

文章编号 : 0258-7025(2001)06-0494-03

808 nm 波长高功率阵列半导体激光器

薄报学^{1,2} 高欣² 王玲² 曲轶² 高鼎三¹

(¹ 吉林大学电子工程系集成光电子学国家联合重点实验室 ; ² 长春光机学院高功率半导体激光国家重点实验室 长春 130023)

提要 报道了采用 MBE 外延生长方法制备的叠层阵列 CW 工作型高功率半导体激光器。激光器的生长结构采用经过优化的单量子阱渐变折射率分别限制波导结构, 激光器芯片结构为标准的 CM 条, 注入因子设计为 60%。叠层装配采用了具有高效散热能力的水冷结构。经初步测试, 叠层器件的阈值电流为 12 A, 直流 30 A 驱动电流下的输出功率达 40 W, 斜率效率为 2.2 W/A。器件中心激励波长为 810 nm, 光谱宽度(FWHM)为 6 nm。

关键词 叠层阵列 半导体激光器 高功率

中图分类号 TN 365 文献标识码 A

808 nm Wavelength High Power Semiconductor Laser Arrays

BO Bao-xue^{1,2} GAO Xin² WANG Ling² QU Yi² GAO Dingsan¹

(¹ National Key Lab of Integrated Optoelectronics, Department of Electronic Engineering, Jilin University; ² National Key Lab of High Power Semiconductor Lasers, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130023)

Abstract High power semiconductor laser stack arrays, grown by MBE have been prepared. The epitaxial structure for LD is an optimized SQW GRIN SCH structure, and cm bars are made with a fill factor of 60%. A LD stack assembly with water cooling is formed to obtain an effective heat delivery ability. The following results are preliminarily obtained: I_{th} of the stack lasers is 12 A, CW output power can reach to 40 W at 30 A; FWHM of the lasing spectrum is 6 nm with a central wavelength of 810 nm, and the slope efficiency(η_s) is 2.2 W/A.

Key words stack array, semiconductor laser, high power

1 引 言

高功率半导体激光器在微加工、信息处理和国防尖端技术领域有着十分广泛的用途^[1,2],除了通常的抽运 Nd:YAG, Nd:YVO₄ 等固体激光器, 以获得高效、紧凑、可靠的固体激光器, 满足激光测距、制导及微加工的需求外, 还可以直接用于激光雷达成像、电子焊接、生物组织辐照等方面。获得高功率半导体激光器的关键在于低阈值激光器结构设计、高质量的半导体外延生长过程和芯片工艺、具有良好散热的装配结构。由于 MBE, MOCVD 等半导体外延生长技术的发展, 对器件生长结构的控制已经变得十分容易, 生长厚度精度达到了单原子层量级, 组份精度可以控制在 2% 以内。外延技术的提高为器件新型结构的设计与优化提供了至关重要的条件, 并由

此发展了多量子阱、单量子阱、渐变波导、应变结构、量子点、量子线等新结构器件。目前的高功率半导体激光器多采用具有低阈值特点的单量子阱渐变折射率分别限制结构^[3]。叠层阵列装配是半导体激光器实现高功率输出的一个重要方式。对于 CW 型工作器件或高占空比工作器件, 有效散热是激光器获得高效输出和进行可靠工作的重要前提。本文报道的器件采用了高质量的 MBE 外延生长方法, 器件结构为经过优化考虑的单量子阱分别限制线性缓变波导结构, 装置结构为自行设计的具有高效散热能力的水冷型叠层结构。

2 激光器结构及器件工艺

激光器采用 GaAs/AlGaAs 体系材料, 图 1 为 808 nm 波长 GaAs/AlGaAs 单量子阱分别限制结构激光器的结构示意图。量子阱激光器由于其阱内载流子

分布的状态密度呈台阶状分布,降低了激光器实现粒子数反转所需的载流子浓度,使量子阱结构激光器具有较大的非线性增益,因而设计良好的量子阱结构激光器一般均可实现低阈值激射。理论计算表明,在激光器的波导损耗和镜面输出损耗足够小的条件下,单量子阱结构器件具有最小的激射阈值电流密度。激光器内波导采用线性渐变的梯度折射率结构,既有利于注入载流子的有效收集,也有利于增加光斑尺寸,降低器件的端面光功率密度,提高激光器的功率输出水平。为了较好地降低波导内由于掺杂引起的吸收损耗,激光器的外限制层采用了梯度掺杂技术,从外限制层的中心至内波导层的掺杂浓度线性降低二分之一。

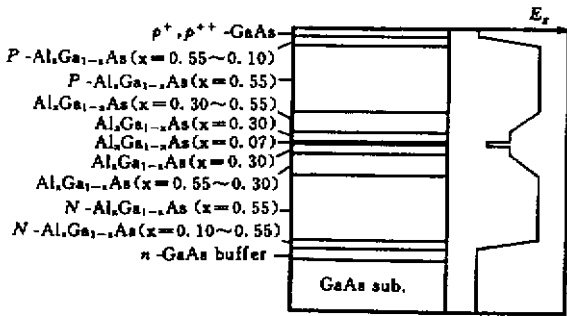


图 1 GaAs/AlGaAs 单量子阱分别限制结构激光器的结构示意图

Fig.1 Schematic structure of GaAs/AlGaAs SQW SCH lasers

激光器的结构生长采用了 MBE 方法,生长系统为 V80H。衬底为偏向 $111 A$ 约 2° 的 (100) 取向 GaAs 衬底,衬底刻蚀坑缺陷密度小于 $200/\text{cm}^2$ 。衬底经过速装室 (200°C)、预备室 (450°C) 的去气送入生长室进行器件的结构生长,其顺序依次为: $300\text{ nm } n^+ \text{-GaAs}$ 缓冲层 (Si 掺杂浓度: $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), 150 nm 厚线性渐变 $N\text{-Al}_{0.1 \rightarrow 0.55}\text{Ga}_{0.9 \rightarrow 0.45}\text{As}$ 过渡层 (Si 掺杂浓度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) $0.6\ \mu\text{m}$ 厚 $N\text{-Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ 外限制层 (Si 掺杂浓度线性渐变: $1 \sim 0.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), 80 nm 厚线性渐变内波导层 $\text{Al}_{0.55 \rightarrow 0.3}\text{Ga}_{0.45 \rightarrow 0.7}\text{As}$ (非故意掺杂), 15 nm 厚 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 垒层 (非故意掺杂), 10 nm 厚 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{As}$ 有源层 (非故意掺杂), 15 nm 厚 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 垒层 (非故意掺杂) 80 nm 厚线性渐变内波导层 $\text{Al}_{0.3 \rightarrow 0.55}\text{Ga}_{0.7 \rightarrow 0.45}\text{As}$ (非故意掺杂) $0.6\ \mu\text{m}$ 厚 $P\text{-Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ 外限制层 (Be 掺杂浓度线性渐变: $0.5 \sim 1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), $0.6\ \mu\text{m}$ 厚 $P\text{-Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ 外限制层 (Be 掺杂浓度: 1

$\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), 100 nm 厚线性渐变 $P\text{-Al}_{0.55 \rightarrow 0.1}\text{Ga}_{0.45 \rightarrow 0.9}\text{As}$ 过渡层 (Be 掺杂浓度: $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), 100 nm 厚 $p^+ \text{-GaAs}$ 层 (Be 掺杂浓度: $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$), 15 nm 厚 $p^{++} \text{-GaAs}$ 欧姆接触层 (Be 掺杂浓度: $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)。在整个外延生长过程中,外限制层的生长温度为 700°C , GaAs 层的生长温度为 600°C ,有源层的生长温度为 680°C ,生长温度的转变是在线性渐变层内同步进行的。生长速率 $v_{\text{GaAs}} = 1.0\ \mu\text{m/h}$, v/III 速流比控制在近临界状态。

激光器条宽为 11 mm (cm-条), 激射区宽度为 10 mm , 其中激射条单元宽度为 $60\ \mu\text{m}$, 周期为 $100\ \mu\text{m}$ 。为了防止阵列器件中可能存在的横向光增益, 采用标准光刻技术和湿法化学腐蚀方法在激光器激射单元条之间形成光隔离沟道 (腐蚀至下限制层), 同时以 SiO_2 为掩蔽膜制备出电极条形窗口。P 面和 N 面分别蒸镀 CrAu, AuGeNi 合金电极后解理成 $800 \sim 1000\ \mu\text{m}$ 腔长的激光器条, 然后在器件的两个端面分别镀以 Si/SiO₂ 高反射膜 (HR $\sim 90\%$) 和 SiO₂ 单层减反射膜 (AR $\sim 10\%$)。激光器芯片 P 面向下装在镀 In 的铜热沉上。

3 激光器阵列装配及特性

cm 条阵列激光器工作时的热功率密度很大, 一般多采用无氧铜制备的铜热沉作为激光器条的直接散热介质, 也有采用人造金刚石或 BeO 作为激光器的直接散热介质的报道。与激光器芯片直接焊接的热沉对激光器的高功率工作特性有着至关重要的影响, 它主要决定了激光器有源区与激光器外散热片或冷却液之间的温度梯度。我们采用了安装面经过精密抛光的无氧铜热沉, 有效保证了激光器条与热沉之间的均匀焊接, 使芯片工作时产生的热量得到均衡散发, 降低了不均匀焊接引起的局部热饱和。激光器条工作时的局部温升对器件有着致命性损伤, 因为局部温升使该处的有源区带隙变窄, 加剧了此处的电流注入, 形成温升的恶性循环, 此种情况在一般的单激射条器件中是不存在的。为了安装方便, 无氧铜热沉的外尺寸为 $25\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 。厚度设计为 2 mm , 主要是为了激光器的二维高密度装配。图 2 为两个 cm 条激光器叠层装配的结构示意图, 热沉采用了液 (本实验中为蒸馏水) 冷散热技术。根据激光器的热耗散功率, 可以在给定的水温升 (一般小于 2°C) 计算出具体水流量要求, 实验中我们针对双 cm 条器件 40 W 光功率输出、 60 W 热功率耗散的

情况, 冷却水流量定为 0.5 L/min。

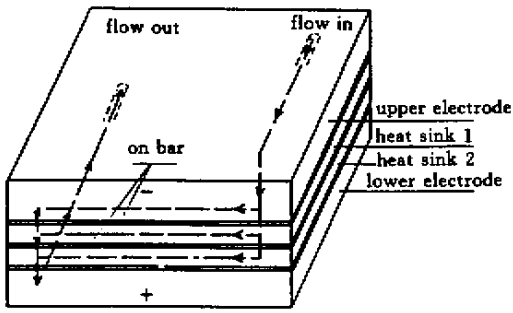


图 2 双 cm 条激光器叠层装配的结构示意图

Fig. 2 Assembly diagram of double cm-bar stack lasers

图 3 为一个双 cm 条叠层阵列激光器的 $P-I$ 特性曲线及其光谱分布。激光器的驱动电源为一个最大输出电流为 30 A 的连续可变恒流电源。激光器的光输出通过一积分球收集, 经衰减后由 Si 探测器接收, 并由 $x-y$ 记录仪得到激光器的 $P-I$ 特性曲线。从图中可以看出, 我们制备的阵列激光器具有较高的斜率效率(约 2.2 W/A), 器件在最大驱动电流下其输出曲线(受到电源限制)还保持着良好的线性, 没有出现功率饱和现象或器件的局部击穿损坏, 说明: 1) 器件内部产生的热量得到了有效散发, 有源区结温升较小, 尚没有明显影响到有源区载流子的注入效率。2) cm 条器件的外延材料具有较好的均匀性, 且热沉与装配工艺满足了 cm 条激光器均衡散热的要求。从激光器的发射光谱可以看出, 由于具有较多的发光单元, 且单元激射条之间存在不可避免的材料不均匀性的温度分布, 使得叠层阵列激光器的激射光谱宽度较单条型激光器有明显增加。视激光器的条宽不同, 一般单条型大功率激光器的激射光谱宽度(FWHM)为 1~2 nm。

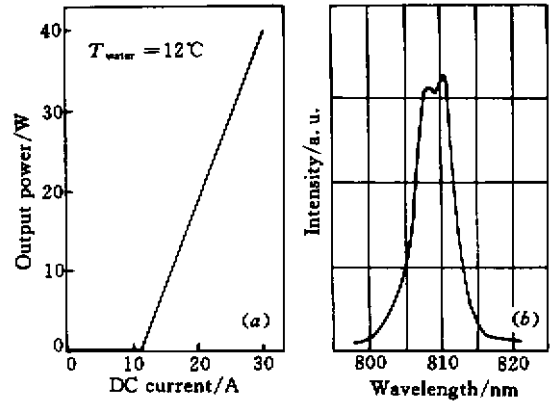


图 3 双 cm 条叠层阵列激光器的 $P-I$ 特性曲线 (a) 及其光谱分布 (b)

Fig. 3 $P-I$ characteristics (a) and spectrum distribution (b) of double cm-bar stack lasers

4 结 论

我们在完成高质量单量子阱渐变折射率结构 808 nm 波长 GaAs/AlGaAs 激光材料的 MBE 生长的同时, 进行了 cm 条器件的工艺制作, 并在此基础上初步组装了叠层阵列半导体激光器, 获得了连续 40 W 的光功率输出, 为以后研制更高功率的半导体激光器奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 Rogers L., Macomb S. Indus. Diode laser target manufacturing. *Laser Solutions for Manufacturing*, 1999, **14** (6) 25~28
- 2 Mc Euen K., Indus. Diode lasers solve soldering problems. *Industrial Laser Rev.*, 1998, **13** (2): 16~18
- 3 Peng Y. H., Wang B. Z. et al.. Design of quantum structure stripe lasers for low threshold current. *Opt. & Quantum Electron.*, 1999, **31** (1) 23~28