ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Соколова Виктора Ивановича на тему «Интегральная оптика на основе фторсодержащих полимерных материалов», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. – Оптика.

Актуальность темы диссертационной работы.

Одним из магистральных направлений в повышении эффективности и быстродействия различных вычислительных систем и устройств телекоммуникации является разработка возможностей оптической передачи и обработки сигналов. Для этого необходимо решить большой ряд задач, включая формирование новых устройств интегральной оптики и синтез материалов для них. Весьма перспективным представляется использование для этих целей фторсодержащих полимерных материалов. Интерес к фторсодержащим полимерам обусловлен их высокой стабильностью, низкими величинами диэлектрической проницаемости и материальной дисперсии, минимальными потерями в телекоммуникационном диапазоне длин волн и, что очень важно, технологичностью в их формировании и использовании устройств на их основе. В диссертации В.И. Соколова изложены результаты детального исследования синтеза и оптических свойств фторсодержащих полимерных материалов, предложены технологии формирования на их основе элементов интегральной оптики, включая волноводы, оптоэлектронные печатные платы, мультиплексоры-демультиплексоры, разработаны новые методы определения их оптических характеристик и новые научные приборы для этого. Полученные результаты могут иметь большую практическую ценность. Таким образом, актуальность темы диссертации несомненна.

Научная новизна исследований

Полученные в работе результаты являются совершенно новыми. Впервые был синтезирован ряд оптических материалов на основе аморфных перфторированных сополимеров диоксоланов и виниловых эфиров, а также получен аморфный гомополимер перфторизопропилвинилового эфира. Разработан метод контактной ультрафиолетовой фотолитографии для формирования волноводов из акриловых мономеров, имеющих высокую степень фторирования (90% и более) и показано, что радикальная фотополимеризация фторакриловых мономеров может быть инициирована без использования инициаторов. Предложен метод непосредственного лазерного рисования канальных волноводов в световедущих пленках из полимеров с внедренными фторсодержащими хромофорами за счет фотоосветления хромофора; данный метод является одноступенчатым и не требует удаления полимерного материала с использованием жидкофазного или реактивного ионного травления. Разработан лазерный метод записи субмикронных аподизированных брэгговских решеток показателя преломления в одномодовых волноводах из фторакрилата, и с использованием излучения лазера с длиной волны 325 нм изготовлены частотно-селективные волноводные фильтры с полосой отражения шириной 0,4 нм. Впервые создан макетный образец оптоэлектронной печатной платы с внедренной в нее 12-канальной оптической шиной на основе массива

Входящий № 206-3/23
Дата 13 МАЙ 2024
Самарский университет

фторполимерных волноводов, для передачи данных в диапазоне длин волн вблизи 850 нм. Разработаны спектроскопические методы измерений показателя преломления и материальной дисперсии мономеров, композиций и полимеров в УФ, видимой и ближней ИК областях спектра. Для реализации этих методов создан спектроскопический рефрактометр. Разработаны спектроскопические методы измерения показателя преломления, коэффициента экстинкции и толщины полимерных пленок и многослойных световедущих структур. Впервые предложен количественный критерий «слабой» и «сильной» связи при резонансном возбуждении волноводных мод в световедущей пленке методом призмы в геометрии нарушенного полного внутреннего отражения. Следует отметить, что автором предложен новый метод одновременного измерения показателя преломления, коэффициента экстинкции и толщины световедущих пленок, принимающий во внимание угловую расходимость зондирующего лазерного пучка, который позволяет провести измерения распределения показателя преломления по толщине световедущей пленки, который справедлив для произвольной формы модуляции в пределе ее слабого градиента. Впервые экспериментально показано, что с использованием призменного устройства связи можно определять оптические параметры многослойных световедущих структур, когда число слоев в структуре больше десяти.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Обоснованность и достоверность выносимых на защиту положений и выводов подтверждается согласием результатов экспериментов с результатами проведенного численного моделирования. В ходе выполнения экспериментов применялись современные методики измерений. Разработанные в диссертации математические модели основаны на решении уравнений Максвелла и классической теории связанных волн, обоснованы и достоверны. Результаты проведенных в рамках диссертационной работы исследований были представлены на многих международных и российских конференциях, опубликованы в многочисленных печатных работах в научных изданиях из перечня, рекомендованного ВАК РФ, автором получено 3 патента.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Полимерная фотоника — активно развивающаяся область технологии, имеющая большие перспективы. В связи с этим результаты диссертации В.И. Соколова могут быть использованы в научных организациях, занимающихся исследованиями в области оптоэлектроники, и в высокотехнологическом производстве, в том числе при разработке новых научных приборов и устройств коммуникации.

Характеристика содержания диссертации

Диссертационная работа В.И. Соколова состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 249 страниц, список цитированной литературы включает 388 наименований.

Во введении представлены актуальность темы диссертации, цели работы и решаемые задачи, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, выносимые на защиту положения, сведения об апробации работы и личном вкладе автора.

Глава 1 представляет собой детальный обзор исследований в области полимерной интегральной оптики, подчеркнуты особенности фторированных полимеров, обсуждаются технологии формирования на их основе устройств интегральной оптики, включая

волноводы и оптические шины передачи данных. и устройства в сравнении с их углеводородными аналогами, приведены данные по лазерным и аддитивным технологиям формирования полимерных волноводов, разработанным к настоящему времени.

Глава 2 содержит данные о синтезе новых аморфных перфторированных полимеров, полученных при сверхвысоком давлении и их оптических свойствах. Рассмотрена гомо- и сополимеризация мономеров - диоксоланов и виниловых эфиров без ипользовагия инициаторов. Полученные полимеры были исследованы с использованием методов рентгеновской дифрактометрии, измерения пропускания и поглощения света в широком спектральном диапазоне (от ультрафиолетового до среднего инфракрасного) и величины показателя преломления с использованием техники нарушенного полного отражения света. Показано, что сформированные фторированные полимеры обладают показателем преломления в диапазоне 1,295 — 1,330, отличаются низкой материальной дисперсией и малым двулучепереломлением и могут быть использованы для изготовления волноводов.

Глава 3 посвящена лазерным методам формирования элементов интегрально – оптических устройств (массивы волноводов, оптические разветвители, волноводные интерферометры Маха — Цендера, частотно-селективные фильтры) из фторсодержащих полимерных Для этого была использованы контактная фотолитография ультрафиолетового диапазона, прямое лазерное рисование и лазерное фотоосветление световедущих пленок из полимеров с фторсодержащими хромофорами как внедренными в полимерную матрицу, так и химически встроенными в боковые цепи полимерной молекулы. Разработан новый принцип формирования брэгговских решеток в одномодовом полимерном волокне с использованием лазерного излучения с длиной волны 325 нм, прошедшего через специально сформированную фазовую маску. Ширина полосы отражения такой решетки равна 0,4 нм, а коэффициент отражения составляет 0,98. Продемонстрировано хорошее согласие полученных в эксперименте спектров отражения и пропускания с результатами расчетов в рамках модели связанных волн.

Примеры разработки устройств интегральной оптики с использованием фторсодержащих полимеров приведены в **Главе 4.** В ней сообщается об изготовлении плавно перестраиваемого аттенюатора для диапазона длин волн вблизи 1.5 мкм и массива фторполимерных волноводов, формирующих высокоскоростную оптическую шину передачи данных, в том числе в нескольких слоях печатной платы. Также предложена конструкция частотно-селективных фильтров на основе одномерных полимерных волноводов с бигармонической брэгговской решеткой показателя преломления.

Глава 5 посвящена исследованию оптических свойств объемных и тонкопленочных фторполимеров и разработке приборов для такого исследования: спектроскопического рефрактометра и призменного устройства связи с возбуждением волноводных мод в геометрии нарушенного полного внутреннего отражения. Для определения свойств полимерных пленок была разработана математическая модель, описывающая отражение световых пучков от многослойных световедущих структур, которая базируется на решении уравнений Максвелла, принимает во внимание угловую расходимость зондирующего ТЕ- или ТМ-поляризованного гауссова пучка, а также толщину воздушного зазора между измерительной призмой и пленкой. Разработки этих приборов защищены патентами РФ.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В целом, диссертация В.И. Соколова представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Тема данной работы весьма актуальна. Диссертация содержит новые результаты, которые имеют важное научное и практическое значение для создания устройств оптической передачи сигналов на основе фторсодержащих полимерных материалов. Материалы исследований, проведенных автором, изложены в диссертации полно и четко, все сделанные выводы обоснованы. Достоверность сформулированных автором защищаемых положений не вызывает сомнений. Совокупность полученных автором результатов можно квалифицировать как появление в Российской Федерации нового научного направления «Интегральная оптика на основе фторсодержащих полимеров».

Замечания по работе

1. В диссертации сообщается об определении величин показателей преломления полимеров с точностью 10^{-4} и толщин пленок с точностью менее 2%. К сожалению, в работе не обсуждаются факторы, определяющие погрешность этих измерений.
2. В главе 3 описана полимеризация под действием ультрафиолетового излучения. На мой взгляд, следовало бы чуть более подробно описать этот процесс. В частности, остается неясным, определяется ли процесс полимеризации исключительно экспозицией, какие величины интенсивности ультрафиолетового излучения и длительности освещения были использованы, и как эти величины зависят от облучаемого материала.
3. При описании характеристик созданной оптической шины передачи данных на основе массивов полимерных волноводов на печатной плате для микропроцессорных вычислительных систем не приводятся данные по мощности оптических сигналов, передаваемых по оптической шине. В связи с этим неясно, оптические сигналы с какой максимальной мощностью можно пропускать по волноводам из фторполимерных материалов, не повреждая их.
4. Ряд рисунков содержит мелкие символы и буквы, затрудняющие их восприятие. На рисунке 4.5. обозначение L_{gr} встречается дважды и обозначает разные длины.

Указанные замечания не носят принципиального характера, никоим образом не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования В.И. Соколова.

Общее заключение по диссертационной работе. Основные результаты диссертации опубликованы в 70 оригинальных научных трудах автора, в том числе трех главах в коллективных монографиях, 47 статьях в рецензируемых российских и зарубежных журналах, 17 публикациях в трудах конференций, 3-х патентах РФ. 45 статей опубликованы в научных журналах, входящих в перечень журналов и изданий, рекомендованных ВАК. Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на 25 российских и международных научных конференциях.

Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации. В нем изложены основные идеи и выводы диссертационной работы, указан личный вклад автора в проведенном научном исследовании, определена новизна и практическая значимость приведенных результатов. Представленные в автореферате материалы соответствуют результатам и выводам, сделанным в диссертации.

Уровень решаемых в диссертации задач, полученные в ходе исследований научные результаты полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Содержание диссертации соответствует пунктам 1, 3, 4, 6, 14 направлений исследований паспорта научной специальности 1.3.6. – Оптика (отрасль науки - физико-математические).

Диссертационное исследование Соколова Виктора Ивановича «Интегральная оптика на основе фторсодержащих полимерных материалов» является завершенной научно-квалификационной работой, которая по критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности выводов соответствует требованиям утвержденного Правительством РФ постановления № 842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней», а автор диссертации Соколов Виктор Иванович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико - математических наук по специальности 1.3.6. – Оптика.

Официальный оппонент:

Головань Леонид Анатольевич
доктор физико-математических наук
профессор кафедры общей физики и молекулярной электроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова,

«07» мая 2024 г.

Почтовый адрес: 119991, Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 35
Телефон: +7(495) 939-46-57
Email: golovan@physics.msu.ru

Подпись профессора Л.А. Голованя заверяю

И.о. декана физического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова
профессор В.В. Белокуров