

ОПТИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ ЧИСТЫХ КРИСТАЛЛОВ НИОБАТА ЛИТИЯ И ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

С.Г. Одулов, О.И. Олейник, М.С. Соскин

Обнаружено резкое увеличение светоиндуцированного изменения показателя преломления при охлаждении номинально чистых кристаллов ниобата лития до температуры жидкого азота. По характеристикам дифракции на светоиндуцированных решетках установлено, что причиной явления является формирование объемного заряда вследствие фотовольтаического эффекта.

1. Работа представляет собой первое сообщение об исследовании оптической нелинейности сегнетоэлектрических кристаллов при низких температурах. В номинально чистых восстановленных кристаллах ниобата лития обнаружено значительное (более чем на порядок) увеличение нелинейности. Несфокусированный пучок гелий — кадмиевого лазера (диаметр ~ 3 мм, мощность 10 мВт) при прохождении через кристалл LiNbO_3 толщиной 3 мм при комнатной температуре практически не искажается. При охлаждении кристалла расходимость пучка резко увеличивается, причем наблюдается преимущественное вытягивание пятна в дальней зоне вдоль полярной оси кристалла (рис. 1). Одновременно наблюдается сильное анизотропное светоиндуцированное рассеяние, которое поглощает большую часть падающего на кристалл излучения.

Изменяется также характер голографической записи. Резко возрастает чувствительность кристалла как регистрирующей среды и увеличивается дифракционная эффективность записываемых голограмм.

2. Сильная нелинейность широкозонных электрооптических кристаллов связана с формированием при освещении неоднородного пространственного заряда, поле которого модулирует показатель преломления. Величина поля пространственного заряда определяется механизмом разделения зарядов, который может быть связан с приложением к кристаллу внешнего поля, с пирозарядом на торцах разомкнутого кристалла, с диффузионным разделением зарядов и с объемным фотовольтаическим эффектом [1].

При комнатной температуре в восстановленных кристаллах голографическая запись связана в основном с диффузионным разделением заряда, причем поле пространственного заряда равно диффузионному полю

$$E_T = \frac{2\pi}{\Lambda} \frac{kT}{e}, \quad (1)$$

где Λ — характерный размер неоднородности светового пятна [2]. Для несфокусированного лазерного пучка величина E_T составляет единицы

вольт при комнатной температуре, что согласуется с отсутствием искажения пучка при прохождении через кристалл (рис.1, а). При понижении температуры величина E_T должна становиться еще меньше, что находится в качественном противоречии с экспериментом (рис.1, б).

При записи голограмм было обнаружено, что, несмотря на рост эффективности, энергообмен между пучками равной интенсивности отсутствует. Последнее указывает на локальный характер нелинейного отклика при низких температурах в отличие от нелокального диффузионного отклика при комнатной температуре [2].

Все эти данные позволяют утверждать, что при понижении температуры происходит изменение механизма разделения зарядов и, соответственно, фоторефракции.

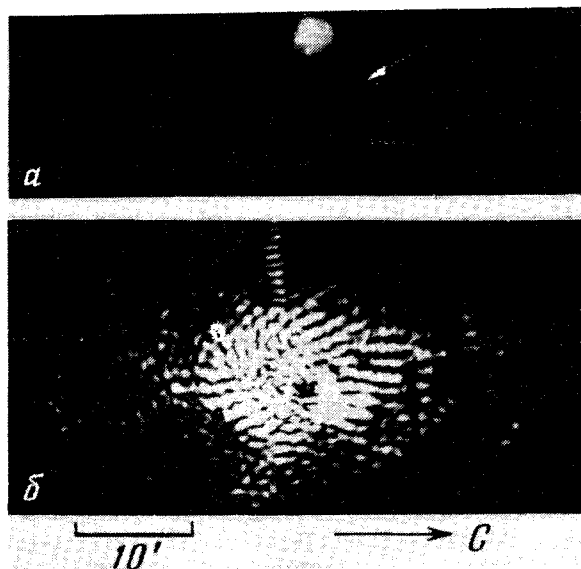


Рис.1. Угловое распределение несфокусированного излучения лазера, прошедшего через номинально чистый восстановленный кристалл LiNbO_3 при температурах 300 К (а) и 77 К (б)

3. Для установления механизма разделения зарядов при помощи модифицированной методики "форсированного" рассеяния света [3, 4] были проведены измерения величины эффективного электрического поля, воздействующего на фотовозбужденные носители.

Запись динамической решетки осуществлялась двумя пучками, заполняющими все сечение кристалла с тем, чтобы исключить образование крупномасштабных оптических неоднородностей, искажающих волновой фронт, как показано на рис.1, б. Регистрировалась кинетика роста дифракционной эффективности при записи и "небрэгговском" стирании [5] записанной решетки. Измерения проводились в условиях, когда эффективность голограммы не превышала нескольких процентов, что позволяло не учитывать влияние светойндуцированного рассеяния света, проявляющегося при больших фазовых набеггах.

Дифракционная эффективность квадратично росла во времени при записи и экспоненциально спадала при "небрэгговском" стирании, что по-

зволюло использовать для измерений приближенные формулы [6]:

$$\eta(t)_{\text{зап}} = \frac{4m}{(m+1)^2} \left\{ - \frac{\pi r n^3 z E}{2 \lambda \cos \theta} [1 - \exp(-t/\tau_M)] \right\}^2, \quad (2)$$

$$\eta(t)_{\text{сч}} = \eta_0 \exp(-2t/\tau_M), \quad (3)$$

где m — отношение интенсивностей записывающих пучков, 2θ — их угол схождения, $\tau_M = \frac{\epsilon \epsilon_0}{\sigma}$ — время максвелловской релаксации заряда, z — толщина кристалла.

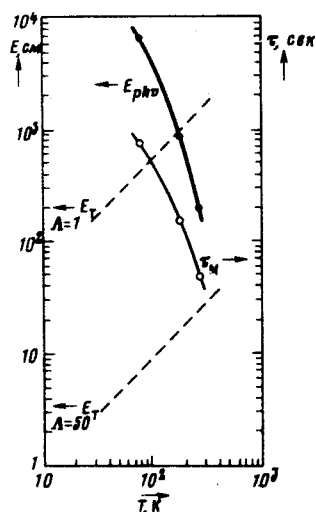


Рис.2. Температурная зависимость величин эффективного фотовольтаического поля E_{phv} и времени релаксации пространственного заряда τ_M . Пунктиром показаны расчетные зависимости диффузионного поля для периода интерференционной картины $\Lambda = 50$ мкм, соответствующего данному эксперименту, и $\Lambda = 1$ мкм

На рис.2 приведены величины эффективного поля E и времени релаксации τ_M для трех фиксированных температур.

Как видно, эффективное поле возрастает в 35 раз при переходе от комнатной температуры к азотной и достигает величины $\sim 7,5$ кВ/см, что и объясняет увеличение нелинейности (рис.1). Одновременно происходит значительное уменьшение фотопроводимости кристалла¹⁾.

4. Корреляция температурных изменений E и σ позволяет предположить, что причиной дрейфа фотовозбужденных носителей является аномальный фотовольтаический эффект [6]. Это предположение подтверждается тем, что фотоиндуцированное изменение показателя преломления имеет локальный характер $\Delta n(r) \sim I(r)$, а также тем, что перенос заряда осуществляется только в направлении оси спонтанной поляризации.

¹⁾ При расчете σ предполагалось, в соответствии с данными работы [4], что ϵ в рабочем диапазоне температур практически постоянно.

Значение эффективного фотовольтаического поля определяется как [6]:

$$E_{phv} = \frac{k\alpha I}{\sigma_T + \sigma_{\Phi}}, \quad (4)$$

где α — коэффициент поглощения кристалла, k — константа Гласса, I — интенсивность подсветки, $\sigma_T \ll \sigma_{\Phi}$ — темновая и фотопроводимость кристалла. Независимые измерения σ_{Φ} и E_{phv} дают возможность оценить, что температурные изменения $k\alpha$ в указанном интервале не превышают 3,5 раза. По значению $\alpha = 1,5 \text{ см}^{-1}$ можно рассчитать константу Гласса, значение которой при комнатной температуре $k = 1,5 \times 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{Вт}^{-1}$ находится в хорошем согласии с известными данными [8], и оценить ее температурные изменения. Однако ценность такого рода данных весьма проблематична, поскольку даже при комнатной температуре соотношение активного и неактивного поглощения на рабочей длине волны точно неизвестно, к тому же оно может зависеть от температуры.

Таким образом, изменение механизма оптической нелинейности LiNbO_3 при охлаждении связано с тем, что перераспределение объемного заряда вследствие тепловой диффузии становится неэффективным, в то время как фотовольтаический перенос заряда, напротив, сильно растет, в основном вследствие повышения сопротивления кристалла.

Резюмируя, отметим, что настоящая работа подтверждает вывод о наличии в номинально чистых кристаллах ниобата лития неконтролируемой примеси, с которой возможно фотовозбуждение с появлением фотовольтаического тока [1].

Авторы выражают благодарность В.Б.Маркову и В.П.Кондиленко за полезное обсуждение работы.

Институт физики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
25 августа 1981 г.

Литература

- [1] Glass A.M., Von der Linde D. Appl. Physics., 8, 1975, 85.
- [2] Kukhtarev N., Markov V., Odoulov S., Soskin M., Vinetskii V. Ferroelectrics, 22, 1979, 949.
- [3] Pohl D. IBM J. of Research and Development, 23, 1979, 604.
- [4] Eichler H.J. Ferstkorperprobleme (Advances in Solid State Physics) ed. by Teurch, Vieweg., 18, 1978, 241.
- [5] Велабаев К.Г., Марков В.Б., Одулов С.Г. УФЖ, 21, 1976, 1550.
- [6] Vahey D.V. J. Appl. Phys., 46, 1975, 3510.
- [7] Кузьминов Ю.С. Ниобат и танталат лития, М., изд. Наука, 1975.
- [8] Glass A.M., von der Linde D., Negran T.J. Appl. Phys. Lett., 25, 1974, 233.