

研究简报

掺氧液相外延 GaAs 的拉曼光谱

韩和相 汪兆平 李国华 赵学恕 向贤碧

(中国科学院半导体研究所)

1983年10月29日收到

本文报道了掺氧液相外延 GaAs 材料的拉曼光谱测量结果。观测到体内晶格振动的 LO 与等离子激元的耦合模 L_+ 和 L_- 以及表面耗尽层的 LO, 2TO 和 2LO。在 $2.7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ — $5.6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的电子浓度范围内,实验结果与理论计算结果是一致的。

Mooradian 等^[1], 于1966年, 利用拉曼光谱首次观测到 n 型 GaAs 晶体中晶格振动的 LO 声子与等离子激元的耦合模 L_+ 和 L_- 。后来, Pinczuk^[2] 等和 Abstreiter 等^[3,4] 广泛地研究了在不同入射光频率条件下掺 Te 的 n 型 GaAs 晶体中耦合模 L_+ 和 L_- 与电子浓度、波矢的依赖关系。还通过 L_+ 和 L_- 与 LO 的强度比的分析研究了晶体表面能带的弯曲。他们的研究表明, 拉曼光谱是不损伤样品的条件下研究薄膜晶体特性的一种较方便的手段。

我们用 JY-T800 激光拉曼光谱仪, 在室温下测量了掺氧液相外延 GaAs 材料的拉曼光谱。观测到体内晶格振动的 LO 声子与等离子激元的耦合模 L_+ 和 L_- , 未被电子屏蔽的表面耗尽层的 LO 以及 2TO 和 2LO。比较了不同电子浓度下 L_+ 模频实验值与理论计算值。

关于掺氧液相外延 GaAs 的早期工作指出^[5,6], 氧产生一个很浅的施主能级, 但工作限于电子浓度小于 10^{17} cm^{-3} 的掺氧样品。为了在 $\langle 100 \rangle$ 晶向的 GaAs 单晶衬底上生长重掺氧的外延层。采用高纯 GaAs 液相外延生长系统制备样品时, 把 Ga_2O_3 (光谱纯) 粉放入 Ga (99.9999%) 母液内, 并在母液上加一盖板。这样可在不同的 $M_{\text{Ga}_2\text{O}_3}/M_{\text{Ga}}$ 比和生长温度下生长出电子浓度覆盖范围达 1×10^{16} — $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的一组掺氧液相外延 GaAs 样品。样品的电子浓度是用霍尔方法测量的。关于材料生长的详细情况将在别处发表^[7]。

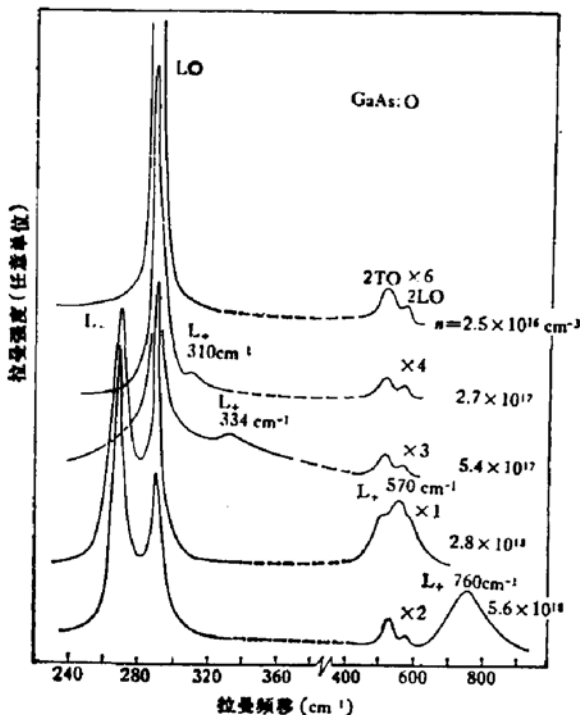


图1 不同电子浓度的液相外延样品的拉曼光谱

图1 示出电子浓度为 2.5×10^{16} —

$5.6 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的一组样品的拉曼光谱。图中可以看出, 在轻掺杂 ($n = 2.5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$) 的情况下有 LO 声子模, 但未见 L_+ 和 L_- 。当电子浓度达到 $2.7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 时, 除了 LO 声子模外, 在 310cm^{-1} 附近还有一个弱峰, 这是 L_+ 模。当 n 值高达 $5.6 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 时, LO 声子模已明显地变弱, 而 L_+ 移到 760cm^{-1} 附近。〈100〉晶向 GaAs 晶体中 TO 声子模是拉曼非活性的, 所以 269cm^{-1} 的峰不是 TO 声子模的, 而应是 L_- 模的。除此之外, 每个样品都在 525cm^{-1} 和 575cm^{-1} 附近出现了两个峰。众所周知, 在闪锌矿结构晶体的二级拉曼散射中布里渊区所有组合声子和谐波声子的拉曼散射都是活性的。所以 525cm^{-1} 和 575cm^{-1} 处的两个峰是 2TO 和 2LO 声子模。

在实际 GaAs 外延层表面, 总是存在着表面耗尽层。当电子浓度为 $2 \times 10^{17} - 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 时, 耗尽层的宽度在 $3000 - 150 \text{Å}$ 范围内变化^[4]。另外, 5145Å 的激发光在 GaAs 晶体中的透射深度为 1000Å 左右。所以在 $2.5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 电子浓度的样品中只出现 LO 模是因为只有表面耗尽层的拉曼散射, 而无体内的拉曼散射。随着电子浓度的增加表面耗尽层宽度减少, LO 声子模(来自表面耗尽层)的拉曼散射强度也变弱, 而来自体内的耦合模就逐渐变强。

通过体内晶格振动及等离子激元对晶体纵向介电函数的贡献之和的考查, 我们可以研究晶格振动的 LO 声子与等离子激元的耦合模的频率关系。从此可以得到 L_+ 和 L_- 模的峰值频率 ω_+ 和 ω_- 的公式如下^[8]:

$$\omega_{\pm}^2 = \left\{ \frac{1}{2} [\omega_L^2 + \omega_P^2(q)] \pm \frac{1}{2} [(\omega_L^2 + \omega_P^2(q))^2 - 4\omega_L^2\omega_P^2(q)]^{1/2} \right\}.$$

其中 ω_L 和 ω_T 分别为 LO 和 TO 声子模的频率。

$$\omega_P^2(q) = \omega_P^2 + \frac{3\hbar^2 k_F^2 q^2}{5m^{*2}},$$

$$\omega_P^2 = \frac{4\pi n e^2}{\epsilon_{\infty} m^{*2}},$$

$$k_F = (3\pi^2 n)^{1/3}.$$

n 为电子浓度, m^* 为导带电子有效质量, 高频介电常数 $\epsilon_{\infty} = 11.1$, q 为散射光的波矢。

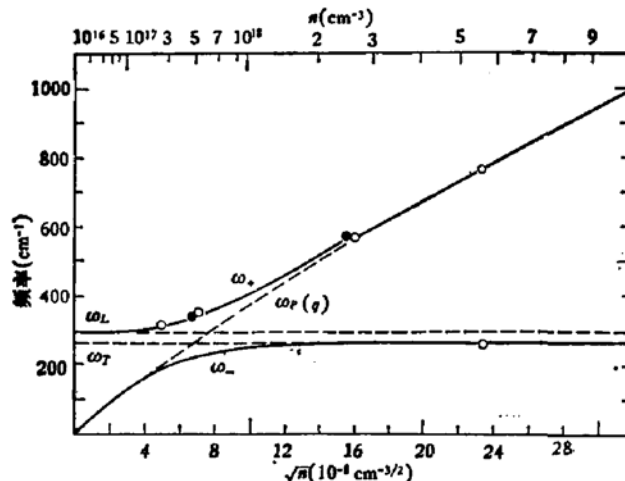


图2 电子浓度与 L_+ 和 L_- 模拉曼频移关系图。图中实线为理论计算曲线, 圆圈为掺氧样品, 实心圆点为掺 Te 样品

我们用上面的公式计算了 10^{16} — 10^{19} cm^{-3} 电子浓度范围内 L_+ 和 L_- 模的频率 ω_+ 和 ω_- , 并与实验值进行了比较. 考虑到 GaAs 导带电子有效质量随电子浓度的变化, 计算中我们采用了 Cardona^[9] 和 Spitzer 等^[10] 的实验值. 为了便于比较, 还测量了掺 Te 液相外延 GaAs 样品的拉曼光谱. 实验值和理论计算结果一同示于图 2. 在 2.7×10^{17} — 5.6×10^{18} cm^{-3} 的电子浓度范围内, 实验值与理论计算值很好地相符合. 在更高电子浓度区域实验值相对于理论计算偏低, 其原因有待进一步研究.

中国科学院上海有机化学研究所和北京生物物理研究所拉曼光谱组为本工作提供了方便, 在此表示感谢.

参 考 文 献

- [1] A. Mooradian and G. B. Wright, *Phys. Rev. Lett.*, **16**, 999 (1966).
- [2] A. Pinczuk, G. Abstreiter, R. Trommer and M. Cardona, *Solid. Stat. Commun.*, **21**, 959 (1977).
- [3] G. Abstreiter, A. Pinczuk, R. Trommer and M. Cardona, Proc. Int. Conf. on Lattice Dynamics, ed by M. Balkanski (Paris), p 191 (1977).
- [4] G. Abstreiter, E. Bauser, A. Fischer and K. Ploog, *Appl. Phys.*, **16**, 345 (1978).
- [5] R. Solomon, 1968 2nd Int. Symp. on GaAs, p. 11—17.
- [6] M. Otsubo and H. Miki, *Jpn. J. Appl. Phys.* **14**, 621 (1975).
- [7] 向贤碧、杨锡权、方兆强、朱素珍、吴让元, 全国 GaAs 及其有关化合物学术会议, 1983, 11, 上海.
- [8] W. Hayes and R. Loudon, *Scattering of Light by Crystals*, p.313 (1978).
- [9] M. Cardona, *Phys. Rev.*, **121**, 752 (1961).
- [10] W. G. Spitzer and J. M. Whelan, *Phys. Rev.*, **114**, 57 (1959).

Raman Spectra of Oxygen Doped LPE GaAs

Han Hexiang, Wang Zhaoping, Li Guohua, Zhao Xueshu and Xiang Xianbi
(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

The Raman scattering spectra of oxygen doped LPE GaAs samples are reported. Coupled modes, L_+ and L_- , between plasmon and LO phonon of bulk lattice vibration and LO mode of surface depletion region were observed in the samples. In the range of electron concentrations from 2.7×10^{17} cm^{-3} to 5.6×10^{18} cm^{-3} , the results observed experimentally are in good agreement with the theoretical calculation.