

# 贵金属与 GaAs(110) 界面上费米能级位置的测定

潘 士 宏

(南开大学物理系, 天津)

Nathan Newman, T. Kendelewicz, W. G. Petro

(美国 Stanford 大学)

1984年6月24日收到

本文报道了用  $I-V$  法测量在超高真空中 n型 GaAs(110) 解理面上制备的 Cu、Ag、Au 二极管的肖特基势垒高度, 以及用同步辐射的软 X 射线光电子谱测定的 Cu 在 n型 GaAs(110) 上界面费米能级的位置。两种方法的结果符合得很好。贵金属在 n型 GaAs(110) 上界面费米能级的位置处于导带以下  $0.9 \pm 0.05\text{eV}$  处, 相当于同样数值的势垒高度, 并与缺陷模型中的施主能级的位置相对应。

近年来尽管人们对 GaAs(110) 解理面上肖特基势垒的形成的研究做了大量的工作<sup>[1]</sup>, 但是用各种不同方法和不同来源的数据之间仍然存在着一定程度的分歧。因此, 从实验上精确测定在接近于理想条件下形成的肖特基势垒的高度仍然具有实际意义。利用传统的  $I-V$  法测定肖特基势垒高度<sup>[2]</sup>可以精确到约  $0.01\text{eV}$ , 但所得势垒高度在一定程度上依赖于对输运机理的假设。用光电子谱可以测定界面形成过程中界面费米能级的变化, 但精确度大约只有  $0.1\text{ eV}$ , 而且如果界面原子发生混杂, 测量的结果往往是不可靠的<sup>[3]</sup>。因此有必要同时用这两种方法来进行相互检验。本文将报道用这两种方法测量贵金属在 GaAs(110) 面上的肖特基势垒的某些结果。

用于  $I-V$  测量的肖特基二极管是在超高真空中解理的 GaAs(110) 面上即时蒸镀金属制成的。系统的极限真空度为  $2 \times 10^{-10}$  托。金属蒸发子是烧结在钨丝上的小金属珠。在蒸发前蒸发子事先经过彻底去气。金属是经过一块带有许多直径约为  $0.76\text{ mm}$  小孔的挡板蒸镀到 GaAs 晶体的清洁的解理面上, 形成一组同样直径的二极管。金属的蒸发速率选择得十分小, 并且间断地进行蒸发。因为一方面要使界面形成过程尽量和光电子谱实验中的界面形成过程相类似, 另一方面是为了避免在短时间里因大量金属在 GaAs 表面上的凝结的热效应引起界面原子间的混杂。GaAs 样品为 n型单晶, 掺杂浓度为  $\approx 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 。

$I-V$  测量是在空气中进行的。由于解理台阶对  $I-V$  特性的影响极大, 只有选择没有明显解理台阶的二极管, 测量结果才能比较一致。势垒的测量是根据热电子发射的公式<sup>[2]</sup>

$$I = A^* T^2 S \exp(-q\phi_B/kT) [\exp(qV/nkT) - 1]$$

进行的。式中  $A^* = \frac{m^*}{m} A$ ,  $A$  是 Richardson 常数, 对于 n 型 GaAs 电子有效质量和电子质量比  $\frac{m^*}{m} = 0.068$ .  $S$  为二极管面积,  $\phi_B$  为势垒高度,  $n$  为二极管的理想系数。测量结果列在表 1 中, 为了作参考  $C-V$  测量的结果也列在表中。

表 1 n 型 GaAs(110) 解理面上二极管的势垒高度

二极管类型	管 号	I-V(V)	势 垒 高 度 $C-V(V)$	理想系数
Cu-n-GaAs	D <sub>1</sub>	0.88	0.93	1.049
	D <sub>2</sub>	0.88	0.90	1.052
	D <sub>3</sub>	0.88	0.91	1.049
Ag-n-GaAs	D <sub>4</sub>	0.89	0.92	1.053
	D <sub>5</sub>	0.89	0.92	1.053
	D <sub>6</sub>	0.89	0.91	1.055
Au-n-GaAs	D <sub>7</sub>	0.94	0.99	1.035
	D <sub>8</sub>	0.95	0.99	1.034
	D <sub>9</sub>	0.94	0.95	1.033

在文献[3]中作者曾报道了用紫外光电子谱测量了贵金属与 GaAs(110) 界面费米能级的钉扎行为。由于当金属原子淀积时引起部分 GaAs 的分解, 造成界面原子间的混杂。要根据 Ga3d (或 As3d) 峰的位置来准确测定 GaAs 界面费米能级的位置就必须要把晶体 GaAs 基片对 Ga3d (或 As3d) 峰的贡献和分解了的 Ga (或 As) 的贡献区分出来。由于 He 气体放电灯的谱线 He II(40.8 eV) 不够强, 使实验的分解力较低, 没有能够准确地确定在数埃以上金属时界面费米能级的位置。

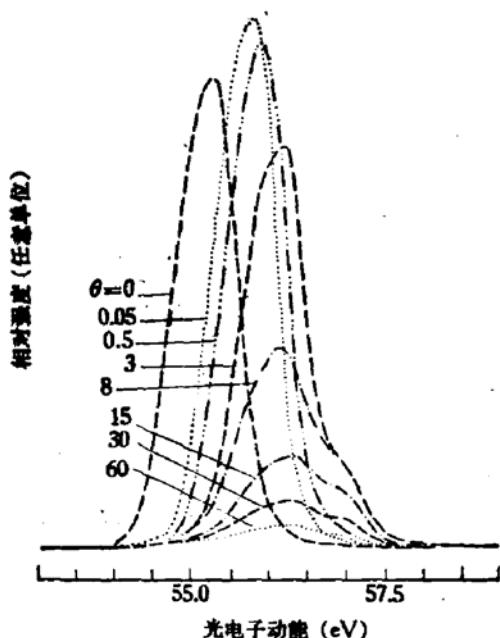


图 1 GaAs(110) 解理面上光电子发射谱  
Ga3d 峰随 Cu 覆盖层  $\theta(\text{\AA})$  的增加而变化。  
光子能量  $h\nu = 80\text{eV}$ .

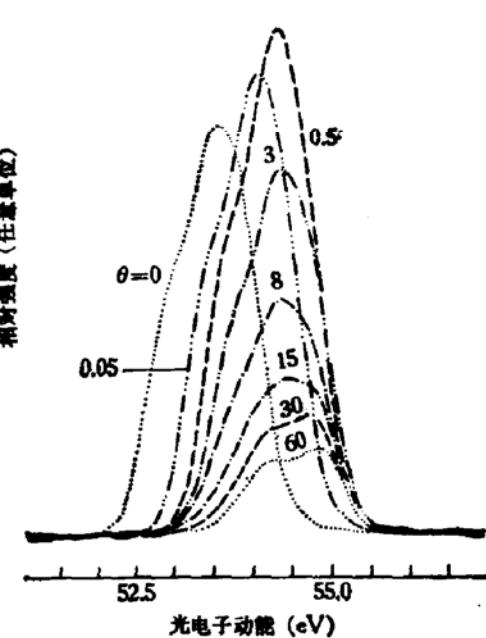


图 2 GaAs(110) 解理面上光电子发射谱  
As3d 峰随 Cu 覆盖层  $\theta(\text{\AA})$  的增加而变化。  
光子能量  $h\nu = 100\text{eV}$ .

我们在美国 Stanford 大学同步辐射实验室用强度很大的 80eV 和 100eV 的同步辐射光测量了 Cu 在 n 型 GaAs(110) 解理面上的光电子谱。掺杂浓度  $n = 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 。测量是在极限真空度优于  $5 \times 10^{-11}$  托的超高真空中进行的。蒸发前 Cu 蒸发子曾十分彻底地去气。蒸发速率控制得十分慢 ( $0.01\text{\AA}/\text{秒}$ )。对 Cu 层从  $0.05\text{\AA}$  到  $60\text{\AA}$  的范围作了光电子谱的测量。实验的详情和分析将另行发表<sup>[4]</sup>。

图 1 和 2 是 Ga3d 和 As3d 光电子谱随 Cu 层增加的变化。在  $0.05\text{\AA}$  和  $0.5\text{\AA}$  Cu 时谱线的刚性位移表示能带的弯曲。在  $3\text{\AA}$  Cu 以上时 Ga3d 谱线的高能侧 (以光电子动能计算)  $0.8\text{eV}$  处出现明显的肩突, 表示部分 Ga 原子已从 GaAs 基底分离出来。As3d 谱线也有类似的变化。具体的分析可以把从 GaAs 基底中发射出来的 Ga3d 和 As3d 光电子谱分离出来, 并由此求得界面费米能级的位置, 其结果示于图 3 中。由图得出结论, 对 Cu 在 n 型 GaAs(110) 解理面上, 界面费米能级稳定在导带以下  $0.9\text{eV}$  处,  $80\%$  以上的能带弯曲发生在小于单原子 Cu 层时 ( $1\text{\AA}$  Cu 约等于一个单原子 Cu 层)。这个结果与用 I-V 法测定的二极管势垒高度的数据符合得很好。

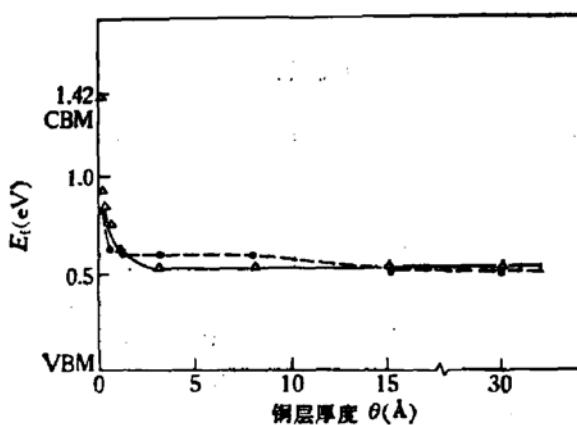


图 3 GaAs(110) 解理面上表面费米能级随 Cu 覆盖层  $\theta$  (Å) 的变化。

●由 As3d 位移, △由 Ga3d 位移

以上结果说明对于小心制备的近乎理想的界面光电子谱测量的势垒高度与 I-V 法测量的结果是相当一致的。从 I-V 法测量的结果判断 Cu、Ag、Au 与 n 型 GaAs(110) 界面费米能级稳定在导带以下  $0.88\text{eV}$  至  $0.95\text{eV}$  之间。根据文献[3]在 1—2 个单原子层贵金属时 n 型和 p 型 GaAs(110) 的界面费米能级趋于相同的位置。由此我们推测无论是 n 型或 p 型 GaAs(110) 与贵金属的界面费米能级都稳定在导带以下  $0.9 \pm 0.05\text{eV}$  处。这个位置相当于 Spicer 等的缺陷模型中的施主能级的位置<sup>[5]</sup>。这与他们关于 Al、Ga、In 等金属与 GaAs(110) 的实验结果有显著的差别。

本实验是在美国 Stanford 大学的 Electronics Laboratories 和 Stanford Synchrotron Radiation Laboratory 做的。作者对 W. E. Spicer 教授和 I. Lindau 教授的支持和帮助表示深切的谢意, 对研究生 Stephen J. Egash 和 P. Mahowald 在实验上热心相助表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] "Proceedings of the Annual conference on the Physics and Chemistry of Semiconductor Interfaces"

- J. Vac. Sci. Technol.*, (1974—1983).
- [2] E. H. Rhoderick, "Metal-Semiconductor Contacts", Oxford University Press, 1978.
- [3] S. H. Pan, D. Mo, W. W. G. Petro, I. Lindau and W. E. Spicer, *J. Vac. Sci. Technol.*, B1, 593 (1983).
- [4] S. H. Pan, T. Kendelewicz, W. G. Petro, M. D. Williams, I. Lindau and W. E. Spicer, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 25, 335 (1984).
- [5] W. E. Spicer, S. Egash, I. Lindau, C. Y. Su and P. R. Skeath, *Thin Solid Films*, 89, 447 (1982); W. E. Spicer, I. Lindau, P. Skeath and C. Y. Su, *J. Vac. Sci. Technol.*, 17, 1019 (1980).

## Determination of the Interfacial Fermi Level Position for Noble Metals on GaAs(110)

Pan Shihong

*(Department of Physics, Nankai University)*

Nathan Newman, T. Kendelewicz and W. G. Petro

*(Stanford Electronics Laboratories, Stanford University)*

### Abstract

*I-V* method has been used to measure the barrier height of Schottky diodes for Cu, Ag, Au on GaAs (110) cleaved surfaces prepared in ultra high vacuum, and the soft X-ray photoelectron spectroscopy with synchrotron radiation has been carried out to determine the interfacial Fermi level position at the Cu-n-GaAs (110) interface. The results obtained by both methods are well consistent. The interfacial Fermi level position for noble metals on n-type GaAs (110) is located at  $0.9 \pm 0.05$  eV below the conduction band minimum, corresponding to the same value of the Schottky barrier height and to the donor level defined by the defect model.