

具有超晶格缓冲层的量子阱激光器的研制*

张福厚 宋珂 邢建平 郝修田

(山东工业大学电子工程系微电子技术教研室 济南 250061)

曾一平

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

提要 在衬底表面制作超晶格缓冲层可以有效地掩埋体材料的缺陷,使阈值电流大幅度降低,光功率成倍增长。所研制出的量子阱激光器室温脉冲平均线性光功率大于 20mW(未镀反射膜),波长为 778 nm,最低阈值电流为 30 mA,阈值电流密度为 400~600 A/cm²,谱线宽度为 5 nm。

关键词 超晶格,量子阱,半导体激光器

1 引言

降低阈值电流和提高光功率是提高半导体激光器性能的主要技术指标。制作外延片材料时,为了得到新鲜界面以利于外延生长,一般在衬底表面生长约 1 μm 的体结构缓冲层^[1~3]。理论分析和实验验证均认为,体结构缓冲层不会起到掩埋衬底缺陷的作用^[4],衬底缺陷将沿生长方向延伸,最终达到有源区形成有害的多复合中心,降低了激射效率和光功率,提高了阈值电流。我们采用 GaAs/AlGaAs 超晶格缓冲层(Superlattice Buffer Layer)约 10 对,以掩埋衬底缺陷,使衬底缺陷沿垂直于外延方向沿伸,从而得到完好的界面。

由于 AlGaAs 的晶格常数略大于 GaAs,因此对 GaAs 层中的缺陷具有掩埋的作用,随着外延层的交替生长,缺陷将沿垂直于生长方向沿伸,以至于终止。从能带结构讲,缺陷被掩埋在 GaAs 量子阱中。因此超晶格缓冲层具有掩埋缺陷的“量子阱陷阱效应”。

2 器件结构及制备

器件结构如图 1 所示。为了得到新鲜界面,首先在 n⁺-GaAs 衬底上生长约 1 μm 体结构缓冲层,接着生长 10 对 GaAs/AlGaAs 超晶格缓冲层,组分渐变至 n-Al_{0.5}Ga_{0.5}As 下限制层,下限制层厚约 1 μm, N = 1 × 10¹⁸ cm⁻³;然后是约 200nm 的非掺杂的 Al_xGa_{1-x}As 的组分渐变层(x = 0.5 ~ 0.3),有源区为约 20 nm 的单阱或者四阱结构,上部为约 200 nm 非掺杂 Al_xGa_{1-x}As 的组分渐变层(x = 0.3 ~ 0.5);上限制层为 P-Al_{0.5}Ga_{0.5}As,层厚约 1 μm(掺 Be, P = 1 × 10¹⁷ cm⁻³),最后为 200 nm 的 P-GaAs 欧姆接触层(P = 1 × 10¹⁹ cm⁻³)。

* 山东省科委资助项目。

制备的外延片减薄至约 100 μm, 抛光后 n 面蒸 Au/Ge 合金约 200 nm, P 面蒸 Cr- Au 约 300 nm, 并合金化。然后经质子轰击成条宽 8 μm 的条形结构, 并解理成腔长约 300 μm 的管芯。

3 测试及结果分析

我们采用美国 Optologic Power 设备测得制作的激光器的阈值电流密度为 400~ 800 A/cm²。采用日本安立 Optical Spectrum Analyzer 光谱测试仪测得波长为 778 nm, 如图 2 所示。最低阈值电流约为 30 mA, 平均线性光功率大于 20 mW (未镀反射膜), 如图 3 所示。外微分量子效率为 0.2 W/A。

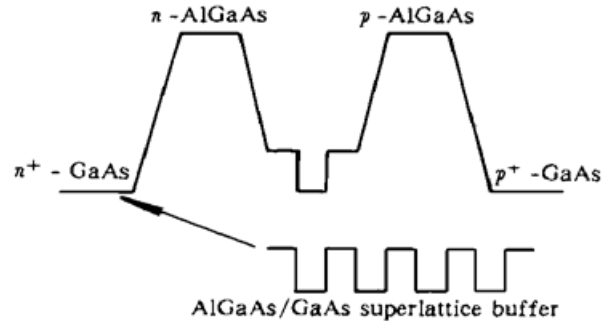


图 1 超晶格缓冲层量子阱激光器的结构

Fig. 1 The structure of the quantum well lasers which have superlattice buffer layers

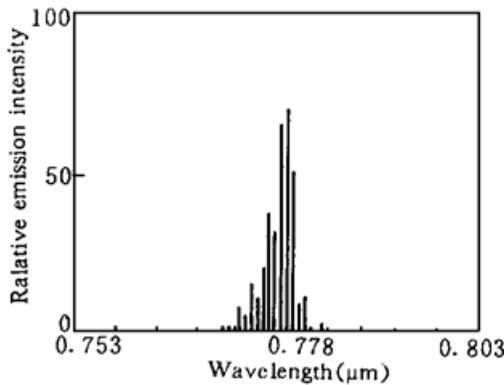


图 2 超晶格缓冲层量子阱激光器的激光光谱

Fig. 2 The lasing spectrum of the quantum well lasers which have superlattice buffer layers

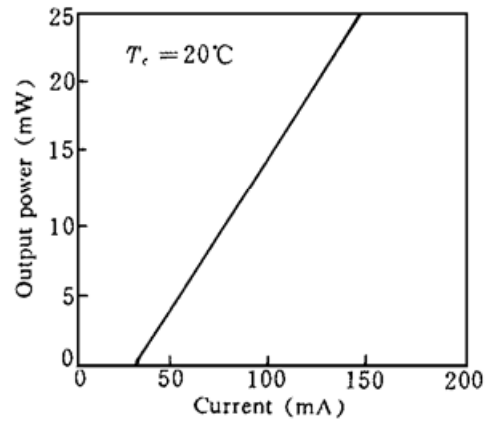


图 3 连续输出功率曲线

Fig. 3 The CW output power curve of the quantum well lasers which have superlattice buffer layers

由电子跃迁复合放出光子能量的关系式^[5]:

$$\Delta E = h(c/\lambda_0) = E_g + E_n + E_{hhj}$$

或
$$\Delta E = h(c/\lambda_0) = E_g + E_n + E_{lhj}, \quad j = 1, 2, 3 \dots \quad (1)$$

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m^*} \left[\frac{n\pi}{L_z} \right]^2, \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (2)$$

其中, E_g 为禁带宽度, E_n 为导带内电子分立能级的能量, E_{hhj} 为价带内重空穴分立能级的能量, E_{lhj} 为价带中轻空穴分立能级的能量。由文献[5] 给出的 E_g 与铝组分 x 的关系式:

$$E_g = 1.424 + 1.247x \quad (3)$$

将 $x = 0.06$ 代入(3) 式得 $E_g = 1.50$ eV。

由于有源层的铝含量($x = 0.06$) 很低, 所以可以近似取 GaAs 的电子有效质量, 导带内电子的有效质量 $m^* = 0.068m_0$, 价带中的重空穴的有效质量 $m^* = 0.45m_0$, 轻空穴的有效质量 $m^* = 0.082m_0$ 。分别代入(1) 和(2) 式, 计算得电子从 E_2 到 E_{lh2} 跃迁的激射波长为 $\lambda_0 = 776$ nm, 即发生电子跃迁为 $n = 2, e \rightarrow lh$ 。与实验结果 778 nm 较好地吻合。

同时也制作了不具有超晶格缓冲层的量子阱激光器, 其阈值电流大于 100 mA, 平均线性光功率小于 10 mW。两种实验的结果表明, 超晶格缓冲层确实具有掩埋缺陷的“量子阱陷阱效应”。对于其它光电器件的制作, 这是可以采用的一种掩埋衬底缺陷的有效技术手段。

参 考 文 献

- 1 Stephen D. Offsey, W. J., Schaff Luke F. Lester *et al.*. Strained-Layer InGaAs-GaAs-AlGaAs Lasers Grown by Molecular Beam Epitaxy for High-Speed Modulation. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1991, **QE-27** (6) : 1455
- 2 W. D. Laidig, Y. F. Lin, P. J. Caldwell. Properties of InGaAs-GaAs strained-layer quantum-well-heterostructure injection lasers. *J. Appl. Phys.*, 1985, **57**(1) : 33
- 3 Ming C., Wu. N. A. Clsson, D. Sivco *et al.*. A 970 nm strained-layer InGaAs/GaAlAs quantum well laser for pumping in erbium-doped optical fiber amplifier. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**(3) : 221
- 4 Jenn-Chorng Liou, Kei May Lau. Temperature Dependence and Persistent Conductivity of GaAs MES-FET's with Superlattice Buffers. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1988, **ED-35**(1) : 14
- 5 张福厚, 宋珂, 郝修田等. 采用有效质量法对 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 单量子阱半导体激光器的研究. 山东工业大学学报, 1996, **26**(1) : 39

Investigation of Quantum Well Lasers which Have Superlattice Buffer Layers

Zhang Fuhou Song Ke Xing Jianping Hao Xiutian

(Dept. of Electronic Eng., Shandong University of Technology, Jinan 250061)

Zeng Yiping

(Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Abstract To bury the substrate defects effectivel, the superlattice buffer layers are fabricated on the surface of the substrate, and a good interface can be gotten. It decreases the threshold current and increases the output power greatly. The quantum well lasers that we fabricated can be operated at room temperature, the wavelength is 778nm and the lowest threshold current at room temperature (CW) is 30 mA, the threshold current density is about 400~ 600 A/cm², the linear output power with uncoated facets is greater than 20 mW, and the width of the spectral line is 5 nm.

Key words superlattice, quantum well, semiconductor lasers