

КОНТРОЛЬ УГЛА ПОЛИРОВКИ ТОРЦА ОПТИЧЕСКОГО НАКОНЕЧНИКА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО СОЕДИНИТЕЛЯ

Важнейшим элементом любой волоконно-оптической сети являются оптические соединители. Конструктивно оптический соединитель содержит оптические наконечники, представляющие собой цилиндрические втулки, размещенные на концах волокон (рис. 1), и разрезную соединительную втулку, которую часто называют адаптер. Характеристики соединителей определяются комбинацией факторов, включая геометрические размеры волокна и позиционирование сердцевин, размер оптического наконечника, соосность наконечника и волокна, а также метод полировки торца наконечника в процессе армирования. Угол торцевой поверхности формируется в процессе полировки. Хорошо известно, что технология полировки влияет на обратные потери. Обратные потери или отражение - количество света, распространяющееся назад в сторону источника. Отраженный сигнал попадает в лазерный резонатор и может вызвать флуктуации выходного сигнала, трансформацию мод и приводит к деградации лазера. Это влияние особенно существенно в высокоскоростных и аналоговых сетях.

Первичной причиной возникновения отражения является изменение профиля показателя преломления в зазоре (Френелевские потери). Этот эффект устраняется приданием определенной формы торцу соединителя. Обычно, существуют соединители с плоской, сферической (физический контакт Physical Contact-PC, супер-PC, ультра-PC) и угловой сферической полировкой (Angled PC-APC). Все PC-соединители имеют скругленный торец, исключая промежуток воздух-стекло в контакте сердцевин световодов. В APC-соединителях создаются условия для вывода отраженного сигнала в оболочку. Для них характерны низкое обратное отражение, но при немного больших вносимых потерях. Исключительно важным является определение качества соединителей в кабельных сборках или патч-кордах, которые обычно оконцовываются на предприятиях. По этой причине большинство конечных пользователей не имеет возможности проверить их. Однако, контроль комплекса параметров должен быть более точным, отклонения формы должны контролироваться тщательнее, поверхностные дефекты должны быть немногочисленны [1]. Не только производители, но и пользователи должны иметь возможность тестировать кабельные сборки.

Увеличение вносимых и обратных потерь значительно зависит от угла полировки, который, в свою очередь, определяется числовой апертурой волокна. Фактически он должен равняться апертурному углу волокна. В настоящее время наиболее типичными являются значения угла 5° и $8^\circ \pm 0.5^\circ$.

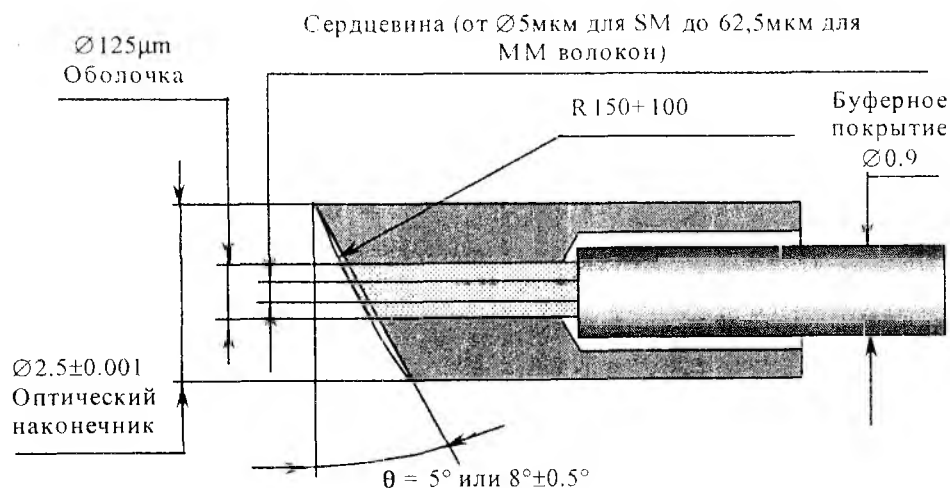


Рис.1

Сферическая форма торца способствует физическому контакту только поверхностей волокон, исключая соприкосновение втулок. Поэтому достаточно контролировать угол полировки торца волокна. Данная особенность ограничивает базовую область контроля размера-ми оптического волокна. Это упрощает практическую реализацию, так как не требует оптических приборов с широким полем зрения или прецизионных подвижек координатного стола. Также анализируется поверхность только одного класса - стекло, тогда как втулка может быть стальной или керамической с отличающимися коэффициентами отражения.

Для измерения угла целесообразно использовать интерференционный метод, который также позволяет определять ряд других параметров торца (шероховатость, радиус кривизны, положение и размеры втулки и волокна).

Схема измерительной установки представлена на рис.2 и аналогична рассмотренной в [2]. Интерференционная картина формируется в микроинтерферометре Линника и воспринимается ПЗС-видеокамерой. Видеосигнал оцифровывается и обрабатывается персональным компьютером.

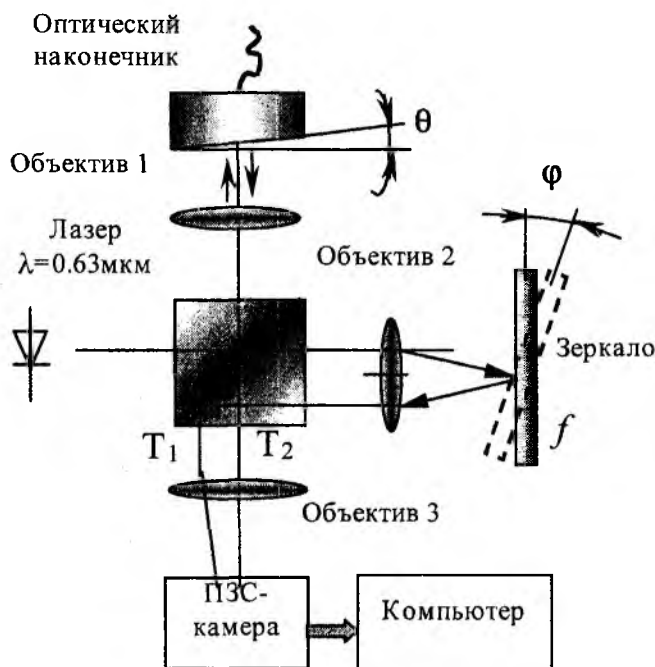


Рис.2

В обычном режиме зеркало микроинтерферометра наклонено на незначительный угол ϕ . В результате лучи, падающие на его разные области, проходят различные пути и возникает разность хода, которая линейно изменяет фазу колебаний луча T1 и T2 вдоль поля зрения микроинтерферометра. Благодаря этому при идеально гладкой и перпендикулярной испытуемой поверхности видеокамера наблюдает систему параллельных интерференционных полос "равной толщины". Смещение объекта приводит к перемещению полос, а изменение угла наклона ϕ - к изменению их размеров и расстояния между ними.

Эффект от малого наклона зеркала аналогичен интерференции в плоском оптическом клине (рис.3). Отличие состоит лишь в том, что разность хода возникает не в клине, а в световой делительной призме. При этом сущность процесса сохраняется. Допустим, в точках А, С, Е наблюдаются интерференционные максимумы интенсивности. Это условие выполняется, если разность хода возрастет на расстояние, равное длине волны: $BC=DE=\lambda_1=\lambda/n$ (где λ - длина волны в воздухе, n - показатель преломления материала призмы). Можно записать:

$$2 \cdot \Delta \cdot \operatorname{tg} \theta = \frac{\lambda}{n} \quad (1)$$

Так как для малых углов (в том числе для $\theta \leq 8^\circ$) $\operatorname{tg} \theta \approx \theta$ рад, тогда расстояние между полосами

$$\Delta = \frac{\lambda}{2 \cdot n \cdot \theta} \quad (2)$$

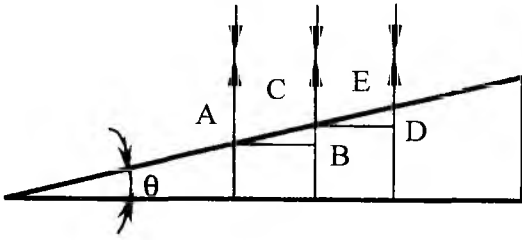


Рис.3

Поскольку пространственная ориентация плоскости торца случайна и заранее не известна, то для измерения в схеме микроинтерферометра следует изменить назначение объекта и зеркала.

Необходимо установить штатное зеркало перпендикулярно ходу лучей ($\varphi = 0^\circ$), а в качестве наклонного зеркала использовать торец APC- соединителя. Выравнивание зеркала достигается помещением в плоскость объекта плоского эталонного зеркала и устранением интерференционной картины путем уменьшения угла поворота наклонного зеркала φ .

При стандартных значениях угла полировки торца оптического наконечника расстояние между полосами Δ для угла 5° будет составлять около 8 мкм и для угла 8° - около 5 мкм. Эти значения могут быть легко зафиксированы с помощью приведенной установки контроля и с использованием цифровых процедур обработки данных. Алгоритм обработки рассмотрен в [2] и предполагает фильтрацию в пространственно-частотной области с использованием фильтра Баттерворта и выполнением процедур БПФ-ОБПФ. На рис.4 представлено распределение интенсивности интерференционного изображения в поперечном полосам направлении (для трех полос в зоне анализа) до и после фильтрации.

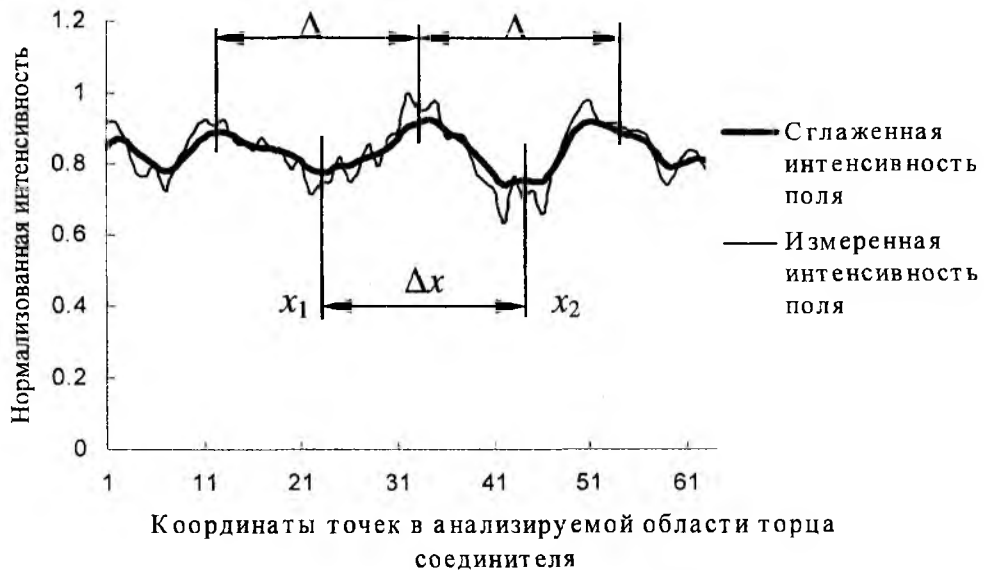


Рис. 4

После фильтрации определяется расстояние между интерференционными полосами при известных параметрах микроскопной части интерферометра и по формуле (2) рассчитывается угол полировки.

На точность вычисления расстояния Δ значительное влияние оказывает метод определения центра интерференционной полосы, т.к. даже после фильтрации распределение интенсивности далеко от синусоидальной формы. Поэтому для определения центра наиболее оптимальным является использование интегральной оценки, обеспечивающей равенство сум-

марной интенсивности поля относительно линии центра интерференционной полосы. Данная линия определяется как геометрическое место точек X_C , являющихся центром тяжести функции распределения интенсивности $I(x)$, который задается соотношением [3]

$$X_C = \frac{m_1}{m_0} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} x E^2(x) dx}{\int_{x_1}^{x_2} E^2(x) dx}, \quad (6)$$

где m_1 и m_0 – моменты первого и нулевого порядка соответственно функции распределения интенсивности; $E^2(x)$ – нормированная относительно максимального значения интенсивность поля в ближней зоне; x – координата, связанная с линейной осью фотоприемника, вдоль которой осуществляется сканирование поля и ограниченная рамками одной полосы (x_1, x_2).

По предложенной методике был осуществлен контроль партии APC-коннекторов. На рисунках 5 и 6 представлены интерференционные изображения, полученные на измерительной установке, по которым были вычислены углы наклона плоскости полировки двух наконечников. Четко видно границы оболочки оптического волокна (центральное пятно) и последующие слои соединителя. На рисунке 5 в площади оболочки располагается 15 интерференционных полос. Измеренное расстояние между интерференционными полосами составляет 7.8 мкм, что соответствует углу наклона 4.9° . Для наконечника на рисунке 6 расстояние между интерференционными полосами составляет 2.8 мкм (приблизительно 45 интерференционных полос на 125 мкм оболочке). В этом случае угол равен 13.5° .

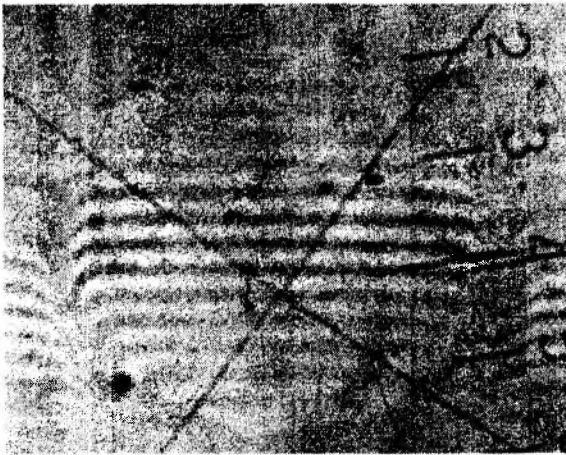


Рис.5

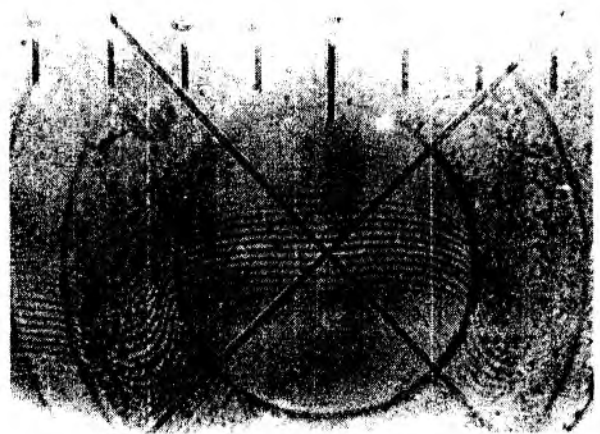


Рис.6

Разработанный метод легко интегрируется в комплексную систему интерференционного контроля параметров разъемных оптических соединителей, таких как шероховатость торца, расположение волокон в оптических наконечниках и др.

Список литературы: 1. *Meghan Fuller*. Often overlooked, patch cords provide important function // *Lightwave*, November 2000.-P.172-176. 2. *Filipenko A.I.* Fiber connector end face analysis by interference method // *Proceedings of LFNМ'2000*. 2nd International Workshop on Laser and Network Modelling, Kharkiv, May 23, 2000.-P.74-76. 3. *Филипенко А.И.* Метод анализа излучения оптических волокон//*Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб.* Харьков: ХТУРЭ,1997. Вып.103.С.26–30.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 25.12.2001