

Таблица 2 – СКО искажения сигнала по кадру

СКО разностного кадра	Сжатие 4 бит на выборку	Сжатие 2 бит на выборку
ДИКМ	9,6	не обеспечивает
JPEG	1,56	5,56
JPEG 2000	1,22	4,21

Анализ данных таблицы 2 показывает, что из трех алгоритмов сжатие JPEG 2000 обеспечивает наименьшее СКО искажения сигнала для контрастных изображений с большим количеством границ при одинаковых коэффициентах сжатия. Для оценки влияния сжатия изображений ЛРМ на рисунке 2 приведен график зависимости ЛРМ от СКО.

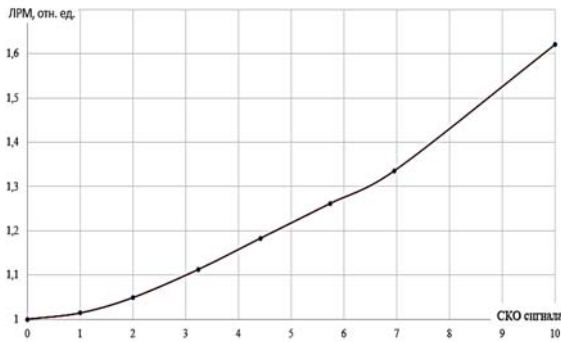


Рисунок 2 – График зависимости ЛРМ от величины СКО

По сравнению с ДИКМ, алгоритмы сжатия JPEG и JPEG 2000 обеспечивают более высокое качество изображения. А при больших коэффициентах сжатия (6–10 крат) алгоритмы сжатия JPEG и JPEG 2000 являются единственными возможными к применению. По сравнению с JPEG, алгоритм сжатия JPEG 2000 обеспечивает СКО искажения сигнала меньше на $\approx 30\%$, что позволяет проводить сжатие (в 5–10 крат) и восстановление снимков без видимых потерь качества (ЛРМ) за счет высокого ОСШ.

Литература

1. Д. Сэломон. Сжатие данных, изображения и звука. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
2. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории // – М.: Техносфера, 2006. – 272 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. // Пер. с англ. – М.: Техносфера. – 2006. – 1104 с.
4. Тропченко А.А., Молчанов В.А. Особенности сжатия цветных изображений JPEG-подобными алгоритмами // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО / Вып.32. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – С. 22–26.
5. Тропченко А.Ю., Курносенков И.Н. Анализ современных стандартов сжатия видеоданных // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО / Вып.32. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – С.17–21.
6. <https://habr.com/ru/post/251417/>
7. Алгоритмы сжатия. 2006. Гродненский государственный университет им. Янки Купалы. Факультет математики и информатики. Режим доступа: http://mf.grsu.by/UchProc/livak/po/comprsite/theory_image_02.html http://www.compression.ru/book/part2/part2_3.htm

УДК 621.3.038.825.2

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЧИРПИРОВАННЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА КРИСТАЛЛЕ Yb:YAP

Руденков А.С.^{1*}, Кисель В.Э.¹, Ясюкевич А.С.¹, Ованесьян К.Л.², Петросян А.Г.², Кулешов Н.В.¹

¹НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ
Минск, Республика Беларусь

²Институт физических исследований НАН Армении
Аштарак-2, Армения

Анотация. В данной работе представлены результаты разработки регенеративного усилителя чирпированных фемтосекундных лазерных импульсов на кристалле Yb:YAP.

Получены импульсы длительностью 600 фс на центральной длине волны излучения около 1041 нм. Средняя выходная мощность составила 3,5 Вт при оптической эффективности усиления 18 % и частотах следования 50 и 200 кГц.

Введение. Кристаллы иттриевого алюмината со структурой перовскита YAlO₃ (YAP), легированные ионами редкоземельных элементов были широко изучены в качестве активных сред лазеров с диодной накачкой. Интерес к данным кристаллам обусловлен хорошими теплофизически-

ми и механическими свойствами, высокой анизотропией, использованием широкораспространенного метода роста Чохральского.

В данной работе представлены результаты исследования кристалла Yb³⁺:YAlO₃ в качестве активной среды регенеративного усилителя чирпированных фемтосекундных импульсов.

Кристаллы иттриевого алюминат, легированные трехвалентными ионами иттербия характеризуются широкими и относительно гладкими полосами сечений стимулированного излучения (СИ) (рисунок 1).

Наиболее интенсивная полоса сечений СИ имеет пик на длине волны около 999 нм с характерным значением $3,13 \cdot 10^{-20}$ см² для E//с-

поляризации. Умеренные значения сечений СИ ($0.4\text{--}1.1 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$) кристалл демонстрирует E//b- и E//c-поляризации в диапазоне 1 005–1 030 нм.

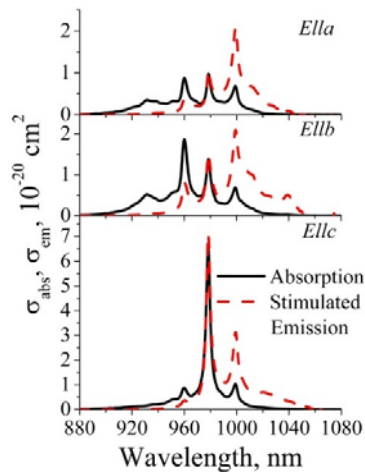


Рисунок 1 – Спектры сечений поглощения и стимулированного излучения кристалла Yb:YAP

Режим непрерывной генерации. Для проведения лазерных экспериментов была собрана экспериментальная установка на основе четырехзеркального резонатора, работающего в середине первой зоны стабильности, что обеспечивало стабильную работу при изменении термлинзы в активной среде в широких пределах. В качестве источника накачки использовался InGaAs лазерный диод с волоконным выводом излучения (30 Вт, $\Phi 105 \text{ мкм}$, $NA = 0,15$).

Предварительно были проведены лазерные эксперименты в режиме непрерывной генерации (рисунок 2).

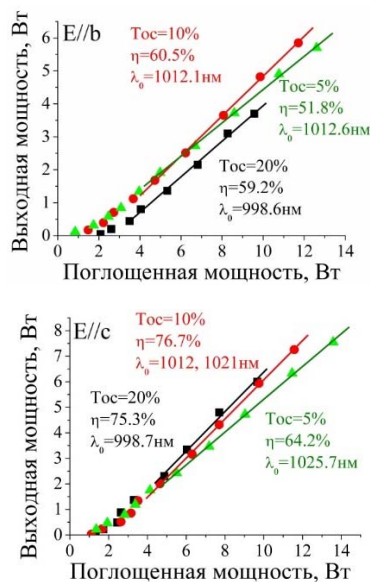


Рисунок 2 – Характеристики лазера в режиме непрерывной генерации

Получены средние выходные мощности до 7,6 Вт, максимальная дифференциальная эффективность 76,7 %.

Для перестройки длины волны генерации в резонатор лазера вводилась призма. Кривая перестройки длины волны генерации лазера для E//c-поляризации представлена на рисунке 3.

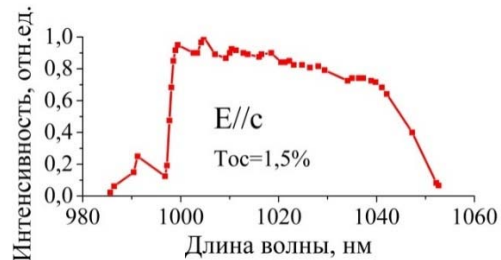


Рисунок 3 – Кривая перестройки длины волны генерации лазера

Получена перестройка длины волны генерации в диапазоне 67 нм (985,6–1052,7 нм) для E//c-поляризации при пропускании выходного зеркала 1,5 %.

Регенеративное усиление УКИ. Усилитель организован по широко распространенной схеме, состоящей из задающего генератора – фемтосекундного Yb:KYW лазера, селектора лазерных импульсов на кристалле ВВО. Селектор понижал частоту следования цуга импульсов до кГц-го диапазона значений с целью последующего эффективного усиления в резонаторе усилителя. Отселектированные импульсы поступали в блок стретчера, собранный по схеме Мартинеса на базе одной отражательной дифракционной решетки с периодом $1\,800 \text{ мм}^{-1}$. Стретчер вносил положительную ДГС и УКИ длительностью 100–200 фс растягивался до значений около 100–150 пс с соответствующим снижением пиковой мощности, что позволяло исследовать процесс усиления УКИ без риска возникновения паразитных нелинейных эффектов, таких как самофокусировка излучения, а также снизить вероятность пробоя оптических элементов усилителя.

Резонатор усилителя был собран по Z-образной четырехзеркальной схеме, что позволяло получать необходимые значения перетяжек в активном элементе и на глухом зеркале вблизи ячейки Поккельса (согласование моды резонатора и пучка импульсов задающего генератора), а также широкий диапазон стабильности при изменении параметров термической линзы, наведенной в активном элементе.

На рисунке 4 представлены спектры импульсов задающего генератора и усиленных импульсов при частотах следования 50 и 200 кГц.

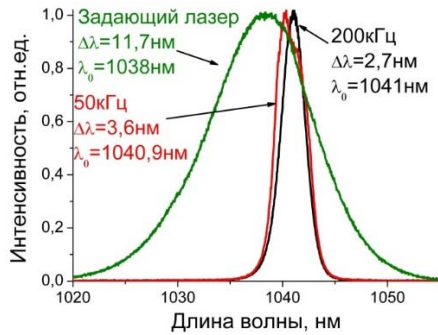


Рисунок 4 – Спектры импульсов задающего генератора и усиленных импульсов

На спектрах видно сильное влияние эффекта сужения спектра импульса в процессе усиления. При частоте следования импульсов составила 3,6 нм и уменьшилась до 2,7 нм при частоте 200 кГц. Средняя выходная мощность системы усиления (после компрессора) составила 3,5 Вт, оптическая эффективность 18 %. На рисунке 5 показана автокорреляционная функция усиленных импульсов (при частоте 50 кГц).

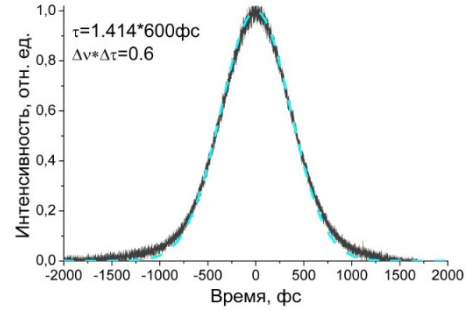


Рисунок 5 – Автокорреляционная функция усиленных импульсов

Измеренная длительность импульса составила 600 фс, произведение длительности импульса на спектральную полуширину в частотном выражении $\Delta\nu \cdot \Delta\tau = 0,6$.

Закключение. Проведенная работа показывает высокую перспективность кристаллов Yb:YAP для применения в качестве активных сред регенеративных усилителей chirпированных импульсов при условии принятия дополнительных мер по компенсации негативного влияния эффекта сужения спектра импульса в процессе усиления.

УДК 621.3.038.825.2

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ПИКОСЕКУНДНЫМ ЛАЗЕРОМ НА КРИСТАЛЛЕ Yb:LuAP

Руденков А.С.^{1*}, Кисель В.Э.¹, Ясюкевич А.С.¹, Ованесьян К.Л.², Петросян А.Г.², Рубцова Н.Н.³, Ковалев А.А.³, Преображенский В.В.³, Кондратюк Н.В.⁴, Гоман Д.А.⁴, Кулешов Н.В.¹

¹НИИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ
Минск, Республика Беларусь

²Институт физических исследований НАН Армении
Аштарак-2, Армения

³Институт физики полупроводников имени А.В. Ржанова, СО РАН
Новосибирск, Российская Федерация

⁴ЗАО Солар ЛС
Минск, Республика Беларусь

Анотация. В данной работе представлены результаты разработки пикосекундного лазера с выходной мощностью 12 Вт на кристалле Yb:LuAP, работающего в режиме пассивной синхронизации мод (ПСМ) на основе полупроводникового зеркала с насыщающимся поглотителем SESAM. Получены импульсы длительностью 2 пс на центральной длине волны излучения около 999 нм при оптической эффективности генерации 38 % и частоте следования 70 МГц. Реализован режим генерации второй гармоники на кристалле LBO длиной 20 мм с критическим угловым синхронизмом и получена средняя мощность излучения второй гармоники 4,8 Вт. Представлены предварительные результаты исследования параметрической генерации света при синхронной накачке гене-

ратора на кристалле LBO и получена перестройка длины волны в диапазоне 668–783 нм.

Введение. Уникальные спектроскопические свойства трехвалентных ионов иттербия в кристаллах алюминатов со структурой перовскита [1, 2] (YAlO₃, LuAlO₃) делают данные материалы отличными кандидатами для использования в качестве активных сред пикосекундных лазеров так как обладают высокими сечениями стимулированного излучения (СИ) ($3,7 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$) в сравнительно узком спектральном диапазоне около 999 нм. Столь высокое значение сечения СИ делает возможным эффективную генерацию пикосекундных импульсов даже в несолитонном режиме синхронизации мод (со значительно более высоким порогом генерации).