

# GaAs/AlGaAs 单量子阱中 界面粗糙度散射

王杏华 郑厚植

(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 100083)

余 涛 Reino Laiho

(芬兰图尔库大学 Wihuri 物理研究所)

**摘要** 对三种不同生长条件、不同质量的 GaAs/AlGaAs 单量子阱进行了输运性质和光致发光谱的研究。在低迁移率的样品中, 界面粗糙度对二维电子气的散射起主导作用。我们的研究也表明了: 采用  $(\text{GaAs})_x/(\text{AlAs})_{1-x}$  超晶格代替常规的 AlGaAs 层, 或在异质结界面生长过程中的停顿, 都能有效地减少界面粗糙度。

**PACC:** 0365, 6865, 7340L

## 1 引言

量子阱的电学和光学特性乃至器件性能都直接受其界面质量的影响, 对 GaAs/AlGaAs 量子阱来说, GaAs 和 AlGaAs 两种材料的晶格匹配, 异质结界面通常平滑、完善, 界面散射可忽略不计。只有在窄阱时, 例如阱宽小于  $60\text{ \AA}$ , 才考虑它们的影响<sup>[1,2]</sup>。但是, 如果在样品制备过程中, 结构、工艺条件选择与控制不好, 即使阱比较宽(如  $100\text{ \AA}$ ), 异质结界面也可能出现几何上的不平整, 它产生的粗糙度势场(短程势)使量子阱中的二维电子气受到散射, 电学和光学性能变差。为了进一步了解生长工艺和结构参数对界面质量的影响, 我们对不同生长条件、不同层结构的三种样品进行了输运和光致发光特性的研究。

## 2 样品结构

三种样品都是分子束外延生长的。GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 对称单量子阱结构, 阵宽及其两边的隔离层厚度均为  $100\text{ \AA}$ , 隔离层外侧是对称生长的掺杂层、厚度为  $500\text{ \AA}$ 。样品 A 的制备过程为常规工艺条件, 没有采取任何有效措施来改善界面质量。因而界面粗糙, 迁移率低,  $4.2\text{ K}$  时,  $\mu_s = 3000\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 。而样品 B 和 C 的制备过程中, 是在样品 A 的

常规工艺基础上加入了一些有效措施使界面平滑：样品B中的隔离层、掺杂层全部由 $(\text{GaAs})_4/(\text{AlAs})_2$ 超晶格代替；在样品C上、下两个异质结界面处，生长停歇了60秒钟。这两种样品的迁移率明显地提高了， $\mu_s = 3.5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ， $\mu_e = 6.2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ，样品的结构参数列在表1中。

表 1 样品参数

参数 \ 样品	A	B	C
载流子浓度 $N_s (10^{11} \text{ cm}^{-2})$	12.5	7.18	11.5
迁移率 $\mu (10^3 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$	3	35	62
隔离层、掺杂层结构	AlGaAs	$(\text{GaAs})_4/(\text{AlAs})_2$	AlGaAs
界面生长停歇时间 (s)	0	0	60

### 3 实验结果与讨论

#### 3.1 输运性质

在低温超导磁场下，对三种不同的样品进行了量子化霍耳效应及 Shubnikov-de-Haas (SdH) 磁阻振荡测量。由霍耳电阻  $R_{xy}(B)$  和 SdH 振荡电阻  $R_{xx}(B)$  计算得到磁导与磁场的关系曲线  $\sigma_{xx}-B$  如图1所示。由零磁场下电导和低场下朗道能级的展宽<sup>[3]</sup>可求出输运散射时间和量子散射时间。

在低迁移率样品A中，两个散射时间都很小，且十分接近。反映出该样品中，短程散射起主要作用，量子阱是非掺杂的，不可能是阱内的本底杂质或离子散射，因此推测另一种短程势-界面粗糙度起作用。界面粗糙度通常用二个参量来表征：界面上起伏的高度差  $\Delta$  和横向起伏的平均周期  $\Lambda$ 。温度在80K以下，界面粗糙度所限定的迁移率随温度的变化主要由  $\Lambda$  决定而几乎与  $\Delta$  无关。我们研究了4.2—80K范围内迁移率与温度的依赖关系，并将实验数据和理论<sup>[1]</sup>进行比较得到样品A具有界面粗糙度为： $\Delta = 3 \text{ \AA}$ ， $\Lambda = 50 \text{ \AA}$ 。不出所料，样品A中的界面的确十分粗糙，它引起的散射远远超过了 AlGaAs 掺杂层中离化杂质的库仑散射作用，致使迁移率严重变低。

样品B和C，输运散射时间、量子散射时间以及它们的比值都比样品A的值大得多（见表2）。这表明了该两种样品中，界面质量大大改进了，粗糙度散射退居次要地位，离化杂质散射起主导作用，它们的迁移率提高了。我们的结果与其他作者的实验结果一致<sup>[4,5]</sup>。

#### 3.2 光致发光光谱

在4.2—200K范围内研究了上述三种样品的光致发光光谱，如图2所示。光致发光光谱对量子阱的界面质量也是十分敏感的，线宽是界面平滑的一种量度<sup>[6]</sup>。从图2可以看出，样品A的光致发光光谱线宽、讯号弱。4.2K时半高宽度（FWHM）为35meV，当温度超过140K，光致发光讯号很小已无法检测出来。样品A的粗糙界面在光学过程中是一种非辐射复合中心，它使谱线变宽、发光效率低。样品B和C的光致发光光谱十分相似，都具有非常窄而强的荧光峰。4.2K下 FWHM = 3meV，200K时依然可以观察

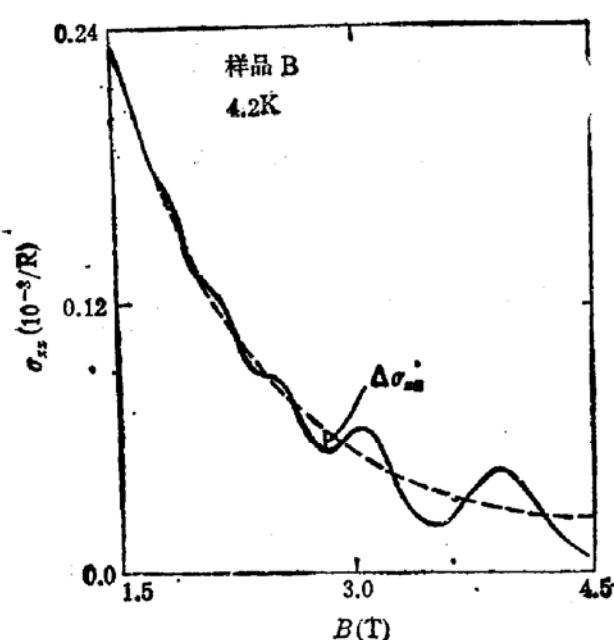


图1 磁导与磁场的关系图

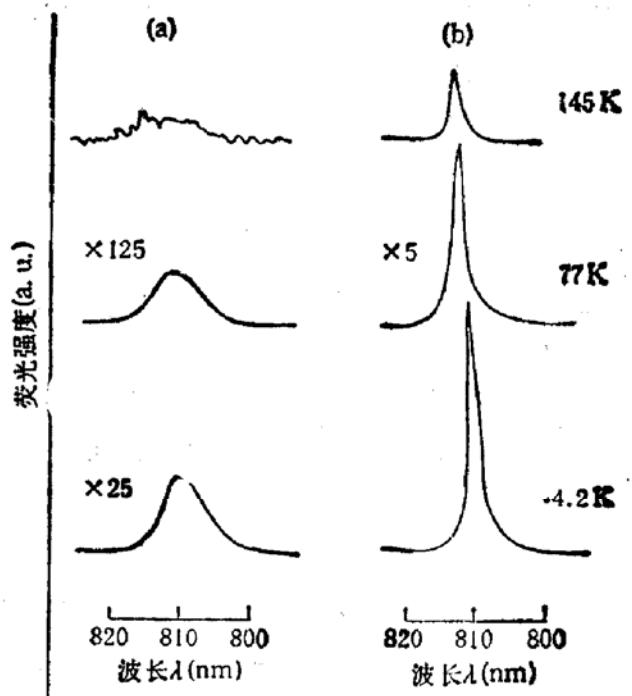


图2 不同温度下 GaAs/AlGaAs 单量子阱的光致发光光谱 (a) 样品 A (b) 样品 B, 样品 C 的光致发光光谱与样品 B 的相类似

表2 GaAs/AlGaAs 量子

	A	B	C
输运散射时间 $\tau_0$ (ps)	0.116	1.34	2.38
量子散射时间 $\tau_q$ (ps)	0.111	0.227	0.45
$\tau_0/\tau_q$	1.05	5.90	5.29
光致发光波长(Å)	8107	8101	8080
线宽 FWHM (meV)	35	3	3
$T^*$ (K)	140	>200	>200

$T^*$  为观察到光致发光讯号的最高温度

到讯号。实验结果清楚地表明了样品 B 和 C 的界面质量比样品 A 好得多，无论是用  $(\text{GaAs})_4/(\text{AlAs})_2$  超晶格替代 AlGaAs 层(样品 B)，还是在生长异质结过程中停顿 60 秒钟(样品 C)，都能十分有效地使量子阱的界面变得平滑。

## 4 结论

对不同质量的量子阱样品进行了电学和光学性质的研究。在界面起伏不平整的样品 A 中，粗糙度散射起着支配作用，迁移率低，两个特征散射时间都很小；由简单模型估算出界面粗糙度为： $\bar{A} = 3 \text{ Å}$ ， $A = 50 \text{ Å}$ 。同样，由于界面质量差，存在着大量非辐射复合中心，荧光光谱为一展宽、低矮的荧光峰。

将样品 A 结构中的 AlGaAs 层用超晶格代替，或在异质结界面间断生长制备出样品 B 和 C，实验显示出它们的散射时间大大提高了，荧光峰变尖、讯号变强了。我们得出结

论,为了改善量子阱的界面质量,在分子束外延生长中,选择合适的层结构和好的生长条件是十分必要的。

### 参 考 文 献

- [1] H. Sakaki, T. Noda, K. Hirakawa, M. Tanaka and T. Matsusue, *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**: 1934.
- [2] A. Gold, *Phys. Rev.*, 1987, **B35**: 723.
- [3] T. Ando, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 1974, **37**: 1233.
- [4] F. F. Fang, T. P. Smith III and S. L. Wright, *Sur. Sci.*, 1988, **196**: 310.
- [5] J. P. Harrang, R. J. Higgins, R. K. Goodall, P. R. R. Jay, M. Lavirot and P. Delescluse, *Phys. Rev.*, 1985, **B32**: 8126.
- [6] M. Tanaka and H. Sakaki, *J. Cryst. Growth*, 1987, **81**: 153.

## Interface Roughness Scattering in GaAs/AlGaAs Single Quantum Wells

Wang Xinghua and Zheng Houzhi

(National Laboratory for Superlattices and Microstructures and Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Yu Tao and Reino Laiho

(Wihuri Physical Laboratory, University of Turku, Turku 20500, Finland)

**Abstract** Transport properties and photoluminescence spectra have been studied in three types of GaAs/AlGaAs single quantum wells with very different growth condition and quality. For low mobility samples, it is found that interface roughness scattering to two dimensional electron gas is a dominant scattering mechanism. Our work also shows that reduction of the interface roughness can be achieved by either replacing conventional AlGaAs layers by  $(\text{GaAs})_4/(\text{AlAs})_2$  superlattices or employing growth interruption at the heterointerfaces.

**PACC:** 0365, 6865, 7340L