

掺铍 GaAs 量子阱的光致荧光

程文芹 梅笑冰 周均铭 刘玉龙 朱 恪

中国科学院物理研究所, 北京 100080

1992年6月30日收到

测量了掺铍的, 阱宽约为10 nm 的 GaAs 量子阱在4.2 K 的光致荧光. 掺杂浓度分别为 1×10^{17} 和 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. 测量结果表明: 对于无规掺杂, 局域在阱中心的铍的状态密度与导带电子从 $n=1$ 量子能级到阱中心中性铍的跃迁概率的乘积大于对应于介面铍的乘积. 另外, 实验结果也表明: 当掺杂浓度升高时, 由于带隙收缩的影响, 阱中心铍的电离能减小.

PACC: 7855

自 Bastard 的关于阱内杂质的理论^[1]之后相继出现了一些有关实验研究^[2-4]. 在非有意掺杂的量子阱的光致荧光谱中只出现对应于电子从导带量子阱 $n=1$ 能级到介面中性受主杂质(残余碳)的跃迁峰. 它的解释是, 当生长垒材料 AlGaAs 时杂质总处在 AlGaAs 和真空的介面处, 换长阱材料 GaAs 时这些杂质分布在 GaAs 的前几个原子层中, 具体层数取决于前面生长的 AlGaAs 的层厚与真空室内的含碳量. 这与反结(先生长 AlGaAs, 后生长 GaAs)二维电子气的迁移率比正结(先生长 GaAs, 后生长 AlGaAs)二维电子气的迁移率低这个事实是一致的.

对于有意的无规掺杂的量子阱(除很窄的量子阱)由于阱中心的杂质态密度高, 导带 $n=1$ 电子到中性杂质的跃迁概率也高,^[1]故只出现对应于阱中心杂质的荧光峰. 我们的实验证明了这一点. 已有的研究都局限于低掺杂($1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下), 掺杂浓度对于荧光峰位和峰形的影响不大. 对于高掺杂情况的研究无论从应用上还是物理上都是重要的. 我们对高掺杂的情况做了研究并且看到了掺杂浓度对电离能的影响.

我们测量了掺铍浓度约为 1×10^{17} 和 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 阱宽约为10 nm 的量子阱在4.2 K 的光致荧光谱. 所用光源为氩离子激光器的488 nm 谱线. 荧光测量系统为 SPEX 系统.

样品是用国产 IV 型分子束外延设备生长的. 阱宽约为10 nm. 阱宽是根据高能衍射标定的生长速率和生长时间确定的. 掺杂浓度是根据同一时期对体材料标定的结果确定的. $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 样品是(100)取向的多量子阱. $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 样品是(110)取向的单量子阱. $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的(100)取向的多量子阱样品由于荧光峰宽, 杂质峰与带-带跃迁峰未能分开.

图1是掺铍浓度为 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 阱宽为10 nm 的 GaAs 多量子阱在4.2 K 的光致荧光谱. 高能峰为自由激子峰, 能量为 12404 cm^{-1} (1.538 eV) 能量为 12174 cm^{-1} (1.509 eV) 的峰为 $n=1$ 的电子到中性铍的跃迁峰.

我们知道, 杂质电离能为 $E(nm) = E_{1h} - E(e-nm) + B(h)$, 其中 E_{1h} 为自由激子峰的能量, $E(e-nm)$ 为 $n=1$ 电子到中性受主复合跃迁峰的能量, $B(h)$ 为激子结合能. 对于10

nm 的 GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As 的量子阱,激子结合能约为 7.5 meV. 根据此式计算得到,在我们的样品中铍的电离能 $E(\text{nm})$ 为 36 meV,与根据 Bastard 的理论计算的 34 meV 相差不多.

图2是掺铍浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 阱宽约为 10 nm 的 GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As 量子阱在 4.2 K 的光致荧光谱. 高能峰的能量为 12264 cm^{-1} (1.520 eV), 叠加在该峰上的尖峰为体 GaAs 的自由激子峰(来自缓冲层). 低能峰的能量为 12146 cm^{-1} (1.506 eV).

考虑到在高掺杂的情况下由于多子(在我们的情况下是空穴)的屏蔽作用,高能峰应该是带-带跃迁峰而不应该是自由激子峰. 这样,电离能约为 14.6 meV.

我们曾对掺杂浓度相同的体 GaAs 材料的带隙变窄做过测量,能带变窄 $\Delta E_G \approx 22.8 \text{ eV}$. 按照我们的实验结果带隙变窄是价带上移的结果^[5].

故倒推到低掺杂的情况电离能应为 $14.6 \text{ meV} + 22.8 \text{ meV} = 37.4 \text{ meV}$. 与根据 Bastard 的理论计算结果相差不多. 考虑到阱宽与掺杂浓度误差,可以认为符合得相当好.

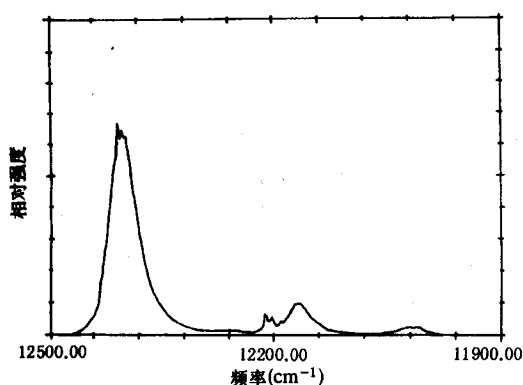


图1 掺铍浓度为 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 阱宽为 10 nm 的 GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As 量子阱在 4.2 K 的光致荧光谱

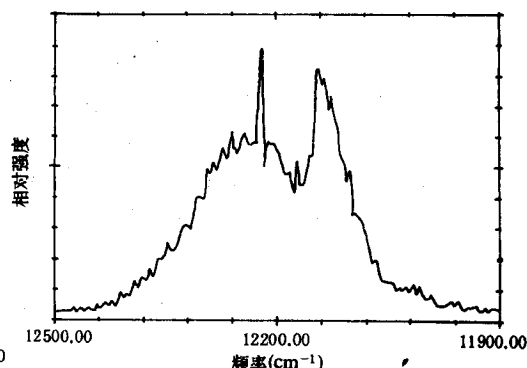


图2 掺铍浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 阱宽为 10 nm 的 GaAs-Al_{0.3}Ga_{0.7}As 量子阱在 4.2 K 的光致荧光谱

总之,我们对掺铍浓度高低不同的 GaAs 量子阱在 4.2 K 的光致荧光进行了研究. 研究结果表明:对于低掺杂的 GaAs 量子阱,测量到的杂质峰属于阱中心铍的. 其电离能与 Bastard 的理论计算基本一致. 对于高掺杂的样品,由于带隙收缩主要是价带上移造成的,故杂质铍的电离能减小,其减小量大体上等于带隙的收缩量. 这一结论同样适用于其它受主杂质.

- [1] G. Bastard, *Phys. Rev., B*, **24** (1981), 1714.
- [2] Robert C. Miller, Arthur C. Gossard and Won T. Tsang, *Physica B*, **117** (1983), 714.
- [3] Robert C. Miller, *J. Appl. Phys.*, **56** (1984), 1136.
- [4] C. Delalande, *Physica B*, **146** (1987), 112.
- [5] 程文芹、梅笑冰、刘双、刘玉龙、周均铭、李永康, 物理学报, **41** (1992), 1032.

PHOTOLUMINESCENCE OF Be-DOPED-GaAs QUANTUM WELLS

CHENG WEN-QIN MEI XIAO-BING ZHOU JUN-MING

LIU YU-LONG ZHU KE

Institute of Physics, Academia sinica, Beijing 100080

(Received 30 June 1992)

ABSTRACT

The photoluminescence of Be-doped GaAs quantum wells with width of 10 nm was measured at 4.2 K. The doping concentration is about 1×10^{17} and $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. The results showed that the product of the density of states of acceptors and the probability of transition from conduction subband $n=1$ to neutral acceptors at the well center is larger than that near the interface of GaAs and AlGaAs. In addition, the ionization energy of acceptors is decreased as doping concentration is increased. It is due to band-gap narrowing with the doping concentration of p -type GaAs.

PACC: 7855