

单模光纤熔锥型 OWM 耦合率的计算

傅思镜, 刘叶新, 童洲森

(中山大学超快激光光谱国家重点实验室/物理学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 对生产单模光纤熔锥型光波分复用器 (OWM) 的关键技术——耦合率与耦合段 (相互作用) 长度及耦合率与熔拉后颈锥截面宽度的关系等作了计算分析, 为提高生产效率提供了科学依据。

关键词: 单模光纤; 熔锥型; 光波分复用器; 耦合率

中图分类号: TP391; O436; TN25 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2001) 02-0122-03

单模光纤熔锥型 OWM 是光纤众多无源器件中最重要的器件之一。据了解, 广州市及珠江三角洲等地一些厂商引进发达国家相关的仪器设备, 利用我国廉价的人力资源, 招收年轻工人从事基本上是半手工作业的生产。而因生产成品率低, 使厂商感到焦虑。本来有文献显示发达国家早就对单模光纤熔锥型 OWM 的生产已有十分成熟的工艺^[1]。现在却要靠半手工作业的产品再返销回发达国家商用盈利。究其最主要的原因是光纤器件的发展 (包括功能、器件技术指标等) 相当迅速, 而相应的生产工艺理论滞后。我们利用新的研究成果^[1,2], 对单模光纤熔锥型 OWM 的耦合率与耦合长度等关系作了计算。这一工作对提高成品率、提高生产效率、促进我国信息产业的发展有重要的现实意义。

1 单模光纤熔锥型 OWM 的耦合机理及其制造工艺概述^[1]

熔锥型 OWM 器是将两根 (或两根以上) 光纤绞合一小段, 采用如图 1 所示的加热熔拉单纤光纤技术。通过熔拉使光纤形成双锥形锥体, 当两根光纤的一小段纤芯互相靠 (仅几微米) 并使纤芯直径大幅度减小时则能实现双光纤耦合。

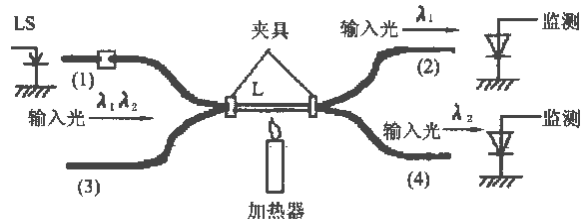


图 1 光纤熔拉示意图

Fig 1 The fibers are melted and drawn

由图 1 可以看出这种 OWM 有 4 个端口, 形成一个 X 型耦合器。即双光纤 4 端口耦合器, 其波导作用于体光学分束器等效。其中 (1)、(2) 两端口属于同一根光纤; 而 (3)、(4) 两端口为另外一根光纤的两端。当把 2 个不同波长 (λ_1 、 λ_2) 的光由端口 (1) 输入该耦合器时, 其中一个波长 (λ_1) 的光将由端口 (2) 输出。而另一个波长 (λ_2) 的光由于 2 光纤芯的充分靠近使该波长的光不再由光纤 1 的另一端口 (2) 输出而是耦合到光纤 2 并由端口 (4) 输出, 因此实现了波分作用。由于这种作用是可逆的, 因此由 (2)、(4) 端口输入的 2 个不同波长的光则由 (1) 端共同输出。实现了合波。这就是该器件具有波分复用功能的概念。

根据光波导理论, 单模光纤熔锥型耦合器的合分波机理可用瞬逝波进行分析, 即通过熔拉两根光纤使光纤的纤芯相互充分靠近时, 2 个 LP₀₁ 模 (基模) 通过瞬逝波变为耦合模, 因而功率可以互易地由一根光纤转移到另一根光纤。功率转移的大小与输入的光波长、两光纤的纤芯间距以及互相作用长度有关。也就是说熔锥型 OWM 是一个瞬逝波耦合器。我们可以通过调节波长与耦合率的关系来实现合波与分波, 具体就是通过调节纤芯距和耦合长度来实现的。

设将工作波长为 λ 的光耦合到输入端 (1), 输入功率为 P_0 , 则由前面所述, 此时输出光除由输出端 (2) 可以传输外, 在输出端 (4) 还有耦合波传输, 如用 P_t 表示传输功率, P_c 表示 2 个 LP₀₁ 模通过瞬逝波转变的耦合功率, 则由光波导理论可以得出

* 基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (980368)

收稿日期: 2000-08-01; 作者简介: 傅思镜 (1945—), 男, 副教授。

$$P_t = P_0 \cos^2(c l)$$
$$P_c = P_0 \sin^2(c l)$$

式中, l 如图 1 所示为耦合端的长度, c 代表耦合强度, 其值由下式决定, 即:

$$c = \frac{3\pi \lambda}{32 n_1 d^2} \frac{1}{(1 + 1/V)^2}$$

式中, λ 为输入光波长, d 为两光纤熔拉后颈锥截面宽度, n_1 为纤芯折射率, V 为归一化频率.

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

式中, a 是纤芯半径, n_2 是光纤包层介质的折射率.

如令耦合率如下式所示, 即

$$R_c = \frac{P_c}{P_t + P_c} \times 100\%$$

由上式可以得出在 2 个输出端口的输出功率 P_t 和 P_c 随着传输光的波长及耦合段的长度的变化而周期性的变化. 而耦合强度随光波长的增长而增大. 所以, 可通过选择波长和熔拉技术调节两光纤的纤芯距、耦合长度, 精确控制功率的转移, 使不同波长的光得到不同的耦合率.

2 计算结果与讨论

计算结果如图 2 和图 3 所示.

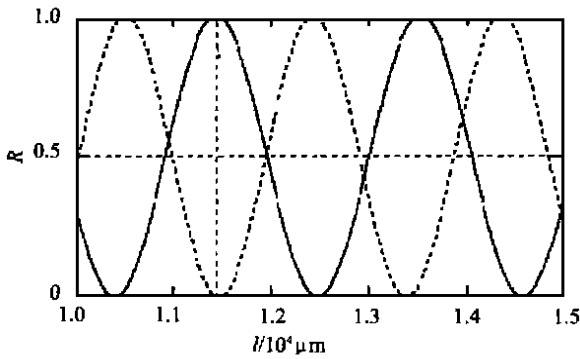


图 2 熔锥型 OWDm 的 l 与 R 的关系

Fig 2 The relation of R with l of melting taper OWDm
 $n_1 = 1.4504$, $n_2 = 1.4447$, $a = 5.0 \mu\text{m}$, $d = 10.0 \mu\text{m}$,
 $\lambda_1 = 1.30 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.55 \mu\text{m}$, $l = 10\,000 \sim 15\,000 \mu\text{m}$

(1) 熔锥型光纤耦合器的理论分析要比两弯曲光纤耦合器的理论分析复杂得多^[3]. Okamoto 提出一种阶跃近似的方法来分析锥区内导模的耦合. 因为在拉锥区由于芯径的变化导致了导模场的变化. 耦合器锥形区光纤的外边界被分成很小的台阶. 首先利用等效折射率法将耦合器的两维结构等效为一维结构, 然后利用有限元法求出每

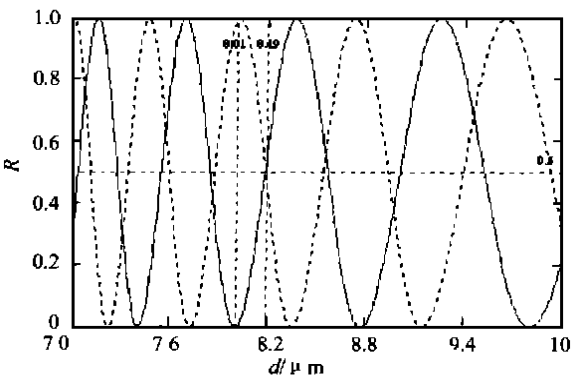


图 3 熔锥型 OWDm 器颈锥 d 与 R 的关系

Fig 3 The relation of R with the neck taper cross section (d) of melting taper OWDm
 $n_1 = 1.4504$, $n_2 = 1.4447$, $a = 5.0 \mu\text{m}$,
 $d = 7.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$, $\lambda_1 = 1.30$, $\lambda_2 = 1.55$, $l = 8\,000 \mu\text{m}$

一台阶区奇数模和偶数模的等效折射率和等效传播常数, 依次计算每相邻两个台阶的耦合系数. 即可获得总的耦合系数. Okamoto 的计算表明: 其对称形式 (两光纤具有相同参数) 的耦合效果与波长有关, 而非对称形式 (两光纤的参数不同) 的耦合器在适当的工艺条件下, 其耦合效果在相当大的波长范围内与波长无关. 我们采用对称形式的光纤作 OWDm, 计算结果与 Okamoto 的前一种形式吻合得很好. 而文献^[4]显示的结果与其后一种形式亦相符.

(2) 从图 2 可看到在 $l = 11\,450 \mu\text{m}$, 有一个分波点, 即在该点 $\lambda = 1.30 \mu\text{m}$ 光波有最大 (近似等于 1) 的耦合率. 而 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 光波有最小 (近似等于 0) 的耦合率. 因此, $l = 11\,450 \mu\text{m}$, $d = 10.0 \mu\text{m}$, 其它光纤参数如图 2 所示, 熔拉两单模光纤达到这些技术指标, 便获得 $\lambda_1 = 1.30 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.55 \mu\text{m}$ 的理想合分波器. 也可以看到 λ_1 和 λ_2 是等周期性变化的. 在 l 为其它值的一些点可以达到同样的分合波效果. 我们选取这一点是考虑到加热火焰的宽度, 容易控制加热速度等; 通常的熔锥型光纤波分复用器做成大约 1 cm 的长度也许与这些原因有关.

(3) 从图 2 可看到 $l = 11\,950 \mu\text{m}$, 处有一个分功率点, 即在这两点, $\lambda_1 = 1.30 \mu\text{m}$ 和 $\lambda_2 = 1.55 \mu\text{m}$ 它们的耦合率均近似等于 0.5. 利用这个点, 同样我们可以获得一个理想的 3 dB 功率耦合器. 利用两波长的其它交点, 我们可以获得对应耦合率 (比) 的功率耦合器.

(4) 从图 3 或把图 3 拉长, 同样可以找到分

波 (如 $d=8.01 \mu\text{m}$) 或分功率点 (如 3 dB 点 $d=8.19 \mu\text{m}$)。不过, 图 3 的 λ_1 和 λ_2 周期随 d 的增长而增大。这告诉我们, 当我们希望获得信道间隔较小的单模光纤熔锥型 OWDM 时, 必须将两光纤熔拉得 d 足够小, 找到它的分波点。另一方面我们也可以看到, 这时 R/d 变化率很大, 可达 $10^6 \sim 10^8/\text{m}$ 量级。这就给单模光纤熔锥 OWDM 制造窄信道间隔带来很大的困难。有的专著给出了它们的极限值^[1]。由此希望另辟途径 (例如利用光纤光栅或有源光波分复用器) 制造窄带 (窄信道间隔) OWDM。我们想, 如果人们能拿出制造奔腾 II 微机的微电子—微光电子精细工艺来生产单模光纤熔锥型 OWDM, 将会使它的极限值从目前的基础上提高 1~2 个数量级。这将使单模光纤熔锥型 OWDM 的成本更低, 身价

更高, 用途更广泛。

(5) 以上的讨论分析适用于 λ_1 、 λ_2 是任意两个不同波长的光 (即并不限于 $\lambda_1=1.30 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_2=1.55 \mu\text{m}$ 这两个典型值)。

参考文献:

- [1] 毛幼菊, 党明瑞. 光波分复用通信技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996. 29—37.
- [2] 林学煌. 光无源器件[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998. 103—109.
- [3] 傅思镜, 傅颖军, 梁丽贞. 单模光纤耦合率的计算分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1998, 37(5): 24—27.
- [4] 解金山. 光缆传输系统扩容技术与复用器[J]. 光通信技术, 1993, 17(4): 184—191.

The Calculation of Single-mode Fiber Melting Taper OWDM Coupling Efficiency

FU Si-jing, LIU Ye-xin, TONG Zhou-sen

(State Key Laboratory of Ultrafast Laser Spectroscopy/Department of Physics,
Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The relation between coupling efficiency with coupling (interaction) length and between the coupling efficiency with the neck taper cross section width after melting and drawing are calculated and analyzed. It is a key technique for manufacturing single-mode fibers melting taper optical wavelength division multiplexer. It also provides scientific basis for raising productivity.

Keywords: single-mode fiber; melting taper; optical wavelength division multiplexer (OWDM); coupling efficiency