

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук Юдина Николая Александровича на диссертационную работу Яковина Михаила Дмитриевича “Суперлюминесцентная параметрическая генерация света в кристалле PPLN с накачкой от Nd:YAG лазера с СЗАОМ” представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Создание высокоэффективных источников когерентного излучения с широким диапазоном перестройки остается актуальной задачей нелинейной оптики и лазерной физики.

Диссертационная работа Яковина Михаила Дмитриевича посвящена исследованию параметрической генерации света (ПГС) с широким диапазоном перестройки излучения в режиме однорезонаторного параметрического генератора света с синхронной накачкой и в суперлюминесцентном (безрезонаторном) режиме с накачкой твердотельным Nd:YAG лазером при одновременной синхронизации мод и модуляции добротности. Представленные в диссертации Яковина М.Д. результаты получены с помощью нового метода накачки кристаллов PPLN, использующего акустооптический модулятор бегущей волны (АОМ) в сочетании со сферическим зеркалом резонатора (СЗ) – метод СЗАОМ. Поэтому **актуальность темы диссертации** не вызывает сомнений.

Основные результаты работы, определяющие её **научную и практическую значимость и новизну**:

1) Был создан безрезонаторный суперлюминесцентный параметрический генератор с общей эффективностью преобразования по поглощенной мощности $\sim 80\%$ с накачкой Nd:YAG лазером с СЗАОМ. Изучены его генерационные и спектральные характеристики. Максимальная общая выходная пиковая мощность составила ~ 210 кВт.

- 2) Был создан однорезонаторный ПГС с синхронной накачкой Nd:YAG лазером с СЗАОМ. Показано, что в многоимпульсном режиме генерации лазера накачки, ширина отстройки резонатора ПГС увеличивается в 10-20 раз.
- 3) Показано, что истощение излучения накачки в суперлюминесцентном и однорезонаторном режиме параметрической генерации остается на уровне $\sim 50\%$ и не зависит от длины кристалла при использовании в качестве лазера накачки Nd:YAG лазера с СЗАОМ.
- 4) Объяснено происхождение наблюдаемых экспериментально линий в видимой области спектра как в суперлюминесцентном, так и однорезонаторном режиме ПГС. Линии $\lambda = 392, 463, 822$ нм в однорезонаторном режиме и $\lambda = 416.2, 491.6, 516.6, 526.1, 526.9, 537.85, 538.4, 540.6, 547,7$ нм в режиме суперлюминесценции наблюдались впервые.
- 5) Показано, что резонатор влияет на параметры суперлюминесцентной генерации следующим образом – уменьшается порог генерации и увеличивается КПД преобразования для холостой длины волны в ~ 2 раза. Ограничивается спектр выходного излучения до спектра холостой длины волны (средней ИК диапазон).

Диссертационная работа состоит из списка сокращений и условных обозначений, введения, трех глав, заключения, списка литературы из 118 наименований и одного приложения. Полный объем работы содержит 105 страниц, в том числе 37 рисунков и 1 таблицу.

Во *введении* представлен обзор литературы, обоснована актуальность проводимых исследований, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, представлена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации материалов диссертации, личном вкладе автора, описывается структура и объем диссертации.

Первая глава содержит результаты экспериментальных исследований параметрической генерации однорезонаторного ПГС на основе кристалла PPLN при накачке Nd:YAG лазером с СЗАОМ в многоимпульсном режиме

генерации. Показано, что такой ПГС допускает увеличенный диапазон изменения длины резонатора, который до 20 раз больше, чем при других источниках синхронной накачки. Представлены результаты спектральных и энергетических характеристик параметрической генерации однорезонаторного ПГС.

Вторая глава посвящена реализации эффективной параметрической суперлюминесценции на основе кристалла PPLN при накачке Nd:YAG лазером с СЗАОМ в одноимпульсном режиме генерации. Получен общий КПД преобразования ~ 80% по поглощенной мощности, проведен подробный анализ полученных результатов, определены условия реализации высокоэффективного преобразования. Представлены результаты спектральных и энергетических характеристик параметрической суперлюминесценции. Ряд линий наблюдался впервые, объяснено их происхождение. Приведены измерения расходимости выходного излучения в спектральных областях красной линии, сигнальной и холостой волн. Показано, что расходимость выходного излучения суперлюминесцентной параметрической генерации не зависит от длины волны и задается пространственным распределением излучения накачки.

Третья глава посвящена сравнению выходных характеристик излучения в двух режимах параметрической генерации света – параметрической суперлюминесценции и синхронно-накачиваемого однорезонаторного ПГС на основе кристалла PPLN (длиной 50 мм) с накачкой Nd:YAG-лазером с СЗАОМ. Суммарная выходная средняя мощность на сигнальной (1475 нм) и холостой (3820 нм) длинах волн в режиме суперлюминесценции составила ~ 120 мВт (пиковая мощность ~120 кВт). Максимальная суммарная эффективность преобразования по поглощенной мощности в режиме суперлюминесценции составляла ~ 60%. Максимальная эффективность преобразования в холостую длину волны по поглощенной мощности накачки составила ~ 15% и ~ 25% (квантовая ~ 54% и ~ 90%), соответственно, для режима суперлюминесценции и однорезонаторного ПГС. Максимальные значения средней выходной мощности на холостой длине волны составляли ~ 30 мВт и ~ 60 мВт

при истощении накачки ~ 47% и ~ 55% для режимов суперлюминесценции и однорезонаторного ПГС, соответственно.

Показано, что резонатор влияет на параметры суперлюминесцентной генерации при синхронной накачке следующим образом: уменьшается порог генерации и увеличивается КПД преобразования для холостой длины волны в ~ 2 раза; изменяется расходимость выходного излучения с геометрической на дифракционную.

В *заключении* приведены результаты диссертационной работы, выражены благодарности коллективу.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается применением проверенного, калиброванного оборудования, статистикой проведенных экспериментов, подробным анализом полученных результатов и подтверждается публикациями в рецензируемых отечественных и зарубежных изданиях.

По работе имеются следующие **замечания и вопросы**:

1. Основное замечание связано с тем, что в тексте диссертации и автореферата ничего не сообщается об используемом в экспериментах кристалле PPLN, не приводится даже его химическая формула. При этом в диссертации указывается, что “с помощью таких материалов были созданы эффективные ПГС с перестройкой в среднем ИК диапазоне, также на основе этих материалов созданы оптические синтезаторы частоты с перестройкой от УФ до среднего ИК диапазона“. Из вышесказанного следует, что подобных кристаллов существует большое количество, и какой из них непосредственно использовался в экспериментах не известно. Поэтому ответ был получен не из диссертационной работы, а из приведенного списка литературы [4] (в автореферате) – ниобат лития с периодически поляризованной структурой (PPLN).
2. Используются выражения, которые создают неоднозначность интерпретации излагаемого материала, например (см. стр. 29), “в монохроматоре 2 типа МДР-23 с фотоэлектрической регистрацией спектра использовались дифракционные решетки с 600 штр./мм и 1200 штр./мм”. Термин – типа указывает,

что в экспериментах использовался некий монохроматор или модернизированный, подобный МДР-23, но ничего не говорится о причинах модернизации монохроматора.

3. На стр. 30 приведены формулы Селмейера [89] без соответствующей расшифровки обозначений, предполагая (при необходимости), что их можно найти в работе [89].

4. В описании экспериментальной установки (глава 2) указано, что “Фокусирующая линза 4 имела фокусное расстояние в 280 мм, которое выбиралось по соображениям получения максимально возможной выходной мощности, но исключающей разрушение и образования серых треков в кристалле при заданной энергии накачки”. При этом не указываются параметры излучения, при которых возникают разрушения и образование серых треков в кристаллах. Каковы эти параметры?

5. На стр. 79 указано, что “Более низкая эффективность преобразования в режиме суперлюминесценции по сравнению с результатами, полученными в главе 2, объясняется более низким качеством используемого кристалла”. По каким параметрам отличались кристаллы?

6. На стр. 80-81 сделан вывод, что “Общую эффективность преобразования можно существенно повысить за счет получения мощного перестраиваемого излучения в красной области спектра путем суммирования сигнальной волны с волной накачки. Для этого достаточно за исследуемым кристаллом PPLN поместить PPLN с другим периодом Λ (на суммарную частоту)”. Возникает закономерный вопрос – с каким периодом? Период должен быть меньше, больше или достаточно, чтобы он отличался?

Однако указанные замечания не снижают высокую значимость полученных результатов и ценность работы. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 01.04.05 – оптика. Поставленные задачи решены, и достигнута цель диссертационной работы. Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых журналах, в том числе из списка ВАК, доложены на представительных российских и международных конфе-

ренциях. Содержание автореферата соискателя соответствует основным положениям диссертации.

Подводя итог, можно сделать вывод, что, представленная работа является законченным научным исследованием по актуальной проблеме нелинейной оптики и лазерной физики. Представленные результаты диссертационной работы являются важными с теоретической и с практической точек зрения и отличаются мировой новизной. Считаю, что работа Яковина М. Д. «Суперлюминесцентная параметрическая генерация света в кристалле PPLN с накачкой от Nd:YAG лазера с СЗАОМ» соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, с внесенными изменениями от 01.10.2018 года, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Д.т.н., научная специальность: 01.04.21 «лазерная физика», профессор факультета инновационных технологий Национального исследовательского Томского государственного университета

Юдин Николай Александрович

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
634050, Томск, пр. Ленина, д.36, Телефон рабочий: +7 (3822) 534252;
yudin@tic.tsu.ru

9 декабря 2019

Подпись Юдина Николая Александровича удостоверяю:
ученый секретарь ТГУ



Н.А. Сазонтова