

文章编号 1004-924X(2006)05-0745-04

# 高频半导体激光器的驱动设计及稳定性分析

岱 钦<sup>1,2</sup>, 宋文武<sup>3</sup>, 王希军<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033;  
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 江苏曙光光学电子仪器厂, 江苏 扬州 225009)

**摘要:**通过系统地分析影响 LD 稳定性的主要因素, 设计出了计算机实时检测反馈、闭环控制、脉冲稳流的高频 LD 驱动电源。采用抑制浪涌, 减小纹波以及加入延时和软启动电路等多项安全设计及措施确保 LD 工作的安全性。并且采用半导体制冷片, 结合计算机实时检测电路对 LD 工作温度进行精确控制。初步测量得到 LD 激光稳定输出功率 150 W, 温度稳定电路的控温精度达到 0.2 °C, 激光频宽为 6 GHz 的实验结果。

**关键词:**半导体激光器; 驱动设计; LD 电源; 稳定性

**中图分类号:** TN248.4 **文献标识码:** A

## Design and stability analysis of high frequency LD's driving circuit

DAI Qin<sup>1,2</sup>, SONG Wen-wu<sup>3</sup>, WANG Xi-jun<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031, China;  
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;  
3. Jiangsu Factory of Optical & Electronic Instruments, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** On the basis of analyzing the main factors effecting on the LD stability, a 1 kHz repeating frequency LD driving power supply with real-time feedback, closed-loop control and pulse current stabilization was designed. By restraining the surge and the ripple, adopting the delay-time and soft-start-up circuit, this system improves the security of both the LD component and power supply. With the thermo-electronic cooler and PC that can detect the circuit real-time, the temperature of the LD can be kept accurately. Primarily, the LD laser output power is 150 W, the stability of the constant temperature power is 0.2 °C, and the laser line width is about 6 GHz in the experiment.

**Key words:** semiconductor laser; driving design; LD power supply; stability

## 1 引言

半导体激光器(LD)具有体积小、转换效率

高、开关速度快、工作电源简便、价格低廉等优点, 在科研、工业、医疗、军事等领域得到了广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。LD是电流驱动器件, 其使用寿命、工作特性在很大程度上取决于所用驱动电源的性能好

收稿日期: 2005-10-20; 修订日期: 2006-07-16.

基金项目: 应用光学国家重点实验室应用光学基金(No. DA04Q05)

坏<sup>[3]</sup>。驱动电源设计中存在的问题,使激光器的性能下降或造成永久性损伤。所以,设计符合 LD 技术要求、性能稳定、工作可靠的驱动电源是十分必要的<sup>[4-7]</sup>。

通常影响 LD 稳定性的因素包括环境温度、湿度、电源电流等。而恒温温度控制和脉冲功率驱动是影响 LD 稳定工作的两个最重要的物理参量。针对高频工作的半导体激光器,采用计算机控制的半导体激光器驱动电路,对半导体激光器工作状态,包括驱动电流和工作温度进行实时检测,分析了其驱动控制系统和温度控制系统中影响半导体激光器输出稳定性的相关因素,并进行进一步的改进,经实验测试,初步获得了较稳定的激光输出。

## 2 驱动与控制系统设计

传统的激光器驱动电源中,采用专用 IC 模块驱动作为开关元件 MOSFET 管,储能元件采用电容为主的方式,如图 1 所示<sup>[8]</sup>。由于脉冲激光电源中的后续电流的存在,使得它极易出现浪涌现象,从而对激光器造成损害。

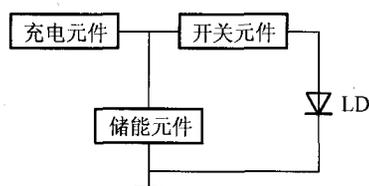


图 1 半导体激光器驱动电路结构一般形式

Fig.1 Common form of semiconductor laser's driving circuit

为了提高激光器的稳定性,考虑半导体激光器的伏安特性以及驱动电流-光功率特性曲线,实验设计的 LD 驱动电源的主要指标为:工作电压 72 V;最大工作电流 25 A;开关频率 1 kHz;脉冲占空比 0.4%。电源系统主电路框图如图 2,  $LE_1$  为半导体激光器,  $D_2$  为反向吸收二极管,  $V$  为 VMOS 功率晶体管,  $R_1$  为栅极限流电阻,  $D_1$ 、 $C_1$ 、 $RP_1$  组成电压调节网络,  $LQ$  为半导体制冷器。

整个系统主要包括 LD 驱动控制系统、计算机控制系统和温度控制系统。LD 驱动控制采用反馈方式,实现对驱动电流、驱动电压和光功率的稳定控制,计算机控制系统对 LD 的温度、电流、

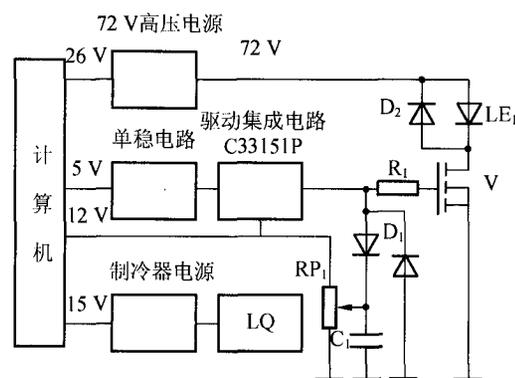


图 2 LD 驱动主电路结构框图

Fig.2 Framework of LD's driving circuit

电压等参数进行设定和采样,温度控制系统通过半导体制冷器控制 LD 在恒定温度下工作,防止 LD 输出波长漂移。

## 3 影响 LD 稳定性的相关因素分析

### 3.1 LD 驱动控制系统

高功率高频半导体激光器,一般采用二维面阵结构,将多个单条激光器集成在不同衬(基)底芯片上,组成叠层半导体列阵,体积较小,发射功率较大。由于它的特殊结构以及工作电流大,体积小,散热差等特性,对驱动电源要求非常苛刻。瞬态的电流或电压尖峰等都很容易损坏激光器。因此,过电压、反向偏压和电流保护都是电源设计中很关键的因素。

驱动电路为半导体激光器提供三组直流电压:72 V、12 V、5 V。经示波器测试验证,当 5 V 出现断路时,由于 12 V 的存在,集成电路 MC33151P 输入端悬空,出现振荡信号,会输出高电平,导致 VMOS 功率管导通,导通时间一旦超过 400 ns,就可能造成激光器损坏。另外,单稳电路也由 5 V 供电,其宽度直接影响激光器的导通时间,因此,5 V 电压要有很高的稳定性,不能出现断路、纹波过大的现象。在 5 V 输入端对地分别加高、低频去耦电容。增大 72 V 低频滤波电容的容值。并且,系统中所用的不直接为激光器提供电流的辅助电源与为半导体激光器的提供电流的主电源的地端不进行连接,使它们相互独立,避免相互干扰。

由于半导体激光器驱动电源在没有慢启动措

施的情况下接通和断开电路时,会在电路中形成一个过渡过程。在 LD 的开启和关断时产生的电压、电流浪涌冲击以及外界干扰产生的浪涌影响都有可能造成半导体激光器的击穿和损坏。因此,电路中设计了延时和软启动电路<sup>[9]</sup>。延时电路是利用 RC 电路的充放电实现时间上的延迟。为了消除瞬间尖峰电流的影响,电路中设计了低通滤波电路,它能滤除电源在导通或工作过程中出现的高频电流成分,对电流的稳定起到重要的作用。通过以上措施,可以从根本上保证 LD 的安全工作。

驱动电路具体工作过程如下:开机时,先建立 5 V、12 V 直流电压,确保控制电路将 VMOS 功率管的栅极电位嵌位在低电平,然后建立 72 V,即 72 V 上升必须相对于 5 V、12 V 滞后。关机后,因为 72 V 容量大,不宜消失(8 min 后才会降到 3 V 以下),故 5 V 在 12 V 消失后再撤除,即 5 V 撤除要滞后于 12 V。

### 3.2 LD 温度控制系统

半导体激光器的输出受环境温度和本身温度变化的影响非常严重。由于 PN 结的内部承受着相当大的电流密度和热耗散功率密度,不可避免地存在各种非辐射损耗、自由载流子吸收等损耗机制,相当一部分注入电功率将转化为热量,引起激光器温度升高,从而影响其激光的输出。因此,在使用时,特别是高功率输出的器件使用时,需要低温或恒温装置,以保证其输出光强、波长等不发生显著变化。

半导体激光器在工作过程中,激光器的热沉表面温度将会急剧上升,激光器中心波长随着温度的升高而漂移,致使激光器管芯温度升高。因此必须采取合理的制冷措施和控制以维持 LD 在恒定温度下工作。这里采用半导体制冷器对 LD 进行制冷。

工作时,半导体制冷器的一端制冷,设其制冷的热量为  $Q_c$ ,另一端制热,制热端与散热片连接,并采用风冷方法对散热片进行冷却,风冷带走的热量为  $Q_h$ ,并且制冷片可通过改变电流方向变换制冷或制热。将热敏电阻串到一个恒流源中,对热敏电阻两端的电压采样,将温度变换为电信号,然后将其与设定的温度进行比较,偏差信号经控制调节电路处理后驱动制冷器工作,使温度稳定在设定温度附近。

激光器工作时半导体制冷片的制冷效率的表达式如下:

$$j = \frac{Q_c}{Q_h} = \frac{\alpha t_c I - 0.5 I^2 R - K(t_h - t_c)}{Q_h}, \quad (1)$$

其中  $\alpha$ 、 $K$  分别为半导体制冷器的塞贝克系数、热导系数; $I$  为电流; $R$  为制冷器电阻; $t_h$ 、 $t_c$  分别为热沉面和散热器端面的温度。

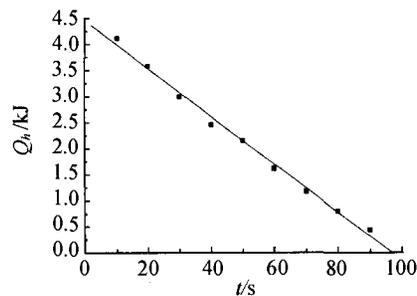


图 3 激光器冷却能量随时间变化图

Fig. 3 LD cooling energy vs time

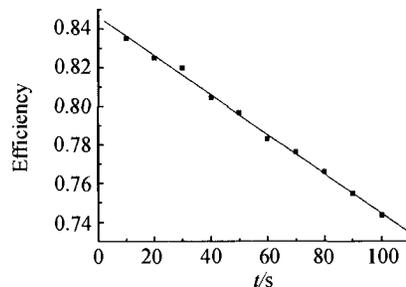


图 4 半导体制冷器制冷效率随时间变化图

Fig. 4 Cooling efficiency of LD vs time

利用温度传感器,测量半导体制冷片两端面温度随时间的变化,通过代入式(1),计算得出 LD 温度控制系统的冷却速度和效率,测试结果如图 3、4 所示。由图 3 可以看出,开始时,半导体激光器和制冷器热端存在一定温差。系统工作一段时间后,两端的温差也逐渐减小,半导体制冷器的冷却的能量随着时间逐渐减少。图 4 给出了该冷却系统的制冷效率,由于制冷片两端温差逐渐变小,制冷效率由最大的 98% 降至 74%。因此设计系统制冷效率在 70%,制冷器工作在动态平衡状态,可以较好地利用冷却电源占空比的改变,精密控制系统工作点,使激光器能够较稳定地工作。

实验过程中,根据图 3、图 4 选择最佳温度控制工作点,考虑 LD 温度特性和温控电路调整的难易程度等因素,测得激光器的温度浮动范围在

0.2 ℃以内。采用多光束干涉技术,初步测量 LD 输出的激光频率变化为 6 GHz,初步实现了激光器的稳定输出的目的。

#### 4 结 论

针对高频工作的半导体激光器,采用计算机

控制的半导体激光器驱动电路,分析了其驱动控制系统和温度控制系统中影响半导体激光器输出稳定性的相关因素,并逐步改进设计参数,通过实验对激光器进行了抗浪涌冲击试验,该电路在任意开、关电源附近使用都能保持良好的工作状态。初步获得了稳定输出功率 150 W,控温精度达到 0.2 ℃,激光频宽为 6 GHz 的实验结果。

#### 参考文献:

- [1] 王德,李学千. 半导体激光器的最新进展及其应用现状[J]. 光学精密工程, 2001,9(3):279-283.  
WANG D, LI X Q. New progress in semiconductor lasers and their applications[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2001,9(3):279-283. (in Chinese)
- [2] 尧舜,套格套,路国光,等. 68.5 W 连续输出 1 060 nm 波段半导体激光列阵模块[J]. 光学精密工程, 2006,14(1):8-11.  
YAO S, TAO G T, LU G G, *et al.* 1060 nm wavelength high power diode array module[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2006,14(1):8-11. (in Chinese)
- [3] 黄德修,刘雪峰. 半导体激光器及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999:255-256.  
HUANG D X, LIU X F. *Laser diodes and the applications of laser diodes*[M]. Beijing: National Defence Industry Publishing Company,1999:255-256. (in Chinese)
- [4] 李季,陈浩祥,张毅,等. 大功率半导体激光器驱动电源[J]. 量子电子学报,2003,20(1):30-34.  
LI Q, CHEN J X, ZHANG Y, *et al.* Power supply of high-power diode laser[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2003,20(1):30-34. (in Chinese)
- [5] THOMPSON M T, SCHLECHT M F. High power laser diode driver based on power converter technology[J]. *IEEE Trans on Power Electronics*[J], 1997, 12(1):46-52.
- [6] 刘澄. 半导体激光器稳功率脉冲电源设计[J]. 半导体光电,2004,25(3):235-237.  
LIU CH. Design of stable power pulse source for semiconductor lasers[J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2004,25(3):235-237. (in Chinese)
- [7] 金银花,许文海,杨明伟,等. 改善半导体激光器驱动电源性能的研究[J]. 光电子技术,2005,25(1):44-47.  
JIN Y H, XU W H, YANG M W, *et al.* Study of improvement of the driver of continuous semiconductor laser[J]. *Optoelectronic Technology*, 2005, 25(1):44-47. (in Chinese)
- [8] 陈炳林,张河,孙全意. 微型大电流窄脉宽半导体激光器电源的研究[J]. 仪器仪表学报,2004,25(4):491-493.  
CHEN B L, ZHANG H, SUN Q Y. Design on minitype high peak and narrow width pulsed power supply circuit of LD[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2004,25(4):491-493. (in Chinese)
- [9] 邓军,单江东,张娜,等. 半导体激光器驱动电源的设计与研究[J]. 半导体光电,2003,24(5):319-320.  
DENG J, SHAN J D, ZHANG N, *et al.* Research and design of high-power semiconductor laser diode driver[J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2003,24(5):319-320. (in Chinese)

作者简介:岱 钦(1977—),男,内蒙古人,在读博士研究生,研究方向为 LD 泵浦高功率固体激光技术。E-mail: bdaiqin@163.com