

03;07

Волнообразная неустойчивость смектических жидких кристаллов типа "С" в электрических полях

© А.Н. Чувывров, О.А. Денисова

Башкирский государственный университет, Уфа

E-mail: ChuvyrovAN@bashedu.ru

Поступило в Редакцию 3 июля 2001 г.

Исследовались смектические жидкие кристаллы типа "С" — 4'-n-гексилоксибензилового эфира 4-n-децилоксибензойной кислоты. Цель работы было изучение волнообразной неустойчивости, индуцированной электрическими полями в окрестности фазового перехода второго рода СЖК "С" → СЖК "А". Использовалась ячейка типа "сэндвич". Смектические слои располагались параллельно поверхностям пластин ячейки. Направление ориентации директора составляло угол θ с нормалью к ячейке. Обнаружено, что фазовый переход второго рода СЖК "С" → СЖК "А" имеет критический характер. Волнообразная неустойчивость в виде полосчатой структуры была обнаружена как в переменных, так и в постоянных электрических полях. Период полос зависит от напряжения приложенного поля.

Смектические жидкие кристаллы (СЖК) состоят из набора параллельно свободно перемещающихся относительно друг друга слоев. Молекулы в отдельных слоях могут быть ориентированы параллельно друг другу и под произвольным углом θ к плоскости слоя. Для $\theta = 0$ СЖК определяются как СЖК "А", а при $\theta \neq 0$ как СЖК "С".

Вопрос о волновой неустойчивости СЖК "А" впервые рассмотрен теоретически, видимо, еще в работах [1,2]. Позднее в работе [3] исследовалась волнообразная неустойчивость смектика С* под действием растяжения. Однако оценки порога такой неустойчивости показывают, что даже в толстых образцах ($d = 10^{-2}$ м) ее трудно наблюдать, поскольку порог высок. Именно поэтому до сих пор не удалось экспериментально наблюдать волнообразную неустойчивость во внешних полях. Величина порога для магнитного поля, равная $H_c^2 = 2\pi K_1 / \chi_a \lambda d$, определяется анизотропией магнитной проницаемости χ_a и параметром $\lambda = (K_1 / C_{33})^{-\frac{1}{2}}$. Этот параметр в СЖК "А" имеет величину порядка

размера толщины слоя, а C_{33} , K_1 — модули упругости, имеющие величину $K_1 \approx 10^{-6} \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-1}$, $C_{33} \approx 10^4 \text{ erg} \cdot \text{cm}^{-3}$, поэтому для снижения порога волнообразной неустойчивости необходимо увеличить λ и χ_a или толщину слоя d , что в реальной экспериментальной ситуации сделать трудно. Обычно при наложении внешнего поля на СЖК "А" имеет место другой переход — переход Пароди, связанный с формированием дислокационной структуры при изменении ориентации молекул [2]. Возможно, что электрический аналог этого эффекта наблюдали авторы работы [4]. Отмечалось, например, Пикиным, что аналогичные неустойчивости во внешних полях возможны и в СЖК "С", но достоверных экспериментальных результатов такого рода нет. Однако именно в СЖК "С" для параметра λ , по-видимому, возможны большие значения в окрестностях перехода СЖК "С" → СЖК "А" при наличии критического поведения системы. В такой ситуации переход должен иметь формальное сходство с фазовым переходом в жидком гелии [5]. Оценим параметр λ в окрестности такого перехода. Рассмотрим термодинамический потенциал СЖК "С" с учетом слабых упругих деформаций [5,6]:

$$F_c = \frac{1}{2} C_{33} \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + q \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right) \theta^2 + a\theta^2 + c\theta^4, \quad (1)$$

где θ — угол ориентации молекул в смектическом слое, U — смещение слоя.

Откуда в равновесном состоянии получаем

$$\theta^2 = -C^{-1} \left(q \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right) + a \right), \quad (2)$$

где $C \rightarrow C^1 [T_{AC} - T]^{\gamma-2\beta}$, $a \rightarrow a^1 [T_{AC} - T]^\gamma$, $\beta \approx 0.35$; $\gamma \approx 1.3$ для критического поведения системы.

Тогда с учетом того, что $C_{33}^1 = \frac{\partial^2 F_c}{\partial U_z^2}$, имеем $C_{33}^1 = C_{33}^0 - A(T_{AC} - T)^{-\gamma+2\beta} \geq 0$, где $A = 2qC^{-1}$ или $C_{33}^1 \rightarrow 0$ при $T \rightarrow T_{CA}$ и соответственно $\lambda \rightarrow \infty$.

Исходя из этого, целью нашей работы было исследование волнообразной неустойчивости, индуцированной электрическими полями с СЖК типа "С" в окрестности фазового перехода второго рода СЖК "С" → СЖК "А". Для изучения волнообразной неустойчивости использовалась ячейка с жидким кристаллом типа "сэндвич", со

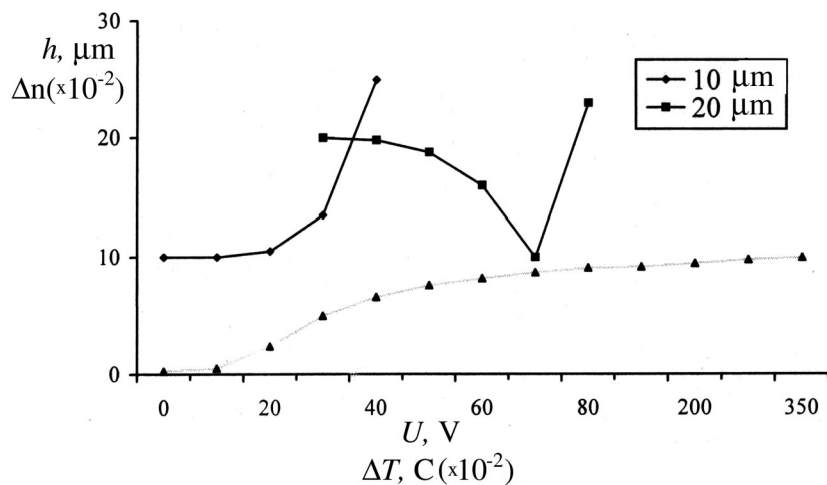


Рис. 1. Волнообразная неустойчивость в СЖК "С". Зависимости ширины доменов от напряжения (толщина ЖК-слоя 10 и 20 μm), двулучепреломления от температуры.

стеклянными пластинами, каждая из которых имеет двухсторонние токопроводящие покрытия из двуокиси олова (SnO_2). Между пластинами помещался слой смектического "С" жидкого кристалла, ориентированного таким образом, что смектические слои располагались параллельно поверхностям пластин сэндвича. При этом направление ориентации \mathbf{C} директора составляло угол θ с вертикальной осью OZ . В работе исследовались СЖК 4'- n -гексилорифенилового эфира 4- n -децилоксисбензойной кислоты (ГОФЭДОБК) с температурой перехода СЖК "С" \rightarrow СЖК "А" $t_{CA} = 62^\circ\text{C}$. Согласно (2), угол ориентации \mathbf{C} директора θ плавно уменьшается к точке фазового перехода. Так как двулучепреломление ЖК $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp} \approx \theta^2$, то приведенная ее зависимость на рис. 1 от температуры доказывает, что фазовый переход СЖК "С" \rightarrow СЖК "А" в ГОФЭДОБК второго рода и имеет критический характер с $\gamma \approx 1.3$.

Волнообразные неустойчивости в виде полосчатой структуры с волновым вектором, параллельным горизонтальной оси OX , были об-

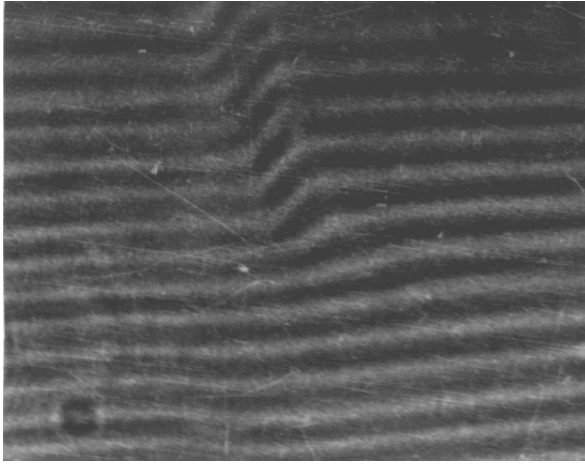


Рис. 2. Волнообразная неустойчивость в СЖК "С". Домены.

наружены при действии на СЖК "С" (ГОФЭДОБК) как переменных, так и постоянных электрических полей. Причем период их изменяется с изменением напряжения внешнего поля (рис. 2). Анализ зависимостей периода полос от напряжения достаточно сложен и состоит из 3 частей. При небольших полях значение полос в пределах ошибки (10%) не зависит от напряженности и совпадает с толщиной кристалла. При превышении некоторого значения напряжения период полос начинает уменьшаться до значения h_c и затем при дальнейшем увеличении напряжения внешнего поля резко увеличивается (рис. 1). Такой ход зависимости периода полосчатой структуры качественно объясняется следующим образом. При наложении электрического поля на СЖК "С" с отрицательной диэлектрической анизотропией ε_a нормально к смектическим слоям реориентация молекул в слоях приведет к сминанию смектических слоев и, как следствие, образованию модулированной структуры [1]. Однако отличие рассматриваемого случая, например, от СЖК "А" состоит в том, что в образовавшейся модулированной структуре упругая энергия объема СЖК "С" справа и слева от оси отдельного домена будет различной (рис. 1). Причем при больших деформациях справа молекулы ориентируются перпендикулярно полю

(рис. 1) и при увеличении напряжения области с такой однородной ориентацией растут. Это соответствует увеличению шага наблюдаемых структур при больших напряжениях.

Сделаем оценки зависимости волнового вектора от внешнего поля. Для этого используем выражение для свободной энергии состояния СЖК "С" в электрическом поле [1]:

$$F = \frac{1}{2} K_1 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right)^2 + \frac{1}{2} C'_{33} \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \varepsilon_a E^2 \left[\cos \theta_0 - \sin \theta_0 \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right) \right]^2. \quad (3)$$

Откуда зависимость волнового вектора от внешнего электрического поля будет иметь вид:

$$q^4 + \frac{C'_{33}}{K_1} q_0^2 - q^2 \frac{\varepsilon_a E^2}{K_1} \sin \theta_0 = 0.$$

Тогда для порога возникновения волнообразной структуры имеем:

$$E_c^2 = \frac{4C'_{33}}{3\varepsilon_a K_1} q_0 \sin \theta_0.$$

При $q \approx q_0$ $q_0 = 2\pi/d$. Так как в окрестности перехода СЖК "С" → СЖК "А" $C'_{33} \rightarrow 0$, то E_c имеет реальные значения. Этот вывод хорошо совпадает с экспериментальными результатами, приведенными на рис. 1, где волновой вектор вблизи порога $q_0 \approx 2\pi/d$, а пороговое напряжение с ростом толщины зависит как $U_c \approx \sqrt{d}$.

Таким образом, в результате проведенной работы обнаружена и исследована волнообразная неустойчивость с СЖК "С". По-видимому, возможность наблюдения этого эффекта в СЖК "С" ГОФЭДОБК объясняется тем, что в окрестности фазового перехода второго рода СЖК "С" → СЖК "А" модуль упругости C_{33} уменьшается, что приводит к снижению пороговых напряжений. Подтверждением этому является отсутствие волнообразной неустойчивости в СЖК "С" ряда алкоксибензойных кислот, где фазовый переход типа НЖК → СЖК "С" близок к фазовому переходу первого рода [4]. Следует указать, что волнообразная неустойчивость СЖК "С" отличается от предсказываемой для СЖК "А": при больших деформациях в СЖК "С" реализуется однородное состояние, а в СЖК "А" идет формирование дефектной структуры [2].

Список литературы

- [1] *Rapini A.* // Journ. Phys. (Fr.). 1972. V. 33. P. 237–242.
- [2] *Barratt P.J., Duffy B.R.* // Journ. Phys. A.: Math. Gen. 1997. V. 30. P. 891–901.
- [3] *Jakli A., Bartolino R., Scaramuzza N.* // Journ. Phys. (Fr.). 1989. V. 50 (11). P. 1313–1321.
- [4] *Де Жен П.* Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977. 377 с.
- [5] *Pusnik F., Schara M., Sentjure M.* // Journ. Phys. (Fr.). 1975. V. 36. P. 665–675.
- [6] *Пикин С.А.* Структурные превращения в жидких кристаллах. М.: Наука, 1981. 336 с.