

УДК 537.226.4

КИНЕТИКА ФОТОТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ  
В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА И ТАНТАЛАТА ЛИТИЯЭ. М. АВАКЯН, К. Г. БЕЛАБАЕВ, И. Н. КИСЕЛЕВА,  
В. Х. САРКИСОВ

Кироваканский химический завод

(Поступила в редакцию 20 марта 1982 г.)

Исследована кинетика фототоков короткого замыкания (ФКЗ) в кристаллах ниобата лития, легированных железом, и в восстановленных беспримесных кристаллах танталата лития. Изучение проводилось с помощью методики, в которой маскирующее действие пиротоков снималось путем антипараллельного по направлению пиротоков электрического соединения двух идентичных образцов. С помощью этой методики показано, что ФКЗ содержит медленную компоненту переходного сигнала, связанную с образованием в кристалле пространственного заряда при освещении. В восстановленных кристаллах танталата лития выявлены отличия кинетики ФКЗ, обусловленные фотопроводимостью и присутствием полей пироэлектрической природы.

Известно, что фототок короткого замыкания (ФКЗ), возникающий при освещении некоторых сегнетоэлектриков, состоит из переходной и стационарной составляющих. Исследование стационарного сигнала ФКЗ в кристаллах ниобата лития, легированных железом, показало, что он представляет собой объемный фотовольтаический ток, специфичный для полярных кристаллов [1]. Переходный сигнал ФКЗ может включать в себя пироток, связанный с нагреванием кристалла при освещении [2], ток экранирования из-за возможного фотоиндуцированного изменения спонтанной поляризации [3] и ток пространственных зарядов, обусловленный структурными неоднородностями материала [4]. Из перечисленных компонент наиболее сильно проявляется пироток.

В работе [5] для определения вклада пироэффекта в формирование переходного сигнала было предложено вычитать из общей кривой ФКЗ величину сигнала пиротока, получаемую при освещении образца нефотоактивным светом. При этом запись сигналов ФКЗ и пиротока в этой работе осуществлялась раздельно во времени. Кроме того, зачернение кристалла, осуществляемое с целью изучения вклада пироэффекта, может изменять время релаксации пиросигнала и тем самым вносить погрешность в измерение постоянной времени переходного процесса.

В настоящей работе предлагается методика, в которой компонента пиросигнала исключается из ФКЗ одновременно с помощью двух идентичных образцов, электрически соединенных между собой таким образом, чтобы направление пиротоков в них было антипараллельным (рис. 1). При

этом один из образцов освещается фотоактивным светом, а другой — нефотоактивным светом. С целью предотвращения возможной засветки кристаллов от обоих источников света между образцами помещался светонепроницаемый экран. Изменением освещенности образцов можно добиться равенства пиротоков и, следовательно, автоматической компенсации пиросигнала. Равенство пиротокликов экспериментально контролировалось по величине сигналов обратных выбросов пиротоков, получаемых с обоих образцов при выключении источников света.

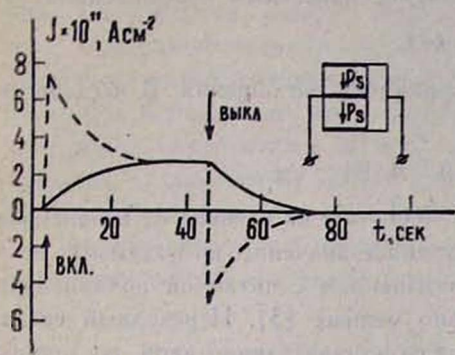


Рис. 1.

Рис. 1. Кинетика ФКЗ в кристалле ниобата лития с примесью железа (0,05 вес. %); пунктирная кривая — без компенсации пиросигнала.

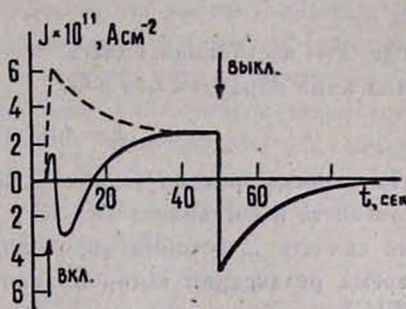


Рис. 2.

Рис. 2. Временная зависимость ФКЗ в восстановленном кристалле танталата лития.

С помощью описанной методики нами исследовалась кинетика ФКЗ в монокристаллах  $LiNbO_3-Fe$  (содержание  $Fe = 10^{-3} \div 7 \cdot 10^{-2}$  вес. %) и в кристаллах  $LiTaO_3$ , номинально не содержащих примесей. С целью увеличения фоточувствительности последние были частично восстановлены в атмосфере водорода при температуре  $700^\circ C$  в присутствии электрического поля напряженностью  $5 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ . После такой термообработки кристаллы  $LiTaO_3$  приобретали коричневую окраску и при относительно низкой темновой проводимости ( $\sigma_T = 10^{-14} \div 10^{-15} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ) обладали существенной (по сравнению с  $LiNbO_3-Fe$ ) фотопроводимостью. Значение фотопроводимости наших образцов на  $\lambda = 0,44 \text{ мкм}$  может быть представлено в виде

$$\sigma_{\phi} = (1 + 10) \cdot 10^{-13} I \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1},$$

в котором  $I$  — интенсивность света в  $\text{Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ .

Регистрация ФКЗ осуществлялась с помощью электрометра ЭД-05М и самопишущего прибора Н-327/8. Electroдами служили покрытия серебряной, палладиевой или графитовой пасты. В качестве фотоактивного и нефотоактивного источников света использовалось излучение гелий-кадмиевого ( $\lambda = 0,44 \text{ мкм}$ ,  $I \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ ) и гелий-неонового ( $\lambda = 1,15 \text{ мкм}$ ) лазеров.

На рис. 1 представлены типичные временные зависимости ФКЗ в кристаллах  $LiNbO_3-Fe$ , из которых следует, что и при компенсации пиросигнала (сплошная линия) имеет место переходная составляющая тока. Аналогичные зависимости были получены и на кристаллах  $LiTaO_3$ .

Анализ формы кривой ФКЗ с компенсацией пиротока показывает, что при включении света переходная составляющая имеет вид

$$j = j_0(1 - e^{-t/\tau}),$$

а при выключении света —

$$j = j_0 e^{-t/\tau},$$

где  $\tau$  — постоянная времени релаксации ФКЗ,  $j_0$  — стационарное значение фотовольтаического тока, определяемое известным соотношением [7]

$$j_0 = k\alpha I,$$

где  $k$  — постоянная Гласса,  $\alpha$  — коэффициент поглощения. В исследованных нами образцах  $LiTaO_3$

$$k = (10 \pm 1) \cdot 10^{-9} \text{ А} \cdot \text{Вт}^{-1} \text{ см}.$$

Постоянная времени в кристаллах  $LiNbO_3 - Fe$  не зависит от интенсивности света и составляет  $10 \div 13$  с. Полученное значение, по-видимому, нельзя связать с фотоиндуцированным изменением спонтанной поляризации, время релаксации которой значительно меньше [3]. Переходный сигнал ФКЗ не связан с током зарядки емкости измерительной цепи, постоянная времени которой составляла в экспериментах менее 0,5 с. По всей вероятности наблюдаемый переходный ток является следствием зарядки (разрядки) сегнетоэлектрического конденсатора.

При подстановке значения  $\tau$  в известное выражение для диэлектрической релаксации

$$\tau = \epsilon\epsilon_0/\sigma$$

для  $LiNbO_3 - Fe$  при  $\epsilon = 30$  получаем величину проводимости  $\sigma = 2 \cdot 10^{-13} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Это значение существенно выше объемной проводимости данных кристаллов ( $\sigma_0 = 10^{-15} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ), оцененной нами на основе методики временной релаксации записанных объемных голограмм [6]. Такое различие полученных величин электропроводности указывает на то, что в процессе освещения заряд накапливается главным образом в приповерхностных слоях, которые, как правило, обладают повышенной проводимостью.

Следует отметить, что значение  $\tau$  для  $LiNbO_3 - Fe$  не зависело от интенсивности света и материала применяемых нами электродов. Величина постоянной времени в  $LiTaO_3$  оказалась обратно пропорциональной интенсивности света ( $\tau \sim 1/I$ ) в пределах  $I$  от  $10^{-3}$  до  $3 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ , реализованных в эксперименте. Такая зависимость обусловлена линейностью фотопроводимости кристаллов  $LiTaO_3$  от интенсивности света.

Кроме того, в восстановленных кристаллах  $LiTaO_3$  выявлена зависимость кинетики ФКЗ от предыстории образца. На рис. 2 показаны кривые ФКЗ в  $LiTaO_3$  без компенсации пиросигнала, полученные после кратковременного прогрева образца до температуры  $\sim 200^\circ \text{ С}$  (сплошная линия), и в том же образце, но предварительно подвергнутом длительному освещению гелий-кадмиевым лазером (пунктирная линия). Энергия предварительного облучения составляла величину порядка  $1-3 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$ , при этом результаты экспериментов не зависели от времени между облу-

чением и измерением. Как следует из этих кривых, в предварительно прогретом образце ФКЗ через 0,5—1 с после включения света изменяет знак и по мере действия света его величина и знак устанавливаются такими же, как и у фотовольтаического тока при заданной освещенности до прогревания. Такая зависимость от предыстории образца указывает на то, что причиной изменения знака ФКЗ является нескомпенсированное электрическое поле пироэлектрической природы. При этом поскольку фотопроводимость достаточно высока, носители, стремясь экранировать нескомпенсированное пирополе, создают дополнительную составляющую объемного тока. Эта дополнительная составляющая направлена против пиротока, являющегося током связанных зарядов, и вызывает тем самым изменение знака ФКЗ. Возможно, что и в кристаллах ниобата лития с примесью железа могут существовать нескомпенсированные поля пироэлектрической природы. Однако из-за малой фотопроводимости кристаллов [7] обнаружить их с помощью нашей методики не удалось.

Авторы выражают благодарность Л. А. Шувалову и Т. Р. Волк за постоянное внимание к работе и полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Glass A. M., Von der Linde D., Negrán T. J. Appl. Phys. Lett., 25, 233 (1974).
2. Chen F. S. J. Appl. Phys., 8, 3389 (1969).
3. Glass A. M., Auston D. M. Opt. Comm., 5, 45 (1972).
4. Фридкин В. М. Фотосегнетоэлектрики, Изд. Наука, М., 1979.
5. Лебедева Н. Н. и др. УФЖ, 10, 1718 (1978).
6. Phillips W., Amodé J. J., Staebler D. L. RCA Rev., 33, 94 (1972).
7. Леванюк А. П. и др. ФТТ, 22, 1181 (1980).

#### ԿԱՐՃ ՄԻԱՑՄԱՆ ՖՈՏՈՆՈՍԱՆՔՆԵՐԻ ԿԻՆԵՏԻԿԱՆ ԼԻԹԻՈՒՄԻ ՆԻՈԲԱՏԻ ԵՎ ՏԱՆՏԱԼԱՏԻ ԲՅՈՒՐԵԶՆԵՐՈՒՄ

Է. Մ. ԱՎԱԿՅԱՆ, Կ. Գ. ԲԵԼԱԲԱԵՎ, Ի. Ն. ԿԻՍԵԼԵՎԱ, Վ. Խ. ՍԱՐԿԻՍՈՎ

Նկարագրված է սեգնետէլեկտրական բյուրեղներում կարճ միացման ֆոտոհոսանքների (ԿՄՖ) հետազոտման մեթոդիկան: Պիրոէֆեկտի բաղադրիչը դորոգությունը վերացվում է երկու միանման նմուշների ախպիսի էլեկտրական միացումով, որ պիրոհոսանքների ուղղությունները նրանցում հանդիպակած լինեն: Լիթիումի նիոբատի և տանտալատի բյուրեղներում նշված մեթոդիկայի օգնությամբ հայտնաբերված է ԿՄՖ-ի դանդաղ բաղադրիչ, որը պայմանավորված է լուսավորման ժամանակ բյուրեղում ծավալային լիցքի առաջացմամբ:

#### KINETICS OF SHORT-CIRCUIT PHOTOCURRENTS IN CRYSTALS OF LITHIUM NIOBATE AND TANTALATE

E. M. AVAKYAN, K. G. BELABAEV, I. N. KISELEVA, V. Kh. SARKISOV

A technique is described for the investigation of short-circuit photocurrents in ferroelectric crystals by means of which the masking action of the pyroeffect is reduced by connecting two identical specimens with opposite directions of pyrocurrents. By means of this technique a slow component of short-circuit photocurrents in lithium niobate and lithium tantalate is detected, which is attributed to formation of space charge in the crystals during the illumination. Differences in the kinetics of short-circuit photocurrents were observed in reduced lithium tantalate crystals.