

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Новиковой Юлианы Александровны **«Исследование оптических констант пленок фторидов в средней ИК области спектра и синтез на их основе ахроматических просветляющих покрытий»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - «Оптика».

Одним из важных вопросов современной спектроскопии является нахождение фундаментальных оптических констант показателей преломления (n) и поглощения пленок (k). Эти константы используются для исследования структуры и свойств самих пленок, моделей их образования. Для определения параметров оптических пленок разработаны и успешно применяются на практике спектрофотометрические методы, в основу которых положен анализ спектров пленок и покрытий. Этой задаче в настоящее время уделяется большое внимание. Основные трудности при ее реализации связаны с неоднозначностью анализа спектрофотометрических спектров при исследовании пленок, обладающих полосами поглощения. В настоящее время не существует однозначных методов для определения n и k , если в спектрах пленок присутствуют сильные полосы поглощения. В настоящее время можно считать решенной только задачу нахождения оптических констант только при малых поглощениях в пленках. Кроме того эти константы необходимы при синтезе интерференционных покрытий, так как именно они определяют структуру покрытия и его спектры.

Современное развитие оптического приборостроения, лазерной техники требует новых подходов к синтезу и созданию интерференционных покрытий для оптических элементов. Вопросами синтеза интерференционных покрытий занимаются давно, однако есть нерешенные вопросы. Практически во всех случаях при изготовлении покрытия

присутствуют ошибки при нанесении толщины отдельных пленок. Эти ошибки искажают конечный спектр покрытия. Перед современной физической оптикой стоит ряд проблем, которые необходимо учитывать при выборе направлений дальнейшего развития теории синтеза интерференционных покрытий и возможности их практической реализации. Одна из основных задач - создание оптических покрытий с требуемыми спектральными характеристиками, устойчивыми к ошибкам в оптических параметрах слоев, неизбежными в процессе изготовления.

Диссертационная работа Новиковой Ю.А. посвящена разработке методов определения оптических констант тонких пленок по $R-T$ спектрам, их применению для фторидов в инфракрасной области спектра, и применению полученных данных для синтеза ахроматических просветляющих покрытий. Для нахождения оптических констант при наличии полос поглощения предложен новый подход в анализе спектров пленок, который базируется на исключении из спектров пропускания и отражения пленок поглощения. Тем самым задача анализа спектров сводится к уже решенной задаче нахождения оптических констант пленок, в которых отсутствует поглощение. Предложенный подход развит в теоретическом плане и апробирован на пленках фторидов. Вторая часть работы посвящена вопросам теории синтеза оптических покрытий. Развит подход по анализу устойчивости интерференционных покрытий в процессе их синтеза и изготовления. Предложена методика синтеза ахроматических просветляющих покрытий.

Отсюда следует, что **актуальность работы** определяется: разработкой нового подхода к нахождению оптических констант пленок при наличии сильных полос поглощения; исследованием пленок фторидов; поиском новых пленкообразующих материалов; решением задачи устойчивости синтеза покрытий; синтезом с использованием вышеперечисленных задач ахроматических просветляющих покрытий. Трудности решения поставленных задач в ИК области спектра очевидны –

получение устойчивых, механически прочных, малопоглощающих интерференционных покрытий является сложной физико – технической проблемой, решение которой делает работу Новиковой Ю.А. весьма актуальной.

Научная новизна и ценность работы заключается в следующем.

1. Предложен и теоретически развит метод определения оптических констант пленок с сильными полосами поглощения, базирующийся на коррекции спектров и исключении поглощения в них.
2. Разработано программное обеспечение для определения оптических констант. Данным методом исследованы дисперсионные зависимости оптических констант пленок BaF_2 , YF_3 , CaF_2 в среднем ИК диапазоне.
3. Предложены и исследованы двойные фториды $Ba_xMe_{1-x}F_2$, $Me_{1-x}F_{2+x}$ в среднем ИК диапазоне.
4. Предложена методика синтеза интерференционных покрытий с учетом анализа устойчивости, в основе которой лежит введенный критерий устойчивости по трансформации спектров.
5. Создано программное обеспечение для анализа устойчивости интерференционных покрытий.
6. Разработана методика синтеза ахроматических просветляющих покрытий, которые реализованы на подложках из $ZnSe$, Si , Ge .
7. Создано программное обеспечение программное обеспечение Film Manager, которое позволяет проводить замену начальной конструкции эквивалентной структурой, типа HLH или LHL.

Практическая значимость полученных результатов заключается в:

1. Предложен и теоретически обоснован новый подход к решению задачи нахождения оптических констант пленок. Подход позволит в дальнейшем находить оптические константы пленок, даже при наличии сильных полос поглощения в них.

2. Исследованы оптических свойств ряда фторидов. Предложены и исследованы перспективные пленкообразующие материалы: BaF_2 - MgF_2 , BaF_2 - CaF_2 , YF_3 - BaF_2 в средней ИК области спектра, которые в дальнейшем применены в оптических покрытиях.
3. Создано программное обеспечения для определения оптических констант пленок в средней ИК области спектра.
4. Впервые составлена полная базы данных по оптическим константам тонких пленок, которая позволяет исследовать механизмы поглощения в них и учитывать вызываемые ошибки в расчетах синтезируемых покрытий.
5. Предложен, разработан и апробирован метод анализа коррекции синтезированных покрытий в процессе их изготовления, который позволит снизить ошибки при изготовлении.
6. Предложена методика синтеза ахроматических просветляющих покрытий для средней ИК области спектра.
7. Результаты работы использованы при выполнении ряда НИР, проводимых в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения, на предприятиях ОАО НИИ «Гириконд», ООО «Тидекс», ООО «Оптосенс».
8. Материалы использованы при чтении спецкурсов по направлению «Оптотехника» в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения.

Диссертационная работа состоит из введения, двух частей, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 132 наименования. Основная часть работы изложена на 157 страницах машинописного текста.

Во введении обоснована актуальность исследований, изложены цели, задачи и научная новизна работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы, публикациях, структуре и объеме работы.

В Главе 1 приведен обзор спектрофотометрических методов определения показателей преломления (n) и поглощения пленок (k).

Теоретически рассмотрен оригинальный метод определения дисперсионных зависимостей оптических констант (ОК) пленок. Метод основан на коррекции поглощения в спектрах пропускания и отражения. Таким образом, предложенный метод позволил свести задачу определения оптических констант пленок к известной задаче нахождения ОК непоглощающих пленок. Проведена оценка ошибки методики коррекции, которая дала высокую точность, сранимая с погрешностями измерительной аппаратуры. Практически вся глава содержит оригинальные материалы.

В Главе 2 представлены результаты исследования оптических констант пленок фторидов и бифторидов в диапазоне от 2 до 12 мкм. Проведены экспериментальные исследования пленок фторидов и бифторидов. Определены оптические константы исследуемых пленок: YF_3 , BaF_2 , CaF_2 , $98\%\text{BaF}_2+2\%\text{MgF}_2$, $90\%\text{BaF}_2+10\%\text{CaF}_2$, $67\%\text{YF}_3+33\%\text{BaF}_2$, $50\%\text{YF}_3+50\%\text{BaF}_2$ и $67\%\text{YF}_3+33\%\text{CaF}_2$. Впервые получена полная база данных по этим пленкам в диапазоне спектра 2-12 мкм.

Глава 3 носит обзорный характер. Представлен анализ методов синтеза интерференционных покрытий. Проведен обзор литературных данных, касающихся основных методов синтеза интерференционных покрытий (ИП), который позволил сделать вывод, что наиболее гибкими и универсальными являются численные методы. Эти методы основаны на решении задачи минимизации функции качества. Для синтеза использовалась методика, основанная на теории эквивалентных слоев и численных методов оптимизации. В работе эта методика развита для синтеза ахроматических просветляющих покрытий. Оригинальный материал содержится в описании созданной программы анализа и синтеза Film Manager.

В Главе 4 проведен теоретический анализ устойчивости синтезированных покрытий. Представлен обзор имеющихся работ, касающихся анализа устойчивости. Отмечено, что вопросы исследования устойчивости многослойных структур рассматриваются недостаточно. Предложена методика, в основе которой лежит введенный критерий

устойчивости на основе исследования трансформации спектров при конечных ошибках в толщинах слоев. Убедительно показано, что предложенный критерий устойчивости дает лучшие результаты по сравнению с известными критериями. Практически вся глава содержит оригинальные материалы.

Глава 5 посвящена предложенному методу синтеза ахроматических просветляющих покрытий для средней ИК области спектра. Рассмотрен поэтапный процесс синтеза, включающий выбор начального приближения в виде равнотолщинных пленок, оптимизацию по показателям преломления слоев, замену слоев эквивалентными комбинациями, оптимизацию просветляющих покрытий по толщинам слоев, расчет функции качества и анализа устойчивости. Расчеты велись с использованием разработанной программы синтеза Film Manager. Приведены примеры практической реализации оригинальных ахроматических просветляющих покрытий для средней ИК области спектра с внедрением исследуемых смесей: $\text{BaF}_{0.98}\text{Mg}_{0.02}\text{F}_2$ и $\text{Y}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{F}_{2.67}$ на подложках из Si, Ge и ZnSe в средней ИК области спектра.

В заключении сформулированы **основные выводы и результаты работы**. Работа написана четко и ясно, практически не содержит ошибок в тексте.

Достоверность результатов обеспечивается их согласием с результатами теоретических и экспериментальных исследований, использованием аттестованных методик и аппаратных средств измерений.

По работе имеются замечания.

1. На странице 73 в контексте «Следующая группа методов основана на аппроксимации спектральной характеристики покрытия различными полиномами, которые подгоняют под требуемую характеристику». Слово «подгоняют» неуместно. Логично было бы написать, не «подгоняют», а выбирают степень и подбирают коэффициенты полиномов.

2. В разделе 5.2 рисунки 5.2.1 и 5.2.2 на страницах 126-127 имеют разную масштабность, что затрудняет их сравнение.
3. На 127 странице, 2 абзац - автором не указано, что синтезированная структура наносилась на обе стороны оптической детали.
4. На 137 странице, 3 абзац - почему для подложки из ZnSe было реализовано только одностороннее просветляющее покрытие? Хотя для подложек из Ge и Si были реализованы двухсторонние просветляющие покрытия?

Указанные замечания не снижают высокого уровня работы Ю.А. Новиковой. Автореферат правильно отражает содержание диссертации, основные материалы которой опубликованы в четырех работах из перечня ВАК и в 19 докладах на конференциях. Работа написана четким и грамотным языком. Количество ошибок минимально для такого объема.

Оценивая работу, считаю, что в ней теоретически развит и обоснован новый подход к анализу оптических спектров пленок, основанный на коррекции поглощения в спектрах. Метод апробирован при исследовании дисперсионных констант пленок фторидов и бифторидов. Полная база данных по ним публикуется впервые. Разработан теоретический метод синтеза ахроматических просветляющих покрытий. Новым является введение функции устойчивости по трансформации спектров, которая вместе с известной функцией качества позволяет прогнозировать проектирование и создание интерференционных покрытий. Разработанные методы применены к реализации широкополосных просветляющих покрытий на селениде цинка, кремнии, германии.

Учитывая актуальность и практическую значимость диссертационной работы Новиковой Юлианы Александровны «Исследование оптических констант пленок фторидов в средней ИК области спектра и синтез на их основе ахроматических просветляющих покрытий», считаем, что она соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых

степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Новикова Юлиана Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук

доцент кафедры оптики

физического факультета С.-Пб. ГУ

Пастор А.А.

ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЯЮ. НАЧАЛЬНИК
ОТДЕЛА КАДРОВ
Н. А. ГОРИНОВА

A.A. Pastor
10.08.13

