

大功率外腔半导体激光器的研究

董启明 潘仲琦 张汉一 杨今强 周炳琨

(清华大学电子工程系 北京 100084)

提要 介绍了一种用光栅作为外反馈元件,采用普通大功率半导体激光器管芯作为增益介质的方案。实验中实现了输出功率大于 70 mW,边模抑制比大于 30 dB。并对影响大功率外腔半导体激光器特性的参数进行了分析。

关键词 大功率,外腔,半导体激光器

1 引 言

近几年,用外腔实现大功率半导体激光器单频输出的研究得到重视。与固体激光器相比,外腔半导体激光器体积小,重量轻,波长可调谐,在高分辨光谱分析、医疗诊断治疗、频率转换、计量检测等领域有广泛的应用前景,是非常重要的光电子器件之一。我们采用两面镀增透膜的普通平面增益波导大功率激光器作为增益介质,成功地实现了单模输出功率大于 70 mW,调谐范围大于 20 nm,谱线半宽小于 300 kHz,边模抑制比大于 30 dB 的结果。

2 原 理

光栅外腔激光器的选模原理已经被广泛研究过^[1]。在光栅外腔激光器中,光栅作为波长选择元件可使满足光栅方程 $2d\sin\theta = m\lambda$ 的光按原路返回,所以 $\lambda = 2d\sin\theta (m = 1)$ 的光损耗最小,净增益最大。半导体激光器的增益谱是均匀加宽的,通过不同模式之间的竞争,净增益最大的模式最后将实现单模输出。

3 实 验

本实验采用普通大功率半导体激光器管芯,有源区发光面尺寸为 $1\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$,长 900

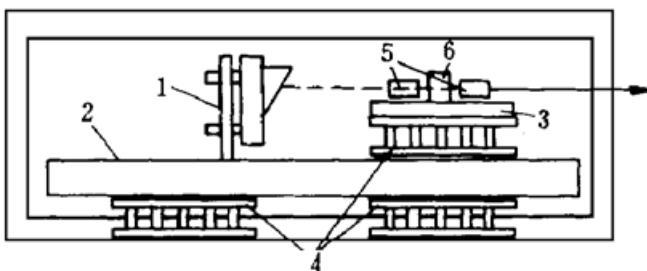


图 1 大功率外腔激光器结构图

1: 调节架和光栅; 2: 大热沉; 3: 小热沉;
4: 制冷器; 5: 透镜; 6: 大功率 LD

Fig. 1 The structure of a high power external cavity laser

1: grating; 2: high heat sink; 3: low heat sink;
4: cooler; 5: lens; 6: high power LD

μm , 中心波长为 950 nm, 两面镀上增透膜使反射率降低到约 1%, 以提高阈值防止激射。反馈一侧采用自聚焦透镜准直, 其数值孔径 (N.A.) 约为 0.5, 最大会聚光束发散角 2θ 为 60° 。反馈光栅为 1200 l/mm 全息光栅, 实验系统结构如图 1 所示。

采用两级制冷是为了提高温度稳定性, 使激光器工作稳定。大功率半导体激光器的发光面极不对称, 导致出射光斑成长条状, 与小功率激光器相比耦合难度增加很多。实验中为了提高耦合效率实现单模输出, 采用了短耦合腔, 腔长约为 2~3 cm。实验中测得反馈前后耦合光纤输出功率-电流曲线如图 2 所示。从图中可以看出无反馈时无激光激射, 加反馈后出现激光, 阈值约为 700 mA。当电流为 1.3 A 时, 直接输出功率最大可达 70 mW。用频谱仪观察输出频谱, 在功率为 70 mW 时输出模式仍是单模。调谐光栅可以实现波长调谐, 单模调谐范围从 943.1 nm 到 964.0 nm, 边缘功率有所下降。在整个调谐范围内, 边模抑制比大于 25 dB。在增益谱中心边模抑制比可达 30 dB, 谱线半宽度小于 300 kHz。

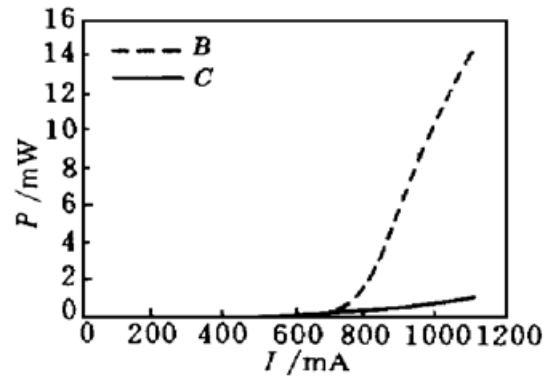


图 2 功率电流曲线

B: 有反馈; C: 无反馈

Fig. 2 Relation of the output power and the bias current with (B) and without (C) a feedback

4 分 析

外腔激光器的单模稳定工作取决于反馈的强弱和反馈光谱的宽窄。大功率半导体激光器

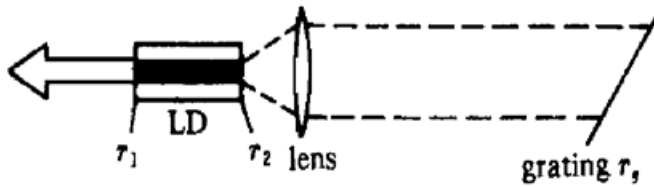


图 3 外腔结构模型示意图

Fig. 3 The schematic of the external cavity laser

增益大易激射, 实验中观察到电流达到 1.2 A 以上时, 增益谱出现明显波浪状起伏, 峰谷相差约为 3 dB, 其周期约为 0.15 nm, 以激光器本征腔长为 900 μm , 折射率为 3.5 计算得到本征模式间隔为 0.14 nm, 与增益谱起伏周期基本相符。实验证实无反馈时存在激射的管芯加反馈后阈值下降较少, 单模输出功率低, 电流增大时

易变成多模输出。因此, 镀膜的好坏对大功率半导体激光器的稳定单模工作有重要影响。我们用图 3 所示的模型进行分析。设 LD 出射端面残留反射率为 r_1 , 反馈端面残留反射率为 r_2 , 光栅等效反射率为 r_g 。无反馈时阈值为 I_0 , 加反馈后阈值为 I_1 , 在电流为 I_0 时反馈倍数为 a (有反馈时功率与无反馈时功率之比), 均匀加宽增益满足下列关系

$$G_1(I_0) = \frac{G^0(I_0)}{1 + I/I_s} \approx G^0(I_0) \tag{1}$$

$$G_2(I_0) = G^0(I_1) = \frac{G^0(I_0)}{1 + aI/I_s} \tag{2}$$

其中 G_1 为无反馈时的增益, G_2 为有反馈时的增益, G^0 为小信号增益, I_s 为饱和光功率, (1) 式采用了 $I \ll I_s$ 近似。半导体激光器小信号增益近似正比于电流, 令 $b = G^0(I_0)/G^0(I_1) \approx I_0/I_1$, 将 (1), (2) 式代入得关系式

$$I = \left[\frac{b-1}{a} \right] I_s \tag{3}$$

半导体激光器稳定工作满足增益损耗平衡的关系

$$r_1 r_2 \exp\{2[G_1(I_0) - \alpha]L\} = 1 \quad (4)$$

$$r_1 r_g \exp\{2[G_2(I_0) - \alpha]L\} = 1 \quad (5)$$

将(1), (2), (3)式代入(4), (5)式, 可得到关系式

$$\frac{r_g}{r_2} = \exp\left[2G^0(I_0)L\left[\frac{a}{a+b-1} - \frac{1}{b}\right]\right] \quad (6)$$

若想提高外腔激光器单模输出功率, 要求反馈后 LD 阈值下降幅度要大, 无反馈时最好无激射。也就是 I_0 和 b 的值要尽可能地大。若想提高单模工作稳定性, 反馈倍数要大, 也就是 a 的值尽可能大。从公式(6)中看出 I_0, b, a 的增大要求 r_g/r_2 迅速增大。 r_g 的提高十分有限, 因此影响大功率单模输出的重要因素是反馈端面的残留反射率。假定 I_0 为 1200 mA, I_1 为 300 mA, r_g 为 10%, $\exp[2G_0(I_0)L]$ 为 2000, 计算得到 r_2 为 0.2%。可以看到对 r_2 的要求是非常苛刻的, 镀膜质量是影响大功率外腔半导体激光器的最重要的因素。式(6)中没有 r_1 , 说明 r_1 并不影响反馈的强弱, 但 r_1 仍与输出功率有关。实验中, 我们在输出端加了一个反射率约为 10% 的半反半透镜, 发现出射功率增大了 30%。输出功率是 r_1, r_2, r_g, G^0 的函数, r_2 要尽量小, 而 r_g, G^0 是固定的参数, 所以存在最佳 r_1 使输出功率最大。

反馈的强弱对激光器的稳定工作也有影响, 我们曾在反馈光路中加入柱透镜以提高反馈比, 但效果不明显, 这是因为端面残留反射率过高的缘故。在其他因素中, 光栅分辨率也是一个重要因素。大功率器件本征模式间隔小, 因此需要分辨率更高的光栅, 国外一般采用 1800 l/mm 或 2100 l/mm 光栅。实验所用管芯波长为 950 nm, 这种结构对其他波长的管芯同样适用。

致谢 实验中激光器管芯和镀膜均由中国科学院半导体所提供, 特此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Zhang Hanyi, Pan Zhongqi, Yang Jingqian *et al.*. Semiconductor laser with tunable single longitudinal mode narrow linewidth external cavity. *Physics* (物理), 1995, **24**(7): 429~ 432 (in Chinese)
- 2 Zhou Bingkun, Gao Yizhi, Chen Jiahua *et al.*. Principle of Lasers. Beijing: The Press of National Defence, 1995. 123~ 132 (in Chinese)
- 3 Chai Yanjie, Zhang Hangyi, Xie Shizhong *et al.*. Wide-band tuning property of external cavity semiconductor laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1993, **A20**(10): 725~ 728 (in Chinese)

High Power External Cavity Semiconductor Laser

Dong Qiming Pan Zhongqi Zhang Hanyi Yang Jinqiang Zhou Bingkun

(Electronic Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract The high power external cavity semiconductor laser has become an important optoelectronic device. In this paper, using a grating as the feedback component, a laser of single frequency output over 70 mW and side mode suppression over 30 dB is reported. Meanwhile, some parameters which influence the performance of the high power external cavity laser are analyzed.

Key words high power, external cavity, semiconductor laser