

**ПОДАВЛЕНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ АНИЗОТРОПИИ
В ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ**

С.В.Беляев, Л.М.Блинов, В.А.Кизель

Обнаружен "красный" спектральный сдвиг контура брэгговской полосы, обусловленный увеличением параметра порядка S в стабилизирующем поле.

В реальных монокристаллических образцах холестерических жидких кристаллов (ХЖК) даже с высокой степенью совершенства ориентации имеют-

ся термические флуктуации анизотропии (флуктуации ориентации директора), описываемые параметром порядка S [1]. Известно, что стабилизирующее поле, наложенное на слой нематического жидкого кристалла, уменьшает амплитуды флуктуаций, приводя к увеличению S [2]. Задачей настоящей работы являлось изучение влияния флуктуаций анизотропии на контур полосы селективного отражения света в ХЖК, ранее рассчитанный без учета таких флуктуаций [3, 4]. Роль флуктуаций легче всего установить, подавив их стабилизирующим электрическим полем, например, приложив его вдоль оси спирали в ХЖК с отрицательной диэлектрической анизотропией.

Изменение полосы селективного отражения в электрическом поле регистрировалось методом модуляционной спектроскопии на установке, блок-схема которой показана на вставке к рисунку. Электрическое поле с частотой f и напряженностью, меньшей порога электрогидродинамических нестабильностей подавалось на образец. Изменение пропускания образца ΔT преобразовывалось фотодиодом и после узкополосного усиления на частоте $2f$ регистрировалось синхродетектором.

Образцы представляли собой ячейки-сэндвичи с натертыми внутренними поверхностями. Качество ориентации жидкого кристалла контролировалось микроскопически по отсутствию дисклинаций, измерения проводились в пределах одной зоны Гранжана [1]. Жидкий кристалл представлял собой немато-холестерическую смесь, состоящую из п-н-метоксибензилиден-п'-бутиланилина (МБА, 65% по весу), 2-3-дициано-4-амилоксифенилового эфира п-амилоксибензойной кислоты (ДЦАФЭАБК) 10%) и холестерилолеата (25%). Диэлектрическая анизотропия нематической компоненты $\epsilon_a = -4$.

Полоса селективного отражения проявляет себя в спектре оптического пропускания слоя, показанного кривой 1 на рисунке. На том же рисунке кривой 2 показан спектр относительного изменения пропускания $\Delta T/T$, отражающий изменение полосы селективного отражения в стабилизирующем поле. Этот спектр получен вычитанием из измеренных значений $\Delta T/T$ (кривая 3) уровня изменения пропускания (кривая 4), не связанного с полосой селективного отражения и обусловленного уменьшением общего фона рассеяния [1]. Таким образом, полоса селективного отражения испытывает "красный" сдвиг в стабилизирующем поле, причем новое положение полосы схематично показано кривой 5.

Мы полагаем, что красный спектральный сдвиг полосы селективного отражения в исследованных образцах с высокой степенью ориентации обусловлен подавлением полем термических флуктуаций ориентации директора. Учитывая геометрию эксперимента, можно видеть, что подавляется только коническая (или зонтичная) мода [1, 5], а на флуктуации кручения поле не влияет¹⁾. Наличие конической моды флуктуаций

¹⁾Понижение температуры вызывало "красный" спектральный сдвиг полосы селективного отражения исследованных образцов. Этот сдвиг обусловлен увеличением параметра порядка S в связи с уменьшением амплитуд обеих мод и анализировался в [6].

может статистически и в кинематическом приближении рассматриваться как существование в объеме образца участков с осью спирали, отклоненной от нормали к слою на некоторый угол θ . Для этих участков длина волны селективного (брэгговского) отражения:

$$\lambda_{max} = P \bar{n} \cos \theta \quad (1)$$

(P — шаг спирали, \bar{n} — средний показатель преломления ХЖК), т.е. меньше, чем для участков с осью спирали, совпадающей с нормалью к слою. Наложение поля уменьшает амплитуду флуктуаций и, следовательно, величину θ , приводя к увеличению длины волны, соответствующей максимуму полосы селективного отражения, т.е. к красному сдвигу полосы. К тому же эффекту красного сдвига приводит увеличение в поле среднего показателя преломления \bar{n} за счет подавления конических флуктуаций.

Приведем оценки, подтверждающие нашу модель. Подавление флуктуаций директора равносильно увеличению в поле параметра порядка S , в простейшем случае определяемом как:

$$S = \frac{3}{2} \overline{\cos^2 \theta} - \frac{1}{2}, \quad (2)$$

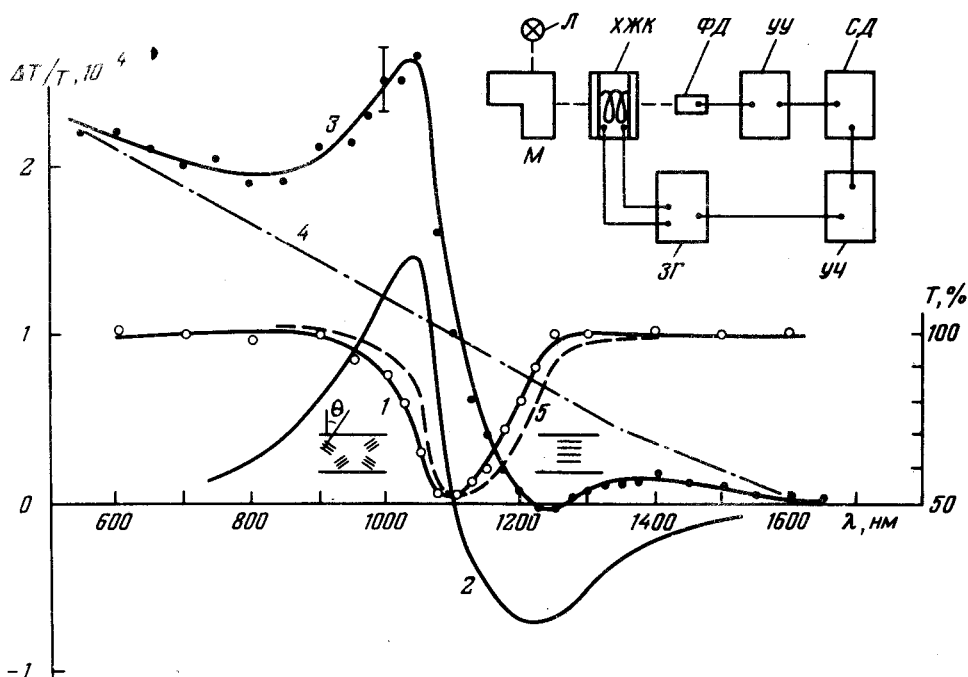
где θ — угол локального отклонения молекул от выделенного направления (директора). Увеличение параметра порядка ΔS в стабилизирующем поле для нематических жидких кристаллов, рассчитанное де Женом [1], и обнаруженное в [2], описывается выражением:

$$\Delta S = \frac{k_B T \epsilon_a^{1/2}}{4 \pi^{3/2} K^{3/2}} E, \quad (3)$$

где k_B — константа Больцмана, T — абсолютная температура, K — модуль упругости (одноконстантное приближение). Если считать, что для ХЖК порядок величины ΔS останется тем же, то в условиях нашего эксперимента $\Delta \bar{S} = 2 \cdot 10^{-4}$. Величина спектрального сдвига полосы селективного отражения с помощью [1] и [2] может быть записана в следующем виде: $\Delta \lambda_E \approx \Delta S \lambda_{max} \approx 0,5$ нм (для $\lambda_{max} = 1000$ нм). С учетом значения $dT/d\lambda = 5 \cdot 10^{-3}$ нм $^{-1}$, найденного из графика для крыла полосы селективного отражения, ожидаемое относительное изменение пропускания, обусловленное сдвигом полосы, составит $\Delta T/T = 10^{-3}$. Исследование зависимости наблюдаемой величины $\Delta T/T$ от частоты модулирующего поля показало, что расхождение между полученной оценкой и экспериментальным значением $\Delta T/T = 1,5 \cdot 10^{-4}$ на частоте 1 кГц (см. рисунок) обусловлено большим временем релаксации флуктуаций [5] по сравнению с периодом модулирующего поля.

Дополнительным подтверждением того, что наблюдаемый в поле красный сдвиг полосы селективного отражения обусловлен именно подав-

нием термических флуктуаций директора, является следующий факт. Увеличение в поле светопропускания монодоменных образцов исходных нематических жидких кристаллов, которое может быть объяснено только в рамках механизма подавления флуктуаций [1], при прочих равных условиях было того же порядка что и в холестерических.



Спектры пропускания T и относительного изменения пропускания $\Delta T/T$ в поле напряженностью $E = 3 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ и частотой $f = 1 \text{ кгц}$ планарного слоя ХЖК толщиной $d = 24 \pm 0,5 \text{ мкм}$ (пояснения в тексте). На вставке: блок-схема экспериментальной установки: Л – лампа, М – монохроматор, ФД – фотодиод, УУ – узкополосный усилитель, ЗГ – генератор синусоидального электрического напряжения звуковой частоты, УЧ – удвоитель частоты, СД – синхронный детектор

Наблюдаемый эффект красного сдвига полосы селективного отражения не может быть объяснен предположением об улучшении в поле качества планарной текстуры (т.е. дополнительной "монодоменизацией" образца). Действительно, специальные опыты показали, что такое улучшение качества текстуры приводит к иному эффекту, а именно, к спектральному сужению брэгговской полосы [7], что согласуется с расчетами [8].

Таким образом, зарегистрировано увеличение длины волны селективного отражения (красный сдвиг брэгговской полосы) при наложении на слой ХЖК стабилизирующего электрического поля, приводящего к увеличению параметра порядка ХЖК путем подавления термических флуктуаций ориентации директора.

Авторы выражают благодарность В.А.Белякову и В.Е.Дмитриенко за критические замечания, способствующие дальнейшим исследованиям и П.В.Адоменасу за предоставление нематической компоненты (ДЦАФЭАБК).

Научно-исследовательский институт
органических полупродуктов и красителей

Поступила в редакцию
2 ноября 1978 г.

Московский
физико-технический институт

Литература

- [1] П.де Жен. Физика жидких кристаллов, М., изд. Мир, 1977.
 - [2] Y.Poggi, J.C.Filippini. Phys. Rev. Lett., 39, 150, 1977.
 - [3] Е.И.Кац. ЖЭТФ, 59, 1854, 1970.
 - [4] В.А.Беляков, В.Е. Дмитриенко, В.П.Орлов. В сб. "Холестерические жидкие кристаллы", ИТПМ СО АН СССР, 1976, стр.35.
 - [5] J.D.Parsons, C.F.Hayes. Phys. Rev., 9A, 2652, 1974.
 - [6] Л.Н.Лисецкий, А.В.Толмачев, В.Г.Тищенко. Письма в ЖЭТФ, 27, 205, 1978.
 - [7] С.В.Беляев. Автореферат кандидатской диссертации, МФТИ, М., 1978.
 - [8] В.А.Беляков, В.Е. Дмитриенко. ЖЭТФ, 73, 681, 1978.
-