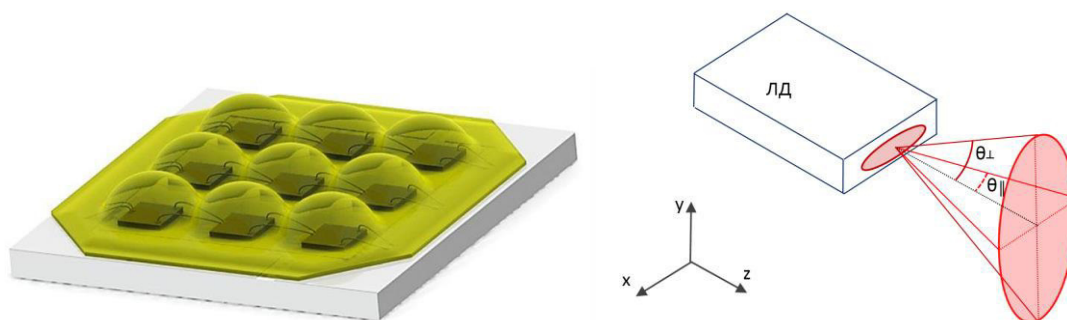


**С.Н. Липницкая, А.Е. Романов, Д.А. Бауман,
В.Е. Бугров**

**Моделирование оптических систем
оптоэлектронных приборов**

Учебное пособие



Санкт-Петербург

2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**С.Н. Липницкая, А.Е. Романов, Д.А. Бауман,
В.Е. Бугров**

**Моделирование оптических систем
оптоэлектронных приборов**

Учебное пособие

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлениям подготовки 12.04.05 «Лазерная техника и лазерные технологии»
и 16.04.01 «Техническая физика» в качестве учебного пособия для реализации
основных профессиональных образовательных программ высшего образования
магистратуры

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург

2019

С.Н. Липницкая, А.Е. Романов, Д.А. Бауман, В.Е. Бугров. Моделирование оптических систем оптоэлектронных приборов. – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 59 с.

Рецензент: Одноблюдов Максим Анатольевич, к.ф.-м.н., Директор Объединенного научно-технического института, ФГАОУ ВО «СПбПУ».

Представленные в сборнике лабораторные работы предлагаются студентам факультета лазерной фотоники и оптоэлектроники для освоения программного комплекса ZEMAX в области моделирования оптических систем светодиодов и полупроводниковых лазеров. Приведено подробное описание проведения расчетов в последовательном и непоследовательном режиме трассировки лучей, а также некоторые возможности программного комплекса в области решения задач физической оптики. В издании освещены вопросы комплексного моделирования источников излучения и моделирование эффективности ввода излучения в оптическое волокно. К лабораторным работам сформулированы контрольные вопросы и предложены варианты выполнения.

Учебное пособие подготовлено на факультете лазерной фотоники и оптоэлектроники.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019

© С.Н. Липницкая, А.Е. Романов, Д.А. Бауман, В.Е. Бугров, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Интерфейс ZEMAX.....	4
Лабораторная работа №1.1 Моделирование источников излучения и детекторов в непоследовательном режиме трассировки лучей	7
Лабораторная работа №1.2 Моделирование компонентов оптической системы светодиодных светильников в непоследовательном режиме трассировки лучей: линзы и оптические покрытия.....	11
Лабораторная работа №1.3 Моделирование компонентов оптической системы светодиодных светильников в непоследовательном режиме трассировки лучей: отражатели и светоотражающие корпуса.....	15
Лабораторная работа №1.4 Моделирование RGB-источника света	18
Контрольные вопросы по лабораторным работам №1.1-1.4	21
Лабораторная работа №2.1 Моделирование ввода излучения в многомодовое оптическое волокно	22
Лабораторная работа №2.2 Расчет эффективности ввода излучения в одномодовое оптическое волокно	25
Лабораторная работа №2.3 Инструменты оптимизации ZEMAX на примере оптимизации оптической системы ввода излучения в одномодовое оптическое волокно.....	28
Контрольные вопросы по лабораторным работам №2.1-2.3	30
Варианты выполнения лабораторной работы №1.1	30
Варианты выполнения лабораторной работы №1.2	32
Варианты выполнения лабораторной работы №1.3	36
Варианты выполнения лабораторной работы №1.4	41
Варианты выполнения лабораторной работы №2.1	44
Варианты выполнения лабораторной работы №2.2	49
Варианты выполнения лабораторной работы №2.3	55
Оформление отчета по лабораторным работам	57
Рекомендуемая литература.....	57

ВВЕДЕНИЕ

Представленные в сборнике лабораторные работы предлагаются студентам факультета лазерной фотоники и оптоэлектроники для освоения программного комплекса ZEMAX в области моделирования оптических систем оптоэлектронных приборов, включающих в себя светоизлучающие диоды и полупроводниковые лазеры.

ZEMAX — это программный пакет, позволяющий моделировать и анализировать различные оптические системы. Для расчета задач геометрической оптики этот пакет использует трассировку лучей по методу Монте-Карло, суть которого заключается в отслеживании траектории лучей и расчета взаимодействий с лежащими на траекториях объектами.

В ZEMAX реализовано два режима расчета: последовательная трассировка лучей (Sequential ray tracing) и непоследовательная трассировка лучей (Non-sequential ray tracing). Расчет системы в последовательном режиме означает, что лучи последовательно проходят через ряд оптических поверхностей. Каждая поверхность характеризуется радиусом кривизны, толщиной (расстоянием вдоль оси до следующей поверхности) и материалом (марка стекла), возможно также задание объектов сложной геометрии. Непоследовательный режим подразумевает, что нет заданной последовательности между объектами, через которые проходят лучи. Объекты в непоследовательном режиме могут обладать любой геометрией, для них задается расположение в пространстве, материал (в том числе возможно задание объемного рассеяния), свойства поверхностей. При непоследовательной трассировке лучи могут попадать на любую поверхность любого непоследовательного объекта, могут попадать на один и тот же объект несколько раз или вообще не попадать на него, в отличие от последовательной трассировки лучей, где все трассируемые лучи должны распространяться через один и тот же набор поверхностей в порядке следования этих поверхностей. Помимо задач геометрической оптики, ZEMAX имеет ряд инструментов для решения задач физической оптики.

Данный курс содержит 7 лабораторных работ, которые разделены на два блока: комплексное моделирование источников излучения (лабораторные работы 1.1-1.4), моделирование эффективности ввода излучения в оптическое волокно (лабораторные работы 2.1-2.3).

Для выполнения лабораторной работы требуется ознакомиться с методическим материалом соответствующей работы, получить индивидуальное задание у преподавателя, написать и сдать отчеты.

Интерфейс ZEMAX

В ZEMAX существуют различные типы окон, каждое из которых выполняет разные функции. Типы окон ZEMAX:

1. Главное окно (рисунок 1). Это окно имеет большую свободную область с заголовком, панелью меню и панелью инструментов вверху. На панели инструментов расположены кнопки для проведения манипуляций с файлами (открыть, сохранить и т.д.), кнопки для вызова окон редакторов, кнопки для редактирования параметров системы, кнопки для проведения анализа системы, инструменты, включающие в себя оптимизацию и контроль допусков.

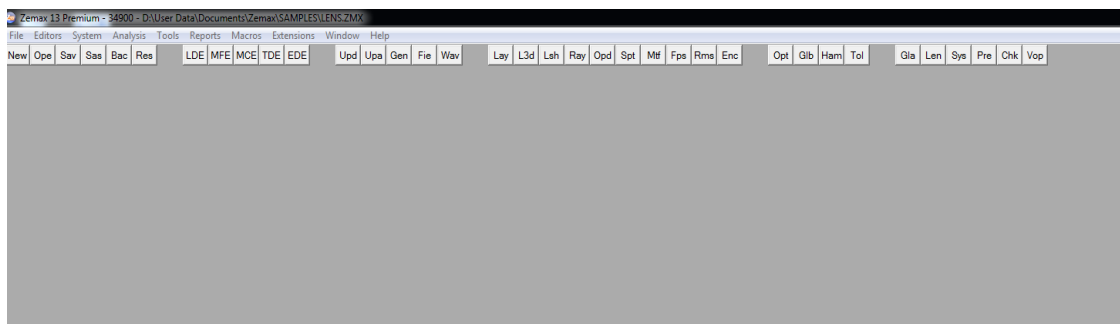


Рисунок 1 Главное окно ZEMAX

2. О окна редакторов (рисунок 2). Существует шесть различных редакторов: редактор компонентов последовательной системы (Lens Data Editor, LDE), редактор оценочной функции (Merit Function Editor, MFE), редактор мультikonфигураций (Multi-Configuration Editor, MCE), редактор допусков (Tolerance Data Editor, TDE), редактор дополнительных данных (Extra Data Editor, EDE) и редактор непоследовательных компонентов (Non-Sequential Components Editor, NCE).
3. Графические окна (Рисунок 3). Эти окна используются, чтобы отобразить графические данные проектируемой системы (Lay, L3d, Lsh) и различные графики (Ray, Opd, Spt, Mtf, Fps, Rms, Enc и др.). В этих окнах есть следующие пункты меню: обновить (Update), параметры (Settings), распечатать (Print), параметры графического окна (Window), текст (Text), увеличение (Zoom).
4. Текстовые окна. Используются для отображения текстовых данных. В этих окнах есть следующие пункты меню: обновить (Update), параметры (Settings), распечатать (Print), параметры окна (Window).
5. Диалоговые окна. Всплывающие окна, которые используются для установки различных параметров и ввода данных.

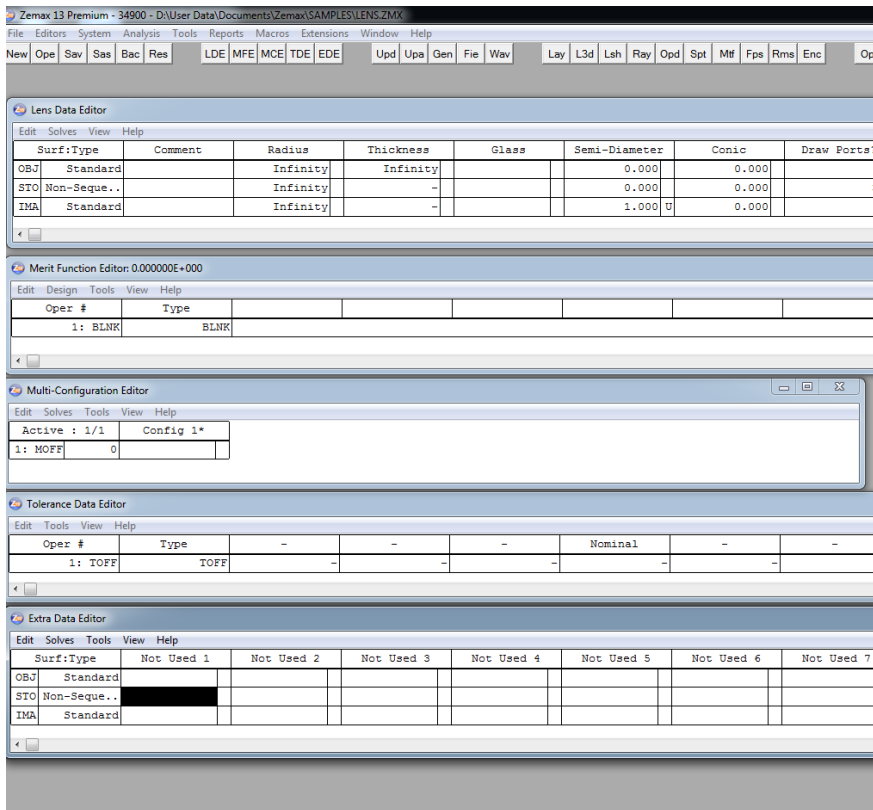


Рисунок 2 Окна редакторов

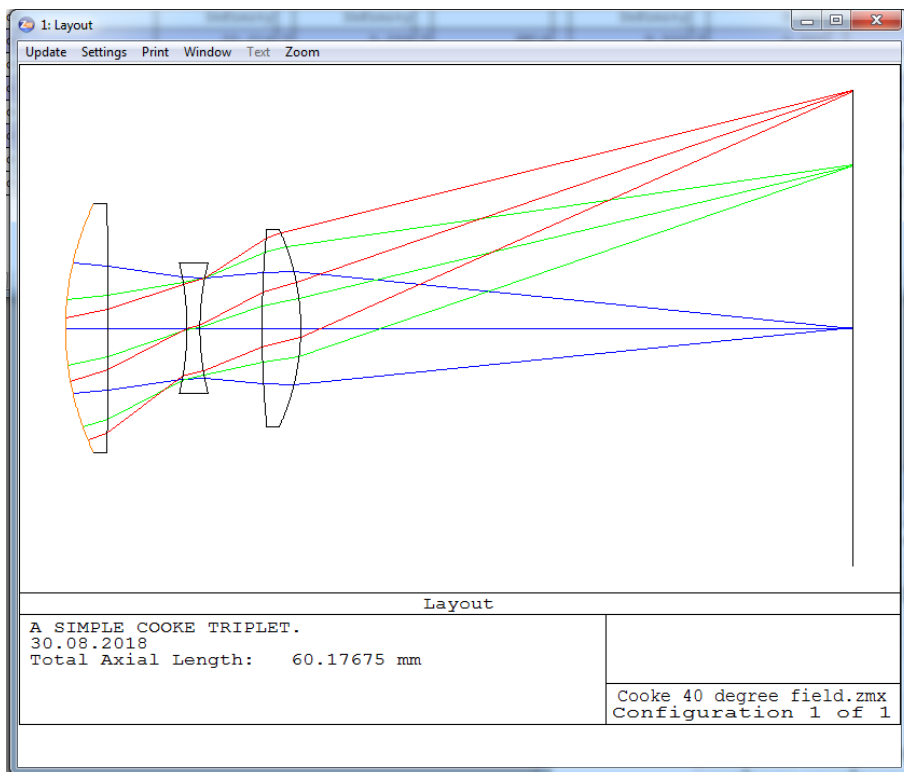


Рисунок 3 Графическое окно Layout

Лабораторная работа №1.1 Моделирование источников излучения и детекторов в непоследовательном режиме трассировки лучей

Целью работы является освоение инструментов программы ZEMAX для моделирования источников излучения и детекторов в непоследовательном режиме трассировки лучей.

После выбора в меню режима непоследовательной трассировки лучей (File - Non-Sequential mode) откроется редактор непоследовательных компонентов (Non-Sequential Editor). В данной лабораторной работе мы будем рассматривать два типа объектов: источник (source) и детектор (detector).

Типы источников излучения в ZEMAX приведены ниже.

Дифракционный источник (Source Diffractive)

Источник, имеющий дифракционную картину дальнего поля, апертура задается файлом UDA (User Defined Aperture).

Источник – диод (Source Diode)

Может быть задан один диод или одномерный/двумерный массив диодов. Распределение интенсивности каждого диода определяется по формуле

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-2\left(\left(\frac{\theta_x}{\alpha_x}\right)^{2G_x} + \left(\frac{\theta_y}{\alpha_y}\right)^{2G_y}\right)},$$

где α_x и α_y – углы расходимости излучения по осям x и y в градусах (ось распространения излучения z), G_x и G_y – порядок супергауссова распределения по осям x и y .

Файл DLL (Source DLL)

Источник задается в виде файла DLL, сформированного в другой программе.

Источник – эллипс (Source Ellipse)

Плоский источник излучения эллиптической формы. Распределение интенсивности задается одним из двух способов:

- интенсивность луча определяется по закону косинуса

$$I(\theta) = I_0 (\cos \theta)^{c_n},$$

где c_n – константа от 0 до 100.

- интенсивность луча определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

где l и m направляющие косинусы луча в по осям x и y , G_x и G_y – константы.

Файл EULUMDAT (Source EULUMDAT File)

Источник задается в виде файла EULUMDAT.

Источник – нить накаливания (Source Filament)

Для задания источника надо задать количество витков нити N , длину нити L и радиус поворота R .

Источник задается в файле с расширением DAT или SDF (Source File)

Пользователь формирует файл с параметрами излучения.

гауссов источник (Source Gaussian)

Распределение интенсивности точечного источника задается как распределение Гаусса. В качестве параметра задается радиус пучка, на котором интенсивность спадает в e^2 раз.

Файл IESNA (Source IESNA File)

Источник задается в виде файла IESNA.

Импортируемый источник (Source Imported)

Геометрия источника импортируется в виде файлов с расширением IGES, STEP или SAT. Распределение интенсивности по поверхности импортированного объекта задается следующим образом:

$$P(\theta) = (\cos\theta)^x,$$

где θ – угол между нормалью к поверхности и лучом, x – задаваемый пользователем параметр от 0 до 400.

Источник – объект (Source Object)

В качестве источника выступает любой геометрический объект из списка объектов ZEMAX. Распределение интенсивности по поверхности объекта задается так же, как для импортируемого источника.

Точечный источник (Source Point)

Точечный источник имеет равномерную интенсивность излучения внутри конуса, с задаваемым углом раствора от 0° до 180° .

Радиальный источник (Source Radial)

Радиальный источник — это плоский источник, прямоугольник или эллипс, излучающий лучи в полусфере. Распределение интенсивности лучей симметрично относительно оси z , перпендикулярной к поверхности источника, и задается кубическим сплайном, число точек сплайна задается целым числом от 5 до 181.

Источник – луч (Source Ray)

Точечный источник, который излучает лучи вдоль задаваемых направляющих косинусов.

Источник – прямоугольник (Source Rectangle)

Задается аналогично источнику эллипс.

Источник – трубка (Source Tube)

Источник имеет форму цилиндрической трубки, с поверхности которой происходит излучение.

Источник, задаваемый двумя углами (Source Two Angle)

Этот источник имеет прямоугольную или эллиптическую поверхность и излучает лучи одинаковой интенсивности в пределах конуса с задаваемыми углами раствора по осям x и y .

Источник – объемный цилиндр (Source Volume Cylinder)

Объемный источник, имеющий форму цилиндра с эллиптическим сечением. Лучи излучаются случайным образом внутри любой точки объемного источника и в любом направлении и имеют одинаковую интенсивность.

Источник – объемный эллипс (Source Volume Ellipse)

Объемный источник, сформированный эллиптическими формами в плоскостях XY , XZ , YZ . Лучи испускаются случайным образом внутри любой точки объемного источника в любом направлении и имеют одинаковую интенсивность.

Источник – параллелепипед (Source Volume Rectangle)

Объемный источник, имеющий форму параллелепипеда. Лучи испускаются случайным образом внутри любой точки объемного источника в любом направлении и имеют одинаковую интенсивность.

Помимо специфических параметров, задаваемых для конкретного типа источника, есть параметры, которые задаются для всех типов:

- число лучей, используемых для изображения на чертеже (Layout Rays);
- число лучей, используемых для расчета (Analysis Rays);
- мощность (Power (units)): в зависимости от выбранных единиц измерения задается оптическая мощность (Вт) или световой поток (Лм);
- номер длины волны (Wavenumber): система длин волн задается в окне «wavelength data editor» (System - Wavelength); ноль означает полихроматическое излучение, когда длина волны луча выбирается

случайным образом из «wavelength data editor» с учетом веса каждой длины волны.

Рассмотрим теперь типы детекторов в ZEMAX. Детектор – это поверхность, на которой фиксируются параметры лучей, которые на нее попадают.

Цветовой детектор (Detector Color)

Плоский прямоугольный детектор, который хранит данные о мощности (световом потоке) и координатах цветности. Основные параметры для задания детектора: размеры по осям x и y , количество элементов по осям x и y (максимальное количество элементов 5000 для 32-битной версии и 6000 для 64-битной версии), тип записываемых данных, минимальные и максимальные значения углов для падающих лучей, которые учитывает детектор (по умолчанию детектор фиксирует информацию о всех лучах), учет поляризации и др.

Полярный детектор (Detector Polar)

Детектор представляет собой сферу и хранит данные о мощности (световом потоке) и координатах цветности. Основные параметры для задания детектора: радиус, число радиальных (между 10 и 721) и угловых (между 12 и 720) элементов.

Прямоугольный детектор (Detector Rectangle)

Плоский прямоугольный детектор, который хранит некогерентные, когерентные, поляризационные данные, функцию рассеяния точки и др. Основные параметры для задания детектора: размеры по осям x и y , количество элементов по осям x и y (максимальное количество элементов 5000 для 32-битной версии и 6000 для 64-битной версии), тип записываемых данных, длина волны для функции рассеяния точки, минимальные и максимальные значения углов для падающих лучей, которые учитывает детектор (по умолчанию детектор фиксирует информацию обо всех лучах), учет поляризации и др.

Поверхностный детектор (Detector Surf)

Детектор асферической формы, хранит только некогерентные данные об освещенности. Основные параметры для задания детектора: радиус кривизны, коническая константа, максимальный радиус, минимальный радиус (если больше нуля, то поверхностный детектор будет представлять собой кольцо), число радиальных и угловых элементов, тип данных.

Объемный детектор (Detector Volume)

Детектор имеет форму параллелепипеда и хранит данные о падающем потоке, поглощенном потоке или поглощенном потоке на единицу объема.

Основные параметры для задания детектора: размеры в направлении x , y , z , число ячеек в направлениях x , y , z .

Объекты – детекторы (Objects as detectors)

В качестве детектора выступает любой геометрический объект из списка объектов ZEMAX. Записывает и отображает только некогерентные данные об освещенности.

Перейдем теперь непосредственно к моделированию источников излучения, которые используются в оптоэлектронных приборах.

Помимо самого источника излучения, чипа светодиода или лазерного диода, как правило, необходимо еще смоделировать корпус устройства, подложку и различные элементы первичной и вторичной оптики (например, линзы и отражатели). Для моделирования геометрии этих элементов можно использовать базу объектов ZEMAX или импортировать ее из сторонних пакетов, например, SolidWorks, Autodesk, Creo Parametric и др. (подходят файлы с расширениями STEP, IGES, SAT). В случае импорта объектов скорость расчетов значительно снижается. Каждый геометрический объект обладает своими оптическими свойствами. Для непрозрачных объектов это свойства поглощения, отражения и поверхностного рассеяния света, для прозрачных объектов это коэффициент прозрачности, показатель преломления, объемное светорассеяние и др. В ZEMAX есть довольно большая база прозрачных материалов разных производителей, и чаще всего ее достаточно, однако есть возможность задавать новый материал с любыми характеристиками.

После задания всех объектов и материалов можно запускать расчет (кнопка Rtc в меню, или Analysis – Ray Tracing – Ray Trace). Откроется окно с параметрами проведения расчета, в нем можно установить необходимые для конкретной задачи флаги: учет поляризации (Use Polarization), учет разделения лучей (Split Rays), рассеяние лучей (Scatter Rays). Для начала расчета нужно нажать кнопку Trace, если расчет уже проводился, то предварительно нужно обнулить данные на детекторах (Clear Detectors).

Лабораторная работа №1.2 Моделирование компонентов оптической системы светодиодных светильников в непоследовательном режиме трассировки лучей: линзы и оптические покрытия

Целью работы является освоение инструментов программы ZEMAX для моделирования таких компонентов оптоэлектронных устройств, как линзы и оптические покрытия.

Для моделирования геометрии линз и оптических покрытий можно использовать базу объектов ZEMAX или импортировать ее из сторонних пакетов, например, SolidWorks, Autodesk, Creo Parametric и др. (подходят файлы с расширениями STEP, IGES, SAT). В случае импорта объектов скорость расчетов значительно снижается.

После выбора в меню режима непоследовательной трассировки лучей (File - Non-Sequential mode) откроется окно с элементами непоследовательной оптической системы (Non-Sequential Editor). В данной лабораторной работе мы будем рассматривать прозрачные геометрические объекты. Помимо расположения и угла наклона объекта, надо также задать его геометрические размеры, а в столбце Material задать материал этого объекта. Каталог прозрачных материалов можно посмотреть по адресу Tools – Catalogs – Glass Catalog. В данном каталоге приведены оптические материалы, их свойства и параметры. При необходимости можно задать материал со свойствами, отличными от приведенных в каталоге. Для этого один из каталогов можно сохранить под другим названием (Save Catalog As) и редактировать параметры стекла, в частности, выбрать дисперсионную формулу и заполнить для нее коэффициенты, также можно внести данные о прозрачности материала (Transmission).

Можно посмотреть график зависимости показателя преломления от длины волны Analysis – Glass And Gradient index - Dispersion Diagram.

В свойствах объекта также можно задать объемное рассеяние (Bulk Scatter), это актуально для прозрачных объектов, в которых имеются частицы или неоднородности, на которых происходит рассеяние луча.

В случае, если источник света находится внутри прозрачного материала, в объекте источника в столбце «Inside of» нужно написать номер объекта, внутри которого он находится.

Объемное рассеяние определяется функцией распределения вероятности P для угла рассеяния θ (угол, на которой отклоняется луч после рассеяния) и свободным пробегом луча до рассеяния.

Некоторые варианты задания объемного рассеяния, которые предложены в ZEMAX, приведены ниже.

Угловое рассеяние (Angle Scattering)

Лучи, перемещающиеся на расстоянии x внутри среды, имеют суммарную вероятность рассеяния, задаваемую следующим образом:

$$p(x) = 1.0 - e^{-\mu x},$$
$$\mu = \frac{1}{M},$$

где M – средняя длина свободного пробега луча до рассеяния, которая задается в модели.

После рассеяния направление луча меняется случайным образом, но лежит в пределах некоторого конуса, угол которого является параметром модели. Вероятность рассеяния в любом направлении постоянна:

$$P = 1/2.$$

Полиномиальное рассеяние (Poly_bulk_scat.DLL)

Вероятность рассеяния определяется следующим образом:

$$P(\theta) = \sum c_i \theta^i.$$

Рассеяние Хеньи—Гринштейна (Henyeey-Greenstein-bulk.DLL)

Обычно характеризует рассеяние света на маленьких частицах (например, в тумане):

$$P(\theta) = \frac{1}{4\pi} \frac{1 - g^2}{(1 + g^2 - 2g \cos \theta)^{3/2}},$$

где параметр g характеризует распределение, например, если $g = 0$, то рассеяние на всех углах равновероятное, при приближении g к единице распределение имеет высокий пик в окрестности $\theta = 0$.

Рассеяние Рэля (Rayleigh.DLL)

Характеризует рассеяние на частицах, размер которых сильно меньше длины волны света, и средняя длина пробега луча до светорассеяния пропорциональна длине волны света ($\sim \lambda^4$):

$$P(\theta, \lambda) = 0.375 \frac{1 + \cos^2 \theta}{\lambda^4}.$$

Рассеяние Ми (Mie.DLL)

Определяет вероятность рассеяния в соответствии с теорией Ми. Для использования этой модели необходимо задать показатель преломления рассеивающих частиц, их средний радиус (в мкм), концентрацию частиц (в см⁻³) и их прозрачность.

Рассеяние на частицах люминофора (Phosphor.DLL)

Эта модель предназначена для моделирования рассеяния света на частицах люминофора, на которых также может происходить флюоресценция. Применение этой модели означает, что свет попадает в среду с частицами люминофора и может претерпевать рассеяние на них и изменение длины волны. Если на частицы попадает луч с исходной длиной волны (в модели указывается интервал Blue Min и Blue Max длин волн исходного света) и происходит флюоресценция, то выходящий луч рассеивается в соответствии с угловой моделью объемного рассеяния. Если флюоресценция не происходит или на частицу попадает луч, уже претерпевший флюоресценцию, то рассеяние происходит в соответствии с моделью Ми.

В данной лабораторной работе будет проведено моделирование упрощенной модели светодиодного источника света – модуля чип-на-плате (рисунок 4).

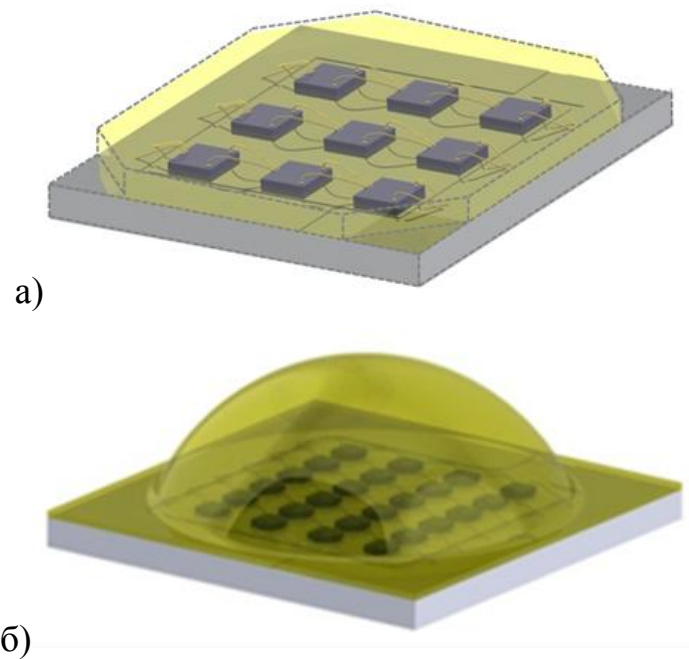


Рисунок 4 Конструкция модуля чип-на-плате с несколькими чипами на подложке: а) плоское оптическое покрытие, б) оптическое покрытие в виде линзы

Угол полного внутреннего отражения (ПВО) α для материала покрытия с показателем преломления 1.4 (силиконовый эластомер) составляет около 45° (рисунок 5). На схеме распространения лучей в светодиодном модуле можно отметить несколько основных областей: область I заключена в конус с углом раствора α и включает в себя все лучи, которые не претерпевают ПВО и покидают модуль, область II включает в себя лучи, которые претерпевают ПВО и попадают на подложку или на другие чипы, область III включает в себя лучи, которые претерпевают ПВО, но покидают устройство через боковую поверхность покрытия.

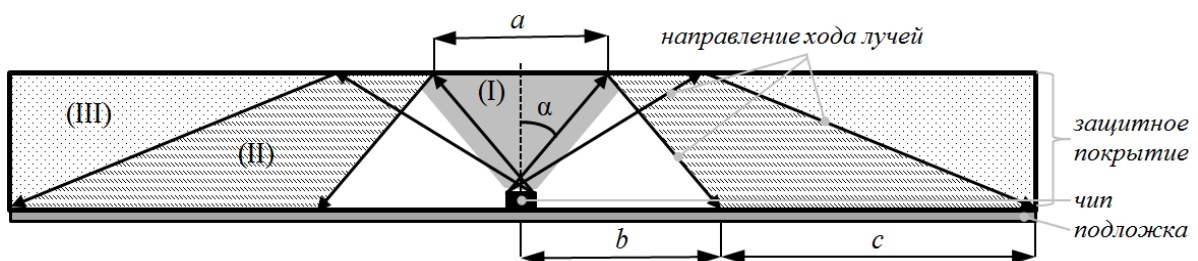


Рисунок 5 Схема распространения лучей в светодиодном модуле, содержащей один чип (вид сбоку)

Лабораторная работа №1.3 Моделирование компонентов оптической системы светодиодных светильников в непоследовательном режиме трассировки лучей: отражатели и светоотражающие корпуса

Целью работы является освоение инструментов программы ZEMAX для моделирования отражателей и светоотражающих корпусов, являющихся компонентами оптической системы светодиодных светильников.

Для непрозрачных объектов и их поверхностей необходимо указать, каким образом ведут себя лучи после попадания на эти поверхности: рассеиваются, поглощаются, отражаются. Самый простой вариант задания свойства поверхности – это указать в столбце материала (Material) либо ABSORB – тогда поверхность объекта будет поглощать все падающие на нее лучи, либо MIRROR – тогда поверхность будет зеркально отражать все падающие на нее лучи без поглощения. Но в реальных задачах свойства поверхности всегда сложнее: при попадании луча на поверхность часть его мощности может поглотиться, сам луч может рассеяться, и дальнейшее моделирование будет производиться уже для нескольких лучей, направление и мощность каждого из которых будет определяться исходя из заданной на поверхности модели рассеяния.

Свойства поверхностного рассеяния задаются в свойствах объекта во вкладке Coat/Scatter. Для задания свойств рассеяния сначала надо выбрать поверхность объекта, на которой будут задаваться рассеивающие свойства (Face). Затем определить тип поверхности (Face Is): отражающая (Reflective), поглощающая (Absorbing), по умолчанию (Object Default) – означает, что свойства поверхности сочетают в себе отражение, поглощение и рассеяние. В ZEMAX есть библиотека покрытий (Coating) с известными свойствами отражения, преломления, рассеяния и поглощения, которые можно использовать, и есть также возможность задать на поверхности определенные рассеивающие свойства с использованием различных моделей (Scatter Model).

На рисунке 6 схематически изображен процесс попадания луча на поверхность и его разделение на зеркально отраженный луч и рассеянный луч.

Далее во всех формулах индексы i, s, r соответствуют падающему (incident), рассеянному (scattered) и отраженному (reflected) лучу.

Проекции зеркально отраженного луча и рассеянного луча на поверхность обозначены на рисунке 6 векторами $\vec{\beta}_0$ и $\vec{\beta}$ соответственно. Величина вектора $\vec{\beta}_0$ равна $\sin\theta_r$, а величина вектора $\vec{\beta}$ составляет $\sin\theta_s$.

Рассеяние света на поверхности характеризуется функцией двунаправленного поверхностного рассеяния (англ. Bi-Directional Scatter Distribution Function (BSDF)):

$$BSDF(\theta_i, \varphi_i, \theta_s, \varphi_s) = \frac{dL_s(\theta_s, \varphi_s)}{dE_i(\theta_i, \varphi_i)},$$

здесь L – яркость, E – освещенность, полярные координаты луча: θ – нормальный угол, φ – азимутальный угол.

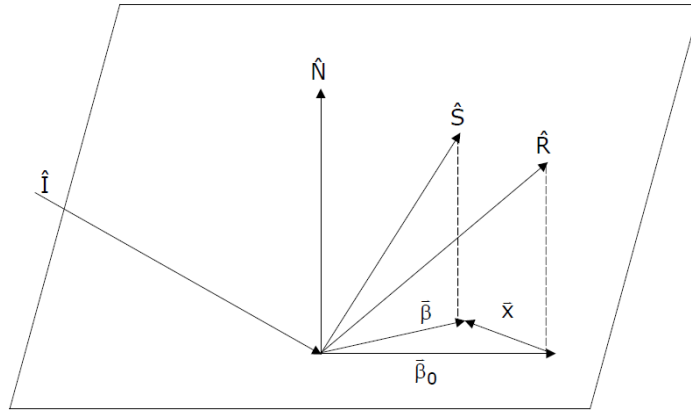


Рисунок 6 Схематическое изображение падающего (I), зеркально отраженного (R) и рассеянного (S) луча, относительно нормали к поверхности (N)

Функция $BSDF$ может быть определена как функция вектора \vec{x} , который представляет собой разность векторов $\vec{\beta}$ и $\vec{\beta}_0$. Несложно догадаться, что если величина вектора \vec{x} равна нулю, то отраженный зеркально и рассеянный луч совпадают.

Интеграл функции $BDSF$ по всем возможным углам рассеяния (в пределах полусферы) называется полным интегралом рассеяния (англ. Total Integrated Scatter (TIS)):

$$TIS(\theta_i, \varphi_i) = \iint BSDF(\theta_i, \varphi_i, \theta, \varphi) \cos\theta \sin\theta d\theta d\varphi$$

В ZEMAX доступно семь вариантов задания рассеяния: нет рассеяния (none), ламбертовское (Lambertian), гауссово (Gaussian), ABg, ABG File, BSDF, пользовательская модель.

Отсутствие рассеяния означает, что функция $BSDF$ равна нулю, и величина вектора \vec{x} равна нулю.

При ламбертовском рассеянии (Lambertian scattering) рассеяние света на поверхности происходит по всем направлениям и не зависит от угла падения луча. Функция $BSDF$ равна $1/\pi$. Интенсивность рассеянного света пропорциональна $\cos\theta_s$. Большинство диффузно отражающих поверхностей имеет рассеивающие свойства, близкие к ламбертовскому рассеянию.

При гауссовом рассеянии (Gaussian scattering) функция $BSDF$ определяется следующим образом:

$$BSDF(\vec{x}) = Ae^{\frac{-|\vec{x}|^2}{\sigma^2}},$$

где A — нормировочная константа. Распределение рассеянных лучей осесимметрично в пространстве направляющих косинусов. Безразмерная величина σ определяет ширину гауссова распределения. Величины σ больше 5 приближают это рассеяние к ламбертовскому.

Для модели рассеяния ABg функция двунаправленного поверхностного рассеяния определяется следующим образом:

$$BSDF(\vec{x}) = \frac{A}{B + |\vec{x}|^g}.$$

На коэффициенты этой модели накладываются следующие ограничения: $A \geq 0$; $B \geq 10^{-12}$.

Эта модель часто используется для поверхностей со случайной изотропной шероховатостью, если характерные размеры шероховатости меньше длины волны падающего света, например, такими поверхностями могут быть полированные оптические поверхности.

Для учета рассеивающих и поглощающих свойств поверхности необходимо при запуске расчета поставить флаги – учет поляризации (Use Polarization), учет разделения лучей (Split Rays), рассеяние лучей (Scatter Rays).

На рисунке 7 приведен пример моделирования рассеивающей поверхности в ZEMAX: исходный луч попадает на такую поверхность и разделяется на несколько лучей, каждый из которых отслеживается в расчетах.

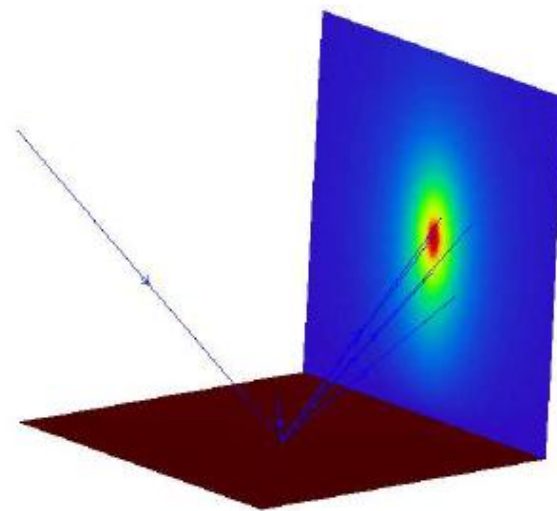


Рисунок 7 Пример моделирования рассеивающей поверхности в ZEMAX

В данной лабораторной работе будет проведено моделирование источника света, помещенного в отражатели с различной геометрией и с различными отражающими свойствами (рисунок 8).

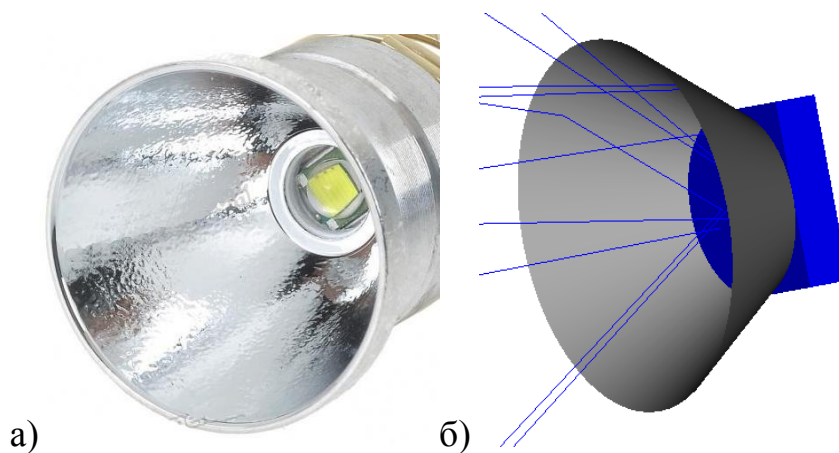


Рисунок 8 Источник света в светоотражающем корпусе: а) Модуль CREE XM-L2, б) упрощенная расчетная модель

Лабораторная работа №1.4 Моделирование RGB-источника света

Целью работы является освоение инструментов программы ZEMAX для моделирования трехцветного источника излучения и определения цветовых координат и коррелированной цветовой температуры.

Один из способов получения белого цвета излучения от светильника является смешение цветов от трех источников излучения с длинами волн, соответствующих синему (диапазон 0.440 – 0.485 мкм), зеленому (диапазон 0.500 – 0.565 мкм) и красному (диапазон 0.625 – 0.740 мкм) цвету.

Колориметрические характеристики осветительных приборов и, в частности, светодиодов являются очень важными параметрами и указываются в спецификации устройства. К таким характеристикам относятся координаты цветности (например, в цветовом пространстве CIE XYZ 1931 - x , y , z), коррелированная цветовая температура (CCT , К), индекс цветопередачи (CRI), однако исходной колориметрической величиной является спектр излучения ($I(\lambda)$). Все колориметрические параметры рассчитываются исходя из спектра излучения.

Значения координат цветности x , y , z в цветовом пространстве CIE XYZ 1931 определяются по формулам:

$$X = \int_{380}^{780} I(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda,$$

$$Y = \int_{380}^{780} I(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda,$$

$$Z = \int_{380}^{780} I(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda,$$

$$x = X/(X + Y + Z),$$

$$y = Y/(X + Y + Z),$$

$$z = Z/(X + Y + Z).$$

В приведенных формулах распределения $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ и $\bar{z}(\lambda)$ – функции цветового соответствия стандартного колориметрического наблюдателя, определённые Международной комиссией по освещению (International Commission on Illumination, CIE) в 1931 году (рисунок 9).

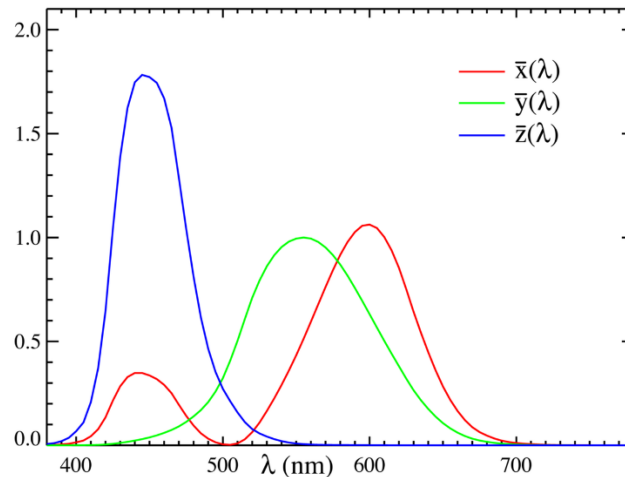


Рисунок 9 Функции цветового соответствия стандартного колориметрического наблюдателя

Пример RGB-светодиода приведен на рисунке 10.



Рисунок 10 Расположение светодиодных чипов в трехцветном RGB-светодиоде

Значения коррелированной цветовой температуры определяются путем сравнения координат цветности источника с координатами цветности нагретого чёрного тела на цветовом графике CIE XYZ (рисунок 11). Значения коррелированной цветовой температуры позволяют понять, каким оттенком обладает белый свет излучателя: высокие значения (4500 К – 6000 К) соответствуют холодным (синеватым) оттенкам, низкие значения (2500 К – 3000 К) соответствуют теплым (красноватым) оттенкам.

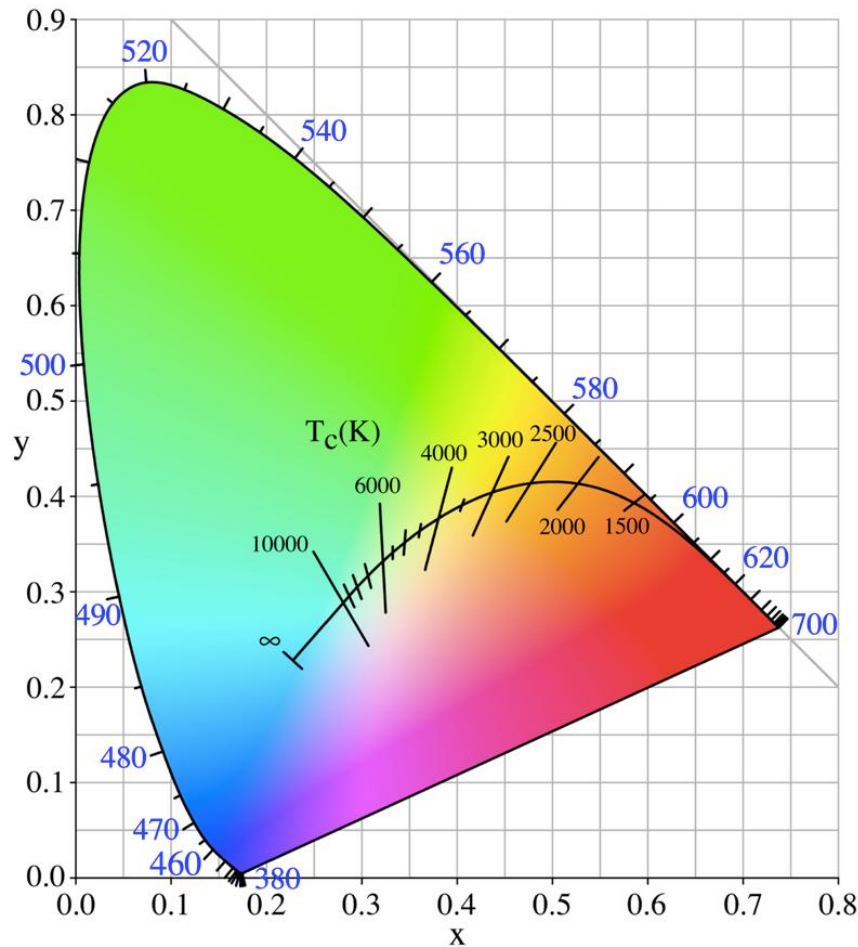


Рисунок 11 Цветовая диаграмма CIE XYZ 1931 с изображением кривой излучения абсолютно черного тела

В программе ZEMAX для изучения колориметрических характеристик моделируемого источника излучения следует использовать цветовой детектор (Detector Color). Если в настройках детектора поставить галочку напротив строки «Record spectral data» и задать необходимые параметры (диапазон длин волн и их количество), то детектор будет сохранять данные о спектральных характеристиках лучей, которые на него попадают. В этом случае есть возможность получить значение коррелированной цветовой температуры на детекторе. Стоит отметить, что полученное значение коррелированной цветовой температуры не дает понимания, какой же цвет имеет источник излучения. Поэтому в лабораторной работе также необходимо определить значения цветовых координат, для этого необходимо воспользоваться операторами для непоследовательного режима расчета. Настройка операторов производится в окне «Merit Function Editor» (кнопка MFE). Для данной лабораторной работы будет использовано два оператора непоследовательного режима:

- оператор NSTR, который запускает процесс расчета, его параметры определяют параметры расчета: номера источников, с которых

запускаются лучи (Src#, 0 – означает, что со всех источников запускаются лучи), учет поляризации, разделения, рассеяния лучей (Pol?, Splt? и Scat? соответственно), игнорирование ошибок расчета (IgEr?);

- оператор NSDE, который вычисляет значения искомых величин на цветовом детекторе. Основные параметры оператора: номер детектора (Det#), тип записываемых данных (Data, некоторые из значений: 1 – мощность, 9, 10 и 11 – координаты цветности x, y и z соответственно, 12 – CRI, 13 – CCT).

Пример задания операторов для определения колориметрических характеристик на цветовом детекторе приведен на рисунке 12.

Oper #	Type	Surf	Det#	Pix#	Angle?	Data	# Ignored
1: BLNK	BLNK	Clear detector					
2: NSDE	NSDE	1	0	0	0	0	0
3: BLNK	BLNK	Run the ray trace					
4: NSTR	NSTR	1	0	0	0	0	0
5: BLNK	BLNK	Color data					
6: NSDE	NSDE	1	6	0	0	5	0
7: NSDE	NSDE	1	6	0	0	6	0
8: NSDE	NSDE	1	6	0	0	13	0

Рисунок 12 Пример задания операторов для непоследовательной трассировки лучей

В данной лабораторной работе будет проведено моделирование осветительного прибора, представляющего собой подложку, на которой расположены три прямоугольных источника излучения с разными длинами волн. В зависимости от варианта задания данная оптическая система будет дополнена оптическими элементами: оптическое покрытие, линза, отражатель.

Контрольные вопросы по лабораторным работам №1.1-1.4

1. В чем отличие энергетических и оптических единиц измерения параметров светоизлучающих приборов?
2. Что такое диаграмма направленности источника излучения? Назовите несколько вариантов задания диаграммы направленности в ZEMAX.
3. Какие есть источники потерь оптической мощности в светодиодных модулях?
4. Какие есть способы снижения потерь оптической мощности в светодиодных модулях?
5. Что такое коррелированная цветовая температура?
6. Какие есть способы получения белого света для светоизлучающих устройств, использующих светодиоды? Какие плюсы и минусы у этих способов?

7. Какую модель объемного рассеяния рекомендуется использоваться в ZEMAX при расчете рассеяния на частицах люминофора?
8. Что такое угол полного внутреннего отражения?

Лабораторная работа №2.1 Моделирование ввода излучения в многомодовое оптическое волокно

Целью работы является освоение инструментов программы ZEMAX для моделирования ввода излучения в многомодовое оптическое волокно.

Рассмотрим для начала, что из себя представляет оптическое волокно. Оптическое волокно, как правило, имеет круглое сечение и состоит из сердцевины, отражающей оболочки и защитной оболочки. Сердцевина является центральной световедущей жилой, радиус которой составляет 2 – 5 мкм для одномодовых волокон и 20 – 30 мкм для многомодовых волокон. Отражающая оболочка также является прозрачной, характерное значение ее наружного радиуса составляет 50 – 70 мкм. Защитная оболочка изготавливается из непрозрачного полимерного материала, характерное значение наружного радиуса оптоволоконного кабеля с защитной оболочкой составляет 500 – 1000 мкм. Распространение света в сердцевине оптического волокна происходит за счет полного внутреннего отражения на границе сердцевина/оболочка, что достигается за счет разности показателя преломления сердцевины n_1 и показателя преломления отражающей оболочки n_2 . Механизм распространения светового луча по оптическому волокну изображен на рисунке 13: луч падает под углом θ на торец оптического волокна из среды с показателем преломления n_a . Если угол падения луча θ меньше апертурного угла оптического волокна θ_a , то луч распространяется в сердцевине, если больше – то попадает в отражающую оболочку, где, соударяясь с поверхностью защитной оболочки, постепенно затухает. Апертурный угол – это угол, для которого выполняются условия полного внутреннего отражения при распространении оптического излучения по сердцевине оптоволоконного кабеля. Значение апертурного угла можно вычислить по формуле:

$$\theta_a = \arcsin\left(\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_a}\right),$$

где n_1 и n_2 показатели преломления сердцевины и оболочки соответственно. Производители оптического волокна часто используют в спецификациях такой параметр, как числовая апертура волокна (Numerical Aperture), которая определяется как:

$$NA = n_a \sin\theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

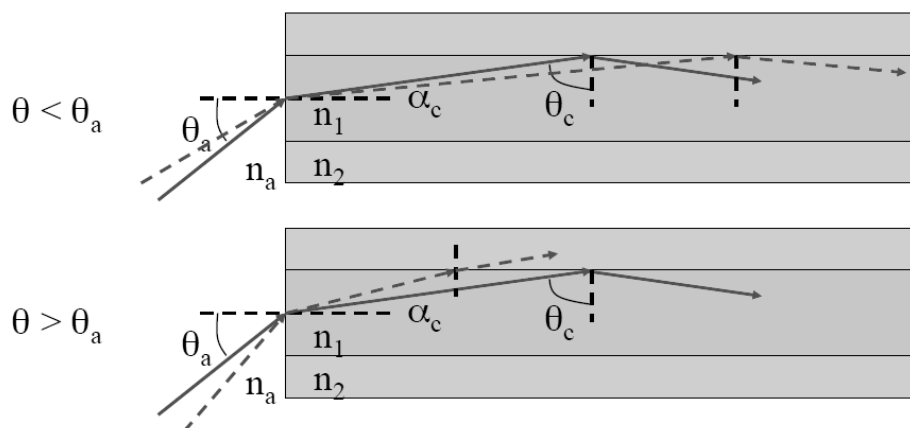


Рисунок 13 Полное внутреннее отражение на границе сердцевина/оболочка

В данной лабораторной работе будут рассмотрены многомодовые оптические волокна, так как их геометрические размеры позволяют проводить расчеты в рамках приближения геометрической оптики. Одномодовые волокна будут рассмотрены в лабораторной работе №2.2 в рамках физической оптики.

Для моделирования распространения света по многомодовому оптическому волокну необходимо задать материалы сердцевины и оболочки и тип оптического волокна: ступенчатое или градиентное. Типы многомодовых оптических волокон с их характерными размерами изображены на рисунке 14.



Рисунок 14 Типы многомодовых волокон: а) ступенчатое волокно, б) градиентное волокно

Как правило, у производителей оптических волокон (напр. Corning, Thorlabs) есть спецификации, в которых указаны характеристики оптического волокна и используемые материалы, но чаще всего

производители указывают только разницу в показателях преломления материалов сердцевины и оболочки или числовую апертуру. В качестве материалов чаще всего используются кварцевое стекло и легированное кварцевое стекло (например, фтором или германием). Материал «кварцевое стекло» есть в библиотеке материалов ZEMAX (каталог MISC, материал SILICA). Задание нового материала происходит следующим образом (рисунок 15):

- выбрать каталог, в котором имеются материалы, которые используются в задаче;
- сохранить каталог как... (Save Catalog As);
- установить значения показателя преломления для разных длин волн излучения (Fit Index Data – задать значение показателей преломления для разных длин волн, написать название стекла (Name), выбрать дисперсионную формулу (Formula), рассчитать коэффициенты дисперсионной формулы (Fit Index Data), добавить новое стекло в каталог (Add To Catalog));
- при необходимости можно установить свойства прозрачности стекла (Transmission), для этого надо указать интенсивность пропускания (Transmission, от 0 до 1) для определенной толщины материала (Thickness, в мм) на определенной длине волны (Wavelength, в мкм).

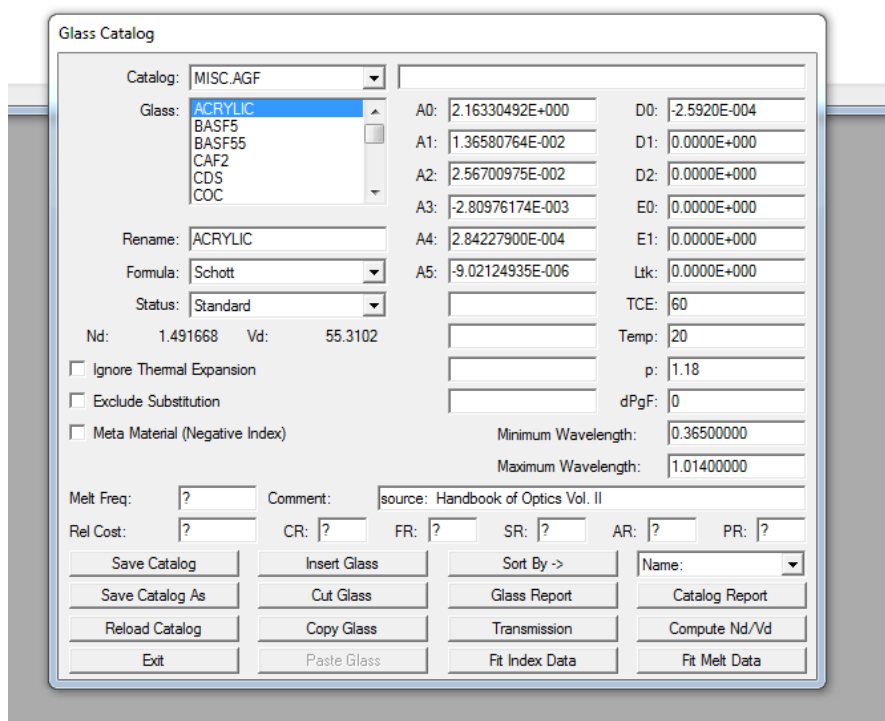


Рисунок 15 Окно каталога стекол

Для задания ступенчатого оптического волокна можно использовать геометрические объекты Cylinder Volume для сердцевины и Annular Volume для отражающей оболочки и непрозрачной защитной оболочки.

Для оценки распределения мощности в поперечном сечении оптического волокна и на выходе из него можно использовать детектор Detector Surface, который представляет собой круг если задать только значение Maximum Area (радиус круга), помимо этого параметра надо также задать число радиальных и угловых секторов.

Лабораторная работа №2.2 Расчет эффективности ввода излучения в одномодовое оптическое волокно

Целью работы является освоение инструментов программы ZEMAX для расчета эффективности ввода лазерного излучения в одномодовое оптическое волокно.

Помимо расчета оптических систем методами последовательной и непоследовательной геометрической трассировки лучей в ZEMAX также есть возможность моделирования физического распространения когерентных и частично-когерентных пучков через оптические системы (физическая оптика) (Analysis – Physical optics).

Излучение полупроводникового лазера можно представить в виде гауссова пучка. На рисунке 16 приведен пример распространения гауссова пучка в свободном пространстве и его основные параметры: $w(z)$ – ширина пучка, w_0 – минимальная ширина пучка (перетяжка), $R(z)$ – радиус кривизны, θ_0 – половина угла расходимости (образующая пучка $w(z)$ представляет собой гиперболу, асимптота которой наклонена к оси под углом θ_0), z_0 – параметр конфокальности.

Для вычисления параметров пучка используются следующие формулы:

$$\begin{aligned}z_0 &= \frac{\pi w_0^2}{\lambda}; \\R(z) &= z + \frac{z_0^2}{z}; \\w(z) &= w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2}; \\\theta_0 &= \operatorname{atan}\left(\frac{w_0}{z_0}\right).\end{aligned}$$

В ZEMAX при задании пучка размерность всех величин задается и указывается в размерности Lens Units, указанной в основных параметрах системы (System – General – Units), за исключением расходимости, которая задается в радианах.

Для расчета эффективности ввода излучения в оптическое волокно можно использовать инструмент Physical Optics Propagation (POP), указав в диалоговом окне параметры пучка и параметры оптического волокна и

отметив необходимость расчета эффективности ввода излучения (Compute Fiber Coupling Integral).

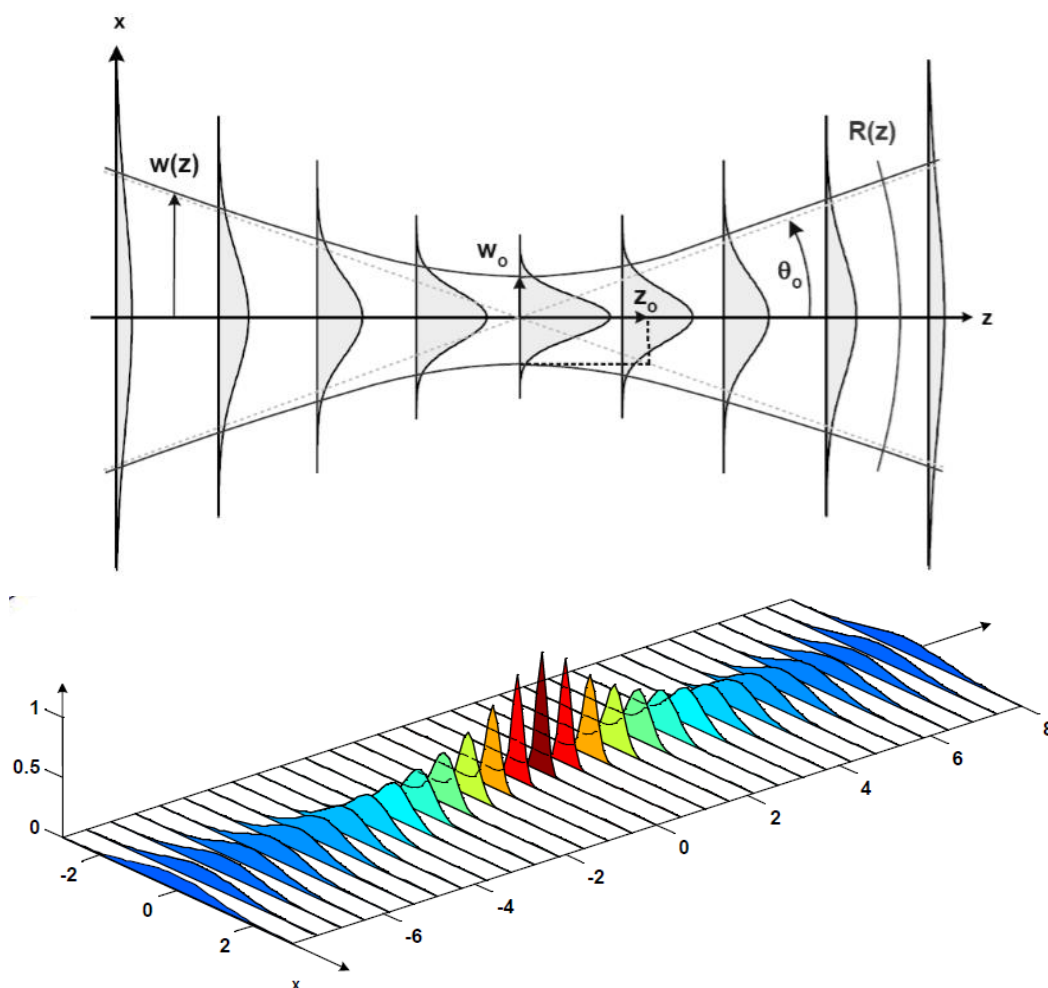


Рисунок 16 Распространение гауссова пучка в свободном пространстве

При использовании POP волновой фронт моделируется с использованием массива точек, каждая из которых хранит информацию о комплексной амплитуде пучка. Массив определяется пользователем (POP Settings – Beam Definition): задается количество точек (X-Sampling, Y-Sampling) и его размер (X-Width и Y-Width). Для расчета распространения пучка с одной поверхности на другую используется метод расчета дифракционного распространения или метод расчета распространения углового спектра.

Размер массива можно указать вручную или рассчитать автоматически (кнопка Automatic) по формулам:

$$X = w_{0x} \sqrt{\pi n_x};$$

$$Y = w_{0y} \sqrt{\pi n_y}.$$

В этих формулах n_x и n_y количество точек массива, w_{0x} и w_{0y} – ширина перетяжки по осям x и y соответственно.

Далее необходимо указать тип исходного пучка (Beam type) и его параметры. Для каждого пучка задается максимальное значение интенсивности поля моды (Peak Irradiance) или общая мощность пучка (Total Power).

Исходный пучок можно задать следующими несколькими способами.

Ширина гауссова пучка (Gaussian Waist)

Задается ширина перетяжки пучка по осям x и y : w_{0x} и w_{0y} . Также можно указать сдвиг относительно центральной оси по x и y (Decenter), значение апертуры по x и y (Aperture), порядок моды по x и y (Order).

Угол расходимости гауссова пучка (Gaussian angle)

Задается значение половины угла расходимости пучка θ_0 в дальнем поле (в градусах) и по нему высчитывается ширина перетяжки по формуле:

$$w_0 = \frac{\lambda}{\pi \tan \theta_0}.$$

Угол расходимости гауссова пучка и размер пучка (Gaussian Size+angle)

В этом случае задается значение половины угла расходимости пучка θ_0 в дальнем поле (в градусах) и по нему высчитывается ширина перетяжки w_0 , как и для случая, когда задавался только угол.

Если полученная по формуле ширина перетяжки больше заданного размера пучка w ,

то в качестве ширины перетяжки будет использоваться заданное значение.

После определяется положение перетяжки по формуле:

$$z = z_r \sqrt{\left(\frac{w}{w_0}\right)^2 - 1}.$$

Астигматический гауссов пучок (Astigmatic Gaussian)

Задаются значения ширины перетяжки по x и y и положения z перетяжки по x и y (расстояние до поверхности старта расчета).

Пучок имеющий равномерную интенсивность (top hat beam)

Амплитуда излучения задается следующим образом:

$$E(x, y) = E_0, \text{ если } \left(\frac{x-dx}{w_x}\right)^2 + \left(\frac{y-dy}{w_y}\right)^2 \leq 1, \text{ и}$$
$$E(x, y) = 0, \text{ если } \left(\frac{x-dx}{w_x}\right)^2 + \left(\frac{y-dy}{w_y}\right)^2 > 1.$$

Для данной модели задаются значения ширины перетяжки по x и y , смещение центра луча относительно оси z – dx и dy .

Многомодовый пучок (Multimode)

Многомодовый пучок представляет собой сумму нескольких пучков. В этом режиме для задания пучка используется пользовательский файл специального формата, в котором прописаны параметры луча.

Параметры оптического волокна (Fiber Data) вводятся в окне POP Settings. Для одномодового оптического волокна распределение интенсивности поля моды можно аппроксимировать гауссовой кривой, поэтому для задания одномодового волокна можно выбрать тип «Gaussian Waist» и в качестве значения перетяжки задать радиус модового поля оптического волокна для заданной длины волны. В спецификациях к волокнам обычно указывают диаметр модового поля (Mode Field Diameter, MDF).

Для вычисления эффективности ввода лазерного излучения в оптическое волокно необходимо поставить галочку «Compute Fiber Coupling Integral».

Общая эффективность системы (Total coupling efficiency) вычисляется как произведение эффективности приема излучения (Receiver efficiency) и эффективности системы (System efficiency).

Вычисление эффективности приема излучения T производится по следующей формуле:

$$T = \frac{\left(\iint F_r(x, y) W'(x, y) dx dy \right)^2}{\iint F_r(x, y) F_r'(x, y) dx dy \iint W(x, y) W'(x, y) dx dy},$$

где F_r – функция, описывающая комплексную амплитуду моды волокна, W – функция, описывающая комплексную амплитуду пучка на входном торце волокна, символом штриха обозначены комплексно сопряженные функции.

Максимальное значение эффективности ($T = 1.0$) достигается, когда модовое поле пучка полностью совпадает с модовым полем волокна как по амплитуде, так и по фазе.

Дополнительные потери в системе могут быть вызваны отражениями на границах раздела сред, объемным поглощением, апертурами, которые ограничивают пучок. Эти потери уменьшают эффективность системы.

Лабораторная работа №2.3 Инструменты оптимизации ZEMAX на примере оптимизации оптической системы ввода излучения в одномодовое оптическое волокно

Целью работы является освоение инструментов оптимизации программы ZEMAX.

Для получения оптимальных параметров оптической системы, то есть тех параметров, при которых будут достигнуты необходимые характеристики оптической системы (например, минимальные потери мощности и т.д.), можно воспользоваться встроенными инструментами оптимизации в ZEMAX.

Для выполнения оптимизации необходимо задать начальную оптическую схему, задать варьируемые параметры и определить оценочную функцию (Merit Function).

В качестве варьируемых параметров могут выступать значения кривизны поверхностей, толщины (расстояния между поверхностями), марки стекол, конические постоянные поверхностей и любые другие численные параметры, которые можно задать в редакторе компонентов (LDE или NCE). Чтобы обозначить параметр как варьируемый, в редакторе компонентов в поле «Solve Type» указывается значение «Variable».

В процессе выполнения алгоритма оптимизации происходит минимизация оценочной функции, которая определяется из взвешенных значений целевых параметров оптической системы (operands), определяющих необходимые характеристики оптимизированной оптической системы. Настройка операторов и оценочной функции производится в окне «Merit Function Editor» (MFE). Значение оценочной функции определяется следующим образом:

$$MF^2 = \frac{\sum W_i(V_i - T_i)^2}{\sum W_i},$$

где W – вес оператора (Weight), V – текущее значение оператора (Value), T – заданное значение оператора (Target), которое необходимо достичь в процессе оптимизации, индекс i – номер оператора. Список операторов ZEMAX очень обширный и полностью приведен в руководстве пользователя.

В данной работе будет рассмотрен пример оптимизации ввода лазерного излучения в одномодовое оптическое волокно.

После задания оптической системы и параметров физического распространения пучка надо определить операторы в окне редактирования оценочной функции (MFE). Для данной задачи можно взять оператор POPD (Physical Optics Propagation Data), у которого необходимо задать следующие параметры:

- Surf – номер поверхности, на которой вычисляется значение оператора, если установлен 0, то используется последняя поверхность в списке объектов;
- Wave – номер длины волны, если 0, то используется заданная система длин волн (окно Wavelength Data);
- Field – номер поля (окно Field Data);
- Data – параметр, который вычисляет оператор (далее приведены некоторые значения): 0 – общая эффективность системы (Total

coupling efficiency), 1 – эффективность системы (System efficiency), 2 – эффективность приема излучения (Receiver efficiency), 3 – полная мощность (Total Power), 4 – максимальное значение интенсивности поля моды (Peak Irradiance), 5, 6, 7 – положение контрольного луча, длина Рэлея, перетяжка по оси x , 8, 9, 10 – положение контрольного луча, критерий Рэлея, перетяжка по оси y , 11, 12, 13 – координаты X , Y и Z соответственно центра пучка на поверхности и т.д.

- X_{tr1} – не используется;
- X_{tr2} – не используется;
- Target – заданное значение оператора;
- Weight – вес оператора, поскольку он будет использоваться один в данной задаче, то значение веса – 1.

Далее необходимо выбрать варьируемые величины. Ими могут быть, например, расстояние от источника излучения до линзы, расстояние от линзы до торца оптического волокна, толщина линзы, радиусы кривизны линзы.

После того, как все параметры оптимизации определены, можно запускать процесс расчета – кнопка Opt, откроется окно оптимизации – необходимо выбрать количество циклов и алгоритм.

В итоге проведения оптимизации будут получены оптимальные значения варьируемых величин, при которых значение оценочной функции наименьшее.

Контрольные вопросы по лабораторным работам №2.1-2.3

1. Назовите основные параметры оптического волокна, которые указывают производители в спецификациях.
2. В каких случаях можно проводить расчет оптического волокна инструментами геометрической оптики?
3. Что такое апертурный угол оптического волокна?
4. Что такое гауссов пучок? Что такое перетяжка гауссова пучка?
5. Объясните понятия общая эффективность системы, эффективность приема излучения и эффективность системы.
6. Какие есть основные способы повышения эффективности ввода излучения в оптическое волокно?
7. Что такое оценочная функция?

Варианты выполнения лабораторной работы №1.1

Вариант 1

Провести моделирование прямоугольного источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону

Ламберта. Размеры прямоугольного источника 2x4 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Изобразить диаграмму направленности источника в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости.

Вариант 2

Провести моделирование прямоугольного источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону косинуса константой $c_n = 2$. Размеры прямоугольного источника 2x4 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Изобразить диаграмму направленности источника в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости.

Вариант 3

Провести моделирование эллиптического источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону косинуса константой $c_n = 4$. Размеры источника 2x2 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 440 нм. Изобразить диаграмму направленности источника в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости.

Вариант 4

Провести моделирование эллиптического источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону косинуса константой $c_n = 2$. Размеры источника 2x10 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 440 нм. Изобразить диаграмму направленности источника в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости.

Вариант 5

Провести моделирование прямоугольного источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует гауссову распределению с $G_x = 10$ и $G_y = 20$. Размеры прямоугольного источника 2x4 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Изобразить диаграмму направленности источника в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости.

Вариант 6

Провести моделирование источника – нити накаливания. Количество витков нити $N = 10$, длину нити $L = 1$ мм и радиус поворота $R = 0.1$ мм, длина волны излучения 600 нм, мощность излучения 1 мВт. Изобразить ход лучей от источника и диаграмму направленности источника.

Вариант 7

Провести моделирование гауссова источника. Размер пучка 0.1 мм, длина волны излучения 600 нм, мощность излучения 1 мВт. Изобразить распределение интенсивности источника в зависимости от угла излучения в декартовых координатах.

Вариант 8

Провести моделирование точечного источника. Угол излучения 40 градусов, длина волны излучения 600 нм, мощность излучения 1 мВт. Изобразить распределение интенсивности источника в зависимости от угла излучения в декартовых координатах.

Вариант 9

Провести моделирование точечного источника. Угол излучения 60 градусов, длина волны излучения 600 нм, мощность излучения 1 мВт. Изобразить распределение интенсивности источника в зависимости от угла излучения в декартовых координатах.

Вариант 10

Провести моделирование объемного источника параллелепипеда. Размеры прямоугольного источника 2x2x4 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Изобразить диаграмму направленности источника.

Варианты выполнения лабораторной работы №1.2

Вариант 1

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм. Материал подложки полностью поглощает свет (столбец материала ABSORB).

Источник света покрыт прозрачным оптическим покрытием, расположенным поверх подложки и не выступающим за ее пределы и представляющим собой параллелепипед с размерами 4x4x0.5 мм, материал покрытия – полиметилметакрилат (каталог MISC - PMMA). Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Вариант 2

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм. Материал подложки полностью поглощает свет (столбец материала ABSORB).

Источник света покрыт прозрачным оптическим покрытием, расположенным поверх подложки и не выступающим за ее пределы и представляющим собой параллелепипед с размерами 4x4x0.5 мм, материал покрытия – акриловый полимер (каталог MISC - ACRYLIC). Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Вариант 3

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм. Материал подложки зеркально отражает свет (столбец материала MIRROR).

Источник света покрыт прозрачным оптическим покрытием, расположенным поверх подложки и не выступающим за ее пределы и представляющим собой параллелепипед с размерами 4x4x0.5 мм, материал покрытия – полиметилметакрилат (каталог MISC - PMMA), внутри материала присутствует объемное угловое рассеяние, угол рассеяния 60°, средняя длина пути пробега луча до рассеяния 0.1 мм. Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Вариант 4

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с

размерами 4x4x1 мм. Материал подложки зеркально отражает свет (столбец материала MIRROR).

Источник света покрыт прозрачным оптическим покрытием, расположенным поверх подложки и не выступающим за ее пределы и представляющим собой параллелепипед с размерами 4x4x0.5 мм, материал покрытия – акриловый полимер (каталог MISC - ACRYLIC), внутри материала присутствует объемное угловое рассеяние, угол рассеяния 60°, средняя длина пути пробега луча до рассеяния 0.1 мм. Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Вариант 5

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм. Материал подложки полностью поглощает свет (столбец материала ABSORB).

На источник света нанесена полусферическая линза, расположенная поверх подложки, радиус основания и кривизны линзы 2 мм, материал линзы – полиметилметакрилат (каталог MISC - PMMA). Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Вариант 6

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм. Материал подложки полностью поглощает свет (столбец материала ABSORB).

На источник света нанесена полусферическая линза, расположенная поверх подложки, радиус основания и кривизны линзы 2 мм, материал линзы – акриловый полимер (каталог MISC - ACRYLIC). Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Вариант 7

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм. Материал подложки полностью поглощает свет (столбец материала ABSORB).

На источник света нанесена полусферическая линза, расположенная поверх подложки, радиус основания и кривизны линзы 3 мм, материал линзы – полиметилметакрилат (каталог MISC - PMMA). Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Вариант 8

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм. Материал подложки полностью поглощает свет (столбец материала ABSORB).

На источник света нанесена полусферическая линза, расположенная поверх подложки, радиус основания и кривизны линзы 3 мм, материал линзы – акриловый полимер (каталог MISC - ACRYLIC). Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Вариант 9

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм. Материал подложки полностью поглощает свет (столбец материала ABSORB).

На источник света нанесена полусферическая линза, расположенная поверх подложки, радиус основания и кривизны линзы 3 мм, материал линзы – полиметилметакрилат (каталог MISC - PMMA), внутри материала присутствует объемное угловое рассеяние, угол рассеяния 60°, средняя длина пути пробега луча до рассеяния 0.1 мм. Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к

излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Вариант 10

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм. Материал подложки полностью поглощает свет (столбец материала ABSORB).

На источник света нанесена полусферическая линза, расположенная поверх подложки, радиус основания и кривизны линзы 3 мм, материал линзы – акриловый полимер (каталог MISC - ACRYLIC), внутри материала присутствует объемное угловое рассеяние, угол рассеяния 60°, средняя длина пути пробега луча до рассеяния 0.1 мм. Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Описать причины потерь мощности.

Варианты выполнения лабораторной работы №1.3

Вариант 1

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой усеченный конус, расширяющийся по мере удаления от источника света. Радиусы оснований конуса $R_1 = 2$ мм, $R_2 = 3$ мм, высота конуса 1 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет отражающее покрытие I.05 (95% энергии лучей зеркально отражаются, остальное поглощается).

Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90°, 60°, 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Вариант 2

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой усеченный конус, расширяющийся по мере удаления от источника света. Радиусы оснований конуса $R_1 = 2$ мм, $R_2 = 3$ мм, высота конуса 1 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет отражающее покрытие I.50 (50% энергии лучей зеркально отражаются, остальное поглощается).

Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90° , 60° , 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Вариант 3

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой усеченный конус, расширяющийся по мере удаления от источника света. Радиусы оснований конуса $R_1 = 1$ мм, $R_2 = 2$ мм, высота конуса 1 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет отражающее покрытие I.05 (95% энергии лучей зеркально отражаются, остальное поглощается). Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90° , 60° , 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Вариант 4

В работе моделируется прямоугольный источника света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот

источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой усеченный конус, расширяющийся по мере удаления от источника света. Радиусы оснований конуса $R_1 = 1$ мм, $R_2 = 2$ мм, высота конуса 1 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет отражающее покрытие 1.50 (50% энергии лучей зеркально отражаются, остальное поглощается).

Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90° , 60° , 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Вариант 5

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой усеченный конус, расширяющийся по мере удаления от источника света. Радиусы оснований конуса $R_1 = 1$ мм, $R_2 = 2$ мм, высота конуса 1 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет ламбертовское рассеяние, параметр «Scatter Fraction» = 1, что означает, что каждый попавший на поверхность луч будет рассеян на определенное количество лучей «Number Of Rays»=10.

Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90° , 60° , 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Вариант 6

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой трубку с квадратным сечением (Rectangular Pipe), расширяющуюся по

мере удаления от источника света. ширина основания 2 мм, ширина верхней части 3 мм, высота 1 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет отражающее покрытие 1.05 (95% энергии лучей зеркально отражаются, остальное поглощается).

Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90° , 60° , 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Вариант 7

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой трубку с квадратным сечением (Rectangular Pipe), расширяющуюся по мере удаления от источника света. ширина основания 2 мм, ширина верхней части 3 мм, высота 1 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет отражающее покрытие 1.50 (50% энергии лучей зеркально отражаются, остальное поглощается).

Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90° , 60° , 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Вариант 8

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1x1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами 4x4x1 мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой трубку с квадратным сечением (Rectangular Pipe), расширяющуюся по мере удаления от источника света. ширина основания 2 мм, ширина верхней части 4 мм, высота 2 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет отражающее

покрытие 1.05 (95% энергии лучей зеркально отражаются, остальное поглощается). Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90° , 60° , 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Вариант 9

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1×1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами $4 \times 4 \times 1$ мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой трубку с квадратным сечением (Rectangular Pipe), расширяющуюся по мере удаления от источника света. ширина основания 2 мм, ширина верхней части 4 мм, высота 2 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет отражающее покрытие 1.50 (50% энергии лучей зеркально отражаются, остальное поглощается).

Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90° , 60° , 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Вариант 10

В работе моделируется прямоугольный источник света, для которого распределение интенсивности излучения соответствует закону Ламберта (Source Rectangle, Cosine Exponent = 1). Размеры прямоугольного источника 1×1 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 445 нм. Этот источник помещен на подложку, представляющую собой параллелепипед с размерами $4 \times 4 \times 1$ мм.

На поверхность подложки установлен отражатель, представляющий собой трубку с квадратным сечением (Rectangular Pipe), расширяющуюся по мере удаления от источника света. ширина основания 2 мм, ширина верхней части 4 мм, высота 2 мм. Поверхность подложки полностью поглощает весь падающий на нее свет, поверхность усеченного конуса имеет ламбертовское рассеяние, параметр «Scatter Fraction» = 1, что означает, что каждый попавший на поверхность луч будет рассеян на определенное количество лучей «Number Of Rays» = 10.

Изобразить диаграмму направленности в плоскостях, находящихся под углами 90° , 60° , 30° и 0° к излучающей плоскости и оценить выходную мощность. Провести сравнение диаграммы направленности и выходной мощности для случая, когда поверхность усеченного конуса отражает все лучи зеркально и не имеет покрытий.

Варианты выполнения лабораторной работы №1.4

В данной работе моделируется трехцветный источник света. Элементы оптической системы: подложка, три прямоугольных источника излучения и оптическое покрытие. Примеры расположения источников на подложке приведены на рисунке 17.

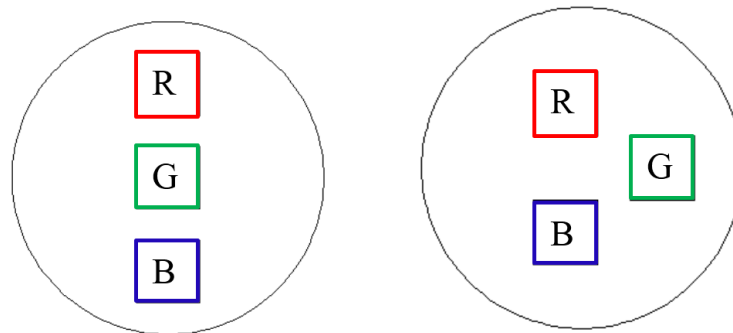


Рисунок 17 Схема расположения источников излучения на подложке

Размеры подложки (Cylinder volume): радиус 3 мм, толщина 1 мм.
Материал подложки: MIRROR (зеркально отражает все лучи).

Размеры прямоугольного источника (Source Rectangular): 1x1 мм.

Длины волн источников излучения: 0.48 мкм (B), 0.56 мкм (G), 0.65 мкм (R).

Мощность каждого источника 10 мВт. Диаграмма направленности источника ламбертовская (Cosine Exponent = 1).

Цветовой детектор имеет размеры 20x20 мм и расположен на расстоянии 5 мм от подложки.

Вариант 1

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2 мм;
- G: X Position = 0, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2 мм.

Провести расчет без линзы и с линзой (материал PMMA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания и кривизны линзы 3 мм, толщина линзы 3 мм.

Получить для двух расчетов показания цветового детектора, коррелированную цветовую температуру (*CCT*), координаты цветности x и y .

Вариант 2

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2 мм;
- G: X Position = 0, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2 мм.

Провести расчет без линзы и с линзой (материал PMMA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания линзы 3 мм, радиус кривизны линзы 5 мм, толщина линзы 1.3 мм.

Получить для двух расчетов показания цветового детектора, коррелированную цветовую температуру (*CCT*), координаты цветности x и y .

Вариант 3

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2 мм;
- G: X Position = 0, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2 мм.

Провести расчет без линзы и с линзой (материал PMMA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания линзы 3 мм, радиус кривизны линзы 4 мм, толщина линзы 1.6 мм.

Получить для двух расчетов показания цветового детектора, коррелированную цветовую температуру (*CCT*), координаты цветности x и y .

Вариант 4

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2;
- G: X Position = -1.2, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2;

Провести расчет без линзы и с линзой (материал PMMA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания и кривизны линзы 3 мм, толщина линзы 3 мм.

Получить для двух расчетов показания цветового детектора, коррелированную цветовую температуру (*CCT*), координаты цветности x и y .

Вариант 5

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2 мм;
- G: X Position = -1.2 мм, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2 мм.

Провести расчет без линзы и с линзой (материал PMMA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания линзы 3 мм, радиус кривизны линзы 5 мм, толщина линзы 1.3 мм.

Получить для двух расчетов показания цветового детектора, коррелированную цветовую температуру (CCT), координаты цветности x и y .

Вариант 6

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2 мм;
- G: X Position = -1.2 мм, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2 мм.

Провести расчет без линзы и с линзой (материал PMMA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания линзы 3 мм, радиус кривизны линзы 4 мм, толщина линзы 1.6 мм.

Получить для двух расчетов показания цветового детектора, коррелированную цветовую температуру (CCT), координаты цветности x и y .

Вариант 7

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2 мм;
- G: X Position = 0, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2 мм.

Провести расчет без линзы и с линзой (материал SILICA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания и кривизны линзы 3 мм, толщина линзы 3 мм.

Получить для двух расчетов показания цветового детектора, коррелированную цветовую температуру (CCT), координаты цветности x и y .

Вариант 8

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2 мм;

- G: X Position = 0, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2 мм.

Провести расчет без линзы и с линзой (материал SILICA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания линзы 3 мм, радиус кривизны линзы 5 мм, толщина линзы 1.3 мм.

Получить для двух расчетов показания цветового детектора, коррелированную цветовую температуру (CCT), координаты цветности x и y .

Вариант 9

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2 мм;
- G: X Position = 0, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2 мм.

Провести расчет без линзы и с линзой (материал SILICA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания линзы 3 мм, радиус кривизны линзы 4 мм, толщина линзы 1.6 мм.

Вариант 10

Координаты расположения источников излучения:

- R: X Position = 0, Y Position = -1.2 мм;
- G: X Position = -1.2, Y Position = 0;
- B: X Position = 0, Y Position = 1.2 мм.

Провести расчет без линзы и с линзой (материал SILICA), расположенной на подложке.

Геометрические характеристики линзы: радиус основания линзы 3 мм, радиус кривизны линзы 4 мм, толщина линзы 1.6 мм.

Варианты выполнения лабораторной работы №2.1

Вариант 1

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.22 NA Silica Core, Glass Clad Multimode Optical Fiber, Step Index) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины

50 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал оболочки – кварцевое стекло, легированное фтором, $NA = 0.22$. Детектор установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Вариант 2

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.22 NA Silica Core, Glass Clad Multimode Optical Fiber, Step Index) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины 105 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал оболочки – кварцевое стекло, легированное фтором, $NA = 0.22$. Детектор установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Вариант 3

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.22 NA Silica Core, Glass Clad Multimode Optical Fiber, Step Index) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины 200 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал

оболочки – кварцевое стекло, легированное фтором, $NA = 0.22$. Детектор установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Вариант 4

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.22 NA Silica Core, Glass Clad Multimode Optical Fiber, Step Index) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины 50 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал оболочки – кварцевое стекло, легированное фтором, $NA = 0.22$. Детектор установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Вариант 5

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.22 NA Silica Core, Glass Clad Multimode Optical Fiber, Step Index) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины 105 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал оболочки – кварцевое стекло, легированное фтором, $NA = 0.22$. Детектор

установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Вариант 6

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.22 NA Silica Core, Glass Clad Multimode Optical Fiber, Step Index) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины 200 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал оболочки – кварцевое стекло, легированное фтором, $NA = 0.22$. Детектор установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Вариант 7

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.10 NA Multimode Step Index Optical Fiber) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины 25 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал оболочки – кварцевое

стекло, легированное фтором, $NA = 0.10$. Детектор установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Вариант 8

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.10 NA Multimode Step Index Optical Fiber) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины 105 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал оболочки – кварцевое стекло, легированное фтором, $NA = 0.10$. Детектор установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Вариант 9

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.10 NA Multimode Step Index Optical Fiber) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины 25 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал оболочки – кварцевое стекло, легированное фтором, $NA = 0.10$. Детектор установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом

оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Вариант 10

Источник излучения – круг, интенсивность распределения излучения определяется гауссовым распределением

$$I(\theta_x, \theta_y) = I_0 e^{-(G_x l^2 + G_y m^2)},$$

коэффициенты $G_x = G_y = 10$, что соответствует углу расходимости излучения $\approx 15^\circ$ (на котором интенсивность излучения составляет половину максимальной). Радиус 0.01 мм, мощность излучения 1 мВт, длина волны излучения 0.85 мкм.

Оптическое волокно (Thorlabs 0.10 NA Multimode Step Index Optical Fiber) – ступенчатое, многомодовое, диаметр сердцевины 105 мкм, диаметр отражающей оболочки 125 мкм, диаметр защитного покрытия 250 мкм, материал сердцевины – кварцевое стекло, материал оболочки – кварцевое стекло, легированное фтором, $NA = 0.10$. Детектор установлен в сердцевине оптического волокна, на расстоянии 1 см от торца оптического волокна.

Построить график зависимости мощности излучения на детекторе от расстояния между источником излучения (от 1 мкм до 200 мкм) и торцом оптического волокна. Изобразить распределение энергетической освещённости на детекторе для одного из вариантов.

Варианты выполнения лабораторной работы №2.2

В последовательном режиме задать оптическую систему с указанными в варианте параметрами (рисунок 18).

R_1 — радиус кривизны поверхности, которая ближе к источнику;

R_2 — радиус кривизны поверхности, которая дальше от источника света;

R – радиус линзы (Semi-Diameter)

D – толщина линзы.

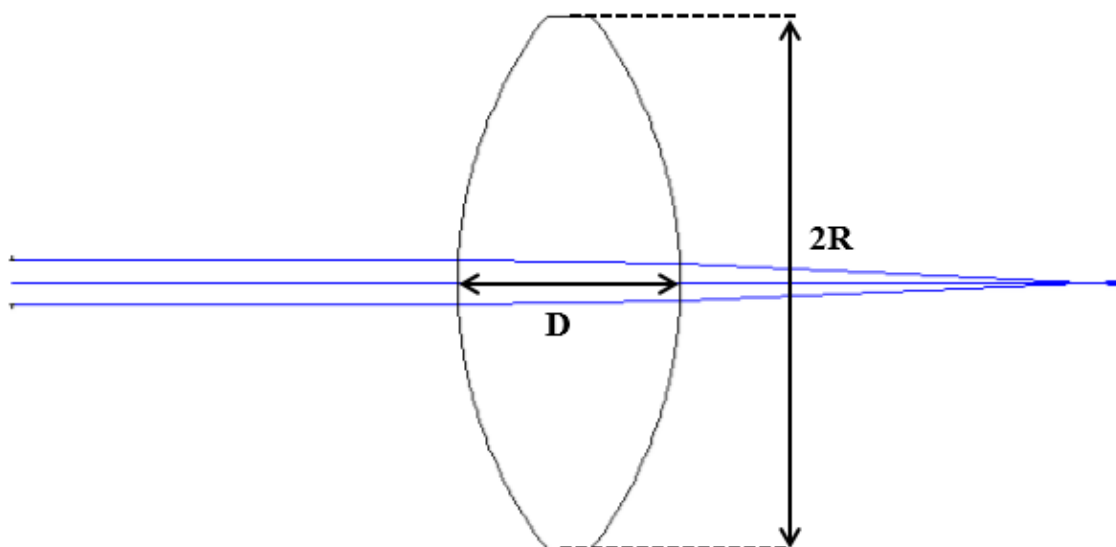


Рисунок 18 Оптическая система с одной линзой

Пример задания величин в последовательном режиме изображен на рисунке 19.

Surf:	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic	P
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		0.000	0.000	
STO	Standard	START	Infinity	10.000		4.000	0.000	
2*	Standard	INSIDE LENS	50.000	5.000	N15	12.000	U	0.000
3*	Standard	OUTSIDE LENS	-50.000	50.000		12.000	U	0.000
IMA	Standard	IMAGE	Infinity	-		0.107	0.000	

Рисунок 19 Окно компонентов в последовательном режиме

Вариант 1

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 50$ мм, $R_2 = -50$ мм, $R = 12$ мм, $D = 5$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC);
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм;
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 1 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 50 мм до 60 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической систем без линзы.

Вариант 2

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 20$ мм, $R_2 = -50$ мм, $R = 12$ мм, $D = 6$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC);
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм;
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 1 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 25 мм до 35 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической систем без линзы.

Вариант 3

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 50$ мм, $R_2 = -20$ мм, $R = 12$ мм, $D = 6$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC);
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм;
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 1 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 25 мм до 35 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической систем без линзы.

Вариант 4

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 60$ мм, $R_2 = -50$ мм, $R = 12$ мм, $D = 5$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC).
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм.
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 1 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 55 мм до 65 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической систем без линзы.

Вариант 5

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 40$ мм, $R_2 = -40$ мм, $R = 12$ мм, $D = 4$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC);
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм;
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 1 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 40 мм до 60 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической систем без линзы.

Вариант 6

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 50$ мм, $R_2 = -50$ мм, $R = 12$ мм, $D = 5$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC);
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм;
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 50 мм до 60 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической систем без линзы.

Вариант 7

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 20$ мм, $R_2 = -50$ мм, $R = 12$ мм, $D = 6$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC);
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм;
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 25 мм до 35 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической систем без линзы.

Вариант 8

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 50$ мм, $R_2 = -20$ мм, $R = 12$ мм, $D = 6$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC);
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм;
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 25 мм до 35 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической системы без линзы.

Вариант 9

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 60$ мм, $R_2 = -50$ мм, $R = 12$ мм, $D = 5$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC);
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм;
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 55 мм до 65 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической системы без линзы.

Вариант 10

Параметры последовательной оптической системы:

- параметры линзы: $R_1 = 40$ мм, $R_2 = -40$ мм, $R = 12$ мм, $D = 4$ мм, материал линзы SILICA (каталог MISC);
- расстояние от перетяжки исходного пучка до линзы 10 мм;
- длина волны 1.31 мкм.

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от линзы до волокна: от 40 мм до 60 мм.

Построить график зависимости эффективности ввода излучения в оптическое волокно от расстояния между линзой и волокном и аналогичный график для оптической систем без линзы.

Варианты выполнения лабораторной работы №2.3

В данной лабораторной работе будет проведен расчет и оптимизация ввода лазерного излучения в одномодовое волокно с помощью шаровой линзы. Для всех расчетов материал линзы кварцевое стекло («SILICA»), параметры оптического волокна (Corning SMF28)

- тип моды волокна: Gaussian Waist;
- радиус моды по x – 0.0046 мм;
- радиус моды по y – 0.0046 мм.

Расстояние от поверхности излучения до линзы 1 мм

Варьируемая величина: расстояние от линзы до торца оптического волокна. Разумнее всего начальное положение торца оптического волокна устанавливать в точке фокуса линзы, то есть на расстоянии d :

$$d = \frac{n \cdot r}{2(n-1)} - r,$$

где n – показатель преломления материала линзы, r – радиус линзы.

Для всех вариантов надо найти оптимальное значение расстояния и определить эффективность ввода лазерного излучения в оптическое волокно и сравнить ее с эффективностью ввода в случае отсутствия линзы.

Вариант 1

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 1 мм.

Шариковая линза: радиус 10 мм.

Вариант 2

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 1 мм.

Шариковая линза: радиус 8 мм.

Вариант 3

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 1 мм.

Шариковая линза: радиус 6 мм.

Вариант 4

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 2 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Шариковая линза: радиус 10 мм.

Вариант 5

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 2 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Шариковая линза: радиус 8 мм.

Вариант 6

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 2 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Шариковая линза: радиус 6 мм.

Вариант 7

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Шариковая линза: радиус 10 мм.

Вариант 8

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 2 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Шариковая линза: радиус 8 мм.

Вариант 9

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 1 мм;
- ширина перетяжки по y – 2 мм.

Шариковая линза: радиус 6 мм.

Вариант 10

В POP Settings указать следующие параметры пучка:

- тип пучка: Gaussian Waist;
- ширина перетяжки по x – 0.5 мм;
- ширина перетяжки по y – 0.5 мм.

Шариковая линза: радиус 10 мм.

Оформление отчета по лабораторным работам

По выполненным лабораторным работам оформляется два отчета, каждый из которых включает в себя результаты выполнения лабораторных работ по двум тематикам: комплексное моделирование источников излучения (лабораторные работы 1.1-1.4), моделирование эффективности ввода излучения в оптическое волокно (лабораторные работы 2.1-2.3).

Отчет должен включать в себя следующие структурные элементы: титульный лист, содержание, главы по выполнению каждой из лабораторной работ, выводы.

Каждая глава отчета содержит цель и задачи лабораторной работы, постановку задачи и результаты.

Постановка задачи включает в себя описание геометрии исследуемой оптической системы (в том числе рисунки), параметры источника (длина волны излучения, мощность, диаграмма направленности и т.д.) расчетные параметры (количество лучей, используемых для расчета и т.д.). Результаты расчетов могут включать в себя диаграммы направленности, оценку основных параметров системы, графики зависимости эффективности системы от варьируемых параметров оптической системы.

Выводы формулируются исходя из полученных результатов по блоку лабораторных работ и должны включать в себя оценку эффективности исследуемых оптических систем, анализ причин потерь и рекомендации по их снижению.

Рекомендуемая литература

1. Zemax User's Manual.
2. Кремлева А.В., Липницкая С.Н., Романов А.Е., Бугров В.Е., Современные тенденции развития оптоэлектроники. Лабораторный практикум Ч. 1 // Университет ИТМО, 2018.

3. Szirmay-Kalos L., Monte-Carlo methods in global illumination. Institute of Computer Graphics // University of Technology, 2000.
4. Шуберт Ф. Е., Светодиоды // Физматлит, 2008.
5. Ландсберг Г. С., Оптика // Физматлит, 2003.
6. Bass M., et al. (eds.) OSA, Handbook of Optics Vol. II // CRC Press LLC, 2003.
7. Weinert J., Spaulding C. LED lighting explained // Burlington (MA): Philips Color Kinetics Inc., 2010.
8. Galvez E. J. Gaussian beams // Colgate University. – 2009.
9. Korotaev V.V., Maraev A.A. Sources and Detectors of optical radiation // Университет ИТМО, 2017.
10. Coldren L. A., Corzine S. W., Mashanovitch M. L. Diode lasers and photonic integrated circuits // John Wiley & Sons, 2012.

Светлана Николаевна Липницкая
Алексей Евгеньевич Романов
Дмитрий Андреевич Бауман
Владислав Евгеньевич Бугров

Моделирование оптических систем оптоэлектронных приборов

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Лицензия ИД №
Подписано к печати
Заказ №
Тираж
Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49