

ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ С МАЛЫМ ШАГОМ ГЕЛИКОИДА И ВЫСОКОЙ ВЕЛИЧИНОЙ СПОНТАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Л.А. Береснев, Л.М. Блинов, Д.И. Дергачев, С.Б. Кондратьев

Описаны особенности нового электрооптического эффекта в геликоидальном сегнетоэлектрическом жидком кристалле, заключающегося в изменении под действием электрического поля усредненной по времени и апертуре пучка света анизотропии коэффициента преломления.

В данной статье мы сообщаем об обнаруженных нами особенностях динамики геликоидальной структуры в планарно ориентированном слое сегнетоэлектрического жидкого кристалла¹, обладающего малым шагом спирали $p_0 = 0,3 \div 0,4$ мкм и высокой величиной спонтанной поляризации $P_c = 70$ нКл/см². При таком малом шаге в слое толщиной вплоть до 3 мкм геликоидальная структура сохраняется, поскольку выполняется соотношение $d \gg p_0$.

В эксперименте планарная ориентация слоя задавалась с помощью натирания внутренних поверхностей прозрачных электродов ячейки, имеющих покрытие из смеси поливинилбутираля и феноло-формальдегидной смолы. Для достаточно широкого пучка света с диаметром сечения $D \gg p_0$, падающего перпендикулярно поверхностям электродов, ЖК-слой в оптическом отношении характеризуется оптической осью $\langle n \rangle$, совпадающей с осью OZ геликоида, хотя локально оптическая ось ведет себя, конечно, как длинные оси молекул (директор n), и испытывает непрерывную прецессию при движении вдоль оси Z (рис. 1, б). После усреднения по апертуре пучка света (или по оси Z) оптику такого ЖК-слоя можно описывать усредненной индикатриссой коэффициента преломления, которая в сечении, параллельном поверхностям электродов, имеет длинную ось $\langle n_e \rangle$, направленную вдоль Z , и перпендикулярную ей короткую ось $\langle n_o \rangle$, (рис. 1, в). Обозначим усредненную по апертуре пучка света анизотропию коэффициента преломления $\langle \Delta n \rangle = \langle n_e \rangle - \langle n_o \rangle$, которая, разумеется, меньше таковой для полностью раскрученного геликоида $\Delta n = n_e - n_o$. Отметим, что теоретический расчет и описание полевой зависимости $\langle n_e \rangle$ приведены в работе².

Усредненная по оси Z анизотропия $\langle \Delta n \rangle$, так же как и Δn определялись по методике, описанной в³, из известной толщины ЖК-слоя d и фазовой задержки Φ , найденной из соотношения

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \operatorname{tg} 2\beta \cos \Phi, \quad (1)$$

где α – угол между оптической осью одноосной пластинки и плоскостью поляризации падающего света, β – угол поворота длинной оси эллипса поляризации выходящего из ЖК-слоя эллиптически поляризованного света. В нашем случае для длины волны $\lambda = 0,633$ мкм $\Delta n = 0,248$, в то время как усредненная по оси Z анизотропия $\langle \Delta n \rangle = 0,099$.

При приложении слабого внешнего электрического поля E перпендикулярно поверхностям электродов, синусоидальное распределение азимутального угла $\varphi(Z) = \sin(2\pi/p_0)Z$ деформируется, причем чем выше величина поля заданной полярности, тем ближе распределение $\varphi(Z)$ к одному из двух однородных состояний, в которые переходит геликоидальный сегнетоэлектрический ЖК в больших полях $E \gg E_c$, где E_c – поле полной раскрутки геликоида. Длинная ось $\langle n_e \rangle$ усредненной по оси Z (или апертуре пучка света) индикатриссы коэффициента преломления отклоняется пропорционально приложенному полю (линейный электрооптический эффект^{1, 4, 5}). В нашем случае это отклонение происходило с высокой скоростью и даже для десятых долей вольта выход осциллограммы отклика на уровень 0,9 составлял $200 \div 250$ мкс при толщине слоя $d = 3,2$ мкм.

В случае подачи знакопеременных импульсов прямоугольной формы с амплитудой $U_{\text{пл}} = \pm 1,5$ В угол $\langle \theta \rangle$ отклонения оси $\langle n_e \rangle$ достигал 20° при частоте меандра 100 Гц. По-

вышение частоты импульсов уменьшает угол $\langle \theta \rangle$, для которого успевает отклониться длинная ось $\langle n_e \rangle$ за время полупериода меандра (рис. 2). Усредненная по оси Z анизотропия коэффициента преломления в крайних положениях, соответствующих моменту переключения полярности поля, практически не зависит от амплитуды импульсов, $\langle \Delta n \rangle \approx 0,1$ вплоть до напряжения $U_{\text{Л}} = \pm 1,5$ В для $f = 100$ Гц, когда в динамику деформации геликоида начинает вовлекаться движение линий дехирализации, стыкующих плоскую поверхность электродов с геликоидальной структурой жидкого кристалла ⁶. При дальнейшем повышении амплитуды меандра происходит переход в хорошо известный эффект переключения директора ^{5, 7} на удвоенный угол наклона θ длинных осей молекул. Усредненная по оси Z анизотропия $\langle \Delta n \rangle$ скачком переходит в молекулярную анизотропию $\Delta n \approx 0,25$. Переход $\langle \Delta n \rangle$ в Δn при высоких амплитудах поля мы не интерпретируем из-за недостатка необходимых экспериментальных данных, а рассмотрим теперь наиболее интересный, с нашей точки зрения, электрооптический эффект в описываемой структуре, наблюдаемый в малых полях $E < E_c$ при частотах знакопеременного напряжения более высоких, чем те, которые может отслеживать глаз, например, $f > 50$ Гц.

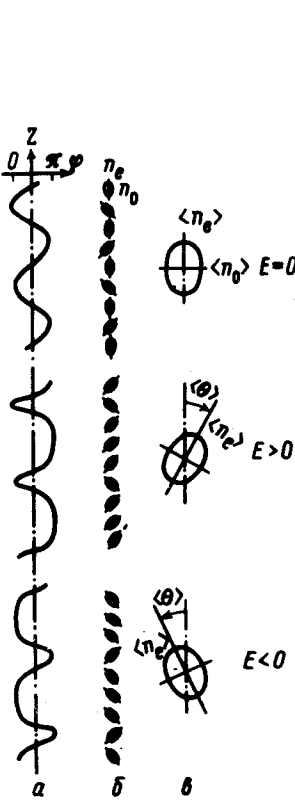


Рис. 1

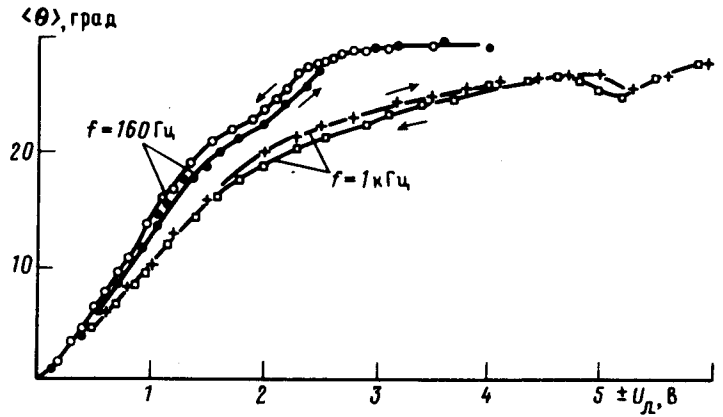


Рис. 2

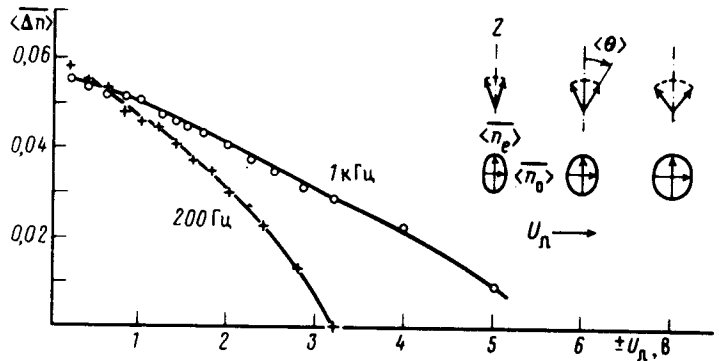


Рис. 3

Рис. 1. а – Распределение азимутального угла φ плоскости наклона молекул в геликоидальном сегнетоэлектрическом жидком кристалле ⁸; б – локальное распределение индикатриссы коэффициента преломления, в – усредненная индикатрисса коэффициента преломления в слабом электрическом поле E

Рис. 2. Зависимость угла отклонения $\langle \theta \rangle$ длинной оси $\langle n_e \rangle$, усредненной по апертуре пучка света индикатриссы коэффициента преломления, от амплитуды импульсов $\pm U_{\text{Л}}$ и частоты f управляющего знакопеременного напряжения (меандра). Толщина ЖК-слоя 3,2 мкм, угол наклона молекул $\theta = 29,5^\circ$, температура

Рис. 3. Зависимость усредненной по времени и апертуре пучка света анизотропии $\langle \Delta n \rangle$ коэффициента преломления геликоидального сегнетоэлектрического жидкого кристалла от амплитуды $\pm U_{\text{Л}}$ и частоты f знакопеременного напряжения (меандр). Толщина ЖК-слоя 3,4 мкм, угол наклона молекул $\theta = 29,5^\circ$.

На вставке: эволюция индикатриссы $\langle \Delta n \rangle$ с увеличением амплитуды $U_{\text{Л}}$

Благодаря возможности высокочастотного переключения направления длинной оси $\langle n_e \rangle$ усредненной по оси Z , или (что то же самое) по апертуре пучка света индикатриссы коэффициента преломления, и тому, что амплитуда $\langle \theta \rangle$ размаха колебаний $\langle n_e \rangle$ пропорциональна амплитуде импульсов $U_{\text{п}}$ знакопеременного напряжения фиксированной частоты, появляется электрооптический эффект, связанный с инерционностью глаза наблюдателя. Моделируя глаз, временное разрешение которого около 0,05 с, фотоумножителем с соответствующей электрической постоянной $RC \approx 0,1$ с, мы реализовали условие $RC \gg f^{-1}$ и измерили усредненную по времени анизотропию $\langle \Delta n \rangle$, которую обозначим $\langle \overline{\Delta n} \rangle$. Измерение уже дважды усредненной (по времени и апертуре пучка света) анизотропии коэффициента преломления $\langle \Delta n \rangle$ осуществлялось как $\langle \Delta n \rangle$ и Δn с помощью соотношения (1) по методике ³.

Из рис. 3 видно, что, во-первых, $\langle \overline{\Delta n} \rangle$ падает с увеличением амплитуды $U_{\text{п}}$ импульсов меандра данной частоты, а при некотором значении $U_{\text{п}}$ может обратиться в нуль и даже, видимо, сменить знак, что отражает "распухание" эллипса усредненной по времени индикатриссы коэффициента преломления $\langle \overline{\Delta n} \rangle$ за счет увеличения короткой оси $\langle n_o \rangle$, связанного с ростом амплитуды $\langle \theta \rangle$ (см. рис. 3, вставка). Во-вторых, увеличение частоты f приводит к уменьшению изменения $\langle \overline{\Delta n} \rangle$ при фиксированной амплитуде импульсов $U_{\text{п}}$. В-третьих, приведенные на рис. 3 зависимости $\langle \overline{\Delta n} \rangle$ от $U_{\text{п}}$ и f для разных длин волн видимого света различаются между собой из-за дисперсии двулучепреломления. Для белого света это различие проявляется в том, что в скрещенных поляроидах изменение амплитуды или частоты знакопеременного напряжения приводит к видимому изменению цвета выходящего через анализатор света.

Таким образом, обнаруженные нами новые электрооптические возможности тонких слоев сегнетоэлектрического жидкого кристалла с малым шагом геликоида и высокой величиной спонтанной поляризации могут представлять интерес для разработки низковольтных быстродействующих модуляторов света, электрически управляемых светофильтров, преобразователей изображения и т. д.

Литература

1. Meyer R.B., Liebert L., Keller P. J. Physique Lett., 1975, 36, L69.
2. Островский Б.И., Чигринов В.Г. Кристаллография, 1980, 25, 560.
3. Baikalov V.A., Beresnev L.A., Blinov L.M. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 1985, 127, 397.
4. Martinot-Lagarde P.P. J. Physique, 1976, 37, C3 -129.
5. Островский Б.И., Рабинович А.З., Сонин А.С., Струков Б.А. ФТТ, 1979, 21, 917.
6. Brunet M., Williams Cl. Ann. Phys., 1978, 3, 237; Glogarova M., Fousek J., Lejek L., Pavel J. Ferroelectrics, 1984, 58, 161.
7. Clark N.A., Lagerwall S.T. Appl. Phys. Lett., 1980, 36, 899.
8. Ostrovski B.I., Rabinovich A.Z., Chigrinov V.G. Advances in Liq. Cryst. Research and Applications, ed by L.Batta. Pergamon Press, Oxford - Akad. Kiado, Budapest; 1980, p. 469.