

# 分子束外延高质量 GaAs-AlGaAs 量子阱结构

梁基本 孔梅影 孙殿照 曾一平 黄运衡  
(中国科学院半导体研究所,北京)

1986年12月22日收到

利用国产分子束外延设备研制出高质量 GaAs-AlGaAs 量子阱结构材料。经光荧光测量分析,其  $n=1$  的电子-重空穴自由激子复合发光的谱线很窄,半峰宽仅 1.2 meV (阱宽 141 Å, 温度 10.5K), 表明量子阱阱宽和异质结界面平整度的起伏小于一个单原子层。样品从低温到室温都能保持激子发光特性。

**主题词:** 分子束外延, GaAs-AlGaAs, 量子阱结构

超晶格、量子阱结构材料为研究量子尺寸效应、低维物理提供了理想模型,并具有十分广阔的器件应用前景(如量子阱激光器、光双稳态器件等)。本文介绍我们用国产分子束外延设备和源材料,在生长优质 GaAs 和 AlGaAs 的基础上研制出一系列不同结构参数的 GaAs-AlGaAs 量子阱结构。对材料性能进行了低温光荧光测量。

材料生长所用的分子束外延设备及高纯 GaAs 材料的制备已在有关的文献中报道过<sup>[1-3]</sup>。优质 AlGaAs 的生长需要特别注意生长环境的清洁度和 Al 源的纯度。合适的生长温度也是获得高质量材料的重要条件。我们生长温度为 670°C, 生长速率 1-2 Å/秒。在外延量子阱结构前,先在 GaAs 衬底上外延一层厚 0.5 μm 的 GaAs 缓冲层,随后交替生长的 GaAs 和 AlGaAs 量子阱结构是夹在厚度为 1500 Å 左右的 Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 层之间 ( $x=0.2-0.4$ ) 以获得较强的荧光强度。

对量子阱材料的性能用光荧光技术进行了测量分析,光荧光能观察到量子阱结构中不同子能带之间的辐射跃迁,从荧光谱线的半峰宽和强度可以评价异质结构的晶体质量和界面平整度,并从荧光峰的能值确定量子阱的宽度。在我们实验中的激发光源为锁模 Ar<sup>+</sup> 激光器,波长为 5145 Å。图 1 为 GaAs-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 量子阱光荧光谱图,样品号 86031 具有 5 个阱宽为 141 Å 的量子阱和一个阱宽为 190 Å 的单阱结构。对量子阱  $n=1$  的跃迁,电子重空穴跃迁复合产生的荧光峰位置分别为 1.535 eV 和 1.526 eV。这两个发光峰不但发光强度高,更主要是半峰宽很窄,在 10.5K 下分别为 1.2 meV 和 1.3 meV。而且其高能侧各有一个较弱的发光峰,可清晰分辨峰能值分别为 1.531 eV 和 1.543 eV。理论计算表明它们分别对应  $n=1$  的电子-轻空穴跃迁复合产生的荧光峰,这些表明样品具有非常良好的晶体质量。

荧光谱线的半峰宽的宽窄是材料质量和异质结界面质量的重要标志。作为一级近似,将无限深一维方势阱模型解得势阱中存在一系列分立的子能级

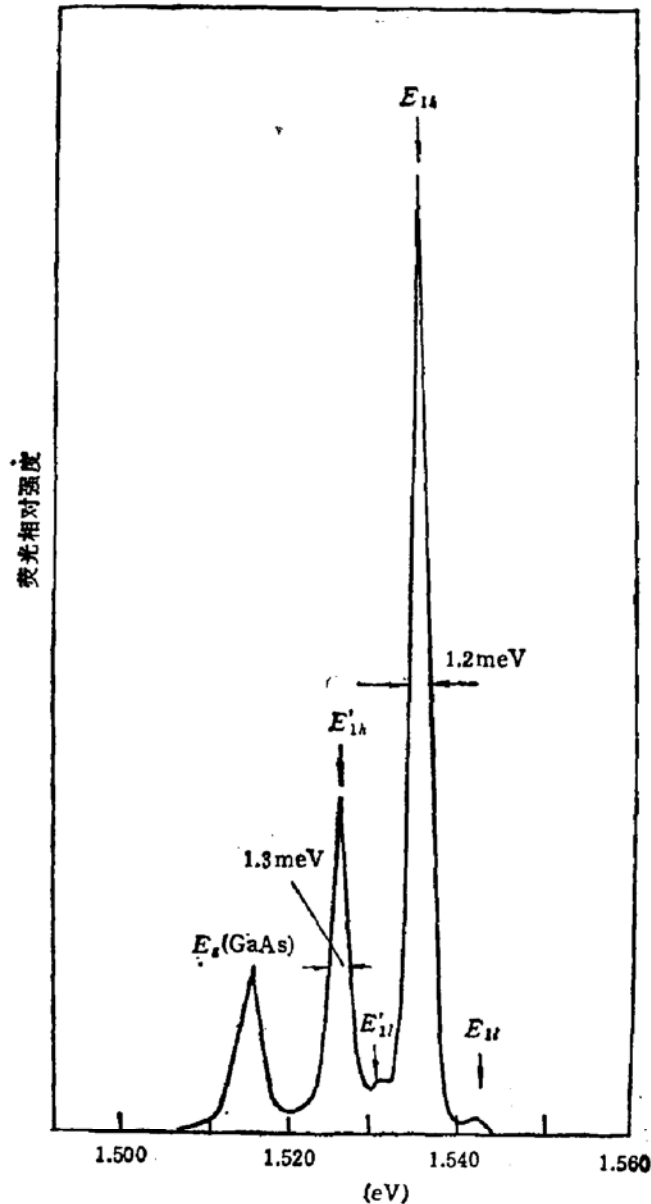


图 1 阱宽为 141 Å 和 190 Å 的量子阱结构的光荧光谱图

$$E_n = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m^*} \frac{n^2}{L_z^2} \quad (1)$$

对  $L_z$  求微分, 得到谱线半峰宽为

$$\Delta E_n = -2E \frac{\Delta L_z}{L_z} \quad \text{或} \quad \Delta E_n \propto \frac{\Delta L_z}{L_z} \quad (2)$$

图 2 列出我们生长的一系列不同阱宽 (从 30 Å 至 90 Å) 的量子阱结构样品的荧光谱线的半峰宽与阱宽的关系曲线。可以看出: 随着阱宽增大, 半峰宽不断降低, 当阱宽大于 100 Å, 半峰宽降低平缓。图 2 还给出在不同阱宽下, 阱宽波动为一个原子层, 对半峰宽影响的理论计算曲线 (图中虚线所示)。从图 2 可以看出: 我们样品的阱宽在 30 Å 至 190 Å 范围相应的半峰宽为 8.2 meV 至 1.2 meV。比阱宽起伏为一个原子层所引起的半峰宽窄。样品号为 86031 的阱宽为 141 Å 和 190 Å 分别对应的半峰宽为 1.2 meV 和 1.3 meV (10.5 K

下测量)。与文献报道半峰宽最佳值  $1.0\text{meV}^{[4,5]}$  非常接近 (4.2K 测量)。图 2 同时列出文献报道国际几家最近几年的水平<sup>[4-7]</sup>。可以看出: 我们外延生长的量子阱结构样品可与媲美。

量子阱发光的激子性质,特别是其温度特性,也是衡量材料质量的重要标志。对量子阱发光特性随温度变化的测量表明,有的样品不仅在低温下具有窄的激子光谱线,并且线宽随温度的变化很缓慢,其发光峰随能度的变化和 GaAs 禁带宽度随温度的变化有相同的规律<sup>[8]</sup>。这些结果表明量子阱结构从低温到室温宽广的温度范围都能保持激子发光特性,材料性能优良。

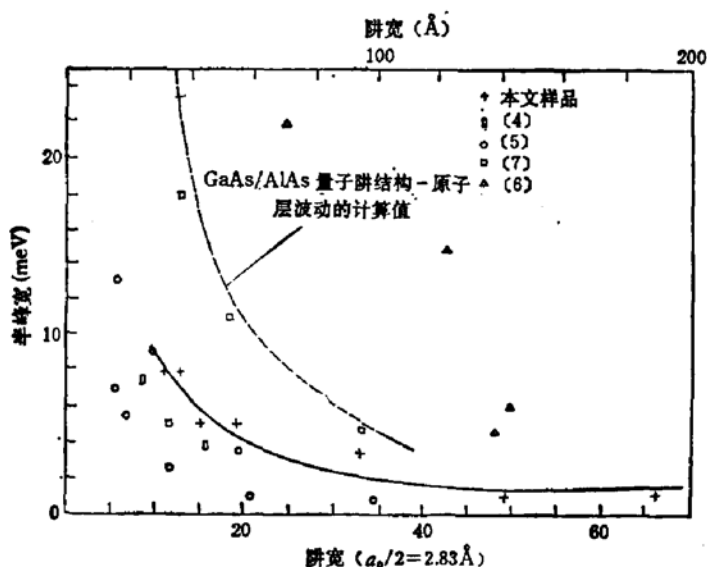


图 2 量子阱结构的荧光谱线的半峰宽与阱宽的关系曲线

## 结 论

用国产 MBE 设备研制出高质量 GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 量子阱结构,其阱宽和界面平整度可精确控制到单原子层起伏。利用这种材料已研制出室温脉冲激射的量子阱激光器<sup>[9]</sup>。

此工作得到黄昆、林兰英和王启明等教授的关心和支持。常永萍、肖军和李燕峰等参加了实验技术工作。徐仲英和葛惟银等进行了光荧光测量和有益讨论。在此一并致谢。本项工作得到国家部分基金资助。

## 参 考 文 献

- [1] 孔梅影, 半导体学报, 2, 164(1981).
- [2] 孔梅影, 孙殿照, 黄运衡, 梁基本, 陈宗圭, 李歧旺, 半导体学报, 5, 206(1984).
- [3] 梁基本, 孙殿照, 陈宗圭, 黄运衡, 孔梅影, 半导体学报, 7, 658(1986).
- [4] M. Tanaka, H. Sakaki, J. Yoshino and T. Furuta, Proc. 2nd. Int. Conf. Modulated Semiconductor structures, 310(1985)
- [5] C. W. Tu, R. C. Miller, B. A. Wilson, P. M. Petroff, T. D. Harris and R. F. Kopf, Proc. 4th.

Int. Conf. Molecular Beam Epitaxy, 159(1986)

- [6] H. Tung, A. Fischer and K. Ploog, *Appl. Phys.*, **A33**, 97(1984).  
[7] T. Fukunaga, K.L.I. Kobayashi and H. Nakashima, *Jpn. J. Appl. Phys.* **24**, L510(1985).  
[8] 徐仲英, 许继宗, 郑宝真, 李玉章, 徐俊英, 葛惟银, 半导体学报, **8**, 329(1987).  
[9] 陈良慧, 梁基本, 张永航, 马朝华, 沈光弟, 王文沧, 孙殿照等第二届全国光纤通讯会议报告, (1986).

## High Quality MBE GaAs-AlGaAs Quantum Well Structures

Liang Jiben, Kong Meiyang, Sun Dianzhao,

Zheng Yiping and Huang Yunheng

(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica*)

### Abstract

High quality GaAs-AlGaAs QW structures have been prepared by a home-made MBE system. The line width of PL spectrum of  $n=1$  electron-heavy hole free exciton recombination is very narrow and its full width of half maximum (FWHM) is only 1.2 meV for well width 141 Å at 10.5 K. It indicates that the fluctuation of well width and flatness of interface is less than one monolayer. The emission is kept to be excitonic from low temperature to room temperature.

**KEY WORDS:** Molecular beam epitaxy, GaAs-AlGaAs, Quantum well structure