

文章编号: 1007-5461(2006)00-0547-04

熔融拉锥过程中的偏振调制效应及应用

张瑞峰, 葛春风, 李世忱

(天津大学精密仪器与光电子工程学院教育部光电技术重点实验室, 天津 300072)

摘 要: 对光纤熔锥耦合器拉制过程中的偏振调制效应作了定性的理论分析, 耦合区内的几何双折射和应力双折射导致的对称模和反对称模在 x 偏振方向和 y 偏振方向上的传播常数差不一致, 从而引起两个方向的偏振光耦合的空间周期不同, 存在相位差别, 当相差正好达到 π 时实现偏振分离。在此基础上制作了熔锥型偏振分束器, 消光比达到了 16.5 dB。

关键词: 光通信; 偏振分束器; 偏振调制效应; 熔融拉锥; 消光比

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A

1 引言

单模光纤的熔融拉锥型耦合器在光通信和光传感领域有着广泛的应用, 光通信产业的迅速发展不断推动着熔融拉锥工艺水平的提升和器件性能的进步, 新器件的出现为熔融拉锥技术在非通信领域另辟了应用新天地。本文将介绍一种利用耦合器拉制过程中的偏振调制效应研制而成的融锥型偏振分束器, 相当于一个全光纤的渥拉斯顿棱镜^[1~3], 在光纤光波偏振态测量分析、偏振模色散测量和补偿等领域有广泛应用。

2 偏振调制效应

我们在采用拉锥机制作普通耦合器时发现, 如果在达到目的分光比之后不停机而接续拉制, 将在两个输出端口出现光功率振荡现象, 振荡周期越来越短, 振荡的包络越来越小, 在 S 点两个输出端口的归一化光功率相等均为 0.5, 如果继续拉制则会出现更多的振荡包络, 功率变化更剧烈, 振荡周期更短, 如图 1 所示。在这种情况下, 耦合区比较长, 所以腰区很细, 光波在熔锥光纤包层和周围的低折射率介质(如空气)构成的复合波导中传输, 纤芯的效应可忽略不计。此时复合波导的归一化频率和相对折射率差都比较大, 实质上是一个多模波导, 但是由于激励模式是基模, 其在复合波导中主要激励起一阶对称模和反对称模。基于弱导近似的耦合模理论已经不适用于这样的波导结构, 需要采用正规分析法, 将独立波导构成的复合波导作为一个整体来求解 Maxwell 方程组, 并且将复合波导视为横截面为椭圆的波导, 是较为严格的经典分析方法^[4~6]。

耦合区的结构如图 2 所示, P_0 为输入的光功率, 两输出端口的输出功率分别为 P_1 和 P_2 , s 为耦合区长度, a 为耦合区横截面的宽度, 由于本文仅对偏振调制效应作定性的理论分析, 所以参数 s 和 a 为任意

基金项目: 天津市科技发展基金(033800411)资助项目

收稿日期: 2005-05-23; 修改日期: 2005-07-11

E-mail: zhangruifengcom@yahoo.com.cn

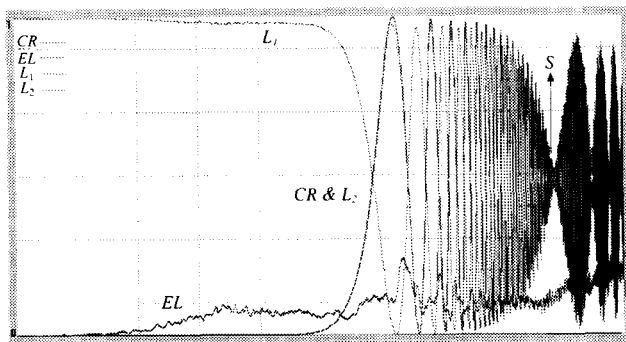


Fig.1 Polarization modulation effect of two outputs during pulling

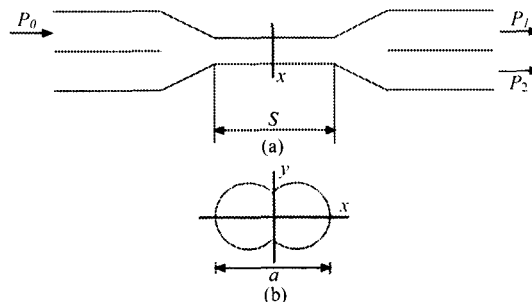


Fig.2 Schematic diagram of coupling region

长度单位。对于 x 和 y 方向的线偏振光，在通过长为 s 的耦合区后，对称模和反对称模相位差分别为

$$\begin{cases} \Delta\varphi_x = s\Delta\beta_x, \\ \Delta\varphi_y = s\Delta\beta_y, \end{cases} \quad (1)$$

式中 $\Delta\beta_x$ 和 $\Delta\beta_y$ 分别是对称模和反对称模在 x 和 y 偏振方向的传播常数之差^[7,8]。若 $a \gg \lambda$ 则

$$\begin{cases} \Delta\beta_x = C_x(a)\lambda, \\ \Delta\beta_y = C_y(a)\lambda, \end{cases} \quad (2)$$

这里忽略了波长 λ 对 C_x 和 C_y 的影响。两输出端口的输出功率可分别表示为

$$\begin{cases} P_{1x} = P_{0x} \cos^2(\Delta\varphi_x/2), \\ P_{1y} = P_{0y} \cos^2(\Delta\varphi_y/2), \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} P_{2x} = P_{0x} \sin^2(\Delta\varphi_x/2), \\ P_{2y} = P_{0y} \sin^2(\Delta\varphi_y/2). \end{cases} \quad (4)$$

假设输入光为非偏振光， $P_{0x} = P_{0y} = P_0/2$ ，则输出端 1 和 2 的总输出功率为

$$P_1 = P_{1x} + P_{1y} = \frac{P_0}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{\Delta\varphi_x - \Delta\varphi_y}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\varphi_x + \Delta\varphi_y}{2}\right) \right], \quad (5a)$$

$$P_2 = P_{2x} + P_{2y} = \frac{P_0}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\Delta\varphi_x - \Delta\varphi_y}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\varphi_x + \Delta\varphi_y}{2}\right) \right], \quad (5b)$$

从 (5) 式可看出两个输出端口的光功率的变化规律是被余弦慢包络调制的快速振荡的余弦曲线，正规模分析理论认为，耦合区光纤间的能量转换是由于耦合区组合波导内传输的对称和反对称模的相拍引起的；而耦合的偏振灵敏主要是由于耦合区内的几何双折射和应力双折射导致的对称模和反对称模分别在 x 偏振方向和 y 偏振方向上的传播常数差（即式 1 中的 $\Delta\beta_x$ 和 $\Delta\beta_y$ ）不一致造成的。分析 (5) 式可知，方括号中第二项前面的余弦因子对应着调制慢包络，空间周期由 $\Delta\beta_x$ 和 $\Delta\beta_y$ 的差值决定；后面的余弦因子对应着包络里的快速振荡，空间周期由 $\Delta\beta_x$ 和 $\Delta\beta_y$ 的和值决定。而差值是由于双折射造成的，和偏振直接相关，所以我们把这种余弦慢包络对光功率的余弦振荡的调制作用称为偏振调制效应。

图 3 中同时给出了 x 方向偏振光的功率 P_{1x} 和 y 方向偏振光的功率 P_{1y} 以及二者合成的 P_1 的变化曲线。由图可知，由于波导双折射效应的存在， x 方向偏振光和 y 方向偏振光之间的相位差随着拉伸距离的

增大而增大, 所以调制包络的空间周期减小, 当拉伸距离到达一定值时 (图 3 中 S 点), 二者相位正好相反, 相差为 π , 此时输出功率 $P_1 = P_2 = 0.5P_0$, 为 3 dB 耦合器。值得注意的是, 由于此时 $P_{1x} = 0, P_{1y} = 0.5P_0$, 所以根据能量守恒有 $P_{2x} = 0.5P_0, P_{2y} = 0$, 即输出功率 $P_1 = P_{1x} + P_{1y} = P_{1y}, P_2 = P_{2x} + P_{2y} = P_{2x}$, 也就是说输出端口 1 全部为 y 偏振而端口 2 全部为 x 偏振光。输入混合光通过该器件后, x 偏振和 y 偏振光将分别在不同的端口输出, 实现了偏振分离。

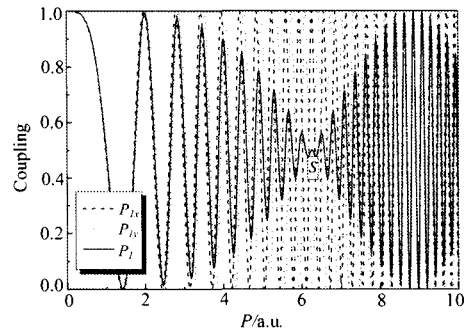


Fig.3 Two polarization orientation and total power change as pulling length in port 1

3 实验过程及结果

在定性理论分析的基础上我们制作了全光纤偏振分束器, 但在实验中发现, 由于 S 点处的振荡周期很短, 转换速度快, 所以很难控制拉锥机在该点精确停机, 而且由于机械和热都有一个惯性效应, 最好稍微有一个提前量, 这很难把握, 可能直接导致器件性能下降。为克服上述缺点, 根据我们的经验, 通过控制熔拉条件, 比如氢气流量和火头高度, 使耦合区处于一种极弱的耦合状态, 以致于耦合区两光纤仅处于刚接触状态, 此时耦合区横截面应该是对偏振最敏感的哑铃型^[4], 且功率转换周期长, 因此相对来说能准确控制熔拉过程在到达第一个偏振调制点时停止。

我们研究了不同氢气流量条件下制备的偏振分束器的消光比, 发现当氢气流量在 45 ml/min 左右时, 消光比较大, 随着流量的增大, 氢火焰温度升高, 器件的消光比下降 (图 4)。在同一氢气流量下, 消光比随着火头高度的增大而减小 (图 5), 氢气流量为 45 ml/min, 调整火头高度得到的一组数据。可以看到, 当火头高度为 22.7 mm 时器件的消光比达到最大值 16.5 dB。

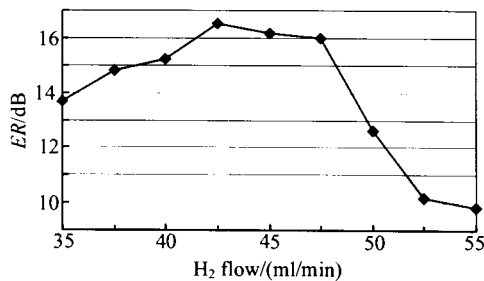


Fig.4 Relationship between extinction ratio and H₂ flow for polarization beam splitter

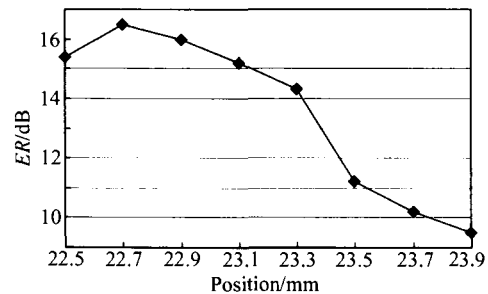


Fig.5 Relationship between extinction ratio and torch position for polarization beam splitter

4 结 论

在基于光纤熔锥耦合器控制过程中的偏振调制效应和对其所作的理论分析的基础上, 提出了利用熔融拉锥过程中偏振调制效应研制全光纤偏振分束器的设想和制订了技术路线, 对自行研制的拉锥机进行了工艺优化, 成功制作了消光比达 16.5 dB 的全光纤偏振分束器。

参考文献：

- [1] Yataki M S, Payne D N. All-fiber polarization beam splitter [J]. *Electron. Lett.*, 1985, 21(6): 248-249.
- [2] Bricheno T, Baker V. All-fiber polarization splitter/combiner [J]. *Electron. Lett.*, 1985, 21 (6): 249-251.
- [3] Eisenmann M, Weidel E. Single-mode fused biconical coupler optimized for polarization beam splitting [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1991, 9(7): 853-858.
- [4] Minelly J D, Suyama M. Wavelength combining fused-taper couplers with low sensitivity to polarization for use with 1480 nm-pumped erbium-doped fiber amplifiers [J]. *Electron. Lett.*, 1990, 26(5): 571-572.
- [5] Yokohama I, Okamoto K, Noda J. Analysis of fiber-optical polarizing beam splitters consisting of fused-taper couplers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1986, 4(9): 1352-1359.
- [6] Morishita K, Yamaguchi T. Wavelength tunability and polarization characteristics of twisted polarization beam-splitting single-mode fiber couplers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2001, 19(5): 732-738.
- [7] Morishita K, Takashina K. Polarization properties of fused fiber couplers and polarization beam splitters [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1991, 9(11): 1503-1506.
- [8] Payne F P, Hussey C D, Yataki M S. Modelling fused single-mode-fiber couplers [J]. *Electron. Lett.*, 1985, 21(7): 461-461.

Polarization modulating effect and its application in fused biconical taper molding

ZHANG Rui-feng, GE Chun-feng, LI Shi-chen

(College of Precision Instrument Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Key Laboratory of Optoelectronics Information Technical Sciences, Tianjin 300072, China)

Abstract: Polarization modulating effect was analyzed theoretically for pulling process of fused biconical taper fiber coupler. Geometrical and stressed birefringence caused different propagation constant for symmetric and antisymmetric modes on x polarization and y polarization in coupling region. Therefore, it resulted in different coupling spatial period of two polarization orientation, with phase difference. The polarization beam splitting function was realized when the phase difference reached π . Also polarization beamsplitters were built in practice, with 16.5 dB extinction ration.

Key words: optical communication; polarization beamsplitter; polarization modulating effect; fused biconical; taper extinction ratio

作者简介: 张瑞峰 (1974 -), 男, 蒙古族, 内蒙古赤峰人, 天津大学精密仪器与光电子工程学院博士后, 主要研究方向为光无源器件。