

Таблица 1. Параметры выходного излучения

Коэфф-т поглощения на $\lambda = 1534$ нм, См^{-1}	Энергия импульса, мДж	Длительность импульса, нс	Пороговая мощность накачки, Вт
1,4	1,1	11	10,1
0,8	1,08	11,5	10,3
0,2	1,05	12	10,5

Из проведенных экспериментов видно, что при использовании менее концентрированных кристаллов наблюдается незначительное снижение энергии выходных импульсов и рост пороговой мощности накачки. Такое поведение может объясняться увеличением толщины насыщающихся поглотителей для достижения одинакового значения слабосигнального пропускания при снижении концентрации ионов Co^{2+} и соответствующего увеличения неактивных ненасыщаемых потерь.

УДК 621.375.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОСЛЕРОСТОВОГО ОТЖИГА КРИСТАЛЛОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ВОЛЬФРАМАТОВ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ИТТЕРБИЯ НА ИХ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОПТИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО

Кисель В.Э.¹, Горбаченя К.Н.¹, Гурецкий С.А.², Кулешов Н.В.¹¹НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ²НПЦ НАН РБ по материаловедению

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Исследовано влияние различных процессов послеростового отжига кристаллов $\text{Yb:KY}(\text{WO}_4)_2$ с высоким содержанием активатора на их спектрально-люминесцентные свойства и лучевую стойкость к излучению накачки.

Ключевые слова: кристаллы двойных вольфраматов, трехвалентные ионы иттербия, спектры поглощения.

STUDY OF THE INFLUENCE OF POST-GROWTH ANNEALING OF RARE-EARTH TUNGSTATE CRYSTALS WITH HIGH YTTERBIUM CONCENTRATION ON THEIR SPECTRAL CHARACTERISTICS AND OPTICAL QUALITY

Kisel V.E.¹, Gorbachenya K.N.¹, Guretskii S.A.², Kuleshov N.V.¹¹Center for Optical Materials and Technologies BNTU²Scientific and Practical Materials Research Center NAS Belarus

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Influence of different after-grows annealing processes on spectral properties as well as on light induced damage under pump radiation were investigated for heavily Yb-doped $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ crystals.

Key words: double tungstate crystals, trivalent ytterbium ions, absorption spectra.

Адрес для переписки: Кисель В.Э., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: vekisel@bntu.by

Кристаллы калий-иттриевого ($\text{KY}(\text{WO}_4)_2$) вольфрамата относятся к 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 Yb^{3+} замещают в данных соединениях ионы 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 Yb^{3+} от 0,2 ат.% до 100 ат.% по отношению к ионам Y^{3+} . С оптической точки зрения кристаллы являются двуосными. 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 $3,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}^{-1}$ вдоль оси оптической индикатрисы N_g , $3,0 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}^{-1}$ вдоль N_m и $2,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}^{-1}$ вдоль N_p .

Для исследования влияния послеростового отжига кристаллов редкоземельных вольфраматов с высокой концентрацией трехвалентных ионов иттербия на их спектральные характеристики и оптическое качество были изготовлены тестовые пластины толщиной 1–4 мм (рисунок 1).

Отжиг проводится после технологических операций по резке и шлифовке заготовок активных элементов, перед процессом чистовой полировки рабочих граней усиливающей среды.

Проведен отжиг кристаллов в двух температурных режимах с максимальными температурами $400 \text{ }^\circ\text{C}$ и $950 \text{ }^\circ\text{C}$. Отжиг проводился в атмо-

сфере кислорода на кварцевых подложках. Температура 950 °C близка к температуре деформации кристаллической решетки кристаллов $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ и $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$. Заготовки перед полировкой отжигались в течение 30 часов со скоростью нагрева и охлаждения около 20 град/час.



Рисунок 1 – Тестовые пластины концентрированных кристаллов $\text{Yb}^{3+}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$

Спектры поглощения измерялись для кристалла $\text{Yb}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ с содержанием ионов иттербия 20 ат.% в области 850–1100 нм.

Для записи спектров поглощения изготавливались плоскопараллельные пластинки толщиной 0,5 мм. Для кристаллов без отжига и образцов, прошедших отжиг в двух режимах, описанных выше. В спектре поглощения для всех кристаллов не наблюдается различий как в области полос поглощения ионов иттербия, так и вне полос. Спектры кристаллов для трех поляризаций излучения представлены на рисунке 2. Для поляризации $E//N_m$ наблюдается сильная полоса с максимумом на длине волны 981,2 нм и шириной на полувысоте около 3,5 нм. При изменении концентрации трехвалентных ионов иттербия в кристаллах наблюдалось пропорциональное изменению концентрации изменение коэффициентов поглощения. Измеренные спектры поглощения для тонких образцов, записанные в широкой спектральной области, представлены на рисунке 2.

Также для всех исследованных образцов кристалла $\text{KYb}_{20}\text{Y}_{80}(\text{WO}_4)$ время жизни верхнего лазерного состояния $^2\text{F}_{5/2}$ ионов Yb^{3+} остается постоянным, что свидетельствует об отсутствии дефектов в исследованных образцах кристаллов с различными послеростовыми операциями отжига. Время жизни верхнего $^2\text{F}_{5/2}$ мультиплета для всех исследованных образцов составляло 233 ± 5 мкс.

Для применения данных кристаллов в качестве активных элементов одним из ключевых параметров является его стойкость к воздействию лазерного излучения. В работе проведено исследование предельных величин падающей на кристалл интенсивностей излучения накачки, кото-

рые приводят к необратимому разрушению активной среды, как правило к растрескиванию. В качестве источника возбуждения использовался лазерный диод с волоконным выводом излучения (диаметр волокна 105 мкм, числовая апертура 0,22) с центральной длиной волны 976 нм и спектральной полушириной около 1 нм. Максимальная мощность лазерного диода составляла около 12 Вт. Излучение фокусировалось на кристалл (без принудительного охлаждения) с помощью линзового объектива с увеличением около 1^{\times} . Зависимость интенсивности излучения, приводящей к повреждению элемента, представлена на рисунке 3.

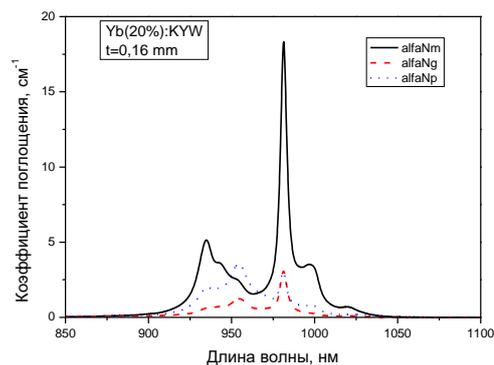


Рисунок 2 – Поляризованные спектры поглощения кристаллов $\text{KYb}_{20}\text{Y}_{80}(\text{WO}_4)$ в спектральной области 900–1100 нм

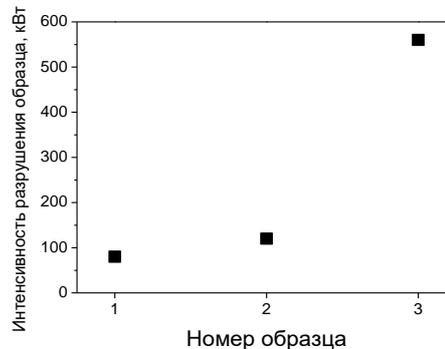


Рисунок 3 – Зависимость времени затухания люминесценции в порошке кристалла $\text{Yb}:\text{KYW}$ от весовой концентрации порошка в этиленгликоле

Номера образцов соответствуют кристаллам: 1 – без отжига; 2 – отжиг при температуре 400 °C; 3 – отжиг при температуре 950 °C. В данном случае заметно существенное увеличение стойкости кристаллов к воздействию излучения накачки, что объясняется релаксацией внутренних напряжений в высококонцентрированных кристаллах, особенно в случае отжига с температурой близкой к температуре деформации кристаллической решетки кристаллов $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$.