

Отзыв официального оппонента

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

Диссертационная работа Харина Е.В. посвящена установлению закономерностей формирования статических магнитных свойств при изменении структуры и фазового состава нанокристаллических пленок системы Fe-Zr-N. Тема работы актуальна, поскольку в настоящее время магнитно-мягкие материалы используются во многих отраслях промышленности, в том числе системах хранения информации, ориентации и перемещения объектов, телекоммуникационных системах, а также их применяют в датчиках магнитного поля, магнитопроводах, полюсных наконечниках в головках для магнитной записи, сердечниках трансформаторов, электромагнитов, в измерительных приборах и в других случаях, где необходимо при наименьшей затрате энергии достигнуть наибольшей индукции. В связи с этим, тема работы Харина Е.В. актуальна и имеет не только научное, но и практическое значение, поскольку достигаемые в работе свойства нанокристаллических сплавов системы Fe-Zr-N имеют индукцию насыщения более высокую, чем в объёмных промышленных магнитно-мягких сплавах 79НМ и 50Н (пермаллой) и в нанокристаллических магнитно-мягких ленточных сплавах типа FINEMET.

Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов и списка литературы, включающего 167 наименований. Общий объем диссертационной работы составляет 137 страниц, в том числе 64 рисунка и 28 таблиц.

В первой главе представлен анализ литературных данных, в котором рассмотрены особенности структуры аморфных и нанокристаллических магнитно-мягких ферромагнетиков; виды магнитной анизотропии, возможные в таких ферромагнетиках; их магнитная структура, описываемая МСМА; особенности магнитострикции аморфно-нанокристаллических ферромагнетиков и методы её измерения. Обзор составлен достаточно полно и свидетельствует о хорошей проработке темы исследования. Во второй главе подробно описаны объекты и методы исследования. В третьей главе представлены результаты исследования химического состава и структурного состояния полученных пленок. Четвертая и пятая главы посвящены исследованию статических магнитных свойств и магнитострикции полученных пленок. Шестая глава посвящена разделению вкладов

компонент, составляющих локальную магнитную анизотропию исследованных плёнок. В седьмой главе приводятся рекомендации по оптимизации магнитных свойств, в результате которой полученные свойства превосходят промышленные магнитно-мягкие сплавы 79НМ или FINEMET.

Все поставленные в работе задачи выполнены, а результаты являются новыми. Научная новизна полученных результатов определяется выбором новых объектов исследования, разработкой нового метода измерения магнитострикции и разделением на основе разработанного метода магнитокристаллического, магнитоупругого, магнитостатического и поверхностного вкладов в эффективную локальную магнитную анизотропию.

В работе использовалось большое количество взаимодополняющих методов исследования с использованием апробированных методик, которые однозначно подтверждают достоверность полученных результатов.

В работе получено много новых результатов, среди которых наиболее интересны следующие:

1. Методами прямого и наклонного магнетронного напыления при различных режимах напыления получены нанокристаллические плёнки на основе Fe (с содержанием 0...12 ат.% Zr и 0...16 ат.% N) и проведены вакуумные отжиги плёнок при температурах 400 и 500°C в течение 1 часа, подробно исследованы фазовый состав и структурное состояние полученных пленок.
2. Разработан новый неразрушающий метод измерения магнитострикции ферромагнитных плёнок Fe с различным содержанием Zr и N на неферромагнитных подложках с использованием метода атомно-силовой микроскопии. Впервые, применив метод корреляционной магнитометрии к кривым магнитострикции, дало возможность определить магнитострикцию насыщения.
3. Проведено разделение эффективной локальной магнитной анизотропии нанокристаллических плёнок на основе Fe, содержащих дисперсные включения нитридных фаз, на магнитокристаллический, магнитоупругий, магнитостатический и поверхностный вклад.
4. Установлено, что коэрцитивная сила H_c во всех исследованных плёнках определяется полем анизотропии стохастического домена. Показано, что макронапряжения вызывают магнитоупругую анизотропию, создающую качественно другой, по своей природе, стохастический магнитный домен и, соответственно, вторую моду H_c (величиной 127-245 Э против 13-90 Э основной моды H_c).

5. Оценены вклады различных параметров структуры (размер зерна $2R_c$, поле локальной магнитной анизотропии $D^{1/2}H_a$ и намагниченность насыщения M_s) в величину коэрцитивной силы. Показано, что исследованные плёнки способны обеспечить комплекс таких свойств, как индукция насыщения B_s 0,9-1,8 Тл и коэрцитивная сила H_c 0.1-0.5 Э.

По сути сделанных в работе выводов замечаний у оппонента нет. Однако в работе имеется ряд несущественных недостатков:

1. В главе 2 и главе 3 (стр. 72) описана методика определения параметров тонкой кристаллической структуры (ТКС) нанокристаллических сплавов системы Fe-Zr-N с использованием одной линии (110) без указания метода, который используется для расчета параметров ТКС. Также отсутствует информация о том, как учитывалось инструментальное уширение при расчете параметров ТКС.

2. Методика определения макронапряжений с использованием периодов решетки, определенных по разным дифракционным линиям, предполагает использование эталона, поскольку полученные значения периодов обладают разной погрешностью, однако сведения об использовании эталона и описание эталона в работе отсутствуют.

3. В выводе 5 к главе 3 приводятся данные расчета параметров ТКС образцов после термической обработки и согласно этим данным уровень микродеформаций в процессе отжига при 400 и 500°C увеличивается с 0.125 % до 0.771 %. Данный факт приводится без объяснений, с чем может быть связано увеличение уровня МКД при повышении температуры отжига.

4. Внешний вид дифрактограмм, полученных нанокристаллических сплавов системы Fe-Zr-N свидетельствует о возможном наличии кристаллографической текстуры в полученных образцах, но, к сожалению, ее влияние на свойства образцов в работе не рассматривается.

5. В работе имеется незначительное количество опечаток.

Указанные недостатки не носят принципиального характера и не снижают ценность работы.

Многочисленные результаты работы в период с 2009 по 2016 г представлены на 24 международных и всероссийских конференциях и опубликованы в 37 печатных работах, из которых 5 зарубежных статей, 4 статьи в журналах из списка ВАК.

Полученные результаты имеют большое практическое значение для получения магнитно-мягких материалов с заданным уровнем магнитных свойств для использования в качестве элементов устройств магнитной записи, радиопоглощающих покрытий, логических устройств и др.

Автореферат и публикации автора точно и полностью отражают полученные в диссертационной работе результаты.

Диссертационная работа «Влияние структуры и фазового состава на статические магнитные свойства нанокристаллических пленок системы Fe-Zr-N» отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатской диссертации, а ее автор Харин Евгений Васильевич, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Кандидат технических наук

И.В. Щетинин

07.12.2016

Подпись доцента кафедры физического материаловедения Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» к.т.н. Щетинина Игоря Викторовича удостоверяю

Проректор по безопасности
и общим вопросам



И.М. Исаев