

ДВИЖЕНИЕ ВОЛН ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА В $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$

О.В.Кандидова, В.В.Леманов, Б.В.Сухарев, А.С.Фурман

Обнаружено, что в процессе темновой релаксации фазовых голограмм, записанных в электрооптических кристаллах $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$, происходит их пространственное перемещение. Этот факт связывается с распространением в кристалле волн перезарядки ловушек. Закон дисперсии этих волн $\omega \sim K^{-1}$ согласуется с экспериментом.

В работе исследовалась темновая релаксация динамических голограмм, записанных в кристаллах $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ (0,05 вес. % в расплаве). Использовались образцы с размерами $3 \times 3 \times 0,4 \text{ мм}^3$ вдоль осей X, Y, Z соответственно и с коэффициентом поглощения $6,4 \text{ см}^{-1}$ на длине волны $0,44 \text{ мкм}$. На грани образца, перпендикулярные оси Y , наносилась серебряная паста с "окном" для записи голограмм с размерами $2 \times 0,8 \text{ мм}^2$ вдоль осей X, Z соответственно (рис. 1). Запись фазовых дифракционных решеток осуществлялась при пересечении в кристалле двух пучков света с длиной волны $0,44 \text{ мкм}$, с необыкновенной поляризацией и одинаковой интенсивностью, равной $0,8 \text{ Вт/см}^2$, при диаметрах пучков $1,5 \text{ мм}$. Биссектриса угла схождения пучков совпадала с осью Y , а волновой вектор записываемой решетки был направлен вдоль оси Z кристалла. Дифракционная эффективность записанных решеток составляла $1 \div 10\%$. Стирание решеток осуществлялось нагревом кристалла до температуры около 200°C , после чего кристалл выдерживался при комнатной температуре около двух суток.

Темновая проводимость кристалла составляла $\sigma_T = 6 \cdot 10^{-15} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и измерялась с помощью электрометра В7-30 вдоль оси Z в образцах разных размеров для определения вклада поверхностной проводимости, который оказался незначительным.

Для наблюдения релаксации голограмм использовались те же пучки света, что и при записи, но ослабленные введением нейтральных светофильтров до интенсивности 10^{-5} Вт/см^2 . Такое освещение, как показали специальные эксперименты, практически не влияло на процесс релаксации. С помощью калиброванного фотоприемника с фотодиодом ФД-1 проводилось измерение интенсивности прошедшего сквозь кристалл пучка $I_{\text{пр1}}$ при выключенном пучке I_2 , интенсивности дифрагированного пучка $I_{\text{д2}}$ при выключенном пучке I_1 , а также интенсивности суммарного пучка I_Σ при включенных пучках I_1 и I_2 (рис. 1). Было обнаружено, что интенсивность I_Σ осциллирует со временем по синусоидальному закону (рис. 2 а), а величины $I_{\text{пр1}}$ и $I_{\text{д2}}$ практически не меняются за период осцилляций. Наблюдалось до 10 периодов осцилляций со слабо убывающей со временем амплитудой. Зависимость периода осцилляций T от величины волнового вектора решетки K приведена на рис. 2 б. Из рисунка видно, что наблюдается линейная зависимость $T(K)$.

Следует отметить, что в случае, когда запись голограмм проводилась сразу после окончания теплового стирания при 200°C , линейной зависимости $T(K)$ не наблюдалось: период T не зависел от волнового вектора K в интервале $1 \text{ мкм}^{-1} \leq K \leq 4 \text{ мкм}^{-1}$ и составлял 830 с .

Как следует из схемы на рис. 1, при сдвиге интерференционной картины, создаваемой в кристалле пересечением считывающих пучков, относительно ранее записанной решетки на угол φ интенсивность суммарного сигнала может быть записана в виде

$$I_\Sigma = I_{\text{пр1}} + I_{\text{д2}} + 2\sqrt{I_{\text{пр1}} I_{\text{д2}}} \cos(\pi/2 - \varphi) = I_{\text{пр1}} + I_{\text{д2}} + 2\sqrt{I_{\text{пр1}} I_{\text{д2}}} \sin \varphi,$$

где сдвиг $\pi/2$ добавляется за счет дифракции на решетке. Таким образом, к временным осцилляциям I_Σ может приводить лишь изменение φ с течением времени, а так как интерференционная картина неподвижна, это означает, что передвигаться должна записанная

решетка. При этом скорость движения решетки $v \sim K^{-2}$ (рис. 2 б) и изменяется в пределах от 10^{-7} до $2 \cdot 10^{-6}$ см/с.

Амплитуда осцилляций составляла в среднем около 80% от максимально возможной амплитуды $2\sqrt{I_{\text{пр}1} I_{\text{д}2}}$. Возможно, это указывает на то, что в кристалле наряду с движущейся существует и неподвижная решетка.

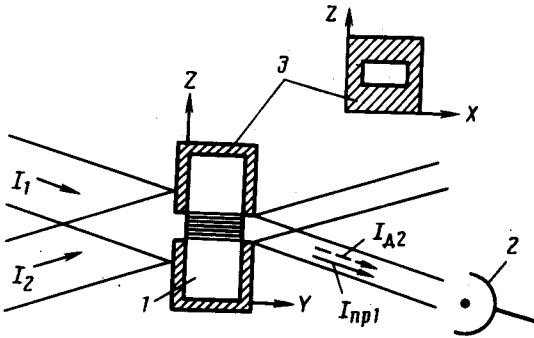


Рис. 1. Схема исследования движения решеток. На вставке показана грань кристалла, перпендикулярная оси Y . 1 - образец, 2 - фотоприемник, 3 - серебряная паста

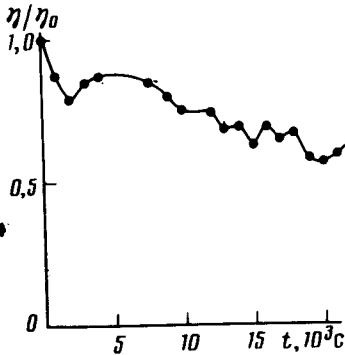


Рис. 3. Зависимость дифракционной эффективности от времени темнового стирания ($\eta_0 = 10\%$ - дифракционная эффективность решетки в момент прекращения записи, $K = 2,1 \text{ мкм}^{-1}$)

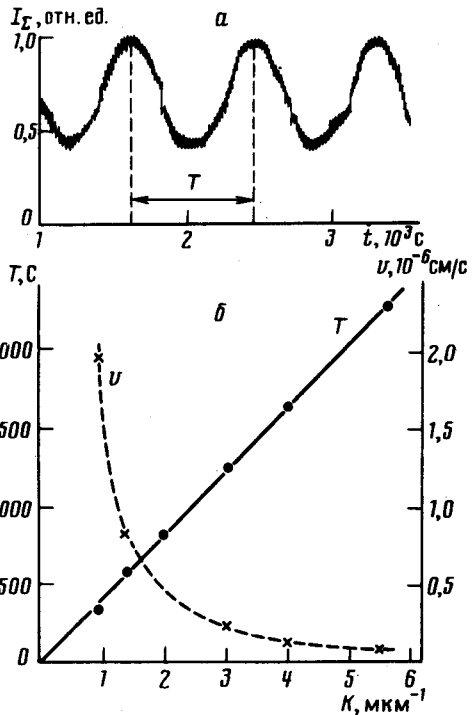


Рис. 2. Осцилляции суммарной интенсивности с течением времени при $K = 2,0 \text{ мкм}^{-1}$ (а), и зависимость их периода от величины волнового вектора записанных решеток (б)

Для исследования временной зависимости дифракционной эффективности решеток измерялась интенсивность $I_{\text{д}2}$ при включении только пучка I_2 на 10 с через каждые 1000 с. Временная зависимость дифракционной эффективности приведена на рис. 3 (для $K = 2,0 \text{ мкм}^{-1}$). Эта зависимость оказалась немонотонной. Измерения, проведенные для значений K от 0,9 до $3,9 \text{ мкм}^{-1}$, показывают, что наблюдается более медленная релаксация голограмм с большим K . Однако, во всех случаях время существования решеток более, чем на 2 порядка превышало время максвелловской релаксации $\tau_M = \epsilon/4\pi\sigma_T \approx 600 \text{ с}$. Полученные результаты противоречат существующим в настоящее время представлениям о том, что записанная в кристалле голограмма должна после прекращения освещения монотонным образом стираться с характерным временем максвелловской релаксации, не зависящим от периода решетки. Следует отметить, что увеличение времени хранения голограмм наблюдается в ².

Как известно, процесс стирания голограмм связан с релаксацией неоднородного заполнения электронами имеющихся в кристалле глубоких примесных центров. При наличии посто-

янного поля E_0 в таком кристалле могут распространяться волны перезарядки ловушек, проявляющиеся в осцилляциях связанного заряда ³. В соответствии с этим голограмма в присутствии поля E_0 должна представлять собой распространяющуюся вдоль E_0 волну перезарядки, периодическое поле которой модулирует показатель преломления кристалла ⁴. На возможность движения голограмм при однородном освещении кристалла, к которому с помощью источника напряжений приложено постоянное поле E_0 , указывалось в ⁴.

Как показано в ³, при условии $Kl_0 > 1$ ($l_0 = \mu\tau_{ж}$, E_0 — время жизни электронов в зоне проводимости, μ — их подвижности), закон дисперсии волны имеет вид $\omega = 2\pi/T = (\tau_M Kl_0)^{-1}$, что с точностью до численного множителя совпадает с экспериментальной зависимостью на рис. 2 б.

Постоянная времени затухания волн перезарядки ловушек τ согласно теории может на 1–2 порядка превышать τ_M и подчиняется закону $\tau \sim K^2$ ³, что качественно согласуется с наблюдаемой в эксперименте более медленной релаксацией решеток с большим K . Следует отметить, что при однородном освещении кристалла закон затухания записанных в нем решеток $\tau \sim K^2$ наблюдался в ⁵.

Существование квазистационарного поля E_0 , необходимого для распространения в кристалле волн перезарядки ловушек, может быть связано с наличием в нецентросимметричном кристалле медленно затухающей компоненты релаксационного тока J_R , возникающего, например, из-за создания в процессе записи решеток неравновесной заселенности примесных центров. Поле пространственного заряда, создаваемого этим током $E_0 = -J_R/\sigma_T$, должно быть достаточным для выполнения условия $Kl_0 > 1$. При $\mu\tau_{ж} \sim 10^{-8}$ см²/В получаем $E_0 \gtrsim 10^4$ В/см, что при измеренном σ_T приводит к значению $J_R \gtrsim 6 \cdot 10^{-11}$ А/см². Следует отметить, что поскольку параметры кристалла μ и $\tau_{ж}$ известны недостаточно хорошо, данная оценка представляется весьма грубой.

Литература

1. Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983.
2. Канаев И.Ф., Малиновский В.К. Автометрия, 1980, 1, 26.
3. Жданова Н.Г., Каган М.С., Сурис Р.А., Фукс Б.И. ЖЭТФ, 1978, 74, 364.
4. Фурман А.С. ФТТ, 1987, 29, 1076.
5. Белабаев К.Г., Марков В.Б., Одулов С.Г. УФЖ, 1976, 21, 1550.