

# НАНОСТРУКТУРЫ СИСТЕМ Si/SiO<sub>2</sub>/МЕТАЛЛ С ТРЕКАМИ БЫСТРЫХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

Канюков Е. Ю., Демьянов С. Е., Петров А. В.

Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению»

ул. П. Бровка 19, 220072 г. Минск, Беларусь  
Тел.: +375-17-284-11-93, e-mail: Ka.Egor@mail.ru

**Аннотация** – С помощью технологии быстрых тяжелых ионов подготовлены и изучены структуры на основе систем n-Si/SiO<sub>2</sub> с нанопорами в слоях диоксида кремния, заполненными частицами Cu и Ni. Показана селективность заполнения нанопор металлами. Проведены измерения ВАХ исследуемых структур и показана целесообразность использования технологии TEMPOS для создания магниточувствительных структур.

## I. Введение

В последнее время проводится интенсивное изучение физических свойств низкоразмерных систем и наноструктурных материалов, с целью создания разнообразных наноэлектронных устройств. В связи с этим представляет интерес технология треков быстрых тяжелых ионов, связанная с формированием узких и протяженных областей радиационного повреждения («латентных ионных треков»), в результате воздействия на вещество энергетических ионов. Последующее травление латентных треков позволяет сформировать микро- и нанопоры, которые могут иметь различную форму и размеры (от 10 нм), в зависимости от параметров облучения, условий травления, а также типа подложки [1].

С научной и практической точки зрения, перспективно создание структур на подложке кремния с его оксидом, содержащим ионные треки, внутри которых посредством метода подпотенциального электрохимического осаждения формируются однородные наноконструкции или многослойные наноструктуры с чередующимися слоями, состоящими из ферромагнитных и немагнитных наночастиц. При создании указанных магниточувствительных структур целесообразно использовать разработанную ранее технологию TEMPOS («Tunable Electronic Material in Pores in Oxide on Semiconductors» – «Управляемый электронный материал с порами в оксиде полупроводника») [2-3].

Исследование таких структур создает предпосылки для моделирования электронных устройств с барьером Шоттки, обладающих нелинейными вольт-амперными характеристиками, в том числе отрицательным дифференциальным сопротивлением. Реализация сформулированной идеи позволит создавать сенсоры магнитного поля с увеличенной чувствительностью.

## II. Основная часть

При выполнении исследования использовались подложки в виде монокристаллических пластин n-Si. Диоксид кремния на них формировался путем термического окисления. Латентные ионные треки в полученных структурах n-Si/SiO<sub>2</sub> создавались путем их облучения ионами <sup>197</sup>Au<sup>26+</sup> с энергией 350 МэВ и флюенсом 5 × 10<sup>8</sup> см<sup>-2</sup> на циклотроне с использованием камеры облучения «BIBER» (Центр технологий ионных пучков Хан-Майтнер-Института, г. Берлин, Германия).

Травление латентных треков в плавиковой кислоте приводило к образованию в диоксиде кремния стохастически распределенных пор в виде усеченных конусов с диаметрами оснований 100-200 нм на границе с Si и 150-250 нм на поверхности SiO<sub>2</sub>. Их высота соответствовала толщине слоя SiO<sub>2</sub>, которая после травления составляла порядка 200 нм.

Заполнение нанопор металлами (медь и никель), проводилось методом подпотенциального электрохимического осаждения, который позволяет формировать нанокластеры металлов, диэлектриков и полупроводников и/или их чередующиеся слои [4-5].

Результаты осаждения меди в нанопоры диоксида кремния по данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показали, что метод подпотенциального электрохимического осаждения обеспечивает селективное заполнение металлами областей ионных треков.

Эти результаты были подтверждены исследованиями поверхности полученных структур методом сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), рис.1. Видно, что при выбранных режимах осаждения происходит не только заполнение каналов ионных треков, но формирование выростов над ними на поверхности SiO<sub>2</sub>.

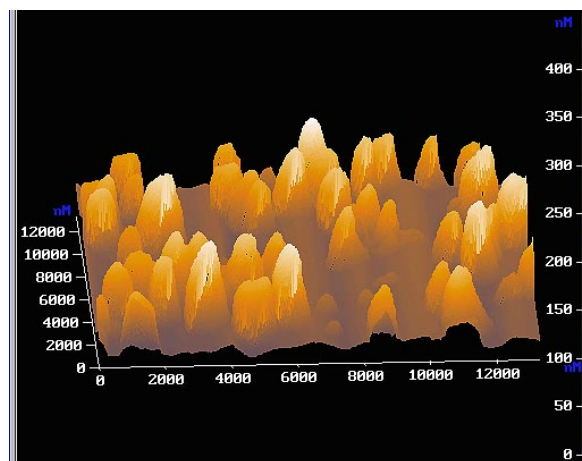


Рис. 1. Изометрическое изображение поверхности SiO<sub>2</sub> с протравленными ионными треками, заполненными Cu (метод СЗМ).

Fig. 1. Isometric image of SiO<sub>2</sub> surface with etched ion tracks filled with Cu (SFM method)

Для проведения измерений вольт-амперных характеристик исследуемых структур (n-Si/SiO<sub>2</sub>/Cu и n-Si/SiO<sub>2</sub>/Ni) наносились индиевые электроды при помощи ультразвуковой пайки. Данный метод был выбран в связи с тем, что он обеспечил омичность контакта, повторяемость результатов и механическую устойчивость. В результате проведения измерения вольт-амперных характеристик были получены результаты, представленные на рисунке 2. Данная ВАХ характерна для систем металл-диэлектрик-полупроводник с барьером Шоттки.

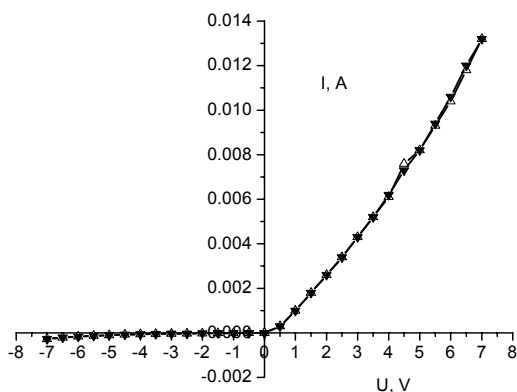


Рис. 2. ВАХ структуры  $n\text{-Si/SiO}_2/\text{Cu}$ .  
Fig. 2. Current-voltage characteristics of  $n\text{-Si/SiO}_2/\text{Cu}$  structure

Дальнейшие исследования многослойных наноструктур с чередующимися нанослоями из ферромагнитных и немагнитных нанокластеров позволят определить перспективность и целесообразность использования концепции электрически-анизотропной структуры на основе полупроводника (TEMPOS).

### III. Заключение

С использованием ионно-трековой технологии получены структуры  $n\text{-Si/SiO}_2$  с нанопорами в слоях диоксида кремния, заполненными частицами Cu и Ni. Методами СЭМ и СЗМ показана селективность заполнения нанопор металлами. Выбран метод нанесения контактов и получены результаты измерения ВАХ. Показана перспективность применения технологии TEMPOS для создания магниточувствительных спинтронных структур.

Авторы признательны Д.Финку (Хан-Майтнер-Институт, г.Берлин Германия) за помощь в облучении образцов, а также Е.А. Стрельцову (Белорусский государственный университет, г.Минск, Беларусь) за помощь в проведении подпотенциального электрохимического осаждения металлов.

### IV. Список литературы

- [1] *Fundamentals of Ion-Irradiated Polymers*. Ed. by D.Fink. Heidelberg. Springer Series in Materials Science. V.63. 2004.
- [2] Fink D., Petrov A. V., Hoppe K., Fahrner W. R., Papaleo R. M., Berdinsky A. S., Chandra A., Chemseddine A., Zrineh A., Biswas A., Faupel F., Chadderton L. T. // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 2004. V. B 218. P. 355.
- [3] Fink D., Petrov A. V., Fahrner W. R., Hoppe K., Papaleo R. M., Berdinsky A. S., Chandra A., Zrineh A., Chadderton L. T. // *International Journal of Nanoscience*. 2005. V.4. Nos. 5-6. P. 965.
- [4] Ivanou D., Streltsov E. A., Fedotov A. K., Mazanik A. V., Fink D., Petrov A. V. // *Thin Solid Films*. 2005. V.490. P.154.
- [5] Ivanova Yu. A., Ivanou D. K., Fedotov A. K., Streltsov E. A., Demyanov S. E., Petrov A. V., Kaniukov E. Yu., Fink D. // *Journal of Materials Science*, 2007, V. 42, No.22, p. 9163.

## NANOSTRUCTURES OF $\text{Si/SiO}_2/\text{METAL}$ SYSTEMS WITH SWIFT HEAVY ION TRACKS

Kaniukov E. Yu., Demyanov S. E., Petrov A. V.  
*Scientific-Practical Materials Research Centre  
NAS of Belarus*

19 P. Brovka Str., BY-220072, Minsk, Belarus  
Ph.: +375-17-284-11-93, e-mail: Ka.Egor@mail.ru

**Abstract** – Structures on the base of  $n\text{-Si/SiO}_2$  with nanopores in silicon dioxide layers filled with Cu and Ni particles are prepared by means of the swift heavy ion track technology, and investigated. A selectivity of nanopores filling with metals is shown. Current-voltage characteristics of the studied structures are carried out and a feasibility of the TEMPOS technology application for a creation of magnetically sensitive structures is presented.

### I. Introduction

A creation of structures with silicon substrate with its oxide containing ion tracks where, by means of the underpotential electrochemical deposition method, are formed multilayered nanostructures with sequential layers of ferromagnetic and non-magnetic nanoparticles, is promising from scientific and practical point of view. The use of developed TEMPOS ("Tunable Electronic Material in Pores in Oxide on Semiconductors") technology is feasible for a creation of the above mentioned magnetically sensitive structures.

### II. Main Part

By means of the swift heavy ion track technology, which includes irradiation by  $^{197}\text{Au}^{26+}$ , chemical etching of ion tracks and underpotential electrochemical deposition, structures on the base of  $\text{SiO}_2/n\text{-Si}$  with nanopores in silicon oxide layers, filled with Cu and Ni nanoparticles, has been prepared and studied. Selectivity of filling of nanopores with copper clusters was shown by scanning electron microscopy (SEM) and scanning force microscopy (SFM) methods. An appropriate method of contacts application has been chosen (indium contacts have been applied by an ultrasound welding method), and current-voltage measurement results are presented in Fig. 2. These results are characteristic for a metal-insulator-semiconductor system with the Schottky barrier.

Further investigations of multilayered nanostructures with sequential layers of ferromagnetic and nonmagnetic nano-clusters shall assist in determination of exploitability and feasibility of the electrically-anisotropic structure on the base of a semiconductor concept (TEMPOS).

### III. Conclusion

$n\text{-Si/SiO}_2$  structures with nanopores in  $\text{SiO}_2$  layers filled with Cu and Ni are obtained with the use of swift heavy ion track technology. A selectivity of filling of nanopores with metals is shown by SEM and SFM methods. An appropriate method of contacts application has been chosen, and current-voltage measurement results are obtained. A feasibility of the TEMPOS technology application for a creation of magnetically sensitive structures for spintronics is presented.