

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.069.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.12.2018 № 17

О присуждении Свечникову Михаилу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Диагностика внутреннего строения многослойных рентгеновских зеркал по данным рефлектометрии в рамках расширенной модели» по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики» – принята к защите 18 октября 2018 г. (протокол заседания № 10) диссертационным советом Д002.069.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения (ФГБНУ) «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603950 г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ от 30 июня 2017 года номер 670/нк о создании диссертационного совета.

Соискатель Свечников Михаил Владимирович, 1991 года рождения, в 2014 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ) по направлению «Физика», освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Института физики микроструктур РАН -

филиале ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (срок обучения 01.09.2014 – 31.08.2018), работает в должности младшего научного сотрудника отдела многослойной рентгеновской оптики Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в Институте физики микроструктур РАН – филиале ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Чхало Николай Иванович, заведующий отделом многослойной рентгеновской оптики Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1. Бушуев Владимир Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ),

2. Горай Леонид Иванович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории нанoeлектроники Центра нанотехнологий Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет Российской академии наук» (СПБАУ),

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное учреждение «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и

фотоника» Российской академии наук» (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН) – в своем **положительном отзыве**, составленном и подписанном Асадчиковым Виктором Евгеньевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией рефлектометрии и малоуглового рассеяния ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН и Муслимовым Арсеном Эмирбеговичем, старшим научным сотрудником лаборатории роста тонких пленок и неорганических структур ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, и утвержденном Алексеевой Ольгой Анатольевной, кандидатом физико-математических наук, директором ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, указала, что рецензируемая диссертационная работа посвящена созданию и использованию средств метрологического контроля, без которых невозможно создание совершенных многослойных покрытий и, таким образом, является весьма актуальной. Отмечено, что диссертация «представляет ясную и хорошо оформленную работу. Текст диссертации содержит необходимые иллюстрации и написан ясным и профессиональным языком». «Работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Свечников Михаил Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики».

По теме диссертации соискатель имеет 30 опубликованных работ, в числе которых 10 статей в рецензируемых научных журналах, входящих в список журналов, рекомендованных ВАК. Наиболее значительные работы:

1. **Svechnikov M. V.** Resolving capacity of the circular Zernike polynomials / **M. V. Svechnikov**, N.I. Chkhalo, M.N. Toropov, N.N. Salashchenko // Optics Express. – 2015. – Vol. 23. – № 11. – P. 14677.
2. **Svechnikov M. V.** Application of point diffraction interferometry for middle spatial frequency roughness detection / **M. V. Svechnikov**, N.I. Chkhalo, M.N.

- Toropov, N.N. Salashchenko, M. V. Zorina // Optics Letters. – 2015. – Vol. 40. – № 2. – P. 159.
3. Chkhalo N.I. High-reflection Mo/Be/Si multilayers for EUV lithography / N.I. Chkhalo, S.A. Gusev, A.N. Nechay, D.E. Pariev, V.N. Polkovnikov, N.N. Salashchenko, F. Schäfers, M.G. Sertsu, A. Sokolov, **M. V. Svechnikov**, D.A. Tatarsky // Optics Letters. – 2017. – Vol. 42. – № 24. – P. 5070.
 4. **Svechnikov M.** Extended model for the reconstruction of periodic multilayers from extreme ultraviolet and X-ray reflectivity data / **M. Svechnikov**, D. Pariev, A. Nechay, N. Salashchenko, N. Chkhalo, Y. Vainer, D. Gaman // Journal of Applied Crystallography. – 2017. – Vol. 50. – № 5. – P. 1428-1440.
 5. Chkhalo N.I. Be/Al-based multilayer mirrors with improved reflection and spectral selectivity for solar astronomy above 17 nm wavelength / N.I. Chkhalo, D.E. Pariev, V.N. Polkovnikov, N.N. Salashchenko, R.A. Shaposhnikov, I.L. Stroulea, **M. V. Svechnikov**, Y.A. Vainer, S.Y. Zuev // Thin Solid Films. – 2017. – Vol. 631. – P. 106-111.

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют. Личный вклад соискателя в опубликованные по теме диссертации работы является определяющим.

На автореферат диссертации поступило 4 отзыва (**все положительные**):

1) Кузин Сергей Вадимович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией рентгеновской астрономии солнца (ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН), в своем отзыве на автореферат диссертации отмечает: «практическая реализация результатов работы приведёт к повышению коэффициента отражения и уменьшения рассеяния в рабочем спектральном диапазоне многослойных рентгеновских зеркал (МРЗ)». **Отзыв содержит следующие замечания:**

1. При обсуждении вклада различных компонент ИДВС в шумовые характеристики анализируемой интерферограммы не приводятся весовые характеристики каждой из них.

2. Автор приводит причины разработки собственной программы рефлектометрической реконструкции Multifitting, в то же время не указаны её преимущества с точки зрения точности получаемых результатов.

2) Медведев Вячеслав Валериевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН), в своем отзыве на автореферат диссертации отмечает, что «диссертационная работа Свечникова М.В. является своевременной и актуальной». **Отзыв не содержит замечаний.**

3) Пунегов Василий Ильич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Физико-математического института ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, в своем отзыве на автореферат диссертации отмечает, что «все теоретические работы и численные расчеты по восстановлению структурных параметров МРЗ по данным рентгеновской рефлектометрии, а также эксперименты по измерению коэффициентов отражения МРЗ на синхротроне BESSY-II были выполнены соискателем самостоятельно». **Отзыв содержит следующую рекомендацию:**

1. Результаты были бы еще более весомыми, если дополнить их анализом 2D углового распределения диффузного рассеяния от МРЗ с использованием метода DWBA или подхода без использования теории возмущений. Это позволило бы получить дополнительную информацию о корреляционных свойствах межслоевых шероховатостей.

4) Трушин Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского физико-технического института ННГУ в своем отзыве на автореферат диссертации отмечает, что «существенным практическим результатом стало достижение рекордных значений отражения трехкомпонентным Mo/Be/Si МРЗ вблизи длины волны 13.5 нм». **Отзыв не содержит замечаний.**

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тематической близостью их научных исследований и диссертационного

исследования соискателя, посвященных взаимодействию рентгеновского излучения с веществом, в частности в задачах определения топологии нанообъектов рентгеновскими методами.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Предложено применение интерферометрии с дифракционной волной сравнения для изучения шероховатости среднечастотного диапазона. Проведены эксперименты, подтвердившие работоспособность предложенного метода.

Установлена связь между степенью старших полиномов Цернике в наборе, используемом при аппроксимации поверхности, и максимальной отображаемой пространственной частотой поверхностного рельефа.

Разработана модель для восстановления внутреннего строения многослойных структур по данным рентгеновской рефлектометрии, в которой профили межслоевых областей представлены в виде линейной комбинации функций, соответствующих физическим процессам, протекающим при формировании интерфейсов. Весовые коэффициенты при этих функциях являются подгоночными параметрами.

Изучены интерфейсы в многослойных зеркалах Be/Al, Mo/Be и Mo/Be/Si, а также влияние прослоек C, B₄C и Si на внутреннюю структуру и коэффициенты отражения этих зеркал в экстремальном ультрафиолетовом спектральном диапазоне. Обнаружено повышение резкости интерфейсов при введении тонкой кремниевой прослойки в Be/Al и Mo/Be структуры.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что установлены ограничения разрешающей способности конечного набора полиномов Цернике, применяющегося для аппроксимации рельефа оптических поверхностей.

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

– проведённый анализ ограничений интерферометра способствовал дальнейшему развитию методики изучения формы поверхности и aberrаций оптических систем с помощью фазосдвигающей интерферометрии с дифракционной волной сравнения;

– разработанная программа для реконструкции внутреннего строения многослойных зеркал по данным рентгеновской рефлектометрии используется для диагностики МРЗ в ИФМ РАН; с её помощью получен ряд новых данных о ранее изготовленных и разрабатываемых зеркалах;

– продемонстрированы рекордные коэффициенты отражения Mo/Be/Si зеркал на длине волны 13.5 нм, что представляет большой интерес для литографических применений;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– исследование шероховатости МРЗ проводилось методом интерферометрии с дифракционной волной сравнения, ранее апробированным в ИФМ РАН для контроля формы оптических подложек с субнанометровой точностью;

– результаты измерений шероховатости МРЗ сравнивались с данными атомно-силовой микроскопии и соответствуют им;

– параметры многослойных структур, полученные методом рефлектометрической реконструкции, находятся в хорошем согласии с данными, полученными независимыми методиками: атомно-силовой микроскопией, высокоразрешающей электронной микроскопией, измерением диффузного рассеяния рентгеновского излучения;

– толщины слоёв МРЗ, определенные методом интерферометрии с дифракционной волной сравнения, соответствуют априорной технологической информации о структурах.

Личный вклад соискателя: Основные результаты, представленные в рассмотренной диссертационной работе, были получены автором лично, либо при непосредственном его участии. Постановка цели и задач диссертационного

исследования, интерпретация полученных результатов и формулировка выводов осуществлена совместно с научным руководителем.

На заседании 25.12.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Свечникову М.В. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 19, против 0 (нет), недействительных бюллетеней 0 (нет).

Председатель диссертационного совета



Гапонов

Гапонов С.В.

Ученый секретарь диссертационного совета

Водолазов

Водолазов Д.Ю.

Дата оформления Заключения 25.12.2018 г.