

首批系列化国产外腔半导体激光器

李利平¹ 熊桂生¹ 陈景标²

(¹ 北京奥普光太科技有限公司, 北京 100083; ² 北京大学信息科学技术学院量子电子学研究所, 北京 100871)

摘要 就首批系列化国产外腔半导体激光器的设计, 关键技术和生产等多方面进行了介绍, 对一些特性参数进行了说明, 给出了一些实物的图片。长期稳定性实验表明, 产品的一致性和稳定性都达到了设计要求, 生产流程和生产工艺相对简单, 各项性能指标完全达到了国外同类产品的性能和指标。

关键词 外腔半导体激光器; 温度控制; 精密电流源; PZT 驱动; 频率锁定; 功率控制

中图分类号 TN248.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200828s1.0054

Commercialized Series of External Cavity Diode Laser

Li Liping¹ Xiong Guisheng¹ Chen Jingbiao²

¹ Beijing Optoquantum Technology Co. Ltd., Beijing 100083, China

² Institute of Quantum Electronics, School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract The design, key technique and manufacture of Hawkeye series external cavity diode laser (ECDL) are introduced. Primary characteristic parameters are explained and some pictures of the laser are shown. This product has long term stability and the temperature drift is less than 1 mK. The production process and technique are relatively simple. These performances have achieved the level of similar products abroad.

Key words external cavity diode laser; temperature control; precise current power; PZT driver; frequency locking; power control

1 引 言

外腔半导体激光器可以通过光栅反馈的方式压缩激光器的线宽, 并且具有寿命长、体积小等特点, 在原子冷却与俘获、原子分子激光光谱学、光频标、激光波长标准、光通信和激光雷达等领域得到广泛的应用。但是, 目前的外腔半导体激光器设备对工作环境的要求比较苛刻, 比如激光器的输出功率和波长对温度比较敏感, 电流源的稳定性对激光器的寿命有直接的影响等等, 实际使用比较困难, 一般都要经过专门的培训, 才能正确的使用。同时, 还因为外腔半导体激光器的所有参数的离散性比较大, 进行工业化生产困难比较大, 这些因素反过来制约着它的进一步广泛应用。

为解决上述问题, 本文介绍了 Hawkeye 系列外腔半导体激光器设备, 并报道了批量化生产的结果。

结果表明通过这套方案生产出来的外腔半导体激光器性能稳定, 各项指标都达到国际先进水平, 产品的一致性, 生产过程中需要调试的地方少。

本文首先简单介绍一种外腔半导体激光器设备的总体方案, 以及性能技术指标, 最后介绍一些测试结果, 其中分别配以图片和表格进行说明。

2 外腔半导体激光器性能

Hawkeye 系列外腔半导体激光器采用模块化设计, 有精心设计的人机界面, 精密电流源, 温度控制系统, PZT 高压驱动模块, 频率锁定模块, 饱和吸收模块以及 LD 光路等几个模块, 可以根据用户的不同需求进行灵活的配置。Hawkeye 系列外腔半导体激光器设备的原理框图如图 1 所示。

基金项目: 国家 973 计划(2005CB724500)资助课题。

作者简介: 李利平(1978—), 男, 硕士研究生, 主要从事半导体激光器方面的研究。E-jbchen@pku.edu.cn

导师简介: 陈景标(1969—), 男, 博士, 副教授, 主要从事中性原子光学频率标准、激光光谱和原子物理等方面的研究。

E-mail: jbchen@pku.edu.cn

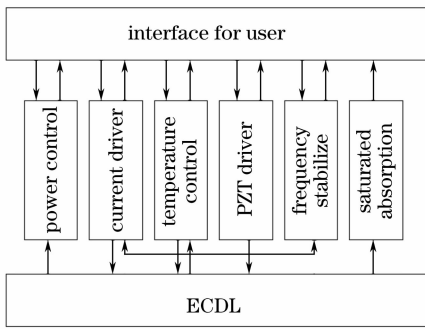


图 1 Hawkeye 系列外腔激光器原理框图

Fig.1 Hawkeye series of external cavity diode laser

2.1 激光器结构

整个外腔半导体激光器在硬件上分为两大部分：控制/显示部分和激光器光头，两者通过线缆连接起来，形成一个统一的整体。控制/显示部分包括人机界面、功率控制模块、电流驱动模块、温度控制模块、PZT 驱动模块、频率锁定模块和饱和吸收模块。光头部分是外腔激光器的核心。下面分别介绍各个模块的功能和主要技术指标测试结果。

2.1.1 激光器外腔

通常半导体激光器的自由运转线宽为几十兆赫兹，一般采用外腔反馈的方法来压窄激光器的线宽，而这种反馈方式比较常见的外腔结构有两种：Littrow 结构和 Littman-Metcalf 结构^[1~4]，如图 2、图 3 所示。采用这两种结构都可以将激光器的线宽压窄到一兆赫兹以下。

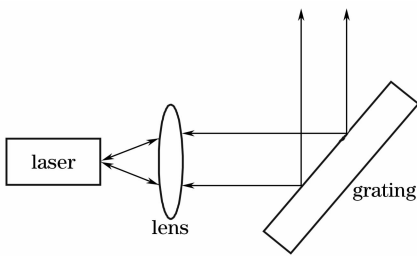


图 2 Littrow 结构外腔激光器

Fig.2 External cavity diode laser with Littrow configuration

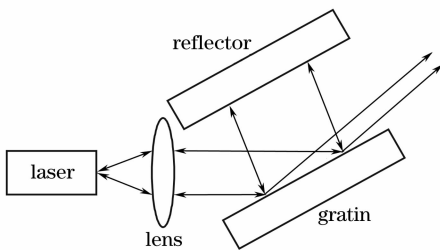


图 3 Littman-Metcalf 结构外腔激光器

Fig.3 External cavity diode laser with Littman-Metcalf configuration

这两种结构都采用光栅作为选频元件，前者的优势是光路调试比较简单，后者的优势则在于可以得到线宽更窄的光源。

2.1.2 人性化的人机界面

采用先进的人机界面，经过精心设计，将整个外腔激光器的一些主要的控制参数的设置值和实际工作值显示在 LCD 屏上。这样，可以很方便地地监视激光器的工作状况。比如：调节温度控制旋钮后，在 LCD 屏上可以看到设定的温度值，同时还可以看到激光器的实际工作值的变化。

LCD 屏上显示的数据有激光器的设置电流值和实际工作电流值、管芯温度的设置值和实际工作值和 PZT 高压的设置值和实际工作值等等，根据实际配置的不同，显示的数据有所不同，比如，没有选择功率控制模块，那么 LCD 屏上就不显示激光器功率。所有这些数值的有效位数为三位。

2.1.3 功率控制模块

将外腔半导体激光器输出的光取样后，经光电转换后，一方面将实际检测到光功率上报给人机界面，并在 LCD 上显示；同时，将此信号输入到功率控制模块，和设定的功率值进行比较，采用一些先进的算法，计算出电流的改变量，输出到电流控制模块，从而改变激光器的驱动电流，达到功率控制的目的。

通过功率控制模块进行功率控制后，根据我们 24 h 烤机的结果表明：激光器的功率不稳定性在万分之一以下。

2.1.4 电流驱动模块

激光器输出的光频率对注入电流一般来说非常敏感，输出光频率对注入电流的敏感程度用电调率来衡量，一般激光器的电调率为 5GHz/mA 量级，所以，如果希望得到稳定的光频率输出，就需要很精密的电流源。

电流驱动模块(图 4)给激光器提供精密的电流源，并将激光器的设置电流工作值和实际电流工作值上报给人机界面，方便使用者随时了解电流源的变化；同时还提供激光器的保护功能(图 5)。该模块提供的激光器保护功能主要有慢启动、慢关闭、最大输出电流限制和未上电情况下光头的接地保护。由于具备了这些保护功能，对使用者来说，即使有些误操作，也不会对设备有太大的影响。

精密电流源的输出电流有三种，分别为最大电流为 250 mA 的负电流源、最大电流为 250 mA 的正电流源和最大电流为 2.5 A 的负电流源。实际输出的最大电流值与具体的激光器最大电流值密切相关，根

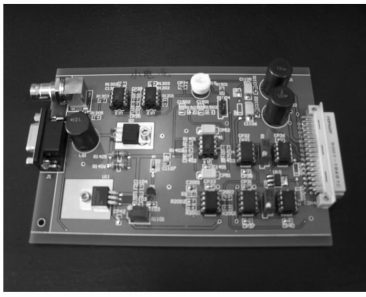


图 4 精密电流源电路板

Fig. 4 Circuit board for precise current power

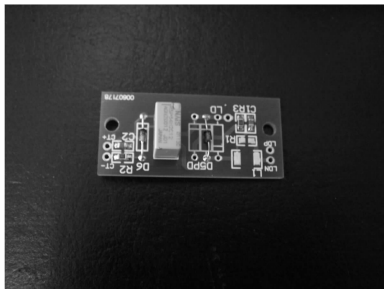


图 5 激光器电流保护电路板

Fig. 5 Circuit board for Laser current protection

据激光器可以工作的最大电流值进行进一步的限流。

精密电流源处在恒流状态下工作,根据 24 h 烤机的结果表明:用 HP34401A 六位半万用表测试得到,恒流源的电流噪声有效值 $< 0.3 \mu\text{A}$, 电流漂移 $< 1.5 \mu\text{A}$ 。

2.1.5 温度控制模块

采用先进的 PID 控制算法,给激光器管芯提供一个恒定的工作温度,并将设置工作温度和实际工作温度上报给人机界面。全面分析和测试各种不同功率,不同波长和不同封装的激光器,得到不同的特性参数,将其分成几个特性参数组,对这几个特性参数组,设计不同的电路参数,这个就避免了要对每一个激光器进行特定的电路调试,只需要对电路参数进行很小的微调,就能设计出针对各种激光器的温度控制电路(图 6),大大方便了批量生产。

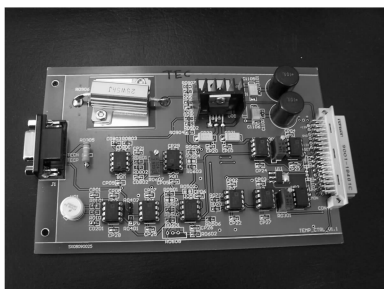


图 6 温度控制电路板

Fig. 6 Circuit board for temperature control

24 h 烤机实验结果表明:对于加热和致冷两个过程,温度控制模块的动态响应都很好,过冲适宜,稳定温度时间只要几分钟。激光器 24 h 内温度漂移小于 1 mK。

2.1.6 PZT 驱动模块

外腔半导体激光器输出光频率的调制是通过调制外腔来实现的,而调制外腔最关键的元器件通常采用 PZT。PZT 的驱动电压一般都比较,最高电压通常在 100 V 到 300 V 之间。PZT 驱动模块(图 7)的主要作用就是提供一个比较的电压给 PZT,同时将 PZT 的实际工作电压和设定工作电压上报给人机界面。PZT 驱动模块同时还接收来自锁频电路来的误差信号以及信号发生器产生的扫描电压。

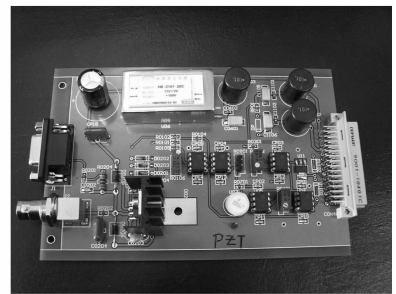


图 7 PZT 电路板

Fig. 7 Circuit board for PZT

经过测试表明,PZT 驱动模块输出电压在 0~100 V 之间可调。24 h 烤机结果表明:在正常负载情况下,PZT 驱动模块的电压噪声有效值小于 5 mV。

2.1.7 频率锁定模块

接收来自饱和吸收模块来的信号,和设定的参数一起,产生一个误差信号,给电流模块和 PZT 模块以及温度控制模块,多种因素一起联动,对激光器进行稳频。频率锁定模块内部还内置一个信号发生器,方便使用。

2.1.8 饱和吸收模块

饱和吸收模块主要功能是将外腔激光器输出的光一分为二,一部分做为稳频光源使用,一部分进行光电转换后作为频率锁定模块的一个输入信号。

2.2 外腔半导体激光器工作模式

采用如图 1 所示设计出来的外腔半导体激光器可以实现三种工作模式:一种是恒流工作模式,一种是稳频工作模式,一种是功率恒定工作模式。

2.2.1 恒流工作模式

当外腔半导体激光器处于恒流工作模式时,锁

频模块和功率控制模块不工作,在这种工作模式下,主要作为一个恒流源,可以测试激光器的一些参数,比如激光器的电调率,激光器的寿命,长时间工作对激光器性能影响等。

2.2.2 稳频工作模式

处在这种工作模式下,功率控制模块不工作,而电流驱动模块部分功能工作,激光器作为一个频率稳定的光源来使用。

2.2.3 功率恒定工作模式

在此工作模式下,锁频模块和饱和吸收模块不工作,激光器作为一个功率稳定的光源来使用。

2.3 稳定性和一致性

通过对 20 多台 Hawkeye 系列外腔激光器 24 h 不间断烤机结果表明:

激光器所有设计指标都达到要求,稳定性好:温度漂移小于 1 mK。稳频模式下:激光器线宽 <500 kHz;在频率锁定模式下,如果出现频率失锁,能在 1 min 内恢复锁定状态;在功率控制模式下,功率不稳定性小于万分之一。

图 8 和图 9 给出 Hawkeye 系列外腔半导体激光器设备的一种实物图和一台外腔半导体激光器的 $P-I$ 曲线。



图 8 Hawkeye 系列外腔半导体激光器实物

Fig.8 Picture of Hawkeye series of external cavity diode laser practicality

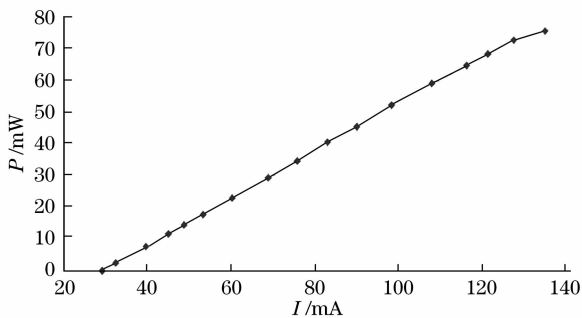


图 9 Hawkeye 系列外腔半导体激光器 $P-I$ 曲线

Fig.9 $P-I$ curve for Hawkeye series of external cavity diode laser

2.4 Hawkeye 系列外腔半导体激光器主要参数

Hawkeye 系列外腔半导体激光器的主要技术指标如表 1 所示。

表 1 Hawkeye 系列外腔半导体激光器主要技术指标
Table 1 Main technique parameters for Hawkeye series of external cavity diode laser

	ECDL
Wavelength	657 nm, 689 nm, 780 nm, 795 nm, 850 nm, 895 nm, 980 nm, 1310 nm,
Power	1550 mW 80 mW (Typical)
Linewidth	<500 kHz
Current Precision	<1 μ A
Temperature precision	<1 mK
Mode	Signal horizontal & vertical mode
Spot diameter	1 mm
Radiation angle	<2 mrad

3 结 论

本文报道了我国首批系列化半导体激光器 Hawkeye 系列的原理以及性能技术指标,结果表明,该系列性能技术指标都达到国外同类产品的水平,产品的稳定性和一致性也比较满意,适合批量生产。

参 考 文 献

- Zhang Jian, Chen Xuzong, Wang Yiqiu. Analysis on continuous tuning range of tunable diode lasers[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(10): 1220~1224
- 张 剑, 陈徐宗, 王义适. 外腔半导体激光器激光波长连续可调范围的研究[J]. *光学学报*, 2003, **23**(10): 1220~1224
- Li Binzhong, Chen Jianguo, Lu Yucun *et al.*. Studied on the coupling at laser diode facet facing grating[J]. *Acta Optica Sinica*, 1995, **15**(2): 170~173
- 李宾中, 陈建国, 卢玉村 等. 面对光栅的激光二极管端面上耦合问题的研究[J]. *光学学报*, 1995, **15**(2): 170~173
- Ma Junshan, Geng Jianxin, Qu Ronghui *et al.*. The selection of injection current of the external cavity laser diode for all-optical wavelength[J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(8): 970~974
- 马军山, 耿健新, 瞿荣辉 等. 用于全光波长转换的外腔半导体激光器的注入电流选择[J]. *光学学报*, 2001, **21**(8): 970~974
- C. J. Hawthorn, K. P. Weber, R. E. Scholten. Littrow configuration tunable external cavity diode laser with fixed direction output beam[J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 2001, **72**: 4477
- Lü Desheng, Huang Kaikai, Wang Fengzhi *et al.*. A practice of a 657 nm external cavity diode laser[J]. *J. Time and Frequency*, 2003, **26**(1): 1~6
- 吕德胜, 黄凯凯, 王凤芝 等. 657 nm 外腔半导体激光器的实现[J]. *时间频率学报*, 2003, **26**(1): 1~6
- D. S. Lu, K. K. Huang, F. Z. Wang *et al.*. External cavity diode laser around 657 nm[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(11): 656~657
- J. W. Zhang, K. K. Huang, D. H. Yang. Compact extended cavity diode laser system for small optically pumped cesium beam frequency standards[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(9): 525~528