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 исследования

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме современной науки и технологий – созданию новых материалов и на их базе новых элементов интегральной оптики для фотоники. В качестве ключевого объекта исследований выбраны поверхностные микроструктуры на основе фторсодержащих полимеров, обладающих уникальными свойствами, из которых следует выделить сочетание значительной химической и термической стабильности с высокой оптической прозрачностью в ближнем ИК (телекоммуникационном) диапазоне спектра.

Научная и практическая важность

Диссертацию отличает многосторонний и последовательный подход к решению проблемы, как с научной, так и с практической точек зрения. По сути, мы имеем дело с работой, в которой проведены и четко представлены все наиболее важные стадии разработки, требующие как глубокого понимания различных физико-химических аспектов решаемых задач, так и инженерной проработки методов и подходов для создания заявленных элементов и устройств вплоть до изготовления и испытания таких устройств. В совокупности все это делает диссертацию одним из немногих примеров комплексного подхода к научной работе, когда на базе широких фундаментальных исследований создаются реальные продукты (в данном случае элементы и устройства интегральной оптики). Нетрудно выделить следующие главные взаимосвязанные стадии работы по теме диссертации.

Во-первых, это разработка оригинальной технологии синтеза при сверхвысоких (10-15 тыс. атм.) давлениях фторсодержащих полимеров с требуемыми свойствами.

Синтезирован ряд новых (не описанных ранее) аморфных перфторированных сополимеров диоксоланов и виниловых эфиров, обладающий высокой оптической прозрачностью, низким показателем преломления (n = 1.29 –

Входящий № 205-3120
Дата 13 МАЙ 2024
Самарский университет

1.33) и малой материальной дисперсией ($dn/d\lambda$ = -1.2 × 10-5 нм-1). Сополимеры способны к пленкообразованию и могут быть использованы для формирования волноводных элементов интегрально-оптических устройств.

Во-вторых, исследование и оптимизация свойств новых полимерных материалов, их сравнение и сочетание с полимерами, получаемыми по традиционным технологиям.

В-третьих, нанесение фторсодержащих полимерных пленок на подложки, развитие оптических методов (контактная УФ фотолитография и «рисование» микроструктур сканирующим ультрафиолетовым лазерным лучом) создания микроструктур в полимерных пленках, в том числе многослойных.

В-четвертых, изготовление и тестирование элементов интегральной оптики на основе специально изготовленных фторполимеров. В том числе был впервые изготовлен макетный образец оптоэлектронной печатной платы с высокоскоростной оптической шиной передачи данных для микропроцессорных вычислительных схем, а также различные элементы современной волоконной оптики.

В-пятых, изготовление, испытания и демонстрация создаваемых интегрально оптических элементов и устройств.

В-шестых, обеспечение проводимых исследований и разработок как известными современными, так и специально разрабатываемыми методиками и оборудованием оптической диагностики и контроля.

Научная новизна исследований

Путем проведенного численного моделирования автором определены типы брэгговских решеток с пространственно – модулированной амплитудой и фазовыми сдвигами, имеющие близкую к прямоугольной форму полосы отражения/пропускания и линейную фазовую характеристику в полосе пропускания. Предложен метод мультиплексирования-демультиплексирования оптических сигналов в высокоскоростных волоконно – оптических линиях связи с многоволновым уплотнением каналов на основе бигармонических решеток.

На основе проведенного математического анализа впервые предсказано, что спектрально – ограниченный световой импульс, имеющий спектральную ширину меньше, чем ширина полосы пропускания бигармонической брэгговской решетки, проходит через решетку без искажения формы, но

испытывает задержку во времени. Этот эффект может быть использован для создания волноводных линий задержки оптических сигналов.

Аналитическое и численное исследование отражения лазерных пучков от многослойных световедущих тонкопленочных структур в условиях нарушенного полного внутреннего отражения, проведенное на основе решения уравнений Максвелла с использованием спектрального подхода, впервые позволило установить количественный критерий «слабой» и «сильной» связи при резонансном возбуждении волноводных мод в световедущей пленке.

С использованием проведенного автором математического моделирования и аналитического рассмотрения разработан метод одновременного измерения показателя преломления, коэффициента экстинкции и толщины световедущих пленок, принимающий во внимание угловую расходимость зондирующего лазерного пучка. Проведенный автором анализ решения уравнений Максвелла в световедущих пленках с изменяющимся показателем преломления позволил развить новый метод измерения распределения показателя преломления $n_f(z)$ по толщине световедущей пленки, который справедлив для произвольной формы модуляции $n_f(z)$ в пределе слабого градиента $\Delta n_f(z)/n_f << 1$, где n_f – среднее значение показателя преломления пленки, $\Delta n_f(z)$ – амплитуда его модуляция.

На основе разработанных математических моделей и алгоритмов, реализованных на языке программирования ФОРТРАН впервые продемонстрировано, что метод призменного возбуждения волноводных мод позволяет определять оптические параметры многослойных световедущих структур, когда число слоев в структуре больше десяти.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность и оформление

Все основные результаты работы получены лично В.И. Соколовым, часть под его непосредственным руководством или совместно с другими научными группами при его решающем вкладе.

Безусловно впечатляет представленный список публикаций по теме диссертации, всего 50 статей, из которых подавляющее большинство опубликовано в высокорейтинговых научных изданиях. Нельзя не отметить 3 патента, которые подчеркивают практическую значимость работы.

Диссертация состоит из введения, заключения и пяти глав, из которых первая глава дает четкий и исчерпывающий обзор современного состояния

исследований по теме работы, а в четырех оригинальных главах представлены результаты соответственно по синтезу полимерного материала; оптическим методам обработки и микроструктурирования полимерных пленок; разработке и созданию интегрально-оптических элементов и устройств и, наконец, методам и приборам для оптической характеризации структур и устройств на базе фторполимерных пленок.
Диссертация четко и ясно структурирована, ее отличает грамотное изложение материала.

Замечания к работе

Хотелось бы отметить ряд недостатков работы.
1. Основное замечание обусловлено противоречием, которое вытекает из, безусловно, положительной черты работы – ее комплексному подходу к решению поставленной проблемы. Несмотря на большое число полученных интересных фундаментальных результатов практически в каждом из направлений работы в диссертации явное предпочтение отдается аспектам работы, связанным как с перспективами, так и уже имеющимися данными в части практического использования разработанных интегрально-оптических элементов на основе фторсодержащих полимерных пленок. При этом в представлении общей характеристики работы диссертант делает заметный перекос с научной стороны в практическую. В частности, явно недостаточно широко и ясно представлена научная значимость работы.
2. Хотелось бы увидеть в диссертации более развернутое обоснование и оригинальность разработанной технологии синтеза полимеров.
3. В диссертации не приводятся сведения относительно стабильности оптических свойств волноводов, изготовленных из фторполимерных материалов, при их нагреве и последующем остывании. Эти свойства, в частности, показатель преломления, могут изменяться в процессе изготовления многослойных оптоэлектронных печатных плат с оптической шиной передачи данных на основе массивов полимерных волноводов, поскольку процесс их создания включает прессование при нагреве до 180 0С.
4. На мой взгляд, недостаточно обоснованы особенности и преимущества использованных и разработанных методов УФ оптической обработки полимеров. Например, при описании работ по лазерному рисованию полимерных микроструктур в тексте диссертации даже не указывается лазер, который был использован, не обсуждаются его параметры и важность их адекватного выбора. В частности, это касается выбора длины волны лазерного источника. При этом иногда возникают и недоуменные вопросы.

Так на стр.98 указано, что формирование брэгговских решеток проводилось излучением гелий-кадмиевого лазера с длиной волны 325 нм, а в подписи к Рис. 3.3 на странице 102 длина волны составляет 365 нм.

5. Согласно данным Рис. 2.9 (стр. 69) показатель преломления сополимера достигает рекордно низкого значения 1,295. Однако эти измерения проводились на длине волны гелий-неонового лазера 632,8 нм, которая далека от интересующих автора телекоммуникационных диапазонов вблизи 850, 1300 и 1550 нм. Поэтому возникает вопрос о применимости полученных данных.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Отмеченные недостатки не снижают общей высокой положительной оценки работы.

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой. Полученные результаты позволяют квалифицировать диссертацию как фундаментальное исследование высокой научной и практической значимости для оптики как актуального направления исследований и для повышения научно-технологического потенциала Российской Федерации. Работа не имеет аналогов в России и выполнена на передовом мировом уровне, о чем свидетельствуют многочисленные публикации в ведущих физических и химических журналах. Степень достоверности результатов работы и сделанных выводов исключительно высока, поскольку исследования проведены на современном оборудовании, с применением оригинальных и усовершенствованных передовых методик, их результаты неоднократно обсуждались на национальных и международных конференциях.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями.

Автореферат и опубликование работы полностью и точно отражают содержание диссертации.

Считаю, что содержание диссертационной работы Соколова Виктора Ивановича «Интегральная оптика на основе фторсодержащих полимерных материалов» и форма ее представления полностью соответствуют требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК Минобрнауки России» в редакции Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Соколов Виктор Иванович,

заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. – Оптика.

Официальный оппонент:
доктор физико-математических наук, профессор,
академик РАН
Руководитель Центра естественно-научных исследований
Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Федерального исследовательского центра
«Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»
г. Москва, 119991, ул. Вавилова, д. 38
Эл.почта: vik@nsc.gpi.ru
Тел.:+79852119456

Дата 26.04.2024

Конов Виталий Иванович

Подпись В.И. Конова заверяю
Директор Института общей физики
им. А.М. Прохорова РАН
член-корр. РАН

С.В. Гарнов