

MBE 生长高质量 GaAs/AlGaAs 量子阱激光器

杨国文 肖建伟 徐遵图 张敬明

徐俊英 郑婉华 曾一平 陈良惠

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 我们利用分子束外延方法研制了 GaAs/AlGaAs 缓变折射率分别限制 (GRIN-SCH) 单量子阱和双量子阱激光器。对腔长为 $600\mu\text{m}$ 的端面不镀膜的光接触条型 F-P 腔激光器, 阈值电流密度(平均值)分别为 $290\text{A}/\text{cm}^2$ 和 $240\text{A}/\text{cm}^2$ 。腔长在 $1200\mu\text{m}$ 的双量子阱激光器的阈值电流密度低达 $190\text{A}/\text{cm}^2$ 。对出光面和背面分别镀以增透膜和高反膜的宽接触条型($80\mu\text{m}$) 激光器, 线性输出功率高达 1.82W ; 出光面的斜率效率达到 $1.04\text{W}/\text{A}$; 利用湿法化学腐蚀所制备的脊形波导结构单量子阱激光器阈值电流最低可达 8mA , 且具有非常好的均匀性。

PACC: 4255P, 4280R, 7360F

1 引言

随着分子束外延 (MBE) 和金属有机化学汽相淀积 (MOCVD) 等超薄层生长技术的发展, 使得几十 Å 甚至单原子层的超晶格量子阱材料的实现成为可能, 这极大的促进了半导体器件尤其是光电子器件的研究与发展。量子阱激光器则由于其众多优越的特性而成为电子行业最为活跃的领域之一, 吸引了国内外众多科技同行竞相发展, 其水平也已成为衡量一个国家光电子发展水平的重要标志。阈值电流密度 (J_{th}) 是量子阱激光器的重要参数之一, 目前国外的商品水平一般在 $300\text{—}500\text{A}/\text{cm}^2$ 左右, 最低的研究结果已小于 $100\text{A}/\text{cm}^2$ ^[1]。在国内, 开展这方面的研究也已近十年之久, 最好水平是由 MOCVD 方法生长的 GaAs/AlGaAs 量子阱激光器, 其最低阈值电流密度为 $377\text{A}/\text{cm}^2$ ^[2]。利用分子束外延方法生长的量子阱材料基本一直在 $1000\text{A}/\text{cm}^2$ 以上, 最低值为 $980\text{A}/\text{cm}^2$ ^[3]。从器件水平来讲, 输出功率和量子效率等参数均处于比较低的水平^[3]。本文报道了我们利用分子束外延方法研制的 GaAs/AlGaAs 量子阱激光器的最新研究结果, 其阈值电流密度低达 $190\text{A}/\text{cm}^2$, 输出功率高达 1.82W 。

2 结构与材料生长

实验所采用的激光器材料结构为缓变折射率分别限制 (GRIN-SCH) 单量子阱或双量子阱结构, 如图 1 所示。设计要点主要包括: (1) 采用缓变折射率分别限制式波导结构

较陡变的分别限制式结构具有更好的光学限制和载流子限制作用^[4]。且缓变厚度选择在 $2000\text{ \AA}$ 左右, 会具有最大的光学限制因子^[5]; (2) 采用较少的阱数如单量子阱或双量子阱结构从理论上应具有较低的阈值电流密度^[5]; (3) 上下限制层的组分 x 值越高, 限制越好, 从而有利于降低阈值电流密度 (J_{th}), 但 x 值太高, 会使材料生长变得困难, 这里我们选用 x 值为 0.55; (4) 限制层的厚度应在不影响限制性能的同时尽可能的薄^[6], 太厚会增大激光器的串联电阻, 影响激光器的性能, 我们选择在 $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 左右。(5) 激光器的阱宽 (L_z) 可根据其发光波长的需要来调整, 一般选择在 $50\text{--}150\text{ \AA}$ 之间, 小于 $50\text{ \AA}$ 将使载流子的收集效率和光学限制减小, 大于 $150\text{ \AA}$ 会使量子效应减弱, 两者均会导致阈值电流密度的增大。

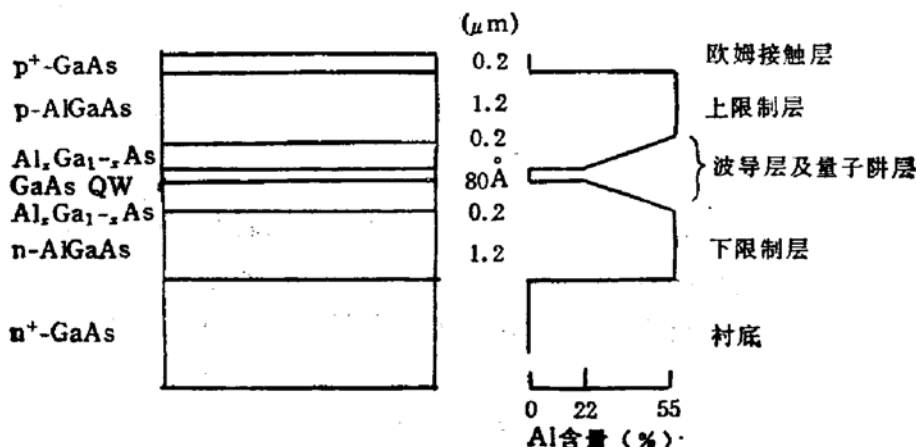


图1 缓变折射率波导分别限制 GaAs/AlGaAs 量子阱激光器结构示意图

激光器的外延材料是在 RIBER MBE32P 系统上进行的。衬底为 (100) 面的 n^+ -GaAs 衬底, 装入系统之前先进行严格的处理, 依次用三氯乙烯、丙酮和甲醇清洗三遍, 然后利用 $5\text{H}_2\text{SO}_4:1\text{H}_2\text{O}_2:1\text{H}_2\text{O}$ 腐蚀数分钟, 用超纯水 ($18\text{M}\Omega$) 冲洗 10 分钟, 最后利用 N_2 吹干后, 用 In 沾于钼托上。在预处理室经 400°C 除气一小时后传入生长室进行生长。外延之前先要进行 580°C 的常规脱氧处理。为了生长的均匀性, 衬底在外延过程中不断旋转, 速度为 20rpm 。

外延生长过程连续进行, 中间没有间断。除了 n^+ -GaAs 缓冲层和 p^+ -GaAs 盖层的生长温度为 600°C 之外, 所有各层均在 700°C 生长。GaAs 生长速度为 $0.7\text{ }\mu\text{m/h}$, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的生长速度由 GaAs 的生长速度及相应的 x 值而定。n 型和 p 型掺杂源分别为 Si 和 Be。波导层和有源层为非故意掺杂区。缓变折射率波导区可以方便地通过线性改变 Al 源炉的温度得以实现。V/III 族束流比选择在近临界的富 As 状态。

经外延工艺后的片子在高倍相衬显微镜下或扫描电镜观察, 其表面除较少量的椭圆缺陷外, 无其它特征表面。这说明了较好的生长平整性。

3 器件制备和器件特性

利用 PECVD 方法在片子表面淀积一层约 $2000\text{ \AA}$ 厚的电隔离绝缘膜 SiO_2 , 然后利用标准光刻方法光刻出 $80\text{ }\mu\text{m}$ 宽的电极窗口, 经减薄、蒸发电极、合金、解理、检测、键合等工艺后, 得到宽接触条型量子阱激光器管芯, 如图 2(a) 所示; 另外, 我们也利用湿法化学腐蚀方法制备了 $5\text{ }\mu\text{m}$ 条宽的脊形波导结构激光器, 如图 2(b) 所示, 对脊形波导结构激

光器的详细制备过程及结果将另作报道^[7].

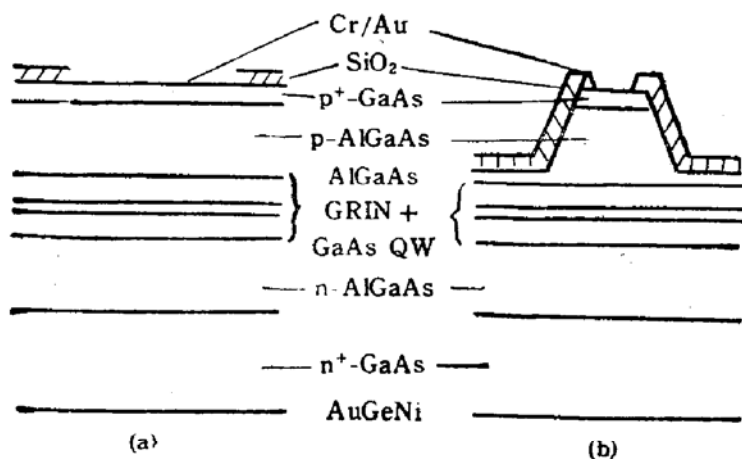


图2 器件结构示意图 a) 宽接触条型结构 (broad-stripe);
b) 脊形波导结构 (ridge-waveguide)

对制备的单量子阱和双量子阱 $80\mu\text{m}$ 宽条激光器检测表明,在腔长为 $600\mu\text{m}$ 时,其平均阈值电流密度分别为 $290\text{A}/\text{cm}^2$ 和 $240\text{A}/\text{cm}^2$ 。这其中不包括因为电流扩展和氧化物条型反波导效应导致的条宽变宽效应,实际值应比以上值小 5—10% 左右。如果腔长进一步增大,则由于端面损耗 $(1/2L)\ln(1/(R_1R_2))$ (其中 L 为腔长, R_1 、 R_2 为端面反射率)的减小,会使阈值电流密度更低。图 3 给出了双量子阱激光器的阈值电流密度 (J_{th}) 与腔长 L 的关系曲线,可见随着腔长的增加, J_{th} 趋于饱和,在腔长为 $1200\mu\text{m}$ 时阈值电流密度低至 $190\text{A}/\text{cm}^2$ 。

如果在激光器的出光面镀以增透膜,背面镀上高反膜,则不仅可以保护激光器的端面,还可以提高激光器的输出功率和微分量

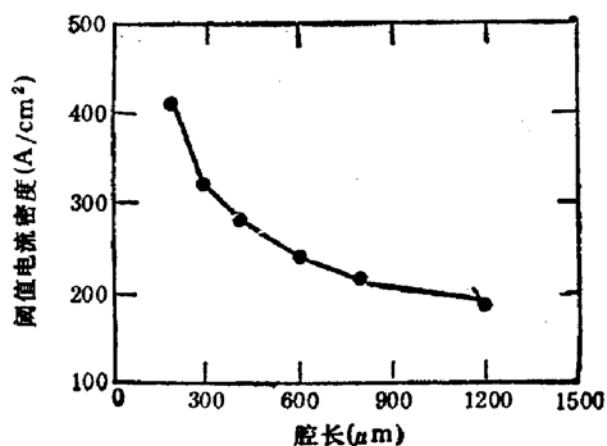


图3 GaAs/AlGaAs 双量子阱激光器的阈值电流密度 J_{th} 与腔长 L 的关系曲线

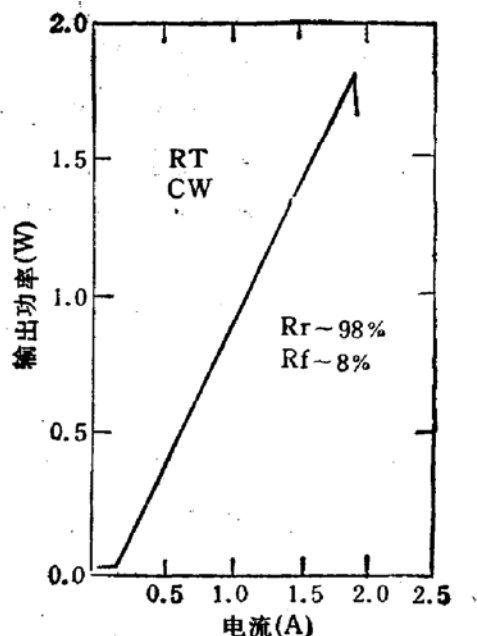


图4 GaAs/AlGaAs 宽接触条型单量子阱激光器的光功率电流曲线

子效率。图 4 为一端面镀膜的宽条单量子阱激光器(腔长 L 为 $600\mu\text{m}$, 条宽为 $80\mu\text{m}$) 的光功率电流曲线,其阈值电流为 140mA , 在 1.9A 的电流下可达 1.82W 的光功率输出,功率效率高达 $1.04\text{W}/\text{A}$, 微分量子效率 η_d 为 71%。

图 5 为解理得到的同样腔长的脊形波导结构激光器的管芯阈值电流分布直方图。可以看出其 阈值电流基本分布在 9mA 至 12mA 之间。这其中包括了由于化学腐蚀条宽、腐蚀深度等不均匀性引入的偏差,说明了所制备的器件较好的均匀性,也更进一步证明了外延材料极好的均匀性。最低的阈值电流可达 8mA, 这是目前为止国际报道的最好水平之一^[8]。

对单量子阱激光器的激发光谱测量表明, 其发光波长为 845nm 左右, 所对应的理论阱宽与实验值符合较好。

4 结论

我们利用固态源的分子束外延方法, 通过对器件结构参数的优化设计, 以及外延生长过程中各工艺参数的优化选择, 获得了具有极低阈值电流密度以及高微分量子效率的高质量的激光器外延材料。在此基础上研制的宽接触条型结构量子阱激光器和脊形波导条形结构激光器, 均显示了十分优越的特性。无论从器件的阈值电流还是输出功率或量子效率, 都是目前国内同类器件的最好水平, 是我国在量子阱激光器方面取得的重大进展。

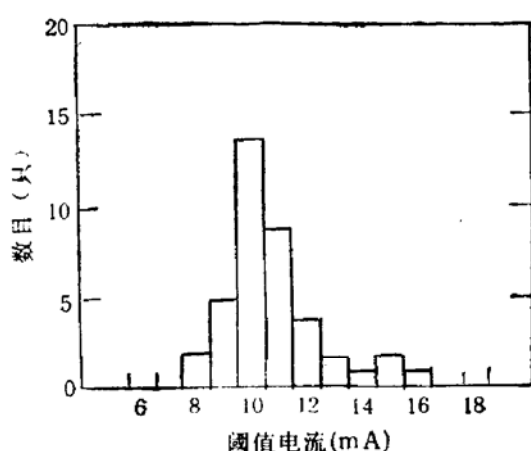


图 5 脊型波导结构单量子阱激光器的 阈值电流分布直方图

参 考 文 献

- [1] H. Z. Chen, A. Ghaffari, H. Morkoc and A. Yariv, Appl. Phys. Lett., 1987, 51:2094.
- [2] 《MOCVD GaAlAs/GaAs 超晶格、量子阱材料研制及应用》研究报告,中国科学院半导体所,1992,11.
- [3] 徐俊英,李立康等, Chinese J. Lasers, 1990, 17:84.
- [4] W. T. Tsang, Appl. Phys. Lett., 1981, 39:134.
- [5] Paul W. A., Mc Ilroy, Atsushi Kurobe and Yukata Uematsu, IEEE J. Quan Electron., 1985, 21: 1958.
- [6] A. Behfar-rad, James R. Shealy, Stephen, R. Chinn and S. Simon Wong, IEEE J. Quan Electron., 1990, 26:1476.
- [7] 徐遵图,杨国文等,半导体学报,待发表.
- [8] W. T. Tsang, R. Kapre, M. C Wu and Y. K. Chen, Appl. Phys. Lett., 1992, 61(7):755.

MBE Growth of High Quality GaAs/AlGaAs Quantum Well Lasers

Yang Guowen, Xiao Jianwei, Xu Zuntu, Zhang Jingming,
Xu Junying, Zheng Wanhua, Zeng Yiping and Chen Lianghui

(Institute of Semiconductors, the Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100083)

Abstract Using solid source molecular beam epitaxy we have fabricated GaAs/Al-GaAs graded-index separate confinement single and double quantum well lasers. For broad-area, uncoated Fabry-Perot 1QW and 2QW devices with cavity lengths of 600 μm , the threshold current densities (the average value) are 290A/cm² and 240A/cm², respectively. For double QW laser devices with cavity length of 1200 μm , the threshold current density is as low as 190A/cm², a value which is believed the best value ever reported for the same material system at home. For facet coated 80 μm -width broad stripe lasers, the linear output power and slope efficiency are as high as 1.82W and 1.04W/A, respectively. For ridge waveguide structure single quantum well lasers, threshold current of as low as 8mA and very good uniformity are also demonstrated.

PACC: 4255P, 4280R, 7360F