

ОТЗЫВ

на диссертацию Каблукова Сергея Ивановича «Нелинейное преобразование спектра генерации перестраиваемых волоконных лазеров», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

Диссертация С.И. Каблукова посвящена расширению рабочего диапазона перестраиваемых волоконных лазеров, в частности иттербиевого волоконного лазера. Расширение рабочего диапазона происходит за счет применения нелинейно-оптических явлений. В диссертации приведены результаты экспериментальных исследований процессов преобразования частот волоконных лазеров с целью повышения эффективности нелинейного преобразования.

Диссертация содержит 263 страницы текста, 100 рисунков, 2 таблицы и список литературы из 297 наименований. Основной текст состоит из введения, 5 глав и заключения (выводов по результатам работы).

Во введении диссертации обоснована актуальность проведенных исследований, определены цель и задачи работы, показана новизна полученных результатов и их научная и практическая значимость, приведены основные защищаемые положения, изложены структура работы и ее краткое содержание, приведены основные данные о публикациях по теме диссертации.

Первая глава посвящена описанию физики и техники волоконных лазеров. Она имеет в основном методическое значение. Дано общее описание типов резонаторов, видов зеркал и методов заведения излучения оптической накачки в световод. В первой главе обсуждается насыщение усиления и расчёт мощности генерации двух типов волоконных лазеров, работающих за счёт ионов иттербия и процесса ВКР в активных и пассивных световодах соответственно.

Вторая глава диссертации посвящена вопросам описания формы и ширины спектра генерации, а также способам перестройки частоты в иттербиевых волоконных лазерах (ИВЛ). Для эффективного нелинейного преобразования требуется излучение с относительно малой шириной спектра, поэтому в первом параграфе данной главы рассказывается об экспериментальном исследовании формы спектра генерации многомодового лазера мощностью до 12 Вт и механизмах его уширения с ростом мощности. Вопросы перестройки частоты с применением волоконных зеркал обсуждаются в параграфе 2.3. Здесь описано два конструктивных подхода для сжатия ВБР, которые успешно применены для создания перестраиваемых лазеров в полностью волоконном исполнении с выходной мощностью на уровне нескольких Ватт как в стандартном диапазоне генерации ИВЛ вблизи 1090 нм, так и в коротковолновом – вблизи 1030 нм.

Третья глава посвящена вопросам удвоения частоты перестраиваемых ИВЛ. Приводятся основные уравнения непрерывной ГВГ сфокусированных гауссовых пучков, приведены условия и методы получения синхронизма, рассмотрено влияние сноса энергии в нелинейных кристаллах, обсуждается генерация гармоник в волноводах и модификация уравнений при выполнении условия квазисинхронизма. Приводятся экспериментальные результаты преобразования частоты перестраиваемых волоконных лазеров в различных конфигурациях, в т.ч. рассматриваются и внутрирезонаторные схемы преобразования. Генерация второй гармоники продемонстрирована на кристаллах КТР, PPLN и внутри подготовленного специальным образом волоконного световода

В четвёртой главе обсуждаются характеристики волоконных лазеров, использующих процесс ВКР. Значительный интерес представляют ВКР-лазеры, излучение которых может служить накачкой распределённых усилителей в линиях связи. В частности, рассмотрен случай ультрадлинного ВКР-лазера, в котором становится существенным поглощение волн генерации и накачки. Показано, что его оптический спектр генерации также имеет экспоненциальную форму крыльев, а в радиочастотном спектре наблюдаются биения на межмодовой частоте. Экспериментально подтверждено наличие модовой структуры в ВКР-лазерах длиной до 270 км. В этой главе также рассмотрены особенности перестройки и удвоения частоты генерации волоконных ВКР-лазеров.

Пятая глава посвящена вопросам параметрического преобразования частоты в волоконных световодах при накачке перестраиваемыми ИВЛ.

Актуальность диссертационной работы заключается в том, что в настоящее время для многих научных и прикладных задач, например, проточной цитометрии и спектроскопии комбинационного рассеяния, необходимы узкополосные перестраиваемые источники когерентного оптического излучения. Для данных задач уровень мощности в сто милливатт оказывается достаточным, но при этом, очевидно, что высокие требования предъявляются к ширине линии источника излучения и диапазону его перестройки. Наиболее эффективным способом расширения спектрального диапазона волоконных систем является нелинейное преобразование частоты этих лазеров, в том числе и параметрическая генерация. При этом открываются новые возможности для применения волоконных лазеров в различных спектроскопических, медицинских и специальных задачах.

В представленной С.И. Каблуковым диссертации получены следующие **основные научные результаты**:

- Экспериментально показано, что спектр генерации непрерывного многомодового иттербиевого волоконного лазера (ИВЛ) с волоконными брэгговскими решётками (ВБР) имеет форму гиперболического секанса. Ширина линии пропорциональна ширине спектра отражения ВБР, длине резонатора, нелинейности световода и мощности генерации лазера. Экспериментальная форма спектра и линейный закон уширения хорошо описываются аналитической моделью, рассматривающей фазовую самомодуляцию из-за керровской нелинейности в пренебрежении дисперсией и приближении гауссовой статистики мод. Показано, что применимость теории ограничивается эффектами выжигания пространственных дыр инверсии при малых мощностях, когда в режиме незатухающих релаксационных колебаний наблюдается самосканирование частоты в пределах спектра отражения ВБР.
- С помощью перестраиваемых ВБР продемонстрирована генерация ИВЛ с перестройкой длины волны более 45 нм около 1,08 мкм при уровне выходной мощности лазера около 5 Вт, который постоянен во всём диапазоне вследствие однородного насыщения усиления. Получена перестраиваемая генерация (50 нм около 1,3 мкм) в схеме фосфосиликатного ВКР-лазера с накачкой перестраиваемым ИВЛ.
- Проведено сравнение формы спектра многомодовых иттербиевого и ВКР лазеров при ваттном уровне мощности. Показано, что наблюдаемые отличия обусловлены разным механизмом дефазировки мод. Для более короткого ИВЛ дисперсия и нелинейность малы и стохастизация происходит на каждом обходе ВБР - резонатора.
- Экспериментально продемонстрирована возможность эффективной генерации второй гармоники (ГВГ) случайно поляризованного излучения ИВЛ с плавной перестройкой в диапазоне более 40 нм.
- Показано, что эффективность ГВГ многочастотного излучения иттербиевого и ВКР лазеров выше, чем для одночастотного, если ширина линии генерации находится в пределах ширины синхронизма кристалла.
- Экспериментально реализован полностью волоконный оптический параметрический генератор (ВОПГ) в области менее 1 мкм с отстройкой частоты до 38 ТГц в коротковолновую область при накачке перестраиваемым ИВЛ. Продemonстрирована непрерывная генерация ВОПГ в области 0,92–1,01 мкм с дифференциальной эффективностью до 18% и выходной мощностью на уровне сотен милливатт.

Следует отметить, что для достижения представленных результатов автору пришлось проделать весьма трудоемкую экспериментальную работу и продемонстрировать хорошее владение сложной техникой современного эксперимента. Блестяще написаны теоретические разделы первой главы диссертации. Полученные результаты **достоверны и новы**, что подтверждается также достаточно большим числом публикаций автора по теме диссертации в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах.

Считаю, что следует продолжать работу по расширению диапазона перестройки волоконных систем для различных спектроскопических и метрологических задач. В частности, результаты данной диссертационной работы представляют интерес для создания источников накачки для ПГС на основе новых литиевых и бариевых халькогенидных кристаллов. Создание и совершенствование волоконных параметрических генераторов света позволит решить ряд задач по спектроскопической диагностике наличия молекул примесных или загрязняющих газов. Именно развитие и

совершенствование волоконных систем позволят создавать на их основе высокостабильные компактные переносные аналитические приборы для диагностики атмосферы и др. применений, в том числе для медицинского газоанализа.

Результаты и выводы диссертационной работы С.И. Каблукова представляют интерес и могут быть **рекомендованы к использованию** многими организациями Российской Федерации: ИОФ РАН, ФИ РАН, ИПФ РАН, ИЛФ и ИОА СО РАН, ВНИИФТРИ и прочие институты метрологического профиля, ведущие университеты, такие как МГУ, НГУ, Томский университет, ИТМО и др.

По тексту диссертации есть ряд **замечаний**:

1. В диссертации указано, что использование РДС структур обеспечивает относительно малую область перестройки при генерации второй гармоники. На стр. 3 автореферата автор указывает на ограничение в доступности РДС с изменяющимся периодом. Считаю, что ограничение в доступности периодических структур с плавно изменяющимся периодом не является основанием для утверждений о характеристиках РДС структур в целом.
2. При анализе структур с компенсацией угла сноса в диссертации не рассмотрены наиболее эффективные 2N-OCWOC структуры (структуры с четным количеством пластинок на оптическом контакте, каждая вторая из которых развернута на 180 градусов), предложенные Байером и проанализированные и исследованные Ж.Ж. Зонди. Данные структуры могут быть использованы для высокоэффективной генерации второй гармоники волоконного лазера.

Заключение

Высказанные замечания не влияют на высокую оценку диссертации в целом. Диссертация и автореферат написаны ясным языком, их содержание вполне раскрывается в совокупности с публикациями автора. Диссертация хорошо структурирована. Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

Диссертационная работа С.И. Каблукова удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Официальный оппонент-
Профессор Новосибирского государственного
технического университета
доктор физико-математических наук



Колкер Д.Б.

Подпись д.ф.-м.н. Колкера Д.Б. заверяю:
Ученый секретарь Новосибирского
государственного
технического университета,
доктор технических наук



Шумский Г.М.