

外腔锁模多量子阱二极管激光器*

王兴龙 李 昱 姚建铨

(天津大学精仪系, 天津 300072)

摘 要 报道一种用作光通讯光源的外腔锁模多量子阱结构半导体激光器。其脉冲宽度为 2~ 5 ps, 波长调谐范围为 1.52~ 1.57 μm , 锁模频率 0.5~ 1.0 GHz, 平均输出光功率为 1 mW。

关键词 半导体激光器, 超短光脉冲, 光通讯, 外腔锁模, 多量子阱。

半导体二极管激光器产生超短光脉冲的方法有增益开关^[1]、自脉冲^[2]、锁模等。增益开关法由于载流子被调制而使得输出光脉冲产生严重的频率啁啾, 这在许多应用领域是不希望的。自脉冲二极管激光器的光脉冲重复频率取决于注入电流的大小, 而精确控制电流是十分困难的, 所以亦限制了其应用范围。而锁模二极管激光器的脉宽窄、重复频率高、时间抖动低、啁啾小, 因此, 它在光通讯技术、超快光学测量、电光采样等方面有重要用途。

目前广泛研究的锁模二极管激光器是两区或多区式结构。可饱和吸收区和增益区具有完全相同的有源层和波导, 这些区域之间有几百至几千欧姆的阻值。这些区域正向注入电流, 显示出增益特性; 加上反向偏压时, 呈可饱和吸收特性。若三区域二极管激光器的中间区域加反向偏压, 对称分布在两边的区域注入正向电流, 便是集成的碰撞锁模二极管激光器^[3,7]。

锁模二极管激光器的一端镀上增透膜, 用光栅引入反馈, 形成了外腔锁模二极管激光器。该激光器有许多优点: 移动光栅即改变腔长, 可改变锁模频率; 转动光栅的角度可调节输出光的波长; 腔内插入法布里-珀罗标准具, 可改善输出光谱从而减小频率啁啾。该激光器最先由贝尔实验室的 Ziel 等提出^[4], 目前研究较深入的还有几个组^[5,6]。本文报道的外腔锁模二极管激光器具有脉宽窄(未采取任何腔外压缩措施)、波长调谐范围大、输出稳定等特点。

1 实验光路和结构

该外腔锁模二极管激光器主要包括一个两区域的激光二极管、耦合透镜和光栅, 如图 1 所示。激光二极管是从双沟平面隐埋型异质结构晶片上生长成的, 这种激光二极管是折射率梯度分布、分别限制异质结构、包含 InGaAs/InGaAsP 五个应变层量子阱。二极管的长度为 625 μm , 其中可饱和吸收区的长度为 40 μm 。与增益区靠近的端面镀增透膜。激光器两端的输出光用折射率渐变的自聚焦透镜耦合, 透镜的尺寸为 $\Phi 2 \times 5 \text{ mm}$, 通光面镀 1.55 μm 增透

* 本文的部分内容是作者出访日本电气公司期间完成的。

收稿日期: 1995 年 10 月 30 日; 收到修改稿日期: 1996 年 3 月 11 日

膜。调谐元件用 600 l/mm 的衍射光栅, 它同时能压缩光谱宽度。该外腔锁模激光器的腔长在 $150 \sim 300 \text{ mm}$ 间调节, 对应的锁模频率为 $0.5 \sim 1.0 \text{ GHz}$ 。二极管激光器的增益区电流为 $I_{\text{gain}} = 0 \sim 150 \text{ mA}$, 可饱和吸收区电压值为 $V_b = 0 \sim 1.0 \text{ V}$ 或悬空。改变 V_b 能相应改变可饱和吸收能力。为防止开关或断电引起的电流或电压脉动而损坏二极管激光器, 电流源和电压源都设有保护装置。当 I_{gain} 较大而 V_b 断开(悬空)或其值很小时二极管激光器处在连续运转状态; 当 $V_b = -0.6 \sim 0.8 \text{ V}$ 、 $I_{\text{gain}} = 60 \sim 70 \text{ mA}$ 时, 二极管激光器处在被动锁模运转状态。一般地, 二极管激光器被动锁模脉宽窄(ps 量级)而主动锁模脉宽宽(数+ 微秒), 另一方面, 被动锁模脉冲序列的时间抖动比主动锁模高出一个量级以上。为综合利用两种锁模方式的优点, 采用了混合锁模方式, 即在被动锁模的结构上, 对可饱和吸收区进行调制。

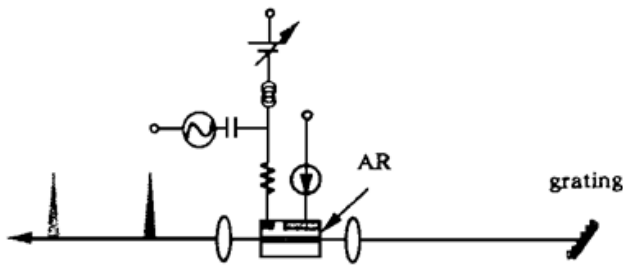


Fig. 1 Schematic illustration of the external cavity mode-locked diode laser

正弦调制信号来自合成器, 经放大倍数为 30 dB 的宽带微波放大器后, 加到可饱和吸收区。为防止调制信号影响电压源, 电路中接了隔高频的电感; 而电容是为阻止直流电压对合成器的干扰而设。最后, 调制信号和直流电压通过 50Ω 的匹配阻抗被加到可饱和吸收区。调制信号的频率取激光谐振腔频率($0.5 \sim 1.0 \text{ GHz}$)。调制信号的平均功率大约 0.1 W , 但由于调制频率较高, 反射和其他损耗的存在

使得实际进入可饱和吸收区的调制信号功率小于 0.1 W 。

2 实验结果与分析

重点讨论混合锁模的运转特性。用高速采样示波器和光电管测量脉冲波形。如果用合成器产生的调制信号分路来触发采样示波器, 可以观察到非常稳定的脉冲波形, 如图 2 所示。同时调节激光腔长和调制频率, 锁模频率可在 $0.5 \sim 1.0 \text{ GHz}$ 之间改变。

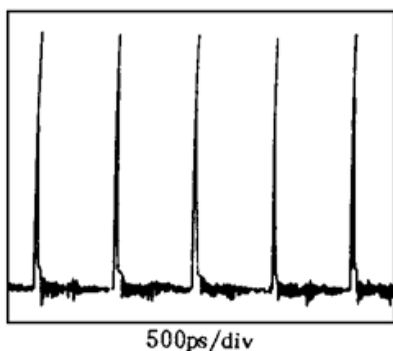


Fig. 2 Sampling oscilloscope trace of the mode-locked optical pulse train. The laser wavelength was $1.55 \mu\text{m}$, and the pulse repetition rate was 0.99 GHz

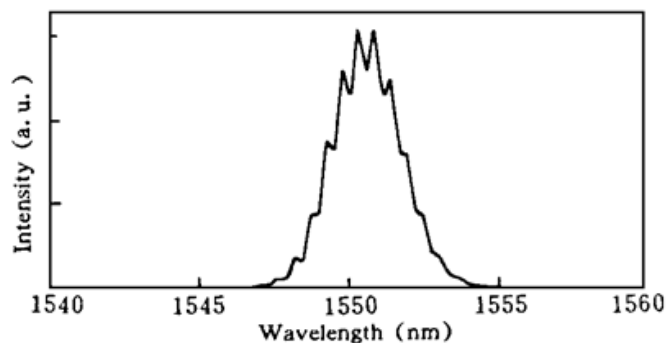


Fig. 3 Optical spectrum of the mode-locked laser

用光谱分析仪(Advantest Q8381A)观察到该锁模二极管激光器的波长调谐范围为 $1.52 \sim 1.57 \mu\text{m}$ 。图 3 给出锁模脉冲在 $1.55 \mu\text{m}$ 附近的典型光谱图。从光谱图上可以看到明显的调制特征, 它是激光二极管镀有增透膜的端面微弱反射所致。采用二次谐波自相关技术测量脉冲宽度, 其结果如图 4 所示。由于激光器的平均输出功率约 1 mW , 为获得满意的测量效果, 采用了锁相放大器及对近红外光响应良好的光电倍增管。图 3 和图 4 是同时采集的光谱

和脉宽数据,算出时间带宽乘积为 0.6,接近变换极限。在整个波长调谐范围内,脉冲宽度为 2~5 ps。必须指出,由于调制信号仅对可饱和吸收区域产生影响,且平均功率很小,因此它对该外腔锁模激光器的输出功率、波长调谐、脉冲宽度及光谱等无明显影响。

结束语 报道了一种波长调谐范围大、脉宽窄,时间抖动小的外腔锁模多量子阱半导体激光器。它可在光通讯、电光采样、光学测量等方面获得广泛应用。由于采用混合锁模方式,不仅使锁模脉冲时间抖动大为降低,而且使光脉冲序列与电信号(这里为合成器产生的调制信号)严格同步,这种特征使得该激光器比被动锁模(其光脉冲序列不与任何电信号同步)有更广泛的用途。将另文报道这种激光器产生的超短脉冲序列测量量子阱中可能饱和吸收的恢复时间,用其作为光源控制其他半导体激光器的锁模行为等。

特别感谢李世忱教授、黄翔东博士的有益讨论和帮助。还特别感谢日本电气公司 R&D Group 的同行们对此项工作的大力支持和合作。

参 考 文 献

- [1] J. Chung, N. Kikuchi, S. Sasaki, Generation of transform-limited optical pulses using a combination of a gain-switched diode laser and a semiconductor optical amplifier. *IEEE Photonics Tech. Lett.*, 1995, 7(8): 860~862
- [2] M. M. Hrlje, U. Feiste, J. H. rer *et al.*, Gigahertz self-pulsation in 1.5 μm wavelength multisection DFB lasers. *IEEE Photonics Tech. Lett.*, 1992, 4(9): 976~978
- [3] Youngkai Chen, C. Wu, Monolithic colliding-pulse mode-locked quantum-well laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1992, QE-28(10): 2176~2185
- [4] J. P. Van der Ziel, W. T. Tsang, R. A. Logan *et al.*, Subpicosecond pulses from passively mode-locked GaAs buried optical guide semiconductor lasers. *Appl. Phys. Lett.*, 1981, 39(7): 525~527
- [5] J. M. Wiesenfeld, M. Kuznetsov, A. S. Hou, Tunable picosecond pulse generation using a compressed modelocked laser diode source. *IEEE Photonics Tech. Lett.*, 1990, 2(5): 319~321
- [6] T. Schrans, S. Sanders, A. Yariv, Broad-band wavelength tunable picosecond pulses from CW passively mode-locked two-section multiple quantum-well lasers. *IEEE Photonics Tech. Lett.*, 1992, 4(4): 323~326

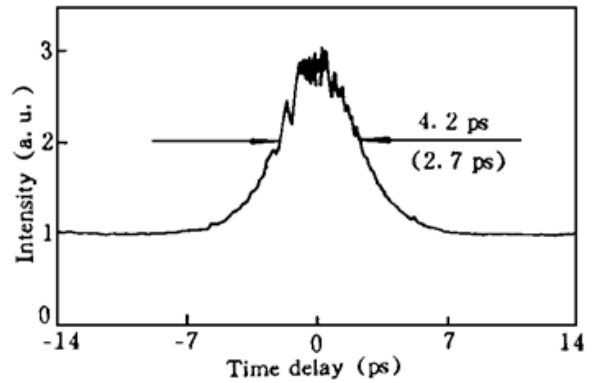


Fig. 4 Second harmonic autocorrelation trace of the mode-locked laser. The pulse width was estimated to be 2.7 ps assuming a hyperbolic-secant pulse shape

External Cavity Mode-Locked Multiple Quantum Well Diode Laser

Wang Xinglong Li Yu Yao Jiangquan

(Department of Precision Instrument Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

(Received 30 October 1995; revised 11 March 1996)

Abstract An external cavity mode-locked multiple quantum well diode laser is reported. Its pulsewidth is 2~5 ps, wavelength tuning range is 1.52~1.57 μm , mode-locking frequency is 0.5~1.0 GHz, and average output power is 1 mW. This kind of diode lasers can be used as the light source of optical communication.

Key words semiconductor lasers, ultrashort light pulse, optical communication external cavity mode-locking, multiple quantum well.