ПОЛУЧЕНИЕ НАНОПРОВОЛОК НА ОСНОВЕ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН, ИХ МАГНИТНЫЕ И РАДИАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Д. Загорский[1)], И. Долуденко[1)], Д. Хайретдинова[1), 2)], С. Луккарева[1), 2)], О. Жигалина[1)], Н. Перов[3)], Ю Алёхина[3)], В. Овчинников[4)], В. Каневский[1)], А. Муслимов[1)]
[1)]*ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Ленинский пр. 59, Москва, Россия, dzagorskiy@gmail.com*
[2)]*Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Ленинский пр. 4, Москва 119049, Россия*
[3)]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1, Москва 119991, Россия*
[4)]*Институт электрофизики УрО РАН, ул. Амундсена 106, Екатеринбург 620016, Россия*

В работе изучены особенности применения продукта радиационных технологий - трековых мембран в получении металлических одномерных наноматериалов - нанопроволок (1-D структур). Рассмотрено получение одномерных нанопроволок (НП) различных типов - гомогенных и гетерогенных - слоевых. Выявлены особенности синтеза НП с тонкими слоями. Показаны результаты электронно-микроскопического исследования полученных НП различного типа. В анализе использовалась как сканирующая электронная микроскопия, так и просвечивающая электронная микроскопия. Для гомогенных НП показано, что, изменяя состав или геометрию, можно в широких пределах варьировать магнитные свойства. Для слоевых НП показана возможность изменять направление оси лёгкого намагничивания, меняя соотношение толщин слоёв. Приведены первые результаты изучения изменения магнитных свойств при радиационном воздействии полученных массивов НП. Показано, что при облучении ионами аргона низкой энергии изменяется как намагниченность насыщения, так и коэрцитивная сила. Выявлено различие в поведении двух типов НП (никелевой и кобальтовой), связываемое с различием типов кристаллической решетки.

Ключевые слова: матричный синтез; трековые мембраны; радиационное воздействие; магнитные свойства; электронная микроскопия.

OBTAINING OF NANOWIRES BASED ON TRACK MEMBRANES, THEIR MAGNETIC AND RADIATION PROPERTIES

D. Zagorskiy[1)], I. Doludenko[1)], D. Khairetdinova[1), 2)], S. Lukkareva[1), 2)], O. Zhigalina[1)], N. Perov[3)], Yu. Alechina[3)], V. Ovchinnikov[4)], V. Kanevskiy[1)], A. Muslimov[1)]
[1)]*FSRC "Crystallography and photonics", Russian Academy of Sciences, 59 Leninsky Ave., Moscow, Russia, dzagorskiy@gmail.com*
[2)]*National university of science and technology "MISIS" 4 Leninsky Ave., 119049 Moscow, Russia,*
[3)]*Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, 119991 Moscow, Russia*
[4)]*Institute of Electrophysic, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 106 Amundsena Str., 620016 Yekaterinburg, Russia, viae05@rambler.ru*

In this work the features of the application of the product of radiation technologies-track membranes in the production of metallic one-dimensional nanomaterials-nanowires (NWs, 1-D structures)-are studied. The preparation of one-dimensional NWs of different types – homogeneous and heterogeneous-layered is considered. The features of the synthesis of NWs with thin layers are revealed. The results of an electron microscopy study of the obtained NWs of different types are shown. The first results of studying the change in magnetic properties under radiation exposure on the obtained NWs arrays are presented/ It is shown that irradiation with low-energy argon ions changes both the saturation magnetization and the coercive force. A difference in the behaviou of two types of one-component NWs (nickel and cobalt) associated with the difference in the type of crystal lattice was revealed.

Keywords: matrix synthesis; track membranes; radiation effects; magnetic properties; electron microscopy.

Введение

Одним из применений радиационных технологий является получение трековых мембран (ядерных фильтров). Последние получаются путём облучения полимерной плёнки потоком высокоэнергетических ионов. Известно, что при прохождении сквозь полимер ионы оставляют т.н. латентные треки. Последующее химическое вытравливание этих треков приводит к образованию пор. Параметры поровой структуры могут регулироваться как за счёт условий облучения, так и за счёт условий химической обработки.

Первоначально применением трековых мембран была тонкая фильтрация. В начале 90-х годов прошлого века начало активно развиваться и другое применение - в качестве матриц для матричного синтеза. Суть последнего состоит в заполнении пор требуемым материалом и получении реплик (слепков) поровых каналов, имеющих вид тонких нитей, нанопроволок (НП).

Материалы, которые используют для заполнения и методы заполнения могут быть самыми разными. В настоящей работе поры в матрице заполняются металлами и при этом используется электрохимический (гальванический) метод. Важно отметить, что требования к трековой мембране, применяемой в фильтрации и для задач матричного синтеза могут сильно различаться. Так, для задач фильтрации требуется большая плотность пор и, как правило, применяют поры с наклонными каналами (для уменьшения вероятности пересечения). Для задач матричного синтеза часто требуются строго параллельные поры, часто с относительно невысокой поверхностной плотностью.

В работе рассмотрены особенности приготовления трековой матрицы. Так, режим облучения ионами (тип иона и его энергия, угол облучения) может подбираться исходя из последующих задач - получение матрицы с цилиндрическими или коническими каналами, с параллельными или разнонаклонными порами, со стенками пор с различной шероховатостью.

Целью настоящей работы было получение массивов нанопроволок (НП) из 3-d металлов – металлов группы железа – Fe, Ni, Co, а также из Cu, изучение их структуры, магнитных свойств и эффектов радиационного облучения.

Основная часть

Рассмотрено получение НП различных типов: гомогенные - из одного металла, или из нескольких металлов (т.н. сплавы), а также гетерогенные, состоящие из чередующихся слоёв различных металлов (или их сплавов). Исследованы особенности электроосаждения этих типов НП.

При получения однокомпонентных НП (из чистых металлов) обнаружена нелинейность процесса заполнения (замедление в начале и ускорение на конечном этапе). Показано, что эффект вызван конкуренцией двух процессов - истощения электролита и изменением электросопротивления растущей НП. Также показано, что характер заполнения пор зависит от их плотности: при высокой плотности пор диффузионные слои над «устьями» соседних пор сливаются в сплошной диффузионный слой над поверхностью всей мембраны, имеющий значительную толщину (до нескольких десятков микрон). Большое увеличение общей длинны слоя при этом приводит к изменению характера осаждения - он мало меняется при заполнении пор.

При получении НП из сплавов обнаружено сильное различие между железо-кобальтовыми и железо-никелевыми НП. В первом случае состав НП практически совпадает с составом электролита и мало изменяется по длине НП и/или при изменении ростового напряжения. В НП с никелем наблюдается значительное увеличение содержания железа по сравнению с составом электролита. Связано это с аномальным соосаждением железа, приводящим и к изменению состава НП по длине.

При получении слоевых НП решался вопрос контроля состава отдельных слоёв - при использовании т.н. одновааннового способа получения в каждом слое неиз-

бежно присутствует примесь другого металла. Также задачей был контроль толщины слоёв и получение тонких слоёв, а также получения чётких и плоских границ между слоями – оба этих фактора важны, например, при изготовлении элементов спинтроники. Было показано, что наилучшие результаты могут быть получены при использовании режима контроля заряда, при использовании т.н. трёхэлектродного метода осаждения (с электродом сравнения) и при замедлении процесса (за счёт разбавления электролита или за счёт понижения его температуры). Примеры полученных СЭМ и ПЭМ изображений приведены на рис.1.

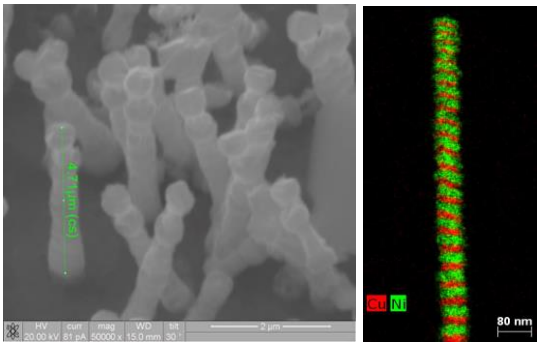

Рис. 1. СЭМ и ПЭМ изображение слоевой НП

Исследование магнитных свойств показало, в частности, что за счёт уменьшения толщины НП можно значительно увеличить коэрцитивную силу (К.С., в НП из сплава FeNi). Зависимость КС от состава в НП из сплава FeCo имеет два максимума (в отличие от объёмных сплавов). Полученные результаты показаны на рис. 2.

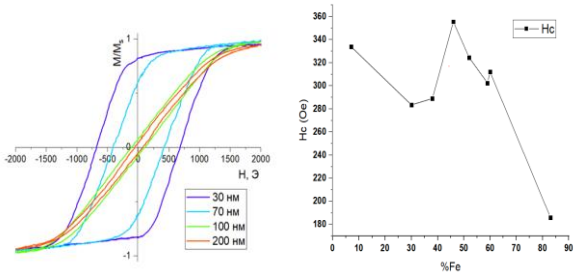

Рис. 2. Петли гистерезиса для FeNi НП разного диаметра и зависимость Hc от состава для FeCo НП

В слоевых НП направление оси лёгкого намагничивания может изменяться в зависимости от соотношения толщин магнитных и немагнитных слоёв (рис. 3).

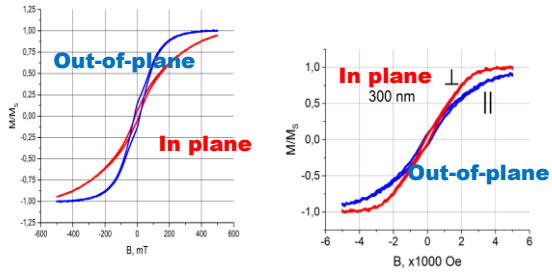

Рис. 3. Ось лёгкого намагничивания направлена вдоль оси НП (для толстых слоёв магнитного металла) и поперёк оси НП (для тонких слоёв)

Проведено исследование изменения магнитных свойств НП из кобальта и никеля (НП с диаметром 100 нм) при радиационном воздействии - облучении ионами аргона с энергией 15 кэВ до дозы $6 \cdot 10^{14}$: при облучении образцов кобальтовых НП (с гексагональным типом решетки) наблюдается немонотонное изменение параметров гистерезиса – рост, затем спад намагниченности насыщения и остаточной намагниченности. Коэрцитивная сила при этом увеличивается. При облучении образцов никелевых НП (с кубическим типом решетки) наблюдается монотонный рост намагниченности насыщения и спад коэрцитивной силы.

Заключение

Показана эффективность использования трековых мембран для получения наноразмерных материалов – НП различных типов. Показаны особенности управления составом НП и приведены электронно-микроскопические изображения. Показано, что магнитные свойства могут сильно отличаться от объёмных аналогов и варьироваться в зависимости от размерных параметров. Первые результаты по влиянию низкоэнергетического облучения показали, что оно по-разному влияет на магнитные свойства НП из никеля и из кобальта: это может быть связано со структурой.

Работа выполнена при поддержке Гранта РНФ 22-22-00983.