

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показывают, что структуры, получаемые в процессе металл-стимулированного химического травления кремниевых подложек с повторным осаждением серебра, проявляют значительный коэффициент усиления Рамановского сигнала, что позволяет эффективно использовать их в качестве подложек для спектроскопии комбинационного рассеяния. Подложки такого типа просты в изготовлении и обладают высокой чувствительностью к малым концентрациям органических аналитов. Мы планируем провести изучение воспроизводимости параметров таких подложек и их стабильности с целью оценки возможностей их использования в практике биомедицинского анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Metal-Assisted Chemical Etching of Silicon: A Review / Z. Huang [et al.] // *Adv. Mater.* – 2011. – V. 23, № 2. – P. 285–308.
2. Low-concentration organic molecules detection via surface-enhanced Raman spectroscopy effect using Ag nanoparticles-coated silicon nanowire arrays / T. Luong [et al.] // *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* – 2013. – V. 4, № 1.
3. Towards quantitative SERS detection of hydrogen cyanide at ppb level for human breath analysis / R. Lauridsen [et al.] // *Sens. Bio-Sens. Res.* – 2015. – V. 5. – P. 84–89.
4. Wafer-Scale Leaning Silver Nanopillars for Molecular Detection at Ultra-Low Concentrations / K. Wu [et al.] // *J. Phys. Chem. C.* – 2015. – V. 119, № 4. – P. 2053–2062.

ФОРМИРОВАНИЕ МЕЗОПОРИСТОГО КРЕМНИЯ В ОХЛАЖДЕННОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

А. Д. Гурбо, В. П. Бондаренко

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013 Минск, Беларусь,
alexandragurbo@gmail.com, vitya51@mail.ru*

Методом электрохимического анодирования в электролите на основе фтористоводородной кислоты на кремниевых подложках электронного типа проводимости получены слои пористого кремния. Изучено влияние температуры электролита и плотности тока анодирования на скорость роста и пористость пористого кремния.

Ключевые слова: кремний; электрохимическое анодирование; кремниевые структуры.

FORMATION OF MESOPOROUS SILICON IN THE COOLED ELECTROLYTE

A. D. Hurbo, V. P. Bondarenko

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, P. Brovki Str., 6, 220013, Minsk, Belarus
Corresponding author: A. D. Hurbo (alexandragurbo@gmail.com)*

Using the method of electrochemical anodization in a solution based on hydrofluoric acid were obtained layers of porous silicon on the n-type wafers. The influence of temperature and current density on the growth rate and porosity of porous silicon was studied.

Key words: porous silicon; electrochemical anodisation; silicon structures.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование физико-химических свойств пористого кремния является актуальной задачей. Уникальные свойства пористого кремния в совокупности с простотой управления параметрами пористой структуры обеспечивают широкие перспективы его практического использования в оптоэлектронике и фотонике, сенсорных системах, биотехнологии и медицине [1].

Благодаря многолетним исследованиям установлена определенная зависимость пористости слоев пористого кремния, формируемых при электрохимической обработке кремниевых пластин, от плотности анодного тока. На рис. 1 приведена такая зависимость, полученная во многих работах для образцов пористого кремния, формируемых в результате анодирования сильнолегированного кремния электронного типа проводимости в 10% водно-спиртовом растворе фтористоводород-

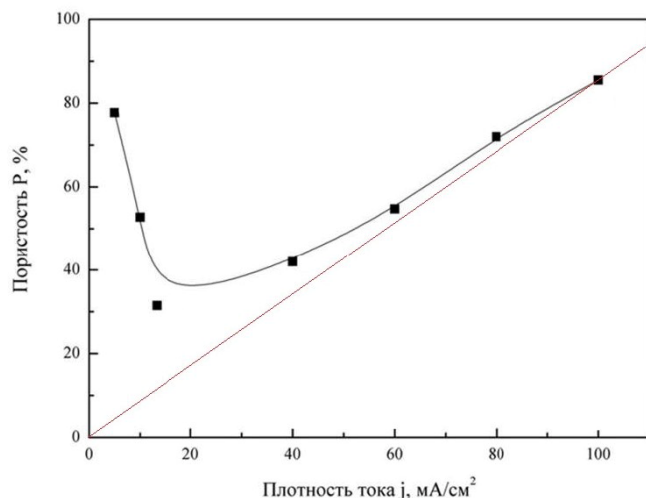


Рисунок 1. – Зависимость пористости от плотности тока

ной кислоты при комнатной температуре.

Как видно из рис. 1, для плотностей тока анодирования выше $20 \text{ mA}/\text{cm}^2$ наблюдается линейный рост пористости с увеличением плотности тока. В области низких плотностей токов анодирования (менее $20 \text{ mA}/\text{cm}^2$) пористость пористого кремния «неожиданно» возрастает. В литературе это обычно связывается с химическим травлением скелета пористого кремния при длительном анодировании. Это приводит к растравливанию стенок пор вглубь и в стороны, в то время как при электрохимическом процессе растравливание происходит только вглубь поры. Охлаждение электролита должно приводить к уменьшению химического травления и не должно влиять на электрохимический процесс.

Целью настоящего экспериментального исследования формирования пористого кремния является исследование влияния температуры электролита на кинетику формирования и структуру пористого кремния, получаемого методом электрохимического анодирования при плотностях анодного тока от 1 до $80 \text{ mA}/\text{cm}^2$.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения экспериментов использовались пластины монокристаллического кремния электронного типа проводимости, легированные сурьмой, с удельным сопротивлением 0,01 Ом·см, с кристаллографической ориентацией (100). Перед анодированием пластины кремния подвергались химической обработке в дихромате калия ($K_2Cr_2O_7$). После этого пластины промывались в дистиллированной воде. Слой собственного диоксида кремния удалялся с поверхности пластин в 4,5 % растворе плавиковой кислоты (HF). Электролит для анодирования состоял из 1 объемной части концентрированной (45%) плавиковой кислоты (HF), 3 частей дистиллированной воды и 1 части изопропилового спирта. Электрохимическое анодирование пластин при комнатной температуре проводилось в электрохимической ячейке, изготовленной из фторопласта, без освещения в зоне проведения эксперимента. Электрохимическое анодирование пластин в охлажденном растворе электролита проводилось в морозильной камере аналогично процессу при комнатной температуре, но до проведения электрохимического анодирования ячейка с электролитом помещалась на 30 минут в морозильную камеру. Для формирования пористого кремния использовался гальваностатический режим анодирования, при котором анодный ток через образец остается постоянным во времени. Для реализации гальваностатического режима в качестве источника постоянного тока использовался потенциогальваностат Metrohm Autolab PGSTAT 302N. Анодирование проводилось в диапазоне плотностей тока от одного до 80 mA/cm^2 . Измерение толщины полученных слоев проводилось с помощью микроскопа МИИ-4. Структурные исследования выполнены с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Hitachi S4800.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 и рис. 3 представлены зависимости скорости роста и пористости слоев пористого кремния от плотности тока при различной температуре электролита. Как видно из рис. 2, скорость роста пористого кремния уменьшается при анодировании в охлажденном электролите.

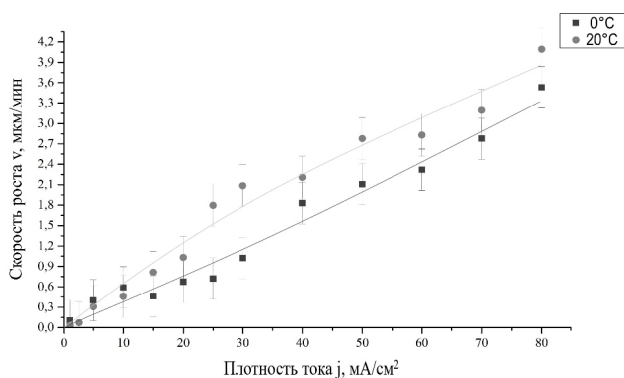


Рисунок 2. – Зависимости скорости роста мезопористых слоев, сформированных при различной температуре электролита, от плотности тока

Формирование пористого кремния в охлажденном растворе электролита позволяет изменить форму зависимости пористости от плотности анодного тока. При плотности тока менее 10 mA/cm^2 слои пористого кремния, сформированные в охлажденном растворе, обладают маленькой пористостью (менее 50%). Для объяснения полученного результата была изучена структура сформированных слоев пористого кремния. Результаты структурных исследований приведены на рис. 4.

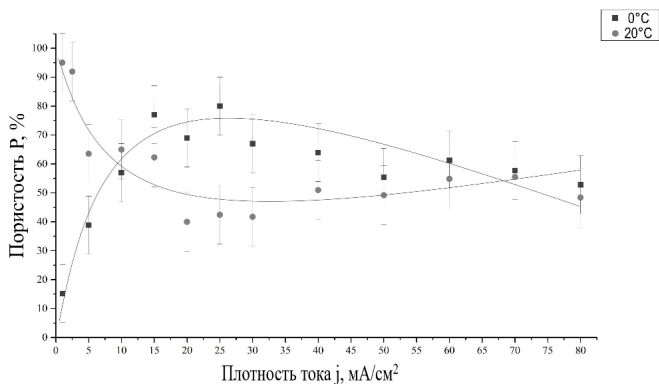


Рисунок 3. – Зависимости пористости мезопористых слоев, сформированных при различной температуре электролита, от плотности анодного тока

Как видно из СЭМ изображений, представленных на рис. 4, охлаждение раствора электролита приводит к серьезному изменению структуры пористого кремния.

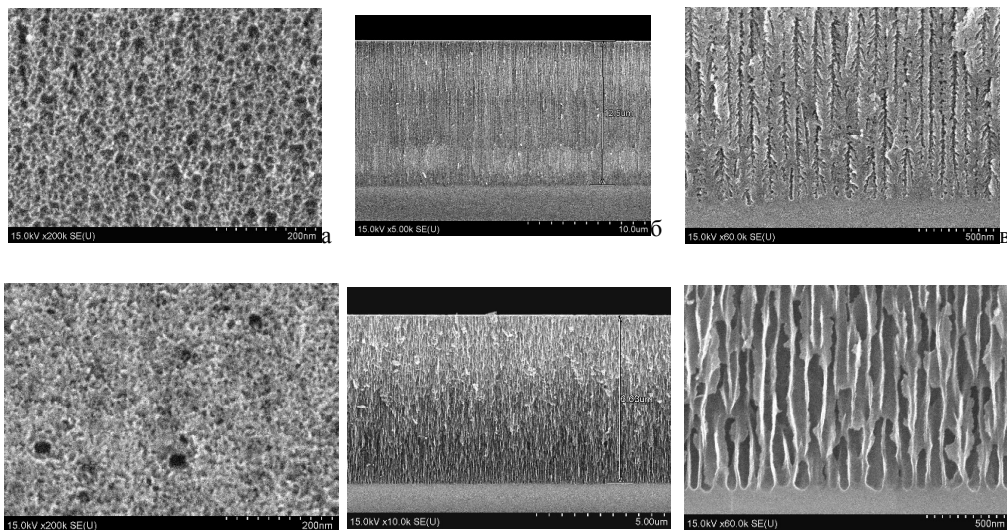


Рисунок 4. – Микрофотографии поверхности (а, з), скола (б, д), дна пор (в, е) пористого кремния, сформированного при комнатной температуре (а, б, в) и в охлажденном электролите (з, д, е)

Наблюдается уменьшение размеров каналов пор как на поверхности, так и во внутренних областях пористого слоя. Это является следствием уменьшения химического травления скелета пористого кремния при длительном анодировании, которое характерно при использовании низких плотностей анодного тока.

ВЫВОДЫ

Экспериментальные данные подтверждают влияние температуры электролита на скорость роста и пористость слоев пористого кремния. Полученные результаты объясняются в рамках представлений о химическом травлении скелета пористого кремния.

Установлены существенные различия в кинетике роста и структуре слоев пористого кремния, сформированного при комнатной температуре, и слоев пористого кремния, сформированных в охлажденном электролите. Полученные результаты позволяют оценить влияние температуры электролита на основе плавиковой кислоты на свойства пористого кремния и уточнить механизм растворения кремния при электрохимическом анодировании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Korotcenkov G. (Editor). Porous silicon: from formation to application // CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC, 2016.

ЭФФЕКТЫ СЛАБОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ И АНТИЛОКАЛИЗАЦИИ В УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ

В. А. Доросинец, В. А. Борисов

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь,
e-mail: dorosinets@bsu.by*

Проведены расчеты зависимости изменения электропроводности от магнитного поля для углеродных материалов в предграфитном состоянии. Определены значения параметров, при которых возможно наблюдение положительного магнитосопротивления в результате подавления эффекта антилокализации. Определены соотношения характеристических длин потери фазы волновых функций электронов, обеспечивающие согласование расчетных и экспериментальных кривых.

Ключевые слова: слабая локализация; антилокализация; электрон-электронное взаимодействие; углерод; спин-орбитальное взаимодействие.

WEEK LOCALIZATION AND ANTILOCALIZATION EFFECT IN CARBON MATERIALS

V. A. Dorosinets, V. A. Borisov

*Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus
Corresponding author: V. A. Dorosinets (dorosinets@bsu.by)*