

05.2

©1994

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ НИТЕЙ В МАТРИЦЕ ИЗ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

*С.А.Гусев, Н.А.Короткова,  
Д.Б.Розенштейн, А.А.Фраерман, В.Г.Шенгуров*

В последние годы большой интерес представляют системы малых магнитных частиц в связи с возможностью использования их для экспериментального изучения свойств объектов с пониженной размерностью. Особое практическое значение имеют системы частиц с сильной магнитной анизотропией как перспективные среды для сверхплотной магнитной записи [1-3]. В данной работе приводятся результаты получения и исследования системы ферромагнитных никелевых нитей в матрице из пористого кремния (ПК).

Особенностью ПК, формируемого при электрохимическом травлении кремния в электролитах фтористоводородной кислоты, является существование в нем каналов, ориентированных перпендикулярно поверхности кремния. Диаметр, длину и плотность этих каналов (пор) легко изменять, выбирая подходящий режим травления и тип кремния [4]. В наших экспериментах получение ПК проводилось при анодировании кремния КЭС 0.01 ориентаций (100) и (111) во фтористоводородно-спиртовом электролите с концентрацией кислоты в диапазоне 10-30% при плотностях тока 10-200 мА/см<sup>2</sup> в стандартной гальванической ячейке с платиновым катодом. Для определения морфологии пористого слоя изучались электронно-микроскопические изображения поверхности скола образцов в электронном микроскопе JEM2000EXII. На рис. 1 приведена фотография скола ПК. Пористый слой представляет собой систему каналов в кремнии с характерным диаметром ~ 10 нм и длиной 30 мкм.

Заполнение пор никелем проводилось методом электрохимического высаживания из солянокислого никелевого электролита при пропускании через гальваническую ячейку с никелевым анодом реверсивного тока с частотой 50 Гц и плотностью 10-50 мА/см<sup>2</sup>. Заполнение пор контролировалось по распределению интенсивностей линий характеристического излучения никеля и кремния вдоль скола образца, возбуждаемых при сканировании электронным

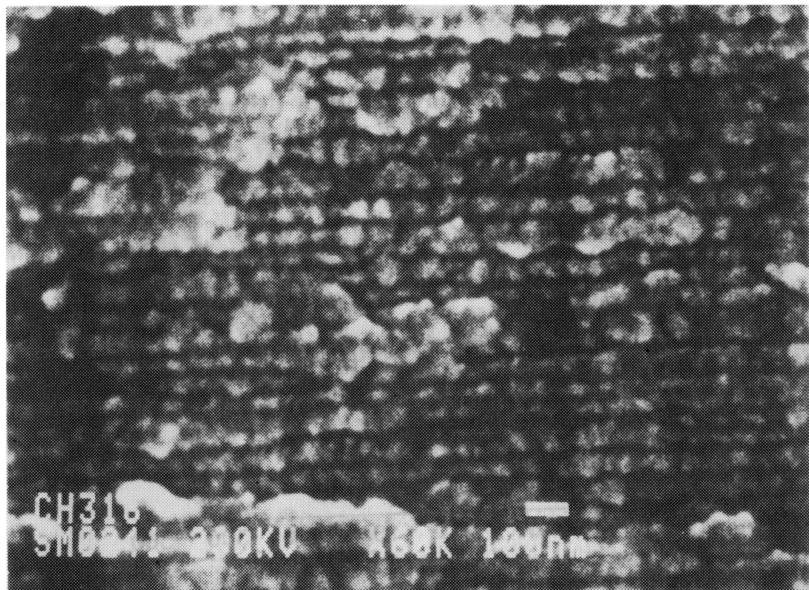


Рис. 1. Фотография электронно-микроскопического изображения поверхности скола пористого кремния при увеличении  $\times 60000$ .

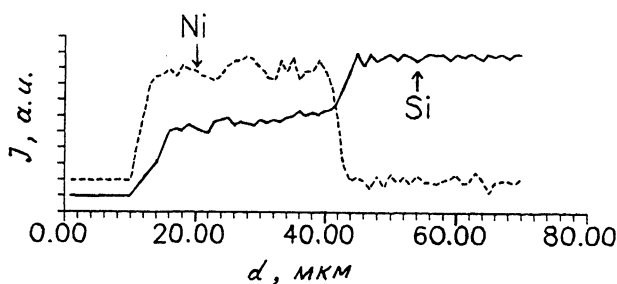
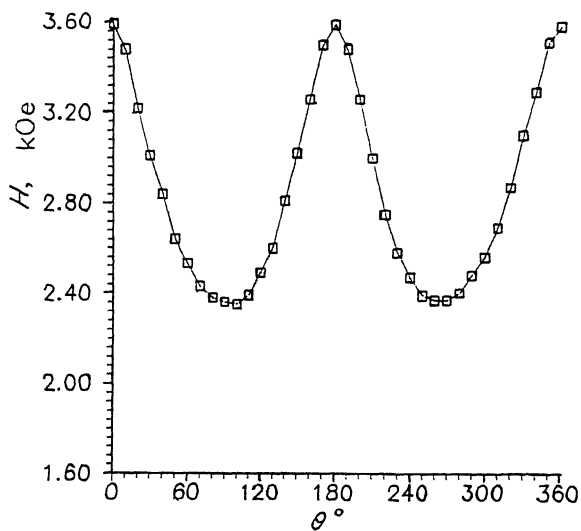


Рис. 2. Распределение интенсивностей линий характеристического излучения  $\text{SiK}_\alpha$  и  $\text{NiK}_\alpha$  вдоль скола образца.

пучком. Излучение регистрировалось анализатором LINK ANALYTICAL, совмещенным с электронным микроскопом. На рис. 2 приведено распределение интенсивностей линий  $\text{SiK}_\alpha$  и  $\text{NiK}_\alpha$ , которое свидетельствует о заполнении пор на всю глубину пористого слоя.

Магнитные свойства полученных образцов исследовались методом ФМР спектроскопии на частоте 9.5 ГГц в магнитных полях до 7 кГс с использованием ЭПР спектрометра PS100.X. На рис. 3 приведена зависимость величины резо-



**Рис. 3.** Зависимость величины резонансного поля ФМР от угла между плоскостью образца и направлением внешнего магнитного поля.

нансного поля от угла между плоскостью образца и направлением внешнего магнитного поля. Характер полученной зависимости свидетельствует о положительной одноосной магнитной анизотропии с осью, перпендикулярной поверхности образца и полем анизотропии 800 Гс. Для образцов с различной структурой пористой матрицы измеренная величина поля анизотропии лежит в диапазоне 300–2000 Гс.

Проведенные исследования свидетельствуют о получении нового композитного материала, представляющего собой систему ориентированных ферромагнитных нитей с характерным диаметром  $\sim 10$  нм и длиной свыше 30 мкм в немагнитной матрице из пористого кремния. Диаметр нитей сравним с магнитной длиной в никеле ( $\sim 30$  нм). Представленные результаты позволяют предположить существование квазиодномерных свойств у этого материала, которые должны проявиться при изучении температурного поведения магнитных характеристик.

Работа выполнена при частичной поддержке программы “Твердотельные наноструктуры”.

## Список литературы

- [1] *AlMawlawi D., Coombs N., Moskovits M.* // J. Appl. Phys. 1991. V. 70. N 8. P. 4421-4425.
- [2] *Lyberatos A., Chantrell R.W., Sterringa E.R., Lodder J.C.* // J. Appl. Phys. 1991. V. 70. N 8. P. 4431-4438.
- [3] *Abe M., Gomi M., Yokoyama F.* // J. Appl. Phys. 1985. V. 57. N 1. P. 3909-3911.
- [4] *Smith R.L., Collins S.D.* // J. Appl. Phys. 1992. V. 71. N 8. P. R1-R22.

Нижегородский исследовательский  
физико-технический институт

Нижегородского государственного  
университета;

Институт прикладной физики  
Нижний Новгород

Поступило в Редакцию  
3 января 1994 г.