

一种高精度半导体激光器温控调频系统

侯立周 强锡富 孙晓明
(哈尔滨工业大学精密仪器系 哈尔滨 150001)

摘要 提出了一种通过改变半导体激光器的温度对波长进行调制的方法,并建立相应系统,进行了实验研究,分析了影响波长-温度调制的因素,最后,就它的应用领域进行了探讨。

关键词 半导体激光器 波长-温度调制 数字控制

1 引言

半导体激光器(Laser Diode)是一种新型的激光光源,它具有体积小、结构简单、耗能低、寿命长和易调制等特点,已在通讯、医学和工业计量等领域中得到广泛应用^[1]。LD的基本应用特点是:与其它传统激光器相比,LD的输出光功率和频率受温度和注入电流的影响显著。因此针对不同的应用场合,它也有不同的应用特点。例如,在一般应用时,LD只需在自动功率控制(APC)电路驱动下工作,保证输出光功率恒定即可;在干涉计量应用时,要求LD输出光功率和频率稳定,就得在APC驱动的同时,控制温度恒定;而在合成波长和步进相移计量等情况下,又可以利用注入电流对输出光频进行直接调制。针对以上LD的应用特点,本文提出了一种高精度半导体激光温控调频系统,它利用APC电路驱动LD,通过温度变化调制光频,具有结构紧凑、波长控制精确等特点,可作为计量通用LD光源。

2 LD波长-温度调制

在半导体激光器合成波长和步进相移计量中,一般利用改变LD注入电流来改变波长^{[2][3]}。虽然电流调制可达到很高的速度,但它存在不可避免的弱点:波长被调制的同时,光强也被调制。而且对于一般的LD,其典型的波长-电流调制率为 $0.01\text{nm}/\text{mA}$,而光功率-电流调制率为 $0.3\text{mW}/\text{mA}$,可见改变电流对光强的影响很大。即使采取一定的技术手段,仍难以消除由它引起的测量误差^[4]。

影响LD波长的因素除了注入电流外,还有LD的温度,其典型值为 $0.1(\text{nm}/^\circ\text{C})$ 。所以,在对波长稳定性要求较高的场合,特别是在半导体激光干涉应用中,一定要控制LD的温度

恒定。相反, 如果使 LD 的温度可控制地变化, 而使其输出功率保持恒定, 我们就能得到光强稳定而波长被调制的理想光源。这是利用温控实现波长调制的关键。一般来说, LD 的波长-温度曲线有很好的线性, 能够通过温度改变精确地控制波长。

重要的一点是: 无论电流调制, 还是温度调制, LD 波长改变过程中不能出现模跳, 否则会导致测量失败。当然, 这要依赖于不同 LD 的特性。一般的 LD 能达到 0.3nm 的无模跳变化范围。假如中心波长为 780nm, 则对应于 0.3nm 的波长变化, 等效的合成波长为 2.028mm。在步进相移计量中, 0.3nm 的波长变化也足够实现移相四步的五幅算法。

为了保持光功率恒定, 在 LD 的驱动电路中加入自动功率控制单元(APC), 由 LD 内置的探测器将光强变化反馈至控制电路, 通过调节 LD 注入电流保持 LD 输出光功率恒定。APC 的加入会使波长-温度调制率略有减小。

3 实验研究

在前面分析的基础上, 建立了 LD 温控波长调制系统, 对系统的工作特性做了测试, 并利用本系统成功地实现了步进相移计量。

3.1 实验系统

如图 1, 本系统由四部分组成: 激光头、转换与控制电路、计算机接口卡和 PC 机。

激光头是本系统的关键, 其结构示于图 2。它包括 LD、热电致冷器 (Thermoelectric Cooler)、温度传感器和光束变换系统。其中, LD 是 SHARP LT027MD, 其工作功率 7mW, 中心波长 787nm, 它的谱线窄, 波长-温度曲线的无模跳范围宽^[5], 它被安装在用紫铜制成的散热片(heat sink)上, 以期获得更大的温度变化率。热电致冷器是利用 Peltier 效应的固体致冷器件, 其体积小、结构简单、易控制并且频响高^[6]。工作时, 一端致冷, 另一端致热, 所以可通过改变电流方向变换致冷、致热面。这里选用陶瓷平板型一级半导体致冷模块 MI1013T, 其最大温差工作电流为 1A, 致冷量 5.25W, 体积为 $15 \times 15 \times 5\text{mm}^3$ 。它的安装结构如图 2 所示, 两陶瓷平板分别与内、外散热片紧密接触, 控温单元内的自由空间充满气溶胶以保持良好的热隔离。温度传感器采用铂薄膜热电阻, 其 $R_0 = 100.0\Omega$, $R_{100} = 138.5\Omega$, 它尽可能地靠近 LD 放置, 并保持良好的热接触。光束变换部分由组合准直透镜、弱柱面镜和双变形棱镜组成, 其中弱柱面镜用以矫正像散, 双变形棱镜用来将椭圆光束变换成圆光束。

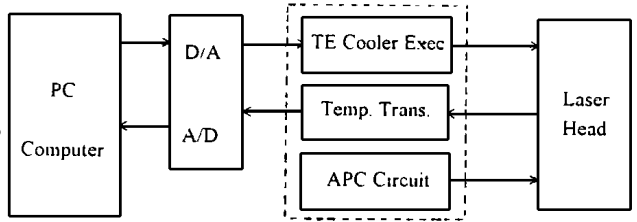


Fig. 1 LD wavelength temperature modulating system block diagram

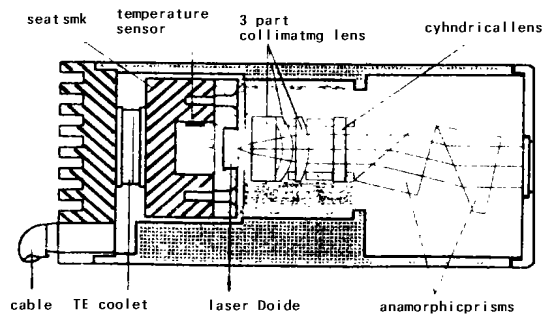


Fig. 2 Sketch map of LD head

温度传感器采用铂薄膜热电阻, 其 $R_0 = 100.0\Omega$, $R_{100} = 138.5\Omega$, 它尽可能地靠近 LD 放置, 并保持良好的热接触。光束变换部分由组合准直透镜、弱柱面镜和双变形棱镜组成, 其中弱柱面镜用以矫正像散, 双变形棱镜用来将椭圆光束变换成圆光束。

转换与控制电路单元由 APC 电路、温度变换电路和致冷器控制电路三部分组成。其中 APC 电路是由 SHARP 公司的 LD APC 专用芯片 IR3C01 和 2 个电阻、一个电容组成。它利用 LD 内置的探测器将光强信号反馈到 IR3C01 中,完成 LD 的自动功率控制,电路元件少,工作可靠。

温度变换电路是温控系统的关键,考虑到温度传感器与变换电路要通过电缆连接,若用电压信号传输易受干扰,所以这里采用双绞线电流变送器解决这个问题。选用 B-B 公司的 XTR101 器件,它含有三个基本功能模块:桥路、放大器及将放大后的信号转换为 4-20mA 的标准工业电流信号。其桥路的三个固定臂的电阻值是经激光微调好的,精度非常高。由于将信号变为电流来传输,接地噪声、电压漂移和连接电缆均对信号的传输不产生影响,故可提高抗干扰能力,保证测温精度。

致冷器控制电路是闭环温控中的执行部分。它完成方向切换和功率放大功能。方向切换由频响高的固态继电器 SSR 在逻辑信号控制下完成;大功率三极管完成功率放大。

计算机接口卡完成传感与控制信号的 A/D 和 D/A 转换及方向控制逻辑信号的输出。A/D 转换芯片是 12 位 AD574。

整个温控系统在计算机控制下以闭环方式工作。控制算法采用数字 PID 算法。被控温度可由计算机编程设定。这里,根据所用 LD 的波长-温度曲线的线性区段将温控范围设定为: 20-25℃, 25℃是 LD 的额定工作温度。控温系统在 20-25℃的温控不确定度小于 0.01℃。

3.2 实验结果

对所组建的 LD 温控调频系统进行了实验测定,并利用它成功地进行了变波长步进相移计量。下面是 20-25℃的波长-温度关系, 20-25℃之间,每隔 0.5℃对 LD 输出波长进行一次测量,结果示于表 1 和图 3。从图 3-b 可看出,波长-温度曲线有较好的线性,这里三角符号代表所测数据点,实线为最小二乘拟合,相应得到波长-温度调制率为 0.0739(nm/℃)。

Table 1 Wavelength temperature relation

T(℃)	λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
20.00	786.659	
20.50	786.703	0.044
21.00	786.739	0.036
21.50	786.775	0.036
22.00	786.807	0.032
22.50	786.843	0.036
23.00	786.887	0.044
23.50	786.923	0.036
24.00	786.959	0.036
24.50	786.995	0.036
25.00	787.031	0.036

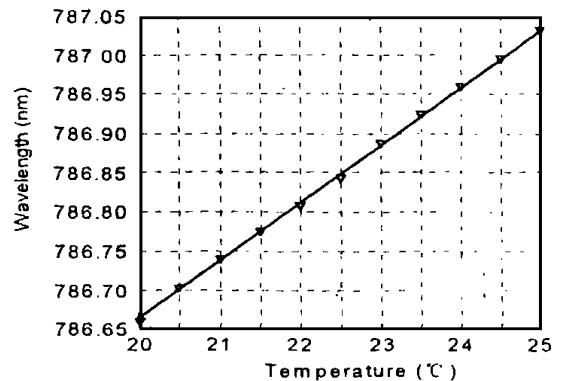


Fig. 3 Wavelength-temperature relation

利用本系统作为泰曼-格林干涉仪光源,对一干涉条纹相位进行变波长步进相移测量,数

据采集装置由黑白 CCD 摄像机、8 位图像采集卡和 PC 机组成, 采集的图像大小为 512×512 像素, 图像采集速度为 25 帧/s。适当调整两干涉臂光程差, 使波长改变 0.037nm 时对应相移为 $\pi/2$ 。由计算机设定初始温度 25°C , 然后以 0.5°C 递减, 一旦达到所控温度, 触发采集一幅干涉图。这样步进四次, 得到五幅干涉图记录, 利用传统的五幅算法^[7], 得到干涉条纹相图, 可在此基础上进行相位展开与波面重构, 最终完成干涉条纹的定量分析。步进相移与图像采集过程在 5s 内完成。结果示于图 4-5。

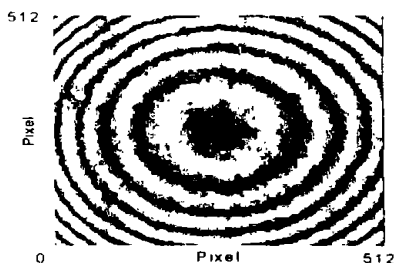


Fig. 4 The first interferogram

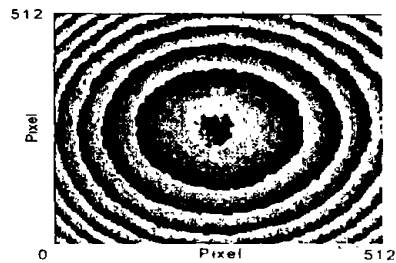


Fig. 5 Phase map derived from 5-frame interferogram

4 结 束 语

通过理论分析和实验研究, 验证了: 半导体激光器温控调频是 LD 波长调制的有效方法之一。本文介绍的高精度 LD 温控调频系统能够提供精确的波长控制, 可作为 LD 干涉计量系统的通用光源。它结构紧凑, 控制简单, 容易与其它系统集成。可广泛用于变波长步进相移计量、合成波长计量以及其它要求 LD 温度控制或波长调制的场合。

参 考 文 献

- 1 孙晓明著. 半导体激光干涉理论及应用. 北京: 国防工业出版社, 1998, 5~ 8
- 2 Franze B, Tiziani H J. Multiple wavelengths in oblique incidence interferometer for rough surface measurement using laser diodes. J Mod Optic, 1998, 45: 861872
- 3 Liu Ji Yuan, Yanmaguchi Ichirou, et al. Active phase shifting interferometer using current modulation of a laser diode. Opt Rev, 1996, 3: 287292
- 4 Onodera Ribum, Ishii Yukihiro. Phase extraction analysis of laser diode phase shifting interferometry that is insensitive to changes in laser power. J Opt Soc Am A, 1996, 13: 139146
- 5 Sharp. Semiconductor data book: Laser Diode 95. 3637
- 6 钟广学 等编著. 半导体致冷器件及其应用. 北京: 科学出版社, 1989, 281~ 313
- 7 Hariharan P, Oreb B, Eiju T. Digital phase shifting interferometer: a simple error compensating phase calculations algorithm. Appl Opt, 1987, 26: 25042505

A High-resolution LD Wavelength Temperature Modulating System

HOU Li-Zhou, QIANG Xi-Fu, SUN Xiao-Ming

(Dept. of Precision Instrument, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract

A method of wavelength modulation by changing the temperature of LD is presented. The experiment system is established and the result is given. The factor that affects the LD wavelength temperature modulation is analysed as well as the application of this established system.

Key words: Laser diode, Wavelength temperature modulation, Digital control

侯立周 男, 1969 年出生, 1993 年毕业于哈尔滨科学技术大学精密仪器及机械专业, 1996 年于哈尔滨理工大学获测试计量技术及仪器专业硕士学位, 现为哈尔滨工业大学精密仪器系博士研究生。主要研究领域为: 几何量精密测量、数字散斑干涉计量等。