

# Влияние механических напряжений на диэлектрический отклик тонких сегнетоэлектрических пленок PZT

© Р.А. Лалетин, А.И. Бурханов, Л.В. Жога, А.В. Шильников, А.С. Сигов\*, К.А. Воротилов\*

Волгоградский архитектурно-строительный университет,  
400074 Волгоград, Россия

\* Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (Технический университет),  
119454 Москва, Россия

E-mail: postmaster@vgasa.ru

Представлены результаты исследования влияния механических напряжений на диэлектрические свойства тонкой сегнетоэлектрической пленки PZT. К образцу прикладывалась внешняя нагрузка  $G$ , приводящая к росту остаточного напряжения растяжения вдоль одной из осей пленки. Определено, что при малых и средних электрических полях рост напряжения  $\sigma$  способствует увеличению диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  образца. Дальнейшее увеличение напряженности измерительного поля ведет к обратному эффекту — наблюдается уменьшение  $\epsilon'$  с возрастанием  $G$ .

Наблюдаемые эффекты объясняются особенностями поведения доменной структуры пленки в полях внутренних напряжений.

Работа выполнена при поддержке гранта „Ведущие научные школы“ (НШ-1514.2003.2).

PACS: 77.22.-d, 77.55.+f, 77.84.Dy, 68.60.Bs

## 1. Введение

Среди множества нелинейных диэлектрических материалов особый интерес в последнее время вызывают тонкие сегнетоэлектрические пленки, которые являются удобными объектами как для технических применений, так и для изучения так называемых „размерных“ эффектов.

Одним из перспективных сегнетоэлектрических материалов для прикладных применений является твердый раствор цирконата-титаната свинца  $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$  (PZT) с составом, близким к морфотропной фазовой границе (МФГ,  $x \approx 0.52-0.55$ ).

Частной особенностью тонких пленок PZT является наличие большого двухосного механического напряжения в плоскости пленки [1–4]. При этом очевидно, что диэлектрические свойства пленок, а следовательно и параметры устройств на их основе, могут существенно образом изменяться в зависимости от величины и знака данного остаточного внутреннего напряжения. Целью настоящей работы было выявление характера и степени влияния механических напряжений на диэлектрический отклик тонких пленок PZT при различных частотах и амплитудах измерительного электрического поля.

## 2. Экспериментальные результаты и обсуждение

В качестве объектов исследования была выбрана пленка PZT, полученная золь-гель методом [5]. Ее состав соответствовал МФГ с отношением  $\text{Zr/Ti} = 0.53/0.47$  ( $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$ ). Толщина пленки составляла  $0.2 \mu\text{m}$ . В качестве подложки была использована кремниевая пластина КДБ-10 [100] со слоем термического окисла

$\text{SiO}_2$  (300 nm), адгезионным слоем Ti (10 nm) и нижним электродом Pt (250 nm). Верхние электроды (контактные площадки) площадью  $0.03 \text{ mm}^2$  были изготовлены из никеля.

Закрепленная одним концом подложка Si/SiO<sub>2</sub>/Ti/Pt длиной  $L = 35 \text{ mm}$  с нанесенной на нее пленкой деформировалась под действием нагрузки  $G$ , приложенной к незакрепленному концу (рис. 1). Напряжение, вызываемое внешней нагрузкой в пленке PZT при деформации подложки, носило характер растяжения. При определенном „начальном“ значении  $G$  измерялся ряд петель поляризации (ПП) конденсаторной ячейки пленки, находящейся на расстоянии  $h$  от точки закрепления. Исследовалась ячейка, для которой  $h = 24 \text{ mm}$ . Измеряемый ряд ПП соответствовал различным амплитудам  $E_0$  (от 15 (0.3 V) до 250 kV/cm (4.8 V)) и частотам  $\nu$  (от 1 Hz до 10 kHz) переменного синусоидального поля. После этого величина нагрузки ступенчато увеличивалась (от 0.49 до 1.57 N) на фиксированную величину  $\Delta G = 0.098 \text{ N}$  и для каждого последующего значения

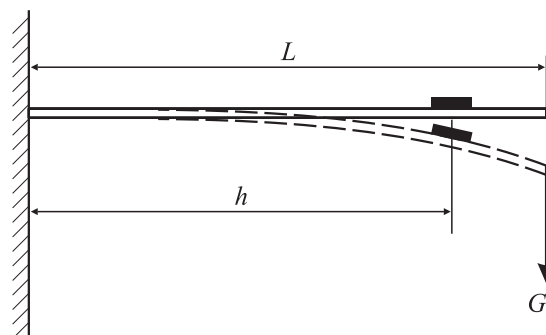
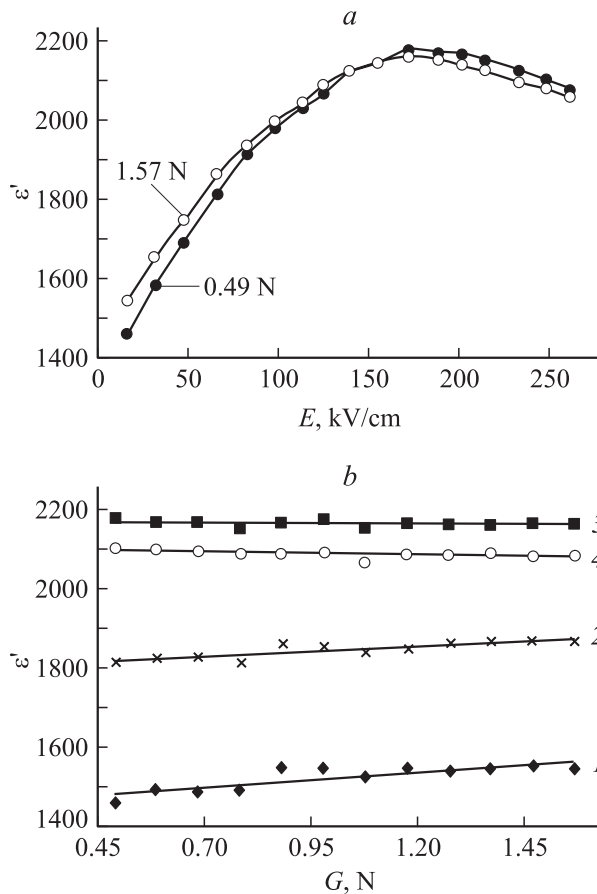


Рис. 1. Схематический вид измерительной установки ( $L = 35 \text{ mm}$ ,  $h = 24 \text{ mm}$ ).



**Рис. 2.** *a* — амплитудные зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$ , измеренные на частоте 1000 Hz при двух величинах нагрузки  $G$ : минимальной (0.49 N) и максимальной (1.57 N). *b* — зависимость диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  от величины внешней нагрузки  $G$ , измеренная при различных амплитудах электрического поля  $E$ , kV/cm: 1 — 15, 2 — 65.5, 3 — 171 и 4 — 250.

$G$  проводилось измерение нового ряда ПП. Все этапы измерений осуществлялись при комнатной температуре. Изучаемые диэлектрические параметры пленок были получены посредством компьютерной обработки ПП.

На рис. 2, *a* представлены характерные амплитудные зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$ , измеренные на частоте 1000 Hz, при двух величинах нагрузки  $G$ : минимальной (0.49 N) и максимальной (1.57 N). Хорошо видно, что вблизи максимума зависимости  $\epsilon'(E_0)$  данные кривые имеют область пересечения в некотором интервале значений электрического поля (140–160 kV/cm). Для упрощения дальнейшего анализа воспользуемся величиной  $E_M$ , характеризующей середину данного интервала. При этом поля, лежащие в интервале  $E \leq E_M$ , будем называть слабыми и средними, а поля, превышающие величину  $E_M$ , будем считать сильными. С учетом этого видно, что увеличение механической нагрузки  $G$  в слабых и средних полях ( $E \leq E_M$ ) приводит к небольшому росту значения  $\epsilon'$  (кривые 1 и 2 на рис. 2, *b*). Для объяснения характера поведения

$\epsilon'$  в зависимости от значения  $G$  можно воспользоваться двумя подходами. Один из них, основанный на изменении текстуры пленок, рассмотрен в работе [3]. Доменная структура материала и ее динамика в электро-механических полях авторами не учитывалась. В настоящей работе для объяснения поведения диэлектрических параметров пленки под действием внешней механической нагрузки (напряжения) рассмотрена доменная конфигурация. Согласно такому подходу наблюдаемое увеличение  $\epsilon'$  можно связать со срывом доменных стенок с точечных дефектов, вызываемым добавочным „внешним“ механическим напряжением. Кроме того, это напряжение может снизить энергию, требуемую для зарождения новых противоположно направленных доменов, которые будут вносить дополнительный вклад в общую поляризацию образца. Как видно из рис. 2, *b*, при приближении значения измерительного электрического поля к  $E_M$  происходит постепенное уменьшение наклона зависимости  $\epsilon'(G)$  (кривые 1 и 2), а при  $E \approx E_M$  (кривая 3) наклон становится нулевым. Иными словами, в электрических полях, близких к коэрцитивному, когда в процессе переполяризации участвует основная часть объема (доменов) образца, внешняя нагрузка не оказывает влияние на диэлектрическую проницаемость. В сильных полях ( $E \geq E_M$ ) рост величины  $G$  приводит к незначительному уменьшению  $\epsilon'$ , что можно связать с зажатием некоторой части доменов и их выключением из процесса переключения при перераспределении растущего в пленке напряжения (кривая 4 на рис. 2, *b*).

## Список литературы

- [1] А.Ю. Емельянов. ФТТ **43**, 2, 316 (2001).
- [2] A.L. Roytburd, S.P. Alpay, L.A. Bendersky, V. Nagarajan, R. Ramesh. J. Appl. Phys. **89**, 1, 553 (2001).
- [3] И.П. Пронин, Е.Ю. Каптелов, Н.Г. Хосина, В.П. Афанасьев. Письма в ЖТФ **30**, 6, 25 (2004).
- [4] Youngsung Kim, Wangkyu Lim, Jaichan Lee. Integrated Ferroelectrics **37**, 285 (2001).
- [5] Л.И. Соловьева, И.Е. Обвинцева, М.И. Яновская, К.А. Воротилов, В.А. Васильев. Неорган. материалы **32**, 7, 866 (1996).