

*На правах рукописи*



Гардымова Анна Петровна

ЭЛЕМЕНТЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ  
НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ  
КРИСТАЛЛОВ С УПРАВЛЯЕМЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЦЕПЛЕНИЕМ

05.13.05 - элементы и устройства  
вычислительной техники и систем управления

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск – 2011

Работа выполнена в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор  
Зырянов Виктор Яковлевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
Смирнов Александр Георгиевич

доктор технических наук, профессор  
Иванчура Владимир Иванович

Ведущая организация: Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск)

Защита состоится *“23 сентября”* 2011 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 212.099.11 при Сибирском федеральном университете по адресу: 660074, Красноярск, Киренского, 26, ауд. УЛК 115.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета.

Автореферат разослан 20 августа 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Л.И. Покидышева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### *Актуальность темы*

Информационные технологии в настоящее время являются одной из ключевых областей инновационной деятельности, определяющей научно-технический прогресс человеческой цивилизации. Данное направление включает в себя создание новых устройств вычислительной техники и систем управления, в том числе предназначенных для развития техники отображения информации. На сегодняшний день около 90% мирового рынка устройств отображения информации (дисплеев) занимают устройства на основе жидких кристаллов (ЖК). Разнообразие электрооптических эффектов, присущее жидким кристаллам [1], позволило создать широкий ряд конструктивно и функционально различающихся дисплейных устройств, эффективно используемых как в простейших индикаторах сегментного типа, так и в высокоинформативных телевизионных экранах и компьютерных мониторах с матричной адресацией.

В последнее время большое внимание исследователей уделяется разработке гибких ЖК материалов, среди которых наиболее известными являются капсулированные полимером жидкие кристаллы (КПЖК) [2], представляющие собой полимерные пленки с капсулированными в них каплями ЖК микронных размеров. Композитный ЖК материал, сочетая в себе полезные свойства полимеров (механическую прочность, гибкость) и жидких кристаллов (анизотропию свойств, высокую чувствительность к внешним воздействиям), открывает один из путей к созданию гибких дисплеев типа «электронная книга» [3], способных заменить бумажные аналоги и тем самым решить одну из актуальнейших задач современных технологий.

Однако базовый принцип – классический ориентационный переход Фредерикса [4] под действием электрического поля, положенный в основу функционирования современных ЖК дисплеев, во многом исчерпал потенциал для дальнейшего развития техники отображения информации. В данном случае ЖК переориентируется в объеме слоя без изменения граничных условий. Сейчас идет активный поиск возможностей создания новых ЖК материалов и устройств, основывающихся на принципиально иных подходах.

Концептуально новое направление в развитии дисплейной техники формируется на основе методов управления ЖК материалами за счет модификации поверхностного сцепления [5, 6]. Одним из таких методов является способ переориентации жидких кристаллов посредством электроуправляемой модификации граничных условий наноразмерными слоями ионных сурфактантов. На сегодняшний день данный способ управления разработан лишь в приложении к КПЖК пленкам на основе нематиков [7]. Развитие ионно-сурфактантного метода для капсулированных полимером холестерических жидких кристаллов (КПХЖК) может привести к созданию новых

элементов и устройств на их основе, способных существенно расширить функциональные возможности техники отображения информации. Известно, что специфической особенностью КПХЖК пленок является гистерезис электрооптических характеристик, позволяющий реализовать эффекты структурной и оптической бистабильности [8]. Актуальность диссертационной работы определяется необходимостью разработки физических и технических принципов создания электрооптических устройств с энергонезависимым хранением записанной информации за счет использования специально разработанных мультстабильных КПХЖК пленок, допированных ионными сурфактантами.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ НШ-3818.2008.3 (2008-2009 гг.); гос/контрактов № 02.740.11.0220 и № П901 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2009-2011 гг.); гранта РФФИ № 08-03-01007 (2008-2010 гг.).

### ***Цель работы и задачи исследования***

Целью работы являлось развитие научных основ создания мультстабильных элементов отображения информации на основе капсулированных полимером холестерических жидких кристаллов с электрически управляемым поверхностным сцеплением.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Подобрать компоненты электрооптического материала (жидкий кристалл, холестерическую добавку, ионообразующий сурфактант, полимерную матрицу) и изготовить тестовые образцы композитных пленок.

2. Исследовать поляризационно-оптическим методом текстурные картины полученных пленок и ориентационное упорядочение директора в объеме и на границах капель холестерического жидкого кристалла, допированного ионообразующим сурфактантом.

3. Изучить возможности реализации эффекта структурной и электрооптической мультстабильности композитных пленок, обусловленного модификацией граничных условий ионным сурфактантом.

4. Разработать и апробировать электрооптические элементы на основе созданного композитного материала «холестерический жидкий кристалл – полимер – ионный сурфактант». Определить параметры электрических сигналов, переключающих оптоэлектронные элементы в различные стабильные состояния с энергонезависимой памятью.

### ***Научная ценность и новизна***

1. Ионно-сурфактантный метод управления жидкокристаллическими материалами впервые адаптирован для капсулированных полимером холе-

стерических жидких кристаллов.

2. Обнаружен и исследован эффект структурной мультстабильности, проявляющийся в формировании внутри капель холестерика равновесных конфигураций директора, промежуточных между закрученной радиальной и аксиальной структурой, за счет ионной модификации граничных условий при воздействии электрического поля.

3. Показано, что формирование вышеупомянутых равновесных структур в результате воздействия электрического поля позволяет в свою очередь получить стабильные оптические состояния композитных пленок и электрооптических элементов на их основе с варьируемой величиной светопропускания.

### ***Практическая значимость***

1. Разработан новый электрооптический материал, представляющий собой пленку капсулированных полимером холестерических жидких кристаллов, допированных ионным сурфактантом, для применения в дисплейных устройствах с энергонезависимым хранением записанной информации.

2. На основе разработанного КПХЖК материала с ионно-сурфактантным способом управления создан электрооптический элемент с варьируемым светорассеянием, перспективный для использования в проекционных дисплеях с малым энергопотреблением, электронных шторах, смарт-стеклах и т.п.

3. На основе разработанного КПХЖК материала с ионно-сурфактантным способом управления создан электрооптический элемент с варьируемым светопоглощением, перспективный для использования в гибких дисплеях с энергонезависимой памятью типа «электронная книга».

### ***Основные положения и результаты, выносимые на защиту***

1. В каплях слабо закрученного холестерического жидкого кристалла, допированного ионным сурфактантом и диспергированного в полимерной матрице, в результате воздействия электрического поля могут формироваться стабильные структуры, промежуточные между твист-радиальной и аксиальной конфигурациями директора.

2. Эффект структурной мультстабильности в каплях холестериков позволяет получить стабильные оптические состояния композитных пленок и электрооптических элементов на их основе с варьируемой величиной светопропускания.

3. Процесс формирования стабильных структур и оптических состояний исследуемых композитных пленок имеет пороговый характер, а при достижении определенной величины электрического поля выходит на насыщение.

4. Разработанные пленки капсулированных полимером холестерических жидких кристаллов с добавкой ионного сурфактанта можно использовать в качестве электрооптического материала для применения в дисплейных устройствах с энергонезависимым хранением записанной информации. Процесс записи и стирания информации зависит от частоты, формы и амплитуды электрического сигнала.

5. Возможны две схемы построения элементов отображения информации на основе разработанных композитных пленок: в одной из них используется эффект управляемого светорассеяния, во второй – эффект управляемого поглощения, для чего в конструкцию оптической ячейки добавляются скрещенные поляризаторы.

### *Личный вклад автора*

Изготовление опытных образцов КПХЖК пленок, исследование ориентационной структуры капель ЖК в полимерной матрице. Изготовление электрооптических ячеек на основе КПХЖК пленок. Проведение экспериментальной работы по исследованию оптического отклика электрооптических ячеек на основе КПХЖК пленок. Совместно с научным руководителем обсуждение и анализ полученных экспериментальных данных.

### *Апробация работы*

Результаты диссертационной работы представлялись, докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (Красноярск, 2007); Конференции студентов, аспирантов и молодых ученых-физиков НКСФ-XXXVI (Красноярск, 2007); 12<sup>th</sup> International Topical Meeting on Optics of Liquid Crystals (Puebla, Mexico, 2007); Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (Красноярск, 2008); IV Всероссийской конференции «Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах ФАГРАН-2008» (Воронеж, 2008); Всероссийском семинаре «Физикохимия поверхностей и наноразмерных систем» (Москва, 2009); Конференции молодых ученых КНЦ СО РАН (Красноярск, 2009); Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука начало XXI века» (Красноярск, 2009); VII Международной научной конференции по лиотропным жидким кристаллам и наноматериалам совместно с симпозиумом «Успехи в изучении термотропных ЖК» (V Чистяковские чтения) (Иваново, 2009); Научно-технической конференции с международным участием “Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы” (Красноярск, 2009); Всероссийской научно-технической конференции «Новые материалы, наносистемы и нанотехнологии» (Ульяновск, 2010); XXII

симпозиуме «Современная химическая физика» (Туапсе, 2010); 18-th Intern. Symposium “Advanced Display Technologies” (St.-Petersburg, Russia, 2010); International Display Manufacturing Conference (Taipei, Taiwan, 2011).

### *Публикации*

По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе 6 статей в зарубежных и отечественных журналах из списка ВАК (Molecular Crystals and Liquid Crystals (2008), Жидкие кристаллы и их практическое использование (2009), «Материаловедение» (2010), «Приборы и техника эксперимента» (2011), «Перспективные материалы» (2011), «Письма в ЖТФ» (2011)), 6 статей в сборниках трудов конференций, 8 тезисов международных и российских конференций. Кроме того, получены положительные решения о выдаче 2 патентов РФ на изобретения.

### *Структура и объем диссертации*

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 134 страницах и иллюстрируется 78 рисунками, список цитируемой литературы содержит 147 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.

Первая глава – обзорная, состоящая из нескольких разделов. В разделе 1.1 приведена классификация ЖК, показаны особенности структурного упорядочения нематиков, холестериков и смектиков А. Обсуждаются методы измерения шага холестерической структуры. Описаны упругие свойства ЖК, приведены соотношения для определения плотности свободной энергии нематиков и холестериков при наличии упругих деформаций поля директора. Рассматриваются методы ориентации жидких кристаллов на подложке. Описывается модификация поверхности подложки за счет воздействия внешних факторов (температуры, химической среды); посредством нанесения специального ориентирующего слоя с нужной поверхностной структурой или адсорбцией монослоя молекул поверхностно-активного вещества. Рассказывается о разнообразных типах распределения директора в электрооптических

ячейках на основе нематиков и холестериков. Описываются различные ориентационные эффекты в нематических и холестерических жидких кристаллах, происходящие под действием электрического поля.

В разделе 1.2 рассматриваются жидкокристаллические композиты: общие представления, история создания, а также преимущества композитных жидких кристаллов и методы их приготовления. Обсуждаются наиболее часто встречающиеся в реальных КПЖК пленках ориентационные структуры нематических капель. Описываются переходы Фредерикса в каплях нематиков для биполярной и радиальной конфигураций. Рассматриваются капсулированные полимером холестерические жидкие кристаллы, представлены известные конфигурации директора в каплях холестериков с гомеотропной и планарной границей, описаны особенности их трансформации в электрическом поле.

В разделе 1.3 рассматриваются принципы функционирования наиболее распространенных устройств отображения информации на основе жидких кристаллов: STN-дисплеев, IPS-дисплеев, MVA-дисплеев. Также описаны электрооптические ячейки на основе КПНЖК: в одном случае с биполярной структурой нематика внутри капель; в другом случае с радиальной структурой. Представлены электрооптические ячейки на основе КПХЖК с Франк-Прайс структурой. Описан бистабильный электрооптический элемент дисплея, разработанного компанией Kent Display на основе капсулированных полимером холестериков с малым шагом спирали.

В конце главы сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе представлен перечень используемых материалов с обоснованием их выбора, описаны методы изготовления образцов и их экспериментальных исследований. Для приготовления образцов использовались широко известный нематический ЖК 4-н-пентил-4'-цианобифенил (5ЦБ), и холестерилловый эфир уксусной кислоты (холестерилацетат, ХЗ) в качестве хиральной добавки. Были использованы два полимера: поливинилпирролидон (ПВП) и поливиниловый спирт (ПВС). ПВП и ЖК имеют общий растворитель – этанол, что позволяло получать КПХЖК пленки методом фазового разделения из раствора (SIPS). Средний размер капель и их относительное расположение в пленке зависело от соотношения компонентов и скорости испарения растворителя. Для изготовления образцов на основе водорастворимого полимера ПВС использовалась методика эмульгирования. ПВС и ПВП пластифицировались глицерином. В качестве сурфактанта был выбран цетилтриметиламмоний бромид (ЦТАБ), который, растворяясь в ЖК, распадается на положительно заряженный ион ЦТА<sup>+</sup> и отрицательный ион Br<sup>-</sup> и при достаточной концентрации задает нормальные граничные условия.

Описаны конструкции и способы изготовления электрооптических ячеек на основе КПХЖК пленок при воздействии электрического поля вдоль плоскости пленки и перпендикулярно плоскости пленки. Описывается спо-



соб измерения толщин композитных и полимерных пленок. Представлена методика исследования оптических текстур капель холестерика и их изменения под действием электрического поля с помощью поляризационного оптического микроскопа Axio Imager (Carl Zeiss). Описана методика исследования динамики электрооптического отклика ячеек на основе КПХЖК пленок.

Третья глава содержит результаты исследования ориентационно-структурных свойств капсулированных полимером холестерических жидких кристаллов в зависимости от состава используемых компонентов. В разделе 3.1 экспериментально исследована зависимость величины шага холестерической спирали от концентрации хиральной добавки в плоских слоях. Анализ измеренных значений  $P_0$  показал, что для исследуемого состава реализуется классическая зависимость хиральности структуры от содержания холестерической добавки: при увеличении концентрации холестерилацетата в диапазоне  $0 \div 12\%$  (по весу) величина шага геликоида  $P_0$  монотонно уменьшается в соответствии с известным соотношением  $P_0 \sim 1/C_{ХЗ}$ .

В разделе 3.2 экспериментально исследована зависимость величины шага холестерической спирали от концентрации хиральной добавки в каплях холестерика. Подробный анализ оптических текстур показал, что величина шага холестерической спирали в каплях так же, как в плоских слоях, монотонно уменьшается с увеличением содержания холестерилацетата. Однако следует отметить, что при всех значениях концентраций ХЗ шаг холестерической спирали в каплях примерно вдвое меньше аналогичного параметра в плоских слоях холестерика.

В разделе 3.3 рассматривалась зависимость ориентационной структуры холестерика от размера капель. Исследовались КПХЖК пленки, допированные 1,5%, 4%, 6%, 8%, 12% холестерилацетата. Анализ изменения текстуры внутри капель холестерика в зависимости от их размера, а также от концентрации холестерической добавки, показывает, что прослеживается закономерность в формировании ориентационных структур в зависимости от соотношения радиуса капли ( $R$ ) и шага холестерической спирали ( $P$ ). Если  $R > P$ , то в капле холестерика реализуется Франк-Прайс структура. Если  $R < P$  – в капле холестерика формируется слабо закрученная биполярная структура. При  $2R \approx P$  образуются структуры с двумя точечными дефектами, сформировавшимися на диаметрально противоположных участках поверхности капли.

В разделе 3.4 исследовалось влияние ионного сурфактанта на ориентационную структуру капель холестерика. Показано, что в исследуемых КПХЖК пленках на основе поливинилового спирта с концентрацией хирального компонента ХЗ 1,5% (по весу) и с радиусом капель около 5 мкм без добавки сурфактанта реализуется закрученная биполярная структура с двумя поверхностными дефектами-буджумами (рис.1а). При добавке более 2% сурфактанта ЦТАБ в ЖК смесь в каплях формируется закрученная радиальная структура с одним точечным объемным дефектом-ежом в центре капли (рис.1б).

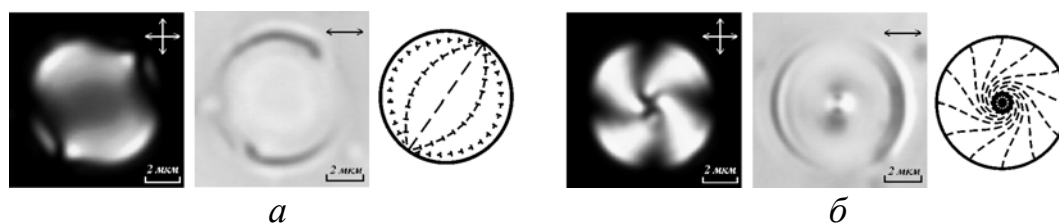


Рисунок 1 – Фотографии капель ХЖК в скрещенных поляризаторах (слева) и с выключенным анализатором (в центре), а также схематические изображения конфигураций директора (справа) для закрученной биполярной структуры (а) и закрученной радиальной структуры (б)

В каплях холестерического жидкого кристалла при условии  $R > P$  без добавки сурфактанта ЦТАБ реализуется классическая конфигурация поля директора с радиальным распределением оси холестерической спирали (Франк-Прайс структура) (рис.2а). В каплях холестерического ЖК с концентрацией ЦТАБ 2% и более при условии  $R > P$  формируется структура с биполярным расположением оси холестерической спирали (рис.2б).

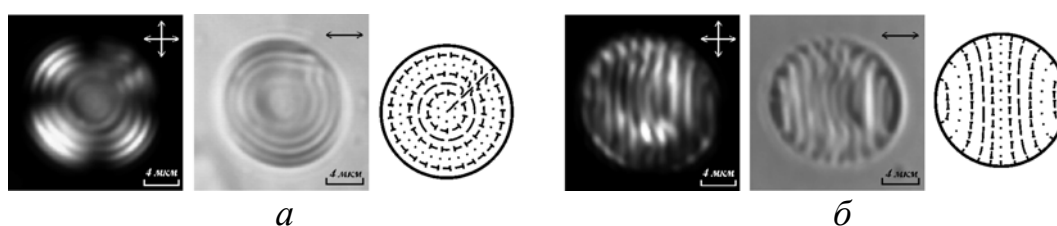


Рисунок 2 – Фотографии капель холестерика в скрещенных поляризаторах и с выключенным анализатором, а также схематические изображения конфигурации директора для Франк-Прайс структуры (а) и структуры с биполярным расположением оси холестерической спирали (б)

Таким образом, катионы сурфактанта ЦТАБ в дисперсной системе полимер - жидкий кристалл частично адсорбируются на границе раздела фаз, изменяя поверхностное сцепление от тангенциального к гомеотропному. Формирование гомеотропных граничных условий за счет наноразмерного слоя катионного сурфактанта дает возможность управлять поверхностным сцеплением, прикладывая электрическое поле [7].

Наблюдаемые структуры и закономерности хорошо согласуются с данными независимых исследований КПХЖК пленок, изготовленных на основе других исходных компонентов [9]. Сопоставление полученных результатов с данными работы [8], где исследовался гистерезис вольт-контрастной характеристики аналогичного композитного материала, но без добавки ионного сурфактанта, а также работы [10], где теоретически и экспериментально рассмотрен эффект памяти в плоском слое холестерика, показывает, что наиболее перспективным материалом для реализации эффекта бистабильности являются КПХЖК пленки с отношением шага спирали к размеру капель  $\geq 1$ .

Учитывая, что для надежной идентификации ориентационных структур с использованием поляризационного микроскопа необходимо иметь капли достаточно большого размера ( $>5$  мкм), мы в итоге сконцентрировали внимание на изучении КПХЖК пленок с концентрацией хиральной добавки 1,5%, имеющих средний размер капель 10 мкм.

Четвертая глава содержит основные результаты работы по созданию элементов отображения информации на основе КПХЖК пленок с принципиально новым способом управления. В разделе 4.1 детально описаны особенности нового подхода к управлению жидкими кристаллами, который основан на модификации поверхностного сцепления наноразмерным слоем ионного сурфактанта под действием постоянного электрического поля.

В разделе 4.2 описывается формирование стабильных структур в капсулированных полимером холестерических жидких кристаллах при воздействии внешнего электрического поля вдоль плоскости пленки. Размер исследуемых капель ЖК в плоскости пленки составлял в среднем около 10 мкм. В исходном состоянии в каплях холестерика формировалась закрученная радиальная структура. После воздействия на КПХЖК пленку постоянного электрического поля напряженностью 0,06 В/мкм в течение примерно 6 сек в капле холестерика формируется область с однородной ориентацией директора, направленного перпендикулярно плоскости пленки. При последующем воздействии импульса постоянного электрического поля напряженностью 0,12 В/мкм, но направленного уже в противоположную сторону, освобождается от ионов сурфактанта другая половина поверхности капли. Здесь также формируется однородная ориентация директора перпендикулярно плоскости пленки. Две области с такой ориентацией соединяются вместе, заполняя весь объем капли, за исключением боковой границы. Свет проходит лишь через небольшие участки капли вблизи боковой границы за счет наличия здесь существенного искривления поля директора, обусловленного экваториальной линейной дисклинацией. Сравнительный анализ исходной текстуры капель и результирующей показывает, что такое переключение способно обеспечить высокий оптический контраст двух структурных состояний композитной пленки. Капли холестерического ЖК можно вернуть в исходное состояние с радиальной конфигурацией директора, приложив к тем же электродам переменное электрическое поле напряженностью 0,88 В/мкм и частотой 50 Гц. В нашем случае несколько различных структурных состояний капель холестерика стабильны при выключенном напряжении. Электрическое поле здесь необходимо лишь для переключения капель в другое состояние.

Для практических приложений более интересным вариантом геометрии электрооптической ячейки является случай, описанный в разделе 4.3, когда управляющее электрическое поле направлено перпендикулярно плоскости пленки. Здесь исследовались структурные и оптические свойства КПХЖК пленок на основе смеси поливинилпирролидона и поливинилового спирта.

Весовое соотношение компонентов КПХЖК пленки составляло: 1 ЖК : 0,1 ЦТАБ : 9 ПВП : 19 ПВС : 7 Гл. Методика изготовления таких пленок подробно описана в разделе 2.2. Толщина композитной пленки составляла 42 мкм, капли ХЖК в плоскости пленки имели круглую форму со средним размером 10 мкм и располагались в объеме пленки так, что при наблюдении в микроскоп не накладывались друг на друга, что позволяло достаточно точно идентифицировать ориентационную структуру холестерика.

В исследуемых каплях холестерика изначально формируется закрученная радиальная структура (рис. 3 а). На электроды подавался биполярный электрический сигнал, имеющий форму меандра с длительностью в один период (1,8 сек). На рис. 3 б-з показано, как изменяется оптическая текстура и ориентационная структура исследуемой капли холестерика после воздействия электрического поля варьированной величины. Если амплитуда сигнала ниже 6 В, то никаких видимых изменений на оптических картинах капли не видно. После воздействия поля величиной  $U_1 = 6$  В центральный точечный дефект-еж распадается, образуя кольцевую линейную дисклинацию (рис. 3 б). Кольцо ограничивает однородно ориентированную часть объема капли с директором, перпендикулярным плоскости пленки. Снаружи кольца директор радиально расходится от дисклинации к поверхности капли (рис. 3 б-з, третья и четвертая колонки). Понятно, что в этом случае внутри кольца будет темная область, не зависящая от азимутального поворота образца, при наблюдении в геометрии скрещенных поляризаторов.

Дальнейшее усиление электрического поля приводит к увеличению диаметра кольцевой дисклинации и, соответственно, области, в которой жидкий кристалл ориентирован однородно и перпендикулярно плоскости пленки (рис. 3 в-з). Данный процесс достигает своего насыщения при амплитуде управляющего импульса  $U_2 = 14$  В. Ориентационную структуру внутри капли ХЖК можно трансформировать в полностью аксиальную конфигурацию директора (рис. 3и), но для этого необходимо подать на электроды биполярный синусоидальный сигнал частотой 1,3 кГц и амплитудой 60 В в течение 3 секунд. После чего кольцевая дисклинация выходит на поверхность, превращаясь в экваториальный линейный дефект. При этом в скрещенных поляризаторах капля практически полностью затемняется, за исключением маленьких участков, примыкающих к краям капли (рис. 3и, левая колонка).

Анализ текстурных картин показывает, что вышеописанный алгоритм управления позволяет существенно изменять оптические свойства отдельной ХЖК капли. Например, в скрещенных поляризаторах видно, что темное пятно, соответствующее однородной ориентации в центре капли монотонно увеличивается с увеличением поля (рис. 3 б-з). Это означает, что световой поток, прошедший через отдельную каплю, и, следовательно, через ансамбль таких ХЖК капель, уменьшается при увеличении амплитуды управляющего сигнала. На рисунках 4 – 6 показаны осциллограммы изменения светопропускания пленки при соответствующих параметрах управляющего импульса.

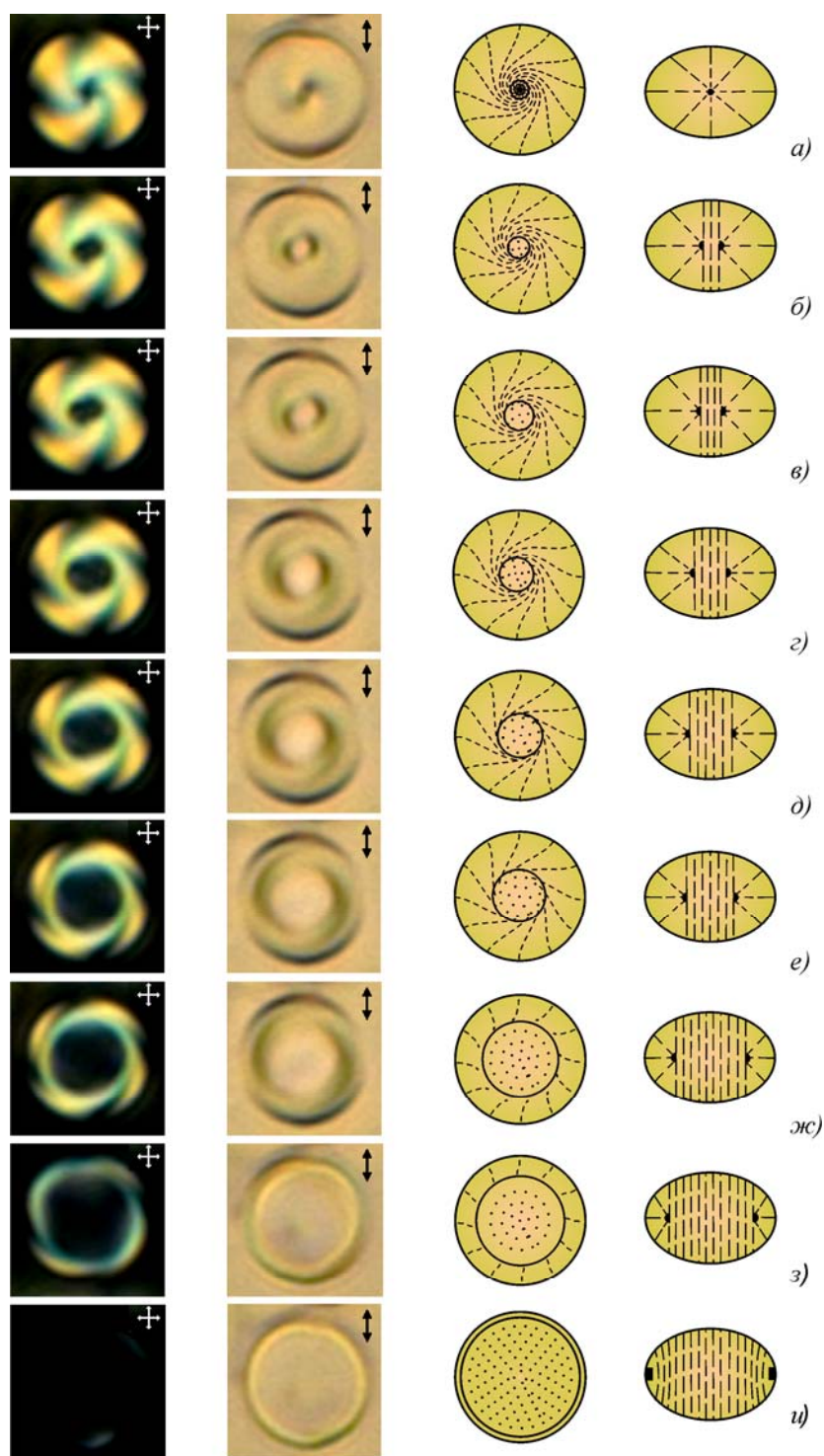


Рисунок 3 – Фотографии капли ХЖК в скрещенных поляризаторах (первая колонка) и с выключенным анализатором (вторая колонка) после воздействия биполярного электрического импульса прямоугольной формы. Длительность импульса 1,8 сек. Амплитуда: а) – 0, б) – 6 В, в) – 8 В, г) – 10 В, д) – 11 В, е) – 12 В, ж) – 13 В, з) – 14 В; и) – после воздействия синусоидального сигнала частотой 1,3 кГц и амплитудой 60 В в течение 3 секунд. В третьей и четвертой колонках показаны конфигурации директора в центральном сечении капли параллельно и перпендикулярно плоскости пленки, соответственно

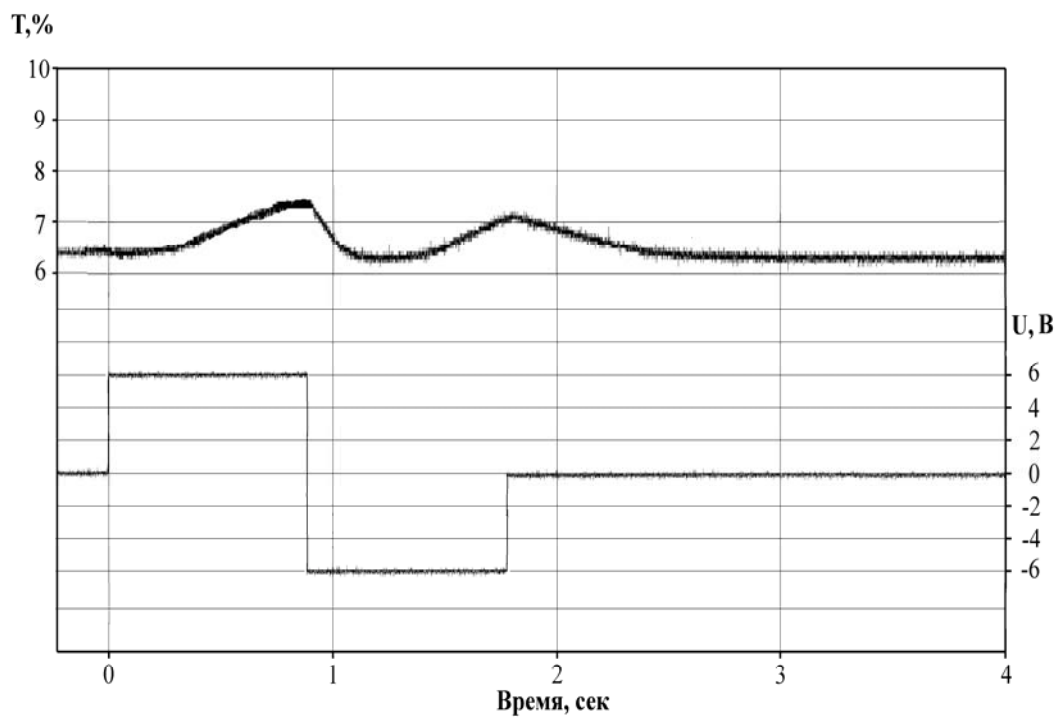


Рисунок 4 – Осциллограммы светопропускания КПХЖК пленки  $T$  и управляющего электрического поля  $U = 6$  В

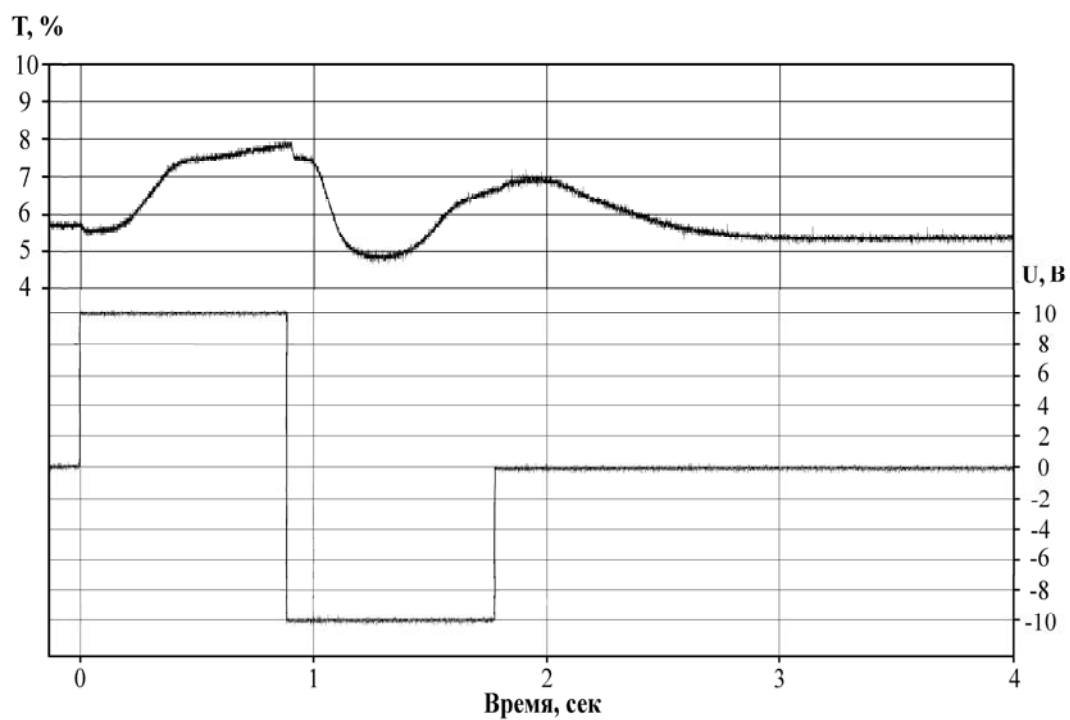


Рисунок 5 – Осциллограммы светопропускания КПХЖК пленки  $T$  и управляющего электрического поля  $U = 10$  В

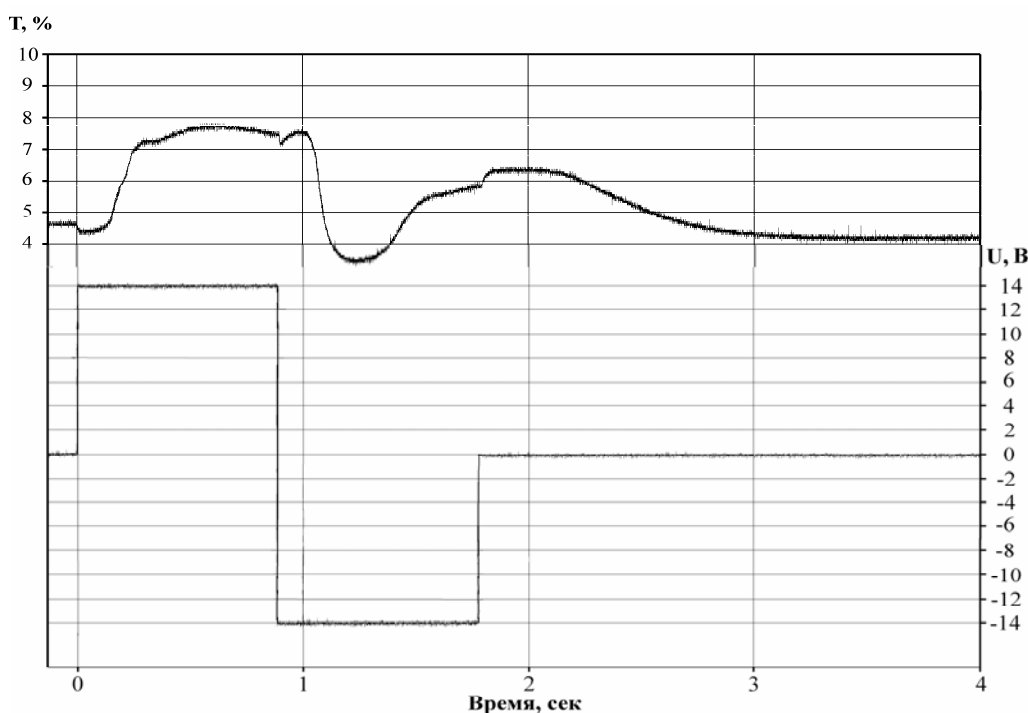


Рисунок 6 – Осциллограммы светопропускания КПХЖК пленки  $T$  и управляющего электрического поля  $U = 14 В$

Капли из аксиальной структуры можно вернуть в промежуточное состояние, воздействуя последовательно биполярными импульсами прямоугольной формы амплитудой 15 В в течение 10,8 секунды. После этого светопропускание от 3,8% повышается до стабильного промежуточного уровня 4,7%.

Далее на КПХЖК пленку, находящуюся в промежуточном состоянии с  $T = 4,7\%$ , воздействуем биполярным электрическим сигналом прямоугольной формы с частотой 2 Гц и с постепенно уменьшающейся амплитудой от 20 В до 10 В. Вследствие этого переходная структура капель холестерика постепенно трансформируется в исходную радиальную структуру, а уровень светопропускания поднимается до изначального значения  $T = 6,4\%$ .

В вышеописанном образце композитной пленки объемная доля ЖК составляла около 3 %, поэтому капли холестерика были достаточно разрежены, чтобы по ходу светового луча не экранировать друг друга, что необходимо для проведения структурных исследований. Вследствие этого суммарная площадь, занятая ансамблем ЖК капель, закрывает меньшую часть сечения светового луча, чем полимерная матрица. Поскольку через капли проходит лишь часть падающего светового потока, а оптически изотропная полимерная матрица в скрещенных поляризаторах не пропускает свет, то суммарное светопропускание оптической ячейки в исходном состоянии составляло лишь  $T_0 = 6,4\%$ . Для увеличения светопропускания далее в дисплейных ячейках использовались пленки с увеличенной плотностью капель холестерика.

Основным техническим результатом проделанной работы (см. раздел 4.4) является получение мультистабильных оптических состояний электрооптических элементов на основе капсулированного полимером холестерического жидкого кристалла, допированного ионным сурфактантом (рис. 7).

В данном элементе использована пленка, имеющая большую плотность капель, чем для случая рис. 4 – 6, вследствие чего суммарное светопропускание образца в исходном состоянии составило 12% (рис. 8).

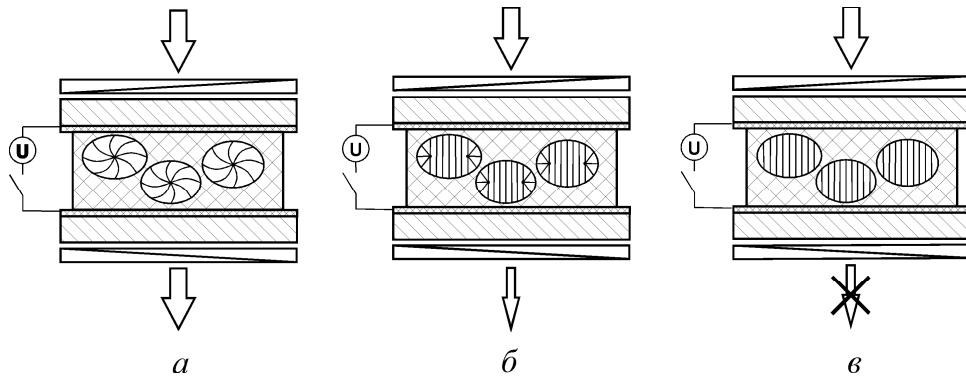


Рисунок 7 – Схема работы электрооптической ячейки на основе КПХЖК пленки в геометрии скрещенных поляризаторов: (а) – ячейка в исходном состоянии частично пропускает свет; (б) – светопропускание уменьшается; (в) – ячейка не пропускает свет, если капли жидкого кристалла имеют практически однородно ориентированную структуру

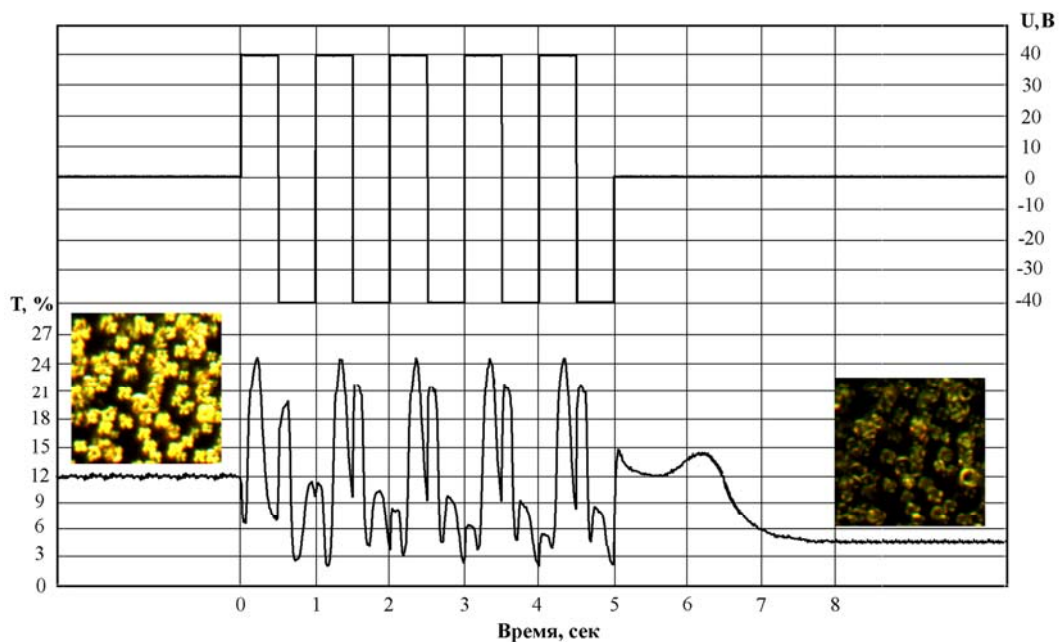


Рисунок 8 – Осциллограммы управляющего электрического поля  $U$  и светопропускания КПХЖК пленки  $T$  при ее переключении из исходного состояния промежуточное состояние



В результате воздействия электрического поля капли холестерика могут перейти в стабильное состояние с однородной ориентацией директора, направленного перпендикулярно плоскости пленки, либо в промежуточные стабильные структуры. В таком случае светопропускание электрооптического элемента с КПХЖК пленкой толщиной 69 мкм в стабильных состояниях варьируется в диапазоне 1,5 - 12%.

На рис. 8 – 10 представлены осциллограммы управляющих электрических сигналов и соответствующих оптических откликов при переключении элементов отображения информации в различные стабильные состояния. Из исходного состояния со светопропусканием 12% элемент можно переключить в стабильные промежуточные состояния, если воздействовать электрическим сигналом прямоугольной формы частотой 1 Гц (рис. 8). Переориентация капель ЖК проявляется в изменении светопропускания пленки. Результирующее светопропускание определяется параметрами электрического сигнала и может перестраиваться путем изменения количества импульсов, их амплитуды и длительности. Отметим, что в этом разделе показаны результаты управления элементом при использовании нескольких периодов меандра.

Светопропускание в стабильном промежуточном состоянии, достигнутое для исследованных образцов при использовании прямоугольного электрического сигнала составляет 5%. Светопропускание можно далее снизить до 1,5%, но для этого необходимо после прямоугольного сигнала воздействовать сигналом синусоидальной формы с частотой 1,3 кГц в течение 2 секунд (рис. 9). Такое воздействие приводит к аксиальной ориентации директора ЖК в каплях и почти полному затемнению наблюдаемой оптической картины.

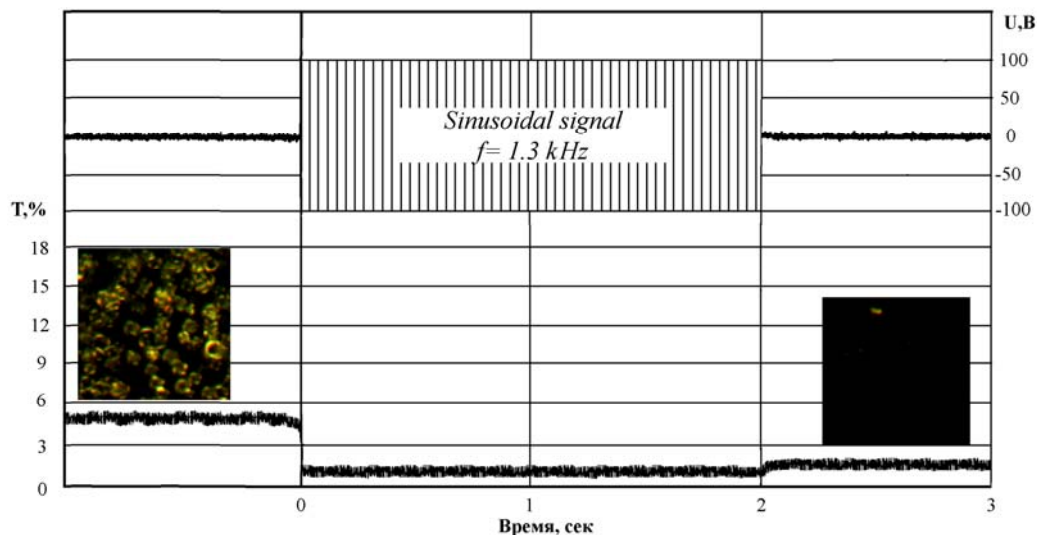


Рисунок 9 – Осциллограммы управляющего электрического поля и оптического отклика КПХЖК пленки при ее переключении из промежуточного состояния в состояние с аксиальной структурой капель ЖК. Управляющий сигнал имеет синусоидальную форму частотой 1,3 кГц

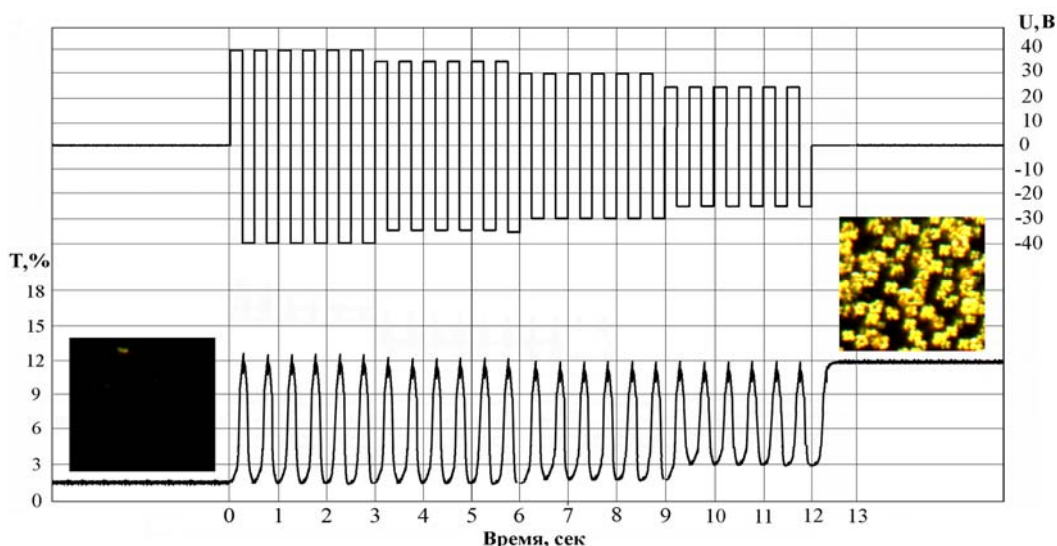


Рисунок 10 – Осциллограммы управляющего электрического поля и оптического отклика КПХЖК пленки при ее переключении из состояния с аксиальной ориентацией ЖК в исходное состояние капель

Как промежуточную, так и аксиальную структуру капель ХЖК можно вернуть в исходную, воздействуя последовательно прямоугольными импульсами переменного электрического поля частотой 2 Гц с уменьшающейся амплитудой. Например, для возвращения капель в исходное состояние с твист-радиальной конфигурацией директора и соответствующей величиной светопропускания можно использовать показанную на рис. 10 последовательность сигналов с постепенно снижающейся (от 40 до 25 В) амплитудой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. В результате работы принципиально новый способ управления жидкими кристаллами, основывающийся на модификации граничных условий наноразмерным слоем ионных сурфактантов под действием электрического поля, адаптирован для пленок капсулированных полимером холестерических жидких кристаллов (КПХЖК).

2. Выбраны компоненты электрооптического материала (нематический жидкий кристалл, холестерическая добавка, ионообразующий сурфактант, полимерная матрица), изготовлены тестовые образцы композитных пленок, исследованы конфигурации директора в каплях холестерика в зависимости от состава и морфологии композитной структуры.

3. Установлено, что в каплях слабо закрученного холестерического жидкого кристалла, допированного ионным сурфактантом и диспергированного в полимерной матрице, в результате воздействия электрического поля могут формироваться стабильные ориентационные структуры, промежуточные между закрученной радиальной и аксиальной конфигурациями директо-

ра.

4. Показано, что процесс формирования стабильных ориентационных структур и соответствующих оптических состояний исследуемых композитных пленок имеет пороговый характер, а при достижении определенной величины электрического поля выходит на насыщение. Подобраны параметры электрических сигналов, переключающих композитные пленки в новые состояния, а также возвращающих их в исходное состояние.

5. На основе разработанного КПХЖК материала с ионно-сурфактантным способом управления создан электрооптический элемент с варьируемым светорассеянием, перспективный для использования в проекционных дисплеях с малым энергопотреблением, электронных шторах, смарт-стеклах и т.п.

6. На основе разработанного КПХЖК материала с ионно-сурфактантным способом управления создан электрооптический элемент с варьируемым светопоглощением, перспективный для использования в гибких дисплеях с энергонезависимой памятью типа «электронная книга».

#### **Основные результаты диссертации опубликованы в работах:**

1. Гардымова А.П., Прищепа О.О., Зырянов В.Я. Оптоэлектронный КПХЖК материал: технология изготовления, исследование структурных и оптических свойств // *Материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники»*. – Красноярск, 2007. – С.416-418.

2. Гардымова А.П., Прищепа О.О., Зырянов В.Я. Структуры и оптические текстуры капель холестерика // *Тезисы докладов научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых физиков «НКСФ – XXXVI»*. – Красноярск, 2007. – С.30.

3. Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya., Gardymova A.P., Shabanov V.F. Optical textures and orientational structures of nematic and cholesteric droplets with heterogeneous boundary conditions // *12<sup>th</sup> International Topical Meeting on Optics of Liquid Crystals, Puebla, Mexico, 2007. Abstracts, P. 100.*

4. Гардымова А.П., Прищепа О.О., Зырянов В.Я. Исследование зависимости ориентационной структуры капель холестерика от их размера // *Материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники»*. – Красноярск, 2008. – С.305-307.

5. Prishchepa O.O., Zyryanov V.Ya., Gardymova A.P., Shabanov V.F. Optical textures and orientational structures of nematic and cholesteric droplets with heterogeneous boundary conditions // *Mol. Cryst. & Liq. Cryst.* – 2008. –V.489.– P.84/[410]-93/[419].

6. Гардымова А.П., Прищепа О.О., Зырянов В.Я. Ориентационная

структура в каплях холестерика, допированного поверхностно-активным веществом // Материалы IV Всероссийской «Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах (ФАГРАН-2008)». – Воронеж, 2008. – С.705.

7. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Структура и оптическая текстура капель холестерика, допированного сурфактантом // Сборник тезисов Всероссийского семинара «Физико-химия поверхностей и наноразмерных систем». – Москва: ИФХЭ РАН, 2009. – С.8-9.

8. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Эффект бистабильности в каплях холестерического жидкого кристалла, допированного ионным сурфактантом // Сборник трудов конференции молодых ученых КНЦ СО РАН. – Красноярск: Институт физики СО РАН, 2009. – С.68-71.

9. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Реализация эффекта мультстабильности в пленках каспулированного полимером холестерического ЖК с добавкой катионного сурфактанта // Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука начало XXI века». Красноярск: СФУ, 2009. – С.312-314.

10. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Эффект бистабильности в композитных полимерных пленках с каплями холестерического ЖК, допированного ионным сурфактантом // Материалы VII Международной научной конференции «Лиотропные жидкие кристаллы и наноматериалы». Иваново: ИГУ, 2009. – С.62.

11. Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Шабанов А.В., Гардымова А.П., Сутормин В.С., Зырянов В.Я. Ионно-сурфактантный метод управления структурными и оптическими свойствами жидкокристаллических материалов // Труды научно-технической конференции с международным участием «Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы. –Красноярск, 2009. С. 211-216.

12. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Эффект бистабильности в композитных полимерных пленках с каплями холестерического жидкого кристалла, допированного ионным сурфактантом // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2009. – Вып. 4. – С. 56-64.

13. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Мультстабильный композитный материал на основе полимера, холестерического жидкого кристалла и ионно-образующего сурфактанта // Материалы Всероссийской научно-технической Интернет-конференции «Новые материалы, наносистемы и нанотехнологии» (<http://nano-world.ulstu.ru>). Ульяновск: УлГТУ. 2010.

14. Гардымова А.П., Крахалев М.Н., Зырянов В.Я. Электрооптический мультстабильный материал на основе композиции «холестерический жидкий кристалл- полимер- ионный сурфактант»// Материаловедение. – 2010. – №11. – С. 32-34.

15. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Бистабильность в композитном жидкокристаллическом материале с добавкой ионного сурфактанта // Материалы

XXII симпозиума «Современная химическая физика» Туапсе. 2010.

16. Zyryanov V.Ya., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Gardymova A.P., Sutormin V.S., Loiko V.A. Light valves based on LC materials with ion-surfactant operation modes // 18-th Intern. Symposium “Advanced Display Technologies”, St.-Petersburg, Russia, 2010, Abstracts. P. 148.

17. Гардымова А.П., Крахалев М.Н., Зырянов В.Я. Мультистабильный жидкокристаллический материал для оптоэлектронных устройств // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – №2. – С. 159-160.

18. Krakhalev M.N., Prishchepa O.O., Gardymova A.P., Sutormin V.S., Zyryanov V.Ya., Lee W. Electrooptical characteristics of polymer dispersed liquid crystal films operated with the ion-surfactant method // International Display Manufacturing Conference 2011, Taipei, Taiwan, 2011, Abstract. S11-03.

19. Гардымова А.П., Тихонов А.Я., Зырянов В.Я. Оптическая мультистабильность в композиционном материале на основе полимера, жидкого кристалла и ионного сурфактанта при воздействии электрического поля // Перспективные материалы. – 2011. – №4. – С. 66-70.

20. Гардымова А.П., Зырянов В.Я., Лойко В.А. Мультистабильность в пленке капсулированного полимером холестерического жидкого кристалла, допированного ионным сурфактантом // Письма в ЖТФ. – 2011. – Том 37. – Вып. 17 – С. 35-41.

21. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Мультистабильный электрооптический элемент. Положительное решение о выдаче патента РФ на изобретение по заявке № 2010118835/28(026763) от 11.05.2010.

22. Гардымова А.П., Зырянов В.Я. Мультистабильный электрооптический элемент с поляризаторами. Положительное решение о выдаче патента РФ на изобретение по заявке № 2010119802/28(028186) от 17.05.2010.

### Список цитируемой литературы:

1. Blinov L.M., Chigrinov V.G. Electrooptic effects in liquid crystal materials. – New York: Springer-Verlang, 1994. – 464 p.

2. Жаркова Г.М., Сонин А.С. Жидкокристаллические композиты. – Новосибирск: Наука, 1994. – 214 с.

3. Crawford G. P. Flexible flat panel display.– 2005.–John Wiley & Sons Ltd.– Chichester – 528 p.

4. Фредерикс В.К., Золина В. О применении магнитного поля к изменению сил, ориентирующих анизотропные жидкости в тонких однородных слоях // Ж.Р.Ф.–Х.О., ч. физич. – 1930. – Т. 62. – №5. – С. 457 – 464.

5. Dubois-Violette E., De Gennes P.G. Local Frederiks transitions near a solid/nematic interface // J. de Phys. Lett. – 1975. – V. 36. – P. 255 – 258.

6. Komitov L., Helgee B., Felix J., Matharu A. Electrically commanded surfaces for nematic liquid crystal displays // Appl. Phys. Lett. – 2005. – V. 86. –

023502.

7. Зырянов В.Я., Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Шабанов А.В. Ориентационно-структурные превращения в каплях нематика, обусловленные ионной модификацией межфазной границы под действием электрического поля // Письма в ЖЭТФ. – 2007. – Т. 86. – № 6. – С. 440 – 445.

8. Зырянов В.Я., Сморгон С.Л., Жуйков В.А., Шабанов В.Ф. Эффекты памяти в капсулированных полимером холестерических жидких кристаллах // Письма в ЖЭТФ. – 1994. – Т. 59. – Вып. 8. – С. 520 – 522.

9. Xu F., Crooker, P.P. Chiral nematic droplets with parallel surface anchoring // Phys. Rev. E. – 1997. – V. 56. – P. 6853 – 6860.

10. Greubel W. Bistability behavior of texture in cholesteric liquid crystal in an electric field // Appl. Phys. Lett. - 1974. - V. 25. - P. 5 - 7.

11. Зырянов В.Я., Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Шабанов А.В. Инверсная мода эффекта ионной модификации поверхностного сцепления в каплях нематика // Письма в ЖЭТФ. – 2008. Т. 88. – Вып. 9. – С. 688 – 692.

ГАРДЫМОВА

Анна

Петровна

ЭЛЕМЕНТЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ  
НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ  
КРИСТАЛЛОВ С УПРАВЛЯЕМЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ  
СЦЕПЛЕНИЕМ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации

на соискание ученой степени

кандидата

технических наук

Подписано в печать . . . .2011 г.

Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано в полиграфическом центре БИК СФУ

660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79