

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.069.02 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 21.05.2018 № 73

О присуждении Антипову Олегу Леонидовичу, гражданину РФ,  
ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Высокоэффективные твердотельные лазеры с нелинейно-оптическим управлением и преобразованием параметров излучения» по специальности 01.04.21 – лазерная физика принята к защите 16.01.2018 г., протокол № 71 диссертационным советом Д 002.069.02 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения (ФГБУН) «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ Министерства образования и науки РФ № 717 от 09.10.2012 г.)

Соискатель Антипов Олег Леонидович, 1961 года рождения, в 1983 году окончил с отличием Горьковский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, в 1991 окончил аспирантуру ИПФ РАН, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Параметрическая генерация при вынужденном рассеянии вперёд встречных лазерных пучков» защитил в 1992 году в диссертационном совете К 063.77.03, созданном на базе Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, и работает ведущим научным сотрудником в ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН, приказ №1092-ок от 16.10.2008).

Диссертация выполнена в отделении Нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН.

Официальные оппоненты:

- Кочемасов Геннадий Григорьевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института лазерно-физических исследований Российского федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики, г. Саров;
- Бабин Сергей Алексеевич, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, ВРИО директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения Институт автоматизации и электротехники СО РАН, г. Новосибирск;



- Венедиктов Владимир Юрьевич, доктор физико-математических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета “ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова, г. Санкт-Петербург, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (ИОФАН, г. Москва), в своем положительном заключении, подписанном Цветковым Владимиром Борисовичем, д.ф.-м.н. зав. отделом ИОФАН, и утвержденном ВРИО директора ИОФАН д.ф.-м.н. член-корр. РАН Гарновым Сергеем Владимировичем, указала, что диссертация О.Л. Антипова может быть квалифицирована как значительное достижение в развитии физики твердотельных лазеров и нелинейной оптики. Основные результаты работы представляют большой интерес как для фундаментальной науки, так и для ряда различных приложений. Автор диссертации Антипов Олег Леонидович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21– лазерная физика.

Соискатель имеет всего 228 опубликованных работ, в том числе 127 работ по теме диссертации, из них 3 главы в книгах, 73 статьи в рецензируемых научных изданиях, 2 патента на изобретение. Наиболее значимыми работами соискателя являются:

1. Антипов О.Л., Кужелев А.С., Лукьянов А.Ю., Зиновьев А.П. Изменения показателя преломления лазерного кристалла Nd:YAG при возбуждении ионов  $Nd^{3+}$ . // Квантовая электроника - 1998. Т. 28, № 10. С. 867-874.
2. Antipov O.L., Bredikhin D.V., Ereneykin O.N., Savikin A.P., Ivakin E.V., Sukhadolau A.V. Electronic mechanism of refractive index changes in intensively pumped Yb:YAG laser crystals. // Optics Letters - 2006. V. 31, № 6. P. 763-765.
3. Antipov Oleg L. Self-Pumped Phase Conjugation by Joint Stimulated Scatterings in Nematic Liquid Crystals and Its Application for Self-Starting Lasers // Chapter 10 In book: “Phase Conjugate Laser Optics”, edited by J.-P. Huignard and A. Brignon, John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, 2004. P. 331-366.
4. Антипов О.Л., Беляев С.И., Кужелев А.С. Лазерные кристаллы с невзаимной обратной связью как параметрические зеркала, самообращающие волновой фронт световых пучков. // Письма в ЖЭТФ - 1994. Т. 60, Вып. 3. С. 163-166..
5. Antipov O.L., Chausov D.V., Kuzhelev A.S., Vorob'ev V.A., Zinoviev A.P. 250W-Average-Power Nd:YAG Laser with Self-Adaptive Cavity Completed By Dynamic Refractive-Index Gratings. // IEEE Journal of Quant. Electronics - 2001. V. 37, Is. 5. P. 716-724.
6. Fotiadi A.A., Antipov O.L., Mégret P. Dynamics of pump-induced refractive index changes in single-mode Yb-doped optical fibers. // Optics Express - 2008. V. 16, Iss. 17. P. 12658-12663.



7. Antipov O., Kuznetsov M., Alekseev D., Tyrtysnyy V. Influence of a backward reflection on low-threshold mode instability in Yb<sup>3+</sup>-doped few-mode fiber amplifiers. // Optics Express - 2016. V. 24, Iss. 13. P. 14871-14879.
8. Antipov O.L., Novikov A.A., Zakharov N.G., Zinoviev A.P. Optical properties and efficient laser oscillation at 2066 nm of novel Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics. // Optical Materials Express – 2012. V. 2. P. 183-189.
9. Антипов О.Л., Еранов И.Д., Косицын Р.И. Параметрические генераторы света среднего ИК диапазона мощностью 10 Вт на основе элементов ZnGeP<sub>2</sub>, накачиваемых излучением Ho:YAG-лазера с волоконно-лазерной накачкой. Экспериментальное и численное исследование. // Квантовая электроника – 2017. Т. 47, №7. С. 601-606.

На диссертацию и автореферат поступили 11 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечаются высокий уровень работы, ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Отмеченные авторами отзывов замечания не влияют на высокую оценку диссертации.

В положительном отзыве ведущей организации были сделаны следующие замечания:

- 1) исследование когерентного сложения излучения двухканальной волоконно-лазерной системы выполнено с использованием эрбиевых усилителей со средней мощностью излучения на уровне 1 Вт. Эти результаты, на наш взгляд, нельзя автоматически переносить на гораздо более мощные лазерные системы (со средней мощностью в сотни Ватт – киловатты), которые в настоящее время являются наиболее актуальными. Возможность использования такого метода оптического управления фазовым набегом и компенсации фазовых искажений для лазерных систем с высокой мощностью остаётся открытым вопросом;
- 2) при рассмотрении медицинского применения лазеров на кристаллах Ho<sup>3+</sup>:YAG и керамике Tm<sup>3+</sup>:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> исследования разрушения почечных камней проводятся в открытом пространстве (на воздухе). Эти результаты следует рассматривать как предварительные и нельзя автоматически распространять на реальные условия урологических клинических операций.
- 3) в диссертации приводятся результаты экспериментальных исследований электронного механизма изменения показателя преломления как для кристаллов с кубической симметрией кристаллической решётки, так и анизотропных кристаллов и стёкол с неоднородным уширением спектральных линий. Однако теоретическое рассмотрение проведено только для оптически изотропных активных сред с однородным уширением спектральных линий. Возможность распространения данного теоретического подхода на стёкла и анизотропные кристаллы не показана.



В положительном отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. С.А. Бабина отмечается, что основные замечания обусловлены тем, что диссертация и автореферат содержат очень большое количество результатов, что приводит к сильной сжатости изложения материала. В качестве замечаний указывается:

1. в автореферате отсутствуют ссылки на работы других авторов;
2. в разделе 3.1.2 помимо качественного рассмотрения механизмов селекции продольной моды был бы полезен количественный расчет условий селекции одной продольной моды.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. В.Ю. Венедиктова содержит следующие замечания:

1. защищаемые положения №2 и №4 логически взаимосвязаны и могли бы быть объединены в одно, кроме того, следовало бы сформулировать эти положения несколько конкретнее, отвязавшись, например, от широко известных работ группы В.Е. Шерстобитова (ГОИ) по аналогичным процессам в среде мощных лазеров на углекислом газе и работ ряда других авторов.
2. автор слишком вольно пользуется некоторыми общеупотребительными терминами, например, термином “параметрическая генерация”, говоря, например, о генерации за счет совместного вынужденного рассеяния (смотри, например, п. 3 на стр. 11). Разумеется, здесь речь идет о параметрическом процессе, имеющем глубинное родство с рядом иных сходных параметрических процессов, но все же термин «параметрическая генерация» обычно относится к параметрической генерацией в нелинейно-оптических кристаллах. Аналогично автор использует термин «перестройка частоты» (п. 8, стр. 12), под которой обычно понимают плавную перестройку в пределах линии усиления, применительно к случаю переключения генерации с одной лазерной длины волны на другую.

В положительном отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. Г.Г. Кочемасова замечено, что диссертация выиграла бы, если бы автор полнее представил предысторию обсуждаемых проблем, а также современное состояние исследований по параметрической генерации на кристаллах  $ZnGeP_2$ .

В отзывах оппонентов и ведущей организации также отмечено наличие в тексте незначительного числа опечаток.

В положительном отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Н.Н. Евтихьева (НТО “ИРЭ-Полнос”, Фрязино) указывается, что для полноты картины следовало бы более подробно описать оптическое качество изготовленных экспериментальных образцов керамики  $Tm^{3+}:Lu_2O_3$  в сравнении с известными кристаллами.

В положительном отзыве на автореферат от к.ф.-м.н. Л.Н. Сомса (Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, г. С. Петербург) содержится замечание, что “несколько инородным для работы, посвящённой



проблемам собственно твердотельных лазеров, кажется материал, изложенный в параграфе 5.4 о применении лазеров среднего ИК диапазона в урологии и отоларингологии”.

Отзывы на автореферат к.ф.-м.н. С.М. Ватника, к.ф.-м.н. В.Ф. Ефимкова, д.ф.-м.н. Г.М. Зверева, д.т.н. Л.И. Исаенко, академика НАНБ д.ф.-м.н. В.А. Орловича замечаний не содержат.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что оппоненты являются признанными высококвалифицированными специалистами в области лазерной физики, нелинейной и адаптивной оптики, а ведущая организация является передовым институтом в организации исследований в этих областях.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- реализована методика комплексных измерений изменения показателя преломления лазерных кристаллов и стёкол при их интенсивной накачке, основанная на использовании поляризационных интерферометров, тестировании динамических решёток и нелинейной спектроскопии и позволившая определить различие поляризуемости ионов активатора ( $\text{Nd}^{3+}$  и  $\text{Yb}^{3+}$ ) в основном и возбуждённом состояниях для целого ряда материалов;
- разработаны нелинейно-оптические зеркала на основе четырёхволнового взаимодействия в лазерных кристаллах и жидкокристаллических ячейках с обратной связью, которые обеспечивают обращение волнового фронта световых пучков в импульсах различной длительности в широком спектральном диапазоне;
- доказано наличие закономерностей формирования с участием динамических решёток показателя преломления и усиления резонаторов твердотельных лазеров, которые способны генерировать когерентное импульсно-периодическое излучение с высокой энергией в импульсах (более 10 Дж) и большой средней мощностью (более 200 Вт) в пучках высокого качества;
- разработан метод когерентного сложения пучков излучения системы параллельных волоконно-лазерных усилителей за счёт оптически-управляемого изменения показателя преломления в самих лазерных волокнах, который позволяет реализовать высокое быстродействие фазовой подстройки и компенсировать акустические шумы в полосе частот более 10 кГц;
- предложено использование керамики  $\text{Tm}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$  в качестве активной среды лазеров в спектральном диапазоне 1,9-2,1 мкм, экспериментально продемонстрирована способность лазеров и гибридных систем на основе этой керамики (с диодной или волоконно-лазерной накачкой) эффективно генерировать мощное излучение в различных режимах: непрерывном, импульсно-периодической модуляции добротности или синхронизации мод:



- разработаны схемы высокоэффективных лазеров на кристалле  $\text{Ho}^{3+}:\text{YAG}$  с лазерной или волоконно-лазерной накачкой, генерирующих мощное непрерывное или импульсно-периодическое излучение в пучках высокого качества на длинах волн 2091 или 2097 нм;
- разработаны принципы построения на основе тандема нелинейно-оптических элементов  $\text{ZnGeP}_2$  параметрических генераторов когерентного излучения среднего ИК диапазона на длинах волн 3,6–4,7 мкм со средней мощностью более 10 Вт в пучках высокого качества.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- доказано, что в лазерных кристаллах и стёклах при интенсивной накачке существует значительная по величине компонента изменений показателя преломления, обусловленная различием поляризуемости возбуждённых и невозбуждённых ионов активатора ( $\text{Nd}^{3+}$  или  $\text{Yb}^{3+}$ ) и дающая значительный вклад в формирование динамических решёток и линз в активной среде;
- доказано, что динамические решётки показателя преломления в нелинейных и активных средах, которые индуцируются интерференционным полем световых волн, обеспечивают формирование лазерных резонаторов с высокой пространственно-временной селективностью и позволяют получать мощное когерентное излучение в пучках высокого качества;
- доказано, что в иттербиевых волоконно-лазерных усилителях с малым числом поперечных мод и сохранением поляризации существует неустойчивость основной моды по отношению к модам с более высоким индексом, которая обладает малым порогом возникновения и обусловлена вынужденным рассеянием или четырёхволновым взаимодействием (при наличии встречной волны) на динамических электронных решётках показателя преломления.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

на основе полученных результатов разработан и создан целый ряд опытных образцов высокоэффективных твердотельных лазеров ближнего и среднего ИК диапазонов, которые находят применение для решения ряда практически важных задач (в том числе, в медицине).

**Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:**

все полученные результаты обладают высокой степенью достоверности и являются хорошо обоснованными. Достоверность получаемых результатов обеспечивается обоснованным применением как стандартных методов измерения, так и оригинальных методик, проведением измерений, как правило, несколькими способами и в различных условиях. Имеется хорошее качественное и количественное совпадение теоретических результатов (аналитических исследований и численных расчётов) с экспериментально полученными данными. Результаты диссертации опубликованы в



