

05.3

© 1990

ХАОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ  
КРИСТАЛЛОВ ТРИГЛИЦИНСУЛЬФАТА  
В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИС.Н. Д р о ж д и н, Л.Н. К а м ы ш е в а,  
М. Д и с т е л ь х о р с т, О.М. С е р д ю к,  
О.А. К о с а р е в а

Особенностью нелинейных динамических систем является возможность возникновения в них хаотического поведения, изучение которого в настоящее время вызывает большой интерес в различных областях физики [1]. Сегнетоэлектрические материалы, обладая сильной нелинейностью своих диэлектрических, электромеханических и других свойств, могут служить хорошими объектами для изучения этого явления. В ряде работ (см., например, [2, 3]) было показано, что в нелинейном последовательном резонансном контуре, содержащем сегнетоэлектрический конденсатор, под действием синусоидального напряжения возникают хаотические колебания, развивающиеся путем бифуркаций умножения периода (появления субгармоник).

Исследования спектра тока переполяризации различных сегнетоэлектриков в синусоидальном электрическом поле [4] показали, что в нем помимо гармонических составляющих присутствует сплошная (шумовая) часть, обусловленная неперIODичностью процесса переполяризации отдельных доменов. Можно предположить, что такое поведение доменной структуры сегнетоэлектрического кристалла при переполяризации является одной из причин возникновения в контуре хаотических колебаний. Поэтому изучение сценария перехода к хаосу и характеристик хаотических колебаний в зависимости от параметров системы (амплитуда  $E_0$ , частота  $\omega$  поля, температура  $T$  образца, степень его нелинейности и др.) дает возможность для более детального изучения динамических свойств доменной струк-

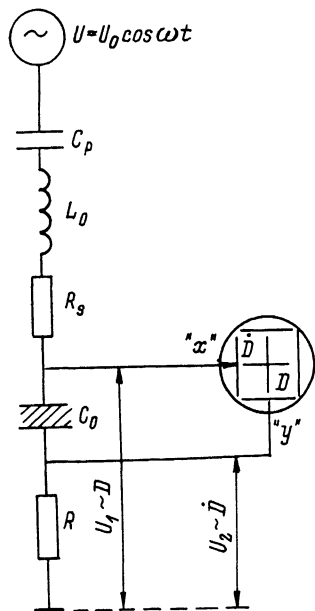


Рис. 1. Схема для наблюдения фазового портрета последовательного резонансного контура [2]:  $L_0$  - линейная индуктивность,  $C_0$  - сегнетоэлектрический образец,  $R$  - активное сопротивление,  $C_p$  - линейная емкость ( $C_p \gg C_0$ ),  $R_s$  - сопротивление, учитывающее потери в контуре ( $R_s \gg R$ ).  $R \ll 1/\omega C_p \leq 1/\omega C_0$ .

туры различных сегнетоэлектрических кристаллов, что является одной из основных проблем физики сегнетоэлектриков.

В настоящей работе изучалось поведение фазового портрета последовательного резонансного контура в зависимости от температуры образца и от амплитуды переполяризующего поля. В качестве нелинейной емкости использовались образцы кристалла номинально чистого триглицинсульфата (ТГС), свойства которого, в том числе и те, которые обусловлены динамикой доменов, изучены достаточно подробно. Измерения проводились на частоте 1.8 кГц. Образцы представляли собой пластины полярного Y-среза толщиной  $d = 0.7-1$  мм и площадью  $S = 25-30$  мм<sup>2</sup>. В качестве электродов использовалось напыленное в вакууме серебро.

Схема для наблюдения фазового портрета представлена на рис. 1. Напряжение  $U_1$ , подаваемое на вход „X“ осциллографа, пропорционально заряду образца (индукции  $D$  поля в нем). Напряжение  $U_2$ , снимаемое с активного сопротивления и подаваемое на вход „Y“, пропорционально текущему через образец току переполяризации  $i \sim \dot{D}$ . Таким образом, на экране осциллографа наблюдается совокупность фазовых траекторий - зависимостей  $\dot{D}(D)$ , представляющая собой фазовый портрет исследуемой системы (рис. 2, а-е).

Поведение цепи, изображенной на рис. 1, описывается уравнением

$$\ddot{D} + \frac{R_s}{L_0} \dot{D} + \frac{d}{SL_0} E = \frac{1}{SL_0} U_0 \cos \omega t, \quad (1)$$

где  $E$  - напряженность электрического поля в сегнетоэлектрическом образце, которая может быть получена из электрического уравнения состояния сегнетоэлектрика с фазовым переходом второго рода [5] в виде

$$E = \alpha D + \beta D^3, \quad (2)$$

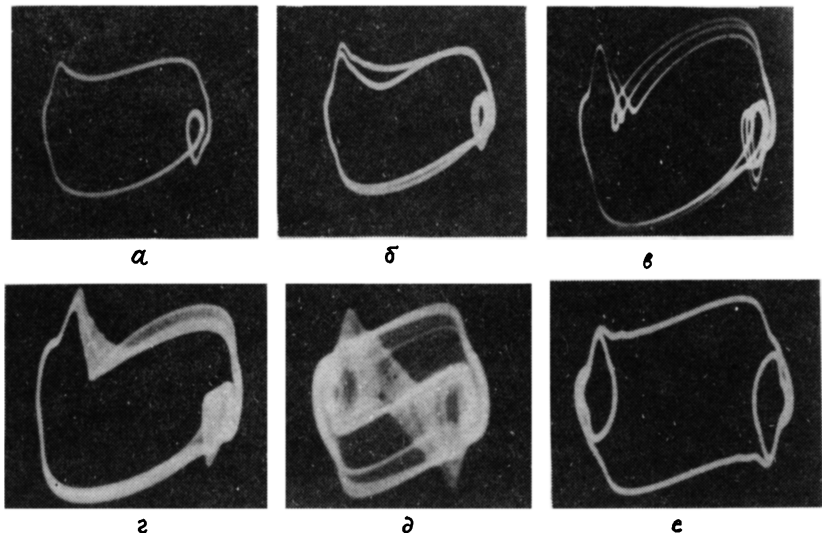


Рис. 2. Эволюция фазового портрета последовательного резонансного контура, содержащего нелинейную емкость, в зависимости от температуры сегнетоэлектрического образца: а -  $T = 20^\circ\text{C}$ ,  $E_0 = 700\text{ В/см}$ ; б -  $T = 23^\circ\text{C}$ ,  $E_0 = 700\text{ В/см}$ ; в -  $T = 26^\circ\text{C}$ ,  $E_0 = 700\text{ В/см}$ ; г -  $T = 30^\circ\text{C}$ ,  $E_0 = 700\text{ В/см}$ ; д -  $T = 35^\circ\text{C}$ ,  $E_0 = 700\text{ В/см}$ ; е -  $T = 42^\circ\text{C}$ ;  $E_0 = 700\text{ В/см}$ ;  $T = 39^\circ\text{C}$ ,  $E_0 = 750\text{ В/см}$ .

где коэффициент  $\alpha$  зависит от температуры, а  $\beta$  - постоянная величина. Подставляя (2) в (1), получаем уравнение

$$\ddot{D} + \frac{R_S}{L_0} \dot{D} + \frac{d\alpha}{S L_0} D + \frac{d\beta}{S L_0} D^3 = \frac{1}{S L_0} U_0 \cos \omega t, \quad (3)$$

являющееся разновидностью уравнения Дуффинга [6]. При определенных значениях управляющих параметров оно допускает возникновение хаоса, что подтверждается результатами компьютерного моделирования [3]. Однако при таком формальном подходе остается невыявленной роль тех процессов, которые протекают в сегнетоэлектрике под действием переполаризующего электрического поля и не могут не оказывать влияния на появление хаоса.

Эволюция фазового портрета в зависимости от температуры при фиксированных амплитуде и частоте поля, представлена на рис. 2, а-е. При комнатной температуре при заданных параметрах поля наблюдается однопериодный процесс (рис. 2, а), свидетельствующий о том, что в этих условиях домены, участвующие в переполаризации, переключаются синхронно. При повышении температуры наблюдается появление субгармоник (рис. 2, б-в), после чего возникают хаоти-

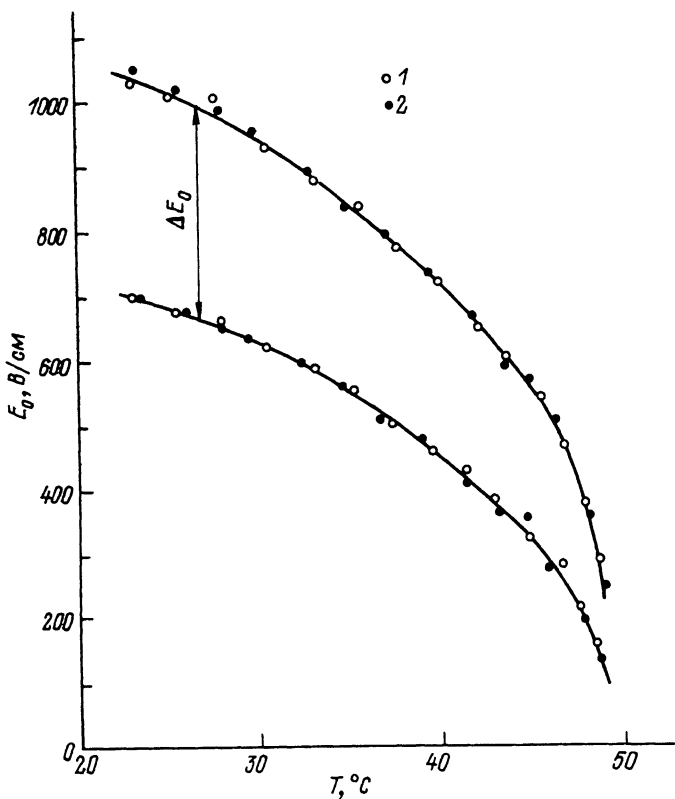


Рис. 3. Температурная зависимость области полей, в которой наблюдается хаотическое поведение доменной структуры образца кристалла номинально чистого ТГС: 1 – нагрев, 2 – охлаждение.

ческие колебания (рис. 2, г). Дальнейшее увеличение температуры приводит к постепенному развитию хаоса (рис. 2, д).

Такое поведение связано, по-видимому, с тем, что при повышении температуры происходит увеличение числа осцилляторов (доменных стенок), вовлекаемых в процесс переполаризации и имеющих разные собственные частоты. Это ведет к исчезновению согласованности и строгой периодичности в их колебаниях под действием приложенного поля. Увеличив амплитуду поля, можно вновь сделать процесс переполаризации синхронным для подавляющего большинства стенок, что проявляется в исчезновении хаоса и появлении однопериодного процесса (рис. 2, е). Такого же результата можно достичь иным путем – дальнейшим повышением температуры при неизменной амплитуде поля (тот же рис. 2, е), поскольку при этом диэлектрическая вязкость кристалла может понизиться настолько [7],

что собственные частоты колеблющихся стенок станут одинаковыми, а также вследствие того, что по мере приближения к точке Кюри спонтанная поляризация уменьшается, и происходит распад доменной структуры (уменьшение числа осцилляторов – доменных стенок).

Меняя при каждой фиксированной температуре амплитуду поля, можно определить область полей, в которой для данного образца существует устойчивое хаотическое поведение доменной структуры. На рис. 3 представлена такая область на плоскости параметров  $E_0 - T$  для кристалла номинально чистого ТГС. Границы этой области хорошо воспроизводятся как при нагревании, так и при охлаждении образца. При приближении к точке Кюри ширина  $\Delta E_0$  области хаотического поведения доменной структуры сужается, и понижаются значения  $E_0$ , при которых такое поведение возможно, что хорошо согласуется с характером поведения макроскопической поляризации и доменной структуры кристалла ТГС при приближении к температуре фазового перехода.

В сегнетоэлектрическом ТГС динамические свойства доменной структуры во многом определяются наличием дефектов, поэтому исследование кристаллов ТГС с дефектами различного происхождения (примесными, радиационными) является предметом дальнейших работ в этом направлении.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] З а с л а в с к и й Г.М., С а г д е е в Р.З. Введение в нелинейную физику. От маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988. 308 с.
- [2] D i e s t e l h o r s t M., B e i g e H. // *Ferroelectrics*. 1988. V. 81. P. 15-18.
- [3] B e i g e H., D i e s t e l h o r s t M., F o r s t e r R., A l b e r s J., P e t e r s s o n J. // *Ferroelektrizität 89, WB MLU 7 (029)*. 1990. P. 65-72.
- [4] А н д р о н о в а И.А. // *Изв. вузов. Радиофизика*. 1961. Т. 4. № 1. С. 90-102.
- [5] Л а й н с М., Г л а с с А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981. 736 с.
- [6] М и г у л и н В.В., М е д в е д е в В.И., М у с т е л ь Е.Р., П а р ы г и н В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988. 392 с.
- [7] Р у д я к В.М. Процессы переключения в нелинейных кристаллах. М.: Наука, 1986. 243 с.

Поступило в Редакцию  
1 декабря 1989 г.  
В окончательной редакции  
24 мая 1990 г.