

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Чудакова Евгения Александровича «Новые методы оптической диагностики тонких пленок», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математической волны по специальности 01.04.05 - оптика

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности отрасли науки. Диссертационная работа Е.А. Чудакова посвящена решению задач электродинамики, посвященных описанию распределения интенсивностей световых пучков, отраженных от плоскопараллельных слоев. На основе полученных в работе решений определены условия наблюдения m -линий при отражении световых пучков от нанометровых слоев на подложке. В условиях нулевых коэффициентов отражения световых пучков s - и p - поляризации вследствие возбуждения в тонкопленочных структурах бездиссипативных волн Ценнека исследована структура: оксид кремния-палладий на призме связи из двуокиси циркония. В работе исследован эффект резонансной связи основной моды кварцевого фотонно-кристаллического волокна с поглощающим тонкопленочным покрытием из двуокиси олова, нанесенном на поверхность оболочки волокна. На основе решения волновых уравнений и граничных условий для волн s - и p - поляризации слоистой среды с произвольным пространственным профилем комплексной диэлектрической проницаемости получены соотношения взаимности для коэффициентов отражения и пропускания при освещении структуры встречными пучками. Разработан алгоритм численного решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода, описывающий аномальный скин-эффект, основанный на методе квадратур. Таким образом, рассматриваемая диссертация соответствует пунктам 2 (оптические волноводы), 3 (нанооптика) и 5 (методы оптических и спектральных измерений) раздела III паспорта специальности 01.04.05 – оптика и отрасли «физико-математические науки».

2. Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время значительный интерес исследователей и разработчиков привлекают методы диагностики различных физических параметров тонких пленок. Это связано, в основном, с запросами современной микро- и оптоэлектроники. При этом толщины исследуемых пленок малы \sim нм (нанометров), поэтому обычные методы, использующие световые пучки миллиметровых размеров, часто неприменимы. В связи с этим рассматриваемые в диссертации методы рефлектометрии тонких пленок, использующие фокусирование световых пучков, являются предпочтительными, а их разработка является актуальной и перспективной. Разрабатываемые в работе методы имеют схожесть с методами волноводной спектроскопии с последующим возбуждением волноводных мод и наблюдением m -линий. Такой метод является контактным с привлечением призмы ввода-вывода излучения и одновременно, вносящим искажения характеристик в наблюдаемые и исследуемые физические параметры (толщины пленок, показатели преломления пленок и т.п.). В предлагаемом авторами методе используется возбуждение волновых полей в тонких пленках световыми пучками s - либо p - поляризации в условиях их отражения от многослойной структуры, имеющих фазовые скорости близкие к скорости света в вакууме (так называемые волны Ценнека). С учетом таких эффектов в диссертации на основе наблюдаемых m -линий предлагается исследовать характеристики газовых включений в атмосфере. В работе также исследуются оптические схемы датчиков на основе оптических фотонно-

кристаллических волокон, использующих резонансную связь вытекающих мод с покрытием. При этом используется эффект резонансных провалов в спектрах пропускания волоконно-оптической структуры.

Значительный интерес разработчиков может вызвать исследование антибликовых покрытий, функционирование которых основано на разрабатываемых невзаимных поглощающих элементов солнечной энергии.

С физической точки зрения актуальным является исследование взаимодействия оптического излучения с тонкими металлическими пленками в условиях нормального и аномального спин-эффекта. Разработанная авторами модель эллипсометрических измерений показателей преломления и поглощения металлических тонких пленок хорошо согласуется с экспериментальными результатами и может найти широкие практические применения.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертационной работе, и научных положений, выносимых на защиту

В работе автора диссертации разработан и экспериментально подтвержден бесконтактный метод волноводной спектроскопии тонких пленок, основанный на возбуждении и анализе m -линий. Метод отличается тем, что дает возможность локального контроля параметров пленок, отсутствием при диагностике опорного сигнала и механических воздействий на исследуемые образцы.

Новыми являются результаты исследования провалов в спектрах пропускания фотонно-кристаллических волокон с тонкопленочными покрытиями, связанные резонансным усилением амплитуды стоячих волн между межволоконными воздушными каналами и покрытием волокна.

Существенные результаты получены автором при исследовании соотношений взаимности для коэффициентов отражения и пропускания s - и p - поляризованных волн при освещении плоскопараллельной поглощающей структуры с произвольным профилем диэлектрической проницаемости.

Новыми являются результаты по исследованию аномального спин-эффекта в тонких металлических пленках, базирующиеся на совместном решении системы уравнений Максвелла и интегрального уравнения Больцмана для электронной системы пленки металла при произвольных вероятностях зеркального отражения электронов от границ пленки.

Установлено, например, что энергетические коэффициенты пропускания для наклонно-падающих во встречных направлениях на изотропную плоскостную среду с произвольным пространственным профилем комплексной диэлектрической проницаемости для волн s - и p -поляризации совпадают, а коэффициенты отражения, в свою очередь, отличаются по величине. Данный физический эффект может найти широкое применение для создания антибликовых покрытий.

Показано, что компонента электрического поля в металлической пленке, поляризованная параллельно границе, с высокой точностью описывается теорией нормального спин-эффекта, а компонента электрического поля, нормальная к границам пленки, испытывает резкое усиление вблизи границ и описывается лишь теорией аномального спин-эффекта.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации следуют из хорошо апробированных методов

теоретической и математической физики (методы решения дифференциальных уравнений, методы решения интегральных уравнений, численные методы решения систем линейных алгебраических уравнений и др.). Справедливость выводов, полученных на основе теоретических исследований, подтверждаются экспериментальными результатами (в соавторстве) и результатами других авторов.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации очевидна и существенна. В результате проведенных исследований соотношения взаимности, сформулированные в работе, используются на заводе «Диапроектор» (г. Рогачев) при диагностике оптических характеристик стеклянных пластин и на предприятии «Гомсельмаш» (г. Гомель) при создании антибликовых экранов для мониторинга бортовых компьютеров. Результаты расчетов спектров коэффициентов отражения световых волн от слоистых систем могут быть использованы в автомобильной промышленности при создании датчиков водорода. Результаты исследования оптических характеристик наноразмерных металлических пленок могут использоваться в медицине для оптического контроля биологических растворов. Полученные результаты используются в УО МГУ им. А.А. Кулешова в учебном процессе при изучении следующих дисциплин: «Специальный физический практикум», «Физика лазеров», «Теоретическая физика», а также при выполнении курсовых и дипломных работ.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Результаты исследований опубликованы в 34 научных работах, из которых 7 статей в рецензируемых научных журналах, 9 статей в сборниках научных трудов и 18 тезисов докладов. Результаты опубликованы в следующих журналах: «Оптика и спектроскопия», «Journal of the European Optical Society: Rapid Publication», «Известия НАН Беларуси, серия физ.-мат. наук», «Журнал технической физики», «Журнал прикладной спектроскопии» и др.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работа оформлена в полном соответствии с требованиями ВАК Республики Беларусь. Диссертационная работа хорошо оформлена с включением многочисленных графических зависимостей с цветным оформлением, качественных схематических иллюстраций геометрических соотношением световых лучей, табличных сведений и др.

8. Замечания по диссертации

1. В Главах 1-3 рассматриваются сенсорные устройства, в основе работы которых лежат особенности возбуждения «быстрых», бездиссипативных мод Ценнека, возникающих при отражении световых пучков s- либо p- поляризации от поглощающих диссипативных структур. В связи с имеющейся в научной литературе дискуссии о правомерности использования термина «волна Ценнека», следовало бы более подробно проанализировать величины фазовых и групповых скоростей таких волн с целью исключения не физических волн, имеющих групповые скорости большие скорости света в вакууме. Интерес могут представлять также оценки фазовых скоростей названных поверхностных волн.

2. В Главе 3 исследованы особенности диагностики аммиака, содержащегося в атмосфере воздуха, с использованием эффекта резонансной связи основной моды кварцевого фотонно-кристаллического волокна с поглощающим покрытием из

двуокиси олова, легированного сурьмой, нанесенного на поверхность оболочки волокна. Наличие в спектре пропускания волокна резкого максимума объясняется резким усилением $\sim 10^3$ амплитуды стоячей волны, сформированной между каналами волокна и его покрытием. Следует отметить, однако, что установленные довольно тонкие эффекты основаны на расчетах взаимодействия световых волн в плоскопараллельных слоях, хотя структура датчика явно имеет цилиндрическую симметрию. При этом, малое отклонение от плоской поверхности к искривленной (цилиндрической), неизменно приведет к дополнительной утечке световых волн.

3. В Главе 5 исследованы особенности диагностики тонких металлических пленок наноразмерных толщин с использованием особенностей проявления аномального скин-эффекта. Следовало бы, для более полного изложения теоретических расчетов на основе уравнений Максвелла и кинетического уравнения Больцмана, указать диапазон температур многослойной системы с учетом спектрального диапазона оптического излучения, в котором возможно применение сделанных выводов теории. Возможно ли, в таком случае, использовать распределение Больцмана вместо распределения Ферми-Дирака равновесной системы электронного газа пленки металла при комнатных температурах?

Следует отметить, что приведенные выше замечания не затрагивают основных положений и выводов, содержащихся в диссертационной работе, не снижают научной и практической значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Содержание диссертационной работы Чудакова Е.А. отражает личный вклад автора в опубликованные им научные результаты. Вклад соискателя состоит в постановке задач исследования, проведении теоретических расчетов, интерпретации полученных данных, участии в проведении экспериментальных исследований и их сопоставления с теорией, подготовке и написании публикаций и представления результатов на научных конференциях. Автором самостоятельно решены задачи электродинамики, посвященные описанию распределения интенсивностей световых пучков, отраженных от плоскопараллельных слоев. В условиях нулевых коэффициентов отражения световых пучков s- и p- поляризации вследствие возбуждения в тонкопленочных структурах бездиссипативных волн Ценнека исследована структура: оксид кремния-палладий на призме связи из двуокиси циркония. Самостоятельно исследован эффект резонансной связи основной моды кварцевого фотонно-кристаллического волокна с поглощающим тонкопленочным покрытием из двуокиси олова, нанесенном на поверхность оболочки волокна. Разработан алгоритм численного решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода, описывающий аномальный скин-эффект, основанный на методе квадратур. На основе анализа содержания диссертационной работы, уровня представления и обсуждения результатов, а также их аргументации и обоснованности, сделанных на их основе выводов можно считать, что ее автор Чудаков Евгений Александрович является квалифицированным специалистом в области оптики. Научная квалификация автора диссертации соответствует искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

10. Выводы

Диссертационная работа Е.А. Чудакова «Новые методы оптической диагностики тонких пленок» представляет собой завершённую квалификационную работу, соответствующую требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным главой 3 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий», и содержит новые результаты по теоретическим и экспериментальным исследованиям в области оптики.

Автор диссертационной работы Чудаков Евгений Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика за новые научно обоснованные теоретические и практические результаты, совокупность которых имеет важное значение для создания оптико-электронных устройств оптической диагностики материалов и заключается в следующем:

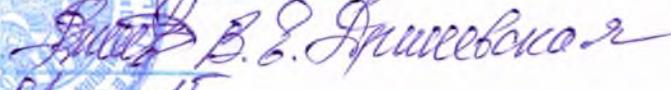
- установление возможностей возбуждения бездиссипативных мод Ценнека s- и p- поляризации в бинарных пленочных структурах, нанесенных на основание призмы связи и использования таких структур в качестве чувствительных элементов сенсоров концентрации водорода в атмосфере;
- физическую интерпретацию эффекта возникновения резонансов в спектре пропускания фотонно-кристаллического волокна с тонкопленочным поглощающим покрытием в результате образования стоячих волн между образующими волокно воздушными каналами и покрытием;
- разработку метода интегральных уравнений в теории аномального скин-эффекта в наноразмерных металлических пленках и установление особенностей поведения оптических полей в данных пленках как при их внешнем освещении, так и в режиме распространения плазмонных мод.

Доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный сотрудник
Учреждения образования
«Мозырский государственный
педагогический университет им. И.П. Шамякина»

Г.В. Кулак

Я, Кулак Геннадий Владимирович, согласен на размещение отзыва на сайте Института физики НАН Беларуси им. Б.И. Степанова.

 /Г.В. Кулак/



15