

УДК 621.375.826

## ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛОВ ДВОЙНЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ВОЛЬФРАМАТОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ТРЕХВАЛЕНТНЫХ ИОНОВ ИТТЕРБИЯ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Кисель В. Э.<sup>1</sup>, Горбаченя К. Н.<sup>1</sup>, Гурецкий С. А.<sup>2</sup>, Кулешов Н. В.<sup>1</sup><sup>1</sup>НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет<sup>2</sup>НПЦ НАН РБ по материаловедению

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Исследованы генерационные характеристики кристаллов  $\text{Yb:KY}(\text{WO}_4)_2$  с высоким содержанием активатора в непрерывном лазере с продольной диодной накачкой в спектральной области около 980 нм.

**Ключевые слова:** кристаллы двойных вольфраматов, трехвалентные ионы иттербия, непрерывный режим генерации, диодная накачка.

## LASER PROPERTIES OF DOUBLE RARE-EARTH TUNGSTATE CRYSTALS WITH HIGH YTTERBIUM CONCENTRATION IN CW MODE OF OPERATION

Kisel V.<sup>1</sup>, Gorbachenya K.<sup>1</sup>, Guretskii S.<sup>2</sup>, Kuleshov N.<sup>1</sup><sup>1</sup>Center for Optical Materials and Technologies, Belarusian National Technical University<sup>2</sup>Scientific and Practical Materials Research Center NAS Belarus

Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The laser properties of heavily doped  $\text{Yb:KY}(\text{WO}_4)_2$  crystals were investigated in continuous-wave (CW) laser under the diode pumping in the 980 nm spectral range.

**Key words:** double tungstate crystals, trivalent ytterbium ions, continuous-wave mode of operation, diode pumping.

Адрес для переписки: Горбаченя К. Н., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь e-mail: gorby@bntu.by

Кристаллы калий-иттриевого ( $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ ) вольфрамата принадлежат ряду двойных калий-редкоземельных вольфраматов. Кристаллы являются моноклинными с пространственной группой симметрии  $C_{2h}^6 - C2/c$ . Параметры элементарной кристаллической ячейки:  $a = 8,05 \text{ \AA}$ ,  $b = 10,33 \text{ \AA}$ ,  $c = 7,54 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 94^\circ$ . Ионы  $\text{Yb}^{3+}$  замещают в данных соединениях ионы  $\text{Y}^{3+}$  в позициях с локальной симметрией  $C_2$ . Образцы монокристаллов были выращены путем кристаллизации из раствора в расплаве  $\text{K}_2\text{WO}_4 + \text{WO}_3$  модифицированным методом Чохральского. В качестве шихты использовался окисел редкоземельного элемента. Были получены образцы высокого оптического качества с содержанием ионов  $\text{Yb}^{3+}$  от 0,2 ат.% до 100 ат.% по отношению к ионам  $\text{Y}^{3+}$ . С оптической точки зрения кристаллы являются двусными. Главные значения показателей преломления кристалла  $\text{Yb}^{3+}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$  на длине волны 1030 нм составляют:  $n_g = 2,017$ ,  $n_m = 1,982$ ,  $n_p = 1,946$ . Теплопроводность кристаллов составляет около  $3,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}^{-1}$  вдоль оси оптической индикатрисы  $N_g$ ,  $3,0 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}^{-1}$  вдоль  $N_m$  и  $2,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{K}^{-1}$  вдоль  $N_p$ .

Для исследования генерационных характеристик материала в непрерывном режиме генерации использовались образцы, прошедшие послеростовой отжиг. Кристаллы вырезались для работы вдоль оси оптической индикатрисы  $N_g$  для снижения влияния термооптических искажений на генерационные характеристики. Образцы активных элементов представляли собой плоскопараллель-

ные пластинки различной толщины. Для объективной оценки качества кристаллов с различным содержанием активных центров элементы изготавливались с постоянным значением произведения концентрации на их толщину, что важно при работе с квазитрехуровневыми средами. Соответственно, для кристаллов с содержанием ионов иттербия 100, 30, 20, 10, 5 и 2 ат.% толщины активных элементов составили 0,12, 0,4, 0,6, 1,2, 2,4 и 6 мм. Лазерные эксперименты проводились в резонаторе близком к полусферическому с глухим зеркалом радиусом кривизны 50 мм и плоским выходным зеркалом. В качестве источника накачки использовался одномодовый лазерный диод (для снижения влияния эффективности модового перекрытия в кристаллах различной толщины) мощностью 0,6 Вт со стабилизированной длиной волны 976 нм и спектральной полушириной линии  $< 1 \text{ нм}$ . Экспериментальная установка представлена на рисунке 1.

При использовании выходного зеркала с пропуском 5 % для всех кристаллов наблюдалась генерация излучения с поляризацией параллельной оси оптической индикатрисы показателя преломления  $N_p$  с дифференциальной эффективностью около 60 % и центральной длиной волны 1038 нм, что хорошо соответствует пику стимулированного излучения в кристалле для данной поляризации. Обзор генерационных характеристик кристаллов с различным содержанием активатора представлен в таблице 1.

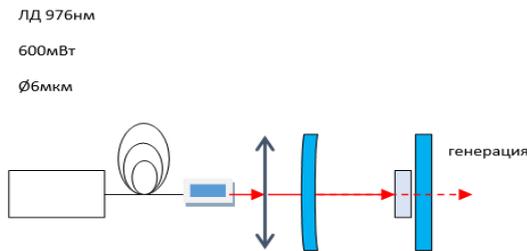


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки непрерывного лазера на основе кристалла  $Yb^{3+}:KY(WO_4)_2$

Таблица 1 – Генерационные характеристики кристаллов  $Yb^{3+}:KY(WO_4)_2$  для выходного зеркала пропусканием 5%

Концентрация $Yb^{3+}$ , ат%	$\eta_{дифф}$ , %	Поляризация	$\lambda$ , нм
2	64	$E//N_p$	1038
5	62		
10	60,4		
20	61		
30	60		
100	60		

При использовании зеркала с пропусканием 10 % наблюдалось переключение генерации в состояние поляризации параллельной оси  $N_m$  с длиной волны около 1030 нм, для которой наблюдается достижение порога генерации при меньшем

значении населенности верхнего лазерного уровня при данном уровне активных потерь в резонаторе. В данном случае дифференциальная эффективность генерации достигала 75 % и варьировалась от 72 до 75 % для кристаллов с различной концентрацией ионов иттербия. Обзор генерационных характеристик кристаллов с различным содержанием активатора представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Генерационные характеристики кристаллов  $Yb^{3+}:KY(WO_4)_2$  для выходного зеркала пропусканием 10%

Концентрация $Yb^{3+}$ , ат%	$\eta_{дифф}$ , %	Поляризация	$\lambda$ , нм
2	75	$E//N_m$	1026
5	74		1026
10	75		1026
20	72		1029
30	73		1030
100	72		1031

Разница в дифференциальных эффективностях может быть обусловлена погрешностью измерений и позволяет сделать вывод о том, что качество элементов не зависит от содержания активных центров. Максимальная выходная мощность излучателей достигала 240 мВт, что соответствует оптической эффективности генерации около 40 %.

УДК 618

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА МЕХАНИЗМА ВЫВЕРКИ КОЛЛИМАТОРА МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

Книга И. В.<sup>1,2</sup>, Маляревич А. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Пеленг»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Описано применение одного из методов аддитивных технологий – селективного лазерного спекания – для создания опытного образца механизма выверки коллиматора.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, селективное лазерное спекание, механизм выверки коллиматора.

## PRODUCTION OF A COLLIMATOR ALIGNMENT DEVICE'S PROTOTYPE BY SELECTIVE LASER SINTERING

Книга И.<sup>1,2</sup>, Malyarevich A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>OJSC "Peleng", Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Use one of the additive technologies methods – selective laser sintering – for prototyping a collimator alignment device is presented.

**Key words:** additive technologies, selective laser sintering, a collimator alignment device.

Адрес для переписки: Маляревич А. М., пр. Независимости, 65, г. Минск 220013, Республика Беларусь  
e-mail: malyar@bntu.by

Аддитивные технологии (АТ), которые в последние годы все более широко используются в отечественной промышленности, – это комплекс производственных процессов, когда изготовление изделия происходит путем добавления (от англ. add – добавлять) материала, в отличие от тради-

ционных технологий, где деталь создается методом удаления лишнего. В настоящее время производство с помощью АТ основано на процессе послойного синтеза изделий в монолитный объект заданной формы по электронной модели САПР. Аддитивные технологии называют по-разному: