

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ Z-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОНОКРИСТАЛЛА НИОБАТА ЛИТИЯ ПРИ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ

А.Н. Олейник^{1,2,*}, П.В. Каратаев², А.А. Кленин¹, А.С. Кубанкин^{1,3},
К.В. Федоров⁴, А.В. Шагин^{1,5}

¹⁾ Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾ Колледж Ройял Холлоуэй, Эгам, Великобритания

³⁾ Физический институт им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия

⁴⁾ Томский политехнический университет, Томск, Россия

⁵⁾ Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина

* e-mail: andreyoleynik92@mail.ru

Роль и влияние боковых поверхностей монокристалла ниобата лития на процессы генерации электрического поля при пироэлектрическом эффекте, а также ускорения и производства электронов и рентгеновского излучения остаются малоизученными. В нашей работе экспериментально показано наличие электризации боковых поверхностей Z-ориентированного образца ниобата лития при пироэлектрическом эффекте. Описываются особенности электрического тока, протекающего через боковые грани монокристалла ниобата лития в зависимости от схемы заземления образца, скорости изменения его температуры, ориентации полярных осей. Также, экспериментально показано влияние заземления боковых граней на эффект генерации рентгеновского излучения при пироэлектрическом эффекте.

Введение

Роль и влияние боковых поверхностей монокристалла LN на процессы генерации электрического поля при пироэлектрическом эффекте, ускорения и производства электронов и рентгеновского излучения остаются малоизученными. Было показано, что с увеличением толщины монокристалла (в пределах до 10-15 мм) увеличивается генерируемый электрический потенциал, следовательно, увеличение размера боковой поверхности положительно сказывается на вышеуказанных процессах [1,2]. Кроме того, есть упоминания о токах утечки через боковую поверхность LN [1,3] при температуре, близкой к комнатной, хотя электрическая проводимость LN весьма мала в этом температурном диапазоне [2]. Однако, каких-либо достоверных сведений о наличии заряда на неполярных поверхностях LN при пироэлектрическом эффекте в литературе найти не удалось и, в целом, влияние состояния боковых граней при пироэлектрическом эффекте в LN остается неизученным. Данная работа ставит цель внести свой вклад в закрытие этого пробела.

Эксперимент

Для проведения исследования использовались образцы LN (z-срез) формы параллелепипеда, выращенные в ИХТРЭМС КНЦ РАН (Россия). Размер используемых образцов 20×20×10 (вдоль оси z) мм. Образцы были вырезаны таким образом, что механическая (X) и пьезоэлектрическая (Y) оси были перпендикулярны боковым поверхностям кристаллов, что позволяло обозначить боковые поверхности, как X+, X-, Y+, Y- грани, таким образом, чтобы они с полярными Z+ и Z- гранями образовали правую систему координат. На каждую измеряемую грань наклеивалась алюминиевая фольга толщиной 20 мкм с помощью электропроводящего эпоксидного клея (на рисунке 1 показаны на первом плане X+, Y+, Z+ грани с наклеенными фольгами). Фольга покрывала всю площадь каждой боковой грани, кроме внешнего контура толщиной 2 мм. Внешний контур обеспечивал измерение электрического тока только с интересующей поверхности и отсутствие непосредственного влияния зарядов с соседних поверхностей.

Сборка, включавшая образец LN, элемент Пельтье EP, радиатор R, кулер, термопару T, измерительные фольги на гранях, а также фольгу майлара MF (толщина фольги майлара всего 5 мкм, что недостаточно для тепловой изоляции образца LN от Пельтье) для электрической изоляции термопары от линии измерения пикоамперметра, помещалась внутри камеры из нержавеющей стали SC для экранирования внешнего воздействия. Пиковое значение теневого тока измерительной цепи составляло 5 пА.

Из-за наличия одного канала у используемого измерителя тока для каждой боковой поверхности проводилось отдельное измерение, но в приблизительно одних и тех же термических условиях. Ниже представлены результаты первых принципиальных измерении тока с боковой поверхности при изменении температуры кристалла, а также результаты измерении тока при различных схемах заземления Z-поверхностей.

Результаты

При измерении тока, протекающего через боковые грани наблюдается первичный импульс тока отрицательной полярности, который намного короче и слабее, чем аналогичный импульс пироэлектрического тока на полярной поверхности (Z+ на рисунке 2), вызванный изменением температуры. После спада первичного импульса тока на боковых гранях периодически проявляются короткие (не более 3-5 с) вторичные импульсы тока обеих полярностей. В это же время на полярной Z+ поверхности наблюдается постепенно убывающий первичный импульс индукции заряда из-за изменения температуры образца. Одинаковая полярность тока, позволяет предположить, что наблюдается поверхностный ток утечки через боковые грани с полярной поверхности кристалла на заземленную поверхность, который довольно быстро ослабевает – за 50-60 секунд. Через боковые грани проходит около 25-35% от заряда, сгенерированного за это время на полярной поверхности. Наличие последующих вторичных импульсов тока с боковых граней оказалось более неожиданным, однако повторные измерения и тест измерительной цепи подтвердили, что это явление воспроизводимо и не связано с электростатическими помехами или инструментальными ошибками.

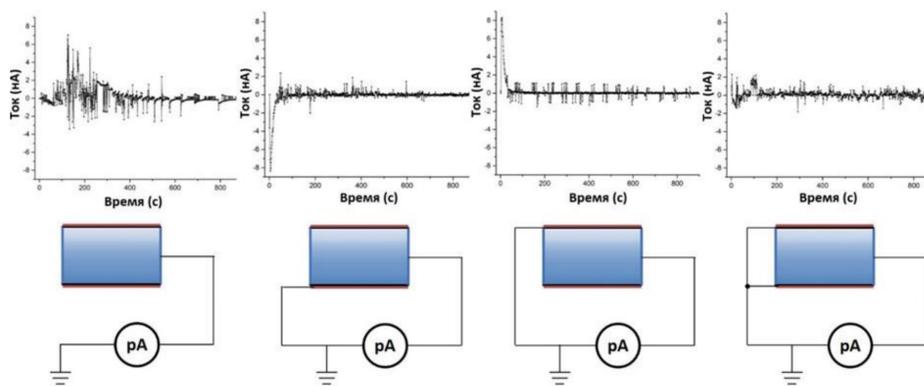


Рисунок 3. Кривые электрического тока через всю боковую поверхность, полученные при различных схемах заземления полярных поверхностей LN.

Измерения электрического тока с боковых граней при всевозможных схемах заземления Z-поверхностей LN с соблюдением одной и той же формы термического воздействия на образец (Рисунок 3) были выполнены для проверки предположения, что первичный наблюдаемый импульс является током утечки. Полярность первичного импульса меняется со сменой заземленной поверхности, при этом полярность первичного импульса тока на боковых гранях всегда совпадает с полярностью пироэлектрического тока на незаземленной полярной поверхности. В случае отсутствия заземления, наблюдается интенсивные вторичные импульсы тока обеих полярностей, а при заземлении обеих полярных поверхностей интенсивность вторичных импульсов резко снижается, и в этом случае первичный импульс тока не превышает по величине вторичные импульсы тока. Эти факты позволяют сделать предположение что есть два источника заряда на неполярных гранях ниобата лития: первый – это ток утечки с одной полярной поверхности на другую, (как это принято в пироэлектрических источниках рентгеновского излучения), этот вклад становится преобладающим и особенно проявляется в первые 50-60 секунд термического возбуждения образца LN в виде первичного продолжительного импульса тока, второй – короткие вторичные пульсации тока разной полярности, становятся более заметными после спада первичного импульса тока утечки и продолжают в течении всего времени термического возбуждения. Природа второго источника тока пока остается непонятной. Учитывая, что это явление происходит на всех боковых неполярных поверхностях образца, независимо от ориентации кристаллических осей и тот факт, что в одинаковой степени проявляются обе полярности тока, можно сделать вывод, что наблюдаемые импульсы тока не связаны с прямым пьезоэлектрическим эффектом и с термическим изменением размера образца. Особенности проявления данных вторичных импульсов требуют дополнительного исследования (в частности в зависимости от ориентации полярных X- Y-осей).

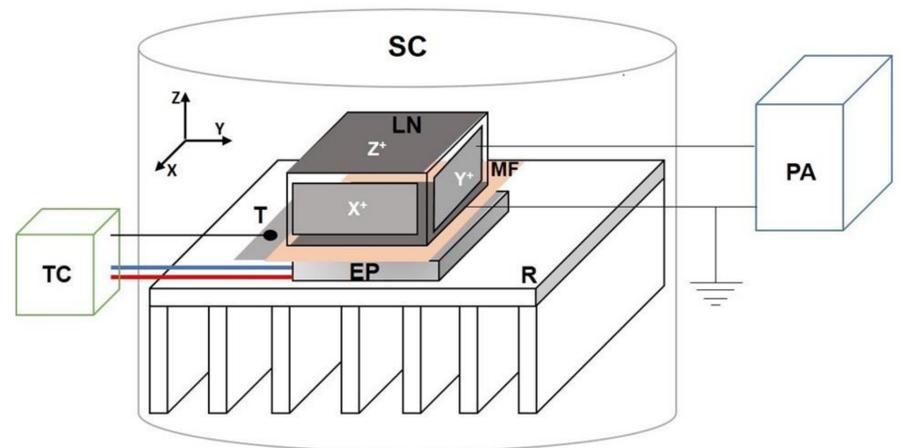


Рисунок 1. Схема измерения тока. Измеряется ток между Y+ поверхностью и заземлённой Z- поверхностью в режиме короткого замыкания через входное сопротивление пикоамперметра. LN – образец ниобата лития. EP – элемент Пельтье. T – термопара, R – радиатор, MF – майларовая фольга, PA – пикоамперметр Keithley 6485, TC – термодатчик ATEC302, SC – металлическая камера

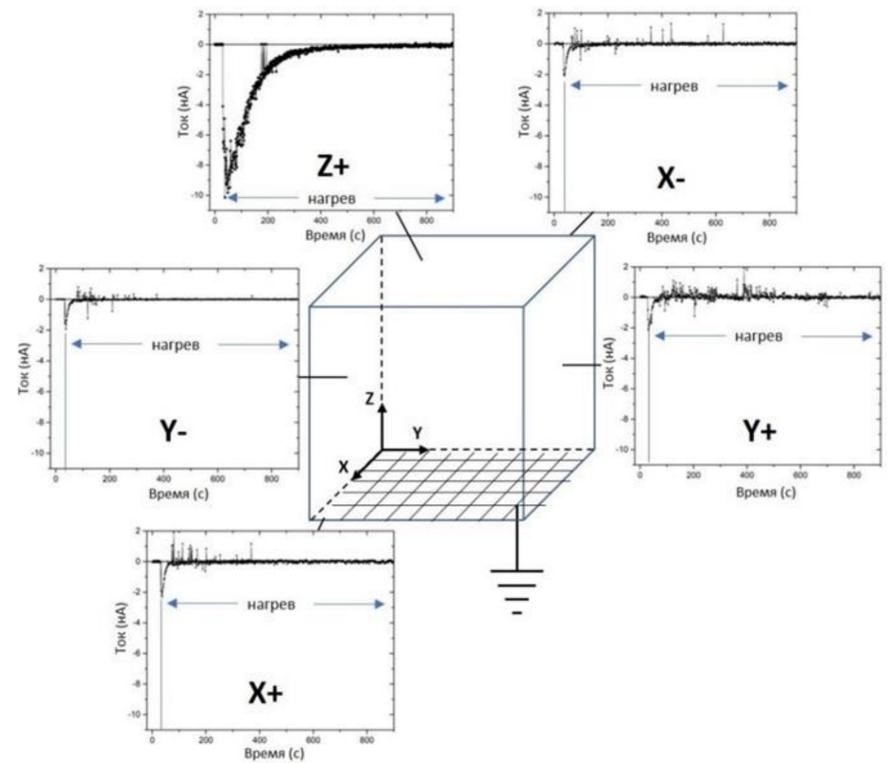


Рисунок 2. Зависимости от времени электрических токов, измеренных в режиме короткого замыкания между Z- поверхностью и остальными пятью поверхностями кристалла при нагреве.