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. Диссертация В.И. Соколова посвящена решению ряда актуальных научных задач в области высокоскоростной интегральной оптики, включая создание новых органических оптических материалов, разработку лазерных технологий формирования волноводных элементов интегрально-оптических устройств на их основе, математическое моделирование распространения света в волноводах с негармоническими брэгговскими решетками, создание высокоскоростных оптических шин передачи данных для микропроцессорных вычислительных систем на печатных платах, разработку спектроскопических методов исследования параметров тонкопленочных световедущих структур из угловых спектров отражения зондирующего лазерного пучка в геометрии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Актуальность этих задач обусловлена тем, что в настоящее время в мире наблюдается тенденция перехода к использованию оптических межсоединений для передачи данных на все более короткие расстояния, например, между процессорами в пределах печатной платы компьютера. Для создания таких межсоединений наиболее перспективными материалами являются аморфные полимеры с высокой степенью фторирования

Тема диссертационной работы является современной, важной и актуальной, полученные в диссертации научные результаты имеют несомненную практическую ценность.

Научная новизна исследований

На основе численного моделирования, проведенного с использованием теории связанных волн, автором впервые показано, что бигармоническая брэгговская решетка с пространственно-модулированной амплитудой и фазовыми сдвигами имеет близкую к прямоугольной форму полосы отражения/пропускания и может быть использована для объединения и разделения оптических сигналов в высокоскоростных волоконно–оптических линиях связи (ВОЛС) с многоволновым уплотнением каналов. Предложена конструкция мультиплексора – демультиплексора на основе бигармонических решеток, разработка защищена патентом РФ. Показано, что бигармонические решетки могут быть использованы также для создания волноводных линий задержки оптических сигналов.

Входящий № 206-3075
Дата 08 МАЙ 2024
Самарский университет

Впервые установлен количественный критерий «слабой» и «сильной» связи при резонансном возбуждении волноводных мод в световедущей пленке в геометрии НПВО.

На основе проведенного автором математического анализа разработан метод одновременного измерения показателя преломления, коэффициента экстинкции и толщины световедущих пленок, принимающий во внимание угловую расходимость зондирующего лазерного пучка. Впервые показано, что метод призменного возбуждения волноводных мод позволяет измерять распределение показателя преломления $n_f(z)$ по толщине пленки для произвольной формы модуляции $n_f(z)$, определять оптические параметры многослойных световедущих структур, когда число слоев в структуре больше десяти.

С использованием метода сверхвысокого давления синтезирован ряд новых (не описанных ранее) аморфных перфторированных сополимеров диоксоланов и виниловых эфиров, обладающий высокой оптической прозрачностью, низким показателем преломления (n = 1.29 – 1.33) и малой материальной дисперсией ($dn/d\lambda = -1.2 \times 10^{-5}$ нм$^{-1}$). Впервые синтезирован аморфный гомополимер перфторизопропилвинилового эфира. Сополимеры растворяются в перфторированных растворителях и могут быть использованы для формирования оболочки оптических волноводов и волокон.

Впервые показано, что радикальная фотополимеризация α-фторакриловых мономеров может быть инициирована под действием излучения с длиной волны $\lambda \leq 260$ нм без использования инициаторов.

Разработан метод записи субмикронных аподизированных брэгговских решеток показателя преломления во фторполимерных волноводах путем освещения излучением гелий-кадмиевого лазера через фазовую маску. Решетки обладают близкой к прямоугольной формой полосы отражения и обеспечивают ширину полосы $\Delta\lambda = 0.4$ нм, что позволяет использовать их для разделения и объединения оптических сигналов в высокоскоростных ВОЛС.

Предложен новый метод формирования канальных волноводов в световедущих пленках из полимеров с внедренными фторсодержащими хромофорами, основанный на эффекте лазерного фотоосветления.

Впервые в РФ создан макетный образец оптоэлектронной печатной платы для микропроцессорных вычислительных систем с внедренной в нее оптической шиной на основе массива фторполимерных волноводов.

Разработаны спектроскопические методы измерения показателя преломления и материальной дисперсии жидких и твердых сред в широком спектральном диапазоне от 400 до 1600 нм. Данные методы были реализованы в созданном автором спектроскопическом рефрактометре, разработка защищена патентом РФ.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Представленные в диссертационной работе результаты имеют безусловную научную и практическую значимость. Отметим важнейшие из этих результатов.

На основе математического решения обратной задачи (задача определения оптических параметров тонких пленок из угловых спектров отражения TE и TM поляризованных зондирующих лазерных пучков в геометрии НПВО) предложены новые спектроскопические методы исследования многослойных световедущих полимерных структур. В частности, предложен метод одновременного измерения показателя преломления, коэффициента экстинкции и толщины пленок, принимающий во внимание угловую расходимость лазерного луча, а также метод измерения распределения показателя преломления $n_f(z)$ по толщине пленки, который справедлив для произвольной формы модуляции $n_f(z)$. Разработанные методы позволяет определять оптические параметры многослойных световедущих структур, когда число слоев в структуре больше десяти.

Изготовлен макетный образец высокоскоростной оптической шины передачи данных на печатной плате, включающей массив из 12 многомодовых полимерных волноводов со скоростью передачи оптических сигналов 3 Гбит/сек на канал и суммарной скоростью 36 Гбит/сек. Эта разработка может найти применение при создании ЭВМ повышенной производительности.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Представленные результаты расчетов, полученные на основе аналитического и численного решения уравнений Максвелла и теории связанных волн, хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными, что подтверждает обоснованность положений и выводов, представленных в диссертации. Достоверность экспериментальных результатов подтверждается использованием современных методик экспериментальных измерений, проведенных с применением научных приборов мирового уровня.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертации рекомендуются к использованию в институтах, вузах и компаниях, занимающихся вопросами распространения сверхкоротких световых импульсов в оптических волноводах и волокнах и их взаимодействия с брэгговскими решетками, а также в организациях, занимающихся разработкой волноводных лазеров с распределенной обратной связью. Результаты могут найти применение в организациях, занимающихся созданием новых научных приборов и методов оптических измерений.

Характеристика диссертации в целом

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, изложена на 249 страницах, содержит 133 рисунка и 17 таблиц. Список цитируемой литературы включает 388 наименований. В целом, диссертация В.И. Соколова представляется весьма актуальной, имеет важное научное и практическое значение для создания высокоскоростных оптических межсоединений с использованием фторсодержащих полимерных материалов. Материалы исследований изложены автором диссертации полно и четко, выводы обоснованы. Достоверность сформулированных защищаемых положений не вызывает сомнений. Совокупность представленных автором результатов можно квалифицировать как создание в Российской Федерации нового научного направления «Фторполимерная интегральная оптика».

Замечания по работе

1. Математическое моделирование распространения коротких световых импульсов в одномодовых волноводах с брэгговскими решетками показателя преломления проведено автором с использование теории связанных волн. Автором приведены условия применимости данной теории, однако не указано возможное количественное отклонение полученных при ее использовании результатов от результатов точного математического моделирования.

2. При исследовании оптических свойств многослойных световедущих структур методом призменного возбуждения волноводных мод для решения обратной задачи (т.е. определения показателя преломления, коэффициента экстинкции и толщины световедущей пленки из угловых спектров отражения TE и TM поляризованного зондирующего лазерного луча) автором предложены алгоритмы минимизации функционала, реализованные на языке программирования ФОРТРАН. При этом не указано характерное время поиска оптимального решения, которое может быть значительным, поскольку необходимо оптимизировать большое число параметров, особенно для многослойных световедущих структур.

3. Разработанная и изготовленная автором оптическая шина передачи данных на печатной плате, включающая массив из 12 фторполимерных волноводов, использовалась для передачи оптических данных между СБИС на «дата-коммуникационной» длине волны 850 нм. При этом неясно, может ли данная оптическая шина работать в «телекоммуникационном» диапазоне спектра вблизи 1550 нм, который используется для передачи световых импульсов в высокоскоростных волоконно-оптических линиях связи с многоволновым уплотнением каналов.

4. Для исследования оптических свойств световедущих пленок в диапазоне длин волн 190 - 2100 нм широкое применение получил метод спектроскопической эллипсометрии. Чем была обусловлена необходимость

разработки спектроскопического метода измерения параметров полимерных пленок при резонансном возбуждении волноводных мод в геометрии НПВО?

5. В тексте диссертации встречаются мелкие неточности и опечатки.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования В.И. Соколова.

Общее заключение по работе. Результаты диссертации опубликованы в 70 научных трудах автора, включая три коллективных монографии, 47 статей в рецензируемых российских и зарубежных журналах, 17 публикаций в трудах конференций, 3 патента РФ. Они прошли апробацию на 25 российских и международных научных конференциях.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Диссертация полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Содержание диссертации соответствует направлениям исследований паспорта научной специальности 1.3.6. – Оптика (отрасль науки - физико-математические).

Диссертация В.И. Соколова «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 ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. – Оптика.

Официальный оппонент,

Президент РТУ МИРЭА,

заведующий кафедрой «Наноэлектроника»,

д.ф.-м.н., профессор, академик РАН А.С. Сигов

07.05.2024

МИРЭА – Российский технологический университет

119454, Российская Федерация, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

Тел. +7 (495) 434-7474, E-mail: assigov@yandex.ru sigov@mirea.ru.