

СВЕТОИНДУЦИРОВАННАЯ ПЕРИОДИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА В ХЖК

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

Обнаружен новый нелинейный эффект: в холестерическом жидком кристалле под воздействием излучения аргон-криптонового лазера формируется периодическая решетка, на которой происходит дифракция этого излучения.

Известно, что под воздействием электрических и магнитных полей^{1,2}, нагрева³, механического напряжения⁴, температурного градиента⁵ в холестерических жидких кристаллах (ХЖК) могут возникать двумерные периодические структуры (квадратные решетки).

В настоящей работе сообщается о наблюдении светоиндуцированной решетки в ХЖК. Световой пучок не только создает периодическую структуру, но и дифрагирует на ней. Это позволяет, как и в случае светоиндуцированного эффекта Фредерикса⁶, использовать световой пучок для изучения создаваемой им структуры.

Свойства исследуемого кристалла

Исследовался образец ХЖК толщиной $L = 110$ мкм планарной ориентации. Жидкокристаллическое вещество состояло из 90% "смеси А" и 10% холестерилкаприната. Шаг спирали $P = 0,97$ мкм. Температурный интервал существования холестерической фазы практически совпадает с температурным интервалом существования намагнитической фазы у "смеси А". Верхняя граница этого интервала $\sim 72^\circ\text{C}$, нижняя граница $\sim 0^\circ\text{C}$. Материальные параметры "смеси А", при температуре 25°C : $n_e = 1,784$, $n_o = 1,540$ ($\lambda 589$ нм), $K_1 = 8,5 \cdot 10^{-7}$ дин, $K_2 = 7,2 \cdot 10^{-7}$ дин, $K_3 = 10,6 \cdot 10^{-7}$ дин⁷.

Условия эксперимента

Излучение аргон-криптонового ионного лазера непрерывного действия ИЛМ-120 (Карл Цейсс) фокусировалось с помощью объектива ($f = 270$ мм) в ХЖК. Плоскость кюветы была перпендикулярна волновому вектору падающего на кристалл излучения. С помощью двойного ромба Френеля и четвертьволновой пластинки (на $\lambda 633$ нм) достигались линейная или близкая к круговой поляризации света. Лазер ИЛМ-120 позволял получать излучение на длинах волн $\lambda 647$, 488 и 515 нм. Максимальная мощность излучения P на длине волны $\lambda 647$ нм составляла ~ 160 мВт, в сине-зеленой области $P_{\text{макс}} \sim 500$ мВт ($\lambda 515$ нм) и ~ 400 мВт ($\lambda 488$ нм). Поглощение исследованного кристалла с увеличением длины волны резко уменьшается (см. рис. 1). Все исследования проводились при температуре ХЖК $\sim 21^\circ\text{C}$.

Экспериментальные результаты

А. Возникновение двумерной решетки.

1. При освещении кристалла световым пучком с $\lambda 647$ нм наблюдалось весьма интересное явление: на экране, помещенном за кристаллом, возникала характерная для квадратных решеток дифракционная картина: светлые пятна, расположенные в узлах квадратной сетки (см. рис. 2). Обращает на себя внимание то, что пятна второго порядка (вдоль направления XX и YY) наиболее интенсивны.

Картина возникала не сразу после начала освещения кристалла, а через время T_3 (время задержки), зависящее от мощности P излучения светового пучка.

Через некоторое время T_c (время существования) картина исчезала. Исчезновение картины начинается с размытия пятен, ее образующих.

Время T_3 тем меньше, чем больше мощность пучка $P/T_3 \sim 30$ мин при $P = 40$ мВт, $T_3 \sim 10$ мин при $P = 60$ мВт и $T_3 \sim 1$ мин при $P = 120$ мВт). Время T_c также зависит от P . При $P = 80 \div 100$ мВт T_c порядка нескольких минут, при $P = 50 \div 60$ мВт T_c порядка десятков минут.

Состояние кристалла, при котором наблюдается дифракционная картина, сохраняется довольно длительное время (\sim нескольких минут) после прекращения освещения кристалла. Чтобы убедиться в этом, можно перекрыть на определенное время лазерный луч, затем снова осветить кристалл, уменьшив мощность пучка до $P \sim 1$ мВт. (При этой мощности никаких искажений в ХЖК не возникает и пучок играет роль зондирующего). Однако, если вместо красного луча пропустить зеленый или синий (λ 515 нм, λ 488 нм), (которые сильно поглощаются кристаллом) мощностью $P \geq 5$ мВт, то дифракционная картина исчезает практически сразу же, за время ~ 1 с, при $P \lesssim 1$ мВт время исчезновения увеличивается до десятков секунд. Большие мощности красной линии лазера, как и повышение температуры ХЖК, ухудшают условия создания и существования периодической структуры.

Таким образом картину можно "написать" красным лучом и "стереть" зеленым или синим. Описанная картина появляется как при линейной (произвольного направления), так и при близкой к круговой поляризации падающего на ХЖК излучения. При этом величины T_3 и T_c существенно не изменяются. Поляризация пучка, прошедшего ХЖК (нулевой порядок дифракционной картины), мало отличается от линейной (при падающей линейной). Однако плоскость поляризации поворачивается. Угол поворота плоскости поляризации за время T_3 и T_c изменяется на $20 \div 25^\circ$. Исследования с клиновидным образцом ХЖК показали, что направление вращения такое же, как и при уменьшении толщины ХЖК, т. е. при образовании периодической решетки в ХЖК угол вращения плоскости поляризации уменьшается. Это указывает на искажения спирали ХЖК.

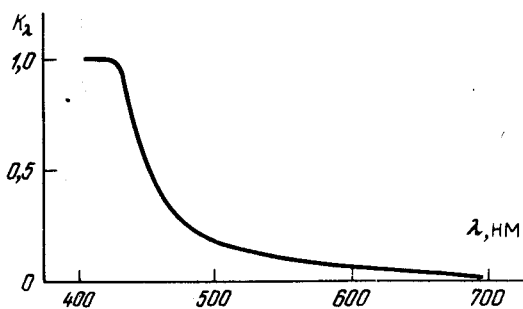


Рис. 1. Зависимость коэффициента K_λ поглощения ХЖК от длины волны

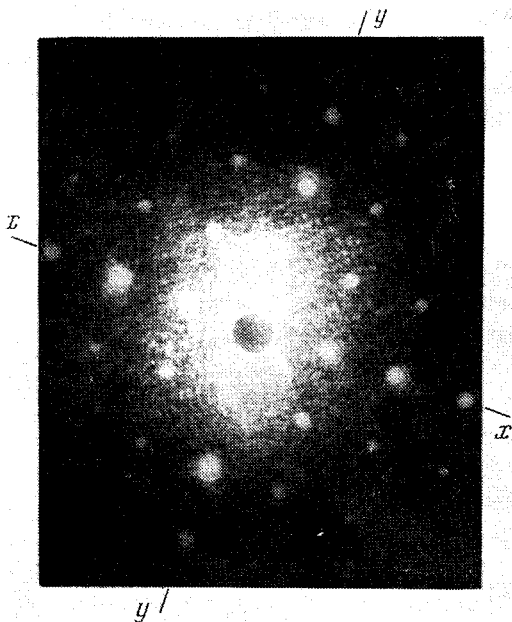


Рис. 2. Фотография картины дифракции на двумерной решетке, созданной узким световым пучком ($P = 100$ мВт, $\delta\theta \sim 0.04$ рад). Темное пятно в центре картины — результат экранировки (во избежание засветки фотопленки) пучка, прошедшего ХЖК

Поляризация дифракционных пятен на направлениях XX и YY (рис. 2) полностью совпадает с поляризацией пучка, прошедшего ХЖК.

II. По угловому расстоянию $\delta\theta$ между дифракционными максимумами можно оценить период Λ светоиндуцированной решетки ($\Lambda = \lambda / \delta\theta$). При $L = 110$ мкм он равен 15 мкм. С уменьшением толщины ХЖК Λ уменьшается.

Для решеток, создаваемых механическими напряжениями или однородным электрическим полем в 4 и 2 , получено выражение, связывающее их период с константами Франка, шагом спирали и толщиной кристалл: $\Lambda = (3K_3 / 2K_2)^{1/4} (pL)^{1/2}$. Использование этого соотношения дает величину $\Lambda = 13$ мкм, которая удовлетворительно согласуется с экспериментом.

Возможными причинами образования решетки в узком световом пучке могут быть переориентация директора под действием его электрического поля или механические напряжения которые могут возникнуть из-за изменения шага спирали при нагреве ХЖК лазерным лучом.

Так как наблюдавшаяся нами решетка легко разрушается излучением, сильно поглощаемым кристаллом (λ 515 нм и λ 488 нм), и большие мощности излучения на длине волны λ 647 нм (когда становится заметным влияние его поглощения) ухудшают условия ее создания и существования, более вероятной причиной образования квадратной решетки в лазерном пучке, по-видимому, является электрическое поле световой волны. Возможно также, что определенную роль в формировании квадратной решетки играет механическое напряжение, связанное с поперечной неоднородностью электрического поля узкого светового пучка.

Б. Тепловая самофокусировка светового пучка

I. Световой пучок с длиной волны λ 488 нм, проходя ХЖК, уширяется. На экране за кристаллом наблюдается при этом характерная картина теплового абберационного самовоздействия. Она состоит из двух систем колец с правой и левой циркулярной поляризациями. Расходимость и число абберационных колец зависят от мощности излучения P и направления циркулярной поляризации. При $P = 140$ мВт расходимость пучка $\sim 0,05$ рад.

II. Самовоздействие светового пучка с длиной волны λ 515 нм происходит аналогично, но та же расходимость пучка достигается при большей его мощности.

III. При мощности $P = 200$ мВт (λ 488 нм) наблюдается еще одна система эквидистантно расположенных колец, интенсивность которых значительно меньше интенсивности первых двух.

IV. Как видно из рис. 1, излучение с длиной волны λ 488 нм заметно поглощается исследуемым кристаллом. Это, естественно, приводит к тепловому самовоздействию пучка. Поскольку в холестерическом жидком кристалле вдоль оси спирали распространяются две нормальные волны с круговой поляризацией^{1, 2}, то каждая из них на экране дает свою систему колец. Зависимость расходимости и интенсивности колец от направления круговой поляризации связана с различием показателей преломления и коэффициентов поглощения, возникающих в ХЖК нормальных волн.

V. Система эквидистантно расположенных колец, возникающая при увеличении мощности светового пучка — результат дифракции света на "дырах"^{3, 4}, возникающих в ХЖК за счет его нагрева лазерным пучком.

Итак, узкий световой пучок может создавать в ХЖК двумерную решетку искажений поля директора и дифрагировать на ней.

Этот эффект интересен с точки зрения технических приложений — записи и хранения информации. Информацию можно записывать красным и стирать зеленым лучом.

Авторы глубоко благодарны М.И.Барнику и С.В.Беляеву за полезные обсуждения рассмотренных в статье вопросов.

Литература

1. *де Жен П.* Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977.
2. *Блинов Л.М.* Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978.
3. *Eber N.* Undulation instability in compensated cholesterics, Reprint KFKJ — 1984 — 86, Budapest, 1984.
4. *Scaramuzza N., Bartolino R., Barbero G.* J. Appl. Phys., 1982, 53, 8593.
5. *Dubois-Violette E.* J. Phys. (Fr.), 1973, 34, 107.
6. *Китаева В.Ф., Золотко А.С., Соболев Н.Н.* УФН, 1982, 138, 324.
7. *Барник М.И., Беляев С.В., Гребенкин Н.Ф., Румянцев В.Р., Селиверстов В.А., Цветков В.А., Штыков Н.М.* Кристаллография, 1978, 23, 805.
8. *Kitaeva V.F., Sobolev N.N., Zolotko A.S., Csillag L., Kroo N.* Mol. Cryst. Liq. Cryst., 1983, 91, 173.

Поступила в редакцию

28 марта 1986 г.

После переработки

21 апреля 1986 г.