

## СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОПРОВОДОВ 3Д-ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ МАТРИЦЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Дрягина А.Е.<sup>1</sup>, Горьковенко А.Н.<sup>1</sup>, Кулеш Н.А.<sup>1</sup>, Васьковский В.О.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>) Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>) Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: dryagina.nastya@list.ru

## SYNTHESIS AND MAGNETIC PROPERTIES OF 3D TRANSITION METALS AND ALLOYS NANOWIRES IN THIN-FILM ALUMINUM OXIDE FILM

Driagina A.E.<sup>1</sup>, Gorkovenko A.N.<sup>1</sup>, Kulesh N.A.<sup>1</sup>, Vaskovski V.O.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>) Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>) Institute of Metal Physics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Synthesis method of magnetic Ni, Co, Fe-Ni and Fe-Co nanowires in thin Al film. Analysis properties confirmed strong shape anisotropy and absent of significant oxidation of magnetic material. The proposed synthesis method allows for adding electrical contacts to both surfaces of the nanowire array.

Магнитные нанопровода, синтезированные с использованием шаблона анодированного алюминия, представляют существенный интерес благодаря возможности настройки длины и диаметра, и получения структур с модуляцией по составу или диаметру. Возможные области применения: запись информации, оптические системы, магнитная сенсорика, и др. [1] Ключевой проблемой для широкого использования подобных систем является отсутствие эффективных методов синтеза в рамках стандартного техпроцесса микроэлектронной промышленности. Настоящая работа является начальным этапом реализации подобной методики и направлена на получение и анализ магнитных свойств металлических нанопроводов сплавов Ni, Co, Fe в тонкопленочном слое анодированного алюминия. Преимуществом такого подхода является потенциальная возможность использования подложек из практически любого материала и создания электрических контактов, подведенных к обеим торцевым поверхностям массива.

В качестве основы для синтеза использовались стеклянные подложки, покрытые слоем высокочистого алюминия толщиной 1.5 мкм методом магнетронного распыления. Двухэтапное анодирование проводилось в водном растворе щавелевой кислоты (0,3 М) при комнатной температуре и напряжении 40 В. [2] В конце второго этапа анодирования была использована процедура истончения барьерного слоя путем постепенного уменьшения электрического напряжения. На

последнем этапе синтеза проводилось электролитическое осаждение чистых металлов и сплавов Ni, Co, Fe с использованием электролитов на водной основе. В качестве источника ионов выступали хлориды и сульфаты чистых металлов. Интегральный состав осажденного сплава определялся непосредственно на каждом образце методом рентгенофлуоресцентного анализа. Магнитные свойства полученных образцов были исследованы с помощью вибрационного магнетометра.

Анализ морфологии полученных образцов методом сканирующей электронной микроскопии подтвердил заданное значение диаметра нанопроводов 50 нм, средняя длина - 300 нм. Измерения петель гистерезиса проводились в двух направлениях: вдоль и перпендикулярно оси проводов. Полученные оценки величины магнитного момента для всех выбранных составов приблизительно соответствовали ожидаемым значениям, что является показателем малого влияния окислительных процессов. В качестве примера на рисунке 1 показаны петли гистерезиса, полученные на образце магнитомягкого сплава  $\text{Fe}_{23}\text{Ni}_{77}$ . Форма петель гистерезиса и высокое значение коэрцитивной силы при измерении вдоль оси нанопроводов указывают на наличие сильной одноосной магнитной анизотропии, что подтверждает преобладающий вклад анизотропии формы. В результате были получены массивы нанопроводов Ni, Co, Fe-Ni и Fe-Co, выполнен анализ их гистерезисных свойств. Данная методика может быть использована для синтеза массивов магнитных нанопроводов на подложках практически любого материала, а ее технологические особенности могут позволить обеспечить подведение электрических контактов с обеих торцевых поверхностей нанопроводов.

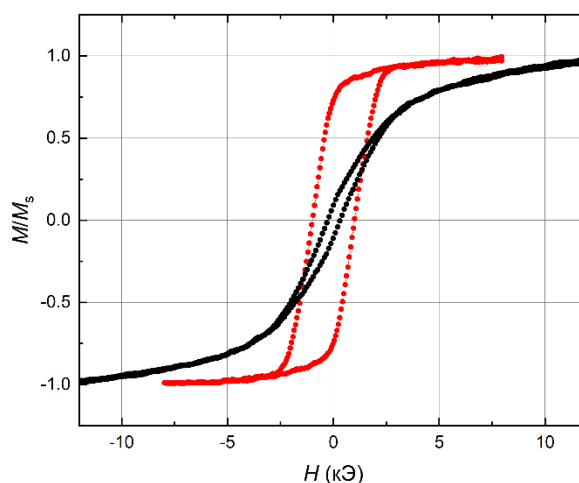


Рис. 1. Петли гистерезиса, полученные на образце массива нанопроводов  $\text{Fe}_{23}\text{Ni}_{77}$ , выращенном в тонкопленочном слое анодированного алюминия на стеклянной подложке, при измерении вдоль (красные точки) и перпендикулярно (черные точки) оси проводов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FEUZ-2020-0051*

1. Lee W. and Park S.J. Porous Anodic Aluminum Oxide: Anodization and Templated Synthetic of Functional Nanostructures, Chem. Rev.- V. 114,- pp. 7487–7556 (2014)
2. Dryagina A., Kulesh N., Vas'kovskiy V.O. and Patrakov E. Synthesis and Magnetic Properties of Co Nanowires/PVDF Composites // IEEE Magnetics Letters. -V. 13.- pp. 1-4 (2022)