

Au-GaAs(111) 界面特性的研究

何丕模 罗晋生

(西安交通大学电子工程系)

刘 古

(浙江大学物理系)

1988年11月28日收到

我们对 Au-GaAs(111) 界面进行了角分辨 AES 和 UPS 研究。分析了 Au、Ga 和 As 原子在热退火前后的界面行为，同时由功函数变化定性地讨论了界面势垒的形成。

主题词 界面，原子扩散，偏析，功函数变化

一、引言

金属半导体接触的研究历来是引人注目的课题。对于 GaAs 来说，由于它在高速器件方面的应用前景^[1]，研究金属和 GaAs 接触的界面特性就更具有重要意义。有关 3d 金属与 GaAs 接触界面特性的研究工作已有很多^[2-4]。这里，我们报道用 ADES-400 角分辨电子谱仪对 Au-GaAs(111) 界面进行角分辨 AES 和 UPS 的研究结果。

二、实验

实验是在浙江大学中心实验室 VG ADES-400 角分辨电子谱仪上进行的。该谱仪配备有 Ar⁺ 离子溅射、LEED、AES 及 UPS 装置。分析器可转动以实现角分辨谱的测量。

置于高真空中的 GaAs(111) 样品，经过几次 Ar⁺ 离子轰击、退火 (IBA) 循环后，可得到清洁表面，LEED 图像为 (2×2)。分数点很弱，周围伴有线状。然后，在 GaAs(111) 面上覆盖 Au。Au 源是熔在碘钨灯丝上的 Au，控制灯丝加热的电流和时间，即可得到不同厚度的 Au 覆盖层。其厚度可由角分辨 AES 分析或者由 Auger 电子强度的变化进行估计。

对于不同 Au 厚度的样品，分别测量了退火前后 Au、Ga 和 As Auger 主峰的角分辨谱及 UPS 谱。

三、结果与讨论

1. 界面成份分析

从体内原子 A 以极角 θ 出射的 Auger 电子强度 $I_A(\theta)$ 为^[5]:

$$I_A(\theta) \propto \int \rho_A(z) e^{-\frac{z}{\lambda_A \cos \theta}} dz \quad (1)$$

式中, λ_A 为 Auger 电子平均自由程, $\rho_A(z)$ 为原子 A 的密度分布, z 由表面伸向体内。
(1) 式的重要应用在于极分辨 AES 具有非破坏性深度剖析效应, 并且, 通过选取适当的密度函数, 由(1)式得 A 原子的理论极分辨 AES 曲线, 与实验曲线作最小二乘方拟合, 就可得最佳密度函数, 进而求得原子成份随深度的分布。

对于蒸 Au 时间为 5min 的 Au 覆盖表面, 在 (150°C, 5min) 退火前后 Au(72.8eV) Auger 电子极分辨实验曲线如图 1 和图 2。对上述实验曲线进行曲线拟合分析, 结果发现, 退火前(室温)、退火后 Au 原子密度函数 ρ_{Au}^N 和 ρ_{Au}' 分别取如下形式:

$$\rho_{Au}^N(z) = \begin{cases} \rho_{Au} & (0 < z < d) \\ 0 & d < z \end{cases} \quad (2)$$

$$\rho_{Au}'(z) = \rho'_{Au} e^{-\frac{z}{\lambda_A}} \quad (3)$$

最好, 拟合曲线同时在图 1 和图 2 中给出。拟合得到 $d = 3.5 \text{ \AA}$, $\lambda_A = 4.9 \text{ \AA}$, $\rho'_{Au} = 0.7 \rho_{Au}$, 即室温下蒸 Au 时间为 5min 的 Au 覆盖层厚度为 3.5 \AA , 退火后 Au 表面浓度下降。另一方面, 这一结果表明室温下 Au 原子基本上不扩散, 而热退火, Au 原子的内扩散则很大。

对于 As、Ga 原子的界面行为分析, 我们给出了 (150°C, 5min) 退火后 Ga、As 的 Auger 主峰强度 I_{Ga}^A 和 I_{As}^A 分别与室温下(退火前)强度 I_{Ga}^N 、 I_{As}^N 的比值 I_{Ga}^A/I_{Ga}^N 和 I_{As}^A/I_{As}^N 随极角 θ 的变化曲线, 如图 3。由于极角 θ 越大, Auger 表面灵敏度就越大。

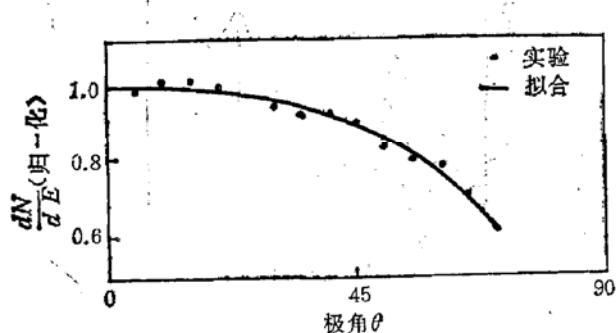


图 1 室温下 Au(72.8eV) Auger 极分辨实验和拟合曲线

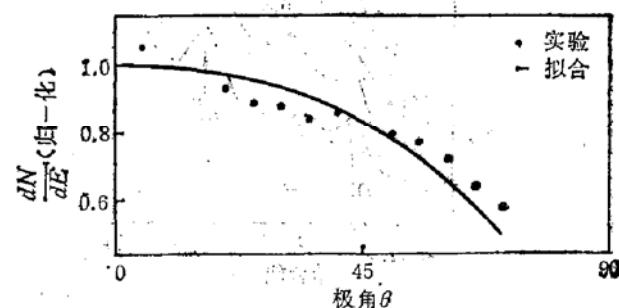


图 2 (150°C, 5min) 退火后 Au(72.8eV) Auger 极分辨实验和拟合曲线

I_{Ga}^A/I_{Ga}^N 随极角 θ 增大而有所减小, 定性地得出 Ga 原子在热退火后的分布平均地略深于退火前的分布。而对于 As, I_{As}^A/I_{As}^N 在小角度范围随极角 θ 增大而减小, 在大角度范围随 θ 增大而增大, 后者主要是热退火后 As 偏析成份(见下一节)的贡献; 前者, 我们认为是由于退火后 As 原子(除偏析成份之外)的体成份平均地深于退火前

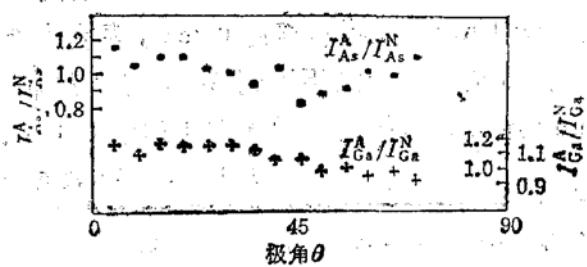


图 3 Ga、As Auger 强度 (150°C, 5min) 退火后、前相对比随 θ 的变化

的分布引起的。由于 As、Ga 原子，特别是 As 的界面成份比较复杂，有偏析成份，我们没有进行曲线拟合分析。

2. UPS 结果

为了进一步分析 Au-GaAs(111) 界面特性，我们测量了清洁表面及不同 Au 覆盖层表面的 UPS (HeI: $\hbar\omega = 21.2\text{eV}$)，同时由 UPS 二次电子截止能量的测量得到功函数变化 $\Delta\varphi$ (图 4—图 6)。

图 4 中，清洁表面的 UPS 有三个峰，分别标为 DB₁、DB₂ 和 BB，与 Jacobi^[6] 在 GaAs (111) 清洁表面上得到的 UPS 基本相符，其中，DB₁ 和 DB₂ 与 As 悬键有关，他们认为 BB 峰源于 As 背键。室温下少量 Au 覆盖后，就有 Au(5d)4.5eV 峰出现，DB₂ 峰消失。随着 Au 覆盖量的增大，DB₁ 峰也消失，Au(5d)4.5eV 峰增大，BB 峰左移，最后 UPS 谱变为 Au(5d)4.5eV 和 6.5eV 双峰^[7]。

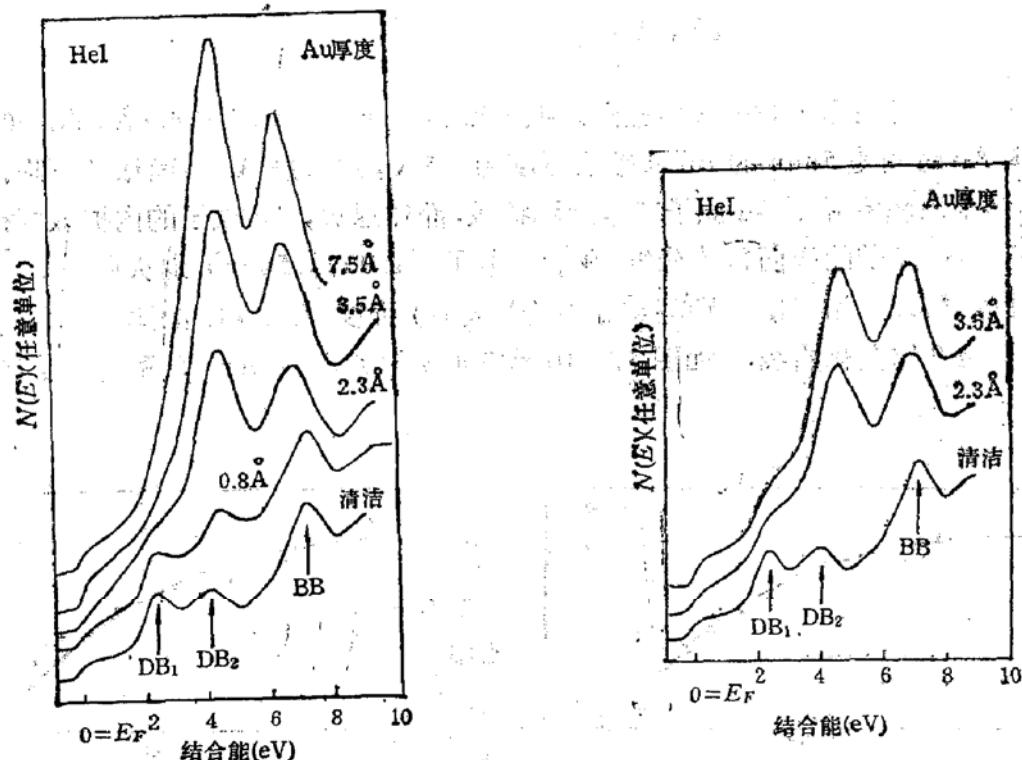


图 4 室温下不同 Au 覆盖层表面的 UPS

图 5 100°C 退火后不同 Au 覆盖层表面的 UPS

在经 (100°C, 5min) 退火后的 UPS (图 5) 中，可明显地看出有 As 悬键 DB₁ 峰出现。这一结果不仅表明 As 原子外扩散；同时还说明，Au 覆盖表面经热退火，存在有 As 偏析。谱中 Au(5d) 峰右移约 0.2eV，表明热退火后有界面合金形成。

图 6 给出了室温下不同 Au 覆盖量表面的功函数变化。不同 Au 覆盖量样品经 (100°C, 5min) 退火后引起的功函数变化列于表 1 中。

表 1 不同 Au 覆盖量样品退火后功函数变化

室温下 Au 层厚度(Å)	2.3	3.5	9.5
退火后功函数变化 $\Delta\varphi(\text{eV})$	-0.11	-0.1	-0.13

功函数变化 $\Delta\varphi$ 包含有两项:

$$\Delta\varphi = \Delta\chi + \Delta q \cdot V_{bi} \quad (4)$$

前一项 $\Delta\chi$ 为吸附物引起的电偶极层的贡献, 后一项为能带弯曲的贡献。在图 6 中, 少量 Au 覆盖后 (< 1 个单层), 功函数增大, 这表明 $\Delta\chi$ 大于 0, 考虑到 Au 的电负性很大, 这是所预期的结果。如前所述, 退火后有偏析 As 存在, 由于 As 原在外层, $\Delta\chi$ 小于 0, 将引起功函数减小, 表 1 中我们对三个不同 Au 覆盖层表面经热退火后测量的结果 $\Delta\varphi$ 均小于 0, 约 0.1eV, 和这一分析相符。由以上分析, 我们得室温下蒸 Au 后, 功函数变化 $\Delta\varphi$ (图 6 中, 最大达 0.8eV) 主要由能带弯曲引起, 这一能带弯曲表征 Au-GaAs(III) 界面势垒的形成。由图 6, 界面势垒完全建立时的 Au 覆盖层厚度约为 8 Å。

应该指出, 在 3d 金属与 GaAs 界面的研究结果中^[2-4], 除了界面层内原子相互扩散以外, 均存在有 As 偏析, 我们对 Au-GaAs(III) 界面的研究结果与此类似, 同样存在有 As 偏析。此外, 金属与 Si 的界面势垒的形成主要取决于金属与 Si 的界面相互作用, 界面势垒完全建立时的金属覆盖层厚度一般均为几 Å^[5]。我们对 Au-GaAs(III) 的研究同样得出约 8 Å 的 Au 覆盖层就足以形成界面势垒。

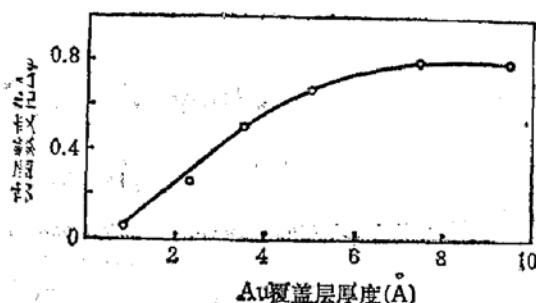


图 6 室温下不同 Au 覆盖层表面的功函数变化 $\Delta\varphi$

四、结 论

对于 Au-GaAs(III) 界面, 室温下界面原子扩散很小, 一旦退火, Au 内扩散很大, As 原子偏析。

退火后 Au(5d) 峰约 0.2eV 的移动表明有界面合金形成。

由功函数变化 $\Delta\varphi$ 的分析得出功函数的变化主要由能带弯曲引起。功函数变化的测量结果表明 Au-GaAs(III) 界面势垒完全建立时的 Au 覆盖层厚度约为 8 Å。

感谢浙江大学中心实验室的鲍世宁, 鲍德松同志在我们实验工作中所给予的热情帮助。

参 考 文 献

- [1] L.C. Upadhyayna *et al.*, *IEEE Trans.*, ED-30, 11.(1983).
- [2] F. Xu *et al.*, *Phys. Rev.*, B35, 2375(1987).
- [3] M. W. Ruckman *et al.*, *Phys. Rev.*, B33, 7029(1986).
- [4] S. A. Chambers *et al.*, *Phys. Rev.*, B34, 6605(1985).
- [5] Chambers, S. A. *et al.*, *Phys. Rev.*, B31, 6402(1985).
- [6] K. Jacobi *et al.*, *Surf. Sci.*, 82, 270(1979).
- [7] P. W. Chye *et al.*, *Phys. Rev.*, B18, 5545(1978).
- [8] Paul S. Ho, in "Proceedings of the Asia Pacific Symposium on Surface Physics", p170 (World Scientific, Singapore, 1987).

Study of Au-GaAs(111) Interface

HE Peimo, LUO Jinsheng

(Department of Electronic Engineering, Xi'an Jiaotong University)

and LIU Gu

(Department of Physics, Zhejiang University)

Abstract

The Au-GaAs(111) interface has been studied using angle-resolved AES and UPS. The interface behavior of Au, Ga and As atoms are analyzed before and after annealing, and the barrier formation is discussed by the analysis of work function change at different Au over-layers.

Key words Interface, Atomic diffusion, Segregation, Work function change