

## КИНЕТИКА ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ СВЕРХБЫСТРОМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ГЕРМАНАТЕ СВИНЦА

*В.Я.Шур, А.Л.Груверман, Н.Ю.Пономарев, Е.Л.Румянцев,  
Н.А.Тонкачева*

*НИИ физики и прикладной математики при Уральском государственном  
университете  
620083, Свердловск*

Поступила в редакцию 5 апреля 1991 г.

Экспериментально обнаружен новый механизм кинетики сегнетоэлектрических доменов при сверхбыстром переключении: боковое движение доменных границ за счет образования цепей новых доменов вблизи доменной границы и наличие времени задержки зародышеобразования.

Изменение направления поляризации в сегнетоэлектриках под действием внешнего электрического поля представляет собой сложный процесс перестройки доменной структуры. При этом образуются и увеличиваются в размерах домены с выгодным направлением поляризации. Это явление может быть рассмотрено как пример кинетики роста новой фазы при фазовом переходе.

Для визуализации медленной кинетики доменной структуры сегнетоэлектриков существует много способов <sup>1</sup>, однако для сверхбыстрого переключения пригодны лишь оптические методы. В качестве модельного кристалла был выбран одноосный сегнетоэлектрик германат свинца  $Pb_5Ge_3O_{11}$  (ГС) со сравнительно простой доменной структурой, различимой в проходящем свете <sup>2,3</sup>. При фазовом переходе при 450 К в ГС исчезает плоскость отражения ( $C_{3h} \rightarrow C_3$ ) и в сегнетофазе существуют только антипараллельные домены, разделенные  $180^\circ$  доменными стенками. Исследовались пластины толщиной около 0,5 мм, вырезанные перпендикулярно полярной оси. На них после тщательной механической обработки напылялись прозрачные электроды из окислов индия и олова. Использование коротких импульсов поляризованного света, проходящего вдоль полярной оси, позволяло регистрировать мгновенные доменные конфигурации непосредственно в процессе переключения с высоким временным и пространственным разрешением.

В качестве источника света использовался импульсный азотный лазер ЛГИ-21, излучение которого преобразовывалось в зеленый свет с помощью родамина - 6G. Длительность светового импульса не превышала 10 нсек. Направление поляризации в образце циклически переключалось знакопеременными прямоугольными импульсами напряжения. В этих условиях, как было показано, в каждом цикле доменная структура изменялась воспроизводимо, что позволяло применять стробоскопическое освещение.

Известно, что кинетика доменной структуры ГС сильно зависит от напряженности электрического поля <sup>3</sup>. В слабых полях (меньших  $2 \cdot 10^5$  В/м) образовывалось сравнительно малое количество новых доменов правильной гексагональной формы, растущих за счет бокового движения доменных стенок (рис.1.1). В сильных полях (более  $3 \cdot 10^5$  В/м) на всей поверхности образца возникали сквозные домены малого диаметра, образующие при коалесценции

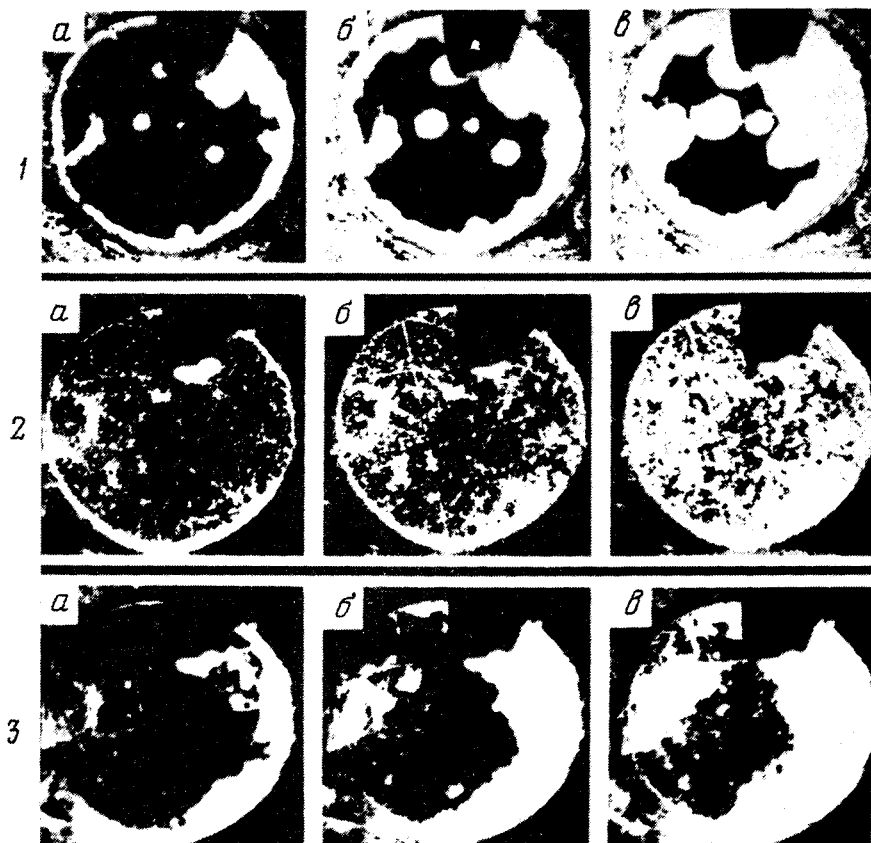


Рис. 1. Изменение доменной структуры в разных полях;  $E \cdot 10^5$  В/м: 1 - 1,8; 2 - 9,5; 3 - 17,9; время от момента включения поля, мкс: (1) *a* -  $2 \cdot 10^4$ ; *б* -  $4 \cdot 10^4$ ; *в* -  $7 \cdot 10^4$ ; (2) *a* - 160; *б* - 320; *в* - 480; (3) *a* - 6; *б* - 10; *в* - 18

бесформенные домены (рис.1.2). Смена механизмов объяснялась изменением размерности зародышей, определяющих процесс переключения<sup>4</sup>. Предполагалось, что в слабых полях одномерные зародыши образовывались на ступенях доменных стенок, что приводило к послойному росту доменов. В сильных полях образовывались трехмерные зародыши, формирующие новые домены, и двумерные зародыши на доменных стенках, которые приводили к их изотропному росту. С увеличением напряженности поля росло число доменов, участвующих в переключении.

В сверхсильных полях (более  $1,5 \cdot 10^6$  В/м) вновь наблюдается боковое движение доменных границ, как и в слабых полях (рис.1.3). Однако, детальное рассмотрение показывает, что механизм движения доменных стенок в этом случае качественно иной. Вблизи доменной стенки возникает большое количество новых сквозных и несквозных доменов, образующих своеобразную цепь (рис.2). Возникшие домены разрастаются и сливаются с исходным доменом, после чего вновь возникает цепь. Такой процесс многократно воспроизводится.

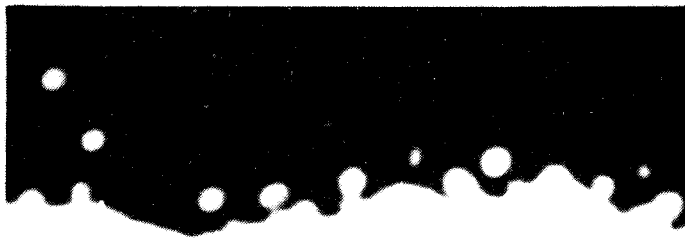


Рис. 2. Образование доменов вблизи движущейся доменной стенки в сверхсильном поле

Таким образом, специфика сверхбыстрого переключения заключается в уменьшении количества новых доменов, участвующих в переключении, а также в том, что они образуются только в виде цепей вдоль доменных границ. Первая особенность может быть следствием существования времени задержки - интервала между моментами приложения электрического поля и образования критического зародыша<sup>5</sup>. Очевидно, что величина этой задержки растет с увеличением размерности зародышей. Поэтому может быть выполнено условие, что время действия поля (длительность полевого импульса или время переключения) окажется меньше времени задержки для зародышей определенной размерности, и тогда они просто не будут образовываться. По-видимому, это соотношение выполняется для трехмерных зародышей в сверхсильных полях.

Почему же новые домены возникают вблизи доменной стенки? Для ответа на этот вопрос следует вспомнить, что вероятность зародышеобразования определяется локальной напряженностью внутреннего поля. Поэтому необходимо провести расчет пространственного распределения внутреннего поля в сегнетоэлектрическом конденсаторе вблизи доменной границы (рис.а). Напряженность поля определяется не только разностью потенциалов между электродами, но и суммой деполяризующего  $E_d$  и экранирующего  $E_e$  полей<sup>6</sup>. При этом следует учитывать, что вблизи поверхности сегнетоэлектрика имеется так называемый диэлектрический зазор<sup>7</sup>.

Результаты расчета пространственного распределения внутреннего поля приведены на рис.3б. Видно, что вблизи движущейся доменной стенки деполяризующее поле не полностью экранировано, и имеется максимум внутреннего поля. Эта особенность и позволяет объяснить явление коррелирования нуклеации и как следствие возникновение цепей доменов в сверхсильном поле.

Следует отметить, что проведенные рассмотрения вполне применимы не только для других сегнетоэлектриков, но и для кинетики фазовых превращений в других веществах. Так, экспериментально обнаружено, что в достаточно сильных импульсных полях в некоторых магнитных пленках впереди движущейся доменной стенки происходит зарождение микродоменов<sup>8</sup>. Одно из объяснений этого явления основано на учете влияния полей рассеяния вблизи доменной стенки<sup>9</sup>.

Таким образом, качественно новый механизм кинетики доменной структуры при сверхбыстром переключении поляризации может быть объяснен особенностью пространственного распределения внутренних полей и существованием

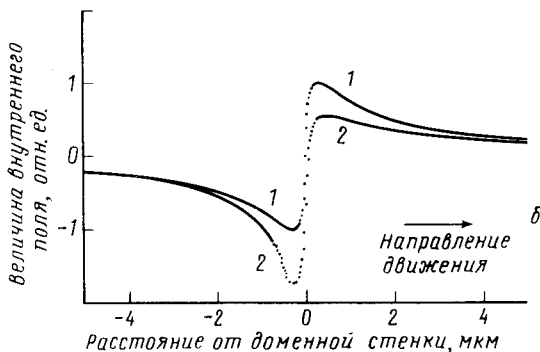
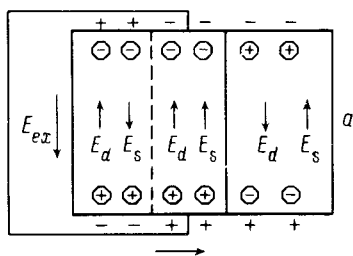


Рис. 3. а - Схема распределения зарядов и полей в сегнетоэлектрическом конденсаторе; б - расчет распределения внутреннего поля вблизи движущейся доменной стенки. Скорость стенки, м/с: 1 - 0,1; 2 - 5

конечного интервала времени, необходимого для образования трехмерных зародышей.

### Литература

1. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981.
2. Dougherty J.P., Sawaguchi E., Cross L.E. Appl. Phys. Lett., 1972, 20, 364.
3. Shur V.Ya., Gruverman A.L. et al. Ferroelectrics, 1989, 89, 29.
4. Shur V.Ya., Gruverman A.L., Rumyantsev E.L. Ferroelectrics, 1990, 111.
5. Зельдович Я.Б. ЖЭТФ, 1942, 12, 525.
6. Шур В.Я., Попов Ю.А., Коровина Н.В. Физика тверд. тела, 1984, 26, 781.
7. Фридкин В.М. Сегнетоэлектрики-полупроводники. М.: Наука, 1976.
8. Логгинов А.С., Непокойницкий Г.А. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 22.
9. Рандошкин В.В., Сигачев В.Б. Физика тверд. тела, 1986, 28, 1522.