

МОДУЛЯЦИЯ СВЕТА ПЛАНАРНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПЛЕНКОЙ КАПСУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОМ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

В.Я.Зырянов, С.Л.Сморгон, В.Ф.Шабанов

Институт физики Сибирского отделения РАН

660036, Красноярск, Россия

Поступила в редакцию 23 ноября 1992

Исследован эффект модуляции света с использованием нового электрооптического материала, представляющего собой планарно-ориентированную пленку капсулированных полимером сегнетоэлектрических жидких кристаллов. Исследованы поляризационные и динамические характеристики материала.

1. На сегодняшний день сегнетоэлектрические жидкие кристаллы (СЭЖК) имеют рекордное быстродействие среди известных жидкокристаллических материалов¹⁻⁴. Однако существует ряд проблем, препятствующих широкому использованию чистых СЭЖК в оптоэлектронных устройствах: необходимость разработки сложного оборудования для сборки сэндвичей с очень малым (около 2 мкм) рабочим зазором; дорогостоящие и технологически сложные методики создания однородно ориентированных монослоев СЭЖК; невозможность обеспечить достаточное число градаций серости и т.д.

В настоящей статье для модуляции света предлагается использовать планарно-ориентированные пленки капсулированных полимером сегнетоэлектрических жидких кристаллов (КПСЭЖК)⁵, сочетающие в себе преимущества известных капсулированных пленок на основе нематиков с высоким быстродействием, присущим СЭЖК.

2. Планарно-ориентированные КПСЭЖК-пленки приготавливались аналогично методике^{6,7} таким образом, что капли СЭЖК, диспергированные в поливинилацетате, ориентированы преимущественно в одном направлении в плоскости пленки. Для капсулирования был выбран хорошо изученный сегнетоэлектрический жидкий кристалл ДОБАМБЦ^{1-4,8-10}. Толщина пленки составляла 20 ± 5 мкм, размер капсул – около 3 мкм.

Схема экспериментальной ячейки приведена на рис.1. Для простоты из всего ансамбля капель показана лишь одна капля. Ось x совпадает с направлением ориентации КПСЭЖК-пленки; плоскость zy совпадает с плоскостью смектического слоя. Директор в каплях ориентирован под действием электрического поля в плоскости пленки xy , составляя угол θ с осью x . Если угол α между осью x и плоскостью поляризации света равен углу θ , то при выполнении соотношения $n_{\perp} \approx n_p$, что соответствует исследуемой композиции, пленка будет сильно рассеивать нормально падающий на нее свет вследствие существенного градиента показателя преломления ($n_{\parallel} - n_p$) на границе раздела полимер – капля жидкого кристалла. Здесь используем приближение оптической одноосности СЭЖК³ с показателями преломления $n_{\parallel, \perp}$ для света, поляризованного параллельно или перпендикулярно директору жидкого кристалла, соответственно. При изменении полярности электрического поля (рис.1б) директор СЭЖК повернется на угол 2θ . Отсюда видно, что если $2\theta = 90^\circ$, то пленка станет практически прозрачной вследствие исчезновения градиента показателя преломления ($n_{\perp} - n_p$) ≈ 0 .

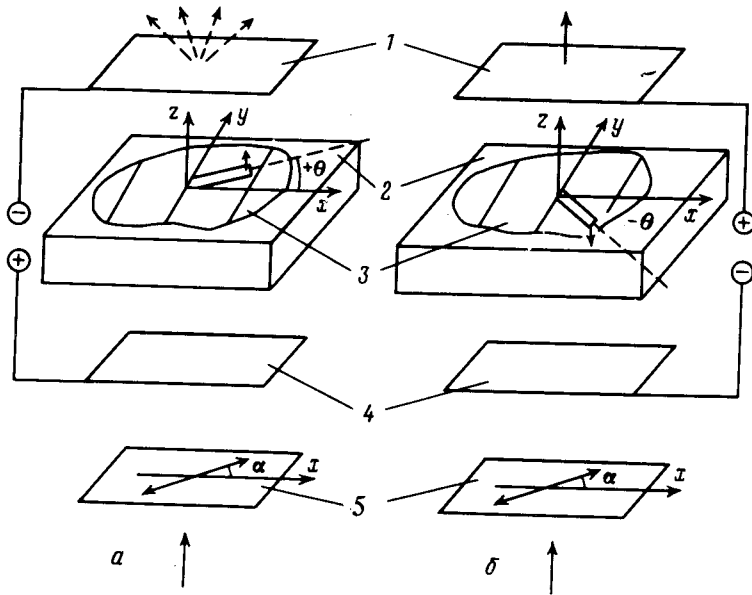


Рис.1. Схематическое изображение светомодулирующего устройства на основе КПСЭЖК-пленки. 1, 4 – стеклянные подложки с прозрачными электродами, 2 – полимерная пленка, 3 – капля СЭЖК, 5 – поляризатор; а – свет рассеивается, б – свет проходит

В общем случае, если рассматривать плоскополяризованную световую волну как суперпозицию двух волн, поляризованных параллельно и перпендикулярно директору СЭЖК, то разность в интенсивности проходящего света для двух показанных ориентаций директора (амплитуду модуляции) можно записать в виде:

$$\Delta I = I_0 [T_{\perp} \sin^2(\alpha + \theta) + T_{\parallel} \cos^2(\alpha + \theta) - T_{\perp} \sin^2(\alpha - \theta) - T_{\parallel} \cos^2(\alpha - \theta)] =$$

$$= I_0 (T_{\perp} - T_{\parallel}) \sin 2\alpha \sin 2\theta = (I_{\perp} - I_{\parallel}) \sin 2\alpha \sin 2\theta, \quad (1)$$

где $T_{\parallel, \perp}$ и $I_{\parallel, \perp}$ – светопропускание и интенсивность прошедшего света, поляризованного параллельно и перпендикулярно директору СЭЖК, соответственно;

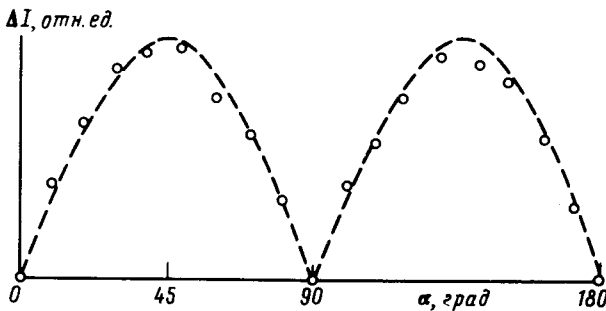


Рис.2. Зависимость амплитуды модуляции света от угла α между плоскостью поляризации света и направлением ориентации КПСЭЖК-пленки, (o) – эксперимент, (---) – расчет по формуле (1)

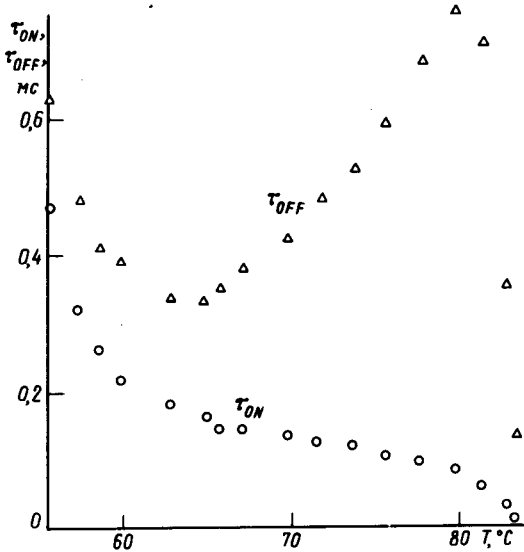


Рис.3. Температурные зависимости времени реакции τ_{ON} (o) и времени релаксации τ_{OFF} (Δ)

I_0 – интенсивность падающего света. Отсюда видно, что модуляция света за счет линейного электрооптического эффекта отсутствует при условии $T_{\parallel} = T_{\perp}$, соответствующем случаю хаотической ориентации капель СЭЖК; а для получения максимальной амплитуды модуляции ($I_{\parallel} - I_{\perp}$) необходимо выполнение условия $\alpha = \theta = 45^\circ$.

3. Экспериментальные результаты зависимости амплитуды модуляции от угла α , показанные на рис.2, хорошо описываются формулой (1), достигая максимума для значений угла $\alpha = 45^\circ \pm n90^\circ$ ($n = 1, 2, 3, \dots$).

На рис.3 представлены температурные зависимости времени реакции τ_{ON} и релаксации τ_{OFF} исследуемой КПСЭЖК-пленки. По форме кривые температурной зависимости τ_{ON} для чистого СЭЖК^{4,8} и КПСЭЖК-пленки идентичны. При этом следует учесть, что температурный диапазон сегнетоэлектрической SmC^* -фазы для дисперсии ДОБАМБЦ в полимере ($55^\circ C \leftarrow 84^\circ C$) и для чистого монослоя СЭЖК ($75^\circ C \leftarrow 93^\circ C$)⁹ различен. Время включения τ_{ON} для КПСЭЖК-пленки и чистого ДОБАМБЦ⁸, нормированные на напряженность управляющего поля практически совпадают в пределах экспериментальной погрешности.

Более сложная форма наблюдается для температурной зависимости времени релаксации τ_{OFF} . Форма кривой вблизи фазового перехода $SmC^* - SmA$ напоминает температурную зависимость шага спирали P_0 , что согласуется с показанной ранее¹⁰ пропорциональностью $\tau_{OFF} \sim P_0^2 \cdot \tau_{OFF}$ для КПСЭЖК-пленки сравнимы по величине со значениями τ_{ON} и значительно меньше времени релаксации для чистых слоев ДОБАМБЦ¹⁰. Это указывает на существенную роль в динамике линейного электрооптического эффекта сил поверхностного взаимодействия молекул жидкого кристалла с полимерной матрицей и необходимости их учета при моделировании процесса переориентации директора в капле СЭЖК.

4. Итак представленные в настоящей работе первые результаты исследований эффекта модуляции света планарно-ориентированной КПСЭЖК-пленкой показывают альтернативный вариант решения проблемы создания быстродей-

ствующих электрооптических устройств на основе сегнетоэлектрических жидких кристаллов.

-
1. N.A.Clark and S.T.Lagerwall, *Appl. Phys. Lett.* **36**, 899 (1980).
 2. Л.М.Блинов, Л.А.Береснев, *УФН*, **143**, 391 (1984).
 3. L.A.Beresnev et al., *Mol. Cryst. Liq. Cryst. A* **158**, 1 (1988).
 4. М.В.Лосева, Е.П.Пожидаев., Ф.З.Рабинович и др. *Итоги науки и техн. Серия физ. химия*, 1990 **3**.
 5. В.Я.Зырянов, С.Л.Сморгон, В.Ф.Шабанов, *Препринт N708Ф, ИФ СО АН СССР*, 1991.
 6. В.Я.Зырянов, С.Л.Сморгон, В.Ф.Шабанов, *Препринт N639Ф, ИФ СО АН СССР*, 1990.
 7. V.Ya.Zyryanov, S.L.Smorgon, and V.F.Shabanov, *Mol. Engineering*, **1**, 305 (1992).
 8. В.Г.Чигринов, Е.П.Пожидаев, В.А.Байкалов, М.И.Барник, *Кристаллография*, **34**, 406 (1989).
 9. А.Н.Втюрин, В.П.Ермаков, Б.И.Островский, В.Ф.Шабанов, *Кристаллография*, **26**, 546 (1981).
 10. В.И.Ostrovskii, A.Z.Rabinovich, V.G.Chigrinov, *Adv. in Liq. Cryst. Res. and Appl. Ed. L.Bata, Pergamon Press-Akad.*, 1980, 469.