

文章编号: 0258-7025(2002)12-1061-03

940 nm 无铝双量子阱阵列半导体激光器

万春明¹, 王 慧², 曲 轶¹

(¹ 长春理工大学, 吉林 长春 130022; ² 空军第二航空学院, 吉林 长春 130022)

摘要 分析了影响列阵半导体激光器极限输出功率的因素。利用 MOCVD 研制了无铝双量子阱阵列半导体激光器。无铝列阵激光器的峰值波长为 940.2 nm, 半峰宽为 2 nm, 连续输出功率为 10 W, 斜率效率为 1.09 W/A。

关键词 量子阱, 半导体激光器, 列阵

中图分类号 TN 248.4 文献标识码 A

940 nm Aluminum-free Two-quantum-well Array Semiconductor Laser

WAN Chun-ming¹, WANG Hui², QU Yi¹

¹ Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022
² The Second Aeronautical Institute of Air Force, Changchun, Jilin 130022

Abstract The factors which influence the ultimate output power of semiconductor laser are analyzed. The aluminum-free two-quantum-well semiconductor laser which wavelength is 940 nm is made by MOCVD. As a result, the peak wavelength of the aluminum-free two-quantum-well semiconductor laser is 940.2 nm, the full width half maximum (FWHM) is 2 nm, the continuous output power is 10 W, and the incremental efficiency is 1.09 W/A.

Key words quantum well, semiconductor laser, array

1 引 言

由于半导体激光器体积小、寿命长和抽运效率高,所以由半导体激光器抽运的固体激光器可以有广泛的应用前景。近年来,利用 940 nm 半导体激光器作为 Yb: YAG 固体激光器的抽运源已经成为研究的热点,这主要是因为 Yb: YAG 固体激光器的发射波长为 1030 nm,倍频之后产生 515 nm 的激光,与氩离子激光器的发射波长(514 nm)很接近,可以替代氩离子激光器。所以高功率 940 nm 半导体激光器的研制具有重要的意义。国外在 940 nm 波长左右半导体激光器的研制方面,单管激光器在腔长为 2 mm 时,条宽为 100 μm 连续输出功率为 3 W^[1]。锥形脊形波导 500 μm 条宽连续输出功率为 5.3 W,斜率效率为 0.9 W/A^[2]。940 nm 列阵半导体激光器室温连续输出功率(在腔长 2 mm,总发光区 2850 μm)最高达到 50 W,电光转换效率达到 62%^[3]。由于含 Al 的 InGaAs/AlGaAs 应变量子阱

激光器在高的光功率密度下腔面极易氧化,使量子阱激光器的寿命受到限制。自 90 年代以来,人们开始用无 Al 材料来制作量子阱激光器。应用无铝材料的半导体激光器具有光学灾变损伤阈值高、腔面抗氧化能力强、电阻低、热传导性好,转换效率高等优点,是高功率和列阵半导体激光器发展的重要方向,应用前景广阔^[4],值得深入研究。

本文利用 MOCVD 研制出了 940 nm 无铝双量子阱激光器材料,并制作出了 cm 条列阵半导体激光器。结果表明,该双量子阱无铝列阵激光器的峰值波长为 940.2 nm,半峰宽为 2 nm,连续输出功率为 10 W,斜率效率为 1.09 W/A。

2 影响列阵半导体激光器输出功率的因素

2.1 注入式半导体激光器的效率

注入式激光器总效率^[5]

收稿日期: 2002-05-10; 收到修改稿日期: 2002-07-01

作者简介: 万春明(1959.2—),男,教授,博士,主要从事半导体激光理论教学与科研工作。E-mail: wcm@cust.edu.cn

$$\eta_l = \frac{P_{out}}{P_{el}} = \eta_l \frac{(I - I_{th}) E_g}{I [U_{th} + R_s (I - I_{th})]} \quad (1)$$

式中, P_{out} 为光输出功率, P_{el} 为注入到激光器的电功率, I 为注入电流, I_{th} 为阈值电流, E_g 为禁带宽度, R_s 为半导体激光器的串联电阻, U_{th} 为半导体激光器振荡阈值电压。

半导体激光器的外微分量子效率 η_l 等于辐射光子数与注入电子数之比, 对于单向输出辐射可写为

$$\eta_l = \frac{dP_{out}}{dIE_g} = \eta_l \left| 1 + \frac{2\alpha L}{\ln(R_1 R_2)^{-1}} \right|^{-1} \cdot \left| 1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \frac{1 - R_2}{1 - R_1} \right|^{-1} \quad (2)$$

其中, dP_{out}/dI 为 P - I 特性曲线的斜率, η_l 为内量子效率, α 为内部光损耗, R_1, R_2 为谐振腔反射镜的反射系数, L 为谐振腔长度。

在注入式激光器中, $\eta_l = 0.95$, 腔面的增透膜和反射膜的反射系数 $R_1 \approx 5\%$, $R_2 \approx 95\%$, 腔长为 $500 \mu\text{m}$ 时, α 为 4 至 1 cm^{-1} , 所以 η_l 的数值在 0.8 和 0.9 之间。参数 U_{th} 由实验值确定, 对于 $\lambda = 940 \text{ nm}$ 左右的半导体激光器为 1.4 V 左右。它的分散度不大于 0.05 V , 由此得出 η_l^{max} 的变化范围不大于 2.7% 。

当总效率达到极大值时的电流为 $I_{\text{max}} = I_{th} + J$, 所以

$$\eta_l^{\text{max}} = \frac{\eta_l J E_g}{I_{\text{max}} (V_{th} + R_s J)} \quad (3)$$

P^{++} -GaAs ohmic contact layer 20 nm
P^+ -GaAs top layer 0.2 μm
P -In _{0.49} Ga _{0.51} P confining layer 1.0 μm
In _{0.3} Ga _{0.7} AsP waveguiding layer 0.4 μm
InGaAsP potential barrier layer and two quantum well
In _{0.3} Ga _{0.7} AsP waveguiding layer 0.4 μm
N -In _{0.49} Ga _{0.51} P confining layer 1.0 μm
GaAs buffer layer 0.5 μm
n^+ -GaAs

式中 $J = [(I_{th} U_{th})/R_s]^{1/2}$ 。

2.2 影响列阵半导体激光器输出功率的因素

保证半导体激光器材料的有效散热才能得到比较高的激光器的输出效率。注入式半导体激光器的极限输出功率一般受到两种因素的影响: 激光器材料的过热和谐振腔反射镜的灾难性光学损伤。激活区温度越高, 反射镜致命性劣化的极限功率越低。除了增加各外延层的电导率外, 减少衬底的厚度可以减少串联电阻。增加波导层的掺杂会导致损耗的增加, 所以, 使波导层的梯度掺杂为最佳。在异质结构效率高时, 由半导体激光材料的热状态和得到的必需寿命条件限制的最大功率可与谐振腔镜面致命性损伤限制的极限输出功率相比。二维列阵半导体激光器的极限功率密度大约为 10 kW/cm^2 。

3 材料生长

利用 MOCVD 设备生长无铝双量子阱结构。在 n^+ -GaAs 衬底上依次生长 $0.5 \mu\text{m}$ GaAs 缓冲层, $1.0 \mu\text{m}$ N -In_{0.49}Ga_{0.51}P 限制层, $0.4 \mu\text{m}$ InGaAsP 波导层, 10 nm InGaAsP 垒层, 7 nm InGaAs 量子阱, 10 nm InGaAsP, 7 nm InGaAs 量子阱, 10 nm InGaAsP, $0.4 \mu\text{m}$ InGaAsP 波导层, $1.0 \mu\text{m}$ P -In_{0.49}Ga_{0.51}P 限制层, $0.2 \mu\text{m}$ P^+ -GaAs 顶层, 20 nm P^{++} -GaAs 欧姆接触层。图 1 是 940 nm 无铝双量子阱激光器的结构。

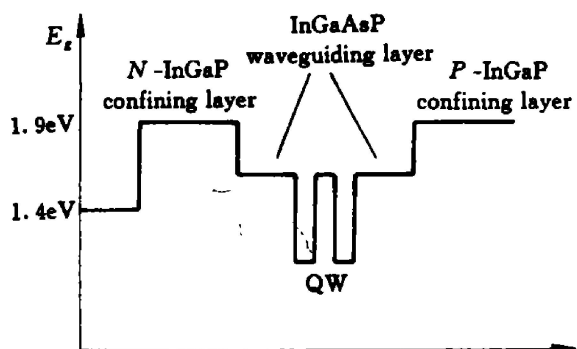


图 1 无铝激光器的波导结构和外延层结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of waveguiding structure and epitaxy structure in Al-free lasers

4 器件制备及其特性

4.1 列阵半导体激光器的制备

利用 MOCVD 生长出来的外延材料进行了列阵激光器的后工艺制作。横向增益抑制是 cm 条激

光器需要解决的一个基本问题, 特别是对高填充因子的高功率 cm 条器件, 横向的光增益很容易导致侧向激射, 降低激光器的输出功率。对于 CW 型 cm 条阵列激光器, 其阵列单元的条宽设计为 $150 \mu\text{m}$,

周期为 300 μm , 注入因子设计为 55%, 则单条激光器包含 33 个发射单元。由于阵列单元间的距离 (150 μm) 较大, 只要采取适当的电流限制结构则阵列条之间基本不能产生模式耦合, 也就不可能产生横向增益, 工艺上主要是将非注入区上面的欧姆接触层 (高掺 GaAs) 腐蚀至低掺杂的外限制层, 其结构示意图见图 2。器件腔长约 0.9 mm。在两腔面分别镀高反膜 (HR) 和增透膜 (AR), 反射率分别为 $\geq 95\%$ 和 5%。器件 P 面朝下倒装在无氧铜热沉上, 用循环水冷却器件。

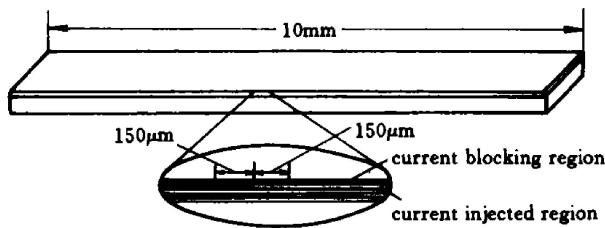


图 2 cm 条阵列激光器结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of cm bar array lasers

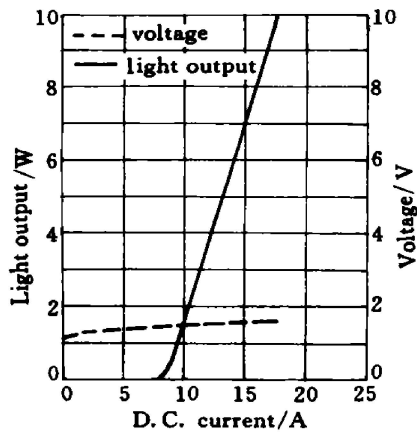


图 3 阵列激光器的 $P-I$ 曲线

Fig. 3 $P-I$ characteristics under CW operation of the laser array

4.2 器件特性

室温下对无铝双量子阱阵列激光器的特性进行了测试。

图 3 为阵列激光器的 $P-I$ 曲线, 阈值电流为 8.6 A, 注入电流 17.8 A 时连续输出功率达到 10

W, 斜率效率为 1.09 W/A, 转换效率为 35%, 串联电阻为 0.016 Ω 。

图 4 为阵列激光器的光谱, 峰值波长为 940.2 nm, 半峰宽为 2 nm。

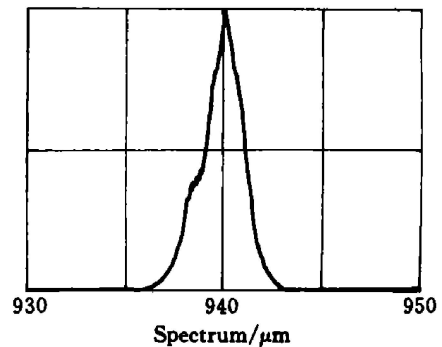


图 4 阵列激光器的光谱

Fig. 4 Spectrum of the laser array at 25 $^{\circ}\text{C}$, 10 W

5 结 论

本文分析了影响阵列激光器输出功率的因素, 设计了无铝双量子阱 940 nm 激光器结构, 并利用 MOCVD 方法生长出该结构材料。采用宽接触结构制作出 cm 条阵列半导体激光器。并得到了室温下的实验结果。

参 考 文 献

- 1 E. Gotz, B. Gert, B. Frank *et al.*. Performance of 3 W/100 μm stripe diode lasers at 950 and 810 nm [C]. *SPIE*, 2001, **4287**: 93~ 102
- 2 K. Marc, T. R. Franz, R. Joseph *et al.*. High-power high-brightness ridge-waveguide tapered diode lasers at 940 nm [C]. *SPIE*, 2002, **4648**: 75~ 81
- 3 X. He, A. Ovtechinnikov, S. Yang *et al.*. Efficient high-power reliable InGaAs/AlGaAs (940 nm) monolithic laser diode arrays [J]. *Electron. Lett.*, 1999, **35**(20): 1739~ 1740
- 4 D. Botez. High-power, Al-free coherent and incoherent diode lasers [C]. *SPIE*, 1999, **3628**: 2~ 10
- 5 L. J. Mawst, A. Bhattacharya, J. Lopez *et al.*. 8 W continuous wave front-facet power from broad-waveguide Al-free 980 nm diode lasers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**(11): 1532~ 1534