



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им.Л.В.КИРЕНСКОГО

ПРЕПРИНТ № 533 Ф

СВЕТОИНДУЦИРОВАННЫЙ ПЕРЕХОД ФРЕДЕРИКСА
В ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЛЯХ НЕМАТИКА

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

Красноярск 1988

А Н Н О Т А Ц И Я

Для нового электрооптического материала - капсулированных полимером нематических жидких кристаллов проведены экспериментальные исследования переориентации директора под действием поля световой волны. Измерены пороговые зависимости светопропускания и светорассеяния пленки капсулированных нематиков от мощности лазерного излучения. Обсуждаются особенности проявления эффекта светоиндуцированного перехода Фредерикса в диспергированных каплях нематика и возможности его использования в прикладных целях.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ведется интенсивный поиск новых возможностей практического использования жидких кристаллов (ЖК). Одним из перспективных направлений является изучение гигантской оптической нелинейности мезофазы, обусловленной переориентацией директора ЖК под действием поля световой волны [1]. Такие исследования открывают возможность создания ряда нелинейных оптических устройств с низкой мощностью срабатывания на основе ориентационной нелинейности ЖК [1].

Наиболее ярким примером гигантской оптической нелинейности мезофазы служит открытый экспериментально [2] и получивший теоретическое обоснование в работах [3-5] светоиндуцированный переход Фредерикса (СПФ), то есть переориентация директора в однородно ориентированном слое нематического ЖК под действием падающего нормально светового потока с пороговой зависимостью от мощности света.

Однако, подобные исследования, проводимые до настоящего времени в монослоях ЖК не коснулись качественно нового электрооптического материала - диспергированных капель нематика в полимерной матрице [6].

В данной работе для капсулированных полимером нематических ЖК БЦБ и 7ЦФЦ проведены экспериментальные исследования переориентации директора под действием поля световой волны. Измерены пороговые зависимости светопропускания и светорассеяния пленки предварительно ориентированного переменным электрическим полем капсулированного нематика от мощности лазерного излучения. Обсуждаются особенности проявления эффекта светоиндуцированного перехода Фредерикса в диспергированных каплях нематика и возможности его практического использования.

I. Эксперимент

Для измерения светопропускания и светорассеяния исследуемых образцов была собрана установка, схематическое изображение которой представлено на рис.1. Плоскополяризованное излучение от аргонового лазера ЛГН-4С2, варьируемое по мощности в диапазоне $0 + 350$ мВт для $\lambda = 0,5145$ мкм, фокусировалось линзой 4 на кювету 5 с диспергированным в полимере ЖК. Мощность проходящего образца и диафрагму 6 излучения определялась измерителем мощности ИМО-2Н. С использованием плоскопараллельной светоделительной пластины 3 и зеркала 9 реализовывался канал сравнения для

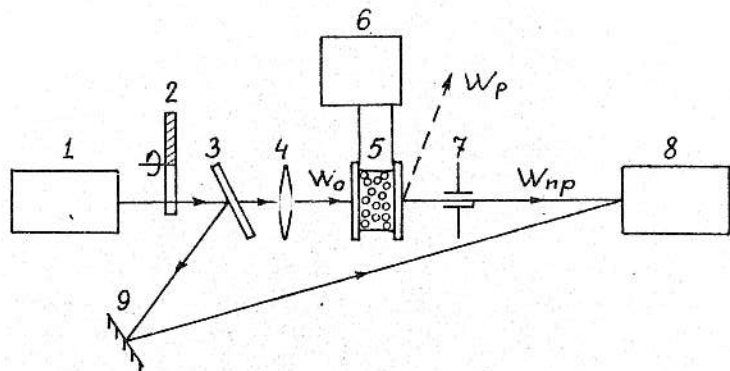


Рис.1. Схема экспериментальной установки:

1 - аргонный лазер ЛГН-402 с дисперсионной призмой и поляризатором, 2 - прерыватель света, 3 - светоделительная пластина, 4 - линза, 5 - термокювета с образцом, 6 - генератор сигналов ГЗ-112/1 с усилителем, 7 - диафрагма, 8 - измеритель мощности ИМО-2Н или фотодиод ФД-24К с осциллографом СИ-91, 9 - зеркало

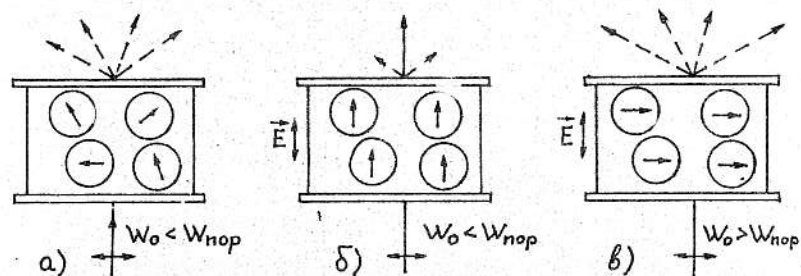


Рис.2. Прохождение плоско-поляризованного излучения через пленку с различным ориентационным состоянием капель ЖК в полимерной матрице: а) в отсутствие электрического сигнала при $W_0 < W_{пор}$; б) в поле переменного электрического сигнала при $W_0 < W_{пор}$; в) в поле переменного электрического сигнала при $W_0 > W_{пор}$. Плоскость поляризации света совпадает с плоскостью рисунка

проведения нормировки W_{np}/W_0 . Собранный установка представляет также возможность измерения мощности рассеянного в некотором телесном угле излучения. Модулируя излучение прерывателем света 2, с помощью фотодиода ФД-24К и осциллографа СИ-91 измерялись времена включения $\tau_{вкл}$ и выключения $\tau_{выкл}$ нелинейно-оптического отклика. Измерения производились при температуре 22°C .

Исследуемые образцы приготавливались аналогично методике, описанной в работах [7,8]. В качестве матрицы использовался аморфный полимер, относящийся к группе термопластиков, который после растворения и высыхания не претерпевает химических превращений и обладает хорошими пленкообразующими свойствами. Нематический ЖК вводился в раствор полимера в смеси растворителей. Полученный раствор выливался на поверхность подложки и высушивался. По мере испарения растворителя смесь становилась гетерофазной, образуя полимерную пленку с равномерно распределенными по объему капсулами нематического ЖК. Образец толщиной 15 мкм формировался посредством сжатия нагретой полимерной пленки между стеклянными подложками, разделенными калиброванными прокладками из тефлона. На внутренние поверхности подложек напылены прозрачные проводящие электроды, на которые от генератора ГЗ-112/1 с усилителем подается электрический сигнал с частотой 1 кГц и напряжением 200 В.

Локальный нагрев оценивался разностью температур перехода нематик-изотропная жидкость в каплях ЖК, находящихся в неосвещенной зоне и в центре светового пятна. В данной экспериментальной геометрии при мощности излучения 300 мВт величина его составляет 3К.

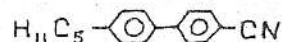
Измерения показателей преломления $n_p, n_{\perp}, n_{\parallel}$ проводились с помощью рефрактометра ИРФ-22, а также использовались данные работы [9]. Показатель преломления полимера n_p при комнатной температуре для $\lambda = 0,589$ мкм равен 1,47.

На рис.2 показано схематическое изображение прохождения лазерного излучения через полимерную пленку с различным ориентационным состоянием капель ЖК. Для исследуемых образцов показатель преломления обыкновенной волны n_{\perp} в нематическом ЖК близок к среднему показателю преломления n_p полимерной матрицы. В отсутствие электрического сигнала при малой мощности падающего излучения (рис.2а) луч рассеивается на произвольно ориентированных каплях нематика, имеющих осесимметричное упорядочение

молекул [8]. В поле переменного электрического сигнала директор ЖК в капсулах ориентируется перпендикулярно подложкам (рис.2б), что приводит к резкому уменьшению рассеяния света [6]. Для мощности излучения, превышающей пороговую (рис.2в), преимущественную роль в ориентации молекул играет поле световой волны, поворачивая директор ЖК в плоскость поляризации перпендикулярно волновому вектору. Такая геометрия соответствует максимальному градиенту показателя преломления света $n_{||} - n_{\perp}$ на границе раздела полимер-капля ЖК и, следовательно, резкому увеличению рассеянного света. При этом аналогично СПФ в монослоях ЖК [2-5] следует ожидать пороговую зависимость переориентации директора в каплях ЖК, которая проявится в пороговой зависимости светопропускания и светорассеяния от мощности падающего излучения.

2. Исследование капсулированного ЖК 5ЦБ

Один из наиболее хорошо исследованных различными физическими методами ЖК - 4-н-пентил-4'-цианобифенил (5ЦБ), имеющий температуры переходов K22N35И и структурную формулу



При комнатной температуре для $\lambda = 0,589$ мкм показатели преломления 5ЦБ $n_{||} = 1,73$, $n_{\perp} = 1,53$. Визуальные наблюдения показывают, что при увеличении мощности света в центре светового пятна прошедшего образец излучения появляется темная область, которая охватывает затем весь луч.

Результаты измерений, представленные на рис.3 свидетельствуют о наличии в диспергированных каплях 5ЦБ, капсулированных в полимере, светоиндуцированного перехода Фредерикса при величине мощности падающего на образец излучения $W_{пор} \approx 105$ мВт, что соответствует значению плотности мощности $P_{пор} \approx 1,65$ мВт/см², если величина диаметра перетяжки $d \approx 90$ мкм.

На рис.4 представлены осциллограммы, полученные с использованием модулированного лазерного излучения варьируемой частоты и скважности и позволившие оценить быстродействие нелинейно-оптического отклика $\tau_{вкл}$, а также время релаксации образца в исходное состояние $\tau_{выкл}$. Для $W_0 = 130$ мВт $\tau_{вкл} \approx 1$ мсек, $\tau_{выкл} \approx 3$ мсек. Время переориентации директора ЖК $\tau_{вкл}$ резко уменьшается при увеличении мощности падающего излучения. Время релаксаций $\tau_{выкл}$ оценивалось в отсутствие переменного электри-

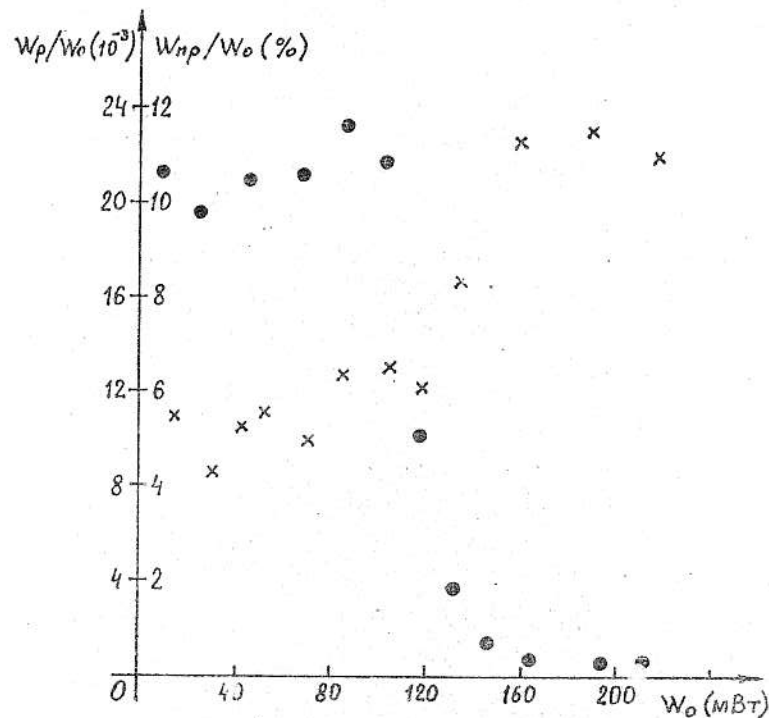


Рис.3. Зависимость светопропускания (оцифрованные точки) и светорассеяния (кресты) для капсулированного полимером ЖК 5ЦБ от мощности падающего на образец излучения

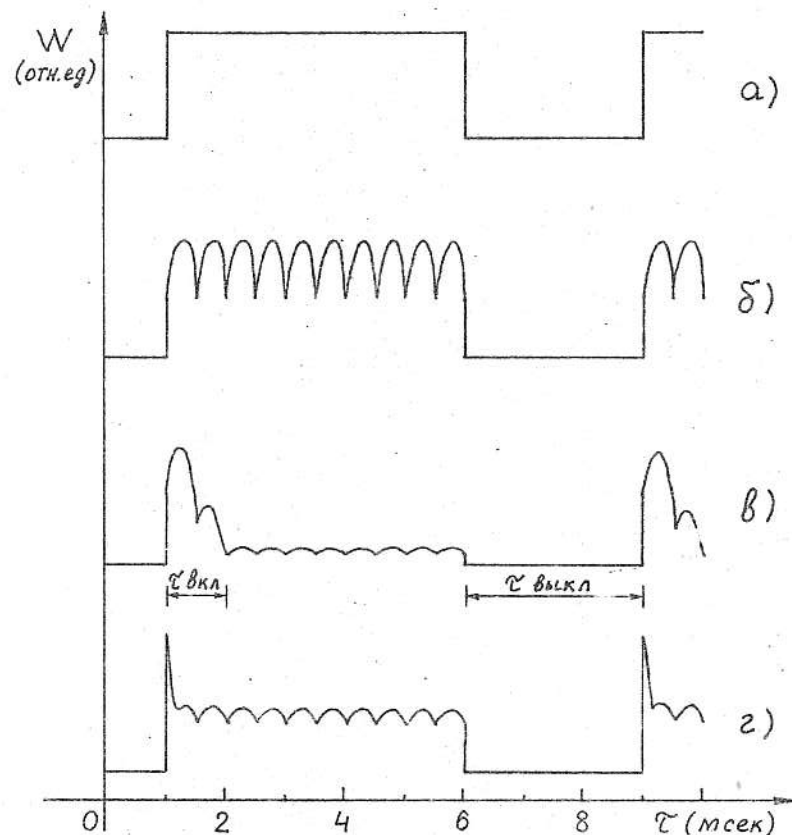


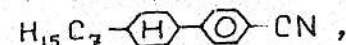
Рис.4. Осциллограмма модулированного светового потока:

а) падающего на пленку капсулированного ЖК 5ЦБ излучения; б) прошедшего излучения, если $W_0 < W_{пор}$; в) прошедшего излучения, если $W_0 \approx W_{пор}$; г) прошедшего излучения, если $W_0 \gg W_{пор}$. На образец действует также приложенное к подложкам переменное электрическое поле, проявляющееся в осцилляциях меньшего периода и величины

ческого сигнала. Дополнительным аргументом ориентационного, а не теплового характера исследуемого перехода является наблюдаемое для случая $W_0 \gg W_{пор}$ модулирование светового импульса переменным электрическим полем частотой 1 кГц.

3. Исследование капсулированного ЖК 7ЦФГ

Жидкий кристалл 4-н-гептил-4'-цианфенил циклогексан (7ЦФГ) со структурной формулой молекулы



имеющий температуры переходов К30Н57, 7И, при охлаждении до комнатной температуры стеклуется, что дало возможность оценить значения показателей преломления. Для $\lambda = 0,589$ мкм величина их составляет: $n_{||} = 1,60$, $n_{\perp} = 1,48$. Размеры капсул также, как и в случае ЖК 5ЦБ равны примерно 1 мкм.

На рис.5 представлена пороговая зависимость светопропускания пленки от мощности падающего излучения. Для данной среды показатели преломления n_p полимера и n_{\perp} ЖК примерно одинаковы, что объясняет более высокое, чем в случае ЖК 5ЦБ, светопропускание пленки в ориентированном электрическим полем состоянии. СПФ в капсулированном ЖК 7ЦФГ происходит при мощности падающего на образец излучения $W_{пор} \approx 180$ мВт.

Сравнение капсулированных ЖК 7ЦФГ и 5ЦБ с существенно различающимися значениями анизотропии диэлектрической проницаемости, $\epsilon_a = \epsilon_{||} - \epsilon_{\perp} = n_{||}^2 - n_{\perp}^2 \approx 0,37$ (7ЦФГ) и $\epsilon_a \approx 0,65$ (5ЦБ) для $\lambda = 0,589$ мкм, дает возможность оценить зависимость пороговой плотности мощности излучения от ϵ_a . Расчеты показывают, что

$$\frac{\epsilon_a(7ЦФГ)}{\epsilon_a(5ЦБ)} \approx 0,57, \quad \frac{P_{пор}(5ЦБ)}{P_{пор}(7ЦФГ)} \approx 0,58,$$

хорошо согласуются с предсказаниями теории СПФ в монослоях [3,4]: $P_{пор} \sim \epsilon_a^{-2}$. Погрешность в расчетах, обусловленная дисперсионной зависимостью отношения ϵ_a исследуемых ЖК в диапазоне длин волн $0,5890 \pm 0,5145$ мкм незначительна. Более корректное проведение подобной оценки требует также учета отличия модулей упругости и отношения $\epsilon_{||}/\sqrt{\epsilon_{\perp}}$ сравниваемых ЖК [3-5],

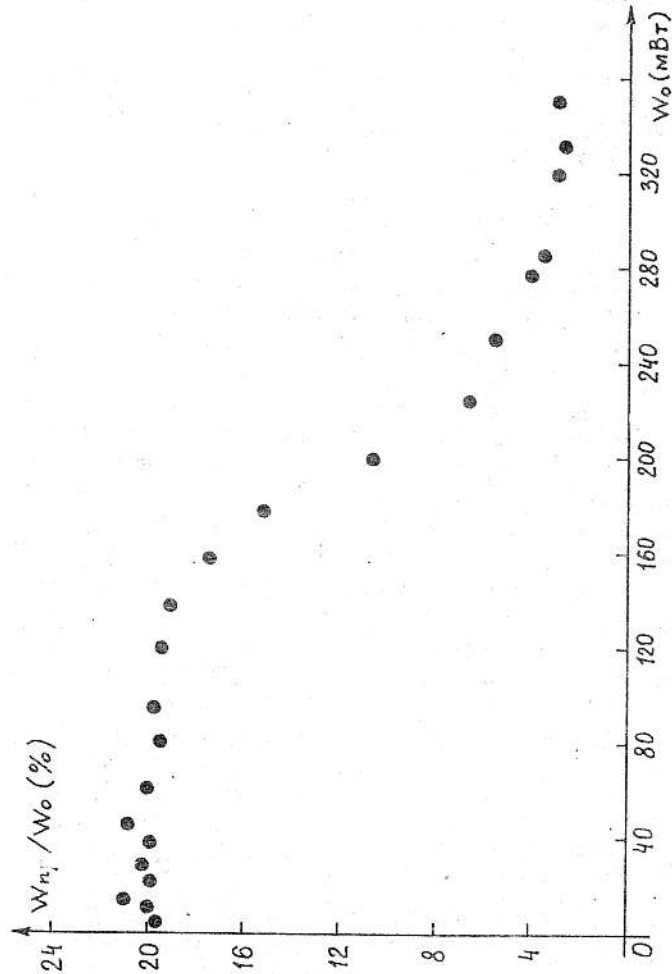


Рис. 5. Зависимость светопропускания для капсулированного полимером ЖК 7ЦФЦГ от мощности падающего на образец излучения

вклад которых в данном случае, по-видимому, примерно одинаков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящей работе для капсулированных полимером нематических ЖК проведены экспериментальные исследования переориентации директора в поле световой волны. Результаты измерений показывают пороговую зависимость светопропускания и светорассеяния пленки от мощности лазерного излучения, характерную для перехода Фредерикса. Измеренные пороговые значения плотности мощности излучения для капсулированных полимером нематических ЖК 5ЦБ и 7ЦФЦГ по порядку величины совпадают с результатами исследований СПФ в монослоях ЖК толщиной около 100 мкм [2-5]. Этот факт представляется неожиданным, так как, например, $P_{пор}$ для монослоя нематика толщиной 1 мкм согласно выводам теории [3-5] ожидается на 4 порядка больше, чем для слоя толщиной 100 мкм ($P_{пор} \sim 1/L^2$, где L - толщина слоя), и определяет актуальность разработки теоретической модели эффекта светодифракционной переориентации директора в капсулированных полимером каплях нематиков.

Проведенные исследования ЖК 5ЦБ и 7ЦФЦГ с существенно различающимися значениями анизотропии диэлектрической проницаемости ϵ_a подтвердили зависимость $P_{пор} \sim \epsilon_a^{-2}$, характерную для монослоев ЖК [3-5].

Измеренные значения времени включения и релаксации нелинейно-оптического отклика совпадают с соответствующими характеристиками электрооптического аналога перехода Фредерикса в капсулированных нематиках и на несколько порядков превышают быстрдействие СПФ в монослоях ЖК [2-5].

Преимущества в технологии изготовления модуляторов света на основе капсулированных полимером ЖК, сочетающиеся с высоким быстродействием нелинейно-оптического отклика и возможностью варьирования в широких пределах порогового значений мощности излучения определяют широкие перспективы практического использования СПФ в данных средах.

Следовательно, необходимо проведение интенсивных исследований динамических, температурных и спектральных характеристик СПФ для различных композиций ЖК-полимер.

Авторы благодарят Жаркову Г.М. за предоставленную полимерную матрицу и ценные консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович Б.Я., Пилипецкий Н.Ф., Сухов А.В., Табириян Н.В. Гигантская оптическая нелинейность в мезофазе ЖК. - Письма ЖЭТФ, 1980, т.31, №5. - с.287-289.
2. Золотыко А.С., Китцева В.Ф., Кроо Н., Соболев Н.Н., Чиллаг И. Влияние поля световой волны на нематическую фазу жидкого кристалла ОЦФ. - Письма ЖЭТФ, 1980, 1980, т.32, №2. - с.170-174.
3. Зельдович Б.Я., Табириян Н.В., Чилингарян Ю.С. Переход Фредерикса под действием световых полей. - ЖЭТФ, 1981, т.81, №1(7). - с.72-83.
4. Зельдович Б.Я., Табириян Н.В. Теория светоиндуцированного перехода Фредерикса (СПФ). - ЖЭТФ, 1982, т.82, №4. - с.1126-1146.
5. Зельдович Б.Я., Табириян Н.В. Ориентационная оптическая нелинейность жидких кристаллов. - УФН, 1985, т.147, №4. - с.633-674.
6. Doane J.W., Vaz N.A., Wu F.-C., Zumer S. Field controlled light scattering from nematic microdroplets. - Appl. Phys. Lett., 1986, v.48, No 4. - p.269-271.
7. Жаркова Г.М., Науменко С.В. Оптические свойства холестерических жидких кристаллов в полимерной пленке // Тезисы докладов 8-й конференции социалистических стран по жидким кристаллам. СССР. 1987, - с.50.
8. Жуйков В.А., Шабанов В.Ф., Жаркова Г.М. Электрооптические свойства капсулированных ЖК // Тезисы докладов 6-й Всесоюзной конференции "ЖК и их практическое использование". Чернигов. 8-11 сентября. 1988. - с.172.
9. Зырянов В.Я., Эпштейн В.Ш. Измерение показателей преломления жидкого кристалла с использованием перестраиваемого источника когерентного инфракрасного излучения. - ПТЭ, 1987, №2. - с.164-166.

Ответственный за выпуск Жуйков В.А.

Подписано в печать 27.12.88г. АЛ 00132

Уч.изд.л. 0,7 Тираж 200 Заказ 11
Отпечатано на ратопринте ИФ СО АН СССР

660036, Красноярск, Академгородок