

05;12

Влияние упругих напряжений на свободные колебания в сегнетоэлектрических жидких кристаллах

© М.Н. Пивненко, А.П. Федоряко, Л.А. Кутуля,
В.П. Семиноженко

Институт монокристаллов НАН Украины, Харьков

Поступило в Редакцию 3 апреля 1998 г.

Экспериментально показано, что упругое механическое напряжение в кристаллической структуре является необходимым фактором возникновения свободных колебаний директора сегнетоэлектрического жидкого кристалла. Такое механическое напряжение возникает в результате внутренних текстурных возмущений при наличии областей с различной ориентацией директора или создается внешним давлением на одну из пластин ячейки в соответствующем направлении.

Воздействие переменного электрического поля на сегнетоэлектрический жидкий кристалл (СЖК) в результате электроклинного эффекта и обратного течения (backflow) приводит к возникновению вертикальных и горизонтальных механических вибраций пластин ячейки на частоте приложенного электрического поля или ее гармониках [1]. При возбуждении СЖК прямоугольными электрическими импульсами вблизи фазового перехода $SmA-SmC^*$ возникают затухающие механические колебания пластин ячейки, частота которых определяется механическими резонансами ячейки и элементов ее крепления [2]. Нами было показано, что эти механические колебания пластин ячейки сопровождаются синхронными с ними колебаниями электрического тока во внешней цепи, в которую включена ячейка с СЖК [3,4], и колебаниями оптической плотности ячейки, помещенной между скрещенными поляроидами [5]. Эти процессы указывают на возникновение свободных затухающих колебаний директора СЖК после скачкообразного изменения напряженности электрического поля. Поскольку методы классического спектрального анализа Фурье не позволяют корректно исследовать нестационарные процессы (например [6]), какими являются затухающие колебания в

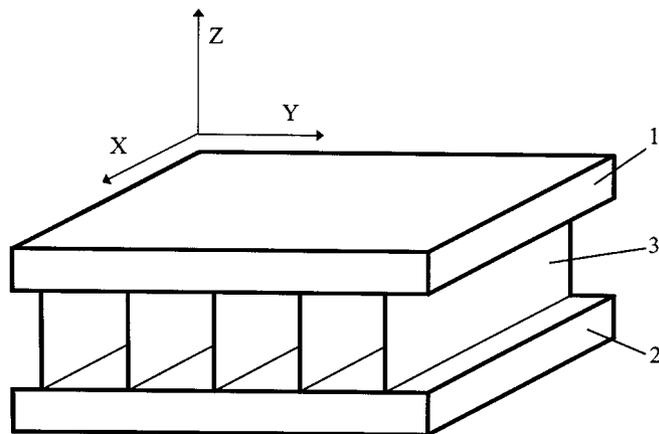


Рис. 1. Геометрия эксперимента: 1 — подвижная подложка, 2 — неподвижная подложка, 3 — смектические слои.

СЖК, мы применяли [3–5] метод мгновенного спектра [6,7]. В результате было обнаружено существование двух типов затухающих колебаний директора СЖК, наиболее важным различием которых является то, что частота колебаний первого типа сильно зависит от температуры СЖК вблизи фазового перехода второго рода $SmA-SmC^*$. Этот факт указывает на существование резонансов текстуры СЖК в диапазоне частот 1–20 Hz.

В результате дальнейших исследований колебаний директора СЖК обнаружено, что основную роль в их возникновении играет наличие упругих механических напряжений в структуре кристалла.

Эксперимент проведен на эвтектической смеси (51.5 и 48.5 w.%) сложных эфиров 4-*n*-гексилоксибензил-4-*n*-октилокситбензоата и 4-*n*-гексилоксибензил-4-*n*-децилокситбензоата. В качестве хиральной добавки, индуцирующей сегнетоэлектрические свойства, использовался бис-4,4'' (2*S* – 2-хлоргексил)-терфенилдикарбоксилат [8] в количестве 9.85 w.%. Эта композиция имеет фазовый переход второго рода $SmA-SmC^*$ при температуре 65°C. Величина спонтанной поляризации при температуре 30°C составляет 22.5 нС/см².

Измерительная ячейка составлена из двух стекол размером $27 \times 15 \times 1$ mm, разделенных фторопластовыми прокладками толщиной 15 μ m. Ячейка собирается так, что объем, заполненный СЖК, составляет $15 \times 15 \times 0.015$ mm. Крепление ячейки допускает небольшие движения верхнего стекла. Внутренняя сторона стекол ячейки покрыта прозрачным токопроводящим покрытием, к которому приложено электрическое напряжение прямоугольной формы частотой 100 Hz. Максимальная напряженность электрического поля $3.3 \cdot 10^4$ V/cm.

Колебания исследованы в однородной bookshelf текстуре, которая строилась по известной методике [4,9] из гомеотропной текстуры в электрическом поле при температуре 63–64°C (начало SmC* с применением механических вибраций верхнего стекла в направлении оси X (рис. 1). Смектические слои расположены в плоскости XZ, а молекулы СЖК лежат в направлении оси Y. Для создания контролируемого механического напряжения в текстуре, к верхнему стеклу ячейки в направлении оси Y, т.е. в плоскости стекол ячейки и перпендикулярно смектическим слоям, прикладывалось давление (максимальная величина 10^4 din/cm², нормирование на площадь ячейки, занятую bookshelf текстурой).

Использовались две измерительных ячейки **A** и **B**. Ячейка **B** отличается только тем, что токопроводящее покрытие имеется не на всем стекле, а только на центральной площади 5×5 mm. Таким образом, СЖК находится в электрическом поле только на этой площади, и только на ней строилась однородная bookshelf текстура. На остальной площади ячейки оставалась гомеотропная текстура. Термостабилизация ячейки и измерение температуры обеспечивались с точностью $\pm 0.02^\circ$ C.

На рис. 2 показаны в зависимости от давления параметры колебаний: начальная амплитуда A_0 , частота f и декремент затухания α при температуре СЖК 61.8°C, что соответствует SmC* фазе. С увеличением давления амплитуда колебаний нелинейно растет. В результате приложения давления начальная амплитуда максимально может быть увеличена почти на порядок. При давлении свыше 4500 din/cm² происходит сдвиг верхнего стекла ячейки. Это вызвано разрывом связи молекул СЖК с поверхностью подложки и приводит к разрушению однородной bookshelf текстуры. Амплитуда колебаний резко падает.

Частота колебаний также нелинейно растет с увеличением давления. Максимально достижимое значение частоты примерно в 1.3 раза превышает частоту колебаний без давления. Декремент затухания α

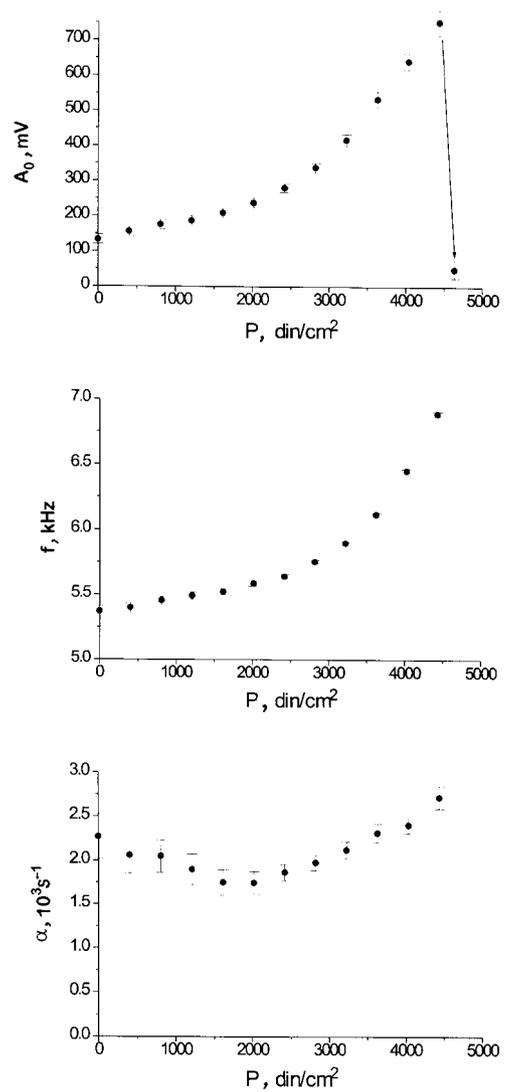


Рис. 2. Зависимость параметров колебаний от внешнего давления при температуре 61.80°C .

существенно не изменяется. Неглубокий минимум достигается при давлении около 2000 din/cm^2 и далее α растет. Общее изменение α не превышает $\pm 15\%$ от ее величины при отсутствии давления.

Аналогичные зависимости наблюдаются и при других температурах как в фазе SmC^* , так и в фазе SmA . Изменение параметров колебаний, вызванное приложенным давлением, является обратимым, если не была разрушена текстура СЖК.

Из рис. 2 видно, что упругое механическое напряжение, возникающее в текстуре СЖК в результате приложенного давления, значительно увеличивает амплитуду колебаний. Колебания с начальной амплитудой около 120 mV , наблюдаемые при нулевом внешнем давлении, тоже возникают в результате механического напряжения в текстуре. Это напряжение вызвано существованием областей с различной ориентацией директора. Если, подобрав величину и направление внешнего давления, скомпенсировать механические напряжения в текстуре СЖК, то колебания исчезают полностью.

Эксперимент по исследованию взаимодействия областей СЖК с различной ориентацией директора проведен в ячейке **В**, в которой часть площади занята однородной bookshelf текстурой, а часть — гомеотропной текстурой. На рис. 3 показана температурная зависимость амплитуды колебаний в ячейке **В** (кривая 2), которая была получена следующим образом. При температуре 61.5°C к верхнему стеклу ячейки было приложено внешнее давление величиной 4000 din/cm^2 и получены колебания амплитудой около 400 mV . После того как внешнее давление было снято, амплитуда колебаний упала, но до величины 250 mV , а не до нуля. Мы считаем, что это связано с тем, что часть площади ячейки, занятая гомеотропной текстурой, не позволила верхнему стеклу вернуться в равновесное положение. Возникло механическое напряжение гомеотропной и bookshelf текстуры СЖК, связанных между собой через подвижное стекло ячейки. При повышении температуры амплитуда колебаний оставалась примерно постоянной в интервале $61.5\text{--}65.0^\circ\text{C}$, т. е. до фазового перехода. Установился своеобразный режим стабилизации амплитуды колебаний, когда увеличение амплитуды, вызванное ростом температуры [3,4], компенсировалось уменьшением амплитуды, вызванным уменьшением давления. Давление уменьшалось, так как оно было создано текстурными механическими напряжениями, и уменьшалось с ослаблением упругих свойств СЖК при росте температуры.

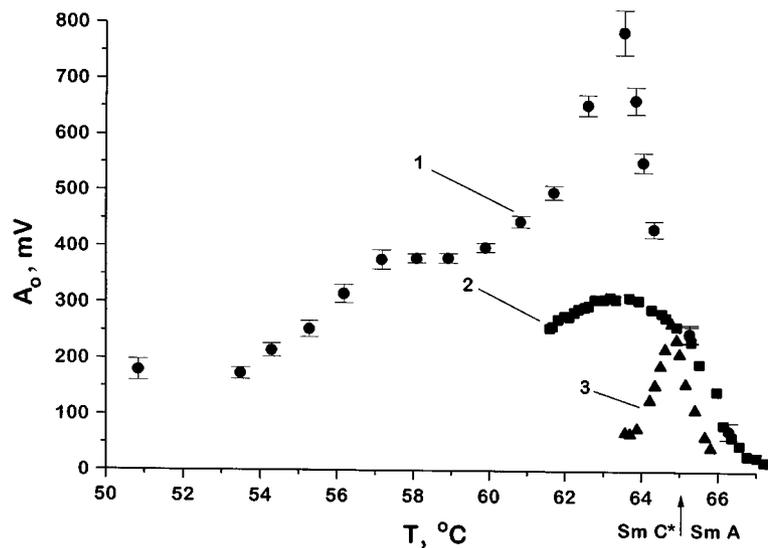


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебаний от температуры: 1 — при постоянном внешнем давлении величиной $3230 \pm 40 \text{ din/cm}^2$; 2, 3 — при давлении, создаваемом внутренними механическими напряжениями.

После фазового перехода в SmA фазе механическое напряжение значительно уменьшилось и амплитуда колебаний упала практически до нуля. При последующем охлаждении, после перехода в SmC*, механическое напряжение и давление, разумеется, сами по себе не восстановились, и поэтому температурная зависимость амплитуды колебаний оказалась очень узкой (кривая 3 на рис. 3). Ширина ее была не более 1°C , а максимум достигался при температуре фазового перехода. Именно такие температурные зависимости колебаний исследовались нами ранее [3–5] без внешнего давления.

При постоянном внешнем давлении величиной $3200 \pm 40 \text{ din/cm}^2$ температурная зависимость начальной амплитуды колебаний показана на рис. 3 (кривая 1). Сравнение кривых 1 и 3 (амплитуда колебаний при постоянном внешнем давлении и без давления) показывает, что в SmC* фазе при температуре более чем на 1°C ниже фазового перехода

в SmA боковое давление является основным фактором возникновения колебаний директора СЖК. При слабом давлении, вызванном только внутренними механическими напряжениями, колебания небольшой амплитуды наблюдаются в узком температурном интервале вблизи фазового перехода. Температурная зависимость амплитуды колебаний симметрична относительно температуры фазового перехода. Постоянное внешнее давление величиной порядка 10^3 din/cm^2 приводит к значительному увеличению амплитуды колебаний и расширению температурного интервала существования колебаний в сторону SmC* фазы не менее чем на 15–20°C. Напротив, в SmA фазе влияние бокового давления незначительно.

При исследовании однородной bookshelf текстуры отмечалось [4], что ослабление колебаний при охлаждении сопровождается появлением дисклинаций, характерных для шеврон-текстуры. Прикладывание бокового давления к подвижной пластине ячейки приводит к исчезновению этих дисклинаций и восстановлению амплитуды колебаний.

Список литературы

- [1] Jáklý A., Saupe A. // Mol. Cryst. Liq. 1993. V. 237. P. 389–398.
- [2] Jáklý A. and Saupe A. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1995. V. 263. P. 103–111.
- [3] Федоряко А.П., Пивненко М.Н., Попова Е.В., Семиноженко В.П. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 7. С. 80–86.
- [4] Fedoryako A.P., Pivnenko M.N., Popova E.V., Seminozhenko V.P. // Functional materials. 1997. V. 4. N 3. P. 375–378.
- [5] Pivnenko M.N., Fedoryako A.P., Popova E.V., Kutulya L.A. // Proc. SPIE. 1998. Nonlinear Optics of Liquid and Photorefractive Crystals (in press).
- [6] Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М.: Мир, 1983. 256 с.
- [7] Page C.N. // J. Appl. Phys., 1952. V. 23. P. 1–15.
- [8] Лосева М.В., Пожидяев Е.П., Рабинович А.З. и др. // Сегнетоэлектрические жидкие кристаллы. Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Физическая химия. 1990.
- [9] Jáklý A., Saupe A. // Appl. Phys. Lett. 1992. V. 60. N 21. P. 2622–2624.