

文章编号: 0253-2239(2003)08-0941-4

塑料光纤双锥与半球腔的活动耦合效应

李谷波

(四川工业学院电子信息与电气工程系, 成都 610039)

葛文萍* 郝素君 游善红 殷宗敏 陈建平

(上海交通大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海 200030)

摘要: 报道了用氦氖激光实现的塑料光纤双锥与介质半球(称半球腔)之间的活动耦合效应。测量了光纤双锥的发射效率,并测量了锥腔耦合效率与半球腔的表面积、锥腔距离之间的关系。根据这种效应,可以制成塑料光纤活动耦合器;如果再加上调谐滤波器,可制成适合塑料光纤通信网用的信号上下载装置。

关键词: 光纤通信; 塑料光纤; 光纤活动耦合器; 耦合效率

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A

1 引 言

对于大容量、高速率的长途骨干通信网,损耗低、色散小的石英光纤是最佳的传输媒质;但是由于石英光纤光缆铺设和连接等工艺复杂,对短距离连接密集的接入网和局域网而言,成本很高。过去,因为塑料光纤损耗高、色散大,难于在通信网中应用。近年来,由于制造技术的进步^[1],特别是由于氟化塑料光纤的出现,损耗已大为降低^[2]。塑料光纤制造简单,连接容易,可挠性大,价格低廉,很适合用在连接密集的短距离接入网和局域网中^[3]。

要实现高性能的透明的光纤通信,必须使信号能在光域内进行交换和路由,这是实现全光通信和全光接入的重要一环,现有的光分插复用器十分复杂而昂贵,人们一直在寻找简便实用的代用装置。近年来,不少研究者积极探索石英光纤与相应介质微腔的耦合特性,例如,Blom 等^[4]研究了微腔谐振器的光开关特性,Laine 等^[5]使用酸腐蚀制造石英光纤双锥,Dubreuil^[6]和 Cai 等^[7~9]研究了光纤双锥与熔硅微球的耦合特性及其在信号传输中的应用。短距离塑料光纤通信网的应用同样需要许多相应的器件,然而塑料光纤器件还没有引起人们足够的重视。和石英光纤一样,要实现塑料光纤全光局域网,必须实现光域的交换,实现光信号的上下载。

我们用塑料光纤实现了可见红光在光纤双锥和

半球腔之间的活动耦合作用,测量了光纤双锥的发射效率与最小锥径之间的关系,并测量了锥腔耦合效率与半球腔表面积、锥腔间距的关系。在这种耦合效应的基础上,可以制成塑料光纤活动耦合器,如果再加上调谐滤波器就可以制成信号的上下载装置。一旦塑料光纤进入大规模使用,本实验的结果可能转化为实用器件产品。由于制造容易,成本低廉,因而具有市场竞争力。

2 实 验

我们选用了聚甲基丙烯酸甲脂塑料光纤,纤芯折射率为 1.490,包层折射率为 1.417,数值孔径为 0.47,外径为 1 mm,在波长 650 nm 时的衰减为 170 dB/km。

实验装置见图 1。实验中采用波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光器,HP81533 光功率计。光纤双锥是用酒精灯将塑料光纤加热至软化温度(大约 110 °C)

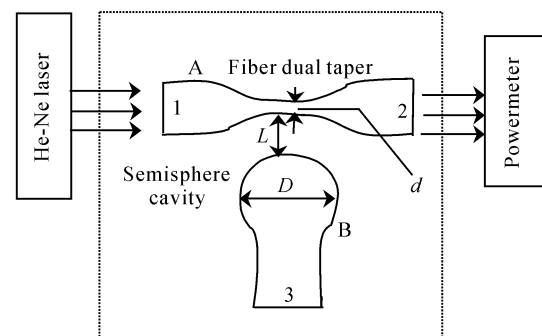


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

* 通信联系人。E-mail: gewp@sjtu.edu.cn

收稿日期:2002-05-20; 收到修改稿日期:2002-07-19

后拉制而成的;半球腔是将塑料光纤端头加热后热缩,再进行机械抛光与火焰抛光而成。将塑料光纤双锥和半球腔挨近放置,就组成锥腔活动耦合结构,如图 1 中虚线框内所示。

由 He-Ne 激光器出射的波长为 632.8 nm 的红光入射进光纤 A 的端口 1 并在其中传输,光纤中传播的光在双锥细腰部产生辐射,辐射光能量的一部分被接收光纤 B 端部的半球腔接收并在光纤 B 中传输,未辐射出的光能量继续在光纤 A 中传输。在光纤 A 的输出端口 2 和光纤 B 的输出端口 3 可用仪器测量传输过来的光功率和信号波形。

测量过程分为三步:

1) 测量光纤双锥的发射效率。在图 1 中,先用一根与光纤 A 同质等长但未经拉锥的光纤 C 代替 A,将功率计接在输出端口 2,这时测得的光功率作为入射功率 P_i ;然后用 A 代替 C,连着介质半球的光纤 B 为与 A 相同的一根光纤,介质半球(直径为 D)和光纤 A 的细腰部(即光纤双锥的最小锥径为 d 处)物理接触,功率计仍接在端口 2,这时测得的功率为辐射后的剩余功率 P_s 。入射功率减去剩余功率为发射功率 P_e ,即

$$P_e = P_i - P_s, \quad (1)$$

发射效率 η_e 定义为

$$\eta_e = P_e / P_i \times 100\%. \quad (2)$$

2) 测量不同直径介质半球的耦合效率。A 光纤固定用一根,因而发射功率 P_e 为一固定数值;B 光纤采用一组端部连着不同直径介质半球的光纤,半球直径不同导致接收表面积 S 也不同,半球表面和 A 光纤细腰部物理接触;功率计接在 B 光纤的输出端口 3,这时测得的功率为接收功率 P_r 。耦合效率 η_c 定义为

$$\eta_c = P_r / P_e \times 100\%. \quad (3)$$

3) 测量耦合效率与锥腔距离之间的关系。有双锥的发射光纤只取一根 A,因而发射光功率是固定的,带介质半球的接收光纤也只取一根 B,功率计仍接在 B 光纤的输出端口 3,改变锥腔之间的距离 L ,测量不同锥腔间距时的接收功率,然后按(3)式计算耦合效率。

3 实验结果

实验测量进行了多次,其统计平均结果如下:

1) 光纤双锥发射效率 η_e 的测量。测量结果如图 2 所示,总的趋势是光纤双锥的锥径越小,发射

效率越高。

2) 半球腔耦合效率 η_c 与其表面积 S 关系的测量。测量结果如图 3 所示,总的趋势是接收光纤端部的半球腔表面积越大,耦合效率越高。

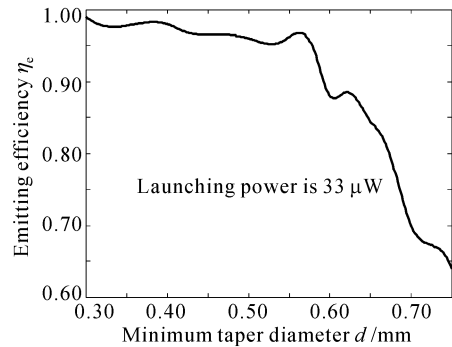


Fig. 2 Relation between minimum diameter and emitting efficiency of dual-taper

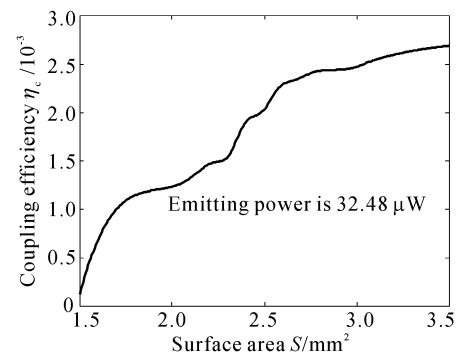


Fig. 3 Coupling efficiency relative to surface area of hemisphere cavity

3) 半球腔耦合效率 η_c 与锥腔间距 L 关系的测量。测量结果如图 4 所示,总的趋势是锥腔间距越大,耦合效率越低。

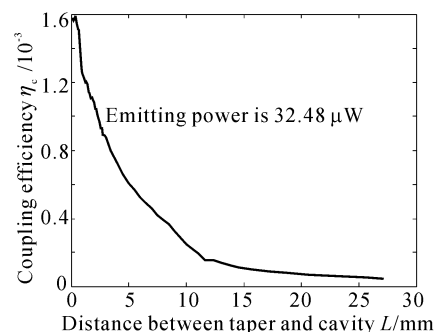


Fig. 4 Coupling efficiency as function of distance between taper and cavity

4 讨 论

自 20 世纪 70 年代以来,人们对电介质微球(称

为微腔)与光波的相互作用从理论与实验方面进行了广泛而深入的研究。这种微腔起着高 Q 值谐振腔的作用^[4],在微腔中形成耳语廊式模(whispering gallery mode,简称 WGM)。到 20 世纪 90 年代初发现,利用石英光纤锥和相应微球耦合,可以实现信号的上、下载。虽然已过去了约十年,但还在继续深入研究之中^[5,7,9]。至于塑料光纤是否会有相似的现象,由于塑料光纤未进入大规模的应用,迄今还未被人们注意。我们正是在进行石英光纤的锥腔耦合实验中联想到这种现象,然后设计了实验,观察了现象,测量了参量,找出了规律。

石英光纤的锥腔耦合与塑料光纤的锥腔耦合有相同之处,但更多的是不同。

除了结构相似之外,两者相同之点是光纤必须拉锥才能产生有效的辐射。其机理是:在光纤双锥中,由于波导结构的变化,许多导模不能满足全反射条件,变成泄漏模,从而形成辐射。如果不拉锥,光在光纤波导中总是要传向折射率大的地方,包层的折射率小于纤芯的折射率,纤芯中的光能量就辐射不出来。

两者不同之处很多。首先是宏观尺寸和模式数不同。作石英光纤的锥腔耦合的光纤都是单模光纤,其纤芯直径在 μm 量级(小于 $10\ \mu\text{m}$);现有的塑料光纤都是多模光纤,横向线度在 mm 量级。我们所用光纤的包层很薄,只有 $10\ \mu\text{m}$ 左右,所以两者纤芯线度之差有 2~3 个数量级。单模光纤中电磁场的模式数理论上只有一个,场分布是确定的,理论处理比较容易;塑料光纤中的电磁场模式数可以高达 10^3 量级,理论处理相当难。

其次是耦合强度不一样,石英光纤的纤腔耦合是谐振耦合,耦合效率很高。据称发射光纤中有大于 99% 的入射功率可以传递到熔硅微球的耳语廊式模中^[8]。而塑料光纤的锥腔耦合一般是非谐振耦合,耦合效率不高,在我们的测量中,耦合效率在 10^{-3} 量级(参见图 3,图 4),两者相差 3 个量级。前者就是强耦合,后者是弱耦合,它实际是一种发射与接收的过程。

第三是耦合参变量不同。石英光纤的锥腔耦合都是固定耦合。因此理论上和实用上主要关心的只是一个谐振耦合效率^[4,8]。我们设计的塑料光纤的锥腔耦合是可调的耦合,因此需要多个参变量来表征。从耦合效率随接收面积的增加而增加、随锥腔间距的增加而减小的实验规律来看,它是类似于微

波的发射和接收过程。我们拟用成熟的微波技术和理论来处理这类问题。

第四是介质腔中场的形态不同。在石英熔硅微球中存在的电磁场是耳语廊式模,主要集中在通过微腔球心和双锥纤芯的截平面内的赤道附近的表层,光是在表层内来回反射传播。由于局部电场很高,光存在的区域就产生非线性光学效应,如拉曼散射和布里渊散射等,是一种环形表层效应。而在塑料光纤的介质腔中,实验观察证明,它是均匀地分布在腔体中,是普通线性场,是一种立体效应。介质腔是实现锥腔耦合的关键环节,由于腔内场的形态不同,所以两者的物理本质就不同。

第五是应用方式不同,虽然两者都追求实现全光纤化的光分插复用器,试图以一种简单的结构代替现有的复杂结构的光分插复用器,如马赫-曾德尔型光分插复用器^[10],这是石英光纤锥腔耦合的唯一目标,它的优点是把耦合和选频用一个微球来实现。但要改变耦合频率必须变换微球。塑料光纤活动耦合实现光分插复用分两步走,第一步是耦合,第二步是滤波选频。其优点是变换耦合频率时,不需要变换结构,只需调节滤波器。另外塑料光纤的活动耦合还可以作广播器件使用,把发射光纤的信号通过活动耦合器分别传到多个接收器。

总之,石英光纤的锥腔耦合与塑料光纤的锥腔耦合仅是形同,量不同,质不同,应用方式也不同。

塑料光纤的活动耦合现象及其发射与接收的规律是确实无疑的,但是目前塑料光纤的热稳定性还较差,样品制作时光纤双锥和介质半球的尺寸都难于达到高精度,所以实验数据也难以十分精确,存在一定的起伏现象。产生误差的原因是多方面的,除样品形状尺寸不精确外,还有其它方面的原因,例如,测量中锥腔相对位置的变化、光路准直情况的改变、电压不稳引起的激光强度的变化等,都将严重影响测量结果。改进制作工艺,提高实验技术,可以提高测量精度。

结论 本文用实验研究了塑料光纤的活动耦合效应。光纤双锥的发射效率随锥径的减小而增加;在锥腔间距一定时,耦合效率随半球腔接收表面积的增大而增大;在半球腔接收表面积一定时,耦合效率随锥腔间距的增加而减小。这种效应可以用来制作塑料光纤活动耦合器,也可以用在信号的上下载装置的制备中,因而具有实用价值。

参 考 文 献

- 1 Koike Y, Ishigure T, Nihei E. High-bandwidth graded-index polymer optical fiber. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(7):1459~1475
- 2 Nihei E, Ishigure T, Tanio N *et al.*. Present prospect of graded-index plastic optical fiber in telecommunication. *IEICE Transactions Electron.*, 1997, **E80-C**(1):117~121
- 3 Schnitzer P, Grabherr M, Jager R *et al.*. GaAs VCSEL's at 780 and 835 nm for short-distance 2.5-Gb/s plastic optical fiber data links. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1999, **11**(7):767~769
- 4 Blom C F, Dijk van R D, Hoekstra M W J H *et al.*. Experimental study of integrated-optics microcavity resonator: Toward an all-optical switching device. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **71**(6):747~749
- 5 Laine P J, Little E B, Haus H A. Etch-eroded fiber coupler for whispering-gallery-mode excitation in high-Q silica microspheres. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1999, **11**(11):1429~1430
- 6 Dubreuil N, Knight C T, Leventhal K D *et al.*. Eroded monomode optical fiber for whispering-gallery-mode excitation in fused-silica microspheres. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(8):813~815
- 7 Cai M, Hunziker G, Vahala K. Fiber-optic add-drop device based on a silica microsphere-whispering gallery mode system. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(6):686~687
- 8 Cai M, Vahala K. Highly efficient optical power transfer to whispering-gallery-mode by use of a symmetrical dual-coupling configuration. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(4):260~262
- 9 Cai M, Hedekvist O P, Bhardwaj A *et al.*. 5 Gbit/s BER performance on an all fiber optic add/drop device based on a taper-resonator-taper structure. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(9):1177~1179
- 10 Zhao Hao, Qu Ronghui, Cai Haiwen *et al.*. Characteristics adjustment of an all-optical Mach-Zehnder add/drop multiplexer. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(5):589~592 (in Chinese)

Adjustable Coupling Effect of Plastic Fiber Dual Taper and Hemisphere Cavity

Li Gubo

(Department of Electronic Information and Electrical Engineering, Sichuan Institute of Technology, Chengdu 610039)

Ge Wenping Hao Sujun You Shanhong Yin Zongmin Chen Jianping

(National Laboratory on Local Fiber-Optic Communication Networks and Advanced Optical Communication Systems, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

(Received 20 May 2002; revised 19 July 2002)

Abstract: The adjustable coupling effect of plastic fiber dual taper and hemisphere medium cavity implemented by using He-Ne laser is reported. The emitting efficiency of fiber dual taper is measured. The coupling efficiency of hemisphere cavity relative to surface area of hemisphere and distance between dual taper and hemisphere cavity is also measured. Based on to this effect, an adjustable plastic optical fiber coupler can be made. Furthermore, add-drop devices suitable to plastic optical fiber transmission networks can be constructed by adding a tunable filter.

Key words: optical fiber transmission; plastic optical fiber; fiber adjustable coupler; coupling efficiency