

有序 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ($x = 0.52$) 光致发光谱研究*

吕毅军 俞容文 郑健生

(厦门大学物理系, 厦门 361005)

摘要 报道了对有序 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ($x = 0.52$) 样品的变温和变激发功率密度的 PL 谱的研究. 在低温 $T = 17\text{K}$, 低激发功率密度下, 谱线呈双峰结构, 在低激发功率密度下升高温度, 低能端的发光峰(以下简称 A 峰)发生热猝灭, 并在 85K 左右完全消失. 高能端的发光峰(以下简称 B 峰)积分强度则随温度升高先增强而后发生猝灭. 采用低激发功率密度激发样品, A 峰较 B 峰强. 增大激发功率密度, B 峰强度逐渐超过 A 峰强度并占据主导地位. 激发功率密度增加约两个数量级时, 发现 B 峰峰值位置不随激发功率密度移动, 而 A 峰出现微小蓝移 (6.2meV). 初步分析表明, A 峰与空间分离中心的复合有关, 而 B 峰来自本征激子复合; B 峰积分强度随温度升高而反常增强解释为空穴从无序区域到有序区域的转移.

关键词 有序度, - 半导体, 光致发光

1 引 言

三元有序合金 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ($x = 0.52$) 近年来在理论研究和技术应用方面引起人们越来越浓厚的兴趣, 它在光学和光电器件方面有广泛的应用前景, 如激光二极管和太阳能电池. 有序 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ 的生成与生长方法、生长条件、衬底的取向等条件有关. 如用 MOVPE 生长的 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ 具有 $[111]$ 方向的类 CuPt 的有序结构. 有序 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ 被认为是由有序区域和无序区域组成, 具有与无序 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ 明显不同的性质, 如带隙的降低、子带的分裂、光致发光谱峰随温度和激发密度变化的蓝移效应^[2]. 对 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ 的光致发光谱的测量表明, 既存在单峰的情况, 也有双峰的情形, 对这两种不同的情况, 还未有明确的解释. 对于双峰的情形, 一般认为高能端的发光峰来源于激子本征复合^[3~6], 而对低能端发光峰的来源则争议较大. Dong^[3] 等人把 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ 看成有带尾态的 Γ 型超晶格结构, 低能端发光峰是由于有序区域中的电子和无序区域中的空穴复合引起的. G. C. Jiang^[4] 等人的实验则认为叠加了 DA 对的声子伴线, 但因为 DA 对的发射峰的最大移动为浅杂质离化能的一半, 浅杂质 DA 对离化能只有几个 meV, 而实验表明这种移动可以高达 100meV , 远大于 DA 对的位移. M. C. Delong^[5] 等人把低能端发光峰的移动解释为无序结构中的有序区域内势起伏的带填充效应.

在此研究了有序 $\text{Ga}_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ 在低激发功率密度下的变温发光谱和低温下的变激发功率密度发光谱. 发现谱线呈双峰结构. 对这两个峰的分析表明, 低能端发光峰与空间分离中心的复合有关. 而高能端的发光峰来自本征激子复合; 高能端的发光峰强度随温度升高而增强的现象被解释为空穴从无序区域到有序区域的转移.

2 实验方法

实验样品为用 MOVPE 生长的 $\text{Ga}_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$, 衬底为沿 $[111]_B$ 方向倾斜 6° 的 GaAs,

* 国家自然科学基金和福建省自然科学基金资助项目

1998年5月30日收到

样品置于 CSA-202E 低温样品室. 采用 Ar^+ 离子激光器的 488nm 线激发, 光致发光测量系统包括 GDM-1000 双光栅单色仪, 带冷却装置的 C31034 光电倍增管, PAR-124A 锁相放大器. 变激发功率密度光致发光谱测量时, 样品的温度保持在 17K, 使用中性和衰减片改变入射激发功率, 变化范围为二个数量级. 变温光致发光谱的变温范围在 17~250K.

3 实验结果与分析

图1是有序 $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ 样品的低温 PL 谱. 低能端的发光峰记为 A 峰, 高能端的发光峰标记为 B 峰. 图2是 A 峰和 B 峰的发光积分强度随激发功率密度的变化, 在低温 17K 下, 采用低激发功率密度激发样品, A 峰较 B 峰强, 增大激发功率密度, B 峰强度逐渐超过 A 峰并占据主导地位. B 峰峰值位置不随激发功率密度移动, A 峰则出现了微小蓝移, 激发强度变化两个数量级, 谱线移动了约 6.2meV.

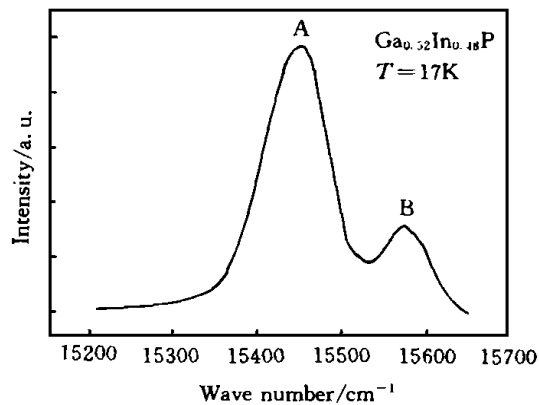


图1 有序 $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ 样品的低温 PL 谱

Fig. 1 PL spectrum with low excitation intensity of ordered $Ga_{0.52}In_{0.48}P$.

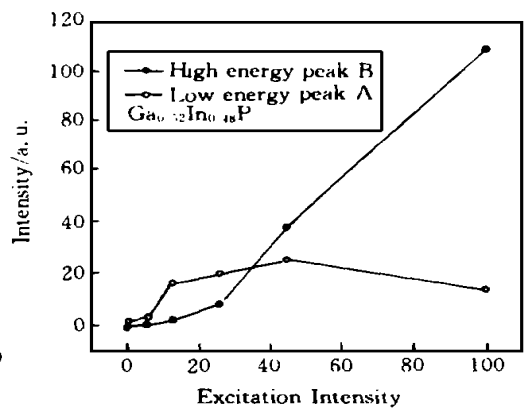


图2 A 峰和 B 峰对激发强度的依赖关系

Fig. 2 Excitation intensity dependence of the integrated intensity of the two peaks.

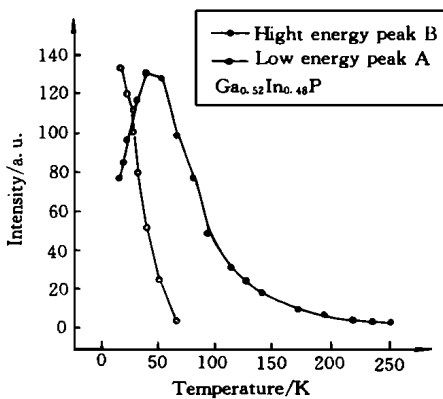


图3 A 峰和 B 峰对温度的依赖关系

Fig. 3 Temperature dependence of the integrated intensity of the two peaks.

图3为 A 峰和 B 峰积分强度随温度的变化关系, 在低激发密度下升高温度, A 峰发生热猝灭, 积分强度单调下降, 并在 85K 左右完全消失. B 峰积分强度则随温度升高先增强, 在 40K 左右达到最大值, 而后发生热猝灭, 发光峰峰值位置随温度升高单调下降. Masahiko^[6] 等人的实验中在 33~141K 温度段出现的反常蓝移现象在本实验中未观察到.

根据 M. C. Delong^[5] 等人的解释, 势起伏从 $Ga_{0.52}In_{0.48}P$ 由有序区的低带隙和无序区的高带隙组成的复合结构. 发光峰移动速率与势阱深度(即有序区域的有序度)、有序区的尺寸、密度有关. 董^[3] 等人提出了类似的模型,

该模型认为 A 峰来源于有序区中的电子与无序区中的空穴间复合. 在我们的实验中, A 峰出现了微小蓝移(6.2meV), 半宽则从 100cm^{-1} 降至 85cm^{-1} . A 峰随激发功率密度的蓝移效应是由于带尾态的填充效应. 但董^[3]等实验中 B 峰先下降, 再上升, 最后下降的结果与我们的结果不太一致. 同时也看不出 A 峰到 B 峰有转移现象. 我们初步分析认为, A 峰是空间分离中心的复合, 在低温、低激发功率密度下起主导作用. 升高温度时, A 峰在猝灭同时能量向 B 峰转移, 导致 B 峰能量的反常增强.

4 结 论

我们对有序 $\text{Ga}_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ 样品作了变温和变激发功率密度的发光谱测量, 在低温和低激发功率密度激发下, 谱线呈双峰结构. 在低激发功率密度下, 谱图中主要是 A 峰, 随着激发功率密度的提高, B 峰强度逐渐超过 A 峰占据主导地位, 且峰值位置不随激发功率密度变化. 而 A 峰出现蓝移效应. 分析结果表明, B 峰是本征激子的复合, B 峰与空间中心的复合有关. 升高温度时, A 峰发生热猝灭, 同时能量向 B 峰转移, 导致 B 峰能量的反常增强.

参 考 文 献

- [1] Lee K H, Lee S G, Chang K J. *Phys. Rev.*, 1995, **B52**(22): 15862.
- [2] Lam bkin J D, Considine L *et al*, *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **65**(1): 73.
- [3] Dong J R, Wang Z G *et al*, *Appl. Phys. Lett.*, 1995, **67**(11): 1573.
- [4] Jiang G C, Chang Y *et al*, *J. Appl. Phys.*, 1995, **78**(4): 2886.
- [5] Delong M C, Taylor P C, Olson J M. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **57**(6): 620.
- [6] Masahiko Kondow, Shigekazu Minagawa *et al*, *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**(18): 1760.

INVESTIGATION ON THE PHOTOLUMINESCENCE OF ORDERED $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ($x= 0.52$)

Lu Yijun Yu Rongwen Zheng Jiansheng
(*Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005*)

Abstract

An investigation on the properties of the temperature dependence and the excitation intensity dependence of photoluminescence of ordered $\text{Ga}_{0.52}\text{In}_{0.48}\text{P}$ was carried out. Under the condition of low temperature of $T = 17\text{K}$ and low excitation intensity, the spectrum profile showed a double peaks structure. Changing the temperature and the excitation intensity respectively, the relative phenomena were discussed and a reasonable explanation was given.

Key words ordering degree, - semiconductors, photoluminescence