

Отзыв
официального оппонента
на диссертацию Кохановского Алексея Юрьевича
«Генерация коротких импульсов в волоконных лазерных резонаторах
на основе нелинейных петлевых зеркал»,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук,
специальность 01.04.21 – лазерная физика

В большинстве научных и практических приложений лазеров, работающих в режиме синхронизации мод, необходимо контролировать основные параметры импульсов. В качестве целей диссертационной работы А.Ю. Кохановского заявлена разработка схем волоконных лазерных резонаторов на основе волоконных зеркал, предоставляющих возможность независимой перестройки параметров импульсного излучения (пиковой мощности, ширины оптического спектра, длительности, а также степени когерентности импульсов). В работе А.Ю. Кохановского предлагается и исследуется экспериментально новый вариант контроля основных параметров импульсного излучения волоконного лазера. Тема исследований диссертационной работы А.Ю. Кохановского, несомненно, актуальна.

Диссертационная работа А.Ю. Кохановского состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка публикаций автора по теме диссертации, списка литературы и включает 111 страниц текста, 114 наименований цитированной литературы, 65 рисунков и одну таблицу.

Во **Введении** диссертационной работы А.Ю. Кохановского представлен краткий обзор развития импульсных волоконных лазеров, проведен критический анализ существующих методов синхронизации мод волоконных лазеров и сделан вывод об отсутствии полного решения проблемы управления свойствами сверхкоротких импульсов внутри лазерного резонатора. Этот вывод является мотивацией работы.

Первая глава диссертации А.Ю. Кохановского анализирует принцип действия и свойства нелинейных петлевых зеркал (НПЗ). В подразделе 1.1 рассматривается пропускание нелинейного петлевого зеркала без усиления. Рассчитаны графики зависимости коэффициента пропускания этого зеркала от разности нелинейного сдвига фаз встречных волн, распространяющихся в петлевом зеркале. Основные параметры расчета – коэффициент Керра волокна петлевого зеркала, пиковая мощность входного импульса, длина волокна, а также коэффициент деления оптического делителя (т.н. ответвителя), расположенного на входе в петлевое зеркало. В разделе 1.2. анализируется НПЗ с участком усиления (НУПЗ). Проведено численное решение системы двух нелинейных уравнений Шредингера для амплитуд встречных волн в нелинейном

усиливающим петлевым зеркалом с одним усиливающим элементом. В результате определены кривые пропускания такого петлевого зеркала в зависимости от пиковой мощности светового импульса на входе зеркала, временные формы выходных импульсов для диапазона пиковых мощностей входного импульса. Для этого НУПЗ проведен численный расчет коэффициента пропускания в зависимости от пиковой мощности входных импульсов. Дополнительным параметром служит длительность входного импульса. Расчетами показано, что чем выше энергия насыщения активного волокна, тем при меньшей пиковой мощности светового импульса на входе зеркала достигается максимум коэффициента пропускания НУПЗ. В подразделе 1.3 рассмотрено более сложное петлевое зеркало – с двумя участками усиления – НУПЗ-2. Предполагается, что максимальное пропускание можно будет изменять в этом зеркале независимо от общего усиления, складывающегося из двух частей. Экспериментально исследовано петлевое зеркало с двумя участками усиления для тестовых входных импульсов. Зависимости пропускания НУПЗ-2 от пиковой мощности входных импульсов зарегистрированы для нескольких значений мощности накачки первого и второго участков усиления. Кривые представляют апериодические колебания, виден сдвиг мощности насыщения с увеличением мощности накачки каждого из участков усиления. Численно исследовано пропускание НУПЗ-2 в зависимости от спектра входных импульсов. Рассмотрены два варианта: спектрально-ограниченные импульсы и импульсы с нарастанием несущей частоты на протяжении импульса (положительный чирп по частоте). Для первого варианта предсказано, что при мощностях входных импульсов ниже мощности насыщения выходные импульсы сужаются во времени, а при мощностях входных импульсов выше насыщения предсказан распад выходных импульсов на ряд пиков. Временная форма и спектр выходных импульсов ведут себя по-разному. Во втором случае картины для временной формы и спектра импульсов на выходе похожи. Отмечена особая точка в области мощности входных импульсов, равных мощности насыщения, где возможны как сжатие, так и уширение импульсов, в зависимости от соотношения длины волокна с характерной длиной хроматической дисперсии. В конце первой главы приведены выводы о возможности управлять параметрами выходных импульсов с помощью двух участков усиления в петлевом зеркале.

Вторая глава посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию волоконного лазера с синхронизацией мод на основе нелинейного петлевого зеркала с двумя усилителями. В подразделе 2.1 рассмотрен лазер с петлевым зеркалом с одним усилителем (НУПЗ). Выполнено численное моделирование параметров импульсов (длительности, пиковой мощности, формы и спектров) в зависимости от коэффициентов

усиления в активном участке волокна. Полученные изменения параметров импульсов излучения объяснены зависимостью коэффициента пропускания НУПЗ от коэффициента усиления в этом зеркале. В подразделе 2.2 проведено экспериментальное исследование волоконного лазерного резонатора с нелинейным петлевым зеркалом, включающим два отрезка усиливающих волокон. Получен набор экспериментальных автокорреляционных функций и спектров излучения двух базовых режимов генерации: полностью и частично когерентного. Представление о разнообразии импульсных режимов генерации дают двумерные карты средней мощности и ширины автокорреляционной функции, полученные экспериментально для полных диапазонов изменения токов накачки обоих участков НУВЗ-2 – соответственно, Рис. 28 и 29.

В конце подраздела 2.2 обсуждается роль длины петли НУПЗ-2 и делается вывод о необходимости переноса одного из участков усиления во вторую петлю резонатора.

В подразделе 2.3 исследуется волоконный лазер с двумя усилителями в разных петлях резонатора. Для этого варианта лазера получены более подробные двумерные карты (изменяемые параметры - токи двух диодов) не только средней мощности и ширины автокорреляционной функции, но также для контраста «подкладки» вблизи основной компоненты межмодового расстояния, ответственной за синхронизацию мод и для контраста пика когерентности. В конце подраздела 2.3 описан алгоритм поиска режимов генерации, отличающихся шириной и контрастом пика когерентности (генетический алгоритм). Целью применения такого алгоритма является поиск токов диодов накачки ЛД1 и ЛД2, обеспечивающих заданный режим генерации лазера. Применение алгоритма демонстрируется нахождением трех режимов импульсной генерации лазера (с наименьшей длительностью импульса, с минимальной степенью синхронизации мод и с короткой огибающей автокорреляционной функции, а также режим с максимальной энергией импульсов).

В подразделе 2.4 проводится сравнение двух типов импульсных режимов волоконного лазера. Спектр первого типа имеет узкий пик и маломощную более широкую подкладку; он получается в резонаторе с двумя усиливающими участками в петлевом зеркале НУПЗ-2. Второй тип генерации имеет более широкий спектр с резкими границами, он получается в резонаторе с двумя участками усиления в разных петлях волоконного лазерного резонатора. Проведен анализ режимов генерации диссипативных солитонов на базе обобщенного уравнения Гинзбурга-Ландау. Показано, что в резонаторе второго типа, содержащего участки усиления в разных петлях резонатора можно получить импульсную генерацию обоих типов, с узким и с широким спектром. Найдены также области распада солитонов на цуги импульсов.

В конце главы изложены выводы о возможности управления пиковой мощностью, энергией, длительностью, шириной оптического спектра, степенью когерентности выходного импульсного излучения путем изменения усиления каждого из двух усиливающих участков резонатора. Доступный диапазон изменения параметров определяется пассивными элементами лазерного резонатора (длины оптических волокон, коэффициенты деления ответвителей, спектральная ширина пропускания оптического фильтра).

Третья глава посвящена исследованию возможности применения волоконных лазеров с НУПЗ в качестве задающих генераторов для спектрального преобразования на эффекте вынужденного комбинационного рассеяния. Полученные в этой главе результаты, несомненно, представляют практический интерес.

Некоторые замечания по диссертации А.Ю. Кохановского:

1) На стр. 28 говорится о функции петлевого зеркала в качестве насыщающегося поглотителя. Напомним, что в данной работе речь идет об эффекте изменения коэффициента преломления волокна (эффект Керра), усиленном интерференцией волн в интерферометре типа Саньяка. Я считаю, что использование выражения типа «искусственный насыщающийся поглотитель» – неудачная идея. Правильнее было бы говорить об управлении потерями в петлевом зеркале.

2). В тексте диссертации имеются неточные выражения. Так, на стр.43, Рис. 22: имеется обозначение Ит^+ – вероятно, для волокна, легированного ионами иттербия; выражение «волоконный комбайнер» в тексте над этим рисунком, видимо, соответствует обозначению «Объединитель» на рисунке. На стр. 86, 5-я и 6-я строки после рисунка: «дихроическое стекло» – видимо, это дихроичное зеркало. На Рис.64 на стр. 87 приведены автокорреляционные функции (двух импульсов с преобразованием частоты за счет эффекта ВКР при разных частотах следования и импульса накачки). По рисунку невозможно судить о когерентной части этих функций за исключением импульса с удачным подбором частоты следования, изображения перекрываются.

3). По результатам, представленным на Рис. 62 на стр. 85 трудно убедиться в том, что полученная область перестройки 1080 – 1340 является сплошной.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления. В целом диссертационная работа А.Ю. Кохановского производит хорошее впечатление. **Научная новизна и практическая значимость работы** не вызывают сомнения. Автореферат вполне отражает основное содержание диссертации.

Диссертационная работа написана достаточно понятным языком. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых журналах,

индексируемых Web of Science (Laser Physics Letters, Optics Express, Optics Letters), а также в трудах международных конференций.

Диссертационная работа удовлетворяет также требованиям п.п. 9, 10, 11, 13, 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от, 24.09.2013, а её автор — Кохановский Алексей Юрьевич — заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — Лазерная физика.

Отзыв составила:

Доктор физико-математических наук (специальность оптика 01.04.05),

заведующая лабораторией

лазерной спектроскопии и лазерных технологий

Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Института физики полупроводников

им. А.В. Ржанова Сибирского отделения

Российской академии наук (ИФП СО РАН)



Н.Н. Рубцова

Почтовый адрес:

630090, проспект Академика Лаврентьева, 13, ИФП СО РАН,

тел. +7(383)333-27-69, электронный адрес: rubtsova@isp.nsc.ru

Подпись Н.Н. Рубцовой заверяю

Зам. директора ИФП СО РАН,

к.ф.-м.н.



А.В. Каламейцев