

СВЕТОИНДУЦИРОВАННАЯ ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ СМЕКТИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ

А.С.Золотъко, В.Ф.Китаева

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН
117924 Москва, Россия

Поступила в редакцию 16 ноября 1993 г.

Обнаружено, что под действием линейно поляризованного светового излучения ($\lambda = 6471 \text{ \AA}$) гомеотропная текстура смектической фазы жидкого кристалла ОЦБФ с добавкой азосоединения "метиловый красный" может переходить в устойчивую ("эффект памяти") конфокальную текстуру с преимущественной ориентацией конфокальных доменов перпендикулярно электрическому полю световой волны.

Эффективная фотоизомеризация азосоединений [1,2] позволяет наблюдать в содержащих их веществах интересные с научной и практической точки зрения физические явления. Так, в вязких растворах, содержащих азосоединения, при взаимодействии со светом наблюдается обратимый ориентационный фотохроизм [3,4]. Под действием ультрафиолетового [5] и зеленого [6] световых излучений наблюдалось изменение ориентации директора нематического жидкого кристалла, (НЖК), помещенного между поверхностными слоями, содержащими азосоединения. Эффект переориентации директора в планарном НЖК наблюдался и в случае взаимодействия света с кристаллом, содержащим примесь азосоединения не на поверхности, а в объеме кристалла [7].

Целью настоящей работы явилось изучение взаимодействия света со смектическим жидким кристаллом, содержащим примесь азосоединения.

Эксперимент и экспериментальные результаты. Экспериментальная установка, на которой проводились исследования, состояла из криптонового ионного лазера непрерывного действия ($\lambda = 6471 \text{ \AA}$), двойного ромба Френеля для поворота плоскости поляризации падающего излучения, линзы ($f \approx 135 \text{ mm}$), фокусирующей лазерное излучение в гомеотропно ориентированный кристалл ОЦБФ, содержащий $\sim 1\%$ красителя ("метиловый красный"), экрана, расположенного за кристаллом, для наблюдения происходящих с пучком изменений, и поляризатора, помещенного перед экраном и используемого для анализа прошедшего кристалл излучения. Изменения, произошедшие с кристаллом, изучались и фотографировались с помощью поляризационного микроскопа. Толщина исследованного кристалла составляла $L \approx 40 \text{ мкм}$.

Полученные результаты сводятся к следующему.

1. Световой пучок, прошедший через ЖК, изменяет свою форму и поляризацию.

2. Эти изменения происходят не сразу после начала освещения кристалла, а через время T_{del} , которое зависит от мощности пучка P и температуры кристалла t . Чем t и P меньше, тем время T_{del} больше: при $P \approx 160 \text{ мВт}$ и $t \approx 23^\circ\text{C}$ $T_{del} \approx 3 \text{ мин}$, при $t \approx 24^\circ\text{C}$ $T_{del} \approx 1 \text{ мин}$.

3. Через T_{del} в скрещенных поляризаторах на экране появляется "крест", который со временем уменьшается в размерах. Около него появляются дуги. Без анализатора наблюдается пятно меньших, чем в момент начала освещения

кристалла, размеров, окруженное кольцами, число которых соответствует числу дуг, наблюдаемых в скрещенных поляризаторах. При этом часто можно наблюдать систему эквидистантных колец, окружающих "крест" с дугами.

4. Если время облучения кристалла $T_{\text{ил}} > 1 - 3$ мин, то в кристалле под микроскопом можно наблюдать сохранившиеся в памяти кристалла искажения поля директора, возникшие в зоне светового пучка.

5. Вид этих искажений зависит от мощности лазерного излучения P , температуры кристалла t , поляризации падающего излучения и длительности $T_{\text{ил}}$ его воздействия на кристалл (рис.1-3). Обычно гомеотропная ориентация директора нарушается в областях диаметром 60–200 мкм (в зависимости от $T_{\text{ил}}$), где вместо гомеотропной появляется конфокальная текстура, характеризующаяся выделенным направлением (ось конфокальных доменов). Это направление определяется поляризацией падающего излучения – оно всегда перпендикулярно вектору электрического поля световой волны.

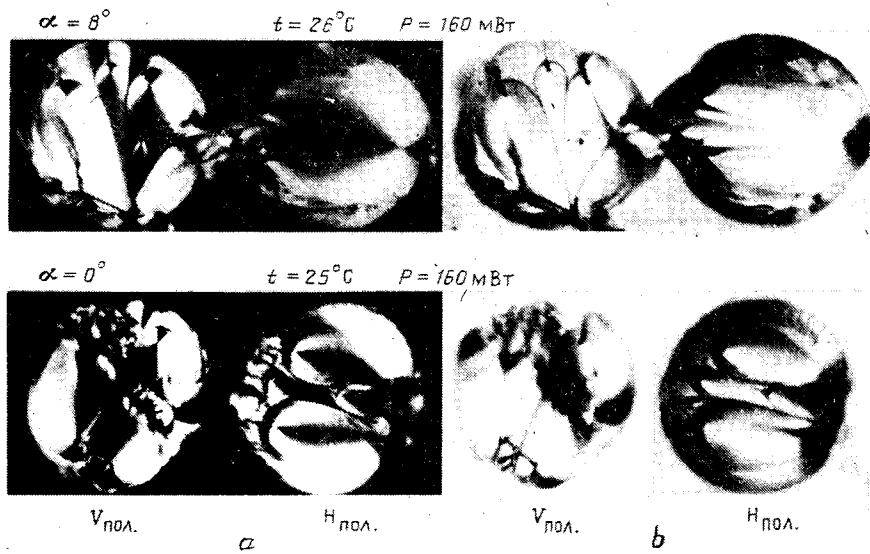


Рис.1. Зависимость искажений поля директора, вызванных лазерным излучением, от его поляризации: a – скрещенные поляризаторы, b – параллельные поляризаторы ($V_{\text{пол.}}$ – падающее излучение поляризовано вертикально, $H_{\text{пол.}}$ – горизонтально в плоскости кюветы, перпендикулярной \mathbf{k} (волновой вектор), и по (директору))

6. Чаще всего ось конфокальных доменов располагается в плоскости, параллельной стенкам кюветы и перпендикулярной вектору n_0 , задающему первоначальную ориентацию директора (см. рис.1). Реже наблюдаются домены с осью параллельной n_0 , то есть перпендикулярной стенкам кюветы. Иногда наблюдаемая в микроскоп картина напоминает возникающую при переходе Пароди [8] (рис.2 b , $t = 24^\circ \text{C}$).

7. Нагрев кристалла до $t > t_{N-I}$ (t_{N-I} – температура фазового перехода нематик – изотропная жидкость) не изменяет положения оси конфокальных доменов в первом случае (п.6), но сами домены при этом становятся крупнее.

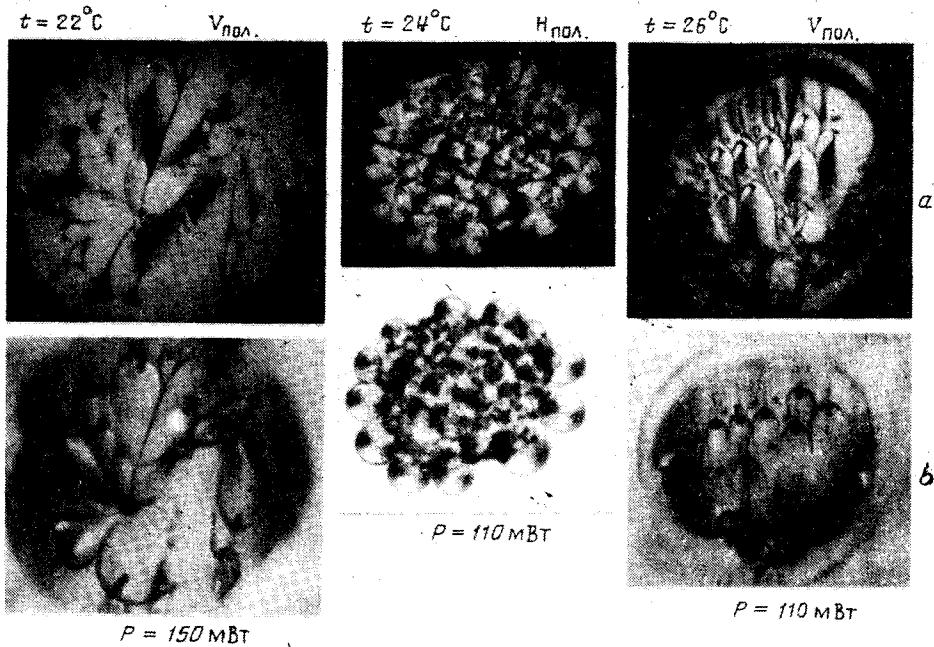


Рис.2. Зависимость искажений поля директора, вызванных лазерным излучением, от температуры кристалла: *a* – скрещенные поляризаторы, *b* – параллельные поляризаторы

В двух же других случаях происходит существенная перестройка конфокальной текстуры – домены “ложатся” в плоскость, параллельную стенкам кюветы. Их ось теперь перпендикулярна электрическому полю световой волны в этой плоскости.

8. Конфокальные текстуры сохраняются в кристалле тем дольше, чем больше T_{ii} . При $T_{ii} > 3$ мин и достаточно больших значениях t и P ($t \simeq 23^\circ\text{C}$ – $P \simeq 200$ мВт; $t \simeq 24^\circ\text{C}$ – $P \simeq 160$ мВт) не было замечено изменений текстуры в течение недель. Если $T_{ii} > 5$ – 7 мин, то многократные нагревы кристалла до $t > t_{N-I}$ не приводили к исчезновению светоиндуцированных деформаций поля директора, но текстура при этом изменялась (см. рис.3).

Из полученных результатов следует, что лазерное излучение вызывает переориентацию поля директора в смектической фазе ЖК ОЦБФ с добавкой азосоединения “метиловый красный”, которая запоминается кристаллом. При этом возникает конфокальная текстура с четко выраженной ориентацией.

Из рис. 1–3 следует, что четкость ориентации конфокальной текстуры прежде всего зависит от первоначальной температуры смектической фазы. При температуре 29°C , наиболее близкой к температуре t_{S-N} фазового перехода смектик–нематик, четко ориентированная конфокальная текстура возникает лишь в отдельных местах кристалла (рис.3*a*). Но даже при многократном нагреве до изотропной фазы и последующем охлаждении и в этом случае первоначальная гомеотропная ориентация кристалла не восстанавливается, сохраняется и преимущественная ориентация конфокальной текстуры.

Обсуждение экспериментальных результатов.

$t = 29^\circ\text{C}$
 $T_{\text{обл}} = 7 \text{ мин}$

$P = 150 \text{ мВт}$
 $V_{\text{пол}}$
 $T_{\text{обл}} = 5 \text{ мин}$
 $T_{\text{обл}} = 3 \text{ мин}$

$T_{\text{обл}} = 7 \text{ мин}$



a

1-й нагрев кристалла до $t > t_{N-\text{иск}}$



b

2-й нагрев кристалла до $t > t_{N-\text{иск}}$



c

3-й нагрев кристалла до $t > t_{N-\text{иск}}$



d

Рис.3. Зависимость воздействия лазерного излучения на кристалл от времени его облучения (a). Влияние нагрева от $t > t_{N-1}$ на образовавшиеся в нем в зоне воздействия лазерного излучения искажений поля директора (b – d)

1. Изменения в распределении интенсивности в пучке, прошедшем кристалл, говорят об изменении свойств кристалла.

"Крест" и происходящие с ним во времени изменения, как и в [9], свидетельствуют, что первоначальное направление оптической оси не сохраняется, в зоне пучка возникает пространственная неоднородность (происходит деформация смектических слоев).

Световой пучок, создавший эту пространственную оптическую неоднородность, дифрагирует на ней, что приводит к появлению на экране дуг (в скрещенных поляризаторах) и эквидистантных колец.

Размер неоднородности, оцененный по дифракционной картине, соответствует размерам областей конфокальной картины, запоминаемой кристаллом.

2. Тот факт, что искажения гомотропной ориентации смектической фазы с преимущественным направлением ориентации дефектов сохраняются после

нагрева кристалла до изотропной фазы и последующего охлаждения, однозначно указывает на устойчивое изменение под воздействием света свойств ориентирующих кристалл поверхности. Это может быть связано только с наличием в кристалле ОЦБФ малой примеси азосоединения "метиловый красный", поскольку в чистом кристалле ОЦБФ, как показывают эксперименты, "запоминаемого" изменения текстуры не происходит даже при существенно больших мощностях светового пучка ($\lambda = 6471 \text{ \AA}$).

Естественно предположить, что молекулы "метилового красного" в гомеотропно ориентированном ОЦБФ на стенках кюветы первоначально тоже ориентированы преимущественно перпендикулярно стенкам. При облучении происходят конформационные изменения молекул азосоединения – переход из равновесного транс-состояния в возбужденное цис-состояние, а затем релаксация. В процессе конформационной перестройки молекул азосоединения происходят их повороты [3, 4, 10, 11], увлекающие за собой молекулы ОЦБФ. При этом молекулы азосоединения стремятся располагаться перпендикулярно электрическому полю световой волны. Измененная светом ориентация молекул может закрепляться на стенках кюветы за счет поверхностных сил и вызывать изменение первоначальной гомеотропной ориентации директора и в объеме кристалла.

Поясним причину зависимости ориентации возникающей текстуры от поляризации света. Прежде всего отметим, что вероятность поглощения светового кванта (и, соответственно, вероятность поворота) существенно зависит от взаимной ориентации длинной оси молекулы "метилового красного" и вектора поляризации света (она максимальна, если они параллельны). Первоначально, как было отмечено выше, молекулы расположены перпендикулярно стенкам (и параллельно вектору n_0). Если в результате поворота молекула не оказывается в плоскости Σ , перпендикулярной вектору E , то для нее вероятность последующего поворота будет больше, чем для молекулы, оказавшейся в плоскости Σ . Другими словами, ориентация молекул в плоскости Σ будет наиболее устойчивой.

Возникновение разных текстур при разных значениях температуры кристалла и параметров светового воздействия связано, по-видимому, с разным соотношением поверхностных сил, переориентирующих директор, и сил упругости, препятствующих переориентации, также зависящих от температуры кристалла и параметров светового воздействия. Наиболее эффективно действие ориентирующих поверхностных сил проявляется при охлаждении кристалла из изотропной фазы. В этом случае всегда возникают хорошо ориентированные конфокальные домены.

Довольно длительные времена T_{ii} , необходимые для запоминания светового воздействия, определяются, по-видимому, в первую очередь временем жизни молекулы "метилового красного" в возбужденном цис-состоянии. Это время, вообще говоря, сильно зависит от конкретного вещества, в котором они растворены. Для жидкого кристалла МББА оно составляет 64 с [12]. По порядку величины это время совпадает со временем облучения кристалла ОЦБФ с примесью "метилового красного", необходимого для проявления ориентирующего эффекта.

В заключение авторы приносят благодарность Д.Б.Терскому за предоставление в их распоряжение для проведения исследований образца кристалла

ОЦБФ с примесью "метилового красного" и М.П.Ермиловой за помощь в работе.

Авторы выражают свою благодарность фонду Сороса и Американскому физическому обществу за поддержку настоящей работы.

-
1. А.Н.Теренин, Фотоника молекул красителей и родственных органических соединений, Л.: Наука, 1967.
 2. В.А.Баричевский, Г.И.Лашков, В.А.Цехомский, Фотохромизм и его применение, М.: Химия, 1977.
 3. А.М.Макушенко, Б.С.Непорент, О.В.Столбова. Оптика и спектроскопия **31**, 557 (1971).
 4. А.М.Макушенко, Б.С.Непорент, О.В.Столбова, Оптика и спектроскопия **31**, 741 (1971).
 5. K.Ichimura, Y.Sasaki, T.Seki et al., **4**, 1214 (1988).
 6. W.M.Gibbons, P.J.Shannon, S.T.Sun, and B.J.Swetlin, *Nature*, **351**, 49 (1991).
 7. S.T.Sun, W.M.Gibbons, and P.J.Shannon, *Liquid Crystals* **12**, 869 (1992).
 8. Л.М.Блинов, Электро- и магнитооптика жидкких кристаллов, М.: Наука, 1978, гл. VII.
 9. А.С.Золотко, В.Ф.Китаева, Д.Б.Терсов, *ЖЭТФ* **101**, 1827 (1992).
 10. T.Todorov, L.Nicolova, N.Tomova, and V.Dragostinova, *IEEE J. of Quantum Electronics QE-22*, 1262 (1986).
 11. K.Anderle, R.Birenheide, M.J.A.Werner, and J.H.Wendorff, *Liquid Crystals*, **9**, 691 (1991).
 12. W.Urbach, H.Hervet, and F.Rondelez, *J. Chem. Phys.* **83**, 1877 (1985).