

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

А В Т О М Е Т Р И Я

С. Л. Сморгон, В. Я. Зырянов, В. Ф. Шабанов

(Красноярск)

МОДУЛЯТОРЫ СВЕТА НА ОСНОВЕ КАПСУЛИРОВАННЫХ  
ПОЛИМЕРОВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Предложено новое схмотехническое решение модулятора света на основе оригинального электрооптического материала — капсулированного сегнетоэлектрического жидкого кристалла. Предложено использовать двойную структуру электрооптической ячейки, в результате чего повышается эффективность модуляции света.

**Введение.** Недавно авторами был разработан электрооптический материал [1—4], сочетающий в себе преимущества известных капсулированных полимером нематических жидких кристаллов (гибкость, простота изготовления, надежность в эксплуатации и т. д.) с высоким быстродействием, присутствующим сегнетоэлектрическим жидким кристаллам (СЭЖК). Материал представляет собой планарно-ориентированную пленку капсулированных полимером сегнетоэлектрических жидких кристаллов (КПСЭЖК), которая проявляет сильную анизотропию светорассеяния. При этом коэффициент рассеяния максимален для света, плоскость поляризации которого совпадает с направлением ориентации капель СЭЖК, диспергированных в полимерной пленке [1—4]. Под действием электрического поля направление ориентации капель СЭЖК изменяется, оставаясь в плоскости пленки.

Данный эффект положен в основу конструкции светомодулирующего устройства на основе КПСЭЖК-пленки (рис. 1) [2—4]. Для простоты из всего ансамбля капель ЖК показана одна из них. Ось  $X$  совпадает с направлением ориентации КПСЭЖК-пленки, плоскость  $ZY$  — с плоскостью смектического слоя. Директор (направление преимущественной ориентации длинных осей молекул) в каплях ориентирован под действием электрического поля в плоскости пленки  $XY$ , составляя угол  $\Theta$  с осью  $X$ . Если угол  $\alpha$  между осью  $X$  и плоскостью поляризации света равен углу  $\Theta$  (рис. 1, *a*), то пленка рассеивает нормально падающий на нее свет, так как для данной композиции  $n_{\parallel} \neq n_{\perp}$ , а  $n_{\parallel} > n_{\perp}$ , где  $n_{\parallel, \perp}$  — показатели преломления для света, поляризованного параллельно и перпендикулярно директору ЖК;  $n_p$  — показатель преломления полимера. При изменении полярности электрического поля (рис. 1, *b*) директор СЭЖК поворачивается на угол  $2\Theta$ . Если угол  $\Theta = 45^\circ$ , то пленка становится практически прозрачной вследствие исчезновения градиента показателя преломления ( $n_{\parallel} - n_{\perp} \approx 0$ ). Для других значений углов  $\alpha$  и  $\Theta$  также наблюдается модуляция света, но амплитуда ее уменьшается. Зависимость эффективности модуляции света от указанных параметров исследована теоретически и экспериментально в [2—4].

Использование поляризатора в конструкции КПСЭЖК-устройства (см. рис. 1) существенно ограничивает его функциональные возможности. Так, например, при модуляции света большой интенсивности (в проекционных дисплеях, в мощных лазерных установках) поляроидная пленка перегревается и теряет поляризующую способность. Замена поляроидов на призмные

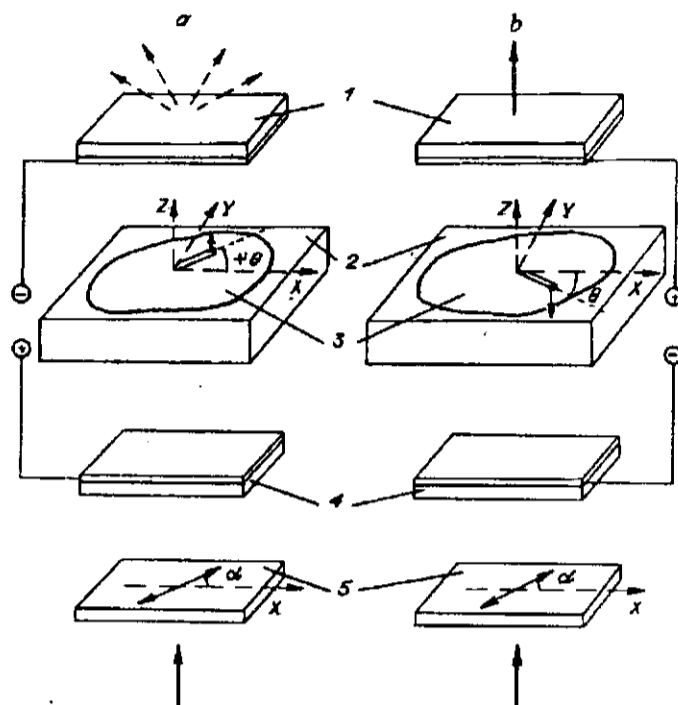


Рис. 1. Схематическое изображение светомодулирующего устройства на основе КПСЭЖК-пленки [2—4]:

1, 4 — подложки с прозрачными электродами, 2 — полимерная пленка, 3 — капля СЭЖК, 5 — поляризатор (*a* — свет рассеивается, *b* — свет проходит)

твердокристаллические поляризаторы не приводит к решению проблемы, так как в этом случае резко ограничивается рабочая апертура, увеличивается вес и стоимость изделия. Не решает указанной проблемы и конструкция светоправляющего устройства с двумя скрещенными поляризаторами [5—7].

Цель настоящей работы — разработка бесполяридных светомодулирующих устройств на основе планарно-ориентированных пленок капсулированных полимером сегнетоэлектрических жидких кристаллов.

Модулятор света на основе двойной КПСЭЖК-ячейки. Для решения поставленной задачи можно использовать светомодулирующее устройство, состоящее из двух последовательно расположенных КПСЭЖК-ячеек (рис. 2). КПСЭЖК-пленки, размещенные в верхней и нижней ячейках, идентичны. При этом направления электрического поля в обеих ячейках взаимно противоположны.

В левой части рисунка молекулы СЭЖК под действием поля ориентированы так, что их длинные оси в обеих пленках параллельны друг другу и лежат в плоскости  $XU$ . Свет, плоскость поляризации которого совпадает с осью  $Y$ , проходит через устройство не рассеиваясь, так как в этом случае градиент показателя преломления на границе полимера и капли ЖК практически отсутствует. Свет, плоскость поляризации которого совпадает с осью  $X$ , рассеивается вследствие большого градиента показателя преломления. Таким образом, в этом состоянии устройство представляет собой систему параллельно расположенных рассеивающих поляризаторов [8]. Необходимо отметить, что в данном случае направления ориентации КПСЭЖК-пленок не совпадают друг с другом и с осью  $X$ .

При изменении полярности электрического поля (рис. 2, *b*) молекулы будут переориентированы на угол  $2\theta = 45^\circ$ , оставаясь в плоскости  $XU$ . При этом молекулы в верхней и нижней КПСЭЖК-пленках будут переориентированы в разные стороны от оси  $X$  так, что угол между ними составит

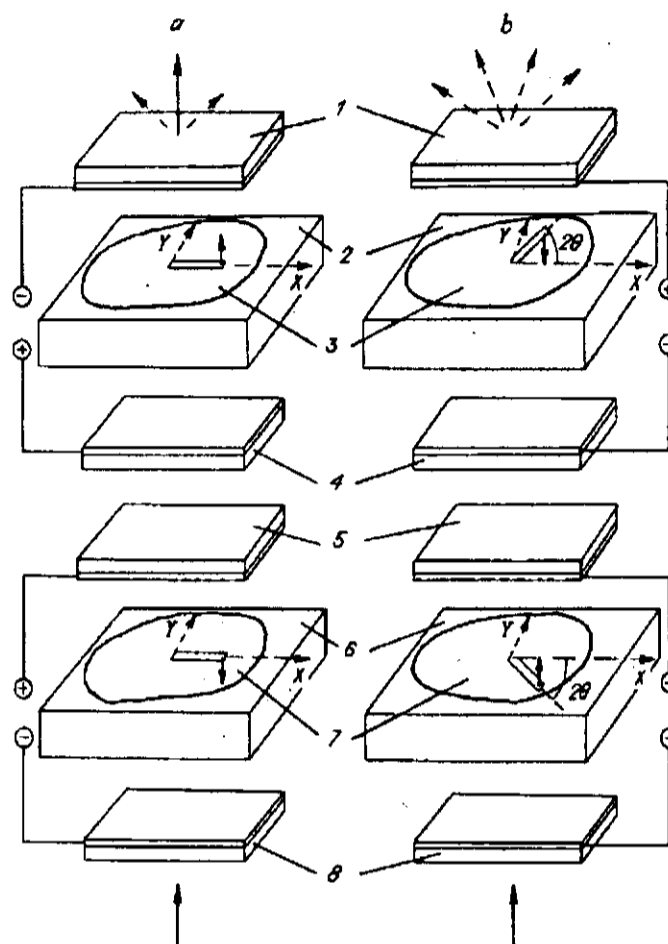


Рис. 2. Беспolarоидный модулятор света на основе двойной КПСЭЖК-ячейки:  
 1, 4, 5, 8 – подложки с прозрачными электродами; 2, 6 – полимерные пленки; 3, 7 – капли СЭЖК (а – проходит плоскополяризованный свет, б – весь свет рассеивается)

$4\theta = 90^\circ$ . В этом случае КПСЭЖК-устройство рассеивает свет любой поляризации. Такая геометрия аналогична системе скрещенных поляризаторов.

На рис. 3 показаны типичные осциллограммы оптического отклика КПСЭЖК-устройства для разных геометрий эксперимента на однополярный прямоугольный импульс электрического поля. Максимальная амплитуда модуляции света наблюдается для угла  $\alpha \approx 45^\circ$ , что соответствует случаю, приведенному на рис. 2. Для других значений угла  $\alpha$  амплитуда модуляции света уменьшается и становится минимальной для  $\alpha \approx 0, 90^\circ$ . При отключении одной из ячеек эффективность модуляции света снижается примерно вдвое (в зависимости от соотношения толщин ячеек). В таком случае отключенная ячейка, имеющая весьма высокую лучевую прочность, играет роль пассивного поляризатора [8].

Конструкция КПСЭЖК-устройства, показанная на рис. 2, имеет еще одно преимущество: она позволяет использовать широкий ассортимент сегнетоэлектрических жидких кристаллов, имеющих угол наклона молекул к смектическому слою  $\theta \approx 22,5^\circ$ , в отличие от экзотических СЭЖК с  $\theta = 45^\circ$ , требуемых для базового варианта по схеме рис. 1.

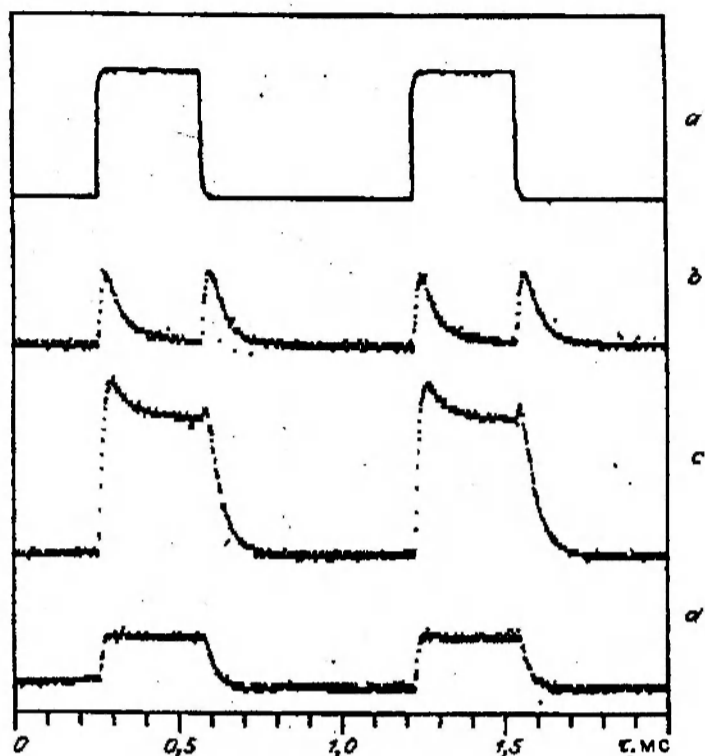


Рис. 3. Осциллограммы оптического отклика сдвоенной КПСЭЖК-ячейки на прямоугольный однополярный импульс при угле  $\alpha$  между направлениями ориентации КПСЭЖК-пленок:  $b - \alpha = 90^\circ$ ;  $c - \alpha = 45^\circ$ ;  $d - \alpha = 45^\circ$  при поле, поданном только на одну ячейку;  $a$  — электрическое поле

Модулятор света на основе бислойной КПСЭЖК-пленки. На рис. 4 показана конструкция светомодулирующего устройства с бислойной КПСЭЖК-пленкой. Каждый из слоев готовится и модифицируется в планарно-ориентированную пленку отдельно. При этом один из слоев готовится на основе СЭЖК с положительным углом наклона молекул, а другой — на основе СЭЖК с отрицательным углом. Слои совмещаются друг с другом так, чтобы обеспечивался оптический контакт, а угол между направлением ориентации обоих слоев составлял  $2\theta \approx 45^\circ$ . Под действием электрического поля молекулы СЭЖК в обоих слоях переориентируются и становятся параллельными друг другу (рис. 4, а). Система становится прозрачной для света с плоскостью поляризации, перпендикулярной оси  $X$  и рассеивающей свет другой поляризации. При переключении направления электрического поля молекулы одного слоя ориентируются перпендикулярно молекулам другого слоя, что обуславливает рассеяние проходящего света любой поляризации (рис. 4, б).

Такая конструкция по сравнению с предыдущей более компактна, но более требовательна к составу жидкокристаллической композиции, так как необходимо подбирать СЭЖК с близкими значениями величины спонтанной поляризации, вязкости и с одинаковыми температурными диапазонами мезофазы.

**Заключение.** Предложены две различные конструкции бесполяроидных модуляторов на основе планарно-ориентированных пленок капсулированных полимером сегнетоэлектрических жидких кристаллов. При этом в отличие от базового устройства в составе КПСЭЖК-композиции используются освоённые промышленностью СЭЖК с углом наклона молекул  $\theta \approx 22,5^\circ$ . Изготовлены и апробированы рабочие макеты данных устройств.

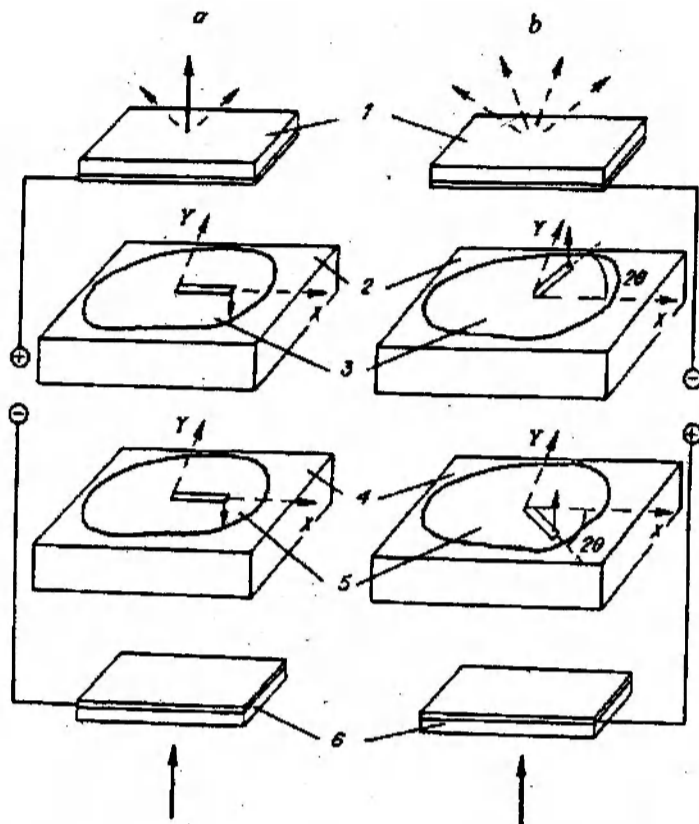


Рис. 4. Беспляридный модулятор света на основе бислойной КПСЭЖК-пленки:

1, 6 — подложки с прозрачными электродами; 2, 4 — полимерные пленки; 3, 5 — капли СЭЖК (а — проходит плоскополяризованный свет, б — весь свет рассеивается)

Авторы выражают благодарность Красноярскому краевому фонду науки за финансовую поддержку данной работы по гранту 1 F 0135.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zyryanov V. Ya., Smorgon S. L., Shabanov V. F. Electrooptics of polymer dispersed ferroelectric liquid crystals // IV Int. Top. Meet. on Optics of Liquid Crystals: Abstracts.—Florida, 1991.—P. 70.
2. Зырянов В. Я., Сморгон С. Л., Шабанов В. Ф., Занин И. В. Модуляция света ориентированной дисперсией сегнетоэлектрических жидких кристаллов.—Красноярск, 1991.—(Препр./ИФ СО АН СССР; 708Ф).
3. Зырянов В. Я., Сморгон С. Л., Шабанов В. Ф. Модуляция света планарно-ориентированной пленкой капсулированных полимером сегнетоэлектрических ЖК // Письма в ЖЭТФ.—1993.—57, № 1.
4. Zyryanov V. Ya., Smorgon S. L., Shabanov V. F. Electrooptics of polymer dispersed ferroelectric LC's // Ferroelectrics.—1993.—143.—P. 271.
5. Kitzero H.-S., Moisen H., Heppke G. Linear electrooptic effects in polymer-dispersed ferroelectric LC // Appl. Phys. Lett.—1992.—60(25)—P. 3093.
6. Moisen H., Kitzero H.-S., Heppke G. Antiferroelectric switching in polymer-dispersed LC's // Jpn. J. Appl. Phys.—1992.—31.—P. 1083.
7. Heppke G., Kitzero H.-S., Moisen H. Electroclinic effect in a polymer-dispersed ferroelectric LC // Mol. Cryst. Liq. Cryst.—1993.—273.—P. 471.
8. Zyryanov V. Ya., Smorgon S. L., Shabanov V. P. Elongated films of polymer-dispersed LC as scattering polarizers // Molecular Engineering.—1991.—1.—P. 305.

Поступила в редакцию 2 февраля 1994 г.