

Эффективная генерация $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазера в непрерывном режиме

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

Впервые получена непрерывная генерация на кристалле $\text{CdSe} : \text{Cr}^{2+}$. Накачка осуществлялась тулиевым волоконным лазером с длиной волны 1.908 мкм. $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазер генерировал излучение на длине волны 2.623 мкм. Выходная мощность лазера достигала 1.07 Вт при квантовой дифференциальной эффективности по поглощенной мощности накачки 60 %.

Ключевые слова: $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазер, ИК лазеры, твердотельные лазеры.

Кристаллы A_2B_6 , легированные двухвалентными ионами переходных металлов, зарекомендовали себя как перспективные активные среды для перестраиваемых лазеров, генерирующих в диапазоне 2–5 мкм [1–4]. Потенциальными областями применений таких лазеров являются спектроскопические исследования, медицина, контроль окружающей среды и др. В кристаллах $\text{ZnSe} : \text{Cr}^{2+}$, $\text{ZnS} : \text{Cr}^{2+}$, $\text{CdSe} : \text{Cr}^{2+}$ и $\text{ZnSe} : \text{Fe}^{2+}$ плавная перестройка длины волны лазерного излучения была осуществлена соответственно в областях 1.88–3.10 мкм [4, 5], 2.17–2.84 мкм [6], 2.26–3.61 мкм [7–9] и 3.77–5.05 мкм [10–13]. Чисто непрерывную генерацию до сих пор удалось реализовать лишь в $\text{Cr}^{2+} : \text{ZnSe}$ - и $\text{Cr}^{2+} : \text{ZnS}$ -лазерах, в которых в таком режиме были достигнуты выходные мощности соответственно 2.7 Вт [14] и 0.7 Вт [6]. В настоящей работе впервые получена непрерывная генерация $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазера и исследованы его характеристики.

Активный элемент (АЭ) был изготовлен из монокристалла $\text{CdSe} : \text{Cr}^{2+}$, выращенного из паровой фазы на монокристаллической затравке при температурах 1100–1150 °С. Массоперенос паровой фазы осуществлялся физическим транспортом в атмосфере гелия. Однородное легирование достигалось с помощью технологии, разработанной ранее для выращивания монокристаллов твердых растворов с высоким структурным совершенством и оптической однородностью [15, 16]. Концентрация ионов Cr^{2+} , определенная по спектру поглощения с использованием взятого из работы [7] сечения поглощения, составляла $\sim 9 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

АЭ имел активную длину 5.3 мм и поперечный размер 1.5×5 мм. Направление оптической оси кристалла составляло угол $\sim 20^\circ$ с нормалью к полированным рабочим поверхностям АЭ, которые не были просветлены. Кристалл поглощал 76 % излучения накачки.

В.А.Акимов. Московский физико-технический институт (государственный университет), Россия, Московская обл., 141700 Долгопрудный, Институтский пер., 9

В.И.Козловский, Ю.В.Коростелин, А.И.Ландман, Ю.П.Подмарьков, Я.К.Скасырский, М.П.Фролов. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53; e-mail: frolovmp@x4u.lebedev.ru

Поступило в редакцию 6 августа 2007 г.

Оптическая схема установки представлена на рис.1. Близкий к полуконцентрическому резонатор $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазера был образован плоским глухим зеркалом 31, пропускавшим 95 % излучения накачки, и выходным сферическим ($R = 50$ мм) зеркалом 32 с пропусканием 15 % на длине волны генерации. АЭ был установлен на расстоянии 1 мм от зеркала 31 так, что его рабочие поверхности были перпендикулярны к оптической оси резонатора.

Для обеспечения эффективного теплоотвода АЭ через прослойки из индия был зажат между двумя медными пластинами, охлаждаемыми водой. Все эксперименты проводились при комнатной температуре АЭ.

Накачка кристалла $\text{CdSe} : \text{Cr}^{2+}$ осуществлялась через зеркало 31 излучением непрерывного тулиевого волоконного лазера (модель TLM-05LP, «ИРЭ–Полнос») с длиной волны 1.908 мкм и максимальной мощностью 5 Вт. Для исключения влияния на работу тулиевого лазера отраженного от элементов резонатора $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазера излучения накачки направление распространения пучка накачки составляло угол $\sim 2^\circ$ с оптической осью резонатора $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазера. Пучок накачки фокусировался на кристалл $\text{CdSe} : \text{Cr}^{2+}$ сферическим ($R = 300$ мм) зеркалом 33 в пятно диаметром 0.15 мм.

Мощности накачки и генерации регистрировались измерителями мощности ИМ1 и ИМ2 (ИМО-2Н). Длина волны генерации измерялась дифракционным монохроматором.

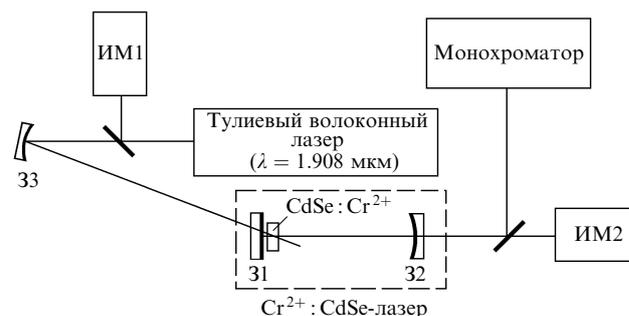


Рис.1. Оптическая схема экспериментальной установки: 31, 32 – зеркала резонатора; 33 – фокусирующее зеркало; ИМ1, ИМ2 – измерители мощности.

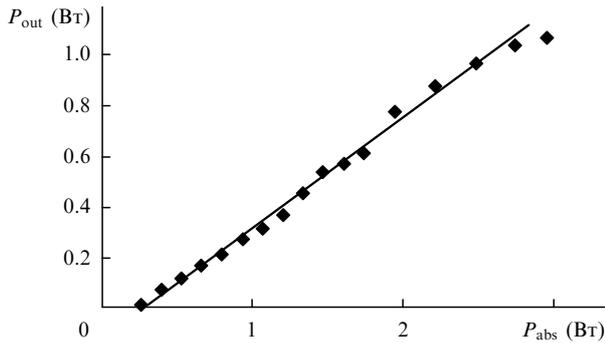


Рис.2. Зависимость выходной мощности $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазера от поглощенной мощности накачки, полученная при использовании выходного зеркала с пропусканием 15 %.

На описанной установке впервые был реализован непрерывный режим генерации $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазера. Центральная длина волны спектра генерации составляла 2.623 мкм, а его ширина – примерно 10 нм.

На рис.2 приведена зависимость выходной мощности $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазера P_{out} от поглощенной мощности накачки P_{abs} . Пороговая поглощенная мощность накачки была равна 0.28 Вт. Максимальная выходная мощность 1.07 Вт была получена при $P_{abs} = 3$ Вт. Достигнутая мощность находится на уровне рекордных значений, полученных в чисто непрерывных $\text{Cr}^{2+} : \text{ZnS}$ - и $\text{Cr}^{2+} : \text{ZnSe}$ -лазерах. Дифференциальный КПД лазера, определенный по наклону проведенной через экспериментальные точки прямой, составил 44 %. Это соответствует квантовой эффективности лазера 60 %.

Таким образом, в настоящей работе впервые реализован чисто непрерывный режим генерации $\text{Cr}^{2+} : \text{CdSe}$ -лазера с выходной мощностью более 1 Вт при дифференциальной квантовой эффективности по поглощенной мощности накачки 60 %. По нашему мнению, эффективность лазера может быть повышена за счет оптимизации пропускания выходного зеркала и использования схемы, обеспечивающей более полное перекрытие областей накачки и генерации в активном элементе.

Работа поддержана грантом Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ РФ № НШ-6055.2006.02, Программой фундаментальных исследований ОФН РАН «Когерентное оптическое излучение полупроводниковых соединений и структур», Программой Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы», Программой президиума РАН «Приобретение научных приборов и оборудования» и ЗАО НТЦ «Реагент».

1. DeLoach L.D., Page R.H., Wilke G.D., Payne S.A., Krupke W.F. *IEEE J. Quantum Electron.*, **32**, 885 (1996).
2. 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).
3. Kück S. *J. Alloys Compounds*, **341**, 28 (2002).
4. Sorokina I.T. *Opt. Mater.*, **26**, 395 (2004).
5. Demirbas U., Sennaroglu A. *Opt. Lett.*, **31**, 2293 (2006).
6. Sorokina I.T., Sorokin E., Mirov S., Fedorov V., Badikov V.V., Panyutin V., Schaffers K.I. *Opt. Lett.*, **27**, 1040 (2002).
7. McKay J., Schepler K.L., Catella G.C. *Opt. Lett.*, **24**, 1575 (1999).
8. McKay J., Roh W.B., Schepler K.L. *Tech. Dig. Conf. on Advanced Solid-State Lasers* (Quebec, OSA, 2002, Paper WA7).
9. Акимов В.А., Козловский В.И., Коростелин Ю.В., Ландман А.И., Подмарьков Ю.П., Скасырский Я.К., Фролов М.П. *Квантовая электроника* (в печати).
10. Adams J.J., Bibeau C., Page R.H., Krol D.M., Furu L.H., Payne S.A. *Opt. Lett.*, **24**, 1720 (1999).
11. Воронов А.А., Козловский В.И., Коростелин Ю.В., Ландман А.И., Подмарьков Ю.П., Фролов М.П. *Квантовая электроника*, **35**, 809 (2005).
12. Акимов В.А., Воронов А.А., Козловский В.И., Коростелин Ю.В., Ландман А.И., Подмарьков Ю.П., Фролов М.П. *Квантовая электроника*, **36**, 299 (2006).
13. 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).
14. Mirov S., Fedorov V., Moskalev I., Martyskhin D. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, **13**, 810 (2007).
15. Korostelin Yu.V., Kozlovsky V.I., Nasibov A.S., Shapkin P.V. *J. Cryst. Growth*, **159**, 181 (1996).
16. Korostelin Yu.V., Kozlovsky V.I. *J. Alloys Compounds*, **371**, 25 (2004).