

06.3; 07

© 1992

ФАЗОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛА
 НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФОТО-ЭДС
 В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ

О.П. Нестеркин, Е.П. Шершakov

Нестационарная фото-ЭДС возникает в кристаллах, имеющих ловушечные центры с концентрацией N_A при освещении их нестационарной интерференционной картиной [1-4]. В самом деле, пусть кристалл освещен одновременно двумя интерференционными картинками: стационарной и движущейся с постоянной скоростью $v = \Omega/q \gg (\tau_M \varphi)^{-1}$, где, q - пространственная частота решетки, Ω - разность частот волн, дающих бегущую интерференционную картину, τ_M - время релаксации решетки пространственного заряда.

Стационарная интерференционная картина записывает решетку поля пространственного заряда благодаря диффузии неоднородно возбужденных носителей и их дрейфу во внешнем постоянном поле. Комплексная амплитуда решетки поля $E \sim E_{sc} e^{iqx}$ + к. с. имеет фазу, зависящую от величины внешнего поля E_0 :

$$E_{sc} = -m_0 \frac{iE_D + E_0}{1 + E_D/E_q - iE_0/E_q}, \quad (1)$$

m_0 - контраст стационарной интерференционной картины, $E_D = qkT/e$ - диффузионное поле, $E_q = eN_A/\epsilon\epsilon_0 q$ - поле насыщения пространственного заряда, ϵ и ϵ_0 - диэлектрические проницаемости кристалла и вакуума соответственно, e - заряд электрона.

Бегущая интерференционная картина не формирует решетку поля, т.к. для этого требуется относительно длительное время τ_M : $\Omega \gg \tau_M$. Тем не менее, воздействие движущейся интерференционной

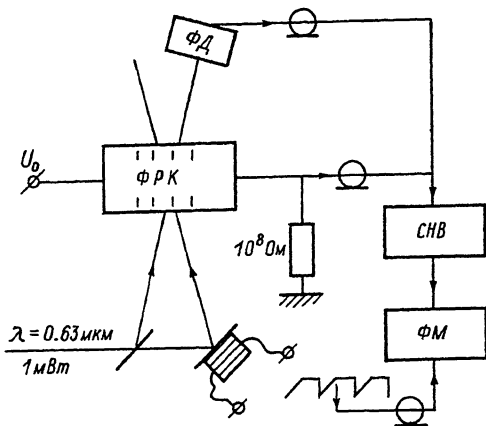


Рис. 1. Схема эксперимента. ФД - фотодетектор, СНВ - селективный нановольтметр, ФМ - измеритель разности фаз.

картины на кристалл проявляется в генерации решетки концентрации электронов проводимости $n \sim n_1 e^{i(qx - \Omega t)}$ + к. с. с комплексной амплитудой [5]

$$n_1 = m \Omega \frac{1 - i \Omega \tau_M}{1 + E_D/E_q - i E_0/E_q - \Omega \tau_M E_0/E_M - i \Omega \tau_M (1 + E_D/E_M)}, \quad (2)$$

описываемой при условии $\Omega \tau_M \gg 1$ простым выражением

$$n_1 = m \Omega \frac{1}{1 + E_D/E_M - i E_0/E_M}. \quad (3)$$

Здесь $E_M = (q \mu \tau)^{-1}$ дрейфовое поле, определяемое произведением времени жизни электрона в зоне проводимости τ на его подвижность μ . Наличие двух решеток с амплитудами (1) и (3) приводит к появлению в кристалле однородного по пространству тока $\langle n E \rangle \sim n_1 E_{sc} e^{-i \Omega t}$ + к.с., который осциллирует во времени. Здесь угловые скобки означают усреднение по пространству. Фаза временных осцилляций тока $\Phi(E_0)$ складывается из фазы $\varphi(E_0)$ решетки поля (1), измеренной относительно статической интерференционной картины, и фазы $\psi(E_0)$ решетки фотоэлектронов (3), измеренной относительно движущейся интерференционной картины. Зная зависимости $\Phi(E_0)$ и $\varphi(E_0)$ и вычисляя по ним зависимость $\psi(E_0)$, можно определить важную характеристику кристалла $\mu \tau$ при условии фиксированной пространственной частоты q . В предельном случае $E_M = (q \mu \tau)^{-1} = 0$ фаза сигнала нестационарной фото-ЭДС полностью определяется решеткой поля (1).

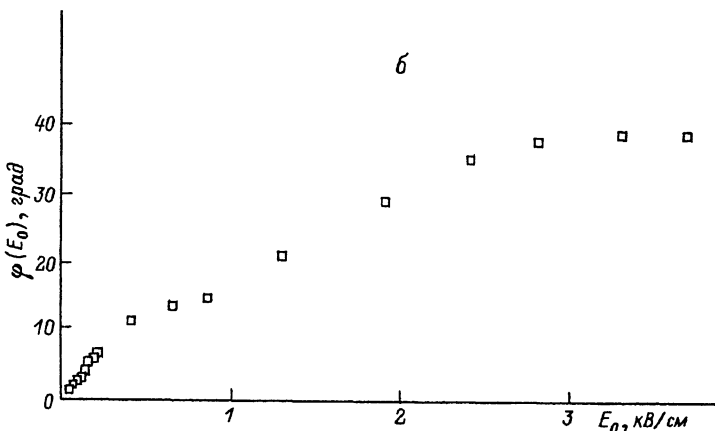
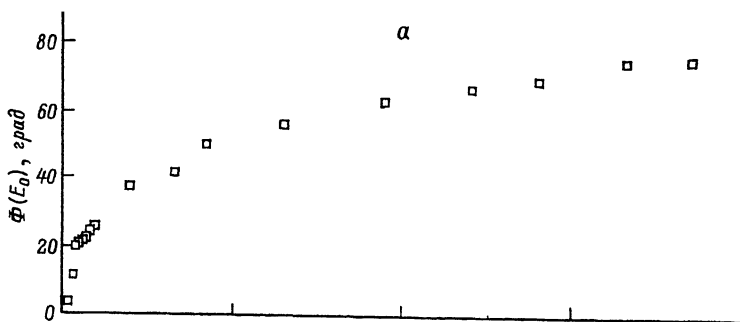


Рис. 2. Экспериментальные зависимости фазы $\varphi_D(E_0)$ биений интенсивности и фазы нестационарной фото-ЭДС $\Phi(E_0)$ от величины поля E_0 для $\varphi = 3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$: а, б - ВТО (малая дрейфовая длина, $E_0/E_\mu > 1$), в, г - ВСО (большая дрейфовая длина, $E_0/E_\mu \ll 1$)

Для того чтобы осветить кристалл одновременно стационарной и движущейся интерференционной картиной, один из интерферирующих пучков должен состоять из смеси двух волн с частотами ω и $\omega + \Omega$. Его интенсивность в этом случае имеет биения с частотой Ω . Эти биения приводят к осцилляциям фототока, обусловленного внешним постоянным полем E_0 . Чтобы избежать этого паразитного сигнала, в эксперименте один из пучков состоял из набора волн с частотами ω ; $\omega + \Omega$; $\omega - \Omega$ и т.д. и имел постоянную во времени интенсивность. Практически это осуществлялось подачей на модулирующее пьезо зеркало пилообразного сигнала с «тупым зубом» (рис. 1) на частоте 25 Гц. Этот же сигнал служил репером при измерении фазы $\Phi(E_0)$ сигнала нестационарной фото-ЭДС. Время записи решетки составляло 1-10 с.

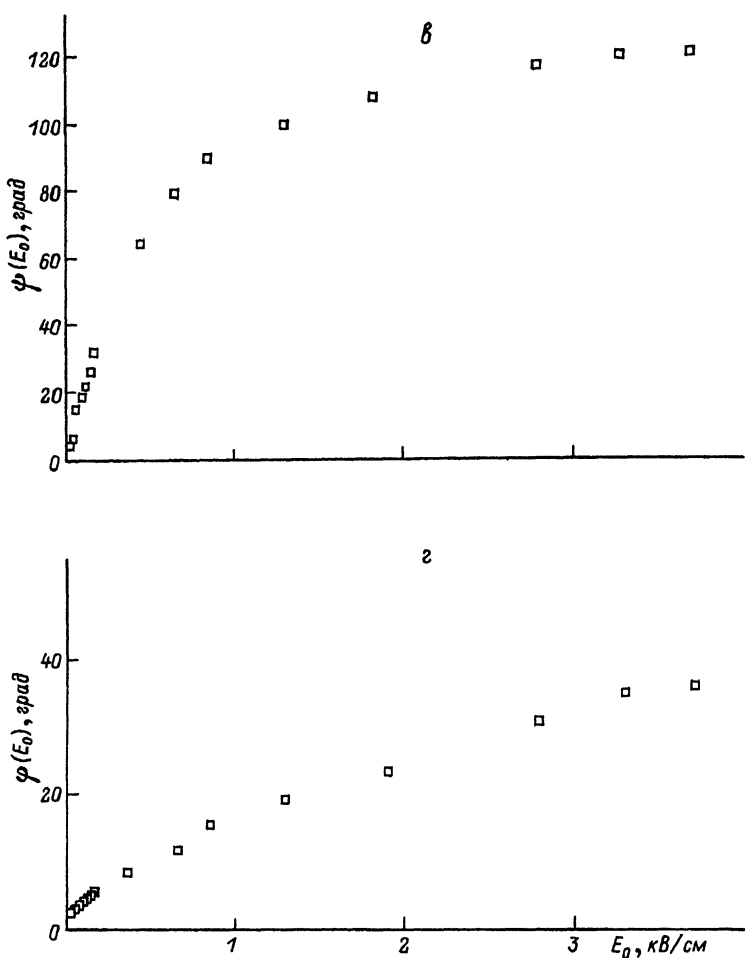


Рис. 2 (продолжение)

Фазово-промодулированная волна, дифрагируя на статической решетке и интерферируя с другой волной, дает осцилляции интенсивности, регистрируемые фотодетектором (см. рис. 1). Фаза этих осцилляций $\varphi_D(E_0)$ аддитивным образом связана с фазой решетки поля $\varphi(E_0) = \varphi_D(E_0) + C$. Измерение зависимости $\varphi_D(E_0)$ с точностью до несущественной константы определяет искомую зависимость $\varphi(E_0)$.

Измерения проводились в кристаллах ВТО и В О. He-Ne лазер мощностью 1 мВт использовался для получения двух когерентных волн (рис. 1), одна из которых модулировалась по фазе при помощи зеркала на пьезоподложке. Разность фаз измерялась при помощи фазометра Ф-27. Сигналы предварительно усиливались и фильтрова-

лись по частоте селективным нановольтовым. Экспериментальные зависимости представлены на рис. 2. Из приведенных данных видны следующие особенности. Фазы сигнала биений интенсивности совпадают для двух исследованных образцов, в которых моделировались различные предельные случаи соотношения E_0/E_M . Это соответствует малой дрейфовой длине ($E_0/E_M \ll 1$), в SO - большой дрейфовой длине ($E_0/E_M > 1$). По-видимому, это объясняется независимостью фазы стационарной решетки поля от соотношения E_0/E_{M0} . Вместе с тем фаза сигнала нестационарной фото-ЭДС при больших полях ($E_0 > 1$ кВ/см) зависит от соотношения E_0/E_M в исследуемом образце. Сравнение параметра E_0/E_M с единицей проводилось на основании наличия ($E_0/E_M > 1$) или отсутствия ($E_0/E_M \ll 1$) вырожденного двухволнового взаимодействия во внешнем переменном поле [6]. К сожалению, наличие частотной компоненты $\omega - \Omega$, дающей противоположно движущуюся интерференционную картину, не допускает простую трактовку, изложенную в начале данного сообщения. Для определения параметров кристалла N_A и $\mu\tau$ требуется анализ экспериментальных данных, учитывающий удельный вес компонент $\omega + \Omega$ и $\omega - \Omega$ в промодулированной волне, а также их относительную разность фаз.

Таким образом, в данной работе экспериментально продемонстрирована зависимость фазы сигнала нестационарной фото-ЭДС от величины внешнего постоянного приложенного поля, если одна из волн, дающих интерференционную картину, промодулирована по фазе так, что в промодулированной волне вклады компонент с противоположными сдвигами частот неэквивалентны.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Трофимов Г.С., Степанов С.И. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 9. С. 2785.
- [2] Петров М.П., Степанов С.И., Трофимов Г.С. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. № 15. С. 916.
- [3] Петров М.П., Степанов С.И., Трофимов Г.С. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. № 15. С. 265.
- [4] Соколов И.А., Трофимов Г.С., Степанов С.И. // ЖТФ. 1988. Т. 58. № 2. С. 429.
- [5] Nestiorkin O.P. // Opt. Comm. 1991. V. 81. N 5. P. 315.
- [6] Stepanov S.I., Petrov M.P. // Opt. Comm. 1985. V. 53. N 5. P. 292.

Поступило в Редакцию
12 апреля 1992 г.