

## СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ И ЛАЗЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛА КАЛИЙ ИТТРИЕВОГО ВОЛЬФРАМАТА, АКТИВИРОВАННОГО ИОНА ЭРБИЯ

М. Б. Барашкова

Лазеры, излучающие в области около 1,6 мкм, являются условно безопасными для зрения. Они находят многочисленные применения в системах оптической локации и дальнометрии. Наибольшее практическое распространение в настоящее время получили твердотельные лазеры на ионах эрбия. Для получения генерации в области спектра 1,5–1,6 мкм на эрбиевых средах традиционно используются материалы соактивированные ионами  $Yb^{3+}$  и  $Er^{3+}$ . Накачка происходит в полосу поглощения иттербия с последующим переносом энергии на уровень  $^4I_{11/2}$  и дальнейшей релаксацией на верхний лазерный уровень  $^4I_{13/2}$  иона эрбия. В последнее время для эрбиевых сред находит все большее применение накачка в области около 1,5 мкм, так называемая резонансная накачка [1]. В этом случае осуществляется прямое возбуждение ионов  $Er^{3+}$  непосредственно на верхний лазерный уровень  $^4I_{13/2}$ . Данный подход позволяет существенно снизить тепловыделение из-за малой разности энергий квантов накачки и генерации, а также исключает потери энергии при переносе с промежуточного уровня  $^4I_{11/2}$ .

Целью данной работы является исследование спектроскопических и лазерных характеристик кристаллов  $KY(WO_4)_2$  с различными концентрациями ионов  $Er^{3+}$  (1 % и 2 %).

На первом этапе работы при помощи двухлучевого спектрофотометра Cary-5000 были зарегистрированы спектры коэффициентов поглощения. На основе полученных измерений, были рассчитаны сечения поглощения (рис.1).

Спектры поперечных сечений поглощения кристалла характеризуются наличием выраженного пика на длине волны 1534 нм. Максимальное значение поперечного сечения поглощения составило  $17.8 \times 10^{-25} \text{ м}^2$  для поляризации излучения  $E \parallel N_m$  на длине волны 1534 нм. Сечение поглощения для двух других поляризаций уступает  $N_m$ -поляризации. Так, для поляризации  $E \parallel N_p$  в той же спектральной области значение сечения поглощения составило  $10.2 \times 10^{-25} \text{ м}^2$ , а для поляризации  $E \parallel N_g$  –  $13.02 \times 10^{-25} \text{ м}^2$ . Таким образом, оптическая накачка кристалла будет наиболее эффективной при использовании излучения, поляризованного вдоль оси  $N_m$  кристалла.

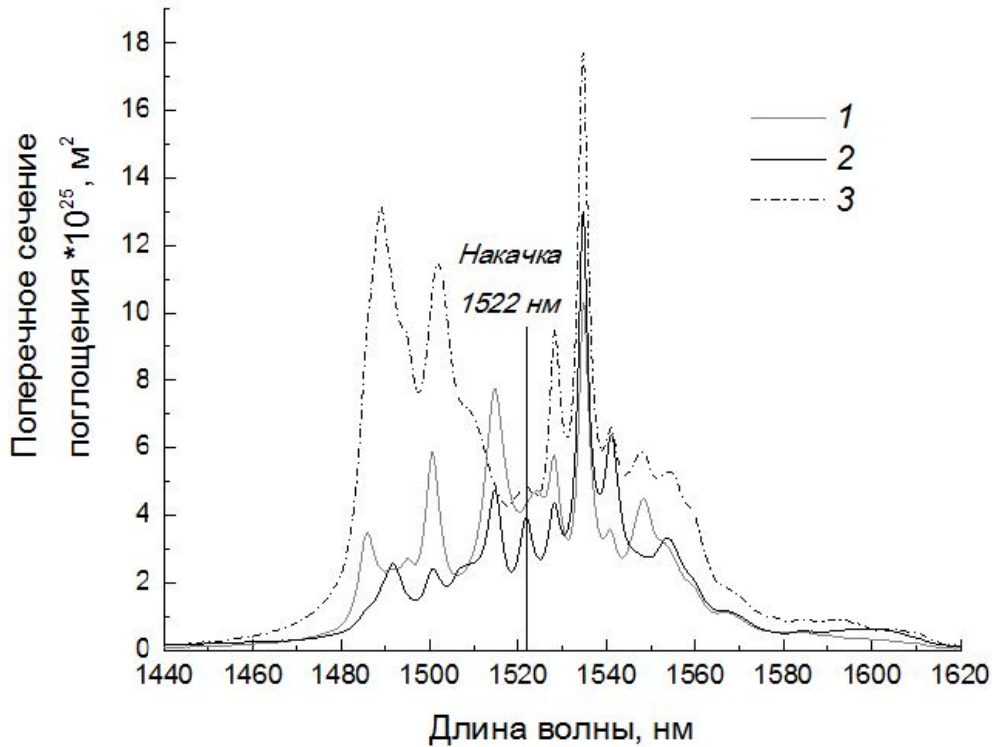


Рис.1. Спектры поперечных сечений поглощения кристалла  $Er:KY(WO_4)_2$  в поляризованном свете  
 1 –  $E||N_p$ ; 2 –  $E||N_g$ ; 3 –  $E||N_m$

Спектры стимулированного испускания кристалла  $Er:KYW$  рассчитывались по модифицированному методу соответствия [1] на основе спектров сечений поглощения, радиационного времени жизни ионов эрбия.

$$\sigma_{em}^{\alpha} = \frac{3\sigma_{abs}^{\alpha}(\lambda) \exp\left(-\frac{hc}{kT\lambda}\right)}{8\pi n^2 \tau_{rad} c \sum_{\beta} \int \lambda^{-4} \sigma_{abs}^{\beta}(\lambda) \exp\left(-\frac{hc}{kT\lambda}\right) d\lambda}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{abs}^{\alpha}$  – сечение поглощения ионов  $Er^{3+}$  в кристалле  $Er:KY(WO_4)_2$ ;  $\alpha$  – состояние поляризации;  $h$  – постоянная Планка;  $c$  – скорость света;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура кристалла;  $\tau_{rad}$  – радиационное время жизни примесного центра на верхнем мультиплете.

Определенное нами радиационное время жизни уровня  ${}^4I_{13/2}$  составило 3,1 мс.

Спектры сечений вынужденного излучения представлены на рисунке 2. В спектрах сечений стимулированного испускания ионов  $Er^{3+}$  в кристалле  $KY(WO_4)_2$  в области 1.5–1.6 мкм наиболее интенсивный максимум  $25.04 \times 10^{-25} \text{ м}^2$  наблюдается для поляризации излучения вдоль оси  $N_m$  кристалла. На рисунке 2 также видна широкая полоса вынужденного излучения в области 1.6 мкм, которая может быть использована для получения лазерной генерации.

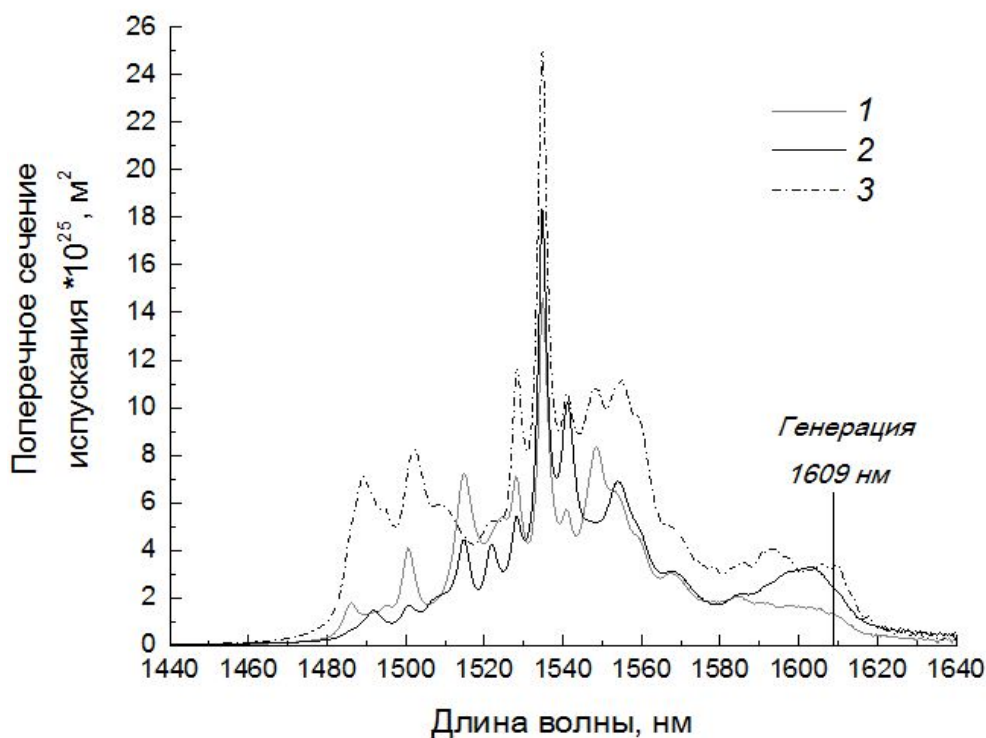


Рис.2 . Спектры поперечных сечений  
вынужденного излучения  
кристалла  $Er:KY(WO_4)_2$   
1 – E||N<sub>p</sub>; 2 – E||N<sub>g</sub>; 3 – E||N<sub>m</sub>

Для оценки параметров фокусировки излучения накачки и моды резонатора было проведено моделирование непрерывного режима генерации  $Er:KYW$  лазера с резонансной накачкой в рамках системы балансных уравнений [1].

По результатам моделирования определены оптимальные в отношении достижения выходной мощности лазера значения перетяжек излучения накачки и генерации. Для обоих кристаллов эти значения составили 40–45 мкм. С учетом данных по размерам перетяжек пучков накачки и генерации был выполнен расчет фокусирующей системы и параметров резонатора по методу ABCD – матриц [2].

Лазерные эксперименты в непрерывном режиме генерации проводились в трёхзеркальном резонаторе, схема которого приведена на рисунке 3.

Из таблицы видно, что максимальная выходная мощность лазера на основе кристалла  $Er(1\%):KYW$  выше, чем для  $Er(2\%):KYW$  лазера. В то время как, порог генерации выше у второго лазера. При использовании выходного зеркала с коэффициентом пропускания 2 % дифференциальная эффективность по поглощенной мощности накачки для  $Er(1\%):KYW$  лазера составила 40 %, для  $Er(2\%):KYW$  – 36 %.

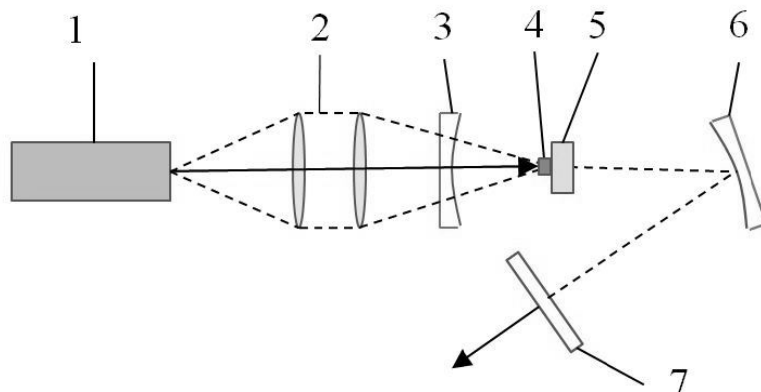


Рис.3. Схема экспериментальной установки для исследования генерационных характеристик лазера на кристалле  $Er:KY(WO_4)_2$  с резонансной накачкой  
 1 – лазер на кристалле  $Er, Yb:GdAB$  с диодной накачкой; 2 – фокусирующая система линз;  
 3,6 – сферические зеркала; 4 – активный элемент;  
 5 – медный теплоотвод; 7 – плоское выходное зеркало

Таблица

**Результаты лазерных экспериментов с кристаллом  $Er:KY(WO_4)_2$  в условиях резонансной накачки в спектральной области 1.5 мкм**

$Er(1\%):KY(WO_4)_2$					$Er(2\%):KY(WO_4)_2$				
$T, \%$	$\lambda_{ген}, \text{нм}$	$P_{пор}, \text{мВт}$	$\eta_{диф}, \%$	$P_{вых.макс}, \text{мВт}$	$T, \%$	$\lambda_{ген}, \text{нм}$	$P_{пор}, \text{мВт}$	$\eta_{диф}, \%$	$P_{вых.макс}, \text{мВт}$
1	1609	101	25	74	1	1609	190	20	27
2		155	40	110	2		210	36	47
3		167	28	73	3		215	32	42

Полученные результаты показывают, что кристалл  $KY(WO_4)_2$ , активированный 1%  $Er^{3+}$ , имеет дифференциальную эффективность и выходную мощность выше, чем кристалл  $Er(2\%):KYW$ . Это не согласуется с результатами моделирования, так как расчеты показывают большие значения выходной мощности для второго кристалла. Такое несоответствие мы связываем с влиянием ап-конверсии при переходе  $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ . При проведении экспериментов с кристаллом  $Er(2\%):KYW$  наблюдалось интенсивное зеленое свечение, которое отсутствовало при работе с  $Er(1\%):KYW$ .

В результате выполнения работы проведено исследование спектральных и генерационных характеристик  $Er:KYW$  лазера при резонансной накачке в спектральной области 1.5 мкм. Была получена лазерная генерация в кристалле  $Er(1am. \%):KY(WO_4)_2$  и  $Er(2am. \%):KY(WO_4)_2$  в непрерывном режиме работы лазера на длине волны 1609 нм. Таким образом, показана перспективность создания эффективных лазеров с резонансной накачкой на основе кристалла  $Er:KYW$ .

## Литература

1. *Кулешов Н. В., Ясюкевич А. С.* Активные среды твердотельных лазеров. Минск. 2010. С. 133.
2. *Звелто О.* Принципы лазеров / Пер. с англ.; 3-е изд.; перераб. и доп. М.: Мир, 1990. – С. 560

# РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

**А. П. Васюкович**

## ВВЕДЕНИЕ

Основная задача нейтронно-физического расчета реактора состоит в физическом обосновании конструкции и определении совокупности физических параметров реактора, удовлетворяющего поставленным требованиям. Главной искомой величиной в физико-нейтронном расчете является коэффициент размножения. Величина коэффициента размножения реактора и его другие физические характеристики зависят от конструкции активной зоны, ее вещественного состава, вида теплоносителя и его параметров. Поэтому почти всегда физический расчет энергетического реактора тесно переплетается с тепловым расчетом и повторяется каждый раз при внесении в конструкцию реактора каких-либо изменений. Физический расчет фактически всегда является проверочным, поскольку его можно выполнить только в том случае, когда известна конструкция всех элементов реактора.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы являлось изучение влияния обогащения топлива на величину эффективного коэффициента размножения и расчет температурных эффектов реактивности.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА

В качестве рассчитываемого реактора выбран ВВЭР–1200, где в качестве тепловыделяющих сборок используются ТВС–2М, являющиеся прототипом для АЭС–2006. Расчет выполнен в рамках одnogруппового диффузионно-возрастного приближения и произведен на начало топливной компании.

Весьма простой и в то же время хорошо развитой теорией ядерных реакторов является теория гомогенных ядерных реакторов. Поэтому в