

Абсорбционный ток в нагруженной сегнетокерамике

© В.Н. Нестеров, И.В. Кочергин, Л.В. Жога

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
Волгоград, Россия

E-mail: nv2-nesterov@yandex.ru, kocher-ivan@yandex.ru, levjog@mail.ru

Приведены результаты измерения абсорбционных токов в сегнетокерамике без внешней механической нагрузки и после ее изгиба. Обнаруженные изменения вида зависимости тока от времени сравниваются с изменениями, полученными путем моделирования движения доменных границ. Удовлетворительное согласие результатов эксперимента с модельной зависимостью основывается на изменении характера движения доменов.

PACS: 77.84.Dy, 77.65.Ly, 77.22.Ej, 77.22.Gm, 77.80.Dj

1. Введение

Абсорбционный ток в сегнетокерамике связан с характерными временами установления поляризации в диэлектрике, зависящей от доменной структуры [1]. Совместное воздействие механических и электрических нагрузок на сегнетокерамические образцы существенно изменяет поведение их доменной структуры по сравнению с поведением при действии одного (электрического или механического) нагружающего фактора [2] и должно повлиять на вид зависимости абсорбционного тока от времени.

2. Методика эксперимента и образцы

Для измерения абсорбционного тока в изогнутом образце сегнетокерамики использовалась модернизированная схема Мерца [3]. Измерения проводились на нагруженных методом осесимметричного изгиба [2] дисках сегнетокерамики на основе титаната и цирконата свинца диаметром $d = 20$ mm и толщиной $h = 0.7$ mm. Диаметры опоры и нагруженного пуансона равнялись соответственно 13 и 7 mm.

Дополнительно [4] исследовалась эволюция вида петель поляризации, полученных при различных амплитудах измерительного поля [5].

3. Результаты опытов и их обсуждение

На рис. 1 приведены диаграммы абсорбционных токов для образцов при $E = 2$ MV/m без нагрузки и под механической нагрузкой $\sigma = 5.29$ МПа. Можно отметить появление дополнительных максимумов на диаграмме, полученной для образца, к которому приложена механическая нагрузка.

Измерение вида петель поляризации сегнетокерамики при увеличении амплитуды измерительного поля до и сразу после электромеханического воздействия показывает, что такое воздействие вызывает увеличение коэрцитивного поля; рост потерь (возрастает тангенс

диэлектрических потерь); уменьшение амплитуды изменения поляризации. Перечисленные выше изменения петель поляризации позволяют сделать следующий вывод: электромеханическое воздействие приводит к возникновению дефектов структуры, существенно влияющих на динамику движения доменных границ. В частности, судя по увеличению диэлектрических потерь, возрастают силы, препятствующие движению доменных границ, уменьшение амплитуды поляризации свидетельствует об уменьшении переполяризуемого объема сегнетокерамики, что, вероятно, обусловлено пиннингом доменных границ на возникших дефектах структуры [6].

Механизмы возникновения дополнительных максимумов на экспериментальных временных зависимостях абсорбированных токов (рис. 1) рассмотрены в рамках уравнения движения доменных границ [7]

$$\eta \dot{x} + kx = \alpha_1 u_s \sigma_{ij} + \alpha_2 P_s E, \quad (1)$$

где k и η — соответственно эффективные коэффициенты упругости и вязкости, X и \dot{x} — смещение и скорость доменной границы, P_s и u_s — спонтанная поляризация и деформации, E и σ_{ij} — напряженность электрическо-

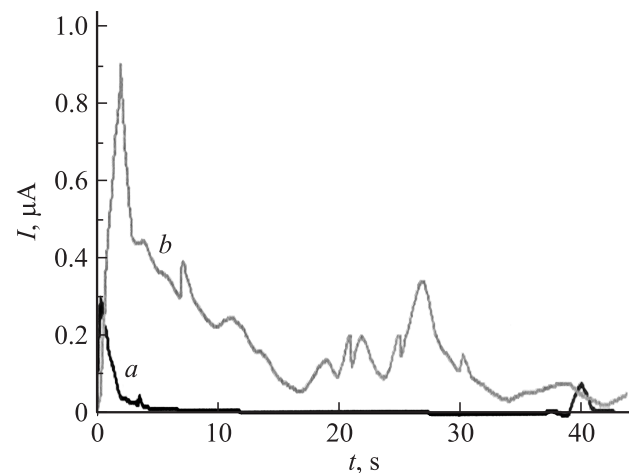


Рис. 1. Диаграммы абсорбированных токов для образцов при $E = 2$ MV/m без (a) и при приложении механической нагрузки $\sigma = 5.29$ МПа (b).

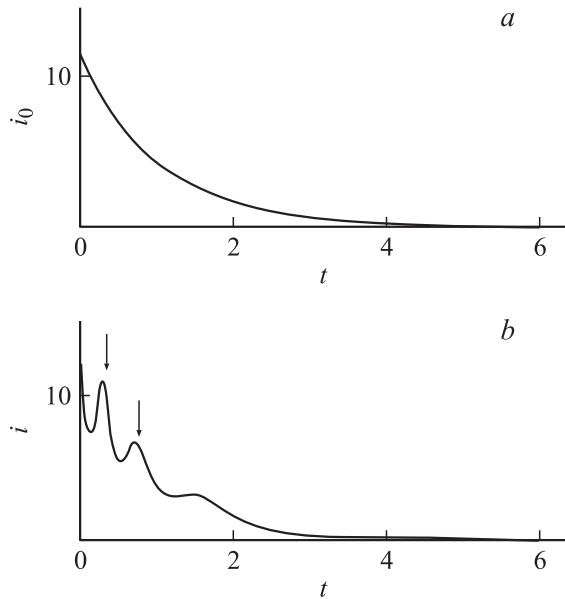


Рис. 2. Смоделированный вид абсорбированных токов, обусловленных движением 90° доменных границ. *a* — без приложения механической нагрузки к образцу, *b* — при применении механической нагрузки (стрелками указаны возникающие максимумы локальных токов поляризации, обусловленные изменением потенциального профиля).

го поля и механическое напряжение, коэффициент α_1 определяется геометрией механического напряжения и спонтанной деформации, коэффициент α_2 зависит от взаимной ориентации векторов напряженности электрического поля и вектора спонтанной поляризации.

В случае без приложения механической нагрузки к образцу потенциальный профиль движения 90° доменных границ описывается квадратичной зависимостью, приводящей к линейной зависимости квазиупругой возвращающей силы в уравнении (1). В этом случае компьютерное моделирование приводит к следующей зависимости токов поляризации (рис. 2, *a*), качественно согласующейся с экспериментально наблюдаемой зависимостью абсорбционных токов смещения.

При приложении механической нагрузки к образцу происходит деформация зерен сегнетокерамики, при этом возникают дополнительные локальные механические напряжения в местах соприкосновения зерен. При прохождении таких мест 90° доменные границы испытывают дополнительное сопротивление, что приводит к локальным изменениям потенциального профиля. При преодолении дополнительного сопротивления в местах локального напряжения доменные границы совершают скачок, что приводит к возникновению дополнительных максимумов на временной зависимости абсорбционных токов. В этом случае компьютерное моделирование приводит к зависимости абсорбционных токов (рис. 2, *b*), качественно согласующейся с экспериментально наблюдаемой зависимостью токов.

4. Заключение

На основе изложенного выше можно сделать вывод, что модель механизмов движения доменных границ [6,7] позволяет с единой точки зрения описать экспериментальные закономерности поведения как абсорбционных токов, так и петель поляризации при электромеханическом воздействии.

Причиной возникновения дополнительных максимумов на экспериментальных зависимостях абсорбционных токов и изменения экспериментальных петель поляризации после электромеханического воздействия является изменение механизмов движения доменных границ, например, в местах соприкосновения зерен из-за деформации зерен сегнетокерамики после электромеханического воздействия.

Список литературы

- [1] Пьезоэлектрическое приборостроение. Т. 1. Физика сегнетоэлектрической керамики / Под ред. А.В. Гориша. ИПРЖ «Радиотехника», М. (1999). 367 с.
- [2] В.В. Шпейзман, Л.В. Жога. ФТТ **47**, 5, 843 (2005).
- [3] W.G. Merz. Phys. Rev. **88**, 2, 421 (1952).
- [4] C.B. Sawyer, C.H. Tower. Phys. Rev. **35**, 269 (1930).
- [5] Э.С. Попов, А.В. Шильников. В кн.: Исследования по физике диэлектриков и полупроводников / Под ред. В.А. Яковлева. Волгоградский пед. ин-т, Волгоград (1968). С. 92.
- [6] V.N. Nesterov, A.V. Shil'nikov. Ferroelectrics **265**, 153 (2002).
- [7] A.V. Shil'nikov, V.N. Nesterov, A.I. Burkhanov. Ferroelectrics **175**, 145 (1996).