

·光电器件与材料·

耦合型光纤滤波器的特性分析

陈金鹏, 张少先, 柳春郁

(黑龙江省普通高等学校电子工程重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 光纤滤波器在光纤通信和光纤激光器制作中发挥着重要的作用。通过对耦合理论分析, 利用宽带光源和光谱仪构建测试系统, 测试了耦合型光纤滤波器光谱响应, 研究了不同拉锥周期与透射波长的关系。实验表明, 拉锥周期越长, 透射波长峰值间隔越密集, 光谱响应更加敏感。因此可以利用这一特性制作不同透射波长、不同滤波间隙的光纤滤波器。

关键词: 光纤滤波器; 拉锥周期; 透射波长

中图分类号: TN713^{+.1}

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-03-0028-04

Characteristics Analysis for Coupling Optical Fiber Filter

CHEN Jin-peng, ZHANG Shao-xian, LIU Chun-yu

(Key Lab of Electronic Engineering, Heilongjiang College, Harbin 150080, China)

Abstract: Optical fiber filters play an important role in optical fiber communication and optical fiber lasers fabrication. Based on coupling theory analysis, spectral response of coupling optical fiber filters is tested and the relationship between tapered cycle and transmission wavelength is researched by broadband light source and spectrometer building and testing system. Experimental results show that the longer tapered cycle is, the denser peak intervals of transmission wavelength is and the more sensitive spectral response is. So optical fiber filters with different transmission wavelength and filtering gap can be produced according to the property.

Key words: optical fiber filter; tapered cycle; transmission wavelength

当前, 全光传输网络迅速发展, 局域网传输信息量的大幅增加, 光纤滤波器已成为光纤通信中必不可少的部分, 其应用领域已受到人们的高度重视。同时, 光纤滤波器在制作光纤激光器领域得到广泛的应用。构成光纤滤波器的结构设计有多种选择, 常见的有基于Sagnac双折射环型、耦合器型、光纤光栅型、级联光纤或光栅型、级联高双折射光纤环型等^[1], 这些类型的光纤滤波器都具有各自的滤波区域、滤波范围以及可调谐范围^[2]。文中主要介绍利用熔融拉锥法制作耦合型光纤滤波器, 针对其输出光谱曲线和性能指标, 进行分析研究。

1 光纤滤波器原理

熔融拉锥法制作光纤连接器是将两根平行的光纤放置在光纤拉锥机的夹具上, 人工和机器两种将平行的光纤打结并置于氢氧焰下加热, 并通过拉锥得到的按一定分光比的光纤耦合器。如图1所示, L 为锥体长度及耦合长度, P_0 为输入光功率, P_1 和 P_2 为输出光功率。

2×2 单模光纤耦合器可认为是两个锥体相互融合形成的。它的耦合机理是: 互相靠近的两根光纤的波导场的分布, 并且在耦合时还保持着各自的场

收稿日期: 2013-03-25

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(61205071); 黑龙江省教育厅重点项目(12511Z025); 黑龙江省普通高等学校电子工程重点实验室项目(DZZD20100007)资助

作者简介: 陈金鹏(1986-), 男, 辽宁丹东人, 硕士研究生, 主要从事光纤传感方面的研究。

模式和传输系数^[3]。

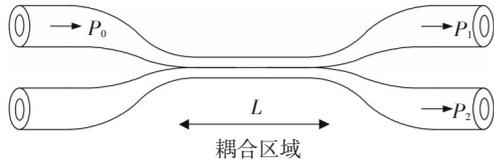


图1 熔锥型光纤耦合器原理图

实验中所采用的单模光纤和单模光纤进行耦合,如果光纤的传输损耗为零,则耦合器的 P_1 和 P_2 的输出功率公式为

$$\begin{cases} P_1(L) = 1 - F^2 \sin^2\left(\frac{C}{F}L\right) \\ P_2(L) = F^2 \sin^2\left(\frac{C}{F}L\right) \end{cases} \quad (1)$$

其中, $F = \left[1 + \frac{\Delta\beta^2}{4C^2}\right]^{-1/2}$ 。

在制作普通耦合器的基础上,可以制作光纤滤波器,即在分光比达到 3 dB 点后,继续拉伸,使器件处于过耦合状态时,器件的输出特性与波长的依赖关系逐渐增强,并形成振荡^[4]。这时耦合器的分光比 $R(\lambda)$ 是耦合长度 L 和光源波长 λ 的函数^[5]。耦合级次越高,分光比与波长的依赖关系越明显,形成的振荡越剧烈,耦合器的分光比定义为

$$R(\lambda) = \sin^2\left(\frac{C}{F}L\right) \quad (2)$$

其中, C 是耦合系数^[6],定义分光比随波长变化曲线斜率 $dR(\lambda)/dC$ 为波长灵敏度,分光比公式表达为

$$\frac{R(\lambda)}{dC} = \frac{8\Delta\beta^2}{C} \sin^2 \frac{\sqrt{(4C^2 + \Delta\beta^2)}L^2}{2} + \frac{4C}{\sqrt{(4C^2 + \Delta\beta^2)}} \sin \frac{\sqrt{(4C^2 + \Delta\beta^2)}L^2}{2} \cos \frac{\sqrt{(4C^2 + \Delta\beta^2)}L^2}{2} \quad (3)$$

波长灵敏度与耦合系数 C 、传播常数差 $\Delta\beta$ 以及耦合长度有关,对于对称波导而言传播常数差 $\Delta\beta$ 变化很小,因此不考虑传播常数差 $\Delta\beta$ 的影响,耦合系数与耦合长度随着拉锥发生变化,实验中通过控制拉锥周期得到不同拉锥长度 L 及与之对应的耦合系数 C ,利用这一理论制作了不同透射波长、不同波长间隔的光纤滤波器^[7]。

2 实验

实验选用美国 Corning 公司的 SMF-28 光纤 (Sin-

gle-mode Fiber),其参数为:纤芯直径 $8.5 \mu\text{m}$,纤芯折射率 1.460。包层直径 $125 \mu\text{m}$,包层折射率 1.456,涂覆层直径 $250 \mu\text{m}$ 。实验选用 KF-FBT 型熔融拉锥机,SGH-300 型高纯氢气发生器,Agilent86142B 光谱仪。实验中,设置滤波器的参数,其中氢流量 1 和氢流量 2 分别为 66 ml/min 和 56 ml/min ,分光比 1 和分光比 2 分别为 13.50% 和 40.00%,速度 1 和速度 2 分别为 $137 \mu\text{m/s}$ 和 $53 \mu\text{m/s}$,拉锥周期 60,光谱特性如图 2 所示。

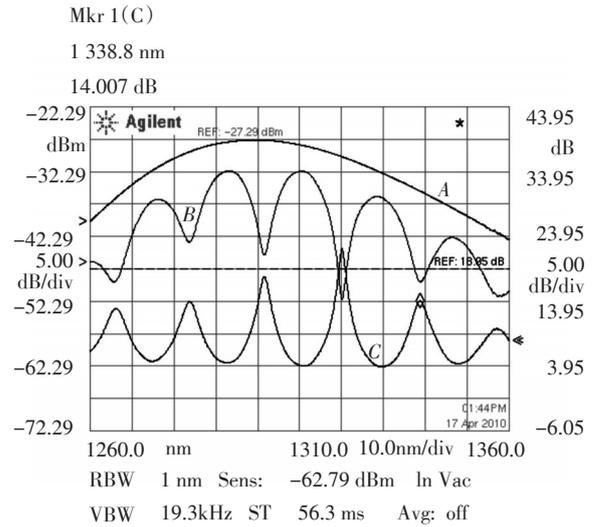


图2 透射光谱图

曲线 A 为光谱仪自带宽带光源,曲线 B 为宽带光源经滤波器后,光谱仪测试输出曲线。曲线 C 为曲线 A 与曲线 B 做差得到的输出光谱特性曲线。该滤波器自由光谱区的范围 1266.1 nm 、 1283.7 nm 、 1301.6 nm 、 1320.1 nm 、 1338.8 nm ,对应 3 dB 带宽依次为 5.1 nm 、 4.1 nm 、 2.4 nm 、 1.5 nm 、 4.0 nm ,信道间隔依次为 17.6 nm 、 17.9 nm 、 18.5 nm 、 18.7 nm ;信道之间的隔离度约为 18 dB。

分别实验不同拉锥周期对透射光谱的影响,如图 3~图 7 所示。

当拉锥周期为 40 时,只有一个透射峰值波长为 1331.7 nm ,光谱较平坦,这时信道间隔较小,且信道间隔隔离度较差约为 5 dB,不适合做滤波器使用。

当拉锥周期为 45 时,透射波长为 1275.4 nm 、 1307.8 nm 、 1338.1 nm ,对应 3 dB 带宽依次为 11.5 nm 、 8.2 nm 、 6.4 nm ,信道间隔依次为 32.4 nm 、 30.3 nm ;信道之间的隔离度约为 9 dB。

当拉锥周期为 50 时,透射波长为 1272.9 nm 、 1306.0 nm 、 1336.1 nm ,对应 3 dB 带宽依次为 4.5 nm 、 4.6 nm 、 1.3 nm ,信道间隔依次为 33.1 nm 、 30.1 nm ;信道之间的隔离度约为 23 dB。

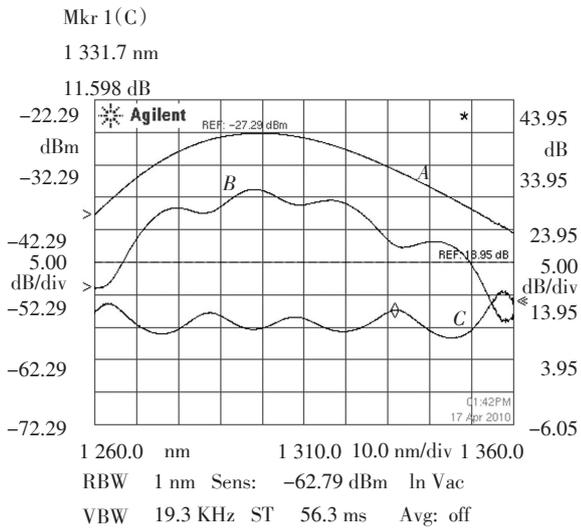


图3 拉锥周期40

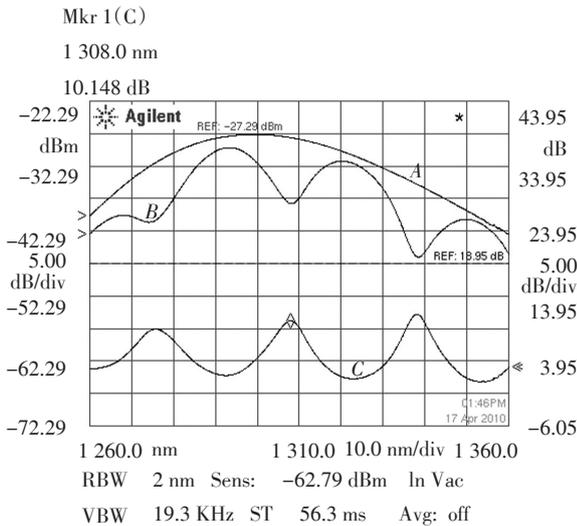


图4 拉锥周期45

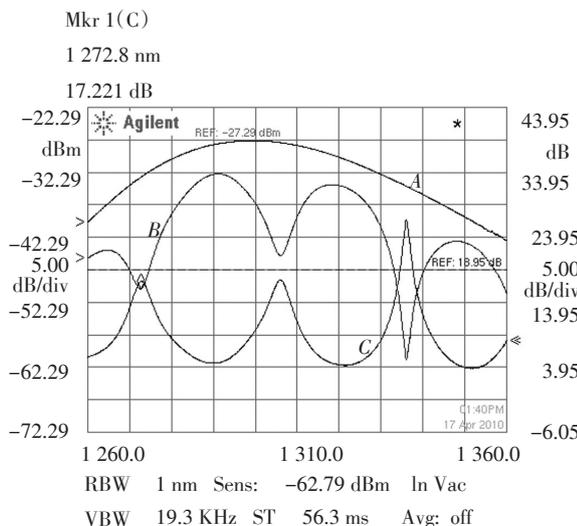


图5 拉锥周期50

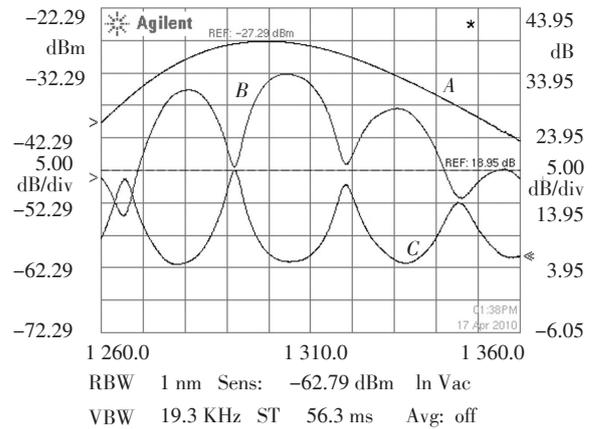


图6 拉锥周期55

当拉锥周期为55时,透射波长为1 265.8 nm、1 291.8 nm、1 318.3 nm、1 345.0 nm,对应3 dB带宽依次为4.0 nm、3.3 nm、4.4 nm、7.1 nm,信道间隔依次为26.0 nm、26.5 nm、26.7 nm;信道之间的隔离度约为14 dB。

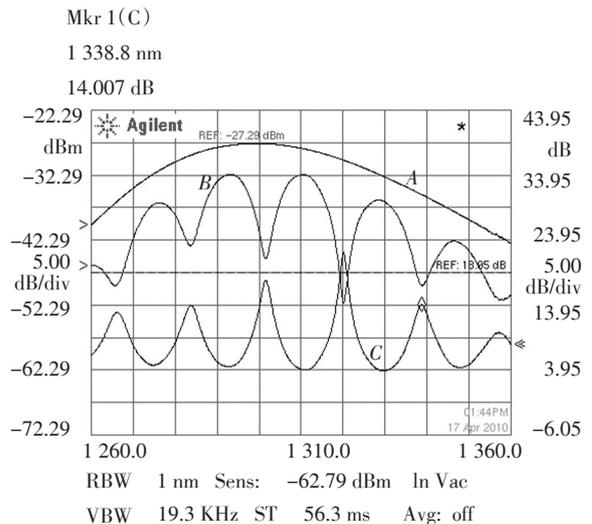


图7 拉锥周期60

当拉锥周期为60时,透射波长为1 266.1 nm、1 283.7 nm、1 301.6 nm、1 320.1 nm、1 338.8 nm,对应3 dB带宽依次为5.1 nm、4.1 nm、2.4 nm、1.5 nm、4.0 nm,信道间隔依次为17.6 nm、17.9 nm、18.5 nm、18.7 nm;信道之间的隔离度约为18 dB。

通过以上数据可以看出,拉锥周期不同对应着隔离度也不一样。因为周期变化改变了耦合区长度,导致隔离度的变化,其中周期为50时信道间隔离度最大。

3 结论

利用熔融拉锥法制作了不同拉锥周期的光纤滤

波器,实验验证了光纤滤波器输出光谱呈现振荡曲线,随拉锥周期不同光纤滤波器的输出波长不同,信道间隔不同,隔离度不同。在实验中,拉锥周期为40,45时,光谱较平坦,因此这一组参数不适合用于制作光纤滤波器;其他拉锥周期50,55,60均可用来制作不同透射波长的光纤滤波器;其中拉锥周期为50时,信道之间的隔离度约为23 dB。

理论分析和实验结果都证明了该方案的有效性和可行性。目前的结果只是阶段性成果,而且都是在实验室环境下完成的,有些地方还有待改进,譬如封装^[8]的问题还有待进行更进一步的研究。

参考文献

- [1] 霍雷,曾晓东,冯喆璐,等.共线型声光可调谐滤波器非互易效应研究[J].光子学报,2011,40(8):1149-1153.
- [2] 林绵海,张伟刚.光纤耦合器的理论、设计及进展[J].物理学进展,2010,30(1):44.
- [3] 杨学礼,王学峰,张蔚.单模光纤耦合器的偏振温度特性研究[J].光子学报,2009,38(4):841-846.
- [4] 李绪友,杨汉瑞,杨建华,等.光纤耦合器稳定性分析及对光纤陀螺的影响[J].中国惯性技术学报,2010,18(2):246-250.
- [5] 孙友文,薛瑞丽,柳春郁,等.一种新型全光纤隔离器的设计[J].红外激光工程,2011,40(11):2187-2190.
- [6] Amir Hosseini, John Covey, David N Kwonget. Tapered multi-mode interference couplers for high order mode power extraction [J]. J. Opt., 2010, 12(7): 075502.
- [7] 柳春郁,叶红安,孔婧.基于马赫-曾德尔滤波器的光纤应力传感器的研究[J].光学学报,2009,29(12):288-29.
- [8] 高宏伟.1*2单模熔拉型光纤耦合器拉锥工艺与PDL的改进[D].大连:大连理工大学,2009.

(上接第10页)

- [6] 耿康,周起勃.动态红外景象仿真技术的研究[J].红外,2006(2):23-27.
- [7] 李平,李卓.基于LabVIEW的红外场景生成器最小可分

辨温差测试[J].北京理工大学学报,2010(4):943-946.

- [8] 李卓,钱丽勋,李平,等.动态红外场景生成技术及其新进展[J].红外与激光工程,2011(2):377-383.

(上接第13页)

单,计算便捷,无需气象参数等优点可以很好地应用到实时光测数据处理中,提高实时计算处理精度。另外,无法测得气象参数时,还可用实时修正方法代替进行折射误差计算,从而满足数据处理的需求。

参考文献

- [1] 刘利生.外测数据事后处理[M].北京:国防工业出版社,1999:15-19.
- [2] ITU_R, P834_3 Effects of tropospheric refraction on radio wave propagation. ITU_R, Recommendations Radio Wave Propagation[M]. Volume 2000, P series_Part1, 2001:231.
- [3] Smith, W.L. Notes on the relationship between total precipitable water and surface dew point[J]. Journal of Applied Meteorology, 1966(5):726-727.
- [4] 杨成利.视距传播中电磁波弯曲引起距离误差的探讨[J].河南职业技术学院学报,2003,31(4):64-65.
- [5] 胡绍林.电波折射误差的经验-分层修正算法[J].中国空间科学技术,2003,8(4):67-71.
- [6] Hopfield H S. Troposphere effect on electromagnetic measured range: Prediction from surface weather data[J]. Radio Science, 1971, 6(3):357-367.
- [7] G D Thayer. A modified equation for radio refractivity of air [J]. Radio Science, 1974(10):803-807.
- [8] 黄捷.大气折射误差修正[M].北京:国防工业出版社,1999:31-35.
- [9] Niell, A.E. Preliminary evaluation of atmospheric mapping functions based on numerical weather models[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2001(26):475-480.
- [10] 祝转民.高弹道测量数据电波折射误差快速修正算法[J].中国空间科学技术,2001,8(4):31-35.
- [11] 高星伟,陈锐志,李夕银.中性大气对非差伪距定位的影响及其模型改正分析[J].测绘学报,2007,36(2):134-140.
- [12] 谭振江,郭丽虹.经纬仪目标交汇测量及航迹曲线拟合[J].光电工程,2002,29(6):17-20.