

Рис. 2. Спектры люминесценции образцов $\text{SiO}_2(0,6 \text{ мкм})/\text{Si}$, имплантированных ионами олова при дозах $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ (а) и $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (б): 1 – без отжига; 2 – после отжига (800°C в течение 60 мин. на воздухе); 3 – после отжига (900°C в течение 60 мин. на воздухе)

ЛИТЕРАТУРА

1. Baumvol I.J.R. Isotopic substitution of Si during thermal growth of ultrathin silicon-oxide films on Si(111) in O_2 / I.J.R. Baumvol [et al.] // Phys. Rev. B. 1999. Vol. 60. P. 1492.
2. Takagahara T. Theory of the quantum confinement effect on excitons in quantum dots of indirect-gap materials / T. Takagahara [et al.] // Phys. Rev. B. 1992. Vol. 46. P. 15578.
3. Inoue Y. Single-electron tunneling through Si nanocrystals dispersed in phosphosilicate glass thin films / Y. Inoue [et al.] // J. Appl. Phys. 1999. Vol. 86. P. 3199.
4. Lopes J.M.J. Effect of annealing atmosphere on the structure and luminescence of Sn-implanted SiO_2 layers / J.M.J. Lopes [et al.] // Appl. Phys. Lett. 2005. Vol. 86. P. 023101.
5. Karim M. Physical Properties of Glasses in the system SnO-SnO_2 / M. Karim [et al.] // Phys. Chem. Glasses. 1995. Vol. 36. P.206.
6. Bent J. F. The structure of tin silicate glasses / J. F. Bent [et al.] // J. Non-Cryst Solids. 1998. Vol. 232-234. P. 300.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ, ИНИЦИИРУЕМОГО НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

С. А. Невзоров, А. И. Шерстнев, К. В. Гирель, В. П. Бондаренко

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
vitaly@bsuir.edu.by

В данной работе исследована методика получения пористого кремния методом химического травления, инициируемого наночастицами благородного металла. Проанализирована морфология полученных структур, выявлены закономерности формирования пористых структур.

Одним из методов формирования пористого кремния (ПК) является метод химического травления, инициируемого наночастицами благородного металла. В нашем случае в качестве благородного металла выступает серебро. Благодаря высокой каталитической активности серебра в процессе химического травления кремния возможно получение пористого кремния (в т. ч. кремниевых нанонитей), обладающего оп-

ределенными свойствами и пригодного для использования в таких областях, как наноэлектроника [1], оптоэлектроника [2], биомедицина [3], сенсорика [4, 5].

МЕТОДИКА

В качестве исходных подложек использовались пластины кремния *n*-типа, легированные сурьмой, с ориентациями (100) и (111), с удельным сопротивлением 0,01 Ом·см. Также использовались пластины кремния *p*-типа, легированные бором, ориентированные в плоскости (100), с удельным сопротивлением 12 Ом·см. Из пластин были вырезаны образцы размером 1 см². На первом этапе производилась очистка образцов от органических загрязнений в насыщенном растворе CrO_3 в H_2SO_4 и от естественного оксида в 4,5% HF . После очистки образцы помещались в раствор для химического осаждения серебра. В качестве раствора для осаждения серебра использовался водно-спиртовой раствор $AgNO_3$, HF . Время осаждения варьировалось от 3 до 30 минут. После осаждения образцы промывались этиловым спиртом и высушивались на воздухе. На следующем этапе образцы подверглись химическому травлению в водном растворе HF , H_2O_2 и C_2H_5OH . Время травления варьировалось от 5 до 60 минут. После химического травления остатки раствора удалялись в этиловом спирте и образцы высушивались на воздухе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метод химического травления, инициируемого наночастицами серебра, состоит из двух этапов: на первом этапе методом иммерсионного осаждения на поверхности монокристаллического кремния формируются наночастицы серебра размером от 10 до 100 нм, на втором этапе полученные структуры Si/Ag погружаются в раствор для химического травления, в котором под наночастицами серебра окисляется кремний и затем стравливается фтористоводородной кислотой. Таким образом, наночастицы серебра погружаются вертикально вглубь пластины, образуя поры.

На рисунке 1 изображены фотографии поверхностей и сколов кремниевых пластин после выдержки их в водном растворе серебра в течение 3 минут и химического травления в растворе с составом HF , H_2O_2 , C_2H_5OH в объемном соотношении 4:1:4 в течение 5 минут.

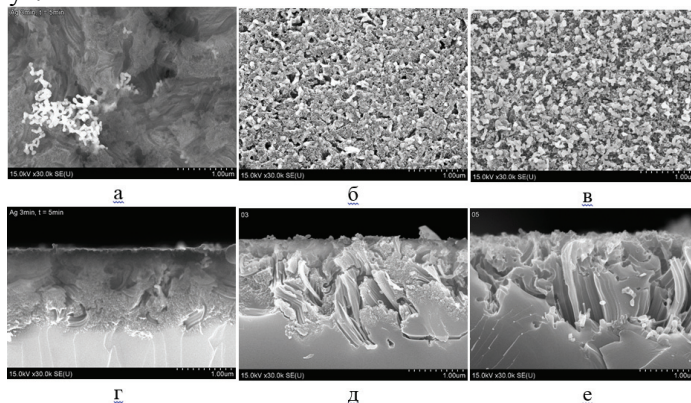


Рис. 1. СЭМ-изображения поверхности кремния марки КЭС 0,01 (100), КЭС 0,01 (111), КДБ 12 (100) (а), (б) и (в) соответственно и скола кремния марки КЭС 0,01 (100), КЭС 0,01 (111), КДБ 12 (100) соответственно

На рисунке 2 изображены фотографии поверхностей и сколов кремниевых пластин после выдержки их в водном растворе серебра в течение 3 минут и химического травления в растворе с составом HF , H_2O_2 , H_2O в объемном соотношении 1:1:3 в течение 5 минут.

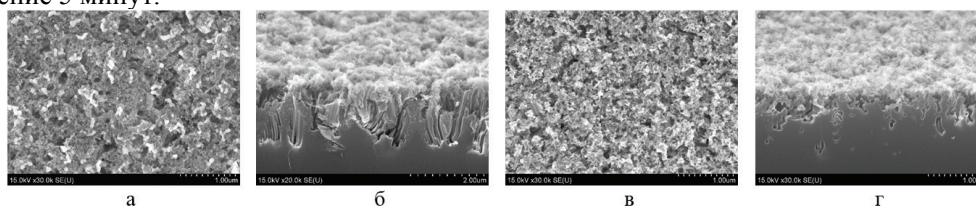


Рис. 2. СЭМ-изображения поверхности и скола кремния: КЭС 0,01 (100) (а) и (б) соответственно; поверхности и скола кремния марки КДБ 12 (100) (в) и (г) соответственно

Процесс химического травления и полученный результат во многом зависит как от раствора осаждения, так и от раствора травления. Из рисунков 1 и 2 видно, что полученный пористый кремний представляет собой неупорядоченную губкообразную структуру.

На рисунке 3 изображены фотографии поверхностей и сколов кремниевых пластин после выдержки их в водном растворе нитрата серебра в течение 30 минут и химического травления в растворе с составом: 5М HF + 0,3М H_2O_2 в течение 60 минут.

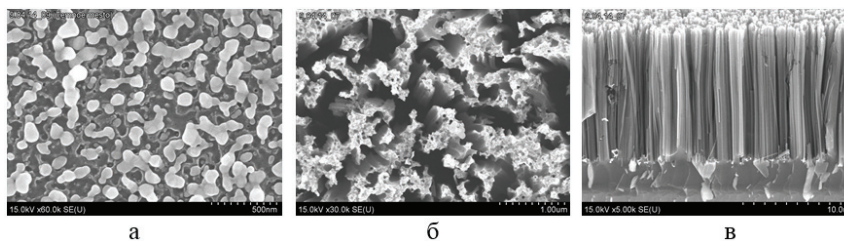


Рис. 3. СЭМ-изображения поверхности и скола кремния марки КДБ 12 (100) (а) и (б) соответственно

Из рисунка 3 видно, что после выдержки пластины в водном растворе нитрата серебра произошло частичное стравливание SiO_2 . Процентное соотношение площади пор и кремниевых кристаллитов на поверхности после травления составила 55% (рис. 3б). При выбранных параметрах травления кремния получена упорядоченная структура толщиной 12 мкм.

При концентрации H_2O_2 , которая выступает в роли окислителя в процессе травления, в количестве 10% (рис. 1) и 20% (рис. 2), получаемый материал имеет неупорядоченную губкообразную форму. При выбранных режимах химического травления кремния оптимальной концентрацией H_2O_2 является 16% вещества (рис. 3). При таком количестве перекиси водорода наблюдается формирование упорядоченной структуры пористого кремния. Одним из главных достоинств метода химического травления, инициируемого наночастицами благородного металла, является простота реализации, его дешевизна и возможность контроля различных параметров (толщина, поперечная форма, диаметр пор и пр.) [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Goldberger J.* Silicon vertically integrated nanowire field effect Transistors / J. Goldberger [et al.] // Nano Lett. 2006. № 6. P. 973.
2. *Tian B.* Coaxial silicon nanowires as solar cells and nanoelectronic power sources / B. Tian [et al.] // 2007. Nature. № 449. P. 885.

3. Ксенофонтова О.И. Пористый кремний и его применение в биологии и медицине / О.И. Ксенофонтова [и др.] Журнал технической физики. 2014. Т. 84. №1. С. 67.
4. Cui Y. Nanowire nanosensors for highly sensitive and selective detection of biological and chemical species / Y. Cui [et al.] // Science. 2001. №293. P. 1289.
5. Patolsky F. Fabrication of silicon nanowire devices for ultrasensitive, label-free, real-time detection of biological and chemical species / F. Patolsky [et al.] // Nature Protoc. 2006. №1. P. 1711.
6. Zhipeng H. Metal-Assisted Chemical Etching of Silicon: A Review / H. Zhipeng [et al.] // Advanced Materials. 2011. №23. P. 285.

МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЙ $\text{Sr}_{2-x}\text{Ba}_x\text{FeMoO}_{6-\delta}$ И ИХ АНАЛИЗ С УЧЕТОМ ДАННЫХ ПО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ

А. В. Петров¹, А. В. Блохин², Н. А. Каланда¹, Л. В. Ковалев¹

¹ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», petrov@physics.by

²Белорусский государственный университет

Последнее десятилетие ознаменовались открытием целого ряда оксидных материалов со структурой двойного перовскита ($\text{A}_2\text{FeMoO}_{6\pm\delta}$) ($\text{A} = \text{Ba}, \text{Ca}, \text{Sr}, \text{La}$ и др.), являющихся сильно коррелированными электронными системами и обладающих уникальными физико-химическими свойствами [1–3]. В данных материалах был обнаружен эффект гигантского магнитосопротивления, наблюдавшийся для некоторых составов при комнатных температурах и выше, как, например, в $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ (с температурой Кюри (T_c) в диапазоне 400 – 450 К). В качестве модельных объектов данного исследования были выбраны соединения $\text{Sr}_{2-x}\text{Ba}_x\text{FeMoO}_{6-\delta}$ (SBFMO), $0 < x < 1$, так как в них происходит изменение точечной дефектности в кристаллической решетке в широких диапазонах. По сравнению с исходными, более широко изученными соединениями $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$, твердые растворы SBFMO обладают важными преимуществами, связанными с введением добавки бария, а именно: более высокими значениями отрицательного магнитосопротивления, намагниченности насыщения и значительной величиной магнитокалорического эффекта в области комнатных температур за счет снижения T_c при введении в соединение бария [2]. Научная задача по изучению взаимосвязи магнитных и магниторезистивных свойств с термодинамическими характеристиками соединений SBFMO является актуальной, связанной с возможностью создания устройств электронной промышленности со специальными характеристиками.

Для синтеза образцов ферромолибдата стронция-бария в качестве исходных реагентов использовались реактивы SrCO_3 , BaCO_3 , Fe_2O_3 , MoO_3 марки “О.С.Ч.”. Термообработка образцов осуществлялась в резистивных термоустановках. Помол и перемешивание стехиометрической смеси исходных реагентов проводилось в планетарной шаровой мельнице типа «PM 100» производства фирмы Retsch GmbH (Германия). Полученные смеси сушились при температуре 350 К, прессовались в таблетки диаметром 10 мм, толщиной 4–5 мм и отжигались в политермическом режиме с последующей закалкой при комнатной температуре. Далее, образцы снова подвергались помолу в порошок с помощью планетарной шаровой мельницы.