

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу Москаleva Mихаила Евгеньевича «Закономерности формирования и механизмы обменного смещения в поликристаллических плёнках Ni-Mn/Fe-Ni», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – Физика магнитных явлений

Диссертационная работа М.Е. Москаleva посвящена экспериментальному исследованию эффекта обменного смещения, реализованного в многослойных плёночных структурах, включающих слои пермаллоя и слой на основе антиферромагнетика Ni-Mn. Вообще антиферромагнетизм в сплавах системы Ni-Mn присущ нескольким структурным модификациям. Но наибольший интерес в рамках тематики работы представляет упорядоченное эквиатомное соединение со структурой типа $L1_0$ (θ -NiMn), для которого температура Нееля превышает 1000 К. Очевидно, что источник обменного смещения с таким уровнем температуры упорядочения весьма востребован в технических элементах магнитной сенсорики и спинtronики. Однако на потенциально высокие свойства сплава накладывается специфика плёночного состояния как в структурном отношении, так и в связи с большой ролью поверхностных эффектов в условиях контакта со слоями других материалов, в частности, пермаллоя. Иными словами, для достижения повышенной температурной устойчивости обменного смещения в плёночных структурах на основе сплава Ni-Mn требуется систематическое научное исследование, целью которого является установление разносторонних закономерностей и механизмов формирования эффекта в плёночных сэндвичах типа Ni-Mn/Fe-Ni.

Указанная цель была основной при выполнении данной диссертационной работы, и для её достижения перед диссидентом было поставлено несколько конкретных задач, среди которых: получение по технологии магнетронного распыления объектов исследования – однослойных и многослойных плёнок, включающих слой Ni-Mn, в том числе плёнок Ni-Mn/Fe-Ni; исследование влияние состава слоя Ni-Mn, его толщины и толщины прилегающих слоёв пермаллоя, а также немагнитных прослоек на структуру и гистерезисные свойства плёночных структур в условиях интенсивного термического воздействия; определение температурного поведения обменного смещения, в том числе при варьировании магнитной предыстории образцов; формулировка обоснованных представлений о механизмах образования и вариации обменного смещения в плёнках с закрепляющим слоем типа Ni-Mn.

Все поставленные задачи в большой мере были решены диссидентом. При этом М.Е. Москалев. проявил высокую самостоятельность в работе, стремление к совершенствованию навыков в эксплуатации современного исследовательского оборудования, способность к научному осмыслению полученных результатов с использованием глубокого анализа литературных источников и представлению этих результатов в форме научных докладов и статей. Указанные качества позволили диссиденту успешно провести концептуально выдержанное исследование, главные результаты которого сводятся к следующему: впервые установлены закономерности структурных преобразований, приводящие к формированию равновесной антиферромагнитной фазы $\theta\text{-NiMn}$ как из первоначально аморфного состояния, так и из неравновесной неупорядоченной антиферромагнитной фазы $\gamma\text{-Ni-Mn}$; впервые получены зависимости эффективной константы анизотропии антиферромагнитного слоя Ni-Mn от его толщины и от температуры, которые позволили объяснить аномальный рост поля обменного смещения с увеличением температуры; впервые установлено, что причиной необратимых изменений и исчезновения эффекта обменного смещения в плёнках типа Ni-Mn/Fe-Ni при достижении температуры блокировки, является структурно-композиционная деградация фазы $\theta\text{-NiMn}$.

Полученные результаты хорошо апробированы путем представления и обсуждения их с личным участием автора на многих научных конференциях, в том числе за рубежом. Они также вошли в отчеты по ряду проектов, в выполнении которых участвовал М.Е. Москалев: грант РНФ № 18-72-10044 «Физико-технологические основы формирования функциональных свойств плёночных нанокомпозитов для магнитомикроэлектроники», грант РНФ № 19-72-00141 «Применение методов машинного обучения для прогнозирования свойств и поиска новых магнитных пленочных структур с односторонней магнитной анизотропией», госзадание Минобрнауки по теме FEUZ-2020-051 «Исследование магнитных явлений в атомных системах на основе 4f и 3d-переходных металлов в состояниях с различной пространственной размерностью и магнитополевых эффектов в механически твердых и мягких магнитных композитах как материалах для перспективных инженерных и медико-биологических технологий».

В целом можно заключить, что М.Е. Москалев является сформировавшимся физиком-исследователем. Его отличают высокая мобильность, восприимчивость к методическим новациям в области физического эксперимента, тщательность в проведении и интерпретации результатов исследований. Он способен ставить и решать научные задачи в области магнетизма и функциональных магнитных материалов. Всё это

позволяет считать, что М.Е. Москалев достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – Физика магнитных явлений.

Научный руководитель
зав. кафедрой магнетизма и магнитных наноматериалов
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
доктор физико-математических наук, профессор

12

Васьковский
Владимир Олегович

11.10.2021

620002, Екатеринбург,
ул. Мира, 19,
тел.: (343) 389-95-67
e-mail: Vladimir.Vaskovskiy@urfu.ru

