

文章编号 1004-924X(2009)11-2657-08

单模光纤耦合传感器的设计

蒋 奇, 隋青美, 马 宾

(山东大学 控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

摘要:为使单模光纤耦合器可作为传感器应用,分析了单模光纤耦合传感器的敏感机理,依据传感器耦合输出与传感器耦合区长度及耦合区振动频率存在的关系实现了应变和振动检测。基于微应变仪和等强度悬臂梁搭建了应变和振动检测系统,分析了耦合型光纤传感器的静态响应特性和温度、横向压力干扰对其输出耦合比的影响,讨论了该传感器的低频和高频响应特性。实验结果显示,该类型传感器对应变的响应非常灵敏,耦合比在 10%~90% 的线性关系良好,且温度漂移影响可以稳定在 0.5% 以内。与压电振动传感器的测试对比,该传感器可更好地实现 0~50 Hz 低频和 4 kHz 高频振动检测。上述结果表明,耦合型光纤传感器可基本实现对应变和振动参数的检测,但面向实用化还要考虑耦合区材料、结构本身、制作工艺等因素的影响。

关键词: 光纤耦合器; 应变测量; 振动测量; 光纤传感器

中图分类号: TN253 **文献标识码:** A

Design of single mode optic fiber coupling sensor

JIANG Qi, SUI Qing-mei, MA Bin

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: In order to realize the possibility of a single mode fibre coupler used as a sensor, the theory of an optic fibre coupling sensor is analyzed. According to the relation that the coupler's coupling ratio is sensitive to the coupled fused part length change and vibration frequency, a detection technology for strain and vibration parameters is proposed. The strain and vibration experimental system based on a micro-strain instrument and a cantilever is set up and its working principle is described in detail. The strain response of the fibre coupling sensor is investigated through a micro-strain test and the effects of temperature and transverse interference on the output ratio are given. Experimental results indicate that strain response of the fibre coupling sensor is excellent and the sensor temperature remains a constant in the coupling ratio range from 10% to 90%. The dynamic experiments of a piezoelectric sensor and a coupling fiber-optic vibration sensor are investigated and a 0-50 Hz low and 4 kHz high frequency responses are approved during the vibration testing. These results show that the single-mode fibre coupling sensor can measure a vibration signal practically, meanwhile, other influencing factors including the fused part materials, coupler structures and fabrication need to be resolved for engineering applications in the future.

Key words: optic fiber coupler; strain measurement; vibration measurement; optic fiber sensor

收稿日期: 2008-10-16; **修订日期:** 2008-12-02.

基金项目: 国家自然科学基金仪器专项资助项目(No. 50727904); 国家教育部博士学科点专项科研基金资助项目(No. 20070422105); 山东省自然科学基金资助项目(No. Q2007F06)

1 引言

在振动检测、动态测试应用技术中的各种振动传感器,首推测量精度高、频率范围广、电气绝缘、不会引起电网谐振,比机械式和电气式传感器抗干扰性能好的光学式振动传感器。这也是目前国内很多学者转而研究如激光全息法、激光三角法、干涉法、激光多普勒效应法、光纤与微机电(MEMS)法和散斑法使用的各种光学振动传感器的原因之一。其中,在光纤通信中的成熟的光纤耦合技术基础上,研制成功一种全光纤器件的高性能耦合型光纤声振动传感器,以其测量频带宽,灵敏度高,解调、制作成本低,使用简单等优点,受到越来越多的关注。本文对该类型光纤耦合的耦合模进行了理论分析,以单模光纤耦合器为基本结构,进行器件特殊设计与封装,在分析光纤耦合传感机理的基础上,改变单模光纤耦合器的熔融拉锥过程中的结构参数(如耦合长度和耦合区折射率变化),使之对外界的静态应变和动态激励有较高灵敏的响应,从而实现了对应变和振动参数的监测。

2 单模光纤耦合及耦合传感理论分析

单模光纤耦合器的制作过程是将两根相同的单模光纤中部的涂覆层剥去,用酒精清洗干净,平行置于熔融拉锥机中,放在高温下进行加热熔融,同时通过夹具向光纤的两端拉伸,当拉伸达到一定长度,两光纤之间就会发生能量的交换,最终在光纤的加热区形成双锥形式的特殊波导结构^[1]。由于熔融拉伸使加热区的直径逐渐减小,耦合器的性能参数也会随之不断发生变化,形成以包层为纤芯,芯外介质作为新包层的新的复合光波导结构,如图 1 所示。

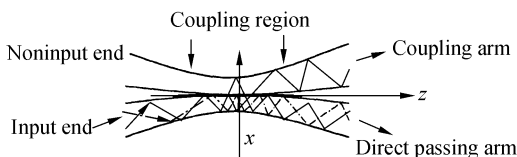


图 1 熔锥形光纤耦合器结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of fused fiber coupler

当入射光 P_0 进入输入端,随着两个光波导逐渐靠近,两个传导模开始发生重叠现象,光功率在双锥体结构的耦合区发生功率再分配,一部分光功率从“直通臂”继续传输,另一部分则由“耦合臂”传到另一光路。可以假设,光波最初从一个光纤输入,传输一定距离后,这部分光就会逐渐交换到另一光纤内传输,然后又会逐渐返回到最初的光纤中传输,整个传输过程随耦合距离呈周期性的变化与能量交换。

制作光纤耦合器时,在耦合区内的熔融区部分,两根光纤的位置可以认为相互平行且靠的足够近,可以利用模式耦合理论对耦合器的传输性能和能量分布进行分析。根据耦合模理论,沿耦合区的纵向(图 1 中 z 轴的方向),两波导间的横向耦合可用一阶微分方程组表示如下^[2]:

$$\begin{cases} \frac{dA_1(z)}{dz} = i(\beta_1 + C_{11})A_1 + iC_{12}A_2 \\ \frac{dA_2(z)}{dz} = i(\beta_2 + C_{22})A_2 + iC_{21}A_1 \end{cases}, \quad (1)$$

式中: A_1 和 A_2 为两光纤的模场振幅; β_1 和 β_2 为两光纤在孤立状态下的传播常数; C_{11} 和 C_{22} 为光纤的自耦合系数; C_{12} 和 C_{21} 为互耦合系数。自耦合系数相对互耦合系数很小,可以忽略,且近似有 $C_{12} = C_{21} = C$ 。假设入射光从光纤耦合器的一端进入,其边界条件为 $A_1(0) = 1$, $A_2(0) = 0$,由玻印廷(*poyniting*)理论可以解得两出口的光功率为:

$$\begin{cases} P_{A_1} = |A_1(z)|^2 = \cos^2 \left[z \sqrt{C^2 + \left(\frac{\Delta\beta}{2} \right)^2} \right] + \left(\frac{\Delta\beta}{2} \right)^2 \frac{\sin^2 \left[z \sqrt{C^2 + (\Delta\beta/2)^2} \right]}{C^2 + (\Delta\beta/2)^2} \\ P_{A_2} = |A_2(z)|^2 = \frac{C^2 \sin^2 \left[z \sqrt{C^2 + (\Delta\beta/2)^2} \right]}{C^2 + (\Delta\beta/2)^2} \end{cases}, \quad (2)$$

其中, $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$,在同步的条件(传播常数相同)下, $\Delta\beta = 0$, (即 $\beta_1 = \beta_2$ 时)上式可以简化为:

$$\begin{cases} P A_1(z) = \cos^2 \left(\int_0^z C(z) dz \right) \\ P A_2(z) = \sin^2 \left(\int_0^z C(z) dz \right) \end{cases}, \quad (3)$$

光纤耦合器的输出耦合比可以表示为:

$$R = P A_1 / (P A_1 + P A_2) \times 100\% = \cos^2 \left(\int_0^z C(z) dz \right) \times 100\%, \quad (4)$$

根据上述表达式可看出,光功率随耦合区的长度的变化进行周期性的变换,耦合区长度的变化可以通过输出端两输出光功率比值的变化来反映。利用这一特性,将耦合器耦合区粘贴在不同的拉压被测物体上,可以得到不同的灵敏度,实现对外界物体应变的测量。当外界的扰动或振动在传感器的耦合区传播时,会引起耦合区长度和折射率的规律性变化,这种变化对耦合区光功率的传播产生影响,导致耦合传感器的输出随振动信号的变化而改变,耦合传感器输出端的差动输出功率与入射光功率的关系可以表示为^[3]:

$$\frac{\Delta P}{P_0} = 2 \frac{MV}{\pi f} \cdot \sin\left(\frac{\pi fl}{V}\right) \cos\left[2\pi f\left(\frac{l}{2v} - t\right)\right], \quad (5)$$

式中, M 是扰动造成的耦合常数变化的幅值, v 为归一化频率, f 为扰动或振动信号的频率, l 为耦合区长度。从该公式分析知,耦合输出是耦合器长度和振动频率的函数。对应的耦合区长度愈长,传感器的灵敏度越高,但传感器的截止频率就会越低。所以为了使传感器具有较高的灵敏度和较大的频响区间,试验中要选取合适的传感器耦合区长度。

3 单模光纤耦合静态特性分析

光纤耦合器受到外力引起耦合区长度变化,相应地会引起耦合比的变化,利用这一特性,采用康宁 SMF28 单模光纤拉制成光纤耦合传感器。

其参数 $n_1 = 1.460, n_2 = 1.456, \frac{\partial n}{\partial T} = 8 \times 10^{-4}, \lambda$

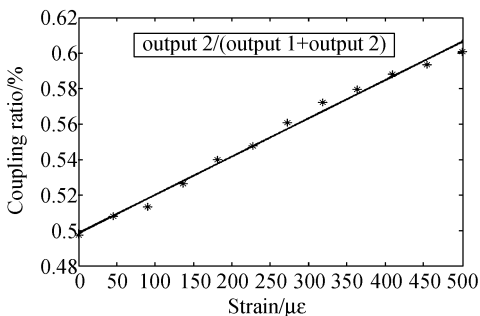
为 1 550 nm。选用单向连续碳纤维增强复合材料作传感器测试基底,把耦合器传感器的耦合区粘贴在复合材料上后,再固定在微应变仪上,改变微应变仪对复合材料的拉压变形,观察耦合器两端的输出。实验系统由激光光源、衰减器、光谱分析仪和微应变仪等组成,其中,单模光纤耦合器选用的耦合输出比为 50 : 50,入射光源是深圳朗光公司生产的 ASE-150 型宽带光源,输出带宽为 1 525~1 560 nm,输出光功率为 20 mW,选用的 AQ6317C 光谱分析仪,实验装置实物如图 2 所示。图 3 是耦合器耦合比与微应变仪拉伸和压缩的变化,它们的线性度比较理想,其中压缩时的线

性拟合曲线为 $R = -0.0487S + 49.7$, 式中 S 为微应变的变化量,单位为 $\mu\epsilon, R$ 为耦合输出比,单位为 %。



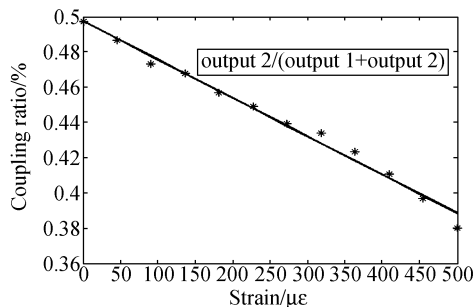
图 2 实验装置实物

Fig. 2 Experiment setup and true picture



(a) 拉伸时的耦合比变化

(a) Coupling ratio variation with pull



(b) 压缩时的耦合比变化

(b) Coupling ratio variation with press

图 3 耦合器受到拉压的耦合比变化

Fig. 3 Coupling ratio variation with coupler strain

由式(5)可知,耦合器的输出功率也是耦合系数和耦合长度的函数,而耦合系数由耦合光纤的截面形状、折射率、两光纤的中心距离等因素决定。温度、横向扰动会对耦合区的折射率和耦合区的形状产生影响,因此,制作耦合器的外部封装材料的温敏特性和力学特性对耦合器的输出影响较大。实验中,本文选用了硅弹性树脂作为耦合区的包层材料,其温度特性与光纤相匹配,封装后

的耦合器粘贴材料选用糊状环氧胶,双组分糊状,耐热性好,强度高。实验测量了 $-10\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时耦合器的输出比随温度和横向应变(图 1 的 x 方向)影响的特性变化的曲线,如图 4 所示。由此,可看出耦合传感器的耦合比与外界温度变化呈现近似线性关系,而且还能根据耦合比的变化方向分辨出温度变化的方向。在 $-10\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,耦合比从 49.2% 增加到 50.9%,由温度产生的误差 $<2\%$,输出变化的拟合曲线方程为 $R=0.00034t^2+0.0234t+46.39$,式中 t 为温度的变化量,单位为 $^{\circ}\text{C}$, R 为耦合输出比,单位为%。有试验表明^[13],在耦合区的外臂若采用结晶毛细石英管,耦合比为 10%~90% 时,温度漂移可以稳定在 0.5% 以内。从图 4(b)可看出,对耦合光纤传感器施加横向的拉力或压力变化时,由于耦合区的体积很小,产生的形变几乎可以忽略,耦合器的输出比基本没有什么变化,器件呈现出非常良好的抗干扰性。

4 单模光纤耦合传感器动态特性分析

将上述的耦合型光纤传感器粘贴在被测对象上,可以简化为由集中质量 m 、集中刚度 k 和集中阻尼 c 组成的二阶单自由度受迫振动系统,其振动力学模型可以表示为:

$$\ddot{x}+2\xi\omega_n\dot{x}+\omega_n^2x=-\ddot{x}_0, \quad (6)$$

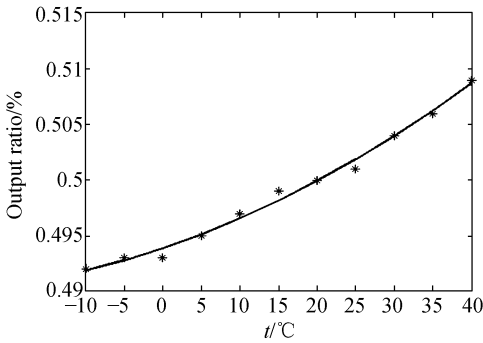
其中, x 代表质量块 m 相对于传感器壳体的运动; \ddot{x}_0 是传感器壳体的加速度(即要测量的对象的加速度); ω_n 为系统的固有频率, $\omega_n=\sqrt{k/m}$; ξ 为阻尼比, $\xi=\frac{c}{2\sqrt{mk}}$ 。由于耦合器产生的应变 ϵ 是一个很小的量,所以输出功率差可以近似为^[5]:

$$\Delta P=-\sin 2Cl\epsilon\approx-2Cl\epsilon=-C\cdot l\cdot\frac{12Lm}{bh^2E}\cdot\ddot{x}_0, \quad (7)$$

其中, C 为光纤耦合系数, L 是耦合器耦合区的长度。

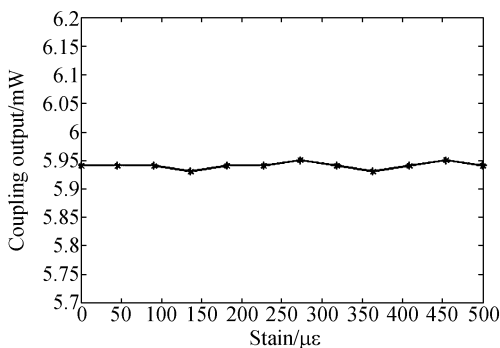
由式(7)可知,耦合器两输出端的输出功率之差与激振源的振动加速度成线性关系。因此,可以通过测量耦合器输出功率变化求出传感器加速度的值,实现对振动的测量。当振动频率较低时,由于振动传导在被测介质内的振动波长较长,振动对耦合区的折射率的变化影响并不明显,振动对耦合输出的影响主要表现为通过特定的外部结构使振动引起耦合区长度的改变,从而导致耦合输出的变化;而高频振动信号引起耦合输出的主要表现为振动引起耦合区折射率的变化,导致耦合系数发生变化。

根据光纤耦合振动传感器的工作原理,设计了由等强度悬臂梁、光源、单模光纤耦合传感器、压电振动传感器、光电转换、差动接收放大电路、滤波器和信号处理单元等部分组成的振动检测实验系统,如图 5 所示,图 5(a)中 V_1 和 V_2 分别为耦合器两个端口的解调输出电压,激光光源发出的光进入耦合型光纤振动传感器,传感器的两个输出臂发出的光通过光电二极管接收,然后对放大后的电信号,进行高频噪音信号滤波和 A/D 转换,进入计算机进行信号显示及分析处理。其中,对光电转换后的信号进行差动比较放大,目的是为了抵消光源输出功率的波动和外界噪声信号对测量结果的影响。系统光源采用 FP-LD 半导体



(a) 温度对输出耦合比的影响

(a) Effect of temperature on coupling ratio



(b) 横向应变对输出耦合比的影响

(b) Effect of transverse strain on coupling ratio

图 4 温度、横向应变对耦合器输出比的干扰影响
Fig. 4 Effects of temperature and transverse interference on coupling ratios

激光器,工作波长为 1 310 nm,输出光功率为 3 mW。放大电路前端采用 AP0917TP 光电二极管,响应时间为 0.3 ns,最大额定电流为 5 mA,用于保证测量转换电路的快速响应。A/D 转换模块采用研祥公司生产的 AD_LINK2205 型 A/D 转换卡,采样速率为 500 kHz/s,分辨率为 12 bit。测试前将梁的中部用酒精搽洗干净,用环氧树脂将光纤耦合传感器和压电振动传感器粘贴在横梁的纵向的表面上,粘贴时要保证它们在梁上的纵向位置相同,横向靠近且方向一致,避免因梁剪切应变引起的测量误差。压电振动传感器选择的是专门用于振动和加速度测量的 YJ9A 型传感器,测量频率为 1~10 kHz,测量加速度最大为 2 000 ms⁻²。通过该压电振动传感器和光纤耦合振动传感器探测感应同样的扰动信号,对比测试,分析它们的动态性能。

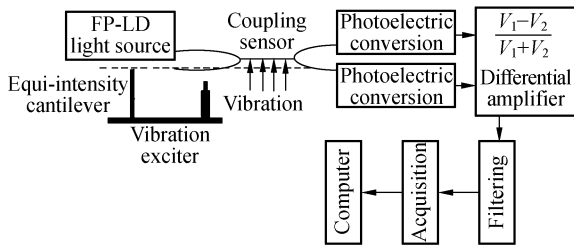
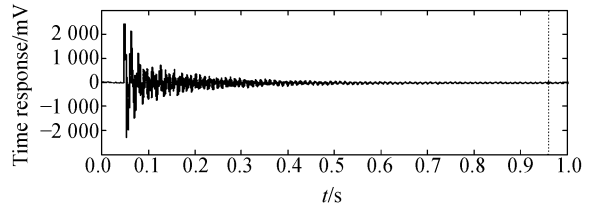


图 5 光纤耦合器振动测试实验系统结构

Fig. 5 Diagram of vibration test system for fiber coupler

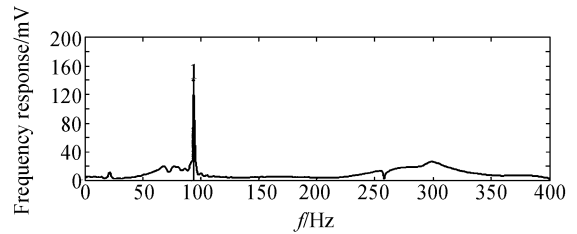
实验中,采用冲击激励来检验光纤耦合振动传感器和压电振动传感器在较宽频段上的响应特性,图 6 是单模光纤耦合器的时域(上图)和频域(下图)分布图。图 7 是压电传感器的时域(上图)和频域(下图)分布图。由此可知,二者都能够很好地测试、分离振动信号的时、频域波形,且频率响应基本一致。在同样的冲击激励下,光纤耦合振动传感器的最大幅值响应达到 2.6 V,比压电传感器 2.3 V 的响应高出 13%。耦合传感器响应快,灵敏度更高些,具有较高的阻尼比,振动响应的持续时间较短,信号收敛的较快。从它们的频域谱图中可以看出,压电传感器测出的悬臂梁的最大幅值响应频率为 92.7 Hz,稍低于耦合传感器测出的最大幅值响应频率 93.1 Hz,这是由于压电传感器自身的质量在测量中增加了悬臂梁的质量,使系统的响应频率发生偏移,而耦合传感器因其质量非常轻,在测量过程中对测量对象产

生的影响可以忽略不计,因而,所得到的悬臂梁的基频频率更接近于实际值。



(a)时域曲线

(a) Hammer response

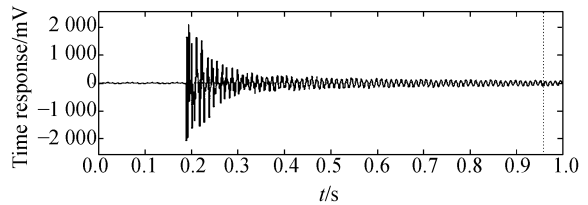


(b)频域曲线

(b) Frequency spectrum

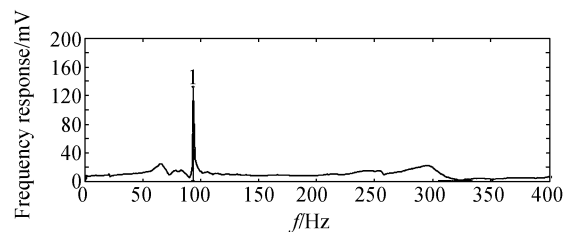
图 6 光纤耦合振动传感器的冲击响应时域和频域曲线

Fig. 6 Hammer response and frequency spectrum of fiber coupler



(a)时域曲线

(a) Hammer response



(b)频域曲线

(b) Frequency spectrum

图 7 压电振动传感器的冲击响应时域和频域曲线

Fig. 7 Hammer response and frequency spectrum of PZT vibration

利用信号发生器产生 0~50 Hz 的不同频率的正弦波,激励悬臂梁振动,验证了两传感器的低频响应特性。对每种频率下光纤耦合传感器的响

应幅值进行 5 次测量, 然后对测量结果取平均, 做出传感器在不同频率的响应, 其响应曲线如图 8 所示, 1~10 Hz 是低频耦合型光纤振动传感器的幅值平坦区, 10~30 Hz 是共振区, 30 Hz 以上是衰减区。系统在频率为 21.4 Hz 时, 其输出输入比为极大值, 传感器对输入信号响应的放大倍数约为 5.3 (由于阻尼的存在, 放大倍数不可能为无穷大)。

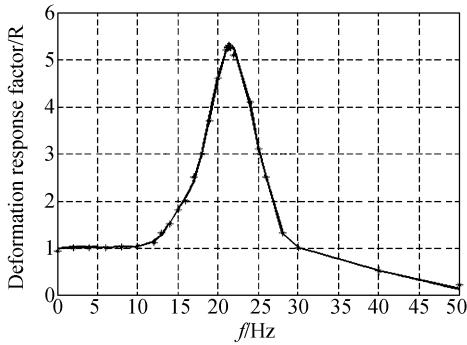
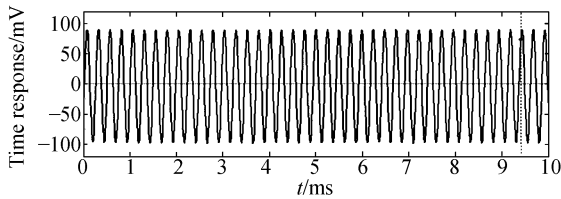


图 8 传感器响应系数与频率的关系

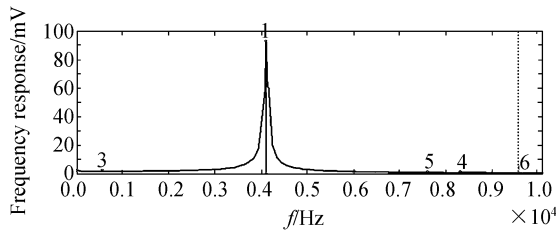
Fig. 8 Relation of sensor response and frequency

利用 PZT 压电陶瓷作为振动信号源, 信号发生器驱动 PZT 压电陶瓷产生振动, 产生 4 kHz 的周期高频信号, 验证两传感器的高频响应特性, 如图 9 和图 10 所示。两种传感器都能很好地复现原始信号, 调节压电陶瓷的驱动频率, 绘制传感



(a) 高频时域曲线

(a) High frequency time response

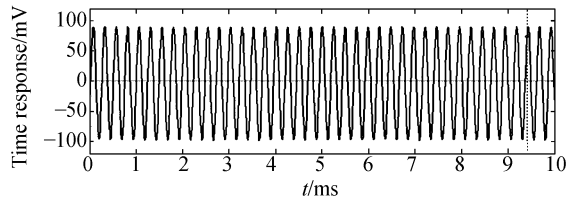


(b) 频域曲线

(b) Frequency spectral

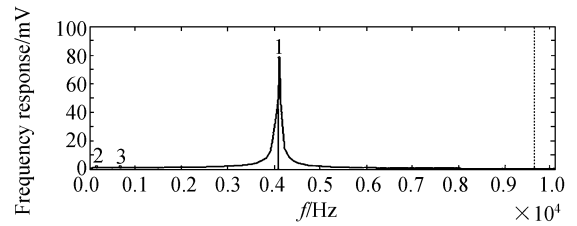
图 9 光纤耦合振动传感器的高频响应时域和频域曲线
Fig. 9 High frequency time response and frequency spectrum of fiber coupler

器随频率的响应曲线, 如图 11 所示。由此, 可看出光纤耦合型高频振动传感器的响应振幅高于压电传感器的振幅, 两种传感器对振动信号的响应基本一致, 耦合型光纤振动传感器和压电传感器相比具有较高的灵敏度和信噪比; 同时也可看出, 传感器系统对 8 kHz 以下的信号具有良好的频率响应性能, 这说明利用耦合型高频光纤振动传感器进行高频振动信号的测量是有效、可行的。



(a) 高频时域曲线

(a) High frequency time response



(b) 频域曲线

(b) Frequency spectral

图 10 压电振动传感器的高频响应时域和频域曲线
Fig. 10 High frequency time response and frequency spectrum of PZT vibration sensor

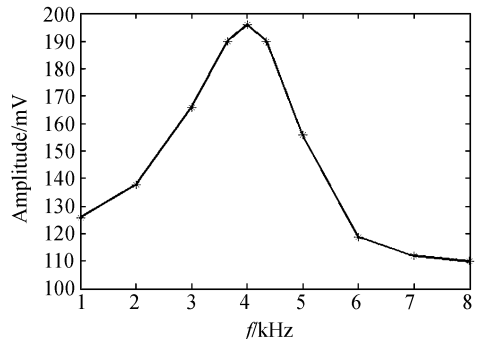


图 11 耦合型单模光纤振动传感器的高频响应

Fig. 11 High frequency response of coupling vibration sensor

5 结 论

本文分析了单模光纤耦合传感器的机理,根据耦合器的耦合输出是耦合区长度和耦合区折射率的特点,搭建耦合传感器的静、动态实验系统,对其应变特性和高、低频振动响应特性分别进行了研究。验证了这种传感器具有应力应变敏感特性,同时具有较好的温度稳定性和横向抗干扰性;证明了该传感器实现对 8 kHz 频率以下的振动

信号测量的可行性,而且与测量范围为 10 kHz 的压电传感器相比具有很高的灵敏度和横向抗干扰能力。实验也表明,由于耦合型传感器受制作工艺,外界干扰等影响,传感器耦合输出比的控制还主要在人工拉锥过程中通过观测光谱仪来实现,而对于耦合区的长度和截面形状还不能有效的控制,这样导致了不同的光纤传感器的物理性能相互差异较大,需要寻找行之有效的手段来保持光纤耦合器性能的一致性。

参考文献:

- [1] CHANG J, MA L, WU T, *et al.*. Fiber optic vibration sensor based on over-coupled fused coupler [C]. *International Society for Optical Engineering*, 2007;6595-142.
- [2] SHAKIR H S, STREIFER W. Coupled-mode equations for 2 weakly guiding single-mode fibers [J]. *Optics Letters*, 1986, 11(5):324-326.
- [3] HONG L F, GE CH F. The full wave optical fiber coupler of the fused tapered [J]. *Acta Physical Sinica*, 2003, 52(2):390-394.
- [4] 王浩,常军,王青圃,等.基于过度耦合融熔双锥耦合技术的光纤振动传感器[J].*光电子·激光*, 2008, 19(5):573-576.
- WANG H, CHANG J, WANG Q P, *et al.*. Fiber optic vibration sensor based on over-coupled fused coupler [J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2008, 19(5):573-576. (in Chinese)
- [5] CHAN H M, ALHASSEN H R. A compact all-fiber LPG-AOTF frequency shifter on single-mode fiber and its application to vibration measurement [J]. *Photonics Technology Letters*, 2008, 20(9):1572-1574.
- [6] ZHANG Z Y, BAO X Y. Continuous and damped vibration detection based on fiber diversity detection sensor by rayleigh backscattering [J]. *Lightwave Technology*, 2008, 26(4):832-838.
- [7] THUC P V, LEE J. Concept and model of a piezoelectric structural fiber for multifunctional composites [J]. *Composite Structures*, 2008, 84(1):11-20.
- [8] 鲁怀伟,章宝歌,李敏芝,等.基于双耦合器的平坦型全光纤波长交错滤波器[J].*光学精密工程*, 2006, 14(2):145-150.
- LU H W, ZHANG B G, LI M ZH, *et al.*. All-fiber flat-top interleaver based on double single mode couplers [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(2):145-150. (in Chinese)
- [9] SODANO H A, PARK C, INMAN D J. An investigation into the performance of macro-fiber composites for sensing and structural vibration applications [J]. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2004, 18(3):683-697.
- [10] 印勇,谭勇,田逢春.基于单模光纤耦合器的 Haar 小波滤波器系数的实现[J].*光学精密工程*, 2007, 15(3):417-421.
- YIN Y, TAN Y, TIAN F CH. Implementation of coefficient of Haar wavelet filter by single-mode-fiber coupler [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(3):417-421. (in Chinese)
- [11] 金远强,刘丽华,马惠萍,等.用于高速转轴径向振动检测的光纤传感技术[J].*光学精密工程*, 2007, 15(1):95-99.
- JIN Y Q, LIU L H, MA H P, *et al.*. Fiber sensor used in detecting radial vibration of high rotating speed shaft [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(1):95-99. (in Chinese)
- [12] CHEN R, FERNANDO G F, BUTLER T, *et*

al.. A novel ultrasound fibre optic sensor based on a fused tapered optical fibre coupler [J]. *Measurement Science and Technology*, 2004, 15 (8):1490-1495.

- [13] 刘景琳,段吉安,苗健宇,等. 熔融拉锥型光纤耦合器实验研究[J]. 中南大学学报, 2006, 37(1):103-

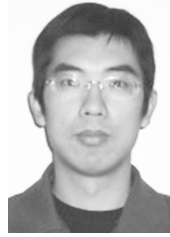
107.

LIU J L, DUAN J A, MIAO J Y, *et al.*. Experimental study on fused tapered optical fibre coupler [J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2006, 37 (1): 103-107. (in Chinese)

作者简介:



蒋 奇(1973—),男,博士后,副教授,2003 年于天津大学获得工学博士学位,主要从事动态测控与故障诊断、新型传感技术、光电检测方面的研究。E-mail:jiangqi@sdu.edu.cn



马 宾(1973—),男,博士研究生,主要从事检测技术与自动化装置方面的研究。E-mail:jiangqi@sdu.edu.cn



隋青美(1963—),女,教授,博士生导师,2001 年于天津大学获博士学位,主要从事新型检测技术及自动化装置方面的研究。E-mail: qmsui@sdu.edu.cn

● 下期预告

SiC 反射镜表面改性对 TMC 光学系统信噪比的影响

陈 红¹,王彤彤¹,高劲松¹,巩 盾^{1,2},
王笑夷¹,郑宣鸣¹,申振峰^{1,2},张忠玉¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 中国科学院光学系统先进制造技术重点实验室,吉林 长春 130033;2. 中国科学院 研究生院,北京 100049)

为了消除 SiC(Silicon Carbide;碳化硅)反射镜的固有缺陷,提高反射式光学系统的信噪比,使用 SiC 表面改性技术对 TMC(Three Mirror Coaxis;同轴三反射)光学系统的 SiC 反射镜进行了处理。首先,应用 PIAD(Plasma Ion Assisted Deposition;等离子辅助沉积)技术沉积了一层 Si 改性层,接着对改性层进行精密抛光,然后在反射镜表面镀制银膜和增强膜,最后获得了表面改性对 TMC 光学系统信噪比的影响。Wyko 轮廓仪测试表明 SiC 反射镜的粗糙度由 10.42 nm(Ra)降低到了 0.95 nm(Ra);镀制高反射膜后,主镜、次镜、三镜及折叠镜在 0.5~0.8 μm 的可见光波段反射率>98%;计算的结果表明应用了表面改性技术后 TMC 反射式光学系统的信噪比提高了 5%以上。说明 SiC 表面改性技术是一种提高 TMC 光学系统信噪比的有效方法。