

Ga 在 Ni(111) 表面上形成的超结构*

屠礼勋 孙玉珍

(中国科学院金属研究所)

1984年9月4日收到

提 要

使用自制的简易蒸发源,将金属 Ga 蒸镀在 Ni(111) 表面上. 在亚单层时,用低能电子衍射 (LEED) 和俄歇电子能谱 (AES) 观测到 Ga 在 Ni(111) 面上形成 $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$ 和 (2×2) 两种超结构. 并建立起近似平衡图,粗略地确定了这两种超结构存在的覆盖度和温度范围.

金属在单晶表面上淀积是表面和界面研究的一个重要方面,无论在理论上还是在工艺技术上都有重要的意义^[1]. 金属 Ga 在 Si, GaAs 等半导体单晶上淀积已经做过许多工

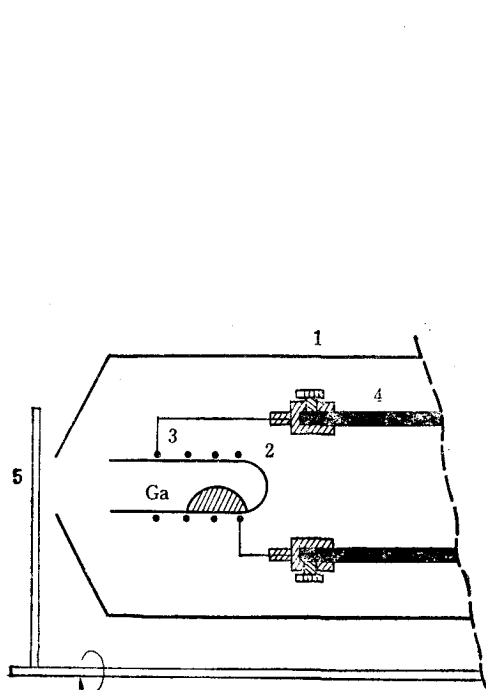


图1 简易蒸发源略图

- 1 为屏蔽石英管; 2 为蒸发物熔池;
- 3 为 Ta 丝加热器; 4 为电源接线柱;
- 5 为活动挡板

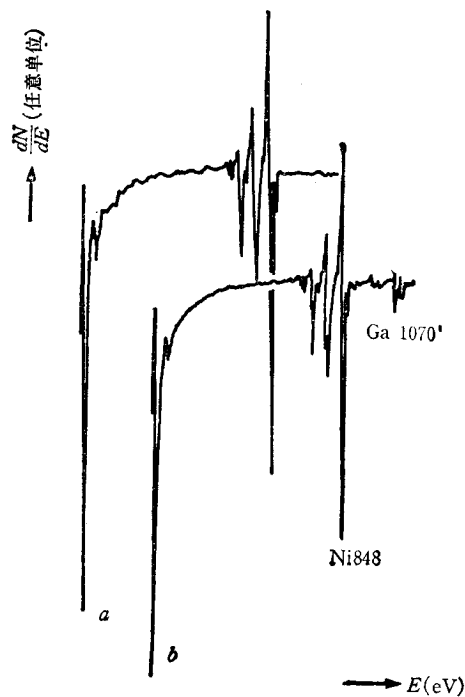


图2 Ni(111) 面上蒸镀 Ga 后的俄歇谱

- a 为 Ar 离子剥离后的 Ni(111) 表面; b 为蒸镀 Ga 后, 经过 300°C 保温 1 小时 18 分的表面, 可以观察到 $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$ 超结构

* 中国科学院科学基金资助的课题。

作,但 Ga 在金属单晶上淀积的报道不多。Ga 在 Ni(111) 面上淀积的报道似乎还未见诸文献。本工作采用自制的简易蒸发源,将 Ga 蒸镀在 Ni(111) 表面上,用通常的 LEED 和 AES 方法,在 Ga 的覆盖度处于亚单层时,观测到 Ga 所形成的两种超结构: $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$ 和 (2×2) , 并粗略地确定了这两种超结构的覆盖度和温度范围。

研究所用的设备为法国 RIBER 公司制造的 AES 和 LEED 联合谱仪,附有剥离用离子枪和可以加热到 800°C 的样品架,另外装有一个自制的简易蒸发源。

蒸发源用原设备的一个多余部件改制而成,如图 1 所示。Ta 加热器温度可超过 1400°C ,为避免石英管熔池软化和与蒸发物发生反应,蒸发时的温度一般都小于 1000°C 。蒸发时间用石英管屏蔽罩前的活动挡板控制。

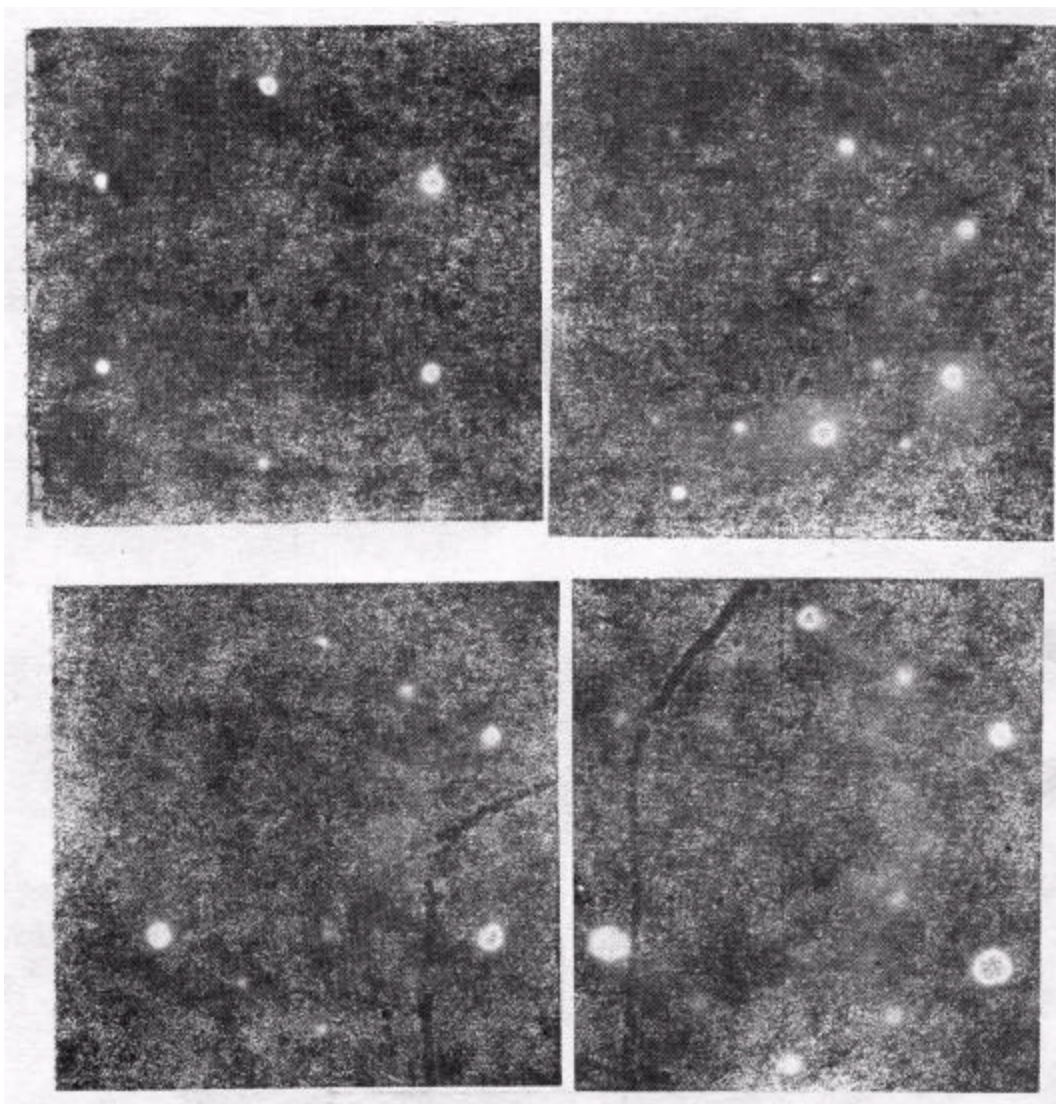


图 3 两种超结构的低能电子衍射图

- (a) 为清洁 Ni(111) 表面 $E_p = 114\text{eV}$; (b) 为 $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$ $E_p = 183\text{eV}$;
 (c) 为 (2×2) $E_p = 107\text{eV}$; (d) 为 $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ + (2 \times 2)$ 共存 $E_p = 90\text{eV}$

实验时,首先交替使用 Ar^+ 离子剥离和退火的方法制备干净有序的 $\text{Ni}(111)$ 表面。其后,用高电流加热蒸发源,以便减少可能蒸发出的杂质污染表面,然后降低电流到蒸发温度,待电流稳定一段时间后,就可以向 $\text{Ni}(111)$ 面上蒸镀了。在蒸镀过程中,由于蒸发源热辐射的影响, Ni 衬底可以稍有温升。真空室的基础真空为 $1-2 \times 10^{-9}$ Torr, 蒸镀时真空度不小于 10^{-8} Torr。蒸镀到 Ni 上的 Ga , 有时含有微量的氧等杂质,可用加热超过 450°C 的方法,使杂质含量降低到噪声水平。

当衬底温度在室温附近 ($T < 60^\circ\text{C}$) 时,蒸镀的 Ga 原子在有序的 $\text{Ni}(111)$ 面上未观察到有序的超结构。这时,可以预先将 $\text{Ni}(111)$ 面加热到 300°C 保温,再蒸镀 Ga , 视表面含 Ga 量的不同,可以观察到 Ga 所形成的 $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$ 或者 (2×2) 超结构。典型的 AES 谱图和 LEED 图见图 2, 图 3。另外,也可以在室温附近蒸镀,而后快速升温到 450°C 以上,再降温观察,同样可以依 Ga 量不同而分别看到这两种超结构。

为了确定这两种超结构的覆盖度和温度范围,用下述方法建立起近似平衡图(见图 4)。将 Ni 衬底保持在 300°C 恒温下,逐渐增加 Ga 的覆盖度,用 AES 监视 Ga 1070eV 峰和 Ni 848eV 峰的变化,待它们稳定后,用低能电子衍射观察超结构。另外,在常温附近蒸镀,逐渐提高衬底温度,观察在不同温度下,覆盖度稳定不变后 Ga 的超结构。温度高于 500°C 时,因为背景太强,LEED 已经不能直接观察超结构,这时,停止加热,待温度降到 400°C 左右观察,因为降温速度很快,可以认为所观察到的就是这种覆盖度下的高温结构。覆盖度 θ 用 Chang 所提出的近似方法^[2]计算。以 Ga 1070eV 作为计算的基础,用 Ni 848eV 归一。逃逸深度用 Seah 和 De ch 的公式^[3]计算, $D = 6.796$ 单层。相对灵敏度因子取 Davies 等人手册^[4]中, $E_p = 3\text{kV}$ 的数值, $\alpha_{\text{Ga}} = 0.13$, $\alpha_{\text{Ni}} = 0.27$ 。由此得到

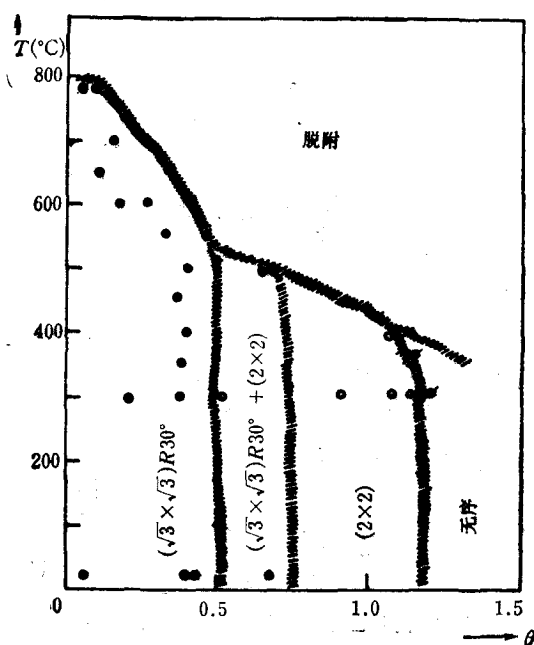


图 4 近似平衡图(见正文说明)

$$\begin{array}{ll}
 (\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ & \sim 0.03 \sim 0.8 \text{ 单层} \\
 (2 \times 2) & \sim 0.5 \sim 1.3 \text{ 单层} \\
 \text{无序相} & \geq \sim 1.3 \text{ 单层}
 \end{array}$$

在 $\sim 0.5 \sim 0.8$ 单层, 可以观察到 $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$ 和 (2×2) 共存的 LEED 图(见图 3). $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$ 在温度大于 750°C 时还存在. 在 $\theta \sim 1$ 单层时, 所观察到的 (2×2) 结构很模糊. 显然, 由于表面上存在许多无序的 Ga 原子, 使覆盖度的上限向上移动了许多.

上述实验结果表明, Ga 蒸镀在 Ni(111) 表面上, 经过适当的热处理, 可以有三种状态, 即 $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$, (2×2) 超结构和无序相. $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$ 超结构可以延伸到极低的覆盖度范围, 并可以保持到很高的温度 ($> 750^\circ\text{C}$).

参 考 文 献

- [1] J. B. Biberian, G. A. Somorjai, *J. Vac. Sci. Technol.*, **6**(1979), 2073.
- [2] C. C. Chang, *Surf. Sci.*, **48** (1975), 9.
- [3] M. P. Seah, W. A. Dench, *Surf. and Interface Analysis*, (1979).
- [4] L. E. Davies *et al.*, *Handbook of Auger Electron Spectroscopy*, Physical Electronics Industries, Eden Prairie, MN, (1976).

SUPERSTRUCTURES FORMED BY Ga ATOMS ON Ni (111) SURFACE

TU LI-XUN SUN YU-ZHEN

(Institute of Metal Research, Academia Sinica, Shenyang)

ABSTRACT

The structures of Ga atoms deposited on Ni(111) surface was studied. When the coverage is less than one monolayer, two superstructures, $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ$ and (2×2) , have been observed, by means of LEED and AES.

A quasi-equilibrium phase diagram has been drafted, and thus the ranges of coverage and temperature while these superstructures appear can be estimated.