

ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ СЛАБОГО СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА ГЕПТАГЕРМАНАТА ЛИТИЯ

© А.С.Сидоркин, П.В.Логинов, А.М.Саввинов,
А.Ю.Кудзин, Н.Ю.Короткова

Воронежский государственный университет,

394693 Воронеж, Россия

(Поступила в Редакцию 29 мая 1995 г.)

(В окончательной редакции 25 сентября 1995 г.)

Экспериментально обнаружена эмиссия электронов в слабом сегнетоэлектрике — гептагерманате лития, — стимулированная изменением температуры образца и переключением приложенного электрического поля. Эмиссия, стимулированная полем, существует в определенном температурном интервале и для полей выше порогового. Предполагается, что она возникает при превышении приложенным полем коэрцитивного поля материала.

Экзоэлектронная эмиссия из сегнетоэлектрических материалов среди других объектов обращает на себя внимание большой величиной сигнала [1], все более определенно называемой причиной ее возникновения — образованием нескомпенсированного распределения связанных и свободных зарядов вблизи поверхности сегнетоэлектрика [2–4], а также многообещающими практическими перспективами [5,6].

В свою очередь среди самих сегнетоэлектриков в последнее время большое внимание привлек объект, по аналогии со слабыми ферромагнетиками названный слабым сегнетоэлектриком [7]. Вместе с малой величиной спонтанной поляризации он обладает крупноблочной доменной структурой (а нередко находится и в однодоменном состоянии) и возможностью его переключения с помощью одной доменной границы. Последнее особенно интересно, поскольку позволяет в деталях проследить за процессом переключения и, следовательно, выявить его роль в сопутствующих явлениях, одним из которых является эмиссия электронов из образца.

Целью настоящей работы является изучение эмиссии электронов из одного из представителей слабых сегнетоэлектриков (монокристалла гептагерманата лития $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$), стимулированной изменением температуры и обращением электрического поля, приложенного к образцу.

Измерения плотности эмиссионного тока j_{em} в работе проводились по стандартной методике [8] в вакууме 10^{-3} Па. Для измерений использовались образцы полярного z -среза площадью $\sim 20 \text{ mm}^2$ с толщиной 1 мм. Температура образца менялась от -20 до $+25^\circ\text{C}$. Скорость ее

изменения составляла $\sim 0.5-2.2$ К/с. Стимулирующее электрическое поле прикладывалось к двум парам электродов из серебра, напыленного в вакууме, нанесенных на левую и правую части образца. При этом поле, подаваемое на разные пары электродов, имело противоположную полярность. Эмиссия электронов измерялась в области зазора между электродами, ширина которого составляла около 1 мм. В качестве стимулирующего электрического поля использовались постоянное поле с амплитудой от 1.5 до 7.0 кВ/см, переключаемое по заданной программе с частотой от нуля до 1 Гц, и переменное синусоидальное электрическое поле той же амплитуды с частотой от 18 до 20 Гц.

Результаты проведенных исследований показали следующее. Все исследуемые образцы обнаруживают очень слабую эмиссию (величина которой лишь незначительно превышает фоновое значение) в отсутствие приложенного переключаемого электрического поля в случае, когда эмиссия электронов стимулировалась одним изменением температуры образца.

При одновременном приложении к образцу двух стимулирующих воздействий: изменяющейся температуры и изменяющегося переменного электрического поля — величина эмиссионного сигнала повышается на много порядков (рис. 1), если амплитуда стимулирующего поля превышает 5 кВ/см. Становится заметным, что эмиссионный сигнал возникает только в полярной фазе, т.е. при температурах ниже $\sim 10.7^\circ\text{C}$. При этом в интервале температур от T_c до температур на $18-20^\circ$ ниже T_c величина эмиссионного сигнала гораздо выше, чем в остальной области (рис. 1). При увеличении амплитуды переменного поля при постоянной частоте наблюдается общий рост эмиссии во всем исследуемом температурном интервале (рис. 2) с тенденцией к насыщению.

Исследование временных зависимостей плотности эмиссионного тока после приложения к образцу постоянного электрического поля (рис. 3) показывает, что в пределах точности измерений возникновение эмиссии здесь происходит в момент изменения полярности прикладываемого напряжения, а затем эмиссионный эффект спадает по экспоненциальному закону (рис. 4) с характерным временем спада $\sim 15-20$ с.

Объяснение полученных результатов хорошо укладывается в схему, ранее предложенную для других сегнетоэлектриков [2]. Наличие эмиссии только в полярной фазе указывает на ее связь со спонтанной поляризацией. В обычном состоянии связанные заряды, образующиеся в результате обрыва вектора поляризации на поверхности материала, скомпенсированы свободными зарядами или зарядами на поверхностных состояниях. Нарушение по той или иной причине баланса этих зарядов приводит к возникновению электрического поля результирующего заряда, которое при благоприятном его направлении и вызывает эмиссию электронов из образца.

Из-за чрезвычайной малости величины спонтанной поляризации в слабых сегнетоэлектриках (минимум на два порядка меньше, чем для обычных сегнетоэлектрических материалов) одного только ее изменения с температурой недостаточно для появления существенного нескомпенсированного заряда на поверхности образца и, значит, для возникновения заметной эмиссии в отсутствие стимулирующего электрического поля.

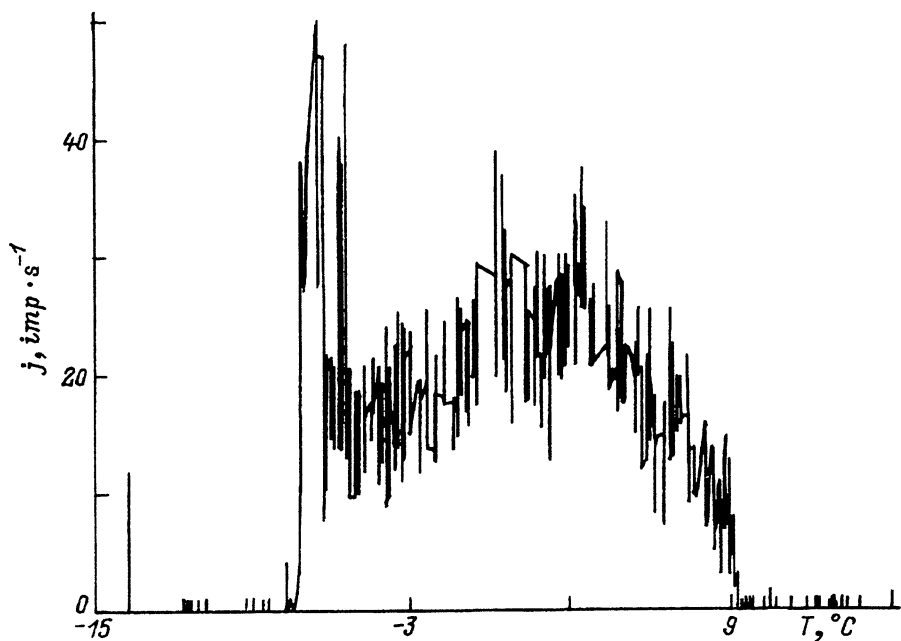


Рис. 1. Зависимость плотности тока электронной эмиссии из $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$ от температуры при приложении к образцу переменного электрического поля. $E_{\sim} = 1.5 \text{ kV/cm}$, $f = 50 \text{ Hz}$. Скорость изменения температуры 1.94 K/s .

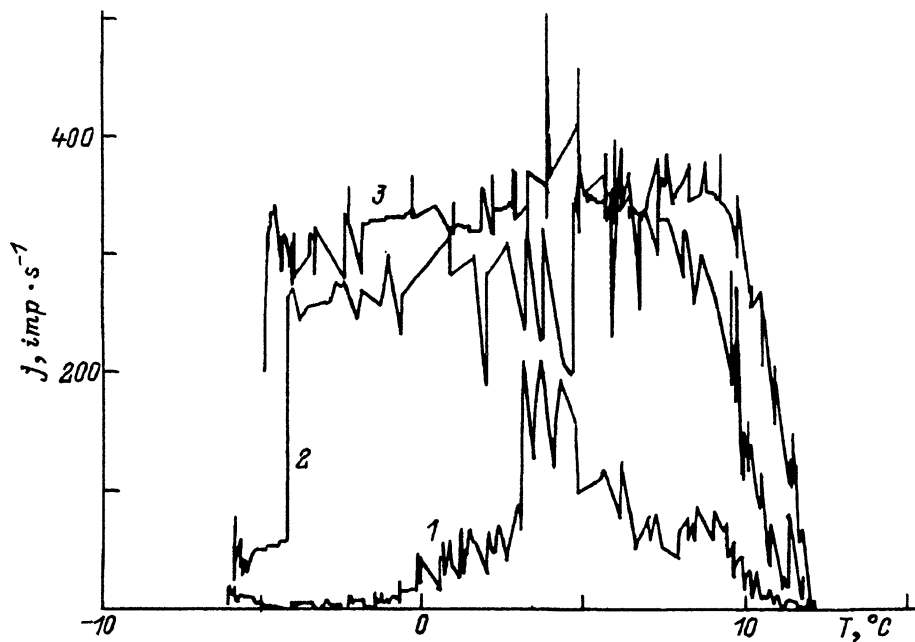


Рис. 2. Зависимость плотности тока электронной эмиссии из $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$ от температуры при разных значениях амплитуды стимулирующего переменного электрического поля.

$E_{\sim} (\text{kV/cm})$: 1 — 3, 2 — 4, 3 — 5. $f = 100 \text{ Hz}$. Скорость изменения температуры $\sim 0.5-0.6 \text{ K/s}$.

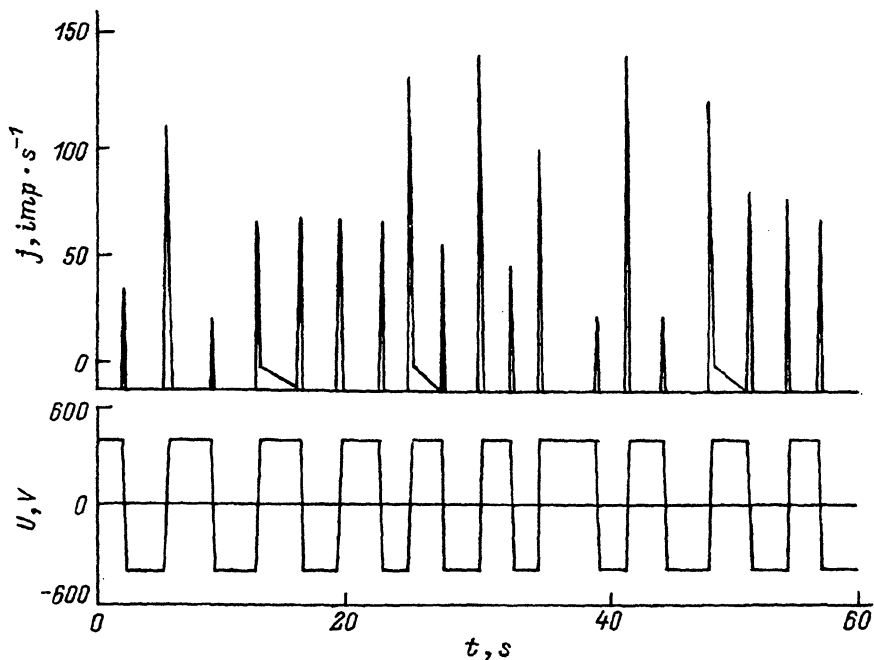


Рис. 3. Возникновение импульсов тока электронной эмиссии в $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$ в моменты переключения знака постоянного электрического поля, приложенного к образцу.

Температура измерений — 3.5°C .

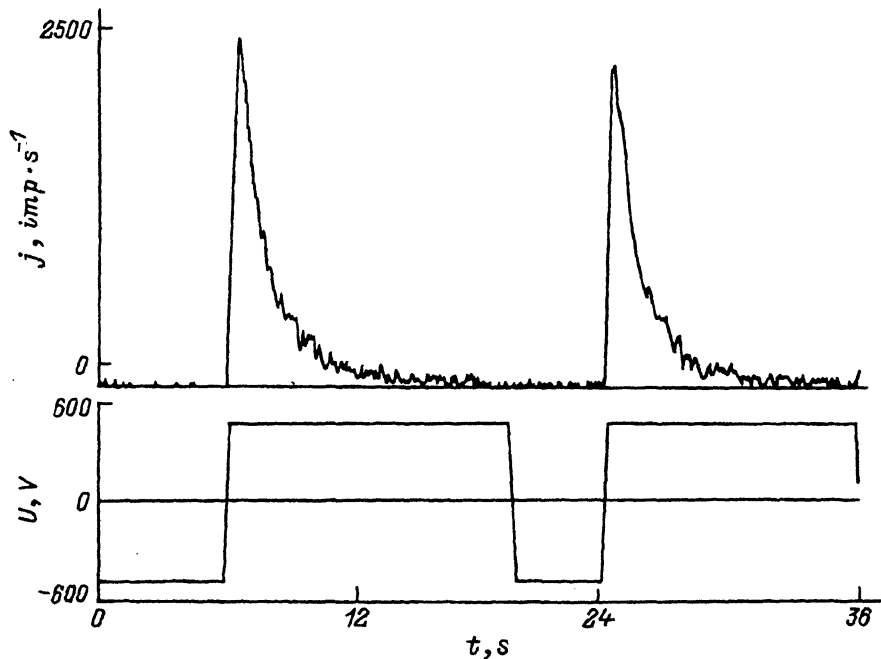


Рис. 4. Временные зависимости плотности тока j_{em} в $\text{Li}_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$.

Температура измерений — 2.5°C .

Приложение знакопеременного электрического поля достаточной величины переворачивает вектор поляризации в материале, что вызывает появление нескомпенсированных зарядов у его поверхности, заведомо больших, чем при одном изменении температуры. В соответствии с экспоненциальной зависимостью вероятности эмиссии от поля (плотности зарядов) в любом полевом механизме [9,10] это и приводит здесь к резкому росту эмиссионного эффекта.

Как показано в [11], значительный эмиссионный эффект при переключении сегнетоэлектриков возникает при приложении к ним полей, заметно превышающих коэрцитивное. Известно, что последнее в слабых сегнетоэлектриках очень велико и составляет несколько kV/cm даже вблизи T_c . Именно этим можно объяснить высокое значение порогового поля для возникновения заметной эмиссии в данном случае.

Коэрцитивное поле растет при удалении от T_c в сторону низких температур. Поэтому при некотором удалении от точки Кюри приложенное к образцу электрическое поле окажется уже недостаточным для переключения образца и, следовательно, для стимуляции эмиссии. В результате температурный интервал существования эмиссии в сегнетофазе должен быть ограничен участком от T_c приблизительно до температуры, где E_c равно приложенному полю. Изучение конкретных чисел и температурной зависимости $E_c(T)$ в гептагерманате лития [12] показывает, что такое объяснение вполне приемлемо в нашем случае для объяснения ограниченности участка существования повышенной эмиссии в сегнетофазе. Отметим, что такое объяснение предсказывает потенциальный сдвиг области спада эмиссии с ростом поля в сторону низких температур. Для его экспериментального подтверждения нужны более тщательные (при стабильности остальных параметров) измерения.

Рост эмиссионного тока с ростом амплитуды стимулирующего поля объясняется, очевидно, ростом степени смещения границ с ростом E и как следствие увеличением величины поля нескомпенсированных зарядов, вызывающих эмиссию.

Время релаксации τ эмиссионного тока j_{em} в данном случае несколько меньше, чем, например, в триглицинсульфате [13], где оно составляет несколько минут. Как и в других сегнетоэлектриках, время τ здесь может быть связано либо с релаксацией доменной структуры, либо с релаксацией экранирующих зарядов, т.е. с максвелловской релаксацией, либо, наконец, с опустошением эмиссионных центров на поверхности сегнетоэлектрика. Для ответа на этот вопрос нужны дополнительные данные, в частности, по изучению электропроводности $Li_2Ge_7O_{15}$.

Работа выполнена благодаря поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №95-02-04548а).

Список литературы

- [1] Кортон В.С., Минц Р.И. ФТТ 9, 6, 1828.
- [2] Косцов А.М., Сидоркин А.С., Зальцберг В.С., Грибков С.П. ФТТ 24, 11, 3436 (1982).
- [3] Biedrzycki K., Le Bihan R. Ferroelectrics 126, 253 (1992).
- [4] Rosenman G. Abstracts 11th Int. Symp. E.E.E. and Applications. Poland (1994) P. 14.

- [5] Розенман Г.И., Охалкин В.А., Чепелев Ю.А., Шур В.Я. Письма в ЖЭТФ. **39**, 9, 397 (1984).
- [6] Gundel H., Riege H., Wilson E.J.N., Handerek J., Zioutas K. *Ferroelectrics*, **100**, 1 (1989).
- [7] Таганцев А.К. Письма в ЖЭТФ. **45**, 7, 352 (1987).
- [8] Кóртов В.С., Слесарев А.И., Рогов В.В. Экзоэмиссионный контроль поверхности деталей после обработки. Киев (1986). 176 с.
- [9] Карпус В., Перель В.И. Письма в ЖЭТФ. **42**, 10, 403 (1985).
- [10] Король Э.Н. ФТТ **19**, 8, 1266 (1977).
- [11] Sidorkin A.S., Darinskii V.M., Lazarev A.P., Kostsov A.M. *Ferroelectrics* **143**, 209 (1993).
- [12] Волнянский М.Д., Кудзин А.Ю., Швец Т.В. ФТТ **32**, 10, 3134 (1990).
- [13] Сидоркин А.С., Косцов А.М., Зальцберг В.С., Грибков С.П. ФТТ **27**, 7, 2200 (1985).