

О СВЕТОИНДУЦИРОВАННЫХ СТРУКТУРАХ В СМЕКТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ. ЭФФЕКТ ПАМЯТИ

А.С. Золотько, В.Ф. Китаева, Н. Кроо, Л. Чиллаг

В смектическом жидком кристалле установлен эффект памяти искажений поля директора, вызванных узким световым пучком в области, в сотни и тысячи раз превышающей размеры светового пучка.

Первые результаты исследований структур, возникающих в смектических жидких кристаллах (СЖК) под действием лазерного излучения вблизи фазового перехода смектик — нематик, представлены в работе /1/. Было установлено, что в СЖК ОЦБФ (октил-циано-бифенил), находящемся вблизи точки перехода в нематическую фазу, под действием светового пучка образуется оптически неоднородная анизотропная пространственная область. Она может "вмораживаться" в кристалл и сохраняться длительное время (эффект памяти)*. Под действием достаточно мощного светового пучка в кристалле в зоне светового пучка может возникнуть стохастическое движение директора. При этом происходит разрушение первоначальной ориентации в области, размеры которой значительно превышают диаметр светового пучка, и эта область может сохраняться в кристалле также длительное время.

Целью настоящей работы явилось изучение особенностей формирования светоиндуцированных структур в широком интервале температур (от температуры кристалла на несколько градусов превышающую температуру фазового перехода нематик-смектик $t_c = 32,5^\circ\text{C}$ до комнатной температуры $t_0 = 20\text{—}21^\circ\text{C}$, т.е. практически от нематической фазы до нижней границы существования смектической фазы) и интенсивности светового излучения.

Как и в /1/, исследования проводились с гомеотропно ориентированными образцами ЖК ОЦБФ. Толщина исследованных образцов $L = 120$ мкм. Кювета с кристаллом помещалась в термостатируемую камеру.

Излучение одночастотного аргонового лазера ($\lambda = 4880 \text{ \AA}$) фокусировалось линзами с $f = 135$ и 20 мм в кювету. Интенсивность могла изменяться в пределах $10\text{—}60$ ($f = 135$ мм) и $60\text{—}400$ кВт/см² ($f = 20$ мм). За кюветой на пути луча помещался пленочный анализатор, а за ним экран, на

* Ранее /2, 3/ эффект памяти в смектиках наблюдался в образцах с сильно искусственно увеличенным поглощением.

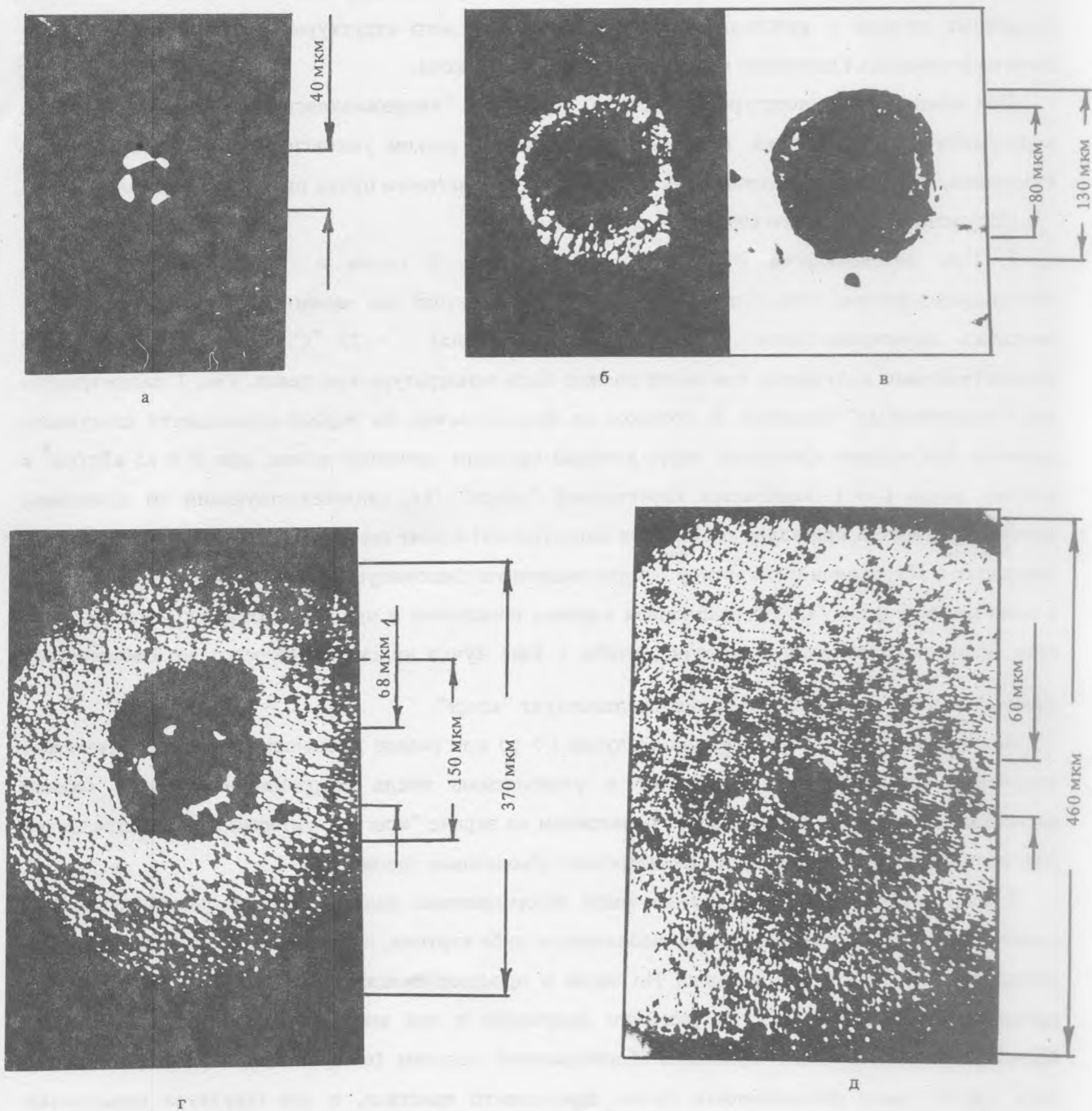


Рис. 1. Фотографии искажений, возникающих в кристалле под действием лазерного излучения с $P < 60 \text{ кВт/см}^2$, полученные с помощью поляризационного микроскопа (а, б, г, д — скрещенные поляризаторы, в — параллельные поляризаторы): а) $t = 35^\circ \text{C}$, $P = 10 \text{ кВт/см}^2$; б) $t = 27^\circ \text{C}$, уменьшение P от 60 до 30 кВт/см^2 ; в) $t = 35^\circ \text{C}$, $P = 30 \text{ кВт/см}^2$; г) $t = 31^\circ \text{C}$, $P = 50 \text{ кВт/см}^2$.

котором наблюдались изменения, происходящие с пучком при его взаимодействии с ЖК. Созданные пучком в кристалле и "вмороженные" в него структуры изучались визуально и фотографировались с помощью поляризационного микроскопа.

При комнатной температуре кристалла t_0 структуры "вмораживались" в кристалл при резком перекрытии светового пучка, при $t > t_0$ — либо при резком уменьшении мощности светового излучения, либо при охлаждении кристалла (мощность светового пучка при этом сохранялась).

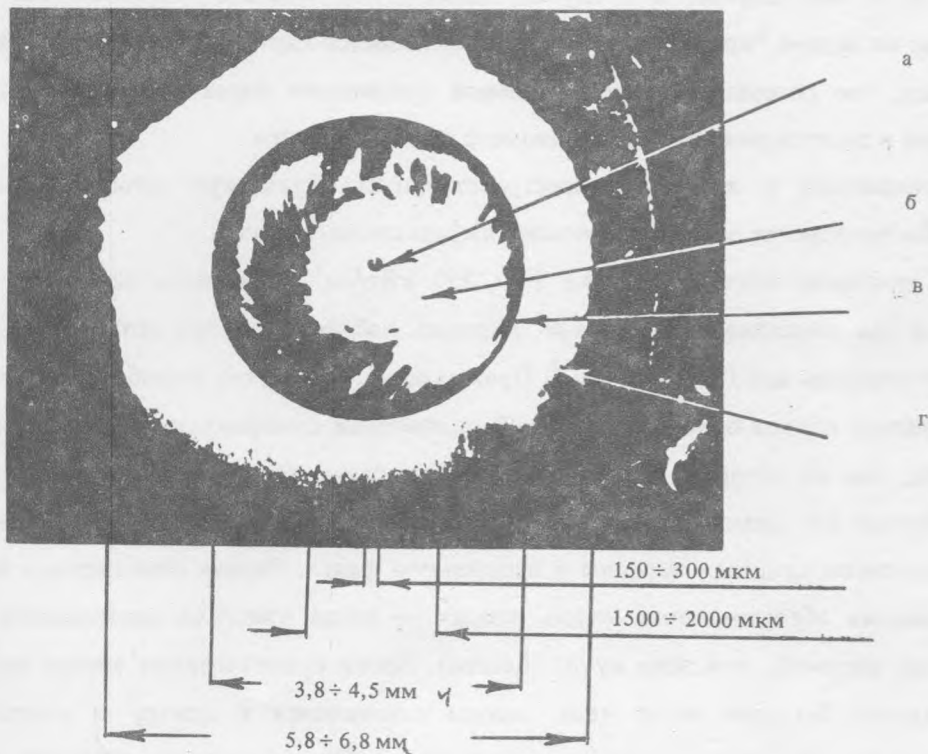
Полученные результаты сводятся к следующему:

1. При интенсивности $P < 60 \text{ кВт/см}^2$ создать, а потом и "вморозить" в кристалл светоиндуцированные структуры (искажения поля директора под влиянием светового излучения) оказалось возможным только при температуре кристалла $t > 27 \text{ }^\circ\text{C}$. Чем меньше мощность воздействующего излучения, тем выше должна быть температура кристалла. Рис. 1 иллюстрирует вид "вмороженных" структур. В процессе их формирования на экране наблюдается следующая картина: при нагреве кристалла, через который проходит лазерный пучок, при $P < 15 \text{ кВт/см}^2$ в момент, когда $t \sim t_c$ появляется характерный "крест" /1/, свидетельствующий об изменении оптических свойств кристалла (появлении анизотропии) в зоне светового пучка. При $t > t_c$ "крест" переходит в абберационную картину, сопровождающую светоиндуцированный переход Фредерикса в нематической фазе /4/. Абберационная картина появляется и при температуре кристалла $t < t_c$, если мощность излучения достаточна, чтобы в зоне пучка кристалл прогрелся до нематической фазы*. И в этом случае ее появлению предшествует "крест".

Включение охлаждения кристалла (случай $t > t_c$) или резкое уменьшение мощности светового излучения (случай $t < t_c$) приводит к уменьшению числа абберационных колец (общей расходимости пучка) и заканчивается появлением на экране "креста", который наблюдается до тех пор, пока в кристалле сохраняется анизотропное образование (часы и дни).

В тех случаях, когда уменьшение числа абберационных колец при охлаждении происходит плавно, непосредственно в кристалле наблюдается либо картина, представленная на рис. 1а-в, либо неискаженная структура кристалла. Но часто в процессе охлаждения кристалла, особенно при достаточно больших мощностях светового излучения и при высоких температурах кристалла, происходят стохастические колебания абберационной картины (по-существу, поля директора). В этом случае часто интенсивность пучка, прошедшего кристалл, и его структура продолжают изменяться и тогда, когда абберационная картина уже не наблюдается и температура кристалла

* Кристалл ОЦБФ практически прозрачен для видимого излучения, но при достаточно больших мощностях светового пучка поглощение в сине-зеленой области все же становится заметным.



б



в



г

Рис. 2. Фотография искажения, возникающего в кристалле под действием лазерного излучения с $P > 250 \text{ кВт/см}^2$. Общий вид структуры искажения получен методом темного поля, фрагменты отдельных колец (б — кольца полигональной текстуры, в — внешнего края полосатого кольца, г — кольца из сетки) — с помощью микроскопа.

существенно ниже t_c . И в этом случае, и в случае, когда стохастические колебания все же завершаются появлением на экране "креста", в кристалле наблюдается картина, представленная на рис. 1г-д, показывающая, что разрушение первоначальной ориентации директора происходит в области, размеры которой в десятки раз превышают диаметр светового пучка.

Световой пучок, создавший в кристалле пространственную оптическую неоднородность, дифрагирует на ней и обычно удается наблюдать систему дифракционных колец.

2. При плотности мощности светового пучка $P > 250$ кВт/см² становится заметным его воздействие на кристалл при комнатной температуре. Картина, наблюдаемая при этом на экране, несколько отличается от картины для $P < 60$ кВт/см². Прежде всего, она всегда нестабильна. Кроме того, наблюдаются не только кольца ориентационной абберационной самофокусировки, но и еще несколько систем колец, две из которых удалось идентифицировать. Они являются следствием дифракции светового пучка на прожигаемых им в кристалле "дырах" /5/ (областях, где в результате нагрева излучением кристалл перешел в изотропную фазу). Первая появляется в зоне луча в момент схлопывания абберационных колец, вторая — когда кристалл прогревается до изотропной фазы в более широкой, чем зона луча, области). Время существования систем колец ограничено. Оно составляет 1-3 мин после чего, кольца стягиваются к центру и исчезают ("схлопываются"), кроме второй системы дифракционных колец. Если перекрыть лазерный луч через 2-3 мин после "схлопывания" колец, то невооруженным глазом можно видеть, что в кристалле в широкой области (~ 7 мм) вокруг зоны луча произошли изменения в первоначальной ориентации директора (рис. 2). В кристалле образовалась сложная кольцевая структура. Под микроскопом можно рассмотреть детали этой структуры (рис. 2б,в,г). "Вмороженная" в кристалл картина тем стабильнее, чем дольше воздействовал на кристалл световой пучок. После воздействия в течение нескольких минут "вмороженные" структуры живут дни и недели.

Таким образом, установлен эффект памяти в смектическом жидком кристалле без искусственного увеличения его поглощения в широком температурном интервале до $t = 20-21$ °С. При достаточно большой плотности мощности искажения поля директора, созданные сине-зеленым излучением, остаются продолжительное время в кристалле в виде сложной системы колец, занимающей область в тысячу раз превышающую размеры поперечного сечения светового пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотько А.С., Китаева В.Ф., Терсков Д.Б. ЖЭТФ, 101, 1827 (1992).
2. Kahn F.J. Appl. Phys. Lett., 22, 111 (1973).
3. Taylor G.N., Kahn F.J. J. Appl. Phys., 45, 4330 (1974).
4. Золотько А.С. и др. ЖЭТФ, 81, 933 (1981).
5. Kitaeva V.F. et al. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 91, 137 (1983).

Поступила в редакцию 10 декабря 1992 г.