

利用导通电压降监测 SLD 的输出光功率

王 瑾¹, 李 波¹, 郭志明², 李龙星¹, 王 维³

(1. 中北大学 机电工程学院, 山西 太原 030051;

2. 中国兵器科学研究院 质量与可靠性中心, 北京 100089;

3. 北方自动控制技术研究所, 山西 太原 030006)

摘 要: 由于传统的光功率采集仪精度不高, 在实验中无法明显地显示出光功率在短期内的变化, 而采集电压的数据采集系统可以很好地解决这个问题。在分析 1 310 nm 超辐射发光二极管(Super Luminescent Diode, SLD)光源的工作原理的基础上, 设计了一种在恒温条件下控制驱动电流来使 SLD 稳定工作的驱动电路, 进行了理论分析和实验验证, 给出了利用 SLD 电压降监测输出光功率的新方法, 取得了真实可靠的实验数据。通过 SLD 光源的驱动实验得出输出光功率与驱动电流和 SLD 两端电压降的相关关系, 结果表明, 输出光功率与电流具有良好的线性关系, 与电压具有良好的正相关指数关系。利用采集电压降监测 SLD 的输出光功率, 大大提高了测试精度和数据分辨率, 同时为 SLD 退化寿命试验提供了新的电学参数。

关键词: 超辐射发光二极管; 输出光功率; 监测方法; 导通压降; 驱动电流

中图分类号: TN312.8 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201645.0217004

Monitoring SLD optical output power with conduction voltage drop

Wang Jin¹, Li Bo¹, Guo Zhiming², Li Longxing¹, Wang Wei³

(1. School of Mechatronics Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Quality and Reliability Center of China Academy of Ordnance Science, Beijing 100089, China;

3. North Automatic Control Technology, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The accuracy of traditional optical power acquisition instruments is not high, so they are unable to show the change of the optical power clearly in short term during the experiment, while data collection system for collecting voltage can be a good solution to this problem. On the basis of introducing working principle of 1 310 nm SLD light source, a driving circuit was designed, which can make SLD operate steadily by controlling current under the condition with a constant temperature. With the theoretical analysis and experimental verification, a new method of monitoring SLD output optical power by its voltage drop was provided, then true and reliable experimental data were obtained. From the driving experiment for SLD, it has proved that the output power has a certain relationship with driving current and voltage, and results show that the output power has a good linear relationship with the current, a good positive correlation index with the voltage. Taking advantage of collected voltage to monitor SLD

收稿日期: 2015-06-20; 修订日期: 2015-07-03

作者简介: 王瑾(1989-), 女, 硕士生, 主要从事机电系统及其控制方向方面的研究。Email: zbdxwangjin@163.com

导师简介: 李波(1977-), 男, 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事引信工作环境模拟与动态测试技术方面的研究。

Email: lilancun@163.com

output light power can greatly improve the test precision and data resolution, at the same time provides new electrical parameters for the SLD degenerate life test.

Key words: super luminescent diode(SLD); output light power; monitoring method; voltage drop; driving current

0 引言

超辐射发光二极管(SLD)是近年来发展起来的一种半导体光电器件,由于它在光纤陀螺领域的重要应用,SLD 的研制和开发已成为人们非常感兴趣的研究课题^[1]。随着光纤陀螺应用领域的不断扩大,对其使用寿命、可靠性指标的获知需求也日益迫切。而作为光纤陀螺中关键器件超辐射发光二极管 SLD 的各类研究也在不断地开展^[2]。SLD 输出功率比LED 高,发光光谱宽度比激光二极管更宽,是一种常用的宽光谱光源。与一般发光二极管相比,SLD 耦合效率高,输出功率高,相关长度短,光束发散角小,正是由于 SLD 这些优良的性能,使其具有广阔的应用前景。

具有宽光谱、大功率输出特性的超辐射发光二极管 SLD 将会是一个值得深入研究的领域,而研制出更高输出功率、高灵敏度、低相干性、高稳定性的超辐射发光二极管也是其发展的必然要求。对于 SLD 而言,输出光功率是其重要的性能参数,国内外有许多研究是关于 SLD 光源的 P-I、U-I 光谱特性以及功率、电压和温度的相关关系的^[3-4],但是关于功率和电压关系的研究较少。文中参照已有的相关文献,根据二极管的工作原理,提出一种设想,即 SLD 光源的光功率与其电压降之间存在一定的关系,提出了以两者公式关系来用压降表征光功率的方法,期望最终达到用数据采集开关测试压降来间接测量输出光功率的目的。

1 1310 nm SLD 模块的性能分析

测试所用的 SLD 模块中,设计峰值波长约为 1 310 nm,SLD 具有全温工作范围内输出功率稳定、可靠性高等特点。1 310 nm 的 SLD 模块是采用标准工艺在蝶型 8 针金属管壳中封装的。管壳内装配了 SLD 管芯、半导体制冷器(TEC)、热沉、热敏电阻、尾纤、外壳等部件,其组件外形示意图如图 1 所示。其

中,TEC 用来控制和稳定光源的管芯温度,热敏电阻用来敏感光源管芯温度的变化,热沉导热系数大,利于组件长期稳定工作。

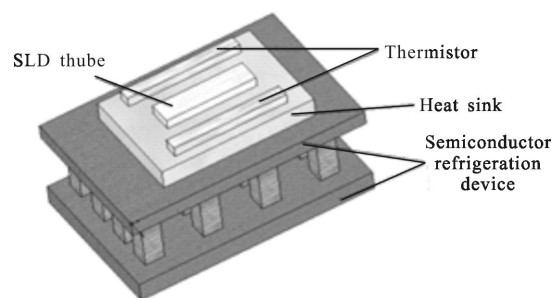


图 1 SLD 外形结构示意图

Fig.1 SLD shape structure diagram

SLD 是一种自发辐射的单程光放大器件。在正向电流注入下,有源区内反转分布的电子由导带跃迁到价带或杂质能级时,与空穴复合而释放出光子^[5]。在普通半导体激光器中,当注入电流比阈值高时,端面输出猛烈增大从而形成激光。光在所给定的腔体内传播时经过受激增益,可在后端面处存在一定的反射,但反射强度不足以提供反馈,理想输出端面的反射率 $R=0$,此时输出的是非相干光,且受激增益光谱发射角变窄,调制带宽变大^[6]。

2 实验电路设计及原理

在光源驱动电路中,主要需要控制管芯工作温度和驱动电流,所以 SLD 驱动电路一般包括有稳定、快速、准确的温度控制电路、高精度恒流源电路以及各种保护电路。常用的 SLD 光源内部封装有一个背向探测器,热敏电阻和制冷器分别用来控制电流和温度。通过探测器进行光电转换,采集输出光功率,利用反馈电路来控制驱动电流。

测试过程中,模块在恒流驱动+恒温控条件下工作,恒流精度优于 0.1%,温度漂移 $\leq 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,因此可以忽略测试过程中管芯与光纤头之间的相对位移。

用 8 通道激光二极管控制器实现了测试所需的恒流环境,可输出并显示当前时刻的稳定驱动电流,该实验中采用第八通道来实现驱动电流的变化;采用 GLJ-IB-8 型光功率采集仪和光电流采集仪测试测量 SLD 输出光功率和光电流;采用量化精度为 24 位的数据采集系统来测量 SLD 光源两端压降。总体实验方案流程图如图 2 所示。

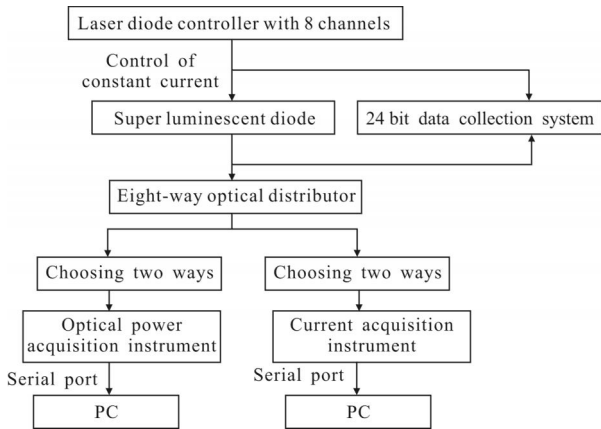


图 2 SLD 驱动实验方案流程图

Fig.2 Flow chart of the SLD driving testing program

在光源工作时,随着光源的驱动电流的增大,其两端电压降和输出光功率不断增大,如何采集精度高、误差小的数据是试验应该考虑的重点问题。多数试验采用不同型号的光功率计采集 SLD 光源的输出光功率,目前光功率计常用半导体光电检测的方式,利用半导体的光电效应实现光电转换,而光功率计使用成本较高,数据采集不稳定,分辨率较低,有些还会出现漂移效应,导致测量结果不理想,在退化寿命试验中尤为突出。24 位数据采集系统有带时间戳完整的数据缓存,可以直接进行数据存储^[7]。数据采集系统可以脱离 PC,独立作为一台设备运行,并具有多个切换通道,可在提高测试速度和精度的同时,大大降低单通道测试成本。通过比较,可以发现测量光源导通电压降比光功率的采集具有明显的优势。

3 测试实验与分析

实验设置恒定温度为 25 ℃,对光源的输出功率与驱动电流及其光源两端的电压降进行了一系列实验。以 20 mA 恒流开始驱动,每隔 20 min 调节一次激光二极管控制器,使驱动电流增加 20 mA,直至增

加到 200 mA 为止。为了避免驱动电流的调节给试验仪器带来的不稳定性,选取每 20 min 的后 5 min 的采集数据作为结果进行统计,通过对相关数据的观察,发现在最后 5 min 内的数据趋于稳定,提高了试验的测量精度。理论上,1×8 PLC 光分路器能够将 SLD 光源平均分配为 8 路,但是经过测试,每一路输出光源功率并不平均,这是因为光分路器存在插入损耗和附加损耗。因此,挑选出四路分光比相对平均的输出端口分别连在光功率采集仪和光电流采集仪上,可以采集到两路数据,从而可以通过求平均值的方法减小数据误差。光功率采集仪和光电流采集仪也是通过 RS232 串口与 PC 机连接,将最后采集到的数据上传到 PC 里进行存储与显示,实验装置如图 3 所示。在 25 ℃温度环境下,改变驱动电流进行测试,得到数据。



图 3 SLD 驱动试验装置图

Fig.3 Setting diagram of the SLD driving test

3.1 SLD 光源输出光功率与工作电流的关系

图 4 是 SLD 的输出光功率(P)与工作光电流(I)的 $P-I$ 关系图。图中显示了明显的软阈值特性,但没有明显的拐点,这是因为有源区的前后端的谐振腔共振放大所导致的。注入电流较小时,SLD 有源区的导带电子自发跃迁,与价带空穴复合而发光,处于自

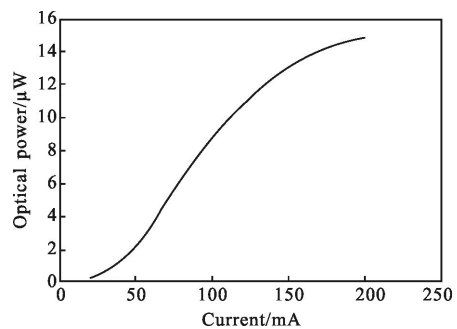


图 4 光源输出光功率与驱动电流的关系

Fig.4 Relation between light source output power and driving current

发射状态,因此输出光功率很低。随着注入电流的增多,载流子浓度增大,这种自发辐射有所增强,从而光功率缓慢增加^[8]。而 I 大于阈值电流后,产生受激辐射,输出光功率 P 随 I 线性增加。随着驱动电流的升高,曲线斜率减小,这也说明了发光效率在逐渐降低,功率损耗在不断增加。

3.2 SLD 光源输出光功率与两端压降的关系

图 5 是 SLD 的输出光功率(P)与两端压降(V)的 P - V 关系图。图中曲线有指数曲线的趋势,输出光功率随着电压的增大而增大。理论上,光源光功率只受驱动电流的影响,但 SLD 工作时,工作电流将导致管芯发热,即使对于有半导体制冷器的光源,也无法使其始终保持在某个温度上,因此管芯的光功率会随着温度漂移,这就造成了功率的损耗和发光效率的降低。当电流通过超辐射发光二极管的时候,电能将被转化为热能而消耗掉,但是这一部分热功耗并不是我们想要的,这就是二极管器件的功率损耗。由图可以看出,二极管的正向压降越低,输出光功率越低。有文献指出,降低正向压降是降低功率损耗的主要途径^[9]。

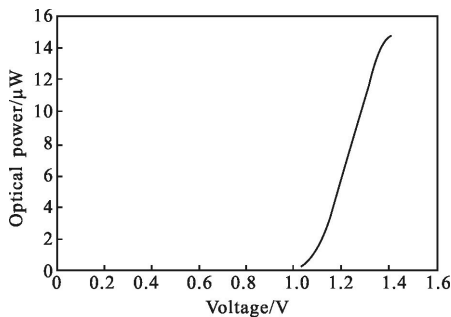


图 5 光源输出光功率与电压降的关系

Fig.5 Relation between light source output power and voltage drop

该实验不仅验证了压降与光功率的正相关关系,而且要从实验所得数据推导出两者之间具体的公式关系,利用高精度的数据采集开关采集到的电压值来表征输出光功率,提高数据采集精度和分辨率。接下来将利用回归分析的方法对光功率和工作电压两者之间关系的实验数据进行拟合,拟得到指数曲线回归模型,如公式(1)所示:

$$P=ae^{bV} \quad (1)$$

式中: P 为输出光功率; V 为工作电压; a 和 b 为常数。对上式两边取对数,有:

$$\ln P=\ln a+bV \quad (2)$$

令 $y=\ln P, A=\ln a, B=b, x=V$, 则有 $y=A+Bx$ 。

若要使因变量观察值和估计值之间的离差平方和达到最小,那么求得:

$$B=\frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$A=\frac{\sum y_i}{n} - B \frac{\sum x_i}{n} \quad (3)$$

代入 10 组试验数据,得出 $\hat{y}=-9.0268+8.63379x$ 。

由 R 检验法可知, $\sqrt{1-\frac{\sum (y_i-\hat{y}_i)^2}{n \sum (y_i-\bar{y})^2}}=0.9213$ 。

得出指数回归模型为 $P=0.00012 \exp^{8.63379 V}$, 表明输出光功率与工作电压有高度正相关关系。

3.3 实验中的误差分析

实验通过 FC 光纤接头来连接 SLD 光源和光分路器,由于光纤传输过程的衰减,耦合器、分束器、连接器等性能不佳,光输出功率不稳定,长时间测量将会产生漂移效应。此类连接器结构简单,操作方便,制作容易,但光纤端面对微尘较为敏感,且容易产生菲涅尔反射,造成反射损耗。光纤接头常因结构不精密,环境不清洁,拔插次数过多,造成接触不良,导致插入损耗增大。实验采用 1×8 PLC 光分路器,不同输出端的耦合比不同,造成光功率测量的不一致性^[10]。这些系统误差是不可避免的,但可以通过试验前的准备工作来尽可能地减小误差。

4 结论

以 1310 nm SLD 光源为研究对象,给出了测试及采集光源的输出功率、驱动电流及其光源两端的电压降的测试电路。通过实验曲线可知,光源的输出功率与驱动电流有良好的线性关系,与光源两端压降有正相关指数关系,验证了试验初期的设想,达到了实验测量目的,而且有着重要的实用意义:

通过采集到的导通压降可以实时计算出光源的输出光功率,电压的测量相对于功率的采集操作简单易行,可靠度高;

可以用高精度的数据采集开关采集光源两端电压,用以间接测量光功率采集仪采集的光功率,提高了测量精度和数据分辨率;

通过试验数据的分析,可以发现 SLD 光源导通压降和输出光功率在恒温条件下随着驱动电流的改

变而有规律地改变。在恒温恒流的条件下,输出光功率会不断损耗,导通压降也会不断减小,两者可以作为研究 SLD 退化寿命试验的重要退化参数,经过连续测量以退化数据等具体形式表征退化过程。

参考文献:

- [1] Yang Mingwei, Wang Lei, Yang Yuanhong, et al. Stability of constant current source for SLD in variable temperature environment [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(11): 3024–3028. (in Chinese)
杨明伟, 汪磊, 杨远洪, 等. 变温环境下 SLD 恒流源的驱动稳定性研究[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(11): 3024–3028.
- [2] Wang Lin, Shi Dianyang, Ren Yan, et al. Discussion on the reliability of super luminescent diode [J]. *Science & Technology Vision*, 2015(20): 89, 153. (in Chinese)
王琳, 史典阳, 任艳, 等. 超辐射发光二极管 SLD 可靠性浅谈[J]. 科技视界, 2015(20): 89, 153.
- [3] Pei Yapeng, Yang Jun. Design and experiment research of driving circuit for SLD source[J]. *Optical Instruments*, 2005, 27(6): 58–61. (in Chinese)
裴雅鹏, 杨军. SLD 光源驱动电路的设计与实验研究[J]. 光学仪器, 2005, 27(6): 58–61.
- [4] Cao Hui, Yang Yifeng, Liu Shangbo, et al. Temperature control system for SLD optical source of FOCS[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(3): 920–926. (in Chinese)
曹辉, 杨一凤, 刘尚波, 等. 用于光纤电流传感器 SLD 光源的温度控制系统 [J]. 红外与激光工程, 2014, 43(3): 920–926.
- [5] Chao Daihong, Ma Jing, Zhang Chunxi. Reliability assessment of superluminescent diodes from performance degradation data[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(10): 3044–3048. (in Chinese)
晁代宏, 马静, 张春熹. 基于性能退化数据的超辐射发光二极管可靠性评估研究 [J]. 光学学报, 2010, 30(10): 3044–3048.
- [6] Li Jinliang, Zhu Zhiwen. 1.3 μm wavelength InGaAsP superluminescent diode module with low current [J]. *Semiconductor Optoelectronic*, 2010, 22(5): 558–560. (in Chinese)
李金良, 朱志文. 1.3 μm InGaAsP 低电流超辐射发光二极管组件[J]. 半导体光电, 2010, 22(5): 558–560.
- [7] Qian Xinzong. Study on 24 bit data acquisition system [J]. *Measurement & Control Technology*, 2007, 27(3): 17–19. (in Chinese)
钱新忠. 24 位数据采集系统研究 [J]. 测控技术, 2007, 27(3): 17–19.
- [8] Wei Xiaojun, Li Yan, Qi Tongbin. Study on the performance of SLD for FOG[J]. *Instrumentation Technology*, 2013(10): 36–38. (in Chinese)
魏晓珺, 李艳, 齐同斌. 光纤陀螺 SLD 光源的特性研究[J]. 仪表技术, 2013(10): 36–38.
- [9] Wang Pengnian. Analysis and calculation of the diode power loss[J]. *Electronics World*, 2014(12): 503–504. (in Chinese)
王鹏年. 二极管的功率损耗分析和计算 [J]. 电子世界, 2014(12): 503–504.
- [10] Liu Zengji, Zhou Yangyi, Hu Liaolin, et al. Fiber Optic Communication [M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science and Technology Press, 2008: 68–72. (in Chinese)
刘增基, 周洋溢, 胡辽林, 等. 光纤通信[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008: 68–72.