

# 难熔金属硅化物 $TiSi_2$ 对硅的接触性能研究\*

陈存礼 张 兴 彭家腾  
(南京大学物理系)

1987年8月31日收到

用电子束蒸发方法在硅上淀积一薄层 Ti 膜后, 经  $750^{\circ}C$ 、10 秒的真空快速热退火即可形成难熔金属硅化物  $TiSi_2$ 。通过扫描电镜、俄歇能谱和 PN 结反向电流的检测, 证实其对硅的接触性能较铝对硅的优越。由圆性传输线模型外推法测得  $TiSi_2$  对  $N^{+}$ -Si 的接触电阻率要比 Al 对  $N^{+}$ -Si 的低一个量级, 这使  $TiSi_2$  作为 LSI、VLSI 中互连线的新材料, 在缩小器件尺寸和改善亚微米 N 沟器件性能方面是大有前途的。

**主题词:** 难熔金属硅化物,  $TiSi_2/Si$  接触, 快速热退火, 接触电阻率

随着 LSI 和 VLSI 的高速发展, 要求器件尺寸按比例缩小, 于是栅电极和互连线的宽度急剧变窄, 接触面积越来越小, 这使得由接触电阻等组成的 MOS 器件源、漏间的寄生电阻大大增加, 不仅加大了电路的功耗和噪声, 也严重影响了电路的速度。

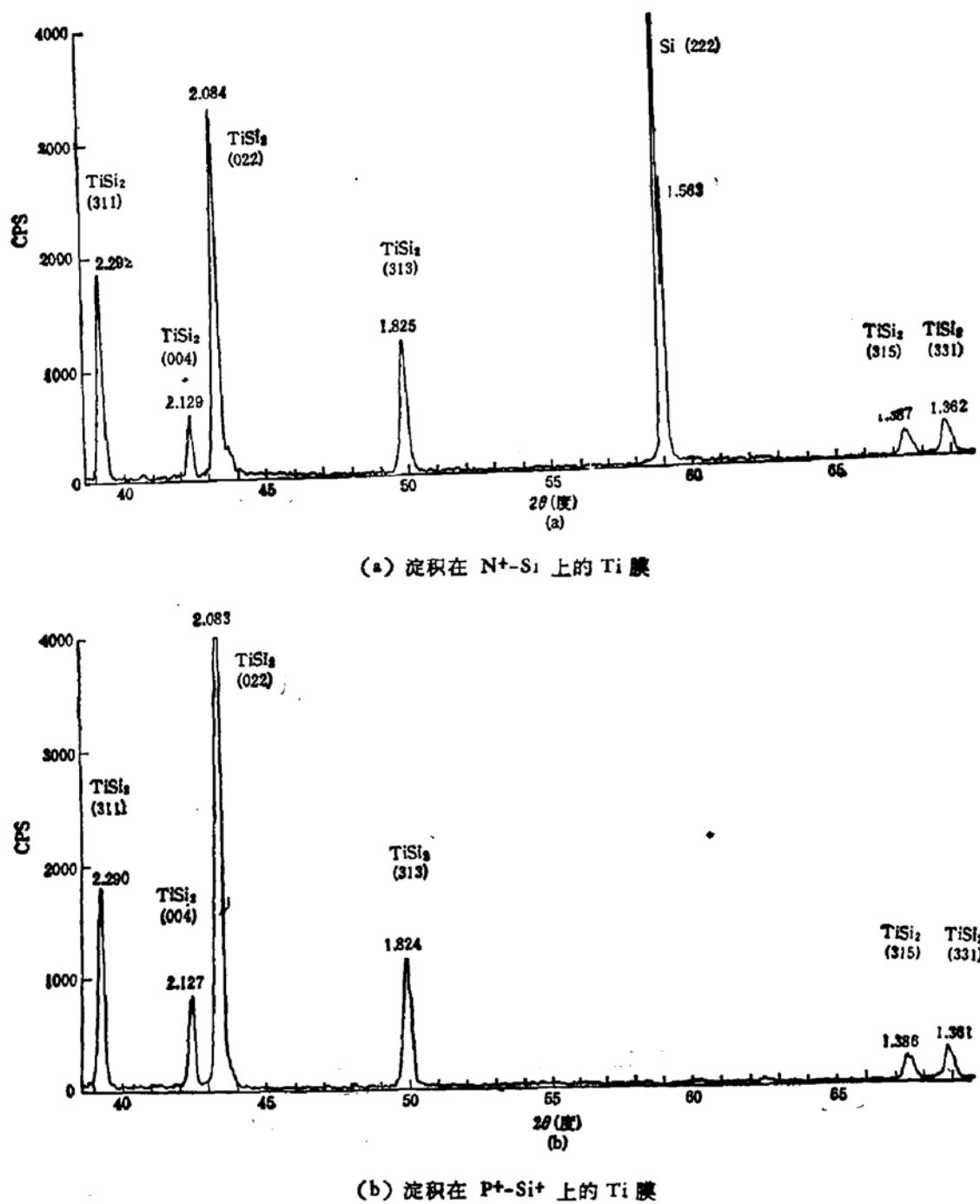
难熔金属 Mo、W、Ta、Ti 的硅化物因其电阻率低、高温及化学稳定性好、容易形成并与标准的 VLSI 工艺相容等一系列优点, 已被研究用来改善器件性能<sup>[1]</sup>。一种在多晶硅层上再加一层难熔金属硅化物的复合结构即称之为“Polycide”结构代替单一的多晶硅层大大降低了栅电极和互连线的电阻。另外, 在多晶硅栅和源、漏扩散区能同时采用自对准工艺即所谓“Salicide”结构, 不仅降低了栅电极和互连线的电阻, 源、漏的扩散电阻也得到改善, 这对浅结尤为重要。然而硅化物对硅的接触客观存在, 因而其对硅的接触电阻在这里是重要的因素之一。本文采用钛的硅化物, 通过 X 射线衍射、俄歇能谱、扫描电镜、接触电阻率、薄层电阻和 PN 结反向电流定量研究  $TiSi_2/Si$  的接触性能。

取 P 型  $8-10\Omega\text{cm}$  的  $\langle 111 \rangle$  硅片, 扩磷成浅  $N^{+}$  结后划成几部分。一部分直接蒸 Ti, 一部分制成用于圆形传输线模型外推法<sup>[2]</sup>测量接触电阻率的 Al/ $TiSi_2/N^{+}$ -Si 系统, 再取一部分制成 Al/ $N^{+}$ -Si 接触样品, 以便二者进行比较。

蒸 Ti 是在  $5 \times 10^{-6}$  托真空下用电子束蒸发方法进行的。膜厚  $250-300\text{ \AA}$ , Ti 源纯度为 99.99%。蒸有 Ti 膜的样品在石墨裸加热器上进行  $750^{\circ}C$ 、10 秒的真空快速热退火形成  $TiSi_2$ 。

Al/ $TiSi_2/P^{+}$ -Si 和 Al/ $P^{+}$ -Si 系统的样品制备是类似的。

\* 中国科学技术大学结构分析开放研究实验室资助研究课题

图1 形成  $TiSi_2$  的X射线衍射谱

$N^+-Si$  (或  $P^+-Si$ ) 上的 Ti 膜经  $750^\circ C$ 、10 秒真空快速热退火后, 用俄歇能谱和转靶 X 射线衍射分析表明, 已形成  $TiSi_2$ , 其 X 射线衍射谱如图 1(a) 和 (b) 所示。都有六个典型的  $TiSi_2$  峰, 分别相当于  $TiSi_2$  的 (311), (009), (022), (313), (315) 和 (331)。具有斜方晶体结构, 其晶格常数为  $a_0 = 8.24 \text{ \AA}$ ,  $b_0 = 4.78 \text{ \AA}$ ,  $c_0 = 8.54 \text{ \AA}$ 。

四探针测得  $TiSi_2$  的薄层电阻为  $5.4 \Omega/\square$ , 用  $\alpha$  台阶仪测得  $TiSi_2$  厚度为  $250-260 \text{ \AA}$ , 由此可得  $TiSi_2$  的体电阻率在  $(13.5-14.0) \mu\Omega\text{cm}$ 。

$TiSi_2$  对  $N^+-Si$  与  $P^+-Si$  的接触电阻率  $\rho_c$  测量结果列于下表。为了比较, 表中也列入了相应的 Al/Si 结果。由表可见, Al 与  $TiSi_2$  对同样掺杂浓度的  $N^+-Si$  和  $P^+-Si$

	Al/TiSi <sub>2</sub> /N <sup>+</sup> -Si	Al/N <sup>+</sup> -Si	Al/TiSi <sub>2</sub> /P <sup>+</sup> -Si	Al/P <sup>+</sup> -Si
$\rho_c (\Omega \text{cm}^2)$	$(2.47-2.89) \times 10^{-7}$	$(0.61-1.74) \times 10^{-6}$	$(1.07-1.47) \times 10^{-6}$	$(2.93-9.29) \times 10^{-7}$
$\delta_c (\Omega \text{cm}^2)$	$2.72 \times 10^{-7}$	$1.10 \times 10^{-6}$	$1.38 \times 10^{-6}$	$5.53 \times 10^{-7}$

的接触，Al/TiSi<sub>2</sub>/N<sup>+</sup>-Si 系统的接触电阻率比 Al/N<sup>+</sup>-Si 结构的低一个量级。如此小的接触电阻率对于减小 NMOS 器件的寄生电阻是极为有效的。例如对于 0.8 μm 的有效沟道长度、栅氧化层厚度为 200 Å 的 NMOS 器件，若工作在  $|V_G - V_P| = 4.3$  V 条件下，可以得到典型的线性区域的单位沟道宽度的沟道电阻为  $3000 \Omega/\mu\text{m}^{[3]}$ ，而我们的结果 Al/TiSi<sub>2</sub>/N<sup>+</sup>-Si 系统在接触面积为  $1 \mu\text{m}^2$  时的接触电阻只有  $27 \Omega$ ，不到沟道电阻的 1%。显然，这不仅不会影响器件的性能，还可进一步缩小器件的尺寸，这在亚微米 N 沟器件中的应用是有诱人前景的。

对于 P<sup>+</sup>-Si 的情况，正好相反，Al/TiSi<sub>2</sub>/P<sup>+</sup>-Si 的接触电阻率则比 Al/P<sup>+</sup>-Si 的要大，与文献[3]的报道结果一致。

在有接触电阻率测试图形的硅片上，同时也做了一批二极管。反向偏压 1 V 时，Al/TiSi<sub>2</sub>/N<sup>+</sup>-Si/Al 的反向电流要比 Al/N<sup>+</sup>-Si/Al 的低一个量级。分别剥去这两种结构的 TiSi<sub>2</sub> 和 Al 层作扫描电镜观察，Al/N<sup>+</sup>-Si 的界面不如 TiSi<sub>2</sub>/N<sup>+</sup>-Si 的平整均匀（图 2）。由于 500°C、20 分的热合金化，这种长时间的高温处理使得 Al/N<sup>+</sup>-Si 界面的某些局部缺陷处会择优地熔解硅，在再结晶的过程中这些局部区域会引起较为严重的 Al-Si 互扩散，因而结特性要变差<sup>[4,5]</sup>。

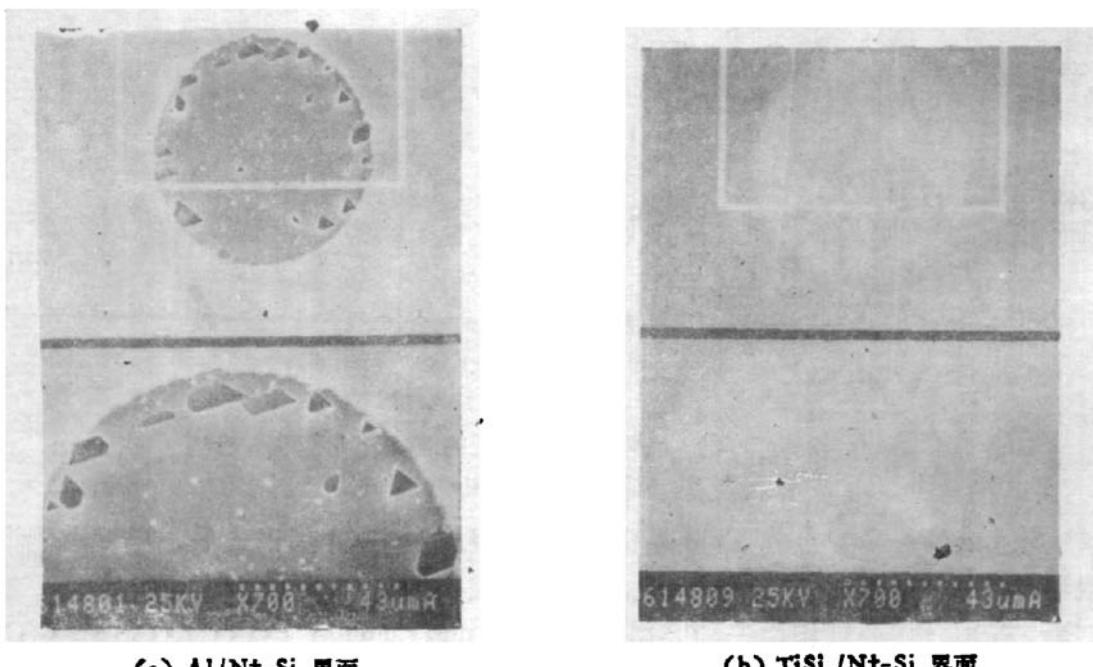


图 2 两种结构界面形貌的扫描电镜照片

已知 TiSi<sub>2</sub> 不是 Al 的扩散阻挡层<sup>[6]</sup>，曾有人在 Al 与 TiSi<sub>2</sub> 之间加一层 TiW 中间层<sup>[7]</sup>以阻止 Al 的穿透，但工艺上增加了麻烦。我们采用 30" 快速热退火的方法<sup>[7]</sup>克服了这个困难。由 Al/TiSi<sub>2</sub>/Si 接触系统 500°C、30" 快速合金化的俄歇深度分布谱（图 3）可

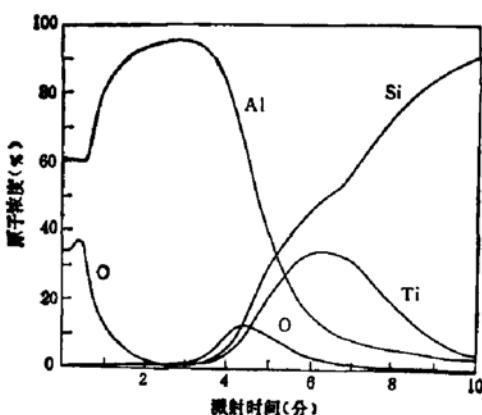


图3 Al/TiSi<sub>2</sub>/Si接触系统 500°C、30'' 快速热退火后的俄歇深度分布谱

见，Al被有效地阻挡在 TiSi<sub>2</sub>/Si之外，从而抑制了 Al-Si 的互扩散，使结的特性得到改善。

### 参 考 文 献

- [1] S. P. Murarka, *Solid State Tech.*, **28**, 181 (1985).
- [2] 陈存礼, 徐世晖, 半导体学报, **8**, 102(1987).
- [3] J. Hui, S. Wong and J. Moll, *IEEE Electron Devices, EDL-6*, 479 (1985).
- [4] 陈存礼, 范仁永, 半导体学报, **4**, 502(1983).
- [5] 陈存礼, 电子学报, **12**, 105(1984).
- [6] C. Y. Ting and M. Wittmer, *J. Appl. Phys.*, **54**, 937(1983).
- [7] 陈存礼, 彭辉, 李联珠, 半导体技术, No. 3, 20 (1987).

## Investigation on Contact Properties of Refractory Metal Silicide $TiSi_2$ to Silicon

Chen Cunli, Zhang Xing and Peng Jiateng  
*(Department of Physics, Nanjing University)*

### Abstract

Titanium film is deposited on silicon wafer by means of electron beam evaporation and refractory metal silicide  $TiSi_2$  is formed by subsequent vacuum rapid thermal annealing at 750°C for 10''. SEM, AES and PN junction reverse current measurements show that the contact properties of  $TiSi_2$  to Si are superior to that of Al to Si. The specific contact resistance of  $TiSi_2$  to N<sup>+</sup>Si by circular transmission line model extrapolation method is found to be about one order of magnitude lower than that of Al to Ni<sup>+</sup>Si.  $TiSi_2$  may be a new promising interconnection material in LSI or VLSI for scaling down the device dimensions and improving the performance of submicrometer N channel devices.

**KEY WORDS:** Refractory metal silicide,  $TiSi_2$ /Si contact, Rapid thermal annealing, Specific contact resistance.