

энергомассопереноса потока нарастающей фазы, а также термодинамическими характеристиками процесса.

Учитывая эти особенности, можно предположить, что для пленок, полученных при меньшем времени нанесения, на процессы формирования структуры существенное влияние оказывала поверхность подложки, поскольку для образца №1 параметр планарности имел на порядок большее значение по сравнению с образцом №3, для которого время нанесения пленки существенно больше. Образец №3, в свою очередь, имел существенно бóльшую шероховатость и низкую планарность, что, по всей видимости, определяется ростом столбчатой структуры и ее укрупнением. Полученные результаты не противоречат имеющимся представлениям о механизмах роста и структурообразования тонких пленок, а также практическим результатам исследований других авторов, использовавших иные методы анализа структуры тонких пленок MoS₂. Проведенные исследования показали возможность использования предлагаемой методики для оценки планарности тонких пленок и отработки режимов их формирования.

Литература

1. Wonbong Choi, et al. Recent development of two-dimensional transition metal dichalcogenides and their applications. *Materials Today*, 2017, v 20 (3)
2. X. Huang , Z. Zeng , H. Zhang , Metal dichalcogenidenanosheets: preparation, properties and applications. *Chem. Soc. Rev.* 2013, 42, 1934
3. J Moser, H Liao and F Levy, Texture characterization of sputtered MoS₂ thin films by cross-sectional TEM analysis. *Journal of Physics D: AppliedPhysics.*1990, 23,624-626.
4. Андреева Н.В., Габдуллин П.Г. Исследования методами зондовой микроскопии. – СПб: Издательство Политехнического университета, 2012.

Многослойная тонкая пленка для продольного магнитного смещения магниторезистивных преобразователей

*Аунг Чжо Чжо, В.С.Зайончковский, *Н.С.Перов, **И.М. Миляев*

Калуга, КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, ул. Баженого, д.2

**Москва, МГУ им.М.В. Ломоносова, Воробьевы горы, д.1,стр.2, Физический факультет*

*** Москва, ИМЕТ РАН им.А.А. Байкова, Ленинский проспект, 49*

E-mail: akkyaw.bmstu.50@gmail.com

В работе получены многослойные тонкие пленки, содержащие дисперсионно-твердеющие ферромагнитные слои, которые могут найти применение в качестве источника постоянного магнитного поля. Данные пленки формировались магнетронным напылением, высококоэрцитивное состояние достигалось фотонным отжигом в высоком вакууме.

Multilayer thin film for longitudinal magnetic displacement of magneto-resistive transducers. Aung Chzho Chzho, V.S. Zayonchkovski, N.S. Perov, I.M. Milyaev. Multilayer thin films containing dispersive-hardening ferromagnetic layers that can be used as a source of a constant magnetic field are obtained. These films were formed by magnetron sputtering, the high-coercive state was obtained by photon annealing in high vacuum.

Введение

В настоящее время широкое распространение получают интегральные датчики магнитного поля или датчики тока, основанные на магнеторезистивном эффекте. Для реализации таких датчиков необходимо иметь источник магнитного поля, создающий планарное магнитное поле подмагничивания (смещения) магнеторезистивной пленки, для

приведения этой пленки в монодоменное состояние. Это приводит к исчезновению шумов, связанных со скачками Баркгаузена при работе датчика. Магнитное смещение может быть реализовано посредством осаждения на подложке магнитотвердой пленки различных составов, намагниченной до насыщения.

В качестве подложек для создания магнеторезистивных датчиков, содержащих смещающих слои и магнеторезистивные слои могут использоваться: монокристаллический кремний, подложки состава Al_2O_3 и другие. Очень высокие магнитные характеристики (коэрцитивная сила H_c , остаточная намагниченность M_r и максимальное магнитное произведение $(B \cdot H)_{max}$) могут быть достигнуты использованием составов сплавов пленок на основе редкоземельных металлов, полученных на кремниевых монокристаллических подложках, [2,3]. Недостатками этой структуры является использование в структуре дорогостоящего кобальта, сильно окисляющегося самария или неодима и формирование, в осажденном магнитотвердом слое, в ходе последующего отжига, текстуры с преимущественной осью, перпендикулярной плоскости подложки. Для борьбы с окислением редкоземельной компоненты, при магнетронном напылении этих составов, прибегают к созданию атмосферы сверхглубокого вакуума (до 10^{-9} Па). Кроме того, находят применение смещающие пленки на основе сплавов платины, [4], что приводит к значительному удорожанию мишени магнетронного источника.

Основная часть

В качестве альтернативы этим составам могут выступать магнитотвердые пленки на основе деформируемых сплавов семейства Fe-Cr-Co, [5]. Высокие магнитные характеристики деформируемых сплавов достигаются после дисперсионного твердения - спинодального распада пересыщенного твердого раствора, происходящего при отжиге.

В нашей работе пленки дисперсионно-твердеющих составов напылялись на модернизированной установке УВН-71ПЗ, в состав которой введены три магнетронных источника, работающих на постоянном токе. В качестве подложек использовались полированные подложки монокристаллического кремния, либо окисленные подложки монокристаллического кремния. Мишенью для напыления магнитного слоя являлся сплав состава Fe-Cr-Co. Состав магнитного дисперсионно-твердеющего слоя (ДТС) с хорошей точностью соответствует составу источника – мишени (при магнетронном нанесении пленок), что связано с близостью коэффициентов распыления ионами аргона основных компонентов ДТС - Fe, Cr и Co. В результате напыления получались пленки с высокой адгезией к кремнию и к слою оксида кремния, в связи с наличием в составе сплава компонента – хрома. Согласно источнику [5], высокую коэрцитивную силу сплавы Fe-Cr-Co могут приобретать только после отжига, который необходим для проведения спинодального распада пересыщенного твердого раствора. При этом имеет место разрушение контакта пленки дисперсионно-твердеющего состава с кремниевой подложкой, см. рис. 1 или со слоем оксида кремния на кремниевой подложке, см рис. 2. При проведении отжига с целью получения высококоэрцитивного состояния, происходит модуляция параметров кристаллической решетки дисперсионно-твердеющего слоя (ДТС), приводящая к вырыванию глубоких областей кремния. Так слой сплава Fe-Cr-Co (с примесями других элементов) толщиной 1 мкм, нанесенный на монокристаллическую подложку кремния, разрушает пластину кремния на глубину до 10 мкм (см. рис. 1, выполненный с помощью конфокального микроскопа NanoFocus, в исполнении «µsurf»). Введение промежуточного, между кремниевой подложкой и ДТС, адгезионного слоя, например, хрома, титана или ванадия, не приводит к компенсации локальных напряжений, возникающих при отжиге. При этом также имеет место разрушение поверхностных слоев кремниевой подложки с отслоением ДТС, либо отслоение всей составной пленки от оксида кремния либо от кремния, в случае окисленных подложек кремния. Составная пленка, содержащая слой ванадия и слой сплава Fe-Cr-Co, нанесенная на окисленную поверхность кремния, после отжига разрушает и слой SiO_2 , и монокристаллическую подложку (см. рис. 2).

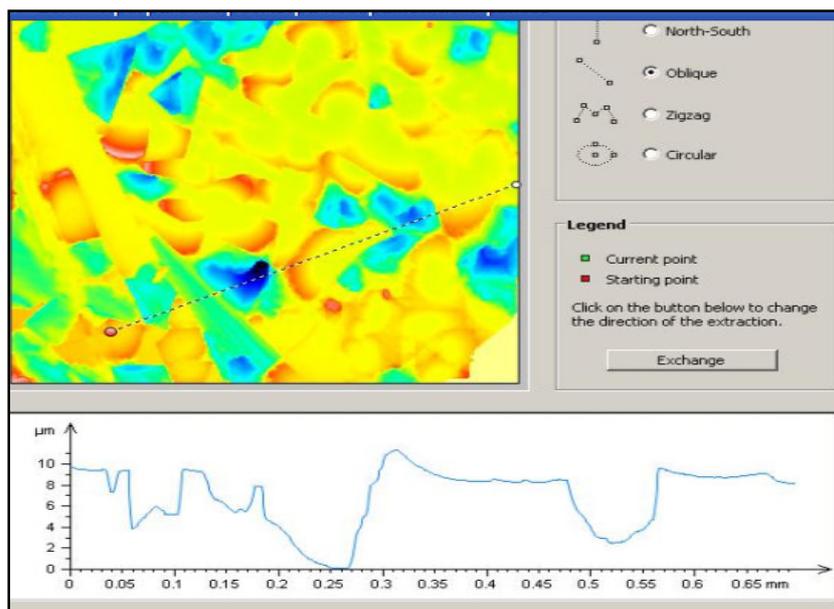


Рис. 1 Микроскопический снимок, полученный с помощью конфокального микроскопа NanoFocus, в исполнении «µsurf»: вид сверху и профиль поверхности вдоль пути (длиной 0.7 мм) с наибольшими повреждениями - разрушение кремниевой монокристаллической подложки многослойной пленкой (состава V/FeCrCo/V) после отжига при температуре спинодального распада (дисперсионного твердения).

Микроскоп NanoFocus любезно предоставлен руководством предприятия Растр-Технология, г. Обнинск. Сохранить структуру от разрушения позволяет введение дополнительного, компенсационного слоя – слоя меди. Медь не образует с основными элементами магнитного сплава FeCrCo интерметаллидных соединений. Но медь, не может быть применена в качестве адгезионного слоя. Наиболее подходящими адгезионными слоями в этой структуре являются хром или ванадий, которые имеют высокие адгезионные свойства к кремнию и к оксиду кремния.

Магнитные свойства структуры иллюстрируются рисунками рис. 2 ÷ 5, на которых представлены петли гистерезиса, снятые с использованием вибромагнетометра LakeShore -704 с параметрами: максимальная чувствительность $1-2 \cdot 10^{-7}$ Гс·см³, максимальное поле при комнатной температуре - 23 кЭ (при намагничивании в плоскости структуры) после получения (до отжига) и после отжига при температуре 650⁰С. Для определения величины коэрцитивной силы петли гистерезиса (на рис. 3 и рис. 5) показаны в увеличенном виде. После отжига величина коэрцитивной силы достигла значения 382 Э (30.2 кА/м), что является показателем, характерным для магнитотвердых составов, приведенных в ГОСТ 24897-81.

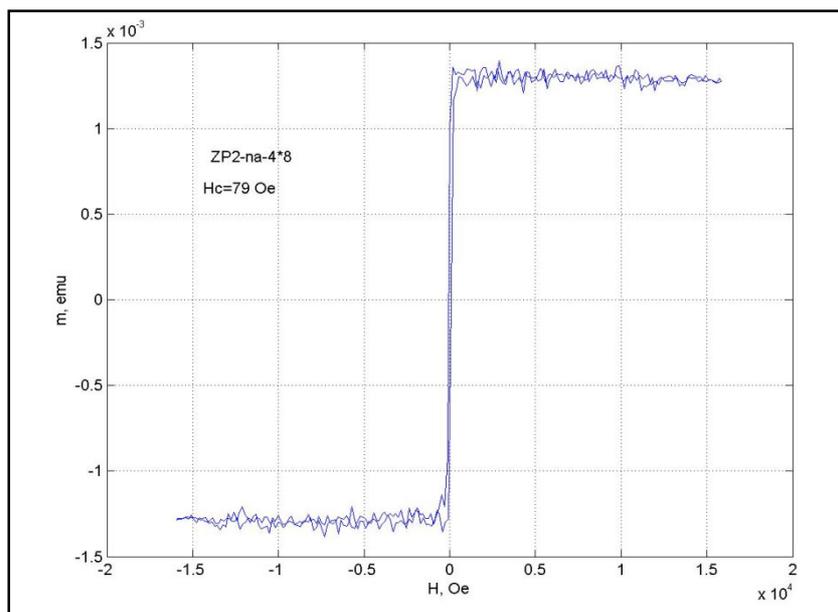


Рис. 2. Петля гистерезиса многослойной пленки, содержащей ДТС, после напыления.
Коэрцитивная сила - 79 Oe.

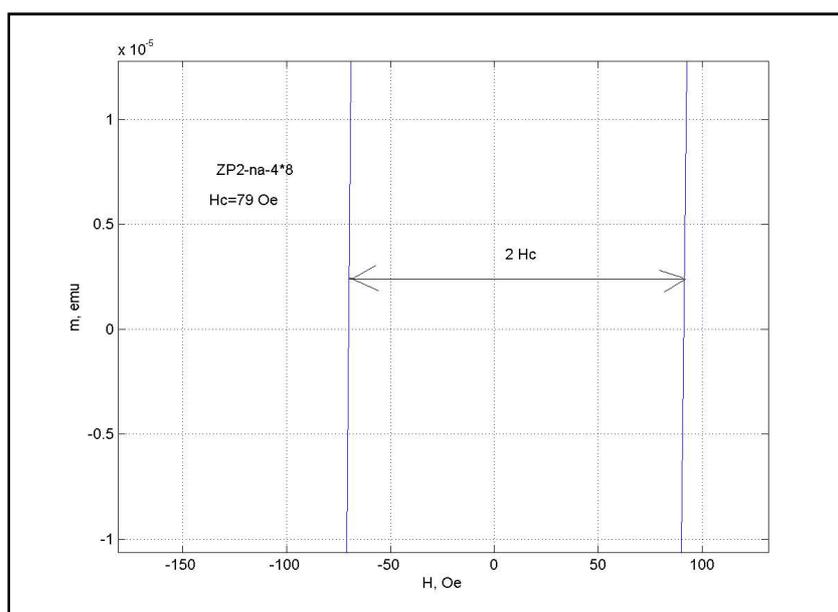


Рис. 3. Петля гистерезиса многослойной пленки, показанная на рис.2, после растяжки по осям. Коэрцитивная сила - 79 Oe.

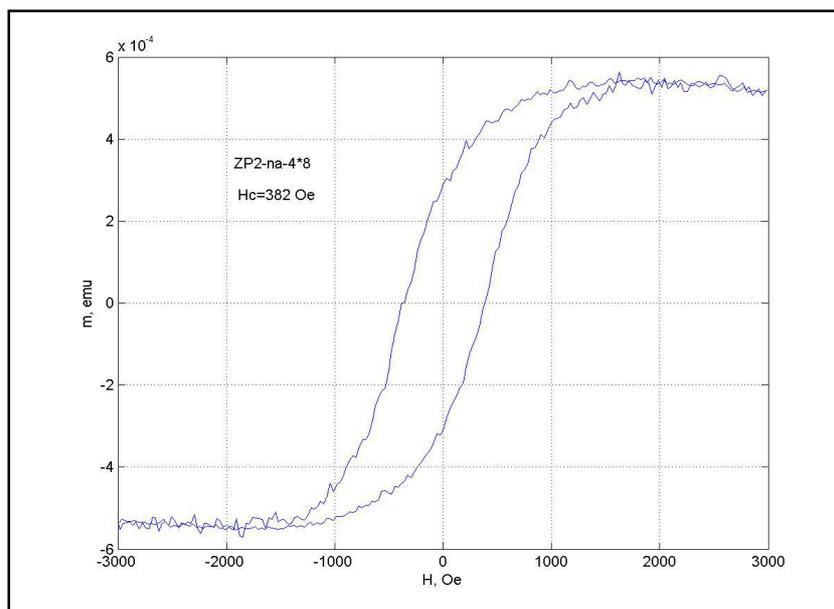


Рис. 4. Петля гистерезиса многослойной пленки, той же структуры, показанной на рис.2, после отжига. Коэрцитивная сила - 382 Oe.

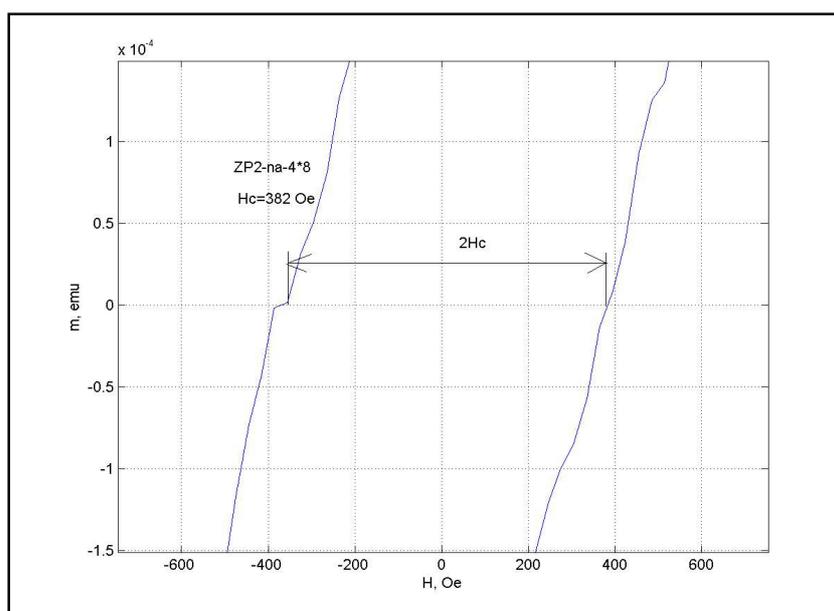


Рис. 5. Петля гистерезиса многослойной пленки, той же структуры, показанной на рис.2, после отжига, с растяжкой по осям. Коэрцитивная сила - 382 Oe.

Выводы

Предложена и реализована многослойная пленка, которая не содержит в своем составе сильноокисляющихся и драгоценных металлов, не образующих интерметаллидные соединения между собой и контактирующими слоями. Эта пленка может быть использована в качестве пленочного постоянного магнита для продольного смещения магниторезистивных преобразователей.

Литература

1. Masahiro Kitada, Yoshihisa Kamo, and Hideo Tanabe - Magnetoresistive thin-film sensor with permanent magnet biasing film.- Journal of Applied Physics 58, 1667 (1985), <https://doi.org/10.1063/1.336058>
2. Pulsed laser deposition of SmCo thin films for MEMS applications, Mirza Khurram Baig et al, Journal of Applied Research and Technology, Volume 14, Issue 5, October 2016, Pages 287–292.
3. <http://www.google.co.ao/patents/US8107201>
4. Lileev A. S., Parilov A. A., Blatov V. G. Influence of technological parameters on properties of hard magnetic Nd-Fe-B alloy films. — J. Magn. Magn. Mat., vol. 242 245, April 2002, pp. 1300 - 1303.
5. <https://www.google.ch/patents/US4174983>
6. Кекало И.Б., Самарин Б.А. Физическое металловедение прецизионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами: Учебник для вузов.- М.: Металлургия, 1989, 496 с.

Нанокompозиты и слоистые структуры: опаловые матрицы – металлы

*А.Ф. Белянин, *В.В. Борисов, **, ***А.С. Багдасарян, ****Г.В. Чучева, *****Б.В. Хлопов*
ЦНИТИ “Техномаш”, Москва, ул. Ивана Франко, 4, e-mail: belyanin@cniitit.ru

** НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские Горы 1, стр. 2*

*** Научно-производственное предприятие “Технологии радиочастотной идентификации и связи”, РФ, 127051, Сухаревская пл. 4, стр. 1*

**** Москва, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Моховая ул. 11-7*

***** Фрязинский филиал института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Московская область, ул. Введенского, 1*

****** Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им академика А.И. Берга, Москва, Н. Басманная ул., 20*

Рассмотрены условия формирования 3D-нанокompозитов на основе плотнейшей упаковки шаров SiO₂ диаметром ~250 нм (опаловых матриц), содержащих в межшаровых пустотах кристаллиты Ni₃Fe, Ni₂Fe₃, Co, Co+Ni и Fe, а также опаловых матриц с пленками Co и Ir. Проанализировано влияние состава и строения металлов, синтезированных в пустотах опаловых матриц и нанесенных на поверхность, на частотные характеристики диэлектрических и магнитных свойств нанокompозитов.

Nanocomposites and layered structures: opal matrices – metals. A.F. Belyanin, V.V. Borisov, A.S. Bagdasarian, G.V. Chucheva, B.V. Khlopov. The conditions of formation of 3D-nanocomposites based on dense packing of SiO₂ balls with the diameter of ~250 nm (opal matrices) containing in interstitial cavities crystallites Ni₃Fe, Ni₂Fe₃, Co, Co+Ni, and Fe are viewed, as well as opal matrices with films of Co and Ir. The influence of the composition and the structure of metals synthesized in the voids of opal matrices and deposited on the surface, on the frequency characteristics of dielectric and magnetic properties of nanocomposites is analyzed.

Введение

Одним из новых типов метаматериалов являются нанокompозиты на основе опаловых матриц (ОМ), упорядоченные пустоты которых заполнены различными веществами. ОМ представляют собой правильную упаковку шаров кремнезема (SiO₂), которые в зависимости от