

05; 11; 12

© 1990

ИЗМЕРЕНИЕ ЭМИССИОННОГО ТОКА ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА

А.Ш. Айрапетов, А.К. Красных,
И.В. Левшин, А.Ю. Никитский

Переключение внешним электрическим полем направления спонтанной поляризации сегнетоэлектрика сопровождается эмиссией электронов с их поверхности [1-4]. Недавно в ЦЕРНе при быстрой реполяризации сегнетоэлектрических керамик получены электронные пучки наносекундной длительности с плотностью тока $\leq 7 \text{ А/см}^2$ [5, 6]. Качественное объяснение механизма эмиссии заключается в том, что на поверхности поперечно поляризованной пластины сегнетоэлектрика появляются свободные заряды, компенсирующие электрическое поле связанных поверхностных зарядов (эффект экранирования). Если за время переключения отрицательный свободный заряд (электроны) остается на поверхности, то он может быть эмиттирован, т.к. после переключения более не удерживается связанными зарядами.

Этот эффект представляет практический интерес как основа для разработки электрически управляемых холодных катодов с недостижимой ранее средней плотностью тока. Такие катоды могут стать серьезным конкурентом фотоэмиссионным катодам при получении сильноточных сгустков электронов с малым эмиттансом, необходимых для нового поколения СВЧ генераторов и ускорителей электронов.

С целью поиска возможностей значительного увеличения плотности тока эмиссии проведены эксперименты по переключению в вакууме предварительно поляризованной керамики ($\text{Pb}_{0.95}\text{Sr}_{0.05}$) ($\text{Zr}_{0.57}\text{Ti}_{0.43}\text{O}_3$) с коэрцитивным полем около 10 кВ/см. Измерения тока эмиссии выполнены на стенде, состоящем из формирователя высоковольтных импульсов и вакуумной камеры, в которую помещены узел крепления сегнетоэлектрика и коллектор (рис. 1). Формирующая линия на основе кабеля РК-50 длиной 16 м (длительность импульса отрицательной полярности 160 нс) коммутировалась посредством тиратрона ТГИ-10/8. Поскольку на сегнетоэлектрическую таблетку подавалось также постоянное положительное напряжение, то мгновенное напряжение на таблетке было равно разности постоянного и импульсного напряжений. На поверхности с обеих сторон таблетки диаметром 12 мм и толщиной 0.4 мм были нанесены серебряные пленочные электроды диаметром 8 мм. На эмиттирующей поверхности удалением части электрода была изготовлена линейная сетка с прозрачностью около 50 %. Электриче-

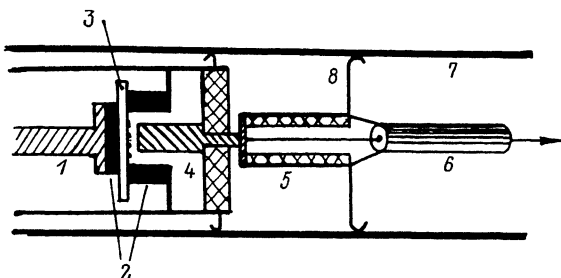


Рис. 1. Узел крепления сегнетоэлектрической таблетки: 1 – высоко-
вольтный электрод, 2 – проводящая резина, 3 – сегнетоэлектрик,
4 – коллектор, 5 – измерительный шунт, 6 – кабель, 7 – корпус
вакуумной камеры, 8 – контактная пружина.

ские контакты выполнены с помощью проводящей резины. Кольцевой резиновый контактный электрод с диаметром отверстия 4 мм со стороны эмиттирующей поверхности имел сопротивление 60 Ом, что близко к волновому сопротивлению подводящего кабеля. Благодаря падению напряжения на этом сопротивлении у эмиттирующей поверхности таблетки создавалось электрическое поле, вытягивающее электроны. Коллектор был установлен на расстоянии 0,3–1 мм от поверхности таблетки, поэтому вытягивающее поле в зазоре таблетка–коллектор составляло $\geq 10^4$ В/см. Сопротивление контактной резины со стороны подводящего кабеля составило 2–3 Ом, т.е. много меньше волнового сопротивления кабеля.

В режиме однократных импульсов было проведено три серии измерений (см. рис. 2 и таблицу 1). В первой серии, когда среднее переключающее поле было меньше коэрцитивного, на коллекторе регистрировался импульс тока изрезанной формы, по длительности почти совпадающий с импульсом напряжения. Во второй серии постоянное напряжение отсутствовало, а амплитуда импульсного напряжения была той же, что и в первой серии. В этом случае в начале и середине импульса напряжения регистрировался такой же, как и в первой серии, ток изрезанной формы, а в конце – пик тока амплитудой 4–6 А и полушириной 25–35 нс. При увеличении амплитуды импульса напряжения (третья серия) картина качественно не менялась, но амплитуда пика резко возрастала. Временная задержка появления пика эмиссионного тока относительно фронта импульса напряжения постоянна при неизменных электрических параметрах, с точностью до 10 нс, а с ростом импульсного напряжения от 1,2 кВ во второй серии до 1,6 кВ в третьей серии она уменьшается примерно на 20 нс. При напряжениях выше 1,6 кВ происходил объемный пробой и разрушение таблетки.

Появление относительно длительного импульса эмиссионного тока изрезанной формы с амплитудой несколько сотен мА можно объяснить переключением поверхностных слоев керамики вблизи краев

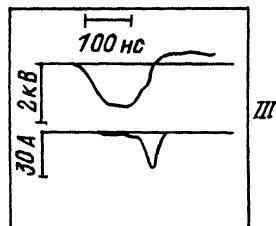
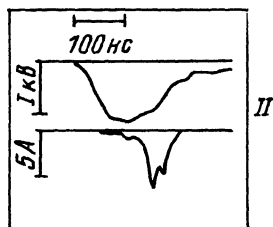
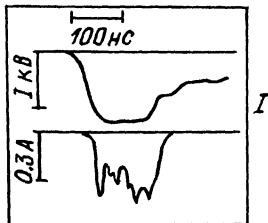


Рис. 2. Осциллограммы импульсов напряжения на таблетке (вверху) и тока на коллектор (внизу): 1 - постоянное напряжение на таблетке 1 кВ, амплитуда импульса напряжения 1.2 кВ; II - то же что 1, но без постоянного напряжения; III - то же, что II, но при амплитуде импульса 1.6 кВ.

пленочного сетчатого электрода, где может происходить значительное усиление поля. Пик тока в конце импульса эмиссии, вероятно, связан с процессом переключения поляризации на всей оголенной поверхности сегнетоэлектрика. Тот факт, что не происходит деградации эмиссии при последовательном воздействии на керамику высоковольтными импульсами, говорит о возвращении системы к исходному состоянию после отключения внешнего поля. По-видимому, за время импульса напряжения полная переполаризация образца произойти не успевает: последнее согласуется с тем, что максимальная плотность снимаемого с поверхности заряда -

10 мкКл/см^2 - составляет лишь около 30 % величины спонтанной поляризации для данной керамики.

Максимальная зарегистрированная нами плотность тока 400 А/см^2 (с учетом прозрачности сетчатого электрода) близка к расчетной плотности тока, ограниченного пространственным зарядом пучка, при величине зазора таблетка-коллектор 0.5 мм и разности потенциалов 1 кВ. В экспериментах в ЦЕРНе ускоряющий зазор был на порядок больше, а максимальная плотность тока, соответственно, на два порядка меньше. Если плотность тока эмиссии ограничена пространственным зарядом пучка, а плотность снимаемого с поверхности заряда - величиной спонтанной поляризации сегнетоэлектрика, то дальнейшего роста плотности тока эмиссии можно добиться за счет сокращения длительности эмиссионного импульса и увеличения вытягивающего поля.

Таким образом, показана возможность использования явления переключения направления поляризации в сегнетоэлектрических образцах для получения электронных пучков наносекундной длительности с плотностями тока, по крайней мере на порядок превышающими плотности тока известных термоэмиссионных источников и

Серия	Постоянное напряжение на таблетке, кВ	Амплитуда импульсного напряжения, кВ	Амплитуда тока коллектора, А	Плотность тока эмиссии, А/см ²
I	1.0	1.2	0.4±0.1	7±2
II	0	1.2	5±1.2	80±20
III	0	1.6	25±5	400±80

сравнимыми с полученными в фотоэмиссионных пушках с лазерным подсветом [7]. Проблемы качества пучка (энергетический спектр, угловое распределение, поверхностная равномерность эмиссии), а также возможность укорочения длительности импульса тока будут предметом последующих экспериментов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] K o l l e r A., B e r a n e k M. // *Czech. J. Phys.* 1959. V. 9. P. 402-405.
- [2] S u j a k B., K u s z J. // *Acta Phys. Pobon.* 1965. V. 25. P. 491-493.
- [3] R o s e n m a n G.I., B o i k o v a E.J. // *Phys. Status Solidi (a)* 1980. V. 58. P. 379-384.
- [4] Р о з е н м а н Г.И., Б о д я г и н В.Л., Ш е п е л е в Ю.Л., И с а к о в а Л.И. // *Радиотехника и электроника.* 1987. Т. 32. С. 1997-2002.
- [5] New approach to electron emission. // *CERN Goarier* 1989. V. 29. N 1. P. 21-22.
- [6] G u n d o l H., H a n d e r e k J., R i e g e H., W i l s o n E.J.N., Z i o n t a s K. // *CERN /PS.* 1989. 89-35 (AR).
- [7] F r a s e r J.S., S b e f f i e l d R.L., G r a y E.R., G r i l e s P.M., S p r i n g e r R.W., L o e b s V.A. // *Proc. of the IEEE Part Accel. Conf. Washington, 1987. V. 3.* P. 1705-1709.

Физический институт
им. П.Н. Лебедева АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
1 декабря 1989 г.