

САДОВОЙ АНТОН ВАЛЕНТИНОВИЧ

**СТАТИЧЕСКОЕ И ДИНАМИЧЕСКОЕ
РАССЕЯНИЕ СВЕТА В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ
ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТАХ И
ПОРИСТЫХ СРЕДАХ**

05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные
компоненты, микро- и наноэлектроника на квантовых эффектах
01.04.05 – оптика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Саратов
2008

Работа выполнена на кафедре физики твердого тела факультета нано- и биомедицинских технологий и кафедре оптики и биомедицинской физики физического факультета Саратовского государственного университета им. Н.Г.Чернышевского

Научный руководитель:

доктор физ.-мат. наук, проф. Названов Василий Федорович
доктор физ.-мат. наук, проф. Зимняков Дмитрий Александрович

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук, проф. Гусятников Виктор Николаевич
доктор физ.-мат. наук, проф. Мельников Леонид Аркадьевич

Ведущая организация:

Саратовский филиал ИРЭ РАН (г. Саратов)

Защита диссертации состоится "29" декабря 2008 г. в 10⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д212.243.01 в Саратовском государственном университете (410026, г. Саратов, ул. Московская, 155).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке СГУ.

Автореферат разослан "28" ноября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Аникин В.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Создание композитных жидкокристаллических материалов (гели, пористые структуры, диспергированные в полимере жидкие кристаллы (ДПЖК) и др.) представляет собой новое направление в материаловедении. Оно состоит, в частности, в исследовании взаимосвязи структурных компонентов, особенно на границе раздела, оптических, электрических и магнитных характеристик материала. В последние годы привлекло внимание исследователей модифицирование жидкокристаллических композитов внесенными в их состав различных наночастиц (наночастиц металлов и полупроводников, фуллеренов, углеродных нанотрубок и др.), с целью получения новых электрооптических характеристик среды (Каманина Н.В.,2005; Dierking I.,2005; Lee W.,2004; Yaroshchuk O.V.,2005).

Благодаря уникальным электрооптическим и механическим свойствам жидкокристаллические композиты получили широкое распространение в приборах обработки и отображения информации (Жаркова Г.М.,1994; Drzaic P.S.,1995).

Особое распространение получили диспергированные в полимере жидкие кристаллы, которые представляют собой взвесь жидкокристаллических капель в полимерной матрице. Они отличаются простой и недорогой технологией получения, сравнительно высоким быстродействием и чувствительностью к внешним воздействиям, в частности, к электрическому полю и температуре.

Указанные материалы исследователями рассматриваются в качестве одного из типов так называемых «умных» материалов.

К настоящему времени хорошо исследованы многие оптические и электрооптические свойства таких материалов с привлечением эффекта однократного рассеяния света (явление оптического пропускания, явления индуцированного электрическим полем сдвига фазы волны оптического излучения и др.) (Žumer S.,1988;Kelly J.R. ,1994;Loiko V.A.,2006;Aphonin O.A.,1997;Reshetnyak V.Yu.,1997).

Однако во многих случаях, в частности, при больших концентрациях жидкокристаллических капель в полимере и больших толщинах исследуемых образцов ЖК композита, весьма важны эффекты многократного рассеяния света, например, в случае изучения эффектов угловой зависимости рассеянного света, обратного рассеяния света и др. (Kelly J.R.,1993; Delica S.,2004; Neijen Jaap H.M.,1997).

Несмотря на важность этой проблемы, экспериментальных и теоретических работ по теме явно недостаточно. Актуальность темы связана также с проблемой, так называемой локализации света в подобных неупорядоченных средах.

Анализ динамики границы раздела многофазных систем вносит вклад, как в изучение динамики движения жидкостей в различных неупорядоченных

средах (горных пород, биологических объектов и т.д.), так и в исследовании процесса фазового разделения в процессе формирования жидкокристаллических композитов. Полученные результаты могут быть полезны в медицине, нефтедобывающей и химической промышленностях.

Цель и задачи исследований

В связи со сказанным можно сформулировать цель данной диссертационной работы.

Цель работы:

1. Выявление вклада многократного рассеяния света в диспергированных в полимере нематических жидких кристаллах и установление возможных границ применимости модели однократного рассеяния света в приближении аномальной дифракции в таких средах (в частности, в угловом распределении интенсивности рассеянного света);
2. Поиск и разработка метода получения жидкокристаллических композитов на основе нематического жидкого кристалла и производных ацетата целлюлозы;
3. Разработка метода модификации свойств диспергированных в полимере нематических жидких кристаллов при внесении в состав композита углеродных нанотрубок;
4. Выяснение влияния критических параметров динамики подъема жидкости в неупорядоченных пористых средах с использованием оптических методов.

Постановка задач исследования

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Экспериментальное и теоретическое исследование электрооптических характеристик ДПЖК, в частности, зависимости пропускания, индуцированного полем сдвига фазы излучения и углового распределения интенсивности рассеянного излучения под действием внешнего электрического поля.
2. Моделирование многократного рассеяния света в образцах ДПЖК методом Монте-Карло с целью выявления вклада многократного рассеяния света и установление границ применимости модели однократного рассеяния света в приближении аномальной дифракции.
3. Исследование и разработка метода получения жидкокристаллического композита на основе нематического жидкого кристалла и ацетата целлюлозы с устойчивым эффектом самоорганизации структуры композита.
4. Экспериментальное исследование электрооптических характеристик композита «нематический ЖК/диацетат целлюлозы» с устойчивым эффектом самоорганизации, в частности, зависимости пропускания,

- рассеяния и малоуглового рассеяния излучения от величины внешнего электрического поля.
5. Экспериментальные исследования и разработка метода модифицирования оптических свойств диспергированного в полимере жидкого кристалла углеродными нанотрубками.
 6. Экспериментальное исследование электрооптических характеристик модифицированного углеродными нанотрубками ДПЖК (зависимостей пропускания и рассеяния света от величины внешнего электрического поля).
 7. Исследование и разработка методики получения ориентирующего покрытия для электрооптических ячеек на основе арахиновой кислоты и углеродных нанотрубок по методике Ленгмюра-Блоджетт.
 8. Разработка методики исследования и анализа динамики разделения фаз в многофазных системах с использованием когерентного и некогерентного излучения.
 9. Исследование динамики индуцированного полимеризацией фазового разделения под действием ультрафиолетового излучения системы «нematicеский жидкий кристалл/ фотополимер NOA65».
 10. Исследование критических параметров динамики подъема жидкости в неупорядоченных пористых средах оптическими методами.

Научная новизна работы определяется комплексом выполненных исследований и полученных результатов. Они сводятся к следующему:

1. Выяснена роль вклада многократного рассеяния света в ДПЖК «нematicеский ЖК/ПВС». Определены границы применимости модели однократного рассеяния света в приближении аномальной дифракции при учете разброса капель по размерам и параметров порядка ЖК включений.
2. Обнаружен эффект устойчивой самоорганизации структуры в системе «нematicеский жидкий кристалл/диацетат целлюлозы» в процессе формования пленки.
3. Разработана методика получения воспроизводимого эффекта самоорганизации структуры композита при формировании системы «нematicеский жидкий кристалл/диацетат целлюлозы».
4. Исследованы зависимости некоторых электрооптических характеристик (пропускание и рассеяние света, времена переориентации) от величины управляющего электрического поля системы «нematicеский жидкий кристалл/диацетат целлюлозы» с устойчивым эффектом самоорганизации структуры.
5. Предложен метод модифицирования свойств диспергированных в полимере жидких кристаллов углеродными нанотрубками.
6. Обнаружен и исследован аномальный электрооптический отклик ДПЖК, модифицированных углеродными нанотрубками.

7. Предложен метод ориентации молекул ЖК мономолекулярными пленками «арахиновая кислота/углеродные нанотрубки», полученными методом Ленгмюра-Блоджетт.
8. Разработан метод исследования динамики локальных неоднородностей границы раздела фаз в многофазных системах с использованием когерентного излучения.
9. Показано, что при критическом поведении границы раздела жидкой и газовой фаз в неупорядоченных фибриллярных средах влияние критического параметра f на динамику развития локальных неоднородностей границы незначительно.
10. Показано, что развитие границы фронта на стадии закрепления контролируется в основном зависимостью частоты возникновения локальных нестабильностей от критического параметра и происходит по диффузионному механизму.

Научная и практическая значимость работы

Проведенные исследования существенно расширяют возможности получения жидкокристаллических композитов с новыми электрооптическими свойствами, что является актуальным не только с точки зрения применения композитов в приборах обработки и отображения информации, но и с фундаментальной точки зрения решения проблемы рассеяния света в дисперсных средах.

Использованная модель однократного рассеяния света в приближении аномальной дифракции с учетом гамма-распределения ЖК капель по размерам и параметров порядка ЖК капель позволяет выявлять вклад многократного рассеяния света в диспергированных полимером нематических жидкких кристаллах.

Полученные результаты расширяют спектр применяемых полимеров для производства ЖК композитов. Предложенный в работе метод позволяет изготавливать ЖК композиты на основе диацетата целлюлозы, используемого в качестве полимерной матрицы, с устойчивым эффектом самоорганизации структуры типа «решетка».

Исследования в области модификации ЖК композитов углеродными нанотрубками (УНТ) позволяют получать ЖК композиты с новыми электрооптическими свойствами, обусловленными введением наноматериалов с «уникальными» оптическими свойствами в состав исходного ЖК композита.

Анализ динамики границы раздела фаз многофазных систем вносит вклад как в изучение динамики движения жидкостей в различных неупорядоченных средах (горных пород, биологических объектов и т.д.), так и в исследование процесса фазового разделения в процессе полимеризации полимера. Полученные результаты могут быть полезны в медицине, нефтедобывающей и химической промышленностях.

Полученные в работе результаты использовались при выполнении научных исследований по следующим грантам:

1. Грант РФФИ № 07-02-01467а

Достоверность научных результатов, представленных в работе, обусловлена тем, что они получены на основе апробированных методик измерений, а также учета систематических и случайных погрешностей для каждой из предложенных схем измерений. Достоверность результатов подтверждается воспроизводимостью экспериментальных данных, а также их соответствием результатам, полученным другими исследователями.

Личный вклад

Все экспериментальные результаты исследований получены лично автором.

Постановка задач, обсуждение хода и развития исследований проводились совместно с Названовым В.Ф., Зимняковым Д.А., Шиповской А.Б., Глуховским Е.Г., Виленским М.А., Яковлевым Д.А., Башкатовым А.Н.

Научные результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Расчет углового распределения интенсивности рассеянного света в диспергированных в полимере жидких кристаллах, основанный на модели однократного рассеяния света в приближении аномальной дифракции с учетом параметра порядка ЖК-капли, применим при величине управляющего электрического поля, соответствующей оптическому пропусканию образцов ДПЖК, превышающему 90%.
2. При формировании слоев жидкокристаллического композита «нematicический жидкий кристалл / диацетат целлюлозы» методом полива исходного раствора на стеклянную подложку (с прозрачным проводящим покрытием SnO₂) под углом (15-60°), наблюдается устойчивый эффект самоорганизации структуры слоев композита в виде линейной структуры (решетки). Наилучшими электрооптическими характеристиками обладают образцы, полученные при угле формования ~45°.
3. Обнаруженный аномальный электрооптический отклик (в вольт-контрастной характеристике) диспергированных в полимере нематических жидких кристаллов с добавлением углеродных нанотрубок можно объяснить частичной предварительной ориентацией молекул ЖК в каплях углеродными нанотрубками, ориентирующий эффект которых определяется значительным дипольным моментом углеродных нанотрубок, индуцированным переносом заряда с молекул ЖК на УНТ, вследствие большого электронного сродства УНТ. По этой же причине углеродные нанотрубки в составе упорядоченного монослоя арахиновой кислоты

- на стеклянных подложках влияют на наклонную ориентацию молекул сплошных слоев нематического жидкого кристалла.
4. В неупорядоченных пористых системах формирование границ раздела жидкой и газовой фаз на стадии закрепления происходит по механизму зарождения и развития локальных нестабильностей границы и характеризуются критическим индексом скорости, меньшим 1, что соответствует конечному времени закрепления границы раздела жидкой и газовой фаз в пористых слоях.
 5. Развитие локальных неоднородностей границы раздела жидкой и газовой фаз в пористых слоях на стадии закрепления происходит по диффузионному механизму, при этом величина коэффициента диффузии слабо зависит от критического параметра системы.

Апробация результатов

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных научных конференциях: 1) XII International School for Young Scientists and Students on Optics, Laser Physics & Biophysics, Saratov, Russia, 2008; 2) XI International School for Young Scientists and Students on Optics, Laser Physics & Biophysics, Saratov, Russia, 2007; 3) Eight International Conference on Correlation Optics, Chernovci, Ucrain, 2007; 4) X International School for Young Scientists and Students on Optics, Laser Physics & Biophysics, Saratov, Russia, 2006; 5) Весенняя конференция по химии, СГУ, 2006, Саратов, Россия; 6) Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии. VI Всерос. конф. молодых ученых с международ. участием. Саратов, 2006; 7) Summer School "Imaging, Communication, and Disorder", 11-17 June 2006, Cargese, Corsica, France (INTAS travel grant); 8) XIII International Conference of Students, Post-graduate Students, and Young Scientists "Lomonosov-2006", 11-15 April, 2006, Moscow, Russia; 9) 6th International Young Scientists Conference "Optics \& High Technology Material Science SPO 2005", Kyiv, Ukraine; 10) IX International School for Young Scientists and Students on Optics, Laser Physics \& Biophysics, Saratov, Russia, 2005; 11) Second International Conference of Electronic Materials PHYEM'05, Kaluga, Russia, 2005; 12) Ежегодная студенческая конференция Саратовского государственного университета, Саратов, Россия, 2005; 13) Ежегодная студенческая конференция Саратовского государственного университета, Саратов, Россия, 2004

По теме диссертации опубликовано 10 работ (2 статьи в реферируемых журналах и 8 статей в сборниках трудов научных конференций).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, основной части, содержащей 5 глав, заключения, списка цитируемой литературы из 157 наименований. Диссертация изложена на 168 страницах машинописного текста, содержит 5 таблиц и иллюстрирована 63 рисунками.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, отмечена научная новизна и практическая ценность работы, сформулированы цель, задачи исследований и научные положения, кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе представлен обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященный описанию жидкокристаллических композитов нематический жидкий кристалл/полимер, а именно методики получения, новейших направлений применения, электрооптических характеристик.

Диспергированные в полимере жидкие кристаллы (ДПЖК) представляют собой пленку, состоящую из взвеси жидкокристаллических капель, «замороженных» в полимерной матрице. Оптические свойства ДПЖК управляются внешними воздействиями, такими как температура, механическая деформация, электрооптические и магнитные поля.

В связи с широким применением ДПЖК в приборах обработки и отображения информации широко исследуются электрооптические характеристики, такие, как зависимость пропускания и рассеяния излучения от величины управляющего электрического поля, динамика электрооптического отклика, сдвиг фазы волны оптического излучения, индуцированный внешним электрическим полем, малоугловое рассеяние света.

Изучению рассеянию света в ДПЖК посвящено множество работ, использующих различные приближения рассеяния света: Релея-Ганса, аномальной дифракции (АД), геометрической оптики. Однако явлениям многократного рассеяния света в ДПЖК уделено недостаточно внимания.

Наноразмерные частицы (фуллерены, углеродные нанотрубки и др.), обладающие уникальными физическими свойствами, введенные в состав ЖК-композита, модифицируют его оптические и электрооптические характеристики. Проведенный анализ литературных данных позволил определить перспективы исследований рассеяния света в ДПЖК и других неупорядоченных средах, а также перспективы дальнейшего развития методов получения и модификации ЖК-композитов.

Во второй главе описаны результаты экспериментальных и теоретических исследований рассеяния излучения ($\lambda = 0.635\text{мкм}$) в ЖК композитах «нематический жидкий кристалл ЖК-807/ поливиниловый спирт» (НЖК/ПВС).

Экспериментально исследованы зависимости оптического пропускания излучения и сдвиг фаз волны излучения, индуцированный электрическим полем, в НЖК/ПВС от величины управляющего электрического поля. Использована теоретическая модель однократного рассеяния света в приближении аномальной дифракции, учитывающая разброс ЖК-капель по размеру и параметры порядка ЖК-капель. Полученная модель хорошо описывает экспериментальные данные зависимости пропускания света в

НЖК/ПВС от величины управляющего электрического поля (см. рис. 1). Из сравнения теоретического расчета с данными эксперимента получены некоторые параметры исследуемых образцов, которые были использованы при теоретическом расчете сдвига фаз волны оптического излучения, индуцированного электрическим полем в НЖК/ПВС. Получено хорошее соответствие полученного расчета с данными эксперимента.

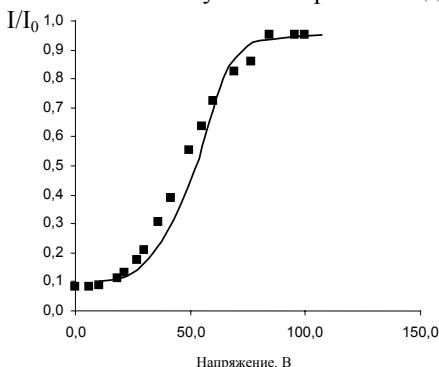


Рис. 1 Зависимость пропускания света через образец от величины приложенного напряжения. Расчет пропускания учитывает модифицированное гамма-распределение разброса капель по радиусу. (■ – эксперимент, — – теория). Параметры расчета образца: $R = (2.1, 2.2)$ мкм, $\eta = 0.4$, $\mu = -0.93$, $A = 0.18$

Исследована также зависимость углового распределения интенсивности рассеянного света в НЖК/ПВС от величины управляющего электрического поля, а также проведен теоретический расчет с учетом однократного рассеяния света в приближении АД с учетом параметров образцов, полученных ранее. Из сравнения расчета с данными эксперимента выявлен вклад многократного рассеяния света.

Проведено также моделирование многократного рассеяния света методом Монте-Карло для данных образцов (рис. 2). Моделирование проведено с использованием приведенного дифференциального сечения рассеяния ЖК-капли в качестве фазовой функции. Получено хорошее соответствие результатов расчета данным эксперимента (рис. 2). Таким образом, полученная модель распределения интенсивности рассеянного излучения в образцах НЖК/ПВС учитывает влияние эффектов многократного рассеяния света.

Установлено, что использованная теоретическая модель однократного рассеяния света позволяет описывать зависимость углового распределения интенсивности рассеянного света от величины электрического поля в исследуемых образцах НЖК/ПВС только при величине электрического поля, соответствующей значению оптического пропускания образцов свыше 90% (см. рис. 2).

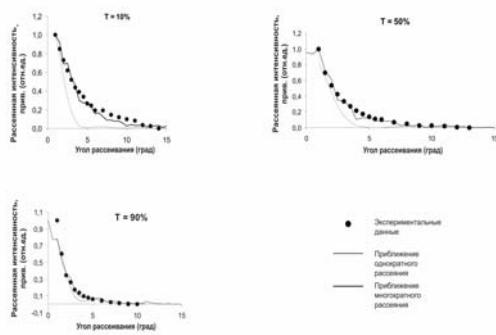


Рис. 2 Графики зависимости приведенного значения рассеянной интенсивности от угла рассеяния, при пропускании слоя Т = 10%, 50%, 90%

Третья глава посвящена развитию метода получения жидкокристаллических композитов на основе «нematicеский жидкий кристалл /дикацетат целлюлозы» (НЖК/ДАЦ) методом фазового разделения при испарении растворителя.

Показано, что дикацетат целлюлозы возможно использовать в качестве полимерной матрицы для производства жидкокристаллических композитов.

Обнаружен устойчивый эффект самоорганизации морфологии системы «нematicеский жидкий кристалл /дикацетат целлюлозы» в виде линейной структуры (решетки) в процессе формования пленок (см. рис. 3). Данный эффект наблюдается в процессе формования пленок при поливе исходного раствора на подложку, расположенную под углом ($15^\circ \sim 60^\circ$).

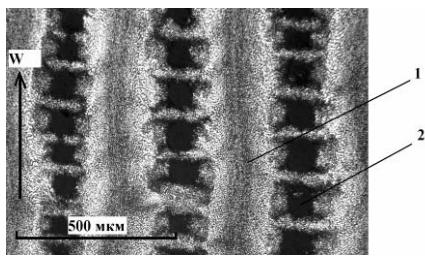


Рис. 3 Изображение пленки нематический ЖК-ДАЦ в поляризационном микроскопе в скрещенных поляризаторах (W – направление растекания исходной композиции; 1 – композит НЖК-ДАЦ; 2 – чистый ДАЦ без содержание ЖК). Образец ДАЦ:ЖК-1:2-45

Исследование оптического пропускания НЖК/ДАЦ с эффектом самоорганизации показало, что наилучшим контрастом обладают слои, полученные при угле формования $\sim 45^\circ$.

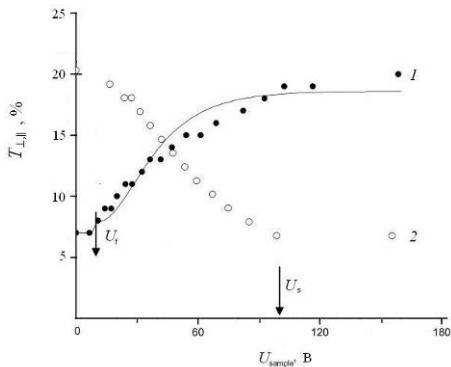


Рис. 4 Зависимость пропускания $T_{\perp\parallel}$ от величины управляющего напряжения U_{sample} при параллельном (1) и скрещенном (2) расположении поляризатора и анализатора. Сплошная линия – теоретический расчет

Результаты исследования малоуглового рассеяния света в НЖК/ДАЦ с эффектом самоорганизации представлены на рис. 5. Сравнивая полученные результаты с результатами обычных ЖК композитах «НЖК/ПВС», можно видеть принципиальные отличия. Во-первых, максимум интенсивности находится при 0 град и остается практически постоянным по величине и ширине (рис. 5). Во-вторых, на зависимости хорошо видны «плечи», которые при увеличении управляющего напряжения постепенно исчезают.

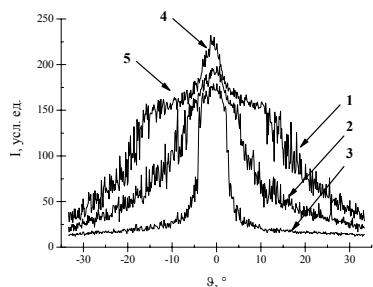


Рис. 5 Зависимость интенсивности малоуглового рассеяния излучения от угла рассеяния (1 – $U_{sample}=0$ В, 2 – $U_{sample}=30$ В, 3 – $U_{sample}=100$ В, 4 – максимум интенсивности, 5 – «плечо»)

Четвертая глава посвящена модифицированию свойств жидкокристаллических композитов углеродными нанотрубками.

Впервые предложен метод модифицирования диспергированных в полимере нематических жидких кристаллов (ДПЖК) углеродными нанотрубками (УНТ). В полученном модифицированном материале исследованы основные электрооптические характеристики, такие, как зависимости пропускания и рассеяния света от величины управляющего электрического поля. Обнаружено аномальное электрооптическое пропускание образцов ДПЖК, модифицированных УНТ, при скрещенном расположении поляризатора и анализатора (см. рис. 6), который объясняется эффектом предварительной ориентации молекул ЖК многостенными углеродными нанотрубками. Эффект объясняется наличием дипольного

момента УНТ, индуцированным вследствие большого электронного сродства УНТ переносом заряда с молекул ЖК на УНТ в ЖК композите.

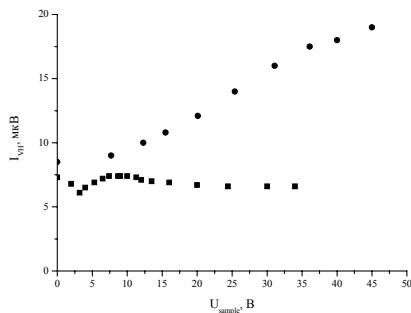


Рис. 6 Экспериментальная зависимость оптического пропускания пленок ДПЖК (●) и ДПЖК модифицированных УНТ (■) от величины управляющего напряжения при скрещенном расположении поляризатора и анализатора

Предложен, также метод ориентации молекул нематического ЖК в сплошных слоях ЖК мономолекулярными пленками «арахиновая кислота/углеродные нанотрубки» (АРХ/УНТ), полученными методом Ленгмюра-Блоджетт. При исследования электрооптических характеристик ЖК ячеек с ориентирующим покрытием АРХ/УНТ выявлена зависимость ориентации первого слоя молекул ЖК от направления нанесения ориентирующего покрытия арахиновая кислота/углеродные нанотрубки (рис. 7).

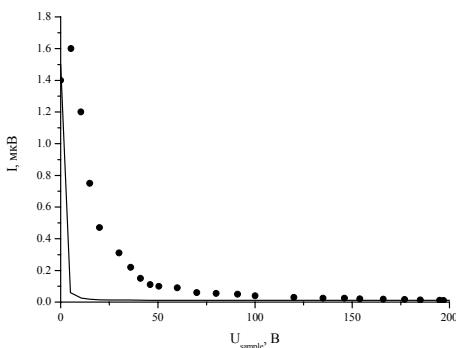


Рис. 7 Зависимость пропускания излучения от величины управляющего напряжения при скрещенном расположении поляризатора и анализатора (— - ЖК ячейки с ориентирующим покрытием $C_{20}H_{40}O_2$; ● - ЖК ячейки с ориентирующим покрытием $C_{20}H_{40}O_2$ -УНТ

Пятая глава посвящена исследованию динамики границы раздела фаз неупорядоченных сред. В работе рассмотрены две двухфазные системы: 1) нематический жидкий кристалл /фотополимер в процессе фазового разделения, индуцированного ультрафиолетовым излучением; 2) неупорядоченные фибрillярные структуры в процессе капиллярного движения жидкости.

В работе представлены результаты исследования динамики границы нематический жидкий кристалл /фотополимер (ЖК-807/NOA65) в процессе

фазового разделения, индуцированного ультрафиолетовым излучением, с использованием спекл-кореллометрического анализа обратно рассеянного излучения. Показано, что ДПЖК образуются лишь при соотношении компонентов исходной смеси больше, чем 3:7 (ЖК-807:NOA65). Анализ показал, что зависимость средней интенсивности спеклов $\langle I \rangle$ от времени облучения характеризуется скачкообразным увеличением интенсивности обратно рассеянного излучения, что свидетельствует о квазипороговом переходе от стадии «разогрева» к стадии формирования и резкому росту ЖК капель на данной стадии. Также установлено, что угол наклона зависимости на стадии «формирования» зависит от концентрации, причем чем выше концентрация ЖК в смеси, тем угол наклона больше, однако время начала стадии «формирования» смещается в сторону больших времен при увеличении концентрации ЖК в исходной смеси. (см. рис. 8)

На стадии «отверждения» зависимость средней интенсивности детектируемого спекл-модулированного излучения аппроксимируется функция времени $\langle I \rangle \sim t^{2/3}$ (см. рис. 8).

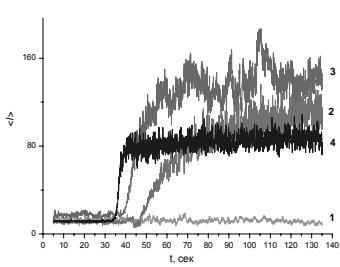


Рис. 8 Зависимости средней интенсивности $\langle I \rangle$ детектируемого спекл-модулированного излучения от времени УФ облучения. На графики представлены зависимости для различных концентраций компонент ЖК-807:NOA65 (1 – 3:7; 2 – 4:6; 3 – 5:5; 4 – 6:4)

В результате анализа последовательностей изображений поверхности слоев неупорядоченной пористой среды (бумаги) в процессе капиллярного подъема жидкости, полученных при освещении некогерентным и когерентным излучением, установлены закономерности, контролирующие критическое поведение границы раздела жидкой и газовой фаз в слое в процессе ее закрепления. Предложена феноменологическая модель макроскопической динамики границы раздела фаз для интерпретации полученных экспериментальных данных и определены значения критических индексов, характеризующих исследуемые образцы в рамках данной модели.

Показано, что при критическом поведении границ раздела жидкой и газовой фаз в неупорядоченных фибриллярных слоях влияние критического параметра f на динамику развития локальных нестабильностей границы незначительно (см. рис. 9). Развитие границы на стадии закрепления контролируется в основном зависимостью частоты возникновения локальных нестабильностей от критического параметра. Также показано, что развитие глобальных неоднородностей границы раздела жидкой и газовой фаз в пористых слоях на стадии закрепления происходит по диффузионному механизму, при этом величина коэффициента диффузии слабо зависит от критического параметра системы (см. рис. 10). Полученные величины сопоставлены с представленными в литературе результатами численного моделирования для дискретных моделей направленного протекания, соответствующих уравнению Кардара-Паризи-Жанга.

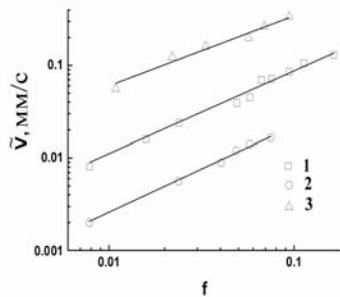


Рис. 9 Зависимости \tilde{v} от критического параметра f на стадии закрепления границы. Образцы: 1 – ФБ; 2 – ФМ; 3 – ФС

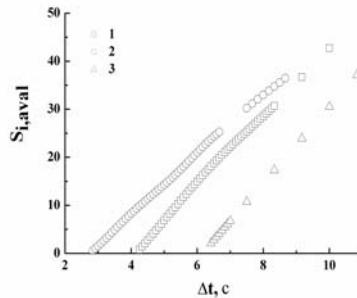


Рис. 10 Зависимости $S_{i,aval}(\Delta t)$ при малых значениях критического параметра. Образец – ФС; 1 - $f \approx 0.07$; 2 - $f \approx 0.03$; 3 - $f \approx 0.01$

В **заключении** сформулированы основные результаты работы и выводы.

Основные результаты и выводы:

1. Исследована модель однократного рассеяния света в приближении аномальной дифракции с учетом распределения размера и параметров порядка включений жидкого кристалла. Данная модель использована для выявления эффектов многократного рассеяния света в диспергированных в полимере жидких кристаллах.

2. Методом сравнения теоретического расчета по предложенной модели, а также по методу Монте-Карло с данными эксперимента установлены границы применимости для данной модели.
3. Предложена методика формования пленок «нематический жидкий кристалл / диацетат целлюлозы» с устойчивым эффектом самоорганизации структуры.
4. Впервые измерены электрооптические характеристики пленок «нематический жидкий кристалл / диацетат целлюлозы» с устойчивым эффектом самоорганизации структуры, такие, как пропускание и рассеяние света, малоугловое рассеяние света и электрооптический отклик.
5. Предложена методика модификации диспергированных в полимере нематических жидких кристаллов углеродными нанотрубками.
6. В диспергированных в полимере нематических жидких кристаллах, модифицированных углеродными нанотрубками обнаружен эффект предварительной ориентации молекул жидкого кристалла углеродными нанотрубками.
7. Предложен метод ориентации молекул жидкого кристалла мономолекулярными пленками «арахиновая кислота / углеродные нанотрубки», полученные методом Ленгмюра-Блоджетт.
8. Экспериментально исследована динамика фазового разделения системы нематический жидкий кристалл/фотополимер в процессе полимеризации под воздействием ультрафиолетового излучения с использованием спекл-кореллометрического анализа. Показано, что средняя интенсивность картин спекл-полей есть функция времени вида $< I > \propto t^{2/3}$
9. Экспериментально исследованы критические поведения границ раздела жидкой и газовой фаз в неупорядоченных пористых слоях, установлено незначительное влияние критического параметра $f < 1$ на динамику развития локальных нестабильностей границы («лавин»); при этом развитие границы на стадии закрепления контролируется в основном зависимостью частоты возникновения локальных нестабильностей от критического параметра.
10. Показано, что развитие локальных нестабильностей границы раздела фаз на стадии закрепления происходит по диффузионному механизму.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Садовой А.В., Шиповская А.Б., Названов В.Ф. Самоорганизация и электрооптические характеристики композита нематический жидкий кристалл-дицетат целлюлозы // Письма в ЖТФ. - 2008. - Т. 34. - В. 23. - С. 15-20

2. Садовой А.В., Названов В.Ф., Оптическое пропускание диспергированными в полимере жидкими кристаллами с углеродными нанотрубками // Письма в ЖТФ, 2006, Т. 32, №. 15, 30-34
3. Садовой А.В., Медведев М.В., Названов В.Ф., Исследование многократного рассеяния света в капсулированных полимером жидких кристаллах: моделирование методом Монте-Карло // Известия СГУ серия физика, 2008, Том 8, №1, 26-29
4. Sadovoy A., Dubovik Yu., Nazvanov V.F. Carbon nanotubes aligning by Langmuir-Blodgett technique and visualizing by nematic liquid crystals // Proc. of SPIE, 2007, Vol. 6536 653609-1
5. Sadovoy A.V., Nazvanov V.F. Study of the electro-optical response of polymer dispersed liquid crystal doped with multi-wall carbon nanotubes // Proc. SPIE, 2005, Vol. 6164, p. 65-68
6. Sadovoy A.V., Nazvanov V.F. Investigation of multiple light scattering in polymer dispersed liquid crystals // Physics of Electronic Materials: 2nd International Conference Proceedings, Kaluga, Russia, May 24-27, 2005. Vol. 2. - Kaluga: KSPU Press, 2005. - 344 p.
7. Ислюков Д.П., Садовой А.В., Шиповская А.Б., Шмаков С.Л., Жидкокристаллический композит на основе диацетата целлюлозы и низкомолекулярного жидкого кристалла // Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии: Межвуз. сборник науч. трудов VI Всерос. конф. молодых ученых с международ. участием. Саратов: Изд-во «Научная книга». 2007. с. 271-274
8. Zimnyakov D.A., Sadovoy A.V., Vilensky M.A., White-light and speckle-correlation analysis of imbibition in porous media: critical properties of near-pinned interfaces // Proc. of SPIE, 2008, Vol. 7008, 70080T-1
9. Zimnyakov D.A., Sinichkin Y.P., Kuznetsova L.V., Vilensky M.A., Sadovoy A.V., Coherence-domain and polarization diagnostics of spatially oriented and random fibrous media such as paper and collagenous biotissues. 3rd Russian-Finnish Meeting "Photonics and Laser Symposium" Book of Abstracts, 2007, 4.
10. Vilensky M, Zimnyakov D.A., Sadovoy A.V., Speckle-based probes of scattering media with the use of frequency-modulated laser light. Proceedings of SPIE on Eight International Conference on Correlation Optics, 2007, V.7008

САДОВОЙ АНТОН ВАЛЕНТИНОВИЧ

**СТАТИЧЕСКОЕ И ДИНАМИЧЕСКОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В
НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ
КОМПОЗИТАХ И ПОРИСТЫХ СРЕДАХ**

Автореферат