

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки

Институт спектроскопии  
Российской академии наук (ИСАН)

Доктор физ.-мат. наук, профессор  
Задков В.Н.

«19 октября» 2021 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе

**Колесникова Алексея Олеговича**

**«Разработка и исследование оптических элементов и спектральных приборов на их основе для вакуумной ультрафиолетовой области спектра»,**

**представленной на соискание учёной степени**

**кандидата физико – математических наук по специальности**

**1.3.6 - оптика.**

Диссертационная работа Колесникова Алексея Олеговича посвящена теоретическим расчётам оптических схем спектральных приборов для области вакуумного ультрафиолетового излучения, в ней также содержатся описания конкретных конструкций, разработанных на основе проделанных расчётов и нескольких экспериментов с использованием разработанных спектрометров. Возможность реализации высокого спектрального и пространственного разрешения в ВУФ области делает чрезвычайно актуальным применение результатов представленного цикла исследований для изучения лазерной плазмы, которая до сих пор является важным объектом как для фундаментальных исследований, так и для технологических приложений.

Значимость диссертационной работы определяют такие моменты как разработка процедуры расчёта оптической схемы для изготовления решёток с переменным шагом методом оптической литографии, а также проведение систематических расчётов схем спектрометров с пространственным разрешением. Подходы и методы, применённые для решения этих проблем, несомненно обладают научной новизной. Содержание диссертационной работы не вызывает сомнений в достоверности приведённых результатов.

Структурно диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения и списка цитированной литературы. Введение содержит литературный обзор по тематике ВУФ спектроскопии, охватывающий проблематику решеток с переменным шагом и зеркал с многослойным аперидическим покрытием. Сформулированы основные результаты и положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена методике изготовления сферической VLS-решетки. Рассчитана схема записи такой решетки методом интерференционной литографии. Сама идея расчёта принадлежит автору, результаты вычислений демонстрируют высокий уровень понимания и квалификации. На основании расчётов были изготовлены образцы решеток, параметры которых хорошо совпали с требуемыми.

Во второй главе изложена методология расчёта схемы спектрометра с плоским полем на основе сферических VLS решеток. Систематизирована вся процедура проектирования такого спектрометра, начиная от технических требований, схемы записи решетки и заканчивая конкретной конструкцией. На основе приведённых расчётов реализован макет спектрометра скользящего падения на диапазон  $\lambda \sim 10$  нм, с которым были проведены измерения.

В третьей главе приводятся расчёты изображающих спектрометров со сферическими решетками нормального падения. Такие спектрометры предназначены для более длинноволнового диапазона, где отражение в нормальном падении достаточно эффективно. Проанализированы возможности получения высокого пространственного и спектрального разрешения с применением VLS решеток, а также решеток с криволинейными штрихами. Результаты расчётов систематизированы и приведены в виде карт характеристик. На конкретных примерах продемонстрирована возможность получения спектрального разрешения вплоть до  $\lambda/\delta\lambda \sim 10^4$  при пространственном разрешении в 20 - 30 мкм.

В четвертой главе рассказывается о поисках новых многослойных покрытий для создания зеркал нормального падения в диапазоне  $\lambda \sim 10$  нм. Была исследована возможность создания широкополосного зеркала на основе аперидической многослойной структуры Mo/Be. Проверена идея оптимизации отражающей структуры с плавным изменением толщин отражающих слоёв. Синтезированное в Институте физики микроструктур РАН на основе приведённых расчётов зеркало было применено в схеме стигматического спектрометра с пропускающей решеткой, с которым проведены эксперименты по изучению лазерной плазмы.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

В приложении описана экспериментальная методика определения параметров VLS решётки.

К содержанию диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. Страница 61: «Разрешающую способность можно оценить с помощью критерия Релея – для этого нужно найти пару близких, но разрешающихся спектральных линий». Критерий Рэлея определяет разрешающую способность в случае спектральных линий дифракционного качества, и, следовательно, не может применяться для рассматриваемого случая, где разрешение определяется абберациями.
2. Описанная в главе 2 схема спектрометра имеет весьма ограниченные возможности практических применений. Два пикселя детектора на разрешаемый спектральный интервал недостаточно для измерения интенсивностей линий и анализа их спектрального контура.
3. Карты характеристик схемы изображающего спектрографа нормального падения, приведённые на Рис. 31 и Рис. 32, конечно, хорошо иллюстрируют результаты расчётов. Но для практического использования этих результатов предлагаемая процедура установления соответствия между разными картами, включающая поиск одинакового цвета, представляется весьма трудоёмкой. Логично было бы представить её в виде алгоритма, реализованного в компьютерной программе.

В целом диссертация Колесникова Алексея Олеговича демонстрирует глубокое понимание проблем техники спектроскопии вакуумного ультрафиолетового излучения и несомненно заслуживает положительной оценки. Материалы диссертации достаточно полно опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science, и представлены на конференциях. Автореферат диссертации полно и правильно отражает её содержание.

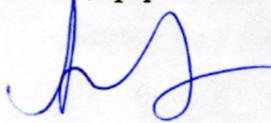
Результаты работы могут быть использованы в Институте спектроскопии РАН, Государственном Научном Центре РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН и других исследовательских центрах, занимающихся изучением плотной горячей плазмы.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертация Колесникова Алексея Олеговича соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по действующему "Положению о присуждении ученых степеней", утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013г., а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 Оптика.

Диссертационная работа Колесникова А. О. заслушана на семинаре отдела атомной спектроскопии Института Спектроскопии РАН. Отзыв на диссертацию составлен ведущим научным сотрудником отдела атомной спектроскопии Института Спектроскопии РАН Павлом Станиславовичем Анциферовым и одобрен на семинаре отдела атомной спектроскопии Института Спектроскопии РАН 02 сентября 2021 года.

Ведущий научный сотрудник  
отдела атомной спектроскопии ИСАН  
кандидат физико-математических наук

/Анциферов Павел Станиславович/



15.10.2021

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт спектроскопии  
Российской академии наук (ИСАН),  
108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5.  
Телефон: 8(495) 850-18-19  
e-mail: ants@isan.troitsk.ru

Старший научный сотрудник  
Заведующий отделом атомной спектроскопии ИСАН,  
кандидат физико-математических наук

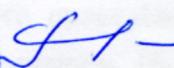
/Медведев Вячеслав Валериевич/



15.10.2021

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт спектроскопии  
Российской академии наук (ИСАН),  
108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5.  
Тел.: 8(495) 850-20-73  
e-mail: medvedev@phystech.edu

Подписи сотрудников ИСАН П.С. Анциферова  
и В.В. Медведева заверяю  
Учёный секретарь ИСАН, кандидат  
физико-математических наук



/Кильдиярова Римма Рифовна/

Список основных работ сотрудников ведущей организации Института спектроскопии РАН по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Д.Б. Абраменко, П.С. Анциферов, Д.И. Астахов, А.Ю. Виноходов, И.Ю. Вичев, Р.Р. Гаязов, А.С. Грушин, Л.А. Дорохин, В.В. Иванов, Д.А. Ким, К.Н. Кошелев, П.В. Крайнов, М.С. Кривокорытов, В.М. Кривцун, Б.В. Лакатош, А.А. Лаш, В.В. Медведев, А.Н. Рябцев, Ю.В. Сидельников, Е.П. Снегирёв, А.Д. Соломянная, М.В. Спиридонов, И.П. Цыгвинцев, О.Ф. Якушев, А.А. Якушкин. Плазменные источники экстремального ультрафиолетового излучения для литографии и сопутствующих технологических процессов (к 50-летию Института спектроскопии РАН). // *УФН*. – 2019. – №189. – С. 323.
2. F. Torretti, A. Windberger, A. Ryabtsev, S. Dobrodey, H. Bekker, W. Ubachs, R. Hoekstra, E. V. Kahl, J. C. Berengut, J. R. Crespo López-Urrutia, O. O. Versolato. Optical spectroscopy of complex open-4d-shell ions  $\text{Sn}^{7+}$ – $\text{Sn}^{10+}$ . // *Phys. Rev. A*. – 2017. – Vol. 95. – Iss. 4. – 042503.
3. D. B. Abramenko, P. S. Antsiferov, L. A. Dorokhin, V. V. Medvedev, Yu. V. Sidelnikov, N. I. Chkhalo, V. N. Polkovnikov. Single-channel method for measuring the reflectance spectra of grazing incidence mirrors in the extreme ultraviolet range. // *Optics Letters*. – 2019. – Vol. 44. – Iss. 20. – P. 4949.
4. S. Yu. Grigoryev, B. V. Lakatosh, M. S. Krivokorytov, V. V. Zhakhovsky, S. A. Dyachkov, D. K. Ilitsky, K. P. Migdal, N. A. Inogamov, A. Yu. Vinokhodov, V. O. Kompanets, Yu. V. Sidelnikov, V. M. Krivtsun, K. N. Koshelev, V. V. Medvedev. Expansion and Fragmentation of a Liquid-Metal Droplet by a Short Laser Pulse. // *Physical Review Applied*. – 2018. – Vol. 10. – Iss. 6. – 064009.
5. P. S. Antsiferov, L. A. Dorokhin, K. N. Koshelev. Extreme ultraviolet radiation of transient plasma in fast conical discharge. // *Phys. Rev. E*. – 2019. – Vol. 100. – Iss. 2. – 023204.