

**АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВО ВТОРУЮ ГАРМОНИКУ ПРИ  
СЧИТЫВАНИИ И ЗАПИСИ  $\chi^{(2)}$ -РЕШЕТОК**

*М.А.Болштятинский, Б.Я.Зельдович, В.М.Чуриков*

Технический университет

454080 Челябинск, Россия

Поступила в редакцию 18 марта 1993 г.

Наблюдалась скачкообразная зависимость эффективности преобразования во вторую гармонику от интенсивности входного инфракрасного излучения при считывании и записи  $\chi^{(2)}$ -решеток в ряде многокомпонентных стекол. Обсуждается возможный механизм явления.

Наведенная генерация второй гармоники (ГВГ) в оптическом волокне была открыта в 1986 г. Остербергом и Маргулисом<sup>1</sup>. Лаванди и Селкер<sup>2</sup> показали возможность этого явления в объемных германиево-силикатных заготовках для волокна. Многочисленные исследования (см., например,<sup>3</sup>) позволили установить, что одновременное воздействие оптических полей  $E_\omega$  и  $E_{2\omega}$  на центросимметричную среду (волокно или стекло) приводит к понижению симметрии, наиболее вероятно, в результате наведения решетки статического поля  $E_{st}$ , причем, как показано в<sup>4</sup>,  $E_{st} \sim < E(EE) >$ , где  $E$  – сумма вещественных полей  $E_\omega$  и  $E_{2\omega}$ . Это поле, действуя на нелинейную восприимчивость третьего порядка  $\chi^{(3)}$ , создает эффективную  $\chi^{(2)}$ -решетку, которая автоматически обеспечивает синхронизм взаимодействия. Кроме того, авторы работы<sup>2</sup> нашли, что для записи эффективной  $\chi^{(2)}$ -решетки требуется  $\omega$ -излучение, интенсивность которого превышает некоторое пороговое значение.

Природа наведенной ГВГ до сих пор остается неясной. К тому же, в работе<sup>5</sup> показано, что микроскопический механизм записи  $\chi^{(2)}$ -решетки может быть различным для разных стекол. Для понимания природы этого явления важно, на наш взгляд, выяснить влияние интенсивности инфракрасного  $\omega$ -излучения (ИК) на запись и считывание, поскольку  $\omega$ -излучение участвует в обоих процессах. В частности, влияние мощности входного ИК излучения на сигнал ВГ исследовалось, например, в работе<sup>6</sup> для стекол, легированных микрокристаллитами  $CdS_xSe_{x-1}$ , и в работе<sup>7</sup> для германиево-силикатных волокон. В этих экспериментах зависимость сигнала от входного ИК была найдена квадратичной, что означало независимость наведенной в стекле восприимчивости  $\chi^{(2)}$  от интенсивности считающего ИК излучения. В настоящем письме мы докладываем о проведении аналогичного эксперимента в свинцово-силикатном стекле ЖС-4, в котором механизм эффекта, по-видимому, несколько иной.

В эксперименте мы использовали Nd:YAG-лазер с активной модуляцией добротности и активной синхронизацией мод, половина средней мощности излучения которого приходилась на 100-пикосекундные импульсы. Излучение частично удваивалось кристаллом КТР, далее пропускалось через линейный поляризатор и фокусировалось микрообъективом от микроскопа в образец стекла ЖС-4. Максимальная средняя мощность излучения, прошедшего через стекло, была 900 мВт. Сначала мы измерили зависимость эффективности преобразования  $\beta = I_{2\omega}/I_\omega^2$  от интенсивности считающего ИК излучения  $I_\omega$ ,

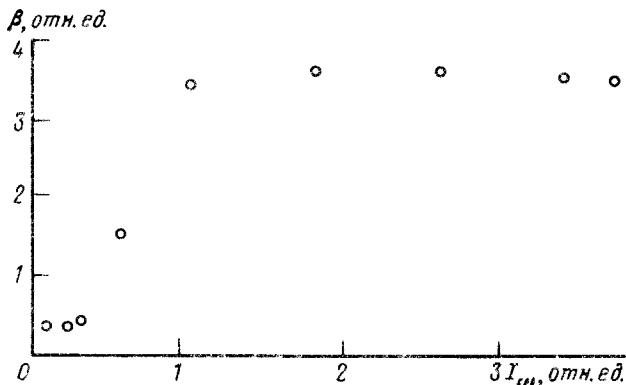


Рис.1. Зависимость эффективности преобразования во ВГ в стекле ЖС-4 от интенсивности считывающей  $\omega$ -волны

которая изменялась с помощью пластины  $\lambda/2$ , установленной перед поляризатором. Для этого мы записали решетку до насыщения, используя достаточно сильную накачку, такую что зеленый сигнал был хорошо виден при комнатном освещении. Результат измерений представлен на рис.1. Эффективность преобразования во ВГ была постоянной при достаточно сильном ИК, но ниже некоторого значения  $I_{\omega}$  наблюдалось неожиданное резкое падение  $\beta$ . При дальнейшем уменьшении  $I_{\omega}$  эффективность  $\beta$  снова становилась постоянной, но меньшей примерно на порядок. Этот эффект не был связан со стиранием  $\chi^{(2)}$ -решетки, которое наблюдалось ранее<sup>8</sup>, поскольку воздействие на решетку при считывании было очень коротким. Мы проверили, что зависимость  $\beta(I_{\omega})$  была с высокой точностью обратимой при изменении  $I_{\omega}$  от больших значений к малым, и наоборот. Кроме того, была тщательно проверена линейность фотоприемника (ФЭУ-127В) в рабочем интервале. Такую же зависимость коэффициента преобразования  $\beta(I_{\omega})$  мы наблюдали в ряде других свинцово-силикатных стекол, а также в стекле на основе  $Al_2O_3$  и  $CaO$ . Резкое уменьшение эффективности преобразования наблюдалось во всех стеклах примерно при одном и том же значении  $I_{\omega}$ , по нашим оценкам  $\sim 5 \text{ ГВт}/\text{см}^2$ . Величина скачка зависела от сорта стекла и составляла один-два порядка при одних и тех же условиях записи.

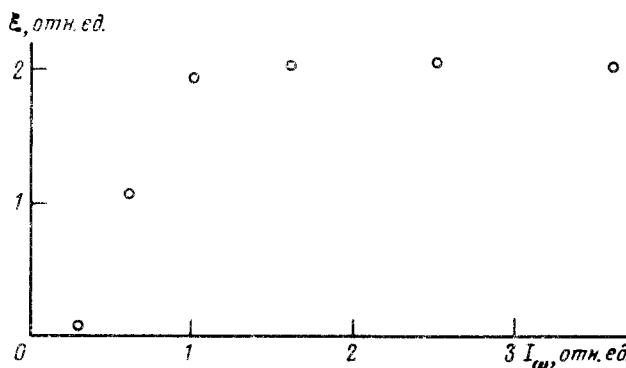


Рис.2. Зависимость эффективности записи решетки  $\zeta = I_{2\omega}/(I_{\omega}^w)^2$  от интенсивности записывающей  $\omega$ -волны

На рис.2 представлена зависимость величины  $\zeta = I_{2\omega}/(I_{\omega}^w)^2$  от  $I_{\omega}^w$ , где  $I_{\omega}^w$  – интенсивность записывающей  $\omega$ -волны. Считывание производилось фиксиро-

ванным ИК излучением, одинаковым для всех точек. Затравочная ВГ была также фиксированной и составляла 0,5 мВт. Скачкообразное изменение эффективности решетки  $\zeta(I_\omega^w)$ , очевидно, связано с описанным выше эффектом (рис.1) и, возможно, аналогично порогу, обнаруженному в работе <sup>2</sup>.

По нашему мнению, полученный результат можно интерпретировать следующим образом. Как было отмечено выше, мы вероятнее всего имеем дело с ГВГ в наведенном электрическом поле, так что  $\chi^{(3)} = \chi^{(3)} E_{st}$ , где статическое поле  $E_{st} \sim (EE)E \sim (E_\omega^*)^2 E_{2\omega} \exp(i\Delta k_2) + \text{к.с.}$ . В рамках этой модели величина статического поля зависит от записывающих параметров и не меняется при считывании, если пренебречь слабым стиранием. Тогда наше предположение состоит в том, что наблюдаемое поведение эффективности преобразования во ВГ может быть вызвано ростом нелинейной восприимчивости стекла  $\chi^{(3)}(0 = -2\omega + \omega + \omega)$  при превышении некоторой критической интенсивности ИК излучения. Это может быть связано с резким увеличением концентрации электронов в хвосте зоны проводимости, либо с перераспределением их по возбужденным уровням в запрещенной зоне во время прохождения мощного импульса света. Нам представляется возможным следующий механизм наведенной ГВГ. Электроны многофотонно и/или многоступенчато возбуждаются с примесью в зону проводимости, затем в результате сильного рассеяния теряют энергию и попадают на ловушки, концентрация которых в аморфных материалах очень высока ( $\sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ). Эмиссия электронов с ловушек может осуществляться как квантами ИК, так и ВГ в зависимости от глубины уровней захвата. Выбитые в зону проводимости электроны дрейфуют под действием статической поляризации  $\langle \chi_a^{(3)}(EE)E \rangle$ , где  $\chi_a^{(3)}$  — восприимчивость третьего порядка  $\chi^{(3)}(0 = -2\omega + \omega + \omega)$ , аномально увеличенная за счет большой концентрации электронов вблизи зоны проводимости. Вылетев на периферию светового пучка, электроны захватываются ловушками, на которых могут оставаться очень долго (порядка нескольких дней при комнатной температуре в отсутствие излучения). Такая модель позволяет, на наш взгляд, объяснить появление в стекле сильного внутреннего  $E_{st}$  поля, необходимого для эффективной ГВГ, а также многие свойства этого явления, в том числе зависимость эффективности преобразования от интенсивности накачки. Вполне вероятно, что предложенный механизм может быть не единственным, но главное, на что мы хотим обратить внимание, это возможное изменение нелинейных свойств среды в поле сильной световой волны, которое влияет на процессы записи и считывания решеток квадратичной поляризуемости.

Авторы благодарны Ю.Е.Капицкому и В.И.Коппу за полезные обсуждения.

1. U.Osterberg and W.Margulis, Opt. Lett. **11**, 516 (1986).
2. N.M.Lawandy and M.D.Selker, Opt. Commun. **77**, 339 (1990).
3. V.O.Sokolov and V.B.Sulimov, Sov. Lightwave Commun. **1**, 419 (1991).
4. М.А.Болштянский, Б.Я.Зельдович, Ю.Е.Капицкий и др. Квантовая электроника **12**, 81 (1992).
5. E.M.Dianov, P.G.Kazansky, D.Z.Starodubov, and D.Yu.Stepanov, Sov. Lightwave Commun. **2**, 83 (1992).
6. N.M.Lawandy and R.L.MacDonald, J. Opt. Soc. Am. B **8**, 1307 (1991).
7. F.Ouellette, Opt. Lett. **14**, 964 (1989).
8. V.M.Churikov, Yu.E.Kapitzky, V.N.Lukyanov, and B.Ya.Zel'dovich, Sov. Lightwave Commun. **1**, 389 (1992).