

## СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДОМЕНЫ В ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

Л.А.Береснев, М.В.Лосева, Н.И.Чернова,  
С.Г.Кононов, П.В.Адоменас, Е.П.Пожидаев

В сегнетоэлектрических жидкокристаллах происходит разбиение на домены с периодом, обратно пропорциональным квадрату спонтанной поляризации.

Известно, что макроскопическая спонтанная поляризация твердого сегнетоэлектрика ведет к разбиению его на домены, понижающему энергию электростатического поля зарядов спонтанной поляризации<sup>1</sup>. Аналог такого разбиения теоретически предсказывался и для жидкого сегнетоэлектрика, однако обсуждавшийся в<sup>2</sup> сегнетоэлектрический нематический жидкий кристалл пока не получен.

В данной работе мы экспериментально обнаружили, что сегнетоэлектрический смектический СЖК<sup>3</sup> жидкий кристалл (СЖК)<sup>3</sup> разбивается на домены, толщина которых резко уменьшается с возрастанием спонтанной поляризации  $P_c$ .

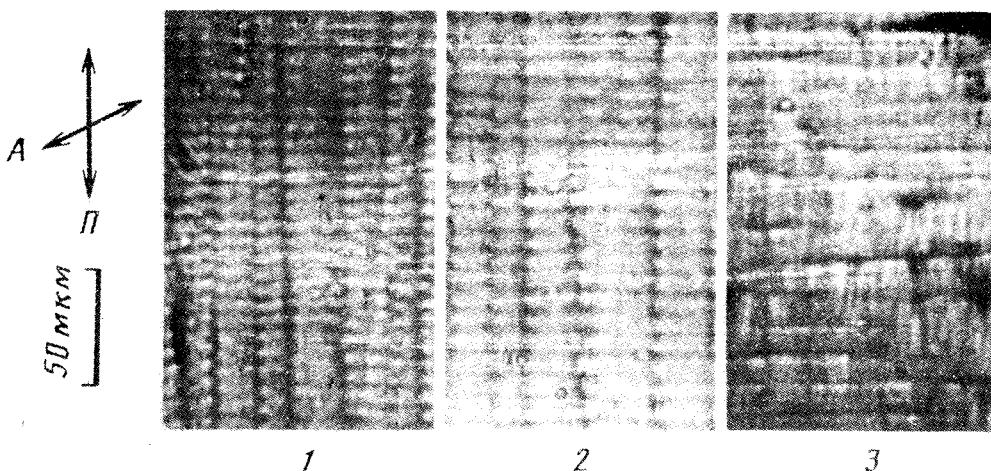


Рис. 1. Доменная картина в сегнетоэлектрическом жидкокристалле СЖК-218 в зависимости от температуры: 1 – 24°, 2 – 30°, 3 – 34°С. Толщина ячеек 10,8 мкм.  $P_c = 120 \text{ нКл} \cdot \text{см}^{-2}$  (20°С). П и А – расположение поляризатора и анализатора. Направление натирания совпадает с направлением П

Для наблюдения доменов к хорошо ориентированному планарно СЖК прикладывалось постоянное электрическое поле, превышающее поле раскрутки геликоида, обусловленного хиральностью молекул. Через 2–3 с поле снималось. Характерный вид возникающей после выключения поля периодической структуры приведен на рис. 1. Период структуры  $D$  измерялся как визуально с помощью шкалы микроскопа, так и по углу дифракции излучения Не–Не лазера. Температурная зависимость  $D$  для одного из исследованных СЖК приведена на рис. 2. Абсолютная величина  $D$  при фиксированной температуре не зависела от толщины  $d$  ЖК слоя в диапазоне 6–30 мкм.

Для доказательства сегнетоэлектрической природы наблюдаемых доменных картин мы измерили температурные кривые периода  $D$  для серии СЖК, в которой варьируемым параметром была величина  $P_c$ . При этом все СЖК были образованы смесями на основе одной и той же нехиральной (т.е. несегнетоэлектрической) смектической С-матрицы и хиральных (опти-

чески активных) добавок, индуцировавших спонтанную поляризацию. Суммарная концентрация добавок (*L*-ХНЛ, (+) Луч-15 и (-) Луч-15) была зафиксирована (35,0 вес.%), а сами добавки были выбраны из одного химического класса и отличались только слабой вариацией вида хиральных фрагментов. Изменяя взаимную концентрацию добавок можно было в широких пределах изменять величину  $P_c$ , сохраняя другие важнейшие термодинамические характеристики, такие, например, как модули упругости, угол наклона молекул  $\theta_0$ , точки фазовых переходов (при  $T = 20^\circ\text{C}$   $\theta_0 = 30^\circ$  для всех СЖК, а температура  $T_{CA}$  перехода смектик  $C^*$ –смектик  $A$  ( $S_C^* - S_A$ ) сохранялась в интервале  $51,6$ – $53^\circ\text{C}$ ).

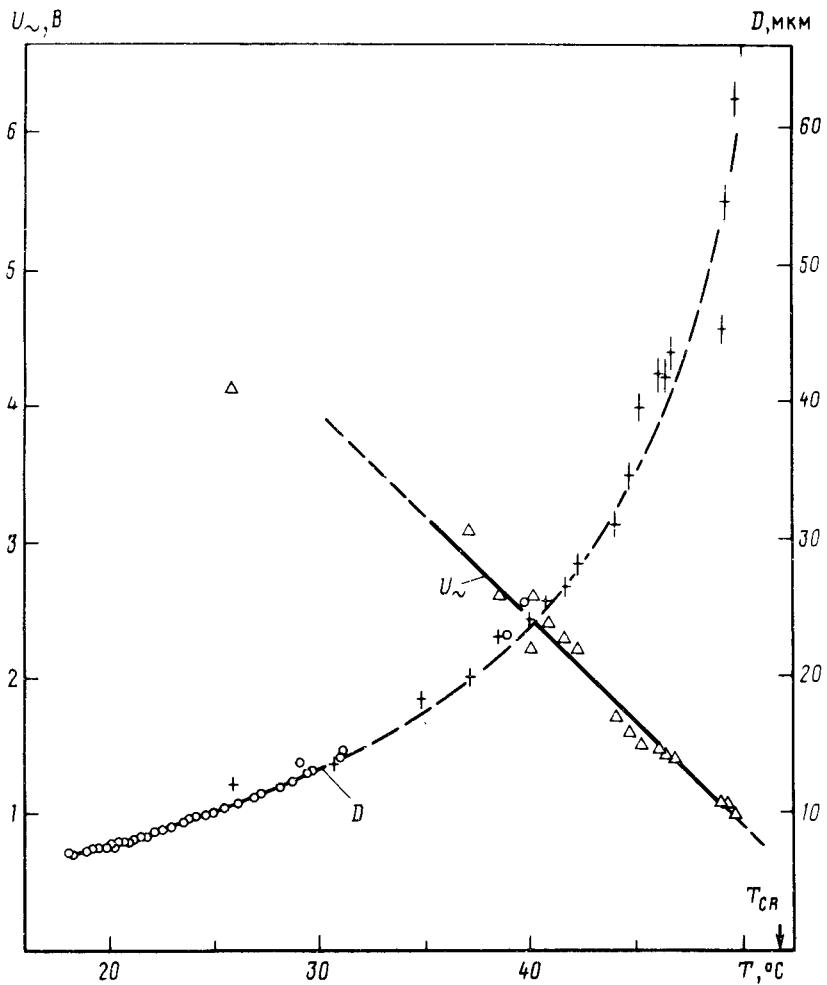


Рис. 2. Температурная зависимость периода доменной структуры в СЖК-232. (○) – статические домены ( $E_\perp = 0$ ), (+) – динамические домены в переменном электрическом поле  $U_\sim$  частотой 25 Гц, ( $\Delta$ ) – амплитуда  $U_\sim$ , при которой наблюдаются динамические домены. Толщина ячейки 16,9 мкм,  $P_c = 105 \text{ нКл} \cdot \text{см}^{-2}$  ( $20^\circ\text{C}$ ),  $T_{CA} = 51,8^\circ\text{C}$ .

Некоторые СЖК из исследованной серии имели обсуждавшуюся ранее<sup>3,4</sup> геликоидальную закрутку, обусловленную хиральностью молекул, и не связанную с разбиением на сегнетоэлектрические домены. Период этой закрутки с очень малой величиной  $p_0 = 0,7$ – $2$  мкм имел типичную для "классического" СЖК-геликоида температурную зависимость с максимумом вблизи  $T_{CA}$ <sup>5</sup> и наблюдался либо при охлаждении из  $S_A$  в  $S_C^*$ -фазу в отсутствие электрического поля, либо после приложения в  $S_C^*$ -фазе к раскрученному образцу переменного низкочастотного поля с амплитудой 10–15 В и плавного уменьшения ее до нуля.

На рис. 3 для  $T = 20^0\text{C}$  приведена зависимость волнового вектора  $q = 2\pi/D$  модулированной структуры от величины спонтанной поляризации  $P_c$ , измеренной при этой же температуре переполяризационным методом<sup>6</sup>. Из вставки к рис. 3 видно, что величина деформации, вызываемой в СЖК электростатическим полем спонтанной поляризации, примерно пропорциональна  $P_c^2$ , что характерно для электрострикционных деформаций в твердых сегнетоэлектриках<sup>1</sup>.

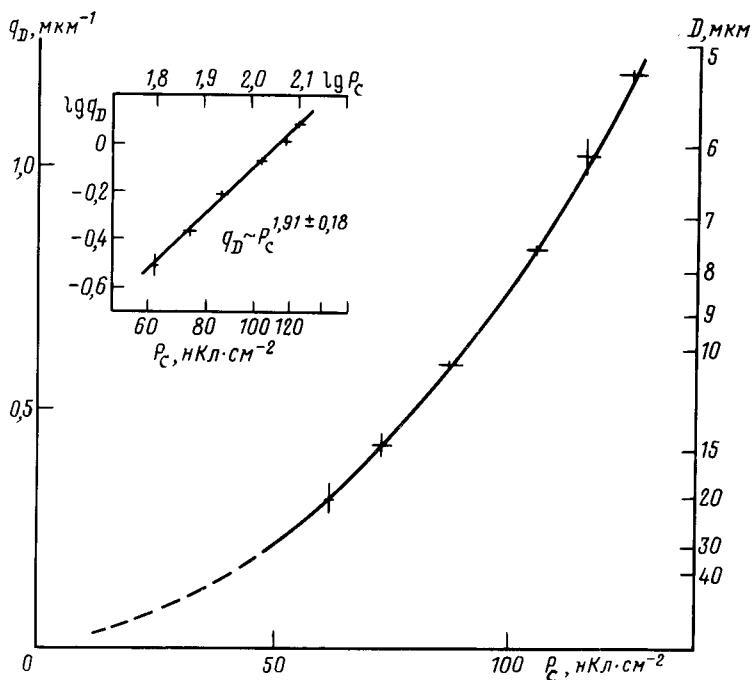


Рис. 3. Зависимость волнового вектора  $q_D = 2\pi/D$  периода  $D$  доменной структуры от величины спонтанной поляризации  $P_c$ ,  $T = 20^0\text{C}$ , толщины ячеек 16,6–17,2 мкм, угол наклона молекул  $\theta_0 = 30^0$  ( $20^0\text{C}$ )

Исходя из электрооптических измерений и анализа дифракционной картины мы предлагаем на рис. 4 модель распределения молекул и суммарного дипольного момента смектических слоев до выключения постоянного электрического поля (однородные состояния, рис. 4а и в) и после выключения (модулированные состояния, рис. 4б и г). В серединах соседних доменов (участки А и Б) направления вектора спонтанной поляризации противоположны, а толщина доменных стенок фактически равна ширине самого домена.

Таким образом, можно утверждать о проявлении собственного сегнетоэлектричества в жилом кристалле с высокой величиной  $P_c$ , приводящего к разбиению на домены с широкими переходными зонами<sup>7</sup> типа размытых стенок Блоха в ферромагнетике<sup>8</sup>. Это разбиение аналогично сегнетоэлектрическим доменам в твердых сегнетоэлектриках и понижает энергию электростатического поля спонтанной поляризации.

Изменения периода доменной структуры в зависимости от продолжительности воздействия и амплитуды постоянного электрического поля позволяют легко наблюдать эффекты экранировки спонтанной поляризации объемным зарядом<sup>9</sup>. Например, с увеличением выдержки образца в постоянном поле  $E_{\pm}$  период модулированной структуры, возникающей в первые секунды после выключения  $E_{\pm}$ , заметно уменьшается, что объясняется эффективным увеличением спонтанной поляризации из-за уменьшения плотности объемного заряда и, соответственно, уменьшения его экранирующего действия. В то же время через десятки секунд после

выключения  $E_-$  возвращающийся от электродов в объем заряд уменьшает эффективное электростатическое поле спонтанной поляризации, и это проявляется в увеличении периода доменов.

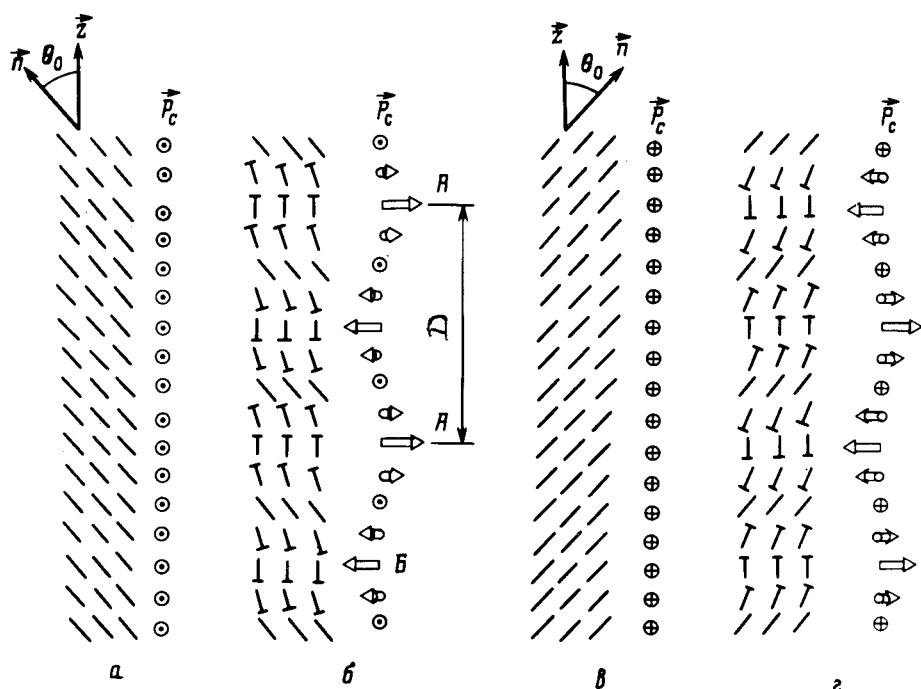


Рис. 4. Распределение директора  $n$  и вектора спонтанной поляризации  $P_c$  в сегнетоэлектрическом жидкокристаллическом ячейке с высокой величиной  $P_c$ , в середине толщины ячейки. Плоскость электродов параллельна, а смектические слои перпендикулярны плоскости рисунка. Концы молекул, направленные к наблюдателю, снабжены маленькой чертой.  $a$  – в электрическом поле, направленном на наблюдателя ( $-E$ ),  $b$  – после выключения поля  $-E$ ,  $c$  – в электрическом поле, направленном от наблюдателя ( $+E$ ),  $d$  – после выключения поля  $+E$

Ранее мы сообщали<sup>10</sup>, что при определенной амплитуде низкочастотного электрического поля в СЖК с высокой спонтанной поляризацией возникает динамическая периодическая структура. Температурные зависимости периода этой структуры, измеренные при 25 Гц, практически совпадают с вышеуказанными "статическими" зависимостями (см. рис. 2). По-видимому, здесь мы имеем дело с эффектами взаимодействия промодулированного по площади ячейки электростатического поля зарядов спонтанной поляризации с осциллирующим во времени объемным зарядом в переменном поле.

#### Литература

1. Желудев И.С. Основы сегнетоэлектричества. М.: Атомиздат, 1973.
2. Khachaturyan A.G. J. Phys. Chem. Sol., 1975, 36, 1055.
3. Meyer R.B. et al. J. Phys. (France) Lett., 1975, 36, L-69.
4. Пикин С.А., Инденбом В.Л. УФН, 1978, 125, 251.
5. Блинов Л.М., Береснев Л.А. УФН, 1984, 143, 407.
6. Martinot-Lagarde Ph. J. Phys. (France) Lett., 1977, 38, L-17; Miyasato K. et al. Jap. J. Appl. Phys., 1983, 22, L-661.
7. Инденбом В.Л. Кристаллография, 1960, 5, 115.

8. Дзялошинский И.Е. ЖЭТФ, 1964, 46, 1420.
9. Фридкин В.М. Сегнетоэлектрики—полупроводники. М.: Наука, 1978.
10. Jakli A., et al. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 1989, 177, 43.

Поступила в редакцию  
5 марта 1990 г.

Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова  
Академии наук СССР

После переработки  
29 марта 1990 г

---