

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертацию Скворцова Михаил Игоревича

«ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯРНОЙ И СЛУЧАЙНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА СТРУКТУРАХ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ПОТОЧЕЧНОЙ ЗАПИСИ», представленную на соискание ученой степени кандидат физико-математических наук
1.3.6 – оптика

Диссертация М.И. Скворцова посвящена исследованию характеристик эрбиевого лазера с распределённой обратной связью (РОС-лазер) и возможности их улучшения за счёт применения поточечной фемтосекундной (фс) модификации показателя преломления в волоконных световодах: селекция единственной поляризационной моды без физического воздействия на резонатор, уменьшение геометрических размеров резонатора, сужение мгновенной ширины линии излучения РОС-лазера за счёт применения случайной РОС (СРОС) за счет рэлеевского рассеяния на естественных и искусственных случайных неоднородностях показателя преломления, использование СРОС для реализации одночастотной перестраиваемой генерации. Данное направление является актуальным ввиду того, что такие лазеры широко используются в рефлектометрии, метрологии, телекоммуникационных и сенсорных приложениях. Диссертационная работа М.И. Скворцова представляет собой комплексное экспериментальное исследование мощностных и спектральных характеристик одночастотных волоконных лазеров на основе как регулярных, так и случайных структур, реализованных с применением поточечной фемтосекундной методики записи.

Диссертация состоит из списка обозначений и сокращений, введения, трёх глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Во введении описывается область исследований, обосновывается актуальность темы диссертации, определяются цель и задачи, обоснована научная новизна исследований и их практическая значимость. Приводится основное содержание по главам, данные о публикациях по теме диссертационной работы, формулируются защищаемые положения.

Первая глава является методической, в ней рассматриваются теоретические и экспериментальные основы РОС-лазеров с резонатором, представляющим собой волоконную брэгговскую решётку (ВБР) с фазовым сдвигом. Кратко описана методика расчета характеристик такого резонатора, основанная на теории связанных мод. Обсуждаются физические процессы, протекающие при поглощении фс импульсов в объеме прозрачного материала. Представлена методика записи ВБР с фазовым сдвигом с применением фемтосекундной поточечной модификации показателя преломления, в сравнении со стандартной голографической методикой с использованием ультрафиолетового непрерывного источника. Представлена обобщенная схема РОС-лазера на основе ВБР с фазовым сдвигом, записанной в активном волокне. Приведено описание методик измерения выходных характеристик генерируемого излучения.

Вторая глава посвящена исследованию характеристик эрбиевых волоконных РОС-лазеров с резонатором, изготовленным с применением фемтосекундной поточечной методики. Теоретически обосновывается возможность селекции единственной поляризационной компоненты для лазера с резонатором длиной 32 мм, изготовленным в коммерчески доступном эрбиевом световоде. Экспериментально реализована генерация одной поляризационной компоненты, измерены основные выходные характеристики такого РОС-лазера. Продемонстрирован РОС-лазер с рекордно коротким резонатором (5,3 мм), записанным в высоколегированном композитном световоде производства Научного центра волоконной оптики (НЦВО) РАН. В ходе его характеризации отмечено, что полученные параметры выходного излучения не уступают аналогичным для РОС-лазеров

с длиной резонатора на порядок больше. В конце главы приведено сравнение частотного состава излучения РОС-лазеров, резонаторы которых изготовлены с применением поточечной фс методики и голографической методики с использованием УФ-излучения.

Третья глава посвящена применению СРОС для улучшения спектральных характеристик РОС-лазера, а также новых схем резонатора с применением СРОС для получения одночастотной/перестраиваемой генерации. Дана оценка относительного сужения линии генерации в гибридной конфигурации, когда к резонатору РОС-лазера присоединяется 25-км катушка пассивного волокна SMF-28, в котором возникает дополнительная СРОС на рэлеевском рассеянии. Согласно оценке, величина, на которую возможно сузить мгновенную ширину РОС-лазера в гибридной конфигурации составляет несколько порядков, что было подтверждено экспериментально. При этом величина относительного сужения уменьшается с ростом времени измерений. В качестве альтернативы длинной катушке SMF-28 предложена СРОС на искусственной случайной структуре показателя преломления, изготовленной с применением фемтосекундной поточечной методики. Интегральное отражение от четырех образцов общей длиной 40 см соответствовало обратному рэлеевскому рассеянию в 10-км SMF-28. Присоединение данной структуры к резонатору РОС-лазера также привело к существенному сужению линии генерации. Далее случайные структуры, изготовленные с помощью фемтосекундной поточечной методики, применялись в схемах с полукрытым линейным и кольцевым резонаторами со СРОС, а в качестве активной среды использовались различные эрбиевые световоды. В обеих конфигурациях был получен одночастотный режим, но в случае схемы с полукрытым резонатором он достигался только в определенном диапазоне мощностей. Применение широкополосной СРОС также значительно упрощает реализацию перестройки длины волны генерации, что было продемонстрировано в конфигурации с полукрытым резонатором, где была продемонстрирована перестройка в диапазоне ~ 10 нм.

В диссертации М.И. Скворцова получены следующие основные результаты:

1. Реализован волоконный РОС-лазер на основе ВБР с фазовым сдвигом, записанной с применением фемтосекундной поточечной методики в эрбиевом волоконном световоде, в генерации которого присутствует единственная поляризационная мода. Измерены выходные характеристики такого лазера: дифференциальная эффективность составила $\approx 0,14\%$ при максимальной мощности 0,7 мВт на 1550 нм, ширина линии генерации составила 17 кГц (на временах ~ 100 мксек), отношение сигнал-шум 70 дБ, пик относительного шума интенсивности -85 дБ/Гц на частоте 660 кГц. Для сравнения были изготовлены резонаторы с применением голографической методики записи и УФ-излучения в различных эрбиевых световодах: во всех конфигурациях в спектре присутствуют две поляризационные моды.
2. Продemonстрирован волоконный РОС-лазер с рекордно короткой длиной резонатора (5,3 мм), изготовленный в высоколегированном композитном эрбиевом волоконном световоде с применением фемтосекундной поточечной методики записи. Показано, что выходные параметры данного лазера примерно соответствуют аналогичным характеристикам РОС-лазера с длиной резонатора несколько сантиметров: дифференциальная эффективность составила $\eta \approx 0,1\%$, при максимальной выходной мощности 0,52 мВт, ширина линии 3,5 кГц (на временах ~ 100 мксек), отношение сигнал-шум 60 дБ, пик относительного шума интенсивности находился на уровне -95 дБ/Гц при частоте 1,15 МГц. Также с помощью фс-методики записи впервые реализован Ho^{3+} РОС-лазер с длиной волны генерации 2,07 мкм, физическая длина резонатора составила 42 мм. Значение дифференциальной эффективности соответствовало 0,31%, величина относительного шума интенсивности -85 дБ/Гц на частоте 800 кГц.
3. Экспериментально продемонстрировано сужение линии генерации РОС-лазера в гибридной конфигурации со СРОС в 25-км катушке одномодового волокна SMF-28. Оценка мгновенной ширины линии по спектральной плотности частотных шумов дала 15

