

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.106.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ ТЕХНОЛОГИИ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ОСОБОЧИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК
(ИПТМ РАН) ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 09.10.2024 г. № 2-24

О присуждении Маликову Илье Валентиновичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Эпитаксиальные пленки тугоплавких, ферромагнитных и половинных металлов: получение, свойства и структуры на их основе» по специальности 2.2.2 – электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств принята к защите 21.06.2024 г., протокол № 24-2-М, диссертационным советом 24.1.106.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук (ИПТМ РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 6, утвержденным приказом Минобрнауки №105/нк от 11.04.2012 г..

Соискатель Маликов Илья Валентинович, 06.03.1961 года рождения, в 1984 году окончил Московский ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Институт стали и сплавов по специальности Физика металлов, в 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Гетероэпитаксиальные планарные структуры из монокристаллического молибдена и ниобия и их электронно-транспортные свойства» в диссертационном совете, созданном на базе ИПТМ РАН. Работает в ИПТМ РАН старшим научным сотрудником.

Диссертация выполнена в лаборатории квантовой электронной кинетики металлических наноструктур и лаборатории физики полупроводников ИПТМ

РАН.

Официальные оппоненты: Вербенко Илья Александрович, д-р физ.-мат. наук, директор Научно-исследовательского института Физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Южного Федерального Университета,

Кузьменко Александр Павлович, д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник Регионального центра нанотехнологий, профессор кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Юго-Западного государственного университета,

Сафин Ансар Ризаевич, д-р физ.-мат. наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН), – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твёрдого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук (ИФТТ РАН), в своем положительном заключении, подписанном д-ром физ.-мат. наук Ионовым Андреем Михайловичем, ведущим научным сотрудником лаборатории спектроскопии поверхности полупроводников ИФТТ РАН, указала, что диссертация «соответствует требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а её автор, Маликов Илья Валентинович, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 2.2.2 – электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Недостоверные сведения об опубликованных работах в диссертации отсутствуют. Соискатель имеет 71 работу по теме диссертации, из них 37 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, а также 1 главу в монографии и патент.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации содержат ключевые

результаты, основная часть которых получена лично соискателем:

1. Mikhailov G.M., Malikov I.V., Chernykh A.V. Novel Class of Metallic Low-Dimensional Structures, Characterised by Surface Dominated Electron Transport // *Physics of Low-Dimensional Structures*. 1999. – V. 3/4. – P. 1-24.
2. Malikov I.V., Mikhailov G.M. Epitaxial bilayered Nb-Mo (001) films: growth, characterisation and size effect in electron conductivity // *Thin Solid Films*. – 2000. – V. 360. – P. 278-282.
3. Михайлов Г.М., Маликов И.В. Об осцилляционной зависимости проводимости трехслойных структур Mo-Nb-Mo // *Письма в ЖЭТФ*. – 2000. – Т. 71. – № 12. – С. 730-735.
4. Malikov I.V., Fomin L.A., Vinnichenko V.Yu., Mikhailov G.M. Epitaxial Ni films for ballistic ferromagnetic nanostructures // *Thin Solid Films*. – 2010. – V. 519. – № 1. – P. 527-535.
5. Фомин Л.А., Маликов И.В., Калач К.М., Пяткин С.В., Зильберман П.Е., Михайлов Г.М. Переключение направленности круговой намагниченности квадратных эпитаксиальных микроструктур Fe (001) спин-поляризованным током // *Микроэлектроника*. – 2013. – Т. 42. – № 5. – С. 383-387.
6. Маликов И.В., Березин В.А., Фомин Л.А., Михайлов Г.М. Геометрические эффекты в вольт-амперной зависимости крестообразной МДМ-структуры Ni/NiO/Fe // *Микроэлектроника*. – 2018. – Т. 47. – № 3. – С. 205-211.
7. Mikhailov G.M., Chernykh A.V., Malikov I.V., Fomin L.A. Multiterminal epitaxial tungsten nanostructures on MgO/GaAs(001) substrates: Temperature effects in ballistic electron transport // *Journal of Applied Physics*. – 2022. – V. 132. – № 16. – P. 164304.
8. Chernykh A.V., Malikov I.V., Berezin V.A., Fomin L.A. Iron island films on sapphire grown by pulsed laser deposition with in situ electrical resistance monitoring // *Applied Surface Science*. – 2023. – V. 610. – P. 155471.
9. Malikov I.V., Berezin V.A., Fomin L.A., Trofimov O.V. Observation of the Stranski-Krastanow mechanism during the ultrathin Mo film growth on the sapphire R-plane // *Applied Surface Science*. – 2023. – V. 637. – P. 157904.

На диссертацию и автореферат поступило 7 положительных отзывов. В них отмечается актуальность работы, важность полученных результатов и их новизна, а также указано, что автор диссертации заслуживает присуждения искомой степени. В отзыве д-ра техн. наук Борисенко Е.Б., ведущего научного сотрудника лаборатории физико-химических основ кристаллизации ИФТТ РАН, есть небольшое замечание к рис. 4: указано, что форма пика требует «сравнения с РД подложки. Кроме того, анализа профиля одной линии явно недостаточно. Желательно было бы привести параметры решеток для двух модификаций, указать точность их определения и определить, принадлежат ли обе модификации одному типу кристаллической решётки».

Д-р физ.-мат. наук Вилков Е.А., проф., ведущий научный сотрудник лаборатории №250 «Сегнетоэлектрические материалы и устройства» Фрязинского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, в качестве замечания указал, что «некоторые моменты в тексте автореферата сложны для восприятия без иллюстративного материала, например, описание установки и результаты перемагничивания спин-поляризованным током».

Д-р хим. наук Перлович Г.Л., проф., руководитель научно-исследовательского направления Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, заметил, что «выводы воспринимались бы намного лучше, если бы не было аббревиатур». А также отметил, что на рис. 4 «подгоночные параметры в «теле» рисунка плохо читаются».

Д-р физ.-мат. наук Рабинский Лев Наумович, проф., заведующий кафедрой «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московского авиационного института (национального исследовательского университета), замечаний не отметил.

Д-р техн. наук Петрова Лариса Георгиевна, проф., заведующая кафедрой «Технология конструкционных материалов» Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, в качестве недостатка отметила «использование двух различных температурных шкал для обозначения комнатной температуры (293 К и 20 °С), а также излишнее использование сокращений, что сказывается на восприятии текста».

Д-р физ.-мат. наук Зайцев Сергей Иванович, главный научный сотрудник лаборатории теоретической физики ИПТМ РАН, указал, что на рис. 4 плохо читается надпись, а «при описании рис. 11 автор не обсуждает причины уменьшения длины свободного пробега электронов с ростом температуры после достижения максимума».

Д-р техн. наук Гнесин Борис Абрамович, ведущий научный сотрудник ИФТТ РАН, отметил некоторые неточности формулировок. Например, вместо «смена знака сопротивления в крестообразных структурах» было бы точнее писать «смена знака дифференциального удельного электросопротивления в крестообразных структурах». «На стр. 14 в подписи к рис. 4 точнее было бы писать о форме линии {110}, а не (011), поскольку линия была порождена всей совокупностью кристаллографических плоскостей».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается

тем, что ведущая организация – передовое предприятие в области исследования свойств низкоразмерных систем, а официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения, что подтверждается авторитетными публикациями.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных исследований:

предложен подход к изготовлению баллистических структур из Mo и Nb на сапфире и из W на подложках GaAs;

доказаны: зависимость проводимости и наклона плоскости роста от скорости роста пленок Nb, имеющая максимум; взаимная эпитаксия Mo и Nb; корреляция проводимости и микрошероховатости внешней поверхности; влияние встроенного потенциала на проводимость двух- и трехслойных пленок и баллистических наноструктур; проявление механизма Странского-Крастанова в малом интервале толщин;

введены критерии нахождения в однодоменном состоянии и переключения направленности намагниченности спин-поляризованным током для микроструктур из Fe;

определены: закономерности роста островковых пленок Fe с контролируемым размером островков; зависимость дифференциального сопротивления от тока для крестообразных структур Ni/NiO/Fe; влияние температуры на магнитные свойства пленок сплавов Гейслера Co₂FeSi, Co₂FeAl, Co₃Si, для которых достигнуты инверсия анизотропного магнитосопротивления и одноосная магнитная анизотропия.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно, т.е. с получением обладающих новизной результатов, **использован** комплекс методов исследования для характеристики физических свойств полученных эпитаксиальных пленок тугоплавких, ферромагнитных и половинных металлов;

изложена идея нового технологического критерия для управления проводимостью за счёт существенного влияния границ раздела на проводимость.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан подход к зондовой литографии с формированием оксидной маски;

определены возможности создания металлических, в том числе гетероэпитаксиальных, наноструктур с баллистическим электронным транспортом, что открывает перспективу создания нового класса электронных устройств;

созданы тестовые макеты рабочих элементов баллистических, туннельных структур и структур со спин-зависимым транспортом;

представлены основные закономерности, позволяющие

- выращивать тонкие высококачественные эпитаксиальные пленки тугоплавких и ферромагнитных металлов методом импульсного лазерного осаждения, имеющие остаточные длины свободного пробега электронов, превышающие их толщину, в том числе на порядок;
- получать островковые пленки Fe с контролируемым размером островков.

Оценка достоверности результатов выявила:

все научные выводы и модельные представления в работе **базируются** на экспериментальной основе; показана высокая **воспроизводимость** результатов;

использованы взаимодополняющие исследования с применением широкого арсенала современных методов; **установлена** корреляция полученных результатов в области роста пленок и электронного транспорта в пленочных структурах с данными, полученными другими авторами.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в получении основных результатов диссертации. Процессы эпитаксиального роста пленок и их исследования (глава 3) проведены автором лично. Результаты, приведённые в главах 4 и 5, получены при участии коллег (участие соавторов отражено в совместных публикациях). Во всех совместных работах автор участвовал в постановке задач, разработке методик исследования, проектировании устройств на основе эпитаксиальных структур, обработке и анализе полученных результатов, написании научных статей, докладов и патента. Концепция

диссертации, формулировка цели и постановка решаемых в ней задач отражает точку зрения и творческий взгляд автора на рассматриваемую проблему.

На заседании 9 октября 2024 г. диссертационный совет принял решение: за новые научно обоснованные технологические решения в области получения высококачественных эпитаксиальных пленок тугоплавких (Mo, Nb, W), ферромагнитных (Ni, Fe) и половинных (Fe_3O_4 , сплавы Гейслера) металлов, включая гетероэпитаксиальные многослойные структуры, а также изготовления на их основе планарных монокристаллических наноструктур различной геометрии, внедрение которых необходимо для развития микро- и нанoeлектроники, спинтроники, фотоники, присудить Маликову Илье Валентиновичу учёную степень доктора физико-математических наук по специальности 2.2.2 – электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств (содержание диссертации соответствует п. 1 и п. 4 паспорта специальности).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 11 докторов наук по специальности 2.2.2, участвовавших в заседании, из них двое – в удалённом интерактивном режиме, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета
чл.-корр. РАН

 Рошупкин Дмитрий Валентинович

Ученый секретарь диссертационного совета
канд. физ.-мат. наук

 Коротицкая-Седловец Дарья Михайловна

09.10.2024 г.

Подпись Рошупкина Д.В. заверяю:

Ученый секретарь ИПТМ РАН,
канд. физ.-мат. наук

