

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0155-04

高功率半导体激光器的电流调制特性*

余建华^{1,2} 韩树荣^{1,2} 来引娟³ 李瑞宁³ 黄国标²

¹ 深圳大学光电子系, 深圳 518060
² 深圳市镭幻激光高技术有限公司, 深圳 518052
³ 山西大学物理电子工程学院, 太原 030006

提要 对高功率 GaAs/GaAlAs 量子阱激光器(808 nm)的低频(100 Hz~20 kHz)电流调制特性进行了实验研究, 测量了激光输出功率、接通延迟时间、阈值电流、正脉冲的占空比等与调制频率和调制电流的关系。

关键词 量子阱激光器, 激光调制, 低频调制

中图分类号 TN248.4 **文献标识码** A

Current Modulation Characteristics of a High Power Semiconductor Laser

YU Jian-hua^{1,2} HAN Shu-rong^{1,2} LAI Yin-juan^{1,3} LI Rui-ning³ HUANG Guo-biao²

¹ Department of Optoelectronics, Shenzhen University, Shenzhen 518060
² Laser Fantasy Hi-Tech. Co., Ltd., Shenzhen 518052
³ College of Physics and Electronic Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006

Abstract In this paper, the current modulation characteristics of a high power GaAs/GaAlAs quantum well laser in low frequencies (100 Hz~20 kHz) were experimentally investigated. The laser characteristics, such as the laser power, the open delay time, the threshold current, the positive duty cycle, in dependent on the modulation frequency and the modulation current were measured.

Key words quantum-well laser, laser modulation, low frequency modulation

1 引言

半导体激光器(LD)的直接电流调制特性被广泛应用于光通信、光盘技术、光复印等信息领域。在这些应用中,总是采用小信号高频率(GHz)的电流调制加载和处理信息。因此,对于低功率半导体激光器的小信号高频调制方面,人们已经做了大量的工作^[1~3]。近年来,高功率808 nm量子阱激光器和它的应用得到快速发展。例如,直接或抽运固体激光器用于激光加工、激光显示等领域。在这些高功率半导体激光器的实际应用中,常常需要对光进行调制。用调制后的半导体激光器抽运固体激光介质直接获得调制脉冲,也将是半导体激光器抽运固体激光器的一个应用方向。但是,直到目前为止还没有人对高功率808 nm LD的直接电流调制特性进行过研究。

本文基于全固化激光器应用的需要,对国产的808 nm量子阱激光器的低频调制特性进行了实验研究,测量了激光输出功率、接通延迟时间、阈值电流、正脉冲的占空比等与调制频率和调制电流的关系。

2 实验装置

实验中使用国产的1 W GaAs/GaAlAs量子阱激光器,其最大注入电流为1.2 A。采用自行研制的带有控温功能和调制接口的LD驱动源,直流输出电压2V,输出电流为0~2 A,并带有直流和调制输出转换开关。我们用多波形信号发生器产生方波电压调制信号,当信号电压为3~5 V时,电源对LD处于接通状态,当调制电压低于3 V时,电源对LD处于断开状态。利用国产的2GS02型高速(响应时间2 ns)PIN管作为光电探测器,输出信号用Tektronix的TDS360型存储示波器测量和采集数据,用激光功率计测量激光平均输出功率,实验装置

* 深圳市科技三项经费资助课题

如图 1 所示。

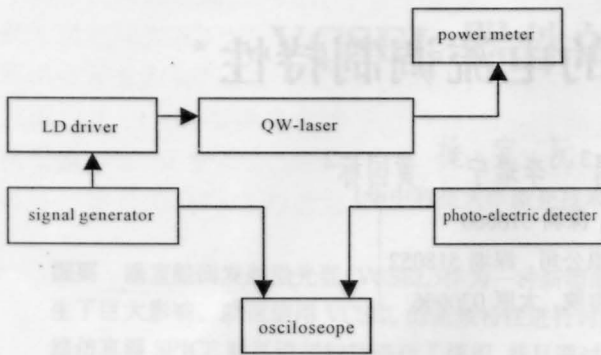


图 1 实验装置

Fig.1 Block diagram of the experimental setup

实验的调制频率范围为 0.1~20 kHz,属于低频调制。图 2 是该实验测量的调制信号、电源以及被调制激光的输出波形。由图 2 可见,激光电源的输出与调制信号有较好的响应,而测量到的激光输出波形相对于调制信号有一定的延迟,这与半导体激光器的动力学过程有关。

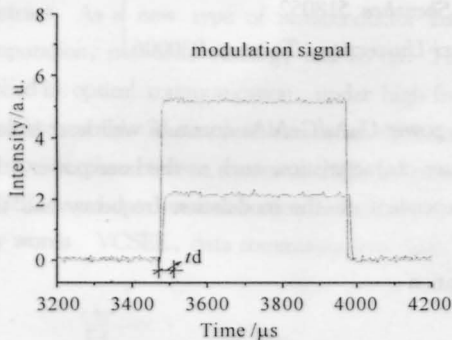


图 2 1 kHz 调制信号、电源驱动信号和 LD 输出波形图
(t_d : 接通延迟时间)

Fig.2 Waveforms of the modulation signal, the drive current and the LD when the modulation frequency is 1 kHz
(t_d : open delay time)

3 理论基础

一般情况下,载流子密度 N 与光子密度 S 的速率方程可以写为^[4]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{I}{eV_a} - \Gamma a(N - N_0)S - \frac{N}{\tau_s} \quad (1)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \Gamma a(N - N_0)S + \frac{\gamma N}{\tau_r} - \frac{S}{\tau_p} \quad (2)$$

式中, I 为注入电流, N_0 为透明载流子浓度, Γ 为光场限制因子, V_a 为有源区体积, a 是在不考虑增益色散和增益抑制时,增益系数与载流子密度关系曲线的梯度常数,增益系数 τ_s 为载流子寿命, τ_r 为辐

射复合寿命, τ_p 为光子寿命, γ 为自发发射因子,定义为进入一个谐振模的光能量与总的自发发射光能量之比。

一般情况下,阈值载流子密度 $N_{th} \approx (1 \sim 3) \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$,当注入电流小于阈值电流,即 $N \leq N_{th}$ 时,可忽略(1)中的 S ,得到阈值以下载流子与光子密度的表达式:

$$\left. \begin{aligned} S &\approx 0 \\ N &\approx \tau_s I / (eV_a) \end{aligned} \right\} (I < I_{th}) \quad (3)$$

因此阈值电流密度为:

$$I_{th} = eV_a N_{th} / \tau_s \quad (4)$$

在阈值以上由于腔内光强增加而需考虑增益抑制项,如果忽略增益色散,增益系数可以表示为

$$g = a(N - N_0) - BS \quad (5)$$

其中 B 为增益抑制系数。当注入电流大于激光阈值电流时,载流子和光子密度为^[4]:

$$\left. \begin{aligned} N &= N_{th} + \frac{B}{\Gamma a g_{th}} (I - I_{th}) \\ S &= \frac{\tau_p (I - I_{th})}{eV_a} \end{aligned} \right\} (I > I_{th}) \quad (6)$$

式中 g_{th} 是阈值增益。

4 实验结果和分析

实验发现,比较连续波激光输出,在调制情况下的平均输出功率要低,而峰值功率却要高。随着调制频率、调制电流的改变,量子阱激光器的接通延迟时间、阈值电流、正脉冲的占空比、平均功率、峰值功率都有相应的改变。而且,当调制电流大于某个值时,量子阱激光器的输出波形将发生畸变。

4.1 激光阈值电流与调制频率的关系

图 3 为激光阈值电流与调制频率的关系。在 3 K 以下,阈值电流较低且保持常数,基本上与连续的

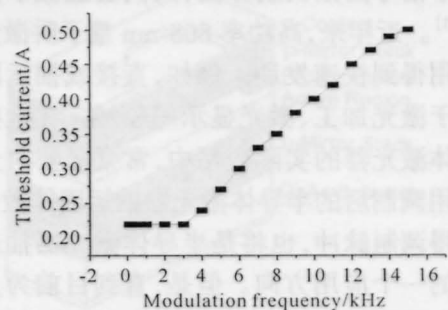


图 3 激光阈值电流与调制频率的关系
Fig.3 Laser threshold in dependence on the modulation frequency

情况下相同。随着调制频率的进一步提高, 阈值电流呈上升趋势。从(4)式可以看出, 阈值电流与阈值载流子浓度成正比, 与载流子寿命成反比, 随着调制频率的提高, 非平衡载流子的浓度加大, 载流子寿命降低, 从而阈值电流升高。

4.2 接通延迟时间与调制频率、调制电流的关系

当驱动电流超过阈值 I_{th} 有激光输出时, 激光脉冲滞后了时间 t_d , 在此时间内载流子上升到阈值 N_{th} , 这个延迟时间仅由载流子动力学过程决定。当 $I \gg I_{th}$ 时, 接通延迟时间可以表示为^[5]:

$$t_d \approx \tau_s \cdot I_{th} / I \quad (7)$$

式中 τ_s 是载流子的复合时间, 它是阈值载流子密度的函数。

实验过程中, 我们发现接通延迟时间与调制电流呈反比关系, 如图 4 所示。当 $I \gg I_{th}$ 时, 接通延迟时间随调制频率的改变不大, 如图 5 所示, 这与(7)式所描述的函数关系相符合。因为载流子寿命反比于调制频率, 而阈值电流正比于调制频率, 因此, 由(7)式可见, 调制频率对接通延迟时间影响不大。

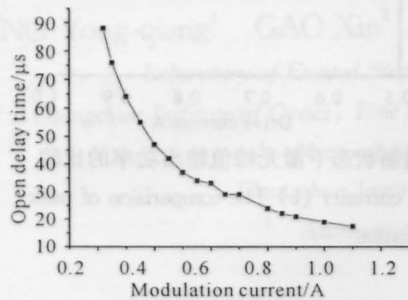


图 4 接通延迟时间与调制电流的关系

Fig. 4 Dependence of the open delay time t_d on the modulation current

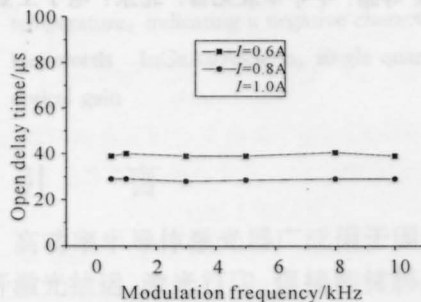


图 5 接通延迟时间与调制频率的关系

Fig. 5 Dependence of the open delay time t_d on the modulation frequency with modulation current as parameter

4.3 正脉冲的占空比 (Positive Duty Cycle) 与调制频率、调制电流的关系

在正常情况下, 激光的输出随调制信号而变化。

但是, 在矩形脉冲的大电流调制下, 量子阱激光器并不是完全按照调制信号的波形输出。随着调制频率的增加, 激光器的输出波形类似于锯齿波, 而且正脉冲的占空比发生变化。实验结果表明, 正脉冲的占空比随着调制频率的增加而减小, 但是随着调制电流的增加而增加(见图 6)。我们可以把激光脉冲周期 T 分为三部分, 即接通延迟时间 t_d , 正脉冲持续时间 ΔT , 脉冲开始下降到周期结束 t_f :

$$T = t_d + \Delta T + t_f \quad (8)$$

实验中发现 t_f 不随调制频率、调制电流改变。在频率固定(即 T 不变)改变调制电流的情况下, 由于 t_d 随着调制电流的增加而减小(见图 4), 所以 ΔT 必然增大, 从而正脉冲的占空比随着调制电流的增加而加大。在调制电流固定改变调制频率的情况下, 由于调制频率对 t_d 的影响不大(见图 5), 所以随着调制频率的增加 T 减小, ΔT 也减小, 从而正脉冲的占空比随着调制频率的增加而减小。

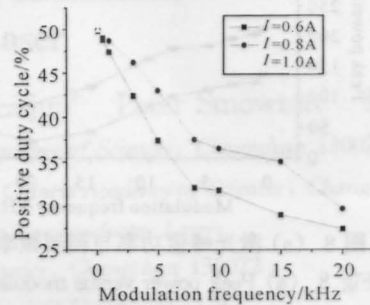


图 6 正脉冲的占空比与调制频率的关系

Fig. 6 Positive duty cycle as a function of the modulation frequency with modulation current as parameter

4.4 平均功率、峰值功率与调制频率的关系

随着调制频率的增加, 半导体激光器的平均功率和峰值功率都呈下降趋势, 如图 7(a), 图 8(a)所示。由(6)式可以看出, 调制频率的提高导致阈值电流加大和载流子寿命减小都将使光子密度降低, 所以, 激光输出功率会随着调制频率的提高而降低。实验中还发现, 与连续状态下的输出功率相比, 调制状态下激光平均输出功率要低, 而峰值功率要高。

4 结束语

实验研究了高功率 808 nm 量子阱激光器的低频电流调制特性。与通讯用的红外激光二极管的调制特性不同, 即使在低频调制的情况下, 高功率 808 nm 量子阱激光器的输出特性也会发生变化。实验结果表明, 调制状态下的激光平均输出功率较连续

波功率要低,而峰值功率比连续波功率高,调制激光的功率随着调制频率增高而下降。激光阈值电流与调制频率成正比。由于载流子的受激复合滞后所引

起的频率响应随注入电流的增加而加快,但是激光的接通延迟时间与调制频率无关。随着调制频率的增加,正脉冲的占空比减小,但与调制电流成正比。

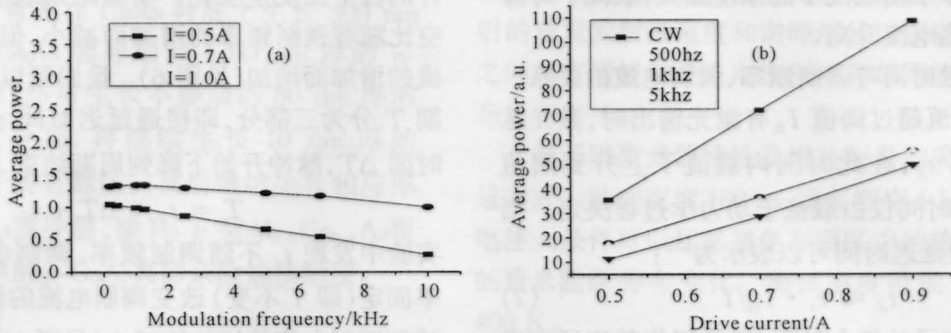


图 7 (a) 激光平均功率与调制频率的关系; (b) 连续状态与调制状态下激光平均输出功率的比较

Fig. 7 (a) Average power versus modulation frequency; (b) The comparison of average power under continuity and modulation

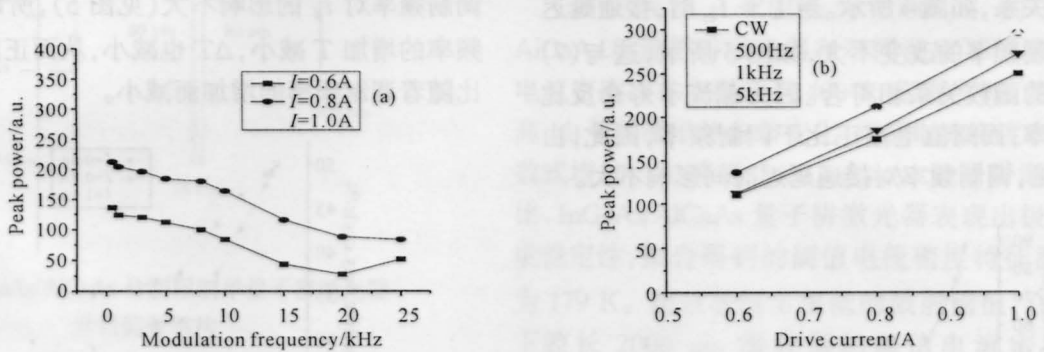


图 8 (a) 激光峰值功率与调制频率的关系; (b) 连续状态与调制状态下激光峰值输出功率的比较

Fig. 8 (a) Peak power versus modulation frequency with different current; (b) The comparison of peak power under continuity and modulation

参 考 文 献

- 1 R. S. Tucher. High-speed modulation of semiconductor lasers. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 1985, **LT-3**:1180~1192
- 2 K. Petermann. *Laser Modulation and Noise*. Boston, MA: Kluwer Academic, 1988
- 3 C. R. Doerr. Direct modulation of long-cavity

semiconductor lasers. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**: 2052~2061

- 4 黄德修 编. 半导体激光器及其应用. 北京:国防工业出版社, 1996
- 5 蔡伯荣 等编. 半导体激光器. 北京: 电子工业出版社, 1995