

УДК 537.226

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

В. А. Давыдов, Ю. В. Коробкин

Показано, что зависимость от времени тока, возникающего при переполаризации сегнетоэлектриков, определяется нестационарной динамикой спонтанной поляризации, возникающей под влиянием внешних воздействий. Более того, даже протекающий заряд дает информацию о перестройке доменной структуры. Выводы статьи иллюстрируются данными экспериментов по переполаризации сегнетоэлектриков под воздействием электрических полей и лазерных импульсов.

Ключевые слова: сегнетоэлектрик, поляризация, монокристалл, керамика, ток.

Наличие спонтанной поляризации, возможность эффективного управления ей и другими электродинамическими параметрами сегнетоэлектриков являются причиной их широкого использования в научных исследованиях и в ряде технических устройств.

Одним из перспективных направлений исследований является использование сегнетоэлектриков для получения весьма мощных токовых импульсов при изменении спонтанной поляризации, благодаря тем или иным внешним воздействиям. Так, спонтанной поляризацией можно управлять при помощи изменения температуры [1], приложения внешних электрических полей [2], а также воздействия лазерного излучения [3].

Хотя основной целью вышеупомянутых экспериментов является разработка эмиттеров мощных электронных пучков, необходимых в ускорительной или рентгеновской технике, определение зависимости тока от времени (и даже его интегральных характеристик – протекших зарядов) может дать важную информацию о нестационарной динамике спонтанной поляризации, возникающей под влиянием внешних воздействий.

Рассмотрим вначале следующую схему возможного эксперимента. Возьмем пластину из неполяризованного сегнетоэлектрика (например, находящегося при температу-

Учреждение Российской академии наук Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 53.

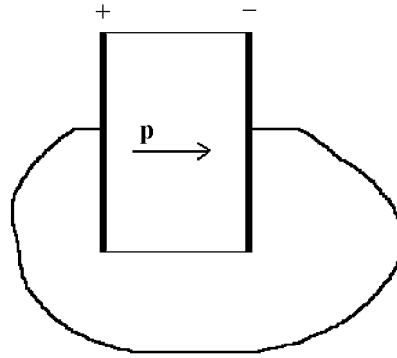


Рис. 1: Схема эксперимента.

ре выше точки Кюри). Нанесем на ее торцы металлическое напыление, исключаяющее прямой контакт сегнетоэлектрика с атмосферой, и замкнем проводником пластины получившегося конденсатора. Затем охладим сегнетоэлектрик до температуры меньшей, чем температура Кюри, и поляризуем его в направлении, перпендикулярном пластинам. При этом конденсатор зарядится (см. рис. 1).

Поскольку пластины коротко замкнуты проводником, напряженность электрического поля E внутри конденсатора должна быть равна нулю. Отсюда электрическая индукция $D = P$, где P – поляризация сегнетоэлектрика (мы используем систему СИ). С другой стороны, электрическая индукция определяется плотностью свободного заряда на обкладках конденсатора: $D = \sigma$.

Благодаря внешнему воздействию, поляризация сегнетоэлектрика будет меняться: $P = P(t)$. Вместе с ней будет меняться заряд на металлических пластинах. При этом ток в цепи соединяющего пластины проводника будет равен $I(t) = \frac{dP}{dt}S$, где S – площадь торца сегнетоэлектрического образца. Отсюда

$$P(t) = P_0 + \frac{1}{S} \int_0^t I(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где P_0 – начальная поляризация.

Соотношение (1) показывает, что измеряя зависимость тока от времени, мы получаем возможность исследовать динамику поляризации сегнетоэлектрика.

Так, если протекающий по соединяющему пластины проводнику заряд равен нулю, то после завершения нестационарных процессов поляризация вернулась к первоначальному значению. Если направление тока оставалось неизменным, произошло монотонное

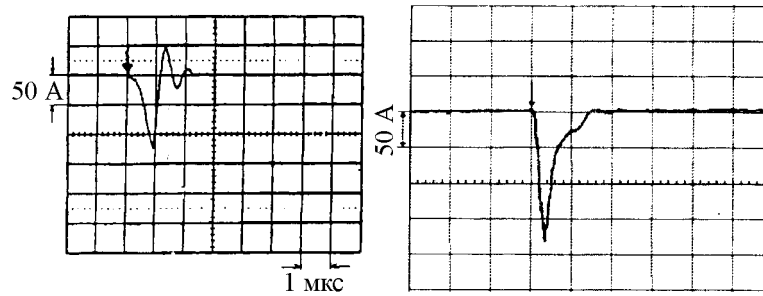


Рис. 2: Осциллограммы импульса тока планарного диода при воздействии на керамику высоковольтным импульсом [4, 5], (а) направление внешнего поля противоположно направлению вектора поляризации \mathbf{P} , (б) направление внешнего поля параллельно вектору поляризации \mathbf{P} . Стрелкой указано время подачи импульса.

изменение поляризации от начального значения P_0 до конечного значения P_1 , определяемого протекшим зарядом q : $P_1 = P_0 + q/S$. Если же ток меняет направление, то в процессе перестройки поляризация достигает некоторого экстремального значения.

Таким образом, уже тот факт, что протекший заряд не равен нулю, говорит о том, что произошла перестройка доменной структуры сегнетоэлектрика. При этом относительная доля перестроившихся доменов равна q/P_0S . Измерение же зависимости тока от времени позволяет исследовать и временную динамику поляризации.

Проиллюстрируем вышеприведенные соображения данными экспериментов по переполяризации сегнетоэлектрических образцов внешними воздействиями электрических полей и лазерных импульсов [4, 5]. В [4] исследовалась эмиссия тока планарным сегнетоэлектрическим образцом, изготовленным на основе керамики типа ЦТС-23 при воздействии на него электрических или лазерных импульсов. В [5] аналогичные внешние воздействия вызывали эмиссию зарядов у монокристалла ниобата лития. Во всех перечисленных случаях снимались осциллограммы импульсов эмиссионного тока. Здесь мы приведем некоторые результаты, наиболее полно иллюстрирующие обсуждаемые проблемы.

На рис. 2 показаны осциллограммы импульса тока в случае ориентации керамики, когда вектор поляризации направлен к коллектору. Перестройка поляризации осуществлялась высоковольтным импульсом длительностью 25 ns и амплитудой порядка 10 kV. Рис. 2(а) и 2(б) соответствуют случаям, когда внешнее поле, соответственно, антипараллельно и параллельно вектору поляризации. Мы видим, что в случае 2(а) перестройка доменной структуры произошла немонотонно, так что поляризация, достигнув

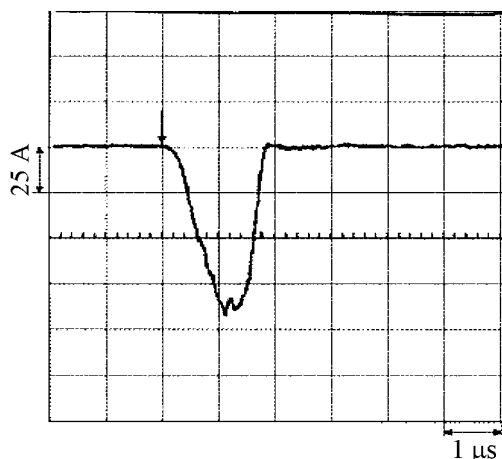


Рис. 3: Осциллограмма импульса тока при лазерном воздействии на керамику, при этом вектор поляризации \mathbf{P} направлен от коллектора. Интенсивность лазерного излучения на поверхности кристалла $2 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$, $\lambda = 0.53 \text{ мкм}$.

максимального значения, затем несколько уменьшилась. В случае же 2(b) поляризация менялась монотонно от начального до конечного значения.

На рис. 3 изображен импульс тока при воздействии на керамику лазерного импульса (второй гармоники наносекундного неодимового лазера). При этом вектор поляризации направлен от коллектора. Данная осциллограмма показывает, что в этом случае перестройка доменной структуры произошла монотонно. Отметим здесь, что при воздействии на керамику лазерных импульсов наблюдались также и немонотонные переходы от начальной поляризации к конечной.

Аналогично исследовались осциллограммы токовых импульсов в случае монокристалла ниобата лития. Так, на рис. 4(a) приведен график зависимости от времени тока, вызываемого электрическим импульсом. При этом вектор поляризации направлен к коллектору и параллелен внешнему электрическому полю. Амплитуда электрического импульса – 20 KV, его длительность – 25 ns. Мы видим, что в этом случае перестройка поляризации произошла монотонно. На рис. 4(b) показана осциллограмма тока при воздействии на монокристалл LiNbO_3 лазерного импульса, которая свидетельствует о немонотонности процесса перестройки доменной структуры.

Таким образом, в данной статье показана возможность исследования динамики изменения состояния поляризации сегнетоэлектрика посредством изучения характеристик тока, возникающего при снятии компенсирующего заряда с поверхности пред-

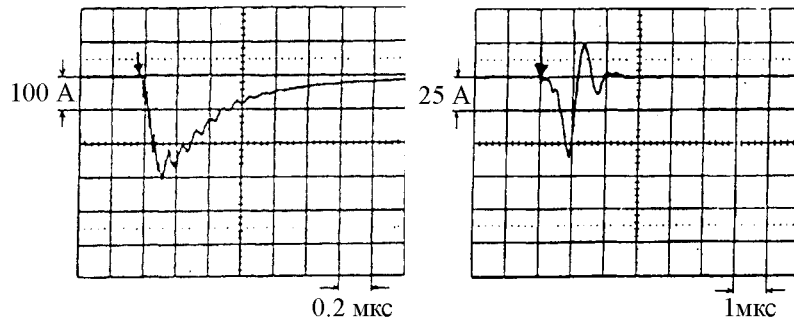


Рис. 4: (а) осциллограмма импульса тока планарного диода в случае монокристалла $LiNbO_3$ при воздействии на кристалл высоковольтным импульсом. Вектор поляризации \mathbf{P} направлен к коллектору и параллелен внешнему электрическому полю; (б) осциллограмма импульса тока планарного диода в случае монокристалла $LiNbO_3$ при воздействии на кристалл лазерным импульсом. Интенсивность лазерного излучения на поверхности кристалла $2.5 \cdot 10^8 \text{ Вт/см}^2$, $\lambda = 0.53 \text{ мкм}$.

варительно поляризованных сегнетоэлектрических керамик или монокристаллов при внешних воздействиях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант N 07-02-01488 и Минобразования, проект N 2.1.1/473.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] H. Gundel, H. Riege, and E. J. N. Wilson, *Nukl. Instr. and Meth. in Phys. Res.* **A 280**(1), 1 (1989).
- [2] H. Riege, I. Boscolo, J. Handerek, et al., *J. Appl. Phys.* **84**(3), 1602 (1998).
- [3] G. Rosenman, D. Shur, and Ya. E. Krasik, *J. Appl. Phys.* **88**, 6109 (2000).
- [4] Ю. В. Коробкин, И. В. Романов, А. А. Рупасов и др., *Краткие сообщения по физике ФИАН*, N 11, 13 (2001).
- [5] Ю. В. Коробкин, И. В. Романов, А. А. Рупасов, А. С. Шиканов, *Письма в ЖТФ*, **29**, в. 8, 24 (2003).

Поступила в редакцию 11 марта 2010 г.