

掺杂浓度对 p-GaAs 的带隙变窄的影响

程文芹 梅笑冰 刘 双 刘玉龙 李永康 周均铭

中国科学院物理研究所, 北京 100080

1991年6月24日收到

用光致荧光的方法对分子束外延生长的(110)方向的掺 Be 的 GaAs 带隙变窄随掺杂浓度的变化进行研究。结果表明: 对于 p-GaAs, 带隙变窄主要是价带上移造成的, 杂质能级(带)相对导带的位置不变。因此, 电离能随着掺杂浓度的增加而减小。

PACC: 7855

对于掺杂 GaAs 带隙随掺杂浓度的变化已有一些研究^[1-12]。带隙变窄的研究在理论上和实际应用上都很重要, 掺杂半导体带隙变窄是载流子与杂质离子相互作用和多体效应的结果。

由 Casey 和 Stern^[4] 理论(不包括多体效应)与实验数据拟合给出 p-GaAs 带隙变窄与掺杂浓度之间的经验公式

$$\Delta E_G = -1.6 \times 10^{-8} p^{1/3}. \quad (1)$$

在已有的文献中都将带隙变窄笼统地描述为导带向下移, 价带向上移。但有关导带向下移多少, 价带向上移多少, 杂质能级相对价带和导带如何移动等未见报道。本文中对(110)方向掺 Be 的 GaAs 光致荧光谱的研究明确地回答了这个问题。

用国产 IV 型分子束外延设备生长 5 个样品, 其中 1 个为不掺杂样品, 4 个为掺 Be 样品, 并分别用霍尔法和化学 C-V 法测量掺 Be 样品的掺杂浓度(用化学 C-V 法未能测出轻掺杂样品的掺杂浓度)。用化学 C-V 法测量的浓度比用霍尔法测量的浓度低。

对 5 个样品分别在 4.2 和 77K 下测量它们的光致荧光谱。荧光谱是用 Specx 系统得到的。为了避免功率带来的影响, 用不同的激发功率做测量。在本实验使用的功率范围内未发现任何影响。

图 1 给出在 4.2K 下 4 个掺杂样品的光致荧光谱。由图 1(a) 可看到很锐的带一带跃迁峰, 其半高宽小于 1MeV, 这表明材料的质量很好。导带—受主能级的跃迁峰虽然弱, 但很清楚。对于 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的样品, 带一带跃迁和带—受主能级的跃迁峰可以完全分开。当掺杂浓度增加到 $3.7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 时, 虽然带一带跃迁和导带—受主能级跃迁峰不能完全分开, 但仍能确定峰位。当掺杂浓度继续增加到 $1.7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 时谱成为对称的(除在高能边有费密能级肩膀之外)。由图 1(a)—1(c) 看出, 导带到受主能级(带)跃迁的峰位保持不变 (12052cm^{-1} , 1.494eV)。这表明当掺杂浓度增加时杂质能级(带)相对导带的位置不变。这表明, 带隙随掺杂浓度的变窄是由于价带上移造成的, 即 Be 离子与空穴的库仑相互作用是 p-GaAs 带隙变窄的主要原因。这可能就是 Casey 和 Stern 理

论(不包括多体效应)与实验拟合得比较好的原因。

图 2 给出浓度为 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的样品在 77K 下的光致荧光谱。带一带跃迁和导带一受主能级跃迁峰。

表 1 给出带隙变窄 ΔE_G 的实验结果与用(1)式计算的结果。

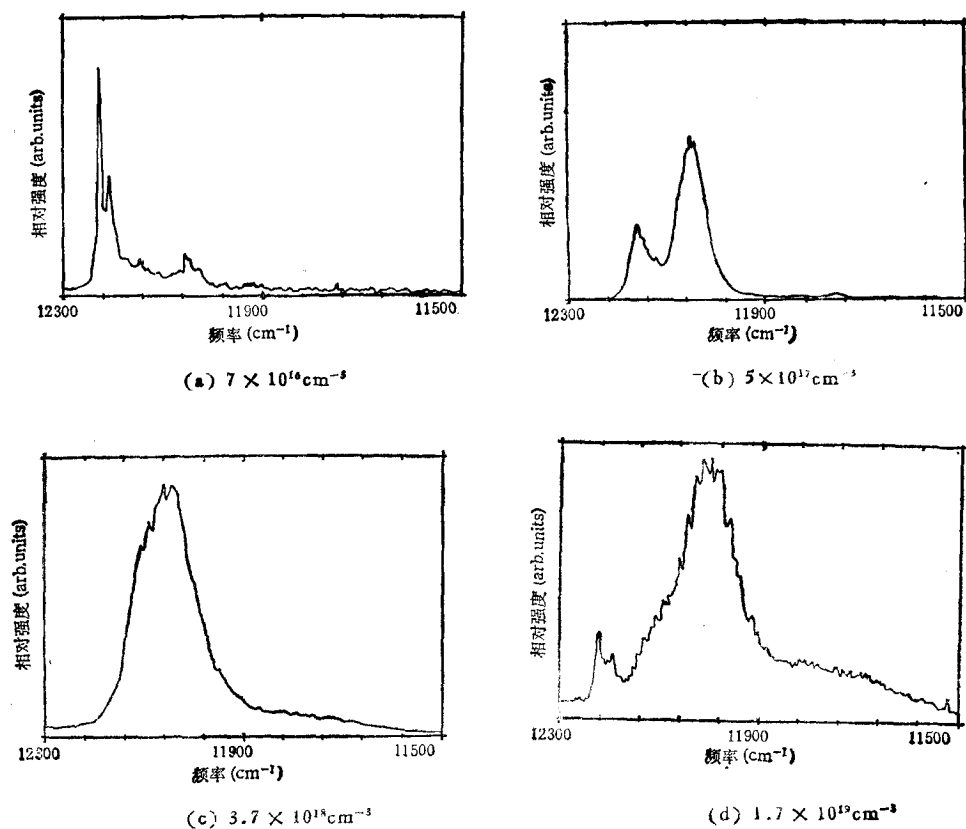


图 1 掺 Be 的 GaAs 在 4.2 K 下的光致荧光谱

从表 1 看出, 计算值与实验值的差别主要是由浓度测量误差造成的。测量结果表明, $\Delta E_G^{77\text{K}} < \Delta E_G^{4.2\text{K}}$ 。目前尚不清楚导致这一结果的原因。我们知道, 当温度升高时带隙也变窄, 对于纯 GaAs, 带隙与温度的关系已经确定, 但是对掺杂材料导带、价带及杂质能级的相对位置如何变化尚不清楚。我们正在准备这方面的实验。也许实验结果有助于解释这一差别。

总之, 根据分子束外延的(110)方向的掺 Be 的 GaAs 光致荧光峰位的移动, 得到 p-GaAs 带隙随掺杂浓度的变化, 并且得出结论: p-GaAs 带隙随掺杂浓度的增加而变窄主要是由于价带的上移造成的, 受主能级

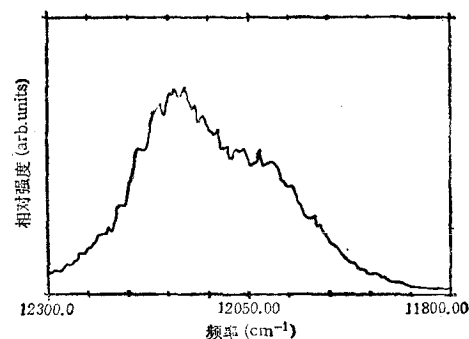


图 2 掺 Be 浓度为 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的 GaAs 在 77K 下的光致荧光谱

(带) 相对导带的位置保持不变。所以 p-GaAs 的杂质电离能随掺杂浓度的增加而降低。

表 1

掺杂浓度 (cm^{-3})	$\Delta E_G(\text{MeV})$		
	4.2K	77K	计 算
7×10^{10}	3	0	6.6
5×10^{17} (3×10^{17})	11	2	12.7 (10.7)
3.7×10^{18} (1.3×10^{18})	24	17	25 (17.5)
1.7×10^{19} (5×10^{18})	31	25	41 (27.4)

- [1] R. A. Abram, G. J. Rees and B. I. H. Wilson, *Adv. Phys.*, 27(1978), 799.
- [2] J. L. Pankove, *Phys. Rev.*, A140(1965), 2059.
- [3] H. C. Casey, D. D. Sell and K. W. Welcht, *J. Appl. Phys.*, 46(1975), 250.
- [4] H. C. Casey and F. Stern, *J. Appl. Phys.*, 47(1976), 631.
- [5] L. P. Zverev, S. A. Neyashev and M. Minkov, *Sov. Phys. Semicond.*, 11(1977), 603.
- [6] D. Olego and M. Cardona, *Phys. Rev.*, B22(1980), 886.
- [7] R. C. Miller, D. A. Klenman, W. A. Nordland, Jr. and R. A. Loran, *Phys. Rev.*, B23(1981), 4399.
- [8] B. E. Sernelius, *Phys. Rev.*, B33(1986), 8582.
- [9] B. E. Sernelius, *Phys. Rev.*, B34(1986), 5610.
- [10] H. S. Bennett, *J. Appl. Phys.*, 60(1986), 2866.
- [11] H. S. Bennett and J. R. Lowney, *J. Appl. Phys.*, 62(1987), 52.
- [12] G. Burghs, K. Bhattacharyya, K. Deneffe, P. Van Mieghom and R. Mertens, *J. Appl. Phys.*, 66(1989), 4381.

THE EFFECT OF DOPING CONCENTRATION ON BAND-GAP NARROWING OF p-TYPE GaAs

CHENG WEN-QIN MEI XIAO-BING LIU SHUANG LIU YU-LONG

LI YONG-KANG ZHOU JUN-MING

Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080

(Received 24 June 1991)

ABSTRACT

The band-gap narrowing of p-type GaAs as a function of doping concentration has been investigated by photoluminescence spectroscopy on samples grown by molecular beam epitaxy on (110) semi-insulating GaAs. It was first found that the band-gap narrowing of p-type GaAs comes from the moving up of valence band, the location of dopant level (band) remains unchanged relative to conduction band, and the ionization energy decreases with the increase of doping concentration.

PACC: 7855