

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ

*Стенограмма научного сообщения на совместном семинаре ИСОИ РАН
и Института компьютерных исследований СГАУ 28 апреля 2006 года*

Н.Л. Казанский

Институт систем обработки изображений РАН

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва

Аннотация

В сообщении дан обзор методов и приборов, предназначенных для формирования и исследования дифракционных оптических элементов. В основу обзора положены возможности центра коллективного пользования «Микроэлектроники и дифракционной оптики», созданного совместными усилиями Института систем обработки изображений РАН и Самарского государственного аэрокосмического университета (см. «Центры коллективного пользования Российской академии наук» - М.: Наука, 2004, с. 176-177).

Подводя итоги четвертого, - финишного, - года выполнения проекта российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» интересно проанализировать, какие возможности для создания и исследования дифракционных оптических элементов (ДОЭ) открывает наша перенесенная в 1-ый корпус СГАУ и обновленная приборная база. Данный ракурс также важен в связи с подготовкой статьи для журнала «Приборы и техника эксперимента». Презентация подготовлена при участии А.В. Волкова, Л.Л. Досколовича, С.В. Карпеева, О.Ю. Моисеева, В.С. Павельева и В.А. Соифера. Дизайн слайдов – Я.Е. Тахтаров.

Свое сообщение я предполагаю сделать в соответствии с данным планом (слайд 2).

Дифракционные оптические элементы работают на основе дифракции монохроматического света на микрорельефе (слайд 3). Благодаря гибкости компьютерного проектирования и возможностям современного прецизионного оборудования для формирования микрорельефа мы получаем уникальный оптический инструмент для требуемого управления волновым фронтом или заданного преобразования световых пучков. Идеальный микрорельеф ДОЭ получил название «непрерывный», а его реализация в форме аппроксимирующих ступенек называется «многоуровневым» или «ступенчатым» микрорельефом, в простейшем варианте, представленном на слайде, ДОЭ называется «бинарным».

На слайде 4 крупными мазками представлены этапы создания ДОЭ (и их реализация в нашем научно-образовательном центре). В частности, для сложных расчетов может быть использована модульная многопроцессорная вычислительная система «Kraftway G-Scale S-330», включающая 6 процессоров Itanium2-1,5GHz(4Mb) с общей оперативной памятью 12 Gb и общим объемом дисковой памяти 750 Gb. Для хранения матриц, содержащих результаты расчета фазовых функций в форме, предназначенной для вывода на станцию лазерной записи, дополнительно может использоваться сервер «HP ProLiant DL100 Storage Server» долговременного хранения данных с дисковой емкостью

640 Гб. В соответствии с представленными этапами синтеза ДОЭ планируется и последующее изложение материала.

Расчет ДОЭ (слайд 5) состоит обычно из следующих шагов. Сначала в рамках более грубого физического подхода (например, в рамках геометрической оптики или скалярной теории) происходит решение обратной задачи теории дифракции и получается первоначальное приближение фазовой функции ДОЭ. Затем в рамках более строгого физического подхода, обычно с учетом технологических ограничений и технологических особенностей формирования микрорельефа, осуществляется численное решение прямой задачи теории дифракции. На основе анализа, рассчитанного при этом светового поля, делается заключение о приемлемости полученного решения или (в противном случае) запускается процедура итерационной оптимизации первоначального приближения. Особенности и проблемы расчета дифракционных оптических элементов представлены на слайде 5. Учитывая перечисленные сложности, проектировщик обычно создает для каждого типа ДОЭ, его параметров и метода формирования дифракционного микрорельефа свое программное обеспечение. Тем не менее, ряд наиболее интересных и часто встречающихся решений нами был доработан до законченных программных продуктов, нашедших своих пользователей в Италии, Германии и США (слайд 6). Для обучения студентов и использования широких возможностей, заложенных в создаваемом большой специализированной фирмой программном обеспечении (обмен данными с разнообразными САД-системами, наличие программно реализованных описаний работы различных выпускаемых по всему миру оптических элементов и источников света и т.п.), нами была приобретена сетевая версия (10 компьютеров) программного обеспечения «TracePro Expert» фирмы «Lambda Research Corporation» (США). Возможно, более эффективным для выполнения заказов на расчет светотехнических устройств является программное обеспечение «ASAP» фирмы «BRO» (США), но фирма отказалась продавать нам свое

программное обеспечение. Если же вести речь о рынке программных продуктов для расчета ДОЭ, то он достаточно узок, и относительный успех возможен в случае «заточки» такого продукта под решение лабораторных задач вузовского обучения. Положительный пример такого успеха - созданное под руководством Франка Вировского фирмой "LightTrans GmbH" (Германия) программное обеспечение "VirtualLab".

Результатом работы нашего программного обеспечения обычно является файл в формате, предназначенном для вывода на электронном литографе, лазерном построителе или ионной пушке. Данный формат определяется тем методом формирования дифракционного микрорельефа, который мы собираемся применить. На слайде 7 приведен список таких методов. Например, есть в Государственном оптическом институте прецизионные станки с алмазным резцом, и они на них режут ДОЭ с вращательной симметрией. Более могучие фирмы могут формировать на дорогих станках с ЧПУ и неосесимметричный микрорельеф. Однако на микрорельефе имеются узкие места (там, где фаза делает скачок на 2π), куда резец проникает с большим трудом и не может сформировать эти участки без погрешностей. Поэтому в мире развивается целый комплекс технологий, основанных на лазерном, электронном или ионном микроструктурировании (абляции) материала подложки или резиста. Наиболее эффективным средством является электронная литография, однако стоимость современного электронного литографа составляет сотни миллионов долларов, к тому же ряд фирм (например, IBM) создают их только для себя, а не на продажу. Устройства, позволяющие осуществлять микроструктурирование с помощью ионного пучка, имеются в некоторых вузах Москвы и Санкт-Петербурга, но реально с их помощью можно сформировать оптический элемент с размером рабочей области в несколько десятков микрон. Тем не менее, с их помощью было бы интересно экспериментально исследовать работу спектральных ДОЭ, микрорельеф которых в несколько раз выше обычного дифракционного рельефа ДОЭ, рассчитанного на работу на одной длине волны. Правда, на прошлой неделе профессор Яри Турунен (университет Йонсуу, Финляндии) сообщил, что они изготовили спектральный ДОЭ по расчетам доктора физ.-мат. наук Л.Л. Досколовича в рамках нашего совместного проекта ИНТАС.

На слайде представлена установка, предназначенная для выращивания непрерывного микрорельефа в слоях жидких фотополимеризующихся композиций. Данный метод, обладающий целым рядом достоинств (простота, оптическая гладкость получаемой поверхности, возможность формирования «высокого» рельефа, эквивалентного максимуму фазы в 10-100 раз по 2π), нуждается в увеличении пространственного разрешения. Над решением этой задачи один из авторов метода В.С. Соловьев сейчас работает в докторантуре химфака МГУ.

Формирование многоуровневого микрорельефа условно-схематично можно представить в виде следующих шагов (слайд 8): исходный контроль материалов и подложек, запись шаблонов, итеративное повторение фотолитографических операций (создание защитных покрытий, травление микрорельефа, совмещение) и контроль полученного микрорельефа.

Перечень приборов, используемых нами на этапе предварительного контроля, представлен на слайде 9. Установка экспресс-контроля степени чистоты поверхности подложек, разработанная в нашем институте, основана на анализе поведения упавшей на поверхность подложки капли жидкости. На первый вариант такого устройства получен патент на полезную модель, в настоящее время разработан новый вариант устройства, защита которого будет оформлена в виде патента на изобретение.

На следующем слайде 10 приведены параметры станции лазерной записи CLWS-200, спроектированной в Институте автоматики и электрометрии СО РАН. Проведя в 2002 году анализ рынка, мы пришли к выводу, что данный вариант решения проблемы создания шаблонов ДОЭ единственный для нас приемлемый. Альтернативные варианты установок лазерной записи - "Risø National Laboratory" (Дания) стоимостью 1,4 миллиона долларов США и "Heptagon Oy" (Швейцария) стоимостью 525 тысяч евро (без монтажа оборудования в Самаре) - в несколько раз дороже новосибирской станции. К тому же из-за построчного сканирования швейцарская установка крайне медлительна - время записи шаблона размером 5x5 мм - 2,5 часа; 10x10 мм - 6,5 часов; 20x20 мм - 15,5 часов. Новосибирская станция основана на круговом сканировании (слайд 11), поэтому на порядок производительнее; она была запущена в январе этого года и в настоящий момент находится на стадии освоения. Образцы записанных на ней шаблонов были приведены на предыдущем слайде.

Важным этапом фотолитографии является создание защитных покрытий. Для этого мы используем установку магнетронного напыления «Отелло», параметры которой приведены на слайде 12. Для «сухого» травления рельефа нами используется установка плазмохимического травления «Оратория» (слайд 13), на которой были созданы рельефы на кремнии, стекле, кварце, сапфире, поликристаллических алмазных пленках с разрешением до 0,1 мкм.

Пример микрорельефа, созданного на поликристаллических алмазных пленках, и литографические этапы его получения показаны на слайде 14. Основная проблема заключается в особой прочности алмазной пленки, поэтому выбор режимов травления и защитного покрытия (в данном случае удалось подобрать эффективные защитные пленки на основе ниобия) играют решающую роль.

Для того чтобы получить многоуровневый рельеф, используется установка экспонирования и совмещения ЭМ 5006А (слайд 15). Все три вышепере-

численные установки специально доработаны нами для задач дифракционной оптики. Необходимость такой доработки обусловлена наличием разных размеров подложек и существенной (с точки зрения микроэлектроники, для решения задач которой создавались установки) высотой получаемого микро-рельефа. Нами предложен и апробирован новый способ формирования микро-рельефа на основе его послойного наращивания. При формировании микро-рельефа этим простым, но достаточно трудоемким способом исключается этап травления и вносимые им погрешности, а используются центрифуга и установка экспонирования и совмещения. Например, этим запатентованным способом был изготовлен фокусатор в кольцо для CO_2 -лазера (10,6 мкм), на основе которого в Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН создана установка выращивания волокон методом пьедестала.

На слайде 16 приведен перечень оборудования, используемого нами для контроля микро-рельефа ДОО. Сканирующий зондовый микроскоп обеспечивает контроль с точностью 10 нм на микронных участках, а трехмерно-отображающий анализатор поверхности "NewView 5000" с микронной точностью на площадках размером 20x20 см.

На слайде 17 приведен перечень методов создания микро-рельефа, используемых в нашем институте, для разных материалов и рабочих длин волн.

На слайде 18 приведен перечень оборудования, используемого для исследования характеристик ДОО. Динамический транспарант позволяет для ряда задач экспериментально проверить результаты расчета без изготовления ДОО. Наличие лазеров на средний ИК (10,6 мкм), ближний ИК (1,06 мкм) и видимый диапазон позволяет исследовать оптические элементы, работающие в данных диапазонах. В частности, на слайде 19 представлена фотография установки и приведены результаты эксперимента по оценке энергетической эффективности бинарного фокусатора, концентрирующего излучение ближнего ИК-диапазона в тонкий прямоугольник («штрих») размером 14x0,5 мм. Исследуемый двух-порядковый фокусатор рассчитан таким образом, что +1-ый и -1-ый порядки дифракции работают каждый на свою половину прямоугольника. В результате в фокальной плоскости (центральный график с надписью «0 мм») фокальное пятно выглядит как «уширенный» отрезок прямой требуемых размеров (около 14 мм длины). При удалении от фокальной области (см. результаты измерений в плоскостях, параллельных фокальной – ближе на 20 мм и дальше на 15 мм) фокальное изображение разбивается на две подобласти, каждая из которых имеет существенно большую (чем требуется) толщину.

Таким образом, были рассмотрены все этапы создания и исследования дифракционных оптических элементов, а также имеющийся в нашем распоряжении для реализации этих этапов исследовательский комплекс. Какие же классы дифракционных

оптических элементов мы умеем считать и, соответственно, можем синтезировать с помощью нашего оборудования? См. слайд 20. Во-первых, это обычные ДОО – линзы, призмы, решетки, корректоры аберраций. Во-вторых, это - всевозможные фокусаторы лазерного излучения. Их достаточно много и к ним идеологически примыкают итерационно рассчитываемые ДОО, фокусирующие излучение в заданную область пространства с требуемым распределением интенсивности внутри нее, а также много-порядковые, спектральные и многофокусные ДОО. Далее – моданы, компенсаторы, пространственные фильтры, ДОО для формирования требуемых диаграмм направленности излучения и ДОО для формирования лазерных пучков с заданными свойствами (периодичности, вращения, повторяемости и т.п.), о которых речь шла в первом докладе.

В этом году исполняется 25 лет со дня выхода первой публикации о фокусаторах (слайд 21). За эти годы было множество публикаций у нас в стране и за границей, патенты Франции, Италии, Великобритании, Германии, Швейцарии и США, государственная премия России за достижения в области науки и техники. В последние годы новый импульс данные исследования получили в связи с появлением поликристаллических алмазных пленок, толщина которых не позволяет изготавливать из них обычные линзы, но на которых можно формировать дифракционный микро-рельеф. Исследования в этом направлении отмечены государственной премией для молодых ученых.

В качестве иллюстраций приведу два слайда. На первом (номер 22) представлены результаты фокусировки излучения CO_2 -лазера в отрезок, кольцо и 4 точки при использовании «классического» металлического фокусатора, отражающего лазерный пучок под углом 45° . На втором слайде (номер 23) представлены результаты моделирования и оптического эксперимента для фокусаторов на алмазных пленках, концентрирующих излучение CO_2 -лазера в прямоугольник и контур квадрата.

Результаты исследований по фокусаторам и ДОО, формирующим требуемую диаграмму направленности, последние годы усилиями Л.Л. Досколовича и К^о были распространены на расчет линз и зеркал, формирующих заданную диаграмму направленности для некогерентного компактного источника света. В качестве примера на слайде 24 показаны поверхности линз и результаты моделирования формирования диаграммы направленности в виде полу-эллипса и равносостороннего треугольника.

Другой важный класс оптических элементов, созданный школой В.А. Соифера в сотрудничестве с Институтом общей физики РАН в лице академика А.М. Прохорова и профессора И.Н. Сисакяна, это моданы – ДОО для селекции мод лазерного излучения (слайд 25). Разложение белого света по длинам волн осуществляется с помощью дифракционной призмы, что подтверждает наличие в белом свете

всего спектра волн. Наличие в лазерном пучке мод Гаусса-Эрмита, Гаусса-Лагерра или Бесселя доказывается с помощью специальных ДОЭ, согласованных с интересующими нас модами. Разработанные нами методы расчета позволяют сформировать на одной подложке оптический элемент, предназначенный для формирования множества мод в различных дифракционных порядках (слайд 26). В частности, моей последней работой в качестве программиста был расчет и вывод на фотопостроитель Photomation P-1700 в Институте проблем передачи информации РАН шестипучкового модана, маска которого представлена на слайде. Однако моданы имеют не только чисто научный интерес, но могут быть использованы при создании волоконно-оптических датчиков, для повышения пропускной способности и защиты информации в линиях связи. На слайде 27 представлен эксперимент по передаче данных по волоконно-оптической линии связи на основе модового уплотнения. На входе и на выходе линии связи ставятся согласованные моданы, которые обеспечивают уплотнение (т.е. кроме уплотнения по длинам волн становится возможным уплотнение по модам) и физическую защиту передаваемой информации – без такого элемента декодирование сигнала становится невозможным. Для практического использования моданов важно формирование микрорельефа на торце волокна. Пример реализации методом горячей штамповки дифракционной решетки на торце халькогенидного ИК-волокна представлен на слайде 28. Необходимо продолжить данные исследования в направлении формирования микрорельефа более сложной формы (моданов) и для меньшей длины волны (оптического волокна), так как волокно с микрорельефом на торце становится существенной (почас ключевой) частью оптического прибора.

На слайде 29 представлены примеры использования ДОЭ, запатентованные за последние несколько лет, и фотография макета компланарного осветителя. Данный осветитель, выполняющий функции секции заднего фонаря автомобиля, реализует запатентованное устройство направленного излучения. Достоинствами такого устройства являются минимальная глубина и высокая надежность работы.

В заключение (слайд 30) хотелось бы отметить следующее. Во-первых, после переезда из 3-го корпуса, после получения и запуска ряда ключевых установок можно констатировать, что исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики функционирует и обеспечивает реализацию всех этапов создания и исследования ДОЭ. Во-вторых, конечно, основной наш научный задел заключается в создании новых классов оптических элементов и разработке новых методов расчета и моделирования ДОЭ. Тем не менее, этот задел успешно дополняется созданием оригинальных методов формирования дифракционного микрорельефа, что позволяет перейти к практическому использованию полученных результатов.

В-третьих, для инновационного применения полученных результатов желательно дополнение имеющейся автоматизированной линии средствами тиражирования ДОЭ, но делать это должны не ИСОИ РАН, не СГАУ, а создаваемые при ОКБ микротехнологии ИСОИ РАН и УНЦ микроэлектроники СГАУ малые предприятия.

И, наконец, в преддверии праздника весны и труда хотелось бы высказать некоторые пожелания (слайд 31). За тот период, когда электронный литограф у нас не работал, а лазерный фотопостроитель FEAG-300 не устраивал нас по своим параметрам, наши ученые и программисты привыкли выводить рассчитанные элементы в Финляндии, Германии, Новосибирске и Зеленограде или ограничиваться в своих исследованиях только расчетом и численным моделированием. Теперь, в связи с запуском станции лазерной записи, хотелось бы, чтобы наши ученые, особенно молодые, активнее ее использовали и создавали для нее разнообразные программные продукты.

Во-вторых, руководство отечественной наукой все больше внимания уделяет наличию у научных коллективов интеллектуальной собственности, показателем которой является количество патентов на изобретения и регистрации прав на разработанное программное обеспечение. Этот показатель становится крайне важным для победы в конкурсах, проводимых Федеральным агентством по науке и инновациям и Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Поэтому я прошу всех присутствующих прежде, чем публиковать полученный результат, посмотреть, не нужно ли сначала запатентовать Вашу идею, а, получив патент на изобретение (или хотя бы приоритетную справку), уже отсылать статью в журнал. Когда мы в прошлом году делали презентацию для Интел, нас с той стороны океана резонно спрашивали, а «что Вы нам предлагаете - то, о чем Вы говорите, Вами уже опубликовано, и мы это уже читали».

И, наконец, третье. Полученные нами результаты образуют достаточную критическую массу для решения комплексных проблем, например, таких как дефектоскопия в микроэлектронике. Там присутствует обратная задача теории дифракции, когда по отраженному от микроэлектронной структуры световому полю надо воссоздать исследуемую структуру. Далее на исследуемой структуре необходимо выявить дефекты, для чего нужно использовать методы распознавания образов. Таким образом, для эффективного решения данной проблемы должны объединиться специалисты по решению обратных задач теории дифракции, микротехнологи и специалисты в области обработки изображений. Такие комплексные проекты с большей вероятностью вызовут интерес заказчиков и будут поддержаны научным советом и экспертной комиссией Роснауки, в основном финансирующей проекты на сумму не менее чем 3 миллиона рублей.



Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева
Институт систем обработки изображений Российской академии наук

ИСОИ SPAN

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ**



Самара
2006

Слайд 1



ИСОИ SPAN

ПЛАН СООБЩЕНИЯ

1. Этапы создания дифракционных оптических элементов (ДОЭ)
2. Программное обеспечение для расчета и исследования ДОЭ
3. Оборудование и методы формирования дифракционного микрорельефа
4. Приборы и методики контроля параметров при создании ДОЭ
5. Примеры создания дифракционных элементов и оптических устройств на их основе
6. Заключение

18.08.2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 2

Слайд 2

ИСОИ СРАН

ДИФРАКЦИОННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ДОЭ)

Основные свойства:
использование явления дифракции;
приведение фазы к интервалу $[0, 2\pi)$; квантование фазы.

Дифракционная
решетка Фраунгофера

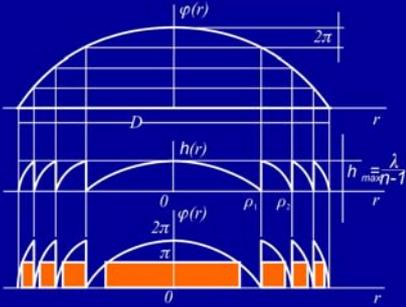


Амплитудная
маска



Фазовый
микрорельеф

Линза
Френеля



Базовые характеристики ДОЭ:
- длина волны λ ;
- границы зон;
- профиль зон.

Зонная пластинка
Релея-Сорэ



Амплитудная
маска



Фазовый
микрорельеф

18.08.2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 3

Слайд 3

ИСОИ СРАН

ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

→ Расчет фазовой функции ДОЭ

↓

→ Формирование дифракционного микрорельефа

↓

→ Исследование дифракционных характеристик ДОЭ

↓

→ Использование ДОЭ: проектирование и изготовление устройств на основе ДОЭ, тиражирование

Программное обеспечение, хранилище данных, вычислительный кластер.

Фотолитография, ЖФПК, средства записи и контроля.

Средства регистрации для ИК и видимого диапазонов, лазеры, оптическое оборудование.

Макетные образцы оптических устройств.

20.08.2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 4

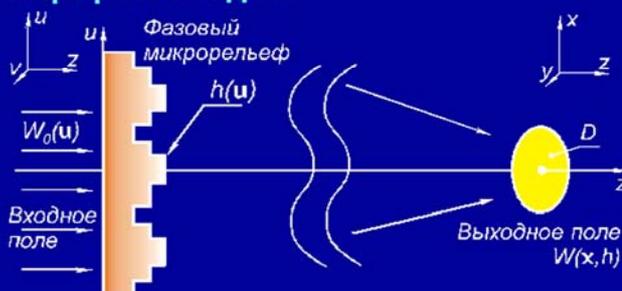
Слайд 4





ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Решение обратной задачи теории дифракции относительно границ и профиля зон ДОЭ.



Типы условий:

Заданная интенсивность
 $\tilde{I}(\mathbf{x}) = |W(\mathbf{x}, h)|^2$

Заданная фаза
 $\tilde{\varphi}(\mathbf{x}) = \arg(W(\mathbf{x}, h))$

Заданные амплитуда и фаза $\tilde{W}(\mathbf{x})$

Расчет рельефа $h(u)$ состоит в минимизации невязки, например

$$\min_{h(u) \in H} \varepsilon(h) = \min_{h(u) \in H} \left\| |W(\mathbf{x}, h)|^2 - \tilde{I}(\mathbf{x}) \right\|_{\mathbf{x} \in D}$$

в классе дискретных функций $H = \{h_i = i \cdot \lambda / (n-1) / M, i = 1, 2, \dots, M\}$ методами математического программирования.

Основные проблемы – некорректность обратной задачи синтеза, высокая размерность массивов данных, необходимость применения микро- и нанотехнологий.


2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ •
СЛАЙД 5

Слайд 5



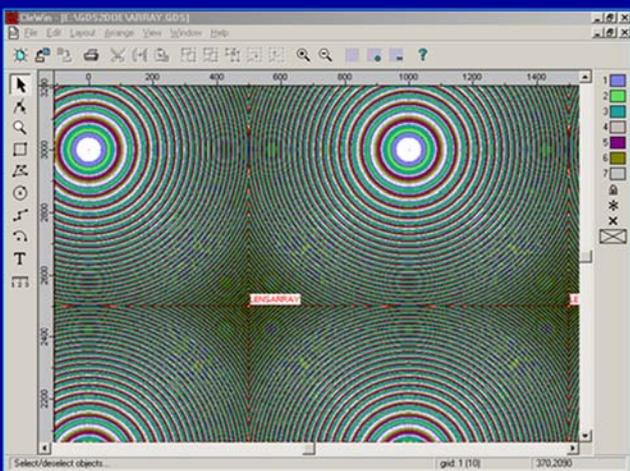


СОСТАВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Наши разработки:
 “Quick-DOE”, “RadialDOE”,
 “Iter-DOE”, “Iter-MODE”,
 “Grating Solver”,
 “FanOut”, “SimuLight”

Имеющиеся:
 “TracePro Expert” фирмы
 “Lambda Research Corporation” (США)

Альтернативы:
 “VirtualLab” фирмы
 “LightTrans GmbH” (Германия); “ASAP” (“BRO”, США)



Визуализация GDS-файла с рассчитанным микрорельефом массива дифракционных линз


2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ •
СЛАЙД 6

Слайд 6




МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФРАКЦИОННОГО МИКРОРЕЛЬЕФА

- На станках с ЧПУ (ВНЦ «ГОИ»; “3M Optics Technology Center”, USA; “Lawrence Livermore Laboratory”, USA)
- Лазерное микроstructuring (“Potomac Photonics, Inc.”, USA; ЦНИ ИОФАН, “LCH”, Germany; ИАиЭ СО РАН)
- Полимерные и другие технологии, использующие полутонные маски (ИСОИ РАН; ЦКБ УП РАН; ИАиЭ СО РАН; “CSEM”, Switzerland; “Lockheed Company”, USA)
- Литографические технологии (ИСОИ РАН; ИОНТ; ИАиЭ СО РАН; “MIT Lincoln Laboratory”, USA; Fridrich Schiller University, Germany; Jonsuu University, Finland; “Micro Mask, Inc.”, USA; и др.)



Установка «Микрорельеф»
для выращивания микрорельефа
в слоях ЖФПК и изготовления
фотошаблонов с высоким
разрешением


2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ •
СЛАЙД 7

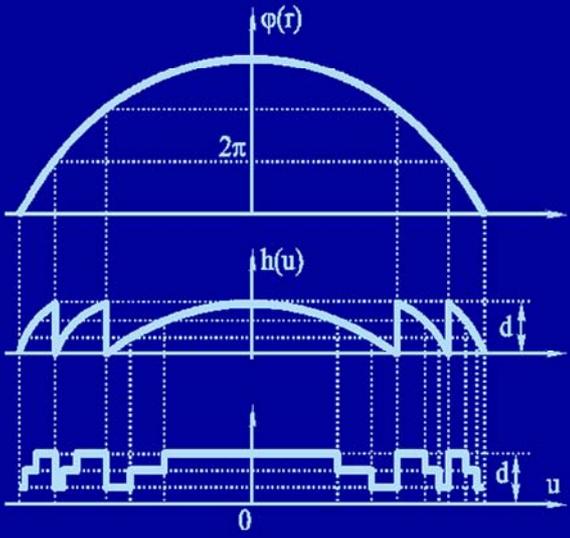
Слайд 7




ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОУРОВНЕВОГО МИКРОРЕЛЬЕФА

```

graph TD
    A[Исходный контроль материалов и подложек] --> B[Расчет и запись шаблонов]
    B --> C[Создание защитных покрытий (масок)]
    C --> D[Травление микрорельефа]
    D --> E[Совмещение]
    E --> F[Контроль микрорельефа]
    F -.-> B
    F -.-> C
    F -.-> D
    F -.-> E
    
```




2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ •
СЛАЙД 8

Слайд 8

 ИСОИ СРАН

КОНТРОЛЬ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОДЛОЖЕК

- Высокопроизводительная система анализа спектров оптического излучения "SR303i" ("LOT-Oriel GmbH & Co", Германия)
- Сканирующий зондовый микроскоп «SOLVER-Pro» («НТ-МДТ», Зеленоград)
- Микроскоп контроля микродефектов МКД-Р («ЛОМО»)
- Установка «ИЧ-2» для экспресс-контроля степени чистоты поверхности подложек на базе высокоскоростной камеры VS-FAST/C/G6
- Растровый электронный микроскоп "JEOL JSM-6380LA" ("Tokyo boeki ltd.", Япония)



Установка «ИЧ-2»

Патент на полезную модель от 10.01.2006г. «Устройство контроля чистоты поверхности»

 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 9

Слайд 9

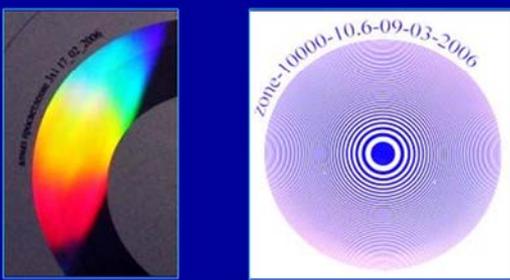
 ИСОИ СРАН

СТАНЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ ЗАПИСИ CLWS-200

НАЗНАЧЕНИЕ

Станция прямой записи микроструктур - управляемая от ЭВМ прецизионная лазерная записывающая система, работающая с субмикронным разрешением в полярной системе координат.

Записывает элементы дифракционной оптики с произвольно заданной топологией, изделия микромеханики, фотошаблоны интегральных схем и оригиналы мастер дисков для оптической памяти.

<h3>ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</h3> <p>Минимальный размер элемента записи - 0,6 мкм</p> <p>Максимальный диаметр подложки - 200 мм</p> <p>Точность позиционирования - 50 нм</p>	<h3>ОБРАЗЦЫ ПОЛУЧЕННЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ</h3> 
--	--

 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 10

Слайд 10



Слайд 11

СОЗДАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ (МАСОК)

Установка магнетронного напыления «Отелло» предназначена для магнетронного напыления на керамические и кремниевые подложки диаметром 60 мм металлических плёнок из материалов типа медь, никель, хром.

Размеры подложек, мм
diam. 60 или 60x48x0,5-2.
Количество подложек в кассете, шт. – 8.
Исходное давление в рабочей камере, Па – $1 \cdot 10^{-2}$.
Рабочее давление в камере, Па – $1 \cdot 10^{-2}$ - $4 \cdot 10^{-1}$.
Количество магнетронов с резист. мишенью, шт. 1.
Ток ионного источника, А – 0,2-0,5.
Напряжение ионного источника, В 2000 – 3000.
Время очистки изделий, мин – 3-5.

2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 12

Слайд 12




ТРАВЛЕНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА

Установка плазмохимического травления «Оратория» предназначена для травления плёнок алюминия и его сплавов, поликремния и нитрида кремния в условиях промышленного производства, а также двуоксида кремния в лабораторных условиях.

Диаметр обрабатываемых пластин - 76, 100 мм.
 Количество одновременно обрабатываемых пластин - 10.
 Производительность в автоматическом режиме работы - не менее 20шт/ч.
 Неравномерность травления по пластине $\pm(5/10)\%$.
 Поддержание отношений падающей мощности к отражённой - не менее чем 1:1




© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ •
СЛАЙД 13

Слайд 13




ПРИМЕР ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ: ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОКУСАТОРОВ НА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛЕНКАХ

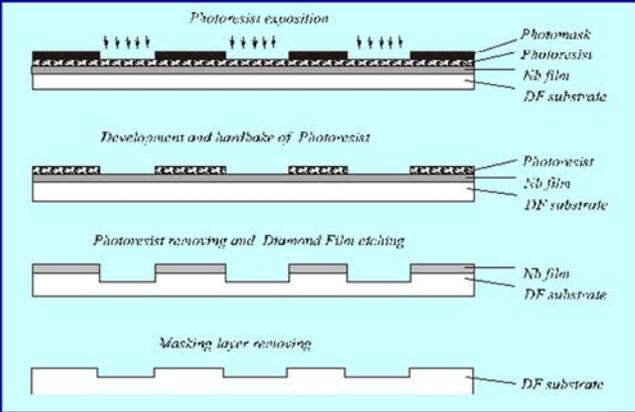
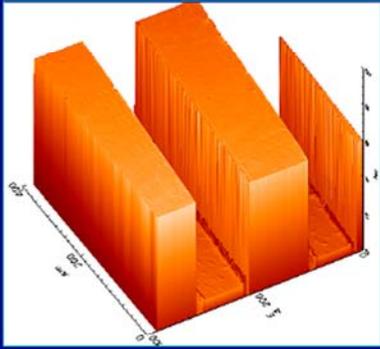


Схема плазмохимического формирования микрорельефа на алмазной пленке



Фрагмент реализованного микрорельефа на алмазной пленке

Способ изготовления дифракционных оптических элементов на алмазных и алмазоподобных пленках // Патент на изобретение № 2197006 от 20.01.2003. Бюл. № 2.


© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ •
СЛАЙД 14

Слайд 14




СОВМЕЩЕНИЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МНОГОУРОВНЕВОВОГО МИКРОРЕЛЬЕФА

Установка экспонирования и совмещения ЭМ 5006А предназначена для совмещения изображений на фотошаблоне и полупроводниковой пластине и переноса изображений

Размеры обрабатываемых пластин - 76x76 и 2x102 мм.
Толщина - 1,6...3 мм.
Допуск плоскостности рабочей поверхности - 5мкм.
Спектральный диапазон - 225-260 нм и 436 нм.
Погрешность совмещения элементов шаблона и подложки - не более 0,25 мкм.



Способ изготовления дифракционных оптических элементов // Патент на изобретение № 2231812 от 27 июня 2004 года. Бюл. № 18.

© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 15

Слайд 15




КОНТРОЛЬ СФОРМИРОВАННОГО МИКРОРЕЛЬЕФА

- Трехмерно-отображающий анализатор структуры поверхности "NewView 5000" ("Zygo Corporation", США)
- Сканирующий зондовый микроскоп "SOLVER-Pro" («НТ-МДТ», Зеленоград)
- Микроскоп контроля микродефектов МКД-Р («ЛОМО»)
- Автоматизированный интерферометр белого света "WLI-DMR" (Институт Фраунгофера, Германия)
- Растровый электронный микроскоп "JEOL JSM-6380LA" ("Токуо боeki ltd.", Япония)
- Комплекс исследования структуры поверхности "NANOPICS" ("Tencor", США)
- Профилометр-профилограф 170311 («СКТ»)



NEWVIEW 5000 обеспечивает контроль микрорельефа на участках размером до 20x20см.

© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 16

Слайд 16

ИСОИ  СРАН

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА

Способ	Оборудование	Материалы	Высота ступеньки
Жидкостное травление	МИИ-4, МКД, профилометр-профилограф	Стекло	0,1-5мкм
Плазмохимическое травление	УТП-ПДЭ 0125-009, NewView-500	Стекло, кварц, Si, сапфир, алмазоподобные подложки	0,1-5мкм
Послойное наращивание фоторезиста	Центрифуга, МИИ-4, МКД	ФП051, ФП351	0,2-1,5мкм
Окисление тонких металлических пленок	«Оратория», МИИ-4, СЗМ, МКД	Nb, Ti, Al	0,06-1,0мкм
Физическая запись	Голографическая установка УИГ-22	As ₂ S ₃ , As ₂ Se ₃ , голографические пластины	0,1-10мкм
Жидкие фотополимеризующиеся композиции	Установка «Микро рельеф»		1- 100 мкм

Приоритеты (способы, методы, устройства)
А.с.: №1316297 от 08.02.1987г.; №1491029 от 01.08.1989г.; №1493084 от 08.08.1989г.; №1741032 от 15.02.1992г.; №1784868 от 01.09.1992г.; №1821688 от 12.10.1992г.; №1824457 от 12.10.1992г.
Патенты: №2094256 от 27.10.97г.; №2148849 от 10.05.2000г.; №2197006 от 27.03.2001г.; №2210625 от 20.08.2003г.; №2213985 от 10.10.2003г.; №2094256 от 27.10.97г.; №2123660 от 20.12.98г.; №2125227 от 20.01.99г.; №2148849 от 10.05.2000г.; №2197006 от 27.03.2001г.; №2210625 от 20.08.2003г.; №2213985 от 10.10.2003г.; №2231812 от 27.06.2004г.; № 2259577 от 27.08.2005г.

© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 17

Слайд 17

ИСОИ  СРАН

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЭ

1. Динамический транспарант (микродисплей) SXGA-R2-H1 ("CRL Opto Ltd.", Великобритания)
2. Приставка для анализа параметров пучка лазерного излучения "BeamProfiler" (ООО «Техносфера»)
3. CO₂-лазер, Nd-Yag-лазер, аргоновый лазер Д-20, гелий-неоновые лазеры.
4. Система для регистрации и анализа инфракрасного излучения "XPORT" ("L.O.T. - Oriel GmbH & Co", Германия)
5. Оптические и голографические столы, столик для прецизионных микроперемещений, оптические элементы и крепеж.



© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 18

Слайд 18



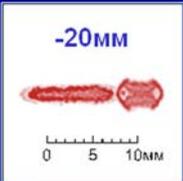


ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОО

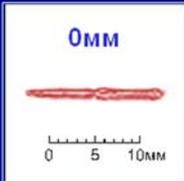
Базовый
оптический стол - УГМ-1.
Фотоприемник –
телекамера
КТП-67-1.
Источник излучения - ЛГН-303 (1,064мкм).
Комбинированный измеритель мощности - ПВЦ-2.



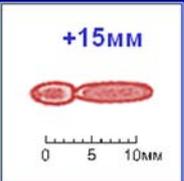
-20мм



0мм



+15мм



Измеренное распределение интенсивности в сечениях фокальной области для двухпорядкового бинарного фокусатора в прямоугольник размером 14 мм на 0,5 мм

2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 19

Слайд 19





КЛАССЫ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- Дифракционные линзы, призмы, решетки, корректоры aberrаций, линзовые растры.
- Фокусаторы лазерного излучения:
 - аналитически рассчитанные ДОО для фокусировки излучения в продольный отрезок, в поперечный отрезок, в тонкое кольцо, кольцо заданной ширины, в полукольцо, прямоугольник, дугу и пр. для плоского и Гауссова освещающих пучков круглой и прямоугольной формы;
 - итерационно рассчитываемые ДОО;
 - высокоэффективные бинарные и малоуровневые ДОО;
 - высокоэффективные спектральные и многофокусные ДОО.
- Моданы - ДОО для анализа и формирования модового состава лазерного излучения (в том числе для мод Гаусса-Эрмита, Гаусса-Лагерра, мод Бесселя).
- Компенсаторы – ДОО для формирования волновых фронтов требуемой формы, в том числе неосесимметричных.
- ДОО для формирования лазерных пучков требуемой формы.
- ДОО для формирования требуемой диаграммы направленности.
- Пространственные фильтры.

2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 20

Слайд 20



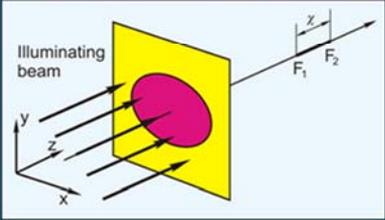

ФОКУСИРОВКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Фокусаторы – оптические элементы, фокусирующие лазерное излучение в фокальную область заданной формы с заданным распределением интенсивности.

Первый фокусатор [Письма в ЖТФ, т. 7, вып. 10, 1981]



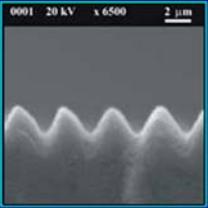
фаза фокусатора



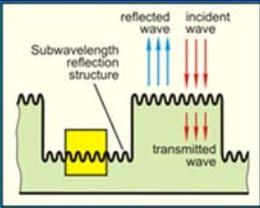
Длина волны: $\lambda=0,63\text{мкм}$
 Фокальная область:
 продольный отрезок
 Материал: стекло

[Государственная премия
 России, 1992]

Фокусаторы на алмазных пленках [Государственная премия России, 2003]



Фрагмент фазового рельефа фокусатора



Длина волны: $\lambda=10,6\text{мкм}$
 Мощность лазера: до 20 кВт
 Материал: алмазные пленки
 Фокальная область:
 поперечный отрезок
 Энергетическая эффективность: 90%

Области применения: лазерная обработка материалов, оптическое приборостроение

© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 21

Слайд 21




ИССЛЕДОВАНИЕ ФОКУСАТОРОВ ИК-ДИАПАЗОНА





Распределение интенсивности излучения CO₂- лазера, сформированные фокусаторами: в поперечный отрезок (а), в кольцо (б) и четыре точки (в)

Фокусаторы нашли применение в лазерных технологических установках мощностью до 100 кВт, в устройствах считывания информации из оптической памяти, матричных устройствах ввода излучения в волокно, научных приборах и медицинских установках

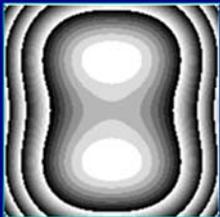
© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 22

Слайд 22

ИСОИ СРАН

ФОКУСАТОРЫ НА АЛМАЗНЫХ ПЛЕНКАХ ДЛЯ CO₂-ЛАЗЕРА

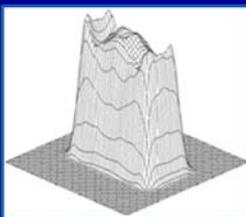
Фокусатор Гауссова пучка в прямоугольник



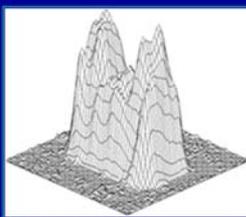
Рассчитанная
фазовая функция



Результат
SEM-микроскопии
рельефа



Результат
численного
моделирования

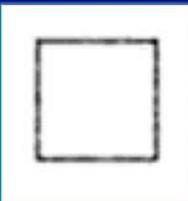


Распределение
интенсивности
(эксперимент)

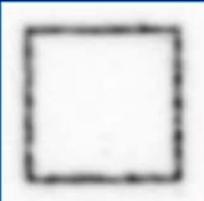
Фокусатор Гауссова пучка в контур прямоугольника



Рассчитанный
микрорельеф



Результат
численного
моделирования



Распределение
интенсивности
(эксперимент)

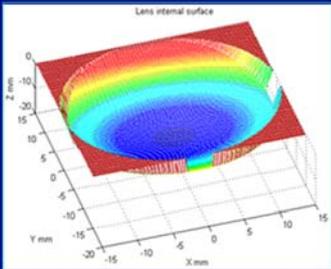
© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 23

Слайд 23

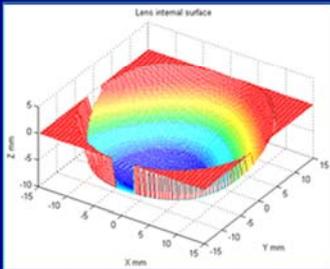
ИСОИ СРАН

ПЛОСКО-ВЫПУКЛЫЕ ЛИНЗЫ ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ В ПОЛОВИНКУ ЭЛЛИПСА И ПРЯМОУГОЛЬНИК

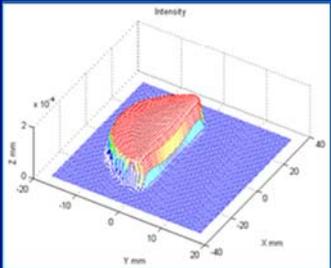
Внутренние поверхности плоско-выпуклых линз (радиус $R=15\text{мм}$, показатель преломления $n=1.5$) для фокусировки излучения от компактного источника света ($z=-30\text{мм}$) в полу-эллипс $50 \times 10\text{мм}$ и в равносторонний треугольник с размером стороны 40мм в плоскости $z=100\text{мм}$



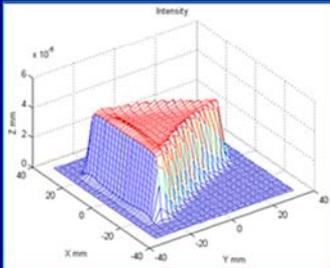
Lens internal surface



Lens internal surface



Intensity



Intensity

Рассчитанные освещенности, создаваемые линзами для ламбертовского источника света (диск радиусом 0.25мм)

© 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 24

Слайд 24

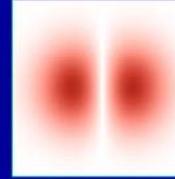




ФОРМИРОВАНИЕ И СЕЛЕКЦИЯ МОД ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Моды - собственные функции оператора распространения светового излучения
(базисы Гаусса-Эрмита, Гаусса-Лагерра, Бесселя и др.)





многомодовый пучок

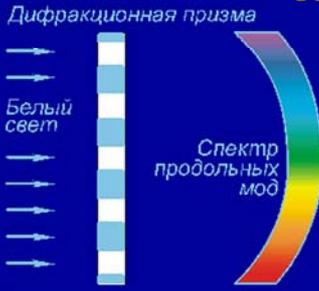
мода Гаусса-Лагерра (2,0)

мода Гаусса-Эрмита (1,0)

$$\xi(u, v) = \sum_{(p,e) \in D} \xi_{p,e} \Psi_{p,e}(u, v)$$

Селекция мод с помощью ДОЭ

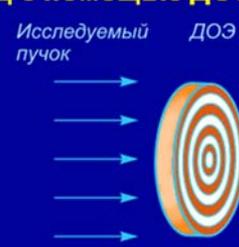
Дифракционная призма



Белый свет

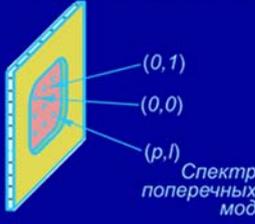
Спектр продольных мод

Исследуемый пучок



ДОЭ

Плоскость наблюдения



Спектр поперечных мод

© 2006
• ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ •
СЛАЙД 25

Слайд 25

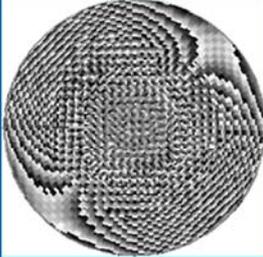
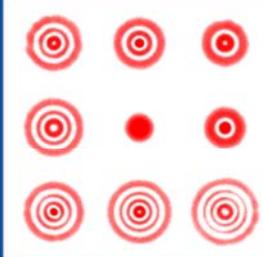
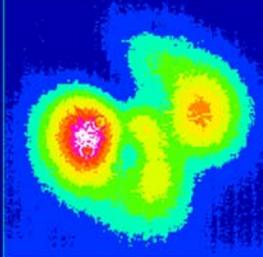




МОДАНЫ – НОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, СОГЛАСОВАННЫЕ С МОДАМИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Разработаны методы синтеза одноканальных и многоканальных моданов, предназначенных для формирования лазерных модовых пучков и для ступенчатых волноводах

$$r(r, \varphi) = \sum_{m=0}^M \sum_{q=1}^Q LP_{mq}^*(r, \varphi) \exp \left[i \frac{2\pi}{\lambda f} r \rho_{mq} \cos(\varphi - \theta_{mq}) \right]$$

Фазовая функция многоканального модана (а). Моды Гаусса-Лагерра, сформированные многоканальным фазовым моданом (б). Интенсивность моды, сформированной моданом на выходе ступенчатого волновода (в)

© 2006
• ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ •
СЛАЙД 26

Слайд 26

ИСОИ РАН

УПЛОТНЕНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Повышение пропускной способности систем волоконно-оптической связи на основе модового уплотнения

оптические элементы

Организация передачи данных в ступенчатом волокне

Наличие сигнала
в 1 канале во 2 канале

2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 27

Слайд 27

ИСОИ РАН

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФРАКЦИОННОГО МИКРОРЕЛЬЕФА НА ТОРЦЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Дифракционная решетка с периодом 30 мкм, сформированная на торце ИК-волновода с диаметром 800 мкм. Использовалась технология горячей штамповки. Стеклоаная матрица была изготовлена в ИСОИ РАН по технологии микролитографии с использованием станции лазерной записи CLWS-200.

Микро рельеф дифракционной решетки на торце оптического волокна (а) и его увеличенный фрагмент (б), снятый в ИСОИ РАН на интерферометре WLI-DMR

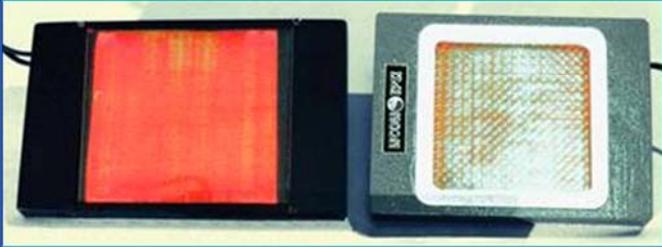
2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 28

Слайд 28

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОЭ

- Устройство для наблюдения в видимой и инфракрасной областях спектра // Патент на изобретение № 2148849 от 10.05.2000, бюл. № 13.
- Оптический мультиплексор-демультиплексор // Патент на изобретение № 2199823 от 27.02.2003. Бюл. № 6.
- Устройство направленного излучения // Патент на изобретение № 2213985 от 10.10.2003. Бюл. № 28.
- Многоканальная система безопасной передачи информации по многомодовому волоконному световоду // Патент на полезную модель № 39242 от 20.06.2004.
- Способ создания поляризующей ячейки // Патент РФ на изобретение № 225977 от 27.08.2005.



 2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 29

Слайд 29

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В научно-образовательном центре СГАУ и ИСОИ РАН (НОЦ) сформирован исследовательский комплекс, обеспечивающий реализацию на современном уровне всех этапов создания и исследования дифракционных оптических элементов.
- Научный задел в области создания новых классов ДОЭ, воплощенный в форме программных продуктов АЛКО и дополненный оригинальными методами формирования дифракционного микрорельефа и методиками контроля, позволил перейти к практическому использованию полученных результатов и проектированию оптических устройств на основе ДОЭ.
- Для инновационного использования полученных результатов представляется перспективным дополнение имеющегося исследовательского комплекса средствами тиражирования ДОЭ.

28.04.2006 • ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКИ • СЛАЙД 30

Слайд 30



ПЕРВОМАЙСКИЕ ЛОЗУНГИ

- Необходимо активнее использовать возможности созданного комплекса, развивать программное обеспечение для эффективного использования станции лазерной записи CLWS-200.
- Шире патентовать результаты научных исследований, в том числе, официально регистрировать создаваемые программные продукты.
- Плотнее взаимодействовать друг с другом и предлагать комплексные проекты; в частности, ученым НОЦ, ведущим исследования в разных научных направлениях, продумать возможности использования синергетического эффекта объединения результатов в распознавании, обработке изображений, компьютерной оптике с целью получения прорывных и коммерчески выгодных результатов в микро- и нанотехнологиях.

Research complex for solving the tasks of computer optics

N.L. Kazansky^{1,2}

¹*Image Processing Systems Institute of the RAS,*

²*Samara State Aerospace University (SSAU)*

Abstract:

The paper provides an overview of the methods and instruments intended for the formation and study of diffractive optical elements. The review is based on the capacities of the Microelectronics and Diffraction Optics Collective Use Center created by the joint efforts of the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences and the Samara State Aerospace University (see The collective use centers of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Nauka, 2004, p. 176-177).

Keywords: ComputerOptics, diffractiveopticalelement, Microelectronic, diffractiveOptic

Citation: Kazansky NL. Research Complex for Solving the Tasks of Computer Optics. Computer Optics 2006; 29: 58-77.