文章编号: 1001-5078(2006)09-0886-03

熔锥光纤的特性研究

薛春荣
(常熟理工学院,江苏 常熟 215500)

摘 要:从理论和实验两方面研究了熔锥光纤锥区的传输、耦合、偏振和调制特性。用耦合模理论分析了光纤锥形区的传输和耦合性质,给出了锥形光纤传输和耦合效率与锥形区结构的关系。实验上测定了实际锥形光纤在不同锥角、不同长度下的偏振特性,得出偏振光经实际锥形光纤传输或耦合后,再传输其终端,得到均是椭圆偏振光的结论。测定了载波光脉冲经过锥形光纤耦合后其脉冲的变化特性,实验表明,光脉冲在经过锥形光纤耦合传输后其形状保持不变。

关键词:锥形光纤;传输特性;耦合特性;偏振特性;调制特性
中图分类号: TN253 **文献标识码**: A

Research of the Tapered Fiber Properties

XUE Chun-rong
(Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China)

Abstract: The properties of tapered fiber's tapered region are studied. The transmission and coupling properties of tapered fiber are relative to the structure of tapered region. Therefore, both transmission and coupling efficiencies can be improved through improving the shape of tapered region. Meaning while, the polarization and modulating properties of tapered fiber are analyzed. Linearly polarized light turns into elliptical polarized light after transmitting through tapered fiber, but its modulating properties keep the same.

Key words: tapered fiber; transmission property; coupling property, polarization property; modulating property

1 引 言

熔融拉锥工艺经过了二十多年的不断提高和发展,已经成为一门对光器件的开发具有举足轻重的技术——熔融型全光纤器件技术。从理论上讲,除了光非互易器件以外,它可以开发其它各类器件。到目前为止,它可以生产各类混合器/分路器、衰减器、宽带/窄带/甚至密集波分复用器和全光纤 Interleaver,另外还有基于熔融光纤技术的光调衰减器、光开关、光纤光栅、OADM、全光纤滤波器和频移器等。因此,了解和掌握锥形光纤的传输、耦合、偏振和调制等特性,必将进一步促进熔融拉锥工艺的提高和锥形光纤器件性能的改进。

2 熔锥光纤的传输特性

熔锥光纤多采用熔融拉锥法制成,熔拉法是将单根(如光纤探针)或多根(如耦合器、滤波器等)单模光纤以一定的方式放置,在高温下使其熔融,顺轴线向两侧拉伸,最终在加热区形成了单锥或双锥形式的特殊波导结构,从而实现了传输光功率传输和耦合的一种方法。该法制作光纤锥的特点是,光纤的包层和纤芯的直径沿光纤轴向均逐渐变细。一般可认为在整个锥区,包层和纤芯的直径之比保持恒定,用单根光纤制成的光纤单锥如图 1所示。

在熔拉锥中,纤芯和包层的半径按其初始的比

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (No. 69877014)。
作者简介:薛春荣 (1972 -),女,硕士,在常熟理工学院物理与电子科学系任教,主要从事光学光电子方面的研究。E-mail: xcr163@163.com
收稿日期: 2006-03-15;修订日期: 2006-07-27

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

例同时逐渐减小,在锥形区域,光束在一个直径从大至小的光纤锥体中传播,纤芯导模的模场半径逐渐从小变大,至纤芯规一化频率降至 1(V_{core} = 1)时纤芯已不能约束波导模的传输,此时开始,光束由原包层波导传输,外界折射率可以是空气,以及其它折射率较原光纤包层折射率低的媒质,这是一个多模波导,波导直径变化时,各模式间发生耦合。场分布扩展成为包层模后,随着包层中光信号辐射到外空间,模场半径将急剧下降[1],如图 2所示。

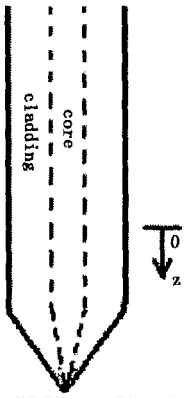


图 1 熔拉法制成的光纤锥

Fig 1 melting-pulling taper

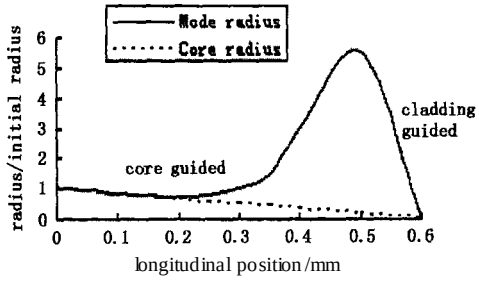


图 2 在 600μm长的光纤锥中的模传输

Fig 2 mode transimisson in a 600μm-long tapered fiber

在光纤锥中,基模场的模半径 w_0 由马休斯(Marcuse)判据可计算为[2]:

$$(w_0/\alpha) = 0.65 + 1.609V^{-3/2} + 2.879V^{-6} \quad (1)$$

式中,光纤参数 V为:

$$V = (2\pi\alpha/\lambda) \times (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2)$$

其中,α为纤芯半径;λ为真空中的光波长;n_1 和 n_2 分别为纤芯和包层的折射率。模场半径的变化可以由式(1)表示,当场分布扩展成为包层模后,对于包层模的模场半径,式(2)中的 n_1 是包层折射率,n_2 一般是空气的折射率,也可以是较包层折射率低的媒质的折射率。

实验证明,锥形光纤锥形端的几何形状,如锥体的变化斜率、锥体长度、锥腰直径和锥角大小等对光的传输和耦合影响极大。对于如光学显微镜用光纤探针等利用单锥体工作的熔锥器件,锥体的形状尤其重要。在制锥过程中,我们可以通过控制成锥的速度,来控制锥体的结构,从而研制出高性能的熔锥形光纤器件。

3 熔锥光纤的耦合特性

从熔锥光纤的传输特性分析可以看出,光束在一个直径从大至小的光纤锥体中传输时,纤芯导模的模场半径逐渐从小变大,并从某一位置开始由波导模传输,转化为包层模传输。根据这个特点,可以制作双熔锥光纤器件,如光通信中常用的耦合器件、滤波器件等,如图 3所示。

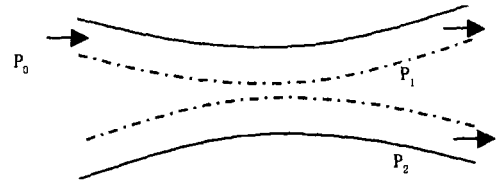


图 3 光纤双圆锥体

实线表示包层,虚线表示是纤芯

Fig 3 fiber taper

solid line: cladding, dashed line: core

该种器件是将两根(或两根以上)去涂覆层的光纤以一定的方式靠拢,在高温下相互熔融,顺轴线向两侧拉伸,最终在加热区形成了双锥体形式的特殊波导结构。当两根光纤的一小段纤芯互相靠近(仅几毫米),并使纤芯直径大幅度减小时,则能实现双光纤耦合。在输入端,单模光纤的传导模是两个正交的基模,当传导模进入熔锥区时,随着纤芯不断变细,V值逐渐减小,有越来越多的光功率渗入光纤包层中,入射光在双锥体结构的耦合区发生功率的传输再分配;在输出端,随着纤芯的逐渐变粗,V值重新增大,光功率被两根纤芯以特定的比例"捕获"在熔锥区,两光纤包层合并在一起,纤芯足够逼近,形成弱耦合。

根据光波导理论,单模光纤熔锥形器件的合分波机理可以用瞬逝波进行分析,即通过熔拉两根光纤,使两光纤的纤芯互相充分靠近时,两个基模通过瞬逝波变为耦合模,因而功率可以互易地由一根光纤转移到另一根光纤。功率转移的大小与输入的光波长、两光纤的纤芯间距以及互相作用长度均有关。根据光波导理论,可得出:

$$P_1 = P_0 \cos^2(cl)$$

$$P_2 = P_0 \sin^2(cl)$$

其中,l代表耦合区长度;c代表耦合强度。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$c=\frac{3\pi\lambda}{32n_1 d^2}\cdot\frac{1}{(1+1/V)^2}$$

式中,λ为波长; d为两光纤熔拉后颈锥截面宽度。输出光功率随着传输光的波长和耦合区长度的变化而周期性变化,而耦合强度随输入光波长的增大而增大[3]。

我们测量了如图 4所示的两光纤锥形区相对位置对其耦合效率的影响,测量结果如图 5、6所示。

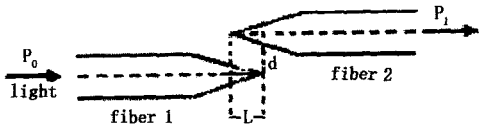


图 4 锥形光纤耦合示意图

Fig 4 the coulping of tapered fibers

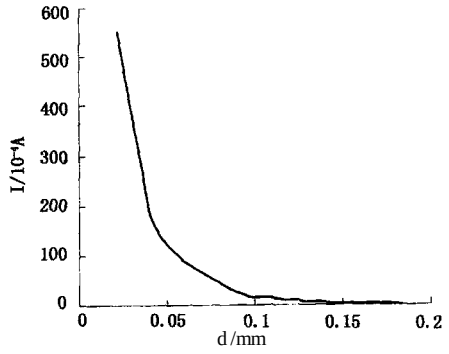


图 5 电流随垂直距离的变化关系

Fig 5 the current versus vertical distance

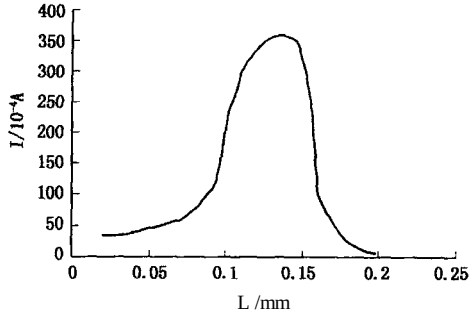


图 6 当两光纤间距离不变时,电流随重叠长度的变化

Fig 6 the current versus overlap length (d is a constant)

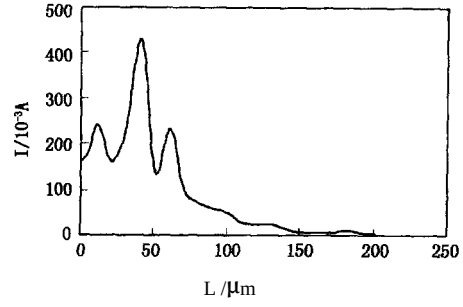


图 7 两锥形光纤相对两侧面紧贴时,电流随重叠长度的变化

Fig 7 the current versus overlap length (two tapered side is close)

如果让两光纤间的垂直距离和重叠长度同时变化,而保持两锥形光纤互相靠近的两侧面间距离不变,如让图 4中光纤 1的锥形上表面和光纤 2的锥形下表面互相紧贴,可作出如图 7所示的关系曲线。

说明:图 7对应的信号光纤锥长 422μm,其中发光区长 99μm;耦合光纤锥长 390μm,所用的激光器功率也大于图 5和图 6所对应的激光器功率。

从图 5、6、7中可以看出,两光纤间的距离和两锥形端的重叠长度与两光纤间的耦合效率有很大关系。通过调节两锥端的重叠长度和距离,可以使两光纤的耦合效果达到最好。

4 熔锥光纤的偏振特性

我们设计了下列实验来分别检测偏振光在经实际锥形光纤传输与耦合后再传输其终端所得到的光的偏振态。实验装置如图 8所示。

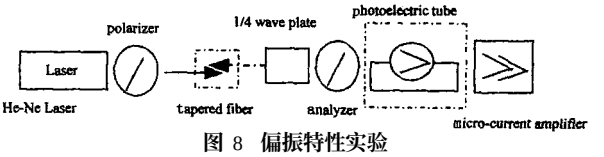


图 8 偏振特性实验

Fig 8 polarization experiment

实验中,我们分别测定了线偏振光经单根锥形光纤传输和经双锥形光纤耦合后的输出光的偏振态,即图 8中的锥形光纤,先是单根光纤(去掉图中虚线所画的那根光纤),然后是如图 4放置的两根锥形光纤。实验结果表明,偏振光经锥形光纤(不管锥角怎样变化)传输或耦合后,由于实际光纤缺陷的随机分布,导致两振动方向互相垂直的线偏振光在一般情况下不再简并,故其合成态应是椭圆偏振态,亦即其终端的输出光为椭圆偏振光。理论分析结果也证明了这一点[4]。

5 熔锥光纤的调制特性

这里所研究的调制特性是指载波(被信号所调制的光波 - 光脉冲)经过锥形光纤耦合后其脉冲的变化特性,不言而喻,此特性对光纤通信系统至关重要。

光脉冲在光纤中的传输受光纤本身特性、脉冲原始宽度及脉冲功率大小的影响,光脉冲在光纤耦合后的情况取决于光纤的吸收效应、色散效应和非线性效应的总和,其中光纤的吸收效应对给定的光纤系统是一定的,且由于现代光纤制造技术的提高,其影响极小,故可以忽略吸收效应对脉冲变化的影响;色散效应的根本,起源于光波与波导的束缚电子相互作用时,介质的响应通常与光波频率 ω_0 有关,

(下转第 896页)

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

融合,实现红外隐身的目的。根据这种思路,利用传感器技术探测路面背景的温度,然后通过控制系统来控制半导体变温器件的温度,将可有效地实现目标和路面背景之间全时刻和全天候的融合,进而实现目标的智能红外隐身。据此,我们设计了模仿路面温度变化的背景模板和相应的半导体变温器件,并进行了有关实验。图 4是实验中控制前后的两幅图片。由图 4可以看出,没有控制时由于"目标 "(变温器件)的温度远高于"背景 "的温度,呈现出与"背景 截然不同的红外特征。当启动自动控制系统后,传感器感知目标的温度后,迅速通过控制系统对变温器件进行温度控制,在很短的时间内(20s之内)就实现了目标和背景的融合。

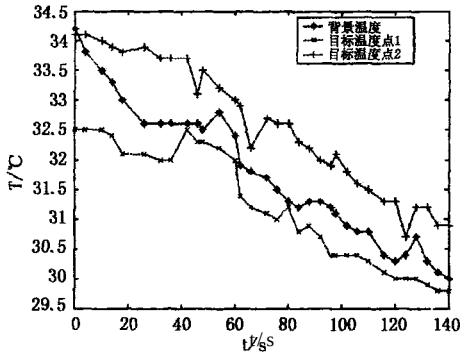


图 5 目标温度随背景温度的变化

图 5是目标温度随背景温度变化而自适应变化的数据记录。由图 5可以看出,虽然背景温度在不断变化,但是目标温度始终保持在和背景温差在 1℃的范围内,可以认为目标在背景中实现了很好的智能隐身。

5 结束语

随着红外成像系统在战争中越来越广泛应用,未来地面机动目标的红外伪装必然要向智能化方向发展。若要实现目标的智能红外伪装,就要实现对目标表面发射率和温度的智能控制。在变发射率材料未取得突破以前,半导体制冷技术以其结构简单、控温实时精确等特点,可以在实时控制温度进而实现目标的智能红外伪装中发挥特殊的作用。

参考文献:

[1] 张建奇,等. 红外物理 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2004.

[2] 时家明,路远. 红外对抗原理 [M]. 北京:解放军出版社, 2002.

[3] P Chandcasekhar, T J Dooley. Far-IR transparency and dynamic infrared signature control with novel conducting polymer systems[A]. Proc. SPIE, 2528: 169 - 180.

[4] 徐德胜. 半导体制冷与应用技术 [M]. 上海:上海交通大学出版社, 1999.

(上接第 888页)

而实际所用的载波总是存在一定的频谱范围,由于不同的频谱分量对应不同的脉冲传播速度,所以脉冲在经过一定的传输长度后,总会由于色散的存在而展宽;非线性效应主要是指由折射率对光强的依赖关系而导致的自相位调制(SPM),但对于熔锥光纤器件,由于其耦合区极短,只有十几微米,所以完全可以忽略色散效应和非线性效应,因此,光脉冲在经过锥形光纤耦合后,会保持其脉冲形状不变。

我们按如图 9实验装置,对光脉冲经过锥形光纤耦合后的变化进行了检测。

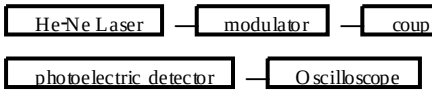


图 9 检测调制特性检测

Fig 9 the measuring of modulated properties

从示波器的显示图对比可知,脉冲在实验误差范围内基本无变化。即光脉冲在经过锥形光纤耦合传输后其形状保持不变。

6 结 论

锥形光纤主要是靠锥区的特殊性质来实现光功率的分配、复用/解复用、功率耦合和增益平坦化等功能,因此研究锥型光纤的传输、耦合、偏振和调制特性是非常必要的,不但有利于熔锥型光纤器件性能的提高,也可以进一步促进光纤器件的发展和应用。

参考文献:

[1] D K Mynbawv, L L Scheiner. 光纤通信技术 [M]. 北京:科学出版社, 2002. 3: 597 - 600.

[2] 黄祝明,张国平. 光纤锥探针传输特性的研究 [J]. 吉林化工学院学报, 2002, 19(2): 30 - 31.

[3] 傅思镜,刘叶新,童洲森. 单模光纤熔锥型 OWDM耦合率的计算 [J]. 中山大学学报, 2001, 40(2): 122 - 125.

[4] 肖志刚,祝生祥,薛春荣. 锥形光纤的偏振特性 [J]. 应用光学, 2004, 25(6): 22 - 25.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net