

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Жижченко Алексея Юрьевича *"Лазерно-индуцированные процессы модификации оптических свойств полиметилметакрилата, допированного антраценоилацетонатом дифторида бора"*, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - "Лазерная физика".

Актуальность темы

Оптические коммуникационные системы в настоящее время в развитых государствах фактически выполняют роль своеобразной "нервной системы", обеспечивая широкополосной связью их структуры управления и передачи данных, значительно повышая качество и время принятия решений на всех уровнях, повышая производительность труда, качество обучения и оптимизируя решение многих других задач. Поэтому совершенствование оптических коммуникационных систем как с точки зрения дальнейшего расширения их функциональных возможностей, так и с точки зрения оптимизации затрат на их развитие и содержание является важной проблемой. И одним из путей решения подобных задач является создание и исследование новых материалов, представляющих основу для прогресса в данной области.

Полимерные материалы, и полиметилметакрилат (ПММА) в частности, уже находят применение в фотонике. На основе полиметилметакрилата изготавливаются волоконные световоды для видимой области спектра с минимальными оптическими потерями на уровне ~ 100 дБ/км на длинах волн 530, 570 и 650 нм. Такие световоды могут быть использованы для передачи информации на расстояния порядка сотен метров при скорости передачи информации на уровне Гбит/с. Показана возможность изготовления микроструктурированных волоконных световодов на основе полимеров. Но по сравнению с кварцевым стеклом – основным материалом волоконной оптики – полимерные материалы отличаются тем, что их легирование другими соединениями для придания новых свойств, необходимых для создания на их основе фотонных устройств, может быть реализовано в гораздо большем количестве случаев, чем для того же кварцевого стекла, обычная температура обработки которого находится на уровне 2000°C . Для ПММА эта температура порядка 150°C . И предметом рассматриваемой диссертации явилось исследование модифицированных свойств ПММА при его легировании антраценоилацетонатом дифторида бора. Поэтому актуальность выполненных исследований не вызывает сомнений.

Содержание работы, достоверность и новизна полученных результатов

Диссертационная работа общим объемом 148 страниц состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы из 221 наименования.

Во введении обоснована актуальность работы. Дан обзор свойств различных фоторегистрирующих материалов для изготовления дифракционных, голографических и интегрально-оптических элементов фотоники, их (т.е. материалов) недостатков и преимуществ. Показано место фоторегистрирующих материалов на основе полиметилметакрилата в этом ряду. Обоснован выбор антраценоилацетоната дифторида бора (AntBF_2) для исследования в качестве повышающего фоточувствительность ПММА легирующего соединения. Дан обзор состояния исследований в избранной области в мире на момент начала выполнения работы. Сформулированы цель и решаемые в работе задачи, перечислены положения, выносимые на защиту, обсуждаются научная новизна, практическая значимость полученных результатов.

В главе 1 приведено описание процесса синтеза фоточувствительного полимера (ПММА, легированного $\text{AntBF}_2 = \text{ПММА} + \text{AntBF}_2$) и исследованию изменения его оптических свойств под действием лазерного излучения в объемных образцах. Показано, что под действием излучения с длиной волны на границе синего участка видимого спектра и УФ диапазона наблюдается изменение как коэффициента поглощения полимера, так и его показателя преломления в широком диапазоне длин волн, что свидетельствует о принципиальной возможности использования этого материала для получения различных устройств фотоники. Представлены экспериментальные данные, подтверждающие предложенный механизм изменения оптических свойств полимера как результат фотодимеризации фотоактивной легирующей примеси AntBF_2 . Показана возможность записи различных структур в $\text{ПММА} + \text{AntBF}_2$ в широком диапазоне пространственных частот от 10 до 500 линий/мм.

Предложена модель для описания процессов изменения наведенного показателя преломления в исследуемом полимере, рассматривающая процессе изменения показателя преломления после воздействия лазерного излучения как результат диффузии мономеров и димеров AntBF_2 , происходящей с существенно различными характерными временами.

Во второй главе рассмотрены вопросы изготовления планарных волноводов на основе исследуемого полимера $\text{ПММА} + \text{AntBF}_2$ и методы определения их параметров. Показано, что данный полимер позволяет применять для этого известную технику центрифугирования. Продемонстрирована запись решеток показателя преломления в

планарных световодах. Для увеличения амплитуды модуляции эффективного показателя преломления в планарном волноводе из ПММА+ AntBF₂ предложена технология формирования периодического рельефа на поверхности волновода. Показана возможность формирования полосковых волноводов в пленке ПММА+ AntBF₂ за счет облучения фиолетовым лазерным излучением.

Глава 3 посвящена исследованию нелинейных оптических эффектов в ПММА+ AntBF₂. Показано, что под действием миллисекундных импульсов излучения с длиной волны около 400 нм возможно формирование динамических фазовых решеток, исчезающих после экспонирования. Характерные времена процесса указывают на тепловой характер формирования фазовых неоднородностей. На основе полученных данных продемонстрирована возможность создания на основе полимера ПММА+ AntBF₂ термооптического модулятора светового излучения, который сам управляется лучом света (управление типа “свет-свет”).

Исследованы возможности использования двухквантового поглощения в легированном полимере излучения фемтосекундного лазера с длиной волны около 800 нм (титан-сапфировый лазер с длительностью импульса 45 фс) с интенсивностью излучения на уровне $\sim 10^9$ Вт/см². Экспериментально продемонстрировано, что, поскольку ПММА+ AntBF₂ обладает значительно меньшим коэффициентом оптических потерь на длине волны 800 нм по сравнению с длиной волны 400 нм, то это позволяет при использовании двухквантового поглощения записывать структуры не только в приповерхностном слое полимера, но и в его объеме.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Достоверность полученных результатов, сформулированных в диссертации, основывается на использовании надежных экспериментальных методов и апробированных теоретических моделей. Достоверность ряда полученных результатов подтверждается также тем, что результаты, полученные одним методом, находятся в согласии с аналогичными результатами, полученными автором другими методами. Результаты работы согласуются с результатами других исследователей. Учитывая все вышесказанное, достоверность результатов работы не вызывает сомнений.

Научная новизна работы заключается в том, что разработан и исследован новый фоторегистрирующий материал на основе полиметилметакрилата, легированного антраценоилацетонатом дифторида бора. Установлены режимы изменения коэффициента

поглощения и коэффициента преломления ПММА+ AntBF₂ при его облучении излучением с длиной волны около 400 нм. Выявлена важная роль диффузии молекул фотопродуктов при формировании наведенного показателя преломления полимера. Показана роль термооптического эффекта при формировании динамических неоднородностей показателя преломления при облучении ПММА+ AntBF₂. Исследовано взаимодействие фемтосекундных лазерных импульсов с длиной волны 800 нм с легированным полимером.

Практическая значимость данной работы заключается, главным образом, в создании и исследовании нового фоточувствительного материала для фотоники: полиметилметакрилата, легированного антраценоилацетонатом дифторида бора. Новый материал в этой области (и не только в фотонике) – это всегда экстраординарное событие. Над новыми материалами работают многие институты и фирмы по всему миру. Но самое начало исследований нового материала и должно представлять собой работу, похожую на рассматриваемую в настоящем случае.

Положения, выносимые на защиту, четко сформулированы. В ходе работы над диссертацией Жижченко А.Ю. опубликовано 8 печатных работ, среди них 4 статьи опубликованы в журналах из списка ВАК, в том числе 2 статьи опубликованы в зарубежных изданиях. В данных публикациях полностью изложены основные материалы диссертации. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Замечания.

По содержанию и оформлению работы имеются замечания.

1. При создании новых материалов на современном уровне обязательно учитывается чистота используемых исходных веществ. Некоторой характеристикой чистоты используемого полиметилметакрилата (нелегированного) является его коэффициент оптических потерь, измеренный автором и приведенный на рис.1.2 (стр.30). Уровень потерь составляет порядка $2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$. В то же время указано (стр. 14), что достигнутый в настоящее время уровень потерь в ПММА составляет около 200 дБ/км, что существенно меньше. Такое отличие нуждается в пояснении (в том числе и с точки возможного влияния примесей на фоточувствительность).

2. На стр.32 при описании рис. 1.4 неясно, что подразумевается под линейностью зависимостей 1-5 в диапазоне от «нуля до уровня $E_{x0} \sim 2 \cdot 10^3 \text{ Дж/см}^2$ » - требуется пояснение.
3. В представлении результатов работы существенную роль играют рисунки. Ряд из них (например, рис. 2.11) перегружены информацией и поэтому трудны для восприятия. Кроме того, в ряде описаний и начертаний рисунков присутствуют мелкие недочеты (например, на рис. 1.1 отсутствует входная щель монохроматора).

Заключение.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. В целом, диссертация Жижченко А.Ю. «Лазерно-индуцированные процессы модификации оптических свойств полиметилметакрилата, допированного антраценоилацетонатом дифторида бора» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задач, имеющих существенное значение для создания новых материалов для фотоники и исследования взаимодействия с ними лазерного излучения. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достаточно обоснованы, обладают научной новизной и представляют практическую ценность.

Таким образом, диссертация Жижченко А.Ю. отвечает критериям, установленным в п.9-11, 13-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а сам соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - "Лазерная физика".

Официальный оппонент
зам. директора Научного центра волоконной оптики РАН,
чл.-корр. РАН



Буфетов Игорь Алексеевич

25.05.2015.

Подпись Буфетова И.А. удостоверяю
Ученый секретарь НЦВО РАН
к.ф.-м.н.

Васильев С.А.