

УДК 621.3.038.825.2

НЕПРЕРЫВНЫЙ ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА Pr:YLF

Лазарчук А. И., Шишко Т. А., Ясюкевич А. С., Горбаченя К. Н., Кисель В. Э., Кулешов Н. В.

НИЦ оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе сообщается о результатах исследования генерационных характеристик кристаллов Pr:YLF в непрерывном режиме в видимой области спектра при накачке излучением 2ω -OPSL с длиной волны 479 нм. Максимальная выходная мощность лазера 2,5 Вт получена на длине волны генерации 640 нм при поглощенной мощности накачки 4,2 Вт. Дифференциальная эффективность лазерной генерации достигала 62 %. На длине волны генерации 607 нм максимальная выходная мощность составила 1,5 Вт при дифференциальной эффективности 40 %. На длине волны генерации 523 нм максимальная выходная мощность не превышала 0,4 Вт при поглощенной мощности накачки 2,75 Вт. При этом дифференциальная эффективность лазерной генерации на данной длине волны составила 21 %.

Ключевые слова: празеодим, иттрий-литиевый фторид, лазер, непрерывный режим работы.

CONTINUOUS-WAVE Pr:YLF LASER

Lasarchuk A., Shishko T., Yasukevich A., Gorbachenya K., Kisel V., Kuleshov N.

Center for Optical Materials and Technologies, Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. We report results of investigation of the laser characteristics of Pr:YLF crystals in a continuous-wave mode in the visible region of the spectrum when pumped by 2ω -OPSL radiation with a wavelength of 479 nm. The maximum output power of 2.5 W was obtained at a wavelength of 640 nm at an absorbed pump power of 4.2 W. The slope efficiency reached 62 %. At a wavelength of 607 nm, the maximum output power was 1.5 W with a slope efficiency of 40 %. At a wavelength of 523 nm, the maximum output power did not exceed 0.4 W at an absorbed pump power of 2.75 W. In this case, the slope efficiency of laser generation at this wavelength was 21 %.

Key words: Praseodymium; yttrium-lithium fluoride; laser; continuous-wave regime of operation.

Адрес для переписки: Кулешов Н.В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: nkuleshov@bntu.by

В последние годы интерес исследователей привлекают лазеры, генерирующие в видимом спектральном диапазоне при непосредственной накачке источниками в видимой области спектра. Это стало возможным благодаря появлению коммерчески доступных InGaN/GaN лазерных диодов, а также оптически накачиваемых полупроводниковых лазеров, генерирующих на частоте второй гармоники (2ω -OPSL (англ) – optically pumped semiconductor laser). Неоспоримым преимуществом непосредственного получения генерации в видимом спектре является отсутствие нелинейных преобразований: удвоения основной частоты излучения, а также параметрической генерации. К тому же твердотельные лазерные источники компактнее, надежнее, современнее, дешевле, более просты в обслуживании по сравнению с газовыми и жидкостными лазерами.

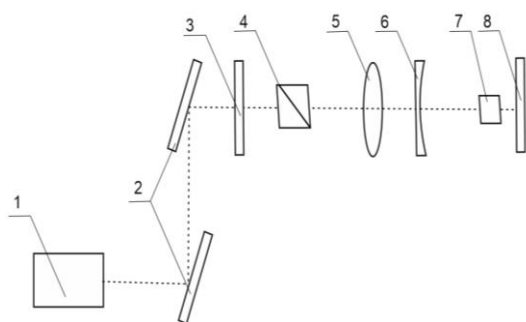
Наиболее распространенным ионом для лазеров видимого спектра является трехвалентный ион празеодима. При этом первая публикация о генерации на кристалле $\text{Pr}^{3+}:\text{LaF}_3$ в видимой области на длине волны 599 нм датируется 1967 годом [1]. Однако бурное развитие лазеров на данном ионе началось сравнительно недавно. Группой исследователей из Института физики Гамбургского университета были получены прорывные результаты по ряду фторидных кристаллов с пра-

зеодимом [2]. Причем генерация была осуществлена на всех переходах видимой области спектра: 491, 500, 523, 546, 605, 607, 640, 670, 698, и 721 нм. При этом наиболее эффективным является лазер на длине волны 640 нм с максимальной выходной мощностью 2,9 Вт. Также своими работами с лазерами на кристаллах фторидов с ионами празеодима можно отметить группы проф. Монкорже из университета Канн (Франция) и проф. Каннари из университета Кейо (Япония). Среди празеодимсодержащих оксидных кристаллов (в частности на кристалле перовскита Pr:YAlO₃) успехов достигла группа проф. Елинковой из Пражского университета (Чехия) [3].

В данной работе сообщается о реализации непрерывного режима работы лазера на основе кристалла Pr:YLF в видимой области спектра при накачке излучением 2ω -OPSL с длиной волны 479 нм.

На рисунке 1 приведена схема макета непрерывного лазера на основе кристалла Pr:YLF. Для изготовления активного элемента 7 диаметром 5 мм и толщиной 5 мм, ориентированного перпендикулярно кристаллографической оси *a*, использовался кристалл $\text{Pr}^{3+}(0,6 \text{ ат.}\%):\text{YLF}$. Входная и выходная грани активного элемента были полированы для проведения лазерных экспериментов, напыление просветляющих покрытий не произво-

дилось. Активный элемент устанавливался на медном теплоотводе с водяным охлаждением, температура поддерживалась на уровне 20 °С. В качестве источника накачки использовался 2 ω -OPSL с длиной волны генерации 479 нм, максимальной выходной мощностью 5 Вт и M²-фактором 3. Полуволновая пластинка 3 служила для вращения плоскости поляризации. Поляризатор 4 обеспечивал поляризацию излучения с направлением вектора напряженности электрического поля E параллельно кристаллографической оси с (π – поляризация), что обеспечивало максимальное поглощение излучения накачки в кристалле. Линза 5 формировала перетяжку диаметром ~ 40 мкм внутри активного элемента 7. Резонатор был образован входным вогнутым зеркалом 6 с радиусом кривизны 10 мм и плоским выходным зеркалом 8. Покрытие входного зеркала обеспечивало высокое пропускание излучения накачки на длине волны 479 нм и высокое отражение на длинах волн генерации 640, 607, 523 нм. В качестве выходного зеркала использовались зеркала с селективным пропусканием на различных длинах волн генерации: 2,3 %, 3,5 %, 5,7 %, и 10,4 % на длине волны 640 нм; 3,4 %, 14,4 %, 23,5 % на длине волны 607 нм; 1,3 %, и 1,9 % на длине волны 523 нм.



1 – оптически накачиваемый полупроводниковый лазер; 2 – зеркала заводные; 3 – фазовая пластинка $\lambda/2$; 4 – поляризатор; 5 – линза фокусирующая; 6 – входное зеркало; 7 – активный элемент Pr:YLF; 8 – выходное зеркало

Рисунок 1 – Схема лазера на основе кристалла Pr:YLF

Максимальные дифференциальные эффективности лазерной генерации по поглощенной мощности накачки были получены для выходных зеркал с пропусканием 2,3 %, 14,4 % и 1,3 % на длинах волн 640, 607 и 523 нм, соответственно. На рисунке 2 приведены зависимости выходной

мощности лазера на основе кристалла Pr:YLF от поглощенной мощности накачки.

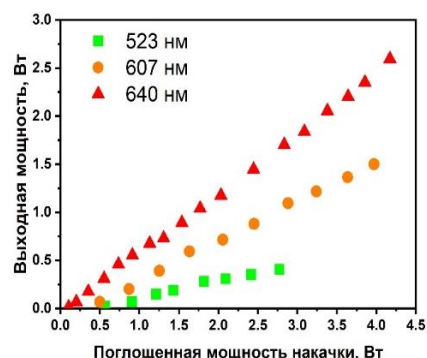


Рисунок 2 – Зависимость выходной мощности лазера на основе кристалла Pr:YLF от поглощенной мощности накачки

Максимальная выходная мощность 2,5 Вт получена на длине волны 640 нм при поглощенной мощности накачки 4,2 Вт. Дифференциальная эффективность лазерной генерации достигала 62 %. На длине волны 607 нм максимальная выходная мощность составила 1,5 Вт при дифференциальной эффективности 40 %. На длине волны 523 нм максимальная выходная мощность не превышала 0,4 Вт при поглощенной мощности накачки 2,75 Вт. Дальнейшее увеличение выходной мощности было ограничено влиянием термических эффектов в кристалле. При этом дифференциальная эффективность лазерной генерации на данной длине волны составила 21 %. На рисунке 3 приведены пространственные профили лазерных пучков на соответствующих длинах волн.

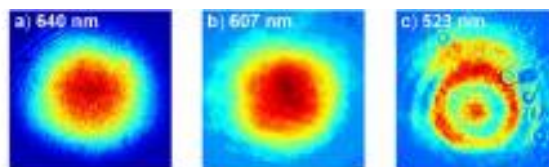


Рисунок 3 – Пространственные профили пучка лазера

Литература

1. Solomon, R. Stimulated emission at 5985 Å from Pr³⁺ in LaF₃ / R. Solomon, M. Mueller // Appl. Phys. Lett. – 1963. – № 3. – P. 135–137.
2. Out of blue: semiconductor laser pumped visible rare-earth doped lasers / C. Kränkel [et al.] // Laser Photonics Rev.– 2016. – № 10. – P. 548.
3. Diode-pumped Pr:YAP lasers / M Fibrich [et al.] // Las. Phys. Lett. – 2011. – № 8. – P. 559–568.