

Сканирующая зондовая микроскопия кремниевых слоев имплантированных ионами серебра

А.М. Рогов¹, В.В. Воробьев¹, Ю.Н. Осин¹, В.И. Нуждин², В.Ф. Валеев², А.Л. Степанов^{1,2}

¹*Казанский (Приволжский) федеральный университет, междисциплинарный центр «Аналитическая микроскопия» 420008, Казань, Россия
alexeyrogov111@gmail.com:*

²*Казанский физико-технический институт им Е.К. Завойского КазНЦ РАН, 420029, Казань, Россия*

Описан способ формирования нанопористого кремния на поверхности монокристаллического Si при имплантации ионами Ag⁺. Методами СЗМ и СЭМ показано, что в результате на поверхности Si формируются аморфные слои нанопористого кремния со средними размерами пор ~130 нм, в структуре которых синтезируются наночастицы Ag диаметром от 5 до 20 нм.

Scanning Probe Microscopy of silicon layers after Ag⁺ implantation

A.M. Rogov¹, V.V. Vorobev¹, Y.N. Osin¹, V.I. Nuzhdin², V.F. Valeev², A.L. Stepanov^{1,2}

¹*Kazan Federal University, interdisciplinary center for analytical microscopy, 420008, Kazan, Russia*

²*Kazan Physical-Technical Institute, Russian Academy of science, 420029, Kazan, Russia*

An idea to create nanoporous silicon layers by low-energy high-dose Ag-ion implantation was realized. Surface structures were analyzed by scanning electron microscopy and scanning probe microscopy. It is shown that as a result there are a porous structure with a characteristic size ~130 nm on Si surface with Ag nanoparticles (diameter 5-20nm) inside.

Пористый кремний (PSi) является перспективным материалом оптоэлектроники и важным технологическим элементом в сенсорики, биосенсорики и элементах солнечных батарей. Интерес к исследованиям PSi был стимулирован открытием фотолюменции PSi в видимом диапазоне при комнатной температуре, которая объясняется размерным эффектом для носителей заряда. Ввиду вышесказанного поиск новых технологий получения и анализ структуры PSi является актуальной задачей современной науки и техники.

В настоящее время активно развивается направление наноплазмоники и фотоники, целью которого является повышение эффективности оптических свойств PSi, например, для повышения интенсивности фотолюминисценции, рамановского рассеяния и др., в идее которого лежит нанесение на поверхность или в структуру пористого кремния наночастиц благородных металлов [1-3]. Поверхностный плазмонный резонанс в металлических наночастицах, возбуждаемый под действием электромагнитной световой волны, приводит к появлению резонансного локального поля, что в свою очередь обеспечивает усиление оптических свойств композитного материала [4].

Для создания материалов типа Ag:PSi мы использовали метод низкоэнергетической высокодозовой имплантации ионами Ag⁺ монокристаллического кремния с кристаллографической ориентацией (100). Энергия ионов серебра составляла 30 кэВ при дозе облучения $1.5 \cdot 10^{17}$ ион/см² и плотности тока в ионном пучке 8 мкА/см². Наблюдение морфологии поверхности и элементный анализ проводился на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Merlin (Carl Zeiss). Измерения профиля и поперечных сечений пор PSi осуществлялось на сканирующем зондовом микроскопе FastScan (Bruker).

На основании СЭМ изображении поверхности Si, имплантированного ионами серебра проведены оценки размеров пор (~130-140 нм). Сформированный имплантацией слой PSi выглядит однородным на большой площади образца, что является важной характеристикой для ряда технологических приложений.

На Рисунке 1 приведены СЗМ-изображения участка поверхности PSi, полученные в режиме Nanomechanical mapping, которые оказались типичными для пористых кремниевых структур, сформированных другими методами. Представлен профиль отдельных пор, что позволило оценить глубину пор ~ 40 нм.

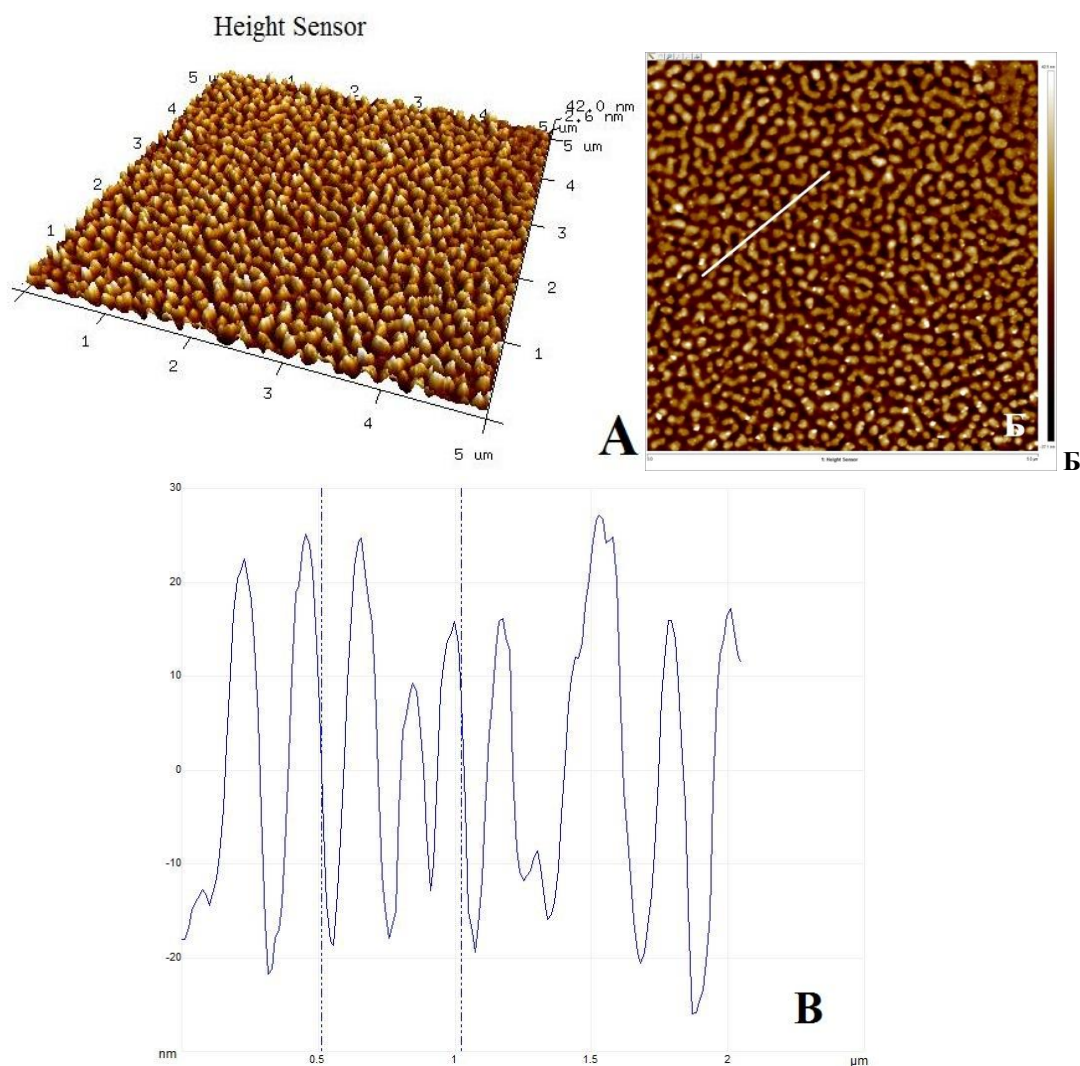


Рисунок 1. СЗМ-изображения поверхности слоя PSi с наночастицами Ag:
 (А) 3-d визуализация и (Б) топография поверхности.
 (В) поперечное сечение, зарегистрированное вдоль линии, показанной на (Б).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 17-12-01176.

1. V. Lehman, U. Gosele, *Appl. Phys. Lett.* **58**, 856 (1991).
2. H. J. Stein, S. M. Myers, D. M. Follstaedt, *J. Appl. Phys.* **73**, 2755 (1993).
3. А.Л. Степанов, *Фотонные среды с наночастицами, синтезированными ионной имплантацией* (Саарбрюккен : Lambert Acad. Publ.), 353 (2014).
4. U. Kreibig, M. Vollmer, *Optical properties of metal clusters* (Springer), 468 (1995).