

研究简报

$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶的长波长光学声子谱*

汪兆平 韩和相 李国华 涂相征

(中国科学院半导体研究所, 北京)

1989 年 4 月 19 日收到

本文报道 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶的室温喇曼散射测试结果. 所用的样品用液相外延方法生长在 $\langle 111 \rangle$ 晶向的 GaP 衬底上. 混晶组分 x 值在 0.16—0.65 之间. 实验结果表明, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶的长波长光学声子谱呈现双模行为, 具有类 GaP 和类 AlP 两个光学支.

关键词 混晶, 双模, 喇曼散射

$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶有宽而可调的带隙, 在短波可见光的光电子器件^[1]和耐高温的电子器件^[2]方面的应用的潜在的可能性已经引起人们的兴趣. 但由于 AlP 在空气中不稳定和难于制备高质量的混晶材料而限制了在应用方面的发展, 甚至在物理特性方面的研究工作也不多见. 关于长波长光学声子谱的研究 由于对通常所用的可见光气体激光源, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶是透明或准透明晶体, 增加了测量的难度. 直到 1976 年, Lucovsky 等^[3]才用红外反射光谱方法研究了这种材料的长波长横光学声子谱. 最近才有用喇曼散射方法的实验报道^[4,5]. 他们的实验结果表明, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶的长波长光学声子谱呈现双模行为, 具有类 GaP 和类 AlP 两个光学支. 这和 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶具有小的晶格失配从理论上预期的结果^[6]是一致的. 但是, 这些测量结果或者只给出横光学声子 (TO) 模^[3], 或者基本上只给出纵光学声子 (LO) 模的实验数据^[4,5], Tsu^[7]早就给出 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶的长波长光学声子模的频率对组分 x 值的实验曲线, 但他的测量结果与上述实验结果^[3-5]偏离较大, 并且没有报道喇曼散射的详情. 本文报道, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶的长波长光学声子谱的室温喇曼散射测量结果.

$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 外延层用稳定自然对流下的温度梯度液相外延方法生长^[8], 衬底为掺 Te 的 $\langle 111 \rangle$ 晶向的 GaP. 对这种取向的闪锌矿结构的晶体, LO 和 TO 声子模都是喇曼活性的, 使我们能同时比较清楚地观测到 LO 和 TO 模. 样品外延层表面光亮, 与衬底界面平整, 位错密度较低. 混晶组分 x 值用电子探针测定, x 值分布在 0.16—0.65 之间. 喇曼光谱用法国 Jobin Yvon 公司的 T800 型激光喇曼光谱仪测量. 考虑到 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶的吸收很小, 激发光源用美国 Spectra Physics 公司的 165-09 型 Ar 离子激光器的 4579 Å 线. 短波长激光线有较小的渗透深度, 加上使用 $\langle 111 \rangle$ 晶向的 GaP 衬底, 保证从

* 国家自然科学基金资助课题.

相对较薄的外延层中同时取得 TO 和 LO 模的信息. 测量采用背散射配置. 照射在样品上的激光功率大约 60—70mW, 使用柱面透镜确保没有样品加热效应. 入射光是竖直偏振的, 散射光收集透镜前未加检偏器. 所有测量是在室温下进行的.

图 1 给出 $x = 0.31$ 和 0.65 的两块样品的喇曼光谱, 虽然我们用 4579\AA 的短波长激光作入射光源, 由于外延层不足够厚, GaP 晶体的喇曼信号又相当强, 在图 1 中仍可观测到来自 GaP 衬底的 TO (在 365cm^{-1} 处) 和 LO (在 404cm^{-1} 处) 声子峰. 但与最近发表的测量结果^[4,5]比较, 我们的测试结果有明显地改善, 可以比较清楚地分辨出类 GaP 的 TO 和 LO 模. 图 1 中标记为 TO_1, LO_1 和 TO_2, LO_2 的散射峰分别是类 GaP 和类 AlP 的 TO, LO 模. 这说明, $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶的长波长光学声子谱呈现双模行为. 图 2 给出类 GaP 的 TO_1 和 LO_1 , 类 AlP 的 TO_2 和 LO_2 模的频率的组分关系. 同时给在图 2 中的, 还有最近发表的参考[5]中给出的实验数据. 二者之间是相当一致的. 图中 GaP:Al 局域模的频率 438cm^{-1} 和 AlP:Ga 隙模的频率 350cm^{-1} 取自参考[3]. 从图 2 可见, TO 模的频率随组分变化很小, 特别是类 AlP 的 TO 模频率几乎不随组分变化. 这和前人的结果^[3]是一致的, 并且与 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 混晶中类 AlAs 的 TO 模^[9], $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ 混晶中类 AlSb 的 TO 模^[10]模频几乎不随组分变化也是相似的. 这可能和这些纯晶的 $\text{TO}(\Gamma)$ 值恰好与相应的局域模频率几乎相等有关.

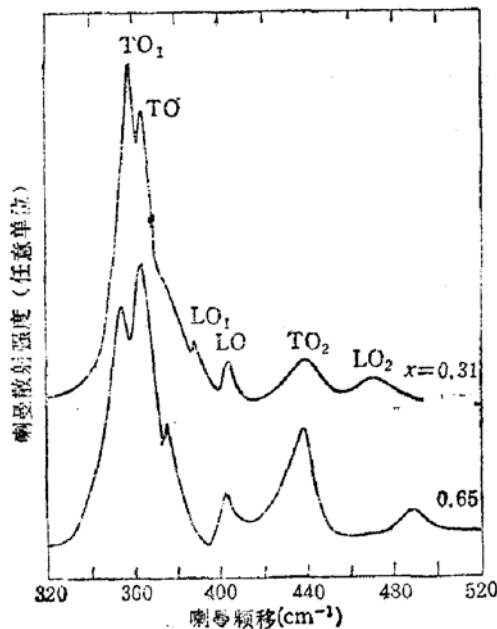


图 1 $x = 0.31$ 和 0.65 的 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶样品的喇曼光谱

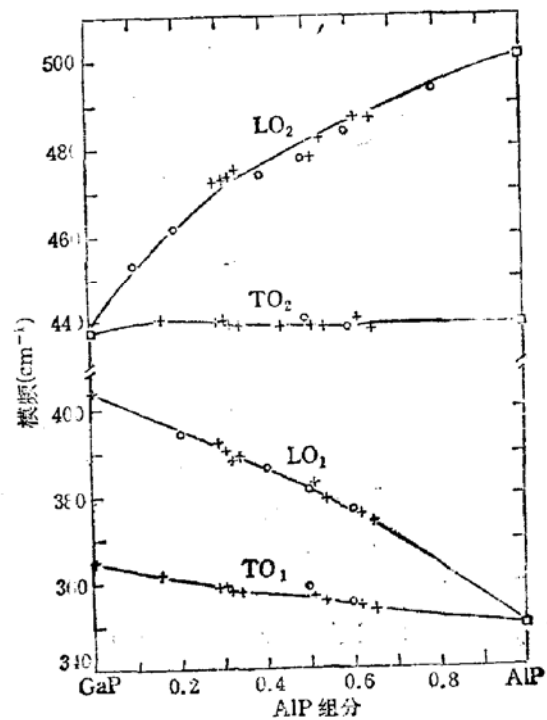


图 2 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶的长波长光学声子模频的组分关系

+ 本工作的数据 o 参考[5]的实验数据
□ 纯晶 AlP 的 $\text{TO}(\Gamma)$ 和 $\text{LO}(\Gamma)$ 数据^[11]

理论上, 等位移模型^[12]相当成功地解释了三元混晶长波长光学声子谱的双模行为. 但是, 该模型采用多个任意可调参数, 因而总是能够得到与实验结果相符的计算结果. 并且

往往调整出一些不合理的参数,例如,次邻力常数反而比最近邻力常数大。这里我们没有引入这一计算结果。图 2 中的曲线只是实验数据的连线。

我们感谢郑国宪同志帮助测量 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ 混晶样品的组分 x 值。

参 考 文 献

- [1] H. Sonomura, T. Nanmori and T. Miyauchi, *Appl. Phys. Lett.*, **22**, 532(1973).
- [2] T. E. Zipperian and L. R. Dawson, *J. Appl. Phys.*, **54**, 6019(1983).
- [3] G. Lucovsky, R. D. Burnham and A. S. Alimonda, *Phys. Rev.*, **B14**, 2503(1976).
- [4] G. Armelles, J. M. Calleja and E. Munoz, *Solid State Commun.*, **65**, 779(1988).
- [5] D. P. Bour, J. R. Shealy, A. Ksendzov and F. Pollak, *J. Appl. Phys.*, **64**, 6456(1988).
- [6] G. Landa, R. Charles and V. B. Renucci, Proc. 18th Int. Conf. on Physics of Semiconductors, Stockholm, Aug. 1986, p. 1361.
- [7] R. Tsu, *Proc. SPIE*, **276**, 78(1981).
- [8] 涂相征,物理学报,**31**,78(1982).
- [9] 汪兆平、韩和相、赵学恕、李国华,涂相征,半导体学报,**6**,634(1985).
- [10] G. Lucovsky, K. Y. Cheng and G. L. Pearson, *Phys. Rev.*, **B12**, 4135(1975).
- [11] A. Onton, Proc. 10th Int. Conf. on Physics of Semiconductors, Cambridge, Mass., Aug. 1970, p. 107.
- [12] Y. S. Chen, W. Shockley and G. L. Pearson, *Phys. Rev.*, **151**, 648(1966), I. F. Chang and S. S. Mitra, *Phys. Rev.*, **172**, 924(1968).

Long-Wavelength Optical Phonon Spectra of $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ Mixed Crystals

Wang Zhaoping, Han Hexiang, Li Guohua and Tu Xiangzheng

(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica*)

Abstract

Raman scattering measurements at room temperature of $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ mixed crystals are reported. The samples used in this study were grown by LPE method on $\langle 111 \rangle$ oriented GaP substrates. The constituent values of the samples are ranged from 0.16 to 0.65. It is shown that long-wavelength optical phonon spectra exhibit two mode behavior, there are GaP-like and AlP-like optical branches.

Key words Mixed crystal, Two mode, Raman Scattering