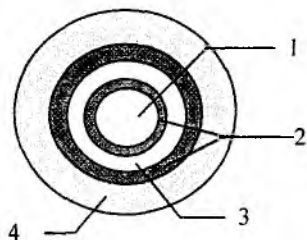


## КОНТРОЛЬ ТОРЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАКОНЕЧНИКОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Высококачественные волоконно-оптические соединители являются важнейшим компонентом любой волоконно-оптической системы. Одной из характеристик, определяющей их качественный уровень, является величина обратных потерь, т.е. количество света, распространяющегося в направлении, обратном направлению передачи полезной информации. Первичной причиной обратных потерь является отражение от области изменения показателя преломления в зазоре между торцами двух соединителей (Френелевское отражение), который образуется ввиду наличия неровностей на торцевых поверхностях. Этот эффект устраняется путем придания торцу наконечника соединителя определенной формы и свойств путем полировки, что способствует физическому контакту торцов наконечников соединителей. Шероховатость торца соединителей с физическим контактом (РС-соединителей) после обработки не должна превышать 0.035 мкм.

По структуре наконечник оптического соединителя (рис.1) состоит из очень незначительных по площади металлических, керамических, полимерных и стеклянных слоев, которые имеют различные физико-химические свойства. Полировка торцевой поверхности оптического наконечника выполняется в несколько приемов двумя методами: свободным (не фиксированным) и связанным абразивом. В обоих случаях при этом наблюдаются дефекты в виде сколов и царапин. Они не удаляются полировкой, вызывая впоследствии микро-разрушения волокна, капилляра в процессе воздействия климатических и механических факторов, что, в конце концов, приводит к значительному возрастанию потерь оптического сигнала.



- 1 - Кварцевое оптическое волокно.
- 2 - Полимер.
- 3 - Кварцевый капилляр (функционально).
- 4 - Металлический или керамический наконечник.

Рис.1

Требуемое значение обратных потерь может быть гарантировано только при выполнении тщательного контроля состояния торца соединителя после полировки.

Для измерения микродефектов обычно используются интерференционные методы. В данном случае физически реализуемыми и неразрушающими являются бесконтактные интерференционные методы. Интерференционное изображение торца соединителя формируется микроинтерферометром Линника (рис.2, 3 и 4) и представляет собой "полосы равной толщины".

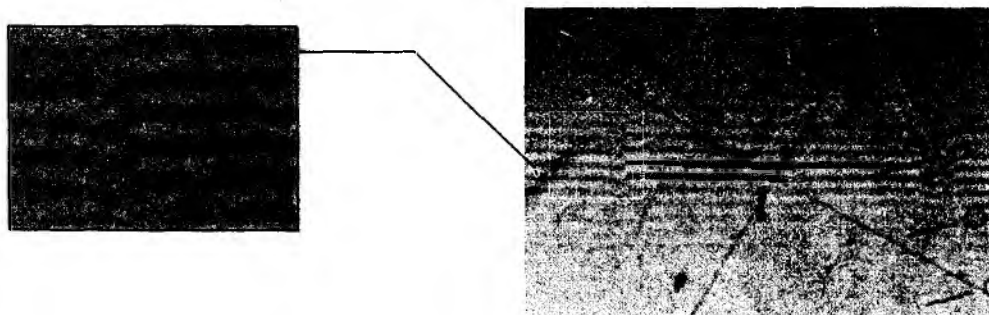


Рис.2

Присутствие поверхностных дефектов на торце, превышающих  $\lambda/2$  ( $\lambda$  - длина волны), приводит к искривлению полос (рис.2). Степень кривизны пропорциональна величине дефекта и параметрам интерферометра.

В поле зрения микроинтерферометра одновременно наблюдаются интерференционные полосы и исследуемая поверхность. Интервал между двумя соседними полосами соответствует разности хода в одну длину волны. Наличие дефектов, таких как царапины, трещины, сколы приводит к смещению полос. На рис.3 хорошо видно искривление интерференционных полос вызванное царапиной.



Рис.3

Наибольшее смещение полос наблюдается на границе оптического волокна и клеевой композиции, где имеется значительная выборка материала. Глубина дефекта определяется по значению кривизны и смещению интерференционных полос. Микроинтерферометр позволяет определить кривизну полос с разрешением 0.1 интервала между полосами. Такое смещение соответствует размеру дефекта  $0.1 \cdot \lambda/2$  (разность хода  $\lambda$ ). При исходной длине волны  $\lambda=0.63\mu\text{м}$  эта величина составляет  $0.05 \cdot \lambda=0.032\mu\text{м}$ .

Схема измерительной установки представлена на рис.4. Ин-

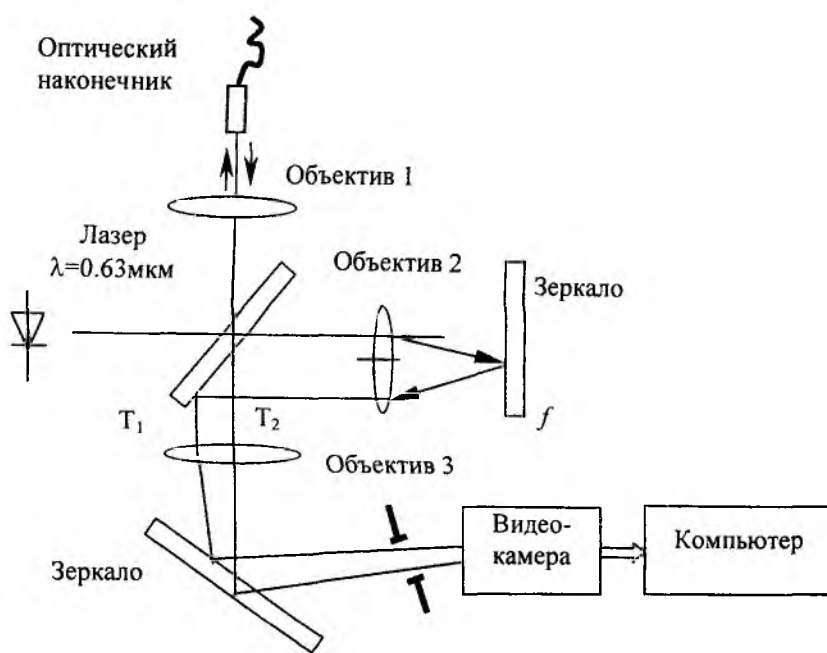


Рис.4

терференционное изображение поступает на матричную ПЗС-видеокамеру. Видеосигнал преобразуется 8-разрядным аналого-цифровым преобразователем в двухкоординатный массив кодов яркостей точек интерференционной картины. Управление системой осуществляется персональным компьютером. Наличие шума на интерференционной картине усложняет процедуру анализа искривления полос. Поэтому первым ша-

гом обработки изображения является процедура сглаживания для устранения высокочастотного шума цифровым фильтром низких частот в пространственно-частотной области. Амплитуда электрического поля  $E(x,y)$  прежде всего нормализуется и вычисляется из измеренной интенсивности поля  $I(x,y)$ :

$$E(x,y) = \sqrt{\frac{I(x,y)}{I_{max}}} \quad (1)$$

Исключение высокочастотного шума осуществляется использованием двумерного цифрового фильтра в области пространственных частот [1]. Алгоритм фильтрации осуществляется по стандартной схеме: быстрое преобразование Фурье (БПФ) массива кодов яркостей, умножение на амплитудно-частотную характеристику фильтра и обратное быстрое преобразование Фурье (ОБПФ). Используется фильтр Баттерворта третьего порядка с передаточной функцией

$$H(s) = \frac{1}{(s+1) \cdot (s^2 + s + 1)}, \quad s = j \cdot \omega . \quad (2)$$

На рис.5 показано распределение интенсивности электрической составляющей интерференционного изображения в поперечном полосам направлении (для трех полос в зоне анализа) перед и после фильтрации. Расстояние между полосами зависит от характеристик и настройки микроинтерферометра. На рис.6 представлено детализированное Фурье-преобразование (БПФ) измеренной амплитуды поля без фильтра и демонстрирующее влияние фильтрации высокочастотного шума на интерференционном изображении. Хорошо заметно отсутствие искажений за счет фильтрации и, в тоже время, устранение высокочастотных шумовых колебаний.



Рис. 5

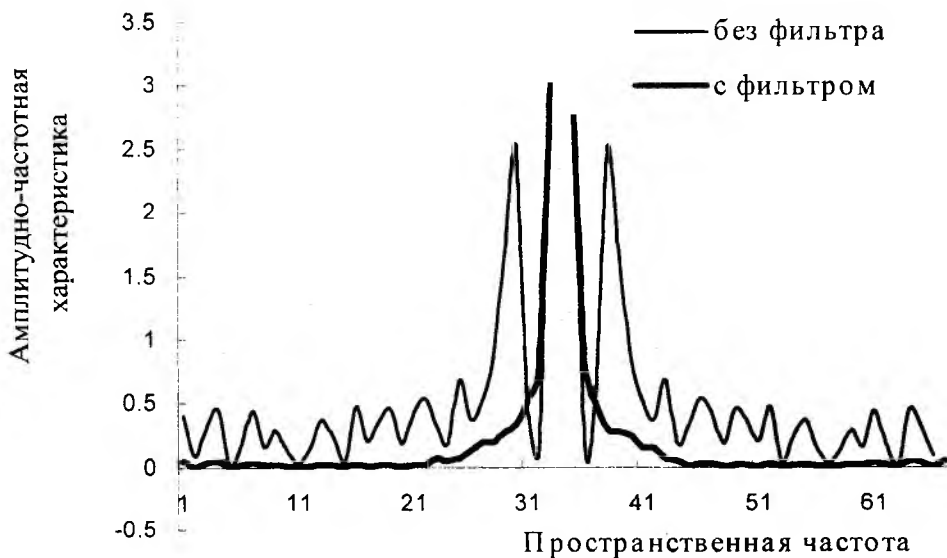


Рис. 6

На следующем шаге процедуры обработки выполняется анализ искривления интерференционных полос. Схема, поясняющая алгоритм определения величины смещения  $\Delta$  интерференционных полос представлена на рис.7.

Методика определения степени искривления основана на построчном анализе интерференционных полос с целью формирования линий, соответствующих максимумам интенсивности оптического поля.

В анализируемой области интерференционного изображения, очищенной от шума, определяются точки интерференционных полос, удовлетворяющие условию

$$\frac{dE}{dx} = 0. \quad (3)$$

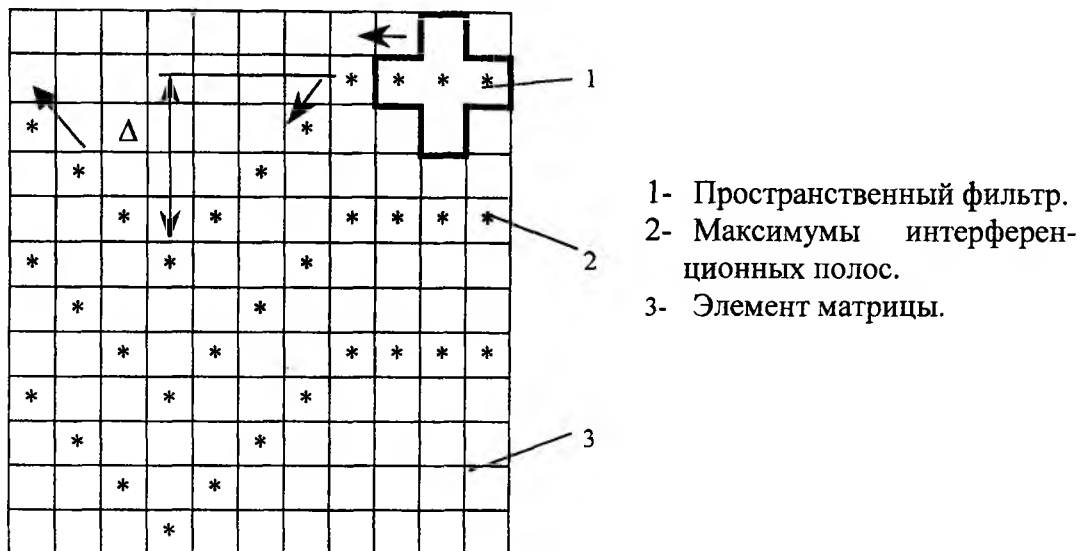


Рис.7

В результате формируется двумерный массив, в котором элементы, соответствующие интерференционным максимумам представляются единицами, а остальные равны нулю. В дальнейшем анализируются прилегающие к точкам максимумов области при помощи мобильного пространственного фильтра, смещающегося вдоль полосы, и определяется смещение полос  $\Delta$ .

Значение шероховатости определяется по величине сдвига фильтра с учетом шага массива, который, в свою очередь, определяется по характеристикам микроинтерферометра и камеры. В нашем случае шаг ячеек равен 0.03 микрометра при 64 точках, а размер изображения в плоскости торца соединителя -  $2 \times 2$  мкм. Этот метод был использован для контроля шероховатости поверхности различных типов многомодовых и одномодовых соединителей, таких как FC, SC, ST, SMA.

**Список литературы:** 1. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику. М.: Радио и связь, 1987. 296с. 2. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике: Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 495с.

Харьковский национальный  
университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 23.07.2001