

GaAs_{1-x}P_x EL2($x=0\sim 0.08$) 光猝灭截面谱的温度依赖性

杨锡震

(北京师范大学分析测试中心, 北京 100875)

(超晶格和微结构国家重点实验室, 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要 对实测 GaAs_{1-x}P_x 合金($x=0, 0.04$ 和 0.08)三个样品中 EL2 中心的光猝灭截面谱 $^*(h)$ 的温度依赖性进行了研究. 随温度(T)由 $\sim 40\text{K}$ 升至 $\sim 100\text{K}$, 三个样品的谱峰位均有红移; 峰高 I_p 增高, 增高速度随 x 增大而减小. $^*(h)$ 谱可近似拟合为两个高斯型成分的叠加. 以上结果支持关于 EL2⁰⁺ 中心存在两个激发态(e_1, e_2)的论点. 解谱结果表明: 0K 时 e_1 和 e_2 的能级外推值 $e_1(0) = 1.016\text{eV}$, $e_2(0) = 1.046\text{eV}$ 与 x 值无关. 拟合参数的温度依赖性和组份依赖性支持将 e_1 和 e_2 指认为与导带 L 极小值相联系的有效质量态.

关键词 GaAs_{1-x}P_x, EL2, 激发态, 光猝灭

1 引 言

GaAs EL2 中心的一个特征性行为是光猝灭现象, 它表明该中心存在一个亚稳态 (m). 对该中心的化学本质尚有争论, 但普遍认为 A_{ScGa} 至少是其重要成分. 曾测定了该中心内部跃迁的零声子线(ZPL)位于 1.039eV 处^[1]. 压力劈裂测量结果证明该跃迁应为 $A_1(\text{ab}) - T_{2L}(\text{EM})$, 终态为一个与 L 极值相联系的有效质量(EM)态. 这与缺陷中心可同时存在强局域态和弱局域态的观点^[2]相符. 在 1.039eV ZPL 高能方向还伴有一个峰值在 $\sim 1.18\text{eV}$ 的宽带(B), 其上还叠加上有间距 $\sim 11\text{meV}$ 的线系(G). 对此, 文献[1]解释为与能量为 11meV 的 TA 声子 ---TA 耦合引起的声子伴线系及相应的声子边带. 由 ZPL 和 B 带的能量间距求得 Huang-Rhys 因子 $S \sim 11$, 这样, 二者的强度比 $R = I_{\text{ZPL}}/I_B$ 应为 $\sim 10^{-5}$, 与实验值相差 $2\sim 3$ 数量级. 对此, 有过多种不同的解释, 如认为 ZPL 与 B 带虽起源于同一中心的内部跃迁, 且初态相同, 但终态不同; 或 B 带不涉及 $\sim 11\text{meV}$ 的声子参与的耦合, 还含有其它声子, 如 LA 声子($\omega_{\text{LA}} = 24\text{meV}$)或态密度最大的光学声子($\omega_0 = 33\text{meV}$)参与耦合的贡献. 详细报道了 GaAs_{1-x}P_x EL2($x=0\sim 0.08$) $^*(h)$ 谱的温度和组份依赖性的实测结果, 对实测谱进行分解拟合得出了该中心存在两个激发态的证据, 并将它们指认为与导带(CB)极小值 L 相联系的 EM 态; 也有利于解决前述 R 值和 S 值之间的矛盾, 并提供了一些有益于进一步研究猝灭过程跃迁细节的信息.

2 实 验

实验样品为瑞典 Lund 大学 MOCVD 生长的 n 型未有意掺杂的 GaAs_{1-x}P_x ($x=0, 0.04$ 和 0.08). 载流子浓度为 $5\sim 7 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$. EL2 中心浓度为 $8\sim 12 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$. $^*(h)$

用光电容瞬态初始斜率法测得. 瞬态表现出明显偏离单指数的行为. 设

$$C(t) = \sum_i C_i(\infty) e^{-i^* t} \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

于是, 由初始斜率法测得的表观 $i^*(h\nu)$ 谱为

$$i^*(h\nu) = \frac{d C(t)/dt|_{t=0}}{C(\infty)} = a_1 i_1^*(h\nu) + a_2 i_2^*(h\nu) \quad (2)$$

式中 $a_i = C_i(\infty)/C(\infty)$, $C(\infty) = \sum_i C_i(\infty)$ 为猝灭过程的总电容变化量. 用此法求得在 $\sim 40 \sim 100\text{K}$ 范围内几个不同温度下两个样品的 $i^*(h\nu)$ 谱均表现出相同的随温度变化的趋势, 其主要特征是: (1) 随温度(T)上升, 峰位 E_p 都移向低能方向, (2) 峰高 I_p 随 T 升高而增大, 增大幅度随 x 增大而减小. (3) 峰宽随温度升高而加宽. 实测三个样品不同温度下的 $i^*(h\nu)$ 谱均有明显的不对称性, 高能侧均有较长拖尾, 在一些谱中还可看出明显的肩状结构. 这些特征都表明 $i^*(h\nu)$ 谱并非单一成分, 而是两个(或更多)成分的合成. 基于这样的考虑, 对谱进行了拟合分解.

3 $i^*(h\nu)$ 谱的分解和讨论

将实测 $i^*(h\nu)$ 谱拟合为两个高斯成分的叠加(拟合参数峰高、峰值能量和半高宽分别为 A_i , E_{pi} 和 W_i , $i = 1, 2$). 拟合良好, 所用拟合参数表明: 随温度升高, 三个样品的二高斯成分的峰位均红移, 且 E_{p2} 均比 E_{p1} 下降得快; 半高宽则逐渐加宽, W_2 比 W_1 加宽要快; 峰高比 A_2/A_1 均随温度升高而减小.

基于电子—晶格耦合导致加宽的 $W(T)$ 关系, 参与耦合的声子能量 用 24meV , 对实测数据进行拟合, 求得三个样品 0K 时两个高斯成分的半高宽外推值分别为: $W_1(0) = 105.7\text{meV}$ 和 $W_2(0) = 139.6\text{meV}$. 相应的 Huang-Rhys 因子分别为 $S_1 = 3.5$ 和 $S_2 = 6.1$. 将零声子线(ZPL)记作 e_1 和 e_2 , 则有 $e_i = E_{pi} - S_i$, 由之求得各温度下的 e_1 , e_2 . 对于 GaAs, 导带 L 极值随温度的变化遵从以下规律^[3]: $E_L(T) = E_L(0) - 6.05 \times 10^{-4} T^2 / (T + 204)$. 若一 EM 态与 L 极值相联系, 则它的能级位置随温度的变化应也分别遵循此规律, 只是须将式中的 $E_L(0)$ 换为该能的 0K 时的能级外推值. 前述有关 $e_1(T)$ 和 $e_2(T)$ 的拟合值与上式相符良好, 这表明可将该二能级指认为与 L 极值相联系的 EM 态. 拟合得出 $e_1(0) = 1.016\text{eV}$, 与样品组分 x 无关; $e_2(0) = 1.044(x 0) - 1.049\text{eV}(x 8)$, 随 x 变化仅 5meV . 考虑到 e_1 随 x 值的变化 $e_1 = E_L - g$, 其中 E_L 和 g 分别为 L 极值和基态能级(g)变化量, x 由 0 变到 0.08 , $E_L = 48\text{meV}$, $g = 48\text{meV}$ ^[4], 则 $e_1 = 0$, 与前述结果相符. 以上结果是对将 e_1 和 e_2 指认为与 L 极值相联系的 EM 态的又一支持.

值得注意的是: 以上求得的 $e_1(0)$ 和 $e_2(0)$ 与 $ZPL = 1.039\text{eV}$ 均不相等. 对此可有以下两种解释: 一是认为该 ZPL 与 B 带起源于同一中心(EL2), 且初态相同但终态不同, 即 e_1 和 e_2 为该中心的另外两个新测定的激发态; 另一种解释是 e_1 或 e_2 中之一就是 1.039eV 跃迁终态(e), 只是由于实验误差造成了具体数值的微小差别. 这样, e_1 和 e_2 中有一个为新测定的激发态能级. 对于上述的不同可能性, 目前尚不能作出判别.

4 结 论

1. 在 $\sim 40 \sim 100\text{K}$ 温度范围内实测 GaAs_{1-x}P_x EL2($x=0\sim 0.08$) 的 $^*(h)$ 谱温度依赖性表明: 随温度升高, 谱峰移向低能方向, 而峰高随温度升高, 升高幅度随 x 增大而减小. 不同温度下的谱均表现出明显的不对称性, 高能侧有较长拖尾, 表明该谱含有多个成分.

2. 实测 $^*(h)$ 谱可拟合为两个高斯成分的叠加. 结果支持在 EL2 光猝灭过程中至少存在两个中间态(e_1 和 e_2) 的论点. 拟合表明: $e_1(0) = 1.016\text{eV}$, $e_2(0) = 1.046\text{eV}$. e_1 和 e_2 对组分和温度的依赖性均支持将它们指认为与导带 L 极小值相联系的 EM 态.

参 考 文 献

- [1] Kaminska M *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1983, **43**: 302.
- [2] Bednarek S *et al.*, Phys. Rev., 1997, **B55**: 2195.
- [3] Bourgoing J *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1988, **53**: 749.
- [4] Samuelson L. in 13th Int. Conf. on Defects in Semiconductors, 1984, p10.

TEMPERATURE DEPENDENCE OF OPTICAL QUENCHING CROSS SECTION SPECTRA OF GaAs_{1-x}P_x EL2 ($x=0\sim 0.08$) CENTER

Yang Xizhen

(The Analysis Measurement Center, Beijing Normal University, Beijing 100875)

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

Abstract

The temperature dependence of optical quenching cross section spectra of GaAs_{1-x}P_x EL2 center ($x=0\sim 0.08$) was studied experimentally. For all samples studied, the peak energy has a red shift as temperature goes up from $\sim 40\text{K}$ to $\sim 100\text{K}$. At the same time, the peak height increases, the larger x is. The spectra can be fitted to a sum of two Gaussian components. The results support that EL2 center has two excited states (e_1 , e_2). It also shows that the extrapolated values at 0K are $e_1(0) = 1.016\text{eV}$ and $e_2(0) = 1.046\text{eV}$, independent from x . The temperature and composition dependences of the fitting parameters support the assignment that both e_1 and e_2 are effective mass states related with L minima of conduction band.

Key words GaAs_{1-x}P_x, EL2, excited state, optical quenching