

Отзыв официального оппонента о диссертации Константина Константиновича Бобкова "Одномодовые иттербиевые волоконные импульсные лазеры с предельно высокой пиковой мощностью и факторы, влияющие на их долговременную надежность", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика

Мощные твердотельные импульсные и непрерывные лазеры применяются в настоящее время в промышленности для определенных видов обработки материалов. Возможной альтернативой твердотельным лазерам являются волоконные лазеры. Волоконные лазеры являются компактными и очень стабильными источниками лазерного излучения, однако, их практическое применение в настоящее время для обработки материалов ограничивается их некоторыми особенностями, присущими именно такому типу лазеров. Для многих видов обработки материалов выходная мощность излучения импульсных волоконных лазеров недостаточна. Кроме того, повышение выходной мощности волоконных лазеров одновременно должно сопровождаться сохранением стабильности характеристик лазеров, потому что без стабильности выходных характеристик невозможно их практическое применение.

Диссертационная работа Константина Константиновича Бобкова посвящена вопросам повышения непрерывной и импульсной выходной мощности волоконных лазеров, а также решению вопросов повышения стабильности их характеристик. Тема диссертации, несомненно, актуальна.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения приложения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 174 страницы, включая 70 рисунков, 4 таблицы и библиографию из 133 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, указана научная новизна, представлены ключевые положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы и публикациях автора.

В главе 1 представлен обзор литературы по существующим в настоящее время активным световодам на основе кварцевого стекла, легированных ионами иттербия. Большое внимание уделено факторам, ограничивающим эффективность работы волоконных лазеров и усилителей на основе кварцевых волокон, легированных иттербием. Особое внимание уделено описанию механизмов потерь в световоде на длине волны генерации и их влиянию на выходную мощность. Описано влияние

нелинейных эффектов в волокне, которые ограничивают максимально достижимую выходную мощность волоконных лазеров. Дан обзор существующих конструкций волокон с увеличенной площадью моды.

Глава 2 диссертации посвящена исследованию вопросов фотопотемнения в иттербиевых волоконных световодах.

На основе анализа спектров поглощения и люминесценции кристалла  $\text{Yb:YAG}$  и иттербий-содержащих кварцевых стекол было показано, что, под действием ИК-излучения накачки в образцах происходит возбуждение состояния с переносом заряда. Была экспериментально зарегистрирована люминесценция центров с переносом заряда.

В спектре поглощения образцов с фотопотемнением обнаружены полосы поглощения и люминесценции ионов  $\text{Yb}^{2+}$ , что является доказательством восстановления трехвалентных ионов иттербия до двухвалентного состояния при облучении образцов УФ- и ИК-излучением.

Дано объяснение причины более высокой стойкости к УФ- и ИК-излучению световодов, легированных фосфором и фосфоалюмосиликатных световодов с избытком фосфора.

Глава 3 посвящена процессу деградации иттербиевых световодов в импульсных волоконных лазерах и усилителях с высокой пиковой мощностью.

При использовании волокон с большой площадью сердцевинной моды в усилителе излучения лазера с длительностью импульса 13 пс и частотой следования импульсов 20 МГц было обнаружено, что в непрерывном режиме наблюдалось постепенное уменьшение выходной мощности усилителя по мере увеличения времени работы лазера и, одновременно, изменение пространственного распределения интенсивности выходного излучения.

Обнаружено, что в ходе работы импульсного иттербиевого усилителя средней мощности на основе световода большой площадью поля моды и ступенчатым профилем показателя преломления наблюдалось постепенное уменьшение выходной мощности усилителя и изменение пространственного распределения интенсивности выходного излучения, что было названо эффектом модовой деградации.

Экспериментально показано, что эффект модовой деградации связан с наведением длиннопериодной решетки показателя преломления, на которой происходит перекачка излучения из фундаментальной в первую высшую моду. Показано, что эффект деградации необратим и связан с эффектом фотопотемнения.

Глава 4 посвящена созданию и исследованию усилителя чирпированных импульсов на основе иттербиевого световода-конуса с дифракционно-ограниченным качеством

выходного излучения и рекордно высоким уровнем пиковой мощности. Была проведена оптимизация конструкции иттербиевого световода-конуса, с целью получения максимальной пиковой мощности на выходе. На базе этого световода был создан усилитель chirпированных импульсов.

Показано, что режим максимальной пиковой мощности усилителя достигается при использовании относительно длинного конусного световода, когда длина волны накачки 1064 нм, а длина волны усиливаемого излучения 976 нм. При усилении chirпированных импульсов с длительностью 28 пс на основе иттербиевого световода-конуса была достигнута пиковая мощность 350 кВт. После сжатия усиленных импульсов до длительности 315 фс была достигнута пиковая мощность 22 МВт, что является рекордом для полностью волоконных усилителей.

Уменьшение средней мощности входного сигнала до 1 мВт позволяет усилить 8 пс импульсы до 760 кВт пиковой мощности. Проведенные исследования показали стойкость реализованных световодов-конусов к эффектам фотопотемнения и деградации моды.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Среди результатов диссертации можно выделить создание иттербиевых одномодовых анизотропных конусных световодов с большой площадью поля моды ( $1000 \text{ мкм}^2$ ) и высоким уровнем поглощения накачки из оболочки (24 дБ/м на длине волны 976 нм), а также результаты исследования долговременной надежности усилителя импульсов длительностью 8 пс с высокой пиковой мощностью (1.2 МВт) на основе разработанного иттербиевого конусного световода. В диссертации перечислены основные факторы, влияющие на долговременную надежность мощных импульсных волоконных лазеров.

Отметим системный характер подхода к исследованиям, когда совершенствование характеристик существующей активной среды выполняется вместе с решением технологических проблем. Постановка задач, подходы к их решению и результаты описаны в диссертации подробно и ясно.

Диссертация написана хорошим и грамотным языком.

Содержание диссертации правильно отражено в автореферате.

По теме диссертации опубликовано 6 статей в рецензируемых журналах, из которых 5 – в рецензируемых журналах из списка ВАК, и 12 тезисов конференций. Результаты диссертационной работы докладывались на Всероссийских и Международных конференциях, а также на семинарах и известны специалистам.

Диссертация Константина Константиновича Бобкова представляет собой систематическое законченное научное исследование в области лазерной физики.

Основные результаты диссертации представляют интерес для фундаментальной науки и имеют практическую значимость.

Диссертация не свободна от недостатков. В работе выявлены физические причины фотопотемнения волокон, а также проведено исследование этого явления, но не представлены оценки предельно достижимого ресурса работы мощных импульсных волоконных лазеров, обусловленного фотопотемнением. Эта оценка важна с точки зрения будущего практического применения подобных лазеров. Отсутствие такой оценки воспринимается как определенный недостаток работы.

Приведенное выше замечание не умаляет научной значимости диссертации.

Диссертационная работа Константина Константиновича Бобкова "Одномодовые иттербиевые волоконные импульсные лазеры с предельно высокой пиковой мощностью и факторы, влияющие на их долговременную надежность", отвечает всем требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", предъявляемым ВАК Российской Федерации к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертации, Константин Константинович Бобков, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика.

Заведующий лабораторией ИОФ РАН,  
доктор физико-математических наук

Н.Н.Ильичев

Подпись Н.Н.Ильичева заверяю

И.О. ученого секретаря ИОФ РАН,  
доктор физико-математических наук

С.Н.Андреев



Ильичев Николай Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией отдела ВКИВ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М.Прохорова Российской академии наук.

108840 г. Москва, г. Троицк, Октябрьский проспект, д. 10, кв. 124.

Тел.: 499-135-0327, ilichev@kapella.gpi.ru

С уважением,  
25.12.2018