

·光电器件与材料·

双芯光纤的制作及应用研究

杨利敏, 裴 丽

(北京交通大学光波技术研究所, 全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要: 双芯光纤是一种极其重要的无源光器件, 它在光通信及光传感等方向发挥了不可替代的作用。首先介绍了目前主要存在的几种双芯光纤的结构、分类及其最新的制作工艺, 然后根据双芯光纤独有的结构特性及两芯子之间耦合特性所表现出来的光谱特性在光纤传感与光通信领域的应用进行了叙述, 最后通过数据知识平台的结果展示了近10年来与双芯光纤相关的热词并分析了双芯光纤近十年的发展趋势及其发展前景。

关键词: 双芯光纤; 光纤传感; 光通信

中图分类号: TN253

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2012)04-0042-05

Production and Application of Twin-core Fiber

YANG Li-min, PEI Li

(Institute of Light wave Technology, Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network, Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The twin-core fiber is a crucial passive optical devices, it has played an irreplaceable role in the areas of the optical communication and optical sensing. Firstly, the structure, classification and the latest manufacturing technique of present fibers are introduced. And according to the special structure characteristic of twin-core fibers and the spectrum characteristic causing by the coupling characteristic between two cores, the application of twin-core fiber in the area of fiber sensing and optical communication are described. Lastly, the hot words corresponding to two-core fiber over the past decade are showed by the data knowledge platform. And the development trends and prospects of the twin-core fiber in future 10 years are analyzed.

Key words: twin-core fiber; fiber sensing; optical communication

双芯光纤可以利用光的消逝场在两根纤芯之间耦合作用, 实现对光功率、波长和极化态等的多种选择功能, 且它的光谱特性可以通过改变长度、拉伸等手段来调谐^[1], 且与常规光纤相比, 双芯光纤具有特殊的结构, 既可以作为光传输介质, 又可构造新器件, 在光传输介质方面双芯光纤多应用于连接器, 在构造新器件方面, 由于光沿着双芯光纤传输时, 光纤中两个芯子的光功率会呈现周期性的变化, 该特性体现在基于双芯光纤的一些器件上^[2], 如光纤开关与逻辑门、波分复用器、用于掺铒放大器增益均衡的特

殊滤波器、光纤流速传感器口、用于光纤激光器的带有稳定功能的窄带滤波器、功率依赖的非线性耦合器以及波长选择器等。在光纤通信, 尤其是全光通信中存在广泛的应用前景。因此研究双芯光纤具有重要的理论和实际意义^[3]。

1 双芯光纤的制作及分类

1.1 双芯光纤的制作

双芯光纤的制作^[2]可分为以下4个步骤:

收稿日期: 2012-06-05

基金项目: 国家自然科学基金(60837002, 61177069)

作者简介: 杨利敏(1987-), 女, 河南省濮阳市人, 硕士研究生, 主要从事光器件方面的研究。

(1)普通单模预制棒的制作:利用实验室自有的改进汽相沉积(MCVD)车床完成预制棒的制作。首先用氢氟酸泡洗石英管,接着用去离子水冲洗干净,然后用高纯氮气吹干,最后固定于MCVD设备上,沉积后进行2~3遍的缩棒过程,即可得到所需要的预制棒;

(2)双芯光纤的结构设计:用预制棒分析仪测试预制棒,得到折射率。根据测得的相对折射率差与不同的应用来设计双芯光纤的其他几何结构参数;

(3)用纯硅毛细管将预制棒堆积成想要的结构:为了保证输入的信号光只进入其中的一个芯子,采用堆积法。具体操作为:将制成的普通预制棒从中间截为两段,之后选取能保证折射率的一致性的石英管作为外包层管,为了使堆积过程容易一些,必须先对截断下来的其中一段预制棒进行套管操作,在完成套管程序后,将其中一截预制棒打磨成D型,另一截预制棒处理成等腰梯形,如图1所示,然后采用光子晶体的制作方法,将不同大小的毛细石英管慢慢地堆积在处理好的预制棒和石英外包层管之间,直至完成整个堆积过程;

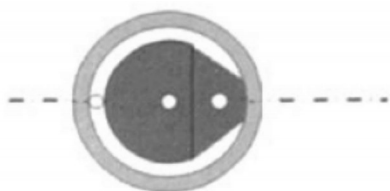


图1 堆积结构

(4)拉丝:将堆积好的预制棒置于拉丝塔上进行拉丝,其拉丝原理是预制棒拉丝后几何参数同比例缩小,折射率差保持不变。

1.2 双芯光纤的分类

按照双芯光纤的波导结构将其分为同轴双芯光纤和非同轴双芯光纤两大类^[4]。所谓同轴双芯光纤就是两芯子具有相同的轴线,多用于制作大功率光纤激光器;非同轴双芯光纤包层中的两根独立的芯子在离得很近时相互影响,发生耦合,离得很远时可以简单看成两个芯子的集成。

一般分析的是非同轴双芯光纤,按照其用途又可以分为以下几类:

(1)常规双芯光纤

常规双芯光纤的两个芯子靠得较近,当光在其中一个芯子传播时,另一根芯子可以看作是一种微

扰结构,这就导致了光功率将在两个芯子之间发生耦合。根据两芯子在包层中位置是否对称,可以将其分为芯子对称性和不对称型。

(2)集成双芯光纤

集成双芯光纤包层中的两个芯子间隔较远,彼此不相关,可以视为将两根光纤集成在一起的器件,其截面结构如图4所示。这种器件主要是通过拉伸使得两个芯子之间的距离变小,从而制成干涉型的光纤传感器。该集成器件结构紧凑,柔软易于弯曲,并且具有较小的热敏感度,还可通过改变双芯光纤长度来调节灵敏度,制备加速度,流速,弯曲等传感器件。

(3)双芯光子晶体光纤

光子晶体是一类在光学尺度上具有周期性介电结构的人工设计和制造的晶体,当电磁波在光子带隙材料中传播时,由于存在布喇格散射而受到调制,电磁波能量形成能带结构。人们可以通过设计和制造光子晶体及其器件,达到控制光子运动的目的。则光子晶体以其无截至的单模传输、灵活的零色散波长、增强的非线性效应等一系列独特的传输特性吸引了众多的注意力。当前双芯光子晶体光纤已广泛用于光开关,偏振分束器,色散补偿器等。

2 双芯光纤的应用

非同轴双芯光纤的多种结构特性,尤其是两芯子之间相互影响发生耦合时所表现出的光谱特性可以被用来在光纤传感和光通信领域开发一些独特功能的器件。以下主要分析非同轴双芯光纤的一些应用。

2.1 在光传感方面的应用

为了便于器件设计,此处用到的双芯光纤是由两个导光芯和包皮构成的,从外表上看就是一根光纤,这样两个导光芯的光程差就被固定下来,双芯光纤中的两个导光芯能分别构成干涉型光纤传感器中的信号臂和参考臂,因此不必用相干光源就能制成对微弯敏感的光纤传感器,如压力传感器、弯曲传感器^[5]和位移传感器等^[6],其原理图如图2。但是当测量物体的扭转度时,由于圆形结构不易紧贴物体,就想到了带状双芯光纤^[7],其横截面近似为矩形且其包层的厚度较薄,此结构使其很容易固定与待测平面或物体表面而不发生扭转,将其粘于易扭曲待测物

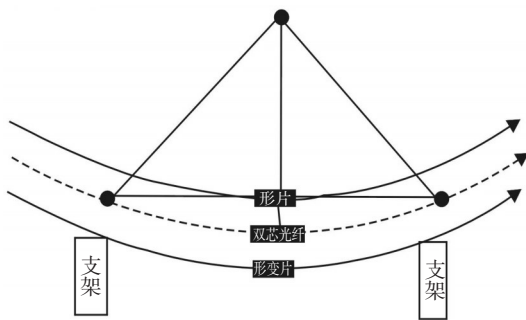


图2 弯曲传感设计图

表面或直接植入待测物中,当待测物发生扭转时,会连带着带状光纤发生扭转,从而引入光程差,其原理如图3。将带状双芯光纤缠绕在弹性敏感元件上,当声波传递到弹性元件上时,微小的振动会使带状双芯光纤两根纤芯产生光程差,从而监测外界振动源,原理如图4。在带状双芯光纤侧面镀上金属电极,在高温条件下对其进行热极化,通过向光纤两侧加电压,可以实现对传输光信号的调制功能,如图5。

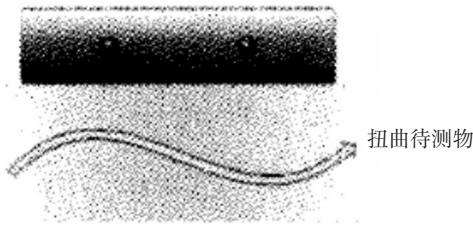


图3 带状双芯光纤扭转传感原理图

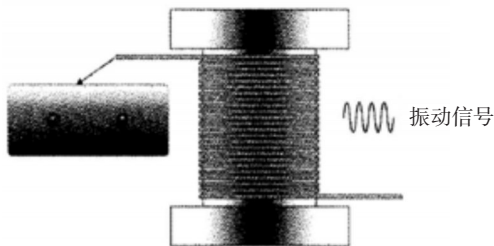


图4 带状双芯光纤振动传感原理图

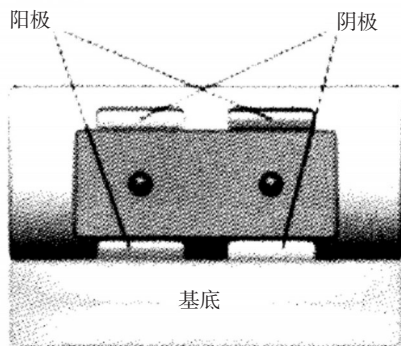


图5 带状双芯光纤调制器

2.2 在光通信方面的应用

2.2.1 梳状滤波器

长度不同的TCF熔接在两根SMF之间可构成MZI^[8],TCF中的两个存在一定折射率差芯子组成该MZI的两个干涉臂^[9]。当一个光信号从该器件一端的SMF中输入时,在SMF与TCF的熔接点处,SMF中的光部分耦合到TCF的两个纤芯中,并分别在TCF的两个纤芯中传输;在TCF与SMF的另一个熔接点,TCF中两个纤芯的光又部分耦合到SMF中,并发生干涉,从而在该器件的输出端得到梳状传输谱,具体结构如图6所示。该结构的优点:一是TCF的 d 和 z 可以根据实际需要任意设计,进而得到不同峰值位置和间隔的梳状滤波器;二是这种滤波器是基于两个芯子之间的耦合,可通过改善两芯子之间的匹配度来提高响应波长的消光比;三是其插损主要取决于SMF与TCF一个芯子的熔接,可以通过优化熔接参数降低插损且该梳状滤波器集成在一段光纤上,结构紧凑,体积较小^[10,11]。

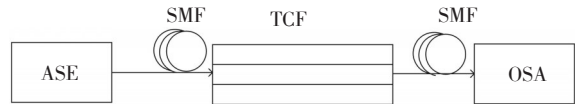


图6 基于TCF的全光纤MZI型梳状滤波器的结构图

2.2.2 光开关

双芯光纤具有以下耦合特性:当输入的光信号较弱时,光功率将在两个芯子间不断交换,在出射端呈现出正弦似的振荡周期;当输入的光信号强度超过一个给定的强度值时,由于双芯光纤的非线性效应光功率将不再发生交换,而是沿输入芯子继续传输下去。利用此特性可实现波长选择,如图7所示,从1输入的功率较小的信号光从2输出,而功率强的信号光仍然从1输出,从而构造光开关,用于光通信网络^[1]。

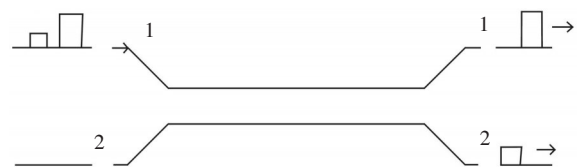


图7 全光开关原理图

2.2.3 光波分复用器

光分插复用器(OADM)的作用是下载本地所需的信号,同时又可以上传本地发往另一节点用户的信号,是组建全光波分复用通信网的关键技术之一。而利用双芯光纤两纤芯之间的耦合特性,或者结合光纤光栅可以实现对信号的上传下载功能,具体实现如下:

(1) 基于对称性双芯光纤和光纤光栅的OADM结构

如图8所示,在2根纤芯的区域II上写入等长的光纤光栅可实现上下话路^[12]。多种波长的信号光从A1端输入,光在非光栅区域相互耦合后,进入光栅段,利用布拉格光栅将特定波长的光信号反射,从B1端输出,而其余信号继续向前传输,从而达到下载信号的作用。同理,将特定波长的信号从B2端注入,通过光栅的反射可以改变它的方向与前向传输的多信号光混合传输,从而实现了信号的上传功能^[1]。

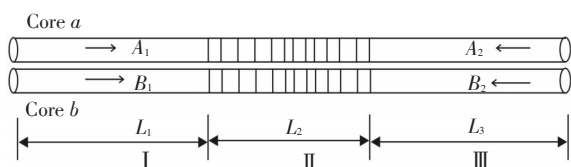


图8 基于对称性双芯光纤和光纤光栅的OADM结构示意图

(2) 基于失配型双芯光纤和光纤光栅的OADM

在非对称的失配双芯光纤^[13]具有光敏特性的一根纤芯上写入光栅,其实现分插复用的结构图如图9所示。含有多个波长的WDM信号,从非对称失配耦合器的端口1入射,符合非对称耦合条件下的光栅谐振波长从端口2反射,其他波长的信号,在满足强失配条件下,几乎没有功率耦合到纤芯1上去,可以无损耗地通过此耦合器,从端口3输出,这就实现了下载功能。

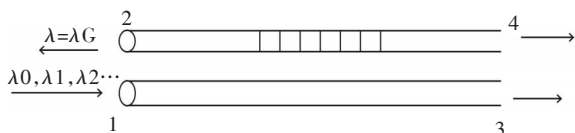


图9 基于失配型双芯光纤和光纤光栅的OADM结构示意图

(3) 双芯和单芯耦合器构成的OADM

该器件的结构如图10所示,工作过程是:光通道从2端口输入,通过耦合器时,单芯光纤与双芯光纤

芯1发生模式耦合转换,将所有光通道转移到芯1中继续传输,便进入了如器件2所示结构,反射到芯2中的光通道反向传输,通过耦合器时不再和单芯光纤发生模式耦合,继续在原纤芯内传输,最后从双芯光纤的端口1输出到与之相连的标准通信光纤中。而不满足位相匹配条件的光通道则不会被光栅反射,继续在双芯光纤芯1中传输,通过第二个耦合器时再次与单芯光纤发生模式耦合,将光通道转移到双芯光纤中继续传输,最终从4端口输出,这样就实现了插分复用器的下路功能^[14]。

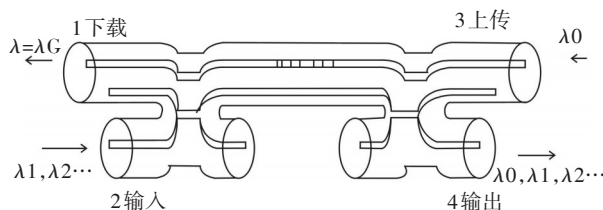


图10 双芯和单芯耦合器构成的OADM

(4) 带状双芯光纤实现OADM

根据耦合模式理论,当两个相互平行的、特性完全相同的波导彼此邻近时,两波导间会发生能量的交换即产生模式的定向耦合,当光信号由一根纤芯注入时,经过耦合长度L的奇数倍的传输长度后,一根波导中的光能量会完全耦合到另一根光波导中,经过耦合长度L的偶数倍的传输长度后,光能又耦合回原来波导,因此利用双芯光纤可以制成波分复用器。利用带状双芯光纤^[7]制作波分复用器可以用通过调整双芯光纤的耦合长度实现信号光的上传或者下载。

2.3 双芯光纤的研究趋势

如图11为万方数据知识服务平台统计的1999~2011年对双芯光纤的研究趋势变化,表1是与双芯光纤有关的热词列表,所谓共现指的是同时在论文的

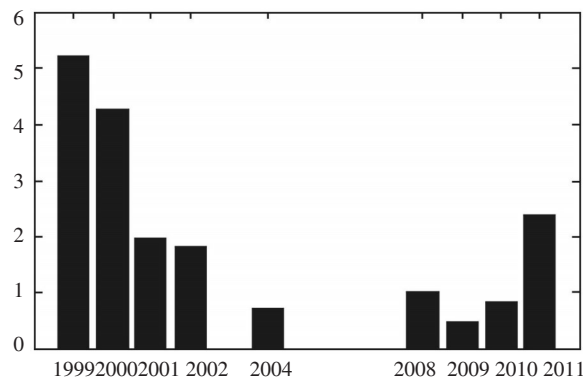


图11 双芯光纤年度命中数

表1 双芯光纤有关的热词列表较

	1999	2000	2001	2002	2004	2008	2009	2010	2011
双芯光纤	1	2	2	2	1	2	1	2	1
热词	均衡(1)	自办算符 方法(2)	三阶色散 (1)	三阶色散 (1)	光子晶体 光纤(1)	电流测量 (1)	光纤通信 (1)	耦合模理 论(1)	温度传感 (1)
	掺铒光纤 放大器(1)	孤子传输 与耦合(1)	单孤子传 输(1)	孤子传输 (1)	模式(1)	光纤光栅 (1)	模场(1)	耦合系数 (1)	光纤传感 (1)
			光纤光栅 (1)	光插分复 用器(1)	干涉(1)	磁致伸缩 效应(1)	耦合方程 (1)	制作方法 (1)	马赫-曾 德尔干涉 仪(1)
			光纤光栅 (1)	布拉格光 栅(1)	耦合(1)	波长解调 (1)		纤维集成 光器件 (1)	梳状滤波 器(1)
			光分插复 用器(1)	耦合器(1)		光纤传感 (1)		1×2(1)	

关键词中出现;热词是指与被检索词共现次数较多的词。根据共现的频率和热词可以分析相关研究趋势和热点分布。

3 结 论

由此可知,双芯光纤一直是最近几年的研究热点,广泛应用于传感、光通信中的各个领域。其研究理论多以耦合模理论为基础,利用双芯光纤不同的结构特征研究出不同的应用特性。

参考文献

- [1] 邹毅,董小鹏. 双芯光纤及其应用[J]. 电子技术, 2008, 45(7): 3.
- [2] 彭健,傅永军,简水生. 对称双芯光纤的耦合特性及其新型的制作方法[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(6): 81-83,97.
- [3] 张少武,刘玉书. 双芯光纤中孤子传输与耦合的特性研究[J]. 湖北师范学院学报:自然科学版, 2000, 20(1): 15-19.
- [4] 邹毅.可调谐双芯光纤及其在光纤光栅传感与滤波器中应用的研究[D]. 厦门:厦门大学, 2008.
- [5] 王雪.双芯光纤传感器研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2006.
- [6] 孙明武. 双芯光纤制作工艺研究[J]. 中国建材科技, 1994, 3(2): 25-26.
- [7] 刘冲,苑立波.带状双芯光纤及其双折射特性分析[J]. 黑龙江大学工程学报, 2011, 2(4): 90-93.
- [8] Ai Zhou, Guangping Li, Yanhui Zhang, et al. Asymmetrical Twin-Core Fiber Based Michelson Interferometer for Refractive Index Sensing[J]. Lightwave Technology, Journal of, 2011, 29(19): 2985-2991.
- [9] L Y, Jiang W W, Zhao R F, et al. CORE FIBER FABRICATION FOR EXCITING AND DETECTING SIGNALS EASILY[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2011, 53(3): 499-502.
- [10] 江微微,范林勇,赵瑞峰,等. 基于双芯光纤耦合器的梳状滤波器及其CO₂激光调节[J]. 物理学报, 2011, 60(4).
- [11] 范林勇,江微微,赵瑞峰,等. 双芯光纤马赫-曾德尔干涉仪的温度特性[J]. 光学精密工程, 2011, 19(1): 1-9.
- [12] 孙锴,安宏林.芯片张光分插复用器的理论分析和设计[J]. 光电子激光, 2001, 12(11): 1099-1103.
- [13] 傅永军,郑凯,董小伟,等. Bragg光栅辅助非对称双芯光纤耦合器的研究[J]. 铁道学报, 2004, 26(4): 5.
- [14] 徐光明,许士文. 一种新型光插分复用器[J]. 半导体光电, 2002, 23(6): 3.