

· 光电器件与材料 ·

三分量加速度地震检波器中3-dB耦合器设计

恩 德,冯捷逾,张宁波

(河南理工大学电气工程与自动化学院,河南 焦作 454000)

摘 要:三分量加速度地震检波器检测加速度的核心部件是由2个3-dB耦合器级联而成的双M-Z干涉仪,3-dB耦合器的设计对三分量加速度地震检波器的检测精度尤为重要。介绍了三分量加速度地震检波器的结构和工作原理,导模之间的同向耦合理论。设置了3-dB耦合器波导的结构和计算参数。采用MATLAB对3-dB耦合器的输出功率进行仿真,仿真结果显示,3-dB耦合器在两输出端实现了能量的平均分配。用波导光学模拟软件OptiBPM v9.0对3-dB耦合器进行模拟仿真,光功率传输图表明,所设计的3-dB耦合器实现了光功率的均分。

关键词: 3-dB耦合器;导模;同向耦合;三分量;加速度

中图分类号: TN252

文献标识码:A

文章编号: 1673-1255(2011)05-0033-04

Design of 3-dB Coupler in Three-component Acceleration Seismic Geophone

EN De, FENG Jie-yu, ZHANG Ning-bo

(School of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: The core component of three-component acceleration seismic geophone is the dual M-Z interferometer which is composed of two cascaded 3-dB coupler. The design of 3-dB coupler is particularly important to the detection accuracy of three-component acceleration seismic geophone. The structure and working principle of the three-component acceleration seismic geophone and the theory of co-directional coupling between guided modes are introduced. The structure and calculation parameters of 3-dB coupler waveguide are set. Matlab is used for the simulation of output power of 3-dB coupler. Simulation result shows that it achieves equal energy distribution in the two outputs of 3-dB coupler. Waveguide optics simulation software OptiBPM v9.0 is used to simulate 3-dB coupler. The optical power transmission diagram demonstrates that the 3-dB coupler designed realizes the equalization of optical power.

Key words: 3-dB coupler; guided mode; co-directional coupling; three-component; acceleration

3-dB耦合器是根据耦合模理论设计的一种光波导器件,常采用Y型分束器和合束器。Y型分束器把光功率从一个输入端分开到2个分支,Y型合束器将2个分支波导中的光功率合并。基于光弹效应的三分量加速度地震检波器在LiNbO₃基底上采用光刻技术制作分支光波导,利用3-dB耦合器实现光束的分束和合束。波导型3-dB光耦合器的优点是:体积小、质量轻、易于集成,机械及环境稳定性好,耦合分

光比易于精确控制,易于制成小型化宽带耦合器件。

LiNbO₃是制造光波导比较成熟的一种材料,用这种材料可以制作光耦合器。它的主要优点有:传播损耗较低,一般为0.2~0.5 dB/cm;模式尺寸与单模光纤能很好匹配,光纤与波导耦合损耗最低已达0.15 dB;驱动电压较低,调制器和光开关的驱动电压最低已达0.35 V;调制带宽较宽,一般可达几个GHz,

收稿日期:2011-08-09

基金项目:国家自然科学基金(41074090);中国博士后科学基金(2005038468);河南省科技计划重点攻关项目(022102210360);河南省控制工程重点学科开放基金项目(KG2009-12)

作者简介:恩德(1962-),男,内蒙古通辽人,博士,教授,主要研究工作是集成光学与传感技术。

采用行波电极可达40 GHz;集成度较高,已能构成几百个元件的开关阵列;工艺比较成熟,已经可以批量生产^[1]。

1 三分量加速度地震检波器的工作原理

基于光弹效应的三分量加速度地震检波器由激光器、固定在基底上的三分量简谐振子和外处理器组成^[2]。三分量加速度地震检波技术采用独特的双层简谐振子设计,可以提高地震检波器的灵敏度,进行高精度信号检测和温度补偿系统集成。MOEMS三分量加速度地震检波器的简谐振子结构原理图如图1所示^[2-4]。

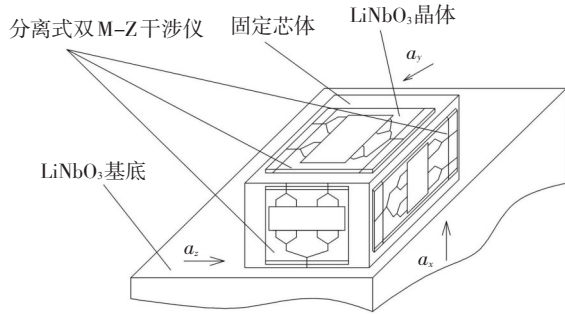


图1 MOEMS三分量加速度地震检波器简谐振子结构原理图

三分量简谐振子是敏感元件,由沿X、Y、Z三方向布置的3个M-Z干涉芯片构成^[5,6]。双M-Z干涉仪的调相靠外部加速度信号完成,三分量加速度地震检波器通过检测双M-Z干涉仪中光相位的变化来检测外部加速度的变化^[7]。双M-Z干涉仪由2个3-dB耦合器级联而成,实现光功率的1/4均分。

2 导模之间的同向耦合理论

当2个波导相距较远时,2个对称模基本上是各自独立地在它们的波导中传播,可以认为它们之间没有模式耦合。随着2个波导的逐渐靠近,一个波导的光波在另一个波导中引起极化强度的扰动,2个模便开始发生耦合,发生能量交换。2个平行的条形波导a、b发生了耦合后,可以视为形成了耦合器,如图2所示^[8]。

设2个相互耦合的条形波导a和b分别具有折射率 n_a, n_b 。如果2个波导距离足够远,没有耦合,分别有2个本征模a和b传播,其波场分别为 $E_y^{(a)}(x)$ 和

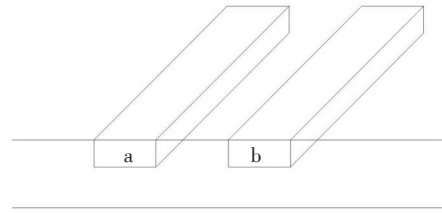


图2 双通道波导耦合器示意图

$E_y^{(b)}(x)$,各自的传播常数为 β_a 和 β_b 。当2个波导靠近出现耦合时,波场可以近似地表达为2个无扰动时波场的和^[8,9]

$$E_y = A(z)E_y^{(a)}(x)\exp[-j\beta_a z] + B(z)E_y^{(b)}(x)\exp[-j\beta_b z] \quad (1)$$

在微扰作用下,波导内介质的扰动极化强度

$P_{\text{pert}}(r, t)$ 为

$$P_{\text{pert}} = \epsilon_0 [E_y^{(a)} A(z)(n^2(x) - n_a^2(x))e^{-\beta_a z} + E_y^{(b)} A(z)(n^2(x) - n_b^2(x))e^{-\beta_b z}] \quad (2)$$

式中, $n(x)$ 是具有耦合的波导的折射率分布。耦合方程为

$$\begin{cases} \frac{dA}{dz} = -jK_{ab}B \exp[-j(\beta_b - \beta_a)z] - jM_a A \\ \frac{dB}{dz} = -jK_{ba}A \exp[-j(\beta_a - \beta_b)z] - jM_b B \end{cases} \quad (3)$$

式中,耦合系数为

$$K_{ba, ab} = \frac{\omega\epsilon_0}{4} \int_{-\infty}^{\infty} [n^2(x) - n_{a,b}^2(x)] E_y^{(a)} E_y^{(b)} dx \quad (4)$$

方程(3)中的M代表耦合的波导中,波的传输系数相对于无耦合波导的 β_a 和 β_b ,将变化到 $\beta_a + M_a$ 和 $\beta_b + M_b$

$$M_{a,b} = \frac{\omega\epsilon_0}{4} \int_{-\infty}^{\infty} [n^2(x) - n_{a,b}^2(x)] [E_y^{(a,b)}]^2 dx \quad (5)$$

也就是说,2个波导的导波模间的传输常数相差为

$$2\delta = (\beta_b + M_b) - (\beta_a + M_a) \quad (6)$$

δ 又称为相位失配因子。模式耦合导致的波能量转移,只有在接近相位匹配,即 $\delta \approx 0$ 时才能实现。

假设在 $z=0$ 处只有波导b存在单模光传播,微扰发生在 $z>0$ 区,即2个波模式的振幅满足 $B(0)=B_0, A(0)=0$ 。波导a和b内光波所携带的能量分别可以用 $P_a = |A(z)|^2$ 和 $P_b = |B(z)|^2$ 表示。根据总的能量守恒原则^[8,10]

$$\frac{d}{dz} (|A(z)|^2 + |B(z)|^2) = 0 \quad (7)$$

当2条波导的尺寸、折射率等结构及材料参量相

同时,耦合系数 $K_{ab}=K_{ba}$, $M_a=M_b$ 。

设2个波模式的振幅为 a_1 和 a_2 ,将各个模不受其他模影响而单独存在时的波数记为 β_{01} 和 β_{02} 。则2个波的耦合模方程为^[8,11]

$$\begin{cases} \frac{da_1}{dz} = -j\beta_{01}a_1 + K_{12}a_2 \\ \frac{da_2}{dz} = K_{21}a_1 - j\beta_{02}a_2 \end{cases} \quad (8)$$

根据以上条件,方程(8)的解为

$$\begin{cases} A(z) = B_0 \frac{K}{(K^2 + \delta^2)^{1/2}} e^{-j\delta z} \sin[(K^2 + \delta^2)^{1/2} z] \\ B(z) = B_0 e^{j\delta z} \{ \cos[(K^2 + \delta^2)^{1/2} z] - j \frac{\delta}{(K^2 + \delta^2)^{1/2}} \sin[(K^2 + \delta^2)^{1/2} z] \} \end{cases} \quad (9)$$

式中, $K^2 = |K_{ab}|^2$ 。波导 a 和 b 中光波所携带的能量分别为

$$\begin{cases} P_a(z) = P_0 \frac{K^2}{K^2 + \delta^2} \sin^2[(K^2 + \delta^2)^{1/2} z] \\ P_b(z) = P_0 - P_a(z) \end{cases} \quad (10)$$

式中, $P_0 = |B(0)|^2$ 为波导 b 的输入能量。

在相位匹配($\delta \approx 0$),即2个波导的传播常数相等的条件下,传输距离为 $L = \pi/2K$ 时,能量完全从波导 b 中传输到波导 a 中,即波导 b 的输入能量在 $z=L$ 处完全转换到波导 a 中。由方程(10)可知,产生100%功率转移的耦合长度 L 取决于耦合系数和2个模式之间的传播常数之差。在相位匹配条件下, $L = \pi/2K$ ^[8,12]。

3 3-dB耦合器的设计及仿真

设置3-dB耦合器波导的结构参数如下:采用S形弯曲正弦函数型波导,波导宽度为 $6.0 \mu\text{m}$,波导深

度为 $2.0 \mu\text{m}$,上、下分支间距为 $7.9039 \mu\text{m}$,芯层折射率为1.50,包层折射率为1.49。

采用有限差分光束传播(FD-BPM)计算方法,设置波导的计算参数如下:入射光波长是 $1.55 \mu\text{m}$,模场分布是modal,偏振态是TE,算子是Pade(1,1),步长是1.55,边界条件是透明边界条件(TBC)。

所设计的3-dB耦合器是非零间隙定向耦合器,上、下分支波导耦合部分的长度 l 为实现功率转移的耦合长度 L 的一半,即 $l = \pi/4K$ 。在相位匹配($\delta \approx 0$),即2个波导的传播常数相等的条件下,采用MATLAB对3-dB耦合器的输出功率进行仿真,如图3所示。

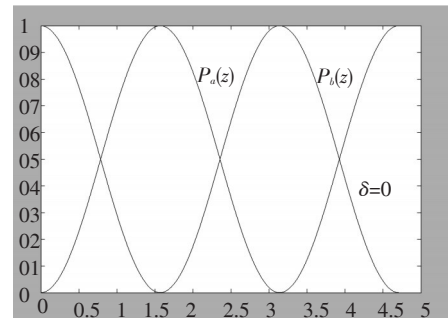
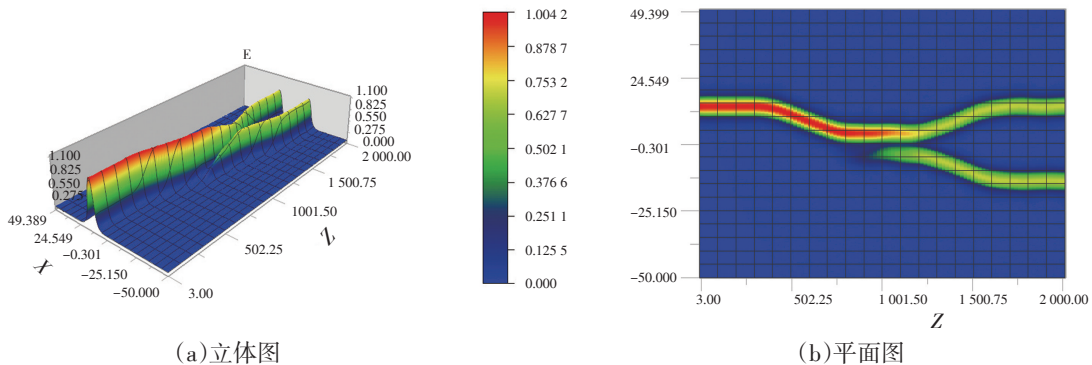


图3 3-dB耦合器的输出光功率

由图3可以看出,3-dB耦合器在两输出端实现了能量的平均分配。当传输距离为 $L = \pi/2K$ 时,光功率完全从一个分支波导中传输到另一个分支波导中,即一个分支波导的输入能量在 $z=L$ 处完全转换到另一个分支波导中。

用波导光学模拟软件OptiBPM v9.0对3-dB耦合器进行2D各向同性模拟仿真,其光场传输如图4所示,折射率分布图如图5所示。

由图4b可以看出,所设计的3-dB耦合器实现了光功率的1/2均分。由图5c和图5d可以看出,折射



(a)立体图

(b)平面图

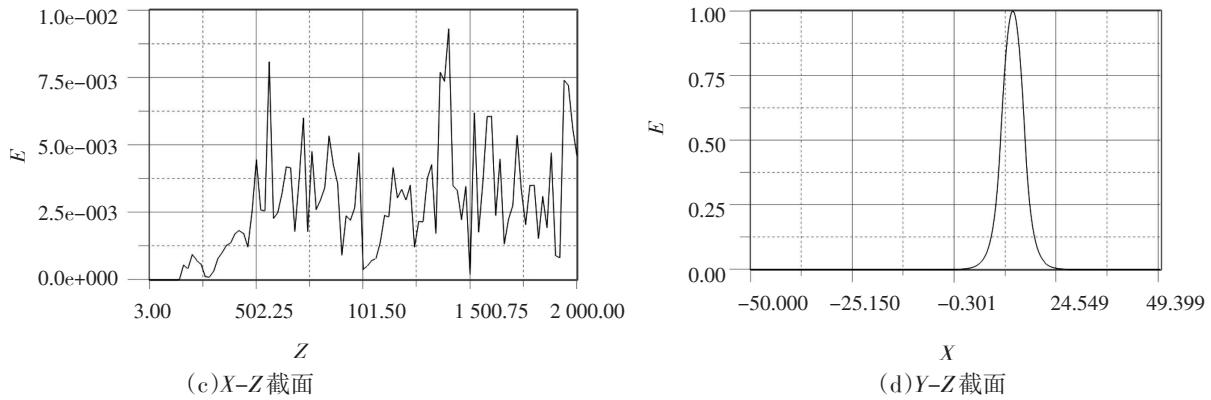


图4 3-dB耦合器的光场传输图

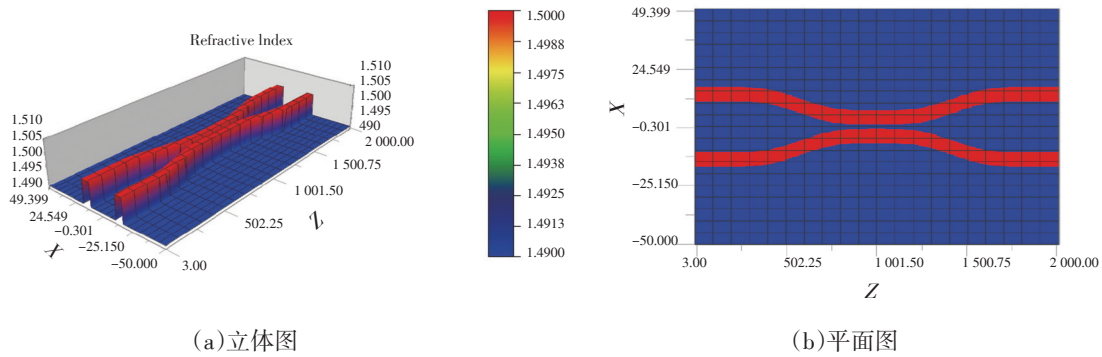
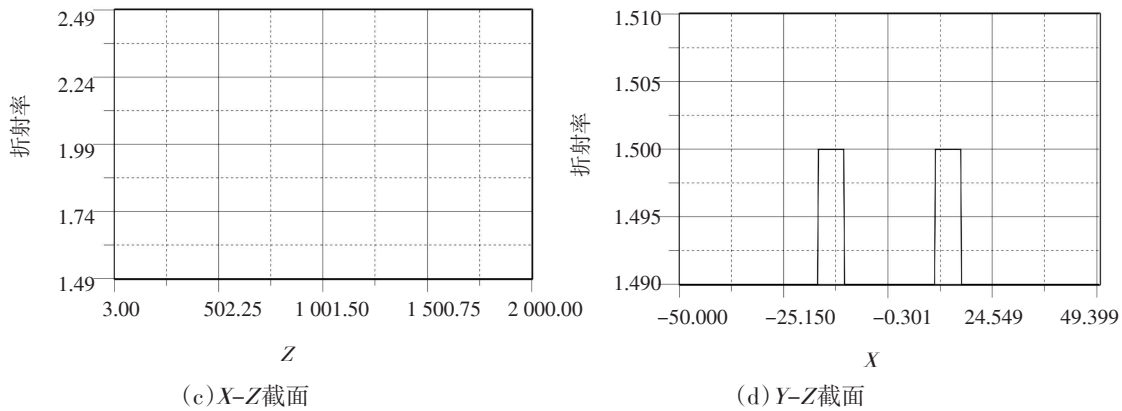


图5 3-dB耦合器的折射率分布图



率分布图与所设置的光波导折射率参数吻合。

4 结论

简谐振子是MOEMS三分量加速度地震检波器的核心部件,它是由3个分离式双M-Z干涉仪构成,每一个双M-Z干涉仪又由2个3-dB耦合器级联而

成,3-dB耦合器的性能优劣对三分量加速度地震检波器正确检测加速度尤为重要。按照所设置的3-dB耦合器波导的结构和计算参数,采用MATLAB和波导光学模拟软件OptiBPM v9.0对3-dB耦合器进行模拟仿真。仿真结果显示,所设计的3-dB耦合器在两输出端实现了能量的平均分配和光功率的均分。

(下转第46页)

况,在强光下,有时会将满足人脸肤色和形状特性的非人脸误判为人脸,因此算法还需进一步的完善与提高。

参考文献

- [1] 杜友田,陈峰.基于视觉的人的运动识别综述[J].电子学报,2007,35(1):67-62.
- [2] 王亮,胡卫明,谭铁牛.人运动的视觉分析综述[J].计算机学报,2002,25(3):226-237.
- [3] 黄茜,刘军,彭啸,等.基于局部二元模式特征的行人检测[J].计算机工程与设计,2011,32(6):2119-2123.
- [4] 左航,杨波,高琳,等.基于行走拓扑结构分析的行人检测[J].光电子·激光,2010,21(5):749-753.
- [5] 周晨卉,王生进,丁晓青.基于局部特征级联分类器和模板匹配的行人检测[J].2010,15(5):824-829.
- [6] 杨灯峰,赵勋杰.高架道路监控视频中的行人检测[J].科

技创新导报,2008(36):74-75.

- [7] 王琨鹏.序列图像运动目标检测算法研究[D].长沙:国防科技大学,2005.
- [8] 王正勤,刘富强.自适应背景提取算法的比较[J].计算机工程,2008,34(23):220-223.
- [9] 甘新胜,赵书斌.基于背景差的运动目标检测方法比较分析[J].指挥控制与仿真,2008,30(3):45-50.
- [10] Hus R L, Mohamed Abdel-Mottaleb M, Jain A.K. Face Detection in Color Images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5):696-706.
- [11] V Vezhnevets, V Sazonov, A Andreeva. A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques[C]//In Proceedings Graphicon-2003, Moscow, Russia, 2003:85-92.
- [12] P Peer, J Kovac, F Solina, Human Skin Colour Clustering for Face Detection[C]//EUROCON1993, Ljubljana, Slovenia, 2003:144-148.

(上接第36页)

参考文献

- [1] 林学煌.光无源器件[M].北京:人民邮电出版社,2002:235-256.
- [2] 唐东林.集成加速度地震检波理论与实验研究[D].天津:天津大学,2006:23-52.
- [3] 恩德,魏建霞,徐可欣,等.高精度硅微简谐振器的设计与制作工艺[J].纳米技术与精密工程,2007,5(2):117-120.
- [4] 张燕君,陈才和,吴波,等.硅微光机械加速度地震检波器中M-Z光波导干涉仪结构设计[J].光学精密工程,2006,14(1):77-82.
- [5] 李超.迈克尔逊型全光纤加速度地震检波理论与实验

研究[D].天津:天津大学,2007:11-12.

- [6] 唐东林,陈才和,崔宇明,等.三分量光弹波导混合集成加速度传感器[J].光子学报,2005,34(7):1062-1065.
- [7] 吴波,陈才和,张晓玲,等.M-Z干涉型集成光学微加速度传感器结构设计[J].光电子·激光,2004,(10).
- [8] 唐天同,王兆宏.集成光学[M].北京:科学出版社,2008:25-27.
- [9] 王侠,欧阳斌,李苏.半导体激光二极管的光纤耦合技术[J].光电技术应用,2010,25(3):26-32.
- [10] 季家镛.高等光学教程——光学的基本电磁理论[M].北京:科学出版社,2007:150-170.
- [11] 陈根祥.光纤通信技术基础[M].北京:高等教育出版社,2011:177-184.
- [12] 刘娟.激光二极管与单模保偏光纤的耦合研究[J].光电技术应用,2010,25(5):46-50.

版权声明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中文科技期刊数据库》、《中国期刊全文数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》、美国《乌利希期刊指南》、波兰《哥白尼索引》收录期刊,并加入中国光学期刊网,建立了《光电技术应用》期刊网站,所刊载的文章在国内外数据库检索机构及网站(包括纸板、光盘版、网络版)报道时,不再征求作者意见。稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期样刊两份。