

# Пассивная модуляция добротности лазера на $YAlO_3:Er^{3+}$ с длиной волны 1.66 мкм кристаллом $ZnSe:Cr^{2+}$

Б.И.Галаган, Б.И.Денкер, С.Е.Сверчков, Н.В.Кулешов, В.Э.Кисель, В.И.Левченко

*Исследована возможность пассивной модуляции добротности лазеров на кристаллах  $YAlO_3:Er^{3+}$  с длиной волны 1.66 мкм рядом насыщающихся поглотителей. При использовании в качестве насыщающегося поглотителя кристалла  $ZnSe:Cr^{2+}$  получены гигантские импульсы длительностью 200 нс.*

**Ключевые слова:** ИК лазер, пассивная модуляция добротности, алюминат иттрия.

## 1. Введение

Легированные ионами  $Co^{2+}$  кристаллы селенида цинка  $ZnSe$  и алюмомагниевого шпинели  $MgAl_2O_4$  известны как насыщающиеся поглотители, нашедшие применение в качестве пассивных модуляторов добротности лазеров на эрбиевых стеклах с длиной волны  $\lambda = 1.54$  мкм (переход  $^4I_{13/2} - ^4I_{15/2}$  ионов  $Er^{3+}$ ). Кристаллы  $ZnSe$ , легированные ионами  $Cr^{2+}$ , также могут быть использованы в этом качестве [1]. Кроме того, эти кристаллы являются высокоэффективной средой для перестраиваемых (в диапазоне 2.12–2.93 мкм) лазеров. Спектр поглощения ионов хрома занимает область 1.4–2.2 мкм, что позволяет применять для их накачки лазеры на кристаллах, активированных ионами тулия, с  $\lambda \sim 1.9 - 2.0$  мкм. В последнее время для накачки перестраиваемого лазера на  $ZnSe:Cr^{2+}$  был успешно применен лазер на кристалле алюмината иттрия с эрбием ( $YAlO_3:Er^{3+}$ ) [2], генерирующий на переходе  $^4S_{3/2} - ^4I_{9/2}$  (см. схему уровней иона эрбия на рис.1) на  $\lambda = 1.66$  мкм.

Задача настоящей работы – исследование возможности использования указанных насыщающихся поглотителей также и в качестве модуляторов добротности  $YAlO_3:Er^{3+}$ -лазеров с  $\lambda = 1.66$  мкм. Особенность этих лазеров заключается в самоограниченном характере перехода (время жизни нижнего лазерного уровня  $^4I_{9/2}$  превышает время жизни верхнего лазерного уровня  $^4S_{3/2}$ , которое при типичной концентрации эрбия  $\sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$  составляет около 100 мкс). Самоограниченность лазерного перехода и небольшая (из-за концентрационного тушения люминесценции) концентрация активатора являются причинами невысокого КПД ( $\sim 0.1$  % при свободной генерации в условиях ламповой накачки). Несмотря на невысокую эффективность данных лазеров, они на-

ходят определенное применение из-за отсутствия более эффективных и удобных источников для этой спектральной области. В литературе сведений о получении «чистого» режима модуляции добротности в таких лазерах мы не нашли, однако есть публикация [3], в которой сообщается о получении пуга УКИ (с огибающей длительностью 250 нс) при помощи нелинейно отражающего зеркала.

Для формирования лазером гигантских импульсов необходимым условием (в отсутствие фокусировки излучения в затворе) является малость отношения сечения вынужденного испускания  $\sigma_{\text{gen}}$  в активной лазерной среде к сечению поглощения  $\sigma_{\text{abs}}$  в просветляющемся фильтре. В [1] имеются данные по сечению поглощения  $\sigma_{\text{abs}}$  на  $\lambda = 1.66$  мкм в кристаллах  $ZnSe:Cr^{2+}$  (около  $8 \times 10^{-19} \text{ см}^2$ ) и  $ZnSe:Co^{2+}$  (около  $5 \times 10^{-19} \text{ см}^2$ ). Для выращенных методом Вернейля нестехиометрических кристаллов шпинели ( $MgO \cdot 3.5Al_2O_3:Co^{2+}$ ) сечение  $\sigma_{\text{abs}}$  составляет около  $1 \times 10^{-19} \text{ см}^2$  (что заметно больше, чем в стехиометрических кристаллах  $MgAl_2O_4$  [1, 4]). Таким образом, среди

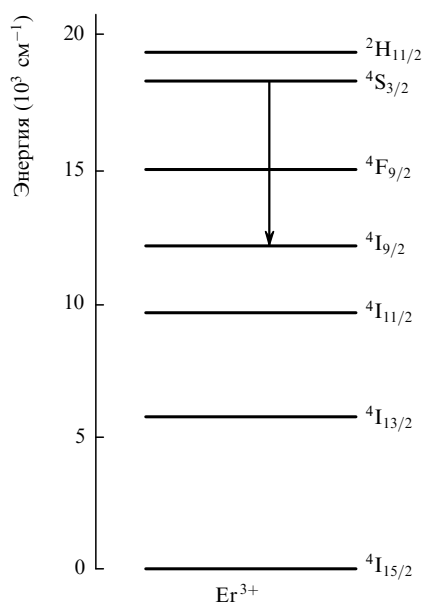


Рис.1. Схема уровней иона  $Er^{3+}$  и генерирующий переход лазера на  $YAlO_3:Er^{3+}$  с  $\lambda = 1.66$  мкм.

**Б.И.Галаган, Б.И.Денкер, С.Е.Сверчков.** Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: denker@Lst.gpi.ru

**Н.В.Кулешов, В.Э.Кисель.** НИИ оптических материалов и технологич. БНТУ, Белоруссия, 220013 Минск, просп. Ф.Скорины, 65, корп. 17; e-mail: VEKisel@ilc.by

**В.И.Левченко.** Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ, Белоруссия, 220072 Минск, ул. П.Бровки, 17; e-mail: levchen@iffp.bas-net.by

перечисленных материалов – потенциальных кандидатов в пассивные модуляторы эрбиевых лазеров с  $\lambda = 1.66$  мкм – кристалл  $\text{ZnSe}:\text{Cr}^{2+}$  обладает наибольшим сечением поглощения. Литературных же данных об эффективном сечении вынужденного излучения ионов эрбия в кристалле  $\text{YAlO}_3$  при наличии самоограниченного перехода нам найти не удалось. Поэтому вопрос о возможности формирования гигантского импульса лазерами с исследуемыми насыщающимися поглотителями решался экспериментально.

Времена жизни возбужденного состояния в кристаллах алюмомагниевого шпинели,  $\text{ZnSe}:\text{Co}^{2+}$  и  $\text{ZnSe}:\text{Cr}^{2+}$  составляют 0.35, 350 и 5.4 мкс соответственно [1]. Следовательно, в последних двух случаях эти времена оказываются намного больше характерных времен формирования и длительностей гигантских импульсов лазера. В первом же случае время релаксации просветленного состояния затвора может оказаться сопоставимым с временем формирования и длительностью гигантских импульсов лазера. Это приводит к селекции поперечных мод лазера пассивным затвором (что усложняет применение кристалла  $\text{MgAl}_2\text{O}_4:\text{Co}^{2+}$  в качестве пассивного затвора в лазерах на эрбиевых стеклах с  $\lambda = 1.54$  мкм). При использовании кристаллов  $\text{ZnSe}:\text{Co}^{2+}$  и  $\text{ZnSe}:\text{Cr}^{2+}$  такого рода осложнения исключены.

## 2. Эксперимент

В эксперименте использовался лазер с ламповой накачкой на основе кристалла алюмината иттрия ( $\varnothing 5 \times 60$  мм) с концентрацией эрбия 1 % и просветляющим покрытием на торцах. Кристалл возбуждался импульсной лампой ИФП-800 (длительность импульса составляла  $\sim 100$  мкс). Во избежание наведения в кристалле центров окраски УФ излучением лампы осветитель лазера охлаждался 0.2 %-ным раствором хромата калия в дистиллированной воде. Резонатор лазера длиной 30 см был образован плоским глухим зеркалом и вогнутым (с радиусом кривизны 1 м) выходным зеркалом с коэффициентом пропускания, плавно изменяющимся от одного края зеркала к другому в диапазоне 10 % – 50 %. Приводимые ниже экспериментальные данные получены при положении выходного зеркала, соответствующем пропусканию 20 %. Пассивный элемент в виде плоскопараллельной пластинки (без просветляющих покрытий) помещался вблизи глухого зеркала перпендикулярно или под углом Брюстера к оптической оси резонатора лазера. Коэффициент поглощения всех исследованных пассивных элементов (при нормальном падении излучения) лежал в пределах 15 % – 17 %. В резонаторе устанавливалась диафрагма, обеспечивавшая генерацию на основной поперечной моде.

При использовании в качестве пассивных элементов кристаллов  $\text{MgAl}_2\text{O}_4:\text{Co}^{2+}$  и  $\text{ZnSe}:\text{Co}^{2+}$  модуляции добротности получено не было: кинетика генерации лазера

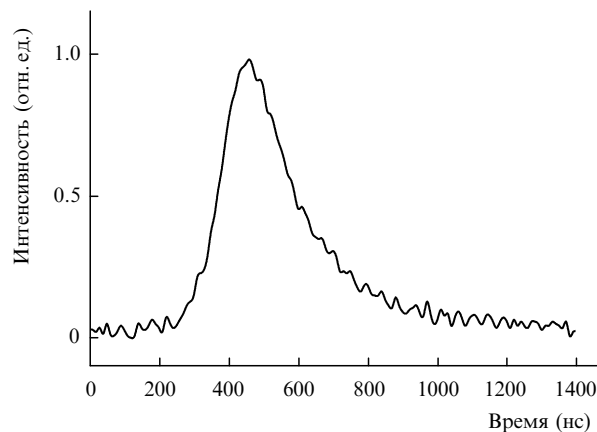


Рис.2. Оциллограмма гигантского импульса лазера с  $\lambda = 1.66$  мкм при пассивной модуляции кристаллом  $\text{ZnSe}:\text{Cr}^{2+}$ .

практически не отличалась от кинетики свободной генерации (хаотической последовательности пиков с длительностью каждого 1–2 мкс при общей длительности пуга 50–100 мкс).

При размещении кристалла  $\text{ZnSe}:\text{Cr}^{2+}$  перпендикулярно оптической оси резонатора в лазере формировались одиночные гигантские импульсы длительностью около 200 нс (рис.2). Энергия импульса составляла 0.2 мДж (при энергии свободной генерации около 1 мДж, получаемой при той же энергии накачки). Следует отметить, что невысокая параллельность ( $\sim 4'$ ) граней имевшегося образца  $\text{ZnSe}$  и отсутствие на них просветляющих покрытий приводили к очень существенным потерям излучения, чем и следует объяснить низкую выходную энергию.

При установлении того же образца под углом Брюстера к оси резонатора (естественно, с учетом поляризации выходного излучения лазера) режима генерации одиночных гигантских импульсов получено не было. По всей вероятности, это связано с меньшей в  $n$  раз (где  $n = 2.44$  – показатель преломления  $\text{ZnSe}$ ) плотностью излучения в пассивном элементе, расположенном под углом Брюстера. Таким образом, по результатам этого эксперимента можно грубо оценить сечение вынужденного излучения  $\sigma_{\text{ген}}$  как  $\sigma_{\text{abs}}/n \approx 3 \times 10^{-19}$  см<sup>2</sup>.

Исследования поддержаны РФФИ и БФФИ (проект № 04-02-81015Бел2004а).

1. Кисель В.Э., Щербицкий В.Г., Кулешов Н.В., Постнова Л.И., Левченко В.И., Галаган Б.И., Денкер Б.И., Сверчков С.Е. *Квантовая электроника*, **35** (7), 611 (2005).
2. Jelinkova H., Koranda P., Doroshenko M., Basiev T., Šulc J., Némec M., Černý P., Komar V., Kosmyna M. *Laser Phys. Lett.*, **4** (1), 23 (2006).
3. Stankov K., Hamal K., Jelinkova H., Prochazka I. *Opt. Commun.*, **95** (1-3), 85 (2003).
4. Denker B., Galagan B., Osiko V., Sverchikov S., Karlsson G., Lauerell F. *OSA TOPS «Advanced Solid State Photonics»*, **83**, 216 (2003).