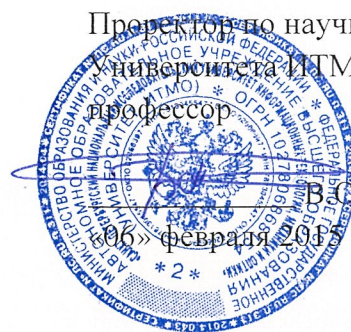


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
университета ИТМО, д.т.н.,  
профессор



В.О. Никифоров

«06» февраля 2013 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Новиковой Юлианы Александровны

**«Исследование оптических констант пленок фторидов в средней ИК области спектра  
и синтез на их основе ахроматических просветляющих покрытий»,**

выполненную в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении  
высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный  
университет аэрокосмического приборостроения», представленную на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика»

### Актуальность темы

Оптические интерференционные покрытия широко используются во многих областях науки и техники. Развитие оптики, оптического приборостроения невозможно без создания новейших интерференционных покрытий. Для их синтеза требуется набор прозрачных оптических пленок с различными показателями преломления и минимальным поглощением в требуемом спектральном диапазоне. 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 поиск требуемых пленкообразующих материалов и разработка методов определения оптических констант. Вторая задача - создание оптических покрытий с требуемыми спектральными характеристиками, устойчивыми к ошибкам в оптических параметрах слоев, неизбежными в процессе изготовления.

Целью диссертационной работы Новиковой Юлианы Александровны является разработка нового подхода к определению оптических констант пленок и синтез на их основе ахроматических просветляющих покрытий. В работе приведены результаты исследований автора – новый подход к анализу спектров оптических пленок, исследование оптических свойств фторидов и бифторидов с использованием оригинальной методики коррекции поглощения пленок в оптических спектрах. Предложены методы синтеза ахроматических просветляющих покрытий для средней ИК области спектра на основе введенного критерия устойчивости интерференционных покрытий. Вышесказанным определяется актуальность исследования.

#### **Научная новизна работы:**

1. Предложена методика определения оптических констант пленок, базирующаяся на коррекции спектров и исключении поглощения в них.
2. Исследованы дисперсионные зависимости оптических констант пленок  $BaF_2$ ,  $YF_3$ ,  $CaF_2$  в среднем ИК диапазоне.
3. Предложены и исследованы двойные фториды  $Ba_xMe_{1-x}F_2$ ,  $Y_xMe_{1-x}F_{2+x}$  в среднем ИК диапазоне.
4. Разработано программное обеспечение для определения оптических констант.
5. Предложена методика коррекции, в основе которой лежит введенный критерий устойчивости синтезированных интерференционных покрытий.
6. Создано программное обеспечение для анализа устойчивости интерференционных покрытий.
7. Модернизировано программное обеспечение Film Manager, которое позволяет проводить замену начальной конструкции эквивалентной структурой, типа HLH или LHL.

Достоверность полученных в работе результатов определяется использованием современных проверенных методик, ясной физической трактовкой их воспроизводимостью и согласованием с результатами работ других авторов.

#### **Практическая значимость работы несомненна:**

1. Получены и исследованы оптических свойств фторидов и новых пленкообразующих материалов:  $BaF_2$ - $MgF_2$ ,  $BaF_2$ - $CaF_2$ ,  $YF_3$ - $BaF_2$  в средней ИК области спектра.
2. Создано программное обеспечение для определения оптических констант пленок в средней ИК области спектра.

3. Составлена база данных по оптическим константам тонких пленок, которая позволяет учесть вызываемые ошибки в расчетах синтезируемых покрытий.

4. Разработан метод анализа коррекции синтезированных покрытий в процессе их изготовления.

5. Проведен синтез, изготовление и исследование просветляющих покрытий для средней ИК области спектра.

6. Материалы работы использованы при выполнении ряда НИР, проводимых в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения.

7. Материалы работы использованы на оптических предприятиях ОАО НИИ «Гириконд», ОАО «Тидекс», ООО «Оптосенс».

8. Результаты работы использованы при чтении спецкурсов по направлению «Оптотехника» в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 132 наименования. Основная часть работы изложена на 157 страницах машинописного текста. Работа содержит 51 рисунок и 18 таблиц.

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** дан обзор спектрофотометрических методов определения показателей преломления ( $n$ ) и поглощения пленок ( $k$ ). Предложен и разработан оригинальный метод моделирования дисперсионных зависимостей оптических констант (ОК) пленок, основанный на коррекции поглощения в спектрах пропускания и отражения. Применение этого метода позволило свести задачу определения оптических констант пленок к известной задаче нахождения ОК непоглощающих пленок. Ошибки коррекции для спектров пропускания не превышают 0.25%, что соответствует ошибкам измерения экспериментальных спектров. Для реализации методики составлена программа на языке Wolfram Mathematica-8.0.

**В главе 2** представлены результаты теоретического исследования оптических констант пленок фторидов и бифторидов в диапазоне от 2 до 12 мкм. Проведены экспериментальные исследования пленок фторидов и бифторидов. Определены оптические константы пленок:  $\text{YF}_3$ ,  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $98\%\text{BaF}_2+2\%\text{MgF}_2$ ,  $90\%\text{BaF}_2+10\%\text{CaF}_2$ ,  $67\%\text{YF}_3+33\%\text{BaF}_2$ ,  $50\%\text{YF}_3+50\%\text{BaF}_2$  и  $67\%\text{YF}_3 + 33\%\text{CaF}_2$ . Впервые наблюдалась

дополнительная дисперсия показателя преломления ( $n$ ) в областях полос поглощения пленок (2.7-3.3 мкм и 5.5-7.0 мкм), отсутствующая в монокристаллах.

По результатам исследований составлена база данных оптических констант пленок фторидов и бифторидов в диапазоне спектра 2-12 мкм.

**Глава 3** носит обзорный характер. Проведен обзор литературных данных, касающихся основных методов прогнозирования результатов 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 теоретического анализа результатов синтеза использовалась методика, основанная на теории эквивалентных слоев и численных методов оптимизации. В работе эта методика развита для анализа синтеза ахроматических просветляющих покрытий.

В **главе 4** проведен анализ устойчивости синтезированных покрытий. Приведен обзор имеющихся работ по анализу устойчивости. Отмечено, что вопросы устойчивости многослойных структур рассматриваются недостаточно. Предложен и обоснован теоретически и экспериментально метод, в котором использован критерий устойчивости, выведенный из результатов исследования трансформации спектров при конечных ошибках в толщинах слоев. Для реализации этой методики создано программное обеспечение на языке Wolfram Mathematica-8.0, которое позволяет анализировать устойчивость синтезированных покрытий и производить коррекцию в слоях в процессе изготовления. Предложенный метод анализа устойчивости предоставляет возможность уже на первом этапе синтеза покрытия выявить в структуре слои, которые наиболее критичны к изменению оптической толщины, и прогнозировать их коррекцию в последующих слоях.

В **главе 5** описаны результаты теоретического синтеза ахроматических просветляющих покрытий для средней ИК области спектра. Описан 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. Приведены примеры практической реализации ахроматических просветляющих покрытий для средней ИК области спектра с внедрением исследуемых смесей бифторидов:  $\text{BaF}_{0.98}\text{Mg}_{0.02}\text{F}_2$  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. Практически все синтезируемые покрытия были реализованы на практике на предприятиях ОАО НИИ «Гириконд», ООО «Тидекс», что показало эффективность предложенных и исследованных материалов и методики синтеза.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы.

По теме диссертации с участием автора опубликовано 15 научных работ, в том числе четыре статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Результаты работы в достаточной степени апробированы на всероссийских и международных конференциях.

На защиту вынесены следующие научные положения:

1. Методика определения оптических констант пленок по спектрам пропускания и отражения в средней ИК области спектра при наличии сильных полос поглощения.
2. Результаты экспериментальных исследований по наблюдению дополнительной дисперсии оптических констант пленок в областях поглощения, отсутствующих в монокристаллах.
3. Результаты исследования влияния легирующих добавок на оптические характеристики пленок  $\text{BaF}_2$  и  $\text{YF}_3$  в средней ИК области спектра.
4. Результаты данных по оптическим константам пленкообразующих веществ на основе фторидов и бифторидов.
5. Методика анализа устойчивости интерференционных покрытий и программное обеспечение для нее, в основе которой лежит введенный критерий устойчивости.
6. Синтез, изготовление и исследование широкополосных просветляющих покрытий для подложек из  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Ge}$  в средней ИК области спектра.

Выносимые на защиту положения отражают научную новизну и практическую значимость результатов исследования. Замечание по ним приведено ниже.

Результаты диссертационной работы использованы и используются в СПб ГУАП при выполнении проектов в рамках государственных заданий, грантов Министерства образования и науки РФ, грантов Правительства Санкт-Петербурга, в ОАО НИИ «Гириконд», ООО «Тидекс», ООО «Оптосенс». Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к использованию на ОАО «ЛОМО» и других предприятиях оптической отрасли, а также при чтении спецкурсов направления Оплотехника в вузах оптического профиля.

По содержанию и текстовой части имеются замечания:

С нашей точки зрения научная новизна работы сформулирована не совсем удачно. Вместо п. 1 можно было бы написать: «Для пленок с сильными полосами поглощения разработан и обоснован теоретический метод определения оптических констант по спектрам

пропускания и отражения в средней ИК области», вместо п. 5: «Введен критерий устойчивости синтезированных интерференционных покрытий, на основе которого разработана методика расчета функции устойчивости и прогнозирования ошибки в толщинах слоев, как при синтезе, так и при изготовлении покрытий».

1. В работе дается оценка точности предложенного метода коррекции для спектров пропускания. Непонятно проводилась ли такая оценка для спектров отражения.
2. В тексте встречаются опечатки и жаргонные выражения..

Указанные замечания не снижают высокого уровня работы Ю.А. Новиковой. Автореферат полностью отражает содержимое диссертации, основные материалы которой опубликованы в цитированных работах. Работа написана четким и грамотным языком.

Оценивая работу в целом, считаем, что в ней теоретически развит и обоснован новый метод анализа 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 метод синтеза ахроматических просветляющих покрытий. Для этого введена функция устойчивости, которая вместе с известной функцией качества позволяет прогнозировать проектирование интерференционных покрытий. Приведены примеры реализации просветляющих покрытий на кремнии, германии и селениде цинка.

Таким образом, работа представляет собой самостоятельную законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, характеризующуюся достоверностью, новизной и практической значимостью результатов, отвечающую требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученых степени кандидата наук (п.9 «Положения о присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Российской Федерации №842 от 24.09.2013 ред. от 30.07.2014), а ее автор, Новикова Юлиана Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика».

Диссертационная работа была доложена автором и обсуждена на совместном заседании кафедр лазерных технологий и экологического приборостроения и оптоинформационных материалов и технологий университета ИТМО от 6 февраля 2015 г., протокол № 1.

Заведующий кафедрой лазерных технологий  
и экологического приборостроения

д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ,

Лауреат Государственных премий СССР и РФ

Представитель

кафедры оптоинформационных материалов и технологий,

д.т.н., доцент



/Вейко В.П./



/Губанова Л.А./

197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49.

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики