

Пассивный затвор на основе монокристалла $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$ для модуляции добротности лазеров трехмикронного диапазона

А.А.Воронов, В.И.Козловский, Ю.В.Коростелин, А.И.Ландман,
Ю.П.Подмарьков, В.Г.Полушкин, М.П.Фролов

Продемонстрирована возможность пассивной модуляции добротности резонатора лазеров, работающих в трехмикронной области спектра, с помощью монокристалла $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$. При использовании такого пассивного затвора в Er : YAG-лазере с $\lambda = 2.9364$ мкм получены гигантские импульсы длительностью 50 нс с энергией 6 мДж.

Ключевые слова: ИК лазеры, пассивная модуляция добротности, кристалл $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$.

Лазеры среднего ИК диапазона широко используются в спектроскопии, дистанционном зондировании атмосферы, медицине и т. п. В связи с этим актуальны разработка и усовершенствование методов управления временным режимом их генерации, в частности поиск новых модуляторов добротности лазерных резонаторов для генерации гигантских импульсов. Такой режим работы лазера представляет интерес, например, для некоторых медицинских применений [1].

В Er : YAG-лазере ($\lambda = 2.9364$ мкм) модуляция добротности ранее была осуществлена с помощью вращающегося зеркала [2], электрооптического затвора [3] и пассивного затвора на основе воды и этанола [4]. Очевидно, что к достоинствам пассивных затворов относятся их компактность и простота, причем с технической точки зрения наиболее практичным является использование твердотельных модуляторов. Именно поэтому в настоящее время ведется интенсивный поиск твердотельных насыщающихся поглотителей для лазеров среднего ИК диапазона.

В этом смысле перспективны кристаллы халькогенидов, легированные ионами переходных металлов. Например, кристаллы $\text{Cr}^{2+} : \text{ZnSe}$ и $\text{Co}^{2+} : \text{ZnSe}$ были успешно использованы для модуляции добротности лазера на эрбиевом стекле ($\lambda = 1.54$ мкм) [5], а кристаллы $\text{Cr}^{2+} : \text{Cd}_{0.55}\text{Mn}_{0.45}\text{Te}$ – для модуляции добротности Ho, Tm, Cr : YAG-лазера ($\lambda = 2.09$ мкм) [6]. В настоящей работе впервые для модуляции добротности Er : YAG-лазера ($\lambda = 2.9364$ мкм) применялся пассивный затвор на основе кристалла $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$.

Материалом для затвора служил монокристалл $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$, выращенный из паровой фазы методом сво-

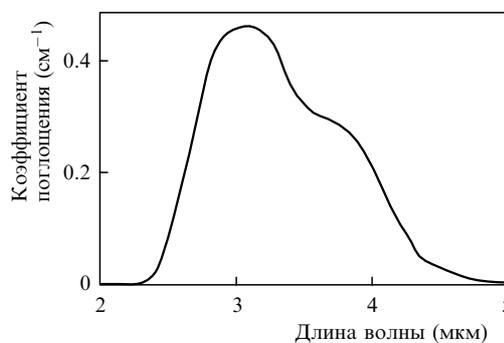


Рис.1. Спектр поглощения монокристалла $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$.

бодного роста с использованием монокристаллической затравки и химического транспорта в водороде. Легирование ионами Fe^{2+} осуществлялось непосредственно в процессе роста. Ранее из выращенного таким способом кристалла были изготовлены активные элементы для $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$ -лазера [7, 8].

Спектр поглощения кристалла при комнатной температуре показан на рис.1. Измеренная по этому спектру с учетом приведенного в [9] сечения поглощения концентрация ионов Fe^{2+} была равна $\sim 5 \times 10^{17}$ см⁻³. Полоса поглощения на рис.1 соответствует вибронному переходу ${}^5\text{E} \rightarrow {}^5\text{T}_2$ иона Fe^{2+} . Для $\lambda = 2.9364$ мкм сечение поглощения составляет 9.5×10^{-19} см², что приблизительно в 35 раз превышает сечение лазерного перехода иона Er^{3+} в иттрий-алюминиевом гранате. Известно, что время жизни уровня ${}^5\text{T}_2$ уменьшается с ростом температуры от 105 мкс при 120 К до 5 мкс при 220 К [9] из-за увеличения скорости многофононной безызлучательной релаксации. Следовательно, при комнатной температуре оно не превышает 5 мкс.

Для исследований пассивного затвора на основе $\text{Fe}^{2+} : \text{ZnSe}$ использовался Er : YAG-лазер с ламповой накачкой. Длительность импульса накачки по полувысоте составляла 100 мкс. Резонатор лазера имел длину 23 см и был образован плоским выходным зеркалом с коэффициентом отражения 82 % и сферическим глухим ($R = 100$ см) зеркалом. Использовался активный элемент $\varnothing 4 \times 90$ мм с концентрацией ионов эрбия, равной 50 %. Лазер работал на основной поперечной моде, для чего в его ре-

А.А.Воронов. Московский физико-технический институт, Россия, Московская обл., 141700 Долгопрудный, Институтский пер., 9

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

В.Г.Полушкин. ООО «Инженерный центр новых технологий Института ядерных исследований РАН», Россия, 142190 Троицк, Московская обл.

зонаторе между сферическим зеркалом и активным элементом была установлена диафрагма $\varnothing 2.4$ мм. Пассивный затвор в виде плоскопараллельной пластинки с начальным пропусканием 85 % располагался под углом Брюстера между сферическим зеркалом и диафрагмой.

Пороговая энергия накачки при наличии пассивного затвора в резонаторе составляла 19 Дж. При энергиях накачки $E_p = 19 - 21$ Дж лазер генерировал одиночные гигантские импульсы длительностью 50 нс по полувысоте с энергией 6 мДж. При $E_p = 21 - 24$ Дж лазер излучал пару близких по энергии гигантских импульсов с общей энергией 13–14 мДж, следовавших друг за другом через 30 мкс. При дальнейшем повышении энергии накачки лазер начинал генерировать три гигантских импульса, следовавших через ~ 25 мкс. Полная выходная энергия в этом случае составляла 22–23 мДж. При работе лазера в режиме свободной генерации (без пассивного затвора в резонаторе) при $E_p = 20$ Дж выходная энергия лазера была равна 30 мДж.

Таким образом, в настоящей работе впервые реализована пассивная модуляция добротности E_p : YAG-лазера с помощью просветляющегося фильтра на основе кристалла $Fe^{2+} : ZnSe$. Эффективность преобразования (отношение энергии гигантского импульса к соответствующей выходной энергии лазера в режиме свободной генерации) составила 20 %. Широкая полоса поглощения кристалла $Fe^{2+} : ZnSe$ (2.5–4.2 мкм) делает его перспективным материалом для пассивных затворов лазеров среднего ИК диапазона.

В заключение отметим, что создание более плотных с оптической точки зрения затворов может быть реализовано как за счет более высокой степени легирования образца (например, в [7, 8] концентрация Fe^{2+} в активных элементах составляла $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$), так и путем увеличения его толщины (нами использовался фильтр толщиной

3 мм, тогда как технология позволяет выращивать монокристаллы толщиной более 10 мм).

Работа поддержана совместной программой Министерства образования и науки РФ и Американского фонда CRDF (грант MO-011-0/B2M411), Программой Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 37900), Программами фундаментальных исследований РАН «Новые материалы и структуры» и «Когерентное оптическое излучение полупроводниковых соединений и структур», а также Программой «Научные школы России» (грант НШ-1466-2003-02).

1. Koranda P., Nemes M., Jelinkova H., Sulc J., Cech M., Shi Y.-W., Matsuura Y., Miyagi M. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **5777**, 384 (2005).
2. Багдасаров Х.С., Данилов В.П., Жеков В.И., Мурина Т.М., Маненков А.А., Тимошечкин М.И., Прохоров А.М. *Квантовая электроника*, **5**, 150 (1978).
3. Багдасаров Х.С., Жеков В.И., Кулевский Л.А., Лобачев В.А., Мурина Т.М., Прохоров А.М. *Квантовая электроника*, **7**, 1959 (1980).
4. Водопьянов К.Л., Кулевский Л.А., Пашинин П.П., Прохоров А.М. *ЖЭТФ*, **82**, 1820 (1982).
5. Podlipensky A.V., Shcherbitsky V.G., Kuleshov N.V., Mikhailov V.P., Levchenko V.I., Yakimovich V.N. *Opt. Lett.*, **24**, 960 (1999).
6. Podlipensky A.V., Shcherbitsky V.G., Demchuk M.I., Kuleshov N.V., Levchenko V.I., Yakimovich V.N., Girard S., Moncorge R. *Opt. Commun.*, **192**, 65 (2001).
7. Акимов В.А., Воронов А.А., Козловский В.И., Коростелин Ю.В., Ландман А.И., Подмарьков Ю.П., Фролов М.П. *Квантовая электроника*, **34**, 912 (2004).
8. Воронов А.А., Козловский В.И., Коростелин Ю.В., Ландман А.И., Подмарьков Ю.П., Фролов М.П. *Квантовая электроника*, **35**, 809 (2005).
9. Adams J.J., Bibeau C., Page R.H., Krol D.M., Furu L.H., Payne S.A. *Opt. Lett.*, **24**, 1720 (1999).