



«УТВЕРЖДАЮ»

Врио директора ИФП РАН,
академик

Дианов Е.М.

«29» сентября 2014 года

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Каблукова Сергея Ивановича «НЕЛИНЕЙНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СПЕКТРА ГЕНЕРАЦИИ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 — «Оптика».

Создание волоконных узкополосных лазерных источников, способных перестраиваться в широкой области спектра, является фундаментальной проблемой современной оптики. Такие источники востребованы во многих областях физики, биологии, медицины. Несмотря на огромные успехи, достигнутые волоконной оптикой в создании эффективных волоконных лазеров на активных ионах, в настоящее время они занимают относительно узкую спектральную область прозрачности стекла. Использование нелинейных эффектов, расширяющих спектральный диапазон волоконных лазеров, для многих задач единственно возможный подход для получения мощных лазерных источников в нужной области спектра. Поэтому актуальность диссертационной работы Каблукова Сергея Ивановича, целью которой является исследование нелинейного преобразования спектра генерации перестраиваемых лазеров, не вызывает сомнений.

К достоинствам диссертационной работы следует отнести последовательный подход к изучаемой проблеме, в котором важное внимание уделяется в первую очередь исследованию и разработке узкополосного перестраиваемого волоконного иттербиевого лазера в качестве источника непрерывной накачки, что позволило значительно повысить эффективность нелинейного преобразования частоты и получить новые существенные результаты во всех исследуемых автором нелинейных эффектах: ВКР, генерация второй гармоники, четырехволновое смешение. С.И. Каблуковым фактически создано новое научное направление перестраиваемых нелинейных преобразователей лазерного излучения.

Можно выделить следующие наиболее важные результаты диссертации.

1) Существенный вклад внесен в исследования спектральных характеристик узкополосных перестраиваемых иттербиевых лазеров. Впервые изучена форма спектра генерации и установлены основные факторы, влияющие на ее ширину.

Теоретически и экспериментально изучен вызвавший значительный интерес эффект самосканирования частоты. Впервые показано, что эффект самосканирования частоты

проявляется только при наличии незатухающих релаксационных колебаний интенсивности. Впервые представлена теоретическая модель для описания этого эффекта.

Разработаны и изучены оригинальные конструкции полностью волоконных непрерывных узкополосных иттербиевых лазеров с перестраиваемыми волоконными решетками. В схеме с одной волоконной брэгговской решеткой получена перестройка 45 нм при практически постоянной мощности накачки 6 Вт и шириной линии 0.15 нм, что является лучшим результатом по сравнению с известными полностью волоконными аналогами.

2) Заслуживают внимания приоритетные результаты, полученные по генерации второй гармоники в кристаллах при накачке перестраиваемым иттербиевым волоконным лазером. В значительной мере этому способствовал большой объем исследований, выполненный по оптимизации геометрии кристаллов и по согласованию волоконных и объемных элементов с целью повышения эффективности преобразования и расширения диапазона перестройки при удвоении частоты. Здесь можно отметить исследования фундаментальных статистических свойств генерации второй гармоники в нелинейных кристаллах КТР и MgO:ppLN при накачке многочастотным волоконным иттербиевым лазером с линейной поляризацией. Показано, что статистический выигрыш при удвоении частоты такого многочастотного лазера отличается от двухкратного и составляет 1.5-1.65.

Исследована внрезонаторная генерация второй гармоники излучения перестраиваемого иттербиевого волоконного лазера в трех плоскостях кристалла КТР со вторым типом синхронизма для различных конфигураций. Автору удалось здесь получить выдающийся результат по плавной перестройке в области 540-560 нм при коэффициенте нелинейности $8 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}^{-1}$.

Впервые осуществлена внутриврезонаторная генерация второй гармоники перестраиваемого иттербиевого лазера в кристаллах КТР с эффективностью в 4-8 раз превышающую эффективность, полученную во внрезонансной схеме. Показано, что лазеры с внутриврезонаторным удвоением в кристалле КТР могут работать на уровне выходной мощности сотен милливольт без деградации на протяжении тысяч часов.

Отдельно следует выделить первые результаты, представленные по созданию непрерывного полностью волоконного удвоителя на основе периодически полингованного световода. Несмотря на то, что полученные в работе коэффициенты нелинейности значительно уступают, полученным в объемных кристаллах, перспективность разработок таких полностью волоконных удвоителей не вызывает сомнений.

3) Следует отметить, приоритетные результаты, полученные по генерации и перестройке волоконных ВКР лазеров.

Показано теоретически и экспериментально, что форма спектра описывается функцией гиперболического секанса с корневой зависимостью усиления от мощности.

Экспериментально подтверждено наличие модовой структуры в ВКР лазерах длиной до 270 км.

Создан и исследован перестраиваемый ВКР лазер на основе фосфосиликатного световода, использующий в качестве накачки перестраиваемый иттербиевый волоконный лазер. Применение оригинальной конструкции, включающей две пары синхронно перестраиваемых волоконных брегговских решеток, позволило впервые получить результат мирового уровня по синхронной перестройке полностью волоконного ВКР лазера в диапазоне 50 нм при уровне выходной мощности 3 Вт.

4) Заметный вклад внесен в разработку эффективных параметрических генераторов.

Теоретически и экспериментально показано, что в коммерчески доступном двулучепреломляющем фотонно-кристаллическом световоде LMA5-PM с помощью четырехволнового смешения возможно преобразование непрерывного излучения иттербиевого волоконного лазера с отстройками частоты до 100 ТГц как в случае скалярного, так и векторного типов синхронизма.

Впервые разработан и реализован непрерывный полностью волоконный оптический параметрический генератор на основе двулучепреломляющего фотонно-кристаллического световода с накачкой перестраиваемым иттербиевым волоконным лазером. Частотные отстройки достигают рекордных значений 38 ТГц в коротковолновую область. Продемонстрирована непрерывная генерация волоконного параметрического генератора в области 0.92-1.01 мкм с дифференциальной эффективностью до 18% и выходной мощностью на уровне сотни милливат.

Работа не вызывает сомнения в достоверности полученных оригинальных результатов мирового уровня, поскольку использованные автором методы исследований и основные результаты согласуются с результатами аналогичных исследований в ряде отечественных и зарубежных лабораторий, докладывались на представительных международных конференциях и опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах.

Научная ценность этой работы заключается как в глубоком теоретическом анализе спектральных свойств создаваемых нелинейных устройств, так и в экспериментальных исследованиях, подтверждающих основные выводы теории. Диссертационная работа Каблукова Сергея Ивановича вносит существенный вклад в решение проблемы создания эффективных перестраиваемых преобразователей частоты на основе таких нелинейных эффектов, как вынужденное комбинационное рассеяние, генерация второй гармоники, четырехволновое смешение.

Следует отметить также практическую ценность созданных автором нелинейных волоконных преобразователей с уникальными характеристиками. Автору удалось создать целый набор волоконных источников, генерирующих в различных спектральных областях.

Результаты диссертации Каблукова С.И. могут быть рекомендованы для использования в ИЦВО РАН, ИОФ РАН, ИПФ РАН, ФИАН, ИРЭ РАН, НИИ «Поллюс» и других организациях, занимающихся разработкой, технологией изготовления и применения волоконных источников когерентного излучения.

В качестве замечаний следует отметить:

1. В работе выявлена зависимость эффекта самосканирования от мощности и

длины световода. Однако, зависимости от таких параметров, как пространственное положение активного световода в резонаторе лазера и потери в резонаторе изучены не полностью. Исследование эффекта при различных минимальных коэффициентах отражения на выходном торце могло бы в частности помочь установить, есть ли отличие в механизме образования динамических решеток в линейном лазере и в кольцевом однонаправленном лазере, в котором этот эффект был обнаружен при наличии лишь слабого паразитного отражения от выходного торца (P. Peterka et al, Laser Phys. Lett. 9 445-450, 2012).

2. Отклонение измеренного статистического выигрыша для многочастотного иттербиевого лазера при генерации второй гармоники от ожидаемого значения 2, в сторону меньших значений (1.5-1.65) в работе связывается с двумя причинами: отклонением статистики от гауссовой и частичной фазировкой мод из-за однородного усиления. По-видимому, корректным может быть только первое утверждение. Частичная фазировка обычно понимается как частичная самосинхронизация, которая с большой вероятностью будет увеличивать флуктуационные выбросы и давать отклонение в большую, а не в меньшую сторону от 2.

3. При анализе причин полученной низкой эффективности преобразования в полингованном световоде уместно было бы провести сравнение с работой V.V. Dvoyrin et. al, "Yellow All-fiber Bi-laser", ECOC 2008), в которой впервые создан непрерывный полностью волоконный удвоитель на полингованном волокне с примерно теми же характеристиками. Коэффициент нелинейности полингованного световода в указанной работе на порядок выше полученного в диссертации.

4. Для численного моделирования параметрических процессов с векторным согласованием фаз в двулучепреломляющих микроструктурированных световодах используется программа "CUDOS", не предназначенная для расчета поляризационных мод. В результате, в работе используется большое число подгоночных параметров, влияющих на точность при сравнении с экспериментом.

Тем не менее, указанные замечания не являются существенными и не снижают ценности полученных результатов.

Диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу на актуальную тему.

Работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор Каблуков С.И. заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 — «Оптика».

Отзыв на диссертацию Каблукова С.И. рассмотрен на семинаре лаборатории полых волоконных световодов ИЦВО РАН, заслушан и одобрен на Ученом совете ИЦВО РАН 29 сентября 2014 года.

Заведующий лабораторией полых волоконных световодов

Чл.-корр. РАН

И.А. Буфетов

Старший научный сотрудник лаборатории ПВС

к.ф.-м.н.

Ю.П. Яценко

Сотрудник отдела ИОМЛ 02.10.14
Чкаб