

Суперлюминесцентный ИК излучатель на кристалле $\text{ZnSe}:\text{Fe}^{2+}$, работающий при комнатной температуре

Н.Н.Ильичев, В.П.Данилов, В.П.Калинушкин, М.И.Студеникин, П.В.Шапкин, А.С.Насибов

При комнатной температуре получено суперлюминесцентное излучение кристалла $\text{ZnSe}:\text{Fe}^{2+}$ (длина волны 4.6–4.7 мкм) при накачке мощным излучением с длиной волны 2.94 мкм. Реализована поперечная схема накачки. Энергия импульса суперлюминесценции составила ~ 1 мДж при энергии импульса накачки 15 мДж. Легирование кристалла ZnSe ионами Fe^{2+} проводилось с помощью метода диффузии в условиях термодинамического равновесия фаз.

Ключевые слова: лазеры на примесных центрах, лазерные материалы.

1. В работах [1, 2] проведены спектроскопические исследования халькогенидных кристаллов, легированных двухвалентными ионами переходных металлов, и показана перспективность их использования в качестве материалов перестраиваемых ИК лазеров. В [3] подробно исследованы спектроскопические характеристики иона Fe^{2+} в кристалле ZnSe и при низкой температуре получена генерация излучения с длиной волны, перестраиваемой в области 3.98–4.54 мкм. В работах [4, 5] сообщается о создании лазера на этом материале, работающего при комнатной температуре, а в [6] – о применении данного кристалла как пассивного затвора в лазере на $\text{YAG}:\text{Er}^{3+}$. В работе [7] исследовано нелинейное пропускание кристалла $\text{ZnSe}:\text{Fe}^{2+}$ на длине волны 2.92 мкм. Излучение лазера на кристалле $\text{ZnSe}:\text{Fe}^{2+}$ имеет длину волны, перестраиваемую в области 4–5 мкм. Мощное излучение с длиной волны, лежащей в этом диапазоне, представляет интерес с точки зрения его применений.

В настоящей работе сообщается о получении суперлюминесцентного излучения в кристалле $\text{ZnSe}:\text{Fe}^{2+}$ при накачке излучением лазера с длиной волны 2.94 мкм при комнатной температуре.

2. Примесь Fe^{2+} вводилась в кристалл ZnSe в процессе диффузии в условиях термодинамического равновесия фаз [7]. На рис.1 приведен спектр пропускания использовавшегося образца в области длин волн 0.45–3.2 мкм. Линия поглощения с максимумом вблизи 3 мкм является линией поглощения ионов Fe^{2+} (см., напр., [3, 4]). Пропускание кристалла на длине волны 2.94 мкм составляло $\sim 10\%$. Диффузия происходила одновременно с двух сторон кристалла. При оптической обработке кристалла, заключающейся в полировке граней, через которые осуществлялась диффузия, с каждой из сторон кристалла снимались слои одинаковой толщины. Указанное выше пропускание обусловлено как поглощением в двух идентичных приповерхностных слоях кристалла ZnSe ,

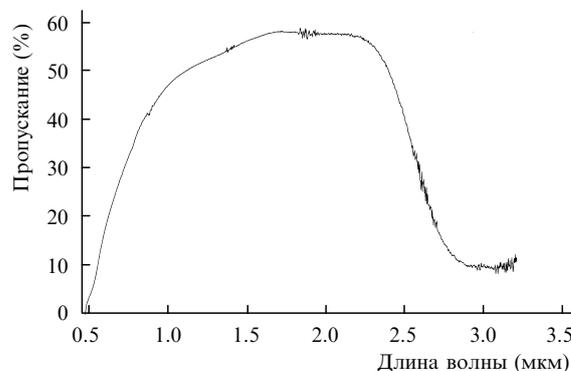


Рис.1. Спектр пропускания образца кристалла $\text{ZnSe}:\text{Fe}^{2+}$.

легированных Fe^{2+} , так и отражением от оптических поверхностей. Ориентировочно толщина обогащенного ионами Fe^{2+} слоя была равна 100 мкм. По оценке, пропускание одного приповерхностного слоя для длины волны 2.94 мкм составляло $\sim 40\%$.

Схема эксперимента приведена на рис.2. Излучение лазера на основе кристалла $\text{YAG}:\text{Er}^{3+}$ с длиной волны генерации 2.94 мкм, работавшего в режиме активной модуляции добротности, фокусировалось цилиндрической линзой (в линию длиной около 10 мм и шириной ~ 100 мкм) на поверхность кристалла ZnSe , содержащую обогащенный ионами Fe^{2+} слой. Длительность импульса на-

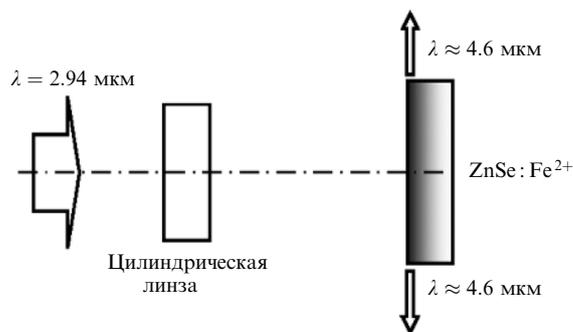


Рис.2. Схема эксперимента. Слой, обогащенный ионами Fe^{2+} , расположен с той стороны кристалла, на которую падает излучение накачки, и выделен темным цветом.

Н.Н.Ильичев, В.П.Данилов, В.П.Калинушкин, М.И.Студеникин. Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: ilichev@kapella.gpi.ru
П.В.Шапкин, А.С.Насибов. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53

Поступила в редакцию 24 декабря 2007 г.

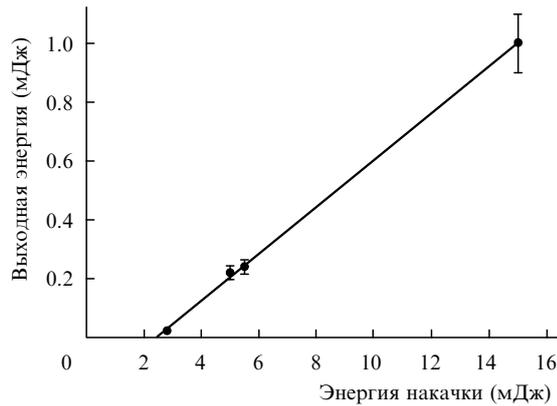


Рис. 3. Зависимость энергии импульса суперлюминесценции от энергии импульса накачки.

качки составляла ~ 100 нс. Излучение суперлюминесценции регистрировалось в направлении вдоль линии фокусировки накачки в области кристалла, непосредственно прилегающей к его поверхности. Грани, через которые излучение выходило из кристалла, скалывались. На рис. 3 представлена зависимость суммарной энергии излучения от энергии накачки. Видно, что эта зависимость имеет пороговый характер (порог ~ 2.4 мДж), типичный для лазерной генерации.

На рис. 4 представлено поперечное распределение плотности энергии импульса излучения в плоскости, находившейся на расстоянии 95 мм от выходной грани кристалла, которое было измерено с помощью диафрагмы диаметром 1.5 мм, перемещавшейся в этой плоскости. Расходимость излучения составляла 0.04–0.05 рад. Энергия суперлюминесценции слабо зависела от угла между линией фокусировки накачки на поверхности кристалла и нормалью к плоскости скола при изменении этого угла в пределах $\pm 6^\circ$. Ось пучка излучения являлась продолжением линии накачки с учетом преломления на грани кристалла. Поэтому резонатор, обеспечивающий обратную связь для излучения, отсутствовал и излучение

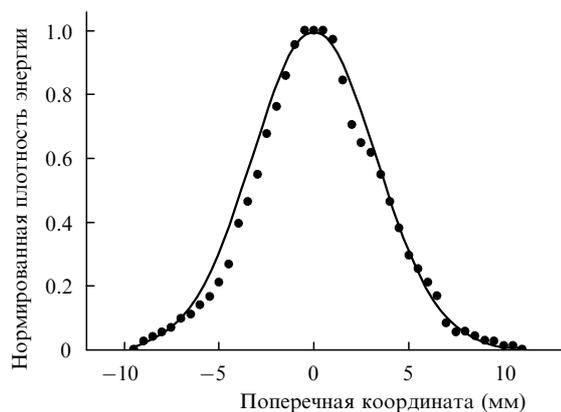


Рис. 4. Зависимость нормированной плотности энергии импульса суперлюминесценции от поперечной координаты в плоскости, находящейся на расстоянии 95 мм от выходной грани кристалла ZnSe: Fe²⁺.

формировалось за счет большого коэффициента усиления. Возможность получения больших коэффициентов усиления в выбранной геометрии накачки подтверждается следующей оценкой. Пусть произведение коэффициента поглощения (на длине волны накачки) на толщину (0.01 см) диффузионного слоя, содержащего Fe²⁺, равно 1, что соответствует пропусканию слоя 30 %–40 %. Примем, что максимальное сечение вынужденного излучения в кристалле ZnSe: Fe²⁺ при комнатной температуре равно сечению поглощения на длине волны накачки. Это сечение вынужденного излучения в 2–2.5 раза меньше приведенного в [4] расчетного значения, что только усиливает оценку. Если под действием излучения накачки около 1/3 ионов Fe²⁺ будут переведены на верхний уровень, что легко осуществить (см., напр., [7]), то произведение коэффициента усиления на длину (1 см) линии фокусировки накачки составит ~ 30 в максимуме линии люминесценции, что достаточно для получения суперлюминесценции. Была измерена длина волны λ_{\max} , соответствующая максимуму излучения, и оценена ширина $\Delta\nu$ его спектра: $\lambda_{\max} = 4.6 - 4.7$ мкм, $\Delta\nu < 80$ см⁻¹. Ширина линии излучения более чем на порядок меньше ширины линии люминесценции при комнатной температуре [4].

3. Проведенные измерения показали, что излучение кристалла ZnSe: Fe²⁺ обладает высокой направленностью и что ось пучка излучения является продолжением линии фокусировки накачки на грани кристалла с учетом его показателя преломления. Зависимость энергии импульса излучения от энергии накачки имеет пороговый характер, а ширина линии излучения более чем на порядок уже ширины линии люминесценции. Совокупность полученных данных позволяет сделать вывод о том, что исследуемое излучение является суперлюминесцентным. Интересно, что излучение кристалла ZnSe: Fe²⁺ дает видимую глазом вспышку на бумаге, покрытой графитом.

Возможно, что получению режима суперлюминесценции способствует такая геометрия системы, когда ионы Fe²⁺ содержатся в тонком (~ 100 мкм) приповерхностном слое кристалла в больших ($\sim 10^{20}$ см⁻³) концентрациях и излучение распространяется вдоль этого слоя перпендикулярно направлению распространения излучения накачки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 06-02-16566 и 06-02-16779) и гранта Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ РФ № НШ-8283.2006.2.

1. DeLoach L.D., Page R.H., Wilke G.D., et al. *IEEE J. Quantum Electron.*, **32**, 885 (1996).
2. Page R.H., Schaffers K.I., DeLoach L.D., et al. *IEEE J. Quantum Electron.*, **33**, 609 (1997).
3. Adams J.J., Bibeau C., Page R.H., et al. *Opt. Lett.*, **24**, 1720 (1999).
4. Kernal J., Fedorov V.V., Gallian A., et al. *Opt. Express*, **13**, 10608 (2005).
5. Акимов В.А., Воронов А.А., Козловский В.И. и др. *Квантовая электроника*, **36**, 299 (2006).
6. Воронов А.А., Козловский В.И., Коростелин Ю.В. и др. *Квантовая электроника*, **36**, 1 (2006).
7. Il'ichev N.N., Shapkin P.V., et al. *Laser Phys.*, **17**, 130 (2007).