

# GaAs/AlGaAs 多量子阱激光器\*

张永航 孔梅影 陈良惠 王启明

(中国科学院半导体研究所,北京)

1988年8月19日收到

用国产的分子束外延设备生长出多量子阱激光器结构,在室温下,其宽接触电流密度为  $3000\text{A}/\text{cm}^2$ ,质子轰击条形器件单管最佳阈值电流为  $128\text{mA}$ ,单面连续输出功率可大于  $22\text{mW}$ ,在一定注入范围内可单纵模工作,最高单面微分量子效率达  $34\%$ ,激光波长在  $8590\sim 8640\text{埃}$  之间,远场光强分布呈单峰,在室温附近的特征温度  $T_c$  为  $202\text{K}$ . 对外延材料和器件的初步研究表明,AlGaAs 材料特别是掺杂的 AlGaAs 材料质量不理想是导致激光器阈值电流密度不够低的可能原因.

**关键词:** 分子束外延,量子阱,半导体激光器

## 一、引 言

自从江崎和朱兆祥提出超晶格以来<sup>[1]</sup>,随着超薄层外延技术的发展和完善,人们已研制出各种结构的多量子阱(MQW)和单量子阱(SQW)激光器<sup>[2]</sup>. 可真正具有实用化水平的量子阱激光器则是1979年由 W. T. Tsang(曾焕添)<sup>[3]</sup>首先用 MBE 法制备成功,其后大量科学家也都分别用 MBE, MOCVD 等方法研制成功了高水平的量子阱激光器,这些激光器与以往的双异质结激光器相比有阈值电流密度低、激光波长在一定范围内随设计的阱宽不同而变、TE 和 TM 模增益差高、高频调制特性好、阈值电流受温度影响小等优点,是新一代极具发展前途的半导体激光器.

通过不断地对外延材料的分析,对外延过程中的生长速率、掺杂浓度、组分的控制等外延工艺进行改进和优化,在国产的分子束外延(MBE)设备上生长出合用的多量子阱外延片,经器件后工艺的制作,得到了可在室温下连续工作的多量子阱激光器. 本文还给出这些激光器的相关特性和物理分析.

## 二、器件的制备

量子阱激光器件的结构是用国产的分子束外延设备生长的<sup>[4]</sup>,它由一个生长室和一个进样室组成,生长室装有6个源炉和高能电子衍射仪(HEED)、四极质谱仪与超高真空规等实时检测设备,这些设备分别用于表面结构分析、生长过程监视、残留气体分析和真

\* 国家自然科学基金资助项目.

空测量。

生长的结构如图 1 所示,典型的各层参数为 1.5 微米的 GaAs 缓冲层,掺 Si( $n \sim 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ); 1.5 微米的  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  光限制层 ( $x \sim 0.24$ ), 掺 Si( $N \sim 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ); 不有意掺杂的有源层,它是由十个阱组成,阱宽和势垒宽度分别为  $100 \text{ \AA}$  和  $50 \text{ \AA}$ , 势垒组分为  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y \sim 0.16$ ); 1.5 微米的光限制层  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , 掺 Be( $P \sim 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ); 1.5 微米的 GaAs 顶层, 掺 Be( $P \sim 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ), 以便制作欧姆接触电极。为了便于比较以体现量子阱激光器的特点,我们还用该 MBE 系统生长了相同层次结构的双异质结激光器,只是有源区为不有意掺杂的 GaAs 层,厚度为 0.16 微米。

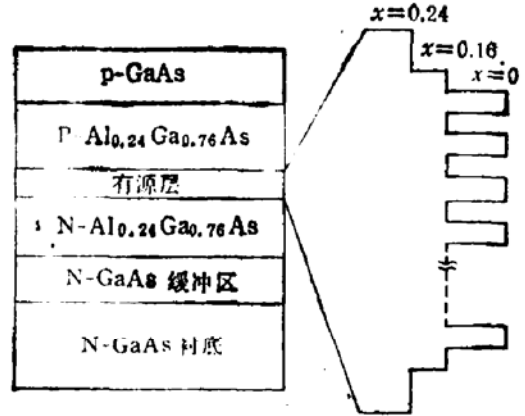


图 1 多量子阱激光器结构图

在材料制备中, GaAs 衬底的抛光清洁处理, 衬底和钼块在生长前的去除吸附气体, 以及生长温度的选择对生长好高发光效率材料是至关重要的。

外延片经过去 In、扩 Zn, 蒸发电极和合金等工序后, 解理成宽接触的管芯, 从而选出阈值电流密度较低的片子制作条形激光器。本实验主要用质子轰击条形和氧化物条形。质子轰击深度为 2 微米, 掩蔽钨丝直径为 8—10 微米, 器件腔长约 150—200 微米。

### 三、量子阱激光器的特性

典型的 MQW 激光器的阈值电流密度在  $4000 \text{ A/cm}^2$  左右, 最低可达  $3000 \text{ A/cm}^2$ 。图

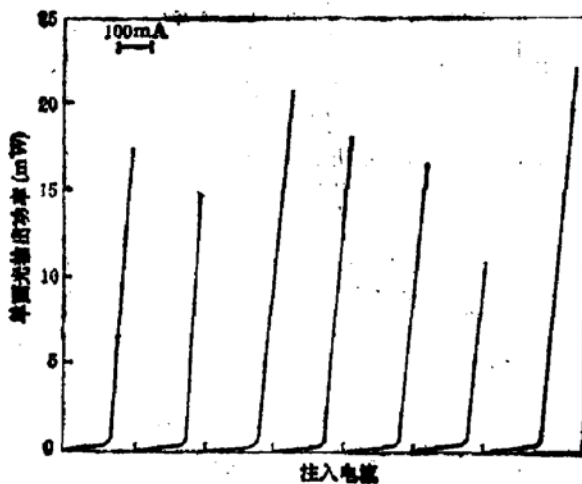


图 2 MQW 激光器输出功率与注入电流关系

2 给出了激光器的单面光输出功率与注入电流的关系曲线, 测量是在  $28.5^\circ\text{C}$  连续注入下进行的(样品 B67-7)

图 3 (a)和(b)分别给出了 MQW 激光器和 DH 激光器直流工作时发射光谱随电流的变化, 比较可知, MQW 激光器的发射波长较 DH 器件已向短波移动, 出现明显的量子效应, 其移动值与理论计算值相符。从图中可以看出, 在一定电流范围内, MQW 激光器可单纵模工作。图 4 (a)和(b)分别给出 MQW 激光器垂直于结面和平行于结面方向测

得的直流工作时的远场图, 其单峰性说明器件工作在基横模。从表 1 给出的一些典型器件参数可以看出, 有些器件的外微分量子效率较高, 且激射波长比较接近, 这些结果表明, 器件有源区, 即多量子阱材料的外延生长还是均匀的。

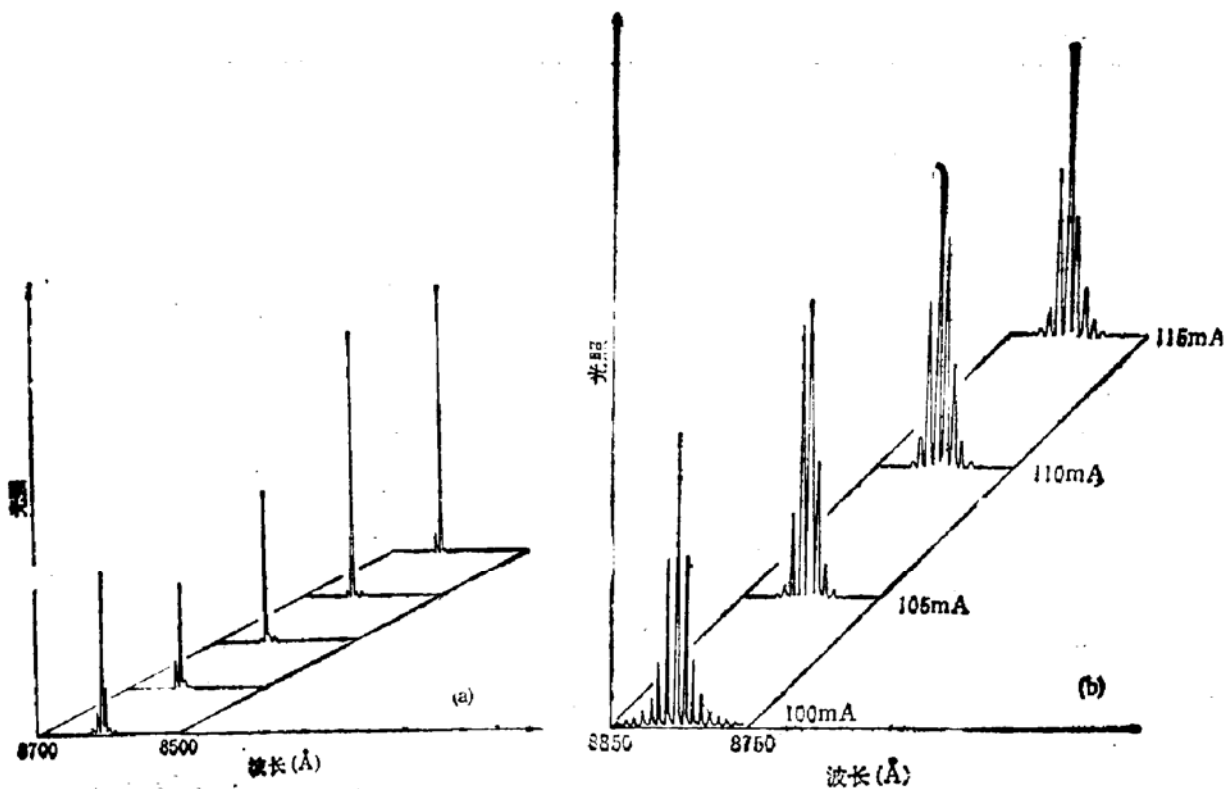


图3 MQW 激光器与 DH 激光器光谱随注入电流的变化  
 (a) MQW, 连续, 28.5°C (b) DH

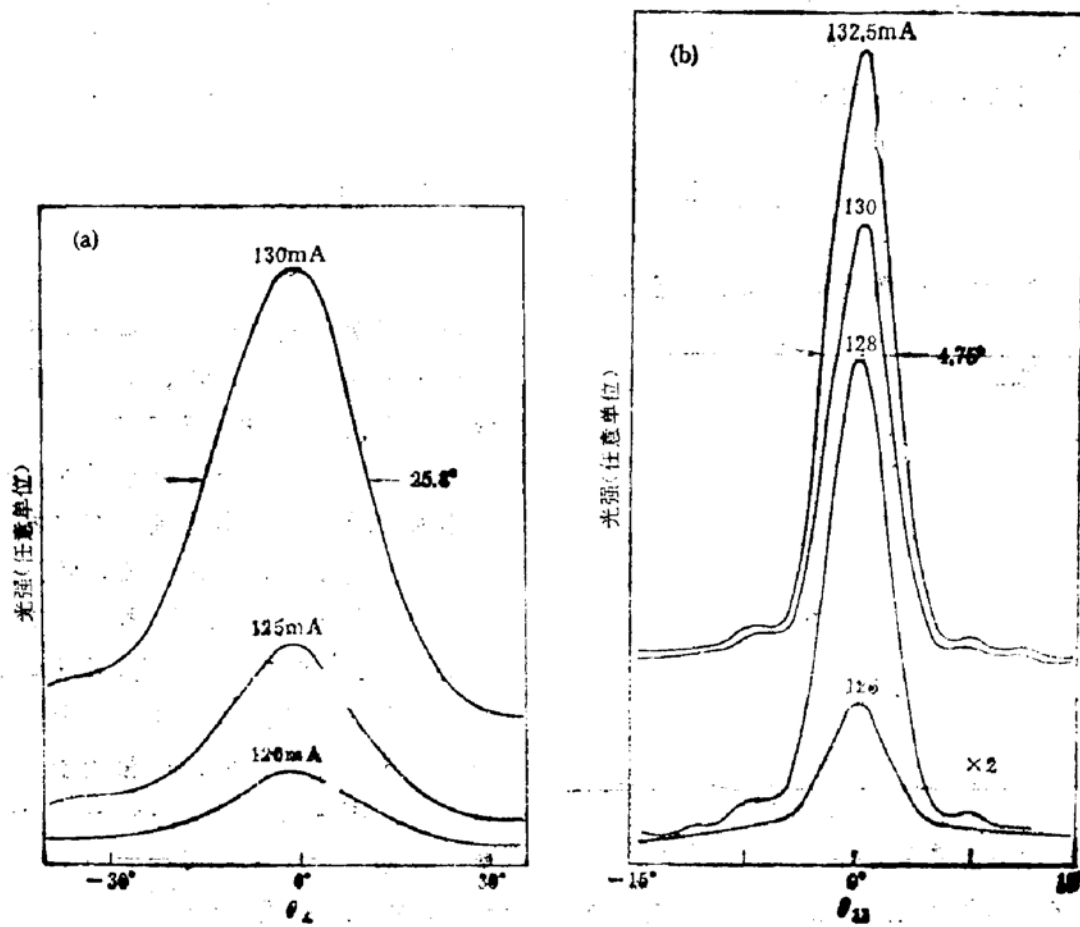


图4 多波长激光器光束剖面 (D67.1, 室温)  
 (a) 上端面 (b) 端面

表 1 一些典型的 MQW 激光器参数

管号	阈值电流 (mA)	外微量子效率 (%)	串连电阻 ( $\Omega$ )	正向导通电压 (V)	反向击穿电压 (V)	激射中心波长 ( $\text{\AA}$ )
B67-1	128	19	—	—	—	8593
-4	130	—	—	—	—	8610
-6	155	34	3	~1.2	8.0	8627
-7	164	19	—	—	—	8628
-11	178	22	2	~1.2	6.8	—
-12	154	30	3	~1.2	3.5	8611
-13	158	22	3	~1.2	—	—
-14	178	24	—	~1.2	—	8623
-15	160	29	4	~1.2	7.0	—
-16	128	23	2	~1.2	7.0	8633
-17	178	20	2.5	~1.2	6.0	—
-19	165	19	3	~1.2	6.0	—

图 5 给出了实测的 MQW 激光器的阈电流随温度的变化, 阈电流与温度的关系用下式经验公式表示

$$I_{th}(T) = I_0 \cdot \exp(T/T_0)$$

其中  $I_0$  为  $0^\circ\text{C}$  时的阈电流, MQW 激光器比 DH 激光器具有更高的  $T_0$  值, 可达 202K.

#### 四、结果的讨论

毋庸讳言, 作为量子阱激光器而言, 本实验所得到的阈值电流密度明显偏高, 对此, 我们作了如下分析:

从激光器结构的扫描电镜照片与生长过程中 HEED 图形变化都反映出 N-Al<sub>0.23</sub>Ga<sub>0.77</sub>As 光限制层与 n-GaAs 缓冲层的界面是平整的, 而 N-Al<sub>0.23</sub>Ga<sub>0.77</sub>As 层与有源层的界面有凹凸不平的起伏。

对不有意掺杂和掺硅的 Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 作限制层的样品的光致发光谱测量结果比较表明, 不故意掺杂的样品具有明显的 MQW 发光特征, 可比较清晰地分辨出电子到重空穴和电子到轻空穴的跃迁分别对应的发射峰, 而掺硅的样品则光谱极宽且发光效率很低, 这说明作为激光器结构所必须的掺硅 AlGaAs 限制层质量对 MQW 发光有很大影响。

用选择腐蚀法去掉 P-GaAs 顶层然后测量光致发光谱, 发现阈电流密度较高的外延片的 P-AlGaAs 层的发光, 与较好质量的 AlGaAs 材料相比, 其强度较弱, 而 MQW 中的荧光则更弱, 说明在 P-AlGaAs 层中存在有高浓度的非辐射复合中心, 经扩散落入阱中的光生载流子太少。注意到 MQW 发光峰的半高宽较宽, 说明 MQW 自身的质量也

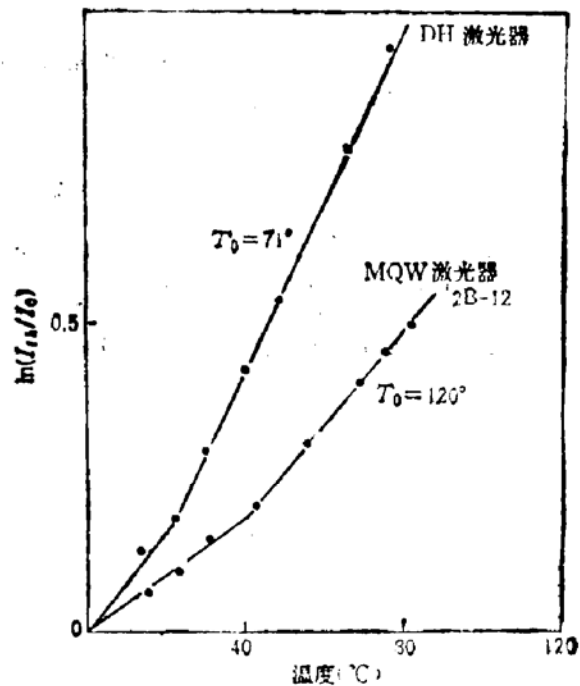


图 5 MQW 激光器的阈电流温度关系

有待提高,再加上限制层的严重影响,自然其阈电流密度也就很高了。

同时,深能级瞬态谱(DLTS)对一些 MQW 激光器的分析表明,在 N-AlGaAs 限制层中存在浓度高达  $1.8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  的深能级中心。

综上所述,目前 MQW 激光器阈电流密度偏高的原因主要是 AlGaAs 材料,特别是掺 Si 的 AlGaAs 材料质量不高所致,同时,异质界面的不平整也对阈电流密度升高起了不良影响。

## 五、结 语

我们已经用国产的 MBE 系统做出了室温连续激射的多量子阱激光器,其最佳阈值电流为 128mA,单面连续输出功率可大于 22mw,激射波长在 8590—8640 Å 范围。单面外微分量子效率达 34%,特征温度为 202K。

对材料和器件性能的分析研究表明,MQW 激光器阈电流不够低的原因在于 AlGaAs 材料,特别是掺杂 AlGaAs 材料的质量不够理想,进一步的改进提高工作正在进行中。

作者对徐俊英、李立康、曾一平、梁基本、孙殿照、高季林以及七室工艺线的有关同志在激光器外延、制作、测量等方面的帮助表示衷心的感谢。

## 参 考 文 献

- [1] Leo Esaki, *IEEE J. Quantum Electronics*, QE-22(9),1611(1986).
- [2] N. Holonyak, Jr. *Sov. phys. semicond.*,19,293(1985).
- [3] W. T. Tsang, C. Weisbuch, R. C. Miller and Dingle *Appl. phys. Lett.*, 356,73(1979).
- [4] 量子束外延设备研制协作组《半导体学报》,2,104(1981).

## Multiple Quantum Well Laser Prepared by Molecular-Beam-Epitaxy and Device Characteristics

Zhang Yonghang, Kong Meiyong, Chen Lianhui and Wang Qiming

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing)

### Abstract

Multiple quantum well lasers have been made by a home-made molecular-beam-epitaxy system. At room temperature, the best threshold current density of the broad-area contact device is  $3000 \text{ A/cm}^2$ , and proton bombarded stripe geometry MQW laser has a threshold current of 128 mA. Single longitudinal mode operation is also observed in a wide current injection range. The highest external differential quantum efficiency is 34% per facet. Lasing wavelengths are in the range from  $8590 \text{ \AA}$  to  $8640 \text{ \AA}$  and far-field optical intensity distribution exhibits a single peak. The characteristic temperature is 202 K at the temperatures near 300 K. The details of molecular beam epitaxial procedures and growth conditions for MQW laser are also reported. The investigations on grown materials and devices have shown that the grown AlGaAs materials, especially the doped AlGaAs, are not ideal and result in a not very low threshold current density.

**KEY WORDS:** Molecular-beam-epitaxy, Quantum well, Semiconductor laser