ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.133.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ ИМЕНИ М.Н. МИХЕЕВА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФМ УрО РАН) МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24.12.2021, № 14

О присуждении Москалеву Михаилу Евгеньевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Закономерности формирования и механизмы обменного смещения в поликристаллических плёнках Ni-Mn/Fe-Ni» по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений принята к защите 21.10.2021, протокол № 13, диссертационным советом 24.1.133.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 620108, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Москалев Михаил Евгеньевич, 1993 года рождения, в 2016 году с отличием окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ) по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Москалев М.Е. освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в очной аспирантуре при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении

высшего образования «Уральском федеральном университете им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», год окончания аспирантуры 2020, работает в должности младшего научного сотрудника отдела магнетизма твёрдых тел Научно-исследовательского института физики и прикладной математики (НИИ ФПМ) Института естественных наук и математики УрФУ.

Диссертация выполнена на кафедре магнетизма и магнитных наноматериалов и в отделе магнетизма твёрдых тел НИИ ФПМ Института естественных наук и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Васьковский Владимир Олегович, заведующий кафедрой магнетизма и магнитных наноматериалов Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Официальные оппоненты:

1) Комогорцев Сергей Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией физики магнитных плёнок ФГБУН Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН, г. Красноярск;

2) Моргунов Роман Борисович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник отдела строения вещества ФГБУН Института проблем химической физики РАН, г. Черноголовка

дали положительные отзывы на диссертацию М.Е. Москалева.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Физический факультет, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Перовым Николаем Сергеевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой магнетизма, и Грановским

Александром Борисовичем, доктором физико-математических наук, профессором, профессором кафедры магнетизма, указала, что «диссертационная работа Москалева Михаила Евгеньевича на тему «Закономерности формирования и механизмы обменного смещения в поликристаллических плёнках Ni-Mn/Fe-Ni», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены результаты, имеющие значение для развития физики магнитных явлений. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе критериям раздела II Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 с последующими изменениями, а ее автор Москалев Михаил Евгеньевич несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.»

Соискатель имеет 26 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 23 работы, из них статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях и входящих в перечень ВАК – 4, тезисов докладов в материалах российских и международных конференций – 19. Общий объём научных работ составляет 7,4 печатных листа.

В результате проведённых исследований автором были установлены закономерности формирования и механизмы обменного смещения с высокой температурой блокировки в плёнках типа Ni-Mn/Fe-Ni, полученных методом магнетронного распыления.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Crystal structure and exchange bias of Ni-Mn-based films [Text] / V. O. Vas’kovskiy, M. E. Moskalev, V. N. Lepalovskij, A. V. Svalov, A. Larrañaga, K.

G. Balymov, N. A. Kulesh // Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – Vol. 777. – P. 264-270.
2. Влияние буферного слоя пермаллоя на структурное состояние и гистерезисные свойства многослойных пленок FeNi/NiMn/FeNi [Текст] / М. Е. Москалев, В. Н. Лепаловский, Л. И. Наумова, В. О. Васьковский // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. – 2019. – Т. 83, №. 7. – С. 953-955.
3. Tuning of Exchange-Biased Ni-Mn/Fe-Ni Films With High Blocking Temperatures [Text] / M. E. Moskalev, E. V. Kudyukov, V. O. Vas'kovskiy, V. N. Lepalovskij // IEEE Magnetics Letters. – 2019. – Vol. 10. – P. 1-5.
4. Structural investigation of magnetron sputtered Ta/Ni_xMn_{100-x}/Ta thin films [Text] / M. E. Moskalev, V. N. Lepalovskij, A. A. Yushkov, V. Y. Kolosov, V. O. Vas'kovskiy // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 2015, №. 1. – P. 020062.

На диссертацию и автореферат поступило 3 отзыва:

1. От Калинина Юрия Егоровича, д.ф.-м.н., профессора, профессора кафедры физики твёрдого тела ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж.

Замечание: «В качестве замечания можно отметить отсутствие результатов исследования структуры поперечного сечения пленок с помощью высокоразрешающей электронной микроскопии, что бы повысило достоверность установленных закономерностей»

2. От Пастушенкова Юрия Григорьевича, д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой физики конденсированного состояния ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь.

Замечание: «Недостатком диссертации, на мой взгляд, можно считать отсутствие численного моделирования эффекта обменного смещения, которое могло бы придать большую обоснованность представленным физическим моделям.»

3. От Патрина Геннадия Семёновича, д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой общей физики ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Замечание: «К числу недостатков исследования можно отнести слабую проработанность вопроса влияния «немагнитных» прослоек на эффект обменного смещения и гистерезисные свойства многослойных структур. Определённые сведения на этот счёт в автореферате имеются. Однако они недостаточны для построения обобщённой картины такого влияния и выработки возможных практических рекомендаций. Отмеченный недостаток носит характер пожелания и не затрагивает сути выполненного исследования.»

Выбор официальных оппонентов доктора физико-математических наук, доцента С.В. Комогорцева и доктора физико-математических наук, профессора РАН Р.Б. Моргунова, а также ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Физический факультет, г. Москва, обосновывается публикациями оппонентов, тематикой структурного подразделения ведущей организации, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Установлено, что в поликристаллических плёнках Ni-Mn/Fe-Ni эффект обменного смещения обусловлен присутствием по крайне мере одной из двух антиферромагнитных фаз Ni-Mn: неравновесного твёрдого раствора γ-Ni-Mn или эквиатомного равновесного соединения θ-NiMn.

2. Показано, что формирование фазы γ-Ni-Mn, обладающей ГЦК-структурой, происходит в результате роста поверх буферного слоя Fe-Ni с идентичной кристаллической структурой. Образование фазы θ-NiMn происходит в ходе отжига при температурах свыше 250 °C как при кристаллизации из

первоначально рентгеноаморфного состояния, так и при распаде неравновесной фазы γ-Ni-Mn.

3. Установлено, что важную роль в структурных преобразованиях, происходящих в слое Ni-Mn, играет наличие по меньшей мере одного соседствующего слоя Fe-Ni. В отсутствие последнего структурные преобразования происходят существенно медленнее.

4. Определено влияние толщины закрепляющего слоя и тонких межслойных прослоек на обменное смещение в структурах Ni-Mn/Fe-Ni. Показана возможность минимизации температурной чувствительности величины поля обменного смещения путем регулирования толщины антиферромагнитного слоя Ni-Mn.

5. Установлено, что температурное поведение поля обменного смещения в структурах, содержащих закрепляющие слои на основе разных антиферромагнитных фаз Ni-Mn, качественно различно. В случае γ-Ni-Mn наблюдается монотонное уменьшение поля обменного смещения из-за увеличения энергии тепловых флуктуаций. При наличии фазы θ-NiMn поле обменного смещения возрастает при увеличении температуры от –150 °C до 125 °C, что является следствием увеличения эффективной константы анизотропии слоя Ni-Mn.

6. Показано, что в плёнках Ni-Mn/Fe-Ni, содержащих антиферромагнитную фазу θ-NiMn, необратимое исчезновение эффекта обменного смещения при нагреве выше 325 °C вызвано ее распадом, сопровождающимся межслойной диффузией.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что полученные в работе данные о закономерностях формирования структурного состояния могут быть использованы при моделировании механизмов роста и структурно-фазовой трансформации многослойных поликристаллических тонких плёнок сплавов 3*d*-металлов как основы регулирования их магнитных свойств и, в частности, эффекта обменного смещения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что исследуемые в работе структуры являются перспективными для использования в сфере записи информации и магнитной сенсорики. Величина температуры блокировки (~350 °C) и ее температурная стабильность, достигнутая в плёнках на основе Ni-Mn, находятся на уровне свойств лучших структур с обменным смещением.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что получение образцов и их дальнейшее исследование были проведены при помощи современного высокотехнологичного оборудования. Анализ и трактовка полученных результатов выполнены с использованием актуальных общепризнанных методик в рамках современных физических моделей и не противоречат ранее опубликованным данным в выбранной предметной области. Результаты диссертации были опубликованы в рецензируемых научных изданиях и широко представлены на научных конференциях высокого уровня.

Личный вклад соискателя состоит в том, что им совместно с научным руководителем д.ф.-м.н., профессором В.О. Васьковским были выбраны направление исследования и тема диссертации, сформулированы её цель и задачи, требующие решения для достижения этой цели. Автором совместно с к.ф.-м.н. В. Н. Лепаловским методом магнетронного распыления были получены серии однослойных и многослойных плёночных структур, представляющих собой объект исследования, выполнена их последующая многовариантная термическая обработка и проведены основные магнитооптические и магнитометрические измерения. С участием автора осуществлено большинство исследований структуры плёнок методом просвечивающей электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрии. Автором диссертации выполнена обработка всех экспериментальных данных, внесён основной вклад в анализ полученных результатов и подготовку большинства научных публикаций по теме диссертации.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, посвящённую решению актуальной задачи по установлению закономерностей и механизмов формирования, а также деградации эффекта обменного смещения в плёнках типа Ni-Mn/Fe-Ni с высокой температурой блокировки и соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21.04.2016 г. № 335.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 24.12.2021, проведённом в очном режиме, диссертационный совет принял решение присудить Москалеву Михаилу Евгеньевичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 1.3.12. Физика магнитных явлений, 5 докторов наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 6 докторов наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет, проголосовали: «за» – 16, «против» – нет, «недейств.» – нет.

Председатель заседания,
председатель диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук В.В. Устинов

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук Т.Б. Чарикова

27 декабря 2021 г.