

## ВЫНУЖДЕННОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ В ЛАЗЕРНОМ СТЕКЛЕ

В.В.Иванов, Ю.В.Сенатский, Г.В.Склизков

Зарегистрировано вынужденное комбинационное рассеяние при распространении в неоди-мовом лазерном фосфатном стекле 0,5 нс импульса излучения на длине волны 1,064 мкм с плотностью мощности  $\geq 3$  ГВт/см<sup>2</sup>. Стоксов сдвиг частоты  $\approx 1180$  см<sup>-1</sup>, коэффициент преобразования – до 5%.

Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) при распространении мощного лазерного пучка в твердых прозрачных диэлектриках наблюдается обычно в кристаллических средах, таких, как кальцит, нелинейные кристаллы, кристаллы двойных вольфраматов и молибдатов и др.<sup>1, 2</sup>. В последнее время интенсивно изучается ВКР в световолокнах<sup>3, 4</sup>. В настоящей работе сообщается о первом наблюдении ВКР в лазерном фосфатном стекле.

В эксперименте использовалась лазерная установка на кристаллах YAG: Nd<sup>3+</sup> и неоди-мовом стекле, формирующая одиночный гладкий импульс на длине волны 1,064 мкм с шири-ной спектра  $< 0,2$  см<sup>-1</sup> и длительностью  $\tau_{и} = 0,5 - 0,7$  нс. Отметим, что для ВКР субна-носекундных импульсов в стекле подавлена конкуренция со стороны вынужденного рассея-ния Манделштама – Бриллюэна (ВРМБ), т. к.  $\tau_{врмб} \gg \tau_{и} \gg \tau_{вкр}$ , где  $\tau_{врмб} \approx 10$  нс – постоянная ВРМБ в стекле, а  $\tau_{вкр} = 1/2\pi c \Delta\nu \approx 0,3$  пс – временная константа ВКР ( $\Delta\nu = 16$  см<sup>-1</sup> – однородная ширина линии комбинационного рассеяния<sup>4</sup>). Коллимированный пучок  $\Phi$  2,2 мм направлялся через полированные торцы в образцы из стекла длиной 7 – 15 см, плотность энергии излучения в них составляла 2 – 5 Дж/см<sup>2</sup>. Исследовались спектральные, угловые, энергетические и временные параметры излучения, прошедшего через образец.

В спектральных измерениях инфракрасное излучение фокусировалось на щель спектрогра-фа УФ-90 с дифракционной решеткой с линейной дисперсией 26 Å/мм в первом порядке. Ре-гистрация производилась на фотопленку И-3 (в стоксовой части спектра до  $\approx 1,3$  мкм) и И-1060 (в антистоксовой части) за 1 – 10 лазерных вспышек.

При использовавшихся плотностях энергии излучения во всех образцах из фосфатных и силикатных стекол наблюдалась интенсивная самофокусировка лазерного пучка, проявля-ющаяся в возникновении нитевидных повреждений и рассеянии излучения на углы  $\gtrsim 0,1$  рад.

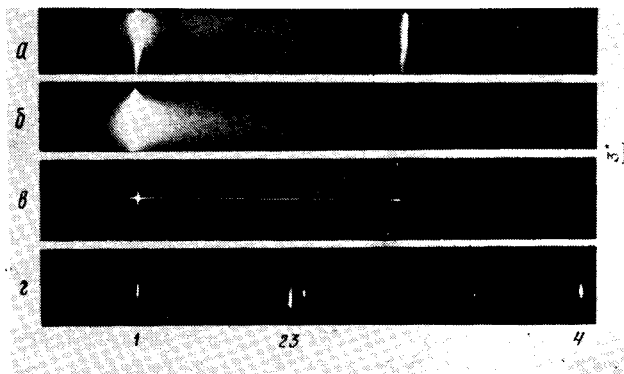


Рис. 1. а, в – Спектры излучения (за 1 выстрел), прошедшего через образец из Li-La-Nd-фосфат-ного стекла; б – стекла ЛГС-55; г – калибровочные линии YAG : Nd<sup>3+</sup>-лазера 1,064 мкм (1) и 1,318 мкм (4) и He-Ne-лазера 1,152 мкм (2) и 1,160 мкм (3)

На рис. 1 представлены спектры излучения, прошедшего через образцы. Во всех исследованных стеклах было зарегистрировано суживание спектра в стоксовой и антистоксовой областях, обусловленное нелинейным взаимодействием излучения со средой<sup>2</sup>. Суживание в силикатном стекле К-8 составляло более  $2000 \text{ см}^{-1}$ , в неодимовых фосфатных стеклах антистоксова часть была значительно короче стоксовой, по-видимому, вследствие поглощения ионами  $\text{Nd}^{3+}$ , начиная с длин волн  $\approx 0,9 \text{ мкм}$ . Суживание такой протяженности наблюдалось ранее только в экспериментах с пикосекундными импульсами<sup>2</sup>.

В концентрированном Li-La-Nd-фосфатном стекле<sup>5</sup> (длина образца  $l = 7 \text{ см}$ , содержание неодима  $N = 8 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ) при средней по сечению пучка плотности мощности импульса  $\geq 3 \text{ ГВт/см}^2$  была зарегистрирована линия ВКР на длине волны  $\approx 1,217 \text{ мкм}$ , рис. 1 а. Стоксов сдвиг  $\approx 1180 \text{ см}^{-1}$  соответствует фоновому пику валентных колебаний фосфатных тетраэдров  $\text{PO}_4$ -группы на этой длине волны<sup>6</sup>. Ширина линии, в зависимости от мощности импульса накачки, составляла  $1,5 - 5 \text{ нм}$ . Не было зарегистрировано антистоксовой линии ВКР. В тех же условиях ВКР отсутствовало в спектре образцов из неодимового фосфатного стекла ГЛС-23П ( $l = 15 \text{ см}$ ,  $N = 2,9 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ) и ЛГС-55 ( $l = 13 \text{ см}$ ,  $N = 5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ), рис. 1 б, а также силикатного стекла К-8 ( $l = 13 \text{ см}$ ) при накоплении на фотоэмульсии излучения до десяти лазерных вспышек. Более низкий порог ВКР в Li-La-Nd-фосфатном стекле возможно связан с большей степенью упорядоченности его структуры<sup>5</sup>.

Спектрально-угловое распределение излучения, прошедшего образец, исследовалось при его фокусировке цилиндрической линзой ( $F = 10 \text{ см}$ ) перпендикулярно щели спектрографа. Из рис. 1 в видно, что основная доля ВКР сосредоточена в угле  $\leq 4 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$  (угловая апертура использованных оптических элементов  $- 3 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$ ).

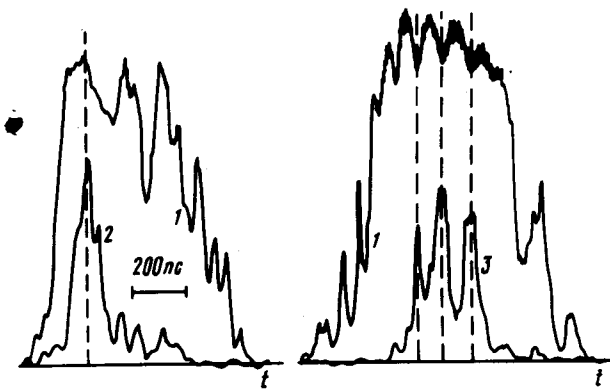


Рис. 2. Денситограммы прошедшего образец мощного импульса накачки (1) и соответствующего ему рассеяния на длине волны  $1,217 \text{ мкм}$  (2) и  $1,064 \text{ мкм}$  (3)

Для анализа временного профиля импульсов накачки и ВКР излучение после дисперсионной призмы фокусировалось цилиндрической линзой на щель электронно-оптического преобразователя "Агат-СФ-3". Подбором селективных и нейтральных светофильтров выделялось излучение только на длине волны  $\approx 1,06 \text{ мкм}$ , стоксова компонента ВКР или одновременно импульсы накачки и рассеяния, рис. 2. Вследствие самофокусировки на профиле лазерного импульса, прошедшего образец, возникали провалы интенсивности (из-за выброса части излучения на большие углы), рис. 2 (1). Глубина модуляции импульса достигала  $30 - 80\%$  и приводила к его разбиению на "субимпульсы" длительностью  $100 - 150 \text{ пс}$ . Наблюдались  $1 - 2$  мощных импульса ВКР длительностью  $80 - 120 \text{ пс}$  на переднем фронте импульса накачки и несколько значительно более слабых — на заднем фронте. Временное положение стоксова импульса ВКР совпадало с максимумами отдельных "субимпульсов" накачки, рис. 2 а, а не с самофокусировочными провалами, коррелированными с выбросами рассеянного излучения на длине волны  $1,064 \text{ мкм}$ .

Измерение эффективности конверсии накачки в стоксову компоненту ВКР производилось калориметрами с помощью селективных диэлектрических зеркал. На выходе из образца в

излучении с расходимостью  $\lesssim 3 \cdot 10^{-2}$  рад энергия ВКР составляла 3 – 6%. В излучении, рассеянном на углы 0,1 – 0,4 рад (на такие углы вследствие самофокусировки рассеивалось 3 – 5% падающей на образец энергии) доля ВКР была несколько большей, 5 – 12%. На было зарегистрировано ВКР в обратном направлении. Меньшее усиление ВКР в обратном направлении, по-видимому, вызвано малой эффективной длиной взаимодействия  $l_{эф}$  с "субимпульсом" накачки длительностью  $t \approx 10^{-10}$  с,  $l_{эф} = ct/2n \approx 1$  см ( $n = 1,55$  – показатель преломления).

Наблюдение ВКР в стекле указывает на новый возможный канал потерь при распространении пучка в оптическом тракте мощного неодимового лазера. В наших экспериментах ВКР наблюдалось при мелкомасштабной самофокусировке основного лазерного пучка. Однако угловая направленность ВКР и несовпадение импульсов ВКР по времени с рассеянием излучения накачки, рис. 2, свидетельствуют, что основная доля зарегистрированного ВКР не связана с нитями самофокусировки. Проведенный эксперимент указывает на возможность получения импульсов ВКР в генераторах на концентрированных фосфатных стеклах аналогично ВКР-генерации в лазерах на кристаллах<sup>1</sup>. ВКР, кроме того, может послужить эффективным инструментом при исследовании структуры и свойств этих стекол, находящихся сейчас широкое применение в лазерной технике.

В заключение, авторы благодарят Н.Е.Быковского и М.В.Осипова за помощь в работе и П.В.Мамышева за полезные обсуждения.

#### Литература

1. Андрияс К., Вищакас Ю., Кабелка В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1985, 42, 333.
2. Сверхкороткие световые импульсы (под ред. С.Шапиро) М.: Мир, 1981.
3. Дианов Е.М., Ивацов Л.М., Карасик А.Я. и др. ЖЭТФ, 1986, 91, 2031.
4. Басиев Т.Т., Дианов Е.М., Захидов З.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 192.
5. Денкер Б.И., Осико В.В., Пашинин П.П., Прохоров А.М. Квантовая электроника, 1981, 8, 469.
6. Лазерные фосфатные стекла (под ред М.Е.Жаботинского) М.: Наука, 1980.