

# Кинетика эмиссии электронов из ниобата лития

© Н.Г. Бабичева, А.С. Сидоркин, О.В. Погазинская, С.Д. Миловидова, А.Б. Плаксицкий

Воронежский государственный университет,  
Воронеж, Россия

E-mail: sidorkin@dom.vsu.ru

Исследуются закономерности кинетики термостимулированной эмиссии электронов из монокристалла ниобата лития. Рассчитаны численные значения времени релаксации эмиссионного тока в интервале температур 45–90°C. Установлено, что увеличение скорости нагрева приводит к значительному расширению температурного интервала существования эмиссии. Полученные результаты объясняются в рамках модели автоэлектронной эмиссии из поверхностных состояний в сегнетоэлектриках.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 07-02-00584).

PACS: 77.84.Dy, 79.40.+z, 79.70.+q

## 1. Введение

Исследование эмиссии электронов с поверхности сегнетоэлектрических материалов позволяет моделировать процессы в приповерхностной области кристалла, дает возможность судить об электрических свойствах, о кристаллической и энергетической структуре исследуемых материалов. Изучение эмиссионных свойств сегнетоэлектриков, кроме того, имеет важное прикладное значение, связанное с перспективами использования сегнетоэлектрических материалов в качестве холодных катодов и электронных пушек, эмиссионных плоских дисплеев, а также устройств, предназначенных для получения изображения и запоминания [1]. Особого внимания с этой точки зрения заслуживают кинетические закономерности эмиссии.

К настоящему времени наиболее подробные исследования эмиссионных свойств проведены для кристалла триглицинсульфата (ТГС), свойства которого позволяют проводить измерения в окрестности точки Кюри ( $T_c = 49^\circ\text{C}$ ) [2,3]. Известно, однако, что электронную эмиссию можно наблюдать и на большом удалении от  $T_c$ . Одним из таких материалов является кристалл ниобата лития, который характеризуется чрезвычайно высокой температурой фазового перехода (1210°C), однако эмиссионные свойства проявляет в ограниченном интервале температур от комнатных до примерно 200°C [4].

Исследуемые в настоящей работе релаксационные закономерности эмиссии при различных температурах и скоростях нагрева образца позволяют оценить универсальность развитых в [2,3] представлений, глубже понять природу эмиссионных явлений в сегнетоэлектриках и ее связь с полярным состоянием материала.

## 2. Методика экспериментов и результаты

Исследования термостимулированной электронной эмиссии в настоящей работе проводились на образцах

номинально чистого кристалла ниобата лития с площадью поверхности  $20\text{ mm}^2$ , перпендикулярной полярной оси, и толщиной 1 mm. Измерения тока эмиссии осуществлялись по стандартной методике, описанной в [2], в вакууме порядка  $6.5 \cdot 10^{-3}\text{ Pa}$  в интервале температур от комнатных до  $200^\circ\text{C}$  в режимах линейного нагрева и стабилизации температуры. Влияние скорости нагрева  $q = dT/dt$  на характер эмиссии исследовалось в интервале скоростей от 3 до  $25\text{ K/min}$ . Релаксация эмиссионного тока наблюдалась в режиме стабилизации температуры. Температура измерялась медь-константановой термопарой.

Проведенные исследования показали следующее. При измерениях в режиме линейного нагрева эмиссионный ток появляется практически сразу с возникновением изменения спонтанной поляризации (рис. 1) и достигает значений порядка  $1.5\text{--}3 \cdot 10^3\text{ counts/s}$  при нагреве со скоростью  $q = 3\text{ K/min}$ . Величина эмиссионного тока остается примерно одинаковой во всем температурном интервале существования эмиссии. Эмиссия прекращается при температуре  $T \approx 90^\circ\text{C}$ .

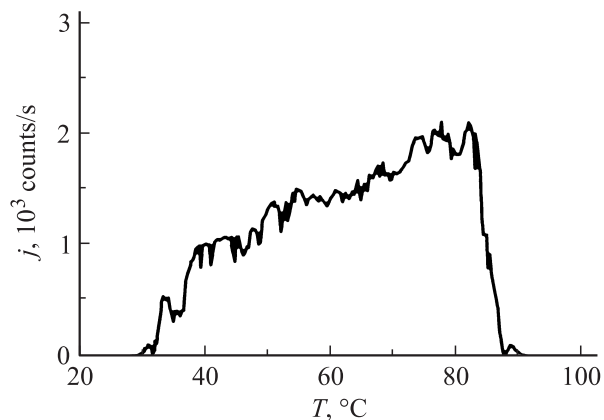
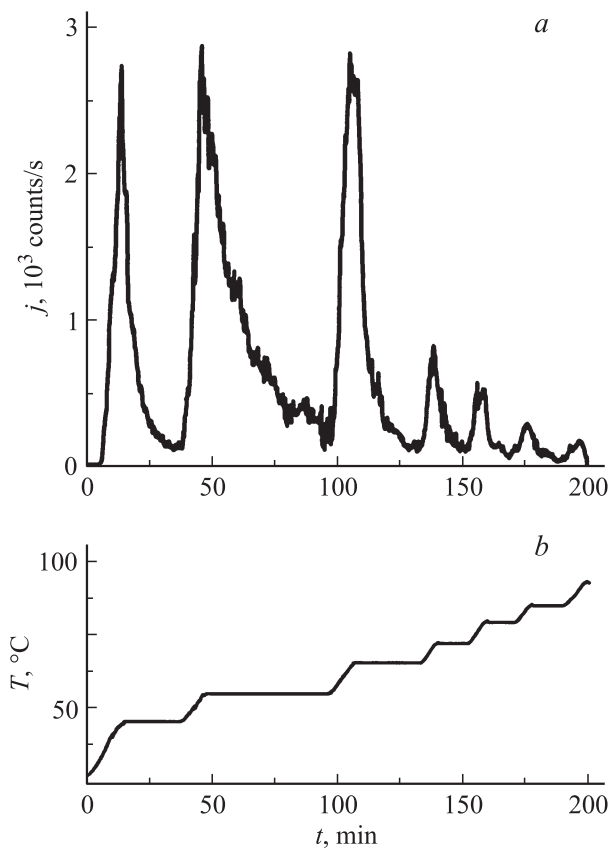
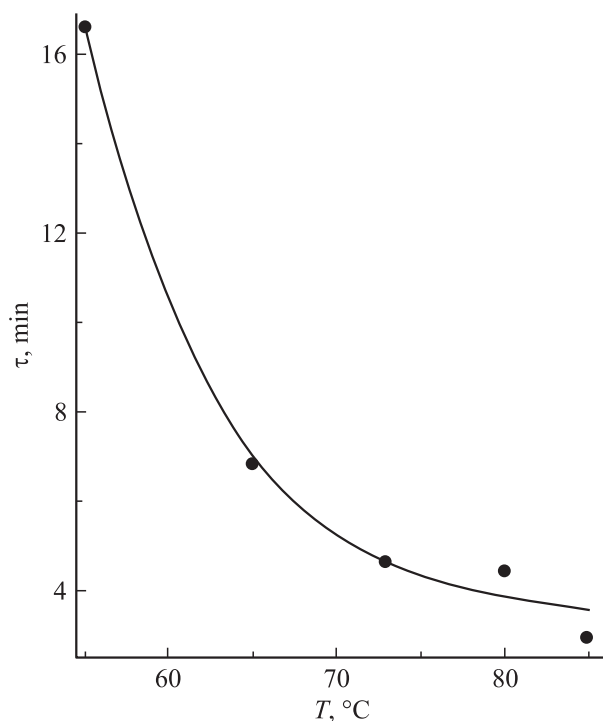


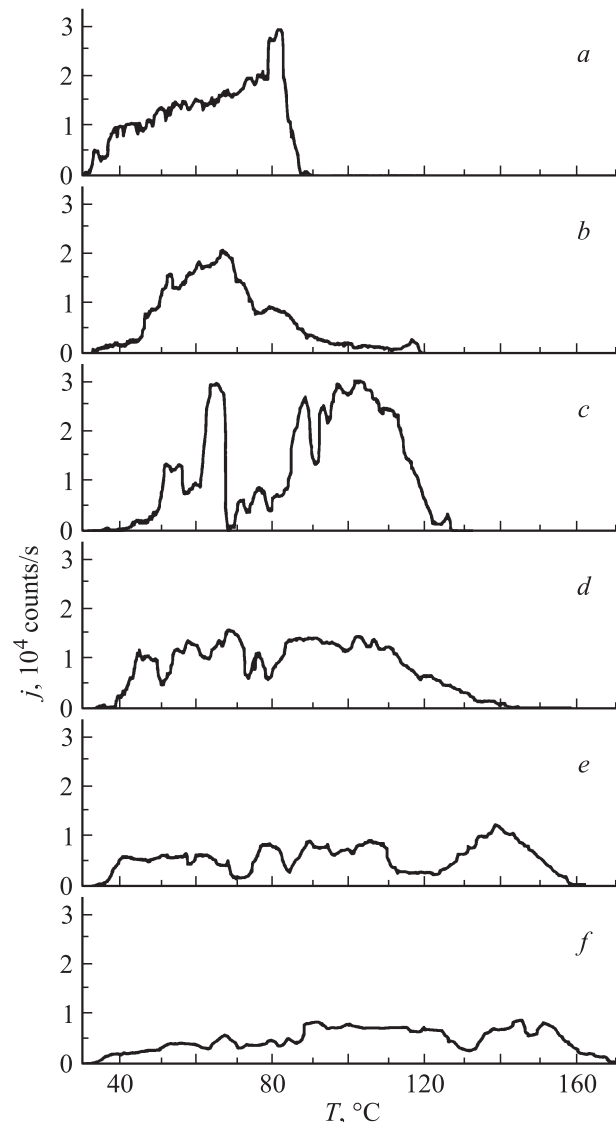
Рис. 1. Зависимость эмиссионного тока от температуры для номинально чистого кристалла ниобата лития. Скорость нагрева  $q = 3\text{ K/min}$ .



**Рис. 2.** Релаксация тока термостимулированной эмиссии электронов в кристалле ниобата лития. *a* — зависимость эмиссионного тока от времени, *b* — изменение со временем температуры образца.

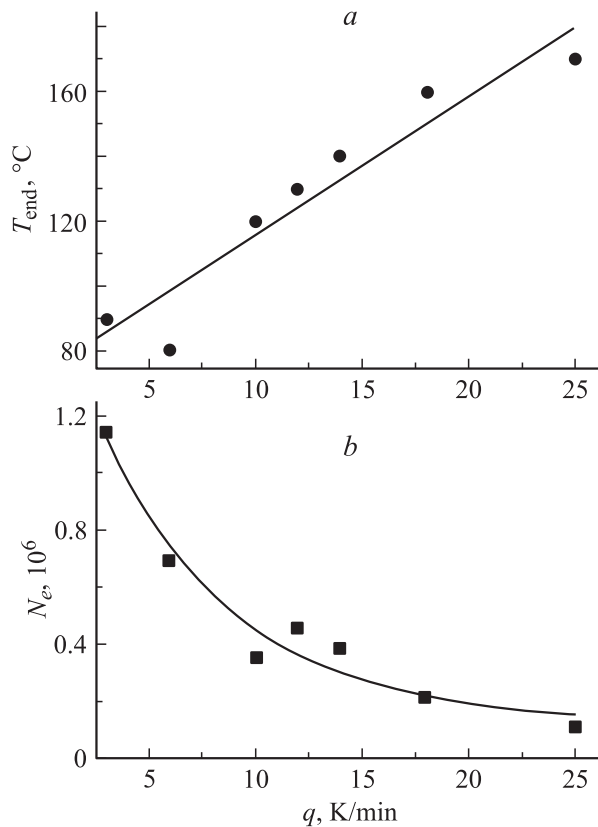


**Рис. 3.** Температурная зависимость времени релаксации электронной эмиссии для кристалла ниобата лития.



**Рис. 4.** Кривые тока термостимулированной эмиссии электронов с поверхности ниобата лития при скорости нагрева образцов 3 (*a*), 10 (*b*), 12 (*c*), 14 (*d*), 18 (*e*) и 25 K/min (*f*).

При исследовании релаксации эмиссионного тока поляризованное состояние образца стабилизировалось при различных температурах в интервале 45–85°C. При изменении температуры эмиссионный ток быстро возрастает до значений порядка  $10^3$  counts/s (рис. 2). Стабилизация температуры образца приводит к затуханию эмиссионного тока до значений, близких к нулю. Кривые релаксации электронной эмиссии хорошо аппроксимируются экспоненциальным законом, так же как и в случае кристаллов ТГС. Путем логарифмирования экспериментальных кривых были рассчитаны численные значения времен затухания эмиссионного тока при различных температурах в исследуемом температурном интервале, которые менялись от 16.5 min при температуре 46°C до 3.0 min при 85.5°C. Как и для ТГС [3], для кристаллов



**Рис. 5.** Зависимость температуры окончания эмиссии (а) и общего числа эмитированных электронов (b) от скорости нагрева образца для кристалла ниобата лития.

ниобата лития характерно уменьшение времени релаксации с ростом температуры (рис. 3).

Знание релаксационных закономерностей электронной эмиссии позволяет понять эффекты, наблюдаемые при увеличении скорости нагрева образца. На рис. 4 представлены кривые эмиссионного тока, полученные при различных скоростях нагрева в интервале 3–25 K/min. Эксперимент показал, что с увеличением скорости нагрева происходит значительное расширение области существования эмиссии преимущественно за счет увеличения верхней температурной границы эмиссионного интервала с 85°C при скорости нагрева  $q = 3$  K/min до 170°C при 25 K/min. Нижняя граница при этом меняется незначительно. Зависимость температуры окончания эмиссии от скорости нагрева оказывается близкой к линейной (рис. 5, а).

При изменении скорости нагрева  $q$  заметные изменения претерпевает и вид эмиссионных спектров. Для высоких скоростей нагрева характерно более плавное нарастание и уменьшение эмиссионного тока в начале измерений и при прекращении эмиссии. Интенсивность эмиссии с увеличением скорости нагрева растет до максимального значения  $3 \cdot 10^3$  counts/s при  $q = 12$  K/min, а при дальнейшем увеличении скорости нагрева постепенно уменьшается до значений  $0.5$ – $1 \cdot 10^3$  counts/s при

$q = 25$  K/min. Общее число электронов, эмитированных с поверхности образца, уменьшается с ростом скорости нагрева (рис. 5, b).

### 3. Обсуждение полученных результатов

Сравнение результатов, полученных для кристалла ниобата лития, с аналогичными данными для триглицинсульфата позволяет сделать вывод о том, что в целом эмиссионные свойства ниобата лития укладываются в рамки модели полевой эмиссии из поверхностных состояний в сегнетоэлектриках в суммарном поле зарядов экранирования спонтанной поляризации и компенсирующих их зарядов. Нарушение компенсированности указанных полей за счет изменения спонтанной поляризации приводит к появлению отличного от нуля суммарного поля, которое и является фактором, приводящим к выбросу электронов из ловушек на поверхностных электронных состояниях.

Время затухания эмиссионного тока  $\tau$  при стабилизации поляризованного состояния кристалла в ниобате лития имеет тот же порядок, что и для триглицинсульфата и составляет несколько минут ( $10^2$ – $10^3$  s). Указанное время может быть как временем опустошения электронных ловушек в суммарном поле поляризационных и компенсационных зарядов, так и временем максвелловской релаксации зарядов экранирования. Уменьшение времени релаксации с ростом температуры в ниобате лития, так же как и в ТГС, связано либо с ростом суммарного электрического поля, активного в эмиссии, например, за счет увеличения здесь скорости изменения поляризации, либо с увеличением с температурой проводимости в ниобате лития [5].

Исчезновение эмиссии может быть обусловлено либо полным опустошением занятых электронных состояний, либо ликвидацией фактора, вызывающего эмиссию — в данном случае суммарного поля зарядов спонтанной поляризации и компенсирующих их зарядов, которое контролируется максвелловской релаксацией зарядов экранирования спонтанной поляризации. Изменение числа вылетевших электронов (рис. 5, b) с ростом скорости нагрева свидетельствует о том, что полного опустошения занятых электронных состояний в процессе эмиссии можно ожидать только при самых малых скоростях нагрева. Прекращение эмиссии при более высоких температурах с ростом скорости нагрева свидетельствует об уменьшении до величины меньше критической активного в эмиссии поля, причиной которого при практически неизменной диэлектрической проницаемости может быть только рост электропроводности при более высоких температурах. С ростом скорости нагрева суммарное электрическое поле кристалла дольше остается ненулевым, что позволяет наблюдать эмиссию вплоть до температур порядка 200°C.

## Список литературы

- [1] G. Rosenman, D. Shur, Ya.E. Krasik, A. Dunaevky. Appl. Phys. Rev. **88**, 6109 (2000).
- [2] О.В. Рогазинская, А.Б. Плаксицкий, С.Д. Миловидова, А.С. Сидоркин, А.Ю. Божков, А.Н. Юрьев, П.В. Логинов. Вестн. ВГУ. Сер. Физика, математика 2, 82 (2004).
- [3] А.А. Сидоркин, А.С. Сидоркин, О.В. Рогазинская, С.Д. Миловидова. ФТТ **45**, 892 (2003).
- [4] В.С. Кортов, А.Ф. Зацепин, А.И. Гаприндашвили, М.М. Пинаева, В.С. Васильев, И.А. Морозов. ЖТФ **50**, 1934 (1980).
- [5] М.Н. Платников, В.А. Сандер, Н.В. Сидоров, А.В. Гурьянов, В.Т. Калинин. ФТТ **42**, 1456 (2000).