

# **Передача энергии между ионами Er и Tm в следовой концентрации при ап-конверсии излучения диодного лазера с длиной волны 808 нм**

И. А. Ходасевич<sup>a</sup>, А. А. Корниенко<sup>b</sup>, Е. Б. Дунина<sup>b</sup>,  
П. П. Першукевич<sup>a</sup>, А. С. Грабчиков<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: asg@dragon.bas-net.by

<sup>b</sup> Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь

Приводятся данные по наблюдению энергопереноса с ионов эрбия на ионы туллия в кристалле KGW, участвующих в ап-конверсии ИК излучения диодного лазера с длиной волны излучения в области 0.8 мкм. Особенностью ситуации является то, что обнаруженный энергоперенос наблюдается в условиях низких (следовых) концентрациях этих ионов, когда энергообмен между ними сильно затруднен. Результаты представляют интерес в связи с использованием диодных лазеров для возбуждения твердотельных лазерных систем и необходимости контроля каналов энергопереноса для повышения их эффективности.

**Ключевые слова:** диодный лазер, твердотельные лазерные системы, ап-конверсия, следовая концентрация редкоземельных ионов, энергоперенос.

## **Введение**

Диодные лазеры востребованы как источники возбуждения генерации в твердотельных лазерных системах. Одни из наиболее распространенных диодных лазеров — лазеры, генерирующие излучение в диапазоне 0.8 мкм. Это излучение попадает в полосу поглощения некоторых редкоземельных ионов (РЗИ), в частности ионов неодима. Вопрос повышения эффективности таких лазерных систем связан не только с оптимальным подбором длины волны излучения диодного лазера для попадания в требуемую часть спектра поглощения РЗИ, но и с выбором теплового режима работы лазерной системы. Эффективность преобразования возбуждающей мощности в генерируемую также зависит от степени развития конкурирующих каналов энергобмена, часть из которых определяется нелинейно-оптическими взаимодействиями. С этой точки зрения представляет интерес исследование степени развития нелинейно-оптических процессов и соответствующих каналов энергопереноса, возникающих под воздействием излучения диодных лазеров в условно чистой кристаллической среде, не подвергшейся допированию. Как показано ранее [1], при уровнях возбуждаемой плотности мощности более кВт/см<sup>2</sup> легко достигаемых в стандартных схемах возбуждения, в кристаллических средах, таких как калий-гадолиниевый вольфрамат (KGW) и ванадат иттрия, реализуются ап-конверсионные процессы на РЗИ ( $Er^{3+}$  и  $Tm^{3+}$ ), присутствующих в низких концентрациях (до  $10^{-5}$  ат.-%). Показано, что такой процесс может снижать эффективность генерации более чем на 10 % [2].

Доклад посвящен анализу данных экспериментального исследования ап-конверсионной люминесценции в кристалле KGW размером 3×3×2 мм, вырезанном вдоль оси *b* и возбуждаемом излучением диодного лазера с длиной волны около 808 нм. Ап-конверсионная люминесценция возбуждалась при фокусировке пучка лазерного излучения в перетяжку диаметром 120 мкм. Плотность мощности в перетяжке превышала уровень в кВт/см<sup>2</sup>. Спектр люминесценции в диапазоне 400—800 нм регистрировался в 90° геометрии спектрометром MS3540i (СоларТИИ, Беларусь) с ПЗС камерой Spec 10:256 (Roper Scientific, США).

## **Результаты**

Спектр ап-конверсионной люминесценции приведен на рис. 1. Две спектральные полосы в зеленой области (520—560 нм), доминирующие по интенсивности, обусловлены ап-конверсией на ионах эрбия [1]. При превышении мощностью возбуждения 1.7 Вт появлялся также сигнал в голубой области спектра при 475 нм. Известно [1, 2], что люминесценция в этой области соответствует ап-конверсии ИК излучения на ионах туллия.

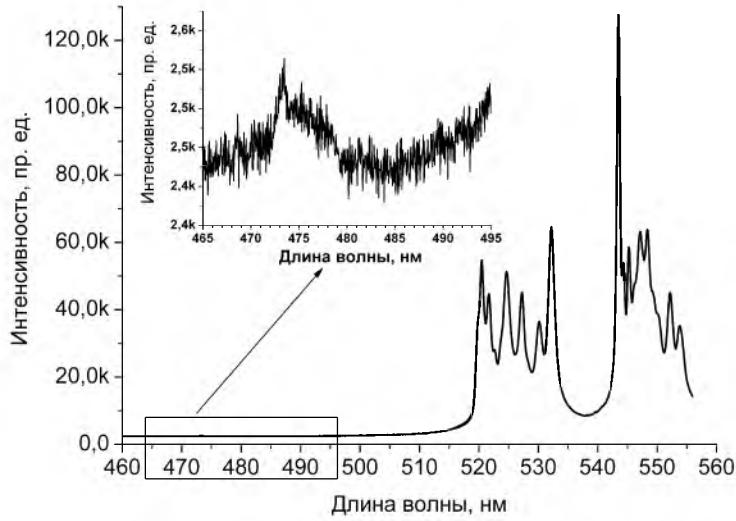


Рис. Спектр ап-конверсионной люминесценции кристалла KGW в области 460—560 нм при возбуждении излучением мощностью 1.7 Вт.

Экспериментальные результаты демонстрируют некоторые особенности по сравнению с результатами [1, 2]. Они заключаются в том, что описанная в них голубая ап-конверсионная люминесценция в области 475 нм возникает вследствие поглощения трех фотонов ИК излучения в области 1060—1180 нм. В наших условиях возбуждение осуществлялось излучением с  $\lambda = 808$  нм. Как отмечалось в [3], прямое возбуждение голубой ап-конверсионной люминесценции на ионах туллия не наблюдалось. В то же время в условиях энергопереноса между дополнительно дипированными РЗИ [3] такая люминесценция возникает, в частности, при содопировании ионами эрбия [4]. Еще одна особенность нашего эксперимента — низкая концентрация ионов, минимизирующая прямой энергообмен между ионами туллия и эрбия. В литературе описаны эксперименты, демонстрирующие возможность миграции энергии через решетку между отдаленными ионами, т. е. при низкой концентрации [4, 5].

### Заключение

Полученные данные позволяют сделать вывод о наблюдении еще одного канала энергопереноса в недопированном кристалле KGW. В качестве механизмов обмена можно предположить наряду с прямой передачей энергии между ионами эрбия и туллия, также их энергообмен через кристаллическую решетку. Результаты представляют интерес при разработке лазерных систем с диодной накачкой и производстве лазерных и нелинейно-оптических кристаллических элементов.

Исследования частично поддержаны ГНПИ “Фотоника, опто- и микроэлектроника”, задание 1.1.02.

### Литература

1. И.А. Ходасевич, А.А. Корниенко, Е.Б. Дунина, А.С. Грабчиков. *Опт. и спектр.* 2013. Т. 115, № 3. С. 372–382.
2. J.J. Neto, Ch. Artlett, A. Lee, J. Lin, D. Spence, J. Piper, N.U. Wetter, H. Pask. *Opt. Mater. Express.* 2014. Vol. 4, No. 5. P. 889–902.
3. R. Lisieckie, W. Ryba-Romanowski, T. Lukasiewicz. *Apl. Phys. B.* 2005. Vol. 81. P. 43–47.
4. S. Tanabe, R. Suzuki, N. Soga, T. Tanada. *J. Opt. Soc. Am. B.* 1994. Vol. 11, No.5. P. 933–942.
5. M.J. Weber. *Phys. Rev. B.* 1971. Vol. 4, No. 9. P. 2932–2939.
6. L.A. Rieseberg, H.W. Moos. *Phys. Rev.* 1968. Vol. 174, No. 2. P. 429–438.

# **Energy Transfer Between Er and Tm Ions in the Trace Concentration at Up-Conversion of Diode Laser Radiation with the 808 nm Wavelength**

I. A. Khodasevich<sup>a</sup>, A. A. Kornienko<sup>b</sup>, E. B. Dunina<sup>b</sup>,  
P. P. Pershukevich<sup>a</sup>, A. S. Grabtchikov<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus; e-mail: asg@dragon.bas-net.by*  
<sup>b</sup> *Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus*

Experimental results on observation of energy transfer between erbium and thulium ions in KGW crystal due to up-conversion of diode laser radiation with wavelength in the spectral range near 0.8  $\mu\text{m}$ . Feature of the situation is an observation of the energy transfer in conditions of very low (trace) concentration of these ions. Results are of interest due to applications of diode lasers for pumping the solid-state laser systems and the need for control of energy transfer for increasing efficiency.

**Keywords:** diode laser, solid-state laser systems, up-conversion, trace concentrated rare-earth ions, energy transfer.