

文章编号: 0253-2239(2004)05-663-5

单模光纤 1250~1650 nm 超平坦宽带耦合器*

陈振宜^{1,2} 沈育青¹ 王廷云¹ 严方¹ 夏义本²

(¹ 上海大学通信与信息工程学院光纤研究所, 上海 201800)
(² 上海大学材料科学和工程学院, 上海 201800)

摘要: 随着光纤技术的飞速发展和应用, 光纤无源器件顺应当前形势也获得很大的发展空间, 其中光纤熔锥器件具有制作简单、性能可靠、价格便宜及技术指标优越等优点, 从而广受青睐。在熔锥器件中, 光纤耦合器是广为应用的基础元器件。目前为实现全光通信, 光纤超平坦宽带耦合器则成为热点课题。利用特殊相位补偿工艺方法, 研制出单模光纤超平坦宽带耦合器, 其工作波长范围为 1250~1650 nm, 3 dB 带内最大插损偏差小于等于 0.4 dB, 带内最大附加损耗小于等于 0.1 dB, 方向性(输入侧非注入光一端的输出光功率与注入光功率的比值)大于等于 66.5 dB, 偏振相关性小于等于 0.1 dB。研制方法有很高的成品率, 可批量生产。

关键词: 光纤技术; 光纤器件; 单模光纤耦合器; 宽带; 相位补偿

中图分类号: TN253 文献标识码: A

Super-Flat-Wideband Single-Mode Optical Fiber Couplers Ranged from 1250 nm to 1650 nm

Chen Zhenyi^{1,2} Shen Yuqing¹ Wang Tingyun¹ Yan Fang¹ Xia Yiben²

(¹ Institute of Fiber Optics, School of Communication and Information Engineering,
Shanghai University, Shanghai 201800)
(² School of Materials Science & Engineering, Shanghai University, Shanghai 201800)

(Received 27 March 2003; revised 16 May 2003)

Abstract: Fiber-optic passive devices are so suitable for current situation that they have greatly been grown with rapid developments and broad applications of optical fiber technology, within which optical fiber fused tapering devices are more noticeable due to their simple manufacture, stable performance, cheaper price and super specification. Among the above ones, optical fiber couplers are widely used as fundamental devices. Recently, super-flat-wideband single-mode optical fiber couplers become a popular research area with urgent development of all-fiber communications. Super-flat-wideband single-mode optical fiber couplers have been developed by the architectural method of special phase compensation, whose operating wavelength band is from 1250 nm to 1650 nm, 3 dB-insertion-loss maximum deviation within the band is less than 0.4 dB, maximum excess loss within the band is less than 0.1 dB, directionality is greater than 66.5 dB, and polarized dependent loss is less than 0.1 dB. In the light of the method high rate of the finished products, meanwhile, a batch productions are feasible.

Key words: optical fiber technology; optical fiber device; single-mode optical fiber coupler; wideband; phase compensation

* 上海市重点学科建设项目(2001-44)、上海市教委科技发展基金(2000A17)资助课题。

E-mail: chenwusm@sh163e.sta.net.cn

收稿日期: 2003-03-27; 收到修改稿日期: 2003-05-16

1 引 言

近年来, 光纤通信网络的研究和开发得到迅速发展。目前, 国内正处于局域网的大力发展阶段。

为提高局域网性能和降低成本,致力发展无源局域网(PON)^[1,2]不失为一种较好的选择。因此无论是多网合一,还是大力发展波分复用(WDM)^[3],逐步向全光网过渡都急待克服全带宽联网的障碍。而粗波分复用(CWDM)和全带宽耦合器的复用是目前最好的解决方案。大量文献报道的超宽带耦合器其带宽均为 $\pm 40\text{ nm}$ ^[4~8]。有些文章报道的超宽带耦合器带宽为 $1200\sim 1600\text{ nm}$ ^[9],除带内性能指标不如本文外,其工艺方法似乎仍属实验室研究阶段。归纳现有的超宽带耦合器的工艺实现方法主要有:预拉法^[6],预腐蚀法^[10]和不同折射率分布法^[11,12]等,本文用相位补偿特殊工艺方法来实现超平坦宽带耦合器。这种工艺方法除带内性能参量较上述诸方法均优良以外,其研制成品率也相当高,以能满足大量生产的需要。

2 研制方法

2.1 理论依据及实验方法

本文以网络理论方法来分析研制的器件,其原理结构如图 1 所示。

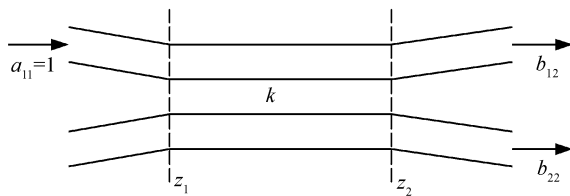


Fig. 1 Principle sketch of the device

首先将三纤互耦网络耦合方程^[10]简化为如图 1 所示的双光纤网络耦合方程形式:

$$\begin{cases} b_{i1} = [(1 - k^2) + jk \sum_{i \neq i} a_{i2}], \\ b_{i2} = [(1 - k^2) + jk \sum_{i \neq i} a_{i1}], \\ i = 1, 2 \end{cases} \quad (1)$$

式中 $a_{i1}, a_{i2}, b_{i1}, b_{i2}$ 为散射矩阵元(其中第一下标 i 指

第 i 根光纤, $i = 1$ 为传输臂光纤, $i = 2$ 为耦合臂光纤;第二下标指输入、输出端口), k 为幅度耦合系数, j 为复数单位, z_1, z_2 为输入、输出端参考面。其边界条件为

$$a_{11} = 1, \quad a_{12} = a_{21} = a_{22} = 0 \quad (\text{匹配条件}) \quad (2)$$

耦合系数 k 由文献[13,14]来确定,而本文耦合区锥形形态曲线函数是在动态边界条件下解数理方程而获得的。该数理方程的解析解适用于描述不同灯具及不同拉锥条件下耦合区动态锥体形状,从而,建立起统一公式来分析计算熔锥耦合器的动态耦合过程及其谱特性。在此基础上,根据耦合系数 k 的相位与波长、拉伸长度和锥形有关,将方程(1)进行三节级联可以计算出三段耦合器超宽带的性能特性[另行发表]。因此,在器件拉制过程中应分两阶段,第一阶段以速度 I 拉伸至接近 3 dB 的某一点停下,第二阶段将火焰调整后以速度 II 拉伸至 3 dB 处。这种方法相当于三段式耦合区,并改变了耦合区的总相位,从而拓宽了器件带宽。本文将此方法称为相位补偿特殊工艺方法。当然,这种方法实际上是从微波超宽带技术方法中延伸过来,其理论证明已相当成熟。

2.2 研制系统及特性

自行设计研制的“光机电气一体智能化光纤无源器件熔锥系统”的框图见图 2。

该系统具有很宽的拉伸速度范围、三维火焰灯具控制、高精度耦合比控制、高灵敏高响应光电探测、拉伸最小步进量 10 nm、拉伸平台高稳定性及耦合振荡数最大捕获量达 500 次,同时还具备特殊设计的灯具,其主要部件的参量见表 1。整个系统由工控机(IPC)光、机、电、气一体智能闭环控制。在光信号的在线实时监控下,通过精确控制光纤熔锥结构的锥形、熔融度、拉伸速度、火焰温宽及分布,该系统可以研制各种性能参量的光纤超平坦宽带耦合器及其它光纤熔锥器件。

Table 1 Main-unit parameters of fused tapering system

Elongating speed / (nm/s)	$0 \sim 1 \times 10^6$
Three-dimension control of torch	x, y and z range: $40\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 25\text{ mm}$, x, y and z speed: $0 \sim 2 \times 10^6\text{ nm/s}$
Coupling ratio	$0.1\% \sim 99.9\%$
H ₂ and O ₂ flow controller / sccm	$0 \sim 300$
Photodetectors	InGaAs (850~1750 nm)
Resolution of motor step / (nm/step)	10
Elongating stability / (nm/cm)	2×10^3
Cycling times	$0 \sim 500$

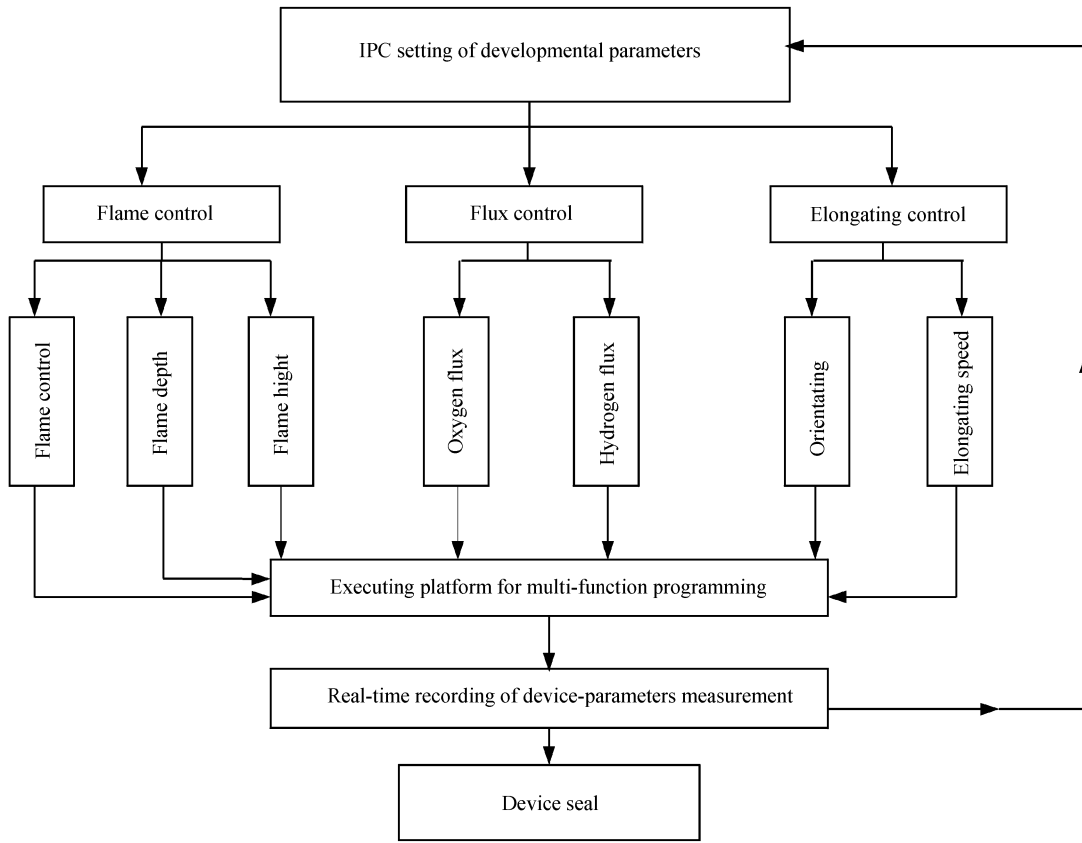


Fig. 2 Fused-tapering intellectualized system for optical fiber devices

2.3 检测设备

研制器件所使用的主要检测设备有：AQ6317B 光谱测试仪，LDLS-02 高稳定激光光源，Model 1830-C 高精度光功率仪和三环式偏振态控制器等。

3 结果与讨论

根据统一理论计算结果，确定研制工艺流程中的各种参量，如相位补偿、拉伸速度、灯具燃气的流量等，经反复多次理论分析计算和实验测试结果的对比，最后确定出一套成熟的工艺参量见下表 2。

Table 2 Architecture parameters

Total length of three coupling sections /mm	1.2~1.6
Elongating speed 1 /(nm/s)	25000
Elongating speed 2 /(nm/s)	12500
Phase compensation pointing resolution / (nm/step)	10
Dimensions of developed devices	φ4 mm×50 mm

在上述制作参量下，我们连续研制出了 30 只样品，经上海市计量测试技术研究院检测，其中 26 只样品符合设计指标(见摘要中的指标)。由此可见，在成熟的工艺流程下成品合格率还是很高的。限于

篇幅，在此选 3 只样品的性能指标示于表 3。其中传输臂插损

$$l_{i1} = -10\lg(P_{12}/P_{11}),$$

耦合臂插损

$$l_{i2} = -10\lg(P_{22}/P_{11}),$$

P 表示功率；传输臂偏振依赖损耗

$$l_{p1} = -10\lg(P_{pmin1}/P_{pmax1}),$$

耦合臂偏振依赖损耗

$$l_{p2} = -10\lg(P_{pmin2}/P_{pmax2}),$$

P_{pmax} 为最大偏振功率， P_{pmin} 为最小偏振功率；最大附加插入损耗

$$l_e = -10\lg[(P_{12} + P_{22})/P_{11}]$$

以及方向性

$$l_{i1} = -10\lg(P_{21}/P_{11}).$$

表 3 中样品传输、耦合臂插入损耗与波长的测量曲线示于图 3。

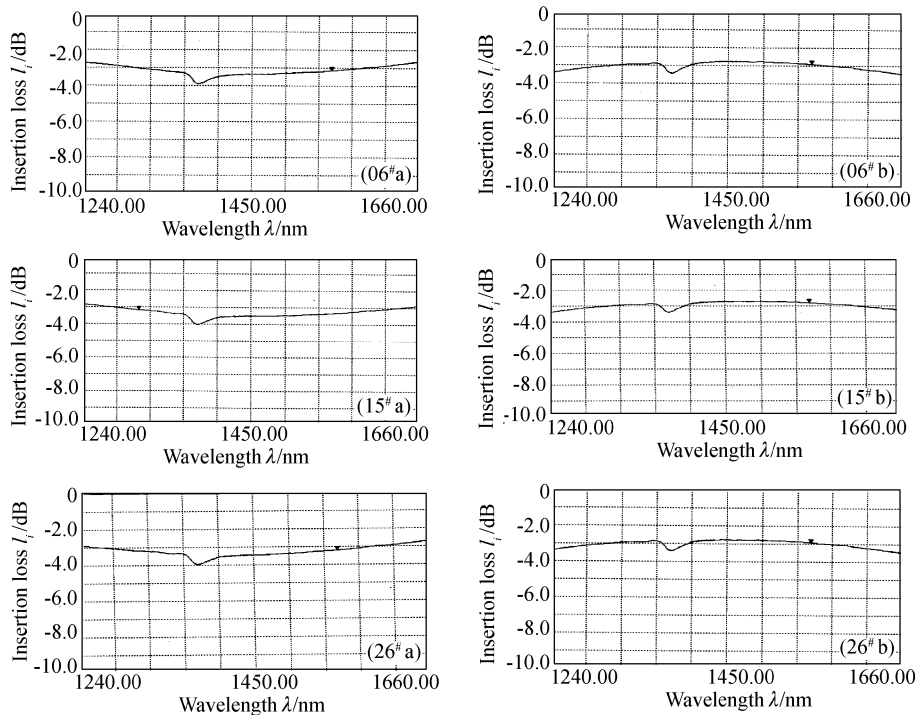
观察图 3 的测量曲线，可以看到有明显水峰，这是光纤本身特性确定的。如果采用无水峰光纤，我们认为按照上述工艺流程，可以完全避免水峰的出现。同时有可能进一步提高研制器件的性能指标。经大量文献调研，据我们所知，本文研制的器件总体性能指标是最高的。

Table 3 Performance specifications of measured samples 06[#], 15[#] and 26[#]

Items		Specifications	Measuring results (for sample 06 [#])							
Band range /nm		1250~1650	1250	1270	1310	1350	1510	1550	1590	1650
Insertion loss l_i /dB	l_{i1}	3 ± 0.5	2.77	2.84	3.04	3.23	3.27	3.15	2.99	2.70
	l_{i2}	3 ± 0.5	3.36	3.22	3.04	2.93	2.83	2.92	3.06	3.40
Maximum excess loss /dB		0.1	0.04	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.01	0.03
Directivity d /dB		>55	1310 nm		64.0		1550 nm		65.0	
Polarization-dependent loss l_p /dB	l_{p1}	≤ 0.1			3.02~3.12				2.88~2.96	
	l_{p2}	≤ 0.1			2.97~3.06				3.11~3.19	

Items		Specifications	Measuring results (for sample 15 [#])							
Band range /nm		1250~1650	1250	1270	1310	1350	1510	1550	1590	1650
Insertion loss l_i /dB	l_{i1}	3 ± 0.5	2.83	2.92	3.12	3.31	3.40	3.30	3.15	2.89
	l_{i2}	3 ± 0.5	3.33	3.20	3.01	2.91	2.74	2.81	2.91	3.21
Maximum excess loss /dB		0.1	0.06	0.05	0.05	0.10	0.05	0.04	0.02	0.04
Directivity d /dB		>55	1310 nm		65.0		1550 nm		66.0	
Polarization-dependent loss l_p /dB	l_{p1}	≤ 0.1			2.91~3.00				2.75~2.81	
	l_{p2}	≤ 0.1			3.04~3.11				3.26~3.32	

Items		Specifications	Measuring results (for sample 26 [#])							
Band range /nm		1250~1650	1250	1270	1310	1350	1510	1550	1590	1650
Insertion loss l_i /dB	l_{i1}	3 ± 0.5	2.90	2.98	3.16	3.29	3.27	3.17	3.00	2.75
	l_{i2}	3 ± 0.5	3.28	3.14	2.96	2.89	2.82	2.92	3.05	3.40
Maximum excess loss /dB		0.1	0.08	0.05	0.05	0.08	0.03	0.03	0.01	0.05
Directivity d /dB		>55	1310 nm		65.9		1550 nm		66.0	
Polarization-dependent loss l_p /dB	l_{p1}	≤ 0.1			3.09~3.17				3.17~3.23	
	l_{p2}	≤ 0.1			2.94~3.02				2.88~2.95	

Fig. 3 Insertion loss vs wavelength curves of transmitting arm and coupling arm for samples 06[#], 15[#] and 26[#].

(a) for transmission arms, (b) for coupling arms

结束语 综上所述,我们在统一理论的基础上发现了相位补偿的特殊工艺方法。按此方法编制出稳定的工艺流程,研制出性能指标为工作波长范围 1250~1650 nm,带内最大插损偏差小于等于 0.4 dB,带内最大附加损耗小于等于 0.1 dB,方向性大于等于 66.5 dB,偏振相关性小于等于 0.1 dB 的 26 个超平坦宽带单模光纤耦合器。由上述研制样品的高成品率可以认为相位补偿的工艺方法是稳定可靠的,同时,该方法也可以应用于其它宽带光纤熔锥器件的研制。

感谢上海大学通信与信息工程学院光纤研究所硕士研究生黄辛铭在调研过程中的大力协助。

参 考 文 献

- 1 Yang Chun, Sun Xiaohan, Wang Yunming *et al.*. 1×7 cylindrical mixing-rod plastic optical fiber coupler. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(9):1116~1122 (in Chinese)
- 2 Qi Jiang, Qiao Yiaojun, Chen Shuqiang *et al.*. A novel initial WDM upgrade scheme of a passive optical network. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2001, **A28**(9):854~856 (in Chinese)
- 3 Gu Peifu, Bai Shengyuan, Li Haifeng *et al.*. Design of DWDM thin-film interference filters. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(7):794~797 (in Chinese)
- 4 Oakley K P, O'Sullivan N M, Kenny R P *et al.*. Loss and spectral control in fused tapered couplers. *Opt. Engng.*, 1994, **33**(12):4006~4019
- 5 Hussey C D, Birks T A. Fabrication of wavelength-flattened tapered couplers using polishing for cladding removal. *Electron. Lett.*, 1988, **24**(17):1072~1073
- 6 Mortimore D B. Wavelength flattened fused couplers. *Electron. Lett.*, 1985, **21**(17):742~743
- 7 Yijiang C. Theoretical investigation of wavelength-flattened fused coupler. *Opt. Quantum Electron.*, 1989, **21**(2):123~129
- 8 Okamoto K. Theoretical investigation of light coupling phenomena in wavelength-flattened couplers. *J. Lightwave Technol.*, 1990, **8**(5):678~683
- 9 Hussey C D, O'Brien E M, O'Sullivan P F *et al.*. Adiabatic fused tapered couplers. *Electron. Lett.*, 2001, **37**(16):1009~1010
- 10 Lamont R G, Hill K O, Johnson D C. Tuned-port twin biconical-taper fiber splitters-fabrication from dissimilar low-mode-number fibers. *Opt. Lett.*, 1985, **10**(1):46~48
- 11 Birks T A, Hussey C D. Control of power-splitting ratio in asymmetric fused-tapered single-mode fiber couplers. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(8):681~683
- 12 Chang H C, Lin T H. Modelling of optical fibre couplers with weakly fused asymmetrical cross-sections based on superposition of normal modes. *Opt. Quantum Electron.*, 1996, **28**(10):1359~1369
- 13 Yan Fang, Chen Zhenyi, Wu Shimian. Analysis for counterpoint tolerances of tunable polishing optical-fiber couplers. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1989, **9**(9):810~813 (in Chinese)
- 14 Yan Fang, Chen Zhenyi, Song Yuezhu. An all-fiber fused biconical filter with two ring-three fiber mutually couplings. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1997, **17**(2):181~185 (in Chinese)