

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЕ ГАШЕНИЕ СВЕТА, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ МОНОСЛОЙНУЮ ПЛЕНКУ КАПСУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОМ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

А.В.Конколович¹⁾, В.В.Пресняков⁺, В.Я.Зырянов⁺, В.А.Лойко²⁾,
В.Ф.Шабанов⁺

Институт физики НАН Беларуси, 220072 Минск, Беларусь

⁺ Институт физики СО РАН, 660036 Красноярск, Россия

Поступила в редакцию 28 апреля 2000 г.

Проведено теоретическое рассмотрение особенностей прохождения света через полимерную пленку с капсулированным в ней ансамблем монослойно упорядоченных биполярных капель нематика под действием электрического поля. Предсказан и экспериментально реализован эффект интерференционного гашения прямо проходящего через пленку монохроматического когерентного излучения.

PACS: 61.30.-v

Распространение света в плотноупакованных дисперсных средах сопровождается интерференционными явлениями, которые необходимо учитывать при определении характеристик проходящего и рассеянного излучений [1]. Теоретическое рассмотрение рассеяния когерентного монохроматического излучения однорядным слоем частиц [1–3] показало возможность интерференционного гашения регулярной составляющей прямо проходящего излучения. Для экспериментальной реализации эффекта гашения необходимо выполнение ряда жестких требований к параметрам среды: размеру и форме рассеивающих частиц, их показателю преломления и концентрации. Использование для этой цели монослойных пленок капсулированных полимером жидких кристаллов (КПЖК) может упростить решение задачи, так как один из параметров (показатель преломления) в этом случае можно варьировать, прикладывая электрическое поле. В настоящей работе проводится теоретический анализ и экспериментальное исследование эффекта интерференционного гашения света, прошедшего через монослойную КПЖК пленку с одноосно упорядоченным ансамблем биполярных капель нематического жидкого кристалла, находящуюся под действием электрического поля.

Для проведения теоретического анализа используем следующие приближения. Капли нематика имеют форму сплюснутых в плоскости пленки эллипсоидов вращения. Капли расположены в полимерной пленке так, что их центры находятся в одной плоскости (однорядный слой). Ориентационное упорядочение директора внутри капель нематика имеет биполярную конфигурацию с жестко фиксированными полюсами [4–6]. Оси симметрии всех капель ансамбля ориентированы в одном направлении в плоскости слоя. Под действием электрического поля, приложенного вдоль нормали к слою, конфигурация директора в каплях изменяется, что ведет к изменению их светорассеивающих свойств. Будем исследовать зависимость коэффициента пропускания $T = I_t/I_0$ от приложенного напряжения (где I_t и I_0 – интенсивности прохо-

¹⁾ e-mail: sasha@iph.krasn.ru

²⁾ e-mail: loiko@dragon.bas-net.by

дящего и падающего излучения, соответственно) для когерентно рассеянного света при нормальном освещении пленки линейно поляризованной волной с поляризацией вдоль направления ориентации осей симметрии капель.

Коэффициент когерентного пропускания T монослоя изотропных частиц имеет вид [1]

$$T = 1 - Q\eta + \frac{Q^2 L}{2} \eta^2, \quad (1)$$

где Q – фактор эффективности ослабления; параметр L определяется значением амплитудной функции рассеяния при нулевом угле рассеяния; η – коэффициент перекрытия монослоя, численно равный отношению суммарной площади проекции всех частиц (капель в случае монослойной КПЖК пленки) на плоскость монослоя к площади, на которой они распределены. Для монослойной КПЖК пленки со свойственной ей оптической анизотропией капель ЖК выражение (1) сохраняется, но значения Q и L в каждом конкретном случае различны, определяются размером и формой капель, а также их внутренней структурой, зависящей от управляющего напряжения.

Для биполярных капель нематика с жестко фиксированными полюсами показатель преломления необыкновенной волны n_e является функцией управляющего напряжения U и рассчитывается согласно процедуре, предложенной в [5, 6]. Параметры Q и L монослоя с гамма-распределением капель по размерам при ориентации электрического вектора световой волны параллельно осям симметрии капель в приближении аномальной дифракции имеют вид

$$Q = 2\text{Re}K, \quad (2)$$

$$Q^2 L/2 = \text{Re}K^2 + \text{Im}K^2, \quad (3)$$

где средние значения действительной и мнимой частей $\text{Re}K$ и $\text{Im}K$ от функции Хюльста K [7] определяются выражениями

$$\begin{aligned} \text{Re}K &= 1 + B_e \left[1 - \frac{C_e}{D_e} \cos \left((\mu + 2) \arctg \frac{\nu_m^e}{\mu} - \arctg \frac{\nu_m^e}{\mu} (\mu + 2) \right) \right], \\ \text{Im}K &= \frac{B_e C_e}{D_e} \sin \left((\mu + 2) \arctg \frac{\nu_m^e}{\mu} - \arctg \frac{\nu_m^e}{\mu} (\mu + 2) \right), \end{aligned} \quad (4)$$

$$B_e = \frac{2\mu^2}{(\nu_m^e)^2 (\mu + 1)(\mu + 2)}, \quad C_e = \left(1 + \frac{(\nu_m^e)^2 (\mu + 2)^2}{\mu^2} \right)^{1/2}, \quad D_e = \left(1 + \frac{(\nu_m^e)^2}{\mu^2} \right)^{\mu + 2},$$

μ – параметр гамма-распределения,

$$\nu_m^e = \frac{2\pi \bar{c} n_p}{\lambda} (n_e(U)/n_p - 1), \quad (5)$$

n_p – показатель преломления полимера; λ – длина волны падающего излучения, \bar{c} – средний размер капель ЖК в направлении нормали к слою.

Теоретические оценки показывают, что для монослойной КПЖК пленки со средним размером капель 12 мкм и коэффициентом вариации, равным 0.2, интерференционный эффект гашения для длины волны $\lambda = 0.633$ мкм имеет место, если коэффициент перекрытия $\eta = 0.7$, а значения $n_p = 1.52$ и $n_e(U) = 1.56$.

Для экспериментальных исследований были приготовлены образцы капсулированного поливинилбутиралем нематического ЖК 5ЦБ, параметры которых близки

расчетным значениям, необходимым для получения эффекта интерференционного гашения. Жидкий кристалл диспергировался в полимере с использованием методики SIPS [8]. Одноосная ориентация ансамбля капель нематика достигалась посредством однонаправленного растяжения композитной пленки [4]. Толщина исследуемых пленок составляла 16 мкм. Микрофотография исследуемого участка образца в скрещенных поляризаторах представлена на рис.1. Коэффициент перекрытия $\eta = 0.7$. Размер капель \bar{c} лежит в диапазоне от 10 до 14 мкм со средним значением 12 мкм. Показатель преломления полимерной матрицы $n_p = 1.52$, показатель преломления ЖК 5CB для обыкновенной волны $n_o = 1.53$, а показатель преломления для необыкновенной волны, когда ее электрический вектор параллелен директору нематика, $n_e(\max) = 1.717$ (значения приведены для $\lambda = 0.633$ мкм [5, 6]).

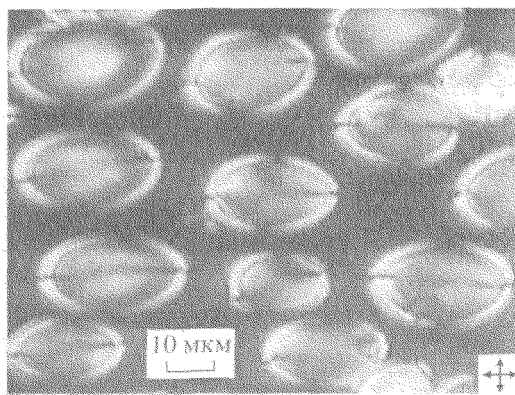


Рис.1. Микрофотография образца КПЖК пленки в скрещенных поляризаторах, ориентация которых показана стрелками

В качестве источника излучения использовался гелий-неоновый лазер с $\lambda = 0.633$ мкм. Интенсивность излучения, проходящего через образец и круглую диафрагму диаметром 1 мм, расположенную на расстоянии 143 см от образца, измерялась с использованием фотодиода, работающего в линейном режиме. Зависимость интенсивности прошедшего излучения от приложенного напряжения записывалась с помощью двухкоординатного графопостроителя.

На рис.2 представлены рассчитанные и измеренные значения коэффициента пропускания исследуемого образца в зависимости от управляющего напряжения, нормированного на пороговое значение. Осциллирующий характер зависимости обусловлен осцилляциями фактора эффективности ослабления Q при изменении управляющего напряжения. Количество осцилляций определяется размером капель. Как видно, наблюдается хорошее качественное согласие теоретических и экспериментальных данных.

Отметим, что минимум на расчетной зависимости вблизи $U/U_0 = 11.7$ возникает при $QL\eta = 1$ (1). Если также $L = 0.5$, то значение коэффициента пропускания T обращается в нуль, то есть имеет место эффект интерференционного гашения проходящего излучения. Минимальное значение коэффициента пропускания = 1.7% для экспериментальной зависимости достигается при $U/U_0 = 10.8$. Различие между данными эксперимента и расчета обусловлено следующими факторами. Во-первых, при расчете коэффициента перекрытия пленки, требуемого для достижения эффекта гашения, необходимо исходить из реального распределения капель по размерам. Во-вторых, одноосная ориентация осей симметрии в реальном ансамбле биполярных

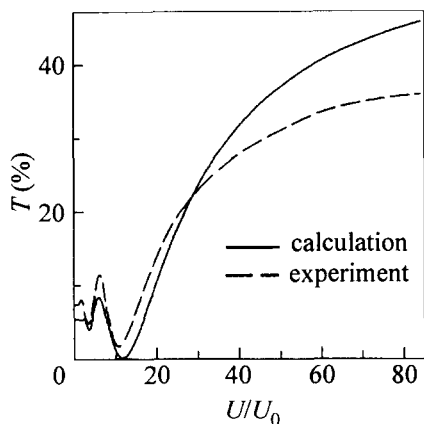


Рис.2. Расчетная и экспериментальная зависимости коэффициента пропускания исследуемой КПЖК пленки от величины управляющего напряжения, нормированного на пороговое значение

капель не идеальна. Даже небольшое отклонение осей симметрии капель от преимущественного направления приводит к появлению в проходящем свете обыкновенной компоненты излучения, для которой не выполняются условия интерференционного гашения.

Таким образом, результаты теоретического анализа интерференционных особенностей электрооптического отклика монослойных дисперсий нематических ЖК показали возможность реализации эффекта гашения прямо проходящего когерентного монохроматического излучения в КПЖК пленках. В соответствии с теоретическими оценками были изготовлены специальные образцы монослойных КПЖК пленок, в которых, вследствие проявления эффекта гашения, удалось достичь значения коэффициента когерентного пропускания 1.7%.

В практических приложениях обычно используют КПЖК пленки с многослойным расположением капель [8]. В этом случае высокий контраст достигается благодаря многократному рассеянию света. Такие пленки имеют достаточно большую толщину (20 – 30 мк) и, как следствие, высокое управляющее напряжение. Проведенные в данной работе исследования открывают перспективу разработки монослойных КПЖК пленок меньшей толщины, имеющих высокий контраст и низковольтное управление.

Работа выполнена при частичном финансировании по грантам Миннауки и Минобразования РФ, а также Красноярского фонда науки. Теоретические разработки частично поддержаны программой INCO-Copernicus (контракт #IC15-CT98-0806).

1. А.П.Иванов, В.А.Лойко, В.П.Дик, *Распространение света в плотноупакованных дисперсных средах*, Минск: Наука и техника, 1988.
2. V.A.Loiko and A.V.Konkolovich, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **303**, 41, (1997).
3. V.A.Loiko and A.V.Konkolovich, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **320**, 337, (1998).
4. В.Я.Зырянов, В.В.Пресняков, В.Ф.Шабанов, *Письма в ЖТФ* **22**, 22 (1996).
5. А.В.Шабанов, В.В.Пресняков, В.Я.Зырянов, С.Я.Ветров, *Письма в ЖЭТФ* **67**, 696 (1998).
6. A.V.Shabanov, V.V.Presnyakov, V.Ya.Zyryanov, and S.Ya.Vetrov, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **321**, 245 (1998).
7. Г. ван де Хюлст, *Рассеяние света малыми частицами*, М.: ИЛ, 1961. (H.C. van de Hulst, *Light Scattering by Small Particles*, John Wiley & Sons, New York, 1957).
8. Г.М.Жаркова, А.С.Сонин, *Жидкокристаллические композиты*, Новосибирск: Наука, 1994.