

doi:10.3788/gzxb20134203.0311

适用于色敏解调的光位移传感器宽带 LED

王东辉, 刘林, 张超, 包艳, 郭昕

(中航工业西安飞行自动控制研究所, 西安 710065)

摘 要: 为保证光位移传感器的工作性能, 输入光源在 500~800 nm 波长范围内需具有较高的光谱能量, 照明用 LED 波长在 700 nm 以上光谱能量陡降, 限制了传感器的工作范围. 针对照明用 LED 光谱能量不足的问题, 研制出适用于色敏解调光位移传感器的宽带 LED 光源. 首先利用单色仪对光位移传感器色敏元件 WS7.56 的性能进行了测试, 依据色敏解调结果提出了光位移传感器正常工作所需的输入光源的光谱能量阈值. 在照明用 LED 光谱特性基础上, 配比掺杂氮氧化物红色荧光粉提升 LED 红光及近红外光光谱能量, 得到了满足输入光源光谱能量阈值的宽带 LED. 最后, 对该宽带 LED 光位移传感器进行了位移测量实验, 实验结果较使用照明用 LED 光源有明显改善, 位移解调线性度良好. 本文研制的宽带 LED 光源体积小、效率高, 是光位移传感器较为理想的宽带光源.

关键词: 光位移传感器; 光谱能量; 宽带 LED; 红色荧光粉

中图分类号: V242.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2013)03-0311-4

Broadband LED for Optical Displacement Sensor with Wavelength Sensitive Detector

WANG Dong-hui, LIU Lin, ZHANG Chao, BAO Yan, GUO Xin, WU Sheng-li

(Flight Automatic Control Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: A broadband light source with high spectrum intensity in 500~800 nm is required to ensure a good performance in optical displacement sensor. Considering the lighting LED's low spectrum intensity after 700 nm, a broadband LED source was developed for optical displacement sensor. Firstly, tests on wavelength sensitive detector WS 7.56 fixed at the back end of optical displacement sensor were performed and the threshold of the light source spectrum intensity to ensure the linearity of optical displacement sensor was proposed. Then, by using (oxy) nitride red phosphors to enhance the LED spectrum intensity of red light to infrared, the broadband LED source was developed to satisfy the threshold of the light source spectrum intensity. Finally, a good performance of the broadband LED was proved by displacement sensing experiments. The broadband LED source is comparatively a perfect light source which can satisfy the needs of optical displacement sensor and have superiority in size and efficiency.

Key words: Optical displacement sensor; Spectrum intensity; Broadband LED; Red phosphors

0 引言

光位移传感器 (Optical Displacement Sensor, ODS) 是一种以光栅衍射理论为基础的新型衍射型位移测量器件, 具有抗电磁干扰、防腐蚀、准确度高等特点, 是未来光传飞控系统的研究热点之一^[1-3].

ODS 由宽带光源、传感器本体和色敏解调元件三部分构成^[4-6], 其中色敏解调元件 WS7.56 将窄带光波长转化为电压输出, 其解调准确度受入射光强影响, 直接影响光位移传感器性能.

功率型照明 LED 是未来照明光源发展的主要方向, 具有小型化、高效率、长寿命等优势, 能够满足

基金项目: 总装基金资助项目 (No. 61901120106) 和中航工业创新基金 (No. 2009D61864) 资助

第一作者: 王东辉 (1969-), 男, 研究员, 博士, 主要研究方向为航空微特电机及光位移传感器技术. Email: cem@facri.com

通讯作者: 张超 (1983-), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向为航空光位移传感器技术. Email: 181710160@qq.com

收稿日期: 2012-08-22; **录用日期:** 2012-09-26

ODS光源的发展要求^[7-10],但由于红光波段光谱能量不足影响了色敏解调准确度,从而限制了其在ODS中的应用.本文通过相关实验分析,提出了保证色敏元件WS7.56线性解调的光源光谱能量阈值.通过在LED封装中掺入氮氧化物红色荧光粉提升LED在红光及近红外光波段的光谱能量以满足ODS光源光谱能量阈值,实现LED在ODS中的应用.

1 光位移传感器原理

ODS原理如图1所示.宽带光经Y型光纤的一端进入传感器,在传感器内部以恒定的衍射角 θ 射向线性变栅距光栅,光栅窄带衍射光按原路返回并由波长解调器件接收.设 x 为位移量,且栅距 $d(x)$ 随 x 线性变化,由于衍射角 θ 恒定,根据光栅方程 $2d(x)\sin\theta=\lambda(x)$ 可知,输出衍射光波长 $\lambda(x)$ 与位移量 x 保持线性对应关系.

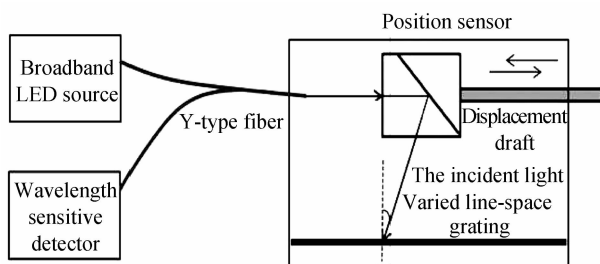


图1 光位移传感器结构
Fig.1 The structure of ODS

2 实验与分析

2.1 色敏元件光强阈值测量

色敏元件WS7.56工作范围为480~960 nm,可将窄带光中心波长线性解调为电压输出,输出电压范围约为+4至-8 V.受入射窄带衍射光强影响,当传感器输出的窄带衍射光偏弱时该器件解调线性度变差,严重影响光位移传感器解调准确度.通过对色敏器件线性工作的光谱能量进行测量可以指导光源的选择,保证光位移传感器的准确度.测量采用单色仪和数字光谱仪进行.

单色仪输出光的半高宽约为10 nm左右,以10 nm为步进间隔,在600 nm至960 nm内对单色光进行测量.图2为色敏解调元件WS7.56最终测得的波长电压解调曲线.

根据图2曲线,利用数字光谱仪对波长解调线性度较差的620 nm、线性度有所改善的810 nm和线性度较好的950 nm三点进行了光谱测量,图3为测量光谱.

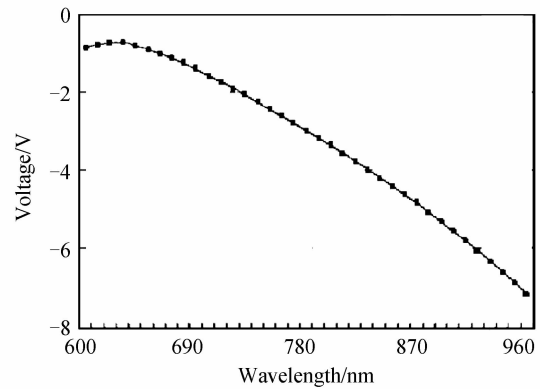


图2 单色仪弱光下WS7.56波长电压曲线
Fig.2 The wavelength-voltage curve of WS7.56 under low level homochromy light

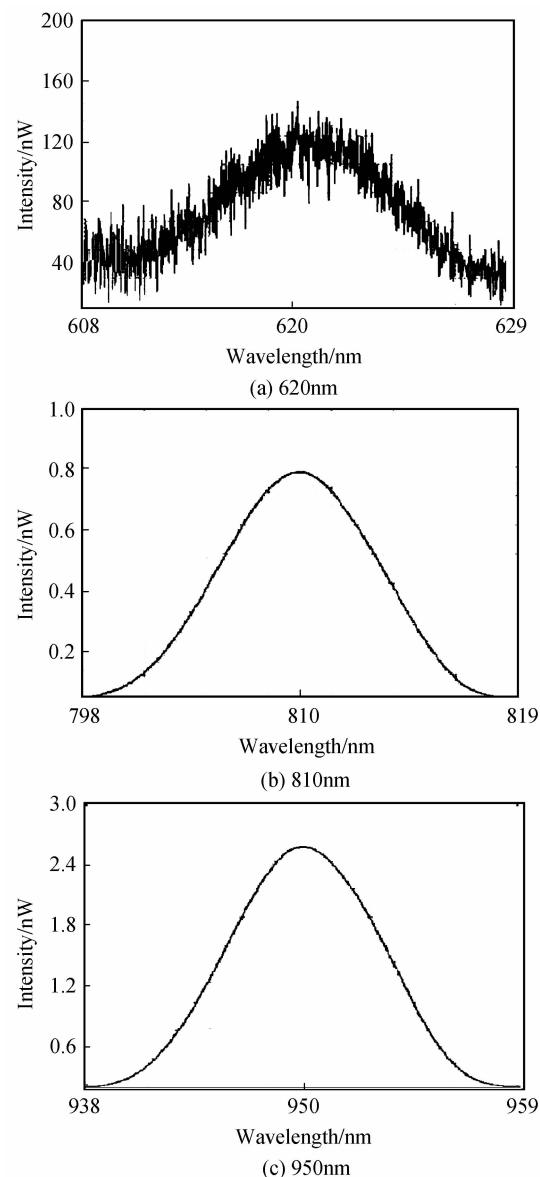


图3 单色仪620 nm、810 nm、950 nm处输出光谱能量分布
Fig.3 The spectrum of 620 nm, 810 nm, 950 nm homochromy light

测量结果表明,单色光光谱能量峰值在620 nm、

810 nm 和 950 nm 处分别为 0.12 nW/nm、0.8 nW/nm 和 2.5 nW/nm。因此可以得出:随着窄带入射光光谱能量的增强,色敏元件解调线性度逐渐变好。当色敏解调端接收的窄带光光谱能量大于 1 nW/nm 左右时,波长解调性能良好,因此 1 nW/nm 可视为色敏元件的解调阈值。

2.2 光源光谱能量阈值计算

依据色敏元件 WS7.56 的解调阈值,结合传感器的衍射效率,可以确定维持 WS7.56 光位移传感器正常工作的输入光源光谱能量阈值。当采用色敏元件对衍射效率约为 35% 的光位移传感器进行解调时,为了保证 1 nW/nm 的解调阈值,其输入光源光谱能量阈值可反算得到约为 3 nW/nm。

因此,对于不同衍射效率的 ODS,在使用色敏元件进行解调时,均可由 1 nW/nm 的解调阈值结合 ODS 衍射效率得到输入光源的光谱能量阈值,可对 ODS 的输入光源的适用性进行评价。

2.3 宽带 LED 光源研究

照明用 LED 是近几年发展迅速的新型光源,具有体积小、效率高、寿命长、无污染等多项优势,符合光位移传感器的发展需求。目前照明行业 LED 一般采用 InGaN 蓝光 LED 芯片激发 YAG:Ce 黄色荧光粉实现商品化,由于照明 LED 是为适应人眼视觉需求而优化设计的,其红光光谱在 700 nm 后光谱能量迅速下降,使得照明 LED 在该长波段不能为光位移传感器提供足够的光强,从而影响了传感器性能。

为了将 LED 光源应用于光位移传感器,在功率型 1W 的 LED 光源封装过程中,采用一定比例的红色荧光粉掺入黄色荧光粉的方式,提升红光光谱能量,以满足光位移传感器在长波段工作范围的光源能量要求。其中,红色荧光粉为氮氧化物体系荧光粉,峰值波长为 (650 ± 1) nm,掺入量相对于总量为 10%~30%。整个功率型 LED 采用倒装焊结构,具有较高的光效,工作电流为 350 mA。LED 封装后的样品规格见表 1。

表 1 宽带 LED 样品规格参量

Table 1 The parameter of broadband LED samples

No.	Luminous flux/lm	Radiation efficiency / (lm · W ⁻¹)	Color temperature/K
1	87.056	78.51	3 656
2	86.613	78.49	3 431
3	87.816	80.3	3 653

利用数字光谱仪对 1 号宽带 LED 样本及普通照明 LED 进行了对比测量,光谱测量范围为 600 nm 至 800 nm。LED 与光纤采用直接耦合方式,得到光谱能量分布如图 4。

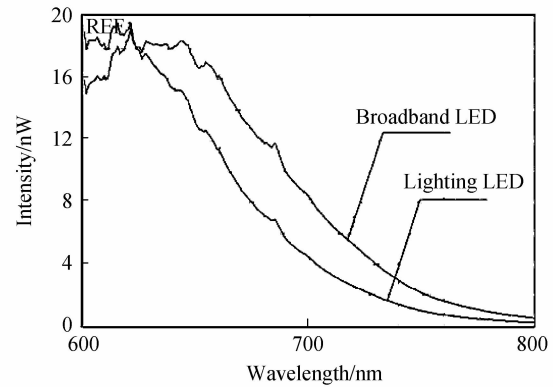


图 4 照明 LED 与宽带 LED 光谱

Fig. 4 The spectrum of the lighting LED and the broadband LED

图 4 光谱分布表明,受红色荧光粉性能的影响,宽带 LED 光源较普通照明 LED 光源光谱红移效果明显。普通照明用 LED 光源在 720 nm 前光谱能量大于 3 nW/nm,宽带 LED 光源可以延伸至 780 nm 以后。

2.4 宽带 LED 位移测量实验

分别对使用以上两种光源的光位移传感器样机进行实验验证。衍射光波长范围为 560 nm 至 780 nm,对应位移总量程为 110 mm,以 2 mm 为间隔对 56 个位置进行记录,位移解调对比曲线如图 5。

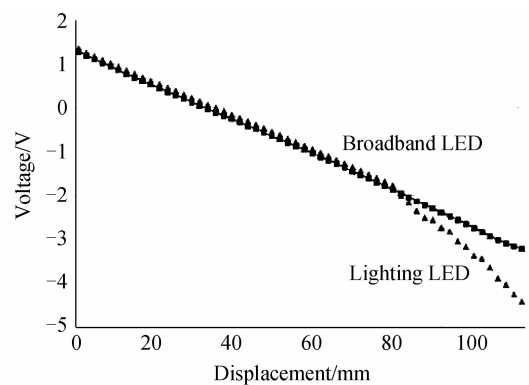


图 5 采用两种 LED 的光位移传感器位移-电压解调对比曲线

Fig. 5 The comparison of ODS wavelength-voltage curve using the lighting LED and the broadband LED

可以看到,对于光位移传感器,照明 LED 由于长波波段光谱能量低于 3 nW/nm 的光源光谱能量阈值,使得解调线性度受到影响;而掺入红粉的宽带 LED 光源由于在 560~780 nm 范围内光源光谱能量均大于该阈值,所以在全量程范围内具有很好的线性度。因此,通过在 LED 封装中掺入红色氮氧化物荧光粉的方法,改进了 LED 光谱特性,使得 LED 能够满足 ODS 的光源要求,实现 ODS 小型化光源的应用。

3 结论

宽带光源是 ODS 的一个重要组成部分,对色敏解调性能影响显著.对本文中衍射效率约为 35%的 ODS,输入光源在 500~800 nm 工作波长范围内光谱能量需大于 3 nW/nm 阈值时,才能够保证传感器在全工作范围内的线性度.LED 是光位移传感器输入光源小型化的关键技术,通过在蓝光 LED+黄色荧光粉结构上添加氮氧化物红色荧光粉使得光谱红移,有效增强了红光光谱能量.该技术制备的宽带 LED 满足了 ODS 光源光谱能量阈值的要求,并通过试验验证了该方案的可行性.

参考文献

- [1] LI Kun, WANG Shao-ping. Development of fly-by-light control system [J]. *Journal of Beijing University of aeronautics and astronautics*, 2003, **29**(12): 1068-1072.
李昆,王少萍.光传操纵系统的发展趋势[J].北京航空航天大学,2003, **29**(12): 1068-1072.
- [2] LI Ai-jun, YAN Jian-guo, WANG Xin-min. Key techniques for implementing fly-by-light control systems [J]. *Flight Dynamics*, 2004, **22**(1): 6-9.
李爱军,闫建国,王新民.光传飞控系统实现的关键技术[J].飞行力学,2004, **22**(1): 6-9.
- [3] TODD J R. Fly-by-light flight control development for transport aircraft [C]. In Proceeding of the 15th Digital Avionics Systems Conference, AIAA/I EEE, 1996:153-158.
- [4] LI Bing-shi, WU Zhong, LIU Yuan-du, *et al.* Position error and compensator for wavelength encoding fiber optic sensor [J]. *Sensor World*, 2004(11): 32-35.
李秉实,吴忠,刘元度,等.波长编码光纤线位移传感器的位移误差及补偿[J].传感器世界,2004(11): 32-35.
- [5] LOU Jun, FU Shao-jun, LIU Zheng-kun, *et al.* Study on position sensor of holographic variable line-space plane gratings [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(4): 655-658.
楼俊,付绍军,刘正坤,等.全息平面变间距光栅位移传感器研究[J].光子学报,2007, **36**(4): 655-658.
- [6] BAO Yan, YANG De-xing, LI Bing-shi, *et al.* Precision analysis and process implementation of angular displacement sensor based on flexible varied line-space grating [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, **19**(8): 1859-1866.
包艳,杨德兴,李秉实,等.柔性变栅距光栅角位移传感器的准确度分析与工艺实现[J].光学精密工程,2011, **19**(8): 1859-1866.
- [7] WANG Hong-zhi. Research developments of novel phosphors for high power LEDs [J]. *Materials Review*, 2010, **24**(7): 1-5.
王宏志.功率型白光 LED 荧光粉的研究进展[J].材料导报,2010, **24**(7): 1-5.
- [8] WANG Er-zhen. Technology development of high efficiency white LED [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2004, **14**(4): 23-28.
王尔镇.高效率白光 LED 的技术开发[J].照明工程学报,2004, **14**(4): 23-28.
- [9] CHEN Zeng-wei, XIAO Hui. An analysis on LED lighting application in city nightscape [J]. *Light & Lighting*, 2009, **33**(2): 39-42.
陈增伟,肖辉.第四代光源——LED 在城市景观照明中的应用浅析[J].灯与照明,2009, **33**(2): 39-42.
- [10] ZHANG Fan, ZHANG Bao-tan, LI Ru. Advancement and trends of LED phosphor [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2010, **21**(3): 21-24.
张帆,张宝坦,李茹.LED 荧光粉发展现状及趋势[J].照明工程学报,2010, **21**(3): 21-24.