

AlGaAs/GaAs 多量子阱激光器

徐俊英 李立康 张敬明 曾安 傅方正 陈良惠 曾一平 孙殿照 孔梅影

(中国科学院半导体研究所, 100083)

摘要: 本文报道用国产分子束外延设备研制出波长为 850 nm AlGaAs/GaAs 多量子阱激光器。室温阈值电流密度为 980 A/cm²、条宽 8 μm 的激光器最低室温阈值电流为 28 mA, 线性输出功率大于 15 mW, 单面量子微分效率约 24%, 具有良好的温度特性(温度从 -35°C 到 +30°C 范围内, T₀=361°C)。

关键词: 分子束外延, 量子阱激光器, AlGaAs/GaAs

AlGaAs/GaAs multiple quantum well lasers

Xu Junying, Li Likang, Zhang Jingming, Zeng An, Fu Fangsheng,
Chen Lianghui, Zeng Yiping, Sun Dianshao, Kong Meiyang

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing)

Abstract: 850nm GaAlAs/GaAs multiple quantum well lasers are prepared by a domestic molecular beam epitaxy system. The lasers have threshold current density of 980 A/cm² at room temperature, The lasers stripe width of 8um, the lowest room temperature threshold current is 28 mA, a linear power output of 15mW, a differential quantum efficiency per facet of about 24%, and a weak temperature dependence of threshold current density (T₀=361°C in the range of -35°C to +30°C) are achieved.

Key words: AlGaAs/GaAs, multiple quantum well lasers, molecular beam epitaxy

一、引言

量子阱激光器是一种具有超薄层的量子阱结构作为有源区的异质结激光器。在量子阱内, 阱中的电子和空穴在垂直于薄层厚度方向(z)的运动被限于宽度在 L_z 的范围内, 并且导致了电子和空穴的 z 方向能量的量子化, 形成子能带结构(L_z 应该与载流子的 De Broglie 波长相当, 否则量子效应将不明显)。图 1(b)是 AlGaAs/GaAs 单量子阱的能带图, 多阱的情况下, 如果势垒层 L₀ 很厚, 则相邻阱间的电子相互作用可以忽略, 按单阱问题处理。正是由于这种量子化造成了量子阱激光器载流子的态密度按照阶状分布, 不同于一般体材料 DH 激光器的抛物线状分布。在这两种情况中, 注入载流子的分布和增益特性是不相同的, 使量子阱激光器与一般的 DH 激光器相比具有许多优越的性能, 如低阈值电流密度和低阈值电流, TE 模对 TM 模的比值高, 高频调制特性好, 阈值电流受温度影响比较小(高 T₀)等。这些优越的性能使量子阱激光器受到了广泛的重视。

二、结 构

本文报道由国产分子束外延 (MBE) 设备生长的高质量的 AlGaAs/GaAs 多量子阱激光器。

多量子阱激光器结构如图 1(a) 所示。取向为 (100)，在 N-GaAs: Si ($n: 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 的衬底上，首先生长一层 $1.5 \mu\text{m}$ 厚的 N-GaAs: Si ($n: 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 缓冲层以得到平整完好的晶格结构。然后依次生长: $1.5 \mu\text{m}$ 厚 N-Al_{0.4}Ga_{0.6}As: Si ($n: 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 光限制层, $0.2 \mu\text{m}$ 厚不故意掺杂的多量子阱结构有源层, $0.5 \mu\text{m}$ 厚 P-Al_{0.4}Ga_{0.6}As: Be (P: $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 光限制层, 以及重掺杂 $1 \mu\text{m}$ 厚 P-GaAs: Be 顶层, 以便形成良好的欧姆接触。为了做成 PN 结隔离条形激光器, 我们还在顶层上生长一层 N-GaAs: Be ($n: 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 作为电注入的隔离层。

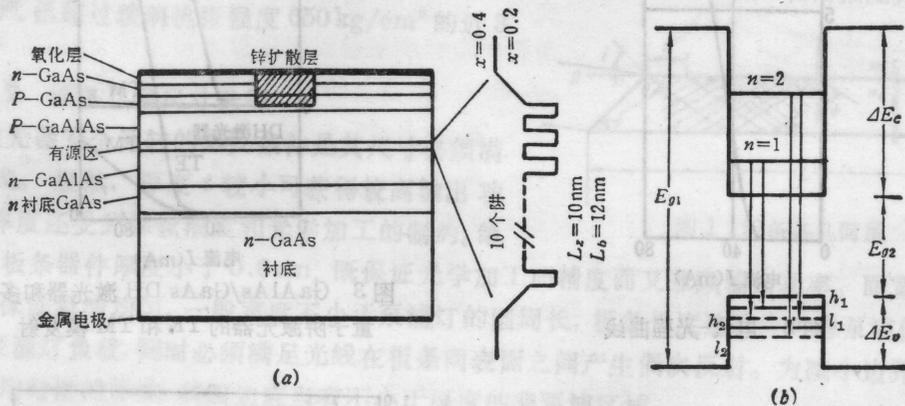


图 1 量子阱激光器结构图

不故意掺杂的多量子阱有源层结构也示于图 1(a)。阱的材料为 GaAs, 势垒层材料为 Al_{0.2}Ga_{0.8}As, 阱的数目为五到十个, 阱的宽度 L_w 和势垒宽度 L_b 分别为 10nm 左右。

在生长过程中, 我们注意到: 1) MBE 生长室的高真空及尽量减少污染的重要性; 2) 提高 AlGaAs 层的质量 (通过荧光效率和荧光峰的宽度给以鉴定); 3) 良好的各个生长面平整度。这三条是得到高质量多量子阱激光器的重要因素。

三、性 能

我们已经做成室温连续受激的具有较低阈值电流的多量子阱激光器。宽接触激光器的室温阈值电流密度为 980A/cm^2 , 宽度为 $8 \mu\text{m}$ 的条形激光器, 最低阈值电流为 28mA 。阱宽为 10nm 的多量子阱激光器, 其发射波长为 852nm 左右。考虑到带隙收缩效应, 这与 Kronig-Penny 模型计算的 $N=1$ 子能带发射波长相符合, 线性输出功率可大于 15mW , 示如图 2。单面微分量子效率约 24% 。

从图 3 可以看出与常规的 AlGaAs/GaAs 双异质结激光器相比, AlGaAs/GaAs 多量子阱激光器具有更高的 TE 模对 TM 模的比值, 表征了量子阱激光器具有优异的偏振性能。这是

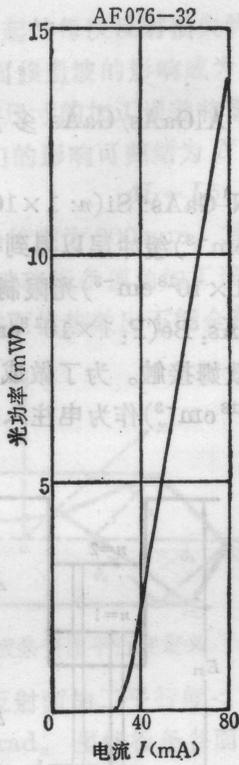


图2 电流-光强曲线

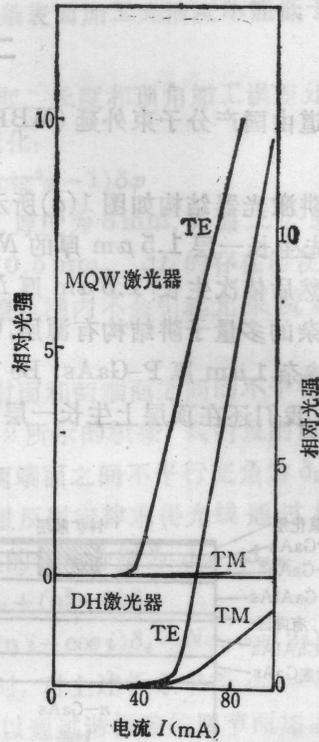


图3 GaAlAs/GaAs DH激光器和多量子阱激光器的TE和TM模发射

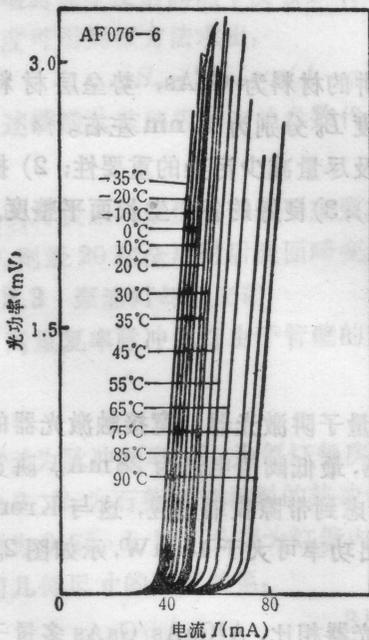


图4 不同温度的光强-电流曲线

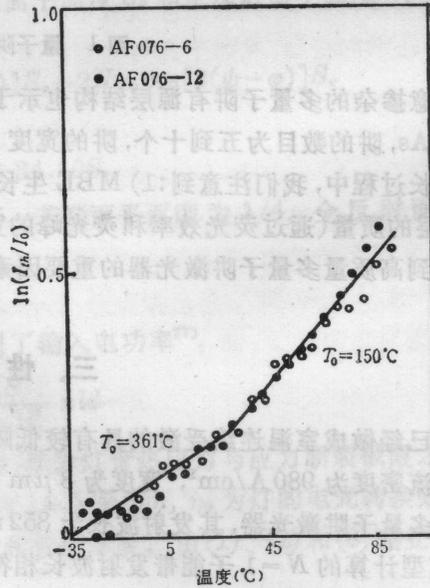


图5 温度与阈值电流的关系, 测得条件: 脉冲宽度 100 ns, 频率 5 kHz

$$I_{Th}(I) = I_0 \cdot \exp(T + 35) T_0, T_0 \text{ 为 } 35^\circ\text{C} \text{ 时阈值电流}$$

由于量子阱激光器中 $n=1$ 子能带的电子与重空穴的复合只有在平行于量子阱层的方向 (TE 方向) 才是可能的, 虽然电子与轻空穴的复合在 TE 和 TM 两个方向都有可能, 但是因为重空穴的态密度大于轻空穴的态密度, 使电子到重空穴的跃迁几率远大于电子到轻空穴的跃迁几率, 导致 TE 对 TM 模的优势^[6,7]。这是在普通双异质结激光器中由镜面对 TE 和 TM 分量反射率不同造成差异以外的附加效应。

量子阱激光器的另一个优点是阈值电流受温度的影响小, 在图 4 中明显地显示出来^[4]。从 -35°C 到 90°C 的 120°C 温度范围内, 阈值电流仅增大一倍, 这是一般 DH 激光器做不到的。半导体激光器的阈值电流密度与温度的关系常用一个经验公式表示:

$$J(T) = J_0 \exp(T/T_0)$$

公式中的 T_0 表征了阈值电流对温度的灵敏性。从图 5 可看出我们的器件在温度 -35°C 到 30°C 的范围内, T_0 高达 361°C , 在 30°C 到 90°C 的范围内, T_0 也达到 150°C ,

近年, 多量子阱中的量子限制 Stark 效应由于在光双稳开关、光调制器、有源 Q 开关等方面的应用而受到重视^[8]。我们也对器件的电场调制效应进行了研究, 发现存在明显的量子限制 Stark 效应, 当垂直于激光器的结平面方向的电场加于多量子阱时, 激子吸收峰向低能方向移动。图 6 是实验的光电流谱图。从图可看出偏压为零伏时, 呈现明显的室温激子吸收峰, 随着反向偏压增加, 吸收边向长波方向移动, 加 -4V 反向偏压时, 带边移动量可达 40nm 。注意到激光器的受激发射波长为 852nm , 位于 0V 偏压时光吸收边的长波方向, 受激波长与吸收边波长不符合是由于载流子的带隙收缩效应引起的, 相差约 20mW 。这些结果将使我们的 AlGaAs/GaAs 多量子阱激光器可以和一个调制器实现单片集成, 利用有源 Q 开关效应而获得高频调制, 快速窄脉冲光输出成为可能。

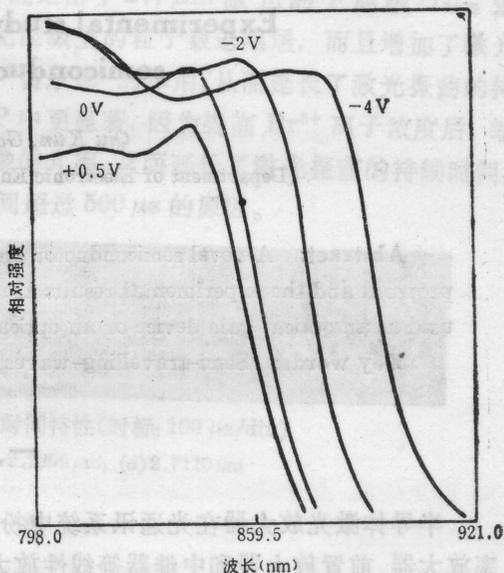


图 6 室温多量子阱激光器的光电流谱

参 考 文 献

- 1 W. T. Tsang, *Semiconductor and Semimetals*, **24**, 383 (1987)
- 2 P. L. Derry et al., *Appl. Phys. Lett.*, **50**, 1773 (1987)
- 3 K. Uomi et al., *IOOC/ECOC*, p493 (1985)
- 4 K. Heess et al., *Solid State Electronics*, **23**, 585 (1980)
- 5 Y. Arakawa et al., *Appl. Phys. Lett.*, **48** (9), 561 (1986)
- 6 H. Kobayshi et al., *Electr. Lett.*, **19**, 166 (1983)
- 7 J. S. Weiner et al., *Appl. Phys. Lett.*, **47**, 1148 (1985)