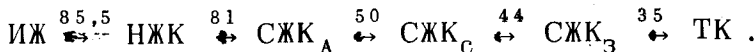


ЭФФЕКТЫ ПАМЯТИ ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ НЕМАТИК – СМЕКТИК В НЕОДНОРОДНО НАГРЕТОМ ОБРАЗЦЕ

А.П.Капустин, С.А.Пикин

Показано, что однородная деформация нематического слоя вблизи точки фазового перехода в смектик типа А приводит к неоднородному течению жидкого кристалла, неоднородной ориентационной деформации и ее "запоминанию" при равномерном охлаждении образца, вдоль которого поддерживается постоянный градиент температуры.

В данной работе установлено, что искажения, вызванные в слое мезофазы вблизи точки превращения нематик – смектик А механическим воздействием в условиях неоднородного распределения температуры, сохраняются в ходе серии фазовых переходов, в том числе и в твердом состоянии. Основой эксперимента служила ячейка, содержащая тонкий слой п-н-гексилоксифенилового эфира п-н-децилоксисбензойной кислоты между двумя параллельными стеклянными пластинами. Фазовые превращения в этом веществе происходят по схеме ¹⁾:

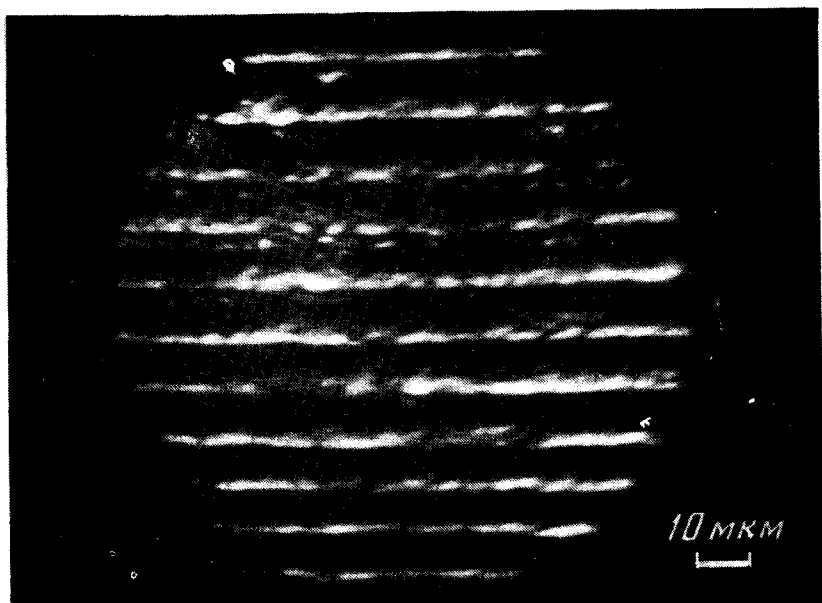


Вещество расплавлялось между предметным и покровным стеклами на столике микроскопа до изотропного состояния. Опыты проводились с ориентированными препаратами, причем ограничивающие пластины обрабатывались лецитином, что обеспечивало образование гомеотропно ориентированного слоя с оптической осью, перпендикулярной стенкам. Визуальные наблюдения проводились в поляризованном свете при скрещенных поляроидах в процессе свободного охлаждения образца.

По мере понижения температуры на одном из краев образца, в соответствии с температурным градиентом вдоль пластины, появляется область нематической фазы; ее размеры растут со временем по мере

¹⁾ Обозначение СЖК₃ в настоящее время принято в литературе для фазы, структура которой пока не расшифрована. Температуры переходов даны в °С.

охлаждения образца, так что весь образец оказывается вовлеченным в фазовый переход, при этом в соответствии с граничными условиями образуется монокристалл. Подвергая такой нематический образец деформации сжатия, его монодоменность можно нарушить, что сопровождается изменением оптических свойств образца. Было установлено, что последствия этой деформации зависят от близости температуры слоя к точке фазового перехода в смектическую фазу А.



Если производится сжатие нематического слоя при температуре, далекой от точки фазового перехода НЖК – СЖК А, происходит просветление слоя, и после снятия возмущения гомеотропная ориентация быстро восстанавливается. Напротив, вблизи точки перехода после снятия деформации возникают, на фоне темного гомеотропного слоя, дефектные зоны остаточного возмущения в виде системы параллельных полос, число которых определяется частотой сжатий слоя и скоростью изменения температуры вдоль слоя, а ширина полос – силой и продолжительностью сжатий. При этом кратковременное и слабое сжатие оставляет узкие полосы, а продолжительное – широкие (рисунок); наблюдаемая структура зон является неоднородной и состоит из черной нити, окруженной белым ореолом.

Следует отметить, что хотя слой сжимается по всей плоскости образца, дефектные полосы появляются лишь на определенном его участке, положение которого задается распределением температуры вдоль слоя, изменяющимся со временем. На таком участке слоя наклонившиеся молекулы не возвращаются в исходное гомеотропное положение из-за возрастающей, по мере приближения и образования фазы А, вязкости вещества и как бы "замораживаются" в таком состоянии. В части слоя, соответствующей смектической фазе, положение молекул при сжатии

образца не меняется. По другую сторону от дефектной полосы, где еще существует нематическая фаза, позднее при сжатиях возникают следующие дефектные зоны в местах, в которых температура принимает критическое значение.

Дальнейшее охлаждение образца приводит к переходу фазы А в смектическую фазу С, которая вначале полностью скрывает полосы, но через несколько минут в образце "проявляется" пестрая окрашенная полосчатая текстура. Более глубокое охлаждение приводит к переходу фазы С в фазу СЖК₃. После завершения этого фазового превращения картина дефектных полос полностью визуализируется. Она сохраняется и при дальнейшем охлаждении, приводящем к переходу вещества в твердое состояние. Ее просвечивание лазерным лучом дает дифракционную картину. При нагревании образца вновь наблюдаются все перечисленные текстуры, причем дефектные полосы "стираются" только в изотропном состоянии.

Наблюдаемые явления вызваны следующими причинами. Хорошо известно, что при фазовых переходах второго рода, а также слабых переходах первого рода имеет место температурная аномалия многих физических свойств системы. При этом в окрестности точки фазового превращения T_c резко изменяются вторые термодинамические производные, в том числе изотермический модуль всестороннего сжатия K_0 [1]. Такой эффект существует и при переходе между нематической и смектической-А фазами [2]. Следует отметить, что наличие примесей в системе, в данном случае — в НЖК, обычно ослабляет температурные сингулярности, например модуль K_0 имеет в точке T_c конечный минимум [1]. По обе стороны от точки T_c существуют конечные большие значения производной $\partial K_0 / \partial T$ (в условиях однородной температуры образца), вдали от точки T_c величина $\partial K_0 / \partial T$ мала.

Если вдоль оси x в плоскости образца имеется постоянный градиент температуры $dT/dx = a$, причем температура T_c соответствует координате x_c , то по этому направлению существует и неоднородность модуля $K_0(x)$: $\partial K_0 / \partial x = a \partial K_0 / \partial T$. Поскольку давление в среде есть $P = -K_0(\Delta V/V_0) + P_0$, где ΔV — изменение объема $V - V_0$ при $P > P_0$, то, следовательно, задав однородную деформацию $\Delta V/V_0$, мы получаем неоднородное распределение давления $P(x)$, обусловленное зависимостью $K_0(x)$. Таким образом, при сжатии неоднородно нагретого жидкого кристалла возникает объемная сила

$$f(x) = - \frac{\partial P}{\partial x} = a \left(\frac{\Delta V}{V_0} \right) \frac{\partial K_0}{\partial T},$$

которая вызывает движение вещества со скоростью $v(x, z)$. Распределение $v(x, z)$ удовлетворяет уравнению Навье — Стокса

$$a_0 \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + f(x) = 0,$$

где a_0 — среднее значение вязкости, координата z изменяется в пределах $-d/2 \leq z \leq d/2$, d — толщина слоя, причем $v(x, -d/2) = v(x, d/2) = 0$.

В случае, когда характерное расстояние $x = x_0$, на котором существенно меняется сила $f(x)$, много больше толщины d , последнее уравнение можно записать в виде $\alpha_0 \partial^2 v / \partial z^2 + f = 0$, т.е.

$$v(x, z) \approx \frac{f(x)}{2\alpha_0} \left(\frac{d^2}{4} - z^2 \right).$$

Такое распределение скорости вызывает ориентационное возмущение нематической фазы, приближенно описываемое уравнением [3]

$$K_3 \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \approx \alpha_2 \frac{\partial v}{\partial z},$$

где K_3 — модуль Франка, α_2 — коэффициент Лесли. Соответствующее решение $\theta(x, z)$ дается формулой (при жестких граничных условиях)

$$\theta(x, z) \approx \frac{\alpha_2 f(x)}{6\alpha_0 K_3} \left(\frac{d^2}{4} - z^2 \right) z.$$

Отсюда следует, что максимальное отклонение директора θ_{max} по толщине слоя возникает при $z = d/2\sqrt{3}$, т.е. на расстоянии $\approx 0,2d$ от стенки, а при нежестких граничных условиях — фактически вблизи поверхности слоя. На оси x большему значению производной $\partial K_0 / \partial T$ соответствует большее отклонение θ . Величина θ пропорциональна деформации $\Delta V / V_0$ и градиенту температуры a .

Описанный процесс является стационарным, пока время гидродинамической релаксации больше времени действия силы $f(x)$. Так как на опыте точка x_c со временем перемещается, то увеличение длительности действия силы $f(x)$ должно приводить к расширению дефектной полосы. Чем больше скорость dx_c / dt , тем больше вероятность "замораживания" дефектов — дисклинаций и дислокаций — в смектической фазе, причем в более "теплой" части полосы этих дефектов больше, так как здесь была больше производная $\partial K_0 / \partial T$. При этом центральная часть полосы остается фактически невозмущенной (черной), поскольку здесь суммарная сила $f(x_c) = 0$. "Запоминание" полосчатой структуры в низкотемпературных смектических и твердой фазах связано с относительной стабильностью системы образовавшихся дефектов, которые "отжигаются" полностью только в изотропной фазе.

Данный опыт показывает, что деформация образцов мезоморфных соединений, обладающих нематической и смектической-А фазами, приводит при определенном температурном режиме к формированию стационарных пространственно-модулированных структур с регулируемым шагом. Такие структуры могут быть использованы в качестве активных элементов систем оптической обработки информации.

Литература

- [1] А.И.Ларкин, С.А.Пикин. О фазовых переходах первого рода, вблизи ко второму. ЖЭТФ, 56, 1664, 1969.
- [2] А.П.Капустин. Экспериментальные исследования жидких кристаллов. М., изд. Наука, 1978.
- [3] П.Ж.Де Жен. Физика жидких кристаллов. Пер. с англ. (под ред. А.С.Сони́на), М., изд. Мир, 1977.
-