

ИОННО-ЛУЧЕВОЙ СИНТЕЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНОК ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Co^+ в Si

В.В. Чирков¹⁾, Г.Г. Гумаров¹⁾, В.Ю. Петухов¹⁾, В.Ф. Валеев¹⁾, А.Е. Денисов²⁾

¹⁾Лаборатория радиационной химии и радиобиологии, КФТИ КазНЦ РАН, ул. Сибирский тракт, 10/7, Казань, 420029, Россия, chirkov672@gmail.ru

²⁾Центр нанотехнологий Республики Татарстан, ул. Петербургская, 50, Казань, 420107, Россия, ad@nanort.ru

При имплантации ионов Co^+ в пластины монокристаллического кремния во внешнем магнитном поле были синтезированы тонкие ферромагнитные плёнки силицида кобальта. Исследования методом сканирующей магнитополяриметрии показали, что образцы, имплантированные с дозой $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, обладают одноосной магнитной анизотропией. Выявлено отсутствие влияния внешних механических напряжений, создаваемых при имплантации, на магнитные свойства пленок силицида кобальта.

Введение

Синтез силицидов в кремниевой матрице представляет значительный интерес для создания различных приборов полупроводниковой электроники. В частности, магнитные силициды являются перспективными материалами для приборов спиновой электроники, обеспечивая инжекцию спин-поляризованных электронов в полупроводники, а полупроводниковые силициды – одними из основных кандидатов для приборов оптоэлектроники [1]. Ранее было предложено формировать силициды переходных 3d-металлов в кремнии методом ионно-лучевого синтеза (ИЛС) [2-4]. Позже методом ИЛС в магнитном поле были получены ферромагнитные наноструктурированные пленки силицида Fe_3Si , обладающие одноосной магнитной анизотропией [5]. При этом методом сканирующей магнитополяриметрии было показано, что при наличии механических напряжений направление осей анизотропии в плоскости пленок меняется [6].

Целью данной работы являлось исследование тонких пленок ферромагнитного силицида кобальта, полученного методом ИЛС в магнитном поле.

Эксперимент

Исходным материалом для ионно-лучевого синтеза служили пластины монокристаллического кремния типа КДБ-10 (111). Имплантацию ионов Co^+ с энергией 40 кэВ проводили при плотности ионного тока 5 мкА/см^2 . Были получены две группы образцов с дозами $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ и $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. В процессе облучения параллельно поверхности образцов прикладывалось магнитное поле напряженностью $\sim 200 \text{ Э}$.

Локальные магнитные свойства образцов исследовали с помощью оригинального сканирующего магнитополяриметра, который позволяет наблюдать меридиональный и экваториальный эффекты Керра. Азимутальные зависимости приведённой остаточной намагниченности M_r/M_s получали при вращении образца в плоскости пленки. Электронные Оже-спектры регистрировали с помощью Оже-микросонда JAMP-9500F, профилирование по глубине осуществлялось с помощью травления ионами аргона.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показаны кривые намагничивания, полученные методом магнитооптического эффекта Керра (МОЭК) в направлении ОЛН и ОТН для образца Si, имплантированного с дозой $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Для образцов, имплантированных с дозой $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, ферромагнитного отклика не наблюдается. Построенные для области точек 6×6 азимутальные зависимости приведённой остаточной намагниченности M_r/M_s образуют топограмму (рис. 2) и позволяют наблюдать наличие магнитной анизотропии и направление ОЛН и ОТН.

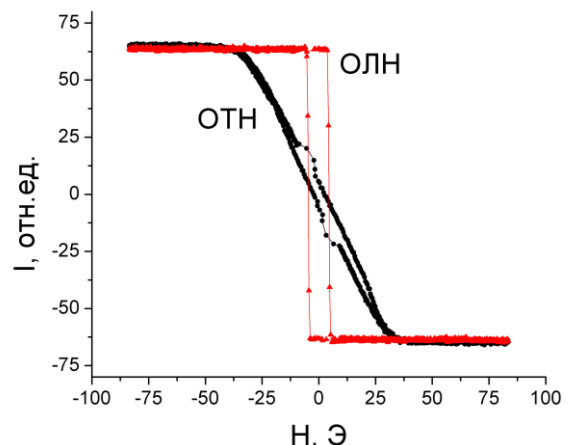


Рис. 1. Кривые намагничивания монокристаллического кремния, имплантированного ионами кобальта с дозой $3 \cdot 10^{17} \text{ ион/см}^2$ в магнитном поле $H \sim 200 \text{ Э}$.

Как видно из приведенной ниже топограммы, магнитная анизотропия образца является достаточно однородной – азимутальные кривые, измеренные в различных точках образца, практически идентичны. Необходимо отметить, что в процессе ИЛС в образцах присутствуют механические напряжения, связанные с их креплением на держателе. В случае имплантации ионов Fe^+ механические напряжения приводят к отклонению направлений ОЛН от направления внешнего магнитного поля. Такое различие, вероятно, связано с отсутствием влияния магнитострикции в случае синтеза силицидов Co. Известно, что константа магнитострикции аморфных соединений Co-Si-B на порядок меньше константы магнитострикции аморфных соединений Fe-Si-B [8].

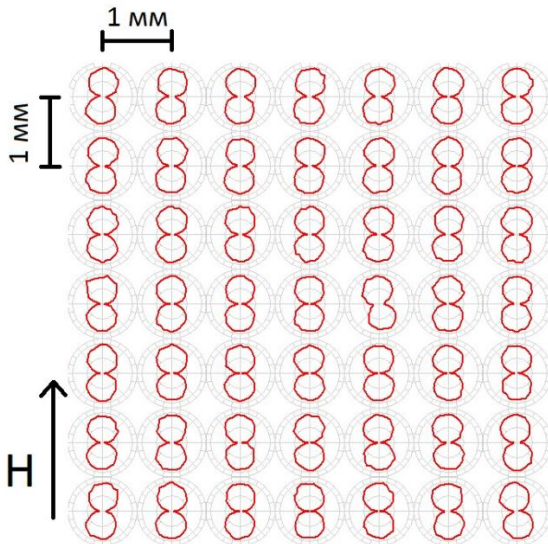


Рис. 2. Топограмма азимутальных зависимостей приведённой остаточной намагниченности монокристаллического кремния, имплантированного ионами кобальта с дозой $3 \cdot 10^{17}$ ион/см² в магнитном поле $H=200$ Э.

Как следует из данных МОЭК, коэрцитивная сила исследуемых пленок составляет ~ 10 Э. Это соответствует значению коэрцитивной силы, установленной для аморфных пленок $\text{Co}_x\text{Si}_{1-x}$ [8], полученных методом магнетронного распыления. Известно, что такие пленки теряют ферромагнитные свойства при $x \leq 0.65$. Следует ожидать, что для ионно-синтезированных пленок с дозой $3 \cdot 10^{17}$ ион/см², для которых наблюдается ферромагнетизм, эффективная концентрация атомов Co $x \geq 0.65$. Исследования, проведенные методом Оже-электронной спектроскопии, указывают на заметно большую концентрацию Co в образцах,

имплантированных с дозой $3 \cdot 10^{17}$ ион/см², чем с $2 \cdot 10^{17}$ ион/см².

Заключение

Таким образом, в работе было установлено, что:

- при имплантации ионов кобальта в кремний с дозой $3 \cdot 10^{17}$ ион/см² во внешнем магнитном поле наблюдается формирование силицидов с ярко выраженной одноосной магнитной анизотропией;
- в отличие от ферромагнитных силицидов железа в силициде кобальта не наблюдается зависимости направления ОЛН от приложенных во время ионно-лучевого синтеза механических напряжений.

Список литературы

1. Ionescu A. et al. // Phys. Rev. B71. 2005. 094401.
2. Петухов В.Ю., Хайбуллин И.Б., Зарипов М.М. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1985. № 2. С. 104-107.
3. Зарипов М.М., Петухов В.Ю., Хайбуллин И.Б. // Электронная промышленность. 1985. Т.140, № 2. С. 37-39.
4. Gumarov G.G., Petukhov V.Yu., Zhikharev V.A., Valeev V.F., Khaibullin R.I. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.B. 2009. V. 267. P. 1600.
5. Gumarov G.G., Konovalov D.A., Alekseev A.V., Petukhov V.Yu., Zhikharev V.A., Nuzhdin V.I., Shustov V.A. // Nucl. Instr. and Meth. B. 2012. V. 282. P. 92-95.
6. Алексеев А.В., Гумаров Г.Г., Коновалов Д.А., Петухов В.Ю., Нухдин В.И. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2014. № 11. С. 37-42.
7. Baczewski L. // Journal de Physique Colloques. 1985. V. 46(C6). P. 405-408.
8. Véléz M., Valvidares S. M., Diaz J., Morales R., and Alameda J. M. // IEEE transactions on magnetics. 2002. V. 38. № 5. С. 3078-3080.

ION-BEAM-SYNTHESIS OF FERROMAGNETIC THIN FILMS BY Co^+ IMPLANTATION INTO SILICON

V.V. Chirkov¹, G.G. Gumarov¹, V.Yu. Petukhov¹, V.F. Valeev¹, A.E. Denisov²

¹Kazan E. K. Zavoisky Physical -Technical Institute (KPhTI),
Sibirsky tract, 10/7, Kazan, 420029, Russia, chirkov672@gmail.com

²Nanotechnology Center of the Republic of Tatarstan,
Peterburgskaya St., 50, Kazan, 420017, Russia

A synthesis of silicides in a silicon matrix is of considerable interest for designing various semiconductor electronic devices. Earlier an ion beam synthesis (IBS) was proposed as an effective method for production of ferromagnetic silicides. Later IBS in a magnetic field has been used to obtain thin ferromagnetic nanostructured films of silicide Fe_3Si with an uniaxial magnetic anisotropy. Under mechanical stresses present in the film a variation of the in-plane magnetic anisotropy direction has been detected by the scanning magnetopolarimetric measurements. In the present work thin ferromagnetic cobalt silicide films were synthesized by Co^+ implantation into monocrystalline silicon in a magnetic field. The silicon wafers were implanted with 40 keV Co^+ ions with an ion current density of $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

The scanning magnetopolarimetric measurements showed that the samples implanted with a dose of $3 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-2}$ possess an uniaxial magnetic anisotropy. No ferromagnetic response was detected for the samples implanted with a dose of $2 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-2}$.

It should be noted that usually mechanical stresses originating from fastening a sample to a holder are present during the IBS process. Such mechanical stresses during implantation of Fe^+ ions result in a deviation of the directions of easy magnetization axes from that of the applied magnetic field. In contrast, for Co^+ implantation, no influence of external mechanical stresses on the magnetic properties of synthesized cobalt silicide films has been observed. This phenomenon is probably due to a negligible contribution of the magnetostriction during the Co silicide synthesis. Such an explanation is supported by the fact that a magnetostriction constant of amorphous Co-Si-B compounds is significantly smaller than that of amorphous Fe-Si-B compounds.