



Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Институт теоретической и прикладной
электродинамики
Российской академии наук

125412, Москва, ул. Ижорская, 13, ИТПЭ РАН
ОКПО 29012159, ОГРН 1027739263441
ИНН/КПП 7713020549/771301001

Тел.: 7-495-4842383
Факс: 7-495-4842633
E-Mail: itae@itae.ru

№ 11406 – 05-2171/986

17. 11. 2016

(дата)

Председателю диссертационного совета
Д 002.060.01
академику РАН Банных О.А.
119334, Москва, Ленинский пр-кт, 49

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора ИТПЭ РАН

Д.ф.-м.н. Кисель В.Н.

2016 г.



Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Харина Евгения Васильевича «Влияние структуры и фазового состава на статические магнитные свойства нанокристаллических плёнок системы Fe-Zr-N», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность работы

Ключевым отличием нанокристаллических магнитомягких материалов от микрокристаллических магнитомягких сплавов является то, что в них размер ферромагнитного зерна может быть на порядки меньше длины ферромагнитного

обменного взаимодействия. Это явление описано в модели случайной магнитной анизотропии (МСМА), согласно которой локальная (внутризеренная) энергия магнитной анизотропии усредняется по объёму, охваченному обменным взаимодействием, что приводит к снижению магнитной анизотропии (в некоторых случаях – на несколько порядков) и, в рамках существующих моделей магнитного гистерезиса, к экстремальному уменьшению коэрцитивной силы. МСМА и родственные ей теоретические модели рассматривают энергию магнитной анизотропии как эффективную величину, при этом отсутствуют представления о закономерностях влияния комплекса параметров атомного строения (химический состав, фазовый состав, структура, её дефекты и напряжённое состояние) на магнитную анизотропию в рамках МСМА. Влияние каждого из этих параметров рассмотрено в литературе независимо от других и независимо от МСМА. Диссертационная работа Харина Е.В. направлена на заполнение этих пробелов и экспериментальную количественную проверку влияния вышеперечисленных параметров ферромагнетика на его энергию магнитной анизотропии в рамках МСМА.

Научная новизна

В диссертационной работе исследованы сплавы на основе Fe легированные Zr и N и полученные методом магнетронного распыления в виде достаточно толстых плёнок (сотни нанометров), что позволило получить в сплавах широкие спектры фазовых составов (в различных соотношениях равновесные и неравновесные ферромагнитные и неферромагнитные фазы, образующиеся в системах Fe-N и Fe-Zr и отображаемые на соответствующих диаграммах состояния) и структур (размеры зёрен фаз от единиц до десятков нанометров) в зависимости от условий напыления и последующей термической обработки.

Параметры магнитной структуры (магнитная анизотропия внутри зерна, размер стохастического магнитного домена и его поле магнитной анизотропии) исследованных плёнок измерены методом корреляционной магнитометрии и подтверждены прямыми наблюдениями с помощью магнитно-силовой микроскопии. Полученные на исследованных плёнках результаты хорошо описываются МСМА.

Для исследований влияния упругой энергии на энергию магнитной анизотропии был разработан новый консольный метод измерения магнитострикции плёнок на подложках с использованием атомно-силового микроскопа.

Практическая значимость работы

Совокупность использованных экспериментальных методов и полученных с их помощью экспериментальных результатов позволяет прогнозировать магнитные свойства магнитомягких нанокристаллических ферромагнетиков в зависимости от фазового состава

и структуры, что расширяет возможности синтеза материалов с требуемыми свойствами.

Развиваемый подход к анализу структуры с помощью магнитных методов (вибрационная магнитометрия, корреляционная магнитометрия, измерение кривых магнитострикции) способен дополнить методы рентгеновской дифракции, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии в целях контроля структуры и свойств ферромагнитных материалов.

Достоверность полученных результатов

Все основные выводы и рекомендации из работы получены при помощи комплексного исследования химического состава, фазового состава, кристаллической структуры, магнитной структуры и магнитных свойств нанокристаллических плёнок системы Fe-Zr-N с использованием современного научного оборудования. Результаты, полученные разными методами, согласуются друг с другом.

Замечания

1. В диссертации формулы 6.1-6.3 представляют по своей сути магнитоупругий вклад в поверхностную магнитную анизотропию. Причем, по-видимому, предполагается, что деформирован только один атомный слой на поверхности зерна. В действительности же, деформации от поверхности зерна могут уходить в материал гораздо глубже, так что этот вклад будет гораздо сильнее. Кроме того, нарушение симметрии спин-орбитального взаимодействия на поверхности зерна должно также вносить вклад в поверхностную магнитную анизотропию.

2. Оценка магнитоэластического вклада в локальную магнитную анизотропию только по доле неферромагнитной фазы не является точной, поскольку не учитывает анизотропию формы неферромагнитных зёрен и их возможную агломерацию.

3. Для уточнения данных о фазовом составе и анизотропии структуры следовало бы провести исследования методами электронной микроскопии.

4. Несмотря на то, что проведено подробное экспериментальное исследование локальной магнитной анизотропии, информация о макроскопической магнитной анизотропии полученных плёнок (сравнение петель гистерезиса в различных направлениях в плоскости плёнки) в диссертации не представлена.

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают высокой оценки практической значимости диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Харина Е.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований установлены закономерности формирования статических магнитных свойств при

изменении структуры и фазового состава нанокристаллических плёнок системы Fe-Zr-N.

Автореферат и публикации полностью отражают основное содержание диссертации.

Диссертация Харина Е.В. отвечает требованиям п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор, Харин Евгений Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа Харина Е.В. была заслушана и получила положительную оценку на семинаре лаборатории №4 ИТПЭ РАН (протокол №1 от 17 ноября 2016 г).

Заведующий лабораторией №4 ИТПЭ РАН

к.т.н., доцент

Рыжиков Илья Анатольевич

Подпись зав. лабораторией №4 заверяю

Ученый секретарь ИТПЭ РАН

к.ф.-м.н.

Кунавин Анатлоий Тимофеевич