

ЖЕЛЕЗНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ОСАЖДЕННЫЕ НА МЕДНУЮ МИКРОСЕТКУ

**С.В. Столяр^{1,2,3}, Р.Н. Ярославцев^{1,2}, Л.А. Чеканова², М.В. Рауцкий², О.А. Байуков²,
Ю.В. Князев², Р.С. Исхаков²**

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского
отделения Российской академии наук»,
660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50;

² Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук -
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
660036 г. Красноярск, Академгородок, 50, строение № 38;

³ Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
E-mail: yar-man@bk.ru

IRON COATINGS DEPOSITED ON A COPPER MICROGRID

**S.V. Stolyar^{1,2,3}, R.N. Yaroslavtsev^{1,2}, L.A. Chekanova², M.V. Rautskiy², O.A. Bayukov²,
Yu.V. Knyazev², R.S. Iskhakov²**

¹ Federal State Budget Institution of Science “Federal Research Center “Krasnoyarsk Scientific
Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”,
50 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia;

² “Institute of Physics n.a. L.V. Kirensky”, SB RAS, - Separate Subdivision of FRC KSC SB RAS,
50 Akademgorodok, b.38, Krasnoyarsk, 660036 Russia;

³ Siberian Federal University, 79 Svobodniy ave., Krasnoyarsk, 660041 Russia,
E-mail: yar-man@bk.ru

В работе проводится характеристика композиционного материала, представляющего собой химически осажденное покрытие Fe на медной микросетке с размером ячейки 50 мкм. Полученные образцы имеют достаточно однородное покрытие. Измерены спектры микроволнового поглощения при различных углах поворота сетки относительно приложенного магнитного поля. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о возможности применения данного композиционного материала в качестве радиопоглощающих покрытий.

In this work, the characterization of composite material is carried out, which is a chemically deposited Fe coating on a copper microgrid with a cell size of 50 μm . The synthesized coatings are well uniform in thickness. The microwave absorption spectra have been measured at various angles of rotation of the grid relative to the applied magnetic field. Analysis of the obtained results allows us to conclude that this composite material can be used as electromagnetic wave absorbing coatings.

Металлические сетки из электропроводящих проводов являются перспективными материалами для использования в качестве микроволновых поглотителей и для защиты от электромагнитных помех. Такие структуры называют частотно-селективными поверхностями для электромагнитных волн. Их можно использовать в фильтрах и других устройствах. Эффективность материалов, поглощающих электромагнитные волны, определяется высокими значениями диэлектрической и магнитной проницаемости покрытия. Один из подходов при разработке радиопоглощающих материалов заключается в создании композита. Ферромагнитное резонансное поглощение является одним из важнейших механизмов магнитных потерь. В этом отношении металл-углеродные микросетки хорошо себя зарекомендовали, благодаря широкому распределению осей анизотропии и немагнитным

включениям углерода. Резонансная частота определяется как магнитными характеристиками ферромагнетика, так и его размагничивающими полями. В отличие от пленок, в стержнеобразных объектах может наблюдаться естественный ферромагнитный резонанс. Диапазон рабочих частот можно выбирать, варьируя материал и плотность упаковки проводов. Частота может быть дополнительно настроена в широком диапазоне путем применения магнитного поля. Преимуществом магнитных микросеток также является их низкая плотность и гибкость.

В данной работе покрытия получали методом химического осаждения. В основе метода лежит реакция взаимодействия ионов металла с растворенным восстановителем, в результате которой на каталитически активной поверхности формируется металлический слой. В качестве восстановителей при получении магнитных металлических покрытий на основе 3-d металлов используют формальдегид, гидразин, гипофосфит натрия, боран натрия, гидразинборан. Наиболее распространенным восстановителем при получении покрытий является гипофосфит натрия NaH_2PO_2 . В данном случае формируются твердые растворы замещения металл-металлоид, а также выделяются фосфиды. Наличие фосфора в металлическом покрытии ухудшает его магнитные и механические свойства. Несмотря на перечисленные недостатки, промышленное получение и использование покрытий на основе никелевых и кобальтовых сплавов, получаемых с помощью NaH_2PO_2 , неуклонно растет [1,2]. В настоящее время бурно развиваются новые подходы восстановления металлов, получившие название зеленого синтеза [3]. Данные подходы развиваются как многообещающие экологически чистые способы, которые позволят преодолеть существующие барьеры в химических методах получения. Используемые экстракты, как правило, нетоксичны, и выполняют функцию диспергирующего и покрывающего агента, сводя к минимуму процессы окисления.

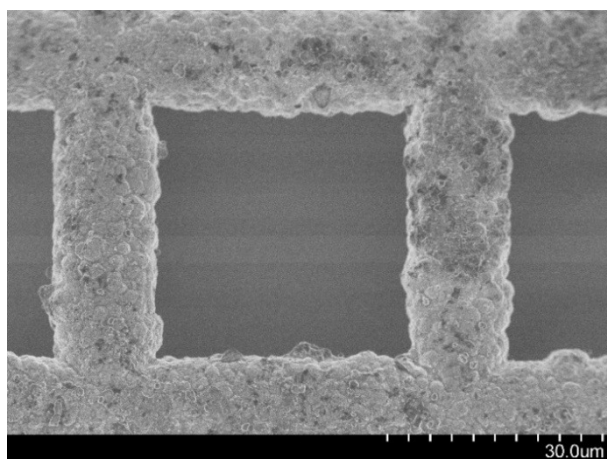


Рис.1 – Электронно-микроскопическое изображение железного покрытия на микросетке

Цель данной работы заключается в получении и изучении магнитных покрытий на основе Fe с помощью методов зеленой химии. В качестве восстанавливающего агента использовался природный полисахарид арабиногалактан, выделенный из лиственницы. В растворы, содержащие хлорид железа и полисахарид добавляли цитрат натрия и трилон Б в качестве комплексообразователей и стабилизаторов. Осаждение осуществляли на медную фольгу и медную сетку (см. рис. 1). Осаждение проводили при температуре 80 °С. Полученные данным методом покрытия содержат включения углерода (~20%ат.). Образцы исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа FE SEM Hitachi S-5500 центра коллективного пользования Красноярского научного центра СО РАН. Структурные исследования покрытий, полученных на Cu фольгу, проводились на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4. Угловые зависимости спектров ферромагнитного резонанса (ФМР), измеряли с помощью спектрометра X-диапазона (9,47 ГГц) ELEXSYS E580 (Bruker, Германия) при комнатной температуре.

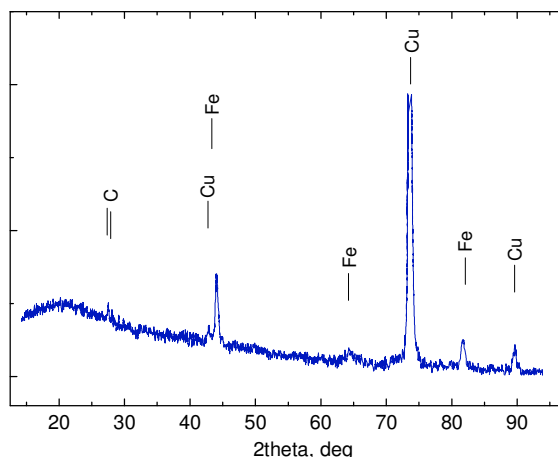


Рис.2 – Рентгенограмма покрытия FeS на медной фольге

На рисунке 2 представлены результаты рентгенофазового анализа покрытий на медной подложке. На рентгенограммах присутствуют как отражения, соответствующие ферромагнитному сплаву, так и отражения, соответствующие медной подложке. Результаты рентгенофазового анализа показали наличие ОЦК фазы – Fe. На некоторых рентгенограммах образцов регистрировались отражения малой интенсивности при $2\Theta=27^\circ$ (смотри рис.2). Данное отражение обусловлено отражениями от плотноупакованных плоскостей графитовой фазы. Это свидетельствует о том, что примесь углерода кристаллизуется в графитовые включения. Отражений, характерных для карбидов железа не обнаружено. Об отсутствии карбидов также свидетельствуют исследования покрытий методом мессбауэровской спектроскопии [4].

Спектры ФМР полученного материала были измерены для изучения микроволнового поглощения. Угол приложения магнитного поля менялся от направления параллельно плоскости сетки до направления перпендикулярно плоскости. На рис. 3 приведены спектры ферромагнитного резонанса в диапазоне углов от 0° до 160° . Наибольшее значение резонансного поля и ширины линии соответствует направлению перпендикулярно плоскости сетки.

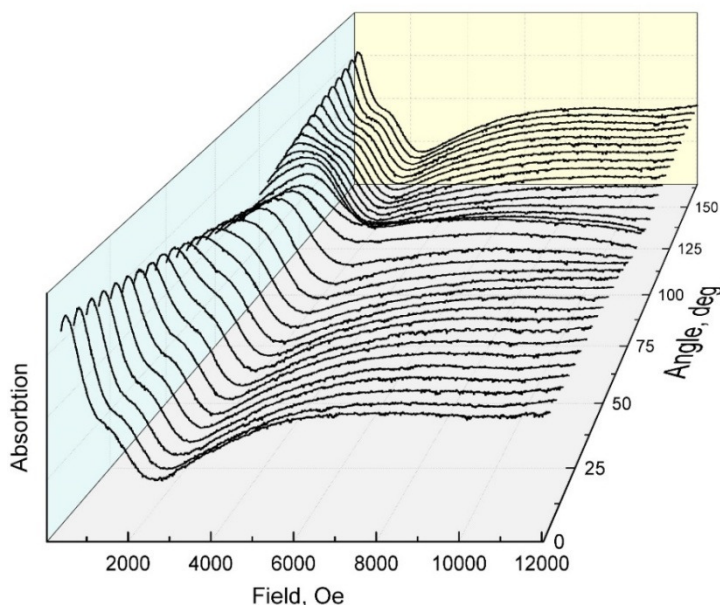


Рис.3 – Спектры ФМР в диапазоне углов от 0° до 160°

Ширина линии ферромагнитного резонанса в зависимости от направления приложенного поля варьировалась в диапазоне от 2000 до 2500 Э, что значительно превышает аналогичные значения в покрытиях. Это можно объяснить, если рассматривать трубку как

скрученную пленку. При таком рассмотрении, в любом направлении приложения поля будут присутствовать участки, которые расположены как вдоль поля, так и перпендикулярно полю. Таким образом, образец будет поглощать микроволновое излучение в очень широком диапазоне до 22 кЭ. Помимо этого, покрытие содержит немагнитные включения углерода, что также даёт вклад в ширину линии. Такие высокие значения микроволнового поглощения предполагают использование данных материалов в качестве экранирующих покрытий.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 18-42-240006 "Наноматериалы с магнитными свойствами, определяемыми топологическими особенностями наноструктуры".

Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-1263.2020.3.

Список использованных источников:

- [1] R. C. Agarwala and V. Agarwala, *Sadhana* **28**, 475 (2003).
- [2] J. Sudagar, J. Lian, and W. Sha, *J. Alloys Compd.* **571**, 183 (2013).
- [3] S. Machado, S. L. Pinto, J. P. Grosso, H. P. A. Nouws, J. T. Albergaria, and C. Delerue-Matos, *Sci. Total Environ.* **445–446**, 1 (2013).
- [4] S. V. Stolyar, R. N. Yaroslavtsev, L. A. Chekanova, M. V. Rautskii, O. A. Bayukov, E. V. Cheremiskina, I. V. Nemtsev, M. N. Volochaev, and R. S. Iskhakov, *J. Magn. Magn. Mater.* **511**, 166979 (2020).