

ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА ГЕРМАНАТА СВИНЦА

Г.И.Розенман, В.А.Оханкин, Ю.Л.Чепелев, В.Я.Шур

Обнаружена униполярная эмиссия электронов при 180° -ной доменной переориентации в сегнетоэлектриках. Визуализировано электронное изображение поверхности, что позволило произвести непосредственное наблюдение движения доменных границ и изменения доменной структуры в условиях процесса переключения.

Процесс 180° -ного обращения поляризации в сегнетоэлектриках является трехступенчатым, включающим в себя образование зародыша домена с поляризацией антипараллельной исходной, его прораствание и, наконец, боковое движение доменной границы ¹. На всех трех этапах в течение времени порядка максвелловской релаксации в переключающейся области существует нескомпенсированный заряд $2P_s$. Этот заряд создает сильное электрическое поле в диэлектрическом слое, находящемся на поверхности сегнетоэлектрика. Напряженность поля по оценке ² достигает $3 \cdot 10^6$ В · см⁻¹ и может приводить к туннельной эмиссии электронов из слоя в вакуум. Регистрация эмиссионного эффекта будет прямым доказательством существования диэлектрического зазора на поверхности сегнетоэлектрика, а визуализация электронного потока позволит производить прямое наблюдение за развитием процесса переключения доменов и движением доменных границ. Известны методы непосредственного наблюдения доменов в кристаллах с оптически разрешимой доменной структурой ³ и в коллинеарных сегнетоэлектриках с помощью нематических жидких кристаллов ⁴. Разрабатываемый в настоящей работе метод на основе обнаруженного эффекта электронной эмиссии является универсальным.

Исследование процесса переполаризации проводилось на монокристаллах германата свинца. Размеры образцов $10 \times 10 \times 1$ мм³. Эмиссия электронов регистрировалась сборкой из двух микроканальных вторичноэлектронных умножителей обеспечивающих коэффициент усиления порядка 10^8 . Такой координатночувствительный детектор позволял измерять интегральную плотность тока эмиссии и получать панораму поверхности кристалла в электронах. При этом электронная картина с поверхности образца переносилась с помощью микроканальных умножителей на флуоресцентный экран. Возникающее оптическое изображение фиксировалось передающей телевизионной камерой, наблюдалось на мониторе и записывалось на видеоманитную ленту. Переполаризующее напряжение прикладывалось к электродам, одним из которых служил проводящий слой SnO₂, а вторым – поверхность микроканального умножителя, прижимаемого к образцу.

При подаче переключающего импульса прямоугольной формы возникает эмиссия электронов. Интегральная плотность тока эмиссии в максимуме достигает 10^{-7} А · м². Важно отметить, что эмиссионный эффект имеет место только при выходе на поверхность кристалла

отрицательного конца домена. Эмиссия электронов из объема сегнетоэлектрика через отрицательно заряженную поверхность физически нереализуема. Следовательно, наблюдение этого эффекта однозначно доказывает то, что на поверхности сегнетоэлектрика располагается слой, не обладающий сегнетоэлектрическими свойствами. Существование такого диэлектрического зазора предполагалось ранее⁵⁻⁷.

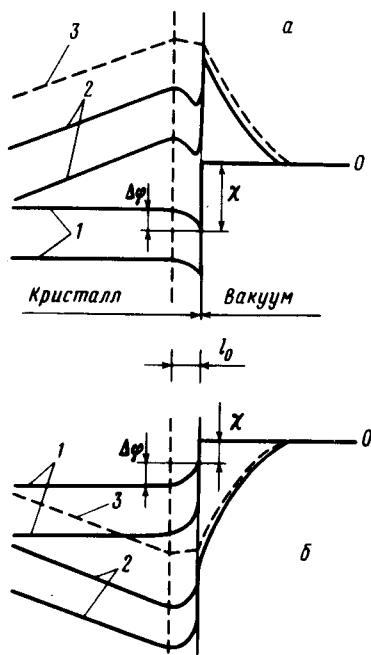


Рис. 1

Рис.1. Диаграмма потенциальной энергии электрона вблизи поверхности; *a* – для z^+ -среза, *б* – для z^- -среза: 1 – исходное состояние зонной структуры, 2 – состояние зонной структуры в момент после переполяризации, 3 – потенциал свободного электрона в кристалле и вне его, возникающий в момент после переключения. $\Delta\phi$ – сегнетоэлектрический изгиб зон, χ – электронное сродство, l_0 – толщина диэлектрического слоя

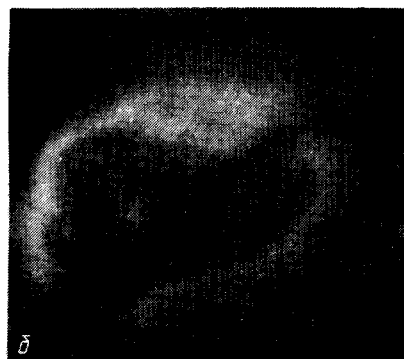
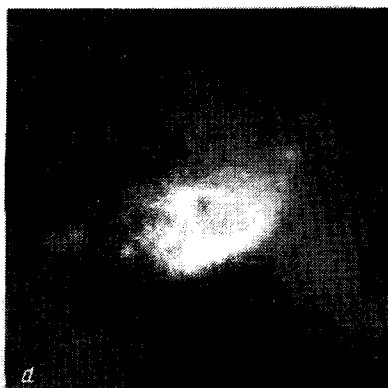


Рис.2. Последовательные фрагменты эмиссионного изображения поверхности переполяризующегося кристалла ($\times 20$). Снимки выполнены с экрана телевизионного монитора с интервалом в 6 кадров, что соответствует 0,12 с

Рис. 2

Механизм эмиссии электронов в условиях переполяризации сегнетоэлектрического кристалла может быть понят из рис.1, *a*, *б*, на котором представлена диаграмма потенциальной энергии электрона вблизи поверхности. Диэлектрический слой l_0 есть слой пространственного заряда экранирования спонтанной поляризации⁸. Для z^+ среза кристалла, перпендикулярного положительному направлению полярной оси, в исходном состоянии характерно существование энергетического барьера высотой χ бесконечной ширины (рис.1, *a*). В момент переключения возникает незаэкранированный заряд $2P_s$, потенциал поля которого изменяет

энергию электрона в кристалле и, самое главное, деформирует барьер таким образом, что становится возможен туннельный эффект из слоя l_0 в вакуум (рис.1, а). Необходимая концентрация электронов в зоне проводимости возникает за счет полевой ионизации примесных центров и туннелированием из валентной зоны в поле зарядов движущейся доменной стенки^{9, 10}. В то же время при выходе на поверхность кристалла положительного домена высота барьера резко возрастает и он по-прежнему имеет бесконечную ширину (рис.1, б).

Фрагменты электронного изображения поверхности кристалла, полученные методом покадровой съемки с экрана телевизионного монитора, представлены на рис. 2, а, б, в. В первый момент после подачи переполаризующего импульса на экране появляется светящаяся область, соответствующая, по-видимому, образовавшемуся домену обратной фазы. Затем она начинает увеличиваться в размерах. Яркость свечения в центре убывает вследствие экранирования и образовавшееся кольцо расширяется к краям кристалла (рис.2). Время погасания светящейся области составляет порядка 0,05 с, что близко к максвелловскому времени релаксации в этих кристаллах. Наблюдаемое разрастание светящегося контура, очевидно, представляет собой боковое движение доменной границы.

Литература

1. Смоленский Г.А., Боков В.А., Исупов В.А., Крайник Н.Н., Пасынков Р.Е., Шур М.С. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. Л.: Наука, 1971.
2. Miller R., Savage A. ' J. Appl. Phys. . . , 1960, 31, 662.
3. Иона Ф., Ширани Д. Сегнетоэлектрические кристаллы. М.: Мир, 1965.
4. Тихомирова Н.А., Донцова С.А., Пикин Л.А., Шувалов Л.А., Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 37.
5. Känzig W. Phys. Rev., 1955, 98, 549.
6. Merz W. J. Appl. Phys., 1966, 27, 938.
7. Drougard M., Landauer R., J. Appl. Phys., 1959, 30, 1663.
8. Фридкин В.М. Сегнетоэлектрики – полупроводники. М.: Наука, 1976.
9. Сидоркин А.С., Федосов В.Н. ФТТ, 1981, 23, 2854.
10. Сидоркин А.С. ФТТ, 1982, 24, 1542.