

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Чуркина Дмитрия Владимировича "Стохастические режимы генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 - "Оптика".

Актуальность темы

Диссертация Чуркина Д.В. является результатом исследований автором спектральных и шумовых свойств излучения волоконных ВКР-лазеров (часто называемых также рамановскими лазерами). В последние примерно два десятилетия имеет место быстрое развитие технологической области волоконных лазеров, основанное на не менее быстром и масштабном продвижении в соответствующих научных областях. Первые образцы современных рамановских лазеров появились только в 1994 в работах S.Grubb-a с сотрудниками. Примерно 10 лет потребовалось на создание мощных (до ~100 Вт выходной мощности) рамановских непрерывных лазеров на световодах на основе кварцевого стекла, работающих в диапазоне длин волн от 1.1 до 2.2 мкм. В настоящее время дальнейшее развитие исследований в области рамановских лазеров привело к созданию лазеров такого типа на флюоридных и халькогенидных волоконных световодах, работающих в диапазоне длин волн от 2 до 4 мкм.

Но одним из факторов, ограничивающих выходную мощность рамановских лазеров, являлось и является уширение спектра генерации лазера при возрастании выходной мощности. Поскольку было достаточно ясно, что причина этого - нелинейные процессы, то, чтобы обойти это препятствие, исследователи в большинстве случаев просто старались использовать световоды с большими диаметрами поля моды для снижения эффекта уширения спектра. Но последовательное целенаправленное изучение характеристик выходного излучения волоконных лазеров началось именно с работ диссертанта. Они фактически открыли новое научное направление по исследованию спектральных свойств излучения волоконных лазеров, и не только рамановских. Поэтому актуальность выполненных исследований не вызывает сомнений.

Содержание работы, достоверность и новизна полученных результатов

Диссертационная работа общим объемом 269 страниц состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы из 399 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы. Дан обзор состояния исследований в области волоконных рамановских лазеров и лазеров на обратной связи за счет эффектов рассеяния света в мире на момент начала выполнения работы. Сформулированы цель и решаемые в работе задачи, перечислены положения, выносимые на защиту, обсуждаются научная новизна, практическая значимость полученных результатов.

В главе 1 приведено описание типичных схем волоконных рамановских лазеров, в том числе содержащих несколько каскадов преобразования, их выходных характеристик, указывающих на необходимость проведения исследований на новом научном уровне для их понимания. Рассмотрены вопросы однородности рамановского усиления по спектру и его насыщения. Описаны методы характеристики временной случайной динамики излучения волоконных рамановских лазеров.

Во второй главе представлены результаты исследования излучения рамановского волоконного лазера с помощью радиочастотного спектроанализатора. Показано, что, несмотря на большую длину лазера и, соответственно, малое расстояния по частоте между продольными модами, наблюдаются биения сигнала с межмодовой частотой. Показано, что расширение спектра волоконного лазера происходит за счет четырехволнового взаимодействия продольных мод излучения между собой. Рассмотрены вопросы флуктуации фазы и интенсивности продольных мод и показано, что их функция распределения является гауссовой, что позволяет характеризовать механизмы формирования спектра генерации рамановского волоконного лазера методами слабой волновой турбулентности, что в свою очередь позволяет определить такой режим генерации как турбулентный режим генерации лазера. Проведено экспериментальное исследование формы спектра генерации и получено аналитическое выражение для его формы. Показано, что наблюдаемое уширение спектра пропорционально корню квадратному из мощности генерации лазера.

В главе 3 экспериментально продемонстрировано существование ламинарного режима генерации рамановского волоконного лазера с большим числом продольных мод и его переход в режим турбулентной генерации. Определены основные экспериментальные условия и параметры системы, необходимые для достижения ламинарного режима генерации. Методами численного моделирования исследован процесс разрушения ламинарного режима и его переход в турбулентный.

В четвертой главе приведены данные по исследованию волоконных рамановских лазеров, обратная связь в которых осуществляется не за счет сосредоточенных зеркал

(например, брэгговских решеток показателя преломления), а за счет случайной распределенной обратной связи, возникающей вследствие рэлеевского рассеяния излучения в достаточно длинном волоконном световоде. Коэффициент отражения такого рэлеевского зеркала составляет порядка 0.1% в бесконечном стандартном волоконном световоде. Рассмотрены и исследованы различные конфигурации таких лазеров, показано отсутствие в спектре их излучения биений, связанных с существованием различных продольных мод. Изучено продольное распределение мощности генерации в рамановских волоконных лазерах с отражателями на рэлеевском рассеянии.

В пятой главе рассмотрены вопросы формирования спектра генерации волоконного рамановского лазера со случайной распределенной обратной связью. Показано, что управления спектром генерации такого лазера возможно с помощью оптических элементов, рассчитанных на значительно более низкие мощности излучения по сравнению с выходной мощностью генерации лазера. Экспериментально исследована форма спектра генерации таких волоконных лазеров. Показано, что в случае малой нелинейности и малой дисперсии спектр генерации лазера имеет форму гиперболического секанса, похожую на форму спектра волоконного рамановского лазера с сосредоточенными зеркалами. Дано теоретическое описание спектра случайного рамановского волоконного лазера. Экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическим описанием.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Достоверность полученных результатов, сформулированных в диссертации, основывается на использовании надежных экспериментальных методов и корректных теоретических моделей, а также на согласии экспериментальных результатов с теоретическими моделями. Учитывая все вышесказанное, достоверность результатов работы не вызывает сомнений.

Научная новизна работы заключается в том, что полученные экспериментальные результаты позволили описать новые “случайные” режимы генерации волоконных непрерывных рамановских лазеров. Представлены доказательства существования структуры продольных мод в спектре генерации очень длинных (порядка километра) рамановских лазеров, получены аналитические выражения для описания ширины спектра некоторых таких лазеров. Впервые экспериментально реализован ламинарный режим генерации ВКР-лазера и определены условия перехода к турбулентному режиму. Исследованы различные конфигурации рамановских лазеров без сосредоточенных зеркал, использующих “зеркала” на рэлеевском рассеянии в направлении «назад». Предложено

теоретическое описание процесса формирования спектра такого лазера. Предложен ряд методов управления спектром рамановских лазеров на рэлеевском рассеянии.

Практическая значимость данной работы заключается, главным образом, в получении новых данных о режимах генерации рамановских волоконных лазеров, что открывает возможности их адекватного применения в научных исследованиях и в технике, в частности, в линиях волоконной связи и в волоконных сенсорных системах, при решении задач по созданию рамановских лазеров со специальными характеристиками.

Положения, выносимые на защиту, четко сформулированы. Результаты диссертационной работы опубликованы в 19 статьях в рецензируемых журналах, определённых Высшей аттестационной комиссией, и 1 главе в коллективной монографии, а также в 27 статьях в сборниках трудов международных конференций. Особо следует отметить публикацию по материалам диссертации двух статей в журнале Nature Photonics. В указанных выше публикациях полностью изложены основные материалы диссертации. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Замечания.

По содержанию и оформлению работы имеются замечания.

1. На стр.30 в подписи к рис. 1.2 указано, что на нем представлены спектры ВКР-усиления различных типов волоконных световодов. По-видимому, на этом рисунке представлены спектры спонтанного комбинационного рассеяния, т.к. указанные величины рамановского усиления при малых частотных сдвигах очень велики (при сдвиге $\sim 50 \text{ см}^{-1}$ усиление сравнимо с максимальными значениями при сдвиге 400 см^{-1} для германосиликатного или 1300 см^{-1} для фосфоросиликатного световода), что невозможно при комнатной температуре (т.к. в этом случае $kT \sim 200 \text{ см}^{-1}$, здесь k -постоянная Больцмана и T -абсолютная температура).
2. В диссертации присутствует значительное число опечаток, особенно во Введении и в Главе 1 (примерно 40 опечаток на 56 первых страниц диссертации), что несколько снижает удовольствие от ознакомления с данной интересной научной работой, но, к счастью, не препятствует полному пониманию ее содержания.

Заключение.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. В целом, диссертация Чуркина Д.В. "Стохастические режимы генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера" представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения и получены экспериментальные результаты, позволившие решить научную проблему формирования спектров выходного излучения волоконного ВКР-лазера. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достаточно обоснованы, обладают научной новизной и представляют практическую ценность.

Диссертация Чуркина Д.В. отвечает критериям, установленным в п.9-11, 13-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а сам соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 - "Оптика".

Официальный оппонент
зам. директора Научного центра волоконной оптики РАН,
доктор физико-математических наук,
чл.-корр. РАН



Буфетов Игорь Алексеевич

23.03.2015

Подпись Буфетова И.А. удостоверяю
Ученый секретарь НЦВО РАН
к.ф.-м.н.

Васильев С.А.