

ОТЗЫВ

официального оппонента Достовалова Александра Владимировича на диссертационную работу Рупасова Алексея Евгеньевича «Формирование двулучепреломляющих микротреков и запись оптических элементов в прозрачных твёрдых диэлектриках ультракороткими лазерными импульсами», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Диссертационная работа посвящена формированию двулучепреломляющих микротреков в объёме прозрачных твёрдых диэлектриков и записи на их основе оптических элементов под действием ультракоротких импульсов при варьировании диэлектрических материалов и параметров индуцирующего лазерного излучения.

В сфере фотонных технологий сохраняется актуальность разработки эффективной отечественной базы для создания оптических элементов с применением лазерных технологий. Использование двулучепреломляющих структур представляет интерес благодаря своим оптическим свойствам, позволяет расширить возможности оптических технологий и создать новые решения для различных областей. Исследования, связанные с формированием двулучепреломляющих структур в объёме прозрачных твёрдых диэлектриков и записью на их основе оптических элементов под действием ультракоротких импульсов при варьировании параметров индуцирующего лазерного излучения, могут быть применены в научных исследованиях, промышленности и других сферах, где требуется управлять параметрами лазерного излучения. Таким образом, они имеют потенциал для развития новых направлений в области оптики и могут привести к созданию инновационных оптических решений. Кроме того, на сегодняшний день активно развиваются направления, связанные с созданием и исследованием двулучепреломляющих структур в оптическом волокне и изготовлением волоконных брэгговских решёток. Понимание механизмов формирования двулучепреломляющих структур под действием ультракоротких лазерных импульсов могло бы повысить эффективность таких оптических элементов и открыть новые возможности для их применения в различных областях науки и техники.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы из 147 наименований. Объём диссертации составляет 155 страницу, включая 87 рисунков.

В первой главе представлено обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты его научная новизна и практическая значимость. Дан краткий исторический обзор изучения взаимодействия лазерного света с прозрачными твёрдыми диэлектриками. Описаны явления самофокусировки, а также существующие механизмы формирования двулучепреломляющих структур в области фокусировки лазерного излучения.

Представлены перспективы практического использования модификаций, возникающих в результате воздействия лазерного луча на прозрачные твёрдые диэлектрики.

Во второй главе представлено описание лазерной системы, конфокального фотолюминесцентного микроскопа, поляризационного микроскопа и прочих установок, используемых в эксперименте. Указаны их ключевые параметры, а также описан принцип работы некоторых из них. Кроме того, в данной главе подробно рассмотрены прозрачные твёрдые диэлектрики, используемые в исследовании. Приведены их основные характеристики и дано обоснование выбора именно этих материалов.

В третьей главе представлены результаты детальных исследований формирования двулучепреломляющих микротрещин в объёме плавленого кварца, фторида кальция, ниобата лития под действием ультракоротких лазерных импульсов при варьировании параметров индуцирующего лазерного излучения. Проведены исследования взаимосвязи эффекта двулучепреломления от параметров индуцирующего лазерного излучения, включая изучение формирования центров окраски, длины и светимости областей лазерно-индуцированной фотолюминесценции от этих параметров. Выполнена визуализация наномасштабной субструктуры двулучепреломляющих микротрещин в сечении с помощью сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии. Проведены исследования комбинационного рассеяния света в области формирования двулучепреломляющих микротрещин. Предложены механизмы формирования субволновой подструктуры двулучепреломляющих микротрещин вдоль волнового вектора и вдоль вектора напряжённости индуцирующего электрического поля.

В четвёртой главе представлено исследование, посвящённое записи оптических элементов в объёме плавленого кварца с применением установленных режимов записи. Среди созданных элементов — полуволновая пластинка, поляризационно-дисперсионные фильтры Шольца и Лио, поляризационная дифракционная решётка, брэгговский отражатель и диэлектрическое зеркало. Приведены результаты моделирования - численного решения уравнений Максвелла для брэгговского отражателя.

В заключительной части работы подводятся итоги исследования и описываются основные результаты.

По тексту диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. В разделе 1 автор утверждает, что «Исследования показали, что при длительности импульсов более 200 фемтосекунд невозможно добиться плавного роста показателя преломления [94].» Это утверждение сформулировано не совсем корректно, поскольку есть работы, в которых показан режим плавного изменения показателя преломления при воздействии лазерного излучения с длительностью импульса более 200 фс, например: [Yunfang Zhang, Chupao Lin, Changrui Liao, Kaiming Yang, Zhengyong Li, and Yiping Wang, "Femtosecond laser-inscribed fiber interface Mach-Zehnder interferometer for temperature-insensitive refractive index measurement," Opt. Lett. 43, 4421-4424 (2018)].

2. В разделе 2.3.3. приводится выражение для разности хода между двумя ортогональными волновыми фронтами, прошедшими через анизотропный микротрек, при этом длина двулучепреломляющего микротрека по нормали к диэлектрическому образцу обозначена буквой L , вместо T , которая используется в самом выражении. Далее в этом разделе также имеется путаница в обозначении данной величины.

3. В разделе 3.1.1 приводится зависимость величины разности хода, длины микротреков и величины двулучепреломления от величины энергии лазерных импульсов, записанных объективами с числовой апертурой $NA = 0,55$ и $NA = 0,45$, при экспозиции $N=300$. Однако, для микротреков, записанных объективом с $NA=0,45$ импульсами с длительностью 0,6 пс наблюдается спад величины двулучепреломления при величине энергии в импульсе выше 1.5 мкДж. Есть ли какое-то предположение, объясняющее такое поведение данной зависимости?

4. На рис. 3.3 представлена зависимость фазового сдвига микротреков от энергии в импульсе и длительности лазерного излучения, используемого при записи, в плавленом кварце, при экспозиции $N=300$. Показано, что фазовый сдвиг монотонно возрастает в зависимости от энергии лазерных импульсов. Однако, для импульсов длительностью порядка и более 1 пс при формировании микротреков с высоким фазовым сдвигом требуются меньшие энергии в импульсе, чем для импульсов длительностью 0,3 пс, что на первый взгляд кажется контринтуитивным, поскольку порог по интенсивности для формирования структур для более коротких импульсов должен достигаться при меньшей энергии. Можно ли как-то объяснить данный эффект?

Приведённые замечания не снижают научную значимость результатов, представленных в диссертации, и общей положительной оценки работы.

Тема диссертационного исследования актуальна для современной науки. Научные положения и выводы, представленные в работе, имеют надёжное обоснование. Результаты исследования имеют практическую ценность и научную новизну. Они успешно прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и семинарах. Также результаты исследования были опубликованы в авторитетных научных изданиях, что подтверждает их значимость и достоверность. Достоверность результатов обеспечивается их воспроизводимостью при повторных исследованиях.

Диссертация Рупасова Алексея Евгеньевича «Формирование двулучепреломляющих микротреков и запись оптических элементов в прозрачных твёрдых диэлектриках ультракороткими лазерными импульсами» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых

степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Рупасов Алексей Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

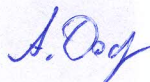
Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук, Достовалов Александр Владимирович, ведущий научный сотрудник лаборатории волоконной оптики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской Академии Наук.

Российская федерация, 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, пр-кт Академика Коптюга, д.1.

Телефон: +7 (383) 330-69-39

e-mail: dostovalov@iae.nsk.su



/ Достовалов Александр Владимирович /

«21» ноября 2024 г.

Подпись Достовалова Александра Владимировича заверяю:

кандидат физико-математических наук, Иваненко Алексей Владимирович

Учёный секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской Академии Наук

Российская федерация, 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, пр-кт Академика Коптюга, д.1.

Телефон: +7 (383) 330-80-33

e-mail: science@iae.nsk.su



Иваненко Алексей Владимирович /

Список основных работ официального оппонента Достовалова Александра Владимировича по тематике диссертации Рупасова Алексея Евгеньевича «Формирование двулучепреломляющих микротрещин и запись оптических элементов в прозрачных твёрдых диэлектриках ультракороткими лазерными импульсами» в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. 1. A. Dostovalov, K. Bronnikov, V. Korolkov, S. Babin, E. Mitsai, A. Mironenko, M. Tutov, D. Zhang, K. Sugioka, J. Maksimovic, T. Katkus, S. Juodkazis, A. Zhizhchenko, and A. Kuchmizhak, "Hierarchical anti-reflective laser-induced periodic surface structures (LIPSSs) on amorphous Si films for sensing applications," *Nanoscale* 12, 13431–13441 (2020),
2. A. V. Dostovalov, T. J.-Y. Derrien, S. A. Lizunov, F. Přeučil, K. A. Okotrub, T. Mocek, V. P. Korolkov, S. A. Babin, and N. M. Bulgakova, "LIPSS on thin metallic films: New insights from multiplicity of laser-excited electromagnetic modes and efficiency of metal oxidation," *Applied Surface Science* 491, 650–658 (2019),
3. Alexandr Dostovalov, Alexey Wolf, Zhibzema Munkueva, Mikhail Skvortsov, Sofia Abdullina, Aleksey Kuznetsov, Sergey Babin, Continuous and discrete-point Rayleigh reflectors inscribed by femtosecond pulses in singlemode and multimode fibers, *Optics & Laser Technology*, Volume 167, 109692 (2023)
4. K. Bronnikov, S. Gladkikh, E. Mitsai, E. Modin, A. Zhizhchenko, S. Babin, A. Kuchmizhak, A. Dostovalov, «Highly regular nanogratings on amorphous Ge films via laser-induced periodic surface sublimation,» *Optics & Laser Technology*, 169, 110049 (2024)
5. Wolf A, Dostovalov A, Bronnikov K, Skvortsov M, Wabnitz S et al. Advances in femtosecond laser direct writing of fiber Bragg gratings in multicore fibers: technology, sensor and laser applications. *Opto-Electron Adv* 5, 210055 (2022)