

УДК 621.396.931

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАСКАДНЫХ ОПТОВОЛОКОННЫХ СТРУКТУР

А.И. Филипенко

Доктор технических наук, профессор, декан факультета АКТ*
Контактный тел.: (057)702-13-16
E-mail: tapr@kture.kharkov.ua

Б.А. Малик

Кандидат технических наук, доцент*
Контактный тел.: (057)702-13-16
E-mail: tapr@kture.kharkov.ua

Н.П. Селенкова

Аспирант*
Контактный тел.: 095-300-42-37
E-mail: nata-selenkova@km.ru

В.В. Гончар

Студент
Контактный тел.: 063-967-87-87
E-mail: tapr@kture.kharkov.ua

*Кафедра технологий и автоматизации производства
радиоэлектронных средств и
электронно-вычислительных устройств
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

Розглянута задача контролю геометричних параметрів каскадних волокон. Запропонована методика визначення місцезнаходження площини з'єднання між різними частинами волокон

Ключові слова: каскадне волокно, площина з'єднання, ПЗЗ – фотоприймач

Рассмотрена задача контроля геометрических параметров каскадных волокон. Предложена методика определения местонахождения соединительной плоскости между различными участками волокон

Ключевые слова: каскадное волокно, соединительная плоскость, ПЗС – фотоприемник

The problem of geometrical parameters control of cascade fibers is considered. The technique of definition of a site of the connecting plane between various sites of fibers is offered

Keywords: cascade fiber, connecting plane, DCC – photodetector

1. Введение

Волоконно-оптические системы являются одним из наиболее перспективных направлений при разработке физической основы информационного пространства. Важной задачей при создании конструкций и технологий изготовления комплектующих для волоконно-оптических систем является обеспечение автоматизации операций контроля параметров компонентов в процессе их производства, монтажа и эксплуатации [1].

При реализации оптоволоконных линий связи часто возникает необходимость согласования оптоэлектронных компонентов с различными поперечными сечениями излучающей и принимающей областей и различными числовыми апертурами [2]. Вариантом такой задачи может быть соединение одномодового (ОВ) и многомодового волокон (МВ) или излучателей и фотоприемников с волокнами различных типов [3]. Одним из методов такого согласования является создание каскадных волокон, в которых линзовое волокно

и несколько участков градиентных волокон интегрировано в одномодовое волокно.

Точность местоположения соединительной плоскости между двумя секциями волокна очень важна для полного преобразования информации с минимальными потерями. При ошибках в длине какого-либо участка МВ первоначально рассчитанные параметры преобразования достигнуты не будут. Геометрические размеры каждого участка нужно контролировать с точностью до 1 микронметра, что позволит уменьшить дополнительные потери связи различных компонентов.

Теоретически, для обеспечения хорошей связи может быть спроектирована идеальная каскадная волоконная структура. Однако, технические ошибки во время производства влекут за собой дополнительные потери и ухудшение связующих характеристик. В каскадном волокне каждая область имеет свою определенную функцию, такую как фазовое преобразование, преобразование размера, преобразование профиля. Для улучшения связующих характеристик и учитывая

технологические особенности изготовления компонентов, необходимо разработать новые методы контроля геометрических параметров каскадных волокон, обеспечивающие возможность свободного доступа инструмента в рабочую зону.

2. Результаты исследований

Технологический процесс изготовления каскадного волокна включает в себя:

- скалывание торцов МВ и ОВ,
- соединение МВ и ОВ,
- контроль соединяющей плоскости Р между волоконными участками,
- скалывание МВ к длине L, относительно плоскости Р (L – длина, которая дает желаемый эффект соединения).

Если какой-либо участок МВ или линзовый накопчик необходимо интегрировать в одномодовое волокно, то для проектирования связующей схемы шаги изготовления можно повторить.

Максимальная связующая эффективность такого компонента составляет около 60%, а ошибка длины участка МВ в 10 микрометров будет изменять результат примерно на 2% потерь по сравнению с идеальным исполнением, благодаря неполному превращению эллиптических модальных полей. Если каскадное волокно, состоящее из двух и более секций, интегрировано в одномодовое волокно, то потери связи накапливаются из-за неточности длины каждой секции. Таким образом, точность местоположения соединительной плоскости между двумя секциями волокна очень важна.

Исследования показали, что определение местонахождения соединительной плоскости со временем становится актуальнее, так как потери волоконного соединения становятся ниже. Соединяющие потери в настоящее время могут составлять 0,03 дБ. При традиционном подходе для нахождения соединительной плоскости в волокне необходимо использовать микроскопы с высоким разрешением. В исследовании Хайбара [4] для оценки геометрических параметров соединительная плоскость наблюдается под микроскопом с увеличением 360X. Однако расстояние между волокном и объективом в микроскопах высокого разрешения очень мало, как правило, менее 5 мм.

В производстве каскадного волокна, процедура скалывания требует большого пространства, когда расстояние между волокном и объективом должно быть более 4 см. Следует отметить, что большие рабочие расстояния обычно определяют меньшее увеличение в контролирующей системе из-за ограничений оптики, а соединительная плоскость не может наблюдаться непосредственно, так как разрешение недостаточно высоко. Метод определения положения соединительной плоскости с большим рабочим расстоянием (> 40 мм) и с низким увеличением (<8X) контрольной системы является ключом к улучшению процесса изготовления каскадных волокон.

Предлагаемый метод контроля для наблюдения соединительной плоскости использует явления интерференции. Последующая обработка интерференционной картины позволяет идентифицировать местоположение стыка. При 40-мм рабочем расстоянии,

требуемом современным производством, интерференция световых лучей через волокно существенно увеличивается. В таких изображениях можно наблюдать различия между интерференционными полосами в многомодовых и одномодовых волокнах. Интенсивности и количество интерференционных полос в этих двух секциях волокна будут различными, что позволяет определить местоположение соединительной плоскости. Для получения информации о разнице в изображениях была разработана программа моделирования.

Так как на количество, положение и интенсивность интерференционных полос могут влиять размеры волокна, мощность света и расположение фокальной плоскости, то необходим учет этих трех факторов для получения удовлетворительного изображения [5].

Чтобы найти оперативную информацию о МВ и ОВ участках, применяется программная и аппаратная обработка изображений. В оптимальной позиции фокальной плоскости будут существенные различия между двумя составными частями волокна. Для работы реальной системы контроля разница между изображениями должна быть достаточно большой. Поскольку разрешение ПЗС матрицы с 8-кратным увеличением оптической системы составляет 0,84 мкм, необходимо, чтобы различия в изображениях были больше, чем разрешение. При длине волны светового пучка 650-нм и фокальной плоскости, изменяемой от 0 до 150 мкм (шаг=1 мкм), программа моделирования волоконно-интерференционной картины определяет различия между ОВ и МВ участками в каждой фокальной плоскости. Результаты моделирования показаны на рис. 1-4 (слева сверху изображения экрана). На рис.1 и рис.2 фокальная плоскость находится на расстояниях $X=60$ мкм и $X=100$ мкм соответственно. Хороший результат может быть получен, когда фокальная плоскость находится на расстоянии $X=80$ мкм (рис. 3) Этой информации достаточно для программы контроля различий на двух участках волокна.

Используя программный комплекс Matlab, была выбрана часть изображения оптического волокна, которая характеризует каскадный переход между двумя волокнами (рис. 4).

Избранная часть изображения была дискретизирована по пространственным координатам x и y и проквантованы значения степени яркости в каждой дискретной точке.

На рис.5 представлена структура системы для производства каскадных волокон. Все приборы крепятся на оптической скамье. Система состоит (слева направо) из нормального источника света, плоской пластины для имитации точечного источника света, выпуклой линзы для создания параллельных световых лучей, пятиосного координатного столика с двумя держателями волокна и волоконно-скалывающего механизма, а также ПЗС-фотоприемника с 8-кратным увеличением объектива, установленного на трехосном столе. Результаты наблюдения обрабатываются устройством на основе ПК с использованием программного обеспечения MatLab.

При экспериментальной проверке метода применяются такие же процедуры, как и в программе моделирования. Вместо фокальной плоскости, используемой в программе моделирования, фокальная плоскость

ПЗС-фотоприемника теперь перешла в положение трехкоординатного движения. Как предполагалось в моделировании, экспериментальные изображения охватывают перемещение положения фокальной плоскости в диапазоне $X=60-100$ мкм (рис. 6-8).

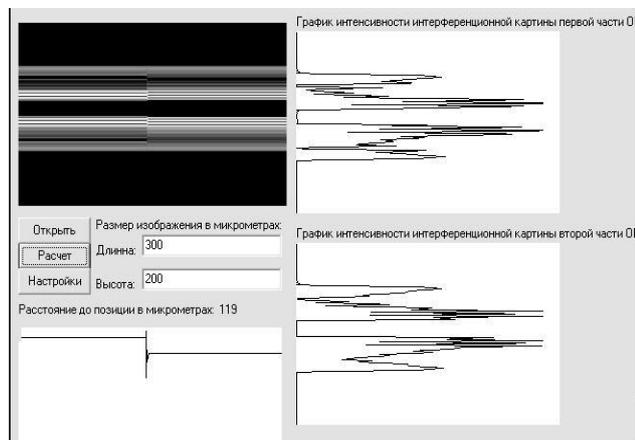


Рис. 1. Результат моделирования на расстоянии фокальной плоскости $X=60$ мкм

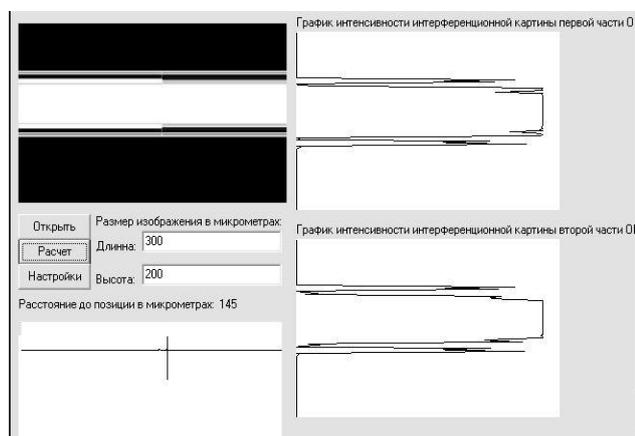


Рис. 2. Результат моделирования на расстоянии фокальной плоскости $X=100$ мкм

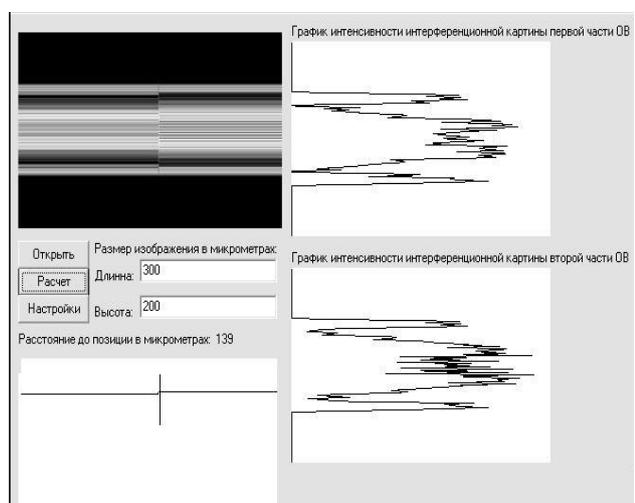


Рис. 3. Результат моделирования на расстоянии фокальной плоскости $X=80$ мкм

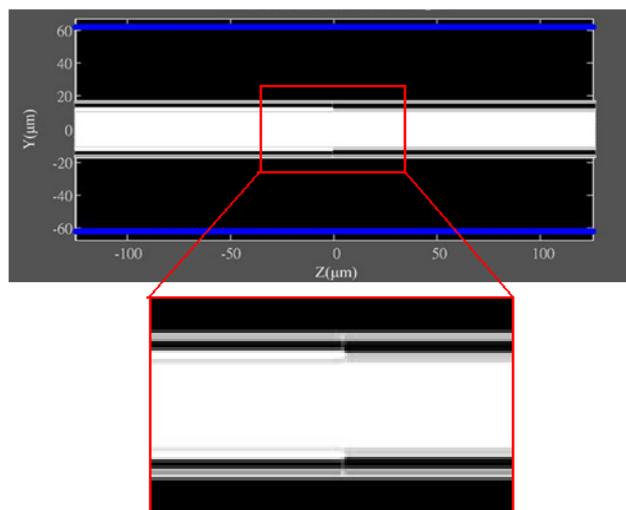


Рис. 4. Каскадный переход между двумя волокнами

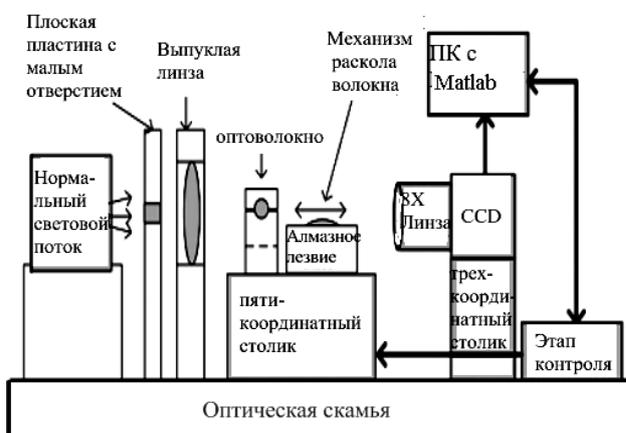


Рис. 5. Экспериментальная установка

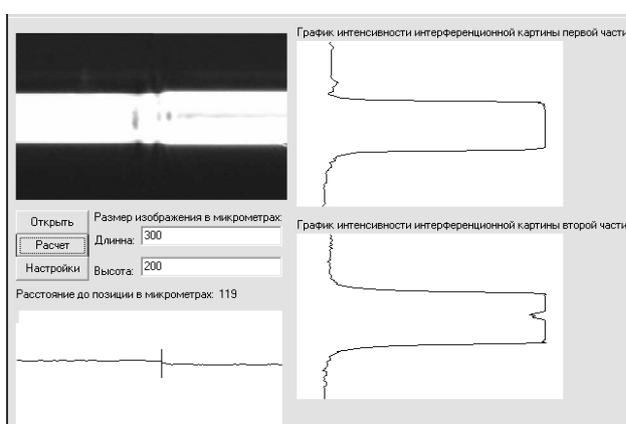


Рис. 6. Изображение экрана при расстоянии до фокальной плоскости $X=60$ мкм

Изображение соединения двух разнотипных оптических волокон загружается в память программы обработки. Качество изображения и ее разрешающая способность напрямую влияют на точность расчетов. Загрузка изображения неразрывно связана с дискре-

тизацией изображения по пространственным координатам x, y и квантованием значения яркости в каждой дискретной точке. Полученное изображение в памяти программы представляет собой матрицу чисел

$$I(x, y) = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} & I_{1m} \\ I_{21} & I_{22} & I_{23} & I_{2m} \\ I_{31} & I_{32} & I_{33} & I_{3m} \\ I_{n1} & I_{n4} & I_{n3} & I_{nm} \end{bmatrix}$$

где $I(x, y)$ – значение интенсивности соответствующей точки модели оптического волокна.

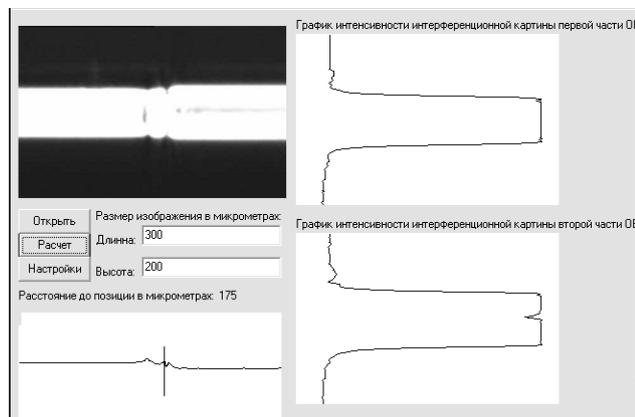


Рис. 7. Изображение экрана при расстоянии до фокальной плоскости $X=100\mu\text{м}$

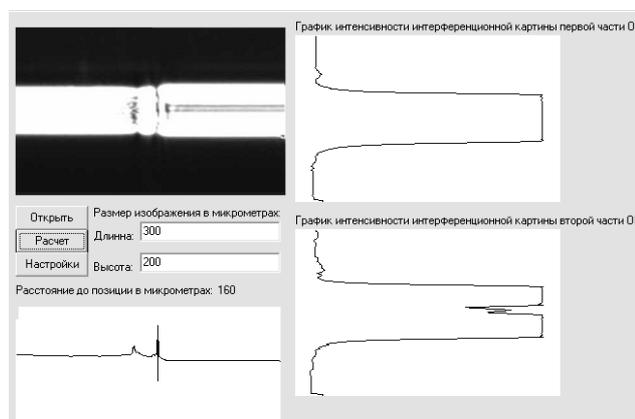


Рис. 8. Изображение экрана при расстоянии до фокальной плоскости $X=80\mu\text{м}$

Поиск места соединения двух оптических волокон происходит пошаговым сравнением двух смежных интерференционных картин, при котором определяются координаты пиков оптической интенсивности и их максимальная амплитуда. Прыжок количества совпадений и максимальной разницы по амплитуде интенсивности является точкой перехода между двумя волокнами.

3. Выводы

Рассматривая результаты обработки изображений, можно сделать вывод о достаточно уверенном определении границы соединения компонентов каскадных волокон при разрешающей способности, которую может обеспечить ПЗС матрица и оптическая система с восьмикратным увеличением. Такие параметры системы для изготовления каскадных волокон вполне устраивают требованиям технологии.

Литература

1. Мировицкая, С.Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон [Текст] / С.Д. Мировицкая, Л.П. Лазарев – М.: Радио и связь, 1988 – 280 с.
2. Засецкий, А.В. Контроль качества в телекоммуникациях и связи. [Текст]: / А.В. Засецкий – Желдориздат, 2001 – 250с.
3. Филипенко А.И., Определение геометрических параметров каскадных волокон. [Текст]: / Филипенко А.И., Малик Б.А., Селенкова Н.П. // Вестник национального технического университета «ХПИ», – 2011. – №58. – С.161-165
4. T. Haibara Monitoring method for axis alignment of single-mode optical fiber and splice-loss estimation [Text]: / T. Haibara, M. Matsumoto, T. Tanifuji, and M. Tokuda – Opt. Lett., – vol. 8, no. 4, Apr. 1983 – pp. 235–237.
5. M. Ohashi, Mode coupling at arc-fusion splices in graded-index fibers [Text] / M. Ohashi, K. Kitayama, and S. Seikai – IEEE J. Quantum Electron., - vol. QE-18, no. 2 – Feb. 1982 – pp. 274–277.