

О. В. ЛАВРЕНТЬЕВ, ст. инж., С. О. ЛИТВИНОВ, студент,
В. М. КОСТЕНКО, инж., М. И. ПРОКОФЬЕВ, ст. науч. сотр.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОВОДОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Проблема согласования различных оптических элементов как волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), так и устройств интегральной оптики определила необходимость создания систем прецизионного позиционирования для исследования параметров и согласования элементов и узлов оптических систем. Малая длина световых волн накладывает более жесткие требования к однородности физических параметров используемых материалов, воспроизводимости размеров элементов, качества их согласования, чем в микроэлектронике [1]; требования по точности юстировки составляют 1 мкм и выше.

Разработка стенда точного позиционирования для исследования характеристик элементов в ВОЛС позволяет определить распределение поля излучения и обеспечить наилучшее согласование устройств с различными волноводными структурами. Известны теоретические распределения полей для различных мод многомодовых световодов и микроволноводов оптических микросхем (МОМ). Результирующее распределение зависит от числа и типов волн, взаимодействующих в выходной плоскости, и определяется условиями ввода излучения, наличием неоднородностей, механических напряжений и других трудно учитываемых факторов. Важность экспериментального нахождения распределения поля в волноводных устройствах оптического диапазона обусловлена значительными отклонениями характеристик реального волновода от расчетных.

Для создания оптических систем необходима полная картина поля (амплитудное и фазовое распределение) в ближней и дальней зоне. Экспериментальное исследование полей излучения целесообразно проводить в дальней зоне, так как непосредственно на раскрыве излучателя и в ближней зоне в оптическом диапазоне его получить не удается. Граница дальней зоны определяется из соотношения $z \gg \pi r^2 / 2\lambda$, где r — радиус волновода; z — расстояние от торца излучателя до точки наблюдения [3]. Для большинства кварцевых одномодовых волноводов граница дальней зоны лежит в пределах 30—50 мкм от излучателя. Поэтому необходимый диапазон позиционирования стенда для исследования характеристик элементов ВОЛС определяется в 100—150 мкм по трем линейным координатам с дискретом перемещения 0,2 мкм.

Наилучшие передаточные характеристики имеют одномодовые волноводы вблизи границы области их режима работы, однако эффективное возбуждение и передача основной моды с достаточно низкими потерями представляют трудную прак-

тическую задачу. Поэтому, несмотря на потенциально высокие характеристики передачи одномодовых микроволноводов, часто используются многомодовые микроволноводы, обладающие существенно большими размерами сердцевины, числовой апертурой, эффективностью ввода излучения, допусками при юстировке. Картина поля на выходе многомодового микроволновода имеет спектрную структуру, являющуюся результатом интерференции отдельных мод, не только возбуждаемых источником излучения, но и возникающих на неоднородностях различного порядка в волноводе, в выходной плоскости каждая из которых имеет свою поляризацию и фазовую скорость. Изменение условий возбуждения излучения в волноводе приводит к изменению модового состава и, следовательно, к перераспределению в спекловой структуре на выходном торце волновода. Исследование распределения полей мод при разных условиях возбуждения, распространяющихся в многомодовом волноводе, дает возможность определить передаточные характеристики данного вида волновода и выбрать оптимальные условия возбуждения волновода.

Максимальная длина ВОЛС существенным образом зависит от эффективности ввода излучения в волновод.

На торец световода падает световой поток в пределах телесного угла $\Omega = \pi r^2/z$, где r — радиус световода, z — расстояние от источника излучения до торца световода [2]. Излучение, захватываемое световодом, в пределах телесного угла

$$\Omega' = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{U_{10}} \sin U dU = 4\pi \sin^2 \frac{U_{10}}{2}$$

(U_{10} — критический меридиональный угол падения лучей на входной торец, соответствующий критическому меридиональному углу внутри световода). Числовая апертура волноводов определяет максимальный угол непрерывного спектра углов падения волн, которые могут эффективно возбудить волновод. Поперечно-неоднородные волноводы характеризуются локальной числовой апертурой, связанной с разницей преломления в текущей точке поперечного сечения и в оболочке, являющейся для цилиндрических волноводов функцией радиуса $NA(r) = \sqrt{n^2(r) - n^2(a)}$. Для плавно-неоднородных осесимметричных волноводов, если $NA(r)$ — медленно меняющаяся функция, измерение числовой апертуры позволяет находить профиль распределения показателя преломления $n(a)$ в поперечном сечении многомодовых цилиндрических микроволноводов и световодов. Измерение числовой апертуры сводится к определению угловой расходимости (или в дальней зоне — ширины диаграммы направленности) излучаемого волноводом поля путем сканирования устройством точного позиционирования с приемником оптического сигнала пространства излучения в дальней зоне волновода.

Точность измерения определяется величиной искажения поля приемным устройством и степенью его взаимодействия с источником поля. Взаимодействием источника излучения с приемником можно пренебречь при значительном удалении их друг от друга. Разработана система точного позиционирования элементов ВОЛС, которая позволяет производить измерение и контроль параметров элементов оптического тракта, полупроводниковых фотоприемников и источников оптического излучения и т. д.

В состав системы входят: контроллер программируемый универсальный «Электроника К1-20»; аналого-цифровой преобразователь; высоковольтный цифро-аналоговый преобразователь; устройство ручного позиционирования; устройство точного позиционирования (УТП); узлы визуальной и звуковой индикации режимов работы системы.

Система осуществляет позиционирование двух объектов, один из которых расположен на подвижном столе УТП, а второй фиксирован. Грубое позиционирование объектов оператором производится вручную перемещением основания, на котором установлен УТП по трем линейным координатам в пределах ± 10 мм и вращением на $\pm 180^\circ$ вокруг оси. Точное совмещение осуществляется пьезоэлектрическим приводом УТП, обеспечивающим перемещение одного из объектов относительно другого по трем линейным координатам в диапазоне 100 мкм с шагом перемещения 0,2 мкм. Точное позиционирование производится путем подачи на исполнительные элементы УТП программно сформированных напряжений. Стенд для исследования параметров элементов ВОЛС позволяет осуществлять прецизионное совмещение элементов ВОЛС с целью сборки узлов с последующим измерением их параметров. Наличие микроконтроллера предоставляет возможность автоматизированного режима исследования характеристик объекта, а также предварительной обработки полученной информации с последующей выдачей на терминал или более мощную ЭВМ.

1. Андрушко Л. М., Вознесенский В. А., Панфилов И. П. Современное состояние и перспективы развития оптических интегральных схем // Зарубеж. радиоэлектроника. 1983. № 11. С. 60—72. 2. Кукичан Л. М. Физическая оптика волоконных световодов. М.: Энергия, 1979. 191 с. 3. Миrowsкий Д. И., Будагян И. Ф., Дубровин В. Ф. Микроволноводная оптика и голография. М.: Наука, 1983. 318 с.

Поступила в редколлегия 20.09.86

УДК 621.372.852.3 : 621.382.2

А. С. МАКАРЕНКО, канд. техн. наук, В. Ф. КУРИННЫЙ, студент

ФАЗОСТАБИЛЬНЫЙ АТТЕНУАТОР СВЧ НА $p-i-n$ -ДИОДАХ

Обеспечение постоянства фазочастотной характеристики (ФЧХ) в процессе перестройки, т. е. при изменении вносимого затухания — неременное условие, которому должны удовлет-