

球形和楔形光纤探针耦合特性实验研究

杨修文

郧阳师范高等专科学校物理系,湖北丹江口 442700

摘要 采用实验方法测量了球形光纤与楔形光纤的耦合效率,得出耦合效率随楔形光纤的楔角及球形光纤弓形高变化曲线。通过实验可得,楔形与球形光纤的耦合效率随楔角增加而增大,当楔角由 20.6° 增大到 30.3° 以及楔角由 40.6° 增大到 55.2° 时,耦合效率曲线呈较快速上升趋势,由 30.3° 增大到 40.6° 以及楔角由 55.2° 增大到 76.5° 时,耦合效率曲线上升趋势较缓;随着球形光纤弓形高的增加,球形与楔形光纤的耦合效率基本上线性上升;耦合效率随着楔形与球形光纤的间距的减小而增大,当间距由 0.09mm 减小到 0.05mm 时,耦合效率曲线呈较快速上升趋势,由 0.04mm 减小到 0.01mm 时,耦合效率曲线呈下降趋势。

关键词 楔形光纤探针;球形光纤探针;耦合效率;弓形高;楔角

中图分类号 TN253

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.10.009

Experiments on the Coupling Properties of the Spherical and Wedge-shaped of Fiber Optics

YANG Xiuwen

Department of Physics, Yunyang Teachers College, Danjiangkou 442700, Hubei Province, China

Abstract The coupling efficiency of spherical fibre optics and wedge-shaped fibre optics is measured by the experimental method. The curve reflecting that the coupling efficiency of fibre optics changes with the wedge angle of wedge-shaped fibre optics and the sagitta of spherical fibre optics is given. By the experiments, the coupling properties had been analyzed and compared. It had been shown that coupling efficiency between a spherical fibre optics and a wedge-shaped fibre optics increases with the increase of wedge angle, the curve of the coupling efficiency assumes a quick uptrend by varying the wedge angle from 20.6° to 30.3° and from 40.6° to 55.2° . The curve of the coupling efficiency assumes a mitigative uptrend by varying the wedge angle from 30.3° to 40.6° and from 55.2° to 76.5° ; coupling efficiency between the spherical and wedge-shaped fibre optics linearly increases with the increase of sagitta of spherical fibre optics; coupling efficiency increases with the decrease of the distance between wedge-shaped and spherical fibre optics. The curve of the coupling efficiency assumes a quicker uptrend by varying the distance from 0.09mm to 0.05mm , the curve of the coupling efficiency assumes a downtrend by varying the distance from 0.04mm to 0.01mm .

Keywords wedge-shaped Fiber; spherical fiber; coupling efficiency; sagitta; wedge angle

0 引言

通信的发展过程是以不断提高载波频率扩大通信容量的过程。光是一种频率极高的电磁波,用光作为载波进行通信容量极大,光纤通信就是利用光波作为载波传送信息,它的诞生和发展是电信史上的一次重要革命。光纤传输系统主要由光发送机、光接收机、光缆传输线路、光中继器和各种无源光器件构成。无源光器件是提高光纤通信系统的性能和功能扩展不可缺少的器件,通常用熔拉、腐蚀和研磨的方法制备出锥形、球形、楔形光纤探针^[1-9],并对这些无源光器件传输特性进行研究,但对不同探针之间耦合的特性很少提及,本文用熔融及研磨的方法制作了楔形光纤与球形光纤两类无源光器件,并对其进行了研究,实验测量了两者之间的耦合

特性,分析了耦合效率与球的弓形高、楔形光纤的楔角及球形与锥形光纤间距的关系。

1 球形与楔形光纤结构和制备

用热源加热光纤端面,使光纤端面熔融,在表面张力的作用下,端面变为球形,经过自然冷却,形成不同弓形高的球形探针,热源的温度、光纤端面距离都会影响探针的形状。本实验采用 10W 自带聚焦透镜的 CO_2 激光器作为加热源加热制作出不同弓形高的球形光纤探针,通过改变光纤端面与激光器的焦点的距离,获得不同的温度,制备出不同弓形高的球形光纤探针。

先剥去光纤的保护护套,用无水乙醇进行清洗,固定于

收稿日期:2010-09-04;修回日期:2011-03-12

基金项目:国家自然科学基金项目(69877014);湖北省高等学校省级教学研究项目(2003298)

作者简介:杨修文,副教授,研究方向为光电子、光纤通信及传感器,电子信箱:yangxw66@yahoo.com.cn

一个可以转动的夹具上,将光纤端面置于激光所经过的路径上,距离激光器焦点约 10mm 处。打开激光器加热光纤,滞后约 1s 开始转动夹具,使光纤充分熔融(约 8s),关闭激光器电源,自然冷却一段时间(此时继续转动夹具)形成球形光纤探针^[7-10]。通过光纤研磨机研磨制备不同楔角的楔形光纤探针。

图 1 为制备的球形与楔形光纤外形,球形光纤基本上可以有 3 个不同弓形高 h 的类型,由于纤芯与包层的折射率相差很小,并且在熔融的过程中,互相流动,基本可以认为球形处的折射率各处均匀;楔形光纤探针是研磨制成,纤芯与包层折射率固定不变,探针区的包层直径延光纤轴逐渐研磨减小,而纤芯直径基本不变;只是在接近探针尖端时,纤芯才逐渐变细。

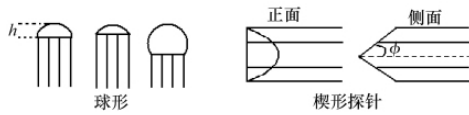


图 1 球形与楔形光纤外形

Fig. 1 Outside drawing of fibre optics probe with wedge-shaped and spherical

2 实验与讨论

图 2 左端为测定楔形光纤与球形光纤之间耦合效率的示意图,右端为球形与楔形探针耦合处放大图,将球形光纤与楔形光纤按图 2 方式置于光路中。首先在显微镜水平、垂直监控下,调节 5 维调节架,使球形与楔形探针在同一水平位置,光纤的轴心基本重合,其次给 He-Ne 激光器接通电源,由 He-Ne 激光器发出的波长为 632.8nm 的光经过显微镜聚焦照射在光纤端面进入光纤,在光纤中经过约 20m 传输,由球形探针端射出,在空气中前进很短的距离,耦合进入固定于 5 维调节架上的楔形光纤中,最后照射在光功率计上。仔细调节 5 维调节架,当光功率计显示的数据最大时记录功率数据 P_1 。再由光功率计测出球形光纤输出功率 P_0 ,由 P_1/P_0 计算耦合效率。实验所用光功率计为 AV6334 型光功率计,压电陶瓷为 PST150 标准封装的德国产陶瓷(哈尔滨工业大学博实精密测控有限责任公司),驱动电源为与之配套的 HPV-1C0150A0500 型压电陶瓷驱动电源。

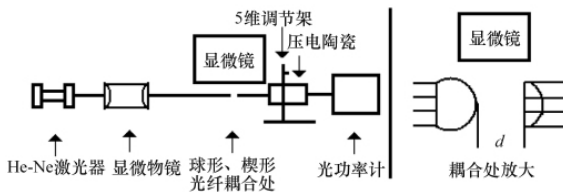


图 2 耦合效率测定示意图

Fig. 2 Sketch of the measure of coupling efficiency

2.1 间距与耦合效率关系测试

通过 5 维调节架,控制两个光纤轴心的相对位置,当光功率计显示的数据最大时,两个光纤的轴心基本重合,记录楔形光纤输出功率 P_1 ;再由加在压电陶瓷上的电压,控制两

个光纤的间距 d ,根据不同的间距测出对应的功率(表 1)。由表 1 绘制间距与耦合效率关系图(图 3)。实验中用的球形光纤探针的弓形高为 $42\mu\text{m}$ (出射功率 $P_0=0.98\mu\text{W}$),楔形光纤探针的半楔角 $\phi=64.9^\circ$ 。

表 1 间距与光功率关系

Table 1 Relationship between separation and optical power

d/mm	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06
$P_1/\mu\text{W}$	0.21	0.29	0.48	0.64	0.76
$\eta/\%$	21.4	29.6	49.0	65.3	77.6
d/mm	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
$P_1/\mu\text{W}$	0.82	0.83	0.81	0.79	0.74
$\eta/\%$	83.7	84.7	82.7	80.6	75.5

图 3 给出了楔形与球形光纤的耦合效率 η 与间距 d 的关系,当 d 由 0.10mm 减小到 0.09mm 时,耦合效率曲线呈现较缓上升趋势;由 0.09mm 减小到 0.05mm 时,耦合效率曲线呈较快速上升趋势;由 0.05mm 减小到 0.04mm 时,耦合效率曲线基本呈现一条水平线;由 0.04mm 减小到 0.01mm 时,耦合效率曲线缓慢下降。这是由于球形的光纤具有的聚焦特性决定的^[10],由球端光纤出射的汇聚光束,到达焦点以后,光束发散。当球形与楔形光纤的 d 由 0.1mm 减小到 0.04mm 的过程中,球形光纤出射的光是通过了焦点以后的光,具有发散性,当间距越小,光的发散程度就越小,耦合入楔形光纤的光通量增多,耦合效率增大,到焦点处,达到最大。当 d 由 0.01mm 增大到 0.04mm 的过程中,光束又处于汇聚状态, d 越大,入楔形光纤的光通量越大,耦合效率越高。

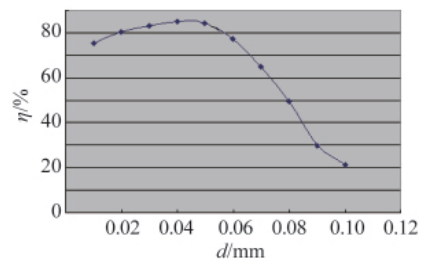


图 3 间距与耦合效率关系

Fig. 3 Coupling efficiency versus separation

2.2 楔角与耦合效率关系测试

采用第 2.1 节测试间距与耦合效率方法,每次更换不同楔角的光纤探针后,保持两个探针间距 $d=0.050\text{mm}$ 不变。测得球形光纤的输出功率 $P_0=1.03\mu\text{W}$,记录更换不同楔角的光纤后输出功率 P_1 (表 2),绘制楔角 ϕ 与耦合效率 η 关系如图

表 2 楔角与光功率关系

Table 2 Relationship between wedge angle and optical power

$\phi/^\circ$	15.0	20.6	24.6	30.3	35.7	40.6	44.9
$P_1/\mu\text{W}$	0.24	0.34	0.35	0.54	0.58	0.62	0.69
$\eta/\%$	23.3	33.0	44.4	52.4	56.3	60.2	67.0
$\phi/^\circ$	49.2	55.2	60.6	64.9	71.5	76.5	
$P_1/\mu\text{W}$	0.75	0.81	0.83	0.86	0.88	0.89	
$\eta/\%$	72.8	78.6	80.6	83.5	85.4	86.4	

4 所示, 实验中球形光纤的弓形高为 $42\mu\text{m}$ 。

由图 4 可以看出, 随着楔形光纤的楔角增大, 耦合效率增高, 当楔角由 20.6° 增大到 30.3° 以及楔角由 40.6° 增大到 55.2° 时, 耦合效率曲线呈较快上升趋势; 当楔角由 30.3° 增大到 40.6° 以及楔角由 55.2° 增大到 76.5° 时, 耦合效率曲线上升趋势较缓。由前文讨论间距与耦合效率关系的测试可知, 球形光纤的聚光特性, 使光从球形探针出射后, 先聚焦, 到达焦点以后, 光就开始发散。两个探针间距 $d=0.05\text{mm}$, 此时为发散光束, 楔角越大, 有效接受光的面积越大, 从而使进入楔形光纤中的光能量增加, 耦合效率得到提高。

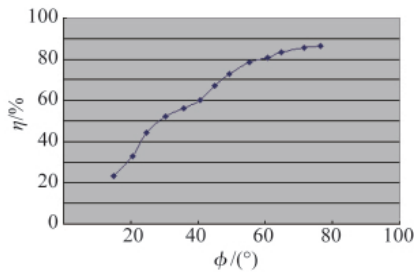


图 4 楔角与耦合效率关系

Fig. 4 Coupling efficiency versus the wedge angle

2.3 弓形高与耦合效率关系的测试

测试原理与第 2.1 节测试间距与耦合效率方法相同, 只是将楔形光纤作为发射光源, 球形光纤作为接受光纤。将不同弓形高的探针置于光路中, 分别测出球形光纤输出功率的最大值 P_1 , 记录数据 (表 3), 绘制弓形高与耦合效率曲线如图 5 所示。实验中所用楔形光纤的楔角为 44.9° , 由其发射的光功率 $P_0=0.918\mu\text{W}$ 在实验中保持不变。

表 3 弓形高与光功率关系

Table 3 Relationship between sagitta and optical power

$h/\mu\text{m}$	21	30	42	52	61
$P_1/\mu\text{W}$	0.277	0.321	0.381	0.427	0.471
$\eta/\%$	30.2	35.0	41.5	46.5	51.3
$h/\mu\text{m}$	72	81	91	101	111
$P_1/\mu\text{W}$	0.532	0.585	0.628	0.681	0.744
$\eta/\%$	58.0	63.7	68.4	74.2	81.0

根据图 2 可知, 楔角为 44.9° 的楔形光纤发射的光功率 $P_0=0.918\mu\text{W}$ 保持不变的情况下, 随着球形光纤弓形高的增大, 耦合效率随之提高, 且基本是线性规律的上升。这是球形光纤的两个特性决定的, 首先具有聚光特性, 弓形高越大, 聚

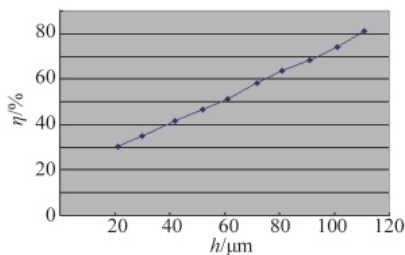


图 5 弓形高与耦合效率关系

Fig. 5 Coupling efficiency versus sagitta

光能力越强, 另一方面弓形高越大, 接受光的面积越大。随着球形光纤的聚光能力提高接受光的面积增大, 使进入光纤中的光能量增加, 耦合效率得到提高。

3 结论

通过实验研究了楔形与球形两种常见的光纤探针间的耦合特性, 测量了两者间耦合效率。在球形光纤弓形高及楔形光纤的楔角不变的情况下, 随着两光纤间距 d 的减小, 耦合效率变大, 当减小到一定程度, 耦合效率反而降低, 表明有一个与耦合效率最大的对应距离 d , 当 $d=0.04\text{mm}$ 时, 耦合效率最大为 84.7% 。在球形光纤弓形高不变的情况下, 耦合效率随着楔形光纤的楔角增大而提高。楔形光纤的楔角不变, 光纤弓形高越大, 耦合效率越高。实验中耦合效率最高达到 86.4% , 不仅有泄漏光的影响, 还有接收光纤端面没有镀减反膜, 造成菲涅尔反射引起损耗。实验的结果对提高光纤通信中不同无源器件的耦合效率以及利用球形与楔形光纤作为传感器具有重要意义。

参考文献 (References)

- [1] 孙家林, 田广彦, 李勤, 等. 动态化学腐蚀法制备大楔角近场光纤探针 [J]. 物理学报, 2001, 50(12): 2382-2386.
Sun Jialing, Tian Guangyan, Li Qin, et al. *Acta Physica Sinica*, 2001, 50(12): 2382-2386.
- [2] 温芳, 祝生祥, 李锐. 新型 AFM 探针的制备及应用 [J]. 光学技术, 2002, 28(5): 398-400.
Wen Fang, Zhu Shengxiang, Li Rui, et al. *Optical Technology*, 2002, 28(5): 398-400.
- [3] 王慧, 任宏亮, 何金田, 等. 管腐蚀法制作纳米光纤探针 [J]. 激光技术, 2004, 28(4): 417-419.
Wang Hui, Ren Hongliang, He Jintian, et al. *Laser Technology*, 2004, 28(4): 417-419.
- [4] 刘秀梅, 王佳, 李达成. 高效高分辨率光纤微探针的制备及检验 [J]. 光学学报, 2000, 20(5): 659-690.
Liu Xiumei, Wang Jia, Li Dacheng. *Acta Optica Sinica*, 2000, 20(5): 659-690.
- [5] 李昌安, 刘战辉, 孙永康, 等. 虹吸动态化学腐蚀法制备近场光学显微镜光纤探针的研究 [J]. 光学学报, 2004, 24(11): 1441-1444.
Li Changan, Liu Zhanhui, Sun Yongkang, et al. *Acta Optica Sinica*, 2004, 24(11): 1441-1444.
- [6] Sun J L, Xu J H, Tian G Y, et al. Fabrication and application of near-field optical fiber probe [J]. *Chinese Physics*, 2001, 10(7): 631-635.
- [7] 徐凯, 潘石, 吴世法, 等. 热拉伸和化学腐蚀相结合制备弯曲光纤探针 [J]. 物理学报, 2003, 52(5): 1190-1195.
Xu Kai, Pan Shi, Wu Shifa, et al. *Acta Physica Sinica*, 2003, 52(5): 1190-1195.
- [8] 张立源, 李永贵, 王潜. 扫描近场红外显微镜光纤探针的腐蚀制法 [J]. 物理学报, 2001, 50(12): 2322-2326.
Zhang Liyuan, Li Yonggui, Wang Qian, et al. *Acta Physica Sinica*, 2001, 50(12): 2322-2326.
- [9] 杨修文, 祝生祥, 胡毅. 大锥角光纤探针的制备 [J]. 光学与光电技术, 2007, 5(5): 57-60.
Yang Xiwen, Zhu Shengxiang, Hu Yi. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2007, 5(5): 57-60.
- [10] Hoffmann P, Dutoit B, Salathé R P, et al. Comparison of mechanically drawn and protection layer chemically etched optical fiber tips [J]. *Ultramicroscopy*, 1995, 61: 165-170.

(责任编辑 朱宇)