

УДК 537.622

МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫЕ ФАЗЫ В ПЛЕНКАХ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО SiC

Д. т. н. А. В. Семенов¹, к. ф.-м. н. В. А. Пащенко², к. ф.-м. н. А. А. Козловский¹,
д. ф.-м. н. В. Ф. Хирный¹

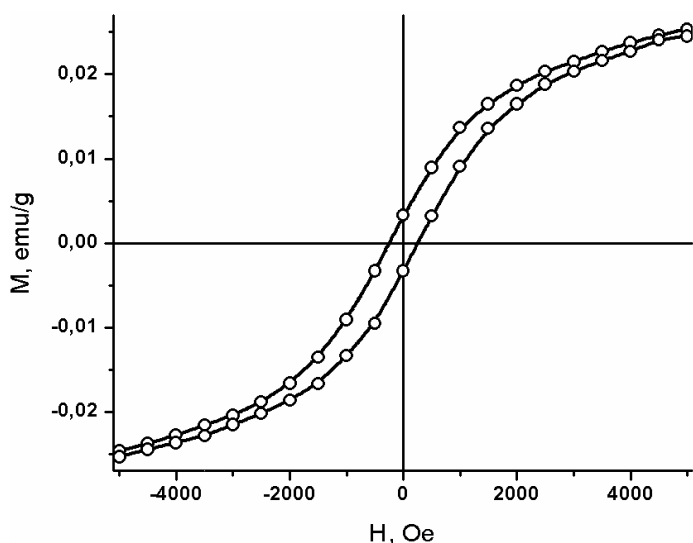
¹НТК «Институт монокристаллов», Институт монокристаллов НАН Украины,
²Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины
Украина, г. Харьков
semenov@isc.kharkov.ua

Изучен магнетизм пленок нанокристаллического SiC, полученных прямым ионным осаждением. Выделен вклад диамагнетизма, парамагнетизма и суперпарамагнетизма+ферромагнетизма. Сделан вывод, что индуцированные магнитоупорядоченные состояния в пленках нанокристаллического SiC обусловлены взаимодействием магнитных моментов нейтральных дивакансий $V_C V_{Si}$, образованных в нанокристаллах SiC.

Ключевые слова: карбид кремния, нанокристаллы, суперпарамагнетизм, дефектно-индуцированный ферромагнетизм

Развитие спиновой электроники требует создания новых магнитных материалов с высокой концентрацией спин-поляризованных электронов, необходимой для одновременного управления как зарядовыми, так и спиновыми состояниями их электронной подсистемы. Оригинальным подходом к решению этой задачи, который в последнее время вызывает большой интерес, является формирование спин-поляризованных состояний в немагнитных соединениях s - и p -элементов путем введения в них дефектов: решеточных вакансий или немагнитных sp -допантов [1]. Недавно радиационно-индуцированный ферромагнетизм был обнаружен в монокристаллах SiC после их ионной и нейтронной бомбардировок [2]. Для объяснения индуцированного ферромагнетизма была предложена модель, в которой рассматривается ферромагнитное упорядочение локальных магнитных моментов, сформированных $V_{Si}V_C$ дивакансиями благодаря перекрытию волновых функций этих дефектов. В [3] показано, что в пленках нанокристаллического SiC (nc -SiC) дефектные состояния нерадиационной природы также приводят к возникновению ферромагнетизма. Поскольку, в отличие от радиационных дефектов в монокристаллическом SiC, локализованных в тонких приповерхностных слоях облученных кристаллов, ростовые дефекты в слоях nc -SiC однородно распределяются по всей толщине слоев, магнитные пленки nc -SiC могут быть перспективным материалом для элементов спинтроники.

Целью настоящей работы было исследование магнитных свойств пленок nc -SiC, полученных прямым осаждением ионов углерода и кремния со средней энергией 100 эВ. Повышенная энергия ионов обуславливает радиационно-стимулированные ростовые процессы образования нанокристаллического SiC, и, в то же время, является дополнительным фактором, влияющим на образование вакансионных дефектов в нанокристаллах SiC. Для исследований была приготовлена серия образцов пленок nc -SiC на подложке из монокристаллического кремния при температуре 1150°C. Содержание нанокристаллической фазы составляло 83 ат.%. Нанокристаллы имели преимущественно ромбоэдрическую структуру $21R$ -модификации с примесями других политипов. Средние размеры нанокристаллов, определенные из данных рентгеноструктурного анализа, составляли 15—30 нм. Толщина пленок около 10 мкм. После осаждения пленки отделялись от Si-подложки путем растворения переходного слоя между пленкой и подложкой, содержащего естественный оксид подложки SiO₂, кислотой HF. Вес свободной пленки составлял 2,69 мг. Примесный состав пленок определяли методом микроанализа в растровом электронном микроскопе «JSM-6390LV» с анализатором «INSA-Energy 350». По данным микроанализа пленки примесей не содержали.



Петля гистерезиса намагниченности пленки *nc*-SiC
при $T=20$ К, $H_{\text{макс}}=50$ кЭ

На рисунке представлена форма петли гистерезиса, полученной при $T=20$ К после приложения максимального поля $H=50$ кЭ. Приведены кривые, построенные после вычитания диамагнитного и парамагнитного вкладов. Величина коэрцитивной силы составляет около 450 Э.

Таким образом, мы наблюдали магнетизм в пленках нанокристаллического SiC, полученных методом прямого ионного осаждения. При анализе экспериментальных полевых зависимостей намагниченности были выделены вклады диамагнетизма, парамагнетизма и суперпарамагнетизма + ферромагнетизма. В соответствии с литературными данными, мы полагаем, что природа индуцированного магнетизма в пленках *nc*-SiC заключается в корреляции магнитных моментов нейтральных дивакансий $V_C V_{Si}$ в отдельных нанокристаллах. Одновременное существование суперпарамагнетизма и ферромагнетизма в пленках нанокристаллического SiC может быть связано с широким распределением нанокристаллов по размерам в окрестности величины $r_0 \approx 10$ нм, принятой за критерий возможности реализации однодоменных либо многодоменных состояний.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ивановский А.Л. Магнитные эффекты в немагнитных sp-материалах, индуцированные sp-примесями и дефектами // Успехи физических наук.— 2007.— № 10.— С. 1083—1105.
2. Yu Liu, Gang Wang, Shunchong Wang, Jianhui Yang, Liang Chen, Xiubo Qin, Bo Song, Baoyi Wang, Xiaolong Chen. Defect-induced magnetism in neutron irradiated 6H-SiC single crystals // Phys. Rev. Lett.— 2011.— Vol. 106.— P. 087205.
3. Gopa Mishra, Sankar Mohapatra, Sasmita Prusty, Manoj Kumar Sharma, Ratnamala Chatterjee, Singh S. K. and Mishra D. K. Magnetic properties of nanocrystalline β -SiC // J. Nanosci. Nanotechnol.— 2011.— N. 6 — P. 5049—5053.

A. V. Semenov, V. A. Pashchenko, A. A. Kozlovskyi, V. F. Khirnyi
Magnetically ordered phases in nanocrystalline SiC films.

The authors study the magnetism in nanocrystalline SiC films obtained by the method of direct ion deposition. The contribution of diamagnetism, paramagnetism and superparamagnetism + ferromagnetism was singled out. It has been concluded that induced magnetically ordered states in nanocrystalline SiC films are caused by interaction of magnetic moments of neutral $V_C V_{Si}$ divacancies in SiC nanocrystals.

Keywords: *silicon carbide, nanocrystals, superparamagnetism, defects induced ferromagnetism*