

# GaAlAs/GaAs 量子阱结构的实验研究

李学千 曲 轶 宋晓伟 张千勇 张兴德

(长春光学精密机械学院高功率半导体激光国家重点实验室, 长春 130022)

**摘要** 利用分子束外延生长法生长出了 GaAlAs/GaAs 梯度折射率分别限制单量子阱结构材料。对样品进行了光荧光谱、双晶 X 射线衍射和电化学电容-电压分布测量。实验结果表明, 样品质量达到了设计要求。利用该材料制作的激光二极管获得了初步结果。

**关键词** 量子阱结构, 硼铝镓激光器, 参数测试。

## 1 引 言

当半金属或半导体层, 例如双异质结激光器激活层的厚度  $L_z$  减少到载流子德布洛意波长的数量级时( $\lambda = h/p \sim L_z$ ),  $L_z < 50 \text{ nm}$ , 这时不再是已知的体型材料的典型效应, 即存在量子尺寸效应<sup>[1-4]</sup>, 激活区载流子状态不再近似为自由载流子, 而是被限制在一个有限深的势阱中, 这个势阱称为量子阱。一个很薄的窄带隙 III-V 族半导体层(直接带隙的激活层)处于两个较宽带隙的半导体限制层之间, 例如薄外延 GaAs 层夹在较宽带隙的  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$  层之间或薄的  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  夹在 InP 之间<sup>[5-6]</sup>, 会适合于制作光泵浦或 p-n 结量子阱异质结构的各类激光器。

本文报道了利用分子束外延生长装置生长的 GaAlAs/GaAs 量子阱材料, 对其样品进行了光荧光谱、双晶 X 射线衍射和电化学电容-电压分布测量的实验研究, 对获得的实验结果进行分析和总结, 研制出了量子阱结构激光器。

## 2 实 验

本文设计的折射率梯度分别限制(GRIN-SCH)量子阱结构如图 1 所示。选择这样的结构比突变分别限制结构可使光学限制和载流子限制作用更好。上下限制层的 Al 组分越高限制会越好, 但 Al 组分过高使材料生长困难, 本文选择 Al 组分为 0.6。限制层的厚度应在不影响限制性能的同时尽可能薄些<sup>[7]</sup>, 太厚会增加激光器的串联电阻, 影响激光器件的性能, 实验选择层厚为  $1.0 \mu\text{m}$ 。激活层选择适当的 Al 组分 0.053, 这是为了使激光波长调整在 800~820 nm 左右。

作者利用分子束外延生长设备对所设计的 GaAlAs/GaAs 量子阱结构进行了外延生长。生长出的样品分别利用英国伯乐 PL9000 型傅里叶变换光荧光谱仪测定了光荧光谱, 用日本

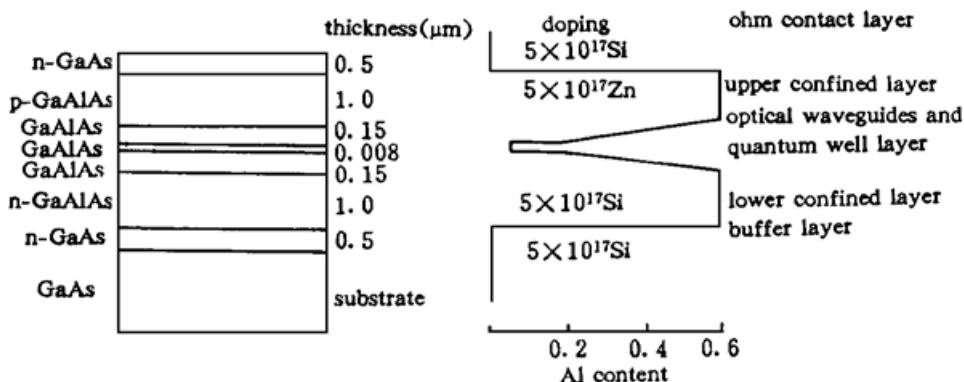


Fig. 1 Schematic diagram of the GaAlAs/GaAs quantum well structure

理学 D/max-2400 型双晶 X 射线衍射仪测量了回摆曲线;用英国伯乐 PN4300 型电化学电容-电压分布测试仪对载流子浓度与腐蚀深度的关系进行了测定, 腐蚀液采用 0.3 mol Tiron[试钛灵, 分子式为  $C_6H_2(OH)_2(SO_3Na)_2 \cdot H_2O$ ]。

### 3 结果和讨论

#### 3.1 光荧光谱测量

光荧光谱测量的激光光源使用氩离子激光器, 其激光波长  $\lambda = 488 nm$ , 输出功率为 50 mW, 使用锗检测器在液氮温度下工作。样品使用循环液氦致冷, 测量了 10 K 温度下的光荧光谱, 同时也测量了室温 300 K 温度下的光荧光谱, 如图 2 所示。由 10 K 的荧光曲线可见, 荧光峰值的波长为 769.743 nm, 半极大强度的全宽度(FWHM)为 6.2 nm。用该样品制作出 GaAlAs/GaAs 量子阱激光器, 发射波长为 815.625 nm, 阈值电流  $I_{th}$  为 80 mA, 输出功率(cw)为 300 mW。对光荧光谱的测试结果表明, 生长的量子阱结构样品达到设计要求, 并对激光器件的实验获得了初步结果。

#### 3.2 双晶 X 射线衍射测量

由双晶 X 射线衍射得到了 GaAlAs/GaAs 量子阱结构的回摆曲线, 如图 3 所示, 给出半极大强度的全宽度、 $\Delta\theta$ (衬底峰与各外延层峰的角度差) 和  $\Delta d/d$  (失配度) 值如表 1 所示。图 3(a) 和图 3(b) 中曲线 1、2 和 3 分别为衬底、波导层和限制层的衍射峰。利用 Vegard 定律计算出波导层和限制层的 Al 组分分别为 0.18 和 0.58。由于量子阱的 Al 组分太小(设计为 0.053), 则从图 3 和曲线 1 可见, 其衍射峰包络在衬底峰内。表 1 的数据给出了波导层和限制层的晶格失配度分别为  $4.421 \times 10^{-4}$  和  $1.65 \times 10^{-3}$ 。所有这些数值均接近设计要求。此外, 由表 1 中半极大强度的全宽度数据和图 3(b) 的对数曲线中的干涉条纹可以看到, 晶格质量较好。

Table 1. Experimental data of double crystal X-ray diffraction for GaAlAs/GaAs quantum well structure

diffraction curve	FWHM (sec)	$\Delta\theta$ (sec)	$\Delta d/d$ (%)
1	31.86	0.00	0.0000
2	90.91	-68.51	0.04421
3	39.86	-220.98	0.16475

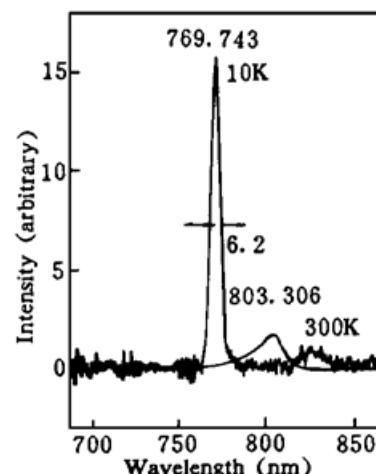


Fig. 2 Photoluminescence spectrum of the GaAlAs/GaAs quantum well structure

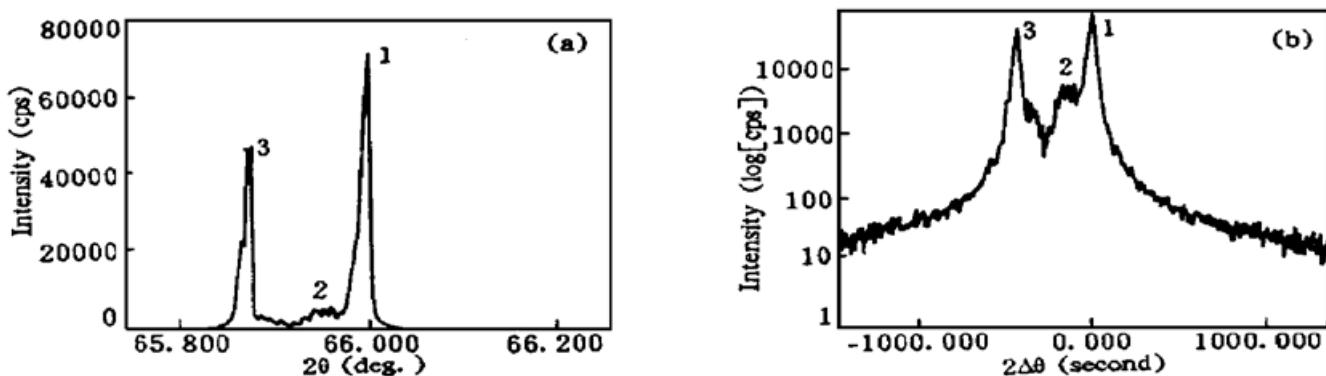


Fig. 3 Rocking curve of double crystal X-ray diffraction for the GaAlAs/GaAs quantum structure  
(a) normal intensity, (b) log intensity

### 3.3 电化学电容-电压分布测量

电化学电容-电压测量与使用金属肖特基接触的电容-电压分析不同,这是由半导体/电解质界面作为肖特基结。载流子浓度的测定要求半导体电极是反向偏置的。由于载流子浓度是在耗尽层边缘测量的,因此相应的深度是腐蚀深度  $W_r$  与耗尽层深度  $W_d$  的总和,即分布测量深度 =  $W_r + W_d$ , 其中  $W_d = \epsilon_0 \epsilon A / C$ 。在耗尽层边缘处的载流子浓度  $N$  给定为

$$N = \frac{1}{q\epsilon_0 \epsilon A} \frac{C^3}{dC/dV}$$

式中  $q$  为电子电荷,  $\epsilon_0$  和  $\epsilon$  分别为自由空间介电常数和半导体的相对介电常数,  $A$  为有效接触面积或腐蚀面积,  $C$  为结电容,  $V$  为施加于体系的电压。

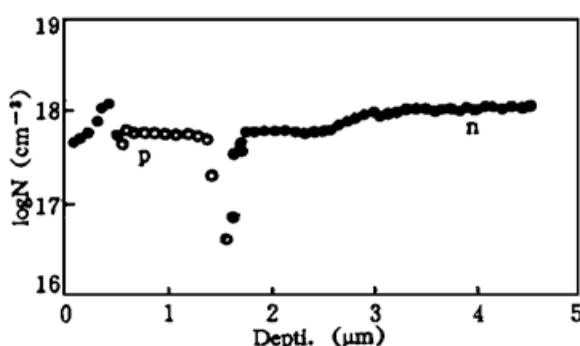


Fig. 4 Plot of carrier concentration as a function of etching depth for GaAlAs/GaAs quantum well structure

GaAlAs/GaAs 量子阱结构样品载流子浓度随腐蚀深度的变化情况测量结果如图 4 所示。由图可见,在界面处产生载流子浓度向上及向下弯曲,这是由于耗尽层能带弯曲所致。此外从微机输出的数据显示,两个波导层和量子阱区域的宽度与设计的数值相符。在图中该区域里存在的三个 P 型载流子浓度圆圈是由于系统随机电荷而产生的。限制层的载流子浓度与设计完全一致。

**总 结** 1) 利用分子束外延生长装置生长出了质量较好的阱宽为 8 nm 的梯度折射率分别限制 GaAlAs/GaAs 量子阱结构的材料。2) 对样品的光荧光谱测量表明,在低温 10 K 和室温 300 K 时都显示出很好的光荧光特性。10 K 时的半极大强度的全宽度为 6.2 nm, 生长出的量子阱结构达到了设计的要求。3) 对样品的双晶 X 射线衍射测试表明,晶格失配度很低,晶体质量很好。对实验数据的计算表明,各外延层中的 Al 组分达到了设计的要求。4) 对样品的电化学电容-电压分布测量显示,各层的载流子浓度与设计的指标完全一致。5) 利用生长出的量子阱结构样品,进行了激光器件的制备,获得了初步结果。作者将在改进器件工艺的基础上,制作出质量更好,输出功率更高的器件。

### 参 考 文 献

- [1] V. N. Lutskii, Quantum size effect—present state and perspectives of experimental investigations. *Phys. Status Solidi(a)*, 1970, **1**(1) : 199~ 220
- [2] M. I. Elinson, V. A. Volkov, V. N. Lutskii et al., Quantum size effect and perspectives of its practical application. *Thin Solid Films*, 1972, **12**(8) : 383~ 397

- [3] A. Ya. Shik, Superlattices-periodic semiconductor structures. *Sov. Phys. Semicond.*, 1975, **8**(4) : 1195 ~ 1209
- [4] R. Dingle, *Confined Carrier Quantum States in Ultrathin Semiconductor Heterostructures*. in Festkörper Probleme XV (Advances in Solid State Physics), H. J. Queisser, Ed. New York: Pergamon, 1975 : 21 ~ 48
- [5] E. A. Rezek, H. shichijo, B. A. Vojak, et al., Confined-carrier luminescence of thin  $In_{1-x}Ga_xP_{1-x}As_x$  well ( $x \sim 0.13$ ,  $z \sim 0.29$ ;  $\sim 400\text{\AA}$ ) in an InP p-n junctions. *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **31**(15) : 534~ 536
- [6] E. A. Rezek, N. Holonyak, Jr., B. A. Vojak et al., Single and multiple thin layer ( $L_z \leq 400\text{\AA}$ )  $In_{1-x}Ga_xP_{1-x}As_x$ -InP heterostructure light emitters and lasers ( $\lambda \sim 1.1 \mu\text{m}$ ,  $77\text{K}$ ). *J. Appl. Phys.*, 1978, **49**(1) : 69~ 74
- [7] A. Behfar-rad, J. R. Shealy, S. R. Chinn et al., Effect of cladding layer thickness on the performance of GaAs-AlGaAs graded index separate confinement heterostructure single quantum-well lasers. *IEEE J. Quan. Electron.*, 1990, **QE-26**(9) : 1476~ 1480

## Experimental Study of GaAlAs/GaAs Quantum Well Structure

Li Xueqian    Qu Yi    Song Xiaowei    Zhang Qianyong    Zhang Xingde

(National Key Laboratory of High Power Semiconductor Lasers,  
Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

(Received 28 February 1996)

**Abstract** The GaAlAs/GaAs material with gradient refraction index separate confinement single quantum well structure has been grown by MBE method. PL spectrum, double crystal X-ray diffraction and electrochemical CV profile in the samples have been measured. The experimental results show that sample's quality has reached requirement of design. Manufacture of laser diodes with the material has obtained preliminary result.

**Key words** quantum well structure, GaAlAs laser, parameter testing.

## 第一届全国光子学学术会议”在深圳大学召开

受中国光学学会和国家自然科学基金委的委托,由深圳大学、中国科学院西安光机所和广东省科学技术协会联合主办的“第一届全国光子学学术会议”于1996年10月10日~14日在深圳大学隆重召开。

这次会议是1985年以来我国光学界最大的一次盛会,共收录论文403篇,会议交流论文200余篇。出席会议代表人数高达300余人,会议正式代表273人,汇集了来自全国20个省、市、地区(包括台湾、香港)及美国、日本公司的专家、学者。中国光学界著名科学家王大珩、高鼎三、侯洵、王启明、金国藩五位院士参加了本次会议。王大珩院士就光子学和信息科学作了重要讲话,侯洵、王启明、金国藩、刘颂豪、于荣金等17名学者就光子学的前沿课题作了特邀报告。

这是一次前沿性高水平的学术会议。参加会议的教授、研究员、研究员级高级工程师近80人,具有高级职称者150多人。交流的文章基本上都是前沿课题的研究成果,其中部分报告的内容属国际领先水平。

光子学是正在迅速发展中的一个重要前沿学科,是国际上提出的下一个世纪若干关键技术之一。国际上普遍认为,光子学已成为改变世界力量对比的杠杆,是下一个世纪光子产业的基础,很多发达国家都制定了发展光子学和光子技术的发展规划。我国于1994年把光子学列为重点资助学科,光子学和光子技术的发展已得到科学界的关注。作为首届光子学学术会议,这次会议的召开在我国光子学的发展史上掀开重要的一页。对我国业已迅速发展的光子产业将起到推动作用。

本次学术会议的组织安排及会场布置均具有很高水平,深圳大学鼎立办会的热情、礼貌、高效、负责的精神给全体与会代表留下了深刻的印象。会议组委会主席侯洵院士对这次会议的成功举办给予了极高的评价。本次会议得到了深圳市政府和南山区政府,广东省科学技术协会,深圳大学和中国科学院西安光机所的关心与大力支持。

第二届全国光子学会议拟于1998年在西安市召开。