

ДИНАМИКА ОПТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА В ФАЗЕ С* С МАЛЫМ ШАГОМ СПИРАЛИ ПРИ ЛЕНЕЙНОМ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ

З.М. Бродзели, А.Ф. Денисов, И.Н. Компанец, А.В. Парфенов,
В.Г. Чигринов, Е.П. Пожидаев

Изучена динамика электрооптического отклика гомеотропно-ориентированного сегнетоэлектрического жидкого кристалла в фазе С с малым шагом спирали. Определена зависимость глубины модуляции от параметров считывающего света и управляющего импульса. Достигнуто минимальное время цикла переключения 60 мкс при контрасте 2 : 1.*

Оптические свойства и динамика отклика смектических жидких кристаллов в сегнетоэлектрической фазе С* (С*ЖК) изучены при линейном электрооптическом эффекте в образцах с планарной ориентацией молекул [1, 2]. Наблюдение линейного электрооптического эффекта в С*ЖК возможно и в гомеотропной ориентации, когда ось геликоида С*ЖК перпендикулярна подложкам. Достоинством такой ориентации является ее стабильность и простота получения в экспериментальных условиях. Поэтому изучение электрооптических эффектов в гомеотропно-ориентированных образцах, являющееся предметом настоящей работы, помимо самостоятельного научного представляет и практический интерес: одно из основных требований к создаваемым ЖК устройствам — технологичность изготовления и надежность в работе.

В экспериментах использовался С*ЖК с малым шагом геликоида [3]. Температурный диапазон фазы С* составлял от +8 до +63 °С, угол наклона молекул в слоях $\theta = 21^\circ$, разность показателей преломления $\Delta n = 0,2$, шаг спирали $p = 0,38$ мкм. Слой ЖК толщиной 5 мкм помещали между двумя стеклянными пластинами, причем на внутренней поверхности одной из них была нанесена система встречно-штыревых электродов (ВШЭ) с шагом 26 мкм, зазором между ними 17 мкм и рабочей площадью 5×5 мм². Образец помещался между поляризатором и анализатором. Схема установки представлена на рис. 1.

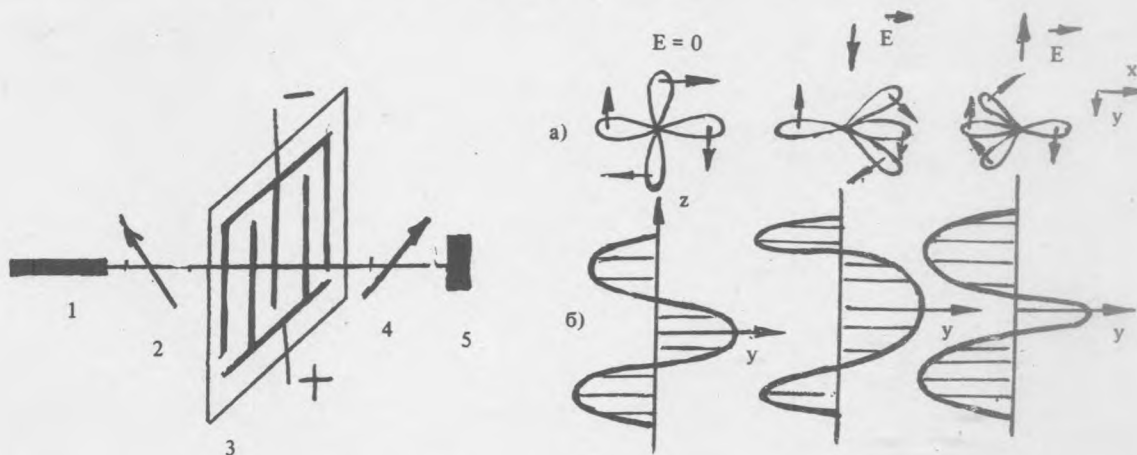


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — источник света, 2 — поляризатор, 3 — ЖК ячейка, 4 — анализатор, 5 — ФЭУ.

Рис. 2. Деформация геликоида при различных направлениях внешнего поля: вид в плоскости перпендикулярной (а) и параллельной (б) оси симметрии геликоида.

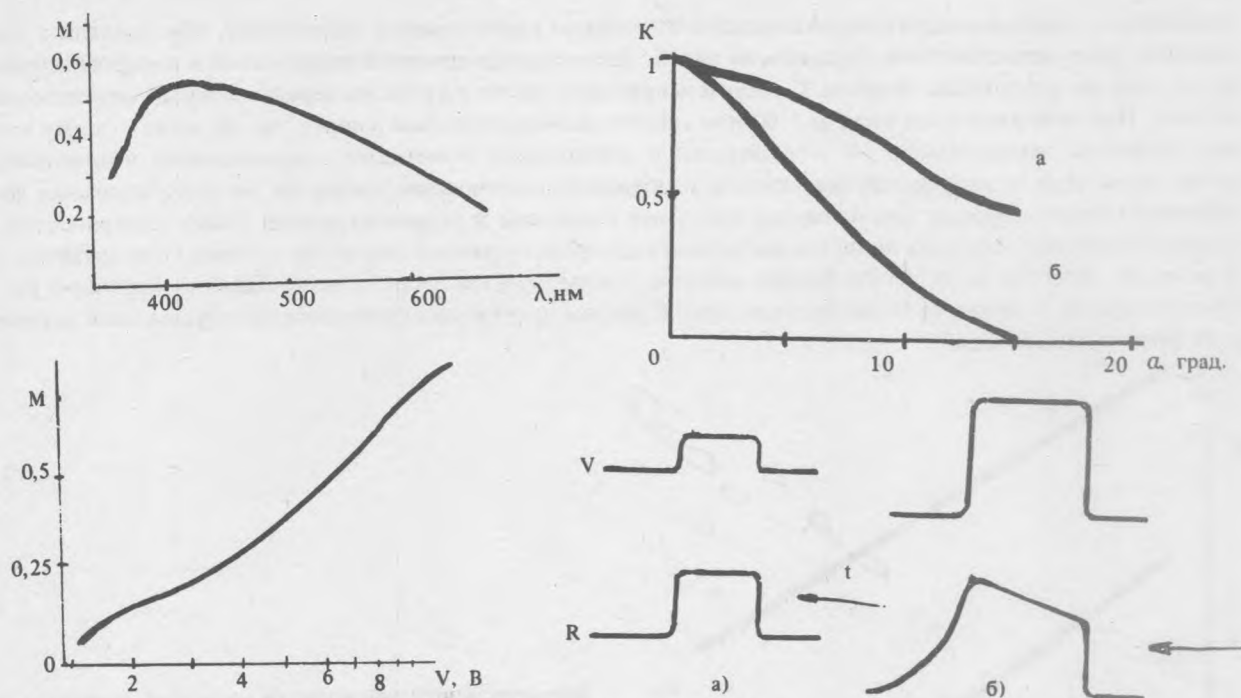


Рис. 3. Зависимость глубины модуляции от длины волны считывающего света.

Рис. 4. Зависимость контраста оптического отклика от угла падения считывающего света в плоскости параллельной (а) и перпендикулярной (б) системе ВШЭ.

Рис. 5. Зависимость глубины модуляции от управляющего напряжения.

Рис. 6. Осциллограммы отклика при частичной (а) и полной (б) раскрутке геликоида.

В гомеотропно-ориентированном слое С*ЖК ось оптической гиротропии совпадает с осью геликоида и параллельна оси двулучепреломления с усредненной анизотропией показателя преломления $\Delta n = 0,1$. Для света, распространяющегося вдоль нормали к плоскости образца, среда является изотропной, но оптически активной. Значение удельного оптического вращения составляет 1,36 град/мкм.

При наложении электрического поля перпендикулярно оси геликоида спираль деформируется: часть дипольных моментов молекул выстраивается вдоль поля, число таких молекул в спирали растет, а исходно-ориентированных уменьшается (рис. 2). Поскольку переориентация осуществляется при постоянном угле наклона молекул θ за счет изменения азимутального угла φ , то для того же направления света появляется оптическая анизотропия слоя. Усредненная по ориентациям молекул оптическая ось С*ЖК поворачивается в сторону ориентации наибольшего количества молекул, т.е. по полю.

В данной работе исследована зависимость глубины модуляции от параметров возбуждающего сигнала и условий возбуждения. В интервале длин волн 400 – 700 нм снята зависимость глубины модуляции от длины волны считывающего света (в качестве источника света использовали монохроматор).

При толщине ячейки $L = 5$ мкм глубина модуляции максимальна в интервале длин волн 400 – 440 нм (рис. 3). На участке длин волн до 400 нм спад глубины модуляции обусловлен ростом поглощения света в ЖК. Спад на участке от 440 до 600 нм связан с уменьшением фазовой задержки $F = 2\pi\Delta n \sin \theta / \lambda$ с длиной волны.

На рис. 4 показана зависимость контраста оптического отклика от угла падения считывающего света в двух плоскостях – параллельной и перпендикулярной системе ВШЭ. Наблюдаемая угловая анизотропия во включенном состоянии (спираль раскручена) обусловлена зависимостью разности хода между обыкновенным и необыкновенным лучами от угла падения считывающего света. При падении света в плоскости, параллельной электродам (рис. 4а), угол между наведенной оптической осью ЖК и направлением распространения света больше, чем при падении света в плоскости, перпендикулярной ВШЭ (рис. 4б), что приводит к большему значению набега фазы.

Зависимость глубины модуляции оптического отклика от управляющего напряжения, обусловленная изменением двулучепреломления, показана на рис. 5. Здесь показан диапазон напряжений, в котором наблюдалась упругая деформация спирали. С ростом напряжения растет и крутизна переднего фронта оптического отклика. При напряженности поля ≥ 1 В/мкм спираль деформироваться упруго уже не может: этому мешают дефекты дехирализации /4/ – молекулы с дипольными моментами, сохранившими направление против поля. Для полной раскрутки спирали необходимо исчезновение дефектов, но при увеличении напряженности поля дефекты перемещаются вдоль оси геликоида к ограничивающим ячейку поверхностям. Скорость движения дефектов является медленной и по времени данный механизм сравним с квадратичным по полю /4/. Поэтому на переднем фронте отклика помимо крутой части, ответственной за неполную раскрутку спирали, появляется более пологая часть. С ростом напряжения увеличивается крутизна как первой части фронта, так и второй.

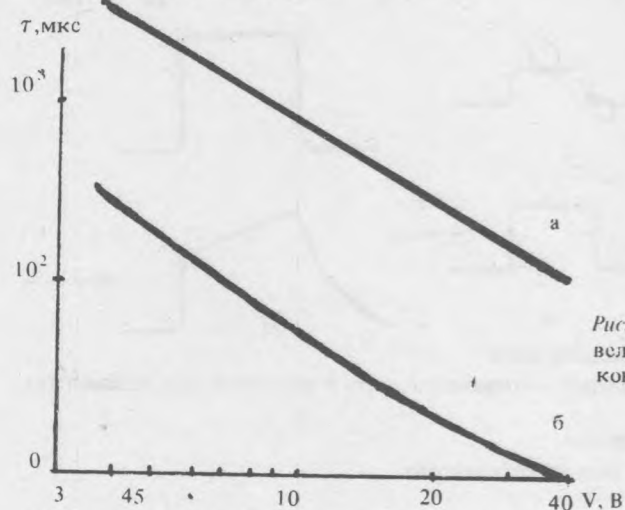


Рис. 7. Зависимость времени неполной раскрутки геликоида от величины напряжения управляющего электрического поля при контрасте 9 : 1 (а), 2 : 1 (б).

В зависимости от напряжения изменяется не только форма переднего фронта, но и характер релаксации ЖК в свое первоначальное (закрученное) состояние. При малых напряжениях (рис. 6а) происходит быстрое восстановление отклика, что является следствием упругой раскрутки спирали. При увеличении напряжения процесс раскрутки замедляется (рис. 6б).

В решении проблемы быстродействия ЖК устройств большой интерес представляют зависимости времени неполной раскрутки спирали от напряжения управляющего импульса при максимальном контрасте 2 : 1, 5 : 1, 9 : 1. С учетом времени задержки и релаксации отклика достигнуто минимальное время цикла переключения 60 мкс при напряжении 15 В и контрасте 2 : 1. При контрасте 9 : 1 минимальное время переключения цикла 100 мкс достигнуто при величине управляющего напряжения 40 В.

Таким образом, показана возможность создания быстродействующих модуляторов света большой апертуры на основе гомеотропно-ориентированного слоя С*ЖК. Найден оптимальный режим считывания и возбуждения электрооптического отклика. Достигнуто время включения оптического отклика 20 мкс (по контрасту 2 : 1) при управляющем поле 2,4 В/мкм и полное время цикла переключения 60 мкс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barnik M. I. et al. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **143**, 101 (1987).
2. Береснев Л. А., Блинов Л. М. *Письма в ЖЭТФ*, **46**, 328 (1987).
3. Береснев Л. А., Блинов Л. М. *Письма в ЖЭТФ*, **14**, 260 (1988).
4. Pavel J. *J. Physique*, **45**, 1 (1984).

Поступила в редакцию 22 мая 1989 г.
После переработки 2 октября 1989 г.