

УДК 621.375.826

## ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛА КОРРУНДА С ТИТАНОМ ПРИ ДИОДНОЙ НАКАЧКЕ В СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ОКОЛО 444 НМ

Кисель В. Э., Горбаченя К. Н., Гоман В. И.

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

**Аннотация.** Исследованы генерационные характеристики кристаллов  $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$  при накачке излучением InGaN лазерного диода в спектральной области 444 нм. Измерены выходные характеристики излучателя: пороговые мощности накачки, эффективность генерации, зависимости выходной мощности лазера от мощности накачки, спектральные характеристики излучения.

**Ключевые слова:** кристалл сапфира с титаном, диодная накачка, непрерывный режим генерации, трехвалентные ионы титана.

### LASER PERFORMANCE OF Ti:SAPPHIRE CRYSTAL UNDER DIODE PUMPING AT 444NM SPECTRAL REGION

Kisel V., Gorbachenya K., Goman V.

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

**Abstract.** The laser performance of  $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$  crystal under pumping by InGaAs laser diode emitting at 444 nm was investigated. The laser output parameters were measured: laser threshold, slope efficiencies, dependencies of output power on pump power, spectral properties of laser radiation.

**Key words:** Ti:sapphire crystal, diode pumping, continuous wave mode of operation, trivalent titanium ions.

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

Кристаллы  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$  представляют значительный интерес для использования в качестве активных сред лазерных систем ультракоротких импульсов и с перестройкой длины волны в широком спектральном диапазоне. Использование в качестве источников накачки для данных кристаллов дорогостоящих лазерных систем с удвоением частоты излучения значительно ограничивает круг возможных применений. Развитие и разработка лазерных диодов на основе нитридных структур InGaN, излучающих в сине-зеленой области спектра, совпадающей с полосами поглощения кристаллов  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ , значительно стимулировало интерес для разработки лазерных систем с диодной накачкой. Использование лазерных диодов в качестве источников накачки позволило также существенно увеличить эффективность лазера. В данной работе представлены результаты предварительных экспериментов по получению лазерной генерации на кристалле  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$  при накачке лазерным диодом с длиной волны 444 нм.

Сечение поглощения и сечение усиления в кристаллах титан-сапфира зависят от поляризации излучения (рисунок 1).

Максимум сечений поглощения и стимулированного испускания наблюдается для  $\pi$ -поляризации излучения параллельной оптической оси с кристалла, поэтому для проведения лазерных экспериментов использовалась ориентация кристаллов вдоль оси а.

Для увеличения эффективности поглощения излучения накачки использовались наиболее кон-

центрированные кристаллы. В качестве активных элементов изготавливались плоскопараллельные пластинки апертурой  $4 \times 4 \text{ мм}^2$  и толщиной 2,7 мм, что обеспечивало эффективное модовое перекрытие излучения накачки и моды резонатора в активном элементе и поглощение около 50 % излучения с длиной волны 444 нм. На полированные рабочие поверхности кристалла наносились антиотражающие покрытия на длину волны накачки и на область генерации 700–950 нм. Спектр поглощения кристаллов из которых изготавливались активные элементы представлен на рисунке 2.

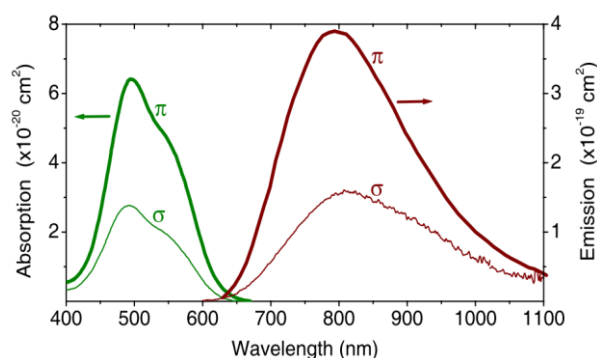


Рисунок 1 – Спектры поперечных сечений поглощения и стимулированного испускания кристаллов  $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$

Лазерные эксперименты проводились в полусферической конфигурации резонатора состоящей из сферического высокоотражающего зеркала радиусом кривизны  $R = 100 \text{ мм}$  и плоского

выходного зеркала с коэффициентом пропускания около 1 % в диапазоне длин волн 700–900 нм. Выходная характеристика излучателя представлена на рисунке 3.

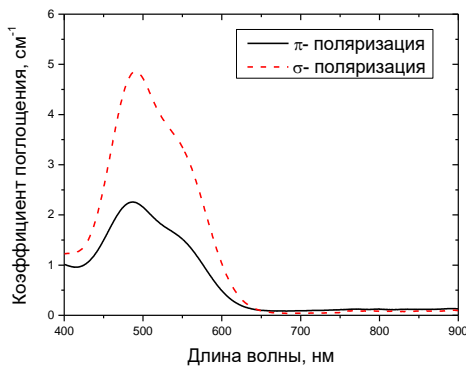


Рисунок 2 – Спектр поглощения концентрированного кристалла  $Ti^{3+}:Al_2O_3$

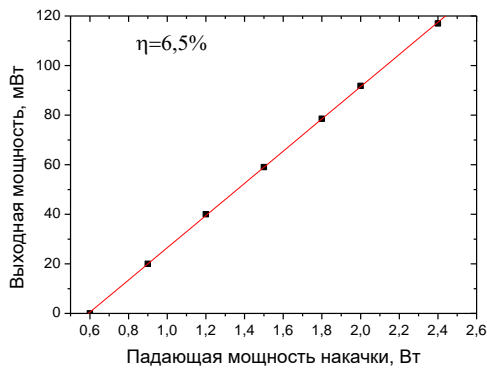


Рисунок 3 – Зависимость выходной мощности  $Ti^{3+}:Al_2O_3$  лазера от падающей мощности накачки

Порог лазерной генерации наблюдался при падающей мощности накачки около 0,6 Вт, что связано с достаточно низким поглощением, а максимальная выходная мощность составила около 120 мВт с дифференциальной эффективностью генерации около 6,5 %. Центральная длина волны генерации составила около 720 нм со спектральной

полушириной около 20 нм. При долговременной работе лазерного излучателя в течение 15–20 минут после включения наблюдалось практически двухкратное падение выходной мощности, что связано с образованием центров окраски в кристалле  $Al_2O_3:Ti^{3+}$ , увеличивающих потери в активном элементе. Временная зависимость выходной мощности представлена на рисунке 4.

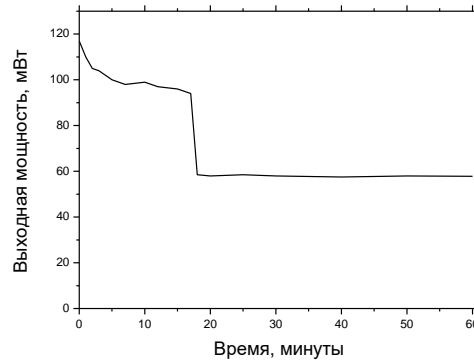


Рисунок 4 – Временная зависимость выходной мощности  $Ti^{3+}:Al_2O_3$  лазера

Подобное поведение выходной мощности излучателя может быть обусловлено использованием в качестве источника накачки лазерного диода с длиной волны 444 нм, что приводит к возникновению переходов с переносом заряда ( $Ti^{3+} \rightarrow Ti^{4+}$ ) и возникновению паразитных потерь в спектральной области генерации, связанных с поглощением из возбужденного состояния в спектральной области генерации. Пороговое значение энергии возбуждения для переходов с переносом заряда составляет около 4,17 эВ, и подобное поведение должно быть устранено при накачке источником излучения в меньшей энергией кванта или с длиной волны более 490 нм. Проведенные эксперименты, однако, свидетельствуют о достаточно высоком оптическом качестве выращенных кристаллов  $Al_2O_3:Ti^{3+}$  и возможности создания на их основе лазерных систем с прямой диодной накачкой.