

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ОТСЧЕТА РАЗМЕРОВ СЕКЦИЙ В КАСКАДНЫХ ВОЛОКОННЫХ СТРУКТУРАХ

Д.т.н. А.И. Филипенко, к.т.н. Б.А. Малик, к.т.н. Е.В. Токарева, Н.П. Селенкова,
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Рассмотрены вопросы согласования оптоволоконных компонентов с различными оптическими и геометрическими параметрами. Предлагается использовать поперечную интерференцию для определения геометрических параметров каскадных соединений волокон.

Розглянуті питання узгодження оптоволоконних компонентів з різними оптичними та геометричними параметрами. Пропонується використовувати поперечну інтерференцію для визначення геометричних параметрів каскадних з'єднань волокон.

Questions of the coordination of fibre-optical components with various optical and geometrical parameters are considered. It is offered to use a cross-section interference for definition of geometrical parameters of cascade connections of fibres.

Ключевые слова: оптоволокно, каскадное соединение, технологический процесс, система автоматизированного проектирования

Введение

На нынешнем этапе развития рынка телекоммуникаций совершенствование технологий производства средств телекоммуникаций и техники волоконно-оптической связи становится все более актуальным.

В настоящее время в локальных сетях чаще всего используют многомодовые волокна, более технологичные при монтаже и имеющие приемлемую широкополосность. В то же время в телекоммуникационных сетях различных типов практически везде применяются кабели с одномодовыми оптическими волокнами. Таким образом, задача согласования оптоэлектронных компонентов и волокон с различными поперечными сечениями излучающей и принимающей области и различными числовыми апертурами становится все более актуальной.

Определение геометрических параметров каскадных волокон

В телекоммуникационных сетях с различными требованиями по дальности и объему передаваемой информации используют каскадные волоконные соединения, в которых приемное волокно и участки градиентных многомодовых волокон (МВ) интегрированы в одномодовое волокно (ОВ).

Если каскадное волокно с двумя или более МВ секциями интегрировано в ОВ, то потери связи накапливаются из-за неточности длины каждой секции МВ. При ошибках в длине какого-либо участка в каскадном волокне первоначально рассчитанная производительность не будет достигнута. Длину участка нужно контролировать с точностью до 1 микрометра, что

позволит уменьшить дополнительные потери связи различных компонентов.

Таким образом, точность местоположения соединительной плоскости между двумя секциями волокна очень важна.

Общий процесс изготовления каскадного волокна включает скальвание торцов ОВ и МВ, соединение МВ и ОВ, контроль соединяющей плоскости P между волоконными участками, скальвание МВ к длине L относительно плоскости P , где L – длина, которая дает желаемый эффект соединения. После этих четырех процедур получается каскадное волокно. Соединяющие потери могут составлять 0,03 дБ. Для нахождения соединительной плоскости в волокне используют микроскопы с высоким разрешением. В исследовании Хайбара [1], для оценки местоположения соединительной плоскости наблюдения проводятся под микроскопом с увеличением 360X. Однако расстояние между волокном и объективом в микроскопах высокого разрешения очень мало.

В производстве каскадного волокна, процедура скальвания требует большого пространства, в котором расстояние между волокном и линзой устройства контроля должно быть более 4 см. Следовательно, 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 позволяет осуществить нахождение положения соединительной плоскости. Для наблюдения соединительной плоскости используется косвенный метод с применением явления интерференции для определения плоскости соединения. Последующие расчеты и моделирование позволяют идентифицировать местоположение стыка.

В реальности темные линии интерферограммы соответствующие МВ составляют около 3 мкм, что зависит от плоскости фокусировки и расположения, а темные линии в ОВ, как правило, составляют около 1 мкм. Таким образом, можно просто использовать темные линии в ОВ и МВ, чтобы определить соединительную плоскость, если разрешение контрольного оборудования больше ширины темной линии в 1 мкм. Как правило, ПЗС-датчики с 8-кратным увеличением линзы могут иметь разрешение изображения выше, чем 1 мкм. Этого достаточно для контроля.

При больших рабочих расстояниях контроля явление световой интерференции влияет на изображение, что делает наблюдения темных линий затруднительным. Интенсивности и количество интерференционных полос в этих двух секциях волокна будут различными. Таким образом, соединительную плоскость можно найти путем наблюдения существенных различий в интерференции между двумя участками волокна [2].

Интерференционная картина моделируется на основе параметров интерференционных полос [3]. Для нахождения положения полос используется метод трассировки лучей. Световые лучи проходят через МВ и ОВ разделы слева направо вдоль оси x (рис.1).

Все лучи света начинаются с одной начальной плоскости (точка a) и, наконец, достигают фокальной плоскости (точка d). После выхода из начала плоскости, лучи света будут оставаться параллельными, пока они не коснутся внешнего края волокна.

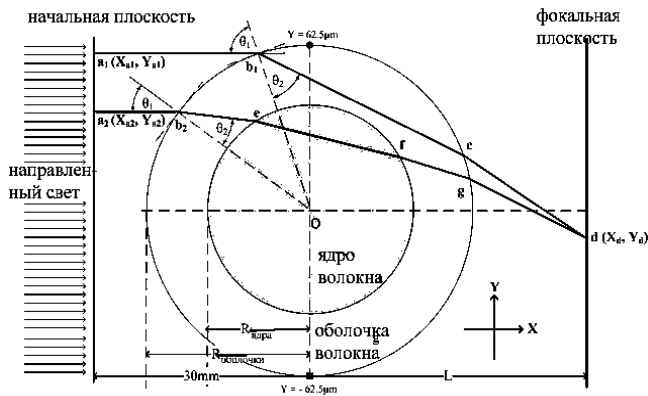


Рис. 1. Оптические части лучей, проходящих через волокно. Показаны abcd и abefgd части

Тогда лучи, которые проходят через волокна, будут иметь разные значения y и углов θ_1 . Поэтому, если два различных луча достигнут фокальной плоскости в одной точке (Y_d), интерференционные полосы будут генерироваться, то есть положение полосы (Y_d) будет в пересечении двух лучей на фокальной плоскости.

Интенсивность света (I) интерференционных полос может быть вычислена по формуле:

$$I = 4 \cdot I_0 \cdot \cos^2\left(\frac{\delta}{2}\right), \quad (1)$$

где I_0 – начальная интенсивность света, θ – разность фаз между двумя интерференционными лучами, которые также могут быть выражены:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot D, \quad (2)$$

где λ – длина волны источника света, D – оптическая разность хода.

Разница в оптической длине пути (L) двух лучей:

$$D = L(a_2) - L(a_1). \quad (3)$$

Длина пути L луча начинается от точки a до точки d на фокальной плоскости. Согласно различным положениям Y_a в начале плоскости, лучи света проходят через волокна по двум различным оптическим путям. Один проходит только через оболочку волокна, а другой проходит через оболочку волокна и сердцевину волокна.

Таким образом, L может быть выражена:

$$L(abcd) = ab + bc \cdot N_{обол} + cd, \quad (4)$$

$$L(abefgd) = ab + beN_{обол} + efN_{ядра} + fgN_{обол} + gd, \quad (5)$$

где $N_{обол}$ и $N_{ядра}$ – показатели преломления оболочки волокна и сердцевины соответственно.

В результате выполненных исследований установлено, что с помощью интерференционных полос и их различия можно однозначно определить местоположение соединяющих плоскостей. При небольшом увеличении оптической системы датчика ПЗС расстояние между объектом наблюдения (каскадным волокном) и первой линзой оптической системы может составлять более 4 см. Это дает возможность свободно проводить работу по скалыванию оптического волокна.

Моделирование хода лучей для одномодового и многомодового оптического волокна показано на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

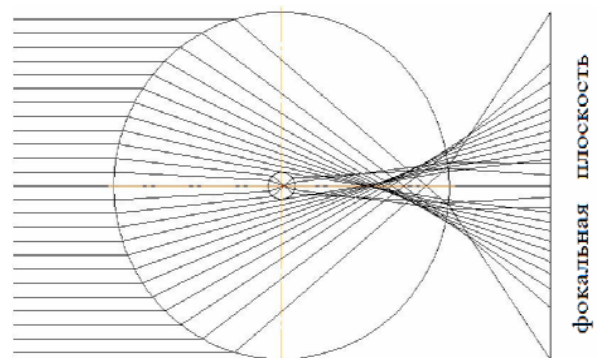


Рис. 2. Прохождение лучей в оптическом волокне с сердцевиной диаметром 10 мкм

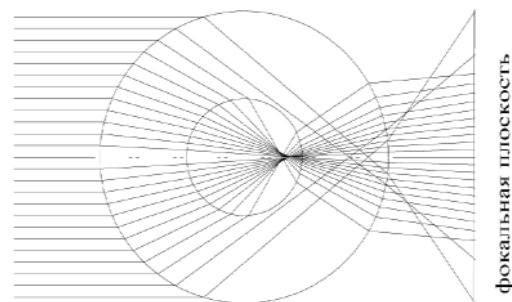


Рис. 3. Прохождение лучей в оптическом волокне с сердцевиной диаметром 50 мкм

Чтобы найти оперативную информацию о МВ и ОВ участках, применяется программная и аппаратная обработка изображений. В оптимальной позиции фокальной плоскости будет существенное различие между двумя составными частями волокна. Для работы реальной системы контроля разница между изображениями должна быть достаточно большой.

Структура системы для производства каскадных волокон может состоять 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 персонального компьютера с использованием программного обеспечения MatLab.

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. 4-6 (слева сверху изображения экрана). На рис.4 и рис.5 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. 6) Этой информации достаточно для программы контроля различий на двух участках волокна.

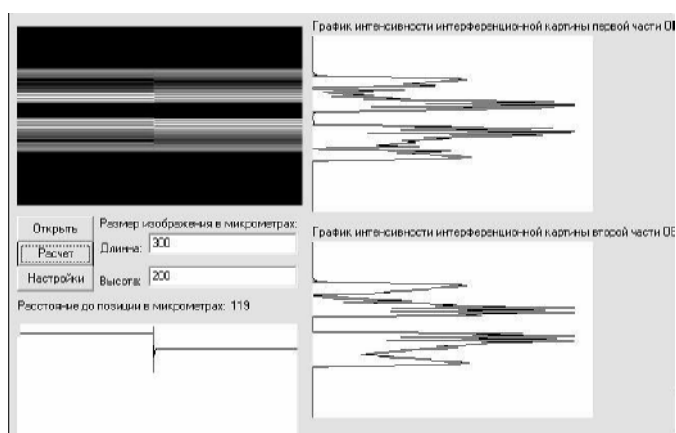


Рис. 4. Результат моделирования на расстоянии фокальной плоскости $X=60$ мкм

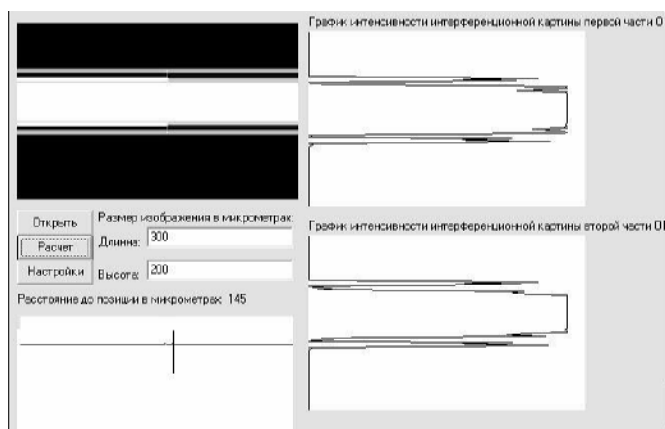


Рис. 5. Результат моделирования на расстоянии фокальной плоскости $X=100$ мкм

При рассмотрении реальных изображений была выбрана часть оптического волокна, которая характеризует каскадный переход между двумя волокнами.

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

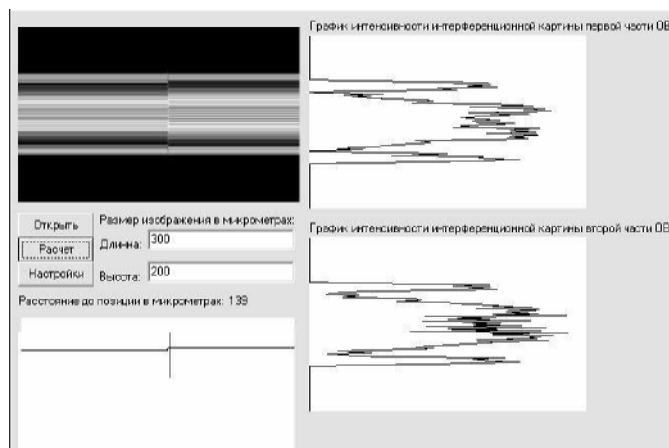


Рис. 6. Результат моделирования на расстоянии фокальной плоскости $X=80$ мкм

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. 7-9).

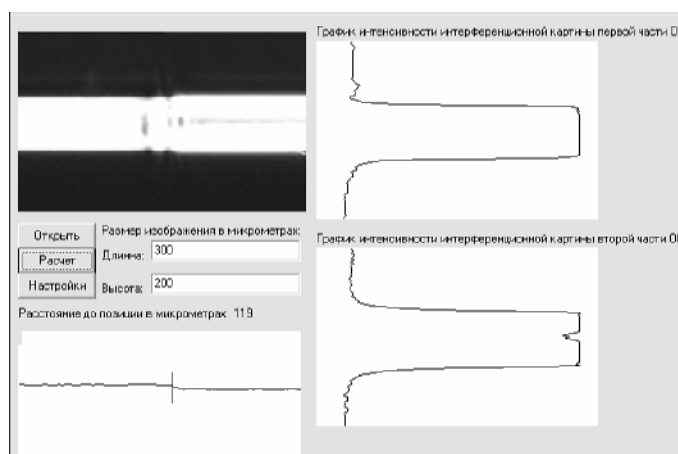


Рис. 7. Изображение экрана при расстоянии до фокальной плоскости $X=60$ мкм

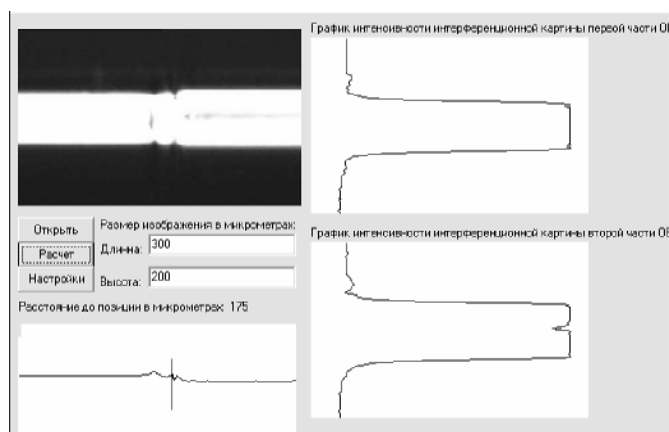


Рис. 8. Изображение экрана при расстоянии до фокальной плоскости $X=100$ мкм

Изображение соединения двух разнотипных оптических волокон загружается в память программы обработки. Качество изображения и его разрешающая способность напрямую влияют на точность расчетов. Загрузка изображения неразрывно связана с дискретизацией изображения по пространственным координатам x , y и квантованием значения яркости в каждой дискретной точке.

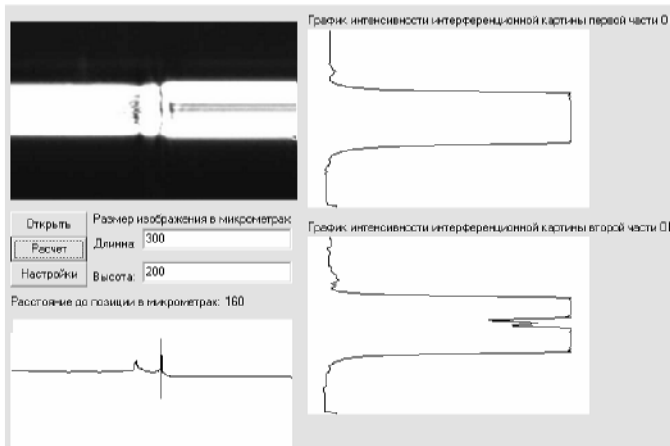


Рис. 9. Изображение экрана при расстоянии до фокальной плоскости $X=80\text{мкм}$

Поиск места соединения двух оптических волокон происходит пошаговым сравнением двух смежных интерференционных картин, при котором определяются координаты пиков оптической интенсивности и их максимальная амплитуда [4]. Прыжок количества совпадений и максимальной разницы по амплитуде

УДК 535.015

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ДВУМЕРНОМ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КОММУТАТОРЕ

Д.т.н. А.И. Филипенко, А.Н. Донсков, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В статье представлены результаты моделирования распространения поперечной составляющей электрического поля в двумерном фотонно-кристаллическом коммутаторе. Приведены результаты распределения поля в соответствующие каналы коммутатора при различных значениях длин волн излучения.

В статті представлені результати моделювання поширення поперечної складової електромагнітного поля в двовірному фотонно-кристалічному комутаторі. Приведені результати розподілу поля у відповідні канали комутатора при різних значеннях довжин хвиль випромінювання.

The article presents the results of the electric field transverse component modeling in two-dimensional photonic crystal commutator. The results of the field distribution in the waveguide for different values of wavelengths are shown.

Ключевые слова: модовое поле, фотонно-кристаллический волновод, фотонная запрещенная зона.

интенсивности является точкой перехода между двумя волокнами.

Выводы

Для определения геометрических параметров каскадных соединений волокон предлагается использовать поперечную интерференцию. 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 удовлетворяют требованиям технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. 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.
2. Мировицкая, С.Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон [Текст] / С.Д. Мировицкая, Л.П. Лазарев – М.: Радио и связь, 1988 – 280 с.
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. Филипенко А.И., Контроль геометрических параметров каскадных оптоволоконных структур. [Текст]: / Филипенко А.И., Малик Б.А., Селенкова Н.П., Гончар В.В. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, – 2012. – №3/5(57). – С.28-31

Введение

Фотонные кристаллы - это периодические диэлектрические структуры чередующихся слоев материалов с разными показателями преломления, которые влияют на распространение электромагнитных (ЭМ) волн из-за феномена фотонной запрещенной зоны (ФЗЗ). Фотонной запрещенной зоной называют область частот, характеризующую нулевой плотностью электромагнитных состояний (рис. 1). Распространение электромагнитных волн (ЭМВ) через фотонный кристалл зависит от длины волны. Для частот в пределах ФЗЗ распространение излучения подавляется (рис. 1, б).

Существование ФЗЗ открывает возможность разработки диэлектрических отражателей с малыми потерями, способных ограничивать излучение в каналах (волноводах), или локализованных дефектов (резонаторов), с размерами, сравнимыми с длиной волны света. Фотонно-кристаллический волновод (ФКВ) может