

раста (температуры и пересыщения раствора), так и от угла среза θ .

Литература

1. Tsedrik M.S., Ulasen N.V., Zaborovski G.A. // Kristall und Technik. - 1-75. - V. 10, N 1. - P. 49.

2. Гонтарев В.Ф., Заборовский Г.А. // Физика. - Минск, пединститут. - 1973, - С. 50.

3. Пельц С.Д., Карпельсон А.Е. // Кристаллография. - 1973. - Т. 5, № 3. - С. 573.

4. Shaulov A. // Appl. Phys. Letters. - 1981. - V.39, N 2. - P. 180.

5. Кладкевич М.Д., Кременчугский Л.С., Самойлов В.Б. // Актуальные проблемы получения и применения сегнето- и пьезоэлектрических кристаллов: Тезисы докладов. - М., 1984. - С. 433.

6. Sayer C.B., Tower C.H. // Phys. Rev. - 1930. - V.35. - P. 269.

УДК 539.2.211

С.А.Василевский

ЭКЗОЭМИССИОННЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ *ADTGSO И TGSO*

Экзоэлектронная эмиссия (ЭЭ) - нестационарная эмиссия с метастабильной поверхности твердого тела, применяемая для исследования поверхностей металлов, полупроводников и диэлектриков.

Впервые явление ЭЭ в сегнетоэлектриках было обнаружено Керимовим и Минцем в 1967 г. /1/. Эмиссия электронов обусловлена электростатическим полем, которое создается нескомпенсированным пьезозарядом на поверхности сегнетоэлектрика /2/. Экзоэмиссия в режиме пиро- и пьезоэффекта была подробно изучена в /3, 4/.

В работе /5/ установлено наличие эмиссии электронов, возникающей при переполаризации сегнетоэлектриков.

В настоящей работе изучен экзоэмиссионный эффект, возникающий при переполяризации монокристаллов *ADT6SP* и *T6SD*. Монокристаллы *ADT6SP* и *T6SD* выращивались из водных растворов методом циркуляции при постоянных температурах роста и пересыщениях /6/.

Изучение экзоэлектронной эмиссии проводилось при переполяризации кристаллов *ADT6SP* и *T6SD* в синусоидальном электрическом поле частотой 50 Гц на установке, описанной в /5/, что позволило изучать явление переполяризации на свободной от электрода поверхности. Контроль процесса переполяризации осуществлялся по петле диэлектрического гистерезиса.

Типичные зависимости плотности эмиссионного тока от напряженности электрического поля представлены на рис. 1, 2. Параметры, E_n - пороговое поле, E_H - поле, при котором достигается насыщение, j_H - плотность эмиссионного тока насыщения, характеризующие ЭЭ кристаллов *ADT6SP* и *T6SD*, приведены в табл. 1.

Установлено, что эмиссия электронов начинается с некоторого порогового поля E_n , причем величина E_n сильно зависит от содержания H_3PO_4 в растворе и условий роста кристаллов. Пороговые поля у кристаллов *ADT6SP* значительно больше, чем у *T6SD*, и составляют 2,8 и 1,1 кВ/см соответственно для кристаллов, выращенных при 55°C, $\delta = 0,4 \cdot 10^{-3}$ из растворов с 10 мол.% H_3PO_4 . При повышении содержания H_3PO_4 в растворе с 10 до 50 мол.% E_n увеличивается до 5,1 и 2,2 кВ/см соответственно для указанных выше кристаллов (рис. 2, табл. 1). При понижении температуры роста и увеличении пересыщения пороговые поля также увеличиваются, достигая 8 кВ/см у кристаллов *ADT6SP*, выращенных при 20°C, $\delta = 1,3 \cdot 10^{-3}$ из растворов с 30 мол.% H_3PO_4 (рис. 1, табл. 1).

При дальнейшем увеличении поля наблюдается увеличение плотности эмиссионного тока j , который при некотором значении поля E_H достигает своего максимального значения j_H . Поля, при которых достигается насыщение в существенной мере, зависят от условий роста и степени легирования, причем E_H кристаллов *ADT6SP* больше, чем для *T6SD* (табл. 1). С повышением содержания H_3PO_4 , понижением t_p и увеличением δ поля насыщения растут, достигая ~ 19 кВ/см у кристаллов *ADT6SP*, выращенных при 20°C, $\delta = 1,3 \cdot 10^{-3}$ из растворов с 30 мол.% H_3PO_4

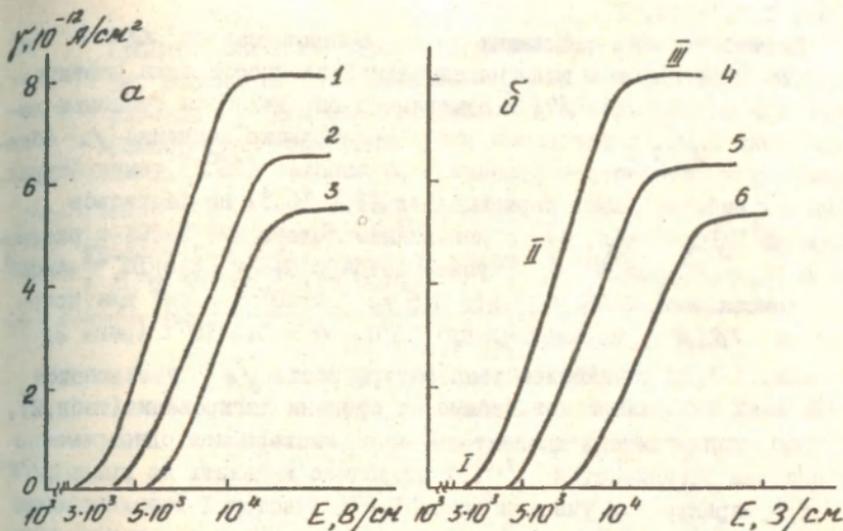


Рис.1. Зависимости $j(E)$ монокристаллов *ADTGSO* от содержания H_3PO_4 в растворе (а) при $t_p = 55^\circ$, $\delta = 1,3 \cdot 10^{-3}$; 10 - I, 30 - 2, 50 мол% H_3PO_4 - 3 и от температуры роста (б): 4 - 55° ; 5 - 35° ; 6 - 20° С. Пересыщение $\delta = 1,3 \cdot 10^{-3}$; 10 мол.% H_3PO_4 .

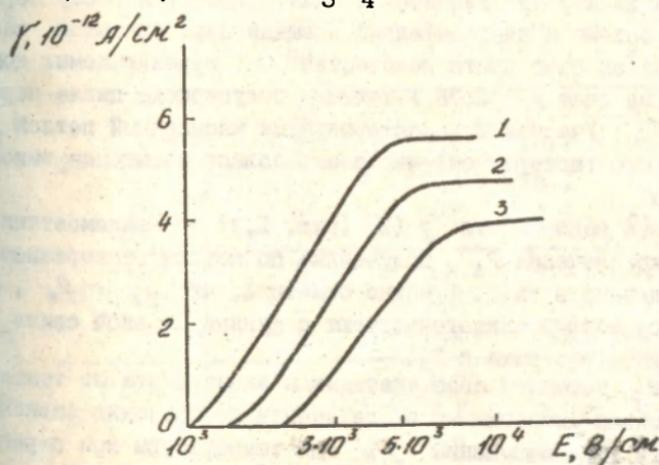


Рис.2. Зависимости $j(E)$ монокристаллов *T6SD*, выращенных при 55° С из растворов с 10 - I, 30 - 2 и 50 мол.% H_3PO_4 - 3. Относительное пересыщение $4 \cdot 10^{-3}$, температура измерения 25° С.

(рис. 1,6, табл. 1).

Плотность тока насыщения j_H монокристаллов *ADTGSР* и *TGSР* на порядок выше максимальной плотности тока, достигаемого при пироэффекте $1/7$, и однозначно определяется степенью легирования H_3PO_4 и условиями роста. Наибольшие значения j_H обнаружены у кристаллов, выращенных при высоких (55°C) температурах, больших относительных пересыщениях ($1,3 \cdot 10^{-3}$) из растворов с 10 мол.% H_3PO_4 (табл. 1). С повышением содержания H_3PO_4 в растворе с 10 до 50 мол.% j_H уменьшается (с $6,6$ до $4,5 \cdot 10^{-12}$ А/см² для кристаллов *ADTGSР* и с $5,5$ до $3,9 \cdot 10^{-12}$ А/см² для кристаллов *TGSР*, выращенных при 55°C, $\delta = 0,4 \cdot 10^{-3}$ (рис. 2,

табл. 1). С понижением температуры роста j_H уменьшается для всех кристаллов независимо от степени легирования (табл. 2).

Наблюдение петель диэлектрического гистерезиса одновременно со снятием зависимостей j (E) позволило выделить на кривых j (E) три характерных участка (рис. 1,6). Участок I возникновения ЭЭ тока (определяется пороговым полем) совпадает с началом переполяризации - наблюдается ненасыщенная петля. На участке II с ростом поля увеличивается плотность эмиссионного тока, что сопровождается увеличением петли гистерезиса. Наблюдаемое увеличение эмиссии может быть обусловлено ростом площади, с которой эмитируются электроны. Увеличение поля приводит к росту переключаемого объема и следовательно площади переключаемой части образца, как за счет роста количества переключаемых доменов, так и за счет их роста в течение полупериода цикла переполяризации /5/. Участок III характеризуется насыщенной петлей диэлектрического гистерезиса, что и определяет насыщение эмиссионного тока.

Сравнивая зависимости j (E) (рис. 1,2) с зависимостями P (E) /8/, а также значения P_s , полученные по петлям гистерезиса и j_H , приведенные в табл. 1, можно отметить, что $j_H \sim P_s$. Полученные корреляции свидетельствуют о функциональной связи плотности эмиссионного тока и P_s .

Так как P_s изменяет свое значение в зависимости от температуры, мы провели аналогичные эксперименты по изучению зависимости плотности тока насыщения j_H от температуры при переполяризации кристаллов *ADTGSР* и *TGSР*.

Зависимости j_H (T) кристаллов *ADTGSР* и *TGSР* представлены на рис. 3. При повышении температуры плотность тока насыщения плавно уменьшается, обращаясь в нуль в области

Таблица I

Средние значения пороговых полей E_{II} , полей насыщения E_{III} , плотности тока насыщения j_H и спонтанной поляризации P_s для монокристаллов *ADTGSР* и *TGSР*.
Температура измерения 25°C

Кри- сталл кВ/см	Темпе- ратура роста, t °C	Относи- тельное пересы- щение δ , 10^{-3}	Содержа- ние H_3PO_4 в раство- ре, мол. %	E_{II} , кВ/см	E_{III} , кВ/см	j_H , 10^{-12} А/см ²	P_s , кВ/см ²
<i>ADTGSР</i>	55	0,4	10	2,8	9,4	6,6	3,2
			30	4,2	11,2	5,6	2,9
			50	5,1	12,8	4,5	2,7
		1,3	10	3,5	10,9	8,1	3,4
			30	4,5	13,3	6,5	3,1
			50	5,6	15,9	5,4	2,8
	35	0,4	10	3,9	11,7	5,5	2,9
			30	4,8	13,9	4,3	2,6
			50	5,8	16,1	3,3	2,4
		1,3	10	4,4	12,5	6,3	3,1
			30	5,3	15,1	5,5	2,8
			50	6,5	17,2	4,0	2,6
20	0,4	10	6,2	14,9	4,4	2,7	
		30	7,4	15,7	3,5	2,4	
		50	8,0	19,6	4,1	2,6	
	1,3	10	7,1	18,1	5,4	2,9	
		30	8,0	19,6	4,1	2,6	
		50	8,0	19,6	4,1	2,6	
<i>TGSР</i>	55	0,4	10	1,1	4,3	5,5	2,9
			30	1,6	5,6	4,7	2,7
			50	2,2	8,1	3,9	2,5
	35	0,4	10	1,5	6,0	4,5	2,6
			30	2,1	7,8	3,6	2,4
			50	2,8	9,7	3,0	2,2

фазового перехода, что хорошо коррелирует с зависимостями $P_s(T)$ /8/. В парафазе эмиссия электронов не наблюдается.

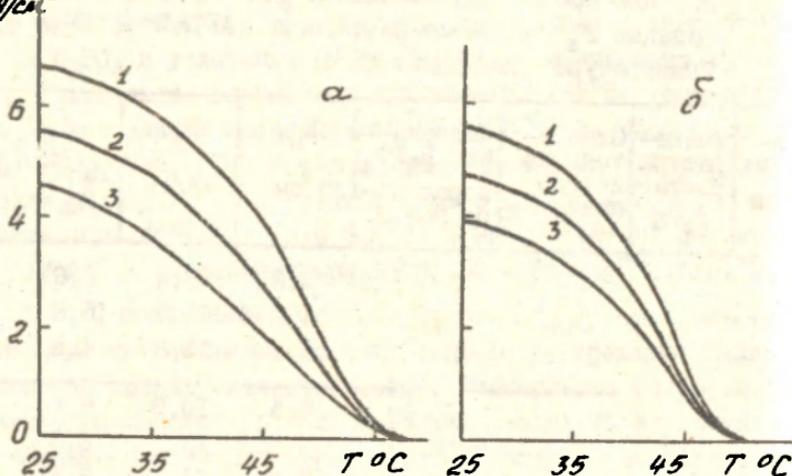


Рис. 3. Зависимости $j(T)$ монокристаллов *ADTGSР* - а и *TGSP* - б, выращенных при 55°C из растворов с 10 - 1, 30 - 2 и 50 мол.-% H_3PO_4 - 3. Относительное пересыщение $0,4 \cdot 10^{-3}$.

В работе /7/ нами получено выражение для напряженности электростатического поля в пространстве кристалл-детектор, которое и определяет эмиссионную активность сегнетоэлектрика

$$E_a = \frac{\Delta P}{\epsilon_0 (\epsilon \frac{a}{d} + 1)} \quad (1)$$

Нескомпенсированный заряд с поверхностной плотностью может появляться на поверхности сегнетоэлектрика как в случае пирозффекта, так и при переполяризации. При переполяризации

$$\Delta P = 2P_s \quad (2)$$

с учетом (2) перепишем (1) в виде

$$E_a = \frac{2P_s}{\epsilon_0 (\epsilon \frac{a}{d} + 1)} \quad (3)$$

В /2/ показано, что именно поле E_a определяет экзоэмиссионную активность сегнетоэлектрика, которая характеризуется плот-

ностью эмиссионного тока с эмитирующей поверхности, то есть:

$$j \sim j(E_a). \quad (4)$$

Учитывая (3), перепишем (4) в виде

$$j_H \sim j(P_s), \quad (5)$$

т.е. плотность экзоэмиссионного тока при переполаризации кристаллов *ADTGSР* и *TGSР* будет определяться величиной и поведением P_s . Полученные нами корреляции хорошо подтверждают это заключение.

Благодаря высокой плотности экзоэмиссионных токов, возникающих при переполаризации кристаллов *ADTGSР* и *TGSР* ($\sim 10^{-12}$ А/см²), эти кристаллы могут использоваться для создания плоских ненакаливаемых катодов с электрическим управлением и малой инерционностью.

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность научным руководителям профессору М.С.Цедрику и профессору И.С.Резу.

Литература

1. Керимов В.С., Минц Р.И.//ФТТ. - 1967. - Т.9. - С. 1828.
2. Розенман Г.И., Печорский В.И.//ФТТ. - 1983.-Т.25.-С.888.
3. Розенман Г.И., Рез И.С., Чепелев Ю.Л., Ангерт Н.Б.//ФТТ.- 1980. - Т. 22. - С. 3466.
4. Розенман Г.И., Печорский В.И., Рез И.С.//Письма в ИСТФ.- 1980. - Т.6. - С. 1531.
5. Охапкин В.А. Автореф.дис.канд. физ.-мат.наук. - Свердловск. - 1984.
6. Василевский С.А., Януть В.И.//Сегнетоэлектрики.- Минск, пединститут. - 1986. - С. 92.
7. Цедрик М.С., Рез И.С., Василевский С.А., Розенман Г.И.Свойства сегнетоэлектриков.-Минск, пединститут. - 1988. - С. 3.
8. Tsedrik M.S., Rez J.S., Vasilevski S.A., Zaborovski G.A., Yanut V.J.//XXIV jahrestagung "Organische Festkorper"/Padagogische Hochschule. - Potsdam. - 1987. - P. 29.