

**УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П. Н. ЛЕБЕДЕВА РАН**

УДК: 538.9

На правах рукописи

Молькин Вадим Евгеньевич

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ С
СУБМИКРОННЫМ ШАГОМ СПИРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

01.04.07 – физика конденсированного состояния

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

МОСКВА - 2011 г

Работа выполнена в лаборатории оптоэлектронных процессов Физического института им. П.Н.Лебедева Российской Академии Наук

Научный руководитель: Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
Пожидаев Евгений Павлович

Официальные оппоненты: Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
Островский Борис Исаакович
(Институт кристаллографии РАН)

Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
Казначеев Анатолий Викторович
(Институт элементоорганических соединений
РАН)

Ведущая организация: Московский государственный университет
приборостроения и информатики, г.Москва

Защита состоится «_____» _____ 20__ г. в _____ часов на заседании
Диссертационного совета Д002.023.03 Физического института им. П.Н.Лебедева
РАН по адресу:
119 991, Москва, Ленинский проспект 53.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Физического института им. П.Н.Лебедева РАН

Автореферат разослан «_____» _____ 20__ г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.023.03,
доктор физико-математических наук,
профессор

А.С. Шиканов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность выбранной темы проявляется в трёх аспектах. Во-первых, смектические жидкие кристаллы (СЖК) [1] представляют собой пространственно неоднородные электроуправляемые двулучепреломляющие среды, в которых существуют, по крайней мере, две самоорганизующиеся наноструктуры - смектический слой толщиной 3 - 4 нм и надмолекулярная периодическая структура с характерным размером пространственной неоднородности (шагом спирали p_0), сравнимым с длиной волны света видимого диапазона [2, 3, 4, 5]. Кристаллооптика и электрооптическое поведение таких структур исследованы всё ещё слабо, поэтому их дальнейшее изучение продолжает оставаться фундаментальной научной проблемой.

Во-вторых, по прошествии 36 лет с момента открытия сегнетоэлектричества в жидких кристаллах изучение процесса раскрутки спиральной структуры смектиков в электрическом поле как полевого фазового перехода всё еще далеко от завершения. Проблема состоит, главным образом, в том, что известные теоретические модели [6, 7] предсказывают *непрерывное увеличение* шага спирали и макроскопической поляризации по мере увеличения внешнего электрического поля вплоть до критического поля E_c . В самой точке $E = E_c$ шаг спирали смектика, согласно теории, становится равным бесконечности, а поляризация испытывает резкий скачок до своего уровня насыщения, равному величине спонтанной поляризации. Экспериментально же указанные предсказания теории не подтверждаются [8, 9, 10]. Полевая зависимость статической диэлектрической восприимчивости при полевых фазовых переходах в ферриэлектрических и антисегнетоэлектрической фазах к моменту начала данной диссертационной работы вообще не была исследована ни экспериментально, ни теоретически.

В-третьих, сохраняется необходимость в дальнейшем развитии физико-химических основ материаловедения СЖК, в частности, путём исследования корреляций "структура - свойства". СЖК, быстрое действие которых на 2-3 порядка выше, чем у нематических жидких кристаллов (НЖК), в принципе могли бы стать электрооптическими средами нового поколения для дисплеев и фотонных устройств. Тем не менее, электрооптическими средами современных жидкокристаллических дисплеев продолжают оставаться НЖК, так как некоторые параметры СЖК неприемлемы для практического применения в дисплеях. Проблема создания СЖК для дисплеев остаётся актуальной вот уже более 30 лет. Автор попытался внести свой вклад в решение этой проблемы,

разработав новые подходы к управлению величиной шага спирали СЖК, а также к созданию ферриэлектрических СЖК с широким интервалом рабочих температур.

Целью работы являлось исследование диэлектрических и электрооптических свойств смектических жидких кристаллов различного молекулярного строения, на этой основе разработка новых жидкокристаллических сегнетоэлектрических материалов и поиск новых электрооптических эффектов. Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи исследований**:

- разработка смектических С* и ферриэлектрических жидких кристаллов с шагом спирали, меньшим любой длины волны света видимого диапазона,
- экспериментальное исследование процессов деформации, раскрутки и разрушения спиральных структур смектиков С* в электрическом поле,
- исследования электрооптического поведения СЖК, шаг спирали которых много меньше любой длины волны света видимого диапазона.

В качестве объектов исследования использовались, главным образом, многокомпонентные смесевые СЖК, разработанные в отделе оптоэлектроники ФИАН при участии автора данной диссертационной работы.

Научная новизна исследований состоит в:

- обнаружении и экспериментальном исследовании полидоменной структуры, возникающей при разрушении спирали СЖК в электрическом поле, а также эффекта ахроматической электрооптической модуляции, обусловленного этой структурой,
- обнаружении и экспериментальном исследовании не чувствительного к знаку поля и безгистерезисного электрооптического отклика спиральных структур сегнетоэлектрических жидких кристаллов,
- доказательстве существенного влияния диполей, жёстко связанных с асимметрическими атомами углерода хиральных молекул, на закручивающую способность этих молекул,
- доказательстве возможности возникновения ферриэлектрических фаз в смеси ахирального смектика С с немезогенной хиральной добавкой.

Практическая ценность работы заключается в:

- создании СЖК (смектических С* и ферриэлектрических) с шагом спирали и спектральным положением максимума полосы селективного отражения,

меньшими любой длины волны видимого диапазона света, термодинамически устойчивых в широком интервале температур, включая комнатную и более низкие температуры,

- разработке электрооптических модуляторов света, обеспечивающих формирование не чувствительной к знаку управляющего напряжения, непрерывной и безгистерезисной шкалы уровней пропускания света с частотой модуляции до 4 кГц при управляющем напряжении менее 10 Вольт,
- разработке нового типа ахроматических неполяроидных модуляторов полихроматического неполяризованного излучения.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Дипольные моменты, жёстко связанные с асимметричными атомами углерода хиральных молекул СЖК, являются одним из факторов, существенно влияющих на закручивающую способность этих молекул.
2. Продольные диполи ахиральных компонентов смектических смесей являются одной из причин возникновения ферриэлектрических фаз в смесях ахиральных смектиков с хиральными добавками.
3. Раскрутка спиральной структуры СЖК во внешнем поле не является непрерывным процессом изменения шага спирали от начального значения до бесконечности, а идет через разрушение спирали и образование полидоменной структуры.
4. При деформации спиральной структуры СЖК в электрическом поле при определённых условиях может наблюдаться безгистерезисный в широком интервале изменения частоты поля, не чувствительный к знаку поля электрооптический отклик.

Апробация работы. Результаты, изложенные в данной работе, докладывались на 11-й международной конференции по сегнетоэлектрическим жидким кристаллам (Саппоро, Япония, 2007), 22-й международной конференции по жидким кристаллам (Джеджу, Корея, 2008), 10-й Европейской конференции по жидким кристаллам (Колмар, Франция, 2009), 12-й международной конференции по сегнетоэлектрическим жидким кристаллам (Сарагосса, Испания, 2009), 5-й Всероссийской Каргинской конференции «Полимеры-2010» (Москва, 2010), Всероссийском научном семинаре "Оптика нано- и микроструктур" (Самара, 2010), 31-й Международной дисплейной конференции "Eurodisplay-2011" (Бордо, Франция, 2011).

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы. Объем диссертационной работы составляет 134 страницы машинописного текста и включает 94 иллюстрации, одну таблицу и список литературы из 80 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена общая характеристика работы: обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость результатов, перечислены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации материалов диссертации.

В первой главе представлен литературный обзор по теме диссертации. В разделе 1.1 приведена классификация полярных диэлектриков. Раздел 1.2 посвящен современной классификации жидкокристаллических материалов по типам упорядочения молекулярной упаковки. В разделе 1.3 описаны антисегнетоэлектрическая и ферриэлектрическая смектические жидкокристаллические фазы. Для многослоевых феррифаз введено понятие параметра порядка, связанного с двуосностью, кроме того, рассмотрены структуры и свойства FiLC-фазы. Раздел 1.4 посвящен молекулярным аспектам сегнетоэлектричества и электрооптики смектических жидких кристаллов. Описана проблематика управлением параметрами сегнетоэлектрических смесей, в частности, уменьшения величины шага спирали для создания ЖК смесей, способных к фазовой модуляции света за счёт деформации спиральной структуры. В разделе 1.5 приведены краткие сведения о фазовом переходе смектик А* - смектик С* и феноменологической теории жидкокристаллических сегнетоэлектриков. В разделе 1.6 описаны основные расхождения между теоретическими и экспериментальными исследованиями процесса раскрутки спирали во внешнем электрическом поле смектических ЖК. Раздел 1.7 посвящен электроуправляемому двулучепреломлению в смектических структурах, дано краткое описание DHF и V-shape эффектов и их основных особенностей. В разделе 1.8 сформулированы необходимые условия получения всех основных цветов электроуправляемого двулучепреломления (красного, зеленого и синего). В разделе 1.9 описан один из основных современных методов исследования ЖК

- диэлектрическая спектроскопия, показаны как достоинства, так и несовершенства данного метода исследования. В конце главы сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе приведены методы исследования жидкокристаллических сегнетоэлектриков, применявшихся автором при выполнении диссертационной работы. Описаны основные технологические приёмы сборки СЖК ячеек и методика контроля толщины зазора между стеклянными пластинами. Дана общая блок-схема экспериментальной установки, особенностью которой являлась возможность одновременной регистрации электрооптического отклика, тока переполаризации и интеграла от тока переполаризации. Описаны методики электрооптических и диэлектрических измерений. Определены условия, при которых достигалась статичность выполненных в данной работе диэлектрических измерений. В частности, показано, что для ЖК NS-1010 частотная зависимость восприимчивости обнаруживает две дисперсионных области, разделенных плато. Высокочастотная область дисперсии хорошо известна и является Голдстоуновской дисперсионной модой, асимптотически выходящей на уровень высокочастотной восприимчивости. Плато соответствует статической диэлектрической восприимчивости Голдстоуновской моды χ_G [7]. В области низких частот дисперсия не выходит на статический уровень и не достигает постоянного значения даже при частоте 0.1 мГц. Причина такого поведения до сих пор остается не выясненной. Отдельный параграф посвящен определению критического поля раскрутки спирали смектических С*ЖК, показано, что экспериментально критическое поле с большой точностью можно определить из экстремумов диэлектрической восприимчивости и времени включения ЖК. Кроме того, исследование полевых зависимостей макроскопической поляризации и диэлектрической восприимчивости позволяет определить и тип сегнетоэлектрической упаковки смектической фазы при данной температуре, а именно:

- В сегнетоэлектрической С* фазе наблюдается один максимум диэлектрической восприимчивости, в малых полях поляризация P пропорциональна напряженности поля E , существует два статических уровня диэлектрической восприимчивости, соответствующих восприимчивостям недеформированной геликоидальной и пространственно-однородной структур.

- В антисегнетоэлектрической C_A^* фазе наблюдается один максимум диэлектрической восприимчивости, в малых полях поляризация P равна нулю, существует два статических уровня диэлектрической восприимчивости, соответствующих восприимчивостям недеформированной геликоидальной и пространственно-однородной структур.
- В ферриэлектрических C_γ^* фазах наблюдается два максимума диэлектрической восприимчивости, в малых полях и промежуточных поляризация P пропорциональна напряженности поля E , существует три статических уровня диэлектрической восприимчивости.

Третья глава посвящена разработке смектических жидких кристаллов с ультракоротким шагом спирали. Молекулярный дизайн новых хиральных соединений с высокой закручивающей способностью в данной работе отталкивается от описанного ранее симметричного диэфира терфенилдикарбоновой кислоты [11] (рис. 1 а), модификация которого заключалась в замене в гомологе группы CH_3 при асимметрическом атоме углерода на группу CF_3 (рис. 1 б).

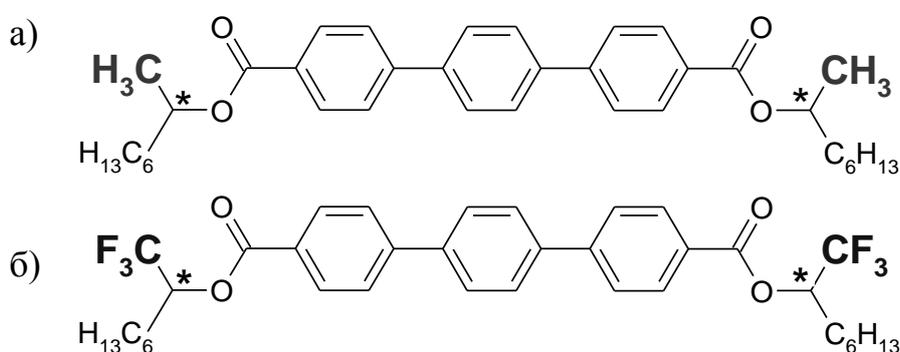


Рисунок 1.
Структурные формулы хиральных структур - производных терфенилдикарбоновой кислоты.

Из литературы известно [12], что дипольный момент CF_3 (~ 4 Дебая) на порядок превосходит дипольный момент CH_3 (~0.3 Дебая). Таким образом, структуры (а) и (б) рисунка 1 различаются между собой, главным образом, по величине диполей, жёстко связанных с асимметрическими атомами углерода. Шаг спирали смеси, образованной смешением двухкомпонентной ахиральной смектической матрицей с хиральной добавкой, которая имела группу CH_3 , при концентрациях хирального компонента около 25% равен 400 нм. При дальнейшем увеличении концентрации шаг спирали уменьшается, однако такой состав смеси становится термодинамически неустойчивым. Шаг спирали смеси,

образованной хиральной добавкой с группой CF_3 , становится равным 400 нм при концентрации добавки 17%, причем смесь остается термодинамически устойчивой и при больших её концентрациях. Эвтектика данной смеси наблюдается при концентрации добавки в 23% и получила обозначение СЖК-576. Сегнетоэлектрическая S^* фаза существует в СЖК-576 во всём интервале температур $+2^\circ\text{C} \div +63^\circ\text{C}$.

Шаг спирали СЖК-576 составляет около 200 нм при комнатной температуре, а при температуре ниже 35°C в УФ область спектра *перемещается также и пик селективного отражения* данной смеси (рис. 2), благодаря чему она является оптически прозрачной: селективное дифракционное отражение не наблюдается в видимой области спектра. Доказано, что поперечные диполи при асимметрических атомах углерода хиральных молекул являются одним из важных факторов, определяющих закручивающую способность хиральных молекул.

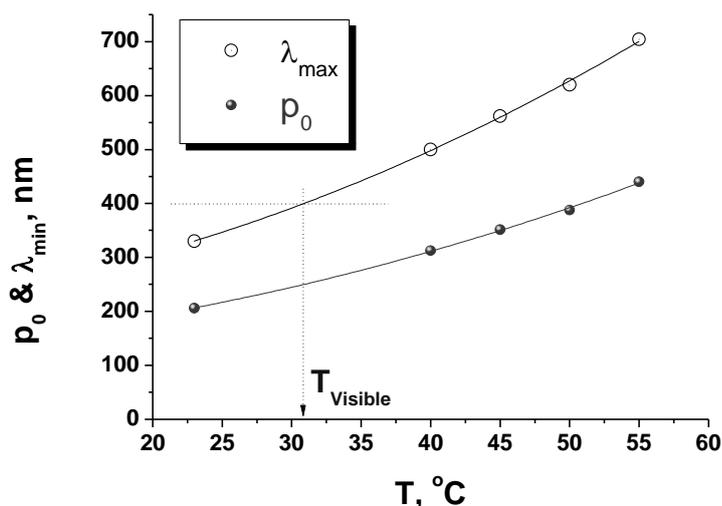


Рисунок 2. Зависимости пика селективного отражения λ_{\max} и шага спирали p_0 сегнетоэлектрической смеси СЖК-576 от температуры.

Изменение химического строения одного из компонентов ахиральной смектической матрицы, входящей в состав смеси СЖК-576 (рис. 3) приводит к появлению в смеси ферриэлектрической фазы. Расчёт, выполненный в программе FireFly, показал, что если атом кислорода находится у пиримидинового кольца (СЖК-576А, рис. 3 б), то продольный дипольный момент компонента ахиральной матрицы ($P_y = 2.05 \text{ D}$) в два раза больше по сравнению со случаем, когда атом кислорода расположен у бензольного кольца ($P_y = 1.11 \text{ D}$, рис. 3 а).

Таким образом, именно продольные диполи ахиральных компонентов смектических смесей являются одним из факторов, определяющих условия

возникновения смектических фаз с ферриэлектрическим поведением во внешнем электрическом поле.

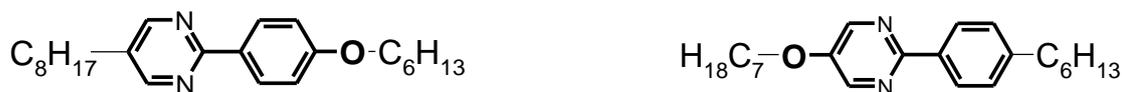


Рисунок 3. Структурные формулы компонента смектической матрицы сегнетоэлектрического СЖК-576 (а) и ферриэлектрического СЖК-576А (б) жидких кристаллов.

Температурный диапазон существования ферриэлектрической фазы в СЖК-576А, для которой характерно наличие двух экстремумов в зависимости диэлектрической восприимчивости от напряжения, является довольно широким: от +8°C до +52°C.

Выбор молекулярного строения многокомпонентных смесей позволяет управлять также и температурным интервалом существования фаз, обеспечивая, в частности, широкий температурный интервал существования антисегнетоэлектрической фазы. В рамках данной работы также был создан антисегнетоэлектрический ЖК АС-1 с широким температурным интервалом существования антисегнетоэлектрической фазы (от +19°C до +80°C).

В четвертой главе рассмотрено поведение спиральной структуры смектика С* во внешнем электрическом поле. На рисунке 4 представлены экспериментальная зависимость диэлектрической восприимчивости СЖК-576 ($d = 51 \mu\text{m}$, $f = 1,5 \text{ Гц}$) и рассчитанное значение $\chi(E)$ по формуле

$$\chi(E) = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{\partial P}{\partial E} = \frac{1}{\varepsilon_0} P_s \frac{\partial \langle \cos \varphi \rangle}{\partial E} + \chi_\infty \quad (1)$$

Теоретическая и экспериментальная кривые совпадают вплоть до 0.7ε ($\varepsilon = E/E_c$) с точностью не хуже $\pm 10\%$, что говорит о том, что статическая модель безграничной спирали [6, 7, 13] действительно описывает поведение диэлектрической восприимчивости в области малых полей при деформации спирали. При значениях параметра ε , близком к единице, теория совершенно не описывает эксперимент, причём наблюдаются не только огромное количественное, но и качественное расхождение между теорией и экспериментом (рис. 4).

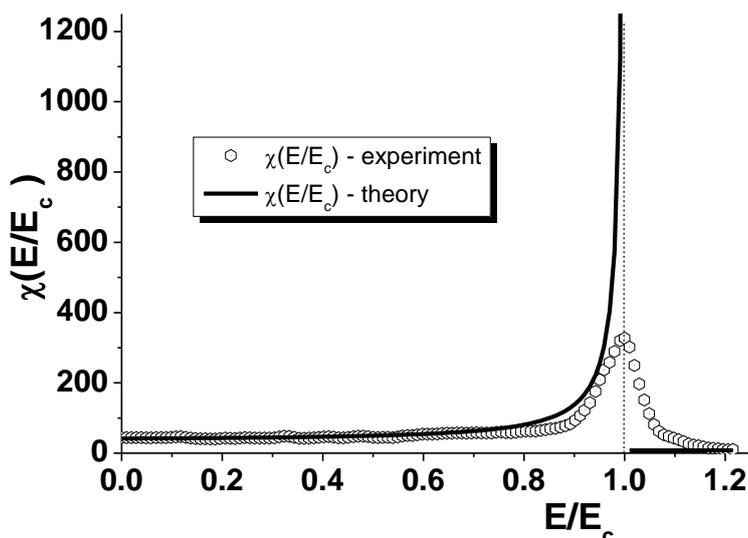


Рисунок 4. Сравнение экспериментальной и теоретической зависимостей диэлектрической восприимчивости СЖК-576.

Физическая причина указанного противоречия, как было установлено в ходе выполнения данной диссертационной работы, заключается в том, что при $\varepsilon \rightarrow 1$ спираль *не раскручивается непрерывно*, как предполагается в теоретической модели, а *разрушается*, что подтверждается микрофотографиями поверхности слоя СЖК в проходящем белом неполяризованном свете (рис. 5).

Скрутка спирали, то есть появление геликоида, при $E > E_c$ сопровождается возникновением горизонтальных двумерных структур (перпендикулярно натиранию ячейки) *эффективного показателя преломления*, размер которых порядка нескольких микрометров (рис. 5 а). Раскрутка спирали также не является непрерывной, возникают уже двумерные структуры *эффективного показателя преломления* с хорошо очерченными областями перехода (рис. 5 б). Размер таких границ - порядка десяти микрон.

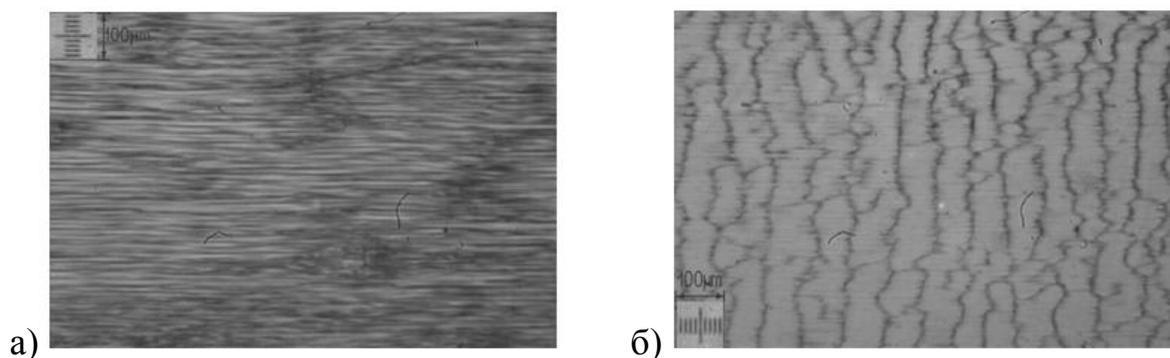


Рисунок 5. Фотографии микроструктуры СЖК-576 при процессах скрутки (а) и раскрутки (б) спирали. Толщина ячейки $51\mu\text{m}$. Направление натирания ориентанта – сверху вниз. Поляризаторы отсутствуют. Размер фотографий $1 \times 0,7$ мм. На вставке к фотографиям - характерный размер $100\mu\text{m}$.

В объеме жидкого кристалла наблюдается рассеяние: фон фотографии темнеет по сравнению с микрофотографией невозмущенной электрическим полем геликоидальной структуры, так как свет отклоняется от направления распространения, что связано, очевидно, с пространственной модуляцией эффективного показателя преломления. Двумерные периодические неоднородности, по-видимому, связаны с разрывом спирали и образованием полидоменной структуры, каждый домен которой характеризуется определенным направлением и величиной волнового вектора спирали. Таким образом, теряет свой смысл само понятие спиральной структуры СЖК и ее волнового вектора. На фотографии хорошо виден случайный характер возникающих пространственных неоднородностей пропускания.

Обнаружен новый электрооптический эффект электроуправляемой модуляции рассеяния света при разрушении спиральной структуры смектика С* в электрическом поле. На основе этого эффекта разработан новый тип ахроматических бесполяридных модуляторов полихроматического неполяризованного излучения с характерным временем включения рассеивающего состояния 300 μs , временем выключения - около 100 μs .

В пятой главе рассмотрена электроуправляемая фазовая модуляция света в спиральных структурах СЖК. Для ячейки толщиной 125 μm на основе СЖК-576 была теоретически рассчитана и экспериментально измерена зависимость пропускания от приложенного поля. Обе зависимости обнаруживают хорошее соответствие, что свидетельствует о верной теоретической модели, построенной в работе [14].

Введено понятие коэффициента Керра спиральной структуры СЖК

$$B_{СЖК} = \frac{\Delta n}{\lambda_0} \left[1 - \frac{3}{2} \sin^2 \theta + \frac{\sin^2 2\theta}{1 - \frac{3}{2} \sin^2 \theta} \left(\frac{\varepsilon_0 \chi_G}{P_s} \right)^2 \right] \quad (2)$$

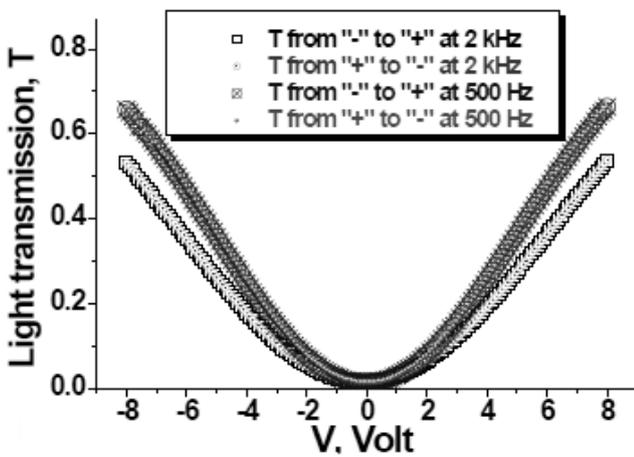
Для СЖК-576 истинный коэффициент Керра оказывается равным $B_{СЖК} = 2 * 10^{-3} \text{ед.СГСЕ}$, что на два порядка выше, чем у нитробензола ($B = 2.2 * 10^{-5} \text{ед.СГСЕ}$).

Показано, что в DHF -эффекте существуют две отличных друг от друга электрооптические моды. Различие между ними обуславливается разной ориентацией плоскости поляризации света по отношению к направлению оси спирали и могут быть записаны в следующей форме:

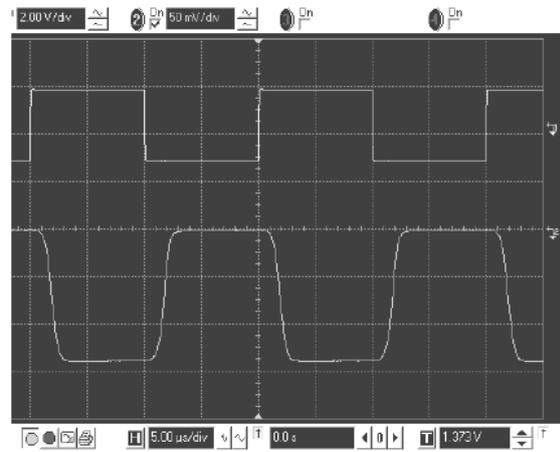
$$\beta = 0 \text{ или } \beta = \pi/2 \quad (3),$$

$$|\beta| = |\Delta\alpha| = 22.5^\circ \quad (4),$$

где β - угол между поляризатором и осью геликоида. Если выполнено условие (3), а частота внешнего поля мала и находится в области статических значений диэлектрической дисперсии, то наблюдается весьма интересная электрооптическая мода, в которой пропускание T и электрооптический отклик не будут зависеть от полярности управляющего напряжения (рис. 6 а), как и в классическом эффекте Керра. Наблюдается квазинематическая электрооптическая мода, время отклика в которой, однако, на два порядка быстрее, чем у нематиков: $\tau_{on} = 80 \mu s$, $\tau_{off} = 60 \mu s$. Причина безгистерезисности отклика заключается в том, что структура кристалла в отсутствие напряжения между двумя импульсами возвращается в состояние недеформированной спирали, и реакция на каждый импульс начинается именно из этого состояния. При выполнении условий (4) отклик уже зависит от полярности управляющего напряжения (рис. 6 б), однако время отклика составляет порядка всего одной микросекунды.



а)



б)

Рисунок 6. а) - пропускание ячейки $1.7 \mu m$ на основе СЖК-576 при управляющем напряжении в виде прямоугольных меандров со скважностью 1:1 на частотах 2 кГц и 500 Гц. б) - Фотография экрана осциллографа. Сверху - вид управляющего напряжения, амплитуда ± 15 В, частота 50 кГц. Снизу - электрооптический отклик при выполнении условия $|\beta| = |\Delta\alpha|$. Толщина ячейки $3 \mu m$, $T = 22^\circ C$. $\lambda = 0.628 \mu m$

Причина такой высокой скорости кроется в том, что работа кристалла в данной моде происходит в области диэлектрической дисперсии спиральной структуры и отклонение молекул от их состояния равновесия уменьшается при увеличении частоты поля, что приводит к уменьшению отклонения $\Delta\alpha$ главной оптической оси и, вследствие этого, стремлению к оптимальному значению $\Delta\alpha=22.5^\circ$, при котором, согласно (5) [2], пропускание максимально.

$$T = \sin^2 4\Delta\alpha \cdot \sin^2 \frac{\Delta\Phi(E)}{2} \quad (5).$$

В шестой главе описаны диэлектрические и электрооптические свойства ферриэлектрических и антисегнетоэлектрических ЖК. На примере классического ЖК МНРВС [15] показано, что исследование статической диэлектрической восприимчивости позволяет не только определить тип сегнетоэлектрической упаковки жидкокристаллического состояния, но и определить температурные границы существования промежуточных фаз (рис. 7).

Данная методика построения фазовой диаграммы смектических ЖК была применена для исследования разработанной нами антисегнетоэлектрической смеси АС-1. В температурном интервале $84\div 91^\circ\text{C}$ в АС-1 обнаружена фаза, полевая зависимость диэлектрической восприимчивости которой имеет три максимума, что свидетельствует о существовании ферриэлектрической фазы с параметром двуосности q_T , отличным от $1/2$ или $1/3$. По-видимому, элементарная ячейка данной феррифазы должна состоять из пяти смектических слоев, $q_T = 1/5$ или $q_T = 3/5$.

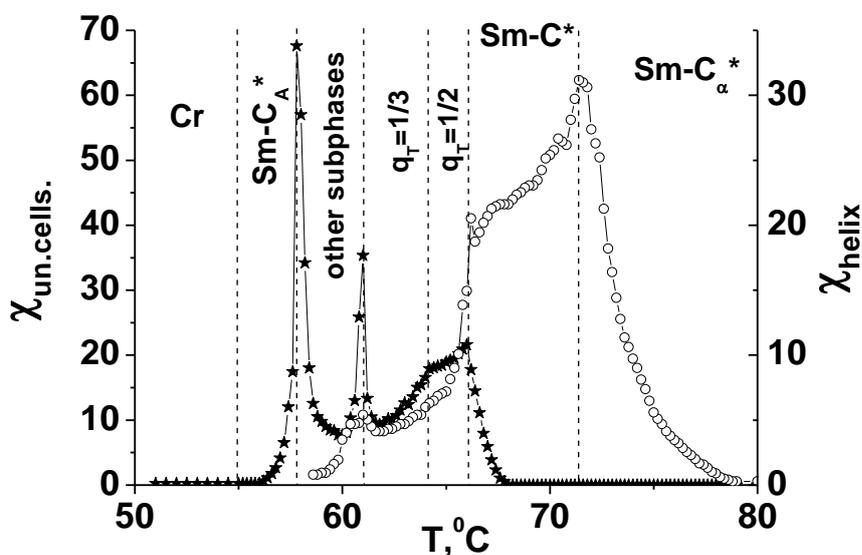


Рисунок 7. Температурные зависимости диэлектрической восприимчивости геликоидальной структуры χ_{helix} и подсистемы элементарных ячеек $\chi_{\text{un.cell}}$ жидкого кристалла МНРВС. $d = 40 \mu\text{m}$.

Показано, что ферриэлектрические ЖК обеспечивают более сильную фазовую модуляцию света в малых полях, чем смектические C* жидкие кристаллы.

В электрооптической ячейке на основе антисегнетоэлектрического жидкого кристалла АС-1, разработанного в ходе выполнения данной работы, экспериментально впервые были получены все три основных цвета двулучепреломления.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

а) рецензируемые журналы:

1. A.V. Emelyanenko, E.P. Pozhidaev, N.M. Shtykov, V.E. Molkin / Antiferroelectric and ferrielectric liquid crystal display: electrically controlled birefringence color switch as a new mode // *Journal of the Society for Information Display*. – 2008. – V. 16. – №8. – P. 811.
2. E.P. Pozhidaev, S.I. Torgova, V.E. Molkin, M.V. Minchenko, V.V. Vashchenko, A.I. Krivoshey, and A. Strigazzi. / New Chiral Dopant Possessing High Twisting Power. // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 509, 1042–1050, (2009).
3. E. Pozhidaev, F. C. M. Friere, C. A. R. Yednak, A. Strigazzi, S. Torgova, V. Molkin, M. Minchenko. Permittivity of Chiral Smectics in the Broad Range from 0.1 mHz to 50 kHz: / Discovery of Sub-mHz Dielectric Dispersion, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 546, Sp. Iss. SI, 186 - 194, (2011).
4. E. P. Pozhidaev, V. E. Molkin, V. G. Chigrinov. Smectic nanostructures with a typical size less than a visible light wavelength: physics and electro-optics, *Photon. Letts. of Poland*, **3** (1), 11-13, (2011).

б) сборники трудов конференций:

5. A.V. Emelyanenko, E.P. Pozhidaev, V.E. Molkin, N.M. Shtykov. Antiferroelectric Liquid Crystal Display: Electrically Controlled Birefringence Color Switch as a New Mode. *Proc. of the 27th Intern. Display Research Conference* (Moscow, September 2007), 195- 198 (2007).
6. A.V. Emelyanenko, E.P. Pozhidaev, V.E. Molkin, N.M. Shtykov. Theoretical approach to the Control of Antiferroelectric Smectic Phase Sequences by the Electric Field Application: Perspectives in LCD. *Proc. of Taiwan-Russia Joint Symposium on Soft Materials: Physics, Chemistry and Applications* (Taiwan, November 2007).
7. В.Е. Молькин, Е.П. Пожидаев, В. А. Барбашев. Фазовые переходы в электрическом поле в жидкокристаллических смектических микро-

наноструктурах: электрооптические проявления в светорассеянии, *Сборник конкурсных докладов 8-й Всероссийской молодёжной Самарской конкурсно-конференции научных работ по оптике и лазерной физике*, Самара, 17-20 ноября 2010 г, с. 195 - 201, (2010).

8. E. Pozhidaev, V. Chigrinov, V. Vashenko, M. Minchenko, A. Srivastava, V. Molkin, A. Krivoshey, S. Torgova and H. S. Kwok. High frequency low voltage shock-free ferroelectric liquid crystal: a new electro-optical mode with electrically suppressed helix, *Proc. of 31-th International Display Research Conference EuroDisplay 2011*, Bordeaux-Arcachon, France, September 19-22 (2011).

в) тезисы докладов

9. A.V. Emelyanenko, E.P. Pozhidaev, V.E. Molkin, N.M. Shtykov / Electrically controlled birefringence as a new possible mode for the antiferroelectric liquid crystal display // Тезисы докладов 9-й Европейской конференции по жидким кристаллам, Лиссабон, Португалия, 2-6 июля 2007, IL1.
10. A.V. Emelyanenko, E.P. Pozhidaev, V.E. Molkin, N.M. Shtykov / Novel wide-temperature ferrielectric materials: electrically controlled birefringent color switch as a new way of application // Тезисы докладов 11-й Международной конференции по сегнетоэлектрическим жидким кристаллам, Саппоро, Япония, 3–8 сентября 2007, О-34.
11. A.V. Emelyanenko, E.P. Pozhidaev, V.E. Molkin, N.M. Shtykov / Antiferroelectric liquid crystal display: electrically controlled birefringent color switch as a new mode // Тезисы докладов 11-й Международной конференции «Евродисплей-2007», Москва, 17–20 сентября 2007.
12. A.V. Emelyanenko, E.P. Pozhidaev, V.E. Molkin, N.M. Shtykov / Theoretical approach to the control of antiferroelectric smectic phase sequences by the electric field application: perspectives in LCD // Тезисы докладов совместного российско-тайваньского научного симпозиума, Синчжу, Тайвань, 11–16 ноября 2007.
13. A.V. Emelyanenko, E.P. Pozhidaev, V.E. Molkin, V.Yu. Rudyak, K.A. Pimenov, N.M. Shtykov / Electrically controlled antiferroelectric and ferrielectric materials // Тезисы докладов 22-й Международной конференции по жидким кристаллам, Чеджу, Корея, 29 июня - 4 июля 2008, PNA_1025.
14. E.P. Pozhidaev, V.G. Chigrinov, A.V. Emelyanenko, V.V. Vashchenko, V.E. Molkin, M. V. Minchenko, A.A. Krivosey, V.Yu. Rudyak. / Broad temperature range and extremely short helix pitch ferrielectric liquid crystals: material science,

physics and applications. // *Abstract book of 12th International Conference on Ferroelectric Liquid Crystals* (Saragossa, Spain, 31th August - 4th September 2009), D_09, (2009).

15. В.Е. Молькин, Е.П. Пожидаев, В.А. Барбашев. Фазовые переходы в электрическом поле в жидкокристаллических смектических наноструктурах: электрооптические проявления. *Всероссийский научный семинар "Оптика нано-и микроструктур", Самара, 17-19 ноября 2010 г.*, Программа, с. 8.

Список цитируемой литературы:

1. R. B. Meyer, L. Libert, L. Strzelecki, P. Keller. Ferroelectric Liquid Crystals, – *J. De Phys. Lett.*, v. **36**, p. L-69 – L-71, (1975).
2. Л. А. Береснев, Л. М. Блинов, Д. И. Дергачёв, С. Б. Кондратьев. Электрооптический эффект в сегнетоэлектрическом жидком кристалле с малым шагом геликоида и высокой величиной спонтанной поляризации, *Письма в ЖЭТФ*, **46**, вып.8, 28-330, (1987).
3. L. A. Beresnev, V. G. Chigrinov, D. I. Dergachev, E. P. Pozhidaev, J. Funfshilling, M. Shadt. Deformed helix ferroelectric liquid crystal display – a new electrooptic mode in ferroelectric smectic C* liquid crystals, *Liquid Crystals*, **5**, N°4, 1171-1177, (1989).
4. G. Scherowsky, B. Michalski and C. Junghans, Ferroelectric liquid crystals containing a chiral b-lactam unit, *J. Mater. Chem.*, **5**, 2125 - 2130, (1995).
5. E. P. Pozhidaev, S. A. Pikin, D. Ganzke, S. A. Shevtchenko, W. Haase. High frequency and high voltage mode of deformed helix ferroelectric liquid crystals in a broad temperature range. *Ferroelectrics*, **246**, 235-245 (2000).
6. С. А. Пикин. Структурные превращения в жидких кристаллах. – М., Наука, 1981.
7. B. Urbanc, B. Zeks, and T. Carlsson, Nonlinear effects in the dielectric response of ferroelectric liquid crystals, *Ferroelectrics*, Vol. **113**, 219-230 (1991).
8. D. S. Parmar, K. K. Raina, J. Shankar. Effect of electric fields on the helical pitch in chiral smectic C* liquid crystals, *Mol. Cryst. Liq. Cryst*, **103**, 77-98, (1983).
9. В. Г. Чигринов, В. А. Байкалов, Е. П. Пожидаев, Л. М. Блинов, Л. А. Береснев, А. И. Аллагулов. Флексоэлектрическая поляризация сегнетоэлектрического смектического C* жидкого кристалла, *ЖЭТФ*, **88**, вып. 6, 2015-2024, (1985).
10. W. Haase, D. Ganzke, E. P. Pozhidaev. Non-display applications of ferroelectric liquid crystals. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **599**, 15-26 (1999).

11. M. V. Loseva, N. I. Chernova, A. Z. Rabinovich, E. P. Pozhidaev, J. S. Narkevich, O. S. Petrachevich, E. M. Kazachkov, N. I. Korotkova, M. Shadt, R. Bucheker. Structure of optically active compounds and ferroelectric properties of liquid crystals, *Ferroelectrics*, **114**, 357-377, (1991).
12. Минкин В.И., Осипов О.А., Жданов Ю.А., Дипольные моменты в органической химии, Ленинград, "Химия", 1968г.
13. Б. И. Островский, С. А. Пикин, В. Г. Чигринов. Флексоэлектрический эффект и поляризационные свойства хирального смектического С* жидкого кристалла, *ЖЭТФ*, т. **77**, вып. 10, с. 1615-1625, (1979).
14. E. Pozhidaev, S. Torgova, M. Minchenko, C. A. R. Yednak, A. Strigazzi, and E. Miraldi. Phase modulation and ellipticity of the light transmitted through a smectic С* layer with short helix pitch, *Liquid Crystals*, 37: 8, 1067 — 1081, (2010).
15. T. Isozaki, K. Hiraoka, Y. Takanishi, H. Takezoe, A. Fukuda, Y. Suzuki, and I. Kawamura, *Liq. Cryst.* **12**, 59, (1992).