

Импульсный $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$ -лазер с плавной перестройкой длины волны в области 3.49 – 4.65 мкм

В.И.Козловский, Ю.В.Коростелин, А.И.Ландман, В.В.Миславский,
Ю.П.Подмарьков, Я.К.Скасырский, М.П.Фролов

Впервые продемонстрирован лазер на кристалле $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$. Лазерная генерация в кристалле была получена при комнатной температуре при накачке импульсами излучения $\text{Er} : \text{YAG}$ -лазера с длительностью 40 нс и длиной волны 2.94 мкм. Дифференциальная эффективность $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$ -лазера по поглощенной энергии накачки составляла 32 %, выходная энергия достигала 3.4 мДж. В резонаторе с дисперсионной призмой осуществлена плавная перестройка длины волны генерации в диапазоне 3.49-4.65 мкм.

Ключевые слова: $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$ -лазер, лазеры ИК диапазона, перестраиваемые лазеры, твердотельные лазеры, кристаллы A_2B_6 .

1. Введение

Лазеры среднего ИК диапазона спектра на основе кристаллов A_2B_6 , легированных двухвалентными ионами переходных металлов, активно исследуются в течение последнего десятилетия. Характерной особенностью таких кристаллов является большая (~ 1 мкм) ширина полосы люминесценции, позволяющая реализовать плавную перестройку длины волны генерации лазера в широком спектральном диапазоне. Ранее эффективная генерация была продемонстрирована в целом ряде кристаллов, легированных Cr^{2+} и Fe^{2+} . При этом лазеры на кристаллах с ионами хрома ($\text{Cr}^{2+} : \text{ZnSe}$, $\text{Cr}^{2+} : \text{ZnS}$, $\text{Cr}^{2+} : \text{Cd}_{0.85}\text{Mn}_{0.15}\text{Te}$, $\text{Cr}^{2+} : \text{Cd}_{0.55}\text{Mn}_{0.45}\text{Te}$, $\text{Cr}^{2+} : \text{CdS}$, $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$) генерировали в совокупной спектральной области 1.88 – 3.61 мкм [9], а лазеры на кристаллах с ионами железа ($\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$, $\text{Fe}^{2+} : \text{CdSe}$) – в диапазоне длин волн 3.77 – 6.1 мкм [10–12]. В области 3.61 – 3.77 мкм до настоящего времени лазерную генерацию на кристаллах рассматриваемого типа получить не удавалось.

Спектр поглощения кристалла $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$ (2.4–3.6 мкм по половинному уровню при комнатной температуре) занимает промежуточное положение между спектрами поглощения кристаллов $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ и $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$. Это дает основание предположить [13], что спектр его люминесценции также будет занимать промежуточное положение по отношению к спектрам люминесценции указанных кристаллов. Данное соображение послужило основанием для проведения в настоящей работе экспериментальных исследований кристалла $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$, направ-

ленных на реализацию в нем лазерной генерации и исследование спектральной области перестройки $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$ -лазера.

2. Эксперимент

В настоящей работе использовался монокристалл $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$, выращенный из паровой фазы на монокристаллической затравке по технологии, ранее разработанной для выращивания монокристаллов твердых растворов с высоким структурным совершенством и оптической однородностью [15, 16]. Легирование кристалла происходило непосредственно в процессе его роста. Высокое качество лазерных активных элементов на основе изготовленных таким способом материалов было неоднократно подтверждено в наших предыдущих работах, в которых исследовались лазерные характеристики кристаллов $\text{Cr}^{2+} : \text{ZnSe}$ [14], $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$ [11], $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ [9], $\text{Fe}^{2+} : \text{CdSe}$ [12] и $\text{Cr}^{2+} : \text{CdS}$ [17].

Для исследований из выращенной були был изготовлен образец толщиной 17 мм, две рабочие поверхности которого были отполированы с оптическим качеством. Полированные поверхности образца не просветлялись, угол между ними не превышал 1° .

Прежде чем приступить к лазерным экспериментам, мы измерили время затухания люминесценции иона Fe^{2+} в матрице ZnS на переходе ${}^5\text{T}_2 \rightarrow {}^5\text{E}$ (полоса в окрестности 4 мкм), используя для возбуждения люминесценции импульсное излучение $\text{Er} : \text{YAG}$ -лазера ($\lambda = 2.94$ мкм). При температуре жидкого азота (77 К) время затухания люминесценции равнялось 1 мкс (по уровню $1/e$), а при комнатной температуре оно было сопоставимо с длительностью возбуждающего импульса и составило ~ 50 нс.

Все эксперименты по исследованию лазерных характеристик кристалла $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$ выполнялись при комнатной температуре, поэтому в качестве источника излучения использовался импульсный $\text{Er} : \text{YAG}$ -лазер, работавший в режиме модуляции добротности на $\lambda = 2.94$ мкм. Лазер накачки генерировал однократные импульсы излу-

В.И.Козловский, Ю.В.Коростелин, А.И.Ландман, Я.К.Скасырский. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53

В.В.Миславский, Ю.П.Подмарьков, М.П.Фролов. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53; Московский физико-технический институт (государственный университет), Россия, Московская обл., 141700 Долгопрудный, Институтский пер., 9; e-mail: frolovmp@x4u.lebedev.ru

Поступила в редакцию 29 сентября 2010 г.

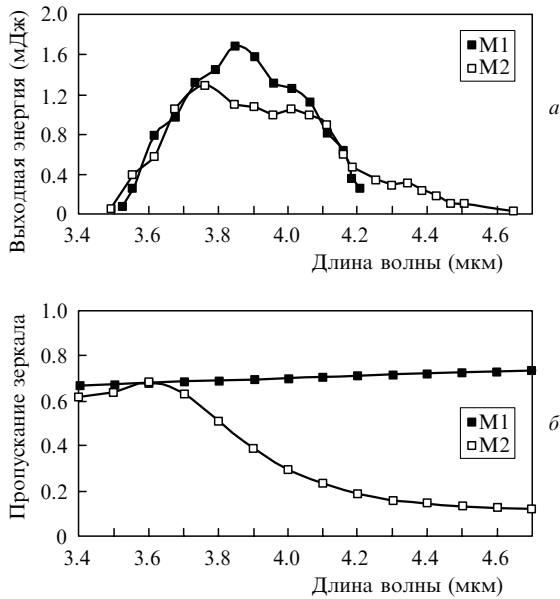


Рис.4. Перестроечные кривые $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$ -лазера, полученные с дисперсионной призмой в резонаторе и выходными зеркалами M1 и M2 при поглощенной энергии накачки 13 мДж (а), и спектры пропускания выходных зеркал (б).

скания которого показан на рис.4,б. При максимальной энергии накачки спектр лазерного излучения в неселективном резонаторе имел ширину 200 нм по половинному уровню интенсивности с центром на длине волны 3.85 мкм. Пороговая поглощенная энергия накачки составила 5 мДж. Дифференциальная эффективность лазера, определенная по наклону проведенной через экспериментальные точки прямой, равнялась 32%. Максимальная выходная энергия 3.4 мДж была получена при поглощенной энергии накачки 16 мДж.

В резонаторе с призмой была реализована плавная перестройка длины волны генерации $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$ -лазера. Представленные на рис.4,а перестроечные кривые были получены при использовании выходных зеркал M1 и M2, спектры пропускания которых приведены на рис.4,б. Обе кривые были получены при фиксированной поглощенной энергии накачки 13 мДж. Используя более прозрачное выходное зеркало M1, удалось получить диапазон плавной перестройки 3.52–4.21 мкм. Ширина спектра генерации в максимуме кривой в этом случае была равна 180 нм, а на краях не превышала 80 нм. Отметим, что при установке призмы в резонатор выходная энергия лазера в центре полосы перестройки достигала 70% от выходной энергии, полученной без призмы при том же уровне накачки.

Использование зеркала M2, обладающего более низким пропусканием в длинноволновой области спектра, позволило расширить диапазон перестройки до 3.49–4.65 мкм. Со стороны коротких волн область перестройки, по-видимому, была ограничена длинноволновым крылом спектра поглощения самого иона Fe^{2+} в монокристалле ZnS.

4. Заключение

Таким образом, в настоящей работе впервые получена лазерная генерация на кристалле $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$. Лазер работал при комнатной температуре. Выходная энергия $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnS}$ -лазера составила 3.4 мДж при дифференциальной эффективности по поглощенной энергии накачки 32%. В дисперсионном резонаторе реализован диапазон спектральной перестройки 3.49–4.65 мкм. Это означает, что с помощью кристаллов A_2B_6 , легированных двухвалентными ионами переходных металлов, может быть получено лазерное излучение на любой длине волны из диапазона 1.88–6.1 мкм.

Работа поддержана РФФИ (гранты № 09-02-00864-а, 09-02-00877-а), Программой Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы» и Программой фундаментальных исследований ОФН РАН «Физические и технологические исследования полупроводниковых лазеров, направленные на достижение предельных параметров».

1. Page R.H., Schaffers K.I., DeLoach L.D., Wilke G.D., Patel F.D., Tassano J.B., Payne S.A., Krupke W.F., Chen K.-T., Burger A. *IEEE J. Quantum Electron.*, **33**, 609 (1997).
2. Demirbas U., Sennaroglu A. *Opt. Lett.*, **31**, 2293 (2006).
3. Sorokina I.T., Sorokin E., Mirov S., Fedorov V., Badikov V.V., Panyutin V., Schaffers K.I. *Opt. Lett.*, **27**, 1040 (2002).
4. Seo J.T., Hömmerich U., Trivedi S.B., Chen R.J., Kutcher S. *Opt. Commun.*, **153**, 267 (1998).
5. Trivedi S.B., Kutcher S.W., Wang C.C., Jagannathan D.V., Hömmerich U., Bluiett A., Turner M., Seo J.T., Schepler K.L., Schumm B., Boyd P. R., Green G. *J. Electronic Mater.*, **30**, 728 (2001).
6. Акимов В.А., Козловский В.И., Коростелин Ю.В., Ландман А.И., Подмарьков Ю.П., Скасырский Я.К., Фролов М.П. *Квантовая электроника*, **38**, 803 (2008).
7. Akimov V.A., Frolov M.P., Korostelin Y.V., Kozlovsky V.I., Landman A.I., Podmar'kov Y.P., Skasyrsky Y.K., Voronov A.A. *Appl. Phys. B*, **97**, 793 (2009); DOI 10.1007/s00340-009-3617-6.
8. McKay J., Schepler K.L., Catella G.C. *Opt. Lett.*, **24**, 1575 (1999).
9. Акимов В.А., Козловский В.И., Коростелин Ю.В., Ландман А.И., Подмарьков Ю.П., Скасырский Я.К., Фролов М.П. *Квантовая электроника*, **38**, 205 (2008).
10. Adams J.J., Bibeau C., Page R.H., Krol D.M., Furu L.H., Payne S.A. *Opt. Lett.*, **24**, 1720 (1999).
11. Fedorov V.V., Mirov S.B., Gallian A., Badikov V. V., Frolov M.P., Korostelin Yu.V., Kozlovsky V.I. Landman A.I., Podmar'kov Yu.P., Akimov V.A., Voronov A.A. *IEEE J. Quantum Electron.*, **42**, 907 (2006).
12. Mislavskii V.V., Frolov M.P., Korostelin Yu.V., Kozlovsky V.I., Landman A.I., Podmar'kov Yu.P., Skasyrsky Ya.K. *Techn. Program 14th Intern. Conf. on Laser Optics 'LO-2010'* (St.Petersburg, Russia, 2010, p. 60, WeR1-p18).
13. Payne S.A., Chase L.L., Smith L.K., Kway W.L., Krupke W.F. *IEEE J. Quantum Electron.*, **28**, 2619 (1992).
14. Козловский В.И., Коростелин Ю.В., Ландман А.И., Подмарьков Ю.П., Фролов М.П. *Квантовая электроника*, **33**, 408 (2003).
15. Korostelin Yu.V., Kozlovsky V.I., Nasibov A.S., Shapkin P.V. *J. Crystal Growth*, **159**, 181 (1996).
16. Korostelin Yu.V., Kozlovsky V.I. *J. Alloys Compounds*, **371**, 25 (2004).
17. Akimov V.A., Frolov M.P., Korostelin Yu.V., Kozlovsky V.I., Landman A.I., Podmar'kov Yu.P., Skasyrsky Ya.K., Voronov A.A. *Appl. Phys. B*, **97**, 793 (2009).