

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОМЕННОЙ "ПАМЯТИ" В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ МЕТОДОМ ГЕНЕРАЦИИ ЗВУКА

*Г.П. Морозова, О.Ю. Сердобольская, Н.А. Тихомирова*

Обнаружено, что акустическая генерация звука от доменных стенок сегнетоэлектрического кристалла исчезает значительно позже исчезновения доменной структуры в процессе монодоменизации электрическим полем.

Система периодических доменных границ сегнетоэлектрика при приложении переменного электрического поля может эффективно излучать упругие волны, если период структуры совпадает с длиной волны. В тригональном сегнетоэлектрике с полярной осью  $Z$ , в котором создана система из  $N$  плоских доменных стенок, параллельных плоскости  $zoу$ , в переменном поле  $E_z = \tilde{E} e^{j\omega t}$  за счет смены знака пьезокоэффициента  $e_{31}$  соседние домены испытывают сжатие-расширение разных знаков, и уравнение генерации продольной волны вдоль оси  $x$  может быть записано в виде

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} u_1 + k^2 u_1 = \frac{\tilde{E}}{c_{\parallel}} \frac{\partial}{\partial x} [e_{31}(x)],$$

где:  $u_1$  – амплитуда смещения,  $c_{\parallel}$  – упругий модуль,  $k$  – волновое число. Функция возбуждения в правой части уравнения имеет вид последовательности  $\delta$ -функций. При оптимальных

условиях коэффициент преобразования электрической энергии в упругую равен  $A = \frac{e_{31}^2}{c_{\parallel} \epsilon_{33}} N$

(при  $N \gg 1$ ). В настоящей работе исследовалась кинетика исчезновения генерации звука при распаде доменной структуры в кристалле германата свинца. В этом кристалле, как показано в <sup>1</sup>, возможно создание доменных преобразователей звука с коэффициентом преобразования порядка 30 дБ ( $N \sim 10$ ).

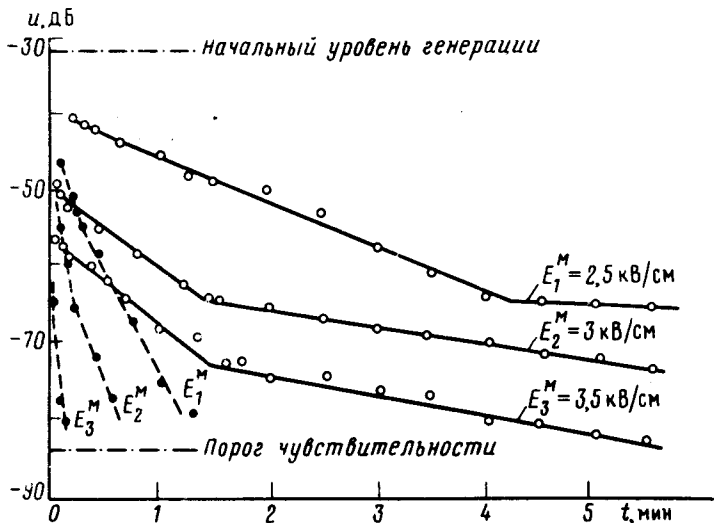


Рис. 1. Временные характеристики генерации звука доменной «памятью» при различных значениях монодоминирующего поля

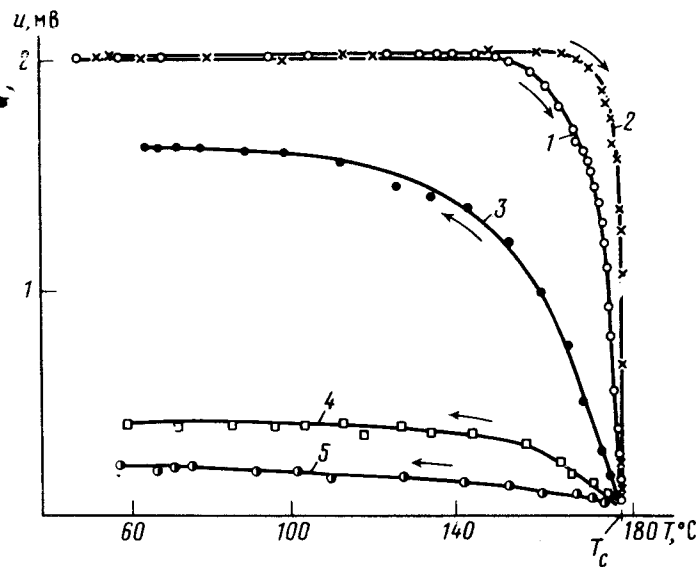


Рис. 2. Температурные зависимости амплитуды звукового сигнала, генерируемого доменными стенками (1, 3-5) и плоской гранью образца (2)

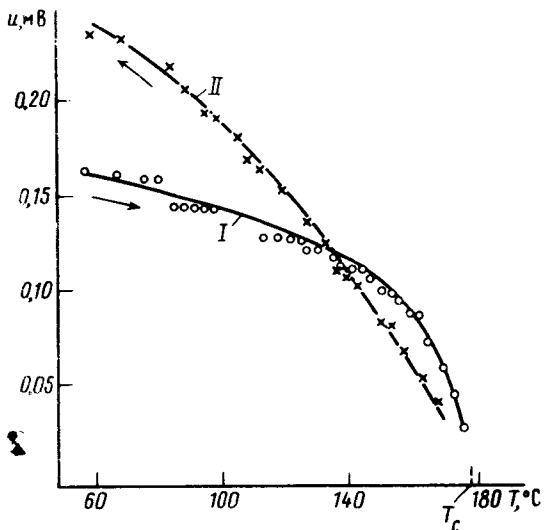


Рис. 3. Температурные зависимости амплитуды звукового сигнала, генерируемого доменной «памятью»

Периодическая доменная структура создавалась в предварительно монодоменизированном образце германата свинца приложением постоянного электрического поля  $E_z^0$  к системе электродов в форме полос с периодом, равным длине волны звука  $\lambda$ . Для обеспечения достаточной эффективности генерации звука необходимо, чтобы неоднородности доменных границ были значительно меньше  $\lambda$ , что налагало ограничения на величину поля  $E_z^0$  и время его действия  $\tau$ . Для возбуждения звука периодические электроды заменялись на сплошные прозрачные электроды из  $\text{SnO}_2$  на стекле, к которым при необходимости могло прикладываться также монодоменизирующее поле  $E_z^M$ . Прозрачные электроды позволяли контролировать состояние доменной структуры в поляризованном свете одновременно с акустическими измерениями.

Обнаружено, что в процессе монодоменизации образца акустическая генерация исчезает значительно позже исчезновения доменной структуры. Уровень и временные характеристики генерации звука от доменной «памяти» зависят как от режима установления структуры, так и от режима монодоменизации. На рис. 1 приведены характерные временные зависимости акустического сигнала, возбуждаемого доменной «памятью» (начиная с момента, когда видимая доменная структура полностью исчезла). Сплошными линиями даны временные характеристики акустического сигнала при  $E_z^{01} = 2,5$  кВ/см и  $\tau_1 = 1$  с, штриховыми – при  $E_z^{02} = 8$  кВ/см и  $\tau_2 = 10$  мс. Приведенные результаты хорошо описываются зависимостью вида  $u_1 \sim \exp[\alpha_1(E_M - E_{\Pi}^M)t]$ , где  $E_{\Pi}^M = 2$  кВ/см – пороговое поле монодоменизации. На рисунке отчетливо видны два времени релаксации, соответствующие постоянным  $\alpha_1' = 0,07$  см/кВ · с и  $\alpha_1'' = 0,015$  см/кВ · с для поля установления  $E_z^0$ . Во втором случае доменная «память» исчезает значительно быстрее ( $\alpha_2 = 0,035$  см/кВ · с), ( $E_z^0 = E_z^{02}$ ).

Полученные экспериментальные результаты можно попытаться объяснить следующим образом. В сегнетоэлектриках-полупроводниках наблюдается явление экранирования спонтанной поляризации, происходящее захватом носителей заряда локальными активными центрами вблизи полярной поверхности кристалла и, возможно, вблизи доменных стенок<sup>2,3</sup>. Образуемое при этом, так называемое связанное внутреннее поле оказывает существенное влияние на процессы переполаризации кристалла, а также приводит к стабилизации доменной структуры в отсутствие внешнего поля. Величина и пространственное распределение внутреннего поля определяется условиями образования доменной структуры, температурой и дефектным состоянием образца<sup>2-4</sup>. В частности, если время установления доменной структуры меньше максвелловского времени релаксации  $\tau^*$ , внутреннее поле не успевает сформироваться полностью, что, по-видимому, обуславливает различие характеристик доменной «памяти», приведенных на рис. 1. В первом случае время установления структуры  $\tau_1 \gg \tau^*$ , во втором  $\tau_2 \sim \tau^*$ , и доменная «память» не успевает сформироваться полностью, хотя поле установления во втором случае значительно больше.

Интересно проследить изменение температурных характеристик доменной «памяти» вплоть до температуры фазового перехода ( $177^\circ$  С). На рис. 2 приведены температурные зависимости амплитуды выходного акустического сигнала, генерируемого доменными стенками. Уровень генерации с повышением температуры резко уменьшается в области фазового перехода, что обусловлено как исчезновением пьезоэффекта в парафазе и увеличением затухания звука в области перехода, так и возможной эрозией доменной структуры. Для сравнения приведена температурная зависимость излучения звука плоской гранью  $zoz$  кристалла (кривая 2). В этом случае изменение сигнала в области перехода происходит только за счет температурной зависимости  $e_{31}^2/\epsilon_{33}$  и затухания звука. При охлаждении регулярная доменная структура частично восстанавливается по доменной «памяти» и появляется звуковой сигнал. Уровень восстановленной генерации зависит от температуры нагрева и режима установления доменной структуры (кривые 3 – 5).

На рис. 3 приведены температурные зависимости генерации звука доменной «памятью». При нагревании (кривая 1) звуковой сигнал уменьшается более плавно, чем при генерации

доменной структурой. Это показывает, что генерация звука уменьшается также и вследствие рассасывания «памяти» с температурой и увеличения проводимости кристалла. При охлаждении (кривая 2) уровень генерации превышает исходный уровень генерации доменной «памятью», так как по «памяти» частично восстанавливается и периодическая доменная структура, что наблюдается визуально.

Полученные результаты без сомнения свидетельствуют о том, что доменная «память» локализуется не только вблизи поверхности, но и в объеме кристалла в местах расположения бывших доменных стенок. Этим обуславливается генерация объемных акустических волн доменной «памятью». Доказательством существования объемной составляющей «памяти» может служить и тот факт, что «память» и генерация звука не исчезают при удалении поверхностного слоя порядка сотен микрон. «Память» образуется за времена существенно меньше диффузионных и, по-видимому, связана не с движением дефектов к поверхности и доменным стенкам кристалла, а только с перераспределением зарядов по локальным состояниям.

#### Литература

1. Белов В.В., Сердобольская О.Ю. ФТТ, 1984, 26, 2324.
2. Тихомирова Н.А., Баранов А.И., Гинзберг А.В., Мона В.Г., Ченский Е.В., Шувалов Л.А. Письма в ЖЭТФ, 1983, 38, 365.
3. Шур В.Я., Попов Ю.А., Коровина Н.В. ФТТ, 1984, 26, 781.
4. Шур В.Я., Летучев В.В., Овечкина И.В. ФТТ, 1984, 26, 3474.

Московский  
государственный университет  
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию  
14 апреля 1986 г.

Институт кристаллографии Академии наук СССР