

研究快报

# GaInSb/ GaSb 量子阱结构的低温光致发光谱

张宝林

(中国科学院长春物理研究所, 长春 130021)

关键词 GaInSb, 量子阱, 光致发光, MOCVD

GaInSb 三元合金半导体可用于制作工作于1.55~5.5  $\mu\text{m}$  波段范围的光电子器件. 在光通讯方面, 需要2.55  $\mu\text{m}$  波长的激光器和接收器, GaInSb 半导体合金无疑是一种可选的材料. 此外, 这种材料也可用于制作高速电子器件, 与 GaAs 基异质结构相比, GaInSb 半导体带隙更窄, 其电子有效质量更小, 载流子迁移率更高, 由这种材料和 GaSb 构成的异质结构及低维结构, 更能提高器件性能.

GaInSb/GaSb 量子阱系统, 具有其独特的物理性质, 近几年已有一些文章报导了这种量子阱的制备及特性研究<sup>[1-3]</sup>. 另外, Warburton<sup>[3]</sup> 利用 Van de Walle 的数据<sup>[4]</sup>, 计算了这种量子阱的能带失调和价带及导带中的最低能带束缚态. 从这一计算中, 得到了两个重要的结论: 对于重空穴及其电子, GaInSb/GaSb 量子系统的能带结构是 型的; 而对于轻空穴及其电子而言, 这一系统的能带结构是 型的. 用金属有机气相淀积 (MOCVD) 技术制备了 GaInSb/GaSb 量子阱, 研究了覆盖层厚度、量子阱宽度及阱中 In 含量对 GaInSb/GaSb 量子阱结构的低温光致发光 (PL) 光谱的影响. 量子阱结构示意图如图1所示.

样品置于液氮杜瓦瓶中, 由 GaAs/GaAlAs 二极管激光器 (808nm) 泵浦, 激发功率300mW, 接收器为 Ge 和 InAs 探测器.

研究中, 电学参数由 Shubnikov-de Haas 效应及量子霍尔效应测量得到. 与其异质结构一样, GaInSb/GaSb 量子阱样品导电类型皆为 p 型.

GaInSb/GaSb 单量子阱的低温光致发光谱通常只有一个峰, 半高宽为5~50meV, 其波长通常长于 GaSb 体材料的波长. 无论在任

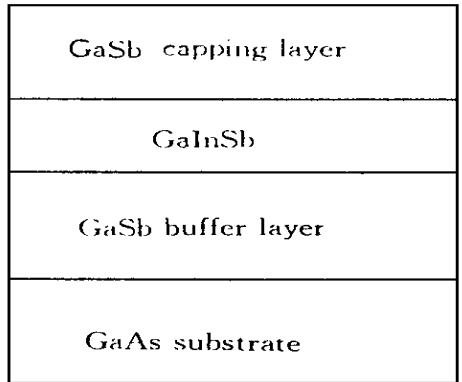


图1 GaInSb/GaSb 量子阱结构示意图  
Fig. 1 Schematic structure of GaInSb/GaSb quantum well (QW).

厚时或激光的泵谱能量较大时, 则能得到 GaSb 体单晶的 PL 峰, 而这时量子阱的 PL 峰是探测不到的.

### 覆盖层厚度对 PL 谱的影响

GaSb 覆盖层形成了量子阱的一个势垒, 其厚度在7.5 ~ 200nm 范围内变化.

图2为不同覆盖层厚度的四个 GaInSb/GaSb 量子阱样品的光致发光谱, 量子阱宽8nm, In 组分0.16, 覆盖层厚度分别为7.5nm、40nm、120nm 和200nm. 可以看到, 随着 GaSb 覆盖层厚度由200nm 减至7.5nm, 其 PL 谱能量由745.6meV 降至737.8meV. 相对应地, Shubnikov-de Hass 载流子浓度由 $6.3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 增加至 $3.3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ , 这一现象与表面态的费米能级钉扎引起的表面电场有关, 表面电场影响着样品的载流子浓度和带间跃迁能量. GaSb 覆盖层很薄时, 表面电场对阱层的影响增强, 束缚空穴能级与钉扎的费米能级之间的能量差增大, 量子阱中载流子浓度增加, 能带弯曲增大, 这必然导致一个较低的跃迁能量. Pinczuk 等人<sup>[5]</sup>在 GaAs/GaAlAs 调制掺杂量子阱中也观察到了由于能带弯曲导致 PL 谱中跃迁能量减小.

### 不同量子阱宽的 PL 谱

制备了不同阱宽的 GaInSb/GaSb 量子阱样品, 改变 GaInSb 阱层的生长时间, 使其厚度不同, 即阱宽不同. 生长这些样品时, 输入的 Ga/In 比相同, 因而,  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Sb}$  阱层的 In 组分  $x$  值认为是相同的, 用 X 射线衍射确定  $x$  值, 这些样品的  $x$  值皆为0.16, 与 GaSb 的晶格失配为1%. 量子阱宽由透射电子显微镜(TEM)测量.

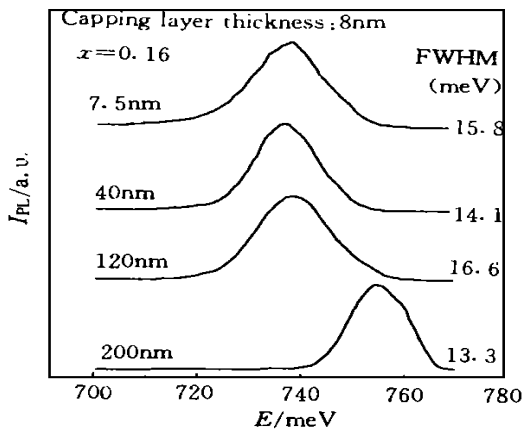


图2 不同覆盖层厚度的 GaInSb/GaSb 量子阱样品的 PL 谱, 阱宽8nm, In 含量: 0.16

Fig. 2 PL spectra of GaInSb/GaSb QWs with different capping layer thickness.

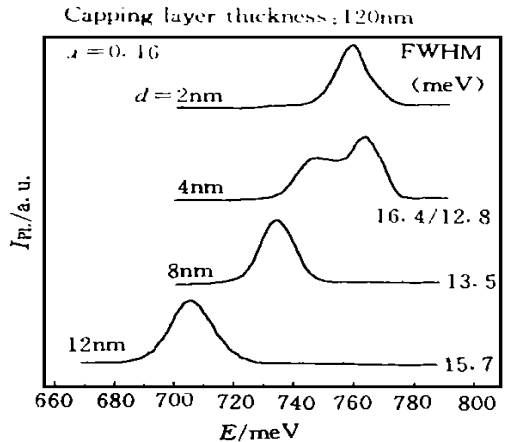


图3 不同阱宽的 GaInSb/GaSb 量子阱 PL 谱

Fig. 3 PL spectra of GaInSb/GaSb QWs for different well width.

图3为不同阱宽样品的 PL 谱, GaSb 覆盖层厚度为120nm. 如所预料的, 随着阱宽由12nm 减小至2nm, 对载流子的束缚增强, 跃迁能量由705.6 meV 增大至759.5 meV. 图4是一个理论曲线与上述实验值的比较, 实曲线是根据 Van de Walle 模型<sup>[4]</sup>计算的, 短划曲线是假定导带无失调的计算结果, 可以看出, 实验值是比较接近于短划曲线的. 如果假定 GaInSb/GaSb 系统主要是 型的, 计算曲线可能会更低.

从图3可以看到,不同阱宽的PL谱半高宽(FWHM)不同,随阱宽减小,PL谱半高宽变窄.图3中,阱宽为4nm的样品PL谱有两个峰值,分析认为,这是由量子阱中的合金组分簇引起的,而不是由阱宽波动引起,根据上面提到的模型理论计算,阱宽波动0.5nm时,才使能量移3meV,而这两个峰能量差为16meV.

### 阱层中 In 含量的影响

生长时,通过改变  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Sb}$  阱层中 In 的含量来改变量子阱的深度,研究了阱中 In 含量对 PL 谱的影响.

图5所示为四个具有不同 In 组分的量子阱 PL 谱,阱宽12nm,覆盖层厚度120nm,阱层中 In 含量分别为0.25、0.16、0.14和0.06,可以看出,随 In 组分增加,跃迁能量减小;PL谱半高宽则随之展宽,分析认为,随着 In 组分增加,量子阱变深,载流子被更深地束缚于阱中,这时,合金组分的波动对跃迁的影响更突出;另外,在高 In 组分时,阱层合金组分簇也会增加,都会导致 PL 谱展宽.

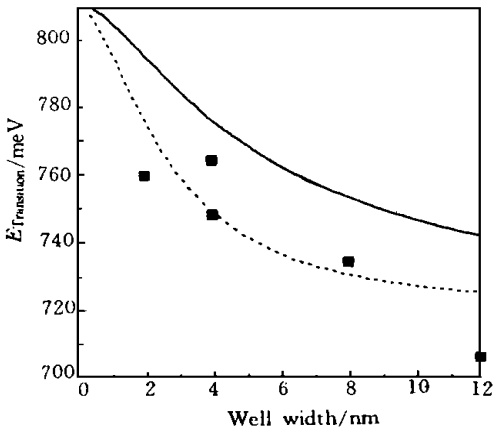


图4 阱宽对跃迁能量的影响, 为实验值

Fig. 4 Effect of well width on the transition energy of GaInSb/GaSb QWs ( : from experiment).

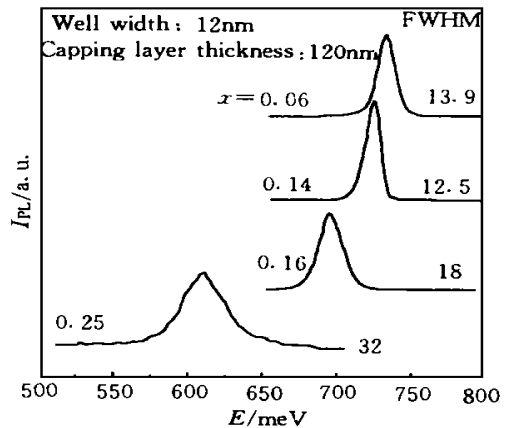


图5 不同 In 组分的 GaInSb/GaSb 量子阱的 PL 谱

Fig. 5 PL spectra of GaInSb/GaSb QWs with different In content in well.

综上所述,分析研究了 GaInSb/GaSb 量子阱结构中, GaSb 覆盖层、量子阱宽及阱层中 In 含量对 PL 谱的影响.发现:覆盖层厚度减小时,由于表面电场的影响,量子阱中载流子浓度增加,导致较低的跃迁能量;阱宽减小时,跃迁能量增大,PL谱半高宽减小;随阱层中 In 含量的增加,跃迁能量减小,同时合金组分的波动影响加剧;由于高 In 组分合金组分簇的作用,PL谱半高宽随之展宽.

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Haywood S K, Chidley E T R, Mallard R E *et al*, Appl. Phys. Lett., 1989, **54**: 922.
- [ 2 ] Martin R W, Nicholas R J, Rees G J *et al*, Phys. Rev., B, 1990, **42**: 9237.
- [ 3 ] Warburton R J. Surface Science, 1990, **228**: 270.
- [ 4 ] Van de Walle C G. Phys. Rev., B, 1989, **39**: 1871.
- [ 5 ] Pinczuk A, Shah Jagdeep, Miller R C *et al*, Solid State Commun., 1984, **50**: 735.

# PHOTOLUMINESCENCE OF GaInSb/GaSb QUANTUM WELL STRUCTURES

Zhang Baolin

(Changchun Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

## Abstract

GaInSb/GaSb quantum wells have been grown by MOCVD technique and the photoluminescence (PL) measurement was performed at 4K. The effects of GaSb capping layer thickness, GaInSb well width and indium content in well on the PL spectra were investigated in detail. It was found that the carrier concentration increased with decreasing the thickness of the capping layer. The FWHM of photoluminescence spectra broaden as the In content in well increased because more clusters should exist in the alloys with high In content and consequently result in the degeneration of the optical quality.

**Key words** GaInSb, quantum well, photoluminescence, MOCVD