

Поляризационно-оптическое исследование эффекта Баркгаузена и доменной структуры германата свинца

© Т. Breczko, Р.М. Гречишкин, С.Е. Ильяшенко, О.М. Корпусов, О.В. Малышкина, Н.О. Мамкина

Тверской государственный университет,
Тверь, Россия

E-mail: Rostislav.Grechishkin@tversu.ru

Предложена методика локальных поляризационно-оптических измерений параметров петель диэлектрического гистерезиса на микроскопических участках образцов сегнетоэлектриков с одновременным наблюдением их доменной структуры. Для проведения экспериментов создан чувствительный двухлучевой дифференциальный поляризационно-оптический гистериограф. Приведены примеры исследования медленных процессов релаксации доменной структуры и кривых диэлектрического гистерезиса германата свинца $Pb_5Ge_3O_{11}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-02-97502-р_центр_a и программы Минобразования РНП 2.1.1.3674.

PACS: 77.70.+a, 77.84.-s

Перестройка доменной структуры (ДС) при переключении поляризации в сегнетоэлектрических кристаллах является процессом зарождения, роста и слияния множества доменов, для понимания которого необходимо установление связи между конкретными стадиями кинетики доменов и соответствующими откликами [1]. Особую роль играют отклонения от монотонной зависимости тока переключения (скачки Баркгаузена), обусловленные влиянием дефектов кристаллической решетки [2]. Изучение этих процессов важно для развития доменной инженерии [3].

В настоящей работе описываются эксперименты по поляризационно-оптическому исследованию ДС и процессов переполаризации тонких кристаллов сегнетоэлектриков, при которых прямые наблюдения ДС на локальных участках образцов сопровождаются регистрацией относительной поляризации P/P_s на этих же участках.

Экспериментальный подход состоял в использовании принципов поляризационно-оптических измерений, детально разработанных для исследования магнитных материалов [4]. К числу наиболее удачных вариантов магнитооптических гистериографов относится дифференциальная двухлучевая схема [5], обеспечивающая многократное повышение чувствительности и точности поляризационных измерений за счет компенсации фоновой составляющей и избыточных световых шумов. Она и была взята в качестве основы для собранной нами установки. Использовался металлографический микроскоп МИМ-8 с дополнительным осветителем проходящего света. В качестве источника излучения применены сменные сверхъяркие ($I \sim 60$ cd) светодиоды с линзами Френеля с углом излучения около 3° на длинах волн $\lambda = 469, 522$ и 640 nm. Возможность варьирования длины волны полезна при изучении образцов с большой оптической дисперсией. В частности, у одноосного гиротропного сегнетоэлектрика германата свинца оптическое вращение в синем свете почти в 2 раза больше,

чем в средней части видимого диапазона [6], поэтому выбор этой длины волны дает повышение как контраста изображений ДС, так и измерительного сигнала.

Для осуществления дифференциальной системы использовалась двухлучевая поляризационная призма Волластона. В качестве фотоприемников применялись кремниевые фотодиоды типа ФД-24К. Электронная часть гистериографа построена по схеме [5].

Для образцов кристаллов со сквозной структурой 180° доменов выходной сигнал дифференциальной пары фотоприемников прямо пропорционален величине относительной поляризации

$$P/P_s = (S^+ - S^-)/(S^+ + S^-), \quad (1)$$

где P — поляризация образца, P_s — спонтанная поляризация, S^+ и S^- — площади доменов, имеющие противоположные направления P_s . Размер анализируемого участка поверхности определяется апертурой используемых объективов и раскрытием полевой диафрагмы микроскопа. При анализе малых участков создается возможность определения параметров отдельных скачков Баркгаузена.

На рис. 1 приведена измеренная методом гистериографа кривая релаксации относительной поляризации при

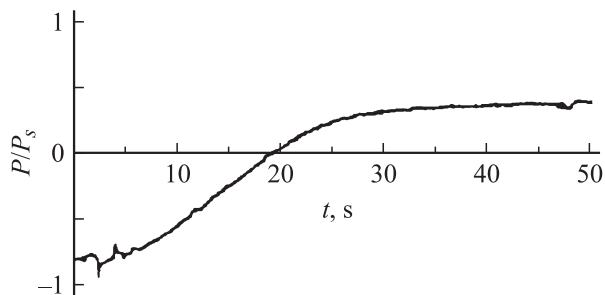


Рис. 1. Временная зависимость относительной поляризации P/P_s , полученная для кристалла германата свинца $Pb_5Ge_3O_{11}$ в деполяризующем поле 1.09 kV · cm⁻¹.

воздействии на предварительно поляризованный образец германата свинца толщиной 0.3 mm поля $1.09 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$. На данном графике хорошо прослеживаются отдельные крупные скачки Баркгаузена, наблюдаемые сразу после приложения поля.

Электрические измерения сопровождалось наблюдением ДС в поляризованном свете через прозрачные электроды из двуокиси олова или электропроводящей ионной жидкости [7]. На рис. 2 представлена эволюция ДС образца германата свинца толщиной 0.3 mm в поле $E = 1.18 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$. Оттенками серого цвета и буквами *A*, *B*, *C* отмечены конфигурации доменов в разные моменты времени. Видно, что в процессе релаксации наблюдается рост среднего диаметра цилиндрических доменов, возникших из малых зародышей в разных

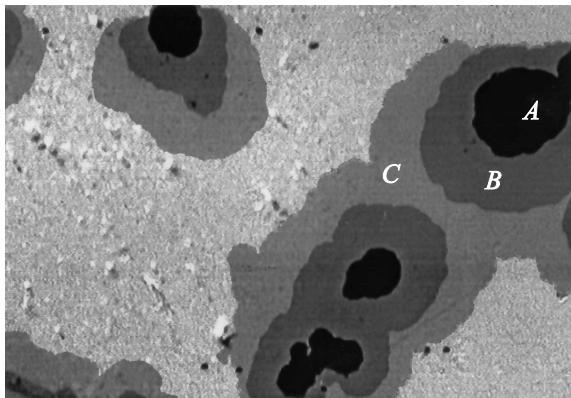


Рис. 2. Эволюция доменов кристалла германата свинца $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$. Состояния *A*, *B* и *C* соответствуют отсчетам времени 10, 20 и 30 с с момента включения постоянного деполяризующего поля $E = 1.18 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$.

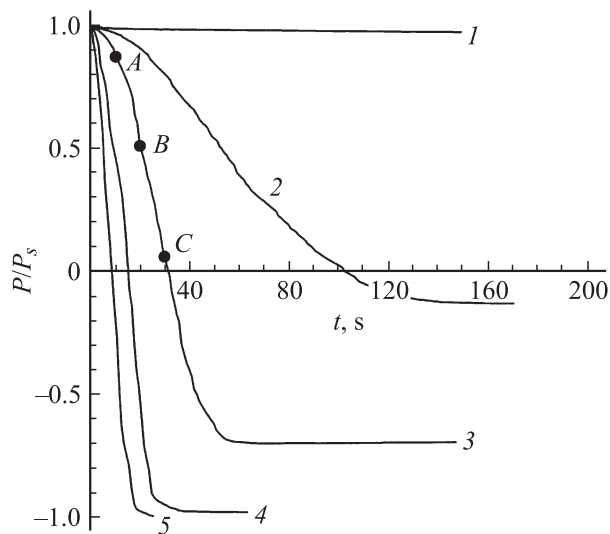


Рис. 3. Кривые релаксации относительной поляризации, полученные при воздействии на образец постоянных деполяризующих полей $E = 1.04$ (1), 1.09 (2), 1.18 (3), 1.27 (4) и $1.45 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ (5). Измерения проведены для участка образца площадью $300 \times 600 \mu\text{m}^2$.

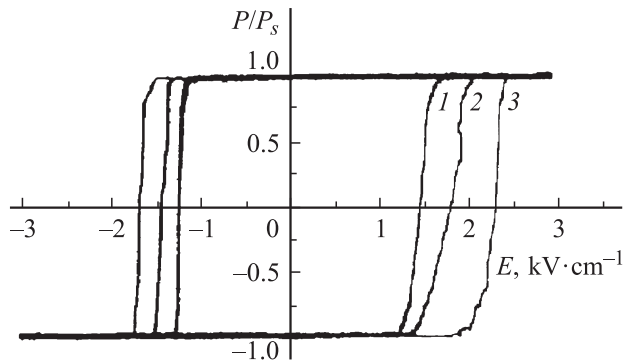


Рис. 4. Предельные динамические петли диэлектрического гистерезиса, полученные для участка диаметром $300 \mu\text{m}$. Частота переполаризующего поля 3 (1), 8 (2) и 25 mHz (3).

участках образца, и их последующее слияние между собой. Соответствующие этим изображениям кривые релаксации $P/P_s(t)$ представлены на рис. 3, на котором отмечены указанные выше состояния *A*, *B* и *C*.

На рис. 4 приведены петли диэлектрического гистерезиса, полученные с участка образца диаметром $300 \mu\text{m}$ на частотах 3, 8 и 25 mHz в поле $3.3 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$. Обращает на себя внимание то, что даже на столь низких частотах форма петель сильно зависит от частоты. Это обусловлено большими временами релаксации.

В отличие от измерений, связанных с интегрированием заряда на электродах (метод Сойера–Тауэра [8]), частотный диапазон поляризационно-оптического метода снизу не ограничен. Это открывает возможности непрерывных исследований длительных процессов релаксации и старения. Верхний предел частоты определяется быстродействием фотоприемников и электронных усилителей. Благодаря использованию в качестве источников излучения быстродействующих светодиодов метод может быть легко распространен на проведение стробоскопических исследований динамических параметров движения доменных границ.

Список литературы

- [1] V. Ya. Shur. Nucleation theory and applications. Wiley-VCH, Weinheim (2005). Ch. 6.
- [2] В.Я. Шур, Е.Л. Румянцев, В.П. Куминов, А.Л. Субботин, В.Л. Кожевников. ФТТ **41**, 301 (1999).
- [3] V. Shur, E. Romyantsev, R. Batchko, G. Miller, M. Fejer, R. Byer. *Ferroelectrics* **221**, 157 (1999).
- [4] М.М. Червинский, С.Ф. Глаголев, И.П. Горбунов. Магнитооптические методы и средства определения магнитных характеристик материалов. Энергия, Л. (1980). 128 с.
- [5] D.E. Horne, E. Sawatsky. *Rev. Sci. Instrum.* **43**, 1842 (1972).
- [6] В.А. Кизель, В.И. Бурков. Гиротропия кристаллов. Наука, М. (1980). 304 с.
- [7] S. Arimoto, M. Sugimura, H. Kageyama. *Electrochim. Acta* **53**, 6228 (2008).
- [8] R. Bouregba, G. Poullain. *Ferroelectrics* **274**, 165 (2002).