

Генерация двухмикронного лазерного излучения в кристаллах $\text{NaLa}_{1/2}\text{Gd}_{1/2}(\text{WO}_4)_2$, активированных ионами Tm^{3+}

Ф.А.Большиков, Е.В.Жариков, Н.Г.Захаров, Д.А.Лис,
П.А.Рябочкина, К.А.Субботин, О.Л.Антипов

Впервые реализована лазерная генерация на переходе ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$ ионов Tm^{3+} в кристаллах $\text{NaLa}_{1/2}\text{Gd}_{1/2}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tm}^{3+}$ в условиях лазерной диодной накачки. Получено лазерное излучение π - и σ -поляризаций на длинах волн 1908 и 1918 нм при дифференциальной эффективности 28 % и 25 % соответственно.

Ключевые слова: генерация двухмикронного лазерного излучения, ионы Tm^{3+} , кристаллы $\text{NaLa}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}(\text{WO}_4)_2$.

Использование двухмикронного лазерного излучения в медицине, а также для мониторинга ряда газов (например, NO_2 , CO_2 , NH_3) в атмосфере обуславливает актуальность работ по поиску новых активных сред для генерации такого излучения. Получение двухмикронной генерации возможно в твердотельных матрицах, активированных ионами Ho^{3+} (переход ${}^5\text{I}_7 \rightarrow {}^5\text{I}_8$) либо Tm^{3+} (переход ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$). Структура энергетических уровней ионов Tm^{3+} в кристаллических матрицах такова, что заселение верхнего лазерного уровня ${}^3\text{F}_4$ этих ионов происходит в результате кросс-релаксации (${}^3\text{H}_4 \rightarrow {}^3\text{F}_4$, ${}^3\text{H}_6 \rightarrow {}^3\text{F}_4$) при накачке уровня ${}^3\text{H}_4$ ионов Tm^{3+} . Подобная схема заселения уровня ${}^3\text{F}_4$ используется для генерации двухмикронного лазерного излучения как при ламповой накачке [1–3], так и при накачке коммерческими лазерными диодами ($\lambda_p \approx 800$ нм) [4, 5].

В настоящее время с целью создания компактных двухмикронных лазеров средней мощности исследуются кристаллы шеелитоподобных двойных вольфраматов, активированных ионами Tm^{3+} [6–12]. Вследствие разупорядоченности кристаллической структуры данных матриц линии в спектрах поглощения и люминесценции ионов Tm^{3+} в них существенно неоднородно уширены. При этом широкие полосы поглощения иона активатора обеспечивают меньшую критичность к вариациям спектра источников накачки, а широкие полосы люминесценции предполагают возможность получения перестраиваемой по частоте лазерной генерации, в том числе – возможность тонкой настройки частоты генерации на частоту поглощения конкретных газов.

Впервые о генерации в кристаллах $\text{NaGd}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tm}^{3+}$ сообщалось в работе [8], а чуть позже [6] в данных кристаллах была реализована перестраиваемая в диапазоне

~ 200 нм генерация при накачке излучением лазера на $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Ti}^{3+}$, а также получена лазерная генерация на длине волны 1997 нм при полупроводниковой лазерной накачке. Авторы [7] сообщают о генерации двухмикронного излучения в кристаллах $\text{NaLa}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tm}^{3+}$ при накачке излучением лазера на основе $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Ti}^{3+}$.

В настоящей работе представлены результаты первого, насколько нам известно, эксперимента по получению генерации в кристаллах $\text{NaLa}_x\text{Gd}_{1-x}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tm}^{3+}$. Кристаллы смешанных шеелитоподобных вольфраматов $\text{NaLa}_x\text{Gd}_{1-x}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tm}^{3+}$ с вариацией состава La–Gd занимают промежуточное положение между вольфраматами лантана и гадолиния. При этом проведенные нами оценки сечений поглощения на переходе ${}^3\text{H}_6 \rightarrow {}^3\text{H}_4$ и вынужденного излучения на переходе ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$ ионов Tm^{3+} в кристаллах смешанных шеелитов не уступают аналогичным характеристикам для кристаллов $\text{NaGd}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tm}^{3+}$ [6, 9, 12] и $\text{NaLa}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tm}^{3+}$ [7].

Кристаллы $\text{NaLa}_{1/2}\text{Gd}_{1/2}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tm}^{3+}$ были выращены методом Чохральского из расплава состава $\text{NaLa}_{0.46}\text{Gd}_{0.46}\text{Tm}_{0.07}(\text{WO}_4)_2$. Для оптимального поглощения излучения накачки лазерные активные элементы (АЭ) цилиндрической формы вырезались из ориентированного с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-4 кристалла таким образом, чтобы оптическая ось кристалла была перпендикулярна оси цилиндрического АЭ. Размеры АЭ (диаметр 3 мм, длина 5 мм) удовлетворяли условию эффективной накачки при продольной полупроводниковой лазерной накачке вблизи $\lambda_p \sim 794$ нм.

На торцы АЭ наносилось просветляющее покрытие для длин волн излучений накачки и генерации. На длине волны накачки остаточное отражение R_{794} составило 0.67 %, а на длине волны генерации $R_{1910} = 0.21\%$.

Схема установки для получения лазерной генерации на кристалле $\text{NaLa}_{1/2}\text{Gd}_{1/2}(\text{WO}_4)_2 : \text{Tm}^{3+}$ представлена на рис.1. Источником накачки служила линейка лазерных диодов (ЛЛД) мощностью 40 Вт, температура которой поддерживалась постоянной и равной $\sim 26.5^\circ\text{C}$, что соответствовало длине волны излучения ~ 794 нм (ширина линии излучения диода ~ 2 нм). Для уменьшения тепловой нагрузки на АЭ средняя мощность накачки уменьшалась с помощью обтюлятора, формирующего импульсы излучения длительностью 10 мс, следующие с частотой 5 Гц. Излучение ЛЛД с волоконным выходом

Ф.А.Большиков, П.А.Рябочкина. Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева, Россия, 430005, Саранск, ул. Большевикская, 68; e-mail: bolschikovfa@mail.ru, ryabochkina@freemail.mrsu.ru
Е.В.Жариков, Д.А.Лис, К.А.Субботин. Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: evzh@mail.ru

Н.Г.Захаров, О.Л.Антипов. Институт прикладной физики РАН, Россия 603950 Н.Новгород, ул. Ульянова, 46; e-mail: antipov@appl.sci-nnov.ru, nikitagz@rambler.ru

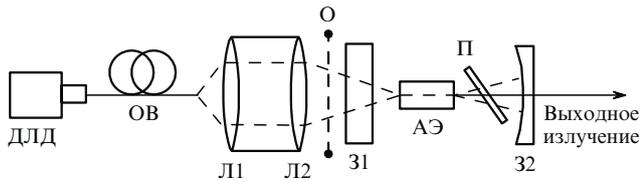


Рис.1. Схема установки для получения генерации:

ЛЛД – линейка лазерных диодов; ОВ – оптическое волокно; Л1 и Л2 – линзы телескопа; О – объектив; 31 – дихроичное зеркало; АЭ – активный элемент; П – стеклянная пластинка; 32 – плосковогнутое зеркало.

(диаметр волокна 800 мкм, числовая апертура 0.14) проецировалось внутрь активного элемента с помощью двухлинзового телескопа. Для эффективного охлаждения АЭ, обернутый индией фольгой, помещался в медный радиатор, температура которого поддерживалась постоянной и равной $\sim 18^\circ\text{C}$ с помощью элемента Пельтье. В эксперименте использовался резонатор, образованный плоским дихроичным зеркалом 31 ($T_p \approx 90\%$, $T_{\text{las}} \approx 0.5\%$) и плосковогнутым зеркалом 32 ($T_{\text{las}} \approx 11\%$) с радиусом кривизны сферической поверхности 200 мм. Для выделения лазерного излучения π - либо σ -поляризации внутрь резонатора вносилась стеклянная пластинка, установленная под углом Брюстера к оси системы.

В ходе эксперимента в кристаллах $\text{NaLa}_{1/2}\text{Gd}_{1/2}(\text{WO}_4)_2:\text{Tm}^{3+}$ было получено лазерное излучение π - и σ -поляризации, что соответствует оценкам спектральных зависимостей сечения вынужденного излучения на переходе ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$ ионов Tm^{3+} в кристаллах $\text{NaGd}(\text{WO}_4)_2:\text{Tm}^{3+}$ [6], $\text{NaLa}(\text{WO}_4)_2:\text{Tm}^{3+}$ [7] и $\text{NaLa}_{1/2}\text{Gd}_{1/2}(\text{WO}_4)_2:\text{Tm}^{3+}$ для π - и σ -поляризации. Параметры лазерной генерации в случае этих поляризаций для $\text{NaLa}_{1/2}\text{Gd}_{1/2}(\text{WO}_4)_2:\text{Tm}^{3+}$ приведены в табл.1.

На рис.2 представлены зависимости выходной мощ-

Табл.1. Параметры генерации для кристалла $\text{NaLa}_{1/2}\text{Gd}_{1/2}(\text{WO}_4)_2:\text{Tm}^{3+}$.

Поляризация	Дифференциальная эффективность (%)	Полная эффективность (%)	Длина волны генерации (нм)
π	28	11	1908
σ	25	9	1918

ности лазерного излучения от мощности накачки для π - и σ -поляризации. Дифференциальная эффективность генерации σ -поляризации составила 25 %, а π -поляризации – 28 %.

На основании выполненных нами оценок спектроскопических характеристик ионов Tm^{3+} в кристаллах шеелитов с вариацией состава La–Gd, а также результатов настоящего эксперимента можно сделать вывод о том,

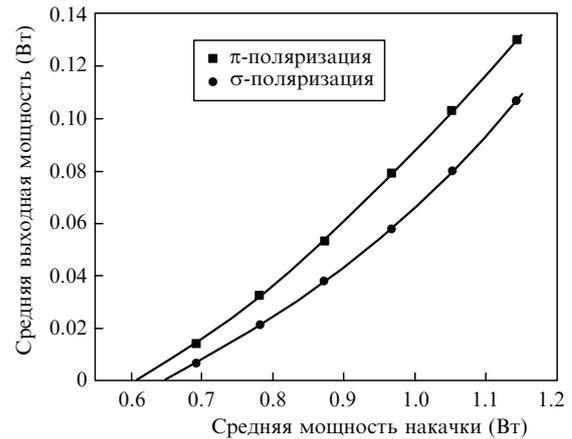


Рис.2. Зависимости средней выходной мощности лазерного излучения от средней мощности накачки.

что при использовании активных элементов лучшего оптического качества, а также при оптимизации коэффициента пропускания выходного зеркала и схемы резонатора возможно получение более высоких выходных характеристик лазерной генерации для кристалла $\text{NaLa}_{1/2}\text{Gd}_{1/2}(\text{WO}_4)_2:\text{Tm}^{3+}$. Кроме того, широкие контуры полосы усиления в области 2 мкм для излучений π - и σ -поляризации в данном кристалле позволяют реализовать генерацию перестраиваемого по длине волны излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 07-02-0055а).

1. Антипенко Б.М., Бученков В.А., Киселева Т.И. и др. *Письма в ЖТФ*, **15**, 80 (1989).
2. Антипенко Б.М., Глебов А.С., Крутова Л.И., Солнцев В.М., Сухарева Л.К. *Квантовая электроника*, **13**, 1521 (1986).
3. Алпатьев Е.Н., Денисов А.Л., Жариков Е.В. и др. *Квантовая электроника*, **17**, 861 (1990).
4. Kintz G., Esterowitz L., Allen R. *Electron. Lett.* (IEE, London), **23**, 616 (1987).
5. Honea E.C., Beach R.J., Sutton S.B., et al. *IEEE J. Quantum Electron.*, **33**, 1592 (1997).
6. Cano-Torres J.M., Serrano M.D., Zaldo C., et al. *J. Opt. Soc. Am. B.*, **23**, 2494 (2006).
7. Cano-Torres J.M., Han X., Garcia-Cortes A., Serrano M.D., et al. *Mater. Sci. Engin. B*, **146**, 22 (2008).
8. Жариков Е.В., Лис Д.А., Попов А.В., Субботин К.А. и др. *Квантовая электроника*, **36** (6), 515 (2006).
9. Воронько Ю.К., Субботин К.А., Лис Д.А., Попов А.В. и др. *Оптика и спектроскопия*, **100** (4), 656 (2006).
10. Wei Y., Tu C., Wang H., Yang F., et al. *Appl. Phys. B*, **86**, 529 (2007).
11. Wang H., Jia G., Yang F., Wei Y., et al. *Appl. Phys. B*, **83**, 579 (2006).
12. Bolschikov F.A., Kuz'micheva F.A., Lis D.A., Papin Yu.M., Popov A.V., Ryabochkina P.A., et al. *J. Crystal Growth*, **311**, 4171 (2009).