

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
Объединенный институт ядерных исследований
Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН
Межгосударственный фонд гуманитарного сотрудничества государств-участников СНГ
Министерство образования и науки РФ
Международная ассоциация академий наук

Конференция выпускников Высших курсов стран СНГ

для молодых ученых, аспирантов и студентов
по современным методам исследований
наносистем и материалов



Синхротронные и нейтронные исследования наносистем

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

СНГ
НАНО

17 - 21 июня 2012
Москва – Дубна, Россия



Исследование морфологии наноструктур Si/SiO₂/Металл с треками быстрых тяжелых ионов

Е.Ю.Канюков

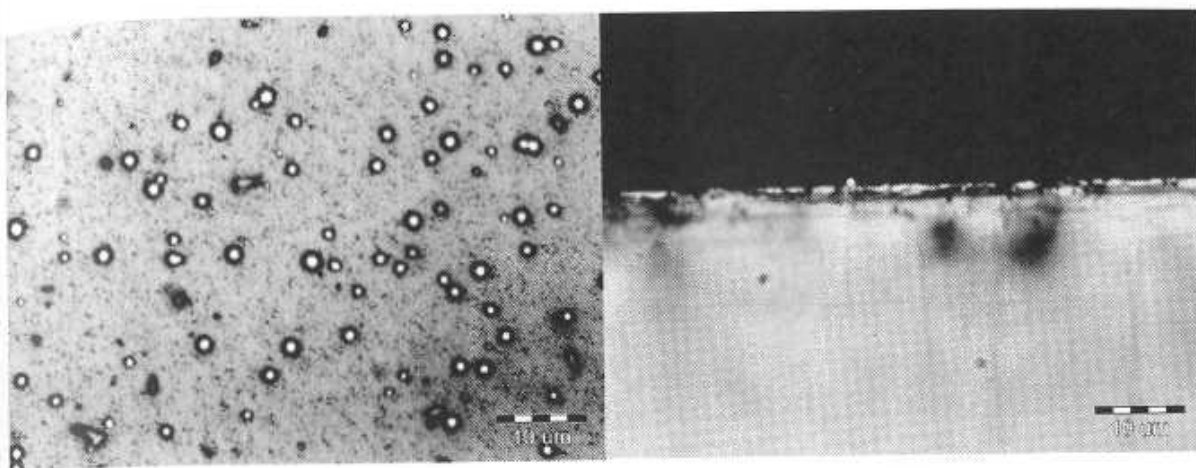
*НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск,
Республика Беларусь*

Рост затрат на производство современных электронных приборов приводит к необходимости поиска новых технологий, позволяющих существенно уменьшить размеры компонентов электронных устройств. Как показали исследования последнего десятилетия, хорошие перспективы имеет технология создания структур с использованием метода треков быстрых тяжелых ионов (БТИ), позволяющего формировать протяженные области радиационного повреждения (латентные ионные треки) при воздействии на вещество ионов с высокой энергией [1]. Последующее травление латентных треков приводит к образованию в поверхностном слое структуры распределенных случайным образом нанопор, форма и размеры которых задается выбором параметров облучения и травления [2–3]. Нанопоры целесообразно создавать в слое SiO₂ на Si в связи с органичной адаптацией получаемых структур к традиционной кремниевой технологии [4]. После селективного заполнения пор различными металлами и/или их композициями формируются структуры с различными электропроводящими характеристиками, весьма чувствительными к внешним воздействиям, которые могут найти свое применение в качестве рабочего элемента сенсорных устройств [5], эмиссионных дисплеев [6] и др. Так как физические свойства материалов тесно взаимосвязаны с особенностями их кристаллической и дефектной структуры, необходимо определить морфологические особенности наноструктур, получаемых с использованием технологии треков БТИ.

Экспериментальные образцы структур на основе подложек n- и p-Si/SiO₂ с нанопорами в слое диоксида кремния облучались быстрыми тяжелыми ионами

Au, Xe и U с различными флюенсами. После облучения проводилось травление образцов раствором плавиковой кислоты (HF) концентрацией 1,35 вес. % в течение 40 мин при температуре 20 ± 1 °C, что приводило к формированию во всех образцах стохастически распределенных пор конической формы с диаметрами оснований 200 нм на границе с Si и 250 нм – на поверхности слоя SiO₂. Путем электрохимического осаждения в поры меди или никеля создавались образцы структур Si/SiO₂/Металл, морфология которых изучалась на металлографическом оптический микроскопе «OLYMPUS GX41» (ОМ), сканирующем электронном микроскопе «LEO-1455VP» (СЭМ) и атомно-силовых микроскопах «Solver P47» и «NT-206» (АСМ).

В результате анализа изображений, полученных методом ОМ, для всех образцов была показана селективность заполнения Cu и Ni пор в слое SiO₂. Ниже приводятся некоторые результаты микроскопии образцов (рис.1). Хотя ОМ не позволяет точно определить размеры пор, тем не менее, она дает возможность подтвердить факт заполнения, определить тип металла (по цвету) и степень заполнения поры. Оценка результатов ОМ показала, что плотность распределения протравленных треков на единицу площади (см²) коррелирует по порядку величины с флюенсом облучения, однако имеет меньшие значения. Это связано с тем, что в связи с разбросом величин энергии облучения не все латентные ионные треки трансформируются в поры в результате травления. Анализ изображений боковых сколов образцов показал, что высота заполнения пор металлом соответствует толщине слоя SiO₂ и в некоторых случаях образуется небольшой «холмик» над поверхностью слоя SiO₂ (рис.1б).

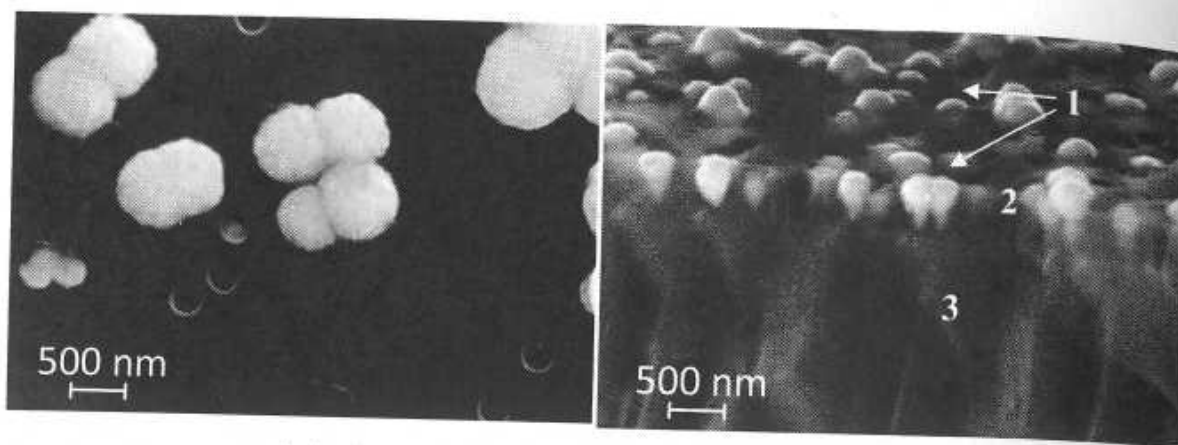


(a)

(b)

Рисунок №1. Изображения ОМ для образцов: а) p-Si/SiO₂, облученных ионами Хе с флюенсом $1 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$ с осаждением Ni в ионные треки (вид сверху), б) p-Si/SiO₂ облученных ионами Au с флюенсом $5 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$ с осаждением Си в ионные треки (скол)

Изучение поверхности образцов при помощи СЭМ подтвердило селективность осаждения металла в поры и образование выступов над поверхностью оксида кремния (рис.2). Анализ результатов СЭМ позволяет оценить: латеральные размеры пор, которые лежат в интервале 150–250 нм; плотность их распределения ($\sim 10^8 \text{ см}^{-2}$ при флюенсе $5 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$); определить среднее расстояние между порами ($\sim 500 \text{ нм}$). На рисунке 2б представлен скол перпендикулярно поверхности образца, который позволяет определить: толщину оксида кремния ($\sim 350\text{--}450 \text{ нм}$); что поры имеют форму конуса с конусностью $\sim 30\text{--}35^\circ$; на границе раздела p-Si/SiO₂ контакт металла с кремнием составляет всего несколько нм; поры, которые не достигают поверхности кремния, не заполнены металлом.

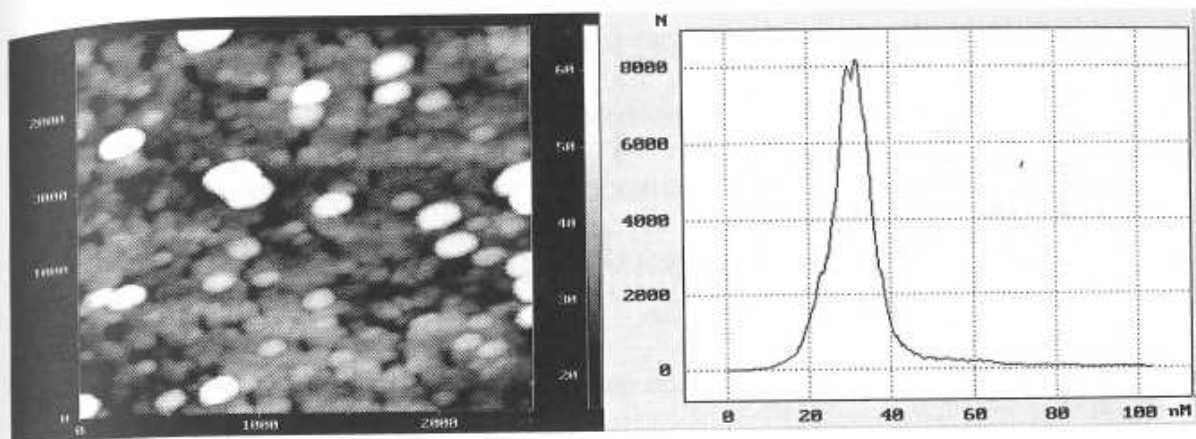


(a)

(b)

Рисунок №2. Изображения СЭМ образцов *n*-Si/SiO₂, облученных ионами Au с флюенсом $5 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$ с осаждением Ni в ионные треки: а) поверхность образца, б) скол, цифрами обозначены: 1 – никель, осажденный в поры оксида кремния, 2 – слой оксида кремния, 3 – подложка кремния

Исследования морфологии поверхности структур методами АСМ показали, что градиентное изображение поверхности SiO₂ с ионными треками, заполненными металлом (рис.3а), отражает изменение ее рельефа и свидетельствует о формировании выростов куполообразной формы над слоем SiO₂. Гистограмма распределения высот в пределах сканируемого участка (рис.1б) указывает на то, что выросты осажденного металла находятся в диапазоне от 10 до 60 нм, при наиболее вероятном значении (90%) 70–120 нм. В целом, по оценкам с помощью метода АСМ, высота выростов никеля для различных образцов составляет от 50 до 500 нм, в то время как расстояния между ними изменяются в диапазоне от 40 до 3500 нм, в зависимости от флюенса облучения ионами.

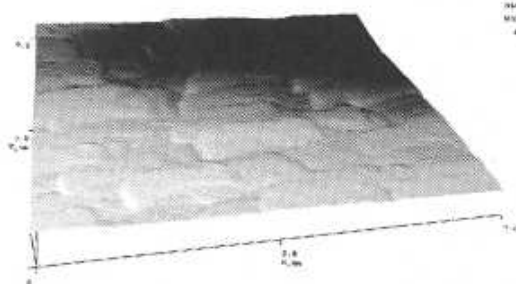


(a)

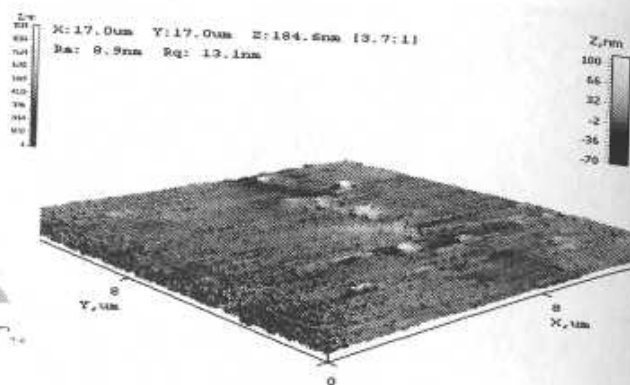
(b)

Рисунок №3. Изометрическое АСМ изображение поверхности образца p - Si/SiO_2 , облученного ионами Au с флюенсом $5 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$ с осаждением Ni в ионные треки (а); гистограмма распределения высот над поверхностью SiO_2 в пределах сканируемого участка (б)

На рисунке 4 даны АСМ изображения морфологии поверхности SiO_2 с медью в ионно-трековых нанопорах, полученных при облучении ионами He и сформированных на подложках кремния p - и r - типа. Из АСМ-изображения поверхности структур, сформированных на p - Si , (рис.4), видно, что количество нанопор, заполненных металлом, примерно в 3 раза меньше по сравнению со структурами на кремнии p -типа, а характерный размер выростов меди примерно в 1,5 раза больше и составляет 2–3 мкм.



(a)



(b)

Рисунок №4. Изображения АСМ морфологии поверхности образцов: а) *p-Si/SiO₂/Cu*, предварительно облученного ионами Хе с флюенсом 10^9 см^{-2} б) *p-Si/SiO₂/Cu*, облученного ионами Хе с флюенсом $5 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$

Таким образом, при проведении исследование методами ОМ, СЭМ и АСМ структур *p*- и *p-Si/SiO₂/металл* предварительно облученных ионами Au, Хе и U с различными флюенсами, показан селективный характер заполнения нанопор в слоях диоксида кремния на подложках кремния нанокластерами меди и никеля. При исследованиях не обнаружено существенных различий в ионно-трековой структуре образцов, облученных различными видами ионов. Показано, что для образцов на основе *p*- и *p-Si* результаты электрохимического осаждения различаются, в связи с изменением условий протекания данного процесса в зависимости от типа кремниевой подложки.

Литература

1. В.Ф. Реутов, С.Н.Дмитриев, Рос. Хим. Ж., XLVI, №5 (2002)
2. D. Fink, Fundamentals of Ion-Irradiated Polymers, Springer Series in Materials Science, vol. 63 (2004)
3. J.-H.Zollondz, A.Weidinger, Nucl. Instr. and Meth., B225 (2004)
4. Е.Ю. Канюков, С.Е. Демьянов, Материаловедение, 6, 53 (2010)
5. Канюков Е.Ю., Демьянов С.Е., Приборы и методы измерений, №1(2) (2011)
6. А.В. Окотруб, А.Г. Куреня, А.В. и др., Рос. Нанотехнологии, т. 4, №9-10 (2009)