

НАВЕДЕННЫЕ $\chi^{(2)}$ -РЕШЕТКИ В СТЕКЛАХ

Б.Я.Зельдович, Ю.Е.Капицкий, В.М.Чуриков

Челябинский государственный технический университет

Поступила в редакцию 1 ноября 1990 г.

Наблюдалась генерация второй гармоники в стекле. Измерялась угловая селективность $\chi^{(2)}$ -решетки. Наблюдался распад и восстановление решеток. Эффективность преобразования была 10^{-6} на длине 60 мкм для средней мощности излучения 240 мВт.

Генерация второй гармоники (ВГ) оптическими волокнами наблюдалась Ойстербергом и Маргулисом ¹. Предварительно через световод в течение нескольких часов пропускалось излучение мощного пикосекундного YAG : Nd-лазера. Столен и Том ² ускорили процесс приготовления, пропуская через волокно одновременно с основным излучением его ВГ. Феноменологическая теория явления была предложена в ³. Угловая селективность таких решеток была измерена в ⁴, получено обращение волнового фронта на $\chi^{(2)}$ -решетках ⁵, генерация ВГ была получена в кварцевых заготовках для изготовления оптических волокон ⁶. Эти заготовки сами обладают волноводными свойствами.

Оставалось не ясным, является ли наведенная генерация ВГ явлением, присущим только аморфному кварцу и существенно ли наличие в среде волноводных свойств.

Для наблюдения $\chi^{(2)}$ -решеток в стекле мы использовали YAG : Nd-лазер с активной синхронизацией мод и активной модуляцией добротности. Длительность импульсов была 100 пс, частота повторения 6 кГц, в одном цуге было около 30 импульсов. Инфракрасное излучение (ИК) частично преобразовывалось во ВГ в КТР кристалле. Оба излучения фокусировались в образец стекла линзой с фокусным расстоянием 9 мм. Стадия записи состояла в одновременной засветке образца ИК и ВГ излучениями в течение нескольких минут. Решетка считывалась ИК излучением, для чего ВГ отсекалась фильтром. Генерацию ВГ можно было наблюдать глазом, мощность ВГ измерялась ФЭУ. В первых экспериментах мы использовали стеклянную пластинку ПМ-15 (стекло К-8), и средняя мощность сигнала ВГ была $10^{-10} - 10^{-9}$ Вт для средней мощности ИК 240 мВт. На рис.1 представлена угловая селективность $\chi^{(2)}$ -решеток в таком стекле. Кривая существенно шире, чем в волокнах (ср. ⁴), что подтверждает влияние модового состава волокна на структуру $\chi^{(2)}$ -решеток в волокнах. Со временем $\chi^{(2)}$ -решетки в стеклах исчезают. На рис.2 представлена зависимость мощности сигнала ВГ от времени для двух случаев: в присутствии ИК излучения; в отсутствие излучения. Более медленное исчезновение $\chi^{(2)}$ -решетки в присутствии ИК свидетельствует о том, что имеет место частичная подзапись решетки, а значит записанная решетка и записывающая интерференционная картина находятся не в противофазе.

Мы подобрали образец стекла, в котором интенсивность сигнала ВГ была в 10^3 раз больше, чем в первом случае при тех же условиях. Это стекло БС-7 из набора фильтров ГОСТ 9411-81. На рис.3 показано исчезновение решетки в таком стекле: при воздействии ИК излучения; при воздействии ВГ излучения; без воздействия излучения. Интенсивность стирающего излучения была та же, что и при записи. Интересно, что в обоих образцах все кривые стирания имеют быструю (от $t = 0$ до точки А) и медленную (от точки А до $t = \infty$) стадии. Это особенно отчетливо видно в логарифмической шкале

(не показанной на рис.3). Такое поведение характерно для релаксации фотопроводимости в диэлектрике при наличии ловушек типа "центры прилипания"⁷. Можно предположить, что имеет место релаксация пространственно разделенного заряда. Тогда становится понятным и быстрое исчезновение решетки под воздействием излучения ВГ. ВГ кванты отрывают электроны от ловушек. Электроны дрейфуют в направлении положительного заряда и рекомбинируют.

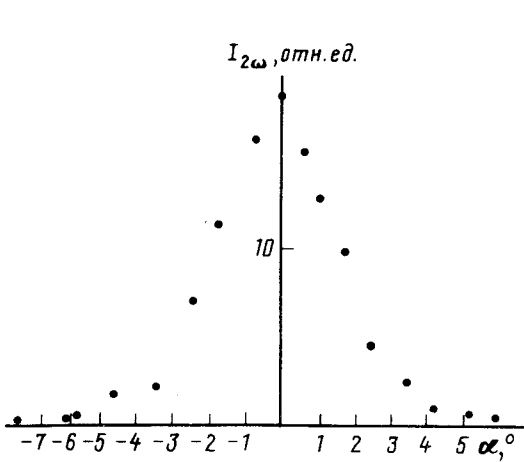


Рис.1

Рис. 1. Зависимость интенсивности сигнала ВГ от угла падения считывающего излучения на решетку

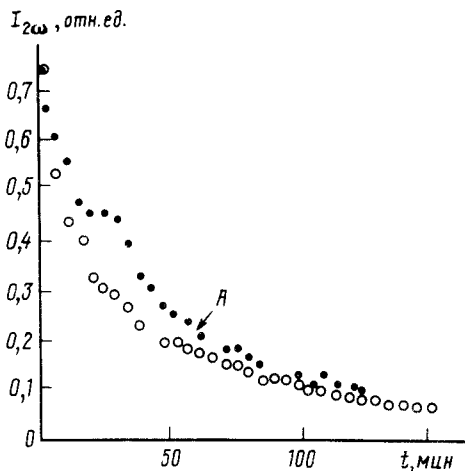


Рис.2

Рис. 2. Изменение во времени сигнала ВГ для стекла К-8: ● - в присутствии ИК излучения, ○ - в отсутствие ИК излучения

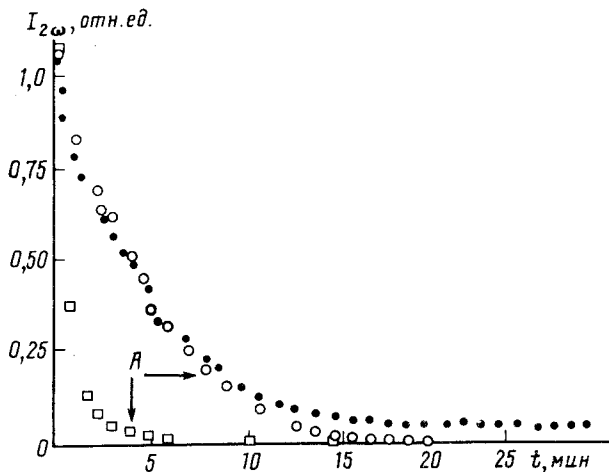


Рис. 3. Изменение во времени интенсивности сигнала ВГ для стекла БС-7: ● - в присутствии ИК излучения, □ - в присутствии ВГ излучения, ○ - без воздействия излучения

Таким образом нам представляется возможной следующая модель. В среде имеет место стоячая интерференционная картина, обусловленная интерференцией полей E_{ω}^2 и $E_{2\omega}$. Среда представляет собой широкозонный диэлектрик

с примесными центрами и ловушками типа "центры прилипания". Положим для определенности, что имеют место донорные примеси. Тогда валентные электроны выбиваются из доноров в зону проводимости двумя ИК квантами и одним ВГ квантом. Процесс выбивания зависит от соотношения фаз между E_{ω}^2 и $E_{2\omega}$ ⁸. Выбитые электроны имеют импульс в направлении отличного от нуля поля $\langle E^3 \rangle$ ⁹. Электроны летят до тех пор, пока из-за столкновений с дефектами решетки не потеряют свою скорость и не попадут на ловушки. Так происходит пространственное разделение заряда, и, следовательно возникают локальные статические поля. Пространственная структура этих полей такова, что они автоматически удовлетворяют условию синхронизма. Генерация ВГ происходит на $\chi^{(3)}$ -нелинейности следующей поляризации:

$$P_i^{(3)}(2\omega) = \chi_{ijkl}^{(3)}(-2\omega, \omega, \omega, 0) E_j(\omega) E_k(\omega) E_l(0).$$

Как указывали в ¹⁰ такой механизм требует наличия статического поля напряженностью $10^4 - 10^5$ В/см. Такие поля возможны в диэлектриках с низкой фотопроводимостью. Например, в $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ при освещении синезеленой областью спектра фотогальваническое напряжение может достигать таких величин ¹¹.

Удивительно, что после затирания $\chi^{(2)}$ -решетки излучением ВГ или после затирания излучением ИК, ортогональным записывающему, оказывалось возможным восстановить ее, считывая ее без ВГ затравки, т.е. имела место перезапись без затравки ВГ.

Имела место запись решетки ортогональными E_{ω} и $E_{2\omega}$. При этом эффективность генерации второй гармоники была в 16 раз меньше, чем при записи параллельными волнами, если считывание проводилось ИК волной, поляризованной параллельно записывающей ВГ волне, и в $16 \cdot 9 \approx 140$ раз меньше при считывании ИК волной, поляризованной перпендикулярно. Это подтверждает предположения, высказанные в ¹¹.

Таким образом, экспериментально продемонстрирована возможность записи $\chi^{(2)}$ -решеток в стекле с вариацией эффективности от одного материала к другому в $\sim 10^3$ раз.

Литература

1. Osterberg U., Margulis W. Optics Lett., 1986, 11, 516; 1987, 12, 57.
2. Stolen R.H., Tom H. Optics Lett., 1987, 12, 585.
3. Баранова Н.Б., Зельдович Б.Я. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 562.
4. Kapitzky Yu.E., Zel'dovich V.Ya. CLEO'90, Technical Digest, v.7, CTUP5.
5. Kapitzky Yu.E., Zel'dovich V.Ya. Optics Lett., 1990, 15, 11.
6. Lawandy N.M., Selker M.D. Optics Communications, 1990, 77, 339.
7. Смит Р. Полупроводники, М.: Мир, 1982, с. 385.
8. Зельдович Б.Я., Чудинов А.Н. Письма в ЖЭТФ, 1989, 50, 405.
9. Баранова Н.Б., Зельдович Б.Я. JOSA B, will be published in 1990.
10. Tom H., Stolen R.H., Aumiller G.D., Pleibel W. Optics Lett., 1988, 13, 512.
11. Glass A.M., Von der Linde O., Negran T.J. Appl. Phys. Lett., 1974, 25, 233.
12. Mizrabhi V., Hibino Y., Stegeman G. Optics Communications, 1990, 78, вып.3, 4.