



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИАиЭ СО РАН
академик

А.М. Шалагин

«» мая 2015 г.

ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Жижченко Алексея Юрьевича «Лазерно-индуцированные процессы модификации оптических свойств полиметилметакрилата, допированного антраценоилацетонатом дифторида бора», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Работа посвящена исследованию процессов модификации оптических свойств полиметилметакрилата, допированного антраценоилацетонатом дифторида бора, под действием УФ лазерного излучения и фемтосекундного лазерного излучения в ближнем ИК диапазоне.

Целью диссертации является исследование процессов, обуславливающих статические и динамические изменения оптических свойств нового полимерного фоторегистрирующего материала на основе антраценоилацетоната дифторида бора (AntBF₂), вследствие воздействия лазерного излучения и создание физических основ для построения элементной базы дифракционной и интегральной оптики на основе данного материала.

Актуальность темы диссертации Жижченко А.Ю. обусловлена практической потребностью в доступных фоторегистрирующих материалах, не требующих сложной постэкспозиционной обработки, способных сочетать высокую разрешающую способность и возможность оптической записи толстых фазовых структур. Данные материалы особенно востребованы для создания современных устройств трёхмерной, сверхплотной оптической записи информации, интегрально-оптических элементов и высокоскоростных оптических систем передачи/обработки данных.

Диссертация Жижченко А.Ю. состоит из введения, трёх глав и заключения, в котором кратко сформулированы основные результаты работы. Общий объем диссертации составляет 148 страниц, включая список литературы из 221 наименования. Работа в целом оформлена в соответствии с правилами, написана ясно и логично. Её материал изложен достаточно полно и последовательно.

Во введении проведён обзор современного состояния дел в исследуемой области, рассмотрены основные виды фоточувствительных материалов, применяемых для создания оптических устройств записи, передачи и обработки информации, описаны некоторые ключевые подходы, используемые при создании таких материалов, и сформулирован ряд современных требований и рекомендаций при разработке фоточувствительного материала. Обзор, сделанный на основании широкого списка цитируемой литературы, включает 221 источник и демонстрирует хорошие знания диссертанта в области проводимых исследований. В заключительной части введения сформулированы цели диссертационной работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены экспериментальные методы, используемые в диссертационной работе, и представлены результаты проведения комплексного исследования оптических и фотофизических свойств объёмных образцов нового фоторегистрирующего материала. Определен спектральный диапазон фоточувствительности материала. Измерена характеристическая кривая материала и определены оптимальные условия экспонирования. Измерена частотно-контрастная характеристика материала и показаны возможности её оптимизации за счёт использования постэкспозиционной тепловой обработки. Продемонстрирована запись толстых дифракционных решёток с пространственной частотой до 2500 лин/мм и дифракционной эффективностью до 70%. На основе основного уравнения фотохимии и уравнения диффузии разработан формализм описывающий процесс модификации показателя преломления в изучаемом материале вследствие его облучения и постэкспозиционной выдержки.

Во второй главе рассмотрены особенности изготовления светочувствительных планарных волноводов на основе разработанного материала и описаны подходы, используемые для формирования на их основе интегрально-оптических решеточных элементов с дифракционной эффективностью выше 50% и планарных, полосковых и гребенчатых волноводов с оптическими потерями менее 3,9 дБ/см.

В третьей главе диссертации представлены результаты измерения нелинейно-оптических свойств материала и представлены результаты его фотомодификации вследствие кратковременного воздействия лазерным излучением. Продемонстрирована возможность создания термооптического модулятора для управления типа “свет-свет” на основе исследуемого материала. Показано, что модулятор обеспечивает возможность управления мощностью оптического излучения в частотном диапазоне $3 \div 50$ (Гц). Предложен метод создания глубокой структуры показателя преломления подобной

структуре фотонного кристалла на основе двухфотонной фоторегистрации упорядоченной картины множественной филаментации в исследуемом материале.

К **новым научным результатам** диссертационной работы Жижченко А.Ю. можно отнести следующие:

1. Разработан новый фоторегистрирующий материал на основе полиметилметакрилата, допированного антраценоилацетонатом дифторида бора (ПММА+AntBF₂), не требующий жидкостной постэкспозиционной обработки.
2. Установлено, что облучение ПММА+AntBF₂ лазерным излучением с длиной волны ~ 400 нм в диапазоне экспозиций $(0.1 \div 2) \times 10^3$ Дж/см² обеспечивает линейный режим фоторегистрации. При достижении верхней границы диапазона доз экспозиции показатель преломления материала уменьшается на 6×10^{-4} в спектральном диапазоне от 500 до 900 нм (в окне прозрачности материала).
3. Показано, что для голографической решётки, записываемой в ПММА+AntBF₂, зависимость амплитуды модуляции показателя преломления от времени имеет два максимума. При этом первый максимум данной зависимости (до 0.5×10^{-4} в линейном режиме фоторегистрации) обусловлен фотохимическими процессами, а второй более высокий максимум (до $\sim 2 \times 10^{-4}$) – постэкспозиционной диффузией молекул фотопродуктов.
4. Показано, что формирование динамических неоднородностей показателя преломления в ПММА+AntBF₂ под действием импульсов модифицирующего излучения ($\lambda \sim 400$ нм) происходит вследствие термооптического эффекта. Низкий порог интенсивности нагревающего излучения (~ 20 Вт/см²), при котором проявляется термооптический эффект, позволяет создавать модуляторы типа “свет-свет” с возможностью использования маломощных источников лазерного излучения для управления.
5. Показано, что в процессе облучения ПММА + AntBF₂ фемтосекундными импульсами лазерного излучения (~ 800 нм) с интенсивностью от 2.4×10^8 до 7×10^{10} Вт/см² в материале формируется картина множественной филаментации. При этом за счёт двухфотонной фотомодификации материала происходит фоторегистрация филаментов и образование параллельных нитевидных структур показателя преломления. Предварительная запись 2D решётки на входном торце материала приводит к упорядочиванию картины филаментов.

Научная значимость результатов, полученных в диссертации, заключается в углублении понимания физики формирования структур показателя преломления в полимерных средах на основе фотодимеризующихся молекул с учётом их диффузии, что

открывает пути развития разработок таких фоторегистрирующих сред и оптимизации их характеристик. **Практическая ценность** диссертации заключается в разработке полимерного фоторегистрирующего материала на основе нового фотодимеризующегося соединения антраценоилацетоната дифторида бора. Разработанный материал не нуждается в жидкостной постэкспозиционной обработке, обладает низким светорассеянием, высоким разрешением и возможностью фазовой записи толстых оптических элементов с высокой дифракционной эффективностью. Указанные свойства позволяют применять материал как для создания высокоэффективных голографических решёток, так и элементов интегральной оптики с низкими оптическими потерями. Низкий порог двухфотонной фотомодификации материала обеспечивает возможность применения материала для лазерной записи глубоких структур показателя преломления, что открывает возможность создания толстых дифракционных оптических элементов, фотонных кристаллов и других оптических микроструктур с уникальными оптическими свойствами.

Результаты диссертации целесообразно использовать в организациях занимающихся исследованием фоторегистрирующих материалов и разработкой лазерных методов записи оптических компонентов на их основе: ФИАН им. Лебедева (г. Москва), ГОИ им. С.И. Вавилова (г. Санкт-Петербург), ИАиЭ (г. Новосибирск), ИАПУ (г. Владивосток) и т.д., а так же в университетах, например, МГУ (г. Москва), НИУ ИТМО (г. Санкт-Петербург), НГУ (г. Новосибирск), ДВФУ (г. Владивосток) и т.д., при обучении бакалавров, магистрантов и аспирантов для использования в спецкурсах по взаимодействию лазерного излучения с веществом, голографии, дифракционной и интегральной оптики.

Замечания по диссертационной работе

1. Недостаточно уделено внимания описанию методики измерения спектров люминесценции изучаемого материала и анализу их изменения вследствие фотомодификации.
2. Слабо освещены особенности материала, связанные со светорассеянием. О низком значении этих параметров можно судить лишь из фотографий распределения интенсивности света, дифрагированного на записанных в материале голографических решётках, представленных на рис.1.9.
3. Не представлен спектр пространственных частот структуры показателя преломления, полученной в результате фоторегистрации картины множественной филаментации. В работе представлена лишь фотография дифракции света на такой структуре, что несколько осложняет обоснование выбора пространственной частоты для фазовой маски.

4. В работе не представлены зависимости фотоиндуцированного изменения показателя преломления материала от концентрации антраценоилацетоната дифторида бора.
5. В диссертации встречаются ошибки пунктуации и орфографии, временами затрудняющие восприятие содержания.

Приведённые замечания не носят принципиального характера, они не снижают высокой оценки научной значимости работы и не ставят под сомнение компетентность автора диссертации. Основные научные положения, выносимые на защиту, являются обоснованными.

Заключение

Диссертация Жижченко Алексея Юрьевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает специальности 01.04.21 – лазерная физика. Диссертационная работа «Лазерно-индуцированные процессы модификации оптических свойств полиметилметакрилата, допированного антраценоилацетонатом дифторида бора» соответствует требованиям положения «О присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013г., предъявляемым к кандидатским диссертациям. Результаты работы опубликованы в четырёх статьях журналов из перечня ВАК. Таким образом, автор, Жижченко Алексей Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Работа была заслушана и обсуждена на семинаре ИАиЭ СО РАН (Учебный-научный центр «Квантовая оптика») 19 июня 2014 г.

Отзыв подготовил:

В.н.с. лаборатории дифракционной оптики ИАиЭ СО РАН,

д.т.н



В.П. Корольков

Почтовый адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Коптюга, 1.

Телефон: (383)-3333-091

e-mail: victork@iae.nsk.su.