

文章编号: 0258-7025(2003)08-0684-03

InGaAs/AlGaAs 半导体激光器二维阵列

辛国锋^{1,2}, 陈国鹰¹, 冯荣珠², 花吉珍², 安振峰²

¹ 河北工业大学信息学院微电子所, 天津 300130

² 中国电子科技集团公司第十三研究所光电专业部, 河北 石家庄 050051

摘要 用金属有机化合物气相淀积(MOCVD)技术外延生长了 InGaAs/AlGaAs 分别限制应变单量子阱激光器材料。利用该材料制成半导体激光器一维线阵列, 然后再串联组装成二维阵列, 在 1000 μ s 的输入脉宽下, 输出峰值功率达到 730 W(77 A), 输出光功率密度为 487 W/cm², 中心激光波长为 903 nm, 光谱半宽(FWHM)为 4.4 nm。在此条件下可以稳定工作 8600 h 以上。

关键词 激光技术; 半导体激光器; 金属有机化合物气相淀积; 二维阵列; 分别限制单量子阱

中图分类号 TN 248.4 文献标识码 A

InGaAs/AlGaAs Semiconductor Laser 2-D Arrays

XIN Guo-feng^{1,2}, CHEN Guo-ying¹, FENG Rong-zhu², HUA Ji-zhen², AN Zhen-feng²

¹ Research Institute of Microelectronics, College of Information, Hebei Univ. of Tech., Tianjin 300130, China

² The Office of Photoelectric, 13th Research Institute of CETC, Shijiazhuang, Hebei 050051, China

Abstract Materials of InGaAs/AlGaAs separate confinement heterostructure strained single quantum well were grown by the technology of metal organic chemical vapor deposition (MOCVD). The 1-D semiconductor laser linear arrays were made using this materials, then they were assembled to form 2-D array. It's peak wavelength is 903 nm, the full width at half maximum (FWHM) is 4.4 nm, the peak output power is 730 W (pulse width 1000 μ s, drive current 77 A), and the density of output power is 487 W/cm². The laser can work very reliably over 8600 hours in this condition.

Key words laser technique; semiconductor laser; metal organic chemical vapor deposition (MOCVD); 2-D array; separate confinement heterostructure single quantum well

半导体激光器大功率化最基本的方法是增加电流注入的宽度, 但宽度太大容易产生高次横模振荡和丝状振荡。另一种方法是在同一衬底制作几个或几十个发光单元, 形成一维线阵列。为了突破这种线阵列输出功率的限制, 有效的途径是再将一维线阵列串联组装成二维阵列, 本文采用第二种方法实现了高功率输出。

Yb³⁺ 在能量存储方面优于 Nd³⁺, 而且对于同样的基质, Yb³⁺ 的发射寿命是 Nd³⁺ 的 4 倍, 由于 Yb³⁺ 是准三能级激光器电子结构, 所以不能用闪光灯有效地进行抽运^[1]。Yb³⁺: Sr₅(FO₄)₃S 固体激光器(Yb: S-FAP)吸收谱的中心波长为 900 nm, 而且

Yb³⁺ 的寿命在 1 ms 范围, 因此研制中心激光波长为 900 nm, 工作电流脉冲宽度为 1 ms 的大功率激光器是必要的。本文报道的 900 nm 长脉宽 InGaAs/AlGaAs 大功率半导体激光器二维叠层阵列输出功率为 730.6 W, 输出光功率密度为 487 W/cm²。

1 材料结构生长

1.1 材料结构设计

半导体激光器的激光波长主要由材料组份、量子阱宽度、应变等因素决定。本激光器阵列采用 InGaAs/AlGaAs 材料体系。

收稿日期: 2002-12-26; 收到修改稿日期: 2003-03-06

作者简介: 辛国锋(1975-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为大功率半导体激光器的设计与研制。E-mail: guofeng_xin@

In_xGa_{1-x}As 材料的能带带隙

$$E_g(x) = 1.424 - 1.614x + 0.54x^2 \quad (1)$$

同时在计算时考虑了应变引起的能带带隙变化,量子阱中的第一电子(E_{ce1})和空穴(E_{vh1})子能级直接根据薛定谔方程及其边界条件计算。量子阱的有效带隙为

$$E_{eff}(eV) = E_{gw} + E_{ce1} + E_{vh1} \quad (2)$$

则半导体激光器的激光波长可由下式计算

$$\lambda(\mu m) = 1.24/E_{eff}(eV) \quad (3)$$

根据以上分析,计算了激光波长与有源区材料 In 组份以及量子阱宽度的关系,如图 1 所示。根据以上计算确定了量子阱的宽度为 8nm,其 In 组份为 0.11 左右。理论和实验相吻合。

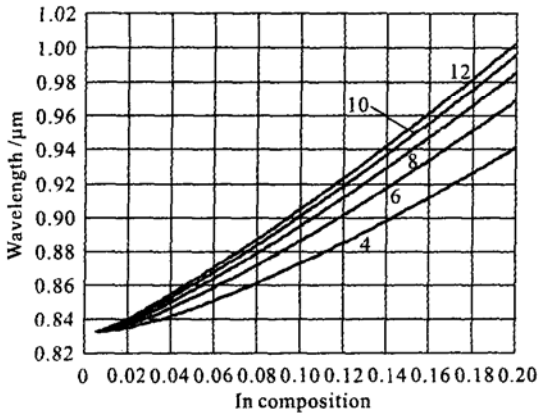


图 1 波长与 In 组份以及量子阱宽度的关系
Fig. 1 Relations between the In composition and the width of quantum well

图 2 为 900 nm InGaAs/AlGaAs 分别限制单量子阱激光器阵列材料结构示意图。分别限制单量子阱结构(SCH-SQW)具有以下特点: 1) 具有较好的光子和电子分别限制作用; 2) 能有效地收集注入载流子; 3) 单量子阱结构在低的损耗下具有最低的阈值电流密度; 4) 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。

1.2 材料生长

半导体激光器阵列材料的生长用德国 AIXTRON-2000 金属有机化合物气相淀积(MOCVD)设备,分别以 TMIn, TMGa, TMAI 为 III 族源, AsH₃ 为 V 族源, SiH₄ 和 DEZn 为 n 型和 p 型掺杂源, H₂ 作为载气。整个外延过程中生长 p⁺-GaAs 欧姆接触层时的温度为 650 °C,为了保证量子阱界面的陡峭性,其余外延层的生长温度为 730 °C。在 n⁺-GaAs 衬底(Si: 10¹⁸ cm⁻³)上, (100) (偏<110)

约 2°) 依次生长 n⁺-GaAs/AlGaAs 超晶格缓冲层(为了提高激光器的外延材料质量), n-Al_{0.55}Ga_{0.45}As 下限制层, Al_{0.3-0.55}GaAs 下波导层, 8 nm 厚的 GaInAs 单量子阱(图 2 中粗线条), Al_{0.55-0.3}GaAs 上波导层, p-Al_{0.55}GaAs 上限制层, p⁺-GaAs 欧姆接触层。

p ⁺ -GaAs 300 nm doping > 5 × 10 ¹⁹ cm ⁻³
p-Al _{0.55} GaAs 1000 nm doping 1 × 10 ¹⁸ cm ⁻³
Al _{0.55-0.3} GaAs 200 nm undoped
Al _{0.3-0.55} GaAs 200 nm undoped
n-Al _{0.55} GaAs 1300 nm doping 1 × 10 ¹⁸ cm ⁻³
n ⁺ -GaAs buffer 500 nm doping 1 × 10 ¹⁸ cm ⁻³
n ⁺ -GaAs 300 μm doping > 1 × 10 ¹⁸ cm ⁻³

图 2 InGaAs/AlGaAs 单量子阱分别限制激光器阵列材料结构示意图

Fig. 2 Schematic structure of InGaAs/AlGaAs SCH-SQW laser arrays

2 芯片制作工艺

采用标准 1 cm bar, 其中包括多个发光单元。其中标准 cm bar 的填充密度以及各发光单元之间的电光隔离是两个主要的参数。根据理论和实验数据,选取发光单元的尺寸为 W = 90 μm, 单元周期 S = 130 μm。用 H₃PO₄: H₂O₂ 腐蚀液在芯片上形成 V 形槽是为了防止光在横向进行振荡和自发辐射(ASE)的横向放大,然后在 V 形槽上生长一层介质膜层,以进行电隔离,隔离槽的深度根据实验和理论计算定出,最后经 p 面金属化(Cr/Au), 减薄, n 面金属化(Au/Ge/Ni/Au), 合金, 解理等工艺制成激光器标准 cm bar。一维线阵列的示意图如图 3 所示。半导体激光器前腔面镀增透膜(反射率 < 5%), 后腔面镀高反膜(反射率 > 95%), 器件 P 面朝下烧到钨铜热沉(厚度为 0.4 mm)上。激光器的腔长选取 1000 μm 是为了减小 1ms 脉冲持续工作中的“啾啾”^[2]。为了得到实际应用中所需的功率,筛选出

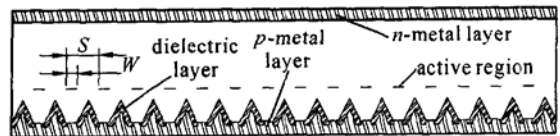


图 3 一维线阵列的芯片结构示意图
Fig. 3 Diagram structure of 1-D linear laser array of the chip

输出特性、阈值、中心波长和半宽等特性相近的 25 条一维线阵列(为了使每个线阵列非常安全地工作选取较多的阵列条)串联组装成二维阵列,线阵列的间隔为 0.6 mm 左右,通过自制的循环水制冷器进行冷却。二维阵列的组装示意图如图 4。

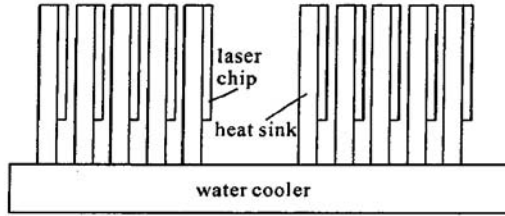


图 4 二维叠层阵列结构示意图

Fig. 4 Diagram structure of 2-D stacked laser array

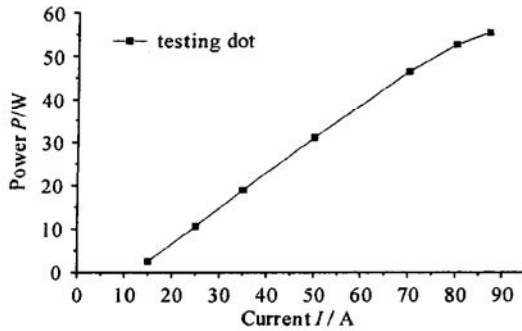


图 5 一维线阵列的 $P-I$ 特性曲线

Fig. 5 $P-I$ characteristics of 1-D linear laser array

3 器件的测试特性

图 5 为半导体激光器线阵列的 $P-I$ 曲线图,测试条件: 电流脉宽 1000 μs , 重复频率 13 Hz, 室温 23 $^{\circ}\text{C}$, 没用任何制冷设施, 电流为 87 A 时的输出功率达到 55.6 W。其中心波长为 899.7 nm, 全宽半高(FWHM)为 3.1 nm。

二维阵列的测试条件为: 电流的脉宽 1000 μs , 重复频率 13 Hz, 水温为 17 $^{\circ}\text{C}$, 电流为 77 A 时的峰值输出功率为 730.6 W, 输出光功率密度为 487 W/ cm^2 , 在此输出功率下可以很稳定地工作, 中心激光波长为 903 nm, 全宽半高(FWHM)为 4.4 nm, 与一维线阵列相比波长变长, 这是由于二维阵列中产热较多所致, 但光谱的全宽半高变化不大, 完全可以满足实际工程的应用。对二维阵列进行了寿命测试, 在 50 A 的工作电流下, 加电 1000 h, 功率下降了 12 W, 从而可以外推出此器件的寿命(功率下降到起始功率的 80% 视为器件寿命终止)为 8616 h。图 6 给出了二维叠层半导体激光器阵列的 $P-I$ 特性曲线。

图 7 给出了二维阵列半导体激光器的远场发散角, 水平和垂直方向分别为 15 $^{\circ}$, 45 $^{\circ}$ 。

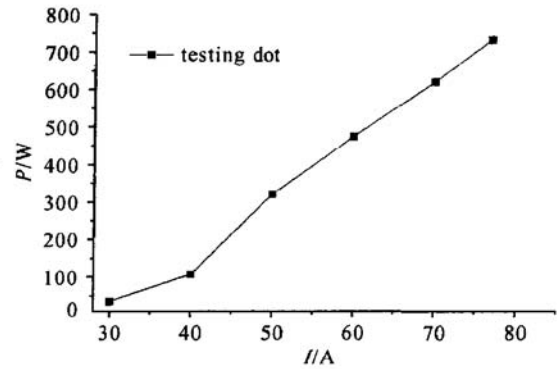


图 6 二维叠层半导体激光器阵列 $P-I$ 特性曲线

Fig. 6 $P-I$ characteristics of 2-D stacked laser arrays

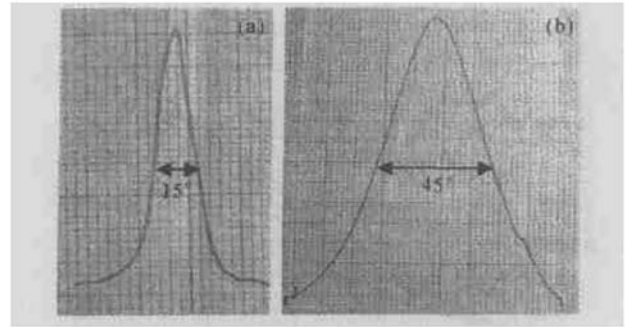


图 7 水平(a)和垂直(b)方向的发散角

Fig. 7 Divergence of the parallel (a) and vertical (b) of the far field

4 结 论

设计并制作了 900 nm 波段半导体激光器阵列, 包括材料结构的设计生长、阵列结构的制作, 以及热沉尺寸的设计与制作。并把一维线阵列组装成二维阵列, 该二维阵列有很好的散热特性, 当水冷温度为 17 $^{\circ}\text{C}$, 电流为 77 A 时的峰值输出功率为 730.6 W 时, 可以稳定地工作, 测试二维激光器阵列得到的水平方向和垂直方向的发散角分别为 15 $^{\circ}$, 45 $^{\circ}$ 。

致谢 感谢中国电子科技集团公司第十三研究所光电专业部测试组、组装组、光刻组和材料组的同志们的支持与帮助。

参 考 文 献

- 1 David S. Sumida, Alexander A. Betin, Hans Bruesselbach et al.. Diode-pumped Yb: YAG catches up with Nd: YAG [J]. *Laser Focus World*, 1999, 35(6): 63~ 70
- 2 J. A. Skidmore, M. A. Emanuel, R. J. Beach et al.. New diode wavelengths for pumping solid-state lasers [C]. *SPIE*, 1995, 2382: 106~ 116