

СПЛАВНОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ МНОГОМОДОВЫЙ РАЗВЕТВИТЕЛЬ КОНФИГУРАЦИИ 1xN

Басиладзе Г. Д., Долгов А. И., Николаев Е. Я.

Известен и широко применяется для изготовления многомодовых многополюсных волоконных разветвителей (ВР) конфигурации NxN метод, основанный на сплавлении и растяжении пучка оптических волокон, предварительно скрученных для достижения надежного физического контакта между волокнами [1]. Разветвитель 1xN – частный случай конфигурации NxN. Пропускание и равномерность распределения оптического излучения по полюсам ВР зависят от размера светоотражающей оболочки сплавляемого световода и существенно улучшаются при уменьшении ее толщины [2]. Утончение оболочки обычно достигается химическим травлением световода. Однако с ростом числа сплавляемых волокон увеличивается вероятность их разрушения при скрутке, усложняется технология изготовления ВР.

В [3] для получения разветвителей NxN с небольшим количеством выходных полюсов (до 8) был использован метод сплавления средней зоны группы планарно-расположенных оптических волокон. Мы применили такую геометрию укладки для сплавления планарно-расположенных окончаний травленных волокон.

Опыт показывает, что при сплавлении таким методом травленных волокон разрушение волокон практически не происходит. Это существенное технологическое преимущество метода. Мы применили его для изготовления разветвителей с числом выходных полюсов до 9.

Рассмотрим процесс распространения света в разветвителе. Пусть излучение с числовой апертурой NA требуется без потерь передать из одиночного оптического волокна с сечением сердцевин s_0 в несколько таких же волокон. Для этого, как минимум, необходимо согласовать передающую и приемную площадки. Согласующим элементом является область сплавления планарно уложенных волокон. От геометрических параметров этого элемента зависят оптические характеристики разветвителя.

Для сплавления ВР волокна укладываются в одной плоскости таким образом, чтобы их торцы выстраивались в одну линию, ориентированную перпендикулярно к оси волокон. Волокна сплавляют и образуют зауженную область, переходящую в конус (внешний вид области сплавления волокон разветвителя показан на рис. 1). Конус в месте наибольшего утончения (разрез В-В) рассекается для сплавления с одиночным световодом. В сечении конус представляет собой чередующиеся слои сердцевин и оболочек. Причем расстояние между прослойками из сердцевин зависит от толщины оболочки исходных волокон (рис. 2).

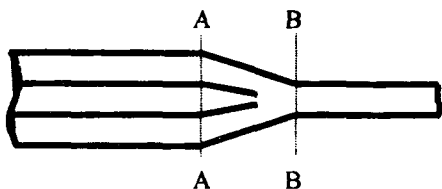


Рис. 1. Схема области сплавления ВР

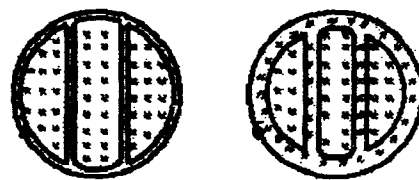


Рис. 2. Виды сечений конических сужений

Излучение из одиночного волокна попадает в расширяющийся конический участок с несколькими приёмными сердцевинами. Здесь апертура излучения уменьшается и свет попадает в i -ое волокно с преобразованной числовой апертурой. Мощность же распределяется между световодами в зависимости от ее распределения в сечении возбуждающего световода. При попадании мод высшего порядка в сечения между сердцевинами волокон некоторая доля их мощности за счет уменьшения апертуры излучения в расширяющейся структуре может захватываться сердцевинами. Остальное излучение, попавшее в оболочку, поглощается эпоксиакрилатным защитным покрытием волокна за пределами области сплавления. С увеличением толщины оболочки увеличивается и доля излучения, попавшего в оболочку.

Рассмотрим зависимость оптических потерь от числа волокон и толщины оболочки. Пусть из N оптических волокон с радиусом оболочки r_1 и радиусом сердцевины r_0 сплавляется разветвитель конфигурации $1 \times N$. Суживающаяся структура образует в сечении при переходе в конус окружность с радиусом $R_1 = r_1 \cdot \sqrt{N}$ (рис. 2). При этом сердцевинки волокон группируются внутри некоторой окружности с радиусом R_0 . Сердцевинки крайних волокон принимают форму сегментов, а внутренние сердцевинки - форму усеченных сегментов. Сердцевинки ОВ разделены прослойками оболочечного материала, толщина которых меньше, чем до сплавления их вместе на величину, пропорциональную квадратному корню из числа волокон. Для упрощения расчета примем, что толщина внешней оболочки суживающейся структуры у основания конуса так же, как и площади сечения сердцевин не изменяется. Учитывая это, определим общую площадь сечения сплавленных волокон как $S_1 = \pi \cdot (R_1)^2$, где $R_1 = r_1 \cdot \sqrt{N}$. Обозначим толщину внешней оболочки сечения через δ , тогда $\delta = R_1 - R_0 = r_1 - r_0$, где $R_0 = r_1 \cdot \sqrt{N} - \delta$, $S_0 = \pi(R_0)^2$. Площадь слоистой сердцевины сплавленных волокон равна: $S_0' = \pi \cdot (r_1 \cdot \sqrt{N} - \delta)^2$. Общая площадь N сердцевин у основания конического перехода равна $Ns_0 = N\pi(r_0)^2$. Для согласования слоистой сердцевины сплавленных волокон с сердцевиной одиночного волокна структура перетягивается, образуя конус с площадью малого сечения слоистой сердцевины $S_0' = \kappa S_0$, где $\kappa = r_0/R_0 \approx 1/\sqrt{N}$ - коэффициент перетяжки.

При полном совпадении S_0' и s_0 суммарные потери световой энергии, в основном, определяются толщиной прослойки между сердцевинами световодов. При условии однородности распределения мощности излучения по сечению сердцевины возбуждающего волокна потери, вносимые прослойками в сечении конического участка, определяются как

$$\alpha = -10 \cdot \log(Ns_0 / S_0) = -10 \cdot \log \left[(r_0)^2 \cdot \sqrt{N} \cdot (r_1 \cdot \sqrt{N} - \delta)^2 \right] \text{ (дБ)}. \text{ Следует отметить, что это}$$

соотношение определяет потери оптической мощности, попадающей в прослойки без учета преобразования части оболочечных мод в моды сердцевины.

В настоящей работе были проведены эксперименты по изготовлению многомодовых многополюсных ВР конфигурации $1 \times N$, где $N = 3, 4$ и 9 методом планарной укладки окончаний ОВ с уменьшенной толщиной кварцевой оболочки. Рассчитанные по формуле потери для разветвителей 1×3 , 1×4 и 1×9 при $r_0 = 25$ мкм, $r_1 = r_0 + \delta = 27,5$ мкм, где $\delta = 2,5$ мкм, соответственно, составляют: $\alpha_3 = -0,36$ дБ, $\alpha_4 = -0,42$ дБ, $\alpha_9 = -0,56$ дБ.

Для изготовления ВР использовались многомодовые градиентные оптические волокна ККГ 125/50. Толщина кварцевой оболочки уменьшалась до $2,5 \pm 0,5$ мкм путем травления окончаний волокон в плавиковой кислоте. ВР изготавливались на установке, обеспечивающей нагрев и сплавление оптических волокон посредством высокочастотного электродугового разряда и растяжение сплавленного участка.

Диапазон значений дополнительных потерь изготовленных партий образцов разветвителей 1×3 , 1×4 и 1×9 находился в пределах (0,15 - 0,45) дБ, (0,2 - 0,48) дБ и (0,37 - 0,76) дБ, соответственно, а значения неравномерности коэффициента передачи -- (0,30 - 0,42) дБ, (0,35 - 0,49) дБ и (0,43 - 0,98) дБ.

Полученные результаты измерений потерь с некоторыми отклонениями в меньшую сторону согласуются с приведенными выше расчетными данными. Эти отклонения, очевидно, являются результатом частичного преобразования мод оболочки в сердцевинные моды при прохождении через расширяющуюся многослойную композитную структуру.

Литература

1. Goodman S.E. The effect of multimode star coupler uniformity in fiber optic subsystems // *Fiber Optic Couplers, Connectors and Splice Technology*. - 1984. - Vol. 479. - P. 66-70.
2. Fiorina L., Mezzetti S., Svelto F. Low-loss Y-coupler for multimode single fibres // *Electronics Letters*. - 1978. - Vol. 14, № 25. - P. 808- 809.
3. Пат. 4392712 США, МКИ G02B 5/172. Light distributor / Takeshi Ozeki (Japan); Tokio Shibaura Electric Co. Ltd. - Заяв. 29.10.80; Опубл. 12.07.83.