

Отзыв официального оппонента
Кочемасова Геннадия Григорьевича
на диссертационную работу Антипова Олега Леонидовича:
« **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРЫ
С НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ
И ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ**»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений. За почти 60 лет, прошедших со времени создания Т. Нейманом первого рубинового лазера (длина волны излучения 0.56 мкм), созданы лазеры в широком спектральном диапазоне от инфракрасного до рентгеновского. Причём из-за дискретности энергетических уровней излучателей (атомов, ионов, молекул) в классических лазерах далеко не все длины волн лазерного излучения из указанного интервала доступны. На практике, однако, возникают задачи, для решения которых необходимы излучатели с длинами волны, отсутствующими в первичной номенклатуре лазеров. Эффективным подходом к решению этой проблемы является применение методов нелинейной оптики. Среди них, хорошо известными являются методы генерации 2-ой и 3-ей гармоник исходного излучения, широко применяемые для преобразования излучения твердотельных неодимовых лазеров (длина волны 1,06 мкм) в источники когерентного излучения на длине волны 0,53 мкм и 0,35 мкм соответственно. Находят практическое применение и более сложные нелинейные методы получения суммарных и разностных частот при наличии двух качественных лазеров с отличающимися излучаемыми частотами.

Методы нелинейной оптики применяются для решения и других, зачастую очень трудных, задач. К таковым относится чрезвычайно важная задача получения большой силы света (для импульсных лазеров) или высокой яркости излучения (для непрерывного режима). В обоих случаях требуется получить малую, почти дифракционную, угловую расходимость излучения. Или другими словами малое значение параметра M^2 , характеризующего отличие реального пучка от идеального гауссова. Примером для подражания является метод ОВФ (обращения волнового фронта) при ВРМБ (вынужденном

рассеянии Мандельштам-Бриллюэна), открытого в начале 70-х годов В.В. Рагульским (ФИАН) с коллегами. Этот метод позволил кардинально повысить силу света ряда лазеров, созданных в 70-х годах. В терминологии диссертанта можно сказать, что удалось скомпенсировать ИПП (изменения показателя преломления) лазерной среды. Поставленная задача является актуальной и для распространённых современных, в частности с диодной накачкой, твердотельных, а также набирающих всё большую популярность волоконных лазеров.

Решению этих задач и посвящена обсуждаемая диссертация. Автором они сформулированы следующим образом:

А) выявление механизмов изменений показателя преломления и оптической нелинейности лазерных кристаллов и стёкол, активированных редкоземельными ионами, при их интенсивной накачке; определение параметров этих изменений и нелинейности;

Б) выявление нелинейно-оптических эффектов в активной среде твердотельных и волоконных лазеров и определение возможностей повышения порога их возникновения;

В) определение возможностей использования нелинейно-оптических эффектов (в частности, динамических решёток в активных средах) для улучшения качества пучков лазерной генерации или управления световыми пучками;

Г) разработка новых высокоэффективных твердотельных лазеров с нелинейно-оптическим преобразованием (в частности, лазеров двухмикронного диапазона длин волн с параметрическим преобразованием излучения в средний ИК диапазон).

Для достижения этих целей выполнена программа исследований, содержащая 15 пунктов.

Научная новизна полученных результатов сформулирована в виде 10 положений:

1. С использованием интерферометрических, нелинейно-оптических и спектроскопических методов впервые проведены комплексные исследования

изменений показателя преломления (ИПП), обусловленных различием поляризуемости ионов активатора Nd^{3+} и Yb^{3+} в основном и возбуждённом состояниях, в лазерных кристаллах и стёклах при интенсивной накачке (диодной, ламповой или лазерной). Для ряда кристаллов, активированных различными ионами, а также для некоторых Nd^{3+} -содержащих и Yb^{3+} -содержащих стёкол определена величина различия их поляризуемости в основном и возбуждённом состояниях;

2. Экспериментально и теоретически исследованы нелинейные взаимодействия двух и четырёх световых пучков в лазерных кристаллах $Nd^{3+}:YAG$ на динамических Решётках Показателя Преломления (РПП), сопровождающих решётки населённости и обусловленных различием поляризуемости ионов активатора Nd^{3+} ;

3. Определены закономерности параметрической генерации при совместном ВР двух пересекающихся световых пучков в слое нелинейной среды (нематических жидких или лазерных кристаллах) с ПОС: петлёй обратной связи, при наличии или в отсутствие в ней невзаимных оптических элементов. Определены условия генерации световых пучков с волновым фронтом, обращённым к фронту исходного пучка;

4. Экспериментально и теоретически исследованы твердотельные лазеры на кристаллах $Nd^{3+}:YAG$ и $Nd^{3+}:YVO_4$ с ламповой или диодной накачкой и динамическим резонатором, формируемым с участием решёток показателя преломления и усиления в активной среде (или только в нелинейной среде), которые индуцируются интерференционным полем световых волн. Определены условия генерации мощных световых пучков высокого качества в лазерах с такими динамическими резонаторами. Показано, что высокая пространственно-угловая и частотная селективность динамических решёток способствует генерации узкополосного излучения с высоким качеством пучка;

5. Проведены экспериментальные и теоретические исследования электронного механизма ИПП сердцевины волоконно-лазерных усилителей на основе кварцевых стёкол активированных ионами Yb^{3+} . Показано, что этот механизм обусловлен различием поляризуемости возбуждённых и невозбуждённых ионов активатора. Определена величина различия

поляризуемости уровней $2F_{5/2}$ и $2F_{7/2}$ ионов Yb^{3+} в этих стёклах, связанная с различной вероятностью переходов с переносом заряда с лиганда на возбуждённые и невозбуждённые ионы активатора;

6. Экспериментально исследована возможность когерентного сложения излучения двухканального волоконного эрбиевого усилителя при оптическом управлении показателем преломления иттербиевого волокна;

7. В волоконно-лазерных усилителях с диаметром сердцевины 8–10 мкм, активированной ионами Yb^{3+} , с малым числом поперечных мод и сохранением поляризации обнаружена низкопороговая неустойчивость основной моды и перекачка энергии в моды с более высоким индексом;

8. Предложено использовать керамику $Tm^{3+}:Lu_2O_3$ для лазерной генерации на длине волны ~ 2 мкм. Проведены комплексные исследования структурных, оптических, нелинейно-оптических, спектроскопических и теплофизических свойств керамики $Tm^{3+}:Lu_2O_3$, впервые изготовленной по заказу автора японской компанией «Konoshima Chemicals»;

9. Проведены исследования и найдена оптимальная концентрация активатора, ионов Ho^{3+} , в кристаллах $Ho^{3+}:YAG$ и параметры резонаторов лазеров на этих кристаллах с накачкой излучением тулиевых волоконных лазеров для высокоэффективной генерации на длине волны ~ 2097 нм;

10. Продемонстрирована возможность получения импульсно-периодической генерации в диапазоне длин волн 3,5–5 мкм со средней мощностью более 10 Вт в ПГС на тандеме нелинейно-оптических элементов $ZnGeP_2$ с накачкой излучением $Ho^{3+}:YAG$ лазеров на длине волны 2097 нм. Получена высокая эффективность преобразования излучения $Ho^{3+}:YAG$ лазера в излучение ПГС среднего ИК диапазона.

Научная и практическая значимость работы заключается в следующем: полученные данные о механизмах и параметрах ИПП лазерных кристаллов и стёкол расширяют панораму представлений о возможных причинах увеличения расходимости лазерного излучения, позволяют точнее определять величину оптических искажений световых пучков в лазерных усилителях и генераторах при интенсивной накачке, как ламповой, так и диодной, и лазерной.

Развитые представления о нелинейно-оптическом взаимодействии световых пучков дополняют уже известные данные, тем самым расширяют возможности предотвращения нежелательных эффектов, например, указанной автором пространственной модовой неустойчивости.

Несомненно, полезными являются данные о свойствах новой керамики $Tm^{3+}:Lu_2O_3$. Они могут быть использованы для создания на её основе лазерных систем двухмикронного диапазона длин волн.

Практический аспект работы проявился в том, что созданы:

- лабораторные макеты ряда высокоэффективных и мощных твердотельных и широкого класса гибридных лазеров на керамике (в указанных автором кристаллах);
- опытный образец лазерной системы среднего ИК диапазона;
- опытный образец хирургического лазера на керамике $Tm^{3+}:Lu_2O_3$ для отоларингологии.

Достоверность выполненных исследований подтверждается хорошим согласием результатов проделанной работы с результатами других, в том числе высококвалифицированных авторов. Она обеспечивается высокой квалификацией диссертанта, что подтверждается очень большим количеством докладов на научных конференциях высокого ранга, и также публикаций, количество которых измеряется сотнями, в престижных отечественных и международных научных журналах.

Диссертация выиграла бы, если бы автор полнее представил предысторию обсуждаемых проблем, а также упомянул современный уровень дел по параметрической генерации на кристаллах $ZnGeP_2$. При аккуратном в целом оформлении, в диссертации, хоть и крайне редко, встречаются, опечатки и орфографические ошибки.

Диссертация изложена на 353 страницах и состоит из введения, 5 глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 428 наименований, содержит 238 рисунков и 16 таблиц.

Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации.

Все основные результаты работы получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии. В коллективных работах соискателю в основном также принадлежит определяющий вклад, за исключением экспериментальной части работы, в которую большой вклад внесён и соавторами.

Подводя итоги, можно определённо сказать, что, несмотря на указанные недочёты, представленная к защите диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Она удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук, а соискатель Антипов Олег Леонидович заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Доктор физико-математических наук
Главный научный сотрудник
ИЛФИ ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ

Г.Г. Кочемасов

Подпись главного научного сотрудника ИЛФИ, доктора физико-математических наук Г.Г. Кочемасова заверяю.

Ученый секретарь ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ
кандидат физико-математических наук



В.В. Хижняков

Кочемасов Геннадий Григорьевич

Главный научный сотрудник

Специальность 01.04.02 «Теоретическая физика»

Адрес: 607188 г. Саров, Нижегородской обл., пр. Мира, 37

Тел. 8-(831-30)-20966

Институт лазерно-физических исследований Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»