

Лазерная генерация на переходе ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в кристаллах $ZrO_2 - Y_2O_3 - Er_2O_3$ при резонансной полупроводниковой накачке на уровень ${}^4I_{13/2}$

П.А.Рябочкина, Н.В.Сидорова, А.Н.Чабушкин, Е.Е.Ломонова

Представлены результаты генерационного эксперимента на кристаллах $ZrO_2 - Y_2O_3 - Er_2O_3$. При полупроводниковой накачке на уровень ${}^4I_{13/2}$ ионов Er^{3+} кристаллов $ZrO_2 - Y_2O_3$ (13.8 мол.%)– Er_2O_3 (0.2 мол.%) получена лазерная генерация на переходе ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} с длиной волны генерации 1648 нм.

Ключевые слова: лазерная генерация, кристалл $ZrO_2 - Y_2O_3 - Er_2O_3$, ион Er^{3+} , резонансная накачка.

1. Введение

Лазеры, излучающие в диапазоне длин волн 1.6–1.7 мкм, находят практическое применение для мониторинга ряда газов (например, CO_2 , NH_3 , CH_4), а также для создания лидарных систем.

Лазерную генерацию в этом спектральном диапазоне можно получить на переходе ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в кристаллах, активированных ионами Er^{3+} , при резонансной накачке уровня ${}^4I_{13/2}$.

Впервые лазерная генерация на длине волны 1.64 мкм на указанном переходе при резонансной накачке наблюдалась в кристаллах $Y_3Al_5O_{12}:Er$ при температуре $T = 77$ К [1]. Авторы [2] сообщают об эффективном твердотельном лазере на кристаллах $Y_3Al_5O_{12}:Er$, генерирующем на длине волны $\lambda = 1645$ нм при комнатной температуре и резонансной накачке уровня ${}^4I_{13/2}$ ионов Er^{3+} волоконным лазером с длиной волны $\lambda_p = 1530$ нм. В работе [3] получена лазерная генерация на керамике $Y_2O_3:Er$ ($\lambda = 1.6$ мкм, $T = 77$ К) при резонансной накачке излучением волоконного лазера с $\lambda_p = 1535.7$ нм, а в работе [4] – лазерная генерация на кристаллах $Y_3Al_5O_{12}:Er$ ($\lambda = 1.6$ мкм) при резонансной диодной накачке ($\lambda_p = 1477$ нм).

Несмотря на известные результаты о получении лазерной генерации в диапазоне 1.6–1.7 мкм на кристаллах и керамике, активированных ионами Er^{3+} , работы по поиску новых активных сред для лазеров данного спектрального диапазона по-прежнему актуальны.

Кристаллы $Y_3Al_5O_{12}$ характеризуются упорядоченной кристаллической структурой, поэтому спектральные линии ионов активаторов в этих кристаллах в основном имеют однородное уширение линий. В то же время для лазерной физики представляют интерес и кристаллы с разупорядоченной кристаллической структурой, которые характеризуются неоднородным уширением линий

поглощения и люминесценции ионов активаторов. Это обстоятельство обеспечивает возможность получения на данных кристаллах перестраиваемой по частоте лазерной генерации, а также импульсов излучения короткой длительности. К кристаллам с разупорядоченной кристаллической структурой относится стабилизированный иттрием диоксид циркония с редкоземельными ионами. Кристаллы этого типа известны достаточно давно. Так, в работах [5, 6] сообщалось о получении генерации в подобных кристаллах на ионах Nd^{3+} , Ho^{3+} , Tm^{3+} , а также Er^{3+} при 77 К с длиной волны генерации 1.62 мкм, а в [7] в подобном кристалле с высокой концентрацией ионов Er^{3+} получена генерация на переходе ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ иона Er^{3+} с длиной волны 2.695 мкм при ламповой накачке.

Невысокая теплопроводность данных кристаллов ограничивала их применение в качестве активных лазерных сред с ламповой накачкой. Диодная накачка существенно изменяет требования к термомеханическим характеристикам материала, поэтому исследование возможности получения лазерной генерации на кристаллах стабилизированного иттрием диоксида циркония, активированного редкоземельными ионами, является актуальной задачей.

В настоящей работе впервые сообщается о результатах эксперимента по получению лазерной генерации на переходе ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в кристаллах $ZrO_2 - Y_2O_3$ (13.8 мол.%)– Er_2O_3 (0.2 мол.%) при полупроводниковой накачке.

2. Экспериментальные результаты

Кристаллы стабилизированного оксидом иттрия диоксида циркония, активированного ионами Er^{3+} , выращены методом прямого высокочастотного нагрева в холодном контейнере на установке «Кристалл-407». Синтез кристаллов состава $ZrO_2 - Y_2O_3$ (13.8 мол.%)– Er_2O_3 (0.2 мол.%) проводился в холодном контейнере диаметром 130 мм при скорости роста 10 мм/ч. Спектрально-люминесцентные характеристики таких кристаллов, которые свидетельствуют о потенциальной возможности получения на них лазерной генерации в спектральном диапазоне 1.6–1.7 мкм, представлены нами в работе [8].

Особенности расщепления в кристаллическом поле энергетических уровней ${}^4I_{13/2}$ и ${}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в кристал-

П.А.Рябочкина, Н.В.Сидорова, А.Н.Чабушкин. Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева, Россия, 430005 Саранск, ул. Большевикская, 68;

e-mail: ryabochkina@freemail.mrsu.ru

Е.Е.Ломонова. Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38

Поступила в редакцию 18 сентября 2015 г., после доработки – 20 января 2016 г.

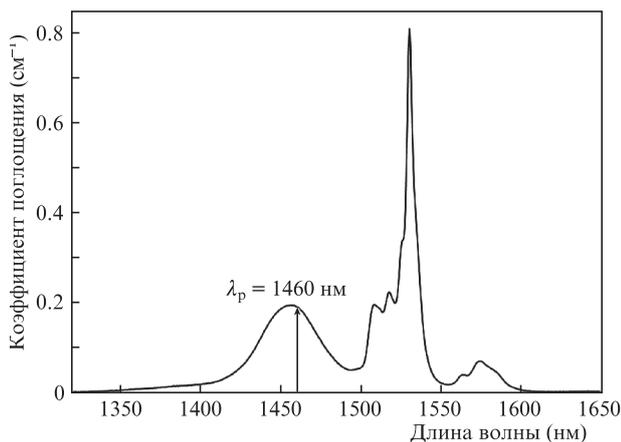


Рис.1. Спектр поглощения кристалла $ZrO_2-Y_2O_3$ (13.8 мол.%) – Er_2O_3 (0.2 мол.%) при $T = 300$ К.

лах $ZrO_2-Y_2O_3-Er_2O_3$ обеспечивают сдвиг полосы люминесценции для перехода $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в более длинноволновую область по сравнению с другими оксидными кристаллами, что предполагает возможность получения генерации в диапазоне 1650–1700 нм.

Спектр поглощения для перехода $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ ионов Er^{3+} кристаллов $ZrO_2-Y_2O_3$ (13.8 мол.%)– Er_2O_3 (0.2 мол.%), зарегистрированный при $T = 300$ К с помощью спектрометра Lambda 950 (Perkin Elmer), представлен на рис.1. Стрелкой на рисунке указана длина волны, соответствующая максимуму спектра излучения линейки лазерных диодов, которая использовалась для накачки в данном эксперименте.

Оптическая схема лазера для получения и исследования параметров лазерной генерации на переходе $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3$ (13.8 мол.%) – Er_2O_3 (0.2 мол.%) приведена на рис.2.

Накачка активного элемента осуществлялась линейкой лазерных диодов 1 с длиной волны излучения $\lambda_p = 1.46$ мкм. Излучение диодной линейки с волоконным выходом 2 (диаметр волокна 400 мкм) проецировалось внутрь активного элемента в отношении 1:1.5 с помощью объектива 3. Активный элемент 5 с размерами $3 \times 3 \times 15$ мм был вырезан из кристалла $ZrO_2-Y_2O_3$ (13.8 мол.%) – Er_2O_3 (0.2 мол.%). На торцы активного элемента наносилось просветляющее покрытие на длину волны генерации (1.65 мкм). В эксперименте использовался резонатор, образованный сферическим зеркалом 4 с радиусом кривизны рабочей поверхности 500 мм, коэффициентом пропускания в области длины волны накачки $\tau \geq 90\%$ и коэффициентом отражения на длине волны генерации более 99% и плоским выходным зеркалом 6 с коэффициентом пропускания на длине волны генерации менее 1%.

Система термостабилизации обеспечивала поддержание температуры медной оправки активного элемента $\sim 18^\circ\text{C}$. Излучение лазера на кристалле контролировалось с помощью фотодиода ФД-7Г, сигнал с которого подавался на цифровой осциллограф GDS 720С. Спектр ла-

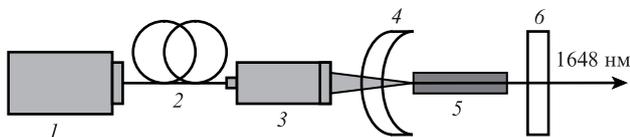


Рис.2. Оптическая схема лазера.

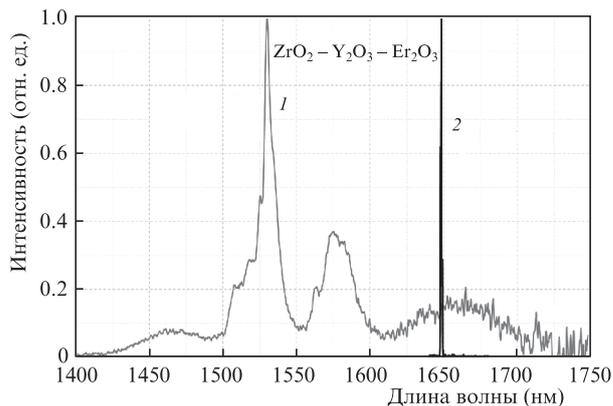


Рис.3. Спектры люминесценции (1) и лазерной генерации (2) на переходе $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3$ (13.8 мол.%)– Er_2O_3 (0.2 мол.%).

зерной генерации на кристалле $ZrO_2-Y_2O_3$ (13.8 мол.%)– Er_2O_3 (0.2 мол.%) регистрировался спектрометром Horiba FR 1000.

Лазерная генерация на переходе $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3$ (13.8 мол.%)– Er_2O_3 (0.2 мол.%) была получена на длине волны $\lambda = 1648$ нм. Порог генерации составил 2.75 Вт по поглощенной мощности накачки. Спектры люминесценции и лазерной генерации на переходе $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} показаны на рис.3.

При замене в оптической схеме лазера (см. рис.2) выходного плоского глухого зеркала ($\tau < 1\%$) на плоское зеркало с коэффициентом пропускания $\tau \approx 7\%$ генерация на переходе $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ не возникла. Однако при замене глухого плоского выходного зеркала на сферическое зеркало с радиусом кривизны $r = 300$ мм и коэффициентом пропускания $\tau \approx 0.5\%$ выходная мощность лазера составила около 20 мВт.

3. Заключение

В настоящей работе впервые в условиях полупроводниковой накачки на уровень $^4I_{13/2}$ получена лазерная генерация на переходе $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3$ (13.8 мол.%)– Er_2O_3 (0.2 мол.%). Длина волны генерации составила 1648 нм, мощность излучения не превышала 20 мВт.

Работа выполнена при финансовой поддержке НИР в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 3.384.2014/К и государственного задания № 0708 0210059 611 («Организация проведения научных исследований»).

1. Killinger D.K. *Proc. Conf. on Laser and Electrooptics. OSA Digest Series*, **14**, 240 (1987).
2. Young Y.E., Setzler S.D., Snell K.J., Budni P.A., Pollak T.M., Chicklis E.P. *J. Opt. Soc. Am.*, **29**, 1 075 (2004).
3. Ter-Gabrielyan N., Merkle L.D., Newburgh G.A., Dubinski M. *Laser Phys.*, **19**, 867 (2009).
4. Garbusov D., Kudryashov I., Dubinski M. *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 131115 (2005).
5. Александров В.И., Мурина Т.И. и др. *Кр. сообщ. физ., ФИАН*, №2, 17 (1973).
6. Александров В.И., Воронько Ю.К. и др. *ДАН СССР*, **199**, 1282 (1971).
7. Александров В.И., Вишнякова М.А. и др. *Квантовая электроника*, **16** (12), 2421 (1989).
8. Рябочкина П.А., Сидорова Н.В., Ушаков С.Н., Ломонова Е.Е. *Квантовая электроника*, **44** (2), 135 (2014).