

обусловлена сильным вытеснением поля МСВ за пределы ферритовых слоев.

Особенностью данных систем является возможность эффективного управления степенью локализации магнитостатического потенциала МСМ в волноводах путем создания неоднородности внутреннего магнитного поля.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Новиков Г.М., Петрунькин Е.З. // РЭ. 1984. Т. 29. № 9. С. 1691.
- [2] O'K e f f e T.W., P a t t e r s o n R.W. // J. Appl. Phys. 1978. V. 49. N 9. P. 4886.
- [3] Васильев И.В., Макеева Г.С. // РЭ. 1984. Т. 29. № 3. С. 419.
- [4] Каменецкий Е.О., Соловьев О.В. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 20.

Ленинградский электротехнический институт им. В.И.Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
5 июня 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17

12 сентября 1990 г.

05.2

© 1990

ПРОЦЕСС ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ СЕГНЕТОКЕРАМИКИ В БЫСТРОНАРАСТАЮЩЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

С.А. Садыков, А.Ш. Агапаров

Как известно [1, 2], для получения устойчивого поляризованного состояния в сегнетоэлектрической керамике (СК) необходимо воздействие сильного электрического поля в течение длительного времени при достаточно высокой температуре, чтобы обеспечить локальную компенсацию поляризационного заряда из-за проводимости и релаксацию внутренних напряжений. При этом время действия поляризующего поля по порядку величины должно быть не меньше времени максвелловской релаксации объемного заряда $\tau = \epsilon \epsilon_0 \sigma^{-1}$, где σ – проводимость. Однако в быстронарастающем электрическом поле (БЭП) оказывается возможной поляризация образцов СК в микросекундном диапазоне времени, исключающем развитие диффузных процессов, причем в этом случае требуемый уровень поляризации достигается при комнатной температуре. Появление остаточной поляризованности при поляризации короткими импульсами микросекундной длительности подтверждает факт накопления объем-

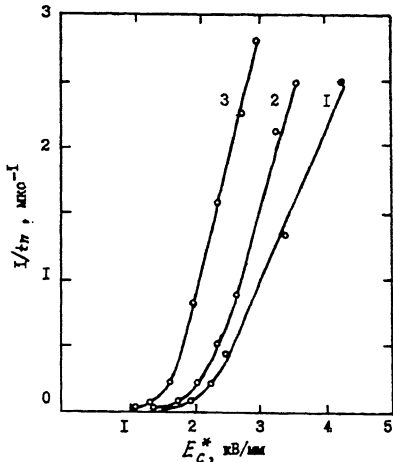


Рис. 1. Зависимость обратного времени переключения поляризации $1/t_n$ от величины динамического коэрцитивного поля E_c^* сегнето-керамических образцов ПКР-1 (1), ЦТС-19 (2) и ПКР-7М (3).

ного заряда и формирования внутренних полей смещения за времена, значительно меньше времени максвелловской релаксации. Отметим, что процесс поляризации сегнетокерамических образцов в режиме БЭП сопровождается люминесценцией.

В настоящей работе с целью выяснения механизма поляризации СК в условиях БЭП изучены кинетические характеристики переполаризации и возникающей при этом люминесценции. Исследования выполнены на образцах СК системы ЦТС при скоростях нарастания поля $\dot{E} = 0.1-80$ кВ/(мм·мкс)

Установлено, что по мере возрастания внешнего поля E время переполаризации t_n убывает и становится порядка единиц и десятых долей микросекунды. В диапазоне $\dot{E} = 1-20$ кВ/(мм·мкс) описывается следующим эмпирическим выражением: $1/t_n = M \cdot \dot{E}^{0.9}$, где коэффициент M имеет значения 0,15 и 0,09 для сегнетокерамических образцов ЦТС-19 и ПКР-1 соответственно. В выражении для обратного времени переполаризации t_n взято в мкс. Величина, названная нами динамическим коэрцитивным полем E_c^* [3], является возрастающей функцией \dot{E} и увеличивается с уменьшением t_n . На рис. 1 приведены зависимости обратного времени переключения $1/t_n$ от величины E_c^* , которые качественно подобны аналогичным зависимостям, полученным на монокристаллах титаната бария и ТГС.

Типичные осциллограммы тока переполаризации и люминесценции, наблюдаемые при приложении к образцу СК внешнего электрического поля против существующего направления поляризации P_r , приведены на рис. 2, а. В поляризующем направлении свечение СК не обнаружено. Люминесценция возникает в виде двух ярко выраженных пиков, появляющихся синхронно с началом переполаризации и исчезающих с ее завершением, причем пороговое поле начала раз-

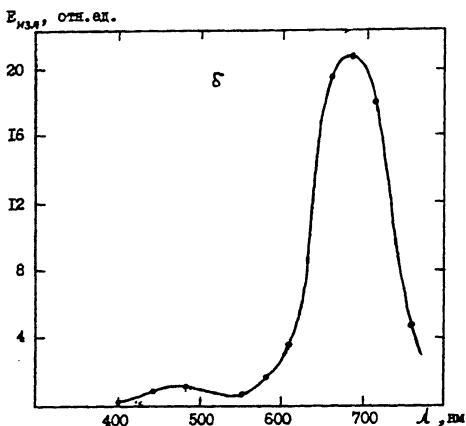
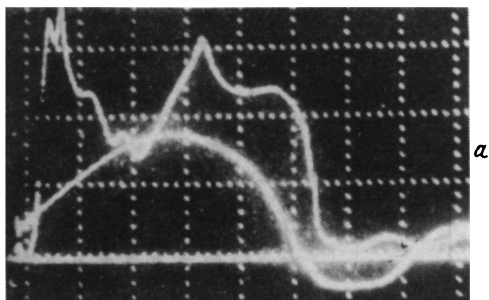


Рис. 2. а) Осциллограммы люминесценции (верхний луч) и тока переполаризации (нижний луч) СК ПКР-1. Метки времени - 2 мкс/дел.

б) Спектр люминесценции при переполаризации СК ПКР-1 в режиме БЭП. $E = 5 \text{ кВ}/(\text{мм} \cdot \text{мкс})$.

горения свечения соответствует коэрцитивному полю E_C^* . Временные характеристики люминесценции коррелируют с временными характеристиками переполаризации; по мере уменьшения t_n уменьшается и длительность фотоимпульса свечения образцов СК.

Исследованы спектральные характеристики люминесценции. Максимум энергии излучения лежит в красноволновой области 650–700 нм (рис. 2, б). В промежуточной области спектра 450–500 нм обнаруживается небольшой размытый максимум. Имеется излучение и в инфракрасной области спектра.

Полученные экспериментальные результаты можно попытаться объяснить следующим образом. При изучении механизма поляризации монокристаллов в сильных электрических полях [4] было показано, что процесс переполаризации начинает определяться зародышеобразованием. В [5] установлено, что переполаризация реального кристалла включает, как обязательную начальную стадию, возникновение зародышей доменов противоположной полярности и последующего их разрастания боковым движением доменных стенок.

В [6] понятие коэрцитивного поля E_C связывается с процессом массового зародышеобразования. Хотя процессы переключения в сегнетоэлектрической керамике детально не изучены, следует предположить, что в БЭП эти процессы также будут определяться пристеночным зародышеобразованием на существующих доменных стенках. Качественная аналогия зависимости $1/t_n(E_C^*)$ для сегнетокерамики, полученной нами, с подобными зависимостями для монокристалла титаната бария, указывает на единую физическую природу процесса переполяризации в СК и монокристалле. Это подтверждается и зависимостью коэрцитивного поля E_C^* от \dot{E} для СК.

Массовое зародышеобразование в БЭП приводит к возникновению в СК зигзагообразной доменной структуры (системы встречных доменов). Ударная ионизация дефектов при этом в участках с аномально высокими напряженностями электрического поля приводит к генерации в объеме образца СК свободных носителей заряда. Последующая рекомбинация зарядов, захват на ловушки и межзонные переходы через дефектные уровни сопровождаются излучением. По нашему мнению, ударная ионизация глубоких уровней ответственна за создание в образце СК при переполяризации внутренних полей смещения. Исследования спектра люминесценции и спектра токов ТСД в образцах СК, поляризованных в условиях БЭП, подтверждают заполнение в процессе переполяризации глубоких уровней с энергиями активации 1,5–3 эВ.

Таким образом, в результате описанных процессов в режиме быстроснарастающего электрического поля в сегнетокерамике создаются внутренние поля объемных зарядов, имеющих недиффузную природу, что проявляется в закреплении заданного поляризованного состояния в микросекундном диапазоне времени.

Авторы выражают благодарность Н.А. Тихомировой за интерес к работе и полезное обсуждение.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Л а й н с М., Г л а с с А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981. 736 с.
- [2] Ф е с е н к о Е.Г. и др. Поляризация пьезокерамики. Ростов-на-Дону: РГУ, 1968. 134 с.
- [3] Н о в и ц к и й Е.З., С а д у н о в В.Д., С а д ы к о в С.А. и др. // ЖТФ. 1984. Т. 54. № 2. С. 348–354.
- [4] F a t u z z o E., M e r z W.J. // J. Phys. Rev. 1959. V. 116. P. 61.
- [5] Д о н ц о в а Л.И., Т и х о м и р о в а Н.А. // Письма в ЖЭТФ. 1985. Т. 41. № 5. С. 183–185.
- [6] J a n o v e s V. // Czech. J. Phys. 1958. V. 8. P. 3.