

Крахалев Михаил Николаевич

ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРИЕНТАЦИОННЫХ СТРУКТУР КАПСУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОМ
КАПЕЛЬ НЕМАТИКА, ДОПИРОВАННОГО ИОННЫМИ СУРФАКТАНТАМИ

01.04.05. – оптика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Красноярск – 2009

Работа выполнена в лаборатории молекулярной спектроскопии Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
Зырянов Виктор Яковлевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Подопригора Владимир Георгиевич
кандидат физико-математических наук
Сорокин Анатолий Васильевич

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

Защита состоится “ 18 “ декабря 2009 г. в 14 часов 30 минут
на заседании диссертационного совета Д 003.055.01
при Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН по адресу:
660036, Красноярск, Академгородок 50, стр. 38

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Автореферат разослан 12 ноября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

А.Н. Втюрин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Капсулированные полимером жидкие кристаллы (КПЖК) - материалы, сочетающие в себе полезные свойства полимеров (механическую прочность, гибкость) и жидких кристаллов (анизотропия свойств, высокая чувствительность к внешним воздействиям) [1]. Они представляют собой полимерную пленку с диспергированными в ней каплями жидкого кристалла (ЖК). Макроскопические оптические свойства КПЖК пленок зависят от ориентационной структуры в каплях ЖК, изменяя которую можно контролировать и оптические характеристики всей пленки. Существуют два подхода к управлению ЖК структурами. Первый из них основан на классическом эффекте Фредерикса, суть которого состоит в том, что внешним электрическим или магнитным полем изменяют ориентацию молекул ЖК в объеме ячейки, при этом поверхностное сцепление молекул ЖК с подложкой остается неизменным. После выключения поля ЖК возвращается в исходное состояние за счет упругих сил, возникающих при искажении поля директора. Эффект Фредерикса лежит в основе функционирования всех современных электрооптических ЖК устройств. Однако опыт их использования выявил ряд ограничений, характерных для данного подхода. Так, например, вследствие обратно пропорциональной зависимости напряженности порогового поля от размеров ЖК полости этот метод неэффективен в приложении к субмикро- и нано-размерным ЖК структурам.

Второй подход основан на управляемой модификации поверхностного сцепления на границе раздела ЖК – подложка (локальный переход Фредерикса). В этом случае внешнее воздействие вначале изменяет ориентацию молекул жидкого кристалла в приграничном слое, что затем ведет к переориентации всего объема ЖК. После снятия внешнего воздействия граничные условия и структура ЖК могут вернуться в исходное состояние. Поскольку данный подход базируется на принципиально ином механизме переориентации, то его развитие может открыть новые перспективы для создания ЖК материалов с улучшенными характеристиками и расширенными функциональными возможностями.

Впервые локальный переход Фредерикса наблюдался для плоского слоя нематика [2], где в качестве внешнего фактора выступало изменение температуры. Инициировать изменение межфазной границы может также ультрафиолетовое излучение. Данный эффект наблюдается при использовании специальных фоточувствительных материалов в качестве ориентирующего покрытия или добавки к ЖК. Однако с практической точки зрения наиболее интересны методы управления с применением электрического поля. Такой способ был недавно реализован в [3], где в качестве ориентирующего покрытия использовался сегнетоэлектрический жидкокристаллический полимер. В капельных дисперсиях ЖК локальные переходы Фредерикса менее изучены. В работе [4] наблюдалась термоиндуцированная модификация граничных условий. Исследования по электроуправляемому изменению граничных условий в каплях ЖК ранее не проводились.

Использование поверхностно-активных веществ (сурфактантов) может приводить к изменению граничных условий. В данном случае имеет место концентрационная зависимость ориентирующей способности сурфактантов, что для капельных дисперсий нематика продемонстрировано в [5], где наблюдалось формирование неоднородного поверхностного сцепления. Однако в [5] граничные условия формировались в процессе образования капель ЖК и в дальнейшем оставались неизменными. Ионные сурфактанты для электроуправляемого изменения граничных условий в каплях ЖК, так же, как и в чистых слоях, ранее не использовались.

Работа выполнена в рамках программы СО РАН 2.1.2. «Новые оптические материалы, технологии и приборы, их применение», а также поддержана грантами РФФИ № 05-03-32852 и № 08-03-01007; НШ-6612.2006.3; НШ-3818.2008.3; Президиума РАН № 8.1; СО РАН № 110.

Цель работы и задачи исследования

Целью работы является исследование трансформаций оптических текстур и конфигураций директора в каплях нематика, допированного ионным сурфактантом, под действием постоянного электрического поля.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Оптимизировать методику приготовления, состав и структуру пленочных образцов капсулированных полимером нематических жидких кристаллов, допированных ионными сурфактантами.
2. Исследовать оптические текстуры и конфигурации директора в каплях нематика методами поляризационно-оптической микроскопии и компьютерного моделирования.
3. Изучить изменения граничных условий и взаимопревращения ориентационных структур в каплях нематика, допированного ионным сурфактантом, под действием постоянного электрического поля.
4. Рассмотреть возможность использования исследуемых композитных пленок в качестве электрооптического материала.

Научная ценность и новизна

1. Обнаружен и исследован эффект электроуправляемой модификации поверхностного сцепления на границе раздела нематик – полимер, обусловленный локальным изменением концентрации ионных сурфактантов.
2. Показано, что модификация межфазной границы приводит к существенной трансформации исходных конфигураций директора в каплях нематика. Рассмотрены основные типы наблюдаемых структурных превращений.
3. Выявлены новые ориентационные структуры, формирующиеся в исследуемых каплях ЖК в результате воздействия постоянного электрического поля, приведены их характерные текстурные картины.

Практическая значимость

1. Разработан новый метод управления жидкими кристаллами, основанный на модификации поверхностного сцепления ионными сурфактантами под действием постоянного электрического поля.
2. На примере одного из образцов исследуемого материала продемонстрирована возможность использования данного подхода для модуляции интенсивности светового излучения.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту

1. В каплях нематика, допированного ионообразующим сурфактантом и капсулированного в полимерной матрице, под действием постоянного электрического поля может происходить локальное изменение граничных условий. В зависимости от концентрации сурфактанта наблюдаются прямой и инверсный режимы ионной модификации межфазной границы.
2. Прямой режим реализуется при низкой концентрации ионного сурфактанта, при этом в исходном состоянии капли нематика имеют однородное тангенциальное сцепление и биполярную конфигурацию директора. При воздействии постоянного электрического поля в зависимости от его направления относительно биполярной оси формируются ориентационные структуры с неоднородными граничными условиями: монополярная конфигурация; наклонная монополярная конфигурация; монополярная конфигурация с кольцевым поверхностным дефектом, биполярная структура с линейным и кольцевым поверхностным дефектами; биполярная структура с кольцеобразным поверхностным дефектом.
3. Инверсный режим реализуется при высокой концентрации ионного сурфактанта, в этом случае исходной структурой каплей нематика является радиальная конфигурация директора. Под действием постоянного электрического поля могут сформироваться: структура с буждом и поверхностным кольцевым дефектом; структура с буждом, ежом и поверхностным кольцевым дефектом; структура с ежом и поверхностным кольцеобразным дефектом.
4. Процесс трансформации ориентационных структур имеет пороговый характер, а при достижении определенной величины электрического поля выходит на насыщение.
5. Разработанные композитные пленки можно использовать в качестве электрооптического материала для модуляции интенсивности светового излучения.

Личный вклад автора: разработка состава и приготовление исследуемых образцов композитных ЖК материалов, планирование и проведение экспериментов, совместно с научным руководителем анализ и обсуждение экспериментальных данных.

Апробация работы

Результаты диссертационной работы представлялись, докладывались и обсуждались на Конференции студентов, аспирантов и молодых ученых-физиков НКССФ-XXXVI (Красноярск, 2007); 12th International Topical Meeting on Optics of Liquid Crystals (Puebla, Mexico, 2007); 16 Международном симпозиуме «Перспективные дисплейные технологии» (Логойск, Беларусь, 2008); Конкурсе–конференции молодых ученых Красноярского научного центра (Красноярск, 2008); 22nd International Liquid Crystals Conference ILCC-2008 (Jeju, Korea, 2008); IV Всероссийской конференции «Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах ФАГРАН-2008» (Воронеж, 2008); XIII Национальной конференции по росту кристаллов НКРК-2008 (Москва, 2008); Всероссийском семинаре «Физикохимия поверхностей и наноразмерных систем» (Москва, 2009); VII Международной научной конференции по лиотропным жидким кристаллам и наноматериалам совместно с симпозиумом «Успехи в изучении термотропных ЖК» (V Чистяковские чтения) (Иваново, 2009).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 5 статей в зарубежных и отечественных журналах из списка ВАК, 3 статьи в сборниках трудов российских конференций, 6 тезисов международных и российских конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 112 страницах и иллюстрируется 47 рисунками, список цитируемой литературы содержит 98 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, относящихся к термотропным каламитикам, показаны особенности структурного упорядочения нематиков, холестериков и смектиков А. В разделе 1.2 описаны упругие свойства ЖК, приведены соотношения для определения плотности свободной энергии нематических жидких кристаллов при наличии упругих деформаций поля директора. В разделе 1.3 рассматриваются основные подходы к упорядочению ЖК: обработка опорных поверхностей (механическая и химическая) и упорядочение электрическим или магнитным полями (классический эффект

Фредерикса). Для эффекта Фредерикса приведены выражения для плотности свободной энергии ЖК в присутствии поля, а так же соотношения для определения порогового поля. В разделе 1.4 рассмотрен локальный переход Фредерикса и факторы, его инициирующие: изменение температуры, облучение ультрафиолетом, приложение внешнего электрического поля. В разделе 1.5 описаны композитные ЖК материалы и их разновидности. Раздел 1.6 посвящен капсулированным полимером нематическим ЖК и методам их приготовления: эмульгированию и фазовому разделению (SIPS, PIPS, TIPS). Рассмотрены основные факторы, влияющие на морфологию композитных пленок. В разделе 1.7 представлены все известные к началу исследования конфигурации директора в каплях нематиков для случаев с однородными и не однородными граничными условиями, а так же условия, необходимые для образования той или иной ориентационной структуры. В разделе 1.8 описываются известные переходы Фредерикса в каплях нематиков для биполярной и радиальной конфигураций. В конце главы сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе представлен перечень используемых материалов с обоснованием их выбора, описаны методы приготовления образцов и их экспериментальных исследований. Для приготовления образцов использовались широко известные ЖК 4-н-пентил-4'-цианобифенил (5ЦБ), имеющий $\Delta\epsilon > 0$ и 4-метоксифенилиден-4'-н-бутиланилин (МББА) с $\Delta\epsilon < 0$. В качестве полимерной матрицы были использованы два полимера, обеспечивающие тангенциальные граничные условия для выбранных ЖК: поливинилбутираль (ПВБ) и поливиниловый спирт (ПВС). ПВБ и ЖК имеют общий растворитель – этанол, что позволяло получать КПЖК 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. Ряд экспериментов проводился с одноосно вытянутыми пленками, для получения которых ПВС пластифицировался глицерином. В качестве сурфактанта использовался цетилтриметиламмоний бромид (ЦТАБ), который, растворяясь в ЖК, распадается на положительно заряженный ион ЦТА⁺ и отрицательный ион Br⁻ и при достаточной концентрации задает нормальные граничные условия [6]. Был апробирован также тетрабутиламмоний бромид (ТБАБ), который в ЖК диссоциирует на ионы ТБА⁺ и Br⁻.

Экспериментальные исследования оптических текстур капель ЖК проводились методом поляризационной микроскопии при помощи микроскопа ПОЛАМ Р-113, оборудованного цифровой фотокамерой MYscore 500 M (Webbers), сопряженной с компьютером. Наблюдения дополнялись численным расчетом ориентационных структур и оптических картин капель, адаптированным для случая неоднородных граничных условий [5], при этом граничные условия задавались в соответствии с экспериментальными данными. В конце главы описана методика исследования динамики электрооптического отклика КПЖК пленок.

Третья глава содержит результаты исследования трансформации ориентационных структур капсулированных полимером капель нематика, соответствующих прямому режиму эффекта ионной модификации граничных условий. В основе данного метода лежит зависимость ориентации ЖК от концентрации сурфактанта на поверхности полимера. Использование ионного сурфактанта дает возможность, приложив постоянное электрическое поле, изменять его концентрацию на участках межфазной границы и, следовательно, управлять условиями сцепления жидкого кристалла с полимерной матрицей. Прямым назван режим эффекта, когда изначально граничные условия задаются полимером, а при воздействии постоянного электрического поля появляется участок границы с локально высоким содержанием сурфактанта, который и определяет новую ориентацию ЖК. Такой вариант был нами реализован при концентрации ионообразующего сурфактанта ЦТАБ 0.75% ÷ 1% по весу по отношению к ЖК. При этом в каплях изначально формировалась биполярная конфигурация директора (рис. 1, первый и третий ряды), характерная для тангенциальных граничных условий. Под действием управляющего импульса электрического поля на части границы капли, находящейся ближе к катоду, происходит изменение граничных условий на нормальные (гомеотропные), что влечет за собой трансформацию ориентационной структуры капли, характер которой зависит от взаимного расположения биполярной оси и направления электрического поля.

Воздействие поля вдоль биполярной оси капли нематика 5ЦБ, капсулированной в ПВБ, приводит к трансформации исходной биполярной конфигурации в монополярную структуру с одним точечным поверхностным дефектом – буджомом (рис. 1 а, б, первый и второй ряды). Результирующая конфигурация директора характеризуется наличием неоднородных граничных условий с тангенциальным сцеплением примерно на 0.7 части поверхности капли ЖК и нормальным сцеплением на 0.1 части поверхности. Между ними формируется наклонное сцепление с плавным изменением угла наклона от 90⁰ до 0 по отношению к нормали к поверхности. Для таких же граничных условий нами был проведен численный расчет ориентационной структуры и соответствующей ей оптической текстуры (рис. 1 в, г, второй ряд). Рассчитанная текстурная картина в геометрии скрещенных поляризаторов хорошо согласуется с фотографией капли нематика, подтверждая корректность проведенного выше анализа экспериментальных данных.

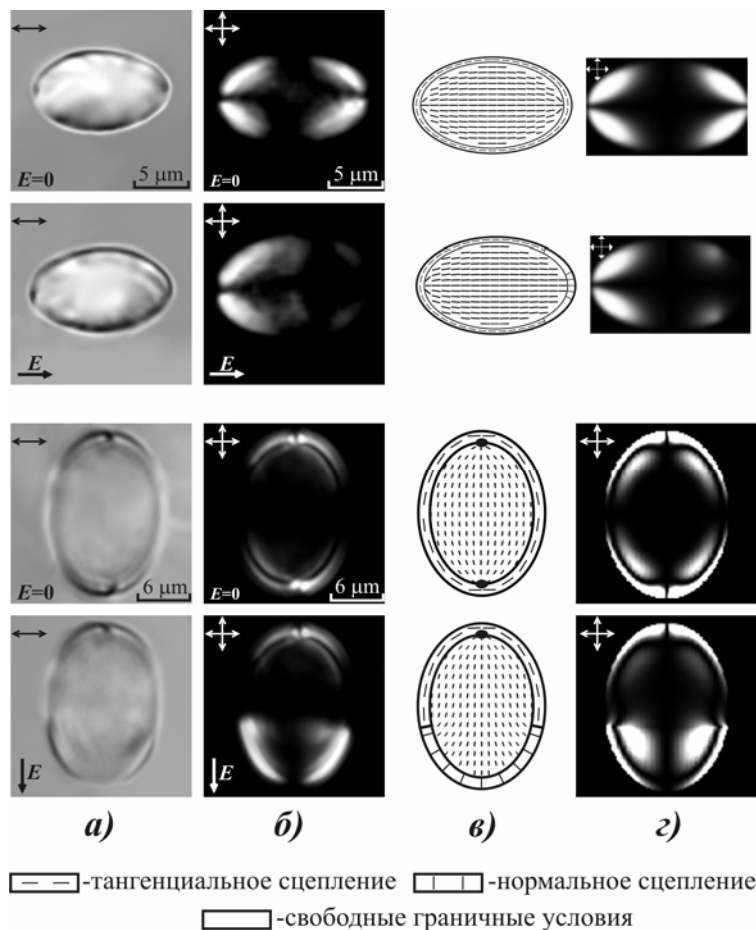


Рис. 1. Микрофотографии капели нематика 5ЦБ, сделанные с выключенным анализатором (*а*) и в скрещенных поляризаторах (*б*), в матрицах ПВБ (первый и второй ряды) и ПВС (третий и четвертый ряды). Рассчитанные ориентационные структуры (*в*) и соответствующие оптические текстуры в геометрии скрещенных поляризаторов (*г*). Верхний и третий ряды – однородные тангенциальные граничные условия, второй и четвертый – неоднородные граничные условия.

В отличие от вышеописанного случая, в каплях нематика, диспергированного в ПВС, под действием постоянного электрического поля нормальное сцепление формируется примерно на 0.35 части поверхности, а на остальной границе сохраняются тангенциальные граничные условия (рис. 1 *а, б*, третий и четвертый ряды). Переход между участками с различными условиями сцепления происходит резко, что позволяет говорить о формировании здесь несингулярного кольцевого дефекта. Расчет ориентационной структуры и оптической текстуры для этого случая распределения граничных условий представлен на рис. 1 *в, г* (четвертый ряд).

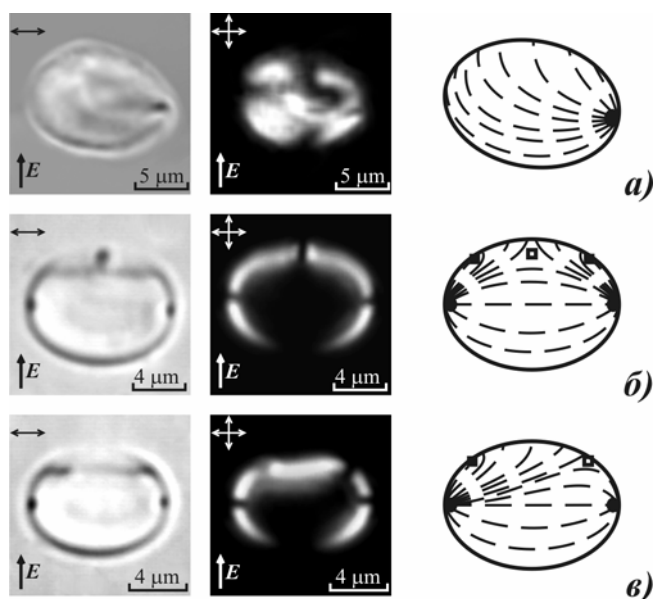


Рис. 2. Микрофотографии капли нематика 5ЦБ под действием постоянного электрического поля, сделанные с

выключенным анализатором (левый столбец), в скрещенных поляризаторах (средний столбец), и соответствующие ориентационные структуры (правый столбец). *а)* Наклонная монополярная структура в ПВБ; *б)* биполярная конфигурация капли в ПВС с линейным и поверхностным кольцевым дефектами; *в)* биполярная конфигурация капли в ПВС с кольцеобразным поверхностным дефектом. Квадратами показаны сечения кольцевого и линейного дефектов.

Если электрическое поле направлено под наклоном или перпендикулярно к биполярной оси, то в конечном итоге формируются более сложные ориентационные структуры (рис. 2). В пленке ПВБ наблюдался переход из биполярной структуры в наклонную монополярную конфигурацию капли, если электрическое поле было неортогонально биполярной оси (рис. 2 *а*). В пленке ПВС трансформация биполярной конфигурации капли может проходить по двум сценариям, приводя в результате к формированию двух различных ориентационных структур. В первом случае в биполярной структуре образуются дополнительно кольцевой поверхностный дефект и линейный приповерхностный дефект (рис. 2 *б*). Кольцевой дефект разделяет на поверхности участки с тангенциальными и планарными сцеплениями. Плоскость кольца перпендикулярна плоскости рисунка, поэтому он проявляется в виде темной горизонтальной полосы в верхней части капли (рис. 2 *б*, левый столбец). Темное пятно выше полосы отображает линейный дефект, направленный ортогонально плоскости рисунка. Во втором случае (рис. 2 *в*) в биполярной структуре формируется дополнительно лишь кольцеобразный поверхностный дефект.

Доля модифицированной границы и, как следствие, ориентационная структура капли зависят от величины поля, что продемонстрировано на рис. 3 для случая, когда поле направлено вдоль биполярной оси.

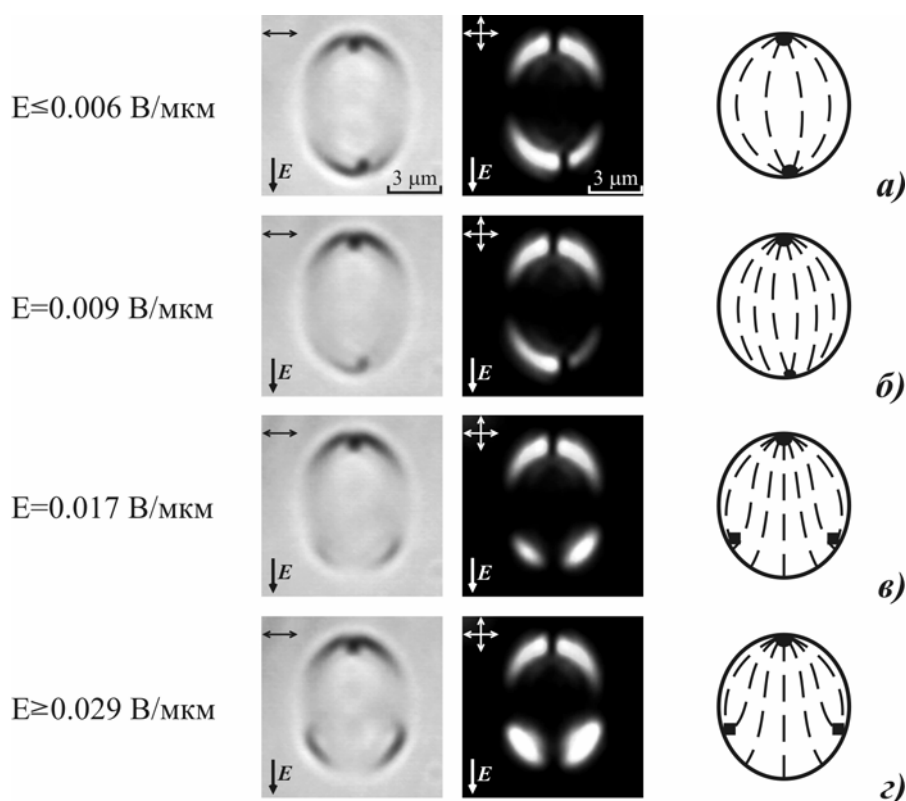


Рис. 3. Микрофотографии капли нематика в ПВС под действием поля, сделанные с выключенным анализатором (левый столбец) и в скрещенных поляризаторах (средний столбец), и соответствующие ориентационные структуры (правый столбец). *а)* $E \leq 0.006$ В/мкм; *б)* $E = 0.009$ В/мкм; *в)* $E = 0.017$ В/мкм; *г)* $E \geq 0.029$ В/мкм.

Видно, что не происходит изменений граничных условий, если напряженность электрического поля $E \leq 0.006$ В/мкм (рис. 3 *а*). При напряженности поля в диапазоне $0.006 < E \leq 0.011$ В/мкм на части поверхности капли ($\sim 0.1 \div 0.15$) формируются наклонные граничные условия (рис. 3 *б*), при этом сохраняются оба поверхностных точечных дефекта. Дальнейшее увеличение напряжения приводит к разрушению одного из бужумов и формированию на участке границы гомеотропного сцепления. При этом доля гомеотропной поверхности увеличивается с ростом E в диапазоне от 0.014 до 0.029 В/мкм. В области $E \geq 0.029$ В/мкм процесс выходит на насыщение (рис. 3 *в* – *г*). Таким образом, можно говорить о том, что для электроуправляемой ионной модификации поверхностного сцепления имеется пороговое управляющее напряжение, меньше которого изменения не происходят, а так же напряжение насыщения, выше которого ориентационная структура не зависит от величины поля.

Четвертая глава содержит результаты исследования трансформации ориентационных структур капсулированных полимером капель нематика, управляемых ионно-сурфактантным методом в инверсном режиме. В этом случае изначально поверхностное сцепление задается ионным сурфактантом за счет его достаточно высокой концентрации. В постоянном электрическом поле поверхностно активные ионы освобождают часть границы, где восстанавливаются граничные условия, характерные для полимера.

Данный режим был нами реализован для композитных ЖК материалов на основе ПВС, пластифицированного глицерином. Количество сурфактанта ЦТАБ бралось от 2% до 10% по весу по отношению к ЖК. При такой

концентрации сурфактанта изначально в каплях образуется радиальная конфигурация, характерная для нормального (гомеотропного) поверхностного сцепления. Под действием поля на части границы, освобожденной от ионов ЦТА⁺, формируются тангенциальные условия сцепления, которые задает полимерная стенка. Изменение межфазной границы приводит к существенной трансформации ориентационной структуры, которая может протекать по трем различным сценариям, приводя к формированию трех ориентационных структур, отличающихся азимутальным распределением поля директора на границе капли с тангенциальным сцеплением.

Первый сценарий трансформации завершается формированием структуры, имеющей поверхностные точечный дефект – бужум и кольцевой дефект, отделяющий области с тангенциальным и нормальным сцеплением (рис. 4, верхний ряд). Во втором сценарии исходная радиальная конфигурация переходит в структуру, имеющую бужум, поверхностный кольцевой дефект и точечный объемный дефект – еж, который располагается в плоскости кольца (рис. 4, средний ряд). В третьем случае происходит формирование структуры, имеющей объемный дефект – еж и кольцеобразный поверхностный дефект. При этом еж смещается из центра капли к границе, но не доходит до нее (рис. 4, нижний ряд).

Все три сценария трансформации могут происходить в одной и той же капле. Одними из основных факторов, влияющих на вероятность реализации того или иного сценария, являются размер и форма капли. Так, например, в каплях круглой формы с диаметром от 7 до 30 мкм в большинстве случаев формируются конфигурации с ежом и кольцеобразным дефектом, в то время, как для вытянутых капель в том же размерном диапазоне наиболее вероятны переходы радиальная конфигурация – монополярная структура с кольцевым дефектом, если поле направлено перпендикулярно длинной оси капли, и радиальная конфигурация – структура с ежом, бужумом и кольцевым дефектом, когда поле параллельно длинной оси капли. Если диаметр капли менее 4 мкм, то последний вариант встречается очень редко или не наблюдается вовсе.

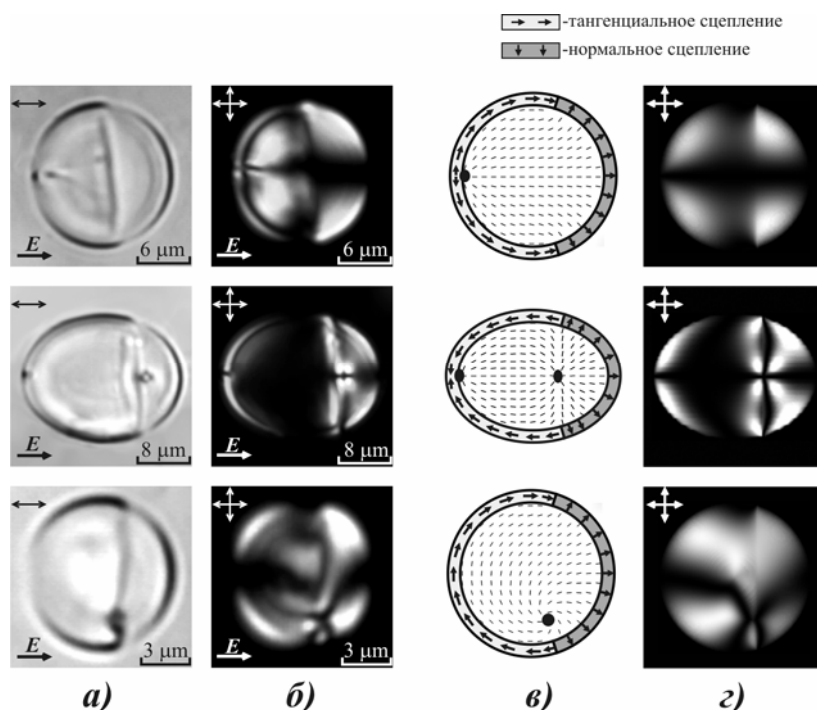


Рис. 4. Микрофотографии каплей нематика, сделанные с выключенным анализатором (*а*) и в скрещенных поляризаторах (*б*). Рассчитанные ориентационные структуры (*в*) и соответствующие оптические текстуры в геометрии скрещенных поляризаторов (*г*). Верхний ряд – структура с бужумом и кольцевым поверхностным дефектом; средний ряд – структура с бужумом, ежом и кольцевым поверхностным дефектом; нижний ряд – структура с ежом и кольцеобразным дефектом.

Ионная модификация поверхностного сцепления для управления ориентационной структурой ЖК была нами также апробирована и для нематика МББА, имеющего диэлектрическую анизотропию $\Delta\epsilon < 0$. Как и для 5ЦБ, имеющего $\Delta\epsilon > 0$, для МББА могут быть реализованы прямой и инверсный режимы эффекта ионной модификации межфазной границы. При этом наблюдаемые ориентационно-структурные превращения в каплях МББА аналогичны описанным выше для случая 5ЦБ. Это свидетельствует о том, что данные трансформации обусловлены только локальным изменением граничных условий и не являются следствием воздействия внешнего электрического поля на объем ЖК в капле, которое принципиально различается для ЖК с разным знаком $\Delta\epsilon$.

Трансформация ориентационной структуры каплей вследствие модификации граничных условий должна приводить и к изменению макроскопических оптических характеристик КПЖК пленок, например, светопропускания, что и было нами продемонстрировано в конце главы. На рис. 5 представлена осциллограмма оптического отклика КПЖК пленки на монополярный импульс электрического поля.

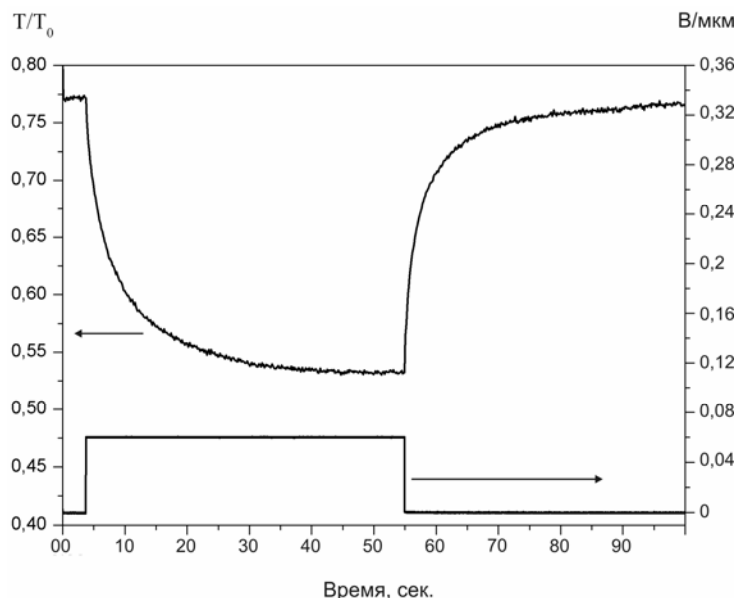


Рис. 5. Динамика электрооптического отклика КПЖК пленки при управлении ионно-сурфактантным методом. Напряженность управляющего электрического поля $E = 0.06$ В/мкм.

График показывает, что в исходном состоянии светопропускание пленки в прямом направлении для нормально падающего лазерного излучения составляет 77%. Приложение электрического поля напряженностью $E = 0.06$ В/мкм приводит к уменьшению светопропускания пленки на 24%. При этом время включения (по уровню 0.9) составляет $\tau_{\text{вкл}} = 25$ сек. После выключения электрического поля оптические характеристики пленки восстанавливаются за время $\tau_{\text{выкл}} = 15$ сек (по уровню 0.1).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложен и на примере капсулированных полимером нематических жидких кристаллов, допированных ионными сурфактантами, реализован новый метод управления ориентацией жидких кристаллов. Метод основан на модификации поверхностного сцепления жидких кристаллов с полимерной матрицей, происходящей за счет формирования, либо разрушения монослоя ионных сурфактантов при воздействии электрического поля.
2. Изготовлены тестовые образцы композитных пленок, определена критическая концентрация используемых ионных сурфактантов, ниже которой в исходном состоянии реализуется однородное тангенциальное поверхностное сцепление, а выше – однородное гомеотропное сцепление. Обнаружено, что ионная модификация граничных условий в зависимости от концентрации сурфактантов может происходить как в прямом, так и в инверсном режимах.
3. Прямой режим реализуется при концентрации ионного сурфактанта ниже критической. При этом в исходном состоянии капли нематика имеют биполярную конфигурацию директора. При воздействии постоянного электрического поля в зависимости от его направления относительно биполярной оси могут сформироваться: монополярная конфигурация; наклонная монополярная конфигурация; монополярная конфигурация с кольцевым поверхностным дефектом, биполярная структура с линейным и кольцевым поверхностным дефектами; биполярная структура с кольцеобразным поверхностным дефектом.
4. Инверсный режим реализуется при концентрации ионного сурфактанта выше критической. В этом случае исходной структурой капля нематика является радиальная конфигурация директора. Под действием поля возможно образование: структуры с буджомом и поверхностным кольцевым дефектом; структуры с буджомом, ежом и поверхностным кольцевым дефектом; структуры с ежом и поверхностным кольцеобразным дефектом.
5. Процесс трансформации ориентационных структур имеет пороговый характер, а при достижении определенной величины электрического поля выходит на насыщение. Систематизированы оптические текстуры и соответствующие конфигурации директора, сопровождающие ориентационно-структурные превращения в каплях нематика.
6. На примере одного из образцов исследуемого материала продемонстрирована возможность использования данного эффекта для модуляции интенсивности проходящего светового излучения.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. 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, Вып. 6. – С. 440–445.
2. Zyryanov V.Ya., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O. Texture Transformation in Nematic Droplets Caused by Ionic Modification of Boundary Conditions // Mol. Cryst. Liq. Cryst. – 2008. – Vol. 489. – P. 273/[599]–279/[605].

3. Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Зырянов В.Я., Лойко В.А., Шабанов А.В. Электроуправляемое поверхностное сцепление в КПЖК пленках // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники – 2008. – №5 (35). – С. 138–140.
4. 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.
5. Krakhalev M.N., Prishchepa O.O. and Zyryanov V.Ya. Inverse Mode of Ion-Surfactant Method of Director Reorientation Inside Nematic Droplets // Mol. Cryst. Liq. Cryst. – 2009. – Vol. 512. – P. 152/[1998]–157/[2003].
6. Крахалев М.Н. Ориентационная структура капель нематического жидкого кристалла, допированного ионообразующим сурфактантом, в постоянном электрическом поле // Тезисы докладов научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых физиков НКСФ–XXXVI. – Красноярск, 2007. – С. 104.
7. Zyryanov V.Ya., Krakhalev M.N., Prishchepa O.O. Texture transformation in nematic droplets caused by ionic modification of boundary conditions // 12th International Topical Meeting on Optics Liquid Crystals, Puebla, Mexico, 2007. Abstracts, P. 82.
8. Крахалев М.Н. Электроуправляемая ионная модификация межфазной границы в каплях нематика // Сборник трудов конференции молодых ученых Красноярского научного центра – 2008. – Красноярск, 2008. – С. 51–54.
9. Krakhalev Mikhail N., Prishchepa Oхana O., Shabanov Alexander V., and Zyryanov Victor Ya. Inverse Mode of Ionic-Surfactant Method of Director Reorientation inside Nematic Droplets // The 22nd International Liquid Crystals Conference ILCC 2008, Jeju, Korea, 2008. Abstracts, P. 380.
10. Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Зырянов В.Я., Шабанов А.В. Изменение ориентационной структуры в каплях нематика посредством электроуправляемой ионной модификации межфазной границы // Материалы IV Всероссийской конференции «Физико-химические процессы в конденсированных средах и на межфазных границах ФАГРАН-2008» – Воронеж, 2008, – С. 781–784.
11. Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Зырянов В.Я., Шабанов А.В. Управление жидкими кристаллами посредством электроиндуцированной ионной модификации поверхностного сцепления // Тезисы докладов XIII Национальной конференции по росту кристаллов НКРК-2008 – Москва, 2008, – С. 498.
12. Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Шабанов А.В., Зырянов В.Я. Ионно-сурфактантный метод управления жидкими кристаллами // Тезисы докладов всероссийского семинара «Физико-химия поверхностей и наноразмерных систем» – Москва, 2009, – С. 13.
13. Крахалев М.Н. Инверсный режим эффекта ионной модификация поверхностного сцепления в каплях жидкого кристалла // Сборник трудов конф. молодых ученых КНЦ СО РАН – Красноярск, 2009. – С. 13–15.
14. Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Шабанов А.В., Зырянов В.Я. Эффект электроуправляемой ионной модификации межфазной границы в каплях нематика // Тезисы докладов VII Международной научной конференции по лиотропным жидким кристаллам и наноматериалам совместно с симпозиумом «Успехи в изучении термотропных жидких кристаллов» (V Чистяковские чтения) – Иваново, 2009, – С. 84.

Список цитируемой литературы:

1. Жаркова Г.М., Сонин А.С. Жидкокристаллические композиты. – Новосибирск: Наука, 1994. – 214 с.
2. Ryschenkow G., Kleman M. Surface defects and structural transitions in very low anchoring energy nematic thin films // J. Chem. Phys. – 1976. – V. 64, No. 1. – P. 404–412.
3. Komitov L. Electrically commanded surfaces: A new liquid-crystal-display concept // J. Soc. Info. Display – 2003. – V. 11/3. – P. 437–441.
4. Воловик Г.Е., Лаврентович О.Д. Топологическая динамика дефектов: буджумы в каплях нематика // ЖЭТФ. – 1983. – Т. 85, №6. – С. 1997–2010.
5. Prishchepa O.O., Shabanov A.V., Zyryanov V.Ya. Director configurations in nematic droplets with inhomogeneous boundary conditions // Phys. Rev. E. – 2005. – V. 72. – P. 031712-1–031712-11.
6. Proust J.E., Ter-Minassian-Saraga L., Guyon E. Orientation of a nematic liquid crystal by suitable boundary surfaces // Solid State Commun. – 1972. – V. 11. – P. 1227–1230.

КРАХАЛЕВ
Михаил
Николаевич

ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРИЕНТАЦИОННЫХ СТРУКТУР КАПСУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОМ
КАПЕЛЬ НЕМАТИКА, ДОПИРОВАННОГО ИОННЫМИ СУРФАКТАНТАМИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации
на соискание ученой степени
кандидата
физико-математических наук

Подписано в печать 06.11.09
Формат 60x84/16. Усл. Печ. Л.1. Тираж 100. Заказ № 52
Отпечатано в типографии Института физики СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, ИФ СО РАН