

УДК 621.373.826

КРИСТАЛЛ $\text{Yb:Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ КАК АКТИВНАЯ СРЕДА
ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРОВ

Лазарчук А. И., Кисель В. Э.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В работе сообщается о исследовании кристалла $\text{Yb:Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ (Yb:GYSO) как активной среды для фемтосекундных лазеров с диодной накачкой. Режим пассивной синхронизации мод в лазере на кристалле Yb:GYSO с использованием полупроводникового насыщающегося зеркала (SESAM) был исследован для поляризации выходного излучения параллельного оси оптической индикатрисы N_g . Минимальная длительность, полученная для поляризации $E//N_g$ равнялась 77 фс на длине волны 1054.3 нм с частотой следования импульсов 82 МГц. Проведено детальное исследование выходных характеристик фемтосекундного лазера с поляризацией выходного излучения $E//N_g$.

Ключевые слова: кристаллы оксиортосиликата, иттербий, фемтосекундный лазер, синхронизация мод.

 $\text{Yb:Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ CRYSTAL AS A GAIN MEDIA FOR
FEMTOSECOND LASERS

Lazarchuk A.I., Kisel V.E.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. This work reports on investigations of $\text{Yb:Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ (Yb:GYSO) crystal as a gain media for diode-pumped femtosecond lasers. Passive mode-locking of the Yb:GYSO laser using a semiconductor saturable absorber mirror (SESAM) was investigated for output radiation polarized parallel to the principal optical axis N_g . A minimum pulse duration of 77 fs was achieved for the $E//N_g$ polarization at a wavelength of 1054.3 nm with a pulse repetition rate of 82 MHz. A detailed investigation of the output characteristics of the femtosecond laser with $E//N_g$ output polarization was carried out.

Keywords: oxyorthosilicate crystals, ytterbium, femtosecond laser, mode-locked.

Адрес для переписки: Лазарчук А. И., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: lazarchuka@bntu.by

Кристаллы, легированные ионами Yb^{3+} обладают уникальными свойствами для использования в качестве активных сред фемтосекундных лазеров, излучающих в спектральном диапазоне вблизи 1 мкм. Простая двухуровневая структура уровней энергии кристаллов с ионами Yb^{3+} , приводит к устранению потерь на ап-конверсию, кросс-релаксацию и поглощение из возбужденном состоянии. Другим преимуществом ионов иттербия является низкий квантовый дефект, что минимизирует тепловыделение внутри активного элемента. Также кристаллы с ионами Yb^{3+} обладают более широкой полосой усиления по сравнению с материалами, легированными неодимом (Nd), что делает их более привлекательными для использования в фемтосекундных лазерах. Важным преимуществом является совпадение полос поглощения иттербия в диапазоне 980 нм с излучением мощных InGaAs-диодных лазеров [1].

Легированные ионами иттербия кристаллы оксиортосиликатов такие как $\text{Yb:Y}_2\text{SiO}_5$ (Yb:YSO), $\text{Yb:Lu}_2\text{SiO}_5$ (Yb:LSO), $\text{Yb:Sc}_2\text{SiO}_5$ (Yb:SSO), $\text{Yb:Gd}_2\text{SiO}_5$ (Yb:GSO) и их соединения типа Yb:LYSO и Yb:GYSO характеризуются сильными кристаллическими полями, что приводит к относительно большому штарковскому расщеплению нижнего мультиплета $^2F_{7/2}$ [2]. В результате это приводит к снижению порога генерации лазера, а спектр сечений стимулированного излучения имеет широкую полосу, что делает эти материалы

особенно привлекательными для генерации фемтосекундных импульсов. Эти свойства делают кристаллы оксиортосиликатов перспективными активными средами для создания фемтосекундных лазеров, излучающих в спектральном диапазоне около 1 мкм.

В этой работе мы сообщаем о исследовании выходных характеристик фемтосекундного лазера на основе кристалла $\text{Yb:Gd}_{1.615}\text{Y}_{0.385}\text{SiO}_5$ с поляризацией выходного излучения $E//N_g$.

Резонатор для работы фемтосекундного построен по четырехзеркальной схеме (рисунок 1). Он состоит из двух изогнутых зеркал M1 и M2 ($R = 100$ мм), плоского выходного зеркала OC и SESAM для получения режима пассивной синхронизации мод.

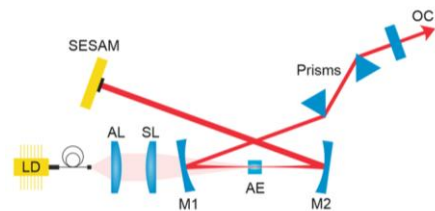


Рисунок 1 – Схема лазера на основе кристалла Yb:GYSO

Компенсация дисперсии групповой задержки (ДГЗ) была реализована с помощью пары дисперсионных призм SF10. Оптимальное разделение

призм составляло около 355 мм от острия к острию, что соответствует максимальному значению ДГЗ около -3200 фс^2 . Расчетный диаметр ТЕМ₀₀ моды в кристалле составил около 35 мкм. Источником накачки служил одномодовый InGaAs лазерный диод с волоконным выводом, с максимальной выходной мощностью 600 мВт на длине волны около 976 нм. Длина волны излучения накачки стабилизировалась волоконной брэгговской решеткой. Выходное излучение диода накачки имело линейную поляризацию, состояние которой подстраивалось для максимального поглощения в активном элементе. Пятно излучения накачки диаметром около 35 мкм формировалось в активном элементе с помощью оптической системы, состоящей из асферической линзы (АЛ) с фокусным расстоянием 18,4 мм и сферической линзы (СЛ) с фокусным расстоянием 100 мм.

Активные элементы кристаллов $\text{Yb}^{3+}(4,6 \text{ ат. \%})\text{:Gd}_{1,615}\text{Y}_{0,385}\text{SiO}_5$ толщиной 2 мм и апертурой $8 \times 1,2 \text{ мм}^2$ были вырезаны вдоль оси оптической индикатрисы N_p для возможности получения генерации с поляризацией $E//N_g$. Обе боковые грани размером $8 \times 2 \text{ мм}^2$ поддерживались при комнатной температуре с помощью медных пластин (для улучшения теплового контакта использовалась индиевая фольга) и термоэлектрический регулятор, в то время как рабочие грани размером $8 \times 1,2 \text{ мм}^2$ имели просветляющее покрытие на длинах волн накачки и генерации лазерного излучения.

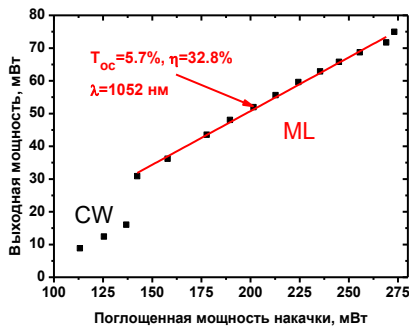


Рисунок 2 – Выходная характеристика Yb:GYSO лазера с поляризацией выходного излучения $E//N_g$

Был исследован лазер с ПСМ и выходными зеркалами с коэффициентами пропускания 1,5 %, 3,5 %, 5,7 % и 10 %. Стабильная режим ПСМ был получен на длине волны около 1050 нм. Длительности импульса около 77 фс были получены для выходных зеркал с пропусканием 1,5 %, 3,5 % и 5,7 % с максимальной выходной мощностью 24 мВт, 50 мВт и 78 мВт соответственно. Максимальная дифференциальная эффективность для этих зеркал составляет 32,8 % и получена для выходного зеркала с пропусканием 5,7 % (рисунок 2).

Спектр импульсов и автокорреляционная функция для этого случая представлены на рисунках 3 и 4.

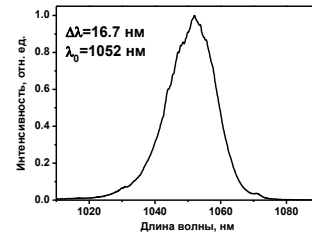


Рисунок 3 – Спектр импульсов Yb:GYSO лазера с поляризацией выходного излучения $E//N_g$

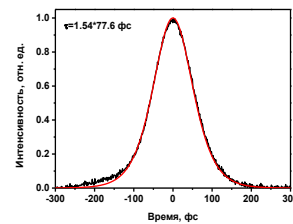


Рисунок 4 – Автокорреляционная функция Yb:GYSO лазера с поляризацией выходного излучения $E//N_g$

Таблица 1 – Результаты лазерных экспериментов на кристалле Yb:GYSO с поляризацией выходного излучения $E//N_g$

№	$T_{ос}, \%$	$\lambda_0, \text{нм}$	$\Delta\lambda, \text{нм}$	$\tau_p, \text{фс}$	$P_{псм}, \text{мВт}$	$\eta, \%$	$\Delta\tau_p \cdot \Delta\nu$
1	1,5	1054,5	16,1	78	23,4	9,7	0,340
2	3,5	1054,3	15,9	77	49,6	19,2	0,331
3	5,7	1052	15,7	77,6	71,6	32,8	0,330
4	10	1048,6	12,9	93	70,0	46,1	0,327

Использование более открытого выходного зеркала с пропусканием 10 % приводит к резкому уширению импульса и сужению спектра, но не приводит к увеличению мощности в сравнении с 5,7 % выходным зеркалом, при этом дифференциальная эффективность генерации увеличивается до 46 %. Детальные результаты лазерных экспериментов для лазера с поляризацией излучения параллельно оси N_g в таблице 1.

Полученные результаты демонстрируют перспективность использования кристалла Yb:GYSO для создания эффективных лазерных систем генерации ультракоротких импульсов.

Литература

1. Krupke, W. Ytterbium Solid-State Lasers-The First Decade / W. Krupke // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. – 2000. – Vol. 6, № 6. – P. 1287–1296.
2. Optical and laser properties of Yb:Y₂SiO₅ single crystals and discussion of the figure of merit relevant to compare ytterbium-doped laser materials / R. Gaume, P. H. Haumesser, B. Viana [et al.] // Optical Materials. – 2002. – № 1. – P. 73–78.