

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0053-03

# 高性能 1.3 $\mu\text{m}$ InGaAsN 量子阱半导体激光器

曲 轶, 张 晶, 李 辉, 高 欣, 薄报学

(长春理工大学高功率半导体激光国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

**摘要** 利用金属有机气相沉积(MOCVD)生长了 InGaAsN 量子阱半导体激光器材料,采用脉冲阳极氧化(PAO)技术制作了脊型波导半导体激光器。制作的条宽为 100  $\mu\text{m}$ ,腔长为 1500  $\mu\text{m}$  的激光器在室温下可实现最高 962 mW 的单面连续功率输出,阈值电流密度约为 256 A/cm<sup>2</sup>。在 1.5 A 电流下,激光器的峰值波长为 1297 nm,最大斜率效率为 0.42 W/A。在 20~80  $^{\circ}\text{C}$  温度下,激光器的特征温度为 138 K。激光器在 100  $^{\circ}\text{C}$  下可以正常工作。

**关键词** 激光技术; 高功率; InGaAsN 量子阱; 脉冲阳极氧化; 半导体激光器

中图分类号 TN248.4 文献标识码 A

## High Performance 1.3 $\mu\text{m}$ InGaAsN Quantum Well Semiconductor Lasers

QU Yi, ZHANG Jing, LI Hui, GAO Xin, BO Bao-xue

(National Key Laboratory on High Power Semiconductor Lasers, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)

**Abstract** InGaAsN triple-quantum-well strain-compensated lasers grown by metal organic chemical vapor deposition were fabricated with pulsed anodic oxidation. Laser output power reached 962 mW in continuous wave mode at room temperature from 100  $\mu\text{m}$  stripe lasers with a wavelength of 1297 nm and a maximum slope efficiency of 0.42 W/A at 1.5 A current. The threshold current density was 256 A/cm<sup>2</sup>. The characteristic temperature of the lasers was 138 K in the linear region (20~80  $^{\circ}\text{C}$ ). The lasers operated up to 100  $^{\circ}\text{C}$ .

**Key words** laser technique; high power; InGaAsN quantum well; pulsed anodic oxidation; semiconductor laser

## 1 引 言

InGaAsP/InP 长波长半导体激光器是光纤通信系统中的重要器件。但是由于该种材料的导带偏差小,在应用时需要额外的致冷系统。以 GaAs 为衬底的长波长 InGaAsN/GaAs 量子阱激光器是最有前景的发展方向之一。通常采用分子束外延(MBE)<sup>[1~3]</sup>或金属有机气相沉积(MOCVD)<sup>[4~8]</sup>生长 InGaAsN 激光器结构。分子束外延生长的 InGaAsN 宽区腔面镀膜半导体激光器在 10  $^{\circ}\text{C}$  热沉温度下连续输出功率达到了 4.2 W<sup>[4]</sup>。金属有机气相沉积生长的 InGaAsN 宽区腔面镀膜半导体激光器在 20  $^{\circ}\text{C}$  热沉温度下连续输出功率达到了 1.8 W<sup>[3]</sup>。金属有机气相沉积生长的 InGaAsN 宽区单量子阱半导体激光器最低阈值电流密度达到

210 A/cm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。

在半导体激光器制作工艺中,通常采用等离子体增强化学气相沉积(PECVD)的方法淀积一层高质量的电流阻挡层。另外,脉冲阳极氧化(PAO)方法也可用于制作光电子器件的电流阻挡层<sup>[9]</sup>,该工艺步骤简单可靠。本文采用金属有机气相沉积生长 InGaAsN 量子阱激光器材料,利用脉冲阳极氧化工艺制作了未镀膜的高性能 InGaAsN 激光器。在条宽为 100  $\mu\text{m}$ ,腔长为 1500  $\mu\text{m}$  时激光器在室温下可实现最高功率 962 mW 的单面连续输出。

## 2 材料生长

本项工作中的外延材料由金属有机气相沉积系统生长,其结构参量见表 1。

**基金项目:** 国家自然科学基金(60476026,60477010)和高功率半导体激光国家重点实验室基金(03ZS3603,04ZS3601)资助课题。

**作者简介:** 曲 轶(1969—),男,吉林人,长春理工大学研究员,主要从事高功率半导体激光器的研究。

E-mail: yiqu@public.cc.jl.cn

表 1 InGaAsN 应变补偿三量子阱激光器外延结构  
Table 1 Wafer structure of the InGaAsN strain-compensated triple-quantum-well lasers

Layer	Thickness /nm	Doping /cm <sup>-3</sup>
GaAs	200	C, $1.4 \times 10^{19}$
Al <sub>0.5-0.5</sub> GaAs	100	C, $5.0 \times 10^{17}$
Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> As	900	C, $5.0 \times 10^{17}$
Al <sub>0.5-0.5</sub> GaAs	200	Undoped
GaAs	35	Undoped
GaAs <sub>0.82</sub> P	12	Undoped
In <sub>0.35</sub> Ga <sub>0.65</sub> As <sub>0.85</sub> N <sub>0.15</sub> /GaAs/GaAs <sub>0.82</sub> P	6.4/7/8	Quantum well region, 3 periods
GaAs <sub>0.82</sub> P	12	Undoped
GaAs	35	Undoped
Al <sub>0.5-0.5</sub> GaAs	200	Undoped
Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> As	900	Si, $6.0 \times 10^{17}$
Al <sub>0.5-0.5</sub> GaAs	100	Si, $5.0 \times 10^{17}$
GaAs	200	Si, $1.0 \times 10^{18}$
(100) GaAs substrate	Arbitrary	Si, $1.0 \times 10^{18}$

### 3 制作激光器

采用脉冲阳极氧化工艺制作脊形波导激光器。在外延片的 p 面用电子束蒸发方法蒸镀 Ti/Au 层用于欧姆接触。为了便于激光器芯片的解理,外延片减薄到厚度约为 100 μm。AuGe 合金和 Ni/Au 依次蒸镀在外延片上的 n 面用于欧姆接触。外延片在 410 °C 氮气环境中退火 3 min, 形成 p 型和 n 型的欧姆接触。激光条再解理成单个的激光器。

### 4 器件特性

在连续驱动电流条件下对腔面未镀膜器件进行测试。图 1 是室温下 InGaAsN 量子阱激光器的功

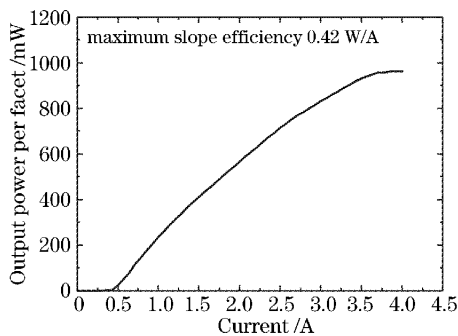


图 1 脉冲阳极氧化制作的 100 μm × 1500 μm InGaAsN 量子阱激光器功率-电流特性曲线

Fig.1 Room temperature continuous wave light output power versus injection current for a fabricated 100 μm × 1500 μm InGaAsN laser diode

率-电流特性曲线。图 2 是室温下 InGaAsN 量子阱激光器的光谱曲线。从图中可以看出激光器单面最大输出功率达到 962 mW。在线性区域的最大斜率效率为 0.42 W/A。阈值电流为 385 mA, 与之相对应的阈值电流密度为 256 A/cm<sup>2</sup>。在 1.5 A 时器件发射波长为 1297 nm (输出功率达到 400 mW)。76.2 mm 外延片中心部分与边缘部分发光波长偏差在 4 nm 以内。器件发射波长随温度变化为 0.3 nm/°C。激光器显示很好的温度特性, 可以在 100 °C 下工作。可以得出器件在 20~80 °C 范围内特征温度为 138 K。

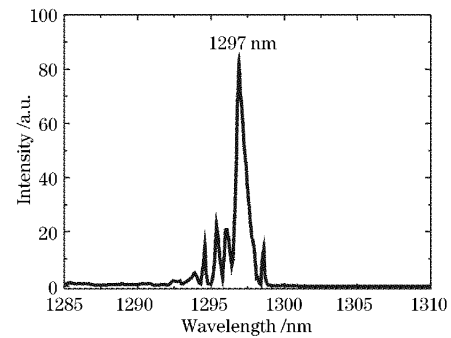


图 2 典型的 100 μm × 1500 μm InGaAsN 量子阱激光器在 1.5 A 电流下的光谱

Fig.2 A typical lasing spectrum of the laser at an injection current of 1.5 A

### 5 讨 论

通常制作脊型波导激光器采用等离子体增强化学气相沉积蒸镀 SiO<sub>2</sub> 或 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 制作电流阻挡层, 这就增大了工艺诱导损伤(例如等离子损伤)的几率(除非采用更复杂的工艺)。在 AlGaAs 限制层中 SiO<sub>2</sub> 很容易与 Al 直接反应, 从而在 p 型限制层中留下 Si 原子杂质, SiO<sub>2</sub> 和 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 均会由于晶格失配产生大量的应力<sup>[9]</sup>, 这种应力会增大表面缺陷密度。然而这些问题在脉冲阳极氧化工艺中可以避免。因为当采用脉冲阳极氧化工艺时, 原位氧化物在室温下形成, 对器件仅引起极小的应力损伤, 并且起到钝化层的作用, 可以减少界面陷阱中心。另外, 由于在脊型波导中功率密度非常高, 散热对激光器正常工作非常重要。而阳极氧化产生的氧化物是由 Al, As, Ga 的氧化物组成, 它们有比 SiO<sub>2</sub> 更高的热导率<sup>[10]</sup>。所以在脉冲阳极氧化工艺制作的半导体激光器中, 可以更有效地去除工作时产生的热量。进一步提高脊型波导工艺水平, 可以降低器件的激光光谱半宽。

## 6 结 论

采用脉冲阳极氧化工艺制作分子束外延生长的高性能 InGaAsN 量子阱激光器, 条宽为 100  $\mu\text{m}$  的激光器在室温下单面连续输出功率可达到 962 mW, 器件的峰值波长为 1297 nm, 单面最大斜率效率达到 0.42 W/A, 器件的特征温度为 138 K (20~80  $^{\circ}\text{C}$ )。激光器显示很好的温度特性, 可以在 100  $^{\circ}\text{C}$  下工作。

## 参 考 文 献

- 1 S. Sato, S. Satoh. High-temperature characteristic in 1.3- $\mu\text{m}$ -range highly strained GaInNAs ridge stripe lasers grown by metal-organic chemical vapor deposition [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(12): 1560~1562
- 2 Nelson Tansu, Nicholas J. Kirsch, Luke J. Mawst. Low-threshold-current-density 1300-nm dilute-nitride quantum well lasers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, **81**(14): 2523~2525
- 3 Nelson Tansu, Andrew Quandt, Manoj Kanskar *et al.*. High-performance and high-temperature continuous-wave-operation 1300 nm InGaAsN quantum well lasers by organometallic vapor phase epitaxy [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, **83**(1): 18~20
- 4 D. A. Livshits, A. Yu. Egorov, H. Riechert. 8 W continuous wave operation of InGaAsN lasers at 1.3  $\mu\text{m}$  [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(16): 1381~1382
- 5 Wei Li, Tomi Jouhti, Changsi Peng *et al.*. Low-threshold-current 1.32- $\mu\text{m}$  GaInNAs/GaAs single-quantum-well lasers grown by molecular-beam epitaxy [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, **79**(21): 3386~3388
- 6 Jian Wei, Fengnian Xia, Chunqiang Li *et al.*. High  $T_0$  long-wavelength InGaAsN quantum-well lasers grown by GSMBE using a solid arsenic source [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(5): 597~599
- 7 C. S. Peng, T. Jouhti, P. Laukkanen *et al.*. 1.32- $\mu\text{m}$  GaInNAs-GaAs laser with a low threshold current density [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(3): 275~277
- 8 W. Ha, V. Gambin, M. Wistey *et al.*. Multiple-quantum-well GaInNAs-GaNAs ridge-waveguide laser diodes operating out to 1.4  $\mu\text{m}$  [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, **14**(5): 591~593
- 9 Shu Yuan, Yong Kim, H. H. Tan *et al.*. Anodic-oxide-induced interdiffusion in GaAs/AlGaAs quantum wells [J]. *J. Appl. Phys.*, 1998, **83**(3): 1305~1311
- 10 O. W. Käding, H. Skurk, K. E. Goodson. Thermal conduction in metallized silicon-dioxide layer on silicon [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **65**(13): 1629~1631