

ВОЛНОВОДНЫЙ РЕЖИМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОЙ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

А. Л. Андреев, С. У. Валлерьен*, А. В. Парфенов,
Е. П. Пожидаев, В. Г. Чигринов

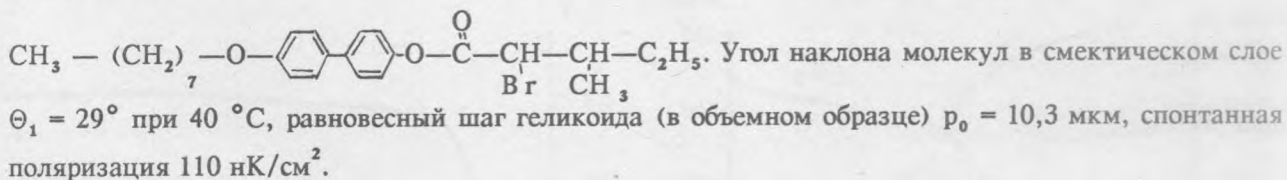
Рассматривается модулятор оптического излучения на основе сегнетоэлектрического жидкого кристалла, позволяющий ахроматизировать электрооптический эффект за счет использования волноводного режима Могена.

Исследования хиральных сегнетоэлектрических жидких кристаллов (СЖК) активно проводятся в настоящее время из-за потенциальной возможности использования их как модулирующей среды в пространственных модуляторах света и для устройств отображения информации. Известно два варианта электрооптического эффекта: эффект переориентации директора в поверхностно стабилизированной структуре — эффект Кларка—Лагервола /1/ и эффект управляемого электрическим полем двулучепреломления в спиральной структуре СЖК /2/. Однако из-за сильного хроматизма, как при эффекте переориентации директора в поверхностно стабилизированной структуре (раскрученное состояние СЖК), так и при эффекте управляемого электрическим полем двулучепреломления (закрученное состояние СЖК), уменьшается эффективность (глубина модуляции). Кроме того, используя свойство гомеотропно ориентированной (ось геликоида перпендикулярна подложкам) закрученной структуры СЖК вращать плоскость поляризации линейно поляризованного света /3/, можно добиться улучшения главной характеристики — эффективности — за счет ахроматизации электрооптического эффекта. В случае, когда шаг геликоида p_0 удовлетворяет соотношению $\Delta n p_0 \gg \lambda$, где Δn — анизотропия показателя преломления СЖК, λ — длина волны модулируемого излучения, возникает волноводный режим, при котором угол поворота плоскости поляризации совпадает с полным углом поворота директора молекул СЖК от входной подложки до выходной. Максимальный контраст наблюдается при скрещенных поляризаторах и угле поворота 90° . Такое значение угла поворота соответствует определенному шагу спирали, удовлетворяющему соотношению: $d = 4p_0$, где d — толщина слоя СЖК. При приложении поперечного электрического поля (перпендикулярно оси геликоида) дипольные моменты молекул СЖК начинают переориентироваться вдоль компоненты

* Институт полимеров г. Майнц, ФРГ.

поля, которая лежит в плоскости смектического слоя, то есть на молекулы действует вращательный момент, обусловленный взаимодействием электрического поля со спонтанной поляризацией. Вследствие этого изменяются азимутальный угол Φ и полярный угол Θ , и спиральная структура СЖК деформируется. Однако упругость СЖК в отношении изменения угла Θ на несколько порядков выше упругости в отношении изменения угла Φ , поэтому в нашем случае электрооптический эффект определяется изменением угла Φ . При определенной напряженности электрического поля спираль полностью раскручена, угол наклона оптической оси совпадает с углом наклона молекул в слое Θ_1 , то есть СЖК вновь становится оптически одноосным /4/. Очевидно, что в этом случае гиротропные свойства СЖК исчезают, и ячейка приобретает свойства двулучепреломляющей пластинки. Это приводит к изменению амплитудного пропускания ячейки в скрещенных или параллельных поляризаторах. Для скрещенных поляризаторов исходное пропускание максимально, так как плоскость поляризации поворачивается на 90° , для параллельных — минимально. Так как молекулы ориентированы полем вполне определенным образом — их дипольные моменты параллельны полю, а директор молекул в этом случае перпендикулярен полю, то пропускание ячейки при включенном поле зависит от взаимной ориентации поляризаторов и направления поля. Например, при перпендикулярности поля и оси поляризатора пропускание минимально (для скрещенных поляризаторов), при их взаимной ориентации под углом 45° пропускание определяется как $T = \sin(2\pi\Delta nd/\lambda)$.

В модуляторе использовался однокомпонентный СЖК с интервалом существования смектической хиральной фазы от 22 до 49°C . Его структурная формула:



Кристалл помещался между двумя стеклянными подложками, на поверхность одной из них была нанесена система встречно-штыревых электродов с шагом 800 мкм. Толщина слоя СЖК задавалась с помощью прокладок и составляла 5 мкм (рис. 1).

Методика изготовления образцов позволяла получить ячейку, обладающую углом гиротропии, равным 90° . Выбор однокомпонентного СЖК, с нашей точки зрения, целесообразен по следующим соображениям: на границе ориентирующий слой — объем СЖК образуется система поверхностных зарядов, вызванных ориентацией диполей, обуславливающих поляризацию. Этот поверхностный заряд частично экранирует электрическое поле во включенном состоянии и генерирует деполаризующее поле в выключенном состоянии ячейки. Деполаризующее поле раскручивает

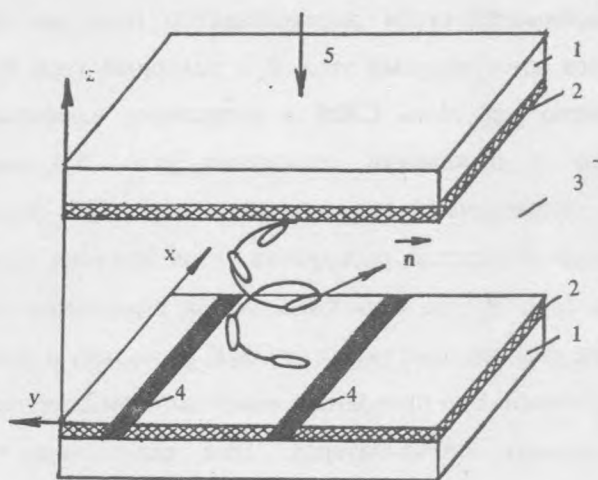


Рис. 1. Устройство модулятора: 1 — стеклянные подложки, 2 — ориентирующие покрытия, 3 — слой СЖК, 4 — электроды, 5 — падающее линейно поляризованное излучение, n — директор молекулы СЖК.

спиральную структуру СЖК (увеличивает ее шаг), и падающее линейно поляризованное излучение на выходе из ячейки приобретает эллиптическую поляризацию. В /5/ показано, что использование однокомпонентных СЖК позволяет уменьшить влияние деполяризующего поля. В нашем случае ситуация во многом аналогична рассмотренной в /5/.

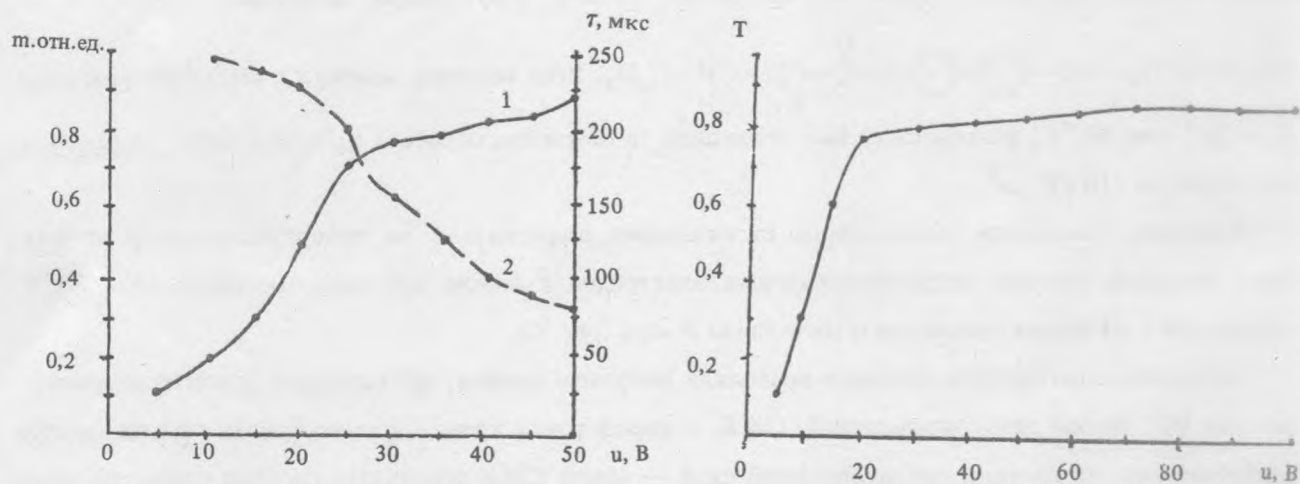


Рис. 2. Зависимости глубины модуляции m (1) и времени нарастания фронта оптического отклика T_0 (2) от управляющего напряжения и при температуре 25°C .

Рис. 3. Вольт-контрастная характеристика при температуре 25°C .

Были проведены измерения зависимости оптического пропускания от величины управляющего напряжения. Глубина модуляции, близкая к максимально возможной (0,85), достигалась уже при напряжении 50 В (рис. 2). Это соответствует напряженности поля всего лишь 0,05 В/мкм, что на два порядка меньше, чем для ячейки с поверхностно стабилизированной текстурой СЖК /1/, и почти на порядок меньше, чем для ячеек с эффектом деформации геликоида СЖК /3/. Это преимущество связано, по-видимому, с более низкой энергией, характерной для гомеотропно ориентирующих поверхностей. В то же время следует отметить, что влияние поверхности проявляется и в данном случае, а именно, шаг геликоида СЖК в данной геометрии зависит от способа обработки подложек. Вольт-контрастная характеристика (рис. 3) имеет плавный наклон в диапазоне от 2 до 20 В, и, следовательно, ячейка обладает разрешением по шкале полутонов. Зависимость глубины модуляции от температуры имеет максимум в интервале от 40 до 44 °С (рис. 4). При увеличении температуры глубина модуляции уменьшается скачком, что, очевидно,

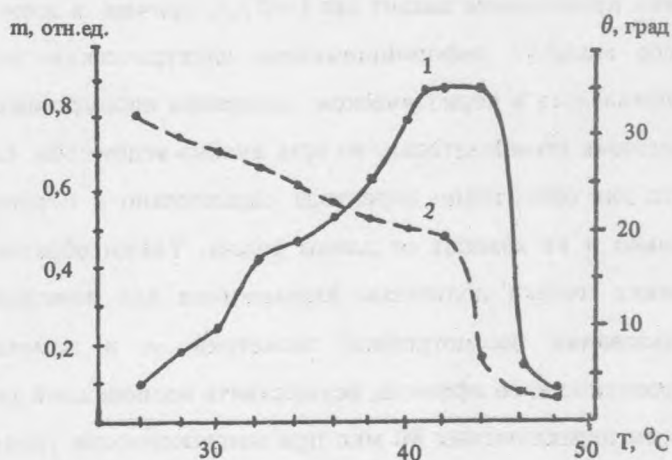


Рис. 4. Зависимости глубины модуляции m (1) и величины полярного угла Θ (2) от температуры. Для кривой 1 для управляющих напряжений 50 В (1) и 200 В (2).

соответствует фазовому переходу из смектической фазы S^* в смектическую фазу А. При этом ячейка перестает вращать плоскость поляризации. Полярный угол Θ можно определить, измерив пропускание ячейки в скрещенных поляризаторах:

$$T_1 = \sin^2(2\Phi) \sin^2(\pi d \Delta n / \lambda). \quad (1)$$

Оптическая анизотропия является функцией только полярного угла Θ и определяется формулой

$$\Delta n = [n_o n_e / (n_o^2 \sin^2 \Theta + n_e^2 \cos^2 \Theta)] - n_o, \quad (2)$$

где n_o и n_e — показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей. Если поляризаторы повернуть на угол 45° , тогда, согласно (1), пропускание определяется формулой

$$T_2 = \cos^2(2\Phi) \sin^2(\pi d \Delta n / \lambda). \quad (3)$$

Из (1) и (3) находим $\Delta n = (\lambda / \pi d) \arcsin(T_1 + T_2)$, из (2) находим угол Θ . Зависимость величины угла Θ от температуры приведена на рис. 4. Эти измерения проводились при напряжении около 200 В, которое соответствует полной раскрутке геликоида. На рис. 2 приведена зависимость времени нарастания фронта оптического отклика от управляющего напряжения. Так, уже при напряжении 50 В ($E = 0,05$ В/мкм) время переключения составляло 80 мкс. Оптические свойства (наблюдались в поляризационный микроскоп) демонстрировали наличие вращения плоскости поляризации практически на 90° , то есть пропускание ячейки было максимально (около 80%) при исходно скрещенных поляризаторах и любом повороте ячейки в неподвижных поляризаторах микроскопа. При подаче напряжения пропускание падает (до 1—5%), причем в этом состоянии оно зависит от направления директора молекул деформированного электрическим полем СЖК относительно поляризаторов, что проявлялось в периодическом изменении пропускания ячейки при ее вращении в неподвижных скрещенных поляризаторах, то есть ячейка ведет себя, как двулучепреломляющая пластинка. Важно, что для ориентации директора параллельно и перпендикулярно поляризатору пропускание минимально и не зависит от длины волны. Таким образом, и во включенном, и в выключенном состояниях ячейка полностью ахроматична для линейно поляризованного света. Преимущества использования рассмотренной геометрии — в возможности добиться полной ахроматизации электрооптического эффекта, осуществить волноводный режим и получить глубину модуляции 0,85 и время переключения 80 мкс при напряженности управляющего электрического поля около 0,05 В/мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Clark N. A., Lagerwall S. T. *Mol. Cryst. & Liq. Cryst.*, **94**, 213 (1983).
2. Островский Б. А., Чигринов В. Г. *Кристаллография*, **25**, № 2, 560 (1980).
3. Блинов Л. М. *Электро- и магнитооптика жидких кристаллов*, М., Наука, 1979.
4. Chigrinov V. G. et al. *Ferroelectrics*, **85**, 302 (1988).
5. Yang K. H., Chieu T. C. *Jap. J. Appl. Phys.*, **28**, L1599 (1989).

Поступила в редакцию 2 декабря 1991 г.