

光电子器件封装中微位移传感器的设计与仿真*

牛俊泽 阳波 庄翠芳 聂义

(湖南师范大学物理与信息科学学院 长沙 410081)

摘要: 在光电子器件封装中,光纤组件和阵列波导芯片之间微小位移的检测对封装效率有很大的影响。分析了目前光电子封装存在的问题,并对几种位移测量方法进行了比较,提出了基于电阻应变式一维位移传感器结构。首先,对位移传感器结构进行了理论上的分析,得到了微位移与应变的关系式;然后,采用 ANSYS 有限元分析软件对传感器的结构的进行仿真分析,得到位移与应变之间的仿真值;最后,把理论上的分析值与仿真得到的结果进行比较分析。结果表明,新型传感器能够检测微米级位移,通过优化弹性薄片的结构和改变施力点的位置,可以有效的提高传感器的灵敏度。

关键词: 光电子器件;传感器;ANSYS 有限元分析;微位移

中图分类号: TP212.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4020

Design and simulation of optoelectronic devices package micro-displacement sensor

Niu Junze Yang Bo Zhuang Cuifang Nie Yi

(College of Physics and Information Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: In the optoelectronic device package, small displacement detection has a great influence on the packaging efficiency between the optical fiber array waveguide components and chips. It analyzes the existing problems optoelectronic packaging, and several displacement measurement methods are compared, proposed a one-dimensional displacement resistance strain sensor structure. First, this thesis conclude the equation of micro-displacement and strain using methodology of analyzing the structure of sensor. Then, in this paper demonstrate the process of simulating micro-displacement and strain of sensor, using ANSYS as simulation tool. Finally, the results of theoretical analysis and simulation values obtained were compared. The simulation shows that the novel sensor is capable of detecting micron displacement and has high sensitivity. And bettering the structure of the Elastic slice and adjusting the action spots are viable and valid methods to enhance the sensitivity of sensor.

Keywords: optoelectronic devices; sensor; ANSYS; micro displacement

1 引言

集成光电子技术是光纤通信的基础,其显著提高了光信息处理速度和容量,是支撑下一代光纤通信快速发展的关键器件^[1]。而光电子封装是制约光电子器件发展应用的一个瓶颈^[2-3],目前的封装方法主要是采用机器视觉进行观测,并估算出相对间隙,这种方法存在以下两个问题:1)因为光学本身的原因,视觉系统本身的分辨率低,精度不够;2)视觉系统检测属于间接性的测量,无法实时的完成分析检测。

因此,研究耦合界面接触时产生的微位移,对于光电子

封装的效率具有重要意义,一方面可以提高了耦合封装时端面的对准精度;另一方面也可以与运动构成闭环控制,对于提高光电子封装的性能和后续封装速度具有促进作用。

可见,在光电子器件中对微位移的检测是至关重要,为了更好地实现微位移测量的实际需要,近年来也发展出了各种类型的位移传感器,比如电容位移传感器^[4],具有结构简单,分辨率高、动态反应快等特点,但是其存在寄生和分布电容、存在非线性误差等影响测量精度;电感位移传感器^[5],具有灵敏度高、测量范围广、抗干扰能力强等优点,但是其频率响应低,制作成本相对较高;光电式位移传感器^[7-8],测量精度高、工作较稳定,但是其设计的技术难度比

收稿日期:2015-12

* 基金项目:湖南省自然科学基金(2015JJ203)资助项目

较大,成本较高。而对于电阻应变式位移传感器^[6]来说,其具有较高的灵敏度、结构简单、线性度好、工作稳定,而且设计成本较低等优点。

结合光电子器件封装特点以及存在的问题,最终采用了电阻应变片位移传感器来对阵列光纤与波导芯片之间的位移进行检测,其测量基本原理是利用应变片响应的应变与位移一一对应关系,来进行标定实现其测量。

2 光电子封装的基本原理

光电子封装是将输入阵列光纤、波导功能芯片和输出阵列光纤实现模场匹配的对准耦合,并采用胶固化技术或爆接技术将各个模块精确固化,获得器件完整功能的生产过程,封装结构如图1所示。



图1 光电子器件封装过程

阵列光纤与波导芯片之间的耦合对准是封装过程中的关键,两者耦合间距非常小,仅为十几微米,填充的UV胶量约为几十纳升。如果耦合距离过大,会导致胶量过多进而引起耦合损耗增加,反之,耦合距离过小会导致UV胶量过少固化的强度不足,影响光电子器件的稳定性。由于耦合界面间的距离调整往往是依靠人的眼睛在显微镜下主观性的判断,偶然性较大,并且数据无法量化,调整难度大。因此,为了更好地测算出两者之间的间距,设计了一种一维微位移传感器结构,如图1安装所示,在A、B处安装传感器,在A处的传感器可以检测到波导芯片与输入阵列光纤之间的力以及微位移,同理在B处的传感器也能检测到波导芯片与阵列光纤的力以及微位移。通过传感器测量的优点体现为:一方面可以对间距进行量化,另一方面也可以实现时时检测,真正实现波导芯片与阵列光纤的间距可控。

为了测量耦合界面接触压力以及微位移,可以在阵列光纤夹具上安装传感器,传统的传感器结构如图2所示。



图2 悬臂梁结构传感器

电阻应变式传感器是一种利用电阻应变效应将应变转化为电阻变化的传感器^[9]。在对传感器施加外力作用时,产生微小机械变形,应变片随着被测对象发生变化而变化,此刻应变片电阻值也发生相应改变,当测得应变片电阻值改变量为 ΔR 时,知道其灵敏系数便可知被测对象的应变值^[10]:

$$\frac{dL}{L} = \epsilon \frac{\Delta R}{R} = K\epsilon \quad (1)$$

式中: R 为电阻值(Ω); K 为灵敏系数; ϵ 为金属丝材料的应变值; L 为金属丝的长度(m); dL 为伸长量(m)。

传统传感器是一种结构简单、应变片容易黏贴的位移传感器。但在测位移时,在传感器的末端作用点上施加一个作用力 F 时,会在末端产生一个很大的位移,在测量微小位移情况下,这个结构效果不是很好,为了能够提高传感器测量灵敏度,所以必须进行结构上的改进。在悬臂梁传感器的基础上进行部分优化,在悬臂梁中心处开一圆形孔,通过仿真测量计算,总体效果并不是有明显的改善。因此,为了更好地实现对微小位移的检测,提出了一种新型传感器结构。

3 新型传感器结构的设计与分析

通过增加应变片的值,提高传感器的灵敏度,设计了一种新型传感器结构如图3所示,在矩形截面梁上开两端不对称的槽,在靠近施力点一端开上下对称槽,作用近似为一固定轴;在另一端设计为一薄片,为应变值最大处。在作用点施加作用力 F 时,使得薄片处应变最大,此处上表面受压应力,下表面受拉应力,所以在其上表面和下表面各贴一个应变片A和B,当应变梁发生形变,使得应变梁上A、B应变片电阻发生变化,桥式电路电桥平衡被打破,转化为电压信号。

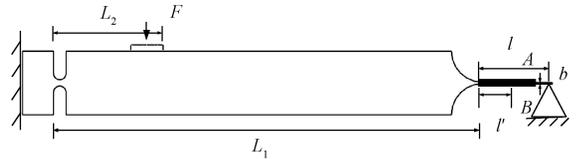


图3 新型传感器结构

在图2所示的结构中,“U”型槽薄且间距短,在微小力的作用下,其位移量较小,因此在理论分析中忽略其位移变化,将其近似成一固定轴;水平刚性体相对于“U”型槽厚度及弹性体薄片较厚,相对形变较小,近似看作刚性体;弹性薄片很薄,且水平刚性体发生形变小,因此在分析受力过程中可以忽略弹性薄片对应变的影响。

假设固定轴距离右侧薄板距离为 L_1 ,施力点最大位移处距离为 L_2 ,作用力为 F_1 ,最大应变处力大小为 F_2 , Δs 为最大位移量, Δy 为施力点最大位移量:

$$\Delta y = \frac{L_2}{L_1} \cdot \Delta s \quad (2)$$

b 为薄的弹性片宽度, h 为厚度, l 为长度, E 为弹性模量,则最大位移变化量为公式:

$$\Delta s = \frac{4F_2 l^3}{bh^3 E} \quad (3)$$

薄弹性片的支撑力约为 F_3 ,方向与最大应变处力 F_2 大小相等方向相反, l' 为应变片中心点到最大位移处距离,最大

贴应变片处应变公式^[6]：

$$\epsilon = \frac{6F_3(l-l')}{bh^2E} \quad (4)$$

由式(2)~(4)得式(5)：

$$\Delta y = \frac{L_2}{L_1} \cdot \frac{2l^3\epsilon}{3(l-l')h} \quad (5)$$

4 弹性体有限元仿真分析

由于实验可以布置的测点数量有限,而仿真可以得到整个结构的力学参数,故通过仿真替代实验对理论公式关于实际结构的适用性进行分析^[11]。采用 ANSYS 有限元软件对弹性体整体结构进行有限元静态分析,在应变分析求取方面具有高度可信的仿真结果。

传感器设计为 85 mm×10 mm×10.2 mm 长方体结构,施力面小圆柱凸起 $R_1=2.5$ mm,高度为 1 mm;靠近施力面上下对称“U”型槽,切除的结构构成:长方体长宽高 2 mm×10 mm×3.6 mm,半圆 $R_1=1$ mm,离左侧固定端 5 mm,剩余辅助弹性体厚度为 1 mm;右边部分结构构成:上下四分之一半圆,半径均为 5 mm,薄弹性体长宽厚 6 mm×10 mm×0.2 mm。

通过 ANSYS 有限元软件可以确定其结构应变变量,同时对施力点位移变化情况进行分析,并对应变片进行精确定位贴片,更能直观地找出弹性体结构中最敏感部位。

4.1 网格划分

本弹性体结构采用硬铝合金材料,硬铝合金的弹性模量为 72 GPa,泊松比为 0.33。在 ANSYS 建模将实体模型转换为有限元分析模型时需要划分网格。在对弹性体结构进行网格划分时,单元类型选用 SOLID95 高精度实体单元,并采用智能网络划分控制,选择划分精度后由 ANSYS 自动划分后,对贴应变片处的敏感部位再进行精确划分。

4.2 仿真计算

弹性体是梁式结构,在对弹性体进行施力仿真前,需对弹性体左侧施加面 X、Y、Z 轴上施加约束力,右侧施加面 Y 轴上施加约束力,在施力位置点施加集中载荷力 F 。通过求解,可得到弹性体整体变形状况以及最敏感处的应变,通过应力、应变以及位移等值线或曲线图^[12],就可以了解应力、应变以及整体位移的分布情况。

由于应变片敏感栅具有一定的区域,不同长度、宽度处的应变值不同,因此不能使用一条在线的应变值代表整片应变片的变形量^[10],所以采用均值法求得应变。设计选用半导体应变片的敏感栅长为 5 mm,宽 0.32 mm。因此,采用路径映射将应变值映射到选定的一条路径上,即敏感栅左右边界处,每一条路径化分 50 个节点,即将 5 mm 均分 50 等份,标示每一节点上的应变为 ϵ_i ,则求得一条直线上的平均应变变化值 $\bar{\epsilon}_n$,把宽度 0.32 mm 均分为十条直线,每条直线上的应变为 $\bar{\epsilon}_n$,通过对 10 条直线上的平均应变值求解,便可得所求应变值。

4.3 传感器的有限元分析

在光电子器件封装过程中,波导芯片与阵列光纤之间接触力比较小,为了实现其在同等力情况下,传感器弹性薄片应变最大,因此在整个仿真实验中设定其厚度为 0.2 mm。

在施力点 A 处施加力 F 时,传感器 X 轴应变仿真云图如图 4 所示,仿真应变最大值集中在弹性薄片上,与分析结果相一致。

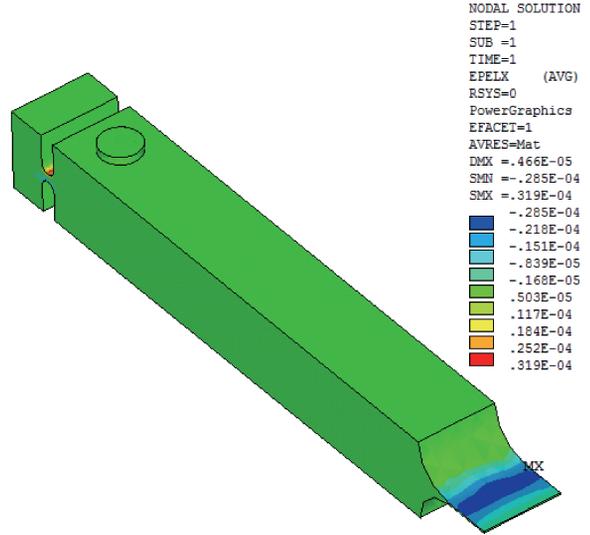


图 4 X 轴向应变

为了更好地验证传感器的性能,在传感器的施力点施加 1~10 N 的垂直力,通过上述数据处理方法,得到在 X 轴上应变集中处的应变变量,以及在施力点上的 Z 轴位移变化量,数据处理结果如表 1 所示。

表 1 新型传感器位移应变对照表

力 F/N	位移 $s/10^{-6}$ m	应变 $\epsilon/10^{-6}$
0	0.000	0.000
1	0.60	19.52
2	1.22	39.04
3	1.83	58.56
4	2.44	78.08
5	3.01	97.61
6	3.65	117.13
7	4.26	136.65
8	4.87	156.17
9	5.481	175.69
10	6.090	195.21

为与此结构比较,悬臂梁传感器结构长宽高均取相同

值,改进型传感器圆孔处于传感器中心,半径为5 mm。根据上述数据处理方法,可得X轴应变量和Z轴位移量。

从图5中可以看出,在施力点产生同样的位移时,设计的新型传感器中应变量明显高于传统型悬臂梁传感器和改进型传感器,灵敏度更高。

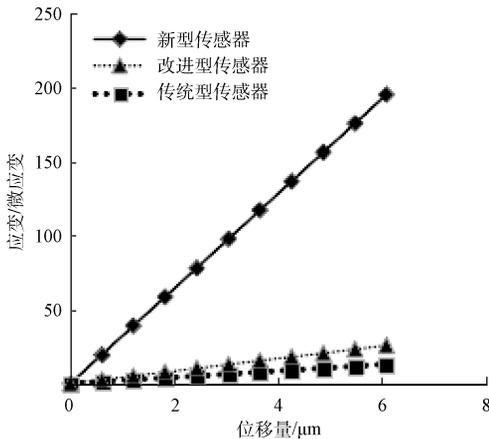


图5 3种传感器结构应变与位移量的X-Y曲线

为检验弹性薄片长度 l 、U型槽到施力点的距离 L_2 与均值应变与施力点最大位移的比值之间的关系,通过上述ANSYS有限元分析方法以及数据处理方法进行逐一实验验证。根据绝对误差的定义为测量的实际值与被测量的理想真值之差,相对误差的定义为绝对误差与被测量的真值之比^[13]。

弹性薄片长度 l 是变量时,假设 $l=6$ mm为起始点每次增加0.5 mm,通过理论计算以及ANSYS有限元分析实测均值应变与施力点最大位移的比值之间的关系,如表2所示。

表2 l 变化均应变与位移比值输出结果

l 变化量	理论值	仿真值	相对误差(100%)
0	35.30	32.05	9.21
0.5	31.74	30.82	2.88
1	28.59	27.72	3.02
1.5	25.83	26.16	-1.29
2	23.41	22.85	2.40
2.5	21.29	21.86	-2.70
3	19.43	19.99	-2.89
3.5	17.79	17.49	1.72

施力点位移 L_2 是变量时,假设 $L_2=7$ mm处为起始点每次增加0.5 mm,通过理论计算以及ANSYS有限元分析实测均值应变与施力点最大位移的比值之间的关系,得到如表3所示。

表3 L_2 变化均应变与位移比值输出结果

L_2 变化量	理论值	仿真值	相对误差(100%)
0	47.92	43.42	9.38
0.5	44.72	40.76	8.86
1	41.93	38.19	8.90
1.5	39.46	35.39	10.32
2	37.27	33.62	9.80
2.5	35.31	32.05	9.21
3	33.54	30.14	10.14
3.5	31.94	28.79	9.87

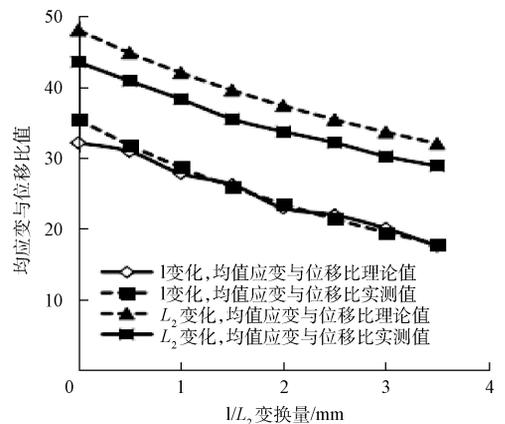


图6 l/L_2 均应变与位移比值曲线

通过ANSYS仿真实验得到表1的结果,从中可以看出,当其他条件不变时,弹性薄片长度 l 越长,弹性片上的均应变与施力点的最大位移比值越小,与理论分析结果相一致。除在 $l=6$ mm时误差较大外,其他值时误差较小,也说明在理论推导条件下, l 越短弹性薄片在整个结构的影响因素就越大。

通过ANSYS仿真实验得到表2的结果,从中可以看出,当其他条件不变时,施力点位移 L_2 越长,弹性片上的均应变与施力点的最大位移比值越小,与理论分析结果相一致。由于测量的实际结果与理论值之间的误差值一致,因此可以通过软件的方式减少相对误差值。

5 结论

设计了一种新型的传感器结构,通过优化传感器弹性元件参数可以有效地提高传感器的灵敏度,与传统的位移传感器相比,此传感器适合于微位移的测量需求。

参考文献

- [1] 阳波. 阵列波导器件的模场耦合与对准方法研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
- [2] YANG B, DUAN J A, XIE ZH, et al. Wavelength dependent loss of splice of single-mode fibers[J]. Journal of Central South University of Technology

- 2013, 20(7):1832-1837.
- [3] 徐洲龙. 阵列波导器件封装固结特性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [4] 张宇鹏, 徐钰蕾, 王昱棠. 高精度电容式角位移传感器测量方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(6):147-150.
- [5] 刘卫玲, 姚世选, 段晋军, 等. 基于电磁谐振的电感式位移传感器的频率分析[J]. 电子测量技术, 2012, 35(8):82-85.
- [6] 张建伟, 李正宇, 李青. 应变片测量直线发电机活塞位移的疲劳分析[J]. 电子测量技术, 2012, 35(11): 100-103.
- [7] 马春庭, 谭业双, 李江波, 等. 基于 LVDT 传感器的测径仪研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(10): 72-75.
- [8] 刘阳, 吴宏圣, 杨帆. 增量位移集成光电传感器设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(10): 992-997.
- [9] 葛川, 李朋志, 徐立松, 等. 电阻应变式位移传感器电路设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2015, 43(6): 58-61.
- [10] 吴强, 俞志伟. 一种小型电阻应变式三维力传感器的仿真设计[J]. 中国机械工程, 2011, 22(11): 1289-1293.
- [11] 刘万龙, 梁国柱. 半圆弧形弹性元件力学特性及灵敏系数研究[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(10): 2241-2248.
- [12] 俞志伟, 官俊, 吴强, 等. 小型三维力传感器的设计和解耦测试研究[J]. 传感技术学报, 2012, 25(1): 38-43.
- [13] 潘峰, 孙卫明, 赵伟, 等. 数字化电能计量中数值积分算法的误差分析[J]. 电测与仪表, 2012, 49(6): 23-28.

作者简介

牛俊泽, 硕士研究生, 主要研究方向为传感器设计及微弱信号检测与处理。

阳波, 工学博士, 副教授, 硕士生导师。主要研究方向信息器件、生物传感器。

E-mail: 312820574@qq.com

Pickering 公司将携最新 PXI 开关与程控电阻模块亮相 PXI Show 活动西安站和武汉站

英国 Pickering 公司携最新 PXI 开关与程控电阻模块亮相 PXI Show 中国, PXI Show 2016 中国活动于 8 月 11 日在西安、8 月 16 日在武汉两地分别举行。

本次展示产品包括 Pickering 公司 PXI 通用继电器模块、可编程电阻模块、射频与微波开关模块等。

PXI 射频多路复用开关模块(40-882) 系列 50Ω SP4T 6GHz 多路复用开关模块, 有单槽单组, 2 槽 2 组, 以及 3 槽 3 或 4 组, 共 4 种产品。这些产品在工作频率范围内具有较低的 VSWR 和稳定的插入损耗, 非常适合需要快速且频繁操作射频开关的 ATE 系统。

PXI 应变片仿真模块(40-265) — 该系列产品可仿真一系列应变片的操作特性, 从而让应变片测试及更广泛的工业控制系统测试更为理想。该系列产品也是我们目前在不断壮大的程控电阻解决方案中的重要部分。

PXI 高密度高精度程控电阻模块(40-297) — 该系列程控电阻模块包含多款不同阻值范围和阻值分辨率的产品。阻值分辨率从 0.125~2 Ω, 单个模块电阻通道数量从 3 到 18, 阻值准确度 0.2%±分辨率。该系列产品特别适

合用于高精度仿真电阻输出的传感器。

大规模 PXI 矩阵与多路复用开关 BRIC 系列 — 采用高密度封装以及集成化背板, 确保此类高密度矩阵在应用中无需用户对其进行扩展设计, 并避免了应用外部用于矩阵扩展的电缆。矩阵内部采用直插式继电器, 使用普通的维修工具即可快速维修, 减少停机时间。BRIC 的高集成设计大幅提高了矩阵的性能, 具有更高的信号带宽, 并减少系统安装故障几率。

Pickering 公司全部的 PXI 模块产品可用于任何符合 PXI 规范的 PXI 机箱中, 也适用于带有 PXI 插槽的 PXIe 机箱。同时, 还可以用于 Pickering 公司的 LXI 模块化机箱, 从而为更习惯通过以太网接口控制模块的客户提便利。

另一大亮点为: Pickering 公司最新的开关系统针对工具包 eBIRST, 该工具包专门针对 Pickering 公司的 PXI、PCI 和 LXI 产品设计, 拥有该工具包可最大程度的简化开关系统故障定位、快速检测开关系统并以图形的方式显示识别的故障继电器。