

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Пермский федеральный
исследовательский центр
Уральского отделения
Российской академии наук
(ПФИЦ УрО РАН)
ул. Ленина, 13а, г. Пермь, 614990
тел. (342) 212-60-08, факс (342) 212-93-77
E-mail: psc@permisc.ru, http://www.permisc.ru
ОКПО 48420579, ОГРН 1025900517378
ИНН 5902292103, КПП 590201001

15.11.2023

№ № 17700/2171-464

УТВЕРЖДАЮ
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Пермский
федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской
академии наук
(ПФИЦ УрО РАН)



Чл.-корр. РАН, профессор, д.ф.-м.н.,
Плехов О.А.

ОТЗЫВ ведущей организации на диссертацию

Итрина Павла Аркадьевича

"Кольцевые волоконные лазеры с гармонической синхронизацией мод и сдвигом частоты" по специальности 1.3.6. «Оптика» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

В результате проведения анализа диссертационной работы, автореферата, а также научных трудов соискателя было установлено:

1. Актуальность темы выполненного исследования.

Диссертация Итрина П.А. посвящена волоконным лазерным генераторам ультракоротких импульсов, которые остаются одним из наиболее активно развивающихся направлений лазерной физики на протяжении последних тридцати лет. Телекоммуникационный бум девяностых годов прошлого века способствовал внедрению ряда волоконных компонентов, разработанных для требовательных приложений оптической связи, и обеспечил преимущества волоконных лазеров по сравнению с конкурирующими технологиями. К числу этих основных преимуществ следует отнести компактность, совместимую с возможностью достижения высокого коэффициента усиления, что позволяет использовать большие допуски оптической юстировки и значительно упростить оптическую схему лазера. Кроме этого, волоконные лазеры естественным образом сочетают в себе высокое качество выходного пучка, гибкий волоконный вывод, надежность и простоту в эксплуатации, находя свое применение в широком ряду приложений, в числе которых помимо оптической связи находятся медицина, микрообработка, микроскопия и метрология. На основании этого можно сделать вывод об актуальности темы.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Представленные в диссертационной работе Итрина П.А. научные положения, выводы и рекомендации имеют высокую степень обоснованности. Выполненная работа основана на трудах отечественных и зарубежных ученых данной области. Данные, полученные в результате выполнения работы, не противоречат известным результатам, представленным в литературе другими авторами. Достоверность работы подтверждается использованием проверенных и доказанных положений физики, применением хорошо известных практических методов исследования, использованием распространённого и хорошо зарекомендовавшего себя в отрасли фотоники оборудования. Работа прошла апробацию на

ведущих мировых и всероссийских конференциях, её результаты отражены в публикациях, часть из которых приходится на журналы, входящие в мировые базы цитирования, а другая часть – на журналы, рекомендованные ВАК.

3. Научная новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна диссертационной работы Кривошеева Антона Ивановича включает следующие пункты:

1. Автором показано, что в волоконном лазере с линейным резонатором несовпадение центральной длины волны выходного отражателя с пиком усиления приводит к фильтрации излучения и генерации достаточно узкополосного импульса, но одновременно способствует полному подавлению дисперсионных волн и непрерывной составляющей излучения, что улучшает гармоническую синхронизацию мод и дает широкий диапазон перестройки частоты следования импульсов (от десятков МГц до 1 ГГц) регулированием только мощностью излучения диодов накачки. В кольцевом волоконном лазере с синхронизацией мод на основе нелинейного вращения поляризации установлены диапазоны стабильной работы и сопоставлены с шумовыми характеристиками лазера – уровнем межмодового шума и временной флуктуацией межимпульсного расстояния.

2. Соискателем получены уравнения, описывающие динамическую систему взаимодействующих импульсов в резонаторе волоконного лазера, с учетом сдвига частоты. Анализ показал, что динамическая система отталкивающихся солитонных импульсов внутри кольцевого лазерного резонатора, приходит к стационарной точке, соответствующей однородному расположению импульсов, при включении частотного сдвига значительно быстрее, чем в его отсутствии.

3. Итрин П.А. показал, что эффект сдвига частоты в дополнении к нелинейному вращению плоскости поляризации за счет более высоких нелинейных потерь способен расширить рабочий диапазон генерируемого излучения в режиме гармонической синхронизации мод.

4. В экспериментальном образце кольцевого волоконного лазера, работающем в режиме гармонической синхронизации мод со стабилизацией при помощи сдвига частоты достигнута частота следования импульсов ~ 12 ГГц, что в сочетании с высоким (более 40 дБ) уровнем подавления межмодового шума является рекордным показателем для волоконных лазеров, использующих для синхронизации мод механизм нелинейного вращения поляризации; получении уравнений, описывающих динамическую систему взаимодействующих импульсов в резонаторе волоконного лазера, с учетом сдвига частоты;

4. Значимость результатов для науки.

Значимость результатов работы Итрина П.А. заключается в демонстрации того, что в волоконном лазере с линейным резонатором несовпадение центральной длины волны выходного отражателя с пиком усиления приводит к фильтрации излучения и генерации достаточно узкополосного импульса, но одновременно способствует полному подавлению дисперсионных волн и непрерывной составляющей излучения, что улучшает гармоническую синхронизацию мод и дает широкий диапазон перестройки частоты следования импульсов (от десятков МГц до 1 ГГц) регулированием только мощностью излучения диодов накачки; демонстрации того, что эффект сдвига частоты в дополнении к нелинейному вращению плоскости поляризации за счет более высоких нелинейных потерь способен расширить рабочий диапазон генерируемого излучения в режиме гармонической синхронизации мод. Также Итрин П.А. показал, что в экспериментальном образце кольцевого волоконного лазера, работающем в режиме гармонической синхронизации мод со стабилизацией при помощи сдвига частоты достигнута частота следования импульсов ~ 12 ГГц, что в сочетании с высоким (более 40 дБ) уровнем подавления межмодового шума является рекордным показателем для волоконных лазеров, использующих для синхронизации мод механизм нелинейного вращения поляризации; получении уравнений, описывающих динамическую

систему взаимодействующих импульсов в резонаторе волоконного лазера, с учетом сдвига частоты.

5. Практическая значимость полученных автором диссертации результатов.

Автором разработана экспериментальная схема волоконного лазера с гармонической синхронизацией мод с линейным резонатором. В предложенной конфигурации исключено влияние эффектов нелинейного вращения поляризации, поэтому она перспективна для разработки лазерных импульсных генераторов с устойчивым самозапуском и перестраиваемой частотой следования импульсов до 1 ГГц. Предложенный Итриным П.А. метод сдвига частоты позволяет на порядок снизить флуктуации межимпульсного расстояния в волоконных лазерах с гармонической синхронизацией мод, что можно интерпретировать как повышение устойчивости однородного гармонического распределения импульсов в резонаторе. Данное улучшение характеристик выходного излучения значительно расширяет область практических приложений для подобных лазеров. Соискателем продемонстрирована работа кольцевого волоконного лазера с акустооптическим модулятором, обеспечивающим сдвиг частоты. Проведено сравнение шумовой характеристики сконструированного лазера с образцом без сдвига частоты, показавшее на 10 дБ большее значение подавления межмодового шума. Включение частото-сдвигающего элемента может улучшить стабильность работы гибридных лазеров в режиме гармонической синхронизации мод с насыщающимися поглотителями на основе полупроводникового насыщающегося зеркала или углеродных нанотрубок. Предложенный Итриным П.А. метод стабилизации был применен при разработке экспериментальной схемы волоконного лазера с высокой частотой следования импульсов и возможностью перестройки длины волны. В разработанной лазерной схеме достигнута частота следования импульсов свыше 10 ГГц в сочетании с высоким уровнем подавления межмодового шума более 40 дБ. Режим гармонической синхронизации мод с частотой следования импульсов более 5 ГГц был получен в широкой полосе перестройки длины волны 1530-1580 нм. Волоконные лазеры с подобными характеристиками весьма перспективны для использования в области оптической телекоммуникации и спектроскопии.

6. Оценка содержания диссертации и автореферата.

Работа состоит из пяти глав. Общий объем работы 108 страниц, содержит 38 рисунков и список из 125 библиографических наименований. Основные положения и результаты диссертации докладывались на всероссийских и международных конференциях. Результаты **полностью отражены** в 19 научных работах. Из них 6 работ в рецензируемых журналах из списка ВАК и 13 работ, включенных в международную базу цитирования Scopus.

Диссертационная работа является завершенным научным исследованием, обладающим актуальностью, новизной и практической значимостью. Содержание автореферата диссертации **соответствует содержанию диссертации** и отражает её основные положения.

7. Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Представленная диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 1.3.6. Оптика:

П1. Развитие физических основ волновой оптики, включая физические процессы интерференции, дифракции, поляризации и когерентности света.

П3. Формирование и обработка оптических изображений, топография и томография. Оптика световодов, плазмонных и гибридных волноводов. Конфокальная микроскопия и оптическая микроскопия ближнего поля.

П4. Развитие физических основ геометрической оптики. Распространение и преобразование световых пучков. Новые принципы построения оптических систем и инструментов. Явления на границах оптических сред. Фотометрия.

П8. Разработка базовых принципов построения источников светового излучения и функционирования фотонных и оптоэлектронных устройств. Лазерная спектроскопия, оптические прецизионные измерения, стандарты частоты и времени, квантовые сенсоры.

П14. Оптика ультракоротких импульсов. Распространение оптических импульсов сверхвысоких мощностей и сверхмалых длительностей.

8. Замечания

К работе имеются следующие замечания:

1. При достаточно хорошо в целом описанной практической значимости работы ни в автореферате, ни в диссертации нет хотя бы предположений, как полученные ультракороткие импульсы при известных частоте следования, длительности, спектре, контрастности и форме фронтов могут быть применены в таком динамично развивающемся научном направлении, как распределённые волоконно-оптические сенсоры.

2. Диссертационная работа и автореферат довольно хорошо оформлены, однако несколько сбивает с усвоения материала чередование русских и английских аббревиатур и обозначений на рисунках, а также описки и стилистические неточности. Некоторые рисунки следовало предоставить в более высоком разрешении: например, рис. 5.1 дисс. (рис. 9 а/р).

9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Таким образом, диссертация Итрина Павла Аркадьевича на тему «Кольцевые волоконные лазеры с гармонической синхронизацией мод и сдвигом частоты» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи по повышению стабильности работы волоконных кольцевых лазеров. Впервые продемонстрирован режим работы лазера с пассивной гармонической синхронизацией мод с внутрирезонаторным сдвигом частоты.

Представленная работа по форме и содержанию соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Итрин Павел Аркадьевич, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 Оптика.

Отзыв на диссертацию заслушан, обсужден и одобрен на заседании лаборатории фотоники ПФИЦ УрО РАН протокол № 1 от 8 ноября 2023 года.

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
с исполнением функций заведующего лабораторией фотоники
Пермского федерального исследовательского
центра УрО РАН

Константинов Юрий
Александрович

Почтовый адрес: 614990, г. Пермь, ул. Ленина, 13а, служебный телефон: +7 912 828 58 61,
адрес электронной почты: yuri.al.konstantinov@ro.ru

Я, Константинов Юрий Александрович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись Константинова Ю.А.
ЗАВЕРЯЮ:

Главный специалист по кадрам
ПФИЦ УрО РАН



Фотина Ю.В.