

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор  
ФГБОУ ВО «ЮЗГУ»  
С.Г. Емельянов

«09» 11 2018 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Гриценко Кристины Александровны «Особенности процессов перемагничивания магнитостатически- и обменно- связанных тонкопленочных структур на основе пермаллоев», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 - физика магнитных явлений

Эффект обменного смещения обнаруживается для структур, содержащих границу раздела ферромагнитного и антиферромагнитного материалов, и проявляется как сдвиг петли гистерезиса вдоль оси магнитного поля. Межфазное обменное взаимодействие на границе раздела ферромагнетик-антиферромагнетик, обуславливающее данный феномен, определяет однонаправленную анизотропию магнитных свойств указанных систем. Отсутствие единой теории, описывающей эффект обменного смещения, определяет **актуальность** фундаментальных исследований в данной области. В свою очередь широкое применение структур с обменным смещением в технологиях спинтроники, а также для производства датчиков магнитного поля, непосредственно свидетельствует о практическом значении данного эффекта.

Диссертация Гриценко К.А. состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемой литературы, изложенных на 143 страницах. В тексте содержится 52 рисунка и 3 таблицы. Список цитируемой литературы содержит 198 статей.

Во **введении** описаны актуальность темы, личный вклад автора в исследование, практическая значимость работы. Также изложены цель и задачи исследования, новизна работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен литературный обзор по тематике исследования, в котором даны описание и анализ существующих моделей обменного смещения, дается описание примеров практического использования эффекта обменного смещения в технологиях и проанализированы перспективы дальнейшего развития работ в этой области. Результаты систематизированного литературного обзора научной литературы представлены в табличном виде, наглядно демонстрирующем наиболее важные результаты исследований, мультислойных свойств структур с ферромагнитным и антиферромагнитным упорядочением на примере сплавов NiFe и IrMn.

Во **второй главе** описаны методы, как аналитической характеристики и исследования свойств тонкопленочных структур, так и технологического нанесения тонкопленочных структур с одной или двумя обменно-связанными границами раздела (интерфейсами) ферромагнетик-антиферромагнетик. Заслуживает внимание описание уникальной методики создания NiFe/IrMn слоев методом магнетронного распыления в неоднородном магнитном поле, что позволило установить влияние полевой магнитной неоднородности на магнитные свойства, величину эффекта обменного смещения и процессы перемагничивания.

В **третьей главе** диссертации автор представила все полученные оригинальные результаты получения двухслойных NiFe/IrMn, IrMn/NiFe и трёхслойных NiFe/IrMn/NiFe тонкопленочных структур с обменным смещением и исследования в них процессов перемагничивания. Сформулированные выводы подтверждены результатами комплексных исследований в образцах фазовых структурных морфологических изменений методами рентгеноструктурного анализа, зондовой атомно-, магнито-

силовой, просвечивающей электронной микроскопии и магнитных свойств с помощью вибрационной магнитометрии.

К наиболее значимым результатам проведенного диссертационного исследования, отвечающим критериям **научной новизне работы**, можно отнести:

1) была установлена зависимость морфологии границы раздела ферромагнитного и антиферромагнитного слоев от порядка их осаждения и состава пермаллоя;

2) установлено, что состав пермаллоя, толщина антиферромагнитного слоя, а также порядок осаждения слоев NiFe и IrMn определяют магнитные свойства двухслойных структур на основе данных сплавов;

3) в результате подробного изучения процессов перемагничивания в трёхслойных тонкопленочных структурах NiFe/IrMn/NiFe с различными толщинами слоя IrMn от 2 до 10 нм было показано, что последовательность перемагничивания двух ферромагнитных слоев в трёхслойной структуре с двумя обменно-связанными интерфейсами зависит от состава пермаллоя и обуславливается конкуренцией межфазного обменного взаимодействия на границе раздела ферромагнетик-антиферромганетик и межслойного взаимодействия двух ферромагнитных слоев;

4) было продемонстрировано, что понижение температуры приводит к реализации в трёхслойных структурах NiFe/IrMn/NiFe механизма перемагничивания, наблюдаемого с ростом толщины антиферромагнитного слоя при комнатной температуре, как для образцов на основе высоко-, так и для образцов на основе низконикелевого пермаллоя;

5) обнаружено, что изменение величины и конфигурации внешнего магнитного поля, приложенного при напылении двухслойных структур NiFe/IrMn, влияет на величину эффекта обменного смещения и процессы перемагничивания в них;

Важно отметить, что с учетом выбора методов диссертационного исследования, полученные результаты представляются корректными и **достоверными**, а сделанные в заключение выводы, - обоснованными, что также подтверждается проведенной апробацией результатов работы.

Необходимо подчеркнуть, результаты исследования могут быть использованы в современных технологиях производства датчиков магнитного поля, а также устройств, основанных на эффектах гигантского магнитосопротивления и гигантского магнитного импеданса, а также для повышения чувствительности и увеличения степени надежности пассивных магнитных меток. Это обуславливает **практическую значимость** результатов работы. Детальное рассмотрение механизмов перемангничивания в обменно-связанных структурах на основе сплавов NiFe и IrMn позволило достичь также и **теоретически значимых** результатов, описанных выше и отражающих зависимость магнитных свойств вышеуказанных структур от толщины антиферромагнитного слоя, состава пермаллоя и порядка осаждения ферромагнитного и антиферромагнитного слоев.

Вместе с тем по представленной диссертационной работе имеются следующие **замечания**.

1) Автор диссертации делает вывод о том, что магнитостатическое взаимодействия для структур с низконикелевым пермаллоем меньше, чем для структур с высоконикелевым пермаллоем, однако не приводит никаких численных данных о разнице величин; приведены лишь качественные оценки.

2) В Главе 2 диссертации автор недостаточно подробно обосновывает, почему с помощью методики рентгеновской рефлектометрии не удалось получить достоверные экспериментальные данные о структурных и морфологических свойствах образцов.

3) В главе 3 представленные атомно-силовые изображения (рисунок 3.1) поверхности обменно-связанных интерфейсов не демонстрируют вывод об их шероховатости до 1 нм. Следовало бы показать профиль сканограммы,

из которой был бы очевиден этот параметр с разрешением, характерным для этого метода  $\approx 30$  пм. Здесь же на рисунке 3.2 приведены рентгеновские дифрактограммы, изучаемых магнитных пленок, их следовало бы провести расчеты областей когерентности по уравнению Дебая-Шеррера, что дополнило бы данные о размерах образующих нанопленки структурах.

4) Представленные в Главе 3 изображения петель гистерезиса образцов следовало бы привести к общему виду и систематизировать, что облегчило их анализ и способствовало лучшему пониманию, полученных результатов и сформулированных выводов.

5) В работе не обосновано, почему используется сплав  $\text{Ir}_{45}\text{Mn}_{55}$ , хотя в литературном обзоре показано, что в большинстве работ используются сплавы  $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{80}$ .

6) В тексте диссертации в обзорной части приводится анализ существующих моделей, описывающих эффект обменного смещения и процессов перемагничивания в исследуемых тонкопленочных структурах, однако отсутствует основанное на опытных многочисленных данных и развернутое описание, заявленной только в заключении работы, феноменологической модели, в которой учтены как механизмы частичного отклонения оси легкого намагничивания высоко- и низконикелевого пермаллоя относительно направления, заданного внешним магнитным полем при осаждении, так и выход магнитного момента из плоскости пленки для низконикелевого пермаллоя.

7) В тексте диссертации встречаются некорректные формулировки и словосочетания, стилистические и грамматические ошибки. К примеру, некорректны фразы стр. 54 – «...функции обычного флуоресцентного экрана и бинокля полностью оцифровываются с помощью программного обеспечения», стр. 59 – «...ЭДС в катушках наводится путем потокосцепления с образцом», многократно «обуславливаются» и другие.

### **Заключение о диссертации**

Несмотря на вышеперечисленные замечания, диссертационная работа «Особенности процессов перемагничивания магнитостатически- и обменно-связанных тонкопленочных структур на основе пермаллоев» представляет собой законченное научное исследование в области физики магнитных явлений, полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям согласно Положению №842 «О присуждении ученых степеней», утвержденному от 24 сентября 2013 года Правительством Российской Федерации, а её автор, - Гриценко Кристина Александровна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на научном семинаре Регионального центра нанотехнологий и кафедры Нанотехнологий, общей и прикладной физики Юго-Западного государственного университета протокол № 5 от 9 ноября 2018 г.

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры нанотехнологии, общей и инженерная физика, директор Регионального центра нанотехнологий ЮЗГУ

Кузьменко Александр Павлович

Даю своё согласие на обработку персональных данных.

305040 Курск ул. 50 лет Октября, д. 94.

Региональный центр нанотехнологий

тел. +7-910-314-29-01

e-mail: apk3527@mail.ru

Секретарь научного семинара, заведующий кафедрой нанотехнологии, общей и прикладной физики

к.ф.-м.н, доцент

Кузько Андрей Евгеньевич