

文章编号: 1001-3806(2004)02-0160-02

## 窄线宽的外腔半导体激光器

江鹏飞<sup>1,2</sup>, 赵伟瑞<sup>2</sup>, 张静娟<sup>1</sup>, 谢福增<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院 半导体研究所, 北京 100083)

**摘要:** 介绍了使用闪耀光栅作为光反馈元件, 与原始线宽大于 1200GHz 的半导体激光器构成的 Littrow 型外腔半导体激光器, 极大地改善了激光器的性能。实验得到了功率恒定、模式单一稳定、线宽优于 1.2MHz 的激光输出, 压窄线宽比为  $10^6$ , 并针对 Littrow 型外腔结构提出了简洁、紧凑的复合型外腔方式。

**关键词:** 外腔半导体激光器; 窄线宽; 光反馈; 复合腔

**中图分类号:** TN248.4 **文献标识码:** A

### A narrow line width external-cavity semiconductor laser

JIANG Pengfei<sup>1,2</sup>, ZHAO Weirui<sup>2</sup>, ZHANG Jingjuan<sup>1</sup>, XIE Fuzeng<sup>2</sup>

(1. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 2. Institute of Semiconductors, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** We introduce the external-cavity semiconductor laser with feedback of Littrow configuration. The spectral line width is narrowed to be less than 1.2MHz and the output stability is remarkably enhanced. We also propose a new complex-cavity method which can greatly narrow the line width of a semiconductor laser.

**Key words:** external-cavity semiconductor laser; narrow bandwidth; light feedback; complexed-cavity

## 引 言

半导体激光器具有其它激光器无法比拟的优点,它是直接的电-光转换器件,转换效率很高,所覆盖的波段范围广,具有直接调制的能力,使用寿命长、体积小、重量轻、价格便宜。但它很宽的谱线宽度以及不稳定的工作状态,又使其很难直接应用于可实现高精度测量的干涉技术中。为此,作者采用十分有效的闪耀光栅外腔方式<sup>[1,2]</sup>,结合温控等手段,使半导体激光器的各项性能得到了显著的改善。实验中使用 942.4nm 半导体激光器,单管线宽约为  $1.2 \times 10^3$  GHz,而经过了外腔的选模,其线宽已被压窄至 1.2MHz 以下。

介绍了使用闪耀光栅反馈的外腔半导体激光器,采用 Littrow 自准直外腔方式进行实验,辅以精度为 1%℃的温控手段,得到了极窄的线宽和稳定的输出功率,在长时间内(10h 以上)没有发生跳模现象,并比较了功率-电流曲线在施加外腔反馈前后

的变化。最后,提出了新颖灵活的复合型外腔方式,经实验证实了该方案用于进一步压窄半导体激光器线宽的可行性。

## 1 Littrow 型外腔半导体激光器

Littrow 结构实现的外腔半导体激光器分为两种<sup>[3]</sup>,如图 1 所示:闪耀光栅工作于 Littrow 自准直

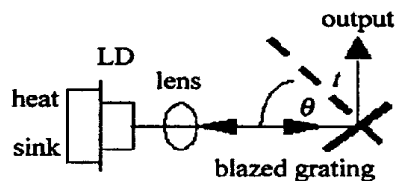


Fig. 1 The Littrow type external cavity

反馈状态,其中一级衍射光反馈至 LD,零级反射光作为输出。图中  $\theta$  既是入射角,又是一级衍射光的衍射角。因一级衍射光的谱线较窄,由它作为反馈可极大的压窄 LD 的输出线宽。同时使用温控和电流调谐等手段,可达到稳频或可调谐的目的<sup>[4,5]</sup>。

## 2 实验及结果

实验所用的半导体激光器由中国科学院半导体研究所研制,中心波长为 942.4nm,  $\Delta\lambda$  为 3.6 nm,线宽达到了 1200GHz 左右。单管阈值电流为 53mA,额

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60277027)

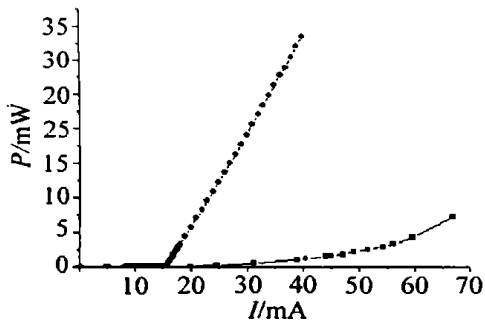
作者简介:江鹏飞(1978-),男,硕士研究生,从事外腔半导体激光器、激光干涉仪和纳米精度测量方面的工作。

E-mail: jpf@red.semi.ac.cn

收稿日期:2003-05-24;收到修改稿日期:2003-06-27

定输出 101mW,在出射端面镀有增透膜。外腔光栅选用 1200 线/mm 的衍射光栅,衍射效率 20%。LD 的 pn 节面与光栅刻线平行(使出射光的偏振方向平行于光栅的刻线方向),在 LD 与光栅之间采用消色差透镜进行耦合。采用 Littrow 自准直反馈方式,外腔长度为 6cm(从激光器出射端至光栅的距离)。采取焊接的方法将制冷器固定在激光器上,使制冷器与激光管之间不会因温度的变化而产生裂隙和形变,以保持良好的导热率。温控精度为 1%℃,工作温度设定为 20.0℃。

在外腔反馈下得到了稳定的激光输出,如图 2 所示,上方为加置外腔时的  $P-I$  曲线,下方为管芯本



身的  $P-I$  特性曲线。与无外腔反馈时不同的是, $P-I$  曲线在阈值附近没有平滑的过渡细节,而且在阈值电流以上,曲线的线性度良好,在长时间内(10h 以上)无跳模,激光器的阈值电流被显著的降低到了 15.8mA,而且阈值点以上的  $P-I$  曲线线性度也大为改善,这将更加有利于对激光器的功率控制和以后的波长调谐。

采用 Coherent 公司 Model 216 光谱分析仪测量,如图 3 所示,在一个锯齿波的周期内,光谱分析仪的

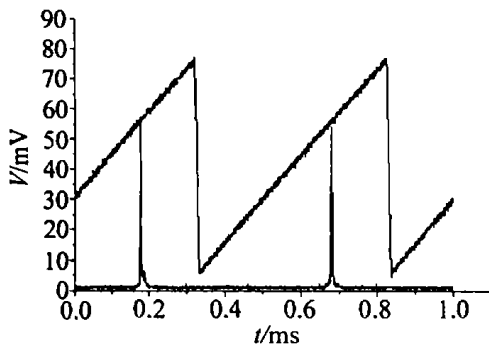


Fig. 3 Testing result of the spectrum analyser

共焦腔扫过 300MHz 的自由光谱范围,此时,激光器的线宽已被压窄至 1.2MHz 以下,线宽压窄比为  $10^6$ ,模式单一稳定, $\Delta\lambda < 3.5 \times 10^{-6}$  nm。

在本实验中,外腔长度设定为 6cm,在一定范围内增大腔长,可更加有效地压窄线宽,但与此同时,

温控等辅助设备的精度也要相应提高,因为纵模间隔的缩小需要更精确的温度和腔长控制,以避免跳模或功率不稳等现象的发生。因此,依赖长腔的选模作用,采取多级的温控方式,亦能显著提高线宽的压窄效率。

为此,提出了简单的复合外腔结构,如图 4 所示。在光栅与 LD 之间放置一块分光板,采取类似

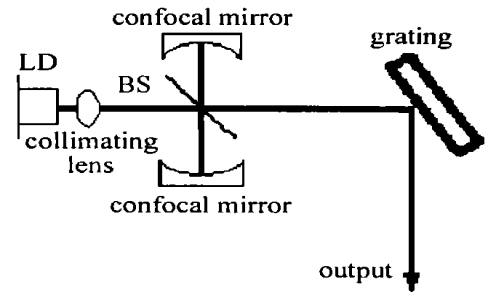


Fig. 4 Scheme of the complexed cavity with littrow feedback

迈克尔逊干涉光路的结构,增加了外腔对模式的选择条件。其中使用共焦腔结构,与使用法布里-珀罗腔相比,使结构更加紧凑,且便于调整。通过实验肯定了该复合腔对线宽进一步压窄的作用,Coherent 公司 Model 216 光谱分析仪已不能精确测出此时的线宽,国外有使用 Littman 型复合外腔的报道,线宽达到了 10kHz;采用本文中提出的复合腔,能达到更好的稳频效果,可以使外腔半导体激光器更好的应用于干涉测量、光谱计量等领域。

### 3 结论

通过设计及搭建外腔,并辅以温控等手段,很好地压窄了半导体激光器的线宽,使其从原来的  $1.2 \times 10^3$  GHz 被压窄为 1.2MHz,线宽压窄比为  $10^6$ ,光束在空间中的相干长度达到 250m 以上。由于半导体激光器本身的光谱范围极宽,而且容易通过电流对输出波长进行调谐,因此,高品质的外腔半导体激光器可广泛应用于外差干涉仪、调频干涉仪、光栅干涉仪等高精度光学测量系统中。同时,提出了 Littrow 型复合外腔的设想,初步验证了该方案的可行性,为研制具有极窄线宽的稳频半导体激光器提供了新的方法。

### 参考文献

- [1] NOTOMI M, MITONMI O, YOSHIKUNI Y. IEEE Photon Technol Lett, 1990(2): 85~87.
- [2] HARVER K C, MYATT C J. Opt Lett, 1991, 16(12): 910~912.
- [3] HELME D R. IEEE J Q E, 1987, QE23(6): 1000~1004.
- [4] BOSHIER M G, BERKELAND D, HINDS E A *et al.* Opt Commun, 1991, 85: 355~359.
- [5] de LABACHELIERIE M, PASSE DAT G. Appl Opt, 1993, 32(3): 269~274.