Валеев В. Ф. [и др.]. Способ изготовления пористого кремния // Патент на изобретение РФ № 2577515. 2015.

НАНОПОРИСТЫЙ АНОДНЫЙ ОКСИД АЛЮМИНИЯ В КОНСТРУКЦИИ ГАЗОВЫХ МИКРОСЕНСОРОВ

Г. Г. Горох¹, А. И. Захлебаева¹, Ю. М. Плескачевский², О. Г. Реутская^{2,3},
И. А. Таратын^{2,3}, В. В. Хатько²

¹*Белорусский государственный университет радиоэлектроники и информатики,
Минск, Беларусь*

²*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

³*Минский научно-исследовательский институт радиоматериалов, Минск, Беларусь*

Газовые микросенсоры дают возможность проводить анализ концентрации химического компонента в смеси веществ и относятся к числу устройств, определяющих развитие современной аналитической химии. В последние годы сформировалось новое направление в изготовлении газовых микросенсоров. Это направление связано с попытками найти методы увеличения удельной поверхности (отношение поверхности к объему чувствительного материала) их чувствительного слоя. В настоящий момент можно выделить две группы методов, результативно применяющихся в этом направлении, связанном с повышением выходных характеристик газовых полупроводниковых сенсоров.

Первая группа включает методы, позволяющие создавать на поверхности подложки высокоразвитые структуры или рельефы, на которые в последующем наносится чувствительный слой сенсора. К этой группе можно отнести различные методы анизотропного травления кремниевой подложки и формирования на поверхности кремния пленок из нанопористого оксида алюминия [1]. Непосредственный выбор нанопористых алюмооксидных подложек в качестве основы для изготовления газового сенсора можно также отнести к данной группе методов, позволяющих увеличить удельную поверхность его чувствительного слоя [2].

Вторая группа использует методы, которые применяются при формировании наноструктурированного чувствительного слоя сенсора. К ней относятся методы, использующие наноматериалы и наноструктуры для создания чувствительного слоя [3], а также методы вакуумного осаждения его на поверхность подложки [4].

Газовые микросенсоры на наноструктурированных подложках. При изготовлении газовых сенсоров с наноразмерными металлооксидными чувствительными слоями необходимо на поверхности кремниевых или диэлектри-

ческих подложек сформировать нанопористые высокоупорядоченные диэлектрические слои. Для этой цели, как правило, используется нанопористый анодный оксид алюминия (АОА), представляющий собой матрицу плотно упакованных гексагональных оксидных ячеек, по центру которых проходит полый канал. Преимуществами пористого анодного оксида алюминия являются регулярная и хорошо упорядоченная структура, широкий диапазон пор (10–150 нм) и высокая однородность слоев, имеющих высокую удельную поверхность, улучшенные механические, электрические и оптические свойства.

Первоначально констатировалось, что использование подложек с наноструктурированной поверхностью оказывает влияние на условия роста и структурные параметры осаждаемого на ее поверхность чувствительного слоя. Так, в зависимости от ширины пор формирование чувствительного слоя происходило в устье поры или по всей ее поверхности [2, 5, 6]. Таким образом, использование подложек с наноструктурированной поверхностью оказывало влияние на морфологические и структурные параметры чувствительного слоя, и, как следствие, его сенсорные свойства повышались.

Другим преимуществом использования наноструктурированных слоев из нанопористого анодного оксида алюминия в структуре газового сенсора является то, что его физические свойства зависят от такого параметра, как объемная пористость. В работах [7] показано, что выбором величины пористости алюмооксидной подложки можно целенаправленно уменьшать потребляемую газовым сенсором мощность. Это обусловлено тем, что коэффициенты продольной и поперечной теплопроводности Al_2O_3 зависят от объемной пористости таким образом, что величину поперечной составляющей можно уменьшить до нуля, т. е. теплоперенос вдоль границы раздела чувствительный слой – Al_2O_3 может быть минимизирован.

В последние несколько лет сотрудниками Минского НИИ радиоматериалов, Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Белорусского национального технического университета разработаны технологии изготовления нанопористых подложек из анодного оксида алюминия и их микромеханической обработки, а также диэлектрических мембран на основе АОА. Были разработаны и изготовлены полупроводниковые газовые микросенсоры с пределом чувствительности по H_2 и $CO \geq 10$ ppm и потребляемой мощностью ≤ 40 мВт, а также двух- и четырехсенсорные микросистемы на их основе [8–11].

Таким образом, использование данной группы методов позволяет создавать на поверхности подложек высокоразвитые (с высокой удельной поверхностью) структуры или рельефы, на которые в последующем наносится чувствительный слой газового сенсора. Специфические условия его формирования, возникающие из-за особенностей поверхности подложки, оказывают влияние на структуру и свойства чувствительного слоя, тем самым вызывая рост чувствительности и селективности сенсорного отклика по отношению

к активным газам. Другим преимуществом использования нанопористых диэлектрических подложек является возможность снижения потребляемой мощности газового сенсора за счет уменьшения тепловых потерь в пористом материале.

1. Varghese O. K., Gong D., Paulose M. [et al.] // J. Mater. Res. 2002. 17. 1162.
2. Khatko V., Gorokh G., Mozalev A. [et al.]. Sensor & Actuators // B. Chemical. 2006. 118. 255.
3. Li G.-J., Zhang X.-H., Kawi S. Sensor & Actuators // B. Chemical. 1999. 60. 64.
4. Khatko V., Soltis R., McBride J. [et al.]. Sensor & Actuators // B. Chemical. 2001. 77. 548.
5. Gorokh G., Mozalev A., Solovei D. [et al.] // Electrochimica Acta. 2006. 52. 1771.
6. Khatko V., Gorokh G., Mozalev A. [et al.] // J. Electrochem. Soc. 2008. 155. K116.
7. Баркалин В. В., Белогуров Е. А., Таратын И. А. [и др.] // Нано- и микросистемная техника. 2012. № 1. 18.
8. Горох Г. Г., Захлебаева А. И., Белогуров Е. А. [и др.] // Нано- и микросистемная техника. 2014. № 9. 45.
9. Реутская О. Г., Таратын И. А., Хатько В. В. // Материалы 7-й междунар. науч.-техн. конф. «Приборостроение-2014» / БНТУ. Минск, 2014. С. 362.
10. Реутская О. Г., Белогуров Е. А., Таратын И. А. [и др.] // Приборы и методы измерений. 2013. № 2 (7). 47.
11. Белогуров Е. А., Горох Г. Г., Захлебаева А. И. [и др.] // Нано- и микросистемная техника. 2015. № 6. 34.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО УГЛЕРОДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. А. Жданок

ООО «Перспективные исследования и технологии», Минск, Беларусь

Промышленность строительных материалов является важнейшей отраслью экономики, влияющей на качество и сроки возведения, а также на долговечность и экономичность строительных объектов. К сожалению, эта отрасль является и одним из самых существенных загрязнителей окружающей среды и одним из основных источников выбросов в атмосферу парниковых газов. Применение наноструктурированных материалов в сочетании с глиной, цементом, гипсом, шлаками и летучей золой уноса позволяет существенно сократить потребление энергии и расходных материалов в строительной отрасли и повысить экологичность возводимых объектов и сооружений.

В настоящем докладе представлены результаты исследования по влиянию углеродных наноструктурированных материалов на свойства бетонов, дорожных покрытий, керамических материалов. В качестве углеродных наноструктурированных материалов были использованы углеродные нанотрубки (УНТ) «Арт-нано» производства ЧНПУП «Передовые исследования и технологии» (ПИТ) в соответствии с ТУ ВУ 690654933.001-2011. Разработанные на основе «Арт-нано» добавки в бетоны «АРТ-КОН-КРИТ» (ТУ ВУ 691460594.001-2015) были использованы во всех экспериментах по улучшению основных свойств