

研究简报

静压下 GaP 的拉曼散射

李国华 赵学恕 韩和相 汪兆平

(中国科学院半导体研究所)

唐汝明 胡敬竹

(中国科学院物理研究所)

1984年1月13日收到

测量了室温和 77K 下 0—70kb 之间 GaP 的一级拉曼散射谱。根据测得的 TO 和 LO 声子的压力系数计算了它们的模式 Grüneisen 参数。得到室温下 γ_{TO} 和 γ_{LO} 值分别为 1.05 和 0.92; 低温值分别为 1.01 和 0.86。

一、引言

静压下拉曼散射研究是了解固体中声子性质的重要手段之一,从散射谱线的压力关系可以得到晶体中原子间键合力的性质等各种信息。在固体相变点附近拉曼散射谱的显著变化也常被用来测定固体的相变情况。

静压下半导体的拉曼散射也已有不少研究^[1-5]。S. S. Mitra^[3]等研究了 0—10kb 间 GaP 等材料的拉曼散射。B. A. Weinstein 等^[1]测量了 0—135kb 间 GaP 的一级、二级拉曼谱。这些测量都在室温下进行,迄今还未见到低温下类似研究的报道。

我们首次测量了 77K 下 0—70kb 间 GaP 的一级拉曼谱,并据此计算了相应的模式 Grüneisen 参数。同时也进行了室温下的测量和计算。室温结果与 B. A. Weinstein 的结果一致,低温下的现象与室温时类似,仅压力系数稍有不同。

二、实验方法

测量所用的样品是液相外延生长的 GaP 单晶,表面为(111)面。样品磨至 25—30 μ m

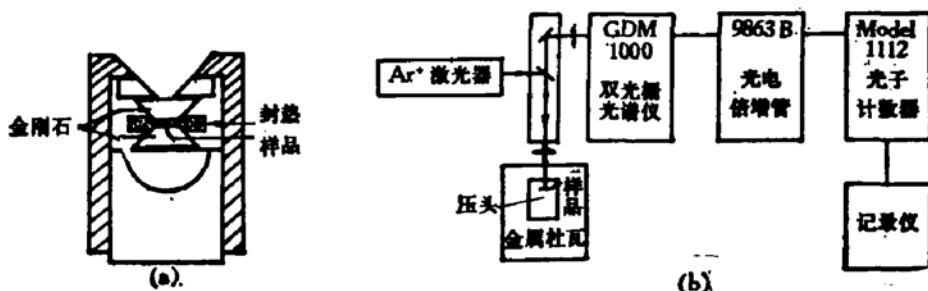


图1 (a)压头结构示意图 (b)实验装置方框图

厚,切成几百微米左右的小块以便装入压力室中。

压力装置为金刚石对顶砧高压室,其结构示意图见图 1(a)。金刚石台面直径约 0.7mm,封垫为 0.3mm 厚的弹簧钢。传压液体是 4:1 的甲醇、乙醇混合液,压力值由与样品一同装在压室中的红宝石的 R_1 线移动标定。室温下 R_1 线压力系数取通常采用的 $-0.753\text{cm}^{-1}/\text{kb}^{[6]}$, 77K 的压力系数未见发表,暂用室温值代替。

低温测量时把加了压的压头置于自制的金属杜瓦瓶中,压头浸没在液氮中以保证样品处于液氮温度。

拉曼光谱用自建的显微拉曼光谱系统测量,实验装置方框图见图 1(b)。激发光源用氩离子激光器的 $5145\text{\AA}$ 线,至样品上的功率约 10mW。激发光经显微光路聚焦到压室内的样品上,束斑直径约 $2-3\mu\text{m}$ 。散射光由显微镜物镜收集后经全反镜射入 GDM1000 双光栅单色仪,分光后由 9863B 光电倍增管接收,由 Model 1112 光子计数器计数后在记录仪上画出。

三、结果和讨论

图 2 画出了 77K 几个压力下 GaP 的一级拉曼散射谱,室温谱与此类似。图 3 和图 4 分别画出了室温和低温下 TO 和 LO 声子频率随压力的变化。通过与实验数据的线性拟合得到的压力系数见表 1。

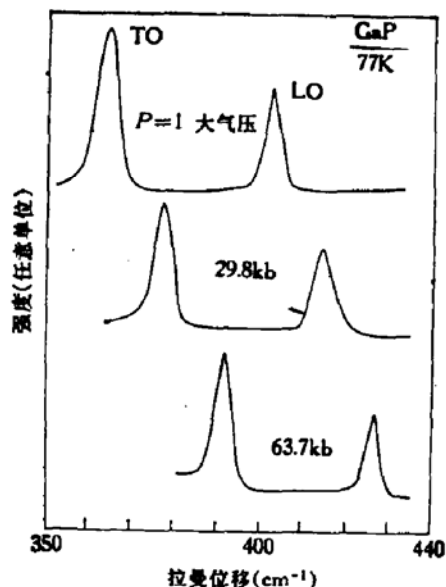


图 2 77K 下几个压力的 GaP 一级拉曼谱

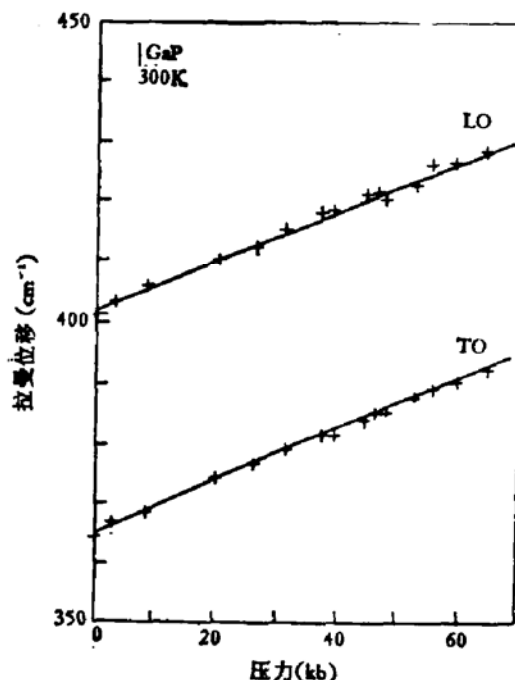


图 3 300K 下 GaP 的 TO 和 LO 声子频率随压力的变化

利用从实验测得的压力系数可以计算它们的模式 Grüneisen 参数^[7]

$$\gamma_i = - \frac{d(\ln \nu_i)}{d(\ln V)} = - \frac{1}{K_T \nu_i} \left(\frac{\partial \nu_i}{\partial P} \right)_T \quad (1)$$

其中 ν_i 是此模式的声子频率, V 是晶体体积, $K_T = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$ 是等温压缩率, $\left(\frac{\partial \nu_i}{\partial P}\right)_T$ 是此声子频率的压力系数。通常用从弹性常数数据测得的绝热压缩率代替等温压缩率而不加修正。室温下由弹性常数数据得到的 GaP 绝热压缩率为 $1.127 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{dyn}^{[8]}$, 低温值未见发表。仍暂用室温值代替。这样算得的 TO 和 LO 模式的 Grüneisen 参数见表 1。为了比较,表中也列出了 B. A. Weinstein 的结果。可以看到,室温结果基本一致,

表 1 室温和低温下 GaP 的 Grüneisen 参数

温 度	本 工 作				B. A. Weinstein ^[1]	
	300K		77K		300K	
声子模式	TO	LO	TO	LO	TO	LO
$\nu_i (\text{cm}^{-1})$	364.9	402.0	365.1	402.5	365.5 ± 1	402.5 ± 1
$\frac{\partial \nu_i}{\partial P} (\text{cm}^{-1}/\text{kb})$	0.43	0.42	0.42	0.39	0.45	0.43
γ_i	1.05	0.92	1.01	0.86	1.09 ± 0.03	0.95 ± 0.02

低温值比室温值稍小一些。这可能是由于低温下原子间距已经缩小, 不易进一步压缩。由于缺少低温下红宝石 R_1 线的压力系数和 GaP 的等温压缩率, 难于作更仔细的讨论。

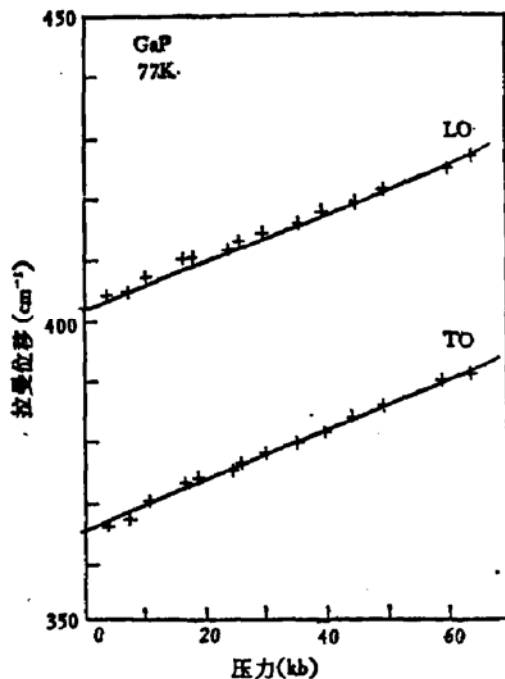


图 4 77K下 GaP 的 TO 和 LO 声子频率随压力的变化

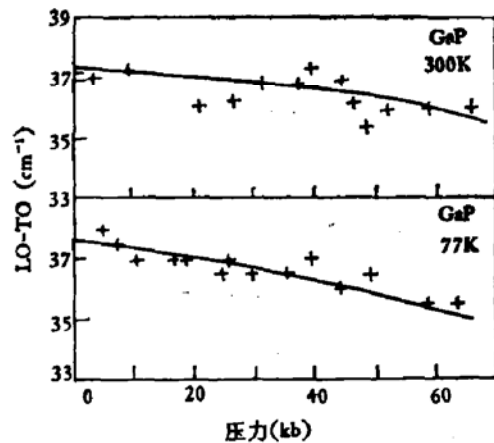


图 5 GaP 的 LO-TO 劈裂随压力的变化

图 5 画出了 LO-TO 劈裂随压力的变化, 可以看到 LO-TO 劈裂随压力的增加而逐渐减小, 这与 B. A. Weinstein 的结果一致, 而与较早的 S. S. Mitra 的结果相反。但他们的结果是在较低的压力范围内 (0—10kb) 得到的。R. Trommer 等^[9]归纳了一些 III-V 族化合物的实验结果, 认为在压力下 LO-TO 劈裂变小是闪锌矿结构的化合物的共同特

征。他们并利用 LO-TO 劈裂与 Born 横向动态电荷 e_T^* ^[9] 的关系

$$e_T^* = \frac{VM}{4\pi} \epsilon_\infty (\omega_{LO}^2 - \omega_{TO}^2)^{[5]}, \quad (2)$$

用键轨道模型和赝势计算两种方法计算了 InP 的 e_T^* 随压力的变化, 证实 e_T^* 随压力而减小, 与实验结果定性一致。我们的实验结果与他们的结论是一致的。

由于 GaP 的相变压力 (~ 200 kb) 高于我们所达到的压力, 故未观察到与相变有关的变化。

参 考 文 献

- [1] B. A. Weinstein and G. J. Piermarini, *Phys. Rev.*, **B12**, 1172 (1975).
- [2] B. A. Weinstein, J. B. Renucci and M. Cardona, *Solid State Commun.*, **12**, 473 (1973).
- [3] S. S. Mitra, O. Brafman, W. B. Daniels and R. K. Crawford, *Phys. Rev.*, **186**, 942 (1969).
- [4] W. Richter, J. B. Renucci and M. Cardona, *Solid State Commun.*, **16**, 131 (1975).
- [5] R. Trommer, H. Müller and M. Cardona, *Phys. Rev.*, **B21**, 4869 (1980).
- [6] A. Jayaraman, *Rev. Mod. Phys.*, **55**, 65 (1983).
- [7] G. Busch and H. Schade, *Lecture on Solid State Physics*, p. 101 (1976).
- [8] R. Weil and W. O. Grovers, *J. Appl. Phys.*, **39**, 4049 (1968).
- [9] M. Born and K. Huang, *Dynamical Theory of Crystal Lattices*, Chap. 2, (1954).

Raman Scattering of GaP under Hydrostatic Pressure

Li Guohua, Zhao Xueshu, Han Hexiang, Wang Zhaoping

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Tang Ruming and Hu Jingzhu

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract

The first order Raman scattering spectra of GaP at room and 77 K temperatures have been measured under hydrostatic pressure from 0 to 70 kb. The mode-Grüneisen parameters of TO and LO phonons of GaP have been calculated from the measured pressure coefficients. The values of γ_{TO} , γ_{LO} are 1.05, 0.92 at room temperature, and 1.01, 0.86 at 77 K, respectively.