

## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ВОЗНИКАЮЩАЯ В ХОЛЕСТЕРИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ ВБЛИЗИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

А.С. Золотко, В.Ф. Китаева, В.Ю. Федорович, Н.М. Штыков

*Обнаружено возникновение периодической структуры в ХЖК в широком температурном интервале вблизи фазового перехода.*

При определенных условиях в холестерическом жидком кристалле (ХЖК) могут возникать пространственно-периодические деформации поля директора. Под действием электрических и магнитных полей /1/, механических напряжений /2/, нагревания /3/, температурного градиента /4/, светового излучения /5/ в ХЖК возникают периодические решетки с периодом  $\Lambda \sim (pL)^{1/2}$  ( $p$  – шаг спирали,  $L$  – толщина ХЖК). Кроме того, пространственной периодической структурой характеризуются голубые фазы, существующие в ХЖК в узком температурном интервале ( $0,1-1^\circ\text{C}$ ) вблизи фазового перехода из холестерической фазы в изотропную /6/. Величина пространственного периода голубых фаз порядка шага спирали ХЖК ( $\Lambda \sim p$ ).

В настоящей работе сообщается о наблюдении периодической структуры, которая возникает в ХЖК при нагревании и приближении его температуры к температуре фазового перехода холестерик – изотропная жидкость. Эта периодическая структура существует в значительно большем интервале температур ( $3-4^\circ\text{C}$ ), чем голубые фазы, период ее значительно превышает шаг спирали.

Исследования проводились с ХЖК, изготовленным из 95,5% нематика 5ЦБ и 4,5% холестерилкаприната. Образец ХЖК имел толщину 100 мкм и был планарно ориентирован. Шаг спирали ХЖК составлял  $\sim 2$  мкм. Температурный интервал существования холестерической фазы примерно совпадал с температурным интервалом существования нематической фазы у 5ЦБ:  $24^\circ\text{C} \lesssim t \lesssim 35^\circ\text{C}$ . Кристалл был практически прозрачен во всей видимой области. Влияние поглощения на длине волны 5145 Å становилось заметным лишь при достаточно большой мощности светового пучка ( $P \gg 200$  мВт).

Излучение аргон-криптонового лазера непрерывного действия ИЛМ-120 "Карл Цейс" фокусировалось с помощью линзы ( $f = 270$  или 130 мм) в кювету с ХЖК. Исследования проводились на длинах волн  $\lambda = 5145$  и 6471 Å. Плоскость кюветы и ориентация директора на стенках кюветы были вертикальны. Поляризация светового пучка могла изменяться от вертикальной до горизонтальной. Поворот плоскости поляризации осуществлялся с помощью двойного ромба Френеля. Кювета состояла из двух стеклянных дисков, разделенных кольцеобразной прокладкой из тефлона. Кювета с ХЖК помещалась в термостатируемую медную камеру со стеклянными окнами. Нагревание камеры и поддержание в ней заданной температуры производилось с помощью термостата U15. При описанной конструкции камеры и кюветы нагрев ХЖК происходил от края кюветы к ее центру.

Направление поляризации светового пучка, прошедшего ХЖК, отличалось от направления поляризации пучка, падающего на ХЖК, на некоторый угол  $\varphi$ . Величина  $\varphi$  зависела от длины волны излучения и температуры кристалла. Экспериментальная зависимость величины изменения угла поворота  $\Delta\varphi$  плоскости поляризации от температуры кристалла для излучения с длиной волны 5145 Å приведена на рис. 1. Видно, что общий поворот плоскости поляризации при изменении температуры ХЖК от  $22,5$  до  $35^\circ\text{C}$  составляет  $\sim 1200^\circ\text{C}$ .

При нагревании ХЖК до температуры  $\gtrsim 32^\circ\text{C}$  световой пучок, прошедший через ХЖК, испытывал дифракцию. На экране, расположенном за кристаллом перпендикулярно световому пучку, появлялась характерная дифракционная картина, вид которой с течением времени изменялся. Сначала появлялись четыре рефлекса с угловым отклонением от центрального пятна  $\sim 2^\circ$ . Угловой размер каждого из рефлексов немного превышал дифракционную расходимость светового пучка. Через некоторое время (десятки секунд) появлялись дополнительные рефлексы и картина принимала вид, представленный на рис. 2а. Угловое расстояние между рефлексами  $\sim 1^\circ$  ( $\lambda = 5145$  Å), что соответствует дифракции на структуре с перио-

дом  $\sim 29$  мкм. Через несколько минут после возникновения дифракционная картина исчезала и вновь не появлялась. Для того, чтобы она появилась снова, нужно было охладить кристалл до температуры  $\leq 25$  °С и затем нагреть его до температуры  $32$  °С  $\leq t \leq 34,5$  °С. Чем выше температура ХЖК, тем лучше качество дифракционной картины (резче рефлексы, больше их число и больше время существования картины). Существенную роль при этом играет скорость нагревания кристалла. Обычно она составляла 1 град/мин. При более медленном нагревании ХЖК дифракционная картина была значительно хуже (ее рефлексы становились размытыми) или не возникала совсем.

При наклонном падении светового пучка на кристалл изменялось относительное распределение интенсивности в рефлексах дифракционной картины: более интенсивными становились рефлексы, расположенные ближе к центральному пятну дифракционной картины вдоль направления, параллельного плоскости падения излучения. Рис. 26 иллюстрирует сказанное для угла падения светового пучка на ХЖК  $\sim 15^\circ$  (плоскость падения горизонтальна).

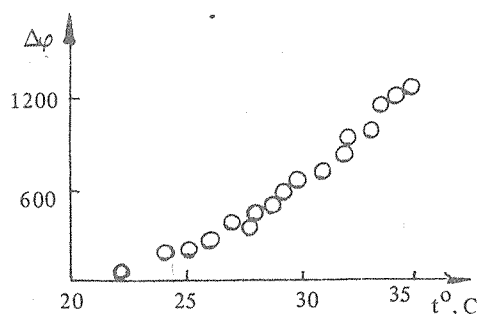


Рис. 1. Зависимость изменения угла  $\Delta\varphi$  поворота плоскости поляризации излучения, прошедшего ХЖК, от температуры ХЖК.

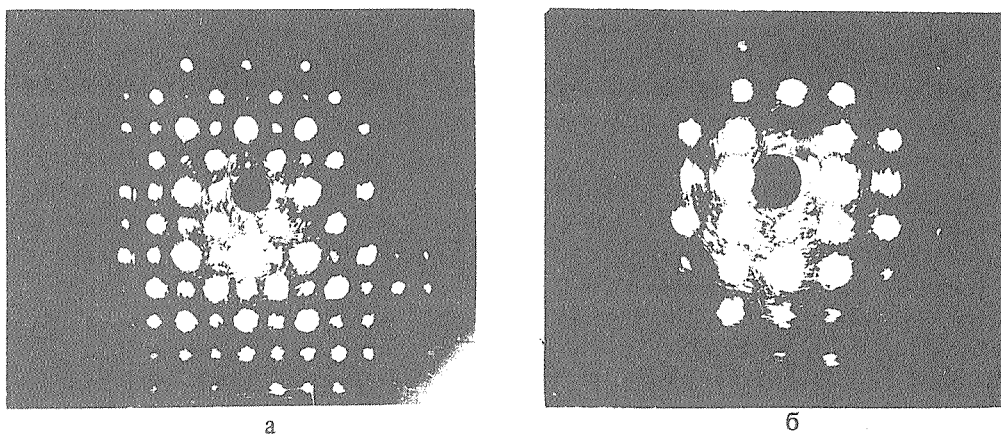


Рис. 2. Дифракционная картина, возникающая на периодической структуре в ХЖК ( $\lambda = 5145$  Å,  $35,5$  °С) при нормальном падении излучения на кристалл (а) и при падении излучения на кристалл под углом  $15^\circ$  (плоскость падения горизонтальна) (б). Темное пятно в центре дифракционной картины – результат экранировки пучка, прошедшего ХЖК (во избежание засветки фотопленки).

Относительная интенсивность рефлексов зависела также от направления поляризации излучения, падающего на ХЖК. Поляризация самих рефлексов зависела от положения рефлекса в дифракционной картине.

Дифракционная картина наблюдалась на длинах волн как  $5145$  Å, так и  $6471$  Å, и не зависела от мощности лазерного излучения при  $P \leq 200$  мВт. При  $P \geq 200$  мВт, когда становилось заметным влияние нагревания облученного участка ХЖК, качество картины ухудшалось.

Эффект вращения плоскости поляризации при изменении температуры легко оценить количественно. Согласно [7], удельное вращение плоскости поляризации определяется соотношением:

$$\frac{\varphi}{L} = \frac{\pi}{4} \frac{\Delta\epsilon^2}{(\epsilon_{\perp} + \epsilon_{\parallel})^2} \frac{p^3}{\lambda^2(\lambda^2 - p^2)}, \quad (1)$$

где  $\lambda = 2\pi c/\omega\sqrt{\epsilon}$ ,  $\epsilon = 0,5(\epsilon_{\perp} + \epsilon_{\parallel})$ ,  $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ . В предположении, что  $\Delta\epsilon \ll \epsilon_{\parallel}, \epsilon_{\perp}$ , из (1) следует:

$$\frac{\varphi}{L} = \frac{\pi p^3}{4\epsilon\lambda^2(\lambda^2 - p^2)} \Delta n^2, \quad (2)$$

где  $\Delta n = \sqrt{\epsilon_{\parallel}} - \sqrt{\epsilon_{\perp}}$ . Так как  $\epsilon_{\perp}$  и  $\epsilon_{\parallel}$  зависят от температуры кристалла, то, очевидно, можно записать:

$$\Delta\varphi = \varphi(t_1) - \varphi(t_2). \quad (3)$$

Оценки согласно (2) и (3) дают величину поворота плоскости поляризации при изменении температуры ХЖК от 22,5 до 35 °С ~ 1000°, т.е. значение, близкое к экспериментальному.

Обсудим возможные причины возникновения решетки. Прежде всего отметим, что, хотя решетка возникает только вблизи фазового перехода холестерик — изотропная жидкость, нестационарный характер, сравнительно большой температурный диапазон существования и величина периода наблюдаемой периодической структуры принципиально отличают ее от периодических структур, характерных для голубых фаз. Причиной ее возникновения являются, на наш взгляд, механические напряжения, вызванные изменением шага спирали при нагревании ХЖК [7]. Существенную роль при этом может играть радиальный градиент шага спирали, вызванный неоднородным температурным полем. Период искажений, вызванных механическим напряжением, можно оценить с помощью соотношения [2]:

$$\Lambda = (3K_3/2K_2)^{1/4} (pL)^{1/2}$$

( $K_3, K_2$  — упругие константы Франка). Для ХЖК  $(3K_3/2K_2)^{1/4} \approx 1$  и  $\Lambda = 14$  мкм, что по порядку величины согласуется с величиной, определенной из картины дифракции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов Л.М. Электро-и магнитооптика жидких кристаллов. М., Наука, 1978 г.
2. Scaramuzza N., Bartolino R., Barbero G. J. Appl. Phys., 53, 8593 (1982).
3. Eber N. Reprint KFKJ-1984-86, Budapest (1984).
4. Dubaus-Violette E. J. Phys. (Fr), 34, 107 (1973).
5. Золотко А.С. и др. Письма в ЖЭТФ, 43, 477 (1986).
6. Беляков В.А., Дмитриенко В.Е. УФН, 146, 369 (1985).
7. Беляков В.А., Сонин А.С. Оптика холестерических жидких кристаллов. М., Наука, 1982.

Поступила в редакцию 9 декабря 1986 г.