

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИОКСИДА ТИТАНА В ПОРИСТОМ КРЕМНИИ *p*-ТИПА ПРОВОДИМОСТИ

Н.М. ДЕНИСОВ, В.Е. БОРИСЕНКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь  
waefae@gmail.com*

Получены структуры пористый кремний/диоксид титана по золь-гель технологии, в которых пористый кремний был сформирован на монокристаллических кремниевых пластинах с *p*-типом проводимости, а диоксид титана был получен из Ti-содержащего золя. Формирование TiO<sub>2</sub> в пористом кремнии преимущественно в фазе анатаза подтверждено данными рентгеноструктурного анализа.

*Ключевые слова:* золь-гель метод, диоксид титана, пористый кремний.

Диоксид титана (TiO<sub>2</sub>) считается практически идеальным полупроводником для использования в качестве фотокатализатора благодаря его высокой стабильности, низкой стоимости и безопасности для человека и окружающей среды [1].

Морфология и кристаллическая структура TiO<sub>2</sub> сильно влияет на эффективность его применения [2]. Структуры с развитой поверхностью и высокой пористостью, обеспечивающие большую площадь контакта фотокатализатора с очищаемой средой, демонстрируют наилучшие результаты в этом отношении [3, 4]. Как показано в [5], материал подложки не менее важен, поскольку определяет зонную структуру гетероперехода TiO<sub>2</sub>/подложка и может, как увеличить, так и уменьшить фотокаталитическую активность и эффективность фотоэлектрического преобразования.

Целью данной работы является получение структур диоксид титана/пористый кремний по золь-гель технологии, исследование их структуры, фазового и элементного состава.

Пористые слои были сформированы на пластинах монокристаллического кремния с проводимостью *p*-типа и объемным сопротивлением 0,005 Ом·см. Для этого анодное травление этих пластин производили в 10 % водном растворе HF при плотности тока 15 мА/см<sup>2</sup> в течение 90 с при комнатной температуре и постоянном перемешивании электролита. Часть образцов с пористым слоем подвергали окислению на воздухе (500 °С, 20 мин) после чего образовавшийся оксид кремния стравливали в 5 % растворе HF.

Золь для формирования TiO<sub>2</sub> включал 1.197 г тетраизопропоксида титана (Ti(*i*-OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>4</sub>), 8 мл монометилового эфира этиленгликоля (НОСН<sub>2</sub>СН<sub>2</sub>ОСН<sub>3</sub>) и азотную кислоту для установления pH = 1.

Нанесение золя на подложки производили методом центрифугирования (2700 об/мин 30 с), затем следовала их сушка и отжиг (200 °С, 5 мин; 500 °С, 10 мин).

На рис. 1 *a* показана структура пористого кремния после формирования на нем пленки диоксида титана. Исходный слой пористого кремния имеет губчатую структуру, что типично для кремния с *p*-типом проводимости, анодно протравленном в HF [6]. Формирование на пористом слое пленки TiO<sub>2</sub> сопровождается заполнением пор этим материалом, что заметно по уменьшению объема пор.

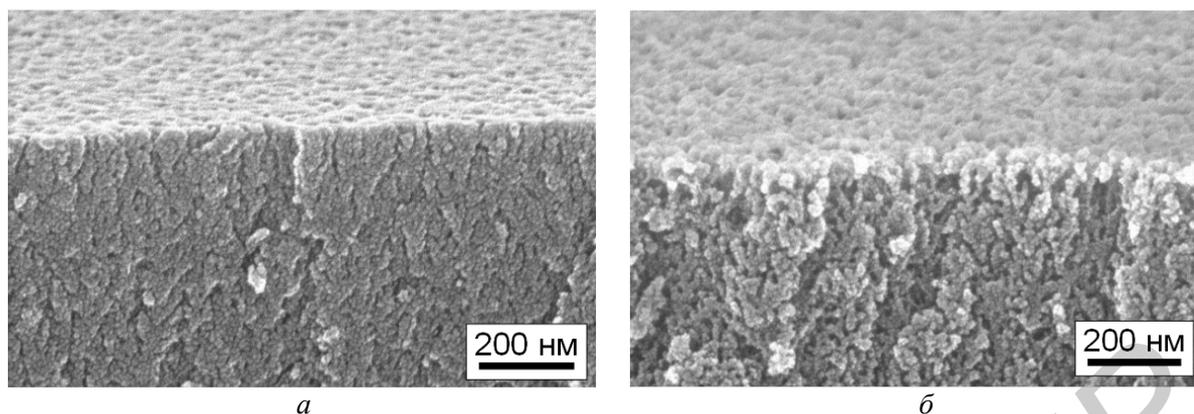


Рис. 1. Структур пористый кремний/диоксид титана с  $\text{TiO}_2$ , полученным:  
*a* – в свежесформированном пористом кремнии, *б* – в предварительно окисленном  
и протравленном в HF пористом кремнии

Окисление исходного пористого кремния с последующим растворением окисленного слоя кремния в HF приводит к увеличению размера пор до 30 – 50 нм.

Пленку  $\text{TiO}_2$  в структуре пористого кремния сложно идентифицировать по СЭМ фотографиям, однако по визуальному изменению объема пор ее толщину можно оценить величиной порядка нескольких нанометров.

Проведенные рентгеноструктурные исследования экспериментальных образцов обнаружили присутствие  $\text{TiO}_2$  преимущественно в фазе анатаза. Энергодисперсионный анализ выявил наличие Si, Ti, O и C в пористых слоях. Установлено, что окисление пористого кремния и растворение оксидного слоя практически не влияет на содержание Ti в золь-гель сформированных структурах диоксид титана/пористый кремний.

Структуры диоксид титана/пористый кремний, исследованные в данной работе, являются перспективными для применения в качестве фотокатализаторов, поэтому планируются дальнейшие исследования их фотокаталитической активности.

#### Список литературы

1. *Gupta Shipra Mital, Tripathi Manoj.* A review of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles // *Physical Chemistry*. 2011. V.56, № 16. P. 1639-1657.
2. *Memesa M., Lenz S., Emmerling S., Nett S., Perlich J., Muller-Buschbaum P., Gutmann J.* Morphology and photoluminescence study of titania nanoparticles // *Colloid. Polym. Sci.* 2011. № 289. P. 943-953.
3. *Купреева О. В., Лазарук С. К., Борисенко В. Е., Кун Л., Канг Т. Б.* Фотокаталитические свойства наноструктурированного диоксида титана // *Журнал прикладной спектроскопии*. 2012. Т.79. № 6. С. 1010-1013.
4. *Ашуркевич К. В., Николаенко И. А., Борисенко В. Е.* Формирование и свойства фотокаталитически активных толстых пленок с диоксидом титана // *Доклады БГУ-ИР*. 2012. № 6, С. 51-57.
5. *Linnik O., Smirnova N., Zhukovskiy M., Orekhovskaya T., Asharif A., Borisenko V., Gaponenko N.* Influence of support nature on photocatalytic activity of  $\text{TiO}_2$  film // *Advanced Science, Engineering and Medicine*. 2013. Т. 5. № 4. С. 281-286.
6. *Borisenko V. E., Ossicini S.* What is What in the Nanoworld. Third, Revised and Enlarged Edition (Wiley-VCH, Weinheim, 2012), 601 p.