

На правах рукописи

Самагин Сергей Анатольевич

**АДАПТИВНАЯ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ЛИНЗА
С ОПТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ: ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ,
СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ**

01.04.21 – Лазерная физика

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Самагин

Самара – 2005

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Самарский государственный университет».

Научный руководитель: доктор физико-математических наук

Волостников Владимир Геннадьевич.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Шмальгаузен Виктор Иванович;

доктор физико-математических наук, профессор Захаров Валерий Павлович.

Ведущая организация: Московский инженерно-физический институт (государственный университет), г. Москва.

Защита состоится «28» сентября 2005 года в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.218.01 при Самарском государственном университете по адресу: 443011, Самара, ул. Ак. Павлова, 1, зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Самарского государственного университета.

Автореферат разослан «26» августа 2005 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



В.А. Жукова

2006-У
12231

216 9759

Общая характеристика работы

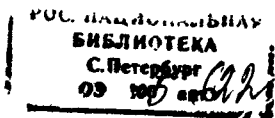
Актуальность темы.

Одним из перспективных направлений развития современной оптики и лазерной физики является разработка оптических элементов с управляемыми свойствами. Особое место среди таких устройств занимают жидкокристаллические (ЖК) пространственно-временные модуляторы света (ПВМС). Для них характерны высокая технологичность изготовления, относительно малые управляющие напряжения (полуволновое напряжение составляет доли вольта, что делает ЖК устройства совместимыми с цифровой техникой), возможность чисто фазовой модуляции сравнительно большой глубины, малое потребление мощности ($0,1 \text{ мВт/см}^2$), малые объемы и размеры плюс возможность плоского дизайна, отсутствие движущихся частей, широкий диапазон рабочих температур и значительный срок службы. Столь уникальное сочетание свойств делает ЖК ПВМС весьма привлекательными для решения задач адаптивной оптики: подавления атмосферных искажений волнового фронта, коррекции аберраций в оптических системах и т.д.

В частности, для таких популярных приложений, как автофокусировка зондирующих пучков света в системах технического зрения, считывания информации со штрих-кодов и в лазерных проигрывателях, компенсация астигматизма полупроводниковых лазеров и многих других, достаточно осуществлять коррекцию искажений низкого порядка – дефокусировки и астигматизма. С этой целью адаптивно-оптическая система должна содержать сферические или цилиндрические линзы с перестраиваемым фокусным расстоянием. В последние годы в разработке ЖК адаптивных линз был достигнут значительный успех. На основе нематических ЖК (НЖК) были разработаны сферические и цилиндрические линзы, микролинзы с электрически управляемым фокусным расстоянием.

Разработка адаптивных ЖК линз с оптическим управлением (ЛОУ) является следующим важным шагом на пути расширения элементной базы адаптивно-оптических систем. ЖК ЛОУ могут найти применение в лазерных системах с автоподстройкой, в системах с обратной оптической связью, в задачах управления лазерным пучком в оптических системах хранения информации, активных устройствах сопряжения в оптоволоконных линиях связи и др.

Проблеме создания оптически управляемых линз посвящено несколько работ. Но весьма перспективным направлением является модальная ЖК ЛОУ, поскольку она, с одной стороны, сочетает в себе все преимущества электрически управляемых адаптивных ЖК линз, а с другой стороны, имеет дополнительную функциональную особенность – зависимость фокусного расстояния от интенсивности падающего на линзу излучения. В связи со сказанным, теоретическое и экспериментальное исследование электрофизических и оптико-электрических характеристик модальной ЖК ЛОУ представляется актуальной задачей.



Целью работы является построение математической модели адаптивных модалных ЖК ЛОУ сферической и цилиндрической геометрии, разработка и изготовление таких линз, экспериментальное исследование их электрофизических и оптико-электрических характеристик, демонстрация применений их в адаптивно-оптических системах.

В соответствии с поставленной целью определены основные **задачи исследования**:

- Разработать теоретическую модель модалных жидкокристаллических линз с оптическим управлением, позволяющую описать зависимости их электрооптических свойств от управляющих параметров.
- Разработать и изготовить адаптивные модалные ЖК ЛОУ сферической и цилиндрической геометрии с высокой чувствительностью фазового профиля к интенсивности падающего лазерного излучения.
- Экспериментально исследовать зависимости ёмкостно-резистивных характеристик, профиля фазовой задержки и фокусного расстояния линз с оптическим управлением от всех управляющих параметров.
- Экспериментально продемонстрировать возможности применения линз с оптическим управлением в адаптивно-оптических и нелинейно-оптических системах.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые:

- Развита теоретическая модель модалных жидкокристаллических линз с оптическим управлением, адекватно описывающая оптические и электрофизические свойства сферической и цилиндрической модалных линз с оптическим управлением.
- Разработана и создана ЖК ЛОУ действие которой основано на модалном принципе управления.
- Проведено комплексное экспериментальное исследование зависимости фокусного расстояния, профиля фазовой задержки, электрической ёмкости и сопротивления от всех управляющих параметров: величины питающего напряжения, частоты напряжения, величины и профиля распределения интенсивности лазерного излучения, проходящего через линзы.
- На основе сферической и цилиндрической ЖК ЛОУ реализованы системы стабилизации мощности лазерного излучения на мишени заданной формы, автоматической компенсации дефокусировки пучка и угловой селекции излучения по интенсивности.

Практическая ценность работы:

В работе развита модель модалных жидкокристаллических линз с оптическим управлением. В модели учтены пространственно неоднородное распределение интенсивности по апертуре, изменения электрофизических свойств слоя жидкого кристалла, обусловленные ориентационным S-эффектом

и наличием примесей в НЖК. Разработанный подход позволяет адекватно описывать электрооптические свойства и может быть использован для моделирования оптических систем на основе данных линз.

Исследование электрофизических свойств ЖК ЛОУ позволило установить, что определяющий вклад в проводимость ЖК в низкочастотной области управляющего напряжения дают ионы примесей. Этот результат необходимо учитывать при разработке и оптимизации параметров других модальных ЖК устройств, например, многоканальных корректоров волнового фронта.

В ходе экспериментального и теоретического исследования ЖК ЛОУ получены характерные зависимости фокусного расстояния, фазового профиля, среднеквадратичного отклонения профиля фазовой задержки от идеального параболического, электрической ёмкости и сопротивления от величины и частоты питающего напряжения, величины и распределения интенсивности лазерного излучения, проходящего через линзы. Сформулированные основные закономерности изменения данных свойств как функции управляющих параметров и конструктивных особенностей необходимо использовать при проектировании линз с заданными свойствами.

Модальные линзы с оптическим управлением являются адаптивными нелинейными оптическими элементами с управляемыми характеристиками, которые могут найти применение в оптических системах фокусировки и управления лазерным излучением. В диссертационной работе рассмотрено применение сферической и цилиндрической линз с оптическим управлением в нескольких примерах адаптивных схем с автоуправлением лазерным пучком.

На защиту выносятся следующие положения и результаты:

1. Развитая теоретическая модель позволяет адекватно описать зависимости электрических и оптических свойств ЛОУ от прикладываемого напряжения, профиля интенсивности и мощности проходящего света.
2. Зависимость модуля фокусного расстояния линз от мощности проходящего лазерного излучения имеет возрастающий характер, при этом скорость изменения зависит от частоты питающего напряжения.
3. Фазовая задержка ЛОУ имеет близкий к параболическому профиль для пучков с однородным и гауссовым распределением интенсивности, а величина среднеквадратичного отклонения фазового профиля от идеального уменьшается с ростом фокусного расстояния, при этом для гауссова пучка среднеквадратичное отклонение составляет меньшую величину, чем для однородного.
4. Оптические свойства разработанных ЖК ЛОУ позволяют реализовать системы стабилизации мощности лазерного излучения на мишени заданной формы, автоматической компенсации дефокусировки пучка и угловой селекции излучения по интенсивности.

Апробация работы:

Основные результаты диссертационной работы докладывались на международной конференции по лазерам, приложениям и технологиям “LAT 2002” (Москва, 2002), международной конференции “Photonics West’03” (Сан-Хосе, 2003), седьмой всероссийской молодёжной научной школе «Когерентная оптика и оптическая спектроскопия» (Казань, 2003), десятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (Москва, 2004 г.), Самарских региональных конкурсах-конференциях научных работ студентов и молодых исследователей по оптике и лазерной физике (2003, 2004), научных конференциях преподавателей и сотрудников Самарского государственного университета (2003, 2004, 2005), а также на научных семинарах Самарского филиала Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

Публикации.

По результатам диссертации опубликовано 8 научных работ.

Структура и объём работы:

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (108 наименований), изложена на 147 страницах, содержит 68 рисунков и 3 таблицы.

Содержание работы

Во **Введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи диссертации, показаны научная новизна и практическая значимость работы, изложены защищаемые положения, описана структура диссертации.

Глава 1 носит обзорный характер. В ней рассмотрены основные способы организации жидкокристаллических модуляторов света с электрическим и оптическим управлением. В настоящее время сформировались два подхода к разработке ЖК транспарантов, основанные на зональном и модальном принципе управления. Работа ЖК модуляторов света в большинстве случаев основана на применении ориентационных электрооптических эффектов, т.е. способности молекул ЖК изменять своё пространственное положение под действием внешнего электрического поля, что приводит к изменению механических, электрических, магнитных и оптических свойств ЖК. Поэтому основное отличие между модальными и зональными ЖК модуляторами света заключается в способе формирования и управления пространственным распределением электрического поля вне зависимости от типа электрооптического эффекта.

Зональный принцип управления ЖК модуляторами света заключается в том, что формирование заданного распределения фазовой задержки осуществляется с помощью набора электродов с индивидуальной адресацией, расположенных в области апертуры. Оптические свойства ЖК слоя изменяются одинаково на всей области управляющего электрода, а требуемое

пространственное распределение пропускания всего модулятора формируется как сумма индивидуально управляемых зон. Устройства, реализующие этот подход, называются зональными ЖК модуляторами света. Зональные корректоры, однако, обладают рядом недостатков: ступенчатый вид профиля фазовой задержки, наличие неуправляемых областей между электродами. Из-за этого возникают значительные потери энергии при дифракции.

Модальный способ коррекции волнового фронта заключается в следующем. Требуемый профиль формируют из набора фазовых рельефов, ортогональных по апертуре в целом. В частности, при разложении атмосферных искажений волнового фронта широко применяется система полиномов Цернике. Модальными корректорами называются устройства, которые позволяют формировать набор ортогональных фазовых профилей и реализовать данный подход. Создаваемые профили фазовой задержки в модуляторах данного типа являются плавными в отличие от зональных корректоров, что значительно снижает потери световой энергии. Предлагаемые в данной работе ЖК линзы с оптическим управлением основаны на модальном принципе управления.

На основе проведённого анализа литературных данных были сформулированы цели и задачи исследования.

Глава 2 посвящена теоретическому исследованию электрооптических свойств модальных ЛОУ. В главе описано устройство сферической и цилиндрической ЖК ЛОУ, развита модель и проведено теоретическое исследование электрооптических свойств ЛОУ от всех управляющих параметров: величины прикладываемого напряжения, частоты напряжения, профиля распределения интенсивности и мощности излучения, проходящего через линзу.

ЖК ЛОУ представляет собой многослойную структуру, изображённую на рис. 1.

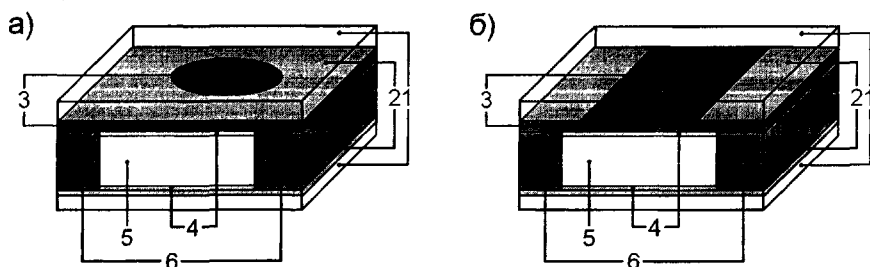


Рис. 1. Конструкция оптически управляемых жидкокристаллических линз: а) сферическая ЛОУ, б) цилиндрическая ЛОУ: 1 - стеклянные подложки, 2 - низкоомные электроды, 3 - слой фотопроводника, 4 - ориентирующее покрытие, 5 - прокладки, 6 - слой ЖК.

Внешними слоями являются стеклянные подложки с нанесёнными на них электродами. На одной из подложек электрод имеет круглое отверстие для случая сферической ЛОУ или представляет собой два полосковых контакта для цилиндрической ЛОУ. Область, не покрытая контактными электродами, играет роль апертуры линзы. На эту подложку наносится слой фоточувствительного полупроводника (гидрогенизированный аморфный кремний α -Si:H). Поверхностное сопротивление этого слоя много больше сопротивления сплошного низкоомного электрода при любой интенсивности падающего излучения. На другой подложке расположен прозрачный однородный электрод с маленьким сопротивлением. Он выступает в роли электрода с нулевым потенциалом. Толщина слоя НЖК, находящегося между подложками, задаётся калиброванными прокладками и определяется требованием на глубину фазовой модуляции и условием согласования сопротивления фотослоя (ФС) и слоя ЖК. Планарная ориентация директора создаётся ориентирующими покрытиями.

Такая конструкция линзы позволяет создавать в области апертуры ёмкостно-резистивный делитель напряжения. Если к контактам приложено переменное синусоидальное по времени напряжение, то мгновенное значение напряжения в центре апертуры линзы не успевают следовать за изменением управляющего напряжения на контактах. Это приводит к плавному уменьшению действующего значения напряжения от контактов к центру апертуры. При изменении частоты происходит изменение реактивного ёмкостного сопротивления данного делителя. Если, например, частота увеличивается, то происходит и увеличение градиента действующего значения напряжения от края к центру апертуры вдоль управляющего электрода, роль которого играет ФС. В результате с ростом частоты напряжения прогиб его действующего значения увеличивается. Если же частота остаётся неизменной, а например, увеличивается интенсивность излучения, проходящего через такую систему, то уменьшается активное сопротивление ФС. В результате перепад напряжения между краем апертуры и её центром уменьшается. Таким образом, управляя характеристиками делителя, можно изменять распределение напряжения по апертуре ЛОУ. Под действием напряжения в ЖК слое происходит переориентация молекул (S-эффект). Поэтому, контролируя поведение профиля напряжения, можно управлять и изменять пространственное распределение фазовой задержки, вносимой ЖК слоем в проходящую световую волну.

Рассматриваемые в данной работе ЖК ЛОУ являются устройствами управления фазой и могут быть описаны в стандартных терминах функции пропускания фазового транспаранта. Функция пропускания такого модулятора зависит от пространственного распределения напряжения. Распределение действующего значения напряжения по апертуре ЖК ЛОУ определяется следующим уравнением:

$$\nabla_s \left(\frac{1}{\rho_s} \nabla_s U(\mathbf{r}) \right) = U(\mathbf{r})(g - i\omega c), \quad (1)$$

где $\nabla_s = \mathbf{n}_x \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{n}_y \frac{\partial}{\partial y}$, c и g – соответственно ёмкость и проводимость ЖК на единицу его площади, ρ_s – поверхностное сопротивление управляющего электрода, ω – циклическая частота напряжения. Для определения распределения напряжения данное уравнение необходимо дополнить граничными условиями в соответствии с геометрией ЛОУ, т.е. задать величину напряжения на контактах.

Электрофизические параметры слоя ЖК не являются постоянными величинами, а зависят от величины напряжения и частоты, а сопротивление фотослоя есть функция пространственного распределения интенсивности. Данные зависимости были получены экспериментально. Стоит отметить, что в данной работе впервые предложено использовать для описания частотной зависимости комплексной проницаемости НЖК выражение, учитывающее два механизма поляризации среды: ориентационный механизм и поляризацию, связанную с дрейфом ионов примесей. Второй механизм является существенным в диапазоне частот управляющего напряжения ниже 100 Гц.

В рамках предложенной модели было проведено теоретическое исследование профиля фазовой задержки ЛОУ, его среднеквадратичного отклонения от идеального параболического профиля и фокусного расстояния как функций управляющих параметров для случая однородного и гауссова распределения интенсивности излучения, проходящего через ЛОУ. В результате исследования были установлены следующие основные свойства сферических и цилиндрических ЖК ЛОУ.

Профиль фазовой задержки ЛОУ близок к параболическому при освещении её пучком света как с однородным, так и с гауссовым распределением интенсивности (рис. 2а). Среднеквадратичное отклонение фазового профиля от идеального параболического рельефа уменьшается с ростом фокусного расстояния. Величина фазового прогиба между центром и краем апертуры с ростом частоты питающего напряжения увеличивается, а с ростом мощности излучения, проходящего через ЛОУ, уменьшается. Действующее значение напряжения, приложенного к контактам, в основном, определяет максимальную глубину перепада фазы между краем и центром апертуры. Фокусное расстояние ЛОУ является монотонной возрастающей функцией мощности излучения, причём характер зависимости и величина фоточувствительности управляются частотой питающего напряжения: с ростом частоты фоточувствительность линзы уменьшается (рис. 2б). На профиль фазовой задержки ЛОУ при освещении её пучком света с гауссовым распределением интенсивности сильное влияние оказывает гауссова ширина распределения. С её уменьшением происходит уменьшение общей фоточувствительности ЛОУ.

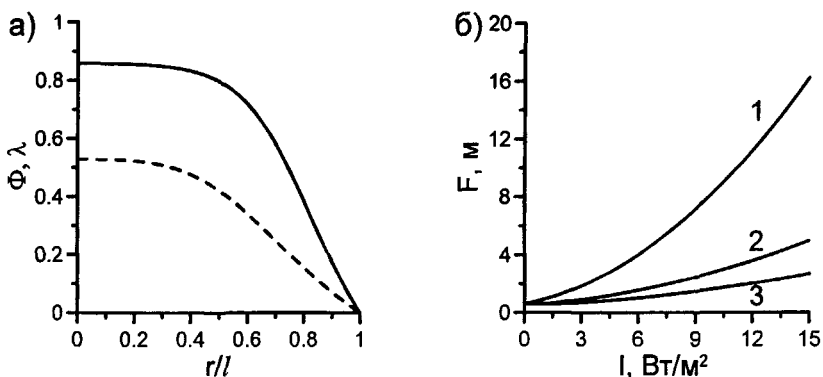


Рис. 2. А) Распределение фазовой задержки для сферической ЛОУ при частоте напряжения 100 Гц. Сплошная линия соответствует случаю гауссова распределения интенсивности, а пунктирная - случаю однородной засветки. Ширина гауссова распределения равна радиусу линзы.

Б) Зависимость фокусного расстояния ЛОУ от интенсивности излучения. Частота напряжения: кривая 1 - 100 Гц, кривая 2 - 200 Гц, кривая 3 - 300 Гц. Напряжение на контактах $U_0=10$ В.

Глава 3 посвящена экспериментальному исследованию электрофизических и электрооптических свойств сферической и цилиндрической ЖК ЛОУ.

В результате анализа электрофизических характеристик ЖК ЛОУ были получены значения физических параметров ЖК слоя и ФС в исследуемых образцах. Экспериментально определено поведение ёмкости и сопротивления ЛОУ от величины и частоты напряжения, а также интенсивности лазерного излучения. Измерения проводились мостовым методом в параллельной цепочке замещения. Было установлено, что с ростом частоты RC -параметры ЛОУ уменьшаются. Зависимость емкости от интенсивности излучения имеет возрастающий, а зависимость сопротивления спадающий характер. В рамках предложенной модели рассчитаны основные закономерности изменения RC -параметров. Полученные теоретические зависимости хорошо подтверждают экспериментально полученные закономерности.

Исследование основных оптических свойств ЛОУ включало экспериментальное определение зависимостей профиля фазовой задержки и фокусного расстояния от частоты и величины напряжения, а также интенсивности падающего излучения. Для исследования фазовой задержки ЛОУ использованы две методики: стандартная для ЖК ячеек схема со скрещенными поляроидами и прямые измерения формы волнового фронта с помощью датчика Гартмана.

Полученные экспериментальные данные хорошо подтверждают многие теоретические выводы. Например, величина прогиба фазовой задержки ЛОУ

увеличивается с ростом частоты, а с ростом интенсивности происходит уменьшение фазового прогиба. Это хорошо иллюстрируют интерферограммы на рис. 3. Аналогичные результаты были получены для цилиндрической ЛОУ.

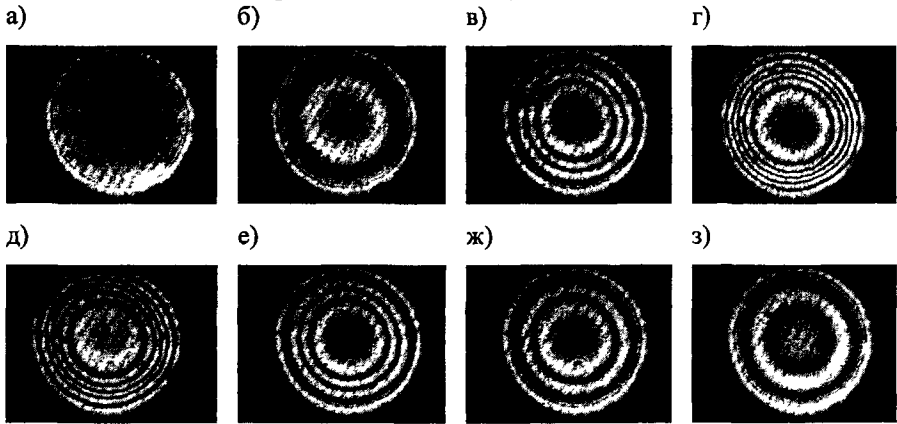


Рис. 3. Зависимость профиля фазовой задержки сферической ЛОУ от частоты напряжения (а, б, в, г) и интенсивности (д, е, ж, з).

а, б, в, г) Интенсивность составляет $2,9 \text{ Вт/м}^2$, амплитуда напряжения $9,0 \text{ В}$. Частота равна: а) 40 Гц , б) 80 Гц , в) 160 Гц , г) 300 Гц .

д, е, ж, з) Напряжения составляет $9,0 \text{ В}$, а частота – 160 Гц . Интенсивность: д) $1,4 \text{ Вт/м}^2$, е) $2,8 \text{ Вт/м}^2$, ж) $4,0 \text{ Вт/м}^2$, з) $5,4 \text{ Вт/м}^2$.

Детальное исследование формы волнового фронта, создаваемого ЛОУ, было проведено с помощью датчика Гартмана. Типичный результат восстановления волнового фронта, создаваемого сферической и цилиндрической ЖК ЛОУ при освещении однородным плоским пучком, приведен на рис. 4.

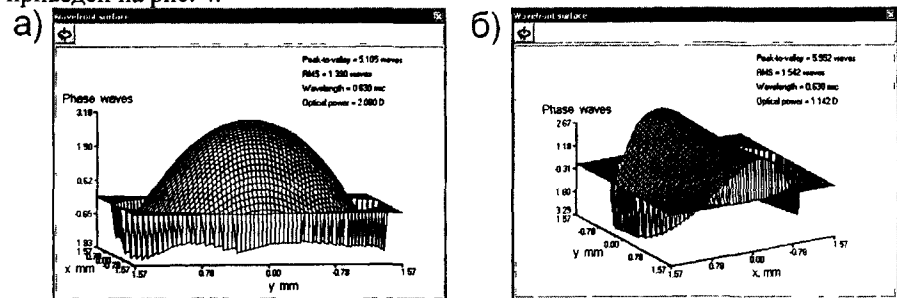


Рис. 4. Профили фазовой задержки сферической ЛОУ при амплитуде напряжения $7,5 \text{ В}$, частоте 100 Гц и интенсивности излучения $5,5 \text{ Вт/м}^2$ (а) и цилиндрической при напряжении 20 В , частоте 60 Гц и интенсивности излучения $22,6 \text{ Вт/м}^2$ (б).

Результаты измерения фокусного расстояния ЛОУ как функции интенсивности и среднеквадратичного отклонения профиля фазовой задержки от параболического фронта приведены на рис. 5. Результаты теоретического моделирования данных зависимостей, изображённые сплошными линиями, имеют хорошее качественное совпадение с экспериментальными данными. Полностью подтверждается возрастающий характер зависимости фокусного расстояния от интенсивности и уменьшение фоточувствительности ЛОУ с ростом частоты. Профиль фазовой задержки ЛОУ близок к параболическому, а с увеличением фокусного расстояния его среднеквадратичное отклонение от параболического рельефа уменьшается.

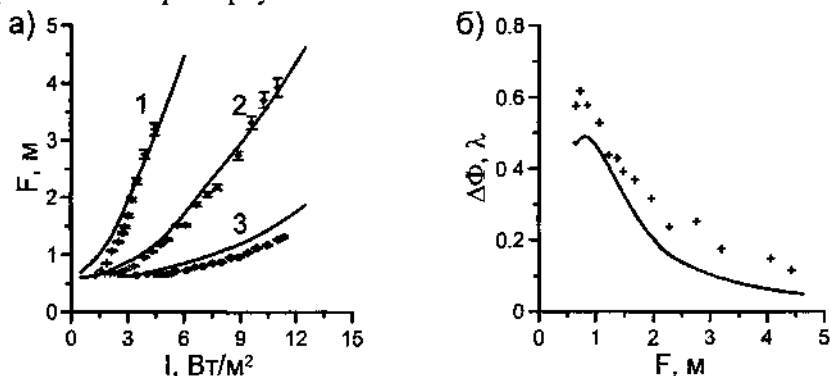


Рис. 5. Зависимость фокусного расстояния сферической ЛОУ от интенсивности при различных частотах (а) и график среднеквадратичного отклонения профиля фазовой задержки от идеального параболического как функции фокусного расстояния (б). Амплитуда напряжения составляет 9,0 В. Точками изображены экспериментальные данные, сплошными линиями – результаты теоретического моделирования. Частота напряжения: 1 – 40 Гц, 2 – 100 Гц, 3 – 200 Гц.

Для использования ЛОУ в лазерных системах необходимо знать свойства данных линз при прохождении излучения с гауссовым профилем интенсивности. Поэтому было проведено экспериментальное исследование зависимости фокусного расстояния от мощности излучения для пучка с гауссовым распределением. При сравнении результатов моделирования с экспериментальными данными получено хорошее качественное совпадение. Подтверждается монотонный возрастающий характер зависимости фокусного расстояния от мощности пучка, а также частотное изменение фоточувствительности ЛОУ. При сравнении данных результатов с соответствующими данными, полученными при однородном распределении интенсивности, можно выделить следующие основные особенности. Фокусное расстояние ЛОУ в обоих случаях возрастает с ростом мощности проходящего излучения. При уменьшении ширины гауссова распределения фоточувствительность ЛОУ уменьшается. В то же время величина

среднеквадратичного отклонения профиля фазовой задержки от параболического для случая гауссова распределения меньше, чем для однородного случая. Данные закономерности хорошо согласуются с результатами теоретического моделирования (глава 2).

Глава 4 содержит примеры простых адаптивных систем на основе ЖК ЛОУ. В ней представлены система стабилизации мощности лазерного излучения, попадающего на мишень заданной формы, система автокомпенсации дефокусировки лазерного пучка, система угловой селекции световых пучков по интенсивности.

ЛОУ обладает свойствами, которые дают возможность реализовать на её основе системы, как с внутренней обратной оптической связью, так и работающие в режиме автоматической настройки. Для разработки систем автофокусировки лазерного излучения на основе ЛОУ необходимо знать поведение функционала фокусировки как функции интенсивности падающего излучения. Роль мишени играла круговая диафрагма, а функционал фокусировки представлял собой мощность излучения, проходящего через диафрагму. Были проведены измерения мощности излучения (P) за диафрагмой как функции интенсивности (I) падающего на ЛОУ излучения при нескольких положениях диафрагмы.

Результаты измерений приведены на рис. 6. Исследование выявило два характерных сценария поведения функционала фокусировки. Первый случай, когда с уменьшением интенсивности излучения происходит падение попадающей на мишень мощности. Во втором случае зависимости функционала фокусировки от интенсивности проходящего через ЛОУ излучения имеют максимум, соответствующий точной фокусировке на мишень.

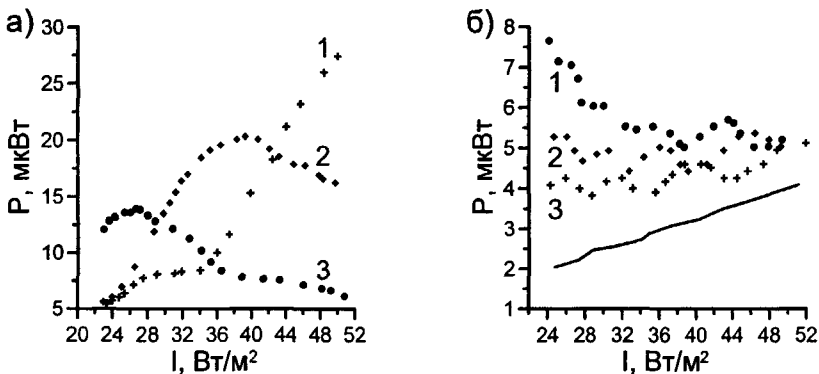


Рис. 6. Фокусировка с помощью ЛОУ на диафрагму диаметром 1 мм, расположенную на расстоянии 1,20 м (а), 0,30 м (б) от линзы. Действующее значение напряжения равно 10 В, частота: а) 1 – 405 Гц, 2 – 300 Гц, 3 – 220 Гц; б) 1 - 400 Гц, 2 - 330 Гц, 3 - 300 Гц. Сплошной линией на рисунке изображена мощность излучения, попадающего на мишень при выключенной ЛОУ.

Для оптимизации эффекта стабилизации мощности было уменьшено расстояние между мишенью и ЛОУ с тем, чтобы изменения фазы на линзе приводили к меньшим изменениям в распределении интенсивности в плоскости мишени. Кроме того, оптимизировалась фоточувствительность подбором частоты управляющего напряжения. Таким путём при расстоянии между мишенью и ЛОУ 0,30 м было получено, что при изменении интенсивности со среднеквадратичным отклонением 22% относительно среднего значения, величина среднеквадратичного отклонения функционала фокусировки не превосходит 5% от среднего значения, т.е. применение ЛОУ позволило уменьшить флуктуации интенсивности в 4,4 раза.

Помимо системы стабилизации мощности излучения на мишени, была предложена и реализована система компенсации фазовых искажений. Коррекция фазы является одной из наиболее актуальных задач адаптивной оптики. Поскольку АО системы без электронной петли обратной связи привлекают заметный интерес, была рассмотрена простая версия системы компенсации изменяющейся дефокусировки пучка на основе сферической ЛОУ. Основная идея заключается в следующем. При изменении кривизны волнового фронта происходит перераспределение интенсивности и соответственно мощности излучения, попадающего в апертуру ЛОУ. В результате изменяется фокусное расстояние ЛОУ. При этом оказывается возможным подобрать управляющие параметры так, чтобы фоточувствительность ЛОУ была достаточной для компенсации изменяющейся дефокусировки лазерного пучка. Результаты экспериментальной реализации автокомпенсации изменяющейся дефокусировки представлены на рис. 7.

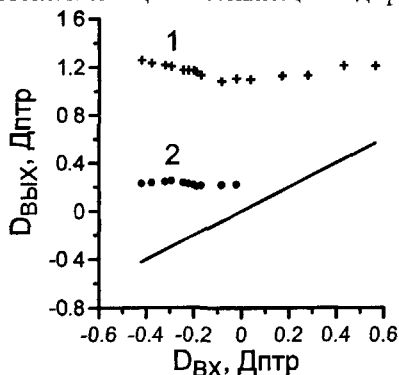


Рис. 7. Компенсация дефокусировки входящего пучка с помощью ЛОУ. Величина напряжения 8 В, расстояние s составляет 0,90 м, частота: 1 - 100 Гц, 2 - 40 Гц. Сплошной линией изображена зависимость оптической силы при выключенной ЛОУ.

В экспериментальной установке коллиматор служил источником управляемого по величине дефокуса. Когда расстояние между линзами коллиматора изменялось, пучок становился либо сходящимся, либо расходящимся. ЛОУ располагалась на некотором расстоянии s от коллиматора. Вышедший из линзы пучок анализировался датчиком волнового фронта, измерялась величина оптической силы (D) пучка и анализировалась зависимость оптической силы на выходе как функция D входного пучка

В результате оптимизации управляющих параметров вместо линейного изменения для кривой 1 на рис. 7 при изменении $D_{вх}$ от -0,42 Дптр до 0,56 Дптр максимальное

отклонение равно 0,09 Дптр, что составляет 8% от среднего значения. Таким образом, используя ЛОУ в качестве адаптивного элемента, удалось реализовать систему с автоматической компенсацией расходимости пучка.

Очевидно, что на основе цилиндрической ЛОУ возможно создание систем аналогичных тем, что были рассмотрены выше. Однако цилиндрическая ЛОУ обладает большим числом каналов управления, что позволяет реализовать на её основе адаптивную призму с оптическим управлением. Этого можно достичь при одновременном выполнении двух условий: 1) линза должна работать в режиме малой кривизны профиля фазовой задержки, 2) на контакты подается разное по величине напряжение.

Экспериментально была продемонстрирована возможность реализации на основе цилиндрической ЛОУ адаптивной призмы, угол отклонения которой зависит от интенсивности излучения.

Заключение

Основные результаты и выводы работы состоят в следующем:

1. Развита теоретическая модель сферической и цилиндрической модальных жидкокристаллических линз с оптическим управлением. Результаты расчётов, выполненные в рамках предложенной модели, адекватно описывают полученные экспериментальные закономерности.
2. Разработаны и изготовлены ЖК ЛОУ, основанные на модальном принципе управления. Фокусные расстояния ЛОУ изменяются от бесконечности до 0,7 м, при изменении мощности лазерного излучения в пределах от 0,1 мВт до 1 мВт.
3. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что профиль фазовой задержки ЛОУ для пучка света с однородным и гауссовым распределением интенсивности близок к параболическому. С ростом фокусного расстояния величина среднеквадратичного отклонения от идеального параболического фронта уменьшается, при этом для гауссова пучка она составляет меньшую величину, чем для однородного.
4. Зависимость фокусного расстояния от мощности излучения имеет монотонный возрастающий характер как для однородного, так и для гауссова пучка. С ростом частоты фоточувствительность ЛОУ уменьшается, а с ростом гауссовой ширины увеличивается, достигая максимума для однородного по интенсивности пучка света.
5. Экспериментальное исследование электрофизических характеристик показало, что с ростом частоты напряжения RC -параметры ЛОУ уменьшаются. Зависимость емкости от интенсивности лазерного излучения имеет возрастающий, а зависимость сопротивления спадающий характер. Данные закономерности хорошо подтверждаются результатами теоретического моделирования.
6. Экспериментально реализовано несколько примеров адаптивных схем с автоуправлением лазерного пучка. В системе стабилизации мощности лазерного излучения на мишени заданной формы получено 4-кратное уменьшение колебаний мощности на мишени по отношению к изменению

входной мощности. В схеме автомат пучка реализовано более чем 5 оптической силы пучка. В схеме интенсивности продемонстрирована реализация на основе цилиндрической фоточувствительной призмы.

РНБ Русский фонд

2006-4

12231

Основное содержание диссертации от

1. Гуральник И.Р., Самагин С.А. жидкокристаллического корректора волнового фронта. Теория и эксперимент // Сборник тезисов Всероссийской Научной Конференции Студентов-Физиков и Молодых Учёных, ВНКСФ-7, Екатеринбург-Санкт-Петербург, 2001, с. 252-253.
2. Гуральник И.Р., Самагин С.А. Электрофизика модального многоканального жидкокристаллического корректора волнового фронта // Квантовая электроника 2002, т. 32, с. 362-366.
3. Guralnik I.R., Samagin S.A. High-sensitivity optically addressed liquid-crystal lens // Proc. SPIE, 2003, v. 5137, p. 194-200.
4. Гуральник И.Р., Самагин С.А. Сферическая жидкокристаллическая линза с оптическим управлением. Теория и эксперимент // Квантовая электроника 2003, т. 33, с. 430-434.
5. Guralnik I.R., Samagin S.A. Experimental implementation of the high-sensitivity liquid-crystal lens with optically controlled focal length // Proc. SPIE, 2003, v. 4986, p. 673-680.
6. Гуральник И.Р., Самагин С.А. Оптически управляемая жидкокристаллическая линза // Сборник статей VII Всероссийской молодёжной научной школы «Когерентная оптика и оптическая спектроскопия», Казань, 2003, с. 251-256.
7. Гуральник И.Р., Самагин С.А. Свойства жидкокристаллических линз с оптическим управлением // Сборник тезисов Десятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых, Москва, 2004, с. 688-689.
8. Гуральник И.Р., Самагин С.А. Электрофизические и оптические свойства сферических и цилиндрических жидкокристаллических линз с оптическим управлением // Квантовая электроника 2004, т. 34, с. 673-678.

Подписано в печать 22.06.05 г.

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Объем 1,0 печ.л. Тираж 100 экз. Заказ № 326

443011, г.Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

Отпечатано ООО «Универс-групп»