

НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ФОРМОВАНИЯ

Ю. В. Тимошков¹, Q. L. Gao², Y. Wang², Г. А. Говор³, А. А. Сакова¹,
А. К. Вечер³, В. Ю. Тимошков¹

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
timoshkov@bsuir.by

²Shandong Zhongrui Electronics Co. Ltd

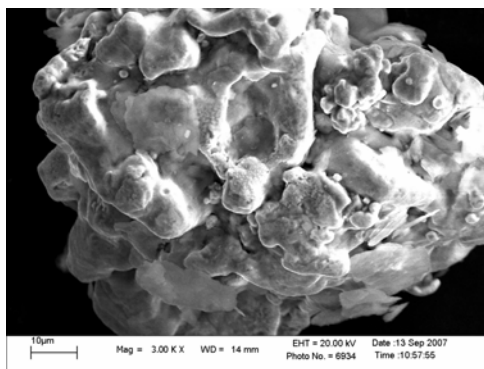
³ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»

ВВЕДЕНИЕ

Современные электромагнитные устройства и системы требуют применения новых материалов и технологий, обладающих комплексом улучшенных характеристик. Для этих целей предлагается использовать гетерогенные 3D наномодифицированные магнито-мягкие материалы. А также технологии микроформования на основе фоторезиста SU-8 и нанокomпозиционных материалов.

3D НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В данной работе описывается синтез композиционных магнито-мягких материалов с использованием железных порошков. Основными этапами технологического процесса являются: предварительная подготовка и очистка порошка в вакууме или атмосфере водорода, формирование изоляционного и вспомогательного слоев, смазка, прессование изделий заданной конфигурации с последующим отжигом. Особенность получения данных материалов заключается в комплексной обработке микрочастиц, включающей нанесение магнитного изоляционного покрытия и дополнительного слоя. Многоступенчатая наномодификация поверхности частиц с толщиной слоев 0,5–5 нм производится путем последовательного окисления и нанесения Si-органического слоя (рис. 1 а).



а



б

Рисунок 1. – Микрочастица с наномодифицированной поверхностью (а) и ротор диаметром 70 мм, изготовленный из композиционного магнито-мягкого материала (б)

Полученные таким методом композиционные магнито-мягкие материалы обладают следующими свойствами. Удельное сопротивление определяется толщиной изоляционного слоя на магнитных частицах и составляет $\rho = 10^{-3} - 10^{-4}$ Ом·м для металлического состояния и $\rho = 10^3 - 10^4$ Ом·м для диэлектрического состояния, максимальная магнитная проницаемость изменяется от $\mu_m = 2500 - 3000$ для металлического состояния и $\mu_m = 300 - 500$ для диэлектрического состояния. Величина магнитной индукции в поле порядка $H = 20$ кА/м изменяется от $B = 2,1 - 2,2$ Тл для металлического состояния до $B = 1,7 - 1,8$ Тл для диэлектрического состояния.

Полученные параметры композиционного магнито-мягкого материала позволяют использовать его для изготовления трансформаторов, дросселей, работающих в диапазоне частот 10 кГц–1 МГц, и систем статор-ротор (рис. 1 б) в составе высокоэффективных и мощных электрических машин, работающих в диапазоне частот 50 Гц–5 кГц.

ТЕХНОЛОГИЯ МИКРОФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для современных микроэлектромеханических систем ключевой является проблема трения и износа механически подвижных компонентов. Для решения этой задачи предлагается использование нанокompозитных материалов, формируемых благодаря встраиванию наночастиц в процессе соосаждения. Технология формирования микроструктур повышенной надежности состоит из последовательных операций изготовления полимерных микроформ, электрохимического соосаждения магнито-мягких сплавов с инертными наночастицами, удаления материала формы.

Микроформы с высоким аспектным отношением изготавливались методом UV-литографии перманентного негативного фоторезиста SU-8 (рис. 2). В качестве частиц дисперсной фазы для осаждения использовались наночастицы Al_2O_3 (NanoAmor), ультрадисперсный алмаз (Синта).

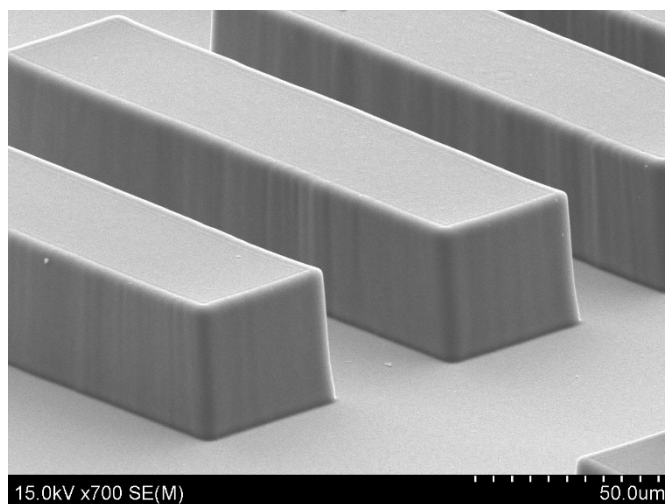


Рисунок 2. – Микроформы из фоторезиста SU-8 толщиной 35 мкм

Данная технология позволяет получить микроструктуры с магнитной проницаемостью до $\mu_m = 10 \cdot 10^3$, магнитной индукцией $B_s = 0,62 - 1,3$ Тл, и улучшенным ком-

плексом физико-механических свойств (рис. 2). В процессе соосаждения происходит дисперсное упрочнение материала магнитной матрицы (Co-P, Co-Fe-P, Co-Ni), что приводит к уменьшению абразивного и адгезионного износа. В полученных образцах коэффициент трения снизился в 2 раза, микротвердость увеличилась на 20–80%, износостойкость увеличился в 4 раза. Представленная технология является перспективной для изготовления электро-магнитных микродвигателей, высокоскоростных микропереключателей и других компонентов МЭМС [1, 2].

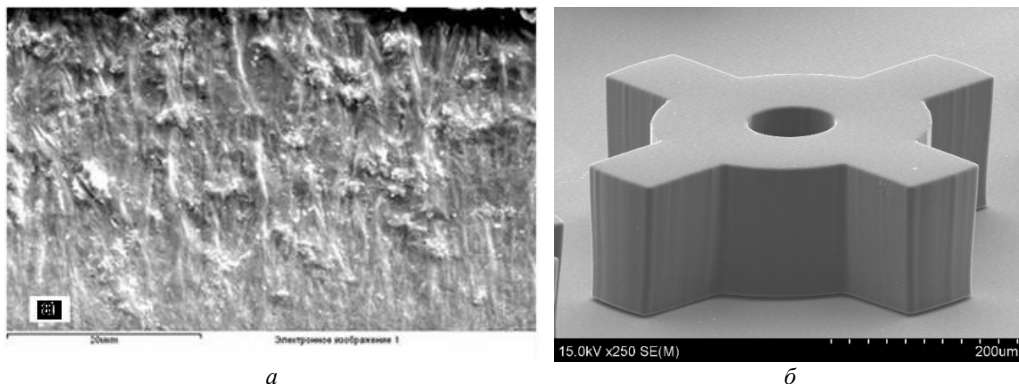


Рисунок 3. – Поперечное сечение композиционного материала, полученного методом электрохимического осаждения с наночастицами Al_2O_3 (а) и микроротор с диаметром 400 мкм (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время исследования направлены на интеграцию технологий. Разрабатывается гибридная технология микроформования магнитно-мягких 3D модифицированных композитных материалов с использованием металлических пресс-форм, полученных методом электрохимического заполнения микроформ на основе фоторезиста SU-8. Кроме того проводится комплекс исследований по наномодифицированию магнитных порошков микронных размеров (2–10 мкм).

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Jiang, Cutting-edge nanotechnology, p. 391–411, 10.5772/8851 (2010).
2. Fabrication of high-aspect-ratio micro piezoelectric array by powder injection molding / Jun Sae Han et al. Ceramics International, Volume 42, Issue 8, June 2016, pp. 9475–9481.