

Получение и характеристика никелевых нанопроволок

А. М. Мальтанова, Т. В. Гаевская, С. К. Позняк

*Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского
государственного университета, Минск, Беларусь,
e-mail: annamaltanova@gmail.com*

Исследована возможность синтеза никелевых нанопроволок в геомагнитном поле и в присутствии неодимового магнита с напряженностью магнитного поля 0,5 Тл. Показано, что в обоих случаях образуются цепочечные структуры, состоящие из наночастиц никеля. Однако, в присутствии магнита формируются более совершенные нанопроволоки, характеризующиеся высокой однородностью распределения по толщине и длиной, превышающей 20–50 мкм. Методами рентгенофазового анализа и термогравиметрии установлено, что образцы Ni наноструктур содержат фазу металлического α -Ni и характеризуются стабильностью на воздухе при температурах до 300 °C.

Ключевые слова: никель; нанопроволоки; синтез; магнитное поле.

Preparation and characterization of Ni nanowires

H. M. Maltanova, T. V. Gaevskaya, S. K. Poznyak

*Research Institute for Physical Chemical Problems, Belarusian state University, Minsk, Belarus,
e-mail: annamaltanova@gmail.com*

The possibility of obtaining nickel nanowires in a geomagnetic field and in the presence of a neodymium magnet with a magnetic field strength of 0.5 T has been studied. It is shown that in both syntheses chain structures from Ni nanoparticles are formed. However, Ni nanowires formed in the presence of a magnet have more uniform thickness distribution and a length exceeding 20–50 μm . Using X-ray diffraction spectroscopy and thermogravimetry, it was shown that samples of Ni nanowires consist of the α -Ni metal phase and are characterized by stability in air at temperatures up to 300 °C.

Keywords: nickel, nanowires, synthesis, magnetic field.

Введение

Интересной особенностью металлов группы железа является склонность к агрегации частиц при синтезе с образование цепочечных структур, представляющих большой интерес для создания новых материалов. В частности, магнитные никелевые нанопроволоки представляют интерес для практического применения в биомедицине, катализе, сенсорике и электронике благодаря набору уникальных электрических, термических и магнитных свойств [1–3]. Наиболее распространенные методы получения нанопроволок никеля основаны на использовании матриц или темплатов, пространственно ограничивающих область роста цепочечных структур. С помощью темплатного синтеза можно получать нанопроволоки различной морфологии и длины, которые будут определяться характеристиками используемой матрицы. Однако эти способы являются многостадийными, дорогостоящими и сложными в реализации из-за необходимости подготовки матрицы к синтезу и последующего ее удаления из конечного продукта [4, 5]. Альтернативным подходом может

быть применение метода химического осаждения металлов, который представляет собой окислительно-восстановительный процесс, где в качестве восстановителей могут выступать борогидрид и его производные, гипофосфит, формальдегид, гидразин, а также редокс-пары ионов металлов переменной валентности. Методы химического осаждения металлов являются более перспективными при их реализации в условиях реального техпроцесса благодаря относительной простоте и низкой стоимости [6].

В настоящей работе предложен метод получения нанопроволок никеля в магнитном поле путем восстановления хлорида никеля гидразин-гидратом в среде этиленгликоля и представлены результаты исследования их свойств. Изучено влияние магнитного поля на особенности морфологии никелевых нанопроволок. Для выяснения роли магнитного поля наночастицы никеля были также получены в геомагнитных условиях.

1. Методика эксперимента

Никелевые нанопроволоки были синтезированы по следующей методике. 87,5 мл 0,1 М NaOH в этиленгликоле смешивали с 19,2 мл 65 % гидразин-гидрата. Полученную смесь заливали в трехгорлую колбу и нагревали до 100 °С. Затем в реакционную смесь добавляли по каплям 12,5 мл 0,1 М раствора NiCl_2 в этиленгликоле. Синтез проводили в присутствии неодимового магнита (опущенного в раствор в стеклянной пробирке) с напряженностью магнитного поля 0,5 Тл. Формирующиеся нанопроволоки никеля сразу захватывались магнитом. После завершения реакции никелевые нанопроволоки были промыты последовательно водой и этанолом. Аналогичный синтез был проведен и в геомагнитных условиях.

Морфологические особенности образцов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа LEO 1420. Фазовый состав определяли методом рентгенофазового анализа. Рентгенограммы регистрировали на приборе ДРОН-3.0 с использованием $\text{CoK}\alpha$ -излучения ($\lambda = 1,78896 \text{ \AA}$). Идентификацию фаз проводили с помощью картотеки JCPDS. Термогравиметрический анализ (ТГ-ДСК) никелевых нанопорошков проводили на приборе NETZSCH STA 449C в области температур 20–1000 °С в воздушной атмосфере со скоростью нагрева 10 °/мин.

2. Результаты и их обсуждение

В процессе синтеза образцов в геомагнитных условиях были получены серые комковатые осадки. Результаты СЭМ (рис. 1, а, в) показали, что наряду с наличием цепочечных структур (длиной 10–40 мкм и толщиной 0,1–0,5 мкм) в образцах присутствовали также неупорядоченные агрегаты мелких частиц никеля. Таким образом, образцы никелевых волокон, полученные в геомагнитных условиях, были структурно неоднородны.

Исследование показало, что в присутствии внешнего магнитного поля в объеме реакционного сосуда происходит образование металлического комка с целлюлозоподобной структурой, ориентированного по направлению приложенного поля. СЭМ исследование подтвердило формирование системы цепочных агрегатов,

ориентированных параллельно линиям поля. В условиях воздействия внешнего магнитного поля формируются цепочные структуры, характеризующиеся высокой однородностью распределения по толщине и практически не содержащие боковых ответвлений. Диаметр полученных цепочек лежит в пределах 0,15–0,25 мкм, а длина превышает 20–50 мкм. Таким образом, в системе формируются «металлические проволоки» с соотношением длина/ширина, превышающим 100.

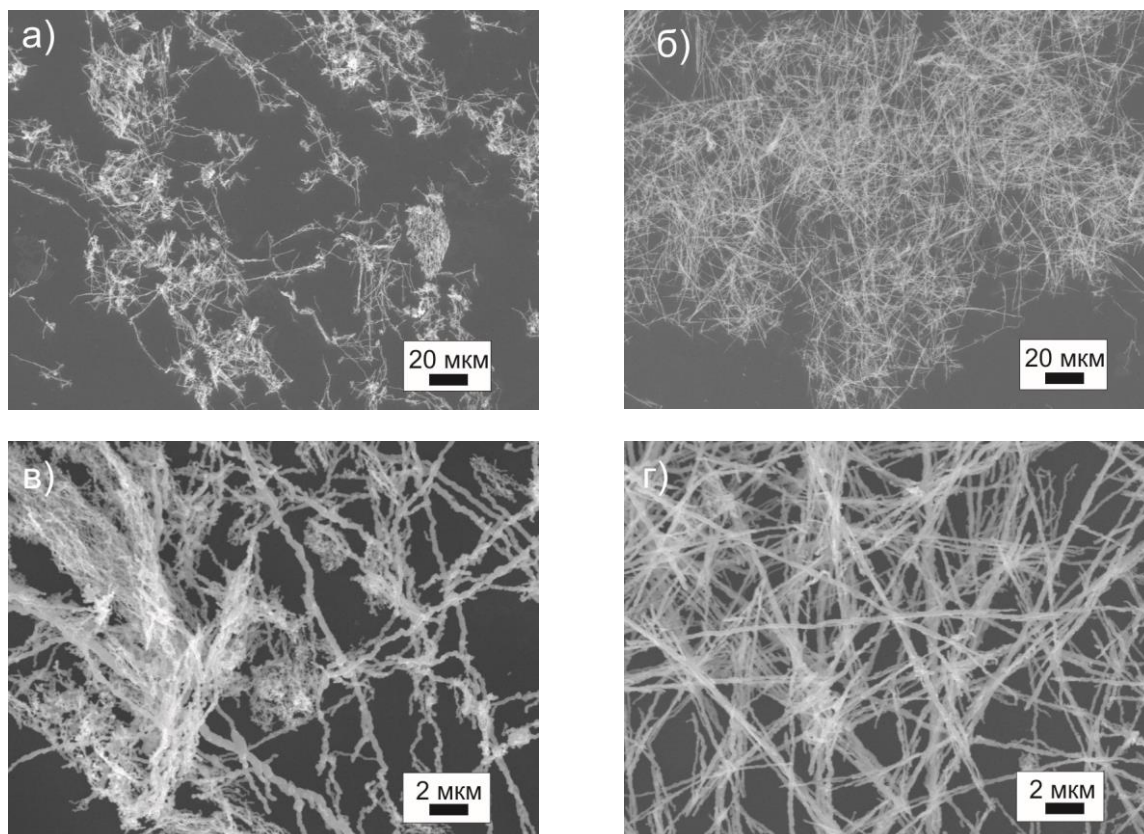


Рис. 1. СЭМ снимки агрегатов частиц никеля, полученных синтезом в отсутствии магнитного поля (а, в) и в магнитном поле 0,5 Тл (б, г)

С использованием РФА установлено, что все образцы содержат фазу металлического α -Ni с характерной для него кубической гранецентрированной решеткой (рис. 2). Линии примесей имеют очень малую интенсивность и были отнесены к $\text{Ni}(\text{OH})_2$.

Стабильность никелевых нанопроволок на воздухе была охарактеризована с помощью термогравиметрии. Как показано на рис. 3, до 300 °С происходит небольшая потеря веса, вызванная потерей адсорбционной воды и реакцией разложения примесей $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Нанопроволоки никеля начинают окисляться при 300 °С; конечный прирост массы составляет около 23,6 %, что мало отличается от теоретического привеса (27,3 %) при идеальном превращении чистого Ni в NiO. Данный процесс сопровождается экзотермическим эффектом на кривой ДСК. Процесс окисления Ni до NiO завершается при температуре около 500 °С.

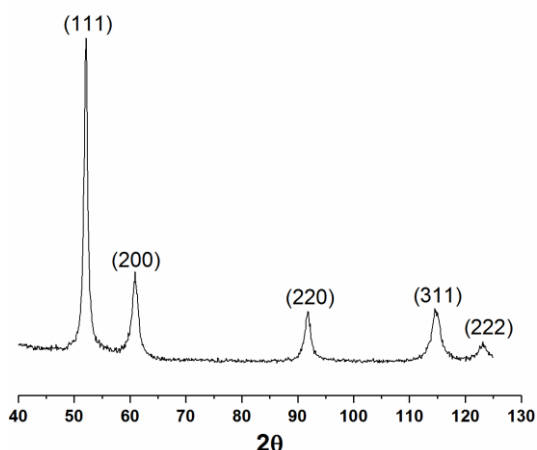


Рис. 2. Рентгенограмма нанопроволок никеля

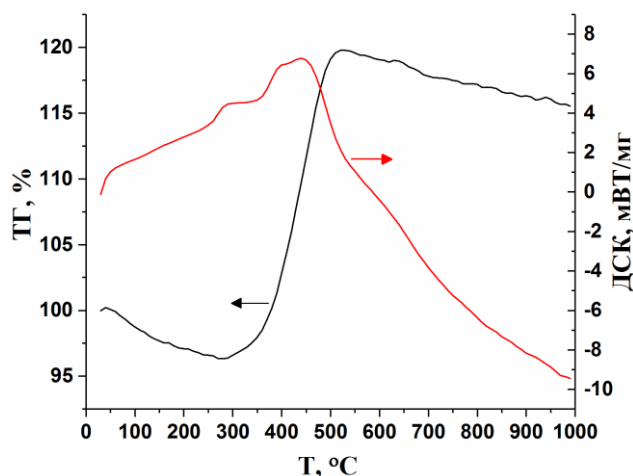


Рис. 3. ТГ-ДСК кривые нанопроволок никеля, полученных при наложении внешнего магнитного поля

Заключение

Частицы никеля в виде нанопроволок получены путем восстановления хлорида никеля гидразин-гидратом в среде этиленгликоля. Показана возможность управления размерами и толщиной никелевых нанопроволок путем приложения постоянного магнитного поля к реакционной смеси. Полученные нанопроволоки никеля имеют структуру α -Ni и характеризуются длиной от 10 мкм и более при толщине 0,15–0,25 мкм. Образцы нанопроволок стабильны на воздухе при температуре ниже 300 °С.

Благодарности

Работа выполнена в рамках НИР 2.1.04.02 ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия», 2021–2025.

Библиографические ссылки

1. Nickel Nanowires: Synthesis, Characterization and Application as Effective Catalysts for the Reduction of Nitroarenes / T. Wasiak [et al.] // *Catalyst* 2018. Vol. 8. P. 566.
2. Kamalakar M. V., Raychaudhuri A. K. Low temperature electrical transport in ferromagnetic Ni nanowires // *Phys. Rev. B* 2009. Vol. 79. P. 205417.
3. Controllable synthesis of nickel nanowires and its application in high sensitivity, stretchable strain sensor for body motion sensing / S. Wang [et al.] // *J. Mater. Chem. C* 2018. Vol. 6. P. 4737–4745.
4. Zhang T., Zhiyan L. Template-assisted fabrication of Ni nanowire arrays for high efficient oxygen evolution reaction // *Electrochim. Acta* 2019. Vol. 318. P. 91–99.
5. Guilian J. Template-assisted electrodeposition of Ni and Ni/Au nanowires on planar and curved substrates / J. Guilian, J. Cadena, C. Monton // *Nanotechnology* 2018. Vol 29, Iss. 7. P. 075301.
6. Получение наночастиц никеля восстановлением его формиата в этиленгликоле / О. А. Логутенко [и др.] // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2016. Т. 24. С. 619–626.
7. Synergism between carbon materials and Ni chains in flexible poly(vinylidene fluoride) composite films with high heat dissipation to improve electromagnetic shielding properties / B. Zhao [et al.] // *Carbon* 2018. Vo. 127. P. 469–478.
8. Strategy for ultrafine Ni fibers and investigation of the electromagnetic characteristics / C. Gong [et al.] // *J. Phys. Chem. C* 2010. Vol. 114. P. 10101–10107.