

研究简报

量子阱材料的电子显微镜及光致发光研究

范堤文^{1,2} 张永航¹ 曾一平¹ 陈良惠¹

(¹中国科学院半导体研究所,北京)

(²中国科学院北京电子显微镜实验室)

徐 统

(美国犹他大学材料科学和工程系)

1989 年 8 月 30 日收到

对 GaAs/Al_xGa_{1-x}As 量子阱材料进行的光致发光(PL),横断面透射电子显微镜(XTEM)和反射电子显微镜(REM)的研究结果表明量子阱材料的结构质量对其光电性能有一定影响。另外,也观察到分子束外延对改进异质结界面的平整度有明显作用。

主题词 量子阱,分子束外延,光致发光,电子显微镜,界面

本文利用光致发光(PL),横断面透射电子显微镜(XTEM)和反射电子显微镜(REM)对分子束外延(MBE)生长的 GaAs/Al_xGa_{1-x}As 多量子阱激光器材料进行了综合分析。主要目的在于探讨量子阱材料的结构性能和光电性能的关系。

实验中所用的样品是在高掺硅的N型 GaAs 衬底上,用 MBE 技术生长的 GaAs/Al_xGa_{1-x}As 多量子阱材料。

供分析的试样为 No.62 和 No.63 量子阱激光器结构材料,其生长结构已在以前的工作中作过描述^[1]。

在 77K 下分别对此两种样品作了光致发光测量。测量系统的激发光源是氩离子激光器的 4880 Å 发射线,连续输出功率为 100mW 左右。

将激光器外延片沿{110}平面进行解理,用常规方法制备了法向沿<110>方向的横断面电子透明薄膜,用 Philips 430 型电子显微镜,在 300kV 的加速电压下对样品进行横断面透射电子显微镜观察。

为了在较大范围内观察样品逐层生长的过程和界面结构,还进行了反射电子显微镜(REM)观察,即将具有新鲜解理表面的块状试样直接放入 Philips 400T 电子显微镜中,使电子束以小角度(<3°)沿样品表面进行掠射,当电子从样品表层反射出来所构成的像称反射电子显微像^[2,3]。反射电子显微术避免了透射电子显微镜观察所必需的复杂制样技术和对样品的耗损,而且由于基本上是平行于样品表面去进行形貌观察的,所以在沿着电子束方向比垂直于电子束方向有大得多(20 倍左右)的观察视野。本实验工作中,用 REM 技术获取了从砷化镓衬底直至样品表面逐层生长的完整形貌,在一个相当宽阔的范围内对各个异质结的特性作了详细观察。

图1给出了No.62和No.63样品的光致发光谱，从图中可见两种样品的光致发光性能差别很大。No.62样品具有比No.63更好的发光谱特性：发光强度高一个数量级以上，光谱线宽度窄，约为6meV。经验证明，光致发光强度和谱宽是多层材料光学特性优劣的判据，至于引起这些特性变化的源由，则需通过其他测试手段的协助再加以判定，电子显微术是其中最为直观的一种。

图2*为样品No.62的XTEM显微像，是在电子束沿[110]方向，衍射矢量为[002]条件下拍摄的暗场像。图中显示的多量子阱(MQW)区域中，暗条纹为GaAs层，亮条纹为 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层。可以看出该样品具有良好的结构性能：异质结界面平直而尖锐，阱宽均匀，且阱间平行度良好。

图3*是在相同衍射条件下拍摄的No.63样品的XTEM显微像。该图显示出材料结构的明显不均匀性：多量子阱生长在一个起伏不平的镓砷限制层上，在开始的4-5周期内，各层厚度不均匀，层间彼此不平行，有时还存在层的不连续，或者是一些微细铝镓砷颗粒(图4箭头处)，但是到了第五周期，量子阱的结构质量大为改善：异质结界面逐渐平直，厚度也趋均匀。图3*展示了在起伏不平的基底上，利用分子束外延生长技术如何使粗糙表面趋向平整化的过程。

图4*是No.62样品的{110}解理表面的反射电子形貌像，这是在电子束沿[011]方向入射，运用[01010]衍射矢量拍摄的暗场像，在REM中，虽然和XTEM一样，其成像机理也是根据不同材料具有不同的结构因子，从而形成结构因子衬度像。但是，由于所使用的衍射矢量不同，因此在REM像中，GaAs层为亮条纹， $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层呈暗条纹，和上述的XTEM像中的衬度正好相反。从图4*可以看到多量子阱生长在一个十分平整的、组份为 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的限制层上，多量子阱区域中阱宽均匀，GaAs层和 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层之间的界面平直。

图5*是No.63样品的REM像。和No.62样品所具有的平直界面形成鲜明对比的是：该样品中，作为多量子阱基底的外延片表面呈波纹状，多量子阱中各个界面也呈波纹状，但从整个趋势看，随着多量子阱从第一个周期到最上层，界面的起伏逐渐平缓，即多量子阱上的平整度随着外延层的增长得到了部分改善。这和图3的XTEM结果相一致。

影响量子阱激光器性能的因素虽然很多，但从我们的工作可以看出要获得高质量的激光器首先要制备出具有优良结构性能的量子阱超晶格材料，即必需要求量子阱结构中阱宽均匀，界面平直陡峭。

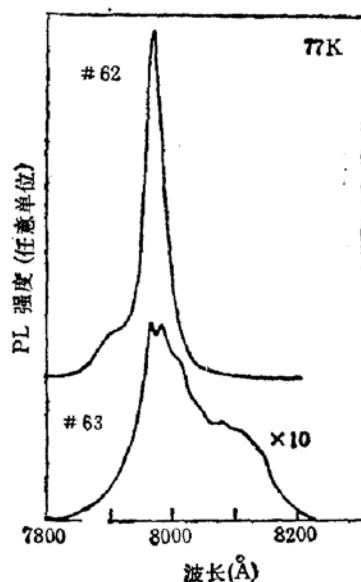


图1 光致发光谱

* 图2-5见图版1。

电子显微术对多量子阱结构细节的观察表明了要提高多量子阱材料的结构质量首先是要改善作为量子阱基底的平整度和清洁度。基底不平造成多量子阱起始几个周期的不均匀性可能增加了光学的内损耗,从而造成光激射性能的退化。

本工作是在徐俊英、孙殿照等同志的支持和配合下完成的,在此致以诚挚的谢意。

参 考 文 献

- [1] Fan T.W., *Chinese Journal of Semiconductors*, **9** (2), 211(1988).
- [2] Hsu T, Tijima S and Cowley J W, *Surf. Sci.*, **137**, 551(1984).
- [3] Hsu T, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B3**(4) 1035(1985).

Electron Microscopy and Photoluminescence Studies of GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ Quantum wells

Fan Tiwen^{1,2} Zhang Yonghang¹ Zeng Yiping¹ and Chen Lianghui¹

(¹ Institute of Semiconductors, Academia Sinica China)

(² Beijing Laboratory of Electron Microscopy, Academia Sinica China)

Hsu Tung

(Department of Materials Sciences and Engineering, University of Utah, USA)

Abstract

Using XTEM, REM and PL, the effect of structural quality on the optoelectronic properties of GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ quantum wells grown by MBE has been studied. In addition, the experimental results reveal that the flatness of interfaces in heterostructures can be improved by MBE technique.

Key words Quantum well, Molecular beam epitaxy, Photoluminescence, Electron microscopy, Interface