

GaAs/GaAlAs 多量子阱激子吸收谱

曾 安 吴荣汉 曾一平 孔梅影 王启明

(中国科学院半导体研究所,北京)

1988年9月27日收到

在 10K 至 292K 温度范围内测量了 GaAs/GaAlAs 多量子阱结构的激子吸收谱。观察到轻、重空穴对应的激子吸收峰 (LH 和 HH) 及台阶状态密度。研究了轻、重空穴激子吸收峰的能量间隔及激子吸收峰的温度特性。发现多量子阱样品的 LO 声子展宽系数为 6.1 meV, 比体 GaAs 的展宽系数略小。样品用国产 MBE 设备生长, 采用化学选择腐蚀技术除去 GaAs 衬底。

主题词: 多量子阱, 激子, 吸收谱

近几年半导体超晶格、多量子阱的研究十分活跃。超晶格、量子阱为研究低维物理、量子尺寸效应提供了理想模型。并具有十分广阔的器件应用前景。如利用 GaAs/GaAlAs 多量子阱材料的室温激子饱和吸收特性已研制出室温光学双稳及逻辑器件^[1,2]。研究表明, 体 GaAs 材料一般只在低温下才有激子吸收。而 GaAs/GaAlAs 多量子阱结构使体 GaAs 的激子特性由低温扩展到室温^[3]。因此研究多量子阱结构的激子特性对制备室温工作的光学双稳及逻辑器件是至关重要的。国内近年来对超晶格多量子阱开展了广泛的理论和实验研究。实验研究大都采用低温光荧光测量。对多量子阱、超晶格的室温和低温下特性研究很少。GaAs/GaAlAs 多量子阱、超晶格吸收谱的测量尚未见报道。

我们测量了本所 MBE 系统生长的多量子阱样品从低温到室温的吸收谱。图 1 给出样品 1、样品 2 在 10K 和室温下的吸收谱。从图 1(a) 可清楚地看到量子阱结构特有的台阶状态密度和分属于 $n=1$ 和 $n=2$ 子带的激子吸收峰。 $n=1$ 子带的激子吸收很强, 吸收峰很窄; $n=2$ 子带的激子吸收较弱, 吸收峰较宽; 没有观察到 $n=3$ 子带的激子吸收。这可能是由于随着 n 增大, 量子阱中能级增高, 波函数交迭增大。能级展宽增大。因此激子吸收峰变宽、吸收减弱。图 1(b) 中只观察到 $n=1$ 子带的激子吸收。这是因为样品 2 的阱宽较样品 1 窄。 $n=1$ 子带的两个吸收峰分别对应重空穴激子和轻空穴激子。其能量间隔为 $\Delta E_{hh}^{lh} = \Delta E_{lh-hh} - \Delta E_{hh}^{lh}$ 。 ΔE_{lh-hh} 是轻、重空穴能级差, ΔE_{hh}^{lh} 是轻、重空穴激子束缚能之差。从参考文献 [4] 可知 $\Delta E_{hh}^{lh} < 1\text{meV}$ 。因此轻、重空穴激子吸收峰的能量间距 ΔE_{hh}^{lh} 主要取决于轻、重空穴能级差 ΔE_{lh-hh} 。由量子理论可知 ΔE_{lh-hh} 和阱宽 L , 及 Al 含量 X 值有关。在一定范围内阱越窄、越深 ΔE_{lh-hh} 越大。实验测得样品 1: $\Delta E_{hh}^{lh} = 10.4\text{meV}$, 样品 2: $\Delta E_{hh}^{lh} = 18.3\text{meV}$ 。和理论计算结果基本一致。

图 2 是样品 1 在 10K、75K、160K、292K 的透射谱(透射谱和吸收谱的转换关系为

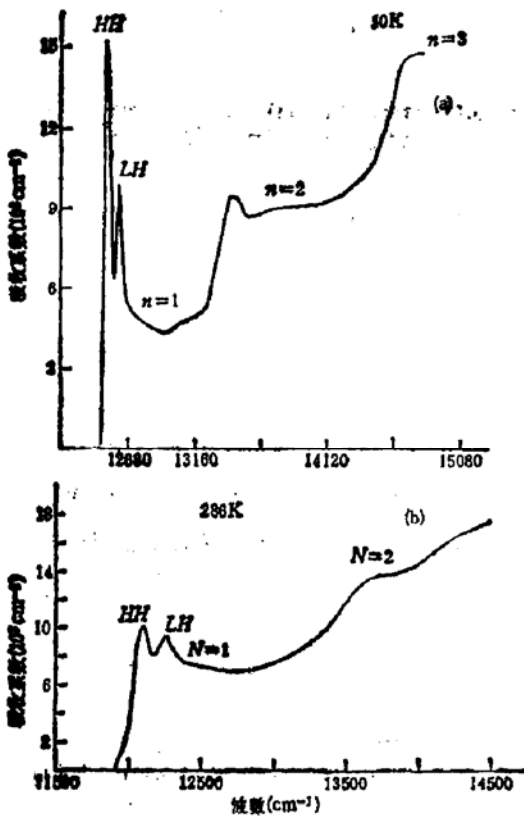


图1 多量子阱结构激子吸收谱 (a) 样品1, $L_z = 100 \text{ \AA}$, $L_x = 110 \text{ \AA}$, $s = 0.3$ 周期 $T = 120$ (b) 样品2, $L_z = 67 \text{ \AA}$, $L_x = 110 \text{ \AA}$, $s = 0.3$ 周期 $T = 120$. LH 和 HH 表示轻重空穴激子. 样品无故意掺杂

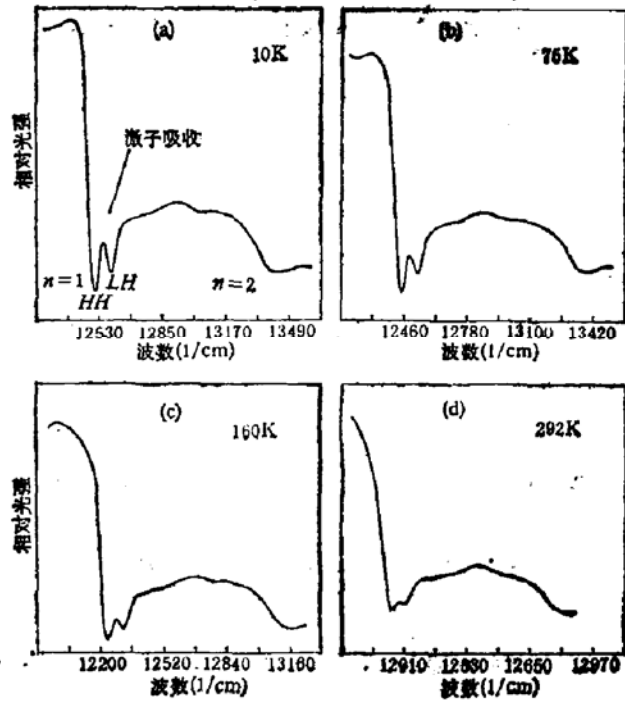


图2 MQW 样品在 (a) 10K, (b) 75K (c) 160K, (d) 292K 下的透射谱

$\alpha = \frac{1}{L} \ln \frac{I_{in}}{I_{out}}$). 从图中可清楚看到, 随温度升高吸收峰逐渐展宽. 吸收系数减小. 但激子吸收特性一直保持到室温. 表格中是重空穴吸收系数 α_{rs} 和 $n = 1$ 子带吸收系数 α_{1B} 之比随温度的变化关系. 从表中可以看出, 随温度升高 α_{rs}/α_{1B} 明显下降. 因为热运动使部分激子离解. 尽管如此, 室温下仍有较大的激子吸收系数. α_{rs} 约为 $1.02 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$.

T	10K	75K	160K	292K
α_{rs}/α_{1B}	3.54	3.34	2.65	1.82

我们还研究了重空穴激子吸收峰 HWHM (半峰宽半峰高) F 随温度的变化关系. F 由两部分组成, 一部分是不随温度变化的非均匀展宽 F_0 . 它主要是多量子阱阱宽涨落造成的. 作为一级近似, 将一维无限深方势阱的本征能级公式对 L_z 微分, 得到谱线半峰宽:

$$\Delta E = -2E \frac{\Delta L_z}{L_z^3} \text{ 或 } \Delta E \propto \frac{\Delta L_z}{L_z^3}$$

F_0 可以从实验中测得, 因为低温下 (10K) 热展宽可忽略. 所测得的半峰宽 (HWHM) 就是 F_0 , 吸收谱和光荧光实验分别测得样品1的 F_0 为 2.67 meV 和 2.65 meV. 两者符合

得很好。另一部分展宽是热展宽。它随温度升高而增大。我们知道 GaAs 中激子线的展宽主要是激子和 LO 声子相互作用造成的。因为 GaAs 和 GaAlAs 的晶格振动性质很相似, 所以多量子阱中激子线的热展宽也应和体 GaAs 一样。主要是 LO 声子的贡献。可以认为激子线的热展宽正比于 LO 声子的浓度。激子线总展宽由非均匀展宽和热展宽两部分组成:

$$F = F_0 + F_B / [\exp(\hbar\omega_{LO}/KT) - 1]$$

其中 $\hbar\omega_{LO}$ 是 LO 声子能量, F_B 是 LO 声子展宽常数。取 GaAs LO 声子的能量 $\hbar\omega_{LO} = 36$ meV, $F_0 = 2.67$ meV, $F_B = 6.1$ meV, 用上述公式可以较好地拟合实验结果。如图 3 中实线所示。我们得到的 LO 声子展宽系数 $F_B = 6.1$

meV, 比文献 [5] 报道的 5.5 meV 稍大。但略小于 GaAs 的 LO 声子展宽系数 7 meV。GaAs 多量子阱结构使激子束缚能增大, 但其热展宽系数却略有减小。这就是为什么多量子阱结构在室温下仍存在激子吸收。

作者对梁基本、孙殿照、葛惟锟、徐仲英、许继宗等同志在工作中的帮助和有益讨论深表谢意。

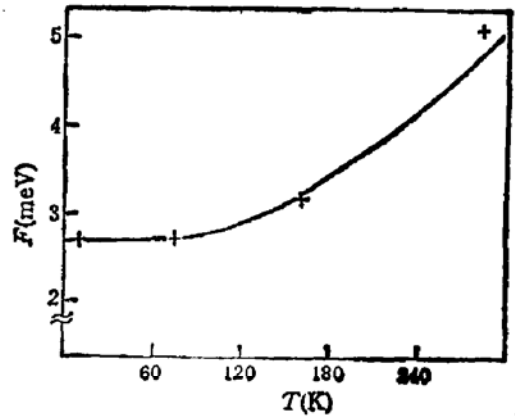


图3 激子吸收峰(HH)半宽度 F 和温度 T 的关系曲线“+”表示实验点, 实线为拟合曲线

参 考 文 献

- [1] H. M. Gibbs, *Appl. Phys. Lett.*, 41(3), 221 (1982).
- [2] D. A. B. Miller, *J. opt. Soc. Am.*, B1, 857(1984).
- [3] D. A. B. Miller *et al.*, *Appl. Phys.*, 96 B28, (1982).
- [4] Ronald, L. Greene, *Solid State Communication*, 45 831 (1983).
- [5] D. S. Chemla *et al.*, *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-20, 265 (1984).
- [6] R. Dingle, in *proc. of 13th Int. Conf. on Phys. of Semiconductors*, North-Holland, Amsterdam, 965(1976).

Exciton Absorption Spectra of MQW Structures

Zeng An, Wu Ronghan, Zeng Yiping, Kong Meiying and Wang Qiming

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

The exciton absorption spectra of GaAs/GaAlAs MQW structures at temperatures between 10k to 292k are measured. The exciton absorption resonances (HH and LH) and step accumulative density of state have been observed. The energy differences between light hole and heavy hole exciton absorption resonances have been investigated. We also investigated the temperature dependence of the linewidth of HH exciton absorption resonance. The LO phono broadening constant F_b in our sample is 6.1 meV which is smaller than that of the bulk GaAs. The GaAs/GaAlAs MQW structures of 120 periods are grown on [100] oriented Cr-doped GaAs substrate by MBE in the institute of semiconductors of chinese Academy of sciences. The GaAs substrate is removed by selective chemical etching, leaving the MQW structures exposed over 1 mm² area.

KEY WORDS: MQW, Exciton, Absorption Spectrum