

# (113)B-GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 单量子阱结构的 光致发光谱研究

陈定钦<sup>1</sup> 邢益荣<sup>1,2</sup> 李国华<sup>1,3</sup> 朱勤生<sup>1,3</sup> 曹作萍<sup>1,2</sup>  
张广泽<sup>1,2</sup> 肖 君<sup>1</sup> 吴汲安<sup>1,2</sup> 钟战天<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院半导体研究所 北京 100083)

(2 中国科学院表面物理国家重点实验室 北京 100080)

(3 中国科学院半导体超晶格国家重点实验室 北京 100083)

**摘要** 光致发光(PL)实验表明:与(001)衬底比较,(113)B-GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As单量子阱结构(SQW's)具有增强的光跃迁几率,它被归因于(113)B-GaAs 阱中较大的重空穴有效质量  $m_{hh}^*$ . 结果给出:  $m_{hh}^*[(113)B]/m_{hh}^*[(001)] \simeq 2.2$ , 即  $m_{hh}^*[(113)B] \simeq 0.75m_0$ . 这个数值比以前所报道的都高.

**PACC:** 6855, 6865, 7865

超晶格和量子阱结构的某些性质同一维量子化的方向有关,一些文献<sup>[1~6]</sup>报道了在非(001)晶向上生长的 GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 超晶格和量子阱结构的特性. 例如,Subbanna等<sup>[1]</sup>比较了在同样条件下生长在(112)A、(112)B和(001)衬底上的 GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 超晶格的 PL 特性,发现(112)A和(112)B晶向上的 PL 强度比(001)上的高得多,就其峰宽来说,(112)A的可与(001)衬底的相比拟,而(112)B的则比较宽. Hayakawa等<sup>[2]</sup>利用光反射谱发现,(111)-GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 量子阱结构中光学跃迁几率较之(001)衬底的场合有很大的增强. Fukunaga等<sup>[3]</sup>测量了生长在(001)、(113)A和(113)B衬底上的 GaAs/Al<sub>0.24</sub>Ga<sub>0.76</sub>As SQW's 的 PL 谱,认为(113)A和(113)B SQW's 具有与(001)SQW's 同样好的光学性能. Khalifi等<sup>[4]</sup>研究了轻空穴一重空穴的分裂情况,发现这种分裂也同衬底的晶向有关. 在器件应用方面,Tao等<sup>[7]</sup>的报道指出,采用(115)A为衬底的GaAs/AlGaAs SQW激光器的阈值电流密度比(001)衬底的低. 夏建白<sup>[8]</sup>则从理论研究的角度阐明,对于 GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 超晶格来说,空穴子带结构及其相关的性质是灵敏于晶体方向的.

本文将简单介绍(113)B-GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As SQW's 的光跃迁增强的实验结果,它同样归因于 GaAs 量子阱中重空穴子带结构的各向异性. 同时,通过 PL 强度的比较来估算  $m_{hh}^*$

\* 国家自然科学基金资助课题

陈定钦 男,高工,长期从事半导体光电、GaAs、InP 异质结器件及物理方面的研究与推广应用,近年来致力于研究高指数晶面 GaAs(113) HEMT 器件和量子阱红外光电探测器物理及器件性能

邢益荣 男,研究员,主要从事半导体表面和界面物理及微波器件等研究

朱勤生 男,研究员,在日本获得硕士、博士后回国,目前从事 GaAs 界面及 GaAs(113)红外探测器件的研究与应用  
1996年9月24日收到初稿,1997年1月3日收到修改稿

〔113〕B 的值。

GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 单量子阱结构是利用 MBE 方法同时生长在(113)B 和(001)半绝缘衬底上的. 晶体定向的精确度为±0.5°. 生长温度为 600℃, 束流比 As<sub>4</sub>/Ga≈5. 在这样的条件下, 外延速率为 600nm/h. 样品的具体结构如图 1 的插图所示, 它包括: (a) 500nm GaAs 缓冲层, (b) 阱宽和垒宽分别为 8nm 和 40nm 的三明治夹层, (c) 20nm GaAs 盖层. PL 谱是利用 He-Ne 激光源(λ=632.8nm)在 77K 下测量的, 其结果示于图 1, A、B 和 C 三个峰分别对应于体 GaAs 的导带至价带、量子阱 GaAs 的第一导带子带至价带第一重空子带(E<sub>11H</sub>)和第一轻空穴子带(E<sub>11L</sub>)的光跃迁. 这里, 我们要讨论的是 A 峰和 B 峰.

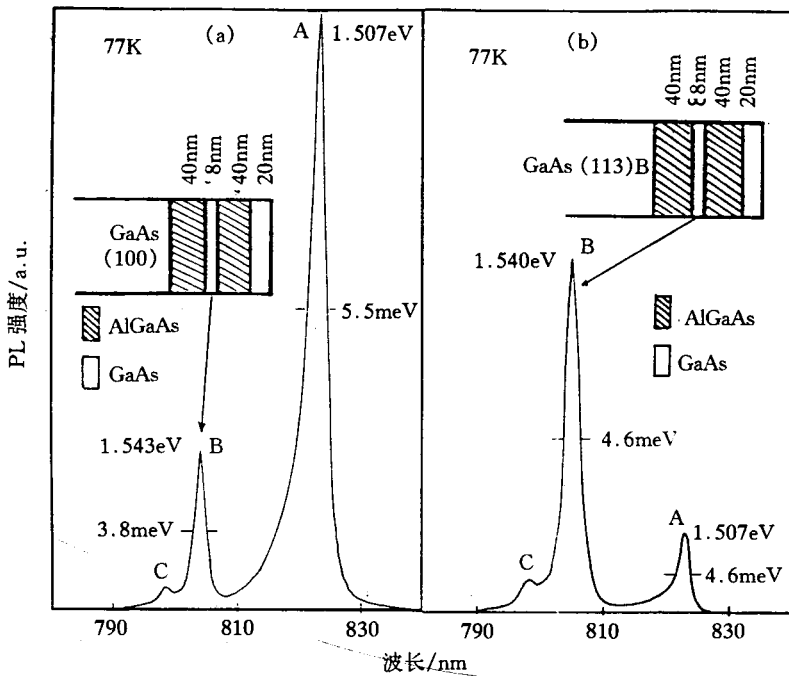


图 1 生长在(001)(a)和(113)B(b)衬底上的 GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 单量子阱结构材料的光致发光谱  
插图表示样品结构

首先, 从图中的结果可以看出, PL 峰的线宽是与衬底晶向有关的. 对于(001), 体内峰(A 峰)的半高宽(FWHM)为 5.5meV, 而对于(113)B, 相应的值比较小, 为 4.6meV. 我们如下的另一实验得出更明显的结果. 利用上述的(113)B 和(001)GaAs 衬底, 在完全相同的条件下外延生长通常的 HEMT 结构材料, 它们的 11K PL 检测结果如图 2 所示. (001)和(113)B 样品的特征峰的 FWHM 分别为 4.28meV 和 2.02meV. 这些事实说明, 在(113)B 衬底上能够外延生长出高质量的 GaAs 材料. 顺便说明, 对(113)A-GaAs 衬底来说, 其相应的 FWHM 值比(001)衬底的稍大一些. 另有报道<sup>[9]</sup>, 在(113)B-GaAs 衬底上也可制备出很高质量的 GaInP 和 AlGaInP 化合物半导体材料.

图 1 显示的另一重要结果是, 在(113)B-GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As SQW 中光学跃迁相对于(001)衬底有相当大的增强. 对于(111)-GaAs/AlGaAs 量子阱, 已有过类似的报道<sup>[2]</sup>. 他们认为这是由于 GaAs 阱中重空穴子带各向异性的结果, 并通过实验数据和理论计算的拟合给出  $m_{hh}^{[111]} = 0.9m_0$  和  $m_{hh}^{[001]} = 0.34m_0$ , 其中  $m_0$  为自由电子质量. 对于 GaAs(113),

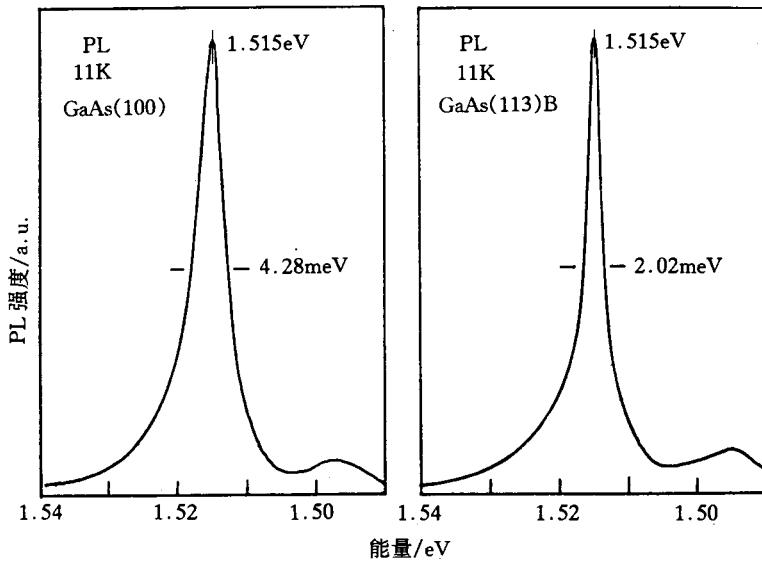


图 2 生长在(001)(a)和(113)B(b)衬底上的 HEMT 结构材料的低温光致发光光谱  
文献[3]和[4]中的实验估计分别是  $0.5m_0$  和  $0.55m_0$ 。

根据我们的 PL 结果,能够直接确定重空穴有效质量比  $m_{hh}^*[113]B/m_{hh}^*[001]$ 。可以假定,对于(113)B和(001)两种样品,最上面的 GaAs 盖层及其下面的 AlGaAs 垒层的光吸收情况完全一样,而且很小。所以,从图 1 的结果得出两种样品的 GaAs 阱中的重空穴有效质量(或者说是态密度)之比为

$$m_{hh}^*[113]B/m_{hh}^*[001] = I_w[113]B/I_w[001] \simeq 2.2$$

其中  $I_w$  表示 GaAs 阱中与第一重空穴子带有关的光致发光谱峰(即 B 峰)的峰高强度。因为  $m_{hh}^*[001]$  的值普遍采用  $0.34m_0$ (例如,文献[10~12]),故最后得到

$$m_{hh}^*[113]B \simeq 0.75m_0$$

这个数值比以前文献报道过的  $0.5m_0$ <sup>[3]</sup>和  $0.55m_0$ <sup>[4]</sup>都高。

还应说明,由于(113)B样品(图 1b)的 B 峰的 FWHM 为  $4.6meV$ ,比(001)样品(图 1a)相应的值( $3.8 meV$ )大,两种样品的 B 峰真正的强度比(积分强度比)应稍高于上述的峰高比,因此,实际的  $m_{hh}^*[113]B$  的值可能比  $0.75m_0$ 还要高。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] S. Subbanna, H. Kroemer and J. L. Merz, J. Appl. Phys., 1986, **59**: 488.
- [ 2 ] T. Hayakawa, K. Takahashi, M. Kondo *et al.*, Phys. Rev. Lett., 1988, **60**: 349.
- [ 3 ] T. Fukunaga, T. Takamori and H. Nakashima, J. Cryst. Growth, 1987, **81**: 85.
- [ 4 ] Y. El Khalifi, B. Gil, H. Mathieu *et al.*, Phys. Rev., 1989, **B39**: 13533.
- [ 5 ] W. I. Wang, Surf. Sci., 1986, **174**: 31.
- [ 6 ] R. H. Henderson, D. Sun and E. Towe, J. Appl. Phys., 1995, **77**: 843.
- [ 7 ] I. W. Tao, C. Schwartz and W. I. Wang, J. Vac. Sci. Technol., 1992, **B10**: 838.
- [ 8 ] J. B. Xia, Phys. Rev., 1991, **B43**: 9856.

- [9] A. Valster, C. T. H. F. Liedenbaum, N. Finke *et al.*, J. Cryst. Growth, 1991, **107**: 403.  
[10] R. C. Miller, D. A. Kleinman and A. C. Gossard, Phys. Rev., 1984, **B29**: 7085.  
[11] K. Yamanaka, T. Fukunaga, N. Tsukada *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1986, **48**: 8740.  
[12] B. V. Shanabrook, O. J. Glembocki, D. A. Boido *et al.*, Phys. Rev., 1989, **B39**: 3411.

## Photoluminescence Study of (113)B-GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As Single Quantum Well Structure

Chen Dingqin<sup>1</sup>, Xing Yirong<sup>1,2</sup>, Li Guohua<sup>1,3</sup>, Zhu Qinsheng<sup>1,2</sup>, Cao Zuoping<sup>1,2</sup>,  
Zhang Guangze<sup>1,2</sup>, Xiao Jun<sup>1,2</sup>, Wu Ji'an<sup>1</sup> and Zhong Zhantian<sup>1,2</sup>

(1 Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

(2 National Laboratory for Surface Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(3 National Laboratory for Superlattices and Microstructures, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Received 24 September 1996, revised manuscript received 3 January 1997

**Abstract** The enhancement of the optical transition from the first conduction subband to the first heavy-hole subband in (113)B-oriented GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As single quantum wells (SQW) compared with the (001) SQW has been confirmed by photoluminescence (PL). The large heavy-hole effective mass  $m_{hh}^*$  in the (113)B GaAs SQW is considered to result in the higher optical transition rate. The PL measurement gives a heavy-hole effective mass rate of  $m_{hh}^* [113] B / m_{hh}^* [001] \simeq 2.2$ , namely  $m_{hh}^* [113] B \simeq 0.75m_0$ , which is higher than the previously reported data.

**PACC:** 6855, 6865, 7865