

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**СБОРНИК ТРУДОВ  
X МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ  
УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ  
«ОПТИКА – 2017»**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
16-20 октября 2017



**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург  
2017

ББК 22.34. Оптика  
УДК 535

Сборник трудов X Международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2017». Санкт-Петербург. 16-20 октября 2017 / Под ред. проф. В.Г. Беспалова, проф. С.А. Козлова.– СПб: Университет ИТМО, 2017. – 606 с.: с ил.

ISBN 978-5-7577-0565-1

Рецензенты:

Яшин Владимир Евгеньевич, д.ф.-м.н., начальник НО-1 "Лазерная физика", АО "ГОИ им. С.И. Вавилова".

Венедиктов Владимир Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор кафедры лазерных измерительных и навигационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

В сборник вошли труды X Международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2017», прошедшей 16-20 октября 2017 года.



**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2017

© Авторы, 2017

# ФИЛАМЕНТАЦИЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОЗРАЧНЫХ СРЕДАХ

Чкалов Р.В., Тарасова М.А., Хорьков К.С., Кочуев Д.А.

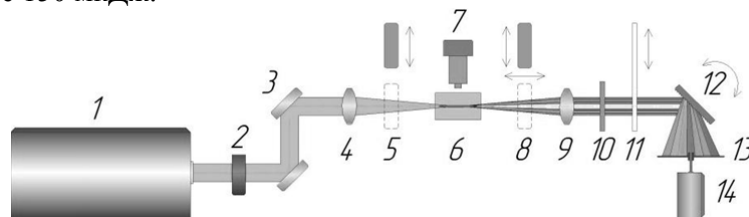
Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
Владимир, Россия

В докладе приведены результаты экспериментальных исследований филаментации фемтосекундного лазерного излучения в прозрачной среде. Представлены схемы регистрации плазменных каналов филаментов, конической эмиссии, пространственного распределения интенсивности излучения, приведены результаты лазерного воздействия в режиме множественной филаментации на образцы.

Возможность использования дисперсионных свойств сред для управления пространственно-временным распределением интенсивности импульса и его спектральными параметрами в процессе нелинейного взаимодействия со средой, представляет большой интерес для фундаментальных и прикладных аспектов современной нелинейной оптики [1-3].

Импульсное излучение, пиковая мощность которого в десятки и более раз превышает критическую мощность самофокусировки, формирует множество филаментов. Это является неизбежным следствием пространственно-модуляционной неустойчивости интенсивного светового поля в среде с кубической нелинейностью [4].

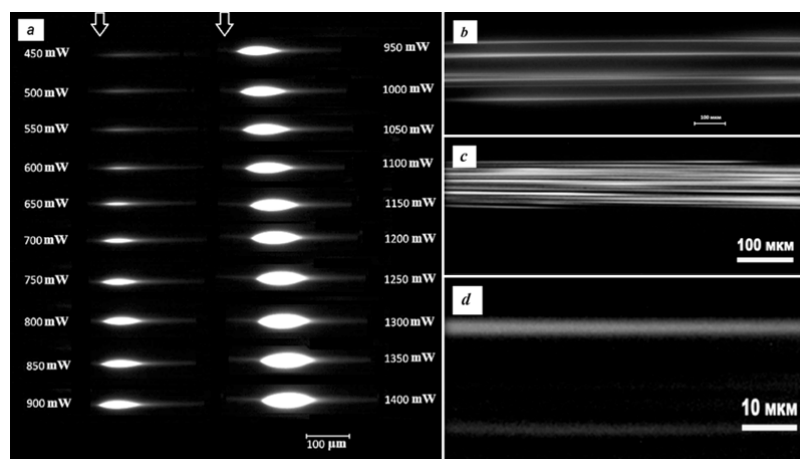
В экспериментальных схемах (Рис. 1) использовались две фемтосекундные лазерные системы: Ti:Sapphire-лазерная система, имеющая следующие параметры: длина волны 800 нм, длительность импульса излучения 50 фс, частота повторения импульсов 1 кГц, энергия в импульсе 1 мДж; Yb:KGW-лазерная система, имеющая следующие параметры: длина волны 1030 нм, длительность импульса излучения 280 фс, частота повторения импульсов 10 кГц, энергия в импульсе 150 мкДж.



**Рис. 1.** Геометрия эксперимента: 1 – источник лазерного излучения, 2 – поляризационный ослабитель, 3 – перископ, 4 – фокусирующая линза, 5 – измеритель мощности, 6 – свободное место/образец (стеклянная пластина), 7 – микроскоп с цифровой камерой, 8 – измеритель профиля поперечного пучка, 9 – щель, 10 – объектив, 11 – нейтральный светофильтр, 12 – экран регистрации конической эмиссии, 13 – дифракционная решетка, 14 – щель, 14 – спектрометр

Наблюдение за областью перетяжки лазерного излучения производилось в режиме реального времени. Цифровой микроскоп закреплялся на координатном столике с хуз-позиционированием. Возможность перемещения микроскопа позволяло сфокусироваться в области оптического пробоя. Плазменные каналы филаментов и излучение конической эмиссии, рассеянное в образце, регистрировались через боковую грань образца [5].

На Рис. 2 представлены изображения области перетяжки излучения при разных мощностях и средах. На Рис. 2а представлены изображения области оптического пробоя воздуха в зависимости от роста мощности излучения (излучение распространяется справа налево). Стрелкой сверху указано положение геометрического фокуса линзы. Видно, что увеличение мощности импульса сопровождается удлинением светящегося образования в канале. Так же заметно, как начало области оптического пробоя, так и геометрический фокус пучка, который при увеличении мощности смещается в сторону лазерного источника, что соответствует литературным данным.



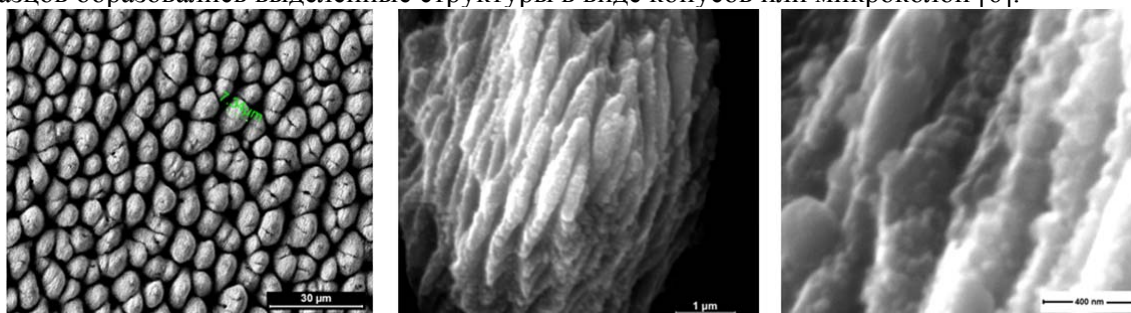
**Рис. 2.** Динамика изменения плазменных каналов: а) в воздухе; b-d) в стеклянном образце при различном увеличении

При превышении критической мощности в несколько раз в образце возникает множественная филаментация. На микрофотографиях, представленных на Рис. 2 b-d, видна неоднородная структура области филаментации. Плазменные каналы филаментов наблюдались в области сечением 500 мкм, в свою очередь, длина отдельного филамента может достигать нескольких сантиметров.

Распределение интенсивности прошедшего лазерного излучения через образец производилось с помощью измерителя профиля поперечного пучка, который располагался сразу после образца до коллимирующего объектива на линейном трансляторе, позволяющем перемещать измерительную головку вдоль оси распространения лазерного излучения. За счет расходимости происходит смещение локальных максимумов относительно друг друга. Это говорит о том, что образовавшиеся филаменты в объеме образца не претерпевают никаких изменений в пространстве, распространяются без изменения относительного расположения в поперечном сечении лазерного пучка на протяженные расстояния. Данное явление позволяет осуществить управляемое воздействие филаментами лазерного излучения на материалы.

Воздействие на материал филаментами лазерного излучения позволяет уменьшить размер образуемых отверстий вплоть до нескольких микрометров. Развитие методов использования нелинейных эффектов, инициируемых фемтосекундным лазерным излучением, обеспечивает реализацию новых технологий микрообработки материалов.

Проведение экспериментов при сканировании лазерным излучением по поверхности образца нержавеющей стали (SS304, состав: 70% Fe, 18% Cr, 8% Ni и др.) осуществлялось при различных скоростях (от 1 мм/с до 1000 мм/с) с помощью гальваносканатора. Обработка осуществлялась таким образом, что обеспечивалось перекрытие сфокусированного лазерного пучка (диаметр порядка 80 мкм) при каждой последующей линии сканирования. Геометрия эксперимента позволяет проводить обработку поверхности в пределах 100x100мм. После рассмотрения обработанных образцов с помощью оптического микроскопа было проведено анализ на растровом электронном микроскопе (Рис. 3), который показал, что на поверхности образцов образовались выделенные структуры в виде конусов или микроколон [6].



**Рис. 3.** РЭМ-изображения области воздействия лазерного излучения ( $\lambda=800$  нм,  $\tau=50$  фс,  $P_{ср}=400$  мВт,  $f=1$  кГц) на нержавеющую сталь (SS304).

Данные исследования могут найти применения в микрофотонике, микрообработке материалов, в том числе записи волноводных структур. Образование филаментов высокой плотности мощности в нелинейном фокусе диаметрами до нескольких микрометров является актуальной задачей лазерной микрообработки поверхностей, в том числе формирования отверстий. Лазерное перфорирование тонких металлических пластин может найти применение в фильтрующих системах, матрицах, растровых микрооптических элементах. Использование обработки фемтосекундными лазерными филаментами обеспечивает структурирование поверхности с комбинированным на микро- и наноуровне рельефом, образование оксидов основных элементов сплава, что влияет на оптические свойства материала и позволяет получить сильное поглощение в широкополосном оптическом диапазоне. Перспективна также лазерная обработка в среде специально подобранных жидкостей. В этом случае обеспечивается формирование микроструктур заданного химического состава.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ проект № 16-32-00760 мол\_а.

1. Чекалин С. В., Кандидов В. П., *Успехи физ. наук*, **183**, №.2, 133-152, (2013).
2. Кандидов В. П., Шленов С. А., Косарева О. Г., *Квант. электрон.*, **39**, 205-228, №3, (2009).
3. Апексимов Д. В. и др. *Прикл. физика.*, №.6, 14-22. (2012).
4. Кандидов В.П., Шленов С.А., Силаева Е.П., Дергачев А.А. *Оптика атмосф. и океана*, **23**, №10, 873–884, (2010).
5. Хорьков К.С., Кочуев Д.А., Абрамов Д.В. и др., *Динамика сложных систем*, **9**, №4, 23-28, (2015).
6. Khorkov K. S. et al. *Laser Optics (LO)*, 2016 International Conference, R8-52-R8-52. (2016).