

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.098.01  
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института физики микроструктур Российской академии наук  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 25 июня 2015 г. № 8  
о присуждении Цыбину Николаю Николаевичу, гражданство Российская  
Федерация, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Многослойные абсорбционные фильтры для астрономии и проекционной литографии экстремального ультрафиолетового диапазона» по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 16 апреля 2015 года, протокол № 3, диссертационным советом Д 002.098.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики микроструктур Российской академии наук 607680, ул. Академическая, д. 7, д. Афонино, Нижегородская обл., Кстовский район, Россия, приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Цыбин Николай Николаевич 1979 года рождения в 2002 году окончил Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, работает младшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики микроструктур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в отделе многослойной рентгеновской оптики (№130) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики микроструктур Российской академии наук.

Научный руководитель – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук Салашенко Николай Николаевич, заведующий отделом многослойной рентгеновской оптики (№130) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики микроструктур Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Кузин Сергей Вадимович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, заведующий лабораторией рентгеновской астрономии Солнца;
2. Водопьянов Александр Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт прикладной физики Российской академии наук, заведующий лабораторией прикладной физики плазмы ИПФ РАН дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук, г. Москва, г. Троицк, в своем положительном заключении, подписанном Рябцевым Александром Николаевичем, доктором физико-математических наук, заведующим отделом атомной спектроскопии указала, что «в диссертации Цыбина Николая Николаевича решена актуальная задача по разработке и исследованию функциональных оптических элементов нового поколения - свободновисящих многослойных тонкопленочных фильтров для экстремального ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения» и что «полученные результаты имеют большое значения для науки и практики».

Соискатель имеет 13 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 13 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях. Наиболее значительные работы:

1. Bibishkin, M.S. Multilayer Zr/Si filters for EUV lithography and for radiation source metrology / M.S. Bibishkin, N.I. Chkhalo, S.A. Gusev, E.B. Kluev, A.Y. Lopatin, V.I. Luchin, A.E. Pestov, N.N. Salashchenko, L.A. Shmaenok, N.N. Tsybin, S.Y. Zuev // Proc. SPIE. – 2008. - V.7025. – 702502. Вклад соискателя – 50%
2. Володин, Б.А. Многослойные тонкопленочные фильтры экстремального ультрафиолетового и мягкого рентгеновского диапазонов / Б.А. Володин, С.А. Гусев, М.Н. Дроздов, С.Ю. Зуев, Е.Б. Ключенков, А.Я. Лопатин, В.И. Лучин, А.Е. Пестов, Н. Н. Салашченко, Н.Н. Цыбин, Н. И. Чхало, Л. А. Шмаенок // Известия Академии наук. Серия физическая. - 2010. - Т.74, - №1, - С.53-57. Вклад соискателя – 70%
3. Chkhalo, N.I. Free-standing spectral purity filters for extreme ultraviolet lithography / N.I. Chkhalo, M.N. Drozdov, E.B. Kluev, A.Ya. Lopatin, V.I. Luchin, N.N. Salashchenko, N.N. Tsybin, L.A. Shmaenok, V.E. Vanine, A.M. Yakunin // J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS. – 2012.-Vol. 11(2).- 021115. Вклад соискателя – 40%
4. Ключенков, Е.Б. Свободностоящие пленочные структуры для лазерно-плазменных экспериментов / Е.Б. Ключенков, А.Я. Лопатин, В.И. Лучин, Н.Н. Салашченко, Н.Н. Цыбин // Квантовая электроника. – 2013. – Т.43. - №4. - С.388-391. Вклад соискателя – 50%

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- отзыв из Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, профессора кафедры физики твердого тела физического факультета МГУ, от доктора физико-математических наук Бушуева Владимира Алексеевича. Отзыв положительный, содержит замечание: «В главе 4, посвященной изучению термической стабильности тонкопленочных фильтров, указаны используемые температуры нагрева при различных плотностях поглощенной мощности, длительности нагрева, изменение коэффициентов пропускания и т.д., однако не указаны, например, плотности потоков излучения и температуры нагрева, которые реализуются или могут реализоваться на практике при использовании этих фильтров в реальных условиях при изучении атмосферы Солнца или в ожидаемых установках проекционной литографии».
- отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, от главного научного сотрудника ИЯФ СО РАН, академика РАН Кулипанова Геннадия Николаевича. Отзыв положительный, содержит замечание: «К сожалению, судя по автореферату, автор не рассматривает особенностей применения разработанных методик для создания фильтров, ориентированных для работы на станциях синхротронного излучения. Такое применение имеет ряд особенностей, и его рассмотрение могло бы расширить область применения результатов представленной работы».
- отзыв из Коми научного центра Уральского отделения РАН, от доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией теоретической и вычислительной физики Пунегова Василия Ильича. Отзыв положительный, не содержит замечаний.
- отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук от заместителя директора по научной работе, доктора физ.-мат. наук Рощупкина Дмитрия Валентиновича. Отзыв положительный, содержит замечания: « На второй странице автореферата в первой строке после "выполнена" отсутствует предлог "в". Часть подписи к рис. 3 переехала с 16 на 17 страницу. В первом основном результате работ поставлено избыточное количество запятых. Желательно было сделать анализ (испытание) поведения абсорбционных многослойных фильтров в реальных космических условиях в реальных экспериментах. Не хватает анализа (оценки) поведения фильтров в реальных ЭУФ наностепперах: термическая стойкость, изменение оптических свойств, временная деградация и т.д.».

- отзыв из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, от ведущего научного сотрудника, доктора физико-математических наук Шевелько Александра Петровича. Отзыв положительный, содержит замечание: « В качестве недостатка можно указать отсутствие сравнения параметров разработанных фильтров с параметрами фильтров мировых производителей, в т.ч. для ЭУФ солнечной астрономии (например, Luxel Corporation). Тем более что это сравнение, наверное, будет в пользу диссертанта, что еще более подтвердит уникальность проведенных исследований и разработок».

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в области исследований, которым соответствует тематика диссертации Н.Н. Цыбина, что подтверждается их публикациями в рецензируемых изданиях. Кузин Сергей Вадимович является ведущим специалистом в области рентгеновской спектроскопии Солнца, Водопьянов Александр Валентинович известен своими работами в области разработки разрядных источников многозарядных ионов и экстремального ультрафиолетового излучения. Выбор ведущей организации обоснован тем, что она широко известна своими достижениями в области спектроскопии, спектрального анализа и создания лазерно-плазменных источников излучения высокой мощности для промышленного применения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- предложен новый подход к созданию тонкопленочных фильтров, состоящий в использовании многослойных пленочных структур, что позволяет повысить механическую прочность и термическую стойкость фильтров;
- разработана методика изготовления многослойных свободновисящих фильтров большой апертуры с минимальным количеством сквозных дефектов, включающая магнетронное напыление материалов фильтра и металлического жертвенного слоя в едином технологическом цикле и оригинальный способ отделения фильтра от подложки;
- предложена и реализована идея создания натянутых и приклеенных к опорным сеткам многослойных фильтров, отличающихся высокой стойкостью к вибрациям и акустическим воздействиям, что важно для космических экспериментов;
- разработана методика и создан испытательный стенд для долговременных термических испытаний свободновисящих пленок. Проведено сравнительное тестирование термической стабильности различных многослойных структур с пропусканием более 70% на длине волны 13,5 нм.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- изложена методика расчета, позволяющая разделить вклады объемного и поверхностного окисления пленок в снижение их пропускания по отношению к расчетному, что существенно при прогнозировании оптических характеристик тонкопленочных фильтров в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне длин волн;
- раскрыты механизмы деградации многослойных фильтров в условиях нагрева в вакууме.

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

- для астрономических применений предложены и разработаны многослойные тонкопленочные Zr/Si фильтры на длину волны 13,2 нм и Al/Si фильтры на длины волн 17,1 нм и 30,4 нм на поддерживающих сетках с размером ячейки до 5 мм. Изготовлены комплекты фильтров для обсерватории ТЕСИС и ракетного эксперимента Ni-C. В ходе этих экспериментов с использованием разработанных фильтров были получены изображения солнечной короны с высоким временным (1-5 сек) и рекордным пространственным разрешением (0.3-0.4");
- предложена и реализована термически стабильная структура Mo/ZrSi<sub>2</sub> с защитными покрытиями MoSi<sub>2</sub> с высоким пропусканием на длине волны 13,5 нм (> 70 %), выдерживающая многочасовой нагрев в вакууме при плотности поглощенной мощности до 2,5 Вт/см<sup>2</sup>. Такие структуры предполагается использовать в промышленных установках проекционной литографии экстремального ультрафиолетового диапазона для спектральной селекции излучения и защиты оптических элементов от загрязнений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- данные о структуре и составе исследуемых образцов получены с использованием современных средств исследований (электронный микроскоп, установка TOF.SIMS 5 для изучения распределения элементов и примесей в пленке методом вторично-ионной масс спектроскопии), их достоверность подтверждается согласованностью между собой экспериментальных данных;
- образцы фильтров изготавливались на установке магнетронного напыления с программно-аппаратным комплексом, обеспечивающим высокую воспроизводимость характеристик образцов;
- измерение оптических свойств тонкопленочных фильтров проводилось на современном оборудовании (рефлектометрах, синхротронных источниках, фурье-спектрометрах); результаты, полученные с использованием различных методик, хорошо согласуются между собой;
- полученные в ходе работы результаты хорошо согласуются с имеющимися теоретическими расчетами.

Личный вклад автора состоит в постановке экспериментальных задач, изготовлении и изучении свойств тонкопленочных образцов фильтров, в обсуждении результатов. Автором лично были напылены все тонкопленочные структуры и определены их параметры. Вклад автора в разработку стенда для изучения механической прочности фильтров определяющий. Совместно с А.Я. Лопатиным автором были разработаны методики изготовления многослойных свободновисящих и натянутых в ячейках поддерживающих сеток фильтров. Автор вместе с М.С. Бибишкиным и А.Я. Лопатиным, В.И. Лучиным принимал участие в разработке стенда для проведения долговременного токового отжига. Анализ свойств тонкопленочных структур до и после отжига проводился совместно с С.А. Гусевым, М.Н. Дроздовым, С.Ю. Зуевым и А.Е. Пестовым.

На заседании 25 июня 2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Цыбину Н.Н. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 17, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук, академик



*С.В. Гапонов*  
С.В. Гапонов

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук, профессор

*К.П. Гайкович*  
К.П. Гайкович

"29" июня 2015 г.