

文章编号:1001-5078(2008)05-0444-03

· 激光器技术 ·

## 双光楔实现外腔半导体激光器波长精密调谐研究

徐斌<sup>1</sup>, 徐惠真<sup>2</sup>, 蔡志平<sup>1</sup>

(1. 厦门大学电子工程系, 福建 厦门 361005; 2. 集美大学理学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 提出利用旋转双光楔的方法来实现外腔半导体激光器波长的精密调谐。双光楔中, 较大楔角的光楔用于粗调, 较小楔角的光楔用于细调。与传统的 Littman 结构光栅外腔半导体激光器相比, 通过这种方法, 波长的精密调谐无需机械调谐装置, 手动即可实现; 对调谐的机械要求以及对振动的敏感性降低, 波长选择精度相应大大提高。

**关键词:** 外腔半导体激光器(ECDL); 闪耀光栅; 光楔; 精密调谐

中图分类号: O434.19 文献标识码: A

## Using Double Wedge Prisms for Wavelength Fine-selection in External-cavity Diode Laser

XU Bin<sup>1</sup>, XU Hui-zhen<sup>2</sup>, CAI Zhi-ping<sup>1</sup>

(1. Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. School of Science, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** On basis of the traditional Littman configuration external cavity diode laser. In this paper, a novel method for wavelength selection is described by adding rotatable double wedge prisms system having different wedge angle to Littman configuration. In the system, the wedge prism with bigger wedge angle is used for coarse selection, and the other one with smaller wedge angle is used for fine selection. It comparing with Littman configuration, fine wavelength tuning can be implemented without complex mechanism by this way. At the same time, sensitivity for vibration is decreased and the wavelength selection accuracy can be greatly improved.

**Key words:** external cavity diode laser(ECDL); blazed grating; wedge prism; fine-tuning

### 1 引言

按照ITU-T的规范, 用于DWDM的光信号载波波长是有严格规定的。各波长间隔很小, 目前实用的波长间隔为0.8nm, 还将进一步缩小到0.4nm或更小至0.2nm, 因此要求激光源(主要是半导体激光器)的波长不但要符合ITU-T的规范, 而且要求波长很稳定。基于此, 20世纪80年代以来, 外腔半导体激光器的研究受到广泛重视, 成为国际、国内光

电子学领域中活跃的研究课题之一<sup>[1-5]</sup>。外腔半导体激光器具有单纵模、窄线宽、波长可调<sup>[6-7]</sup>等优点, 因此在相干光通讯、激光光谱学、干涉型光纤传感器、相干检测和光电检测等领域有广泛的应用。

光栅是常用的ECDL的光反馈元件, 通常采用

作者简介:徐斌(1979-),男,博士生,讲师。E-mail:fj\_xb@163.com  
收稿日期:2007-11-12

的光栅外腔结构为 Littrow 型和 Littman 型, 目前最常见的是 Littman 外腔结构<sup>[8-9]</sup>, 该结构体积大, 光路对准困难, 特别是它们的机械调谐设计会具有滞后性并产生细微磨损, 这将影响光通信应用所要求的器件长期可靠性, 又由于采用反射镜的旋转系统, 为了提高波长的分辨率, 就必须采用电控旋转系统, 成本提高。另外, 系统对外界的振动比较敏感, 外界的机械振动等会引起腔长变化, 造成外腔纵模漂移。

本文提出利用双光楔来实现对外腔半导体激光器波长的精密调谐。双光楔中, 较大楔角的光楔用于粗调, 较小楔角的光楔用于细调。通过这种方法, 波长的精密调谐无需机械调谐装置, 手动即可实现; 对调谐的机械要求以及对振动的敏感性降低, 波长选择精度相应提高。

## 2 利用双光楔实现光栅 ECDL 波长精密调谐

### 2.1 光楔的光杠杆原理

通过折射棱镜的光线的传播方向将发生偏折, 且具有色散特性。若折射棱镜的顶角  $\alpha$  足够小, 色散效应可以忽略, 这种折射棱镜称为光楔。光楔具有光杠杆<sup>[10]</sup>作用, 如图 1 所示。

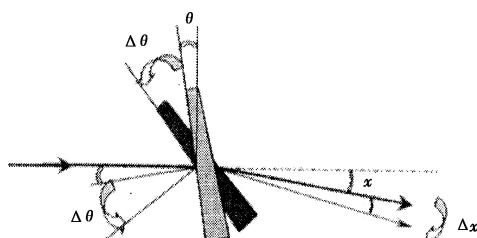


图 1 光杠杆(光楔)原理图

设光楔的楔角为  $\alpha$ , 光线的入射角为  $\theta$ , 光线经过光楔后, 偏离原光线的角度为  $x$ 。由光线追迹方法, 得到光线偏离角  $x$  是入射角  $\theta$  的函数, 如下式所示:

$$x = \theta + \arcsin \left\{ n \sin \left[ \alpha - \arcsin \left( \frac{1}{n} \sin \theta \right) \right] \right\} - \alpha \quad (1)$$

在入射角小于 1 rad 时, 偏向角  $x$  是入射角  $\theta$  的弱函数。也就是说, 当入射光线改变很大角度时, 出射光线几乎不改变方向。因此, 旋转光楔起到了放大调整角度作用。定义  $\Delta x / \Delta \theta$  为光杠杆系统角位

移灵敏度, 图 2 为楔角  $\alpha = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$  时,  $\Delta x / \Delta \theta$  随入射角的变化情况, 对于楔角为  $2^\circ$ 、光线偏离  $3^\circ$  时的光楔, 角位移灵敏度大约为  $1/60$ 。随着楔角和光线偏离角度的变化, 角位移灵敏度可以从  $1/20$  到  $1/100$  间变化。因此, 保持入射光不动, 光楔旋转较大角度时, 出射光仅改变很小角度, 光楔的这种对角度的不敏感特性, 可以用来降低对光栅 ECDL 旋转系统的机械要求, 提高波长选择精度。

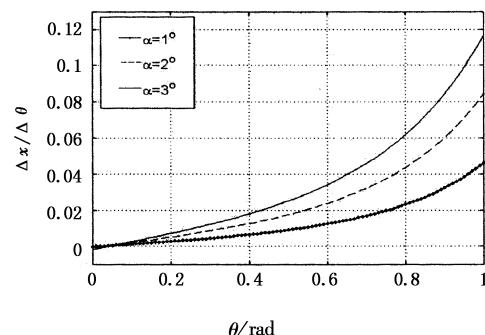


图 2 不同楔角光杠杆的角位移灵敏度

### 2.2 利用双光楔实现光栅 ECDL 波长精密调谐

利用单个光楔, 可以实现光栅 ECDL 波长精密调谐的任务, 但是考虑到在光楔的选取过程中可能存在偏差, 比如, 楔角过大, 那么偏向角也较大, 难以调谐到精细的光波波长; 楔角过小, 偏向角也较小, 扫描的范围有限, 难以调谐到所需波长。基于这样的考虑, 本文提出利用双光楔系统来实现 Littman 结构光栅 ECDL 波长的精密调谐, 原理如图 3 所示。

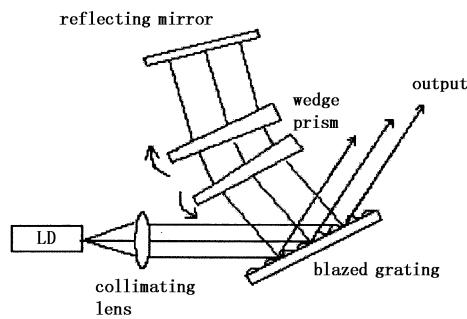


图 3 采用双光楔的外腔半导体激光器结构图

此结构中, 反射镜固定, 通过配合调节两个旋转光楔代替旋转反射镜选择不同波长, 实现波长调谐。由于光杠杆具有放大调节角度作用, 所以利用这样的调节机构可以获得更小的激光输出波长间隔。即

使在相同调节精度要求下,双光楔调节操作也更加易行。

从图2可以看出,楔角为 $3^{\circ}$ 的光楔的角度移灵敏度优于楔角为 $1^{\circ}$ 的光楔。所以,选择楔角为 $3^{\circ}$ 的光楔用于粗调,细调由楔角为 $1^{\circ}$ 的光楔来完成。具体调节时,先固定 $1^{\circ}$ 楔角的光楔,进行粗调;粗调完成后,再进行细调。引入参量角 $\beta$ ,如图4所示,定义为光楔相对于光楔连线的中垂线的角度。

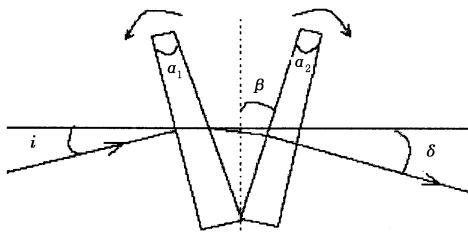


图4 双光楔调节系统示意图

通过光线追迹方法,可以得到光线通过双光楔系统之后的偏向角为:

$$\begin{aligned} \delta = & \alpha_1 \left[ -1 + n \sec(i) \sqrt{1 - \frac{\sin^2(i)}{n^2}} \right] + \\ & \alpha_2 \left\{ -1 + n \sec \left[ \alpha_2 + \beta - \alpha_1 \left( -1 + n \sec(i) \sqrt{1 - \frac{\sin^2(i)}{n^2}} \right) \right] \times \right. \\ & \left. \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \left[ \alpha_2 + \beta - \alpha_1 \left( -1 + n \sec(i) \sqrt{1 - \frac{\sin^2(i)}{n^2}} \right) \right]}{n^2}} \right\} \quad (2) \end{aligned}$$

定义 $\Delta\delta/\Delta i$ 为双光楔系统的角度移灵敏度,当入射角 $i=2^{\circ}$ 时,根据式(2),可得双光楔系统的角度移灵敏度变化范围如图5所示。

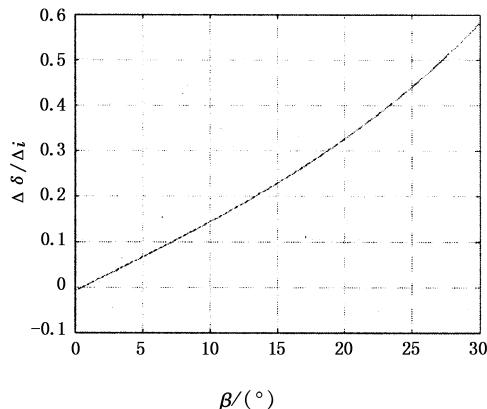


图5 入射角 $i=2^{\circ}$ 时,双光楔系统的角度移灵敏度曲线

### 3 总结

光楔具有光杠杆的作用,通过选用两个不同楔

角的光楔进行粗调和细调的配合,比较利用单个光楔的调节来说,避免了由于光楔楔角的选取不当,而导致调节难度加大,甚至调节失败。同时,比起目前通常使用的Littman结构来说,采用双光楔系统,对谐调的机械要求以及对振动的敏感性大大降低,通过这种方法,波长的精密谐调无需机械谐调装置,手动即可实现,波长选择精度相应提高,从而实现了光栅外腔半导体激光器的输出波长的精密谐调。

### 参考文献:

- [1] R Lang, K Kobayashi. External optical feedback effects on semiconductor injection laser properties [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1980, QE-16:347.
- [2] Oleg Kazharsky, Sergei Pakhomov, Alexander Grachev, et al. Broad continuous frequency tuning of a diode laser with an external cavity [J]. Optics communications., 1997, 131(6):77-82.
- [3] 周炳琨,许知止,姚敏玉,等.外色散腔单模可调谐半导体激光器[J].应用激光,1986,6(2):73-77.
- [4] 江鹏飞,赵伟瑞,张静娟,等.窄线宽的外腔半导体激光器[J].激光技术,2004,28(2):160-161.
- [5] 陈建国,李焱,李大义,等.调谐外腔半导体激光器输出双稳环的确定[J].激光技术,2000,24(5):285-288.
- [6] R Wyatt, W J Devlin. 10kHz linewidth  $1.5\mu\text{m}$  InGaAsP external cavity laser with 55nm tuning range [J]. Electron. Lett., 1983, 19(3):100.
- [7] D Wandt, et al. External cavity laser diode with 40nm continuous tuning range around 825nm [J]. Optics Communications, 1996, 130:81.
- [8] M G Littman, H J Metcalf. Spectrally narrow pulsed dye laser without beam expander [J]. Appl. Opt., 1978, 17: 2224-2227.
- [9] 张剑,陈徐宗,王义道.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):1221-1224.
- [10] Tingdi Liao, Yishen Qiu, Huizhen Xu. An optical method for wavelength fine-selection in optical spectrum analysers [J]. Chin Optics Lett., 2004, 2(9):552-554.