

УДК 536:621.37

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК ХРОМА НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ЛОКАЛЬНОГО ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ, СТИМУЛИРОВАННОГО ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А.Н. Агафонов

(Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева)

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.В. Волков

(Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева)

В настоящее время существует возрастающая потребность в изготовлении микро- и нано-структур различного функционального назначения. Одним их базовых технологических процессов их изготовления является фотолитография.

Существует ряд приложений, специфика которых не позволяет считать традиционные технологии получения фотошаблонов экономически целесообразными. Такая ситуация складывается в случае, когда требуется изготовить широкую номенклатуру элементов при штучном или мелкосерийном производстве, например при изготовлении уникальных дифракционных оптических элементов (ДОО). Известен ряд методов формирования топологического изображения непосредственно в слое рабочего материала, без использования фоторезистов. Они основаны на локальной обработке материала лазерным излучением, что позволяет снизить себестоимость изготовления микроструктур произвольной конфигурации. Одним из наиболее перспективных методов прямой записи является локальное термохимическое окисление пленок хрома под действием лазерного излучения. Этот метод формирования микроструктур основан на локальном окислении тонких пленок хрома под действием лазерного излучения. Последующее жидкостное травление образца приводит к формированию микрорельефа за счет существенного различия скоростей травления хрома и его окисных форм.

Известные теоретические подходы к анализу кинетики термохимического окисления, стимулированного лазерным излучением, хорошо описывают процессы в относительно толстых (>150 нм) пленках и базируются на следующих общих основных предположениях:

1. Материал пленки хрома и оксидной пленки считается однородным.
2. Основным фактором, лимитирующим окисление, является диффузия атмосферного кислорода в пленку хрома.

Использование перспективных, с точки зрения повышения разрешающей способности, тонких пленок хрома (<50 нм), вызывает необходимость более подробного исследования процессов окисления, в частности, учета влияния структуры пленки хрома и роли растворенного в ней кислорода.

Целью данной работы является теоретическое и экспериментальное исследование влияния параметров микроструктуры пленок хрома и растворенного в них кислорода на разрешающую способность технологии термохимического окисления.

Для теоретического описания процессов окисления различных по структуре пленок хрома была использована разработанная автором физико-математическая модель.

Новизна предложенной модели заключается в следующем:

1. Пленка считается неоднородной, выделяются отдельные кристаллиты.
2. Считается, что окисление идет как атмосферным кислородом, так и кислородом, растворенным в пленке хрома.
3. Для описания физико-химических процессов проходящих в системе, использован метод вероятностного клеточного автомата (ВКА).

Применение метода ВКА для моделирования физико-химических процессов в пленке хрома позволило учесть влияние структуры пленки хрома на процессы окисления под действием лазерного излучения.

Был проведен ряд численных экспериментов, направленных на выяснение влияния структуры пленки хрома на процессы ее окисления, стимулированного лазерным излучением. Для этого было проведено три серии вычислений, в которых моделировалось окисление пленок с различным характерным размером кристаллитов – 10 нм, 15 нм и 25 нм.

Для проверки адекватности предложенной физико-математической модели был проведен ряд натуральных экспериментов по исследованию микроструктуры пленок хрома и ее влияния на результаты лазерной записи.

Для исследования микроструктуры пленок хрома были использованы методы рентгеновской дифрактометрии, измерения проводились на дифрактометре Bunker D8 методами скользящего падающего луча и на отражение, а также методы просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, на электронном микроскопе JEM-2010. Полученные результаты позволили определить характерный размер кристаллита в пленках, используемых для записи, с точностью до единиц нанометров.

Локальный анализ элементного состава образцов проводили с использованием энерго-дисперсионного EDAX спектрометра «Phoenix» с Si(Li) детектором и разрешением по энергии не более 130 эВ. Для различных образцов количество кислорода составило величину от 6% до 20%. Однако, данный эксперимент не позволил получить сведения о том, какая доля кислорода находится в связанном состоянии (в оксидах хрома).

Тестовые структуры были записаны на пленках хрома с различным характерным размером кристаллита (квазиаморфная пленка, 15 нм, 25 нм). Напыление пленок хрома производилось термовакуумным методом при различной температуре подложек.

Для исследования влияния структуры пленки хрома на кинетику термохимического окисления на каждую подложку на станции лазерной записи CLWS 200 была записана тестовая структура, состоящая из 200 кольцевых треков максимальным диаметром 4 мм. Мощность при записи изменялась от максимальной (700 мВт) на внешнем треке до 0 на внутреннем с шагом в 0,5%, диаметр записывающего пятна $d=0,8$ мкм, период структуры 3 мкм.

Были проведены СЗМ исследования образцов как после лазерной записи скрытого изображения в пленке хрома, так и после химического травления (СЗМ Solver Pro, режим атомно-силовой микроскопии).

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что окисление преимущественно идет по границам кристаллитов, а не по всему объему пленки, причем окисление идет растворенным в пленке кислородом. Полученные результаты позволяют сделать вывод об адекватности, предложенной физико-математической модели.

Таким образом, в ходе проделанной работы были получены следующие основные результаты:

1. Предложена и экспериментально подтверждена новая модель термохимического окисления пленок хрома толщиной 20–150 нм под действием лазерного излучения, учитывающая неоднородность пленки хрома.
2. Впервые установлено, что основное влияние на профиль полученного микрорельефа для пленок хрома толщиной <50 нм оказывает окисление границ кристаллитов, а не объема материала.
3. Впервые теоретически обоснована перспективность использования квазиаморфных пленок хрома для увеличения разрешающей способности, в т.ч. для записи структур с характерным размером меньше диаметра записывающего луча.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ГРАДИЕНТОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ ГИРОСКОПЕ

А.С. Алейник (Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики), **В.Е. Стригалева** (Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)
Научный руководитель – д.т.н., профессор И.К. Мешковский

Существенное влияние на сигнал волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) оказывают пространственные и временные температурные градиенты, существующие в волоконно-оптическом интерферометре. Поэтому, одним из способов повышения точности и расширения рабочего температурного диапазона является разработка и внедрение компенсации температурных влияний на ВОГ.

В настоящей работе разработано устройство для измерения температурных градиентов ВОГ с чувствительностью более 0.01°C , высокой линейностью и временной стабильностью в диапазоне температур от 0 до 50°C .

По нашему мнению для компенсации зависимости сигнала гироскопа от абсолютного значения температуры достаточно наличия одного датчика с точностью 0.5°C . Компенсация пространственно-временных градиентов требует измерения температуры в объеме, содержащем катушку с оптическим волокном, для этого необходимо наличие минимум шести датчиков. Также повышаются требования к их точности и стабильности показаний.

В экспериментальных образцах ВОГ предпринимались попытки по компенсации влияния пространственно-временных градиентов. На катушку были установлены цифровые датчики температуры с дискретностью измерений 0.03°C . Недостаточно высокая точность, линейность и стабильность этих датчиков не позволили однозначно определить зависимость сигнала гироскопа от температурных градиентов. Поэтому, ключевым стал вопрос о необходимости создания системы измерения пространственно-временных градиентов с высокой чувствительностью, линейностью и временной стабильностью показаний.

В результате проведенной работы был создан прибор для измерения температурных градиентов, построенный на базе резистивных платиновых датчиков температуры. Проведены измерения теплового поля в волоконно-оптическом интерферометре в различных условиях и проанализированы полученные результаты.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОРМАЛЕЙ К НЕСФЕРИЧЕСКИМ ПОВЕРХНОСТЯМ ВРАЩЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА

А.И. Александров, Е.В. Ермолаева
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Зверев

При выборе оптимальной схемы контроля несферических поверхностей необходимо учитывать взаимосвязь аберраций нормалей к несферической поверхности вращения с ее геометрическими параметрами. Это определяет выбор вспомогательных элементов контрольной схемы.

Сечение поверхности второго порядка меридиональной плоскостью можно определить уравнением вида:

$$y^2 = 2r_0x - (1 - e^2)x^2.$$

Это уравнение можно преобразовать к виду:

$$x^2 - 2\frac{r_0}{1 - e^2}x + \frac{y^2}{1 - e^2} = 0$$

В рассматриваемом случае интерес представляет решение этого уравнения в виде:

$$x = \frac{r_0}{1 - e^2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1 - e^2}{r_0^2} y^2} \right]. \quad (1)$$

Выражение (1) можно представить степенным рядом

$$x = \frac{1}{2r_0} y^2 \left[1 + \frac{1}{4} \frac{1 - e^2}{r_0^2} y^2 + \frac{1}{8} \frac{(1 - e^2)^2}{r_0^4} y^4 + \frac{5}{64} \frac{(1 - e^2)^3}{r_0^6} y^6 + \dots \right]$$

или $x = \frac{1}{2} r_0 \psi_e t g^2 \gamma_p$,

где $\psi_e = 1 + \frac{1}{4} (1 - e^2) t g^2 \gamma_p + \frac{1}{8} (1 - e^2)^2 t g^4 \gamma_p + \frac{5}{64} (1 - e^2)^3 t g^6 \gamma_p + \dots$

В результате выполненного анализа получаем, что разброс точек пересечения нормалей к поверхности вращения второго порядка с оптической осью, определяется выражением:

$$\Delta s' = \frac{1}{2} e^2 r_0 \psi_e t g^2 \gamma_p.$$

Отсюда следует, что при $e = 0$: $\Delta s' = 0$; при $0 < e < 1$ (эллипсоид вращения) величина $\psi_e > 0$. При $e = 1$ величина $\psi_e = 1$, а величина

$$\Delta s' = \frac{1}{2} r_0 t g^2 \gamma_p = \frac{1}{2} \frac{y^2}{r_0}$$

При $e > 1$ (гиперboloид вращения) $\psi_e < 1$.

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Разброс точек пересечения нормалей к поверхности вращения второго порядка с оптической осью при $r_0 > 0$ соответствует положительной сферической аберрации в схеме ее контроля.
2. Разброс точек пересечения нормалей к поверхности параболоида вращения с оптической осью при $r_0 > 0$ соответствует положительной сферической аберрации третьего порядка при ее контроле.
3. Разброс точек пересечения нормалей к поверхности эллипсоида вращения с оптической осью при $r_0 > 0$ соответствует положительной сферической аберрации при положительных значениях аберраций высшего порядка при ее контроле.
4. Разброс точек пересечения нормалей к поверхности гиперboloида вращения с оптической осью при $r_0 > 0$ соответствует положительной сферической аберрации при отрицательных значениях аберраций высшего порядка при ее контроле.

Литература

1. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука. – 1966. – 872 с.
2. Пуряев Д.Т. Методы контроля оптических асферических поверхностей. – М.: Машиностроение. – 1976. – 262 с.
3. Зверев В.А., Кривоустова Е.В. Опотехника несферических поверхностей. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО. – 2006. – 203 с.

ПРИЗМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕННОГО ОТКЛОНЕНИЯ С ПОСТОЯННЫМ ЗНАЧЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА АНАМОРФОЗЫ

Ю.С. Александров

Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель С.И. Кучер

Рассмотрим систему, состоящую из пары одинаковых клиньев (призм), расположенных на общей оси и вращающихся относительно друг друга в противоположных направлениях с одинаковой скоростью. Такая система будет обеспечивать с достаточной точностью прямолинейное движение изображения.

Наибольший суммарный угол отклонения будет тогда, когда главные сечения клиньев лежат в одной плоскости, а преломляющие углы направлены в одну сторону.

Такие системы широко используются в качестве различных компенсаторов, измерителей малых углов отклонения и во всевозможных системах, где возникает необходимость отклонения луча по линейному закону.

Однако в случае использования подобных устройств в качестве сканирующих систем необходимо учитывать, что при анализе прохождения пучков лучей через призмную систему необходимо рассматривать два взаимно перпендикулярных сечения. В одном из них, в главном сечении, и происходит необходимое влияние преломляющих поверхностей. В другом сечении действие призм эквивалентно действию ППП. Иными словами происходит трансформация пучка круглого сечения.

Это свойство можно рассматривать, как нежелательное поскольку, если сканирование производится в значительном диапазоне, происходит перераспределение энергии в краевых зонах.

В пространстве предметов пучок лучей имеет форму кругового цилиндра. А нормальное поперечное сечение пучка становится эллиптическим. Наклонное к главному лучу сечение пучка лучей, лежащее в плоскости преломляющей поверхности, может иметь только форму эллипса. Но это сечение является также и наклонным к оси поперечным сечением преломленного пучка лучей. Вследствие этого нормальное поперечное сечение преломленного пучка лучей не может быть никаким иным, кроме эллиптического (в частном случае оно может быть круглым).

Величины полуосей эллипса характеризуют изменение наибольшего и наименьшего коэффициента увеличения после прохождения света через преломляющую поверхность призмной системы.

При расчете призмных систем, расположенных в параллельном ходе лучей, нужно учитывать такое явление, как анаморфоза.

Анаморфоза сводится, в сущности, к тому, что угловое увеличение A меняется в пределах поля зрения, в результате чего изображение становится искаженным. Изображение будет иметь различные масштабы в двух взаимно перпендикулярных направлениях и, следовательно, будет вытянутым или сжатым в вертикальном направлении.

Существует метод устранения анаморфозы. Если вслед за некоторой призмной системой с увеличением A_1 (в плоскости главного сечения) мы поставим вторую систему с увеличением A_2 и повернем ее вокруг луча, выходящего из первой системы, таким образом, чтобы плоскости главных сечений обеих призм образовывали прямой угол, то мы получим призмную систему, дающую анаморфозу с увеличением A_1 и A_2 в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Если же мы сделаем увеличение A_1 равное A_2 , то анаморфоза исчезнет.

Телескопическая система из таких призм, в которой выходящий пучок параллельных лучей остается параллельным входящему пучку, была показана Брюстером, но эти призмы должны обладать увеличением A , не равным единице. Панкратическая призмная система,

представляющая собой телескопическую призму Брюстера с переменным воздушным клином, располагается после сканирующей призмной системы и за счет изменения воздушного клина между компонентами трансформирует размер пучка по заданному закону.

УДК 681.786.4

АНАЛИЗ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ В СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

К.Г. Араканцев, Д.В. Жуков

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.А. Коняхин

Вступление. В настоящее время для дистанционного контроля пространственного положения объектов широко используются стереоскопические системы технического зрения. Теория функционирования стереоскопических оптико-электронных систем базируется на основе теории, разработанной для визуальных дальномеров геометрического типа, которая ограничивается анализом влияния лишь некоторых наиболее значимых погрешностей параметров на результат измерений. Применение в современных стереоскопических системах многоэлементных приемников высокого разрешения (матриц на основе ПЗС и КМОП-структур) призвано обеспечить несравнимо большую точность измерений по сравнению с визуальными дальномерами. При этом для достижения высокой точности измерений алгоритм расчета координат объекта по координатам его изображений в стереоскопической системе должен учитывать отклонения множества параметров от их номинальных значений. К этим параметрам относят величины, описывающие линейное и угловое расположение измерительных преобразователей в пространстве, а также задние отрезки используемых объективов.

Целью работы являлось исследование методов численного расчета положения точечного объекта, а также возможности использования теории возмущений в качестве инструмента для анализа систематических и случайных погрешностей в стереоскопических оптико-электронных системах.

Базовые положения исследования. Измерительная система, состоящая из двух фото- или видеокамер с матричными приемниками изображения, позволяет получить четыре координаты изображений, которые совместно с центрами проекции камер определяют в пространстве две прямые, на пересечении которых находится точка объекта. Для нахождения координат объекта по координатам его изображений в плоскостях анализа камер предлагается использовать один из предложенных ниже методов.

Первый метод основан на поиске отрезка минимальной длины, соединяющего две прямые, задаваемые в пространстве точками изображений и центрами проекций камер стереоскопической системы. В качестве оценки положения объекта принимается точка, лежащая на середине искомого отрезка.

Второй метод основан на решении переопределенной системы линейных уравнений с помощью сингулярного разложения. Для реализации указанного метода в стереоскопической системе необходимо произвести переход от нелинейных уравнений прямых, каждая из которых задается точкой изображения и центром проекции камеры, к линейным уравнениям плоскостей.

С целью проверки точности предложенных методов было проведено стохастическое моделирование погрешностей измерений. При стохастическом моделировании методом сингулярного разложения была использована теория возмущений.

Промежуточные результаты. Рассмотренные методы обработки измерительной информации в стереоскопической системе позволяют произвести оценку координат объекта в соответствии с критерием минимальной среднеквадратической ошибки решения. Метод нахождения минимального расстояния между скрещивающимися прямыми по сравнению с методом сингулярного разложения более прост с точки зрения программной реализации, так как использует меньшее количество менее ресурсоемких операций.

Метод сингулярного разложения матрицы коэффициентов системы линейных уравнений может быть использован в случае применения произвольного количества камер, когда требуется повысить точность определения координат объекта за счет увеличения количества измерительных преобразователей. Другими достоинствами этого метода являются представление измерительных преобразований в линейном виде, а также возможность использования теории возмущений при анализе систематических погрешностей измерений.

Стохастическое моделирование погрешностей показало, что для дистанций до объекта от 2000 до 10000 мм (расстояние между камерами 300 мм, фокусные расстояния объективов 35 мм) метод сингулярного разложения матрицы коэффициентов системы линейных уравнений при использовании теории возмущений позволяет оценить погрешность измерений с той же точностью, что и при использовании метода скрещивающихся прямых.

Основной результат. Предложен метод сингулярного разложения матрицы коэффициентов переопределенной системы линейных уравнений для расчета координат объекта в стереоскопической системе, который может быть применен в системах с любым количеством камер, если требуется уменьшить погрешность измерений за счет увеличения количества измерительных преобразователей.

Обосновано применение теории возмущений для анализа систематических и случайных погрешностей измерений в стереоскопической системе. Удобством такого подхода является использование матрицы распространения ошибок, которая зависит только от конфигурации стереоскопической системы и описывает, как погрешность того или иного параметра влияет на погрешность результата измерений.

УДК 621.391.63

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОЛИНЗ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Е.А. Арефьева

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.П. Тимофеев

Введение. Вопрос согласования оптических компонентов является очень важным, так как в зависимости от эффективности ввода оптического излучения в волокно, качественного соединения волокон и ввода максимальной мощности световой волны в фотоприемник в значительной степени определяется энергетический бюджет волоконно-оптических систем связи (ВОСС). Микролинзы для соединения оптических элементов в большинстве случаев используются при соединении источника излучения с волокном, тут же могут возникать наибольшие потери.

Цель работы. Рассмотреть и проанализировать основные способы соединения оптических элементов в ВОСС с использованием микролинз. Исходя из полученных данных, выбрать наиболее оптимальный для разных типов соединений: источник (ОИ) – оптическое волокно (ОВ), ОВ – ОВ, ОВ – фотоприемник (ФП).

Основные положения. На данный момент существует несколько основных способов, которыми излучение с выхода лазерного диода может запускаться в оптическое волокно. В первом методе используется сферическая микролинза, размещенная между диодом и оптическим волокном. Во втором методе полусферическая линза формируется на конце волокна. В третьем методе используется градиентная (стержневая) линза, а в четвертом – волокно просто расщепляется и подсоединяется к лазеру торцевым элементом связи, так что совмещаются оптические оси лазера и световода [1].

Одним из наиболее распространенных способов согласования источника (приемника) со световодом служат сферические линзы. При линзовой системе нужна весьма точная фокусировка на торец волновода, т.к. даже незначительное смещение луча относительно выходного торца резко уменьшает эффективность ввода излучения [2]. Требования к фокусировке несколько ниже, когда линза расположена вплотную к волноводу или к источнику. Потери на ввод при использовании линзовой системы могут быть уменьшены до потерь, связанных только с неполным заполнением жгута, если углы расходимости лазера будут не больше апертуры волокна. В целом при использовании сферических микролинз потери составляют порядка 1 дБ и более.

Для уменьшения оптических потерь при соединениях используются цилиндрические, сферические и стержневые (градиентные) линзы (граданы). Цилиндрическая линза (рисунок 3а) позволяет преобразовать сильно вытянутый эллипс пучка лазерного излучения и придать ему на входе в волоконный световод почти круглое сечение. При этом эффективность ввода лазерного излучения в многомодовый световод достигает 30%.

Сферическая линза обеспечивает преобразование расходящихся лучей лазерного излучения в параллельный пучок света значительного диаметра, что заметно облегчает дальнейшее преобразование и оптимальный ввод оптического излучения в градиентную линзу.

Эффективным элементом такого преобразования и ввода является стержневая (градиентная) линза, которая фокусирует излучение в пучок, сходящийся под необходимым (относительно небольшим) углом с числовой апертурой волоконного световода [2-4]. Стержневые линзы имеют цилиндрическую форму с плоскими торцами для ввода оптического излучения. Стыковка с помощью микролинз «градан» может использоваться для разъёмных и неразъёмных соединений: «ВОК (ОВ) – ВОК (ОВ)», «ВОК (ОВ) – ФП», «ОИ – ВОК (ОВ)». При использовании градиентных линз вносимые потери могут составлять менее 1 дБ.

Перспективным решением согласования оптических элементов с помощью микролинз являются согласующие оптические элементы непосредственно на торце оптического волокна в результате расплавления кончика волокна. Иногда при использовании этого метода кончик волокна перед формированием полусферы дополнительно сводится на конус. Сужение волокна эффективно увеличивает числовую апертуру оптического волокна, так что она в большей степени соответствует апертуре лазерного диода. Данный метод согласования эффективен для одномодовых волокон. Типовая эффективность соединения между полупроводниковым лазером и конусообразным концом одномодового волокна составляет приблизительно 50%.

Заключение. В результате можно сказать, что для использования ВОСС лучше применять сферические и градиентные микролинзы, причем наиболее эффективны градиентные линзы, так как потери при вводе имеют меньшие величины. Для соединения волокон лучше применять «граданы». Применение микролинз на торце оптического световода ограничено его эффективным применением для одномодовых волокон.

Литература

1. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Sygus Systems. – 1999.

2. Волоконная оптика и приборостроение. М.М. Бутусов. – Л.: Машиностроение. – 1987.
3. Волоконно-оптическая техника: История, достижения, перспективы. Под ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. – М.: АО «ВОТ»/Изд-во Connect. – 2000.
4. Плеханов А.И., Шелковников В.В. Оптические волокна с концевыми фотополимерными микролинзами [Электронный ресурс] / Гл. редактор М.В. Алфимов – режим доступа <http://www.nanoru.ru/article.asp?itemid=9232623>, свободный.

УДК 535.417

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА ДЛЯ РАСЧЕТА АМПЛИТУДЫ И СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ИССЛЕДУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ УСРЕДНЕННЫХ ПО БАЗОВОЙ ПЛОЩАДИ

Ю.В. Атлыгина

Научный руководитель – д.т.н., профессор С.Н. Корешев

Одним из наиболее эффективных способов получения данных о поверхности рельефно-фазовых голограмм является метод атомно-силовой микроскопии. Среди приборов, использующих метод АСМ, можно выделить микроскоп Solver P47, универсальный сканирующий зондовый микроскоп, предназначенный для использования в нанотехнологических исследованиях в самых разных научных областях. Точность измерения шероховатости с его помощью – 1 нм. Этот прибор обеспечивает получение изображений поверхности микро- и нано- объектов с пространственным разрешением вплоть до атомарного.

Для работы с микроскопом Solver P47 используют программный комплекс Nova. Данное программное обеспечение позволяет осуществлять различную обработку изображений, строить гистограмма плотности распределения, вычислять размах высот, среднюю арифметическую шероховатость, строить изображение фурье-образа и многое другое.

Для оптических систем важна оценка качества всей поверхности. Шероховатости и искажения рельефа влияют на качество поверхности, создают шумы, абберрации и, следовательно, искажают формируемое изображения. При этом для отражательных систем среднеквадратическая ошибка деформации волнового фронта равна удвоенной СКО амплитуды шероховатости. То есть все деформации шероховатости приводят к удвоенной ошибке волнового фронта. Поэтому для оптических систем очень важна оценка качества всей поверхности.

Программный модуль Nova обладая достаточно серьезным набором средств для обработки изображений, имеет серьезный недостаток – расчет усредненных высоты профиля и среднеквадратической шероховатости поверхности в нем осуществляется согласно ГОСТ 2789-73 лишь по базовой линии (вдоль сечения). Столь важная для оптических задач возможность усреднения данных по базовой площади отсутствует. Это ограничивает возможность использования микроскопа для оценки качества изображения согласно критерию Марешаля.

Целью настоящей работы являлась разработка программного модуля расчета усредненных по базовой площади высоты профиля и среднеквадратической шероховатости поверхности и его применение для оценки погрешностей волнового фронта формируемого рельефно-фазовыми голограммами, получаемыми на тонких слоях халькогенидных стеклообразных полупроводников. Достижение этой цели потребовало от нас решения следующих задач:

- Организация ввода в программу и предварительной обработки данных, полученных с помощью микроскопа.

- Усреднение данных по базовой площади.
- Определение обусловленной шероховатостью регистрирующей среды деформации восстановленного волнового фронта и коротковолновой границы применимости халькогенидного стеклообразного полупроводника.

Разработанный модуль удобен в эксплуатации и может быть рекомендован для использования в дополнение к программе Nova для повышения удобства и точности расчетов в оплотехнике.

УДК 535

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТЫХ ПРОСВЕТЛЯЮЩИХ СЛОЕВ ИОННО-ХИМИЧЕСКИМ ТРАВЛЕНИЕМ

Е.М. Ахромеева

Научный руководитель – к.х.н., доцент Л.А. Черезова

Просветление оптических деталей является одной из основных задач оптической технологии. В настоящее время в оптике и микроэлектронике для эффективного снижения отражения света от поверхности оптических деталей используются пористые просветляющие слои.

Известно, что при ионно-химической обработке ионами низких энергий на поверхности оптических многокомпонентных стекол образуется пористый слой, снижающий отражение в видимой области спектра на 20–30%. Однако, разработанные сегодня технологические процессы травления во фторсодержащей плазме пригодны лишь для силикатных стекол. Поэтому, значительный интерес представляет ионно-химическое травление по контактными маскам, которые позволяют получить пористые просветляющие покрытия на поверхности стекол любых марок.

Целью данной работы является получение пористых просветляющих слоёв ионно-химической обработкой поверхности детали, маскированной двухкомпонентной плёнкой. Главной проблемой является подбор компонентов маски, режимов и реагентов ионно-химического травления, обеспечивающих достаточное различие в скоростях травления маски и подложки для выхода на глубину просветляющего слоя, соответствующую максимальному просветлению в данной области спектра.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- Выбрать маскирующую двухкомпонентную пленку, обеспечивающую селективность ионно-химического травления во фторсодержащем газе и метод ее нанесения на поверхность оптической детали.
- Разработать технологические режимы ионно-химического травления поверхности по маскирующей пленке для выхода на заданную толщину, соответствующей условию просветления для данной области спектра
- Исследовать свойства полученных просветляющих пористых слоев.

Ранее была показана возможность получения пористых просветляющих слоев путем ионно-химического травления по маскам, полученным электронно-лучевым испарением состава «металл-оксид». В настоящей работе маска наносится химическим методом из пленкообразующих растворов. Данный метод позволяет наносить покрытия на любые марки стекол, строго регулируя состав покрытия.

В данной работе в качестве маскирующей пленки было выбрано покрытие состава $Al_2O_3-SiO_2$, полученное методом золь-гель технологии.

Разности скоростей травления компонентов маски приводят к селективности травления.

Таким образом, один из компонентов (Al_2O_3) после полного травливания второго компонента (SiO_2), служит маской для травления стеклянной подложки. В результате после полного травливания маскирующего слоя на поверхности стекла, мы видим пористую пленку, толщина которой определяется толщиной маскирующего слоя и скоростью его травления.

Толщина маскирующего слоя должна быть такой, чтобы за время полного удаления маски глубина ионно-химического протравливания стекла (т.е. толщина пористого слоя) соответствовала оптическим условиям просветления на данную область спектра.

Процесс ионно-химического травления детали, с предварительно нанесенной на нее маскирующей пленкой, осуществлялся на вакуумной установке ВУ 1А, снабженной автономным источником ионов «ИОН-4». По результатам проведенных экспериментов выявлены оптимальные режимы ионно-химического травления.

Выводы

1. Показана возможность использования в качестве маскирующей пленки двухкомпонентное покрытие состава $Al_2O_3-SiO_2$, нанесенное на поверхность оптической детали химическим методом.
2. Разработан технологический режим ионно-химического травления поверхности детали по выбранной маскирующей пленке.
3. Исследованы свойства полученных просветляющих пористых слоев.
4. Показано, что пористые просветляющие покрытия с отражением в видимой области спектра 0,01–0,05% могут использоваться как одиночные слои, так и при создании многослойных систем.

УДК 535.016

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПУТЕМ НАНЕСЕНИЯ НА НЕЕ СЛОЕВ КЕРМЕТОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

А.В. Богдан

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.А. Губанова

В работе рассмотрены возможности снижения коэффициента отражения металлов (титан, алюминий) при нанесении на них смесовых (керметных) плёнок и проанализированы факторы, влияющие на воспроизводимость спектральных характеристик получаемого покрытия. Показана возможность снижения коэффициента отражения в 10 и более раз.

Получены расчётные зависимости оптических параметров (показателя преломления и коэффициента поглощения) изотропного слоя смеси металла и диэлектрика, в зависимости от количественного соотношения входящих в него компонентов, а также от его толщины.

Расчёты производились с использованием модели изотропного слоя смеси металла и диэлектрика. Полученные результаты оформлялись в виде 3-D диаграммы, которая отражает распределение энергетического коэффициента отражения металла в зависимости от параметров слоя кермета на фиксированной длине волны падающего излучения.

Анализ полученной 3-D диаграммы позволяет определить оптимальные параметры керметных слоёв для различных систем «металл-кермет», обеспечивающие минимальное значение энергетического коэффициента отражения.

Как показали расчёты спектральных характеристик систем, состоящих из металлической подложки (титан или алюминий) и слоя металлодиэлектрической смеси, нанесение металлодиэлектрического слоя позволяет снизить коэффициент отражения алюминия в видимой области спектра в 4 раза, а титана в 8 раз.

Использование модели системы изотропных слоев так же позволяет оценить влияние толщины оксидного слоя на поверхности металла на конечную спектральную характеристику. Были получены зависимости изменения спектральных характеристик покрытий от наличия между материалом подложки (металлом) и керметным слоем оксидного слоя титана, образующегося на поверхности металла в результате окисления. Наличие данного слоя с толщиной более 5 нм приводит к значительному изменению спектральной характеристики на всем спектральном диапазоне. Из данного факта следует вывод, что при нанесении покрытия на металлическую подложку необходимо произвести тщательную очистку поверхности подложки в вакуумной камере.

Также были проведены вычисления, позволившие оценить влияние на спектральную характеристику коэффициента отражения слоя кермета, нанесенного на металлическую поверхность, диэлектрического антиотражающего покрытия. Расчеты показали, что нанесение антиотражающего покрытия на керметный слой, позволяет уменьшить коэффициент отражения титана в среднем в 18 раз (с 59% до 3,2%) в широком спектральном диапазоне (от 400 до 900 нм).

Из анализа спектральных зависимостей коэффициента отражения систем (металл-кермет-диэлектрик) видно, что применение керметного покрытия с оптимальным составом с использованием слоя диэлектрика в качестве антиотражающего покрытия позволяет снизить коэффициент отражения алюминия в видимой области спектра в 8 раза, а титана в 18 раз.

УДК 535.625.15

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО ОКРАШЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ОЧКОВЫХ ЛИНЗ И СВЕТОФИЛЬТРОВ НА ОСТРОТУ ЗРЕНИЯ

М.И. Бударгина

Научный руководитель – д.т.н., профессор Э.С. Путилин

Введение. Вопросом исследования светофильтров в качестве защитных стекол и их влияния на остроту зрения занимаются давно. Первые достоверные упоминания об использовании окрашенных очков относятся к 17 веку. В 18 веке уже упоминаются зеленые, синие, желтые очки – «консервы» и рекомендация к применению тех или иных очков. В 19 веке широкое распространение получили дымчато-серые и синие «консервы». В работах С.С. Полянского, А.П. Крылова [1, 2] подробно представлены рекомендации врачей – окулистов по поводу применения желтых, зеленых, синих и дымчатых светофильтров. Также в этих работах исследовались физические свойства этих светофильтров как защитных очков и их влияние на остроту зрения. Влияние цветных светофильтров на остроту зрения также было известно достаточно давно и исследовалось как самостоятельная проблема. Широкое распространение в 20 веке получили защитные очки в зависимости от специфики зрительного труда работающих, исследования некоторых из них представлены в работе.

Важной чертой солнцезащитных и окрашенных линз является способность не только защищать от ультрафиолетового излучения, но и влиять на остроту зрения, что подтверждается использованием линз различных цветов для коррекции зрения при заболеваниях зрительной системы и для разных видов спорта.

Именно поверхностное окрашивание бесцветных очковых линз на сегодняшний день в России получило широкое распространение в оптических салонах. Оптические салоны окрашивают бесцветные полимерные очковые линзы в голубые, розовые, желтые, серые, коричневые, оранжевые, зеленые и другие цвета различных тонов и оттенков по собственным технологиям и желанию клиентов. При этом значения коэффициентов пропускания поверхностно окрашенных полимерных очковых линз в УФ, видимой и ИК

областях спектра не регламентируются. Не известно их влияние на защитные свойства, и остроту зрения.

В работе проведено исследование и анализ влияния на остроту зрения поверхностно окрашенных очковых линз одного из Санкт-Петербургских салонов оптики и стандартных светофильтров из набора цветных стекол, выбранных по спектральным характеристикам.

Цель и задачи исследования. Цель работы заключается в проведении анализа влияния поверхностно окрашенных полимерных очковых линз на остроту зрения и светофильтров желто-зеленых, синих, голубых, красных, розовых и оранжевых цветов.

Для достижения поставленной цели были установлены следующие базовые положения:

1. Исследовать влияние на остроту зрения поверхностно окрашенных полимерных очковых линз с силой 0,0 дптр желто-зеленых, голубых и розовых, оранжевых цветов.
2. Исследовать влияние на остроту зрения светофильтров ФС-1, СЗС-20, КС-10, ЖС-3, ЖС-17, ОС-6.
3. Провести анализ и сравнить полученные данные по влиянию поверхностно окрашенных полимерных очковых линз и светофильтров на остроту зрения.

Методика исследования. Исследование остроты зрения проводилось по стандартной методике в офтальмологическом кабинете. Первоначально определялась острота зрения каждого глаза и при необходимости подбиралась полная коррекция. Затем в пробную оправу поочередно устанавливались поверхностно окрашенные очковые линзы из исследуемого набора или светофильтры. Пациенту показывают опто типы и просят назвать буквы, соответствующие остроте зрения 1,0 (не менее четырех знаков подряд). Если он все их называет верно, то показывают более мелкие знаки, непосредственно следующие за размером 1,0 в данной таблице. Так продолжают до тех пор, пока пациент не начнет ошибаться (не более двух ошибок в строке). Исследования остроты зрения было проведено для 20 пациентов с поверхностно окрашенными очковыми линзами и 24 пациентов со светофильтрами.

Основные результаты. По данным исследования остроты зрения выявлено, что некоторые поверхностно окрашенные очковые линзы («лимон», «лайм», «антифара», «янтарь») улучшают остроту зрения на 0,1–0,5 единиц, некоторые линзы («аквамарины», «фиалка») ухудшают остроту зрения на 0,1 единицу. Все же большинство линз не изменяют остроты зрения.

По данным исследования остроты зрения со светофильтрами выявлено существенное ухудшение при использовании светофильтра ФС-1 и ухудшение остроты зрения на 0,2 единицы при использовании СЗС-20 и КС-10, для других светофильтров острота зрения остается неизменной и даже улучшается на 0,1–0,2 единицы.

В результате исследований остроты зрения выявлено, что применение поверхностно окрашенных очковых линз и светофильтров оранжевого и желто-зеленого цвета улучшает остроту зрения. Причем поверхностно окрашенные очковые линзы улучшают остроту зрения на большую величину за счет уменьшения вклада синей составляющей видимого спектрального диапазона.

Литература

1. Полянский С.С. О некоторых физических свойствах и влиянии на остроту зрения защищающих очков синей и дымчатой окраски, Дис. на степень д-ра медицины. СПб. – 1901.
2. Крылов А.П. Желтые светофильтры, Дис. на степень д-ра медицины. СПб. – 1911.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ФАЗОВОГО МОДУЛЯТОРА

С.В. Варжель, А.В. Куликов, С.А. Тараканов
Научные руководители: д.т.н., профессор И.К. Мешковский,
к.ф.-м.н., профессор В.Е. Стригалеv

Краткое вступление, постановка проблемы. Использование в современных волоконно-оптических гидрофонах решеток Брэгга в сочетании с мощным и широкополосным источником импульсного излучения позволяет объединить в одном оптическом волокне достаточно большое количество (сотни) фазовых интерферометрических датчиков. Соответственно мощность оптического сигнала от каждого датчика уменьшается при увеличении их количества. Следовательно, при использовании массива таких датчиков в составе гидроакустической антенны, система приема будет иметь дело со слабыми оптическими сигналами, поэтому дополнительные потери, внесенные фазовым модулятором, необходимо уменьшить. А существующие фазовые модуляторы на ниобате лития (LiNbO_3) вносят большие потери и не могут быть использованы в схемах со слабыми оптическими сигналами. Следовательно, стоит задача создания фазового модулятора с низкими потерями и с сохранением поляризации.

Цель работы. Создание фазового модулятора с низкими потерями и с сохранением поляризации для работы в системах со слабыми оптическими сигналами.

Базовые положения исследования. Упругооптический эффект в оптическом волокне.

Промежуточные результаты. Исследование потерь на изгибе в двулучепреломляющем волокне.

Исследование вращения поперечной структуры волокна.

Осуществление намотки и фиксация волокна на пьезокерамической катушке, для трех вариантов намотки и для двух типов волокон.

Исследование вносимых потерь при различных вариантах намотки.

Исследование резонансной частоты пьезокерамической катушки при различных вариантах намотки.

Исследование перекачки мод при различных вариантах намотки и для двух типов волокон.

Создание генератора напряжения для управления модулятором

Апробирование созданного модулятора в реальных установках.

Основной результат. Созданные образцы фазового пьезокерамического модулятора двулучепреломления вносят потери до 2 дБ, что является лучшим показателем, чем у существующих фазовых модуляторов на ниобате лития. Также у разработанного фазового модулятора ничтожно малая перекачка мод на частотах ниже 1,4 МГц. Следовательно, данный модулятор подходит для работы в системах со слабыми оптическими сигналами, и в случаях, когда требуется сохранение поляризации.

ПОЛУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СУЛЬФИДА ЦИНКА

Е.Ю. Вилкова (Институт химии высокочистых веществ РАН)

Научный руководитель – к.х.н., с.н.с. О.В. Тимофеев

(Институт химии высокочистых веществ РАН)

Поликристаллический сульфид цинка применяют в силовой и ИК-оптике для изготовления выходных окон, фокусирующих линз, делительных пластин, а также призм и полупрозрачных зеркал. Необходимым условием применения таких оптических элементов является минимизация размеров и количества дефектов на их поверхности, образующихся в процессе абразивной обработки.

Производство таких элементов – это сложная и многоплановая задача. Одним из основных этапов, наряду с выращиванием материала, является изготовление готовых оптических элементов. Отсутствие публикаций по этой тематике в нашей стране и закрытость её за рубежом не позволяет создать технологию высококачественной обработки оптических элементов на основе сульфида цинка без проведения целенаправленных исследований.

Поэтому, **целью данной работы** явилось исследование влияния параметров процесса механического полирования на качество поверхности сульфида цинка.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Исследование влияния параметров механического полирования на размеры и концентрацию дефектов полированной поверхности сульфида цинка.
- Исследование влияния состава и свойств полировальных суспензий и полировальных смол на образование поверхностных дефектов.

Обработке подвергали высокочистый поликристаллический сульфид цинка, который был получен CVD-методом. Образцы сульфида цинка представляли собой диски определенного диаметра и толщины, предварительно обработанные одинаковым образом. В качестве материала полировальника использовались смолы на основе модифицированной живичной канифоли. Оценка качества поверхности проводилась при помощи методики «компьютерного зрения».

Для решения поставленных задач были изучены зависимости скорости съёма от прижимного давления в процессе механического полирования сульфида цинка. Полученные результаты показали, что чистота и геометрия поверхности существенно зависят как от давления оказываемого на поверхность в процессе полирования, так и от величины зерна используемого абразива. Сопоставление экспериментальных данных по механическому полированию сульфида цинка позволило выделить оптимальный диапазон давлений, в котором получены наилучшие результаты по совокупности трёх параметров (чистота, геометрия поверхности и скорость съёма). Данный диапазон для используемых нами условий эксперимента находился в пределах от 0,16 до 0,3 кгс/см².

Для экспериментов была изготовлена серия образцов полировальных смол на основе модифицированной живичной канифоли, имеющих одинаковую температуру размягчения, но различный состав. Температура размягчения смол, определенная методом кольца и шара, составляла $64 \pm 1^\circ\text{C}$. В результате экспериментов было выявлено, что скорости съёма существенно различаются, несмотря на постоянство температуры размягчения. В образцах 4«Б11» №1 №2 в качестве добавки использовали ПАВ, и увеличение его концентрации на 0,5% приводит к существенному изменению скорости съёма и улучшению качества поверхности. Добавление стеарина в состав смолы (образцы ПС-С1 и ПС-С2) не приводит к такому резкому увеличению скорости съёма. Однако существенно улучшает качество поверхности. Полученные результаты показали, что незначительные изменения состава, при сохранении теплофизических характеристик смолы приводят к существенному изменению,

как скорости съема, так и чистоты поверхности. Оценка чистоты показала, что наилучшее качество для сульфида цинка получено на полировальной смоле ПС-С1 с температурой размягчения 63°C и соответствует 3 классу чистоты по ГОСТ 11141-84.

Также были проведены исследования влияния структуры канифольных смол на качество поверхности и величину съема материала в процессе механической обработки. Для экспериментов использовали образцы смолы, которые имели одинаковый состав и температуру размягчения 64°C. Различие состояло в способе заливки полировальников, при этом нагрев смолы проводили в одинаковых условиях, а температуру охлаждения изменяли в интервале от 20°C до -12°C. На основании полученных результатов видно, что при уменьшении температуры охлаждения полировальника увеличивается скорость съема материала. Это можно объяснить изменением структуры материала полировальника, которая влияет на теплофизические свойства смолы и как следствие на скорость съема обрабатываемого материала. Показано, что наилучшие результаты по качеству поверхности получены при способе заливки, когда полировальник охлаждали в холодильнике при температуре 5°C.

Были проведены исследования по оценке качества поверхности образцов сульфида цинка, обработанных различными способами. Класс чистоты поверхностей определен по методике, описанной в ГОСТ 11141-84 «Детали оптические. Классы чистоты поверхностей. Методы контроля», и их качество соответствовало 7, 5 и 3 классам чистоты. Поверхности были сфотографированы и фотографии обработаны при помощи методики «компьютерного зрения». Было получено полное соответствие результатов компьютерного и визуального контроля. Для поверхности, соответствующей 3 классу чистоты проведена оценка величины шероховатости на атомно-силовом микроскопе НТ-206. Величина среднеарифметической шероховатости R_a составила 2.6 нм, а среднеквадратичной R_q – 3.8 нм.

Заключение. Таким образом, на основании полученных результатов отработана методика механической обработки сульфида цинка. Исследованы зависимости скорости съема от размера зерна и состава суспензий на основе алмазных синтетических микропорошков. Рекомендован оптимальный диапазон давлений для проведения процесса механического полирования. Применение наилучших результатов позволило изготовить опытную партию оптических элементов с качеством поверхности для ZnS отвечающим 3 классу чистоты, согласно ГОСТ 11141-84, с отклонением по плоскости не более одного интерференционного кольца. Для сульфида цинка величина среднеарифметической шероховатости R_a составила 2.6 нм, а среднеквадратичной R_q – 3.8 нм.

УДК 535.17

КОМПОЗИЦИЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВОГО ОБЪЕКТИВА М.М. РУСИНОВА

Д.Н. Воронцов, С.А. Гордин

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Зверев

Профессор М.М. Русинов обратил внимание на то, что если изображение, образованное оптической системой объектива Грегори, расположено в плоскости, проходящей через вершину главного (первого) зеркала, то само это зеркало изображается вторым зеркалом в плоскости промежуточного изображения, образованного отражающей поверхностью главного зеркала. Если при этом центр входного зрачка оптической системы объектива считать расположенным в вершине главного зеркала, то его изображение в плоскости промежуточного изображения будет выполнять роль выходного зрачка системы. В этом случае для развития коррекционных возможностей системы в выходном зрачке системы располагаем двухлинзовый афокальный компенсатор. В отличие от коэффициента

деформации отражающей поверхности в этом компенсаторе два «стеклянных» угла, определяющие прогиб поверхностей линз, могут принимать произвольные значения, а, следовательно, этот компенсатор обладает двумя коррекционными параметрами, что позволяет компенсировать ещё одну aberrацию, кроме сферической и комы. Однако, при таком построении системы апланатической коррекции aberrаций изображения можно достичь и при сферической форме главного зеркала. В результате выполненного исследования получены соотношения, определяющие габаритные параметры конструктивных элементов системы и значения коррекционных параметров как при апланатической коррекции aberrаций, так и при коррекции aberrаций, позволяющей отнести полученную систему к апланатическим анастигматам. Результаты аналитических исследований сопровождаются примерами расчёта конкретных систем.

УДК 535.17

КОМПОЗИЦИЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВАРИАНТОВ ЗЕРКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТИВА ГРЕГОРИ

**С.А. Гордин, Д.Н. Воронцов, С.В. Гайворонский
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Зверев**

Если изображение, образованное оптической системой объектива Грегори, расположено в плоскости, проходящей через вершину главного (первого) зеркала, а центр входного зрачка оптической системы объектива расположен в вершине главного зеркала, то его изображение в плоскости промежуточного изображения будет выполнять роль выходного зрачка системы. В выходном зрачке такой системы можно расположить несферическую отражающую поверхность, коэффициент деформации которой можно использовать в качестве коррекционного параметра. В процессе анализа полученной системы показано, что коррекционные параметры первой и третьей по ходу луча поверхности дублируют друг друга, что исключает возможность компенсации дополнительной aberrации. Однако показано, что при этом апланатической коррекции aberrаций можно достичь при сферической форме одной из этих поверхностей.

Если заменить главное зеркало двухзеркальной системой, например, типа оптической системы объектива Кассегрена, то и в этом случае можно построить систему с выходным зрачком в плоскости промежуточного изображения, при этом центр входного зрачка может быть расположен в вершине любой из первых двух поверхностей. Показано, что и при сферической форме главного зеркала в изображении, образованном такой системой можно компенсировать не только сферическую aberrацию, кому и астигматизм, но и кривизну поверхности изображения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ОПТОТЕХНИКИ МЕТОДАМИ ЭЛЛИПСОМЕТРИИ И ВУФ СПЕКТРОСКОПИИ

Т.М. Данилова

Научный руководитель – д.т.н., профессор А. Туркбоев

Критерием качества оптических элементов для ВУФ области спектра излучений, выполненных из кристаллического кварца (SiO_2) и монокристаллов фторидов щелочноземельных металлов (ЩЗМ: MgF_2 , CaF_2 , BaF_2 , SrF_2), является величина потерь излучения на этих элементах. Для объективной оценки качества этих элементов необходимо различать потери оптического излучения, вызванные образованием в процессе технологической обработки модифицированного поверхностного слоя, от потерь излучения связанных с ослаблением излучения в объеме материала, из которого выполнена деталь.

Выяснение общих закономерностей изменения спектрометрических и поляризационно-оптических характеристик модифицированной структуры поверхностного слоя, образующегося при различных способах изготовления элементов, позволит установить истинные корреляционные связи между физико-химическими свойствами поверхностного слоя и технологическими параметрами процесса обработки поверхности деталей, что в дальнейшем может способствовать решению широкого круга научных и технических задач оптотехники.

Основной целью данной работы является разработка спектроскопических и эллипсометрических методов технологического контроля элементов оптотехники для ВУФ области спектра и исследовании этими методами основных закономерностей изменения оптических свойств поверхностных слоев монокристаллов фторидов ЩЗМ и кварца при различных внешних воздействиях (механических, термических, радиационных).

Для элементов, выполненных из кристаллов кварца, методом ИК спектроскопии определены технические условия для измерения величины коэффициента поглощения α (см^{-1}) по методу Вернера и согласованы категории качества кварца, соответствующие требованиям ОСТ и МЭК. На основе эллипсометрических исследований оптического профиля ПС элементов оптотехники установлено, что при механической и ионной обработки кристаллического кварца формируется двухслойная структура ПС. В приповерхностной области структура ПС близка к структуре стеклообразного кремнезема, в глубине ПС перестройка структуры приводит к появлению области с напряженно-деформированным состоянием, в результате которого происходит увеличение величины анизотропии $\delta n_a(z) > \delta n_{a,0} = n^{(e)} - n^{(o)}$, где $n^{(e)}$, $n^{(o)}$ – показатели преломления для необыкновенного и обыкновенного лучей. Ширина области ПС, в которой нарушена упорядоченность структуры кристалла низкоэнергетическими пучками ионов Ag^+ меньше, чем для ПС, образовавшегося при полировании кристалла, при этом ионная обработка поверхности элементов приводит к уменьшению потерь излучения в ВУФ области спектра.

Качество монокристаллов фторидов ЩЗМ определяется наличием кислородосодержащих примесей. Методом спектроскопии от ВУФ до ИК области спектра исследованы особенности влияния кислородосодержащих примесей на структуру монокристаллов фторидов ЩЗМ. Показано, что дополнительное поглощение оптического излучения в ВУФ области спектра связано с образованием ПС при полировании монокристаллов фторидов ЩЗМ. Определены оптимальные режимы термической обработки различных монокристаллов, позволяющие повысить коэффициент пропускания элементов в ВУФ области спектра. Установлены корреляционные связи между оптическими характеристиками ПС и коэффициентом пропускания элементов в ВУФ области спектра. Особенность формирования ПС фторидов монокристаллов ЩЗМ при термической обработке элементов заключается в том, что с увеличением температуры обработки до 600°C происходит

увеличение коэффициента пропускания в ВУФ области спектра. Дальнейшее увеличение температуры приводит к уменьшению прозрачности элементов, что связано с физико-химическими процессами пирогидролиза, протекающего в поверхностном слое элемента.

Таким образом, на основе проведенных исследований разработаны эллипсометрические и спектроскопические методы технологического контроля качества элементов оптоэлектроники для ВУФ области спектра. Определены оптимальные режимы технологической обработки для получения элементов с минимальными потерями оптического излучения.

УДК 53.083.98 : 537.9

ИССЛЕДОВАНИЕ СУСПЕНЗИИ НАНОЧАСТИЦ SiO_2 МЕТОДОМ ФОТОННО-КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

И.С. Доронин (Дальневосточный государственный университет путей сообщения)
Научный руководитель – к.ф.-м.н. К.Н. Окишев (Дальневосточный государственный университет путей сообщения)

В последнее время значительное применение в электронике, косметологии, медицине, химической промышленности и других отраслях находят наночастицы. Практически для всех приложений необходим контроль их геометрических параметров.

К наиболее надежным методам измерения размеров наночастиц можно отнести методы электронной микроскопии, сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии. Но эти методы не позволяют производить анализ размеров частиц непосредственно в суспензии и требуют специальной подготовки проб, что значительно увеличивает время проведения измерений.

Известен метод фотонно-корреляционной спектроскопии (ФКС), который выгодно отличается от других оперативностью проведения измерений (около 1 мин. и менее), отсутствием необходимости подготовки проб при исследовании жидкофазных дисперсных систем, высокой точностью измерения размеров наночастиц для монодисперсных распределений. В работе проведена апробация метода ФКС для исследования суспензии наночастиц диоксида кремния (SiO_2).

Метод ФКС основан на регистрации интенсивности рассеянного суспензией оптического излучения, автокорреляционная характеристика флуктуаций которого связана экспоненциальной зависимостью с коэффициентом диффузии частиц в системе. В свою очередь, коэффициент диффузии определяется гидродинамическим радиусом частиц.

Для проведения исследований была изготовлена экспериментальная установка на основе волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо. Применение волоконно-оптических компонентов существенно уменьшило размеры и упростило монтаж установки, так при этом не требовалось проводить юстировку отдельных оптических компонентов, и почти полностью исключалась засветка фотоприемника излучением окружающей среды. Применение для исследования кювет малого объема (порядка 0,03 мл), позволило уменьшить влияние конвективных процессов на результат измерений.

Нахождение распределения размеров частиц суспензии по полученной функции автокорреляции является плохо обусловленной некорректной обратной задачей, которой присуща неустойчивость решений. Неустойчивость решения обратной задачи выражается в сильной зависимости решения от небольших изменений исходных данных. В пределах флуктуаций с наблюдаемыми данными примерно в равной мере согласуется множество возможных решений, включая и существенно отличные от истинного. Для получения решения был использован метод регуляризации Тихонова.

В качестве исследуемых образцов в работе использовались пробы суспензий наночастиц SiO_2 со средним диаметром частиц в диапазоне от 90 до 450 нм,

синтезированные методом гидролиза тетраэтоксисилана (ТЭОС) в этиловом спирте. Полученные результаты измерений сравнивались с данными электронной просвечивающей и сканирующей микроскопии.

Результаты проведенных измерений показали, что метод ФКС позволяет с высокой точностью измерять средний размер частиц в монодисперсных системах, однако ширина распределения частиц по размерам может существенно отличаться от данных электронной микроскопии.

В дальнейшем планируется проведение доработки данного метода, для повышения точности получения распределения частиц по размерам и распространение его для исследования других параметров суспензии (температура, вязкость, коэффициент преломления и др.), на базе заранее полученного распределения размеров частиц суспензии. Так же на основе полученных результатов планируется создание опытного образца прибора для измерения размеров наночастиц в суспензии методом ФКС.

УДК 666.223.9

СТЕКЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Дяденко М.В. (Белорусский государственный технологический университет)

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.А. Левицкий

(Белорусский государственный технологический университет)

Постановка проблемы. Оптическое стекловолокно состоит из световедущей жилы и двух (светоотражающей и защитной) оболочек. Основными изделиями из волоконной оптики являются: волоконно-оптические пластины, волоконно-оптические жгуты, фоконы и твистеры (поворотники).

В Республике Беларусь производство оптического стекловолокна осуществляется на РУП «Завод «Оптик», г. Лида. Для световедущей жилы предприятие производит стекло марки ТБФ-10, а для светоотражающей и защитной оболочек используются стекла марок ВО-50 и ВТО-73 соответственно, приобретаемые за рубежом (Россия).

Основными технологическими проблемами в области производства оптического стекловолокна являются:

- кристаллизация промышленного стекла марки ТБФ-10, которая приводит к значительным потерям информации при передаче ее по оптоволоконным линиям связи;
- необходимость уменьшения температуры проведения технологических операций, что позволит снизить диффузию красящих примесей в световедущую жилу и повысить коэффициент светопропускания;
- отсутствие возможности увеличения размеров светоотражающей оболочки при получении поворотников из-за появления мелких трещин у границ световедущая жила–оболочка в результате значительного расхождения показателей ТКЛР стекол марок ТБФ-10 и ВО-50;
- деформация световодов в производстве твистеров при повороте одной поверхности заготовки относительно противоположной на 180° в интервале температур $650\text{--}660^\circ\text{C}$, что обуславливает общее снижение передаваемой информации изделием.

Решение поставленных промышленных задач и проблем позволит повысить качество волоконно-оптических изделий, а также расширить научную и практическую базу в области производства оптического стекловолокна.

Таким образом, работа направлена на решение следующих задач: предупреждение фазового разделения в процессе вытягивания оптического стекловолокна, уменьшение показателя ТКЛР стекла для светоотражающей оболочки, смещение кривых вязкости стекол для световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек в низкотемпературную область.

Целью работы является разработка базовых составов стекол для световедущей жилы и оболочек многожильного оптического стекловолокна, устойчивых к кристаллизации в температурном интервале формования с заданным уровнем технологических и физико-химических характеристик.

Базовые положения исследования. Исследования фазового состава продуктов кристаллизации промышленного стекла марки ТБФ-10 показали, что в качестве основных кристаллических образований указанного стекла выступают фазы $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, TiO_2 (рутил) и Ba_2SiO_4 .

В качестве основы для исследования выбрана система $\text{BaO} - \text{La}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{ZrO}_2 - \text{Nb}_2\text{O}_5$, в которой содержание оксидов SiO_2 , B_2O_3 , ZrO_2 и Nb_2O_5 сохранялось постоянным и составляло 60%*.

На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что максимальная степень кристаллизации опытных стекол проявляется в области высоких концентраций оксида титана (15–25%), обусловленная образованием кристаллов TiO_2 (белая эмалевидная окраска) при синтезе стекол.

В связи с хорошей усваиваемостью La_2O_3 боросиликатными стеклами его использование в составе исследуемых стекол оказывает положительное влияние при добавлении оксида лантана до 11%. Увеличение количества La_2O_3 стимулирует появление интенсивной объемной кристаллизации опытных стекол с выделением в качестве основного продукта кристаллизации дисиликата лантана $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, а также приводит к увеличению «длины» стекла и снижению температуры начала размягчения, что ограничивает возможность качественного вытягивания стекловолокна. Положительные результаты получены для составов стекол, в которых содержание TiO_2 составляет 9–11%, а La_2O_3 – 8–10%.

С целью снижения кристаллизации опытных стекол в их состав вводились оксиды-модификаторы PbO , CaO , SrO , Al_2O_3 , WO_3 , Bi_2O_3 , Y_2O_3 , Gd_2O_3 . Определено, что наиболее эффективными для оптических стекол являются оксиды иттрия и вольфрама в количестве 1–3%, которые позволяют снизить склонность опытных стекол к кристаллизации и сохранить требуемый уровень технологических и физико-химических характеристик.

Совершенствование состава стекла для световедущей жилы привело к изменению его температурного интервала формования, что повлекло необходимость корректировки промышленных составов стекол марок ВО-50 и ВТО-73 по реологическим, оптическим и термическим свойствам.

Синтезирована серия опытных стекол для светоотражающей оболочки на основе системы $\text{K}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ с использованием планов Шеффе, ограниченной содержанием оксидов, %: SiO_2 65–80, B_2O_3 15–30 и K_2O 5–20. Полученные стекла характеризуются высокими температурами варки (1550–1600°C) и низкой температурой стеклования ($t_g=540$ –560°C).

Определен оптимальный состав, максимально отвечающий основным требованиям для стекол светоотражающей оболочки оптического стекловолокна. Проведено его модифицирование оксидами Al_2O_3 , BaO , CaO , MgO для достижения требуемого уровня их физико-химических характеристик: числовая апертура составляет не ниже 1,05, показатель преломления находится в интервале $n_D=1,45$ –1,50, значение ТКЛР – в пределах $\alpha=(65-73) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$. Исследуемые стекла обладают широким выработочным интервалом. Получен состав стекла для светоотражающей оболочки с комплексом необходимых свойств: устойчивый к кристаллизации в интервале температур 800–1000°C, характеризующийся широким выработочным интервалом, обладающий значением ТКЛР $\alpha=68 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$, показателя преломления – $n_D=1,49$.

* Здесь и далее по тексту, если не оговорено особо, указано молярное содержание, %.

В связи с необходимостью корректирования промышленного состава стекла для защитной оболочки синтезирована серия опытных стекол на основе системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, ограниченной содержанием, %: SiO_2 60–80, B_2O_3 5–25 и Na_2O 10–30. В качестве красителей использовались оксиды CoO , Cr_2O_3 и Mn_2O_3 , концентрации которых составляли 0,4–0,45 мас.%, введенных сверх 100%. В результате исследований получен состав стекла для защитной (окрашенной) оболочки оптического стекловолокна с требуемым уровнем физико-химических характеристик. Исследованиями по определению влияния концентрации и вида красителей на степень их диффузии выявлено, что наиболее легко диффундируемым является оксид кобальта. Уменьшение количества CoO ограничено необходимой степенью контрастности готового изделия, поэтому оптимальная его концентрация составляет 0,2–0,25 мас. %.

Практические результаты. По итогам работы разработаны составы стекол для оптического стекловолокна, что позволяет решить не только ряд необходимых технологических проблем и задач, но и увеличить количество рабочих мест за счет импортозамещения. Полученные составы стекол для оптического стекловолокна соответствуют нормативно-техническим и технологическим требованиям.

УДК 535.317

ДВУХЛИНЗОВЫЕ СКЛЕЕННЫЕ ОБЪЕКТИВЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.В. Ежова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.Н. Андреев

Краткое вступление, постановка проблемы. Двухлинзовые склеенные объективы находят широкое применение в различных областях приборостроения благодаря простой оптической схеме и оптимальным коррекционными возможностями.

В результате проведенных исследований установлено, что у двухлинзовых склеенных объективов со сферическими поверхностями при возможности выбора марок стекла возможна коррекция двух монохроматических аберраций и двух хроматических. При этом относительное отверстие не превышает 1:5, 1:4 при угловом поле $6^\circ \div 12^\circ$.

В большинстве случаев у двухлинзовых объективов исправлению подлежат сферическая аберрация, кома и хроматизм положения, при этом астигматизм остается неисправленным.

Цель работы. Рассмотреть методику расчета двухлинзовых склеенных объективов со асферической поверхностью второго порядка.

Базовые положения исследования. В качестве исходной оптической схемы выбирается плоско-выпуклая линза, склеенная из двояко-выпуклой и плоско-вогнутая линз из «хроматической» пары стекол, например ТК12-Ф1 или СТК9-ТФ4.

В дальнейшем, вводя асферизацию выпуклой сферической поверхности, добиваемся необходимой коррекции сферической аберрации. В случае необходимости путем «прогиба» компонента добиваемся исправления комы. Хроматические аберрации исправляются за счет введения «хроматической» поверхности склейки, которая не влияет на коррекцию монохроматических аберраций, в том числе и высшего порядка, благодаря чему и удается существенно повысить относительное отверстие объектива.

Промежуточные результаты. Были рассчитаны два двухлинзовых склеенных объектива: первый – с фокусным расстоянием 100 мм при относительном отверстии 1:2, а второй – с вынесенным входным зрачком и с фокусным расстоянием 100 мм при

относительном отверстии 1:5. Рассчитанные объективы имеют практическое дифракционное качество изображения для точки на оси.

Проведен аналитический обзор уже известных двухлинзовых склеенных объективов для сравнения, в ходе которого были сформулированы главные отличия рассчитанных двухлинзовых склеенных объективов от классических:

1. для линз использована «хроматическая» пара стекол;
2. первая выпуклая поверхность выполнена асферической.

Основной результат. В результате работы было показано, что использование одной асферической поверхности второго порядка и оптимального выбора оптических сред («хроматические» пары стекол) позволило создать двухлинзовые склеенные объективы с существенно увеличенным относительным отверстием и улучшенным качеством изображения, по сравнению с обычными двухлинзовыми склеенными объективами.

УДК 535.421

КОМПЬЮТЕРНЫЙ СИНТЕЗ ГОЛОГРАММ-ПРОЕКТОРОВ С ФОКУСИРОВАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧАЕМЫХ ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ С ОБЪЕКТИВОМ НЕВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

К.М. Ерастов

Научный руководитель – д.т.н., профессор С.Н. Корешев

В последнее время наряду с традиционной физической голографией, широко применяется цифровая голография, в которой синтез голографического поля осуществляется с помощью компьютерного моделирования. Суть процесса синтеза голограммы заключается в следующем: в компьютер вводится то изображение, голограмму которого мы хотим получить. Процесс формирования голографического поля (интерференции опорной и объектной волны) математически моделируется и рассчитывается с помощью специальной программы. Результатом расчетов будет распределение интенсивности в плоскости голограммы. Эти данные поступают на генератор изображений. Принцип его действия основан на формировании изображения в режиме растрового либо векторного сканирования за счет взаимодействия сфокусированного его оптической системой пятна актиничного излучения с материалом носителя голограммы в точно заданных участках рабочего поля устройства.

В настоящее время наибольшее распространение получили синтезированные голограммы Френеля, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с физическими голограммами и линзовыми системами.

В данной работе рассматривается другой вид синтезированных голограмм – голограммы сфокусированного изображения, которые работают в паре с объективом, что позволяет существенно упростить структуру голограммы и увеличить ее характеристический размер. Результатом компьютерного моделирования процесса распространения излучения через оптическую систему и интерференции прошедшего поля с опорной волной будет распределение интенсивности в плоскости изображения, то есть синтезированная голограмма. Причем за счет двойного прохождения поля сквозь систему появляется возможность получить полностью безабберационное поле, что позволяет использовать в данной схеме недорогой объектив невысокого качества.

В результате работы был создан и реализован алгоритм синтеза голограмм-проекторов сфокусированного изображения предназначенных для совместной работы с объективами невысокого качества.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПОСТРОЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ РАЗМЕРА ЭЛЕМЕНТА ФОТОЛИТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТ РАСФОКУСИРОВКИ И ЭКСПОЗИЦИИ (КРИВЫХ БОССУНГА)

Д.С. Завгородний

Научный руководитель – к.т.н., доцент Т.В. Иванова

Вступление. Фотолитография получила большое распространение в технике, благодаря точности, с которой воспроизводятся малые элементы при экспонировании фоторезиста. В процессе фотолитографии контролируется минимальный размер элемента, определяющий возможность наиболее точно воспроизвести схему на фоторезисте. Если рассматривать сечение фоторезиста, то можно, исходя из ширины на определенной высоте изображения, определить минимальный размер элемента. Способом, позволяющим определить оптимальное соотношение значений экспозиционной дозы и расфокусировки для обеспечения стабильной повторяемости элементов, является построение окон процессов и кривых Боссунга. Кривые Боссунга – график, отражающий зависимость минимального размера элемента от расфокусировки и экспозиционной дозы.

Цель работы. Целью работы является создание программы, моделирующей влияние расфокусировки и экспозиции на минимальный размер элемента и построение графиков зависимостей.

Базовые положения исследования. Необходимо решить следующие задачи:

- Моделирование формирования воздушного изображения в частично-когерентном свете.
- Моделирование влияния расфокусировки на воздушное изображение.
- Моделирование влияния экспозиции на фоторезист.
- Вычисление матрицы влияния различных значений экспозиции и расфокусировки на минимальный размер элемента.
- Построение графиков зависимостей минимального размера элемента от расфокусировки и экспозиции.

Примененные методы. Для моделирования формирования фотолитографического изображения в работе был использован метод интегрирования по источнику. Распределение интенсивности рассчитывается с помощью комплексных амплитуд поля, проходящего последовательно от источника, через предмет и оптическую систему. Итоговая интенсивность частично-когерентного изображения находится интегрированием по интенсивности когерентных изображений, полученных от каждой точки источника.

Влияние экспозиционной дозы на получаемое изображение реализуется с помощью порогового метода, который часто используется для упрощенного и быстрого моделирования влияния экспозиционной дозы. Суть его заключается в том, что для фоторезиста задается пороговое значение интенсивности. Если относительная интенсивность света в некой точке плоскости изображения будет меньше пороговой, то в результате процесса травления этот участок не будет вымыт с фоторезиста.

Основные результаты. В результате данной работы была разработана исследовательская программа, которая позволяет вычислять распределение интенсивности на изображении, и значение минимального размера элемента после экспозиционной дозы по заданным параметрам фотошаблона, источника и оптической системы. Для вычислений

задается начальное и конечное значение экспозиционной дозы, расфокусировки и шаг. По результатам вычислений строится график зависимости минимального размера элемента от расфокусировки и экспозиционной дозы.

УДК. 681.7.067.27

СВЕТОСИЛЬНЫЕ КИНОСЪЕМОЧНЫЕ ОБЪЕКТИВЫ

М.Е. Зацепина

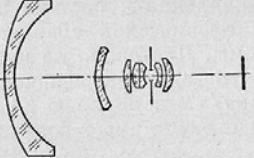
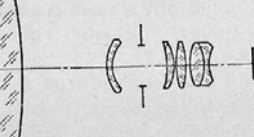
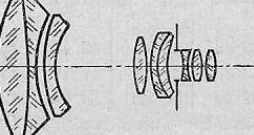
Научный руководитель – д.т.н., профессор М.Н. Сокольский

Краткое вступление, актуальность темы. В связи с продолжением расширения производства и выпуска кинофильмов и появления киносъемочных аппаратов на основе ПЗС- матриц значительное развитие получило производство киносъемочной оптики. Переход киностудий на производство цветных фильмов и появление киносъемочных аппаратов с зеркальным obtюратором поставили перед конструкторами-оптиками ряд новых задач: создание специальных конструкций объективов для съемки цветных фильмов на многослойной пленке, разработка объективов с удлиненным задним вершинным фокусным расстоянием, повышение относительного отверстия, угла поля зрения объективов и улучшение качества даваемого ими изображения.

В зависимости от условий эксплуатации, киносъемочные объективы могут быть разделены на следующие группы: 1) объективы для съемки обычных фильмов на 35-мм пленке; 2) объективы для съемки широкоформатных фильмов на 70-мм пленке; 3) объективы для съемки фильмов на 16-мм пленке; 4) специальные объективы.

Цель работы. Рассмотреть основные конструкции и характеристик киносъемочных объективов для съемки на 35-мм пленке. Провести анализ существующих методов расчета оптических систем.

Обзор, описание ситуации

Схема	Название	Параметры	Изменения
	OKC1-18-1	$f=18$ мм, 1:2.8	дополнительно введен двухлинзовый отрицательный компонент, система обладает достаточно хорошим исправлением сферической aberrации, астигматизма и внемеридиональной комы
	OKC1-22-1	$f=22$ мм, 1:2.8	исправлена сферическая aberrация и хроматическая aberrация увеличения, удовлетворительно исправлены астигматизм и дисторсия
	Киноруссар 2	$f=28$ мм, 1:2.8	объектив снабжен зеркальным obtюратором, заднее фокусное расстояние 31.5 мм
	объектив зарубежной фирмы «Тэйлор, Тэйлор и Гобсон»	$f=18$ мм, 1:1.7,	удлиненное вершинное фокусное расстояние 21,8 мм,

Существует несколько основных методов расчета, на выбор которых влияют многие обстоятельства – от личных предпочтений конструктора до характеристик оптических систем.

В противовес тригонометрическому методу расчета оптических систем, основанному на изучении результатов вычисления с помощью таблиц тригонометрических величин, существует второй метод расчета – алгебраический.

Алгебраический метод возник после того как на примере двухлинзового объектива выяснилась полная возможность расчета оптической системы исходя из формул для коэффициентов aberrаций третьего порядка.

Например, Д.С. Волосов решает задачу расчета сложных анастигматов следующим образом: 1) разделением коэффициентов aberrаций всей системы по ее составляющим сложным компонентам («половинкам»), т.е. выражением коэффициентов aberrаций системы через коэффициенты aberrаций комбинации X, 2) расчетом комбинации X самостоятельно, с последующим образованием сложной системы. Комбинацией X Д.С. Волосов называет комбинацию, состоящую из двух компонентов большей или меньшей сложности, разделенные воздушным промежутком, в котором расположена апертурная диафрагма.

Г.Г. Слюсарев предлагает расчет объектива выполнять алгебраическим методом с последующими улучшениями исходной системы на основании результатов контрольного тригонометрического расчета.

М.М. Русинов разделяет расчет оптической системы, обеспечивающий нужное качество изображения, на два этапа: выбор типа оптической системы и собственно расчет выбранной оптической системы.

Исследования. Параметры объективов должны соответствовать следующим значениям:

Геометрическое Относительное отверстие (max)	Кэфф. Свето-пропускания	Фотографическая разрешающая способность на пленке КН-1	Виньетирование на краю поля зрения	Дистанция съемки (min)	Диаметр передней линзы	Опорная поверхность
1:1.2	не менее 89%	55 штр./мм, ($y'=0$)	не более 50% ($y=12.25$ мм)	1'2"	не более 75 мм	52 мм от фокальной плоскости
		30 штр./мм, ($y'=12.25$)				

Качество изображения

	Точка на оси	Внеосевой пучок
Разрешение	50 лин/мм	25 лин/мм
Контраст	не менее 40%	не менее 30%
Дисторсия	не более 3%	

Вывод, какая задача ставится для последующего решения

Схема	Фирма	Параметры
	«Carl Zeiss»	$f'=35$ мм, 1:1.2, две асферические поверхности 8 линз
	ОАО «ЛОМО»	$f'=35$ мм, 1:1.2, без асферических поверхностей, 11 линз

Задача работы состоит в том, чтобы уменьшить габариты и вес объективов за счет введения асферических поверхностей, то есть выпустить объектив, содержащий вместо 11 линз восемь линз.

УДК 535.317.1

ЭЙКОНАЛ НЕЦЕНТРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.В. Зюзин, М.Г. Серикова

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.П. Смирнов

Методика расчёта оптических систем на первом этапе базируется на системе алгебраических уравнений, выбор которых связан с набором aberrаций третьего порядка, подлежащих исправлению. На втором этапе производится учёт толщин и aberrаций высших порядков и вычисление конструктивных параметров. На третьем этапе, на основании тригонометрического расчёта по соответствующим программам, осуществляется численная оценка aberrаций по критериям качества изображения, например, по частотно-контрастной характеристике.

Выбранные критерии качества изображения являются целевыми функциями, оптимизация которых осуществляется, автоматизировано в рамках выбранной программы расчёта. Кроме того, задача оптимизации обычно требует многократного расчёта хода лучей с возвратом к первому этапу расчёта. Это обычно длительный процесс, занимающий до 90% всего времени расчёта оптической системы. Предлагаемая методика призвана усовершенствовать процесс расчёта и оптимизации оптических систем.

Целью работы является разработка методики расчета оптических систем на основе точного выражения углового эйконала, не требующей операции доводки системы с помощью расчета хода лучей.

Предлагаемая методика позволяет решить следующие задачи:

1. Получение точных выражений частных производных углового эйконала для определения положения точек предмета и изображения.
2. Определение с помощью операций дифференцирования углового эйконала волновой и лучевых поперечных aberrаций в пространстве предмета и изображения.
3. Компенсация aberrаций децентрировки изменением наклона оптических поверхностей согласно расчетам по уравнению эйконала.
4. Апробация данной методики расчета оптике на конкретном примере.

Преимуществами данной методики являются отсутствие необходимости применения операции доводки системы с помощью расчета хода лучей, более широкие возможности анализа системы параксиальной оптики наклонных лучей, использование точных выражений aberrаций как целевых функций при оптимизации оптических систем.

В ходе работы в среде Mathcad создана программа для расчета оптики согласно предлагаемой методике и приведены результаты расчета на примере конкретной оптической системы.

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕОДНОРОДНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ СЛОЕВ

В.Ю. Иванов

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Т. Прокопенко

В настоящей работе рассматриваются теоретические аспекты макро- и микроскопического подходов к описанию поляризационно-оптических свойств неоднородных анизотропных поверхностных слоев элементов оптоэлектроники.

При описании оптических свойств тонкого ПС в рамках молекулярной теории отражения света Д.В. Сивухина параметры $\gamma_{x,y,z}$ связаны с поляризуемостью молекул α_j , где $j \equiv x, y, z$, в предположении, что оси наибольшей поляризуемости молекул ПС ориентированы перпендикулярно границе раздела сред.

При модификации структуры поверхности полупроводников и диэлектриков, например, ионными (электронными) пучками, возможно образование легкополяризуемых или высокопроводящих тонких ПС с деформацией энергетических зон, имеющих как пустые так и заполненные энергетические уровни поверхностных электронных состояний и отличающихся от энергетических уровней в глубине ПС. Для описания оптических свойств таких слоев используются комплексные квазимикроскопические параметры: поляризуемость слоя в вертикальном направлении $\alpha_{o,v}$ (размерность длины) и высокочастотная поверхностная проводимость $\beta_{o,v}$ (размерность скорости), которые связаны с нормальными составляющими векторов поляризации P_n и напряженности электрического поля E_n , а также с тангенциальными составляющими напряженности электрического поля $E_{x,y}$ и поверхностными токами $j_{x,y} = dP/dt$.

Учитывая особенности используемых модельных представлений о структуре ПС в рамках макро- и микроскопического рассмотрения задачи отражения поляризованного света, следует иметь в виду, что каждый из рассматриваемых методологических подходов будет отражать совокупность оптических свойств ПС характерную только выбранной модели неоднородной структуры ПС. При этом микроскопические параметры описывают в большей степени изменение оптических свойств в приповерхностной области слоя глубиной порядка 5–50 элементарных ячеек структуры исходного вещества, а эффективные параметры слоя – показатель преломления n^* и толщина слоя d^* – в пределах всего ПС. В этом случае необходимо установить границы применимости каждого из методологических подходов к описанию оптических свойств поверхностного слоя. Это можно выполнить на основе уравнения эллипсоидности, полученного в рамках обобщений теорий отражения поляризованного света Друде–Борна и Сивухина–Пикуса от неоднородного анизотропного слоя.

Таким образом, на основании полученных теоретических и экспериментальных исследований было показано, что применение метода последовательного корреляционного анализа позволяет установить истинную взаимосвязь между оптическими и концентрационными характеристиками элементного состава поверхностного слоя.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫПУСКА ЧЕРТЕЖА СКЛЕЕННОГО КОМПОНЕНТА

Д.В. Кашин

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Д. Толстоба

Краткое вступление, постановка проблемы. Большое распространение в оптике получили клеенные блоки из двух линз, изготовленные из стекол различных марок, основным преимуществом которых является хорошо исправленные сферические aberrации, хроматизм и кома.

В результате проведенных исследований установлено, что при оформлении чертежа клеенного компонента, системами автоматизированного проектирования (САПР), можно значительно ускорить процесс выпуска чертежей. Состоит отметить, что у всех этих систем есть один существенный недостаток, они больше направлены для штучного производства чертежей.

Цель работы. Создание пакета программ, позволяющего автоматизировать выпуск чертежа клеенного компонента.

Базовые положения исследования. Автоматизированный выпуск чертежа клеенного компонента включает в себя: рисование линзового блока по заданным параметрам, расстановка размеров, заполнение штампа и таблицы чертежа.

Промежуточные результаты. Для достижения данной цели были поставлены задачи:

1. Написание программы на основе существующих САПР.
2. Опрос пользователя производить из диалоговых окон, для удобства восприятия информации.
3. Создание чертежей удовлетворяющих требованиям ГОСТ 2.414-81.
4. После опроса пользователя, заполнять штамп и таблицу чертежа.
5. Загрузка оптической системы из файла, сохраненного в среде OPAL.
6. Подключение дополнительных функций, таких как: поворот детали, зеркальное отражение, масштабирование, рисование детали без рамки. Для включения детали в более сложные сборочные чертежи.

Проведен информационно – аналитический обзор уже существующих аналогов для выбора наиболее подходящей САПР, которая станет основой для разработки новой программы с учетом поставленных задач.

В настоящее время на рынке систем автоматизированного проектирования (САПР) существуют предложения систем низкого, среднего и верхнего уровня. К первым относятся, AutoCAD, Компас и им подобные. Вторые – SolidWorks, Inventor, PowerSHAPE, Tflex и т.п. Третьи – Pro | Engineer, CATIA, NX (Unigraphics). Каждая из групп отличаются от остальных степенью параметризации, функционалом и охватом сфер проектно-конструкторской и технологической деятельности предприятий авиа, машино и приборостроения.

Из вышеперечисленных систем выбран программный продукт фирмы Autodesk (AutoCAD 2009). Так как данный программный продукт содержит встроенный язык программирования связанный с рабочей средой AutoCAD.

Основной результат. Таким образом, в процессе работы был создан пакет программ, позволяющий создавать чертеж, удовлетворяющий всем требованиям к оформлению конструкторской документации.

Данную разработку можно использовать в качестве самостоятельного пакета программ или в качестве дополнения к программе CADoptix, созданной на кафедре ПиКО в СПбГУ ИТМО, а также применять как отдельный модуль для выполнения лабораторных работ студентов.

УДК 535.513.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА, ОТРАЖЕННОГО ПОЛИМЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

В.В. Козлов, И.В. Сайгин, М.А. Смуров
Научный руководитель – к.т.н., доцент В.А. Трофимов

Совершенствование защитных покрытий привело к разработке в 50-х годах прошлого века технологии порошковых покрытий обладающих высоким комплексом физико-механических и декоративных свойств.

Наряду с этими важными свойствами технология порошковой полимерной окраски характеризуется высокими экологическими показателями окрасочных производств, отличающихся малым выбросом в атмосферу растворителей, загрязненных сточных вод.

В настоящее время наибольшее применение нашла термореактивная порошковая краска, полимеризация которой протекает за счет взаимодействия реакционноспособных функциональных групп полимеров. Технология порошковых покрытий отличается низкой трудоемкостью и включает, условно, два действия – распыление на окрашиваемую поверхность в электростатическом поле порошка и полимеризация его в термокамере.

Атмосферостойкие свойства покрытий широко используются при изготовлении металлопластиковых деталей наружного оформления фасадов зданий различного назначения. Использование таких элементов в конструкциях наружного остекления зданий предполагает герметизацию соединения стекла и металла с помощью резиновой прокладки с силиконовым покрытием. В процессе подготовки окрашиваемой поверхности к нанесению защитного покрытия возможно попадание на эту поверхность силикона. При нанесении порошкового покрытия на поверхность покрытую силиконом резко снижаются физико-механические свойства покрытия. Особое неудобство состоит в том, что присутствие силикона на подготовленной к окраске поверхности невидимо невооруженным глазом.

Для разработки устройства позволяющего визуализировать присутствие силикона необходимо выявить информационный фактор характеризующий различие между чистой поверхностью и смазанной силиконом. Такого рода фактором может служить поляризация света отраженного соответствующими поверхностями.

Целью настоящей работы является исследование поляризации света отраженного поверхностями, покрытыми силиконом, и без такого покрытия.

Для решения поставленной задачи с помощью классического поляриметра выполнены измерения зависимости первых двух параметров Стокса, отраженного исследуемым образцом излучения, от азимута поляризации линейно поляризованного излучения в падающем луче. Измерения выполнены для восьми образцов отличающихся маркой порошкового покрытия и присутствием на поверхности образца силикона. Исследование выявило очевидное различие, как первого, так и второго параметров Стокса позволяющее достоверно определить присутствие силикона на отражающей поверхности.

Установленное различие позволяет использовать его в качестве информационного фактора при разработке устройства контроля присутствия на окрашиваемой поверхности силикона, резко снижающего качество защитного покрытия.

ШТРИХОВОЕ КОДИРОВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ РЕЙКИ

Г.В. Колесников (Новосибирский государственный технический университет)

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.С. Гибин
(Новосибирский государственный технический университет)

Введение. С конца 80-х годов за рубежом активно разрабатываются методы автоматизации оптического нивелирования, использующие систему «штрихкод – регистрирующий прибор». Подобные методы используются в электронных нивелирах и позволяют значительно повысить точность измерений, производительность, а также избавиться от «человеческого» фактора. В России названный класс геодезических приборов не выпускается, хотя элементная и технологическая базы есть.

Цель работы. Целью данной работы является разработка метода штрихового кодирования нивелирной рейки. Практическое значение работы состоит в возможности её использования при создании электронного нивелира.

Требования к коду рейки. Существующие иностранные производители электронных нивелиров используют различные способы построения кода рейки. Так коды Leica и Sokkia основаны на псевдослучайной последовательности; рейка Topcon содержит опорный сигнал и штриховые элементы, пропорциональные двум функциям синуса [1, 2].

Главное требование к коду рейки – обеспечение однозначного прецизионного считывания текущего значения высоты по фрагменту штрихкода, вне зависимости от удаленности регистрирующего прибора (т.е. масштаба изображения). Кроме этого, код должен выполнять свои функции в условиях помех, как то препятствия, частично закрывающие рейку или тень от них. Желательна адаптация кода для алгоритмов последующей обработки и вычисления высоты.

Штриховое кодирование нивелирной рейки. Для штрихового кодирования рейки предлагается использовать циклический код, кодовые комбинации которого на рейке являются метками высоты. Вся последовательность рейки строится с помощью циклического сдвига и арифметических операций над несколькими predetermined кодовыми комбинациями, что позволяет достичь псевдо-непрерывного расположения отсчетов.

Геометрические параметры графического представления элементов кода выбираются для уверенного считывания внутри большей части рабочего диапазона дальностей прибора. Для работы в «ближней» зоне (до 6–8 метров), когда поле зрения прибора менее одной кодовой комбинации, штрихкод рейки модулируется дополнительным кодом. Штриховые символы дополнительного кода имеют значительно меньшие размеры, чем элементы основной кодовой последовательности, и не разрешаются прибором вне «ближней» зоны.

Было разработано два варианта штрихкодированной рейки: на основе двоичного циклического кода ЦК(7,4) и на основе кода Рида-Соломона РС(7,3). Фрагмент штрихкода, основанного на двоичном циклическом коде, представлен на рисунке 1. Здесь A_1 , A_2 , A_3 ... – кодовые комбинации, и одновременно, метки высоты.

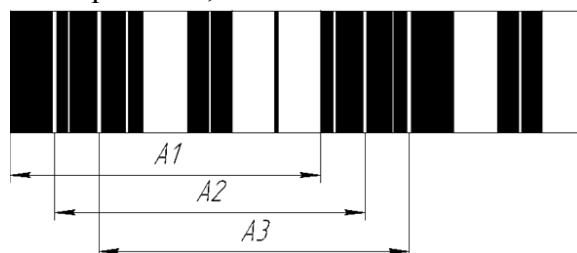


Рис. 1. Фрагмент разработанного штрихкода

С разработанными образцами штрихкодов был проведен эксперимент [3], в результате которого была подтверждена возможность их использования в электронном нивелировании. Также при проведении практической работы были протестированы основные функциональные блоки алгоритма обработки изображения штрихкода.

Выводы. В результате работы предложен способ штрихового кодирования нивелирной рейки. Разработаны два варианта штрихкодовой последовательности, основанные на коде Рида-Соломона и двоичном циклическом коде. Предложена структура алгоритма обработки принятого изображения штрихкода, а также способы вычисления положения текущего отсчета точнее элемента МФПУ регистрирующего прибора. Проведен практический эксперимент [3], результаты которого подтвердили, что предложенный метод штрихового кодирования нивелирной рейки работоспособен и может быть использован в электронном нивелировании либо в оптико-электронных линейных датчиках.

Литература

1. Deumlich F., Steiger R. Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. 9.,voellig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg. – 2002.
2. Колесников Г.В. Обзор: методы кодирования нивелирных реек. Сборник научных трудов НГТУ, Новосибирск; Изд-во НГТУ. – 2009. – Вып. 2 (56). – С. 115–120.
3. Колесников Г.В. К вопросу автоматизации измерения превышений. Известия ВУЗов: Геодезия и аэрофотосъемка. Москва. – 2010. – №1. – С. 6–10.

УДК 681.7.06.07

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ РАСЧЕТА ОПТИКИ С СИСТЕМАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.К. Колпаков

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Д. Толстоба

Краткое вступление, постановка проблемы. Программы для расчета оптических систем позволяют сформировать выходной файл с результатами. Однако, объемный и трудоемкий процесс использования этих данных при построении чертежей в системах автоматизированного проектирования никак не автоматизирован. Создание программы, позволяющей использовать рассчитанные данные от систем проектирования оптики в САД-системах и обеспечивающей их автоматизированную загрузку, позволит сократить время на выпуск конструкторской документации.

Цель работы. Исследование возможности использования расчетных данных различных систем для последующей обработки без использования самих расчетных программ (по экспортным данным).

Реализация взаимодействия системы расчета оптики и системы автоматизированного конструирования на примере программ ОПАЛ и КОМПАС.

Базовые положения исследования. Каждая из исследуемых программ для расчета оптических систем предполагает возможность записи результата расчета в некоторый результирующий файл. Системы автоматизированного проектирования предоставляют инструменты для возможности создания прикладных программ на их основе сторонним разработчикам.

Промежуточные результаты. Проведен обзор формата выходных данных нескольких систем (ОПАЛ, САРО, CODE V, ZEMAX). Выяснилось, что рассчитанные данные в выходном файле имеют упорядоченную структуру логическое деление по группам:

- конструктивные параметры системы;
- информация о спектральном диапазоне работы оптической системы;
- параметры предмета;
- параметры изображения;
- информация о диафрагме (входном зрачке), ее размере и положении;
- информация о задней или передней апертуре.

Для использования полученных из расчетной системы данных, была разработана специальная структура для их хранения. Каждый элемент оптической системы представляет собой объект класса, инкапсулируемый все характеризующие его свойства.

Создав абстрактные типы данных (классы) для каждого типа элементов оптической системы, реализована аналогия с реальной конструкцией оптической системы, а также новый подход к созданию чертежного документа.

Основной результат. В результате проделанной работы был создан программный продукт, переводящий конечные данные из программы для расчета оптической системы в нужный формат для последующей их обработки и использования в системе автоматизированного проектирования на примере программ ОПАЛ и КОМПАС.

Стало ясным, что технологических препятствий для реализации программного модуля, имеющего своей целью связывать конечные данные расчета оптической системы с САПР, не существует.

УДК 535.17

ПОЛОЖЕНИЕ ВХОДНОГО ЗРАЧКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗ ДВУХ ОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ИЗОПЛАНАТИЧЕСКОЙ И АНАСТИГМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ПЕРВИЧНЫХ АБЕРРАЦИЙ

С.С. Комов

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Зверев

В результате анализа зависимости абберационных свойств оптической системы из двух отражающих поверхностей сферической формы от положения входного зрачка и коэффициента центрального экранирования зрачка по диаметру показано, что существует такое положение зрачка, при котором отсутствует в изображении кома, и два положения зрачка, при которых отсутствует астигматизм изображения. При первом положении зрачка получаем изопланатическую коррекцию aberrаций. В этом случае, поместив во входном зрачке двухзеркальной системы, например, пластинку с несферической поверхностью, позволяющей компенсировать остаточную сферическую aberrацию, получаем оптическую систему с апланатической коррекцией aberrаций образованного ею изображения. Показано, что если двухлинзовый афокальный компенсатор остаточных сферической aberrации и комы расположить в одном из двух названных зрачков, то в этом случае получаем оптическую систему, формирующую изображение, свободное не только от сферической aberrации и комы, но и от астигматизма. Показано также, что если принять коэффициент центрального экранирования равным 0,382, то построенную рассмотренным способом систему по коррекции aberrаций можно отнести к апланатическим плананастигматам. Однако, длина такой системы заметно больше, чем у апланатического анастигмата.

КООПЕРАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИТТЕРБИЙ-ЭРБИЕВОЙ СВИНЦОВОФТОРОСИЛИКАТНОЙ НАНОСТЕКЛОКЕРАМИКЕ

А.В. Клементьева, Е.В. Корчагин
Научный руководитель – с.н.с. В.А. Асеев

Вступление. В последнее время в оптическом материаловедении уделяется особое внимание стеклокерамическим материалам. По своим свойствам они занимают промежуточное положение между кристаллическими и стеклообразными материалами. Наностеклокерамические материалы, активированные ионами редкоземельных элементов представляют большой интерес в качестве сред для лазеров и оптических усилителей. Особый интерес представляют собой материалы, активированные ионами эрбия, поскольку основной лазерный переход лежит в безопасном для глаз диапазоне, а также в третьем окне прозрачности оптического кварцевого волокна. Одним из основных недостатков оптических материалов, активированных эрбием, является крайне низкая эффективность возбуждения ионов Er^{3+} из-за относительно слабых полос поглощения. Для решения этой проблемы в качестве сенситизатора добавляют ионы Yb^{3+} , которые имеют сильную полосу поглощения в области 0,9–1,02 мкм. Для стеклокерамических материалов эффективность переноса энергии возбуждения с ионов иттербия на ионы эрбия, как и их спектрально-люминесцентные свойства, сильно зависит от параметров вторичной термообработки.

Цель работы. Целью работы явилось исследование влияния длительности термообработки и концентрации ионов эрбия на вероятность безызлучательного переноса энергии с иттербия на эрбий в прозрачной свинцовофторосиликатной наностеклокерамике.

Базовые положения исследования. В работе исследовались образцы стеклокерамики свинцовофторосиликатной системы $30\text{SiO}_2\text{-}18\text{PbF}_2\text{-}15\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}5\text{ZnF}_2\text{-}29\text{CdF}_2\text{-}3\text{YF}_3$ (мол %), активированной ErF_3 и YbF_3 . Содержание ErF_3 составляло 0.05 мол.%, 0.1 мол.%, 0.2 мол.% и 0.5 мол.%, YbF_3 составляло 5 мол.%. Образование нанокристаллов иттриевого оксифторида свинца и переход редкоземельных ионов в кристаллическую фазу достигались при помощи вторичной термообработки стекла. Главная задача такой обработки – создать относительно большую объемную долю наноразмерных кристаллов.

Характеристические температуры были определены на основании данных дифференциального термического анализа (ДТА). Температура термообработки ($T=515^\circ\text{C}$) была выбрана в начале первого пика кристаллизации, который соответствовал выделению первой кристаллической фазы фторидов свинца в стеклах, активированных ионами Er^{3+} и Yb^{3+} .

Промежуточные результаты. При увеличении концентрации ионов активаторов вероятность переноса энергии возрастает, так как при увеличении концентраций расстояния между ионами уменьшаются. Это приводит к увеличению вероятности безызлучательного переноса энергии с иттербия на эрбий. Такая зависимость характерна как для исходных стекол, так и для стеклокерамики при всех рассмотренных временах термообработки.

Вторичная термообработка приводит к уменьшению вероятности передачи возбуждения.

Основной результат. В ходе работы было показано, что в результате термообработки в объеме стекла выделяется нанокристаллическая фаза состава PbYOF_3 . Размер кристаллической фазы меняется в зависимости от режима термообработки от 16 до 40 нм. Однако было выяснено, что вторичная термообработка приводит к уменьшению вероятности безызлучательного переноса энергии с уровня $^4\text{F}_{5/2}$ иттербия на метастабильный уровень $^4\text{I}_{11/2}$ эрбия. Исходя из этого, можно заключить, что эрбий и иттербий в процессе вторичной термообработки входят в различные нанокристаллические фазы.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЁМНЫХ КАНАЛОВ ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ю.В. Коченьков

(Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.А. Лейченко

(Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева)

Лазерная локация представляет собой активно развивающуюся область оптико-электронного приборостроения. Лазерные локационные системы (ЛЛС) позволяют определять с высокой точностью дальность до объекта, его скорость и координаты, профиль прозрачности атмосферы, и решать ряд других задач. Важной характеристикой этих приборов является их дальность действия. Современные тенденции развития ЛЛС, связанные с увеличением дальности действия и точности измерений при ограничениях по массогабаритным параметрам и энергопотреблению требует мер по повышению чувствительности приёмных каналов. В работе рассмотрены вопросы реализации наилучшей в заданных условиях эксплуатации (температура и фоновая обстановка) пороговой чувствительности фотоприёмных устройств (ФПУ) с лавинными фотодиодами (ЛФД) при заданных допустимых искажениях сигнала на выходе, а также вопросы построения ФПУ с ЛФД, обеспечивающих требуемую вероятность ложной тревоги в заданных условиях эксплуатации.

УДК 535.015

НАНОКРИСТАЛЛЫ CuCl В СТЁКЛАХ СИСТЕМЫ $K_2O-Al_2O_3-B_2O_3$. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Д.А. Кочетков

Научный руководитель – д.х.н., профессор В.А. Цехомский

Получены стёкла системы $K_2O-Al_2O_3-B_2O_3$, определено влияние фосфора и термической обработки на механизм выделения кристаллов CuCl.

Методом оптической спектроскопии показано выделение кристаллов CuCl из матричного стекла путём обнаружения экситонов кристаллов в области 370нм.

Определено влияние фосфора и термообработки на размер кристаллов CuCl.

Стёкла являются перспективными для изготовления фильтров с крутой границей поглощения, представляют интерес благодаря нелинейным свойствам.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ВСЕВОЗМОЖНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С.А. Красильников

Научный руководитель – д.т.н. профессор А.В. Демин

Насущной проблемой на сегодняшний день является автоматизация расчета различных параметров и характеристик всевозможных оптических систем. Подобные средства представляют существенный интерес для ряда областей промышленности и техники.

Современные технологии все чаще требуют точного и детального расчета, исследования и построения той или иной оптической системы линз. Поэтому вопрос автоматизации этого процесса встает как никогда остро. Кроме того, что он позволит в более сжатые сроки спроектировать систему, а точность и достоверность расчетов повысится на порядок. Экономические преимущества автоматизированного проектирования тоже имеют далеко не последнее значение.

В настоящее время существует множество способов расчета различных оптических систем. Так же разнообразны средства, которые используются для этих целей. Но наиболее универсальным методом на сегодняшний день является способ расчета системы с применением матричной оптики. Сама по себе матричная оптика представляет собой математический аппарат для расчета оптических систем различной сложности, а вкупе с соответствующим программным обеспечением, реализующим ее принципы, она может стать мощным средством для автоматизированного числового и графического расчета сложных оптических систем.

В настоящее время не существует универсального программного комплекса, который бы решал задачи автоматизации расчета оптических систем, поэтому проводимые исследования в области синтеза оптических систем с помощью методов матричной оптики, помогут систематизировать имеющиеся методы расчета, подвести их под общий базис и создать универсальное программное средство для автоматизированного синтеза оптических систем с расчетом всех их параметров.

Целью работы является систематизация имеющихся методов построения и расчета сложных оптических систем с помощью методов матричной оптики и создание программной модели обобщенной системы, в которой бы учитывались все параметры, определяющие основные характеристики оптической системы, а также попытка определения критериев оптимальности для проектирования такой системы.

ЛАЗЕРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОСТОЯННОЙ ВЕРДЕ

К.Ю. Кузнецов, А.А. Горбенко, В.Ю. Осипенкова

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.А. Трофимов

Стабильность работы, широко используемых в лазерной технике модуляторов Фарадея, зависит от стабильности параметров определяющих магнитооптический эффект. Одним из таких факторов является температура, определяющая линейное расширение активного элемента и значение постоянной Верде. Учет этого влияния особо важен при необходимости обеспечения высоких значений коэффициента модуляции. Как правило, для выполнения этого условия приходится увеличивать ток в соленоиде модулирующей ячейки, рассеиваемая при этом мощность приводит к значительному повышению температуры активного элемента. Изменение температуры, кроме влияния на наведенный дихроизм, может привести

к анизотропии активного элемента, что приводит к существенным погрешностям в измерительных системах.

Измерение параметров поляризации света прошедшего ячейку Фарадея может быть осуществлено с помощью классических схем эллипсометрии, основанных на прямом фотодетектировании сигналов. Однако процесс измерения трудоемок и при необходимости выполнения фазовых измерений усложняется необходимостью введения в измерительную схему компенсатора. Автоматизация процесса измерения при этом сложна и дорогостояща.

Цель настоящей работы состоит в разработке лабораторного стенда обеспечивающего исследование динамики физических процессов в активном элементе ячейки Фарадея при изменении его температуры, методом когерентного детектирования.

В основу измерительного стенда может быть положена модифицированная схема двухлучевого интерферометра Майкельсона, в одном из плеч которого, установлен линейный поляризатор. При освещении интерферометра произвольно полностью поляризованным светом, в соответствии с принципом Френеля-Араго, на выходе интерферометра наблюдаются две интерференционные картины, каждая из которых образована одноименными составляющими ортогонального разложения исходной поляризации. Распределение интенсивности в наблюдаемых интерференционных картинах содержит полную информацию о состоянии исходной поляризации. Пространственно-временное преобразование информации методом когерентного детектирования позволяет перенести искомую информацию из светового диапазона в радиочастотный диапазон электромагнитных колебаний. Несложные преобразования электрических сигналов позволяют получить информацию об отношении амплитуд и разности фаз ортогональных компонент исходной поляризации света.

Предварительное макетирование схемы измерений показало ее работоспособность и выявило ряд положительных качеств, к которым можно отнести простоту организации измерений, высокую производительность и низкую их себестоимость. Амплитудно-фазовые изменения поляризации света прошедшего активный элемент ячейки Фарадея вызванные изменением его температуры могут быть зарегистрированы в динамике.

УДК 535.212

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ В As_2S_3 НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

М.А. Лесик, А.В. Поволоцкая (Санкт-Петербургский государственный университет)

Научный руководитель – к.ф.-м.н. А.А. Маньшина

(Санкт-Петербургский государственный университет)

Лазерная запись информации осуществляется за счет структурных изменений оптических материалов, индуцированных под воздействием лазерного излучения. Следствием фотоиндуцированного изменения химической структуры является локальное изменение оптических параметров материала (показателя преломления, коэффициента поглощения и т.д.). Исследования показали, что лазерная запись может быть осуществлена практически в любых типах оптических материалов, например, в кристаллах, полимерах и стеклах [1].

Халькогенидные стекла представляют собой стеклообразные системы на основе халькогенов: сера, селен, теллур. Данный класс стекол относится к числу материалов, перспективных для применения в качестве оптических сред для создания элементов интегральной оптики и оптоэлектроники, главным образом благодаря их склонности к изменению структуры под воздействием лазерного излучения. Также, варьируя состав

халькогенидного стекла, можно добиться значительного смещения границ области прозрачности.

Эффективность лазерной записи информации напрямую зависит от плотности записи элементов, а соответственно главной задачей является минимизация размеров точечных дефектов, создаваемых лазерным излучением. Размер модифицированной области в значительной степени зависит от механизмов структурных изменений.

Всего выделяют 2 основных механизма структурных изменений: фотолитический и термический. Фотолитический механизм – это нетермический процесс реорганизации структуры, то есть, в результате поглощения энергии лазерного излучения материалом, происходит нарушение исходной химической структуры стекла и образование новых связей. Термический механизм связан с локальным плавлением вещества и последующим затвердеванием. Как правило, данный механизм характеризуется большим размером области модификации (это происходит вследствие термической диффузии). Зачастую тип механизма структурных изменений не зависит от метода записи, будь то многофотонное поглощение (нелинейная запись) или однофотонное (линейная запись). В действительности, под воздействием лазерного излучения могут реализовываться оба механизма. Для того чтобы сделать заключение в пользу одного из механизмов, необходимо произвести дополнительные исследования для определенного оптического материала и параметров лазерного излучения.

Целью работы являлось создание структурных модификаций в объеме халькогенидного стекла As_2S_3 под воздействием лазерного излучения и исследование влияния параметров лазерного излучения (длина волны, мощность лазерного излучения), а также времени оптического воздействия на эффективность лазерной записи информации.

В качестве источников лазерного излучения для реализации линейной записи использовался: полупроводниковый лазер (660 нм) и лазер на кристалле АИГ:Nd (генерация второй гармоники, 532 нм); для нелинейной – фемтосекундный твердотельный лазер на Ti:сапфире (800 нм, частота следования импульсов 80 МГц).

При линейной записи на обеих длинах волн были созданы структурные изменения при фиксированных и одинаковых условиях (мощность лазерного излучения и время воздействия). При нелинейной записи были записаны структуры при различных условиях: 1) при разном времени облучения [2] и 2) при разных мощностях лазерного излучения. Из полученных микрофотографий можно сделать вывод, что при уменьшении дозы облучения размер модифицированных областей удается минимизировать.

Чтобы сделать выводы о возможных механизмах (термических или нетермических) и оценить температуру в области лазерного воздействия, развивающихся при записи структурных элементов, было решено уравнение теплопроводности. Также в ходе работы было произведено моделирование температурного профиля в области лазерного воздействия для различных параметров лазерного излучения и времени воздействия. Если предположить, что наблюдаемые структурные изменения вызваны термическими эффектами, то на уровне температуры плавления As_2S_3 , можно произвести теоретическую оценку ширины записанных структур. При сравнении «теоретической ширины» с шириной экспериментально записанной структуры, могут быть сделаны выводы о доминирующих механизмах записи.

Обнаружено, что при линейной записи на длине волны 532 нм реализуются термические механизмы, а при записи на длине волны 660 нм нетермические процессы. Это может быть объяснено тем, что поглощение As_2S_3 на длине волны 532 нм во много раз превышает поглощение на длине волны 660 нм.

Считается, что в результате воздействия фемтосекундного лазерного излучения процессы структурных изменений носят нетермический характер. Однако в ходе работы было показано, что в случае нелинейной записи при больших дозах облучения образца относительно лазерного излучения наиболее вероятен термический механизм структурных

изменений, а при меньших доминирующим процессом является, скорей всего, фотолитический разрыв связей.

Это может быть вызвано высокой частотой следования импульсов (80 МГц), в результате чего, по-видимому, происходит аккумуляция энергии в локальной области, если скорость «получения энергии» превосходит скорость термической диффузии. Тогда в области лазерного воздействия может достигаться температура плавления вещества и, соответственно, увеличение области структурных изменений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 08-03-92001-ННС_a.

Литература

1. E. N. Glezer, M. Milosavljevic, L. Huang, R. J. Finlay, T.-H. Her, J. P. Callan, and E. Mazur «Three-dimensional optical storage inside transparent materials» Optical Letters. – 1996. – V.21. – p. 2023.
2. Лесик М.А., Аверина А.В., Шимко А.А., Маньшина А.А. Модификация структуры халькогенидных стеклообразных полупроводников под воздействием фемтосекундного лазерного излучения. // Оптический журнал . – 2009. – Том 76. – №1. – С. 57–60.

УДК 658

ОЦЕНКА ИЗОПЛАНАТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИКРООБЪЕКТИВОВ

А.А. Литвинович

Научный руководитель – д.т.н., профессор С.М. Латыев

Краткое вступление, постановка проблемы. В работе описывается метод, позволяющий определить размеры изопланатических зон в поле зрения оптической системы, по цифровому изображению, даваемому микрообъективами. В настоящее время на ОАО «ЛОМО» ведется разработка нового серийного исследовательского биологического микроскопа «БИОЛАМ-И1», в рамках которой остро стал вопрос, о возможности использования микрообъективов серийного микроскопа «МЕТАМ-ЛВ» для работы с окулярным полем зрения до 25 мм и увеличением микрообъективов от 5 до 100 крат.

Цель работы. Для подтверждения возможности использования микрообъективов «МЕТАМ-ЛВ» необходимо провести оценку их характеристик на соответствие коррекции типа план при использовании двух видов освещения полихроматическом и квазимонохроматическом.

Базовые положения исследования. В основе метода лежит оценка качества изображения в микроскопе по светораспределению в изображении края полуплоскости. Функция рассеяния, а так же значения аберраций оптической системы вычисляются по цифровому изображению края полуплоскости. Нахождение изопланатических зон построено на утверждении о том, что в пределах одной зоны функция рассеяния меняется незначительно.

Промежуточные результаты. Сформулированы следующие требования к набору объективов:

1. Возможность работы с окулярным полем зрения до 25 мм.
2. Ряд увеличений $5\times$, $10\times$, $20\times$, $50\times$ и $100\times$.
3. Наличие планахроматической коррекции.

Работа велась с реальными изображениями, регистрируемыми 14 мегапиксельными матрицами цифрового фотоаппарата, размер матрицы которого соответствовал размеру кадра 24×36 мм, на штативе микроскопа «МИКМЕД-2». Производилась их математическая

обработка различными методами, а так же математическое моделирование генерации изображения виртуальных тест объектов этими объективами.

В работе освещены вопросы ухудшения качества изображения при использовании передискретизации, приведены рекомендации для построения оптических систем микроскопов и приборов контроля уже имеющихся систем. Произведен обзор имеющихся методов и приборов контроля качества изображения и изопланатических свойств в частности.

Основной результат. В результате проведенного исследования была подтверждена возможность использования микрообъективов микроскопа «МЕТАМ-ЛВ» в составе исследовательского биологического микроскопа «БИОЛАМ-И1» с сохранением планахроматической коррекции аберраций. Метод был использован на ОАО «ЛОМО» и может быть также использован как в условиях исследовательской лаборатории иного предприятия, так и в его цеховых условиях.

УДК 537.311.322

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЛАЗЕРНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ПРОЗРАЧНЫХ ПЛЕНОК

В.В. Манухов, И.В. Гончар

(Северо-Западный государственный заочный технический университет)

Научный руководитель – д.ф.-м.н. А.Б. Федорцов

(Северо-Западный государственный заочный технический университет)

В ряде экспериментов необходимо изменять угол падения луча лазера на плоскую поверхность в некоторых пределах. Например, при лазерном интерференционном измерении толщины прозрачных и слабо поглощающих пленок [1–3, 6]. Метод измерения основан на том, что вследствие интерференции коэффициент отражения света пленкой описывается функцией, периодической углу его падения на поверхность пленки. Обычно для измерения толщины пленок, слоев или мембран используется интерференция в них видимого или инфракрасного излучения. При этом интерферируют лучи, один из которых отражен лицевой, а другой – тыльной поверхностями пленки. Принцип измерений основан на том, что отражение и пропускание света пленкой вследствие интерференции зависит от соотношения между ее оптической толщиной и длиной волны зондирующего излучения λ . Коэффициент отражения света пленкой Q описывается достаточно громоздкой функцией. Эта функция является периодической по любому из трех аргументов: длине волны зондирующего излучения λ , толщине пленки t и углу падения зондирующего луча на пленку Θ , при рассмотрении двух других в качестве параметров. Профессором Мори (университет г. Иокогама, Япония) было предложено [1] снимать зависимость коэффициента отражения лазерного луча от угла его падения на пленку $Q(\Theta)$ в широком диапазоне углов.

Ранее были созданы приборы [2, 3], позволяющие быстро изменять угол падения луча лазера на неподвижный образец в некоторой точке. Однако эти устройства содержат малодоступные эллиптические зеркала, что делает приборы весьма дорогостоящим. Нами были разработаны и собраны два аналогичных устройства, в которых вместо эллиптических зеркал используются линзы и сферические зеркала, что значительно уменьшает их стоимость.

Работа одного из предлагаемых приборов [4] осуществляется следующим образом: луч лазера падает в точку, расположенную на оси плоского вращающегося зеркала и лежащую на его поверхности. Отражившись от зеркала, луч последовательно (вследствие непрерывного вращения зеркала) скользит по поверхности одной из линз, все время преломляясь под разными углами в одну и ту же точку образца, являющуюся оптически сопряженной точке

падения луча лазера. Отраженный от образца луч, пройдя через вторую линзу, попадает на фотоприемник, находящийся в точке оптически сопряженной точке падения луча на образец. Диапазон изменения угла падения луча лазера определяется положением краев линз, относительно измеряемой точки образца. На практике из-за значительных аберраций приходится использовать линзы с очень малым фокусным расстоянием (порядка 10мм). Мы добились того, что диапазон углов отклонения лазерного луча составил около 36–37°.

Однако описанный прибор невозможно применять при работе с ИК лазером, так как стекло, из которого делаются линзы, сильно поглощает в ИК области. Для преодоления этого недостатка нами был предложен и построен подобный прибор с использованием сферических зеркал, которые намного дешевле эллиптических. Работа этого устройства осуществляется аналогичным образом. При этом первое сферическое зеркало установлено так, что точка падения луча лазера на поверхность плоского вращающегося зеркала оптически сопряжена точке падения отраженного луча на образец (точке, в которой производятся измерения). Второе сферическое зеркало расположено так, что точка образца, в которой производятся измерения, оптически сопряжена точке, в которой находится фотоприемник.

Аберрации при использовании сферических зеркал примерно в 8 раз меньше, чем при использовании линз [5]. Следовательно, фокусное расстояние и размер используемых зеркал могут быть больше, чем аналогичные параметры для линз. В собранном нами приборе изменение угла отклонения луча составило 40°.

Несмотря на то, что предложенные приборы обладают некоторыми недостатками по сравнению с прототипом (меньший диапазон углов отклонения луча, смещение точки падения луча вследствие аберраций) их применение в ряде случаев целесообразно из экономических соображений.

Литература

1. T. Nosoko, Y.H. Mori, T. Nagata Improved interferometer for measuring unsteady film thickness// *Review of scientific instruments*. – 1996. – Т.67. – №8. – С. 2685–2690.
2. Быстрое измерение угловой зависимости коэффициента отражения лазерного луча неподвижным образцом. А.С. Иванов, Д.Г. Летенко, И.А. Торчинский, А.Б. Федорцов, Ю.В. Чуркин // *Приборы и техника эксперимента*. – 1991. – №4. – С. 222–224.
3. A fast operating device for measuring the thickness of transparent solid and liquid films. A.B. Fedortsov, D.G. Letenko, Yu.V. Churkin, I.A. Torchinsky, A.S. Ivanov // *Review of scientific instruments*. – 1992. – Т.63. – №7. – С. 3597–3582.
4. Федорцов А.Б. Пат. РФ.; № 2102702; Заявл. 08.07.94; Опубл. 20.01.98. Бюл. №2.
5. Сикорук Л.Л. Телескопы для любителей астрономии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1989.
6. Griffiths C.L., Weeks K.J. Optical monitoring of molecular beam epitaxy growth of AlN/GaN using single-wave length laser interferometry: A simple method of tracking real-time changes in growth rate.// *Journal of Vacuum Science & Technology B*. – 2007. – Т.25. – В.3. – С. 1066–1071.

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБЪЕКТИВА С АФОКАЛЬНОЙ ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВОЙ НАСАДКОЙ

О.И. Мартынов

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Зверев

В результате анализа показано, что простейшим, но весьма эффективным компенсатором сферической aberrации изображения, образованного сферической отражающей поверхностью, может служить плоскопараллельная пластинка, расположенная в сходящемся пучке лучей. Показано, что если оптическую систему, состоящую из вогнутой отражающей поверхности сферической формы и плоскопараллельной пластинки, дополнить выпуклой отражающей поверхностью сферической формы, образовав афокальную систему, то получим систему, формирующую изображение, свободное не только от сферической aberrации, но и от комы. При этом пропорционально коэффициенту центрального экранирования уменьшается и требуемая толщина пластинки. Полученная таким образом оптическая система применена в качестве афокальной насадки к линзовому объективу при построении компактного телеобъектива.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРКАПТАНОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В РЕЖИМЕ «IN SITU»

К.Ю. Мединская (Санкт-Петербургский государственный университет)

Научный руководитель – к.х.н., доцент А.В. Булатов

(Санкт-Петербургский государственный университет)

Одной из приоритетных задач экоаналитического контроля атмосферного воздуха в зоне воздействия предприятий химической, целлюлозно-бумажной и металлургической промышленности является определение в нем меркаптанов. Для определения меркаптанов в воздухе широкое распространение нашли хроматографические и масс-спектрометрические методики. Известные методики требуют применения дорогостоящего оборудования и доставки отобранных проб в лабораторию для последующего анализа, что практически исключает возможность проведения оперативного экологического мониторинга воздушных сред.

Цель данной работы – разработка высокочувствительной методики определения меркаптанов в атмосферном воздухе в режиме «in situ» (в полевых условиях).

Для этого разработана схема выделения и концентрирования меркаптанов из атмосферного воздуха, предполагающая их адсорбцию на хроматографической колонке, в которой в качестве неподвижной фазы выступает щелочной раствор хлорида кадмия, удерживаемый на стекловолочке. Для элюирования выделенных меркаптанов и их последующего фотометрического определения впервые предложено использовать раствор солянокислого йодкрахмального ассоциата.

Разработана не имеющая аналогов методика фотометрического определения меркаптанов в атмосферном воздухе с диапазоном определяемых концентраций от 0,5 до 7,5 мкг/м³.

Предлагаемая методика предназначена для использования в мобильных лабораториях, осуществляющих контроль качества атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны в режиме «in situ». При определении меркаптанов по предлагаемой методике расходными материалами являются одноразовые колонки для выделения меркаптанов и соответствующие тест-реагенты, производство которых может быть рассмотрено в качестве варианта коммерциализации проекта.

МЕТОД ОБРАБОТКИ ДИФРАКЦИОННЫХ КАРТИН ФРАУНГОФЕРА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

В.М. Михайлов

Научный руководитель – к.т.н., доцент Иванов А.Н.

Представленная работа посвящена разработке новых алгоритмов цифровой обработки дифракционных картин, которые позволят увеличить точность методов дифракционного контроля.

Определение размера объекта по дифракционной картине Фраунгофера заключается в том, что по функции пространственного распределения интенсивности $I(x)$ определяются координаты её характерных точек – минимумов, максимумов, точек перегиба. Затем определяется коэффициент, связывающий эти координаты с размером объекта. Обычно в качестве характерных точек используют минимумы дифракционной картины, но такой метод сильно ограничен тем, что точно определить координаты этих точек очень трудно – чувствительность сигнала dI/dx в их окрестности близка к 0. Именно эта ошибка в определении координат является доминирующей в методах дифракционного контроля и сильно ограничивает их точность, особенно когда размер объекта меньше 100 мкм.

Для решения указанной проблемы мы предлагаем использовать другие характерные точки дифракционной картины – точки перегиба. Исследование дифракционной картины от щели, которая описывается функцией $I(X) = (\sin(X)/X)^2$, где $X = k a x/2f$, a – ширина щели, k – волновое число, f – фокусное расстояние объектива, показало, что главный максимум имеет две таких точки с координатами $X_2 = 1.303$ и $X_1 = -1.303$. Чувствительность сигнала $I(X)$ в этих точках имеет максимальное значение $dI/dx \approx 0.54$. Чтобы точно определить координаты этих точек, необходимо вычислить функцию $I_2(X) = d^2 I(X)/d X^2$ и приравняв её к 0, найти решение получившегося уравнения.

Для проверки предложенного алгоритма была собрана экспериментальная установка, состоящая из лазера КЛМ-532, устройства для выделения одной из поперечных мод лазера, спектральной щели с шагом раскрытия 1 мкм, объектива, выполняющего преобразование фурье с $f = 25$ мм и ПЗС-камеры с разрешением 792×576 пиксела. В ходе эксперимента мы регистрировали дифракционные картины от щели, ширина которой изменялась в диапазоне от 80 до 120 мкм с шагом 5 мкм. Зарегистрированные максимумы дифракционных картин численно дифференцировались два раза, что позволяло надежно определить координаты их точек перегиба x . Разность координат этих точек $\Delta x = x_2 - x_1$ связана с известной из расчетов разностью $\Delta X = X_2 - X_1$ простой зависимостью $\Delta X = k a \Delta x/2f$, из которой теперь можно определить ширину щели a . Полученные таким образом значения сравнивались с заданными. Относительная погрешность измерения оказалась в районе 1%. Достаточно большая полученная погрешность может быть объяснена несовершенством экспериментальной установки, в частности трудностью обеспечить работу лазера в одномодовом режиме.

В заключении необходимо отметить, что нами был предложен алгоритм цифровой обработки дифракционных картин. Его преимуществом над существующими алгоритмами является использование точек перегиба главного максимума дифракционной картины, обладающими высокой чувствительностью к изменению размера объекта. Несложные преобразования исходного измерительного сигнала позволяют надежно и с хорошей точностью определить их координаты. Кроме того, центральный максимум менее подвержен влиянию высокочастотного шума, возникающего при рассеянии излучения на микродефектах оптических элементов измерительной схемы. Данный алгоритм удобен для контроля объектов малого размера, когда на площадку ПЗС приемника укладывается только главный максимум дифракционной картины.

РАЗРАБОТКА ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ПЛОСКОГО ЗЕРКАЛА

Р.М. Муслахова

Научный руководитель – доцент Г.В. Егоров

Вступление. В оптических приборах применяются различные зеркала: плоские, сферические и более сложных форм. Достоинствами зеркал по сравнению с призмами и линзами являются относительная простота изготовления, что позволяет получать большие размеры зеркал. Плоские зеркала с наружным покрытием вообще оказывают наименьшее влияние на качество изображения, отсутствует хроматическая аберрация. В данной работе используется зеркало из стекла К8, с наружным отражающим покрытием из Al.

Иногда для решения сложных задач требуется качающееся зеркало. Для поворота зеркала необходимо наличие: рычага, винтового механизма, осевой системы (оправа на валу). В данной работе разработано поворотное устройство для качающегося зеркала.

Цель работы. В данной работе требовалось произвести структурный и функциональный анализ схемы поворотного устройства. На основе полученных результатов было разработано поворотное устройство плоского зеркала.

Начальные параметры разработки поворотного устройства. Поворотное устройство плоского зеркала включает: шаговый двигатель, винтовой механизм, рычажного механизма, качающееся плоское зеркало.

Диапазон работы устройства, град.		от -5 до +5
Точность функционирования, угл. мин.	0,3	
Шаг шагового двигателя, град.	1,8	
Диаметр светового пучка, мм	60	
Высота падения светового пучка, мм	165	
Положения оси качания	вертикальное.	

Примененные методы. В данной работе приведен структурный и функциональный анализ схемы информационной цепи поворотного устройства плоского зеркала (ПУЗ) и цепи его привода. По данным схемам выявлены первичные погрешностей и произведена суммарная погрешность измерительной цепи ПУЗ.

Основные результаты. В результате работы было разработано поворотное устройство плоского зеркала. Особенностью конструкции механизма является его модульность, что позволяет осуществлять сборку и юстировку отдельных элементов конструкции поэтапно. Данный принцип устройства используется для поверки автоколлимационных приборов.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОГНУТОЙ ПРОПУСКАЮЩЕЙ ГОЛОГРАММНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Э.Р. Муслимов (Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Н.К. Павлычева

(Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева)

Оптические схемы современных спектральных приборов, как правило, основаны на отражательных вогнутых дифракционных решетках. В тоже время в последние годы возрос интерес к пропускающим дифракционным решеткам, обусловленный успехами в технологии их изготовления, а также, в ряде случаев, простотой конструктивных решений на основе таких решеток.

В связи с этим представляется актуальным теоретическое исследование абберационных свойств пропускающих дифракционных решеток и их коррекционных возможностей.

Наибольшее применение в современных разработках нашли вогнутые голограммные дифракционные решетки. Голограммная дифракционная решетка представляет собой зарегистрированную на светочувствительном материале интерференционную картину, образованную двумя когерентными пучками света. Записывающие когерентные пучки получают, разделяя светоделительными зеркалами излучение лазера. При этом форма штрихов и расстояние между ними определяются положением записывающих источников и длиной волны записи. Такая решетка обладает большими коррекционными возможностями в силу наличия пяти коррекционных параметров – четырех координат источников записи и длины волны записи. Кроме того, голограммные дифракционные решетки могут иметь большие размеры и большее число штрихов по сравнению с нарезными, а также характеризуются меньшим уровнем рассеянного света. В ходе исследования полагалось, что технология изготовления отражательных и пропускающих решеток одинакова.

Для исследования абберационных и фокусирующих свойств пропускающей вогнутой дифракционной решетки, как и в случае вогнутой отражательной решетки, рассмотренном ранее другими авторами, использовалась абберационная (характеристическая) функция. Она представляет собой разложение в ряд функции оптического пути луча, выходящего из центра входной щели и дифрагированного в произвольной точке на поверхности решетки. В полученном разложении каждый член характеризует определенную абберацию.

Из условия равенства нулю соответствующих членов разложения были записаны условия минимизации дефокусировки на плоскости по всему спектру и коррекции астигматизма и меридиональной комы для средней длины волны. После ряда преобразований записана система уравнений, определяющих параметры спектрографа с плоским полем на основе пропускающей вогнутой голограммной дифракционной решетки.

Анализ полученных соотношений показывает, что в схемах нормального падения, которые наиболее удобны в данном случае, нельзя получить фокусировку для действительной входной щели. Таким образом, решетка должна устанавливаться в сходящемся пучке, формируемом некоторой предшествующей оптической системой. В качестве такой системы также может быть использован астрономический объектив или отражательная дифракционная решетка, кроме того, существует возможность использования специальной дополнительной осветительной системы.

При помощи полученного математического аппарата рассчитаны схемы спектрографов для видимого диапазона и ближнего ультрафиолета. Показано, что такие приборы позволяют получить достаточно высокое качество изображения, в том числе при достаточно больших (до 1:3) значениях относительного отверстия, что соответствует большой светосиле прибора. В последнем случае остаточная дефокусировка может устраняться при помощи корректирующей цилиндрической линзы. Также рассмотрен случай, когда входной щелью

спектрографа на основе вогнутой пропускающей голограммной дифракционной решетки является изображение щели, получаемое в нулевом порядке отражательной дифракционной решетки. При этом условия компенсации aberrаций первой решетки записываются аналогично на основе aberrационной функции.

В целом в ходе исследования получены выражения, определяющие фокусирующие и aberrационные свойства вогнутой пропускающей голограммной дифракционной решетки, найдены условия коррекции aberrаций спектральных приборов на основе такой решетки. В качестве демонстрации методики рассчитано несколько схем подобных приборов. Например, рассчитан спектрограф для диапазона 400-800 нм на основе дифракционной решетки радиусом 250 мм с частотой штрихов в вершине 300 мм^{-1} , обладающий следующими характеристиками: длина спектра 30,05 мм, обратная линейная дисперсия 12,953 нм/мм, разрешение 0,015 мм, что соответствует спектральному разрешению 0,194 нм.

УДК 535.8

ФАЗО-КОМПЕНСИРУЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ

Г.В. Никандров

Научный руководитель – д.т.н., профессор Э.С. Путилин

В моей работе исследуются фазо-компенсирующие покрытия. Это такие покрытия, у которых с изменением оптической толщины одного или нескольких слоев, значение энергетического коэффициента отражения, в одной или интервале длин волн, не должно меняться.

Ранее покрытия в основном выполняли только одну функцию: изменение энергетических характеристик излучения. Но им можно придать дополнительные функции, связанные с формированием фронта световой волны, например, исправление дефектов подложки, исправление aberrаций, получение длиннофокусных сферических и параболических зеркал, создание асферических поверхностей и другие. При этом необходимо, разумеется, чтобы присоединение второй функции не приводило к существенному ухудшению первой.

Наиболее явная сфера применения фазо-компенсирующих покрытий – для асферических поверхностей. При создании асферических поверхностей используется механическая обработка, а также нанесение дополнительного слоя вещества методом термического испарения диэлектриков в вакууме. Требования к покрытиям для задач вакуумной асферизации: многослойное диэлектрическое покрытие не должно изменять фазу отраженного или прошедшего излучения для одной длины волны или в широком спектральном диапазоне, что обеспечивают фазо-компенсирующие покрытия. При этом по сравнению с механической обработкой, достигается очень высокая точность.

Достаточно перспективным видится применение фазо-компенсирующих покрытий в лазерных резонаторах. Там, при многократном отражении, фронт световой волны не изменяется. Для получения максимальной энергии желательно на выходе получить плоский фронт. Эту задачу можно решить при помощи фазо-компенсирующих покрытий. При этом может отпасть необходимость в использовании дорогостоящих усилителей.

Целью работы является разработка технологического процесса создания фазо-компенсирующих покрытий. Вначале необходимо было проанализировать применимость данных покрытий для каждой из выбранных областей. После чего необходимо было определить закон, описывающий процесс изготовления фазо-компенсирующих покрытий. Поняв характер распределения, необходимо было понять влияние технологической оснастки на формирование покрытия. В результате работы было изготовлено несколько опытных образцов, разработана схема контроля градиентных покрытий и проанализированы полученные результаты.

Так же в ходе работы решалась важнейшая задача в области градиентных покрытий: разработка аналитического метода определения параметров технологической оснастки для получения фазо-компенсирующих покрытий с параметрами, максимально приближенными к заданным. Ранее подобные задачи решались опытным путем.

УДК 535.421

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ-ПРОЕКТОРОВ

О.В. Никаноров

Научный руководитель – д.т.н., профессор С.Н. Корешев

В современной литературе, имеются сведения о разработках голографических фотолитографических систем на основе практически всех известных видов голограмм. Из них наиболее заманчивым представляется вариант, основанный на использовании синтезированных голограмм-проекторов, рассчитываемых с помощью компьютера и отображаемых на носителе с помощью лазерных, либо электронно-лучевых генераторов изображения. При его практической реализации основные трудности вызывают процессы синтеза и отображения на носителе голограммной структуры. Сложность синтеза голограмм-проекторов обуславливается, в первую очередь, необходимостью предельно точного математического описания процесса формирования голографического поля, а также необходимостью минимизации влияния присущего цифровым голограммам дискретного представления объектного транспаранта и синтезированной голограммы на качество восстанавливаемых с их помощью изображений. В свою очередь, трудности отображения рассчитанных структур связаны с более высокими требованиями, предъявляемыми к используемым для этой цели генераторам изображений, по сравнению с требованиями, предъявляемыми к ним при изготовлении соответствующих фотошаблонов.

Использование генераторов изображений, разрешение которых определяется диаметром фокального пятна используемого в них излучения, приводит к ограничению размера характеристического элемента голограммы-проектора. Из-за этого получаемые с их помощью голограммные структуры обладают относительно малой предельной пространственной частотой, что приводит к ограничению допустимого значения угла падения восстанавливающего пучка. В результате, при практической реализации метода голографической фотолитографии возникают трудности во взаимном расположении оптической системы, формирующей изображение, и покрытой фоторезистом обрабатываемой пластины.

Цель данной работы заключалась в поиске условий обеспечивающих увеличение допустимого угла падения восстанавливающего пучка при использовании синтезированных голограмм проекторов с относительно малой несущей пространственной частотой.

При ее достижении мы основывались на результатах анализа, проведенного в частотном пространстве для случая внеосевой дискретной голограммы с наклонным опорным пучком, в ходе которого была выявлена обусловленная дискретностью голограммы мультипликация спектра восстановленного поля. Использование этой мультипликации, не приводящей к появлению аберраций в восстановленном изображении, позволяет восстанавливать безаберрационное изображение объекта при большем, по сравнению с опорным пучком, угле падения на голограмму восстанавливающего пучка лучей и, таким образом, позволяет устранить отмеченные выше трудности. Возможность восстановления синтезированной голограммы при угле падения восстанавливающей волны, превышающем угол падения опорной волны, была проверена нами экспериментально. Эксперименты, выполненные нами с помощью разработанного ранее программного комплекса синтеза и цифрового восстановления голограмм-проекторов, а также непосредственно в лазерном

излучении, в ходе работ по практической реализации голографического варианта фотолитографического процесса, осуществляемого с помощью синтезированной голограммы – проектора, показали принципиальную возможность и эффективность предлагаемого метода восстановления синтезированных голограмм.

УДК 681.7.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПРИЕМНИКА ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ИНТЕРФЕРОГРАММ НА ТОЧНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

Е.А. Никулина

Научный руководитель – д.т.н., профессор М.А. Ган (НПК «ГОИ им. С.И. Вавилова»)

Известны различные методы восстановления топографии волнового фронта по интерферограммам. Метод обратного преобразования Фурье (метод цифровой голографии) позволяет восстановить волновой фронт по одной интерферограмме. Метод заключается в вычислении спектра интерферограмм при помощи прямого преобразования Фурье, выделении несущей частоты интерферограммы, а затем в обратном преобразовании Фурье.

Наиболее распространенным методом восстановления волнового фронта является метод фазовых шагов. Записывается серия интерферограмм, в которых фаза одного из интерферирующих пучков изменяется на известную величину. Волновой фронт можно восстановить по изменению интенсивности в каждом пикселе изображения различными способами. В нашей работе мы исследовали наиболее популярные методы расчета с количеством шагов 3, 4, 5, 7 и фазовым шагом $\pi/2$.

Точность восстановления фазы волнового фронта весьма существенна как для точности восстановления волнового фронта, так и для точности определения самой поверхности, что особенно важно в ультрафиолетовых и глубоких ультрафиолетовых областях.

Интенсивность при регистрации интерферограмм можно описать формулой: $I = V^\gamma$, где V реальная интенсивность, а γ показатель линейности приемника. Случай $\gamma=1$ соответствует линейной экспозиции, т.е. экспозиция находится в пределах линейного участка характеристической кривой.

Исследования показали, что с ростом γ ошибка расчета в методе Фурье резко возрастает, а при высокой концентрации полос возникает ошибка в аппроксимации восстановленной карты фазы. В таких случаях даже в условиях моделирования сложно выявить ошибку расчета, следовательно, расчет становится не возможен.

Основным источником ошибок при восстановлении фазы методом фазовых шагов, как известно, являются вибрации. Однако нелинейность приемника так же может стать причиной ошибок. Следовательно, необходимо учитывать оба этих фактора.

Исследование ошибки восстановления фазы, обусловленной исключительно нелинейностью источника, показало, что она не зависит от числа полос на интерферограмме. Впрочем, при увеличении концентрации полос локальные ошибки так же сливаются в неизвестную ошибку по фазовому полю.

Исследование влияния увеличения показателя гаммакоррекции на величину ошибки для разных методов показало, что для всех методов с количеством кадров больше трех ошибка расчета увеличивается на одинаковую величину.

Полученные результаты позволяют установить допуски на нелинейность приемника при регистрации интерферограмм.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ АП-КОНВЕРСИОННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ИОНОВ ЭРБИЯ

Р.К. Нурыев

Научный руководитель – н.с. В.А. Асеев

Актуальной проблемой, на сегодняшний день, является измерение температуры. Большинство датчиков температуры, таких как термопреобразователи сопротивления и термоэлектрические преобразователи, обладает рядом серьезных недостатков, среди которых необходимость введения датчика в контролируемую среду, в результате чего происходит искажение исследуемого температурного поля. Кроме того, непосредственное воздействие среды на датчик ухудшает стабильность его характеристик, особенно при высоких и сверхвысоких температурах и в агрессивных средах. От этих недостатков свободны температурные датчики, основанные на стеклах, активированных ионами редкоземельных элементов. Они относятся к классу цветковых пирометров и применяются там, где использование других видов температурных датчиков невозможно или крайне нежелательно.

Целью настоящей работы являлось исследование ап-конверсионной люминесценции ионов эрбия в теллуритных и силикатных стеклах с различной концентрацией ионов-активаторов при изменении температуры.

В работе исследовалось влияние нагрева на люминесцентные характеристики иттербий-эрбиевого стекла. Были синтезированы теллуритные и силикатные стекла, активированные ионами эрбия, и проведены исследования влияния на них температуры при различных концентрациях ионов активаторов. Для теллуритных стекол концентрации ионов эрбия составляли $0,112 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, $0,317 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, $1,140 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, для силикатных – $0,26 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, $0,56 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, $1,12 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, $2,26 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Образцы представляют собой полированные плоскопараллельные пластины толщиной 2 мм.

Спектр люминесценции получался путем облучения образца, помещенного в термоячейку, полупроводниковым источником когерентного излучения с длиной волны $\lambda_{\text{pump}} = 980 \text{ нм}$. Спектр люминесценции регистрировался в диапазоне от 500 нм до 580 нм при изменении температуры от 25°C до 200°C с шагом в 10°C .

В ходе проведения работы было показано, что при увеличении температуры максимумы интенсивности люминесценции на 523 нм и на 547 нм смещаются друг относительно друга. Это объясняется тем, что нагревание приводит к термическому перераспределению возбуждений между уровнями $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{9/2}$ и $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{9/2}$. При этом отношение максимумов пиков люминесценции возрастает при увеличении температуры, что объясняется увеличением миграции, и как следствие растет количество безызлучательных переходов. Также повышение температуры увеличивает тушение на примесях, что объясняет постепенное уменьшение интенсивности люминесценции. Зависимость отношения пиков люминесценции от температуры имеет линейный характер для всех концентраций как теллуритных, так и силикатных стекол. Полученные результаты можно использовать для создания температурных датчиков на основе стекол, активированных ионами редкоземельных элементов.

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ZnS НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ЕГО ОСНОВЕ ZnS:Cu,Cl ЛЮМИНОФОРОВ

К.А. Огурцов, А.В. Князев

(Санкт–Петербургский государственный технологический институт
(технический университет))

Научный руководитель – к.х.н., доцент М.М. Сычев

(Санкт–Петербургский государственный технологический институт
(технический университет))

Введение. Вещества, люминесцирующие под действием разного рода возбуждений, называют люминофорами. Важнейшими люминофорами являются твердые неорганические вещества с немолекулярным строением, т.н. кристаллофосфоры. Возникновение у кристаллофосфоров люминесцентных свойств связано с образованием в кристаллической решетке соединения – основы люминофора – структурных и примесных дефектов. Собственные структурные дефекты (вакансии, междоузельные атомы) являются следствием термического дефектообразования, отклонения от стехиометрии в процессе получения вещества. Люминесценция, обусловленная такими нарушениями, называется *самоактивированной*. Примесные дефекты появляются при легировании матрицы, с их появлением возникает *активированная* люминесценция, а сами примеси называют активаторами [1]. Повышение яркости люминофоров за счет увеличения растворимости активатора в основе люминофора является важной задачей в этой области.

Электролюминесцентные источники света (ЭЛИС) все шире используются в приборостроительной, машиностроительной, автомобильной, авиационной, космической технике и в быту [2]. ЭЛИС представляют собой многослойные конденсаторы, включающие различные функциональные слои. Такие устройства могут работать на переменном и постоянном токе.

Постановка задачи. Целью работы является исследование яркостных и спектральных характеристик электролюминофоров ZnS:Cu,Cl с различной концентрацией активатора (Cu), а также установление влияния на эти характеристики предварительной обработки ZnS электронами и ударным воздействием.

Примененные методы. Были синтезированы 3 серии ZnS:Cu,Cl люминофоров с различной концентрацией вводимой в шихту меди. Концентрация меди варьировалась от 0.2 до 0.75% масс. Синтез проводили в корундовых тиглях под слоем активированного угля БАУ при температуре 950°C в течение 90 минут. При этом в первой серии образцов использовался ZnS без какой либо обработки, во второй серии ZnS был модифицирован путем воздействия на него электронного луча. Для модифицирования использовалась установка на базе промышленного среднеэнергетического ускорителя электронов резонансно-трансформаторного типа РТЭ-1В. Для третьей серии образцов ZnS был предварительно подвержен ударному воздействию.

Функциональные слои ЭЛИС формировали на основе связующего – каучука – методом шликерного литья. При изготовлении паст–суспензий использовали растворы каучука в ацетоне и функциональные наполнители. В качестве подложки с прозрачным электродом использовали стекло с нанесенным проводящим слоем SnO₂. Функциональными наполнителям люминесцентного слоя являлись перечисленные люминофоры, диэлектрического слоя – BaTiO₃. Непрозрачный проводящий слой получали нанесением графитовой суспензии (аквадага).

Основные результаты. Видно, что у люминофора, синтезированного из облученного электронами ZnS, спектр смещается в длинноволновую область с уменьшением интенсивности пика при 450 нм. Это можно объяснить тем, что облучение ZnS электронами приводит к образованию в его структуре точечных дефектов (вакансий цинка и серы) куда при синтезе люминофора легче встраиваются медь и галоген (хлор). А по литературным данным известно, что в цинк-сульфидных люминофорах пара медь в узле цинка – галоген в узле серы дает «зеленые» центры свечения (500...520 нм) [3].

Тогда как в случае люминофора, синтезированного из ZnS подверженного ударному воздействию, наоборот, спектр смещается в более коротковолновую область с уменьшением интенсивности пика при 500 нм. Вероятно, это происходит из-за того, что ударная обработка ZnS приводит к искажению его структуры и образованию большего числа межплоскостных дефектов, куда при синтезе люминофора встраивается медь. А пара медь в узле цинка – медь в междоузлии дает «синие» центры свечения (450 нм) [3].

Люминофоры, синтезированные из облученного электронами ZnS имеет более высокую яркость при большей оптимальной концентрации меди в шихте. Как говорилось ранее, обработка ZnS электронами улучшает внедрение меди в узлы решетки ZnS, тем самым увеличивая количество «зеленых» центров свечения и как следствие повышается яркость люминесценции.

Люминофоры, синтезированные из ZnS обработанного ударным воздействием, обладают меньшей яркостью, чем люминофоры с облученным ZnS и ZnS без обработки. Это видимо, связано с возможным загрязнением люминофора, а также с слишком сильной дефектностью ZnS, которая не компенсируется термообработкой при синтезе люминофора.

Вывод. Обработка ZnS электронами повышает яркость синтезированных из него люминофоров и смещает спектр люминесценции в «зеленую» область. Обработка ZnS ударным воздействием видимо увеличивает дефектность кристалла ZnS, что приводит к смещению спектра люминесценции в «синюю» область. Из-за этой же повышенной дефектности ZnS вероятно и не растет яркость люминесценции готовых люминофоров.

Литература

1. Дефекты структуры и физические свойства кристаллов. Г.В. Семенова, Т.П. Сушкова. Учебно-методическое пособие. – 2007. – 51 с.
2. Верещагин И.К., Ковалев Б.А. Электролюминесцентные источники света. – М.: Энергоатомиздат. – 1990. – 167 с.
3. Казанкин О.Н., Пекерман Ф.М., Петошина Л.Н. Электролюминофоры на основе сульфида цинка и сульфида–селенида цинка. //Тр. гос. института прикладной химии. – 1960. – Вып. 43 – С. 46–71.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛОСКО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПЛАСТИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУСТОРОННЕЙ ОБРАБОТКИ

Ю.В. Пасько

Научный руководитель – Б.Н. Острун (ЗАО «Опто-технологическая лаборатория»)

Двусторонняя обработка, которую иногда называют планетарной, уже не является новой технологией, так как она давно уже используется в металлообрабатывающей и электронной промышленности, а её применение в оптическом производстве пробовалось с переменным успехом. Последние годы метод двусторонней обработки применяется для двусторонней полировки высококачественных оптических деталей. Таким образом, двусторонняя шлифовка и двусторонняя полировка являются привлекательной и выгодной альтернативой обычной шлифовки и полировки плоскопараллельных пластин.

Равномерная обработка всей поверхности, одновременно с двух сторон пластины, уменьшает характерное отклонение обрабатываемых поверхностей, которое возникает из-за различных физико-химических процессов, кинематических особенностей станка и износа инструмента (так называемого эффекта Таймана), причиной которого является различное давление на поверхность характерное для традиционного метода обработки, из-за выхода блока с деталями за край инструмента.

Цель работы – усовершенствовать технологии изготовления плоско-параллельных пластин с применением двусторонней обработки.

Для достижения данной цели была поставлена следующая задача: подобрать режимы изготовления плоско-параллельных пластин из фтористого кальция таким образом, чтобы получить пластины с клиновидностью 2" и плоскостность 1 интерференционное кольцо.

Особенности двухсторонней обработки заключаются в следующем:

1. Исключение достаточно трудоемкой операции блокировки/разблокировки.
2. Исключение операции промывки от наклеенных смол.
3. Автоматически обеспечивается практически нулевая клиновидность, исключая необходимость посадки на контакт деталей с точной клиновидностью.
4. За счет одинакового нагрева обеих поверхностей обрабатываемых деталей, исключается деформация деталей при остывании, и, как следствие, можно легко получать точную форму поверхности.
5. Увеличивается производительность труда при изготовлении плоскопараллельных пластин.
6. За счет уменьшения количества операций, уменьшается процент брака.

Таким образом, применяя существующие специальные станки можно достигнуть высокой степени автоматизации и эффективности серийного и крупносерийного производства.

Однако следует учитывать высокую стоимость таких станков. Поскольку станки необходимо применять только в паре шлифовка-полировка, становится понятно, что приобретение соответствующего оборудования может себе позволить только достаточно крупное предприятие. Кроме того, специфика современного оптического рынка такова, что основным спросом пользуется мелкосерийная и единичная продукция. Именно поэтому на этом рынке работает большее, чем где-либо количество малых предприятий, которые не могут приобретать дорогостоящие серийные станки, да и к тому же это экономически нецелесообразно для мелкосерийной продукции.

Основное оборудование на таких предприятиях должно быть универсальным, так как номенклатура изделий исключительно разнообразна.

Поэтому основная задача данной разработки – совместить преимущества метода двусторонней обработки с универсальностью оборудования.

Эта задача решается разработкой специального устройства на обычный универсальный шлифовально-полировальный станок.

Наша задача – подобрать максимально возможные скорость и давление до растрескивания деталей.

В результате проделанной работы были подобраны оптимальные режимы обработки плоскопараллельных пластин из фтористого кальция на новом универсальном оборудовании, также были получены плоскопараллельные пластины с клиновидностью 2" и плоскостностью 1 интерференционное кольцо.

УДК 621.385.2

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

Е.В. Попова

Научный руководитель – ст. преподаватель С.С. Гвоздев

В настоящее время все большее распространение в мире получают светодиоды или светоизлучающие диоды (LED – light emitting diodes) [1].

Кроме высокой световой отдачи (у мощных светодиодов до 100 лм/Вт в диапазоне холодного белого цвета, а в естественном и теплом белом диапазонах 85 или 80 лм/Вт соответственно), способности работать при очень слабых значениях тока (от 20 до 30 мА) и низком напряжении (12V и 24V); что, естественно, предопределяет их низкое энергопотребление, составляющее не более 10% электроэнергии, необходимой для работы люминесцентных ламп, и около 5% от потребления при использовании ламп накаливания и возможности получения любого цвета излучения, светодиоды обладают рядом других свойств и качеств:

- большой срок использования: отсутствие нити накала благодаря нетепловой природе излучения светодиодов обуславливает срок службы до 100 тысяч часов, или 11 лет непрерывной работы, – срок, сравнимый с жизненным циклом многих осветительных узлов;
- прочность: отсутствие стеклянной колбы определяет очень высокую механическую прочность и надежность;
- безопасность: малое тепловыделение и низкое питающее напряжение;
- быстрое действие, безынерционность;
- компактность: благодаря сверхминиатюрности и встроенному светораспределению [1].

Светодиоды пользуются большой популярностью и имеют широкую область применения. Светодиоды активно используют в производстве светодиодных ламп, модулей, линеек, сборок, лент. Изделия со светодиодами имеют широкий спектр применения.

На рынке существует большое количество компаний-производителей светодиодов. Мировыми лидерами в этой области стали такие компании-производители, как: LumiLeds, Phillips, Osram, Cree, GELcore, Uniroyal и др.

Практически каждая компания представляет свою классификацию представляемой продукции. В качестве характерного примера выбрана компания Cree, в которой все выпускаемые светодиоды, делятся на две большие группы – мощные (допустимая величина тока 350 мА и выше), под общим названием XLamp и сверхъяркие (типовое значение тока для них составляет 30...50 мА) – (High-Brightness). Разделение на группы определяется допустимой величиной тока через кристалл светодиода. На данный момент компания CREE серийно производит пять серий мощных светодиодов, различающихся вариантом исполнения и типом используемого кристалла: XR-C, XR-E, XP-C, XP-E и MC-E. Сверхъяркие светодиоды делятся на три большие группы, различающиеся вариантами исполнения. А именно: светодиоды в стандартных выводных корпусах круглого или овального сечения, светодиоды в

корпусе квадратного сечения с четырьмя выводами для монтажа в отверстия (P4) и светодиоды для поверхностного монтажа в корпусах типа PLCC [2].

Кроме самих светодиодов на рынке также представлено большое количество фирм, которые выпускают различные светодиодные сборки, светодиодные лампы, светодиодные модули, светильники, а так же светодиодные линейки.

Последние – как программируемые, так и не программируемые чаще всего используются в шкальных устройствах для выделения различными цветами зон показаний.

Фирмой SOLOMON светодиодные индикаторы шкального типа используются в паяльной станции для пайки и распайки электронных компонентов «SL – 916Solomon» , где они являются индикаторами температуры жала паяльника [3].

Замена люминесцентной подсветки в индикаторах и в непосредственной системе освещения всевозможных оптоэлектронных приборов, шкальных устройств, измерительных установок и т.п. производится при помощи светодиодов и различных светодиодныхборок.

Так же, светодиодные лампы используются в лабораторных светодиодных микроскопах фирмы Olympus в качестве осветителей. Светодиодные лампы в модели микроскопа EVOSfl набирают более чем 50000 часов [4].

Фирма Vision Engineering выпускает безокулярный стереомикроскоп модели Mantis Elite, в котором используется бестеневое холодное светодиодное освещение в проходящем и отраженном свете [5].

Такие фирмы как Mahr и Werh для освещения в отраженном свете исследуемого измеряемого объекта на производимых ими координатно-измерительных машинах так же используют светодиодное освещение [6].

В Санкт-Петербурге предприятие ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» производит различные светодиодные сборки для общего освещения, которые используются в основном в бытовом освещении [7].

В настоящее время существует большое количество приборов отечественного производства, используемых в измерительных лабораториях различных фирм, у которых есть потребность в модернизации осветительных и индикаторных устройств. При модернизации осветительных устройств, лампы с малой светоизлучающей площадью (индикаторы) возможна замена светодиодными сборками, а с большой – светодиодными модулями.

В каждом конкретном случае модернизации прибора необходимо рассмотреть вопрос о создании специальных узлов, содержащих светодиодные сборки с целью замены ламповых источников света, с наименьшими конструктивными изменениями. Данная модернизация будет более экономически выгодная, чем приобретение нового микроскопа производства иностранной фирмы.

Такую модернизацию можно выполнять для микроскопов типа УИМ, ДИП, МБС и др.

Литература

1. Новые светодиоды Sharp: [Электронный ресурс]: Сайт журнала «Электроника». – М. – Режим доступа: <http://www.electronics.ru/issue/2009/2/2>
2. Елисеев И. Обзор светодиодной продукции компании Cree. Информационно-технический журнал «Новости электроники». – №9 (73). – 2009.
3. Житнев В. Измерительная техника и оборудование. Паяльные станции SOLOMON (часть 2) «Ремонт & Сервис». №5, май 2007. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.remserv.ru/cgi/download/Solomon_part2.pdf
4. Интерген официальный дилер Olympus [Электронный ресурс] Режим доступа: http://intergen.ru/index.php?id_kat=4&id_tov=110
5. Элтех [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.eltech-spb.ru/?id=23&tovarid=44> – каталог продукции.

6. ЗАО НПФ «Уран»: [Электронный ресурс]: Сайт фирмы. – СПб – Режим доступа: www.uran-spb.ru
 7. ЗАО «Светлана–Оптоэлектроника»: [Электронный ресурс]: Сайт фирмы. – СПб. – Режим доступа: www.soptel.ru
- УДК 535-15

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ФОТО-ТЕРМО-РЕФРАКТИВНОГО СТЕКЛА

**М.Ю. Приказов, С.А. Иванов, А.С. Златов
Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Н.В. Никоноров**

Исследована зависимость амплитуды модуляции первой гармоники показателя преломления объемных фазовых голограмм на силикатном фото-термо-рефрактивном (ФТР) стекле от скорости и времени охлаждения образца на завершающей стадии термообработки.

Одним из перспективных материалов для создания эффективных голограммных объемных элементов являются фото-термо-рефрактивные стекла [1]. Голограммы на этих стеклах обладают высокой дифракционной эффективностью и спектрально-угловой селективностью. Высокая термическая и оптическая прочность фото-термо-рефрактивных стекол позволяет использовать такие голограммные оптические элементы в мощных лазерных системах. Кроме этого, голограммы, зарегистрированные в ФТР стекле, обладают высокой химической устойчивостью и механической прочностью и в этом отношении практически не отличаются от коммерческого оптического стекла К8.

В работе были исследованы цинковоалюмосиликатные стекла с большим содержанием фтора, активированные ионами церия, серебра и сурьмы. Стекла были синтезированы в кварцевых тиглях при температуре 1500°C из реактивов марки ОСЧ.

В настоящей работе были исследованы свойства объемных фазовых голограмм на силикатном фото-термо-рефрактивном стекле, запись голограмм производилась He-Cd лазером на длине волны 325 нм по симметричной двулучевой схеме.

Измерения угловой селективности в данной работе проводились на двух длинах волн – в видимой области He-Ne лазером ($\lambda=633$ нм) и полупроводниковым лазером, ($\lambda= 850$ нм) из-за полосы поглощения коллоидного серебра в видимой области. Также в работе измерялась дифракционная эффективность исследуемых голограмм.

Амплитуда модуляции первой гармоники показателя преломления рассчитывалась путем сравнения экспериментально измеренного и расчетного контура угловой селективности.

Было проведено сравнение образцов, полученных при одинаковой дозе облучения He-Cd лазером, отличающиеся завершающим этапом термообработки. В работе показано влияние завершающего этапа термообработки на конечные свойства получаемых голограмм. Выявлена зависимость максимального значения амплитуды модуляции первой гармоники показателя преломления от скорости протекания завершающего этапа термообработки. Рассмотрена проблема уменьшения времени термообработки без существенного ухудшения конечных характеристик голограмм.

Литература

1. Кучинский С.А., Никоноров Н.В., Панышева Е.И., Савин В.В., Туниманова И.В. Свойства объемных фазовых голограмм на мультихромных стеклах // Оптика и спектроскопия. – 1991. – Т. 70. – № 6. – С. 1296.

ПОДХОД К РАСЧЕТУ ЗНАЧЕНИЙ ДОПУСКОВ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ВОЗМУЩЕНИЯ ЮСТИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

О.Ю. Протас, А.Н. Юдин (ОАО «НПК «Системы прецизионного приборостроения»)
Научный руководитель – к.т.н. А.В. Макаренко
(ОАО «НПК «Системы прецизионного приборостроения»)

В работе описана идея метода расчета допусков, позволяющего учитывать возмущения юстируемых параметров в процессе эксплуатации.

При создании оптических систем одним из основных этапов проектирования является расчет допусков и анализ чувствительности схемы к этим допускам. Подобный расчет предполагает переоптимизацию системы с учетом допусков на изготовление, как с целью оценки влияния возможных компенсирующих параметров, так и с целью перераспределения допусков между конструктивными элементами. Автоматизация процесса расчета допусков системы позволяет значительно сократить время проектирования, а также одновременно учитывать большее количество параметров, влияющих на характеристики оптической системы.

В настоящее время расчёт допусков оптической системы выполняется, как правило, двумя методами. Первый состоит в вычислении частных дифференциалов критерия качества системы по выбранным конструктивным параметрам с дальнейшими расчётами либо ухудшения качества изображения при определённом изменении варьируемого параметра, либо решением обратной задачи – вычисления интервала значений параметра, внутри которого ухудшение качества не превосходит некоторой заданной величины. Второй метод состоит в моделировании одновременного отклонения всех анализируемых конструктивных параметров от номинального значения путём анализа большого количества реализаций системы со случайно внесёнными отклонениями (метод Монте-Карло). Оба метода допускают введение юстировок в моделируемую систему – в этом случае, как при отклонении одного, так и нескольких параметров от номинального значения, система переоптимизируется по свободным параметрам, определяемым вводимыми юстировками. Основным недостатком этих методов является то, что при автоматизированной оптимизации юстируемый параметр принимает строго оптимальное значение, что не соответствует действительности. Во-первых, любая реальная юстировка выполняется с некоторой погрешностью, определяемой применяемыми средствами контроля. Во-вторых, юстируемый параметр в ходе эксплуатации системы может отклоняться от достигнутого оптимального значения. Последнее особенно важно, так как совершенствование производственной контрольно-измерительной аппаратуры влияет в основном на стоимость изделия. А закладываемые конструктивные решения по юстировочным подвижкам и узлам оправ, допускающих юстировку с последующим закреплением, прямо влияют на массогабаритные характеристики системы. Более того, в ряде случаев эти решения накладывают дополнительные граничные условия на оптимизацию номинального конструктива изделия.

В работе предлагается модификация второго метода, свободная от означенных выше недостатков. Подход использует встроенные средства программирования САПР ZEMAX для создания скриптов (программ) и позволяет учитывать возмущения юстируемого параметра, возникающие после его оптимизации. Это делает возможным моделировать влияние таких явлений, как смещение юстировочных подвижек, упругость фиксирующих оптические элементы материалов и т.п. Скриптовые надстройки позволяют получать статистику качества с учётом вышеупомянутых факторов и прогнозировать выход годных изделий и/или живучесть системы с точностью и полнотой, недоступной встроенным решениям среды ZEMAX.

Описанный подход проиллюстрирован тремя примерами – различными классами объективов: линзовом с поперечной юстировкой линз с последующей фиксацией

герметиком; зеркальном с наклоняемыми зеркалами; зеркально-линзовом, с применением как наклонов зеркал, так и поперечным смещением линз.

Ключевые преимущества предлагаемого подхода – высокая автоматизация процесса и производительность расчётов, сравнительно простая адаптируемость к различным классам оптических систем. Изучение специфического синтаксиса скриптов блока расчёта допусков САПР ZEMAX практически не представляет затруднений для любого пользователя системы, использующего в своей повседневной работе язык ZPL.

Предполагается, что доведение предложенного подхода до инженерной степени применимости и внедрение его в практику расчета оптических систем позволит значительно упростить и ускорить разработку широкого класса высококачественных оптических приборов с юстируемыми элементами. Благодаря возможности статистической оценки влияния разъюстировки, возникающей непосредственно в процессе работы изделия, станет возможным ещё на этапе конструирования, до изготовления опытных образцов и с минимальным привлечением экспертных оценок не только прогнозировать ожидаемое качество изображения, реализуемое в процессе эксплуатации системы, но и оптимизировать её массогабаритные и экономические характеристики.

УДК 535.243

СРЕДСТВА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЛОКАЛЬНЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ

В.В. Роженцов

Научный руководитель – д.т.н., профессор Р.К. Мамедов

Современные тенденции развития оптических и оптоэлектронных приборов и систем, формирующих и отображающих визуальную информацию, предъявляют повышенные требования, как к точности передачи изображений, так и к их спектральному составу и не только на плоскости, но и в пространстве. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость осуществления спектрального анализа световых полей, являющихся пространственными оптическими изображениями вышеупомянутых приборов и систем.

Подобные требования возникают в связи с тем, что оптические характеристики некоторых приборов и систем зависят от угла обзора. Это приборы и системы, использующие жидкокристаллические матрицы, интерференционные и поляризационные покрытия, анизотропные материалы и т.д., а так же приборы и системы, изначально формирующие объёмное изображение.

Наличие информации о спектральном составе локальных световых полей, даёт, возможность расчёта пространственного распределения таких оптических характеристик как спектральная плотность энергетической яркости (далее СПЕЯ), спектральная плотность энергетической освещённости (далее СПЕО), координаты цветности в системе любого цветового пространства, и т.д. Так же возможность перехода к редуцированным фотометрическим величинам, т.е. возможность расчёта оптических характеристик приборов и систем, используя спектральные кривые чувствительности модельных фотоприёмников. Такой подход открывает перспективу оценки точности передачи изображения и совместимости подобных систем и приборов. Это особенно важно, если интересующие приборы и системы наблюдаются не глазом, адаптированным к дневному зрению, а при темновой, цветовой адаптации человеческого глаза или через специальные системы наблюдения, например, системы ночного видения.

Особую актуальность вопрос совместимости оптических и оптоэлектронных приборов и систем с системами ночного видения имеет в авиации. Очевидно, что в условиях современной тактики пилотирования применение летательных аппаратов не должно

зависеть от времени суток и условий видимости. Это означает необходимость применения технических средств, позволяющих вести наблюдение в условиях пониженной освещённости и ограниченной видимости. Для таких целей экипажи воздушных судов оснащают наплечными приборами ночного видения. Область чувствительности таких приборов находится в ближнем инфракрасном спектральном диапазоне, а так же захватывает часть видимого спектрального диапазона. Чувствительность приборов ночного видения столь высока, что излучение от оптических и оптоэлектронных приборов и систем, формирующих и отображающих визуальную информацию, может нарушить их работоспособность. Это, в свою очередь, ставит задачу адаптации оптических и оптоэлектронных приборов и систем к приборам ночного видения.

К сожалению, при всей актуальности, в настоящее время в Российской Федерации критерии и методы оценки степени адаптации и совместимости не разработаны, и отсутствуют методические и нормативные документы, определяющие требования к исполнению и методологию испытаний адаптированных оптических и оптоэлектронных приборов и систем.

Известная мировая практика решения данной задачи основана на измерении спектральной плотности энергетической яркости адаптированных оптических и оптоэлектронных приборов и систем. По-нашему мнению, такая методика имеет ряд недостатков, а именно:

- точечность характеристики светового поля, т.е. проводят измерения точки на излучающей поверхности адаптированного оптического и оптоэлектронного прибора или системы, в то время, как излучающей является вся поверхность;
- отсутствие учета пространственного распределения светового поля. Измерения спектральной плотности энергетической яркости проводится только по нормали к излучающей поверхности. Информация об угловом распределении спектральной плотности энергетической яркости отсутствует;
- отсутствие учета сложения световых полей. Адаптированные оптические и оптоэлектронные приборы и системы применяются комплексно, и рассматривать совместимость с приборами ночного видения по отдельности является не корректным;
- отсутствие учета темновой адаптации человеческого глаза. Не учитывается совместимость адаптированных оптических и оптоэлектронных приборов и систем глазом, адаптированным к ночному зрению.

Предлагаемая нами методика, основанная на пространственном спектральном анализе локальных световых полей не содержит отмеченных выше недостатков. Более того, пространственный спектральный анализ обеспечит возможность получения пространственного распределения спектральной плотности энергетической освещенности, как исходную характеристику поля неполяризованного излучения для данной площади светового поля излучения, что позволит рассчитать оптические характеристики, структуру, спектральный состав локальных световых полей.

Практическая реализация данной методики требует необходимости выполнения следующих работ:

- исследование пространственной структуры локальных световых полей;
- проектирование и изготовление технических средств метрологического обеспечения, основанных на пространственном спектральном анализе;
- разработку методов измерения спектральной плотности энергетической освещенности на основе пространственного спектрального анализа;
- аттестация и внедрение средств метрологического обеспечения органами государственной метрологической службы РФ.

Данный комплекс работ поможет решить существующие проблемы не только в целевых задачах эксплуатации летательных аппаратов в условиях плохой видимости, но и способствовать решению аналогичных задач в различных областях науки и техники, а так же помогут развитию теории световых полей.

УДК 535-15

ВЛИЯНИЕ ЭРБИЯ И ЛАНТАНА НА СВОЙСТВА ОБЪЕМНЫХ ФАЗОВЫХ ГОЛОГРАММ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ФОТО- ТЕРМО-РЕФРАКТИВНОГО СТЕКЛА

О.В. Рудикова, А.С. Златов

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Н.В. Никоноров

Проведены исследования свойств объемных фазовых голограмм на силикатном фото-термо-рефрактивном (ФТР) стекле, легированном ионами лантана и эрбия. Проведено сравнение исходного ФТР-стекла с лантановым и эрбиевым ФТР-стеклами.

Одним из актуальных направлений фотоники является создание лазерных систем с интегрированными внутрирезонаторными зеркалами. Эта задача может быть решена при разработке новых лазерных материалов, в которых возможна голографическая запись брэгговских решеток.

К настоящему времени объемные фазовые голограммы на основе фото-термо-рефрактивных стекол находят все более широкое применение в лазерной технике [1]. На их основе возможно создание брэгговских сверхузкополосных спектральных селекторов, фильтров и внутрирезонаторных зеркал для мощных твердотельных и полупроводниковых лазеров. Голограммы на ФТР стеклах обладают высокой дифракционной эффективностью и спектрально-угловой селективностью, у них отсутствует стирание изображения в процессе считывания, и нет ограничений на время их жизни. ФТР-стекла обладают высокой химической устойчивостью и механической прочностью, они выдерживают воздействие мощного непрерывного и импульсного лазерного излучения [2].

В настоящей работе проведены исследования свойств объемных фазовых голограмм на силикатном ФТР-стекле, легированном ионами лантана и эрбия. Рассмотрена возможность получения объемных фазовых голограмм на силикатном фото-термо-рефрактивном стекле, активированном редкоземельными ионами. Исследовано влияние длительности облучения и термической обработки на голографические и спектральные характеристики редкоземельного фото-термо-рефрактивного стекла. Экспериментально установлено, что дифракционная эффективность голограмм в эрбиевых и лантановых фото-термо-рефрактивных стеклах достигает более 95%. Экспериментально показано, что по сравнению с не активированным фото-термо-рефрактивным стеклом, введение лантана в больших концентрациях в два раза уменьшает максимальное значение амплитуды модуляции первой гармоники показателя преломления и достигает значений $\Delta n = 2,5 \times 10^{-4}$. И наоборот, введение эрбия в типичных его концентрациях в волокне увеличивает максимальное значение амплитуды модуляции первой гармоники показателя преломления до величины $\Delta n = 1,05 \times 10^{-3}$.

Литература

1. P. Hariharan. Optical Holography. Principles, techniques, and applications. Chapter 7: «Practical recording materials», Cambridge University Press. – 1996. – P. 95–124.
2. Никоноров Н.В., Панышева Е.И., Туниманова И.В., Савин В.В. Мультихромные стекла – новая среда для оптической записи информации // Труды Всес. Конф. «Оптическое изображение и регистрирующие среды» / Л: Изд. ГОИ 1990. – С. 48.

ДЕКОМПЛАНАРНОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Е.С.Рытова

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Зверев

Краткое вступление, постановка проблемы. При разработке конструкции призмы в качестве конструкторской базы принимается плоскость главного сечения, т.е. плоскость перпендикулярная линии пересечения рабочих поверхностей (граней) призмы. Одним из наиболее распространенных методов расчета отражательных прим является развертка отражений в плоскости главного сечения, с помощью, которой достигается спрямление хода лучей в системах плоских зеркал и приведение отражательных призм к эквивалентным плоскопараллельным пластинкам. При изготовлении призм всегда возможен случай, когда одна из граней призмы оказывается непараллельной к линии пересечения между другими гранями, например, в прямоугольной призме, призма превращается в усеченную пирамиду. Угол между ребром пересечения двух граней и плоскостью третьей грани называется ошибкой пирамидальности. При появлении пирамидальности условие развертывания в плоскопараллельную пластинку несколько нарушается, и призма фактически действует как клин с очень малым преломляющим углом. Величину угла пирамидальности естественно считать величиной малой. Выбор угла для определения требования к пирамидальности призмы определяется ее базированием в конструкции оптического устройства. Но кроме прямоугольной призмы АР-90 и ее производных конструкций свойствами пирамидальности обладают такие призмы, как полупентапризма БУ-45, равнобедренная призма ВР-180, призма Шмидта ВР-45, и их производные конструкции. При наклоне одной из граней таких призм, как ромбическая призма БС-0, призма Лемана ВЛ-0, пентапризма БП-90 и их производные конструкции, пирамида не образуется, а, следовательно, понимание пирамидальности к ним не применимо.

Цель работы. Поиск метода для единого описания допуска на ошибку изготовления/взаимного расположения рабочих плоскостей призм различных типов и конструкций, наиболее полно отвечающей требованиям базирования.

Базовые положения исследования. При номинальной конструкции призм нормали к преломляющим граням параллельны плоскости главного сечения, а по сути, расположены в ней, т.е. все нормали к граням призм компланарны (три или большее число векторов называется компланарными, если они, будучи приведенными к общему началу, лежат в одной плоскости). Если одна из противоположащих ребру граней наклонена к нему, то нормаль к ней будет некомпланарна с нормалью к другим граням. Если плоскость главного сечения призмы выбрана в качестве базовой, то нормаль к любой грани призмы может быть компланарна в этой плоскости или некомпланарна (декомпланарна) к ней. Такой подход позволяет оценить декомпланарность нормали к любой грани относительно любой базовой плоскости. Следует иметь ввиду, что при определении требований к декомпланарности поверхностей призмы следует учитывать условия базирования поверхностей призмы в процессе контроля ее параметров.

Декомпланарность поверхностей призмы приводит к отклонению осевого луча, а, следовательно, и оптической оси, от номинального положения

Для оборачивания изображения в сагиттальной плоскости применяют либо составную призму, либо заменяют отражающую поверхность призмы двумя отражающими перпендикулярными друг к другу плоскостями, при этом линия пересечения этих поверхностей (ребро крыши призмы) должно лежать в плоскости главного сечения. Однако в процессе изготовления призмы ребро крыши может оказаться не параллельным плоскости

главного сечения. Ошибки такого рода также описываются свойствами нормали отражающей поверхности – декомпланарностью.

Основной результат. В результате работы был получен метод расчета допусков призм. Следовательно, такой способ позволяет оценить декомпланарность нормали к любой грани или декомпланарность грани к базовой плоскости, т.е. к плоскости главного сечения и описать допуск на ошибку изготовления призмы.

УДК 535.317.1

СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛОСКОГО ИСТОЧНИКА В СВЕТОВУЮ ТРУБКУ РАЗНЫХ РАЗМЕРОВ И ФОРМ

И.Ю. Санталиня

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Зверев

Промышленная обработка материалов стала одной из областей наиболее широкого использования лазеров и, прежде всего, лазеров высокой мощности. Лазерное излучение применяется для резания и сваривания материалов, сверления отверстий и термообработки, обработки тонких металлических и неметаллических пленок, получения на них рисунков и микросхем. Для выполнения таких задач в технологических установках используют фокусаторы (фокусирующие устройства). Основная функция таких устройств – это формирование на детали нужной для реализации технологического процесса плотности мощности и формы сфокусированного пучка.

На рис. 1 представлена простая собирающая линза, образующая вид сферической aberrации в изображении точки.

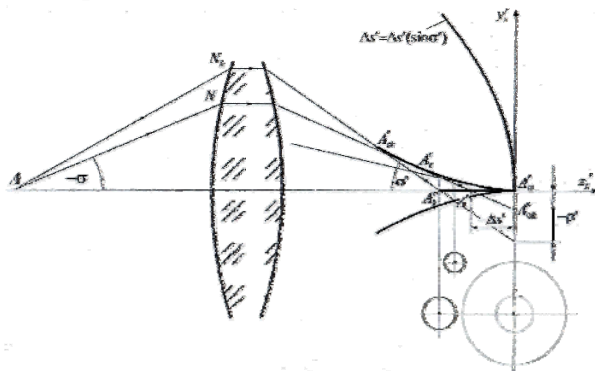


Рис. 1. Каустика осевого пучка лучей при сферической aberrации третьего порядка

Сферической aberrацией называется нарушение гомоцентричности пучка лучей, прошедшего через оптическую систему без нарушения симметрии его строения. При этом обнаруживается своеобразная форма пучка лучей, выходящих из нее. К семейству лучей этого пучка, лежащих в меридиональной плоскости, можно построить огибающую, последовательно касающуюся всех этих лучей. Ее называют каустикой. Каустику можно определить как геометрическое место точек пересечения бесконечно близких меридиональных лучей пучка. Там, где такие лучи пересекаются, образуется сгущение световой энергии. Вращая каустику вокруг оптической оси, получаем поверхность, характеризующую пространственную форму пучка лучей.

На рис. 1 показано, что точки пересечения лучей с осью заполняют отрезок от точки A'_0 до точки A'_k . Этот отрезок является геометрическим местом пересечения бесконечно близких саггитальных лучей. Поэтому, всё геометрическое место

точек пересечения близких лучей состоит из колоколообразной каустической поверхности и отрезка оптической оси внутри этой поверхности, образующего как бы язычок колокольчика. Заметим, что в таких точках происходит сгущение световой энергии внутри кружков рассеяния.

Если улавливающий изображение экран совмещен с точкой A'_0 , то радиус ρ' кружка рассеяния получается довольно большим. Но энергия распределяется в этом кружке очень неравномерно. У точки A'_0 , где к экрану подходит острие каустики, создается яркое ядро сравнительно малого диаметра, а у края кружка рассеяния световая энергия быстро падает.

В месте, где луч, проходящий через точку A'_k , пересекает нижнюю ветвь каустики, находится наиболее узкое место пучка лучей. Если перенести экран в это место, то диаметр кружка рассеяния представляется в виде яркого колечка, т.к. здесь экран пересекает каустическую поверхность.

При наличии сферической aberrации третьего и пятого порядков каустика принимает вид, представленный на рис. 2а. Помещая экран в разных местах, мы получаем разные геометрические размеры пятна рассеяния лучей света, исходящих из одной точки предмета.

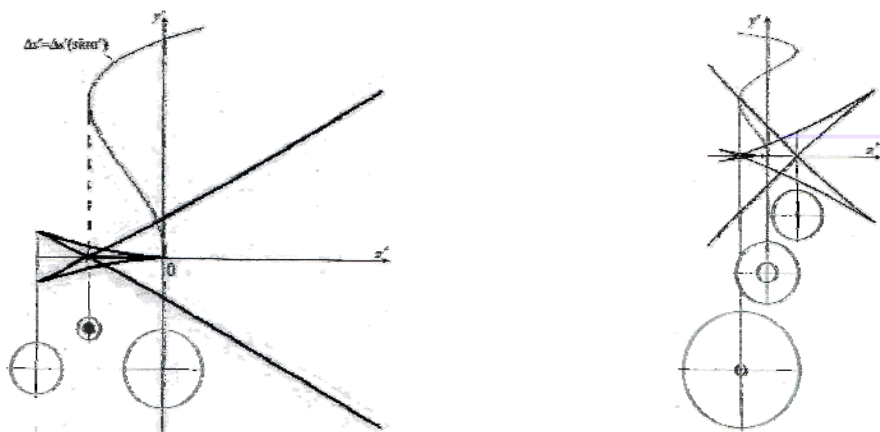


Рис. 2. а) Каустика осевого пучка лучей при сферической aberrации третьего и пятого порядков; б) каустика осевого пучка лучей при сферической aberrации третьего, пятого и седьмого порядков

На рис. 2б представлена каустика осевого пучка лучей при сферической aberrации третьего, пятого и седьмого порядков.

Таким образом, имея представление о каустике, мы можем преобразовывать лазерное излучение в различную форму.

Для лазерной резки и сварки не очень тонких деталей принципиальное значение имеет не только поперечный размер фокального пятна, но и длина перетяжки, что лишний раз подтверждает потребность в формировании лазерного излучения в виде цилиндрической световой трубки.

Если поверхность плоского излучателя (например, торец лазера) совместить с тонкой линзой, то в задней фокальной плоскости линзы получим освещенную поверхность, диаметр которой при круглой форме излучателя равен

$$D_0 = 2f'_0 \cdot \operatorname{tg} W_0, \quad (1)$$

где f'_0 – фокусное расстояние линзы, $2W_0$ – угловая расходимость излучателя.

При этом задняя числовая апертура линзы равна

$$\sin \sigma'_A \approx \sigma'_A = \frac{D_0}{2f'}. \quad (2)$$

Приравняв выражения (1) и (2), получаем равенство полевого и апертурного углов

$$W = \sigma'. \quad (3)$$

При малой величине полевого угла W , а, следовательно, и апертурного σ' , и при достаточно большой величине диаметра излучателя D_0 требуемая величина фокусного расстояния оптической системы может оказаться весьма большой, т.е. применение оптической системы позволит получить световую трубку диаметром D_0 и весьма большой длины, равной $H = D_0/2W$.

Для получения световой трубки требуемого диаметра D' и соответствующей длины воспользуемся афокальной системой кеплеровского типа, формирующей изображение с угловым увеличением, равным

$$|\Gamma| = \left| -\frac{f'_1}{f'_2} \right| = \left| \frac{W'}{W} \right| = \frac{D_0}{D'}$$

Отсюда следует известное свойство световой трубки: $D_0W = D'W'$.

Задачу построения требуемой световой трубки также можно решить, если рассматриваемую оптическую систему целиком заменить одним телеобъективом [3]. При этом, меняя значение диаметров, а, следовательно, и углов, световая трубка может принимать форму конуса.

Таким образом, в данной работе показаны способы формирования лазерного излучения разных размеров и форм.

Литература

1. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. М.-Л.: Машиностроение. – 1966. – 564 с.
2. Русинов М.М. Композиция оптических систем. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1989. – 383 с.: ил.
3. Зверев В.А., Суворова И.Ю. // Оптический журнал. – 75. – № 6. – 2008. – С. 71–76.

УДК 535.212:621.372.8:666.22

СОЗДАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ НА ФОТО-ТЕРМО-РЕФРАКТИВНОМ СТЕКЛЕ МЕТОДОМ Ag^+/Na^+ -ИОННОГО ОБМЕНА

Е.М. Сгибнев, С.С. Киселёв

Научный руководитель – А.И. Игнатьев

Созданы градиентные оптические волноводы на фото-термо-рефрактивном стекле методом Ag^+/Na^+ -ионного обмена при разном соотношении концентрации компонентов расплава $\text{AgNO}_3/\text{NaNO}_3$. Построены профили показателей преломления волноводов и определена зависимость модуляции показателя преломления на поверхности образца от концентрации AgNO_3 в расплаве при ионном обмене.

Фото-термо-рефрактивные (ФТР) стекла являются на сегодняшний день перспективным материалом для интегральной оптики. Используемые как эффективный фоторегистрирующий материал для записи объёмных фазовых голограмм, ФТР стекла могут сочетать в себе одновременно лазерные и волноводные свойства, что открывает возможность создания на их основе полифункциональных устройств для интегральной оптики. Другой важной особенностью ФТР стекла является возможность получения полос поглощения, связанных с плазмонным резонансом коллоидных наночастиц серебра, образующихся в облученных УФ светом частях образца при термической обработке. Это открывает перспективы использования ФТР стекла для создания биосенсоров, плазмонных волноводов, а также других различных устройств интегральной оптики, работающих на основе эффекта возникновения плазмонов.

Исследование плазмонных эффектов в ФТР стеклах усложняется невозможностью изготовления таких стекол с изначально высокой концентрацией серебра. В данной работе исследуется возможность увеличения концентрации серебра в поверхностных слоях ФТР стекла методом ионного обмена.

Целью данной работы являлось исследование возможности проведения Ag^+ -ионного обмена на ФТР стекле, а также получение зависимости увеличения показателя преломления, а, следовательно, и концентрации серебра на поверхности стекла от соотношении концентрации компонентов расплава $\text{AgNO}_3/\text{NaNO}_3$ при ионном обмене.

Ионный обмен проводился в расплаве $\text{AgNO}_3/\text{NaNO}_3$ при температуре 350°C в течение 1 часа. Варьируемым параметром являлось соотношение концентрации компонентов расплава. Были проведены опыты с содержанием AgNO_3 в расплаве 5, 10, 25, 50, 75 и 100% мол. Далее методом резонансного возбуждения волноводных мод, были определены оптические параметры полученных градиентных волноводов и с использованием метода ВКБ построены их профили показателя преломления.

Полученные данные позволяют оптимизировать получение в поверхностных слоях ФТР стекла нужной концентрации серебра для исследования эффектов, связанных с плазмонным резонансом, а также определять условия получения градиентных оптических волноводов с заданным профилем показателя преломления.

УДК 681.7.06; 681.7.068.4

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОНФИГУРАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО Y-ВЕТВИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КАНАЛЬНЫХ ВОЛНОВОДАХ МЕТОДОМ В-СПЛАЙНОВ

В.С. Серебрякова

**Научные руководители: д.т.н., профессор И.К. Мешковский,
к.ф.-м.н., доцент Г.Б. Дейнека**

Краткое вступление, постановка задачи. В связи с активным развитием волоконно-оптических и интегрально-оптических технологий в 70 годы XX века начали активно создаваться и исследоваться интегрально-оптические элементы (ИОЭ), как наиболее перспективные функциональные устройства для решения широкого круга задач волоконно-оптической связи (WDM-системы на массиве решеток волноводов, переключатели, разветвители мощности, модуляторы и др.), а также создания волоконно-оптических датчиков (температуры, давления, вибрации, углов, тока) для измерения, контроля и дистанционного управления различными процессами и объектами. В современных информационно-измерительных комплексах ИОЭ в большинстве случаев представляет собой подложку из электрооптического кристалла и выполненных в ней канальных световодов, которые, в свою очередь, могут служить базой для изготовления различных функциональных элементов (поляризаторов, делителей, модуляторов и др.). Особое значение имеет миниатюрность этих элементов, возможность монолитного интегрального исполнения и удобство стыковки с волоконными световодами.

X- и Y-ответвители на подложках из монокристалла ниобата лития LiNbO_3 являются ключевыми функциональными блоками большинства ИОЭ (переключатели, разветвители мощности, модуляторы и оптические мультиплексоры). В ИОЭ, выполненных по технологии протонного обмена в ниобате лития, обычно используются ветвители Y-типа. Потери Y-ветвителя имеют сильную зависимость от угла расхождения. С уменьшением угла расхождения двух плечей ветвителя резко уменьшаются вносимые элементом потери, но при

этом значительно увеличивается длина ИОЭ. Обеспечение на практике таких значений углов расхождения связано с трудностями изготовления соответствующего фотошаблона, что обуславливается несовершенством технологических операций фотолитографии. Поэтому решение вопроса оптимизации геометрической конфигурации Y-ветвитель на стадии проектировки фотошаблона с целью минимизации общих потерь ИОЭ является крайне востребованным на сегодняшний день.

Существуют различные методы численного моделирования распространения излучения в канальных волноводах, такие как метод лучевого распространения, метод конечных элементов, метод конечных разностей, векторные методы и др., но каждый из них имеет свои ограничения в области применения в зависимости от постановки задачи. Программные платформы, реализующие в виде компьютерного моделирования эти методы, не позволяют решать, например, обратные задачи. Таким образом, они лишают инженера или ученого возможности оптимизации на этапе моделирования и построения опытного образца. Проведенный анализ литературы в области методик расчета волноводов не дает исчерпывающей информации об оптимизации процесса получения данных о структуре и свойствах волноводов. Данная предметная область является актуальной и развивающейся, о чем свидетельствует современная отечественная и зарубежная литература.

Цель работы. Цель работы заключается в оптимизации параметров (в частности, геометрической конфигурации) Y-ветвителей для волоконно-оптических информационно-измерительных и телекоммуникационных систем, а также в создании универсальной физико-математической модели, позволяющей рассчитывать параметры ИОЭ на стадии проектировки для получения заданных оптических характеристик интегрально-оптических устройств.

Базовые положения исследования. В рамках данной работы в качестве алгоритма выбирается метод конечных элементов с использованием В-сплайнов. Основное достоинство использования метода В-сплайнов заключается в том, что он является универсальным средством для расчета волноводов с произвольным распределением показателя преломления различной конфигурации и позволяет вычислять такие параметры, как количество мод, дисперсионные свойства, интеграл перекрытия полей; визуализировать поля в сечении волновода, строить профиль показателя преломления в волноводном слое.

Физическая модель основана на решении из первых принципов уравнения Гельмгольца, позволяющая решать частные задачи из фундаментальных соотношений. Используя приближение Кранка-Никольсона, эта методика позволяет производить пересчет поля в направлении распространения.

Основным достоинством предлагаемой методики В-сплайнов является применение в качестве базиса эрмитов набор гладких В-сплайнов, что избавляет от необходимости построения на каждом узле индивидуальной базисной функции и сводится фактически к построению равномерной сетки, в каждом узле которой находится произведение одномерных базисных функций.

Промежуточные результаты. Было выполнено численное моделирование профиля показателя преломления протоннообменного канального волновода на подложке из LiNbO_3 . Осуществлен подбор формулы, аппроксимирующей профиль показателя преломления протоннообменного канального волновода.

Созданы программные основы для оптимизации геометрической формы Y-образного разветвителя и проведено моделирование распространения излучения в Y-ветвителе. Расчитан коэффициент деления такого ветвителя для разных условий. Определено преобразование модового поля после прохождения Y-ветвителя.

Основной результат. Методика В-сплайнов позволяет рассчитывать волноводы с произвольным профилем показателя преломления и произвольной геометрией построения световодной структуры. Даны рекомендации по оптимизации геометрической формы угла разветвления (получены значения допуска на скол при фотолитографических операциях) для разветвителя Y-типа, применяемого в опытно-промышленном образце волоконно-оптического гироскопа. Точность расчетов методом В-сплайнов сопоставима с точностью результатов известных проверенных методик (метод лучевого распространения, скалярный/векторный дифференциальный метод конечных элементов и др.), а в некоторых случаях даже превосходит их.

УДК 29.33.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ МОНОИМПУЛЬСНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ В УСЛОВИЯХ КВАЗИТРЕХУРОВНЕВОЙ СХЕМЫ НАКАЧКИ

О.П. Сидорова

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Ю. Храмов

В XXI веке лазеры являются неотъемлемой частью жизни, они широко применяются в разных областях науки, техники и медицины. Одним из наиболее перспективных направлений развития лазерной техники является применение лазеров в военных областях.

В основном в данных направлениях используются большие группы твердотельных лазеров, в которых активная кристаллическая или аморфная среда испускает стимулированное излучение. Для того чтобы лазерная среда могла излучать в нее внедряют (активируют) примесные ионы, которые возбуждают (накачивают) тем или иным способом. В зависимости от типа активатора, его концентрации и использованной кристаллической матрицы лазерное излучение генерирует с разной эффективностью и на разных длинах волн. Оптический диапазон достаточно широк и существует множество спектров излучения отдельных типов лазеров. Излучение в диапазоне 3 мкм близко к полосам поглощения связанной воды в различных материалах, в том числе биологических тканях человека, была продемонстрирована возможность их успешного применения в медицине, в частности для удаления тканей. Наряду с трехмикронным излучением широкое применение в технике нашло и 1.5 мкм излучение. В отличие от длины волны диапазон характеристик протяженностью 1.5 мкм – безопасный уровень выходной энергии почти на 4 порядка выше, что практически исключает возможность повреждения органов зрения случайных наблюдателей.

Основными применениями лазеров 1.5 мкм диапазона является лазерная дальнометрия, компоненты лидарных и метеорологических комплексов, геодезическое и топографическое оборудование, навигация. В данном спектральном диапазоне обычно применяются твердотельные лазеры, у которых активная среда представляет, как правило, кристаллическую матрицу, активированную ионами эрбия. Концентрация ионов эрбия в матрице может достигать при этом 70%. Появление мощных ИК лазерных диодов (ЛД) стимулировало интерес к разработкам твердотельных лазеров с диодной накачкой.

Особенностью эрбиевых сред является большое время жизни нижнего лазерного уровня, отсюда возникает необходимость некоторого исследования процессов, ответственных за создание инверсии на потенциальных лазерных переходах, направленного поиска новых активных сред, перспективных для получения генерации. Кристаллические среды характеризуются высокой теплопроводностью и порогом теплового разрушения, поэтому поиск подходящей кристаллической матрицы для ионов эрбия является актуальным и в настоящее время. В данной работе большое значение при исследовании эффективности лазерной генерации имеет учет кросс-релаксационных процессов.

Целью данной работы было провести исследование процессов накачки в средах Er:YAG и Er:YLF и рассчитать энергетические характеристики генерации на длине волны 1.6 мкм. При этом накачка осуществлялась на уровень $^4I_{13/2}$ излучением лазерных диодов с длиной волны около 1.5 мкм. Генерация реализовывалась на переходе между подуровнями верхнего лазерного уровня $^4I_{13/2}$ и подуровнями основного нижнего лазерного уровня $^4I_{15/2}$. Принципиальных отличий в структуре энергетических уровней ионов эрбия в матрицах YAG, YLF нет, только небольшие количественные различия в положении штарковских уровней.

Методика численного решения описывает распространение в протяженной поглощающей среде короткого импульса, представляющего собой однородную волну с плоским фронтом, распространяющуюся вдоль оси резонатора. Математически подобная задача сводится к решению уравнений.

Расчет первой модели позволил оценить влияние ап-конверсии и нерезонансных потерь излучения накачки на населенность верхнего лазерного уровня в активных средах Er: YAG и Er: YLF. По результатам расчета были построены графики влияния потерь излучения накачки на величину населенности верхнего лазерного уровня в активных средах Er: YAG и Er: YLF при длительности импульса 1 мс и интенсивности накачки 650 Вт/мм^2 при концентрациях активатора 0.5, 1, 1.5%, влияние модельных коэффициентов ап-конверсии на населенность верхнего уровня в активных средах Er: YAG и Er: YLF при длительности импульса 1 мс и интенсивности накачки 1300 Вт/мм^2 при концентрациях активатора 0.5, 1, 1.5%. Было изучено влияние интенсивности и длительности импульса накачки на уровень инверсной населенности в активных средах Er: YAG и Er: YLF при различных концентрациях активатора. Различные концентрации активатора обусловлены различным характером продольного распределения на верхнем лазерном уровне активной среды.

Для того, чтобы выяснить влияние концентрации активатора на генерационные характеристики была использована модель моноимпульсного лазера. Для расчета характеристик генерации моноимпульсного лазера использовался продольный профиль распределения населенности верхнего лазерного уровня предыдущей модели. По результатам построены графики зависимости энергии генерации от концентрации активатора для длительности импульса 1 и 2 мс в активных средах Er: YAG и Er: YLF с интенсивностью накачки $250, 650, 1300 \text{ Вт/мм}^2$.

В ходе проделанной работы был выявлен приемлемый диапазон концентрации для сред Er: YAG и Er: YLF, который обеспечивает оптимальную прокачку данных сред и наибольшую заселенность верхнего уровня. Также было выяснено, что учет нерезонансных потерь и ап-конверсии в ходе численного моделирования оказывают существенное влияние на значение населенности верхнего уровня активной среды. Населенность верхнего уровня Er: YAG заметно больше, чем населенность Er: YLF, что объясняется различным сечением поглощения. И при одинаковых условиях накачки, энергия генерации Er: YAG существенно выше, чем Er: YLF, из этого следует, что активная среда Er: YAG является более эффективной, чем Er: YLF.

УДК 778.38

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНОЙ ГОЛОГРАММЫ

Е.В. Соколова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Д. Ворзобова

В настоящее время одним из наиболее распространенных способов защиты информации и продукции является использование радужных голограмм. Однако, доступность оборудования для производства таких голограмм, приводящая к возможности

подделки, определяет необходимость разработки новых технологий. В данной работе исследовалась возможность получения защитных элементов на основе объемных голограмм. Преимуществами таких голограмм являются возможность реализации отличных защитных свойств – защитных признаков, а также увеличение числа степеней защиты - совмещение различных защитных признаков в одном элементе.

Целью работы является разработка основ технологий получения защитных элементов на основе объемных голограмм. Одной из основных задач работы являлось обоснование оптимальных материалов, процессов их обработки и условий записи. Основными требованиями к материалам являются: высокие голографические параметры – дифракционная эффективность, чувствительность, большой динамический диапазон экспозиций, воспроизводимость характеристик, диапазон спектральной чувствительности, наименьшее влияние наложенной записи, возможность нанесения слоев на пленочную основу. Объектом исследований являлись галогенсеребряные материалы, включая материалы, выпускаемые отечественной промышленностью, слои лабораторного изготовления, а также несеребряные материалы на основе фотополимеризующихся композиций.

Основные результаты работы:

- определены условия получения высоких значений дифракционной эффективности голограмм, изготовленных в промышленных высокоразрешающих материалах, в том числе в синей области спектра;
- определены оптимальные условия оптической сенсibilизации лабораторных материалов и процессы обработки, обеспечившие увеличение чувствительности в синей области спектра;
- определены условия получения высоких значений дифракционной эффективности голограмм в новых лабораторных материалах, сенсibilизированных к широкой области спектра;
- исследовано влияние наложенной записи на голографические характеристики;
- определены голографические характеристики слоев, нанесенных на пленочную основу;
- получены образцы отражающих голографических цветоизменяющих элементов, предназначенных для визуального контроля с защитными признаками, отличными от признаков, которые обеспечивают радужные голограммы;
- показана возможность записи голографических элементов, совмещающих несколько защитных признаков, в том числе, с введением скрытых признаков;
- проведен анализ характеристик фотополимеризующихся материалов для выбора оптимальной композиции и получены первые образцы защитных элементов.

УДК 535.31; 681.7.067.23

ТРЕХЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ БЕЗ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЗРАЧКА СО ЩЕЛЕВЫМ ПОЛЕМ

А.А. Сычева

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.П. Грамматин

Для всех классических осесимметричных зеркальных систем характерно наличие экранирования входного зрачка и ограничение поля зрения, что приводит к снижению качества изображения. Поэтому в настоящее время особый интерес представляют трехзеркальные объективы, в которых отсутствует экранирование входного зрачка.

Исследуемый трехзеркальный объектив без экранирования зрачка со щелевым полем состоит из сферического зеркала и двух зеркал, имеющих асферические поверхности второго

типа. Экранирование центральной части входного зрачка отсутствует в данном объективе, так как используется работа внеосевым полем. Это позволяет получить исправленное кольцевое поле в зоне, ограниченной двумя окружностями, радиусы которых определяются максимальным и минимальным значениями рабочего поля системы. В пределах исправленного поля работа ведется щелевым полем, вписанным в кольцо.

Целью данной работы является определить, как изменится размер щелевого поля объектива при замене асферической поверхности второго типа (сплюснутый сфероид) бинарной асферикой.

Профессором М.М. Русиновым, а в дальнейшем профессором А.П. Грамматиным было показано, что поверхностям, образованным вращением любой плоской кривой вокруг нормали в некоторой ее точке, если эта нормаль не является осью симметрии кривой, свойственны поперечные геометрические аберрации второго порядка. Эти поверхности были названы бинарной асферикой.

В ходе исследования свойств и возможностей трехзеркального объектива без экранирования зрачка со щелевым полем было показано, что использование бинарных асферических поверхностей может оказаться полезным, так как с помощью аберраций второго порядка достигается перебалансировка остаточных аберраций, приводящая к их существенному уменьшению. Необходимо обратить внимание, что для бинарных асферических поверхностей характерно одновременное наличие аберраций четных и нечетных порядков, т.е. что эти поверхности обладают и аберрациями третьего порядка.

Для исследования были рассчитаны системы с фокусными расстояниями 250 мм, 500 мм, 750 мм и 1000 мм. Для каждого фокусного расстояния были выбраны три значения диафрагменного числа 5, 4 и 3,5.

На первом этапе исследования были определены значения размера щелевого поля в системах, где поверхность третьего зеркала имеет форму сплюснутого сфероида. Величина щелевого поля трехзеркального объектива без экранирования находится в диапазоне от $8,6^\circ$ до 20° . При этом размер щелевого поля уменьшался при увеличении фокусного расстояния системы и уменьшении значения диафрагменного числа. Таким образом, наибольшее значение щелевого поля – 20° , было достигнуто в системе с фокусным расстоянием 250 мм и диафрагменным числом 5.

Вторым этапом исследования являлось определение величины щелевого поля в системах, где поверхность третьего зеркала представляет собой бинарную асферику. В результате было показано, что при введении такого типа асферики происходит увеличение значения размера щелевого поля. Максимальное значение щелевого поля было снова достигнуто в системе с фокусным расстоянием 250 мм и диафрагменным числом 5.

Таким образом, в работе было показано, что при введении в исходную систему поверхности, представляющей собой бинарную асферику, происходит увеличение величины щелевого поля и, соответственно, увеличивается количество получаемой информации.

УДК53.087.47

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ, ТЕПЛООВОГО ПОТОКА И ДАВЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

К.С. Тепло, А.А. Воронин

Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.Н. Лукьянов

Проведен анализ методов измерения температуры, теплового потока и давления и реализующих их датчиков. Рассмотрены особенности этих датчиков в областях, обладающих вполне определенной спецификой, требующей набора качеств, которыми устройства,

находящиеся в широкой продаже не обладают. К таким областям можно отнести авиацию, космическую технику, гражданский и военно-морской флот. Основным из таких качеств является надежность при сохранении работоспособности в широком диапазоне температур, давлений, влажности, в условиях морского тумана, пыли и мелкого песка и т.д. Прогресс в указанных областях невозможен без опоры на технологии, относящиеся к критическим. Утрата передовых позиций в исследованиях и разработках, на которых базируется сенсорика повышенной надежности, приводит к необходимости покупки импортных устройств и утрате независимости в гражданской и военной авиации, в космических исследованиях, в военном и гражданском судостроении.

Рассмотрены датчики температуры, теплового потока и давления, которые применяются для оценивания физического состояния различных объектов, работающих в экстремальных условиях.

УДК 535.323

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК НЕКОТОРЫХ ФТОРИДОВ И ХАЛЬКОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ В ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА ДО 200 МКМ

А.Н. Тропин (ОАО «НИИ «Гириконд»)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Е.Н. Котликов

(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения)

В последнее время интенсивное развитие получили исследования, направленные на освоение дальней инфракрасной области спектра и терагерцового спектрального диапазона. Возникающие при этом задачи в преобразовании спектральных и фазовых характеристик излучения могут быть решены, в том числе, и за счет использования многослойных тонкопленочных систем, наносимых на преломляющие грани оптических элементов.

Для проектирования и изготовления интерференционных покрытий требуются корректные данные по дисперсии оптических констант пленок в рабочем спектральном диапазоне. Однако исследования, направленные на изучение оптических свойств пленок различных материалов в дальней ИК-области спектра практически не проводились. На сегодняшний момент отсутствуют достоверные данные по дисперсии оптических констант и наличию полос поглощения пленок материалов, наиболее пригодных для синтеза и изготовления покрытий для средней и дальней (до 150–200 мкм) инфракрасной области спектра.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании некоторых пленкообразующих материалов и многослойных систем на их основе, для создания оптических интерференционных фильтров с возможностью работы в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне спектра, в том числе, и в области терагерцового излучения.

В работе исследовались пленки PbTe, ZnSe, ZnS, BaF₂ и PbF₂, которые широко используются для создания оптических покрытий для работы в ближней и средней инфракрасной области спектра.

Дисперсия оптических констант пленок в диапазоне от 1 до 200 мкм определялась по методике, основанной на анализе спектров пропускания и отражения пленки на подложке с известными оптическими свойствами. Пленки указанных материалов толщиной от 3 до 7 мкм были получены термическим испарением в вакууме на подложках из монокристаллического кремния. Спектральные измерения в исследуемом диапазоне проводились при комнатной температуре на Фурье-спектрометрах ФСМ-1201 и Bruker VERTEX 70.

Пленки теллурида свинца не имеют выраженных полос поглощения во всем исследованном спектральном интервале. При этом поглощение в пленках PbTe монотонно

возрастает в области длин волн более 20 мкм, а показатель поглощения достигает значения $k = 3$ при $\lambda = 150$ мкм. Пленки остальных исследованных материалов имеют интенсивные полосы поглощения в интервале от 25 до 100 мкм. Тем не менее, пленки ZnSe, ZnS и BaF₂ могут быть использованы при изготовлении оптических покрытий для работы в спектральной области с длинами волн более 70–80 мкм.

С применением исследованных пленкообразующих материалов было спроектировано и изготовлено отрезающее покрытие для «солнцезащитного» фильтра с блокированием излучения в диапазоне до 4,5 мкм и пропусканием до 50 мкм.

УДК 628.9.037:681.785.554

СПЕКТРАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ Pb_{1-x}Cd_xSe

Н.Э. Тропина (ОАО «НИИ «Гириконд»)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор В.И. Ильин

(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)

Для решения широкого круга задач в оптике инфракрасного диапазона востребованы быстродействующие малогабаритные источники излучения с низким энергопотреблением. Например, такие источники применяются в составе октронов – оптопар с открытым оптическим каналом, работающих в диапазоне спектра 2–5 мкм для решения задач адсорбционного анализа газовых и жидких сред [1].

Существующие разработки светодиодов на основе гетеропереходов с узкозонными полупроводниками, например InAsSb, не получили широкого распространения. Сложная и трудоемкая технология изготовления, недостаточная мощность излучения, временная нестабильность и необходимость, в ряде случаев, глубокого охлаждения сдерживают развитие подобных приборов. В этом смысле, фотолюминесцентные источники на основе поликристаллических пленок селенида свинца и его твердых растворов [2], лишенные этих недостатков, могут оказаться перспективными и востребованными оптоэлектронными компонентами при разработке спектрально-аналитической аппаратуры различного назначения.

При изготовлении таких фотолюминесцентных излучателей возникает необходимость в оперативном и достоверном измерении их спектральных характеристик, не только для оценки качества выпускаемой продукции, но и для проведения исследований с целью дальнейшего совершенствования технологии их изготовления. Поэтому для исследования спектров фотолюминесценции структур на основе поликристаллических слоев Pb_{1-x}Cd_xSe необходимо создание измерительного комплекса, позволяющего проводить оперативные спектральные измерения с возможностью цифровой регистрации и обработки данных.

Измерение спектральных характеристик световых потоков предполагает регистрацию квазимонохроматического излучения при сканировании по длинам волн в исследуемом спектральном интервале. При этом запись, хранение и обработку получаемых данных удобно вести в цифровом формате. Для исключения вносимых спектральных искажений, обусловленных как самим монохроматором, так и селективностью приемника, целесообразно использовать эталонный источник с известным распределением спектральной плотности излучения.

При разработке установки в качестве спектрального прибора был использован монохроматор, входящий в состав спектрометра ИКС-31 с наборами сменных дифракционных решеток и отрезающих фильтров. Приемником излучения служит неселективный в исследуемом спектральном интервале 2–5 мкм пироэлектрический приемник МГ-33-02 с входным окном из германия без оптического покрытия.

Источником оптической накачки в излучающих структурах является GaAs светодиод АЛ 107 с длиной волны максимума излучения $\lambda_{\max} = 0.85$ мкм. При измерениях светодиод питается прямоугольными импульсами тока с амплитудой 50–100 мА и скважностью 2. Частота следования импульсов выбирается в пределах пологого участка частотной характеристики пироприемника и не превышает 100 Гц. Эталонным источником излучения служит модель абсолютно черного тела с температурой полости 300°С.

В качестве регистрирующего прибора использован синхронный вольтметр SR 510 Stanford Research Systems. Передача данных на ПК осуществляется по параллельному интерфейсу через АЦП, встроенный в синхронный вольтметр. Для сопряжения ПК с прибором была составлена программа, позволяющая выдавать сигнал запроса на передачу данных с АЦП, отображать в реальном времени регистрируемый сигнал и сохранять данные в текстовом файле. Одновременно с передачей сигнала с приемника по второму каналу передается импульсы со встроенного отметчика, позволяющие соотнести измеряемый сигнал с длиной волны монохроматора.

Время одного измерения зависит от скорости сканирования по спектру и может изменяться от нескольких минут до нескольких часов. Минимальная скорость измерения используется для увеличения времени накопления сигнала при регистрации слабых световых потоков. Для большинства исследуемых структур на основе слоев $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Se}$ время одного измерения обычно не превышает 10 мин.

Таким образом, разработанный спектрометрический комплекс позволяет проводить исследования спектральных характеристик источников излучения, работающих в инфракрасном спектральном диапазоне, в том числе и спектров фотолюминесценции структур на основе поликристаллических слоев $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Se}$.

Типовая спектральная характеристика фотолюминесценции поликристаллических пленок селенида свинца и твердых растворов на его основе, имеет вид колоколообразной кривой с полушириной 400–600 нм и максимумом от 2,5 до 4,2 мкм в зависимости от состава исходного полупроводникового материала.

Применительно к источникам излучения на $\text{Pb}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Se}$ с помощью разработанной измерительной системы по спектрам фотолюминесценции было исследовано влияние деформационного воздействия диэлектрической стекловидной фазы на кристаллиты селенида свинца в излучающей структуре. В результате проведенных исследований установлено, что сильные растягивающие напряжения, возникающие в пленке из-за разности коэффициентов температурного расширения слоя и подложки, приводят к смещению максимума фотолюминесценции в коротковолновую область [3].

Литература

1. Дийков Л.К. Новые октроны для спектрально аналитической аппаратуры. / Л.К. Дийков, С.П. Варфоломеев, Ф.К. Медведев // Компоненты и технологии. – 2004. – №6.
2. Тропина Н.Э. Полупроводниковые источники излучения для инфракрасной области спектра / Н.Э. Тропина, А.Н. Тропин // Компоненты и технологии. – 2008. – №11. – С. 152–153.
3. Тропина Н.Э. Влияние диэлектрической фазы на спектр фотолюминесценции фрактально структурированных нанокompозитных пленок селенида свинца / Н.Э. Тропина, З.Н. Петровская И.О. Черноглазова // ФТП. – Т. 43. – Вып. 11. – 2009. – С. 1477–1480.

ПРИМЕНЕНИЕ КРИВЫХ БЕЗЬЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ СОЗДАЮЩИХ ПРЯМОУГОЛЬНУЮ ФОРМУ СВЕТОВОГО ПЯТНА В НАКЛОННОМ ПУЧКЕ

А.А. Трофимук

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Зверев

В последние годы в связи с возросшими требованиями к энергопотреблению возникает необходимость использования новых источников света, таких как светодиоды. Требования к оптике осветителей также ужесточаются со стороны производителей оптики, так и потребителя. Они обусловлены свойствами и геометрией освещаемых поверхностей и минимизацией потерь света, а также простотой изготовления оптических деталей. Перспективным для расчета осветительных систем является использование преломляющих поверхностей свободной формы и оптических элементов на их основе. Также требуется применение и модернизация методов расчета неизображающей оптики, позволяющих сократить время и затраты на разработку.

Целью данной работы является реализация метода автоматизированного расчета осветительной системы, создающей пятно прямоугольной формы при широкоугольном наклонном пучке света, её расчет и анализ возможности модернизации. А также получение уравнений поверхностей описывающих данную осветительную систему и пригодных для оптимизации оптическими САПР.

Для получения заданных распределений света в наклонном пучке обычно используется несколько источников света со своей оптической системой, каждый из которых формирует свою область светового пятна. При этом используются наиболее простые оптические системы. Это приводит к неравномерности освещенности и иногда к нежелательным потерям света, сложностям при настройке системы. В связи с этим предполагается использование осветительных систем, устраняющих данные недостатки, но использующих нестандартные формы оптических поверхностей, в частности поверхности свободной формы, и состоящих из как можно меньшего числа оптических деталей, что требует изменения подхода к описанию оптических деталей и модернизации существующих методов расчета неизображающей оптики.

В ходе работы была предложена оптическая схема осветительной системы, состоящей из отражающих и преломляющих поверхностей с числом элементов равным двум. Данная система формирует широкое световое пятно прямоугольной формы с достаточной равномерностью освещенности. Оптические детали могут быть изготовлены из пластика методом литья под давлением, с точностью, обеспечивающей необходимые световые параметры. Также получено математическое описание формы поверхностей, используемых в системе, в виде комбинации кривых Безье. Использование данных кривых позволяет легко и наглядно оптимизировать систему средствами САПР Zemax. Также был реализован алгоритм, для расчета начальной формы оптимизируемой системы исходя из фотометрических параметров протяженного источника света, в данном случае светодиода и ограничений на размер системы. Данный алгоритм также использует свойство кривых Безье изменять свою часть, при сохранении остальной формы кривой.

В результате работы рассчитана осветительная система, формирующая прямоугольное пятно света в широком наклонном пучке света и описана методика её расчета. Получен задел для дальнейших исследований в этой области.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ВЫПУСКА ЧЕРТЕЖЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ КРУГЛОЙ ОПТИКИ

И.А. Трусов

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Д. Толстоба

Краткое вступление, постановка проблемы. Выбор конструкции крепления оптических деталей зависит от формы и размеров детали, её назначения и условий работы прибора. Любая оптическая деталь должна быть закреплена в оправе так, чтобы была исключена возможность её смещения при внешних воздействиях. Усиление зажима детали не должно вызывать её деформации и портить качество изображения. Кроме этих специальных условий к узлу крепления могут предъявляться специальные требования: возможность работы в различных температурных условиях, герметичность, наличие юстировочных подвижек.

По виду крепления оптические детали делятся на три основные группы: круглые детали (линзы, сетки, круглые защитные стекла, лимбы, светофильтры), некруглые детали (призмы, защитные стёкла, шкалы) и зеркала.

Существуют следующие виды крепления круглых оптических деталей: крепление завальцовкой; крепление приклеиванием; крепление резьбовым кольцом; вспомогательные способы крепления: проволочным кольцом; прижимными планками; накладным кольцом; специальными элементами и специальной конструкцией оправы.

В данной работе рассматриваются способы крепления, использующие в своей конструкции различные кольца.

Цель работы. Целью работы является разработка пакета программ в среде САПР для автоматизированного выпуска чертежей элементов крепления круглой оптики (колец).

Базовые положения. Для реализации программы был выбран пакет программ САПР AutoDesk AutoCAD 2005.

Для удобства пользования программой было решено, что все размеры детали, а так же дополнительные параметры выполнения чертежа (эскиза), пользователь задает при помощи диалоговых окон.

Результаты. Результатом работы стала программа, удовлетворяющая поставленным целям и задачам.

- Программа автоматически выполняет чертеж выбранного элемента крепления по заданным пользователем размерным параметрам.
- Проставляет размеры, базы и допуски.
- Позволяет выполнить эскиз элемента в повернутом или отраженном виде.
- Упрощает заполнение основной надписи чертежа.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДИАПАЗОНЫ ДЛИН ВОЛН ДЛЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СИСТЕМ АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

А.А. Уткина

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.В. Демин

Оптико-локационные модули, предназначенные для обнаружения и оценки параметров движения воздушных целей с малой эффективной площадью рассеяния (ЭПР) могут работать в режимах как пассивной, так и активной локации от дальнего инфракрасного (ИК) диапазона до ультрафиолетового (УФ) диапазона в «окнах прозрачности» атмосферы. В общем случае процесс обнаружения цели происходит на фоне разного рода оптических помех (флуктуационных, обратного рассеяния, фоновых), ограничивающих дальность действия локационных систем. Основным источником фоновых помех в оптическом диапазоне спектра является солнечное излучение, максимум которого приходится на видимый диапазон. Поэтому зачастую локационные модули разрабатываются либо для ИК, либо для УФ диапазонов.

Цель работы – выяснить наиболее перспективные диапазоны длин волн активной и пассивной локации для обнаружения объектов.

Информационными признаками при пассивном обнаружении цели являются их излучающие свойства, например, наличие инфракрасного (ИК) излучения при высокой температуре поверхности или контраст цели на фоне неба. При активной локации информационным признаком цели является наличие обратного рассеяния оптического излучения, создаваемого целью и окружающей средой.

Наиболее удобны многоспектральные оптико-электронные системы (МОС), работающие в нескольких спектральных диапазонах. Наиболее простым вариантом МОС является конструкция из нескольких независимых систем, состоящих из объектива и приемника излучения, объединенных в единую конструкцию. Достоинство таких систем – возможность получения предельных оптических характеристик. Недостатки – большие габариты, масса и стоимость.

Более предпочтительными являются системы, в которых оптические элементы, все или некоторые, одновременно работают в нескольких спектральных диапазонах. В первую очередь это зеркальные системы, так как крайне сложно подобрать материалы, просветляющие покрытия и выполнить абберрационный расчет линзовой широкодиапазонной МОС. При проектировании линзовой МОС один канал является основным – имеющим лучшие оптические характеристики (высокое пропускание, минимальное пятно рассеяния) по сравнению с другими каналами.

Для обнаружения быстродвижущихся объектов в УФ и дальнем ИК диапазонах целесообразно использование следующей конструкции. Двухзеркальная схема Кассегрена с расположенным перед вторым фокусом вбрасываемым зеркалом, разделяет систему на два канала. В УФ канале применяется предфокальный линзовый корректор аббераций, в ИК канале – зафокальный линзовый или зеркальный блок переноса, служащий для уменьшения фоновых засветок, вызываемых механическими элементами объектива.

В результате работы выяснено, что при использовании систем активной локации для обнаружения быстродвижущихся объектов перспективным представляется диапазон УФ излучения 250...300 нм. Формирование обратного рассеяния происходит на корпусе объекта и на возмущениях воздушной среды. Для пассивного обнаружения целей перспективен диапазон 300...400 нм или ближнего УФ, а также диапазон дальнего инфракрасного излучения 8–12 мкм.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ КОМПАРАТОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЛЕНТ И ЛИНЕЕК

Л.А. Хамитова

Научный руководитель – ст. преподаватель С.С. Гвоздев

Измерительная лента – измерительный инструмент, предназначенный для измерения протяженных линейных объектов и для разметки помещений [1].

Измерительная линейка – штриховая мера длины в виде металлической, деревянной или пластмассовой пластины, предназначенная для измерения линейных величин непосредственным сравнением измеряемой величины со шкалой меры [2].

Низкая стоимость, простота и надежность измерительных лент и линеек являются причинами актуальности для разработки средств контроля и поверки лент (в том числе и лент рулеток) и линеек, так как в сложившейся ситуации с мировым экономическим кризисом потребитель все больше отдает предпочтение простым и дешевым измерительным инструментам [3].

Как любое измерительное средство, лента и линейка должны быть поверены.

Целью данной работы является рассмотрение особенностей лент и линеек, анализ компараторов, представленных на рынке.

Ленты в соответствии с ГОСТ 7502 имеют длину от 1 до 100 метров [4]. Линейки в соответствии с ГОСТ 427 должны изготавливаться с пределами измерений от 150 до 3000 мм [5].

Длина компаратора зависит от длины ленты или линейки. На сегодняшний день самые ходовые ленты – с длиной полотна от 2-х метров до 10-ти, шириной – от 12,5 до 25 миллиметров. Соответственно компараторы для контроля лент и линеек с длиной от 2-х до 10-ти метров наиболее востребованы.

Шкалы лент и линеек могут быть следующих видов: метрическая, дюймовая, футовая, смешанная шкала.

Шкала на ленте или линейке может быть нанесена как с одной стороны, так и с двух сторон. В зависимости от типа шкалы компаратор должен быть приспособлен к контролю шкал ленты или линейки с разных ее сторон. Допускаемое отклонение действительной длины ленты определяется согласно ГОСТ 7502 и составляет в зависимости от длины ленты и длины интервала ленты от 0,15 мм (для миллиметрового интервала при длине 1 м) до 15,15 мм (для метрового интервала при длине 100 м).

Допускаемое отклонение действительной длины линейки определяется согласно ГОСТ 427 и составляет в зависимости от длины линейки от 0,1 мм (при длине до 300 мм) до 0,6 мм (при длине от 2000 до 3000 мм).

Был проведен поиск средств контроля измерительных лент и линеек, в ходе которого были проанализированы: материалы сети Internet (сайты фирм и сайты НИИ метрологии), базы данных патентов (Qpat, ФИПС).

Известны следующие компараторы:

- прибор для контроля длины ленты [6];
- компаратор для поверки рулеток длиной до 15 м (разработан СПИБ СПбГУ ИТМО совместно с фирмой «Геодезические приборы») [7];
- компаратор для поверки лент рулеток длиной до 30 м [7];
- компаратор для поверки метроштоков и рулеток КПМР-5 (найден в ходе интернет-поиска, разработан НПО «СПЕКТР», г. Новочеркасск);
- установка для поверки измерительных лент рулеток фирмы Steinmeyer, Германия [7];
- 50-метровый стенд с лазерным интерферометром HP 5529 В фирмы METAS, Швейцария [7];
- 5-метровый измерительный стенд фирмы UME, Турция [7];

- 21-метровый измерительный стенд фирмы METROSERT, Эстония [7];
- 50-метровый измерительный стенд фирмы KRISS, Корея [7].

В результате анализа найденных приборов была составлена обобщенная функциональная схема, описаны возможные реализации компонентов компараторов в зависимости от решаемой ими задачи.

Компараторы для контроля лент и линеек с длиной от 10 м, как правило, выполняются в автоматизированном варианте. В таких компараторах используются составные линейные протяженные основания, автоматизированные системы привода и считывания информации. Требования к помещениям для установки этих компараторов по стабильности температуры и влажности очень высоки. Стоимость таких компараторов сравнительно велика. Они могут использоваться для контроля лент и линеек меньших размеров.

При необходимости контроля измерительных лент небольшой длины могут использоваться компараторы барабанного типа, не подходящие для контроля линеек, но значительно более компактные и дешевые.

Потребность в дешевых компараторах небольшой длины (до 10 м), которые можно использовать как для контроля измерительных лент, так и для контроля линеек, по-прежнему сохраняется.

Одним из примеров таких дешевых компараторов стал компаратор для контроля рулеток длиной до 6 метров (неавтоматизированный вариант компаратора, разработанный СПИБ СПбГУ ИТМО совместно с ЗАО НПФ «УРАН» и установленный на Тверском вагоностроительном заводе). Анализ эксплуатации этого компаратора показал его конкурентоспособность и возможность создания на его базе ряда компараторов небольшой длины (до 10 м) разной степени автоматизации, используя разработанную обобщенную функциональную схему, базу данных возможных комплектующих элементов компараторов.

Литература

1. Рулетки: [Электронный ресурс]: Сайт ЗАО НПФ Белко-М. – Режим доступа: <http://www.belkom.ru/products/building/index.html>
2. Линейки: [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Линейка>
3. Разработка учебных классификаций существующих средств контроля и поверки измерительных лент и рулеток /Жаворонкова А.В. – Материалы выпускной квалификационной работы специалиста. – СПбГУ ИТМО. – 2010. – 113 с.
4. ГОСТ 7502-98 Рулетки измерительные металлические [Текст]. – Взамен ГОСТ 7502-89; введ. 1998-05-28. – Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, сор. 1998. – 23 с.
5. ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия. [Текст]. – Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, сор. 1998. – 23 с.
6. Рубинов А.Д. Контроль больших размеров в машиностроении: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1982. – 120с., ил.
7. Разработка компаратора для поверки измерительных рулеток. / Мингалиева Э.А. – Материалы выпускной квалификационной работы специалиста. – СПбГУ ИТМО. – 2010. – 96 с.

ПРОБЛЕМЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ

Ю.А. Цопа

Научный руководитель – ст. преподаватель С.С. Гвоздев

Плоскопараллельные концевые меры длины применяются для измерения размеров особо точных изделий и оснастки, наладки приспособлений и станков, проверки калибров, проверки и градуировки различных мер и приборов и т. п. Кроме того, они служат средством хранения и воспроизводства единицы длины при передаче от эталона к изделию [1].

Плоскопараллельные концевые меры длины представляют собой прямоугольные бруски, размер которых определяется расстоянием между двумя параллельно доведенными плоскостями. Длина концевых мер может составлять от 1 до 1000 мм [2], при этом наиболее часто используются меры с длинами от 1 до 100 мм. Концевые меры длины в основном изготавливаются из стали твердостью от 800 HV или твердых сплавов твердостью от 1400 HV и керамические концевые меры твердостью от 1400 HV [3].

Поставляются меры в наборах, чтобы можно было составлять блоки для измерения любого размера, собирая их из возможно меньшего числа концевых мер. Изготовлением концевых мер длины занимаются многие предприятия, из которых наиболее известными являются Mitutoyo Corp, Mahr и Tesa Technology, российский изготовитель представлен такими предприятиями как «Челябинский инструментальный завод» (ЧИЗ), завод «Крин», завод «Микрон», ОАО «КАЛИБР» и т.д.

К плоскопараллельным концевым мерам длины предъявляются следующие требования: отклонение длины концевой меры в зависимости от класса точности не должно превышать значений от 0,06 мкм до 16 мкм и отклонение от плоскопараллельности измерительных поверхностей концевых мер в зависимости от класса точности не должно превышать значения от 0,05 мкм до 1 мкм указанные в ГОСТ 9038 [2].

Среди способов измерения длины концевых мер можно выделить следующие:

- плоскость, измеренная по 4-м точкам, и одна точка на другой плоскости;
- плоскость, измеренная по шести точкам, и одна точка на другой плоскости;
- две плоскости, измеренные по четырем точкам;
- две плоскости, измеренные по шести точкам;
- две плоскости, измеренные по восьми точкам.

Следует отметить, что из приведенных выше методов измерения длины концевых мер, методы измерения длины как расстояния от точки до плоскости существенно занижают точностные характеристики.

С другой стороны, измерение двух плоскостей по восьми точкам является избыточным.

Таким образом, наиболее подходящим является метод измерения двух плоскостей по четырем точкам. Для особо прецизионных измерений имеет смысл проводить измерение двух плоскостей по шести точкам [4].

На сегодняшний день на рынке представлены измерительные приборы для контроля концевых мер таких фирм как Tesa Technology, Mahr, Feinmess Jena, Промтрансавтоматика. Устройства большинства этих фирм в основном используют контактные методы измерения, за исключением устройств фирмы «Feinmess Jena» EMP 20/25 в котором предусмотрена возможность измерения с использованием лазерного щупа.

Приборы для контроля концевых мер перечисленных выше фирм используют дифференциальный метод измерения. Дифференциальный метод сравнения, основанный на регистрации измерительного сигнала, являющегося разностью

измерительных сигналов, поступающих от исследуемого объекта и меры, хранящей известное значение измеряемой величины [5]. Более точный метод непосредственного измерения в этих приборах не используется.

Для предотвращения конвекции в ряде устройств при проведении измерения установочная база приборов закрывается специальным экраном, который должен обеспечивать теплоизоляцию. Но при этом экран не обеспечивает поддержание рабочей температуры о зоне измерения и создает неудобства для оператора.

В дальнейшем разработчики данных приборов должны будут учитывать отмеченные недостатки, ухудшающие точность и создающие неудобства при эксплуатации.

Литература

1. Плоскопараллельные концевые меры длины [Электронный ресурс] Режим доступа: www.sberbusiness.ru/page/17
2. ГОСТ 9038-90 Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. Дата введения 01.07.91 ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ.
3. Tesa Technology [Электронный ресурс] Режим доступа: www.tesabs.ru – заглавие с экрана.
4. Суслин В.П. Джунковский А.В., Исследование способов измерения концевых мер длины при калибровке координатно-измерительных машин, [Электронный ресурс] Режим доступа: [Электронный ресурс] Режим доступа: elibrary.ru/item.asp?id=9246920
5. Марусина М.Я., Ткалич В.Л., Воронцов Е.А., Скалецкая Н.Д. Основы метрологии, стандартизации и сертификации: Учебное пособие. – СПб: Редакционно-издательский отдел СПбГУ ИТМО, 2009. – 164 с.

УДК.535.31

КОЛЛИМАТОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТИВОВ, РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ СПЕКТРА ОТ 400 ДО 900 НМ

Е.А. Цыганок

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.П. Грамматин

Появившиеся не так давно приборы для сумеречного наблюдения, содержат приемники оптического изображения, работающие в широкой спектральной области для того чтобы «собрать» большее количество световой энергии. Ввиду чего возникла необходимость разработки соответствующих объективов, а так же средств их контроля. На основании спектральной чувствительности приемника фирмы TOSHIBA был выбран рабочий спектральный диапазон для объектива от 400 до 900 нм.

При полях изображения, достигающих подчас величин порядка $2\omega \geq 20^\circ$, использование зеркальных объективов исключено.

В линзовых системах, свободных от центрального экранирования и не содержащих асферических поверхностей, абберацией, определяющей качество изображения в широком спектральном диапазоне длин волн, является вторичный спектр. Для его уменьшения необходимо применение оптических сред с наиболее близкими значениями частных относительных дисперсий при возможно большой разности коэффициентов дисперсий.

Величина вторичного спектра зависит от относительных частных дисперсий марок стекол, и для «обычных» стекол параметры p и v связаны линейной зависимостью.

Большинство марок стекол находятся вблизи одной прямой.

Чтобы определить величину вторичного спектра двухлинзовой системы, достаточно соединить прямой точки на диаграмме Аббе (графике зависимости относительной частотной дисперсии от коэффициента дисперсии), относящиеся к этим маркам стекол: тангенс угла,

образованного прямой с осью абсцисс, будет равен величине A . Для большинства пар стекол величина A изменяется в небольших пределах.

Оптические стекла, у которых p и v не удовлетворяют линейной зависимости, относятся к «особым» стеклам. Существенное уменьшение величины вторичного спектра с одновременным достижением достаточно больших числовых апертур можно достигнуть применением оптических сред, у которых величины частных относительных дисперсий близки к дисперсиям «обычных» стекол при возможно большой разности коэффициентов дисперсии.

При использовании комбинаций «обычных» стекол в области спектра 400–900 нм, происходит увеличение значения величины вторичного спектра в семь с половиной раз по сравнению со спектральным диапазоном 480–643,8 нм. Поэтому для уменьшения величины вторичного спектра необходимо применить хотя бы в одной из линз «особые» стекла или материалы с особым ходом дисперсии, такие как флюорит, фтористый барий фтористый литий и др.

Практически все графики вторичного спектра, полученные с помощью программного комплекса САРО, для комбинаций из двух стекол, одно из которых «особое», в спектральном диапазоне 400–900 нм имеют два и более экстремума, которые отсутствуют в комбинациях из двух «обычных» стекол. Наличие нескольких экстремумов графика вторичного спектра впервые было замечено Л.Н. Андреевым для сочетания флюорита и кварцевого стекла в диапазоне длин волн 240–656,3 нм. В данном случае величина вторичного спектра будет определяться расстоянием между этими экстремумами. Характеристики качества изображения необходимо определять минимум для пяти длин волн: основной, крайних длин волн спектрального диапазона и длин волн, соответствующих экстремальным значениям графика вторичного спектра. Причем значения последних длины волн остаются неизменными в каждой комбинации содержащей «особые» стекла.

При изменении основной длины волны происходит изменение расстояния от параксиального изображения основной длины волны до параксиального изображения крайних длин волн. Но расстояние между экстремумами и вид графика останутся неизменными. Следовательно, вторичный спектр комбинаций из двух стекол, содержащих «особое», в диапазоне длин волн 400–900 нм не зависит от выбора основной длины волны.

Кроме особых стекол для ахроматизации оптических систем, в первую очередь объективов микроскопов, традиционно используется флюорит. Но в рассматриваемом спектральном диапазоне он дает малый эффект по сравнению с «особыми» стеклами, что дает возможность отказаться от флюорита в их пользу.

Проведенное исследование показало, что минимальным вторичным спектром в спектральном диапазоне 400–900 нм обладает пара стекол ОК1–СТК12.

Несмотря на то, что на основании диаграммы зависимости относительной частной дисперсии от коэффициента дисперсии наименьшим вторичным спектром должна обладать комбинация «особых» стекол ОК4–ОФ6.

При расчете коллиматора из трех линз групп СТК–ОК–ТФ получили уменьшение значения вторичного спектра в 10 раз, по сравнению с лучшими значениями вторичного спектра при комбинациях из двух материалов. Важными особенностями такого коллиматора является отсутствие сферохроматизма и маленькие оптические силы компонентов. Что до настоящего времени не удавалось получить. Аналог такого коллиматора из материалов каталога Шотта так же дает хороший результат.

СВЕТОДИОДНЫЕ ЛИНЕЙКИ С ФОТОННЫМИ КРИСТАЛЛАМИ ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИИ ГАЗОВ В СРЕДНЕЙ ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА (3–5 МКМ)

М.В. Чаус (Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., с.н.с. Б.А. Матвеев

(Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН)

Последние годы были отмечены существенным прогрессом в создании ИК-светодиодов (СД) в средней ИК области спектра (3–5 мкм), пригодных для ряда применений. Такие светодиоды будут востребованы, прежде всего, в оптико-акустических газоанализаторах, для которых минимум шумовых сигналов имеет место при достаточно высоких частотах модуляции ($f > 400$ Гц). Тепловые источники не обладают возможностью работы на таких частотах и характеризуются большой потребляемой мощностью. На сегодняшний день уже было продемонстрировано определение концентрации газообразных компонент на уровне нескольких *ppm*, основанного на измерениях селективного оптико-акустического эффекта с применением ИК СД и кантелеверных микрофонов (технология MEMS) для метана и углекислого газа [1].

Создание фотонного кристалла (ФК) (т.е. двумерной периодической структуры) на границе раздела полупроводник/воздух позволяет повысить оптическую эффективность светодиодов за счёт концентрации света в модах, способных покинуть полупроводник, и преодолеть ограничения по выводу излучения, связанные с полным внутренним отражением. Применение ФК для увеличения вывода излучения особенно привлекательно в светодиодных линейках с высоким фактором заполнения, для которых применение иммерсионных линз затруднительно. Ранее о ФК в светодиодах среднего ИК-диапазона не сообщалось.

В работе исследовались диодные однорядные линейки 1×4 с квадратными активными областями (мезами) размерами 70×70 либо 130×130 мкм, излучающие вблизи 3,6 мкм (300 К) и изготовленные из гетероструктур, состоящих из широкозонного контактного слоя р-InAsSbP (E_g (300 К) ~ 420 мэВ) и активной области из n-InGaAsSb (5 мкм), полученных на прозрачной подложке n^+ -InAs ($n^+ \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$) толщиной ~ 300 мкм. Чипы с отражающими ($R=0,6$) анодными контактами размерами 40×40 или 100×100 мкм и U-образными катодными контактами изготавливались методами стандартной «мокрой» фотолитографии.

ФК создавались методами стандартной фотолитографии и использованием «сухого» (ионно-лучевого) травления поверхности n^+ -InAs и состояли из гексагонально упакованных элементов с характерным размером 0,5–2 мкм и шагом между элементами ~ 3 мкм.

Изучение распределения излучения осуществлялось с помощью ИК микроскопа на основе гибридной микросхемы матричного фотоприёмного устройства InAs 128×128 , с рабочим диапазоном длин волн 2,5–3,1 мкм. Перекрытие спектров излучения светодиода, имеющего максимум на длине волны 3,6 мкм, и фотоприёмника происходило в узком диапазоне, с максимумом 3 мкм, благодаря этому удалось получить чёткое монохроматическое изображение.

Для получения картины распределения излучения в ближнем поле использовались ИК-изображения излучающей поверхности n^+ -InAs; поле зрения при этом составляло 384×384 мкм. Излучение в дальнем поле изучалось при использовании, удалённого от светодиода экрана из кремниевой пластины с рассеивающей поверхностью.

Спектры отражения от фотонных кристаллов содержали минимумы, отсутствующие в спектрах образцов без ФК. ИК-изображения в образцах без ФК при прямом (положительная люминесценция) и обратном (отрицательная люминесценция) смещении повторяли форму мезы.

При наличии ФК ИК-изображения дополнительно содержали «дубликаты» первичного изображения в виде 1-го, 2-го и 3-го гексагонально «упакованных» порядков дифракции. Очевидно, что имело место увеличение эффективной излучающей площади и интегральной мощности излучения благодаря лучам, падающим на границу раздела полупроводник/воздух под углами, большими угла полного внутреннего отражения.

Влияние дифракции лучей можно было обнаружить и в картине дальнего поля. Распределение освещённости по поверхности экрана, расположенного на расстоянии 150 мкм от светодиода, характеризовалось симметрией относительно центральной части изображения. Угловая зависимость интенсивности в сечении параллельном излучающей поверхности с ФК (т.е. в плоскости экрана из кремниевой пластины) имела периодическую структуру с чередованием максимумов и минимумов, с периодом кратным 15 угл.град., что соответствовало геометрии фотонного кристалла.

Таким образом, были разработаны методы получения и созданы светодиоды на основе InGaAsSb и светодиодные линейки с 2D фотонным кристаллом, сформированным на поверхности InAs и изучено влияние ФК на распределение мощности излучения в ближнем и дальнем поле в светодиодах.

Полученные светодиоды могут быть использованы при создании приборов химического анализа в т.ч. портативных и трассовых газоанализаторов, приборов контроля производственных процессов (анализаторы толщин плёнок), анализаторов выхлопа автомобильных газов, систем тепловидения. Такие приборы могут применяться в нефтегазовой, химической, горнодобывающей промышленности, службах газоснабжения, при контроле взрывоопасности помещений, в медицине и др.

Литература

1. T. Kuusela, J. Peura, B.A. Matveev, M.A. Remenny, N.M. Stus, «Photoacoustic gas detection using a cantilever microphone and III–V mid-IR LEDs», *Vibrational Spectroscopy*, 51(2). – 2009. – PP. 289–293.

УДК 535:621.373.8; 535:621.375.8

НЕПРЕРЫВНЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ ТУЛИЕВЫХ СВЕТОВОДОВ

М.А. Чернышева (Дальневосточный государственный университет путей сообщения)

Научный руководитель – к.ф.-м.н. А.А. Крылов (Научный центр волоконной оптики РАН)

С момента своего появления в 60-х годах XX века волоконные лазеры интенсивно исследовались и уже к началу XXI века в связи с появлением эффективных полупроводниковых лазеров накачки получили широкое применение во многих областях человеческой жизни: медицине, обработке материалов, высокоскоростной и трансконтинентальной волоконно-оптической связи.

В настоящее время идет активная работа по расширению диапазонов выходных характеристик волоконных лазеров, а следовательно и областей применения лазерной техники. Варьирование диапазона длин волн лазерного излучения достигается использованием активных световодов, сердцевина которых легирована различными редкоземельными элементами. В то же время генерация лазера в импульсном режиме позволяет сфокусировать значительную энергию импульсов в пятно сравнимое по размерам с длиной волны, что позволяет применять лазеры в спектроскопии, фотохимии и других областях науки и техники.

Целью настоящего исследования является получение стабильной генерации ультракоротких импульсов в режиме пассивной синхронизации мод на длине волны $\lambda \approx 2$ мкм в лазере, активной средой которого является световод, активированный тулием. Данный

режим будет инициирован с помощью полупроводникового насыщающегося поглотителя SESAM. Однако круг задач, рассматриваемых в данной работе, связан с разработкой и исследованием непрерывного тулиевого волоконного лазера при накачке непрерывным излучением лазера на основе волоконного световода, легированного эрбием и иттербием.

Для создания лазера накачки использовался световод с многоэлементной первой оболочкой, сердцевина которого легирована эрбием и иттербием. Длина активного световода составляет около 12 м. Он состоит из двух близкорасположенных световодов одинакового внешнего диаметра: одномодового с активированной сердцевиной и многомодового, не содержащего сердцевину. Световоды окружены полимерным покрытием, которое обеспечивает волноведущий режим для излучения накачки, которое распространяется по многомодовым световодам. На длине световода происходит перераспределение излучения накачки из многомодового в активированный одномодовый световод. Применение подобной конструкции позволяет увеличить эффективность ввода накачки, которым является многомодовое излучение лазерных диодов на длине волны $\lambda=965$ нм. Резонатор эрбий-иттербиевого лазера формируют две волоконные брэгговские решетки с коэффициентами отражения $R = 5\%$ и $R=100\%$ на длине волны $\lambda=1560$ нм.

Существенно уменьшить уровень шумов на выходе лазера удалось благодаря значительному увеличению числа продольных мод резонатора так, чтобы они перекрывались друг с другом, образуя континуум, то есть наращиванием длины пассивного световода. Включение дополнительно пассивного световода SMF 28 длиной 330 м привело к снижению порогового значения мощности, при котором возникают релаксационные колебания, до $P=40$ мВт. При этом среднеквадратичный шум RMS составил $\approx 3,2\%$ на мощностях более 100 мВт.

Дифференциальная эффективность лазера оказалась $\eta=(31,5\pm 0,8)\%$, что является характерной величиной для лазеров такого типа.

Данный лазер использовался для накачки тулиевого непрерывного лазера, для чего он подключался к волоконному мультиплексору WDM.

Основным компонентом непрерывного тулиевого лазера является световод, легированный ионами Tm^{3+} , который имеет следующие параметры: диаметр сердцевины $D=10$ мкм; ненасыщенные оптические потери на длине волны накачки $\lambda=1560$ нм составляют $\alpha = 60$ дБ/м, а на длине волны генерации $\lambda = 1960$ нм – $\alpha = 2,24$ дБ/м; разница показателей преломления сердцевины и оболочки составляет $\Delta n = 0,012$. Длина световода была выбрана равной 1 м, так как при этом происходит полное поглощение излучения накачки. Активный световод помещается в резонатор, образованный волоконной брэгговской решеткой ВБР с коэффициентом отражения 100% на длине волны $\lambda = 1960$ нм и волоконным зеркалом Саньяка с коэффициентом отражения $\approx 60\%$ на длине волны $\lambda = 1960$ нм.

В данном лазере была получена стабильная непрерывная генерация, при этом максимум спектра находится на длине волны $\lambda = 1961,8$ нм, а его ширина составляет $\Delta\lambda = 0,5$ нм. Дифференциальная эффективность лазера составила $\eta=(12,9\pm 0,1)\%$, что вызвано неоптимальным значением коэффициента отражения выходного зеркала Саньяка. В частности, при использовании в качестве выходного зеркала торца световода, сколотого под прямым углом (коэффициент отражения $R\approx 3,4\%$), была получена дифференциальная эффективность $\eta=(36,9\pm 0,5)\%$.

Таким образом, в данной работе были получены и исследованы непрерывные режимы генерации эрбий-иттербиевого волоконного лазера с диодной накачкой, а также накачиваемого им тулиевого лазера. Мощность одномодового излучения с длиной волны $\lambda = 1960$ нм составила 133 мВт при мощности накачки на длине волны $\lambda = 1560$ нм 970 мВт. Так как в задачи работы не входило достижение максимальной дифференциальной эффективности тулиевого лазера, а получение его стабильной генерации, что необходимо для реализации стабильного режима пассивной синхронизации мод, то оптимизация схемы лазера для достижения наилучших параметров будет производиться в процессе работы непосредственно над импульсным лазером.