

文章编号:1002-2082(2008)06-0975-03

# 改善外腔半导体激光器调谐特性的新方法

徐惠真<sup>1</sup>, 邱怡申<sup>2</sup>, 徐斌<sup>3</sup>

(1. 集美大学 理学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建师范大学 物理与光电信息科技学院,  
福建 福州 350007; 3. 厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 基于原有的Littman结构外腔半导体激光器, 提出采用一种新的光学方法来实现波长调谐。该方法采用了包含一个旋转楔形棱镜的“光杠杆”系统来降低调谐的机械要求, 提高波长选择精度。通过选择不同的楔形棱镜顶角和光线入射角, 机械要求可以降低1~2个数量级, 波长选择精度也得到相同量级的提高。该方法使Littman结构外腔半导体激光器的调谐特性得到极大的改善, 并大大降低了震动的敏感性。

**关键词:** 外腔半导体激光器; 波长调谐; 闪耀光栅

中图分类号: TN365

文献标志码: A

## Wavelength tuning characteristic improvement of external cavity diode lasers

XU Hui-zhen<sup>1</sup>, QIU Yi-shen<sup>2</sup>, XU Bin<sup>3</sup>

(1. School of Science, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. School of Physics and  
Optoelectronics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 3. School of Physics  
and Electrical and Mechanical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** On the basis of the traditional Littman external cavity diode laser, a novel optical method for wavelength tuning is proposed. A “refractive optical lever” system which consists of a rotating optical wedge prism is employed to reduce the requirement of the rotation mechanism for tuning and improve the accuracy of wavelength selection. By optimizing the vertex angle of the wedge prism and the incident angle of the light ray, the requirement of the rotation mechanism can be reduced by one or two orders of magnitude, and the wavelength selection accuracy can be improved as well. The characteristics of external cavity diode lasers are improved and its sensitivity to the vibration is reduced.

**Key words:** external cavity diode laser; wavelength tuning; blazed grating

## 引言

自1962年第一台半导体激光器问世<sup>[1-3]</sup>至今, 半导体激光器已经覆盖了从近红外光到可见光的整个波段。但一般的半导体激光器输出光谱都很宽, 不利于很多场合的应用。1964年, J. W. Crowe和R. M. Craig, Jr. 提出了外腔理论<sup>[4]</sup>, 从此各种类型的外腔半导体激光器(ECDL)大量出现, 有效地

解决了这些问题。由于外腔半导体激光器具有线宽窄和可谐调性, 使其在高分辨率光谱测量、光外差传感、相干光纤通信、相干检测和光电检测等领域有着广泛的应用。但是一般的Littow和Littman结构外腔半导体激光器都因为包含有旋转系统而使调谐的机械要求提高, 波长选择精度降低。本文通过一种新的光学方法使调谐的机械要求降低, 波长

选择精度提高, 从而改善外腔半导体激光器的调谐特性。

## 1 Littow 和 Littman 结构外腔半导体激光器的缺陷

在外腔半导体激光器中, Littow 结构外腔半导体激光器(Littow ECDL)最简单。在该结构中, 半导体激光器的输出光经准直镜后照射到闪耀光栅上, 调节光栅的转角, 让一级衍射光反馈回激光器的有源区, 零级光输出。微调闪耀光栅的转角能使回到有源区反馈光的中心波长发生变化, 从而改变激光器的谐振波长。Littow ECDLs 结构简单, 但调谐时随着光栅的转动, 输出光方向发生变化, 这给实用带来不便。

Littman 结构外腔半导体激光器(Littman ECDL)<sup>[5]</sup>对 Littow ECDL 作了改进。在该结构中, 闪耀光栅固定不动, 但在一级衍射光方向增加了一个高反射镜。调整反射镜的角度, 使其法线方向与一级光同轴。一级衍射光沿原路返回, 经光栅第二次衍射后, 返回有源区。Littman ECDL 结构图如图 1 所示, 由半导体激光器、准直透镜、闪耀光栅和反射镜构成了激光器的外腔。

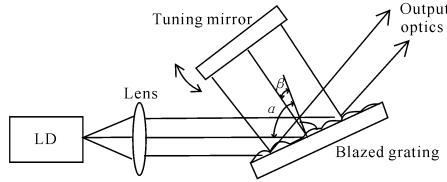


图 1 Littman ECDL 结构图

Fig. 1 Structure diagram of Littman ECDL

Littman ECDL 可以达到比 Littow ECDL 更窄的线宽。目前已有这方面的专利产品可以达到高于偏离中心波长 40 dB 时 0.2 nm 的线宽<sup>[6-7]</sup>。但是, Littman ECDL 的入射角大, 导致衍射效率降低, 而且有效腔长长, 腔损耗大, 输出功率较低。由于采用反射镜旋转系统, 使得波长的分辨率受到限制, 而且系统对外界的震动也很敏感。也就是说, 为了提高波长的分辨精度, 必须采用更加复杂的电子控制旋转系统, 成本也相应提高。本文在 Littman 结构半导体激光器的基础上, 采用“光杠杆”系统来提高波长选择的精度, 该系统包含了一个光学楔形棱镜。

## 2 利用“光折射杆”系统的外腔半导体激光器

图 2 为该方案中所采用的光学楔形棱镜。楔形

棱镜的顶角为  $\alpha$ , 入射角为  $\theta$  的光经过楔形棱镜后, 与原光线产生  $x$  的偏离。偏向角  $x$  随着入射角  $\theta$  的变化而变化。当入射角改变  $\Delta\theta$  时, 通过简单的光线追迹方法, 可以得到光线偏向角  $x$  是入射角  $\theta$  的函数。

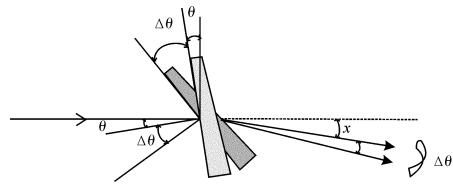


图 2 光学楔形棱镜示意图

Fig. 2 Diagram of proposed ‘refractive optical lever’ consisting of optical wedge prism

作出楔角分别为  $1^\circ$ 、 $2^\circ$  和  $3^\circ$  光楔的偏向角  $x$  关于入射角  $\theta$  的函数曲线, 如图 3 所示。从图中可以看出, 在入射角较小的情况下, 入射角改变很大, 偏向角几乎没有改变。也就是说, 偏向角的变化量  $\Delta x$  对入射角的改变很不灵敏。 $15^\circ$  之后, 偏向角对于入射角的变化才有比较明显的变化; 而当入射角大于  $70^\circ$  之后, 偏向角对于入射角的变化变得很敏感。我们可以用  $\Delta x/\Delta\theta$  来描述“光折射杆”系统的角位移灵敏度。图 4 为楔角分别为  $1^\circ$ 、 $2^\circ$  和  $3^\circ$  光楔的角位移灵敏度曲线。

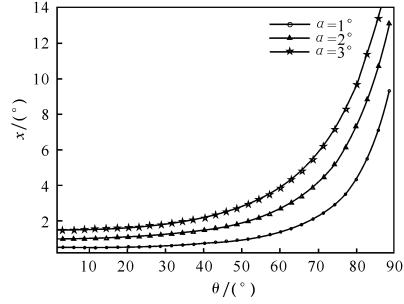


图 3 楔角分别为  $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$  光楔的偏向角曲线

Fig. 3 Beam deviation versus beam incident angle of wedge prism while wedge angles are  $1^\circ$ ,  $2^\circ$  and  $3^\circ$

从图 4 中我们可以看到, 对于楔角相同的光楔, 入射角度不同, 角位移灵敏度的值不同; 对于相同的入射角, 楔角不同角位移灵敏度的值也不同。对于楔角分别为  $1^\circ$ 、 $2^\circ$  和  $3^\circ$  的光楔角, 位移灵敏度曲线的斜率逐渐增大, 也就是说楔角为  $3^\circ$  的光楔对于入射角的改变是最为灵敏的, 而楔角为  $1^\circ$  的光楔最不灵敏。因为角位移灵敏度和放大倍数成反比, 所以在改变相同入射角的情况下, 楔角为  $1^\circ$  的光楔可以放大比楔角为  $3^\circ$  的光楔更大的倍数。因此, 要根

据灵敏度和放大倍数要求选择不同的楔角。

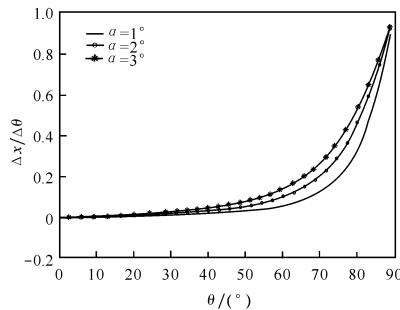


图 4 楔角分别为  $1^\circ$ 、 $2^\circ$  和  $3^\circ$  光楔的角位移灵敏度曲线

Fig. 4 Curves of angular displacement sensitivity of wedge prism while wedge angles are  $1^\circ$ ,  $2^\circ$  and  $3^\circ$

从图 4 我们还可以看到,必须合理地选择光楔的入射角才能真正达到角度的放大作用。对于不同角度的光楔,当入射角较小时,角位移灵敏度趋近于 0,放大倍数理论上可以达到无穷大。虽然放大的倍数很大,但出射光基本上没有改变,一般的探测仪器没办法探测到出射光如此小的变化。因此,小角度入射实际上是不可用的。而当放大倍数太小时(加上光楔并没有真正起到杠杆的作用)变得没有意义,我们取最小放大倍数为 10 倍,对于楔角为  $1^\circ$  的光楔,其入射角选择  $20^\circ \sim 68^\circ$  为宜,相应的放大倍数为  $(10 \sim 178)$  倍;楔角为  $2^\circ$  的光楔选择  $18^\circ \sim 60^\circ$  为宜,放大倍数为  $(10 \sim 109)$  倍;楔角为  $3^\circ$  的光楔选择  $15^\circ \sim 55^\circ$  为宜,放大倍数为  $(10 \sim 97)$  倍。因此,要根据需要合理选择入射角。该性质可以用来降低光谱仪旋转机构的机械要求,提高光谱仪的波长分辨率<sup>[8]</sup>。本文我们将它应用于实现外腔半导体激光器的波长调谐。图 5 是利用“光杠杆”系统的 Littman 半导体激光器结构。原有的 Littman ECDL 选择所需波长时是通过旋转高反射镜,使其改变很小的角度(一般小于几分),这对机械要求很高。对于利用“光折射杆”的 Littman ECDL,我们只需通过旋转楔形棱镜(可比原先旋转更大的角度)就可以选择所需波长,降低了机械要求,提高了选择精度。比如,原先需要旋转高反镜  $1'$ ,对于顶角为  $2^\circ$ ,角位移灵敏度为  $1/60$  的楔形棱镜,只需旋转  $1^\circ$  就够了。因此,通过选择不同的楔形棱镜顶角和偏移角,机械要求可以降低  $1 \sim 2$  个数量级,对震动的敏感性要求也降低,同时,波长选择精度也相应得到提高。

度(一般小于几分),这对机械要求很高。对于利用“光折射杆”的 Littman ECDL,我们只需通过旋转楔形棱镜(可比原先旋转更大的角度)就可以选择所需波长,降低了机械要求,提高了选择精度。比如,原先需要旋转高反镜  $1'$ ,对于顶角为  $2^\circ$ ,角位移灵敏度为  $1/60$  的楔形棱镜,只需旋转  $1^\circ$  就够了。因此,通过选择不同的楔形棱镜顶角和偏移角,机械要求可以降低  $1 \sim 2$  个数量级,对震动的敏感性要求也降低,同时,波长选择精度也相应得到提高。

### 3 结论

通过上述分析,基于原有 Littman 结构外腔半导体激光器的“光杠杆”方法是通过旋转楔形棱镜代替旋转反射镜来实现波长调谐的。根据灵敏度和放大倍数要求选择不同的楔角和入射角,可以把可调谐外腔半导体激光器的机械要求降低  $1 \sim 2$  个数量级,波长选择精度也相同倍数地得到提高,极大地改善了可调谐半导体激光器的波长调谐特性,同时,对震动的敏感性也大大降低。

### 参考文献:

- [1] HALL R N, FENNER G E, KINGSLEY J D, et al. Coherent light emission from GaAs junctions [J]. Phys. Rev. Lett., 1962, 9(9): 366-368.
- [2] NATHAN M I, DUMKE W P, BURNS G, et al. Stimulated emission of radiation from GaAs p-junctions [J]. Appl. Phys. Lett., 1962, 1: 62.
- [3] QUIST T M, REDIKER R H, KEYES R J, et al. Semiconductor maser of GaAs [J]. Appl. Phys. Lett., 1962, 1: 91-92.
- [4] CROWE J W, Jr CRAIG R M. GaAs laser linewidth measurements by heterodyne detection [J]. Appl. Phys. Lett., 1964, 5: 72-73.
- [5] LITTMAN M G, METCALF H J. Spectrally narrow pulsed dye laser without beam expander (ET) [J]. Appl. Opt., 1978, 17(14): 2224-2227.
- [6] Yokogawa Electric Corporation. Optical spectrum analyser and spectroscope: Japan, EP760469 [P]. 1996-09-19.
- [7] Oxford Fiber Optics Tools Ltd. Optical spectrum analyser: UK, PCT/GB00/00496 [P]. 2000-08-24.
- [8] LIAO Ting-di, QIU Yi-shen, XU Hui-zhen. An optical method for wavelength fine-selection in optical spectrum analysers [J]. Chinese Optics Letters, 2004, 2(9): 552-554.

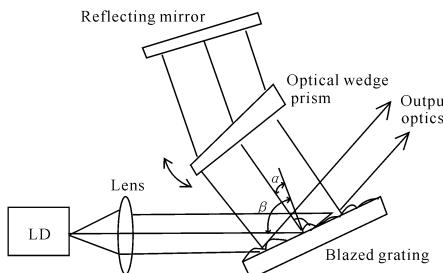


图 5 利用“光折射杆”系统的 Littman 半导体激光器结构

Fig. 5 Littman ECDL with wedge prism