

**ФЛЕКСОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ.  
ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА В ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕОДНОРОДНОМ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

А.В. Парфенов, В.Г. Чигринов

*Экспериментально исследованы особенности оптического отклика флексо-электрического эффекта в жидком кристалле с малой и нулевой диэлектрической анизотропией, находящегося в пространственно-неоднородном периодическом во времени электрическом поле.*

Для жидких кристаллов (ЖК) электрооптический эффект в пространственно-неоднородном электрическом поле характеризуется анизотропией оптического отклика и отсутствием порога переориентации молекул для перехода Фредерикса /1/. При малых значениях анизотропии диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_a \approx 0$ ) — что является практически важным случаем /2/ — возможно возникновение флексоэлектрического эффекта /3/ прежде, чем произойдет переход Фредерикса. Необходимым условием этого является превышение флексоэлектрического момента над диэлектрическим:  $(\epsilon_{11} + \epsilon_{33})U > \epsilon_a U^2 / 4\pi$ , где  $\epsilon_{11}, \epsilon_{33}$  — флексоэффекты,  $U$  — потенциал пространственно-неоднородного поля /4/.

В данной работе экспериментально исследуются связанные с флексоэффектом особенности поведения оптического отклика ЖК в пространственно-неоднородном переменном во времени электрическом поле. Измерялся оптический отклик, возникающий в результате дифракции считывающего светового луча на периодической решетке показателя преломления в слое ЖК на участке структуры фотополупроводник — ЖК, освещаемой световой картиной с пространственной периодичностью.

Пространственно-неоднородное электрическое поле в слое ЖК имеет продольную компоненту, направленную вдоль директора для исходной гомеотропной ориентации молекул, и поперечную компоненту, лежащую в плоскости слоя ЖК. Пространственная неоднородность обеих компонент вызывает флексоэлектрический эффект, т.е. отклонение осей молекул ЖК на угол  $\Theta$  в направлении, определяемом градиентами компонент электрического поля (рис. 1). При смене знака питающего напряжения знак градиента изменяется, а вместе с ним и угол наклона молекул меняется от  $\Theta$  к  $-\Theta$ . В процессе такой переориентации в какой-то момент времени молекулы ЖК проходят через положение  $\Theta = 0^\circ$  и слой ЖК становится пространственно-однородным гомеотропно-ориентированным. В итоге, наблюдение временного поведения интенсивности дифракционных порядков обнаруживает периодическую зависимость с частотой, равной удвоенной частоте питающего напряжения (рис. 2а, б).

Равенство оптических откликов на положительный и отрицательный полупериоды питающего напряжения может нарушаться, например, при отклонении направления падения считывающего луча света от нормали к слою ЖК (положение 2 на рис. 1). При наклонном падении светового луча имеем уже асимметричный отклик: в один из полупериодов напряжения он уменьшается, в другой — возрастает (рис. 2в).

Подобного поведения при переходе Фредерикса, обусловленном диэлектрическим взаимодействием электрического поля с ЖК, оптический отклик не обнаруживает. Во временных зависимостях интенсивности первого дифракционного порядка как при гомеотропной, так и при планарной исходной ориентации молекул в слое ЖК с  $\epsilon_a/\epsilon \ll 1$  наблюдается качественно одна и та же картина (рис. 2г, д). Осцилляции над некоторым постоянным уровнем сигнала в данном случае обусловлены следующей причиной: молекулы ЖК переориентируются в оба полупериода питающего напряжения в одну и ту же сторону. Постоянная составляющая сигнала возникает, как всегда в таких случаях, в силу инерции процесса переориентации молекул ЖК.

Инерционность, обусловленная вязкостью и упругостью ЖК, свойственна поведению отклика и в случае наблюдения флексоэффекта. Но поскольку для периодического во времени переменного напряжения отклик на положительный полупериод напряжения как бы вычитается из отклика на предыдущий

отрицательный полупериод, то инерционность здесь проявляется в виде фазового сдвига ( $\Delta\varphi$ ) между питающим напряжением и откликом (рис. 2а, б).

Флексоэлектрический эффект очевидно наблюдается в ограниченном диапазоне напряжений (в случае наших экспериментов — до 20 В), так как при возрастании напряжения начинает преобладать диэлектрический эффект. Форма отклика при этом искажается и, помимо второй, возникают нечетные гармоники — первая, третья и т.д. (рис. 2е). Они обусловлены суммарным движением молекул ЖК в результате действия обоих эффектов.

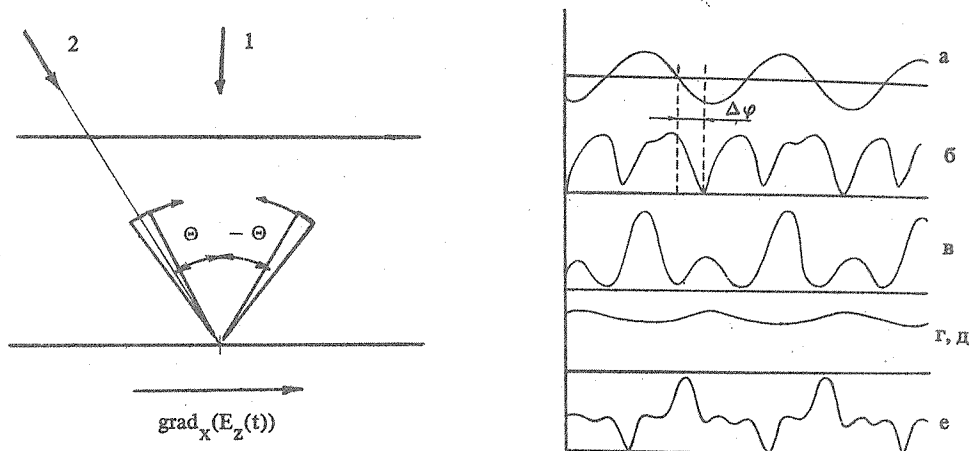


Рис. 1. Схема переориентации директора ЖК в пространственно-неоднородном периодическом во времени поле ( $\text{grad}_x E_z(t)$ ); 1,2 — направления световых лучей при нормальном и наклонном падении.

Рис. 2. Осциллограммы питающего напряжения (а) и оптического отклика ЖК (б-е) в пространственно-неоднородном поле при следующих условиях: нормальное падение, гомеотропная ориентация  $\epsilon_a = 0$ ,  $U = 20$  В (б); наклонное падение света ( $5-10^\circ$ ), гомеотропная ориентация,  $\epsilon_a = 0$ ,  $U = 20$  В (в); планарная ориентация,  $\epsilon_a = 10$  (г); гомеотропная ориентация,  $\epsilon_a = 10$  (д); гомеотропная ориентация,  $\epsilon_a = 0$ ,  $U = 80$  В (е). На рисунке сохранен лишь масштаб по оси времени.

Действительно, форму оптического отклика, можно представить в виде  $\Theta(t) = \Theta_m(t) \exp[i(k_x x + k_z z)]$ , тогда, согласно [4],

$$\Theta_m \propto \frac{k_x k_z}{K_{33} k_z^2 + K_{11} k_x^2} [(e_{11} + e_{33})U - \frac{\epsilon_a}{4\pi} U^2], \quad (1)$$

где  $U = U(t)$ ;  $k_x, k_z$  — волновые векторы деформации в плоскости слоя и перпендикулярно слою ЖК;  $K_{11}, K_{33}$  — упругие константы ЖК. Фазовая задержка при малых  $\Theta$

$$\delta \approx \pi L n_{||} (n_{||}^2 - 1) \Theta^2 / \lambda \propto \Theta^2.$$

Здесь  $L$  — толщина слоя ЖК;  $n_{||}, n_{\perp}$  — компоненты тензора коэффициента преломления;  $\lambda$  — длина волны считывающего света. При  $U = U_0 \sin \omega t$  в условиях флексоэффекта, когда  $\epsilon_a = 0$ , с учетом (1)  $\delta \propto \Theta_m^2 \propto U^2 \propto \sin^2 \omega t$ . При переходе Фредерикса, когда уже есть какой-то угол наклона  $\Theta_0$ , соответствующий постоянной составляющей в отклике, имеем

$$\delta \propto (\Theta_0 + \Theta_m)^2 \propto \Theta_0^2 + 2\Theta_0 \Theta_m + \Theta_m^2.$$

Второй член этого выражения (учитывая (1)) указывает на наличие первой (обусловлена флексоэффектом) и второй гармоник, третий член — первой, второй, третьей и четвертой.

Таким образом, для ЖК с малой диэлектрической анизотропией ( $\epsilon_a \approx 0$ ) в пространственно-неоднородном электрическом поле поведение оптического отклика обусловлено флексоэлектрическим эффектом. Его характерной особенностью является симметрия колебания молекул ЖК относительно исходной ориентации, обуславливающая отсутствие характерного для перехода Фредерикса постоянного уровня сигнала, а также приводящая к удвоению частоты пульсаций отклика.

Указанные особенности могут быть использованы практически. Например, то что отклик оказывается модулированным удвоенной частотой питающего напряжения, может быть использовано для детектирования этого отклика на фоне рассеянного света. Кроме того, результаты данной работы говорят о возможности использования ЖК с  $\epsilon_a \rightarrow 0$ , что является практически важным [2], так как способствует повышению разрешающей способности слоя ЖК.

Авторы благодарят В.В. Беляева и И.Н. Компанца за полезное обсуждение результатов, Н.В. Волкова и В.В. Козенкова за помощь в экспериментах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Chigrinov V.G., Kompanets I.N., Vasiliev A.A. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 55, 193 (1979).
2. Компанец И.Н., Парфенов А.В., Попов Ю.М. Квантовая электроника, 7, 290 (1980).
3. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М., Наука, 1979.
4. Чигринов В.Г. и др. Препринт ФИАН № 112, М., 1986.

Поступила в редакцию 29 апреля 1987 г.