

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе ГРИЦЕНКО Кристины Александровны «Особенности процессов перемагничивания магнитоэлектрически- и обменно-связанных тонкопленочных структур на основе пермаллоев», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

Диссертационная работа Гриценко К.А. посвящена изучению механизмов формирования магнитных свойств тонкопленочных обменно-связанных структур на основе высоко- и низконикелевого пермаллоев. Объекты данного типа демонстрируют выраженный эффект обменного смещения, привлекающий внимание как с точки зрения решения фундаментальных вопросов взаимодействия в гетерогенных системах, так и в плане возможных практических применений. Так, например, исследование многослойных ультратонких структур является перспективным для спинтроники и, поэтому, остается одной из актуальнейших тем современного этапа развития магнетизма. В работе Гриценко К.А. детально рассмотрены вопросы влияния структуры и морфологии интерфейса на границе ферромагнетик-антиферромагнетик, размера антиферромагнитного слоя и последовательности его осаждения на процессы перемагничивания тонкопленочных структур на основе пермаллоя. Прогресс в создании новых материалов зависит от уровня понимания процессов, лежащих в основе формирования той или иной структуры. В связи с этим, **актуальность** выбранной темы не вызывает сомнения.

Сформулированные цель и задачи диссертационной работы отвечают **критериям новизны**. Новыми являются и полученные при их решении основные результаты.

Обоснованность научных положений и выводов диссертации обеспечивается совокупностью аттестованных методик создания и подготовки объектов исследования, комплексом современных взаимодополняющих экспериментальных методов исследования магнитных

материалов и корректной интерпретацией данных. Описанию методов получения двух- и трехслойных образцов и методам их исследования посвящена вторая глава диссертации. Детальное рассмотрение этапов подготовки образцов, и обоснование выбора измерительных методик позволяет понять особенности получения экспериментальных результатов и их анализа. Все вышеизложенное указывает на достоверность данных, представленных в диссертации Гриценко К.А. Обоснованность научных положений и выводов исследования подтверждается сопоставлением собственных результатов с данными литературы.

Практическая значимость результатов диссертации связана с результатами исследования процессов перемагничивания двух ферромагнитных слоев, разделенных слоем антиферромагнетика. В диссертации определены тенденции изменения их магнитных свойств в зависимости от толщины антиферромагнитного слоя. Понимание влияния этих особенностей на эффект обменного смещения в обменно-связанных структурах с двумя интерфейсами позволит выбирать состав пермаллоя и оптимальную толщину антиферромагнетика для прогнозирования и достижения оптимальных магнитных свойств, которые отличаются для различных приложений, использующих эффект обменного смещения.

Представленная диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитированных источников из 198 наименований, она изложена на 143 страницах и содержит 52 рисунка и 3 таблицы.

Во введении дано общее описание работы, обоснованы ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе, являющейся литературным обзором по теме диссертации, изложены современные экспериментальные данные и теоретические модели описывающие эффект обменного смещения в многослойных тонкопленочных структурах, вклад различных факторов в процессы перемагничивания материалов этого типа.

Во второй главе детально описываются основные методики изготовления образцов, а также экспериментальные методы исследования образцов: рентгеновская дифрактометрия и рефлектометрия, просвечивающая электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, магнитно-силовая микроскопия, метод вибрационного магнитометра. Описаны методики численного моделирования с помощью Comsol Multiphysics и MATLAB.

В третьей главе содержатся результаты исследования тонкопленочных обменно-связанных структур NiFe/IrMn, IrMn/NiFe, NiFe/IrMn/NiFe. В этом разделе представлены экспериментальные данные структурных исследований и магнитных измерений, и приведен их комплексный развернутый анализ.

В заключении представлены выводы, обобщающие результаты работы, из которых следует успешное достижение цели и задач диссертационных исследований.

Автореферат достаточно точно и полно отражает основное содержание диссертации.

Среди научных результатов, имеющих прикладное и научное значение, хотелось бы отметить следующие:

- показано, что магнитные свойства двухслойных структур NiFe-IrMn зависят от состава пермаллоя, толщины антиферромагнитного слоя и последовательности осаждения слоев;
- обнаружено, что изменение величины и градиента внешнего магнитного поля, приложенного при осаждении образцов, влияет как на величину обменного смещения, так и на механизм перемагничивания двухслойной тонкопленочной структуры NiFe/IrMn; предложена феноменологическая модель, описывающая найденные особенности и определены оптимальные параметры градиентного магнитного поля, приложенного при изготовлении образцов, необходимые для использования структуры NiFe/IrMn в качестве пассивной магнитной метки.

В то же время диссертационная работа Гриценко К.А. не лишена недостатков:

1. Текст диссертации содержит опечатки и стилистические погрешности. Например, на стр.12 упоминается «угол между направлениями H и K_F », где H – «наведенное магнитное поле», а « K_F – константа анизотропии ферромагнетика». Речь идет об угле между направлением H и оси легкого намагничивания (а не константы анизотропии), это видно из сопутствующих иллюстраций к тексту. И т.п.
2. В 3 главе представлены результаты исследования поверхности образцов методами магнитно-силовой микроскопии (МСМ). На рис.3.11,3.12 приведены МСМ-изображения на которых автор идентифицирует наличие доменной структуры и сообщает, что «обнаружено различие доменной структуры на поверхностях образцов с различным порядком осаждения ферро- и антиферромагнитного слоёв.» Однако в дальнейшем обсуждении отсутствует анализ влияния доменной структуры на процессы перемагничивания двухслойных структур.
3. В работе проводилась оценка шероховатости поверхности ферромагнитного и антиферромагнитного слоев методом атомно-силовой микроскопии. Получены результаты, в которых для слоя NiFe шероховатость составила 2 нм, для слоя IrMn – 1 нм. Однако в приведенных АСМ-изображениях (рис.3.1) размеры пиков достигают 10-200 нм и их плотность в образце NiFe достаточно высока. При этом автор упоминает, что «Белые пики на изображении – это артефакты, которые не учитываются при анализе поверхностей пленок.» В работе не достаёт описания методики оценки шероховатости поверхности и уточнения какой именно параметр шероховатости приведен.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными для ее общей положительной оценки и не снижают общего уровня представленной диссертационной работы.

Диссертация Гриценко К.А. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на современном уровне. Достоверность результатов и обоснованность выводов не вызывают сомнений. **Автореферат полностью отражает содержание диссертации.** Полученные в работе результаты могут быть использованы в работе лабораторий, научно-исследовательских центров и на предприятиях, занимающихся исследованием, производством или применением тонкопленочных магнитных материалов.

Диссертация по актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, их достоверности и новизне соответствует критериям Положения о присуждении учёных степеней (п.9 – п.14), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., а её автор, Гриценко К.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

27.11.2018

Кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры физики конденсированного состояния
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»
170100, Тверская область, г. Тверь,
ул. Желябова, д.33
+7 (4822) 58-55-83
semenova.em@tversu.ru

Семенова Елена Михайловна

Подпись Семеновой Е.М. заверяю
проректор по научной и инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «Тверской
государственный университет», профессор,
доктор технических наук



Каплунов И.А.