

УДК 621.375.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АП-КОНВЕРСИОННЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРА С РЕЗОНАНСНОЙ НАКАЧКОЙ НА КРИСТАЛЛЕ Er:KY(WO₄)₂Горбаченя К.Н.¹, Дернович О.П.¹, Кисель В.Э.¹, Ясюкевич А.С.¹,
Кравцов А.В.², Колесова И.М.², Гурецкий С.А.², Кулешов Н.В.¹¹НИИ «Оптических материалов и технологий» БНТУ

Минск, Республика Беларусь

²ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»

Минск, Республика Беларусь

Излучение спектральной области 1,5-1,6 мкм имеет ряд особенностей, интересных для практических приложений в системах оптической локации и дальнометрии. Во-первых, оно является сравнительно безопасным для глаз. Такая особенность обусловлена достаточно высоким коэффициентом поглощения в этой спектральной области элементов светопреломляющей системы глаза, благодаря чему лишь малая доля падающей энергии достигает чувствительной сетчатки. Во-вторых, излучение в области 1,5-1,6 мкм обладает малыми потерями при прохождении через атмосферу. На сегодняшний день существует ряд лазерных источников, излучающих в спектральной области 1,5-1,6 мкм. Однако наибольшее практическое распространение получили твердотельные лазеры на трехвалентных ионах эрбия, отличающиеся относительной простотой, компактностью и возможностью работы в различных режимах генерации.

В последние годы для Er – содержащих лазерных кристаллов, излучающих в области 1,5-1,6 мкм (переход $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$), всё активнее используется накачка в области 1,5 мкм, т.е. прямое возбуждение ионов Er³⁺ непосредственно на верхний лазерный уровень $^4I_{13/2}$. В этом случае по сравнению с использованием схем с соактивацией активных сред ионами Er³⁺ и Yb³⁺ тепловыделение из-за малой разности энергий квантов накачки и генерации сводится к минимуму, исключаются потери на перенос энергии и ап-конверсию с промежуточного уровня $^4I_{11/2}$, вследствие чего эффективность генерации значительно возрастает.

В работе [1] сообщается о получении лазерной генерации при использовании кристаллов Er(2 ат. %):KY(WO₄)₂ (KYW) при резонансной накачке на длине волны 1522 нм. Получена максимальная выходная мощность 50 мВт на длине волны 1609 нм при поглощенной мощности накачки 340 мВт. Однако дифференциальная эффективность по поглощенной мощности накачки не превышала 39%. В данной работе представлены результаты исследования влияния ап-конверсионных переходов на генерационные характеристики лазера с резонансной накачкой на кристалле Er:KY(WO₄)₂.

Для лазера на основе кристалла Er(2 ат. %):KYW, продемонстрированного в работе [1], выполнено математическое моделирование

зависимости выходной мощности лазера от поглощенной мощности накачки для выходных зеркал с пропусканием 1 %, 2 % и 3 % без учета влияния ап-конверсионных переходов. На рисунке 1 приведена рассчитанная зависимость в одной системе координат с экспериментальной для зеркала с пропусканием 2 %, при использовании которого была получена максимальная выходная мощность. Как видно из рисунка, имеет место значительное расхождение в экспериментальных и расчетных данных, что может быть связано с существенным влиянием ап-конверсионных процессов для кристаллов KYW с концентрацией ионов-активаторов Er³⁺, превышающей $1 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$. В ходе лазерных экспериментов с кристаллом Er(2 ат. %):KYW наблюдалась интенсивная ап-конверсионная люминесценция в активном элементе. Спектры ап-конверсионной люминесценции в области 550 нм (переходы $^2H_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ и $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$) и 980 нм (переход $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$), зарегистрированные в режиме генерации, с отнесением линий к соответствующим переходам, приведены на вставке на рисунке 1.

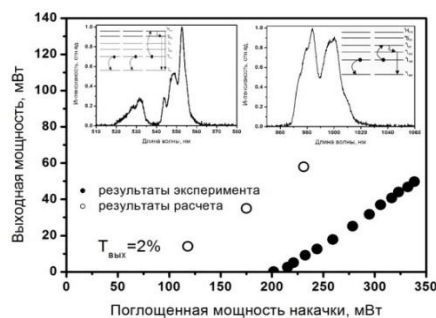


Рисунок 1 – Теоретические и экспериментальные выходные зависимости лазера на кристалле Er(2 ат. %):KYW. На вставке – спектр ап-конверсионного испускания с отнесением линий

Для исследования влияния ап-конверсионных переходов на генерационные характеристики лазера на кристалле Er(2 ат. %):KYW было проведено дополнительное математическое моделирование в рамках системы балансных уравнений, в которой учитывался ап-конверсионный переход ($^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$) + ($^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$) с последующим испусканием фотона с уровня $^4I_{11/2}$ на длине волны 980 нм, как характеризующийся наибольшим влиянием на генерацию в спектральной области

1.5-1.6 мкм. Схема уровней и переходов между ними, учитываемых в математической модели, представлены на рисунке 2.

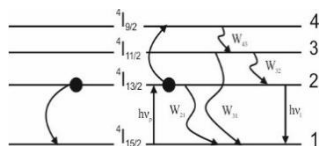


Рисунок 2 – Схема энергетических уровней и переходов между ними, рассматриваемых в модели с учетом ап-конверсионного перехода в области 980 нм

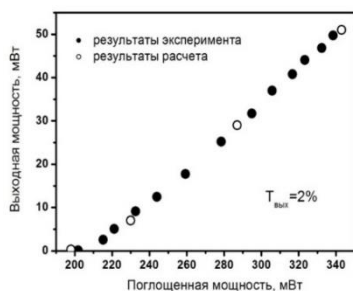


Рисунок 3 – Результаты расчета зависимости выходной мощности от поглощенной мощности накачки лазера на кристалле Er(2 ат.%) :KYW с учетом ап-конверсионного перехода в области 980 нм

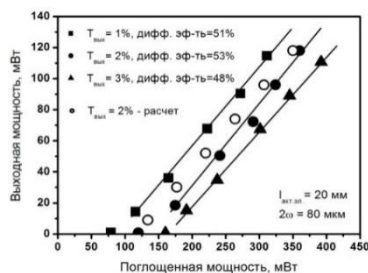


Рисунок 4 – Зависимость выходной мощности лазера на кристалле Er(1 ат.%) :KYW от поглощенной мощности накачки

По результатам моделирования определено, что для коэффициента ап-конверсии равного $1,0 \cdot 10^{-17} \text{ см}^{-3}$ наблюдается хорошее соответствие экспериментальных данных и результатов моде-

лирования для всех выходных зеркал как по порогам генерации, так и по значениям дифференциальной эффективности по поглощенной мощности накачки. Результаты моделирования для выходного зеркала с пропусканием 2 % в сравнении с экспериментальными данными показаны на рисунке 3.

С целью определения условий для повышения выходной мощности лазера на кристалле Er:KYW проведены эксперименты с кристаллом с вдвое уменьшенным содержанием ионов Er^{3+} (0.5 ат.%). В результате уменьшения содержания ионов-активаторов Er^{3+} в кристалле Er:KYW удалось увеличить максимальную выходную мощность и дифференциальную эффективность по поглощенной мощности накачки лазера до 118 мВт и 53 %, соответственно. При этом порог генерации для зеркал с пропусканием 1 % и 2 % понизился до уровня 75 мВт и 120 мВт, соответственно. Длина волны генерации и поляризация излучения соответствовали случаю использования кристалла с концентрацией ионов эрбия 2 ат.%. По результатам моделирования для кристалла Er(1 ат.%) :KYW с учетом определенного ранее коэффициента ап-конверсии наблюдается достаточно хорошее соответствие экспериментальных и теоретических данных. На рисунке 4 показана расчетная зависимость для выходного зеркала с пропусканием 2 %.

Генерационные характеристики лазера на кристалле Er(1 ат.%) :KYW представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Генерационные характеристики кристалла Er(1 ат.%) :KYW

Пропускание выходного зеркала, %	Дифференциальная эффективность, %	Выходная мощность, мВт	Длина волны генерации, нм
1	51	114	1609
2	53	118	
3	48	110	

Литература

1. In-band pumped room-temperature Er:KY(WO₄)₂ laser emitting near 1.6 μm / K.N. Gorbachenya, V.E. Kisel, A.S. Yasukevich, A.A. Pavlyuk, and N.V. Kuleshov // Laser Phys. – 2013. – Vol. 23. 125005.

УДК 621.372.821.1

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ МЕЖДУ ИОНАМИ ТУЛИЯ В КРИСТАЛЛАХ ВОЛЬФРАМАТОВ И МОЛИБДАТОВ

Гусакова Н.В.¹, Ясюкевич А.С.¹, Павлюк А.А.², Кулешов Н.В.¹

¹НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ
Минск, Республика Беларусь

²Институт неорганической химии имени А.В. Николаева, СО РАН
Новосибирск, Российская Федерация

Несмотря на многочисленные работы, посвященные спектроскопическим и генерационным характеристикам кристаллов молибдатов и

вольфраматов активированных ионами тулия, исследование влияния концентрации ионов Tm^{3+} в данных матрицах остается актуальной задачей.