

МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Национальный
исследовательский ядерный
университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)»**

Каширское шоссе, д.31, г. Москва, 115409
Тел. (499) 324-77-77, факс (499) 324-21-11
<http://www.mephi.ru>

УТВЕРЖДАЮ»
Ректор Национального
исследовательского

ядерного университета «МИФИ»
доктор физ.-мат. наук, профессор



М.Н. Стриханов

«03» октября 2018 г.

№ _____
На № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
на диссертацию Селезнева Леонида Владимировича
«ФИЛАМЕНТАЦИЯ УЛЬТРАКОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В
СХОДЯЩИХСЯ ПУЧКАХ»
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.21- лазерная физика

Актуальность диссертации

В настоящее время благодаря развитию фемтосекундной лазерной техники: фемтосекундные лазеры все чаще применяются в разнообразных областях деятельности – медицине в стоматологии, глазной хирургии, нейрохирургии, в технологических процессах для сверления металлов, резки алмазов, в нанотехнологиях для создания наночастиц, наномасштабных поверхностных структур и др. В большинстве случаев для подобных применений используются сходящиеся (сфокусированные) лазерные пучки. С учетом того, что практически всегда распространение лазерного излучения до воздействия на объект происходит в газовой или конденсированной среде, высокоинтенсивный сходящийся лазерный пучок взаимодействует с этой средой. В результате такого взаимодействия может происходить самофокусировка лазерного пучка и, как результат, ионизация этой среды, т. е. филаментация лазерного излучения, что будет приводить к существенному изменению профиля

поперечного сечения лазерного пучка еще до достижения обрабатываемого объекта. Поэтому в процессах фемтосекундной лазерной обработки необходимо учитывать особенности нелинейного распространения сходящихся пучков, что определяет актуальность сформулированной автором цели работы Селезнева Л.В.: определение условий и параметров распространения ультракоротких лазерных импульсов в сходящихся пучках, распространяющихся в режиме филаментации в газообразных и конденсированных средах.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 227 страниц, включая 133 рисунка.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цель работы и решаемые задачи, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, излагаются положения, выносимые на защиту.

В первой главе изложены физические механизмы возникновения фемтосекундных лазерных пучков, возникновения явления филаментации и сопровождающих ее процессов, проводится сравнительный литературный обзор современного положения дел в области темы исследований.

Вторая глава посвящена описанию используемой в работе лазерной системы, приводятся характеристики основных используемых в экспериментах приборов.

В третьей главе сообщается о результатах исследования филаментации сильносходящихся фемтосекундных лазерных импульсов в УФ и ИК диапазонах спектра в воздухе. Автором экспериментально исследовано влияние апертуры сходящихся лазерных пучков на интенсивность импульса в филаменте, его самофокусировку и плазмообразование при воздействии на обрабатываемый объект. Изучен режим множественной филаментации,

исследовано распространение мощного (сотни критических мощностей самофокусировки) сходящегося УФ пучка.

Четвертая глава посвящена изучению влияния различных искажений (фазовых и амплитудных) лазерного пучка, которые могут вносить оптические элементы экспериментальной схемы, на самофокусировку и плазмообразование.

В пятой главе сообщается о результатах исследования ионизации различных газов при распространении УФ и ИК сходящихся лазерных пучков.

Шестая глава посвящена изучению распространения сходящегося ИК пучка в конденсированных средах. Автором рассмотрены вопросы распространения лазерного импульса в жидких средах, в полиметилметакрилате, в природном и искусственном алмазах, в биологических тканях.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна исследований заключается в том, что в диссертационной работе:

1. Экспериментально показано, что в сходящихся лазерных пучках ИК диапазона в воздухе образуется стабилизация интенсивности в филаменте, плотности плазмы и поперечного размера плазменного канала при достижении числовой апертуры значений $(1-3) \cdot 10^{-2}$.
2. Экспериментально обнаружена симметризация поперечного профиля плотности энергии лазерного пучка УФ диапазона после прохождения перетяжки пучка в режиме множественной филаментации.
3. Показано, что фазовая или амплитудная модуляция поперечного профиля лазерного пучка при неизменных значениях других параметров приводит к изменению длины плазменного канала, который образуется при филаментации сходящегося пучка в воздухе.
4. Экспериментально установлено изменение механизма ионизации аргона и азота фемтосекундными УФ лазерными импульсами с резонансного на

нерезонансный четырехфотонный при увеличении интенсивности выше 1 ТВт/см^3 .

5. Экспериментально наблюдалась множественная филаментация в сходящихся лазерных пучках ИК лазерных импульсов в конденсированных средах.

Практическая значимость работы определяется тем, что полученные результаты могут быть использованы для решения следующих задач:

1. Эффективная передача высокоинтенсивного лазерного излучения на заданное расстояние.

2. Формирование микромасштабного источника излучения в ультрафиолетовом диапазоне ультракороткой длительности.

3. Выглаживание поперечного профиля сходящегося лазерного пучка, распространяющегося в режиме существенно-множественной филаментации после прохождения перетяжки.

4. Управление протяженностью образованных при филаментации лазерного излучения плазменных каналов для задач коммутации высоковольтных разрядов.

5. Фемтосекундное лазерное микроstructuring конденсированных сред (в работе показано на примере ПММА, алмаза, глазной склеры и роговице) импульсами большой интенсивности.

Достоверность полученных результатов определяется всесторонним анализом экспериментальных данных и сопоставлением с результатами численных расчетов, выполненных несколькими различными группами. Проведенные научные исследования можно характеризовать как научное достижение.

Основные результаты диссертации были опубликованы в 23 материалах международных конференций и в 18 публикациях, в рецензируемых журналах, индексируемых в базе данных Web of Science.

В качестве замечаний необходимо отметить следующее:

1. Третья глава диссертационной работы, по сути, описывает влияние числовой апертуры сходящегося пучка на параметры филаментации. В разделе 3.5, в частности, исследуется уширение спектра при филаментации сходящегося пучка. Однако экспериментальные данные приводятся только для одной числовой апертуры пучка. Было бы интересно посмотреть на эволюцию спектрально-угловых характеристик излучения после филамента при переходе от коллимированного пучка к сильносходящемуся.

2. В некоторых экспериментах автор сравнивает результаты, полученные в разных условиях различными методами. Например, в разделе 4.2.3, где исследуется влияние проходной оптики, в эксперименте с коллимированным пучком начало филаментации определялось исходя из изменения площади пучка (по началу самофокусировки), а в экспериментах со сходящимся пучком старт филамента определялся по появлению плазмы. Логично было бы применение одинаковых методов для корректного сопоставления результатов.

Приведенные замечания не влияют на общую **положительную** оценку диссертации. Полученные в работе результаты обладают существенной значимостью и новизной, а саму работу можно квалифицировать, как научное достижение.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и верно отражает полученные результаты работы.

Результаты, полученные в диссертационной работе Селезнева Л.В., могут найти применение в ФИАН, МИФИ, МГУ, ИОФ РАН, ИОА СО РАН и ряде других научных учреждений интересующихся проблемой распространения лазерного излучения.

Диссертация Селезнева Леонида Владимировича «Филаментация ультракоротких лазерных импульсов в сходящихся пучках» обладает практической значимостью и соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней,

утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика (физико-математические науки).

Отзыв составлен профессором отделения лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н. С.Л. Шныревым после ознакомления с диссертацией и авторефератом, а также на основании доклада Селезнева Л.В. на научном семинаре кафедры «Лазерная физика» Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ.

Отзыв на диссертационную работу обсужден и принят на заседании Научно-технического совета Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ (протокол № 23 от 02 октября 2018 г.).

Отзыв составил
профессор отделения
лазерных и плазменных технологий
НИЯУ МИФИ,
д. ф. - м. н



Сергей Львович Шнырёв

115409, Россия, Москва,
Каширское шоссе, 31
+7 (495) 788 56 99, доб. 9387
SLShnyrev@mephi.ru

И.о. директора Института «ЛаПлаз»
НИЯУ МИФИ
д.ф.-м.н.



Андрей Петрович Кузнецов

Председатель Совета по аттестации и
подготовке
научно-педагогических кадров НИЯУ
МИФИ
д.ф.-м.н., профессор



Николай Алексеевич Кудряшов

Список основных работ по тематике защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):

Rozental, R. M., Ginzburg, N. S., Zotova, I. V., Sergeev, A. S., & Tarakanov, V. P. (2017). Generation of ultrashort microwave pulses in the sub-THz and THz range based on the cyclotron superradiance effect. *Technical Physics Letters*, 43(9), 831-834.

Faenov, A. Y., Alkhimova, M. A., Pikuz, T. A., Skobelev, I. Y., Nishiuchi, M., Sakaki, H., ... & Ogura, K. (2017). The effect of laser contrast on generation of highly charged Fe ions by ultra-intense femtosecond laser pulses. *Applied Physics B*, 123(7), 197.

Makarov, S., Pikuz, S., Faenov, A., Pikuz, T., Fukuda, Y., Skobelev, I., ... & Kodama, R. (2017). Ion pinhole imaging diagnostics on fast ion source in femtosecond laser plasma of cluster targets. *Optics Express*, 25(14), 16419-16426.

Faenov, A. Y., Pikuz, T. A., Vergunova, G. A., Pikuz, S. A., Skobelev, I. Y., Andreev, A., ... & Kodama, R. (2017). Ultra-bright keV X-ray source generated by relativistic femtosecond laser pulse interaction with thin foils and its possible application for HEDS investigations. *Laser and Particle Beams*, 35(3), 450-457.

Bagdasarov, V. K., Bel'kov, S. A., Garanin, S. G., Garnov, S. V., Nikolaev, D. A., Orlov, S. N., ... & Tsvetkov, V. B. (2017). Two-stage optical parametric amplifier of a low energy nanosecond pulses. *Laser Physics Letters*, 14(5), 055403.

Ushakov, A. A., Matoba, M., Nemoto, N., Kanda, N., Konishi, K., Chizhov, P. A., ... & Yumoto, J. (2017). Backward terahertz radiation from the two-color femtosecond laser filament. *JETP Letters*, 1-4.

Rosmej, F. B., Astapenko, V. A., Lisitsa, V. S., & Moroz, N. N. (2017). Nonlinear resonance scattering of femtosecond X-ray pulses on atoms in plasmas. *Physics Letters A*, 381(41), 3576-3579.

Bagdasarov, V. K., Bel'kov, S. A., Garanin, S. G., Garnov, S. V., Nikolaev, D. A., Orlov, S. N., ... & Tsvetkov, V. B. (2016). The nanosecond optical parametric amplifier of a weak signal based on BBO crystals. *Laser Physics*, 26(9), 095003.

Chizhov, P. A., Bukin, V. V., Ushakov, A. A., & Garnov, S. V. (2016). Features of the electron density dynamics in the filamentation of femtosecond laser radiation in air at elevated pressure. *Quantum Electronics*, 46(4), 332.

Kazieva, T. V., Kuznetsov, A. P., Gubskii, K. L., Ponarina, M. V., & Reshetov, V. N. (2017). Determination of the shape of indenters for nanohardness testers via interferometry. *Technical Physics Letters*, 43(2), 148-151.

Gorbashova, M., Burdonskiy, I., Gubskiy, K., Kuznetsov, A., Ramazanov, A., Lukyanov, K., ... & Yufa, V. (2017, December). Application of direct optical heterodyning methods

for studying the processes of chondrite targets destruction by laser radiation. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 941, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.

Kuznetsov, A. P. (2016). Quadrature laser interferometry in the pulsed plasma diagnostic. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 666, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.