

研究快报

嵌入在 Si 衬底上的分子束外延 GaAs 层的 微区喇曼和光致发光分析

李国华 梁基本 韩和相 汪兆平 孔梅影

(“半导体超晶格”国家重点实验室,中国科学院半导体研究所,北京)

1989年8月18日收到

对分子束外延生长的嵌入在 Si 衬底上的边长为 20—150 μm 正方形 GaAs 层微区进行了微区喇曼和光致发光分析。发现微区 GaAs 层的喇曼散射谱和光致发光谱与普通平面 Si 片上生长的 GaAs 层的基本相同,证实嵌入式生长可以得到与通常平面生长基本相同的质量。仔细的分析表明随着微区尺寸的减小 GaAs 层的无序程度有少许增长。

主题词 喇曼散射,光致发光, GaAs/Si, 分子束外延

近年来 GaAs/Si 异质外延生长受到越来越多的重视,因为它可以把 GaAs 的光电特性和高速性能和 Si 的器件和工艺特性结合在一起。利用分子束外延技术已经可以在平面 Si 片上生长出满足器件制作要求的优质 GaAs 外延层并做成各种器件^[1]。但从器件应用的角度来看,希望外延生长的 GaAs 层与 Si 衬底的表面能处在同一平面内。嵌入式分子束外延生长可以满足这一要求^[2]。首先在 Si 衬底上腐蚀出几微米深的方阱,然后用分子束外延方法在阱中生长 GaAs 层直至将阱填平,最后去除阱外的 GaAs 层露出 Si 衬底就可以得到与 Si 衬底共平面的一个个 GaAs 微区,可以进行各种器件制作。采用适当的腐蚀工艺和合适的生长条件可以使这样生长出的微区 GaAs 层具有与通常平面 Si 片上生长的 GaAs 层相近的质量。Boeck 等^[3]曾用显微形貌分析和低温光致发光分析证实了这一点。但他们未对微区 GaAs 层的质量随微区尺寸的变化进行研究。

喇曼散射和光致发光经常用作评价 GaAs/Si 外延层质量的一种方便手段^[4,5]。采用显微喇曼和光致发光技术,可以对嵌入式生长的微区 GaAs 层的质量进行评价和研究。本文报道了对边长分别为 20, 50, 100 和 150 μm 的方阱中生长的 GaAs 层的微区喇曼和光致发光分析。证实它们具有与平面 Si 片生长的 GaAs 层相近的质量,并研究了微区 GaAs 层质量随微区尺寸的变化。

用 3 英寸的轻掺 P 的 Si 片作为衬底,晶向为(001)偏向(110)方向 4° 。在硅片上生长 400nm 厚的 SiO_2 层,然后用标准的光刻技术做出边长 d_w 为 20, 50, 100, 150 μm 的四种方形窗口,图形间隔 d_B 为 10 μm 。用 $\text{HNO}_3:\text{HF}$ (19:1) 混合液将方形图形腐蚀成深约 2 μm 的方阱。用分子束外延方法在阱中生长约 2 μm 厚的掺 Si 的 GaAs 层 ($N_D = 7 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$) 将阱填平。首先生长 200—300nm 的缓冲层,然后在 570—600 $^\circ\text{C}$ 下继续

生长 GaAs 层至足够厚。样品制备的具体细节和形貌分析分别见文献 [2] 和 [3]。图 1 给出了样品结构的截面示意图。Si 片的另一部分不作光刻以进行普通的平面 Si 片上的 GaAs 外延生长作为对照来与嵌入法生长进行比较。

微区喇曼分析在 J-Y T 800 喇曼光谱仪上进行。采用近背散射配置。用一显微镜物镜代替通常的聚焦透镜以得到较小的束斑直径 (3—5 μm)。光斑在样品上的位置用一长焦距显微镜监测。激发光源为 Ar 离子激光器的 5145 \AA 线。至样品上功率小于 100mW。测量在室温下进行, 系统分辨率约 3 cm^{-1} 。显微光致发光分析在自建的显微光谱系统上进行^[6]。光斑直径约 3 μm , 激发光源为 Ar 离子激光器的 5145 \AA 线, 至样品上功率小于 10mW, 用双光栅单色仪 GDM 1000 分光并采用光子计数系统。测量时样品粘在浸在液氮中的冷指上。

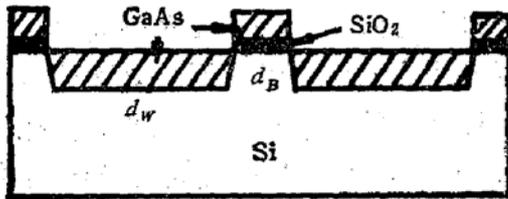


图 1 样品结构示意图

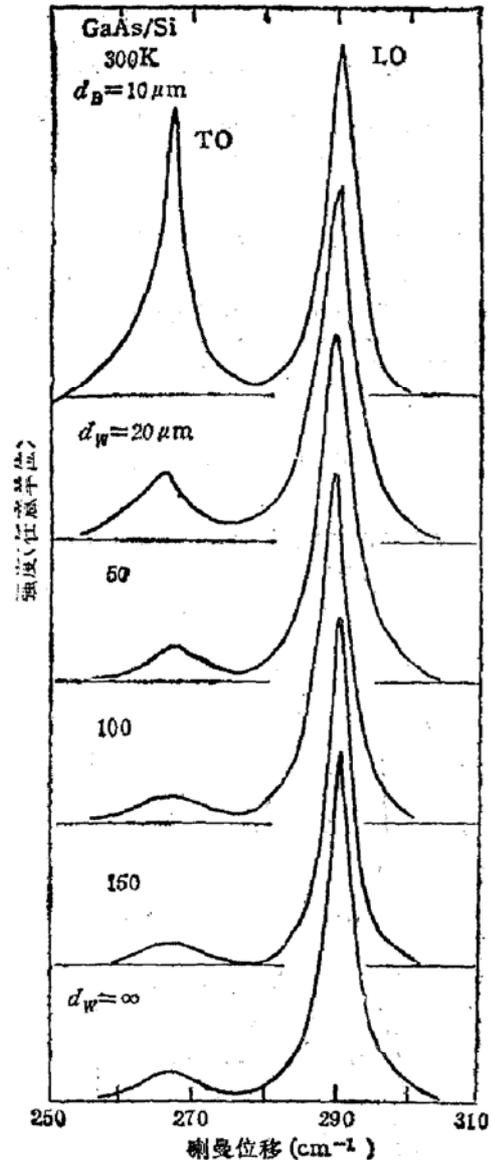


图 2 嵌入法生长的 GaAs/Si 层的微区喇曼谱

图 2 给出了嵌入法生长的 GaAs 层的微区喇曼谱。微区的边长 d_W 已在谱旁标出。图中同时给出了对照区的通常的平面 Si 片上生长的 GaAs 层的喇曼谱 (用 $d_W = \infty$ 表示) 和在方阱间隔部分测得的在 SiO_2 上生长的多晶 GaAs 的喇曼谱 (用 $d_B = 10\mu\text{m}$ 表示) 以作比较。所有的谱均已按其 LO 峰的峰值强度归一化。在图中可以看到一个强的 LO 峰和一个弱的 TO 峰。LO 峰和 TO 峰的峰值位置 ω_{LO} , ω_{TO} , LO 峰的半宽 Δ_{LO} 及 TO 峰和 LO 峰的峰值强度比 $I_{\text{TO}}/I_{\text{LO}}$ 均在表 1 中列出。对于晶向为 (001) 方向的 GaAs 单晶, 其 LO 模是 Raman 活性的, 而 TO 模是禁戒的。因此在它的喇曼谱中只能见到 LO 峰。但在 Si 衬底上生长的 GaAs 层中, 由于对 (001) 晶向的稍许偏离、结构无序和内应变的影响, 其喇曼谱中通常可以看到弱的 TO 峰。同时 LO 峰的峰值位置和半宽也有所改变。通常认为 LO 峰的峰值位置主要与内应力有关, LO 峰的半宽和 TO 峰的强弱主要与无序程度有关, LO 峰半宽较小, TO 峰较弱, 表明 GaAs 层质量越好^[5,8]。图 2 中对对照区的平面 Si 片上生长的 GaAs 层的喇曼谱中只有很弱的 TO 峰 ($I_{\text{TO}}/I_{\text{LO}} = 0.06$) 表

表 1 嵌入法生长的微区 GaAs 层的喇曼和光致发光测量结果

阱宽 $d_w(\mu\text{m})$	Raman				PL		
	$\omega_{\text{TO}}(\text{cm}^{-1})$	$\omega_{\text{LO}}(\text{cm}^{-1})$	$\Delta_{\text{LO}}(\text{cm}^{-1})$	$I_{\text{TO}}/I_{\text{LO}}$	$E_r(\text{eV})$	$E_h(\text{eV})$	δ/I_h
∞^*	267.5 ± 0.5	290.5 ± 0.5	4.2 ± 0.5	0.06 ± 0.01	1.491 ± 0.002	1.477 ± 0.002	0.024 ± 0.005
150	268.0 ± 0.5	291.0 ± 0.5	4.0 ± 0.5	0.07 ± 0.01	1.492 ± 0.002	1.478 ± 0.002	0.057 ± 0.005
100	267.5 ± 0.5	290.0 ± 0.5	5.1 ± 0.5	0.07 ± 0.01	1.491 ± 0.002	1.478 ± 0.002	0.034 ± 0.005
50	267.5 ± 0.5	290.0 ± 0.5	5.5 ± 0.5	0.11 ± 0.01	1.491 ± 0.002	1.477 ± 0.002	0.026 ± 0.005
20	266.5 ± 0.5	290.2 ± 0.5	6.0 ± 0.5	0.19 ± 0.01	1.489 ± 0.002	1.478 ± 0.002	0.010 ± 0.005
10^{**}	267.0 ± 0.5	291.0 ± 0.5	4.0 ± 0.5	0.82 ± 0.01	1.483 ± 0.002		—

* 平面 Si 上生长的 GaAs 层. ** 阱之间的间隔区 SiO_2 上生长的多晶 GaAs 层

明在这样的生长条件下长得的 GaAs 层有相当好的质量。与此作对比的是在间隔部分

测得的 SiO_2 上生长的多晶 GaAs 层的喇曼谱，其中 TO 峰强度已接近 LO 峰的强度($I_{\text{TO}}/I_{\text{LO}} = 0.82$)。在嵌入法生长的微区 GaAs 层上测得的喇曼谱与平面 Si 片上生长的 GaAs 层的基本相同，表明嵌入法生长的微区 GaAs 层的质量已可以与普通的平面 Si 片上生长的 GaAs 层相比。从表 1 给出的数据可以看到，不同微区的 LO 峰和 TO 峰的峰值位置没有明显的变化，表明各微区中内应力的情况基本相同。而 LO 峰的半宽和 TO 峰的相对强度 $I_{\text{TO}}/I_{\text{LO}}$ 均随微区尺寸的减小而逐渐增加，表明 GaAs 层的无序程度随微区尺寸的减小逐渐增大。到 $d_w = 20 \mu\text{m}$ 时， $I_{\text{TO}}/I_{\text{LO}}$ 已是对照区的 3 倍左右，表明在这样小的区域中进行器件制作时应考虑到结构无序对器件质量的影响。

图 3 给出了在 77 K 下测得的嵌入法生长的 GaAs 层的微区光致发光谱。图中也给出了对照区的平面 Si 片上生长的 GaAs 层的和间隔区的 SiO_2 上生长的多晶 GaAs 层的光致发光谱以作对照。所有谱均按其最强峰归一化。各谱对应的微区边长 $d_w(d_B)$ 和最强峰峰值强度间的关系均在谱旁标出。可以看到除了间隔区的 SiO_2 上生长的多晶 GaAs 层的光致发光谱外其它谱的谱形和强度基本相同。表明嵌入法生长的微区 GaAs 层与通常平面 Si 片生长的 GaAs 层有相同的光致发光特性。这与

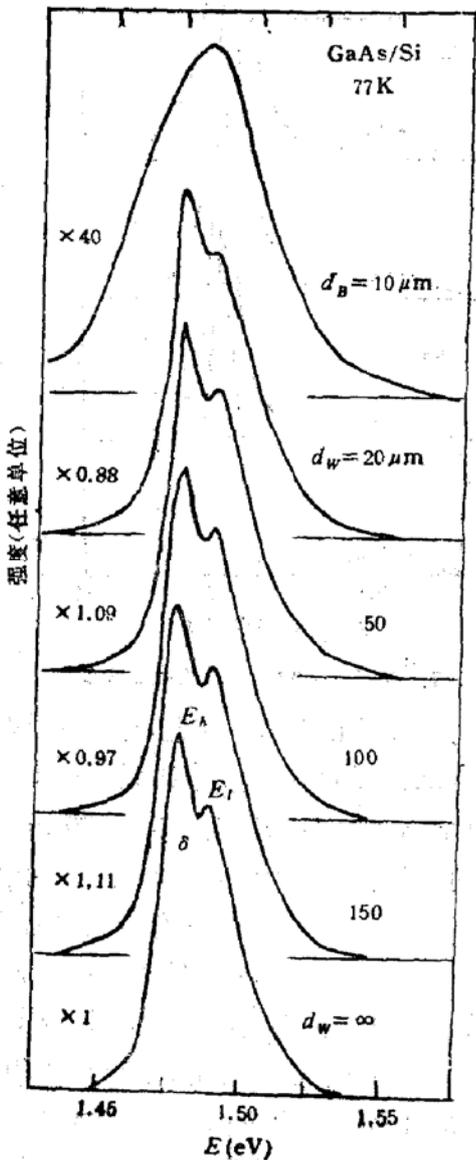


图 3 嵌入法生长的 GaAs 层的微区光致发光谱

Boeck 等的结果一致^[3]。单晶 GaAs 的 77K 光致发光谱通常是一个锐的峰，峰值能量为

1.508 eV. 而在 Si 衬底上生长的 GaAs 层的 77K 光致发光谱通常为双峰结构. 这是由于内应力使原来简并的价带发生移动和分裂, 形成两个能带, 其中能量较高的带是轻空穴带, 较低的带是重空穴带^[5,7,9]. 因此在光致发光谱中分别出现导带到重空带和轻空穴带的二个发光峰. 在图 3 中分别用 E_h 和 E_l 表示. 由于在 77K 下这两个峰都比较宽, 因此光致发光谱表现为两峰之间有一谷的双峰结构. 为了比较各峰的半宽的差别, 我们用谷点与 E_l 峰峰值点的差 δ 与 E_h 峰的峰值强度之比 δ/I_h 作为评价光致发光峰的半宽的一个参考数值. E_h , E_l 峰的峰值能量和 δ/I_h 均在表 1 中列出. 从表中看到, 各微区的 E_h , E_l 峰的峰值能量基本相同. 再一次证实各微区中内应力基本相同. 而 δ/I_h 随着微区尺寸的减小而逐渐减小, 表明随着微区尺寸的减小, 无序程度增加, E_h , E_l 峰半宽逐渐增加, 两峰交迭变大, 因而谷逐渐变平. 这与显微喇曼分析的结果是一致的.

图 3 中间隔区的 SiO₂ 上生长的多晶 GaAs 层的光致发光谱的强度很弱, 且分辨不出双峰结果, 也与 Boeck 等人的结果相符^[3].

从上述微区喇曼分析和光致发光分析可以看到嵌入法生长的微区 GaAs 层具有与通常的平面 Si 片生长 GaAs 层基本相同的质量. 仔细分析表明, 各微区 GaAs 层中的内应力情况基本相同, 无序程度随着微区尺寸的减小略有增加. 对于尺寸小于 20 μm 的器件制作, 需要考虑结构无序对器件特性的影响.

感谢比利时联合大学微电子中心 R. Merlerus 教授、G. Borghs 和 J. De. Boeck 博士的合作.

参 考 文 献

- [1] R. J. Fischer, N. Chand, W. Koop, C. K. Peng, H. Morkoc, K. R. Gleason and D. Scheitlin, *IEEE Trans. Electron. Devices*, **ED-33**, 206 (1986)
- [2] J. B. Liang, J. De Boeck, R. Mertens and G. Borghs, *J. Physique C4*, 701 (1988).
- [3] J. De Boeck, J. B. Liang, K. Deneffe, J. Vanhellermon, D. J. Arent, C. Van Hoof, R. Mertens and G. Borghs, *Appl. Phys. Lett.*, **53**, 1071 (1988).
- [4] Y. Huang, P. Y. Yu, M. Charasse, Y. Lo and S. Wang, *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 192 (1987).
- [5] Y. Huang, P. Y. Yu, H. Lee and S. Wang, *Appl. Phys. Lett.*, **52**, 579 (1988).
- [6] 李国华, 赵学恕, 韩和相, 汪兆平, 唐汝明, 胡敬竹, *半导体学报*, **5**, 558 (1984).
- [7] S. Zemon, S. K. Shastry, P. Norris, C. Jagannath and G. Lambert, *Solid State Commun.*, **58**, 457 (1986).
- [8] G. Landa, R. Carls, C. Fentaine, E. Bedel and A. M. Yagüe, *J. Appl. Phys.*, **66**, 196 (1989).
- [9] H. Lee, S. Wang, Y. Huang and P. Y. Yu, *Appl. Phys. Lett.*, **52**, 215 (1988).

Micro-Raman and Photoluminescence Studies of Embedded GaAs on Si by Molecular Beam Epitaxy

Li Guohua, Liang Jiben Han Hexiang, Wang Zhaoping, and Kong Meiyong

*(National Laboratory for Superlattices and Related Microstructures,
Institute of Semiconductors, Academia Sinica)*

Abstract

The micro-Raman and photoluminescence (PL) spectra of embedded MBE grown GaAs on Si in wells with width of 20—150 μm have been measured. It is found that the Raman and PL spectra of embedded GaAs layers are similar to that of the conventional large area GaAs on Si. It demonstrates that the crystal quality of embedded GaAs on Si is comparable to that of large area GaAs on Si. Detailed analyses show that the disorder in embedded GaAs layers increases slightly with the decrease of well width.

Key words Raman scattering, Photoluminescence, GaAs/Si, MBE