

光纤型偏振分束器

All-Fiber Tape Polarization Beam Splitter

摘要: 采用熔融拉锥技术的方法获得的光纤型偏振分束器, 具有两个输出端的偏振消光比均大于20dB, 器件最终封装长度为 $\phi 3 \times 30\text{mm}$ 。

关键词: 光纤、耦合器、熔融拉锥技术

Abstract: All-fiber fused tape polarization beamsplitter that package size is $\phi 3 \times 30\text{mm}$ has been manufactured. With unpolarising light exciting, both output ports of device all have the polarization extinction ratios of better than 20dB.

Key words: Optical Fiber, Coupler, Fused Taper Technical

陈华 Chen Hua
高级工程师 Senior Engineer
上海大学 光纤研究所
Institute of Fiber Optical Institute, Shanghai University

单模光纤耦合器是光纤通信系统、光纤传感系统和测量系统中应用十分广泛的无源器件。光纤型偏振分束器是在熔融拉锥型单模光纤定向耦合器的基础上发展、衍生出来的, 它是以常规单模光纤为原料, 以熔融拉锥技术制成的一种特殊的耦合器。通过这一个器件, 能将构成基模的两个正交偏振模进行分束和合束。可以认为它是一个纤维型 Wollaston 棱镜。它在相干通信、高级光纤传感系统和光纤测量技术方面均有广阔的应用前景。

本文中, 我们先对熔锥型光纤偏振分束器进行了理论分析, 并根据相关的光谱特性, 最终获得了实用化的光纤偏振分束器。

一、原理

熔锥型光纤偏振分束器的结构可以用图1说是的结构来表示。其中, P_0 为输入监控光的光功率, P_1 、 P_2 分别表示输出端的光功率。熔锥型光纤偏振分束器的耦合段的横截面为哑铃状如图1所示。其几何形状由 $2\rho_x$ 和 $2\rho_y$ 来描述。

$$V=2\pi\rho_y n(2\Delta)^{1/2}/\lambda \quad (1)$$

$$\text{其中 } \Delta=(n^2-n_0^2)/2n^2$$

$$n=1.46 \quad \text{石英}; n_0=1 \quad \text{空气}$$

假定偏振分束器拉细了的哑铃状耦合段中 $\rho_x=2\rho_y=10\mu\text{m}$, 当 $\lambda=0.84\mu\text{m}$, 其 V 值记作 $V(0.84)$, 结果如下:

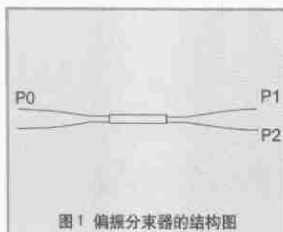


图1 偏振分束器的结构图

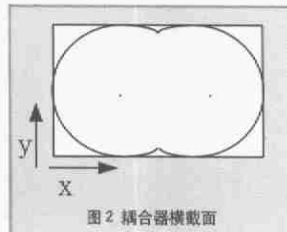


图2 耦合器横截面

$$V(0.84) \approx 40$$

这样大的 V 值当然已不满足单模条件, 这表明在拉细了的耦合段已不能区分原有的芯子和包层, 因此熔锥型器件是一种包层模器件。

进而考虑两个最低阶模: LP_{01} 和 LP_{11} , 他们对应的传播参数为 β_{01} 和 β_{11} 。由于原始的单模光纤不可能绝对圆对称, 因此他们偏振分量 $\beta_{01}^x = \beta_{01}^y$; $\beta_{11}^x = \beta_{11}^y$ 。

偏振分量的功率写作 P_i , $i=x$ 或 y 。

$$P_i(\lambda) = \{ \text{Sin}^2 LC_i(\lambda) \}$$

C_i 为偏振模的耦合系数

$$2C_i = \beta_{01}^i - \beta_{11}^i$$

当耦合器有足够长度时, 在经整数 N 次耦合振荡后, 在某一波长 λ_0 , 有可能出现如下的情况:

$$LC_y(\lambda_0) = N\pi; LC_x(\lambda_0) = \pi(N-1/2) \quad (2)$$

即两个偏振分量恰好差了 $\pi/2$ 。在这种情况下则有: $P_y=0$; $P_x=1$

这就是说, 对某一波长 λ_0 , 当两个偏振分量恰好产生 $\pi/2$ 的相位差时, 可达到最大的偏振消光比。从而可以实现在 λ_0 处的偏振分束。

进而可以推导出上述所需整数耦合振荡次数 N 的数学表达式:

$$N = (\rho_x + \rho_y) V_0 / (\rho_x - \rho_y) \{ 8\Delta + \rho_x / 2(\rho_x - \rho_y) \} \quad (3)$$

将 $\lambda_0=0.84\mu\text{m}$ 的有关数值代入, 得到:

$$N(0.84) = 56$$

再进一步可以推导出实现偏振分束所要求的耦合长度 L 。

$$L = \pi / 2 \{ C_y(\lambda_0) - C_x(\lambda_0) \}$$

经推导, 最后获得下式:

$$L \approx NV_0 \rho_y / \Delta^{1/2} \quad (4)$$

将 $\lambda_0=0.84\mu\text{m}$ 的有关数值代入式(4), 可得到:

$$L(0.84) \approx 22\text{mm}$$

当然实际器件的长度, 还应包括与此数值相当的锥度区长度。

依据公式(1)、(3)、(4), 我们估计了 $\lambda_0 = 1.3 \mu\text{m}$ 的相应的结果是:

$$V(1.3) \approx 26 \quad N(1.3) \approx 37 \quad L(1.3) \approx 9\text{mm}$$

二、实验

由于在耦合器的熔融拉锥过程中, 其耦合区的长度和宽度都将随着熔融拉锥过程而进行变化, 耦合器的两个输出端的功率也将随着变化。在整个熔融拉锥过程中, 我们可以通过监控耦合器的两个输出端的功率变化, 当耦合器的两个输出端的功率变化满足式(2)时, 就会依次出现偏振调制点。如图3所示, A即为偏振调制点。因此只要能控制在这些调制点停止拉锥即可获得相应的偏振分束器。

在实验中, 为了使熔融耦合区的横截面为哑铃形, 我们采用小流量氢-氧焰加热, 整个拉伸过程采用单色仪分光光源注入监控, 由计算机进行实时监控两个输出端的功率变化, 当功率变化出现在所需的偏振调制点时停止熔拉过程, 整个熔拉过程的功率变化与拉伸长度之间的关系如图3所示。

对采用上述方法制作的偏振分束器, 我们用图4所示的实验装置对其偏振分束特性进行测试。该测试装置中, 以单色仪白光作为偏振波长谱测定的光源, 这样使得石英光纤的600-1600nm整个波段得以覆盖。对偏振分束器的测量主要包括偏振消光比的测定和偏振分束的测定。

1、偏振消光比测定:

以被测器件作为起偏器, 然后在其输出端用偏振消光比较器件为高的检偏器来进行测定。格兰-泰勒棱镜的偏振消光比高达40-50dB, 完全可以用它作检偏器来测定器件输出端的偏振消光比。通过调整检偏器的角度到某一合适值时, 可以测得与此对应的偏振谱曲线; 当检偏器旋转90度, 再可以测得与此对应的偏振谱曲线。如图5(a)、(b)。从图谱上就可以准确的读出最大消光比的波长值, 同时可以根据公式(a)、(b)计算出消光比PER:

$$\text{PER} = -10\lg(P_x/P_y) \quad \text{当 } P_x < P_y \quad \text{或} \quad (a)$$

$$\text{PER} = -10\lg(P_y/P_x) \quad \text{当 } P_y < P_x \quad (b)$$

P_x - X偏振的相对光功率

P_y - Y偏振的相对光功率

其中, PER、 P_x 、 P_y 都是波长的函数, 因此各个波长下均有其相应的PER。

偏振消光比测定结果如表1所示。

2、偏振分束比的测定:

表1 偏振消光比与对应波长

一个输出端		另一个输出端	
波长(nm)	PER(dB)	波长(nm)	PER(dB)
1433	17.5	1430	17.5
1476	21.5	1474	17.1
1513	17.2	1518	21.3

偏振注入, 以器件作为检偏器, 起偏器角度调节合适后, 分别测出两个输出端的相对光功率; 起偏器旋转90度, 再分别测出两个输出端的相对光功率由此可计算出偏振分束比PSR:

$$\text{PSR} = -10\lg(P_1/P_2) \quad \text{当 } P_1 < P_2 \quad \text{或} \quad \text{PSR} = -10\lg(P_2/P_1) \quad \text{当 } P_2 < P_1$$

P_1 - 一个输出端的相对光功率

P_2 - 另一个输出端的相对光功率

当然 PSR、 P_1 、 P_2 都是波长的函数

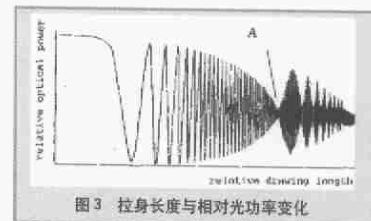


图3 拉身长度与相对光功率变化

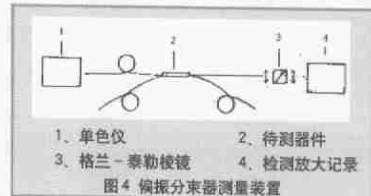


图4 偏振分束器测量装置

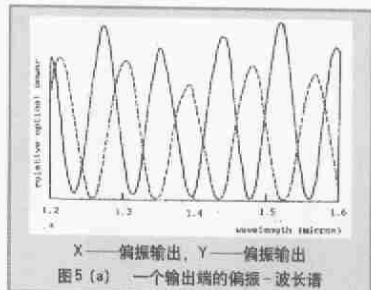


图5(a) 一个输出端的偏振-波长谱

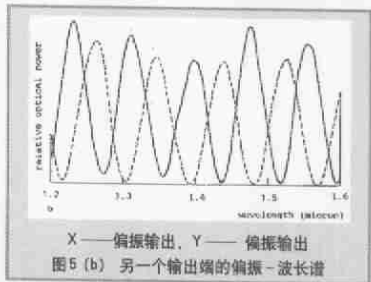


图5(b) 另一个输出端的偏振-波长谱

三、结论

采用熔融拉锥技术, 通过控制拉锥的条件、气体流量的方法可以获得光纤型偏振分束器, 且该器件具有两个输出端的偏振消光比均大于20dB的实用化的器件。