

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Донцовой Екатерины Игоревны
«Непрерывная генерация излучения с длиной волны менее 1 мкм
с использованием основной и второй гармоники волоконного
ВКР-лазера» по специальности 01.04.05 «Оптика» на соискание
учёной степени кандидата физико-математических наук.

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время лазеры являются важными инструментами для фундаментальной науки и практических приложений. Одно из лидирующих мест на рынке лазеров занимают волоконные лазеры. Однако основные области генерации волоконных лазеров – 1.04-1.1 мкм и 1.5-1.6 мкм. Данные области генерации связаны с использованием наиболее распространённых активных волокон легированных ионами Yb и Er. В тоже время для ряда приложений в биомедицине, сенсорных системах, лазерной спектроскопии требуются источники лазерного излучения перестраиваемого по длине волны в области ближнего инфракрасного (ИК) диапазона и в видимой области.

Перспективными волоконными лазерными источниками с генерацией в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне выступают лазеры на эффекте вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). Значительное преимущество волоконных ВКР-лазеров определяется тем, что длина волны генерируемого излучения зависит только от выбора длины волны излучения накачки. При этом спектр ВКР-усиления в волокнах достаточно широкий, что даёт возможности перестройки частоты.

В совокупности с генерацией второй гармоники от ВКР-лазеров можно перекрыть весь требуемый диапазон длин волн излучения от видимого до инфракрасного.

Диссертационная работа Е.И. Донцовой направлена на исследование непрерывных источников лазерного излучения в видимой и ближней ИК области излучения на основе ВКР-лазеров. Актуальность темы исследования не вызывает сомнений.

2. Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из списка сокращений и условных обозначений, введения, трёх глав, заключения, списка цитируемой литературы и списка публикаций автора по теме диссертации. Диссертация изложена на 105 страницах текста, содержит 43 рисунка. Список цитируемой литературы содержит 96 наименований.

Во введение описывается область проведения и актуальность исследований. Представлен анализ литературы и состояния работ в этой области к моменту начала диссертационной работы. На основании этого обзора сформулированы цели и задачи работы, а также защищаемые

положения. Также во введении приводится информация о количестве публикаций автора по теме исследования, список конференций и семинаров, на которых была представлена работа.

Первая глава диссертации посвящена технике эксперимента в волоконной оптике, использованной при выполнении работы. Рассматриваются основные волоконно-оптические компоненты, входящие в состав лазеров, и возможные источники излучения накачки. Приводятся наиболее распространённые схемы непрерывных волоконных лазеров как на основе активных волокон с легирующими добавками, так и на основе пассивных волокон. Описываются рабочие диапазоны длин волн волоконных лазеров разных типов и возможности расширения диапазонов за счёт нелинейного преобразования частоты, в частности ГВГ. Рассматриваются основные кристаллы для работы в видимой области, приводятся основные достижения по ГВГ непрерывных волоконных лазеров в видимом диапазоне.

Вторая глава посвящена волоконным ВКР-лазерам. В главе приводятся экспериментальные исследования и сравнение трёх оптических схем ВКР-лазеров, отличающихся способом создания обратной связи или спектральной фильтрацией в резонаторе.

Приводится сравнение мощностных и спектральных характеристик рамановского излучения ВКР-лазер с закрытым резонатором волоконной брэгговской решёткой (ВБР) и широкополосным зеркалом Саньяка и ВКР-лазеров с полуоткрытым резонатором со случайно распределённой обратной связью (СРОС) с одним глухим зеркалом, образованным либо ВБР, либо широкополосным зеркалом Саньяка.

Представлены результаты первой экспериментальной демонстрации непрерывного ВКР-лазера с длиной волны генерации 980 нм на основе градиентного волокна с прямой диодной накачкой длиной волны 938 нм в рассматриваемых выше резонаторах с двумя отражательными элементами в резонаторе и со случайно распределённой обратной связью на рэлеевском рассеянии. Проводится сравнение выходных характеристик лазеров с прямой многомодовой диодной накачкой с двумя типами резонаторов, выявляются особенности.

Третья глава посвящена генерации второй гармоники (ГВГ) в видимом диапазоне спектра непрерывных волоконных лазеров.

В главе рассматривается удвоение как в объёмных кристаллах в гибридных волоконно-дискретных схемах, так и в полностью волоконных схемах при использовании волокон с периодически наведённой квадратичной нелинейностью (ВПНКН).

Демонстрируется удвоение частоты ВКР-лазеров с накачкой иттербиевым волоконным лазером в двух конфигурациях: с двумя отражательными элементами в резонаторе и со случайно распределённой обратной связью на рэлеевском рассеянии в схеме с полуоткрытым резонатором с одним отражателем (ВБР или зеркало Саньяка). А также

проводится сравнение удвоения частоты ВКР-лазеров в конфигурации с резонатором с двумя локальными отражательными элементами и в СРОС конфигурации полукрытого резонатора с ВБР и с зеркалом Саньяка.

Продемонстрировано, что СРОС-лазер даёт возможность получить больше мощности второй гармоники благодаря более высокому порогу генерации второй стоксовой компоненты ВКР. Для СРОС ВКР-лазера с узкой ВБР мощность второй гармоники примерно в 2 раза выше, чем для случая с широкополосным отражателем при средних мощностях лазера.

Также в этой главе рассматривается удвоение частоты иттербиевого волоконного лазера в объёмном кристалле КТР и в ВПНКН в сине-зелёной области (вблизи 515 нм) с дальнейшей возможностью использования подобных образцов для ГВГ волоконных ВКР-лазеров.

Большая ширина синхронизма кристалла КТР с оптимизированной геометрией и использование перестраиваемого иттербиевого волоконного лазера позволяют получить перестраиваемый источник видимого диапазона с длинами волн генерации 509-520 нм. Далее мощность излучения второй гармоники может быть увеличена применением внутррезонаторной схемы ГВГ.

Показывается, что эффективность удвоения частоты поляризованного и неполяризованного излучения при ГВГ непосредственно внутри ВПНКН с одновременным выполнением квазисинхронизма нескольких типов в имеющихся образцах имеет близкие величины. В перспективе удвоение частоты в образце с несколькими типами квазисинхронизма даёт возможность получения источника с несколькими режимами генерации при изменении поляризации источника основного излучения.

В перспективе при снижении потерь в ВПНКН и при использовании в резонаторе волокон с сохранением поляризации можно достичь увеличения мощности основного излучения в резонаторе в ~ 10 раз и соответственно мощности ГВГ с уровнем в несколько милливатт при накачке ~ 1 Вт с квадратичным масштабированием при увеличении мощности накачки.

В случае небольшой выходной мощности, созданный полностью волоконный источник сине-зеленого диапазона является альтернативой существующим лазерам с объёмной оптикой.

В заключении сформулированы основные результаты работы и выражены благодарности коллективу.

Диссертационная работа представляет целостное исследование. Название диссертации полностью соответствует теме и содержанию диссертации. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации Е.И. Донцовой, являются обоснованными. Достоверность выводов и рекомендаций обсуждается автором в тексте диссертации, подтверждается их сравнением с известными из литературы теоретическими и экспериментальными

результатами. Новизна научных положений, сформулированных автором, не вызывает сомнений.

3. Новизна результатов

Научная новизна работы определяется тем, что в ней:

1. Получена непрерывная генерация на длине волны 980 нм волоконных ВКР-лазеров с прямой многомодовой диодной накачкой в конфигурациях с локальными отражательными элементами и со случайно распределённой обратной связью (СРОС) на рэлеевском рассеянии.

2. Показано, что эффект уменьшения расходимости генерируемого излучения ВКР-лазера со случайно распределённой обратной связью проявляется сильнее, чем для ВКР-лазера с двумя локальными отражательными элементами. Достигнуто уменьшение расходимости генерируемого излучения в 3 и в 4.5 раза соответственно по сравнению с расходимостью излучения накачки.

3. Впервые реализовано удвоение частоты одномодового волоконного ВКР-лазера со случайно распределённой обратной связью на рэлеевском рассеянии в кристалле PPLN. Проведено сравнение генерационных характеристик на основной и удвоенной частоте для волоконного ВКР-лазера со СРОС и с локальными отражателями с резонатором той же длины. Показано, что более высокий порог генерации высших стоксовых порядков и более узкий пектр генерации СРОС ВКР-лазера позволяет получить большую мощность излучения второй гармоники. Максимальная мощность второй гармоники с длиной волны 654 нм составила >110 мВт.

4. Впервые проведено исследование ГВГ в ВПНКН, помещённом во внешний волоконный резонатор, что привело к увеличению мощности второй гармоники в ~2 раза по сравнению с однопроходной схемой. Показано, что коэффициент увеличения мощности в резонаторе ограничен высоким уровнем потерь ВПНКН для основного излучения.

4. Практическая значимость диссертации определяется тем, что

- Создание непрерывных волоконных ВКР-лазеров с прямой многомодовой накачкой и градиентным волокном приводит к высокой яркости источников излучения и предоставляет возможность выбора длины волны источника в субмикронной спектральной области.

- Оптическая схема с прямой накачкой многомодовыми лазерными диодами позволяет упростить конструкцию лазера, а также использовать длины волн накачки вне диапазона генерации иттербиевых лазеров, что позволяет получить новые длины волн генерации.

- Реализованный полностью волоконный лазер с излучением в сине-зелёной области видимого спектра на основе волокна с наведённой нелинейностью может служить источником излучения в системах проточной цитометрии, спектроскопии, прочих применениях, требующих селективного воздействия излучением небольшой мощности.

5. Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Основные результаты диссертации изложены в 17 публикациях, в том числе 5 статей в научных журналах, которые включены в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций. В публикациях достаточно полно отражены главные результаты диссертации.

6. Автореферат

Автореферат полностью соответствует диссертации и опубликованным по ней работам.

7. Замечания по работе

Диссертация выполнена на высоком научном уровне. Все полученные результаты не вызывают сомнений.

Однако после прочтения работы осталось несколько не раскрытых вопросов:

1. Какие преимущества у представленных ВКР-лазеров с непосредственной прямой накачкой от лазерного диода и с длиной волны генерации 980 нм по сравнению с аналогичными одномодовыми лазерными диодами с волоконными выходами сравнимой мощности?
2. В диссертации не рассматривается вопрос удвоения ВКР-лазеров с непосредственной прямой накачкой от лазерного диода и с длиной волны генерации 980 нм, а также не рассматривается генерация второй гармоники непосредственно от излучения лазерных диодов.
3. Не ясно, какой получился диапазон по длинам волн при генерации второй гармоники в волокнах с периодически наведённой квадратичной нелинейностью? Не приведены исследования зависимости длины волны второй гармоники при генерации в волокнах с периодически наведённой квадратичной нелинейностью от длины волны задающего генератора (итербиевого волоконного лазера).

Тем не менее, указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и являются пожеланиями для продолжения работы в данном направлении.

8. Заключение

Диссертация Е.И. Донцовой представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Достоверность результатов диссертации не вызывает сомнений, полученные выводы хорошо обоснованы, обладают научной новизной и представляют как научную, так

и практическую ценность. Автореферат и опубликованные автором работы отражают основное содержание диссертации. Работа полностью отвечает требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Донцова Екатерина Игоревна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика».

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
научный сотрудник,
Отдел лазерной физики и инновационных
технологий,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Новосибирский
национальный исследовательский
государственный университет»


А.В. Иваненко

ФИО: Иваненко Алексей Владимирович
Почтовый адрес:
630090, Новосибирская область,
г.Новосибирск, ул. Пирогова, 2
Рабочий телефон: +7(383)336-41-65
E-mail: aleksey.ivanenko@nsu.ru

