

用离子束混合及快速热处理方法 形成钽的硅化物

姚 文 卿

(中国科学院半导体研究所, 北京)

Heiner Ryssel

(*Fraunhofer-Arbeitsgruppe Abteilung für Bauelementetechnologie
und Universität Erlangen-Nürnberg, West Germany*)

本文描述用离子束透过钽金属膜进行混合和快速热处理方法来形成钽的硅化物。用溅射方法在P型硅衬底上淀积一层金属钽,然后用砷离子束透过钽金属膜进行混合,采用快速热处理后形成了平整的硅化钽薄层。使用厚度为500埃的钽金属膜,得到钽的硅化物薄层电阻为 $5.5\Omega/\square$ 。研究了砷离子能量、剂量及钽膜厚度对钽的硅化物薄层电阻的影响。用透射电镜和台阶仪对所形成的硅化钽进行了分析和厚度测量。

主题词: 硅化钽,离子束混合,快速热处理,薄层电阻,透射电镜

一、引 言

缩小超大规模集成电路中器件的几何尺寸使其有更高的集成度,是先进的硅半导体技术的一种主要趋势。随着器件尺寸的减小,器件性能得到了改进和提高。但是,随着器件几何尺寸减小到1微米或者更小时,对硅超大规模集成电路中用作互连及源、漏、栅极的材料提出了新的更高的要求。通常使用的多晶硅使器件速度和电路性能受到不利影响,这是因为多晶硅有着较高的电阻率。这就导致人们去寻找新的材料,期望把难熔金属的硅化物用到制造器件和电路的工艺中。

TiSi_2 , TaSi_2 , MoSi_2 和 WSi_2 是最重要的最有希望的难熔金属硅化物。这是因为它们有着金属的导电性和高温稳定性。一些作者^[1-7]已经对硅化钽和多晶硅的结合使用作了描述。在已发表的有关文章中,大多数研究者都是采用使钽膜和硅直接合金或使淀积在多晶硅上的钽-硅合金进一步合金形成钽的硅化物。他们在硅或多晶硅上淀积钽或者钽-硅膜的方法可归结如下:(a)溅射或蒸发钽膜;(b)从两个独立的靶按希望的比例共溅钽和钽;(c)用一个热压形成的钽-硅靶溅射钽-硅合金。

本文叙述采用离子注入金属硅化技术形成钽的硅化物的工作。它包括离子束产生钽-硅界面混合和快速热处理以形成钽的硅化物。使用500埃的钽金属膜,我们得到硅化钽的薄层电阻为 $5.5\Omega/\square$ 。在P型硅衬底上形成了均匀平整的硅化钽层。

二、实验与结果

在我们的研究工作中,使用的衬底材料为 3 吋 P 型硅单晶,其电阻率为 1—10 欧姆·厘米。首先在硅衬底上溅射上一层钼金属膜,钼膜厚度为 500 埃和 400 埃,是在一个行星式溅射设备中完成的。溅射之前,除用稀释的氢氟酸溶液浸泡以外,衬底硅片未经特殊处理。然后采用砷离子束透过钼金属膜产生钼-硅混合。采用砷离子注入,其能量为 180 keV 或 200 keV,其剂量为 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 到 $2 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 。砷离子注入是在 350D 可变离子注入机上完成的。

我们研究了热处理效应对热处理温度及热处理时间的依赖关系。热处理是在 Heat-pulse 610 光快速热处理设备上进行的,其升温时间为 2—3 秒,保护气氛为氮气。热处理时间从 5 秒到 60 秒(恒温时间),而热处理温度从 800℃ 到 1200℃。使用 Model 280 自动薄层电阻探针仪对所形成的钼的硅化物的薄层电阻进行了测量。图 1 给出了钼的硅化物薄层电阻随热处理时间的变化关系。热处理温度为 1150℃,砷离子能量为 180 keV,剂量为 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 。注入之后热处理之前的薄层电阻为 $25 \Omega/\square$ 。从图 1 可以看出,在 5 秒到 30 秒之间,薄层电阻迅速减小,然后趋向饱和。这说明钼的硅化物的形成过程是很快的。在 1200℃ 下经过 30 秒钟热处理,得到的薄层电阻为 $5.5 \Omega/\square$ 。钼的硅化物薄层电阻的温度依赖关系示于图 2。热处理时间为 30 秒,钼膜厚度为 500 埃,砷离子能量为 180 keV,剂量为 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 。从图 2 可以看出,在 850℃ 到 1050℃ 之间,薄层电阻有明显下降,在约 1100℃ 时趋于饱和。最小的薄层电阻是和钼金属层充分转变为硅化钼相联系的。

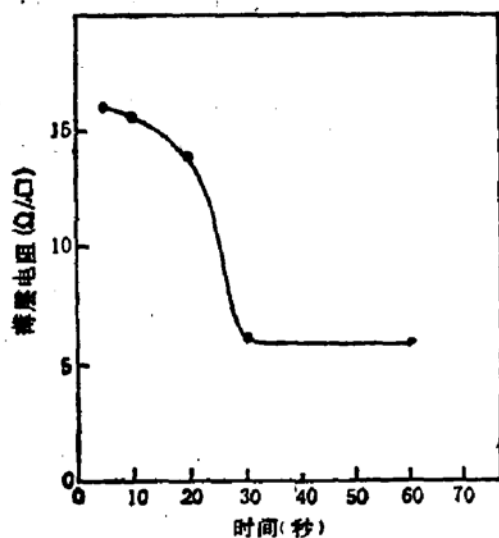


图 1 钼的硅化物薄层电阻对热处理时间的依赖关系
Ta 500 Å, As $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$, 180 keV, T 1150℃

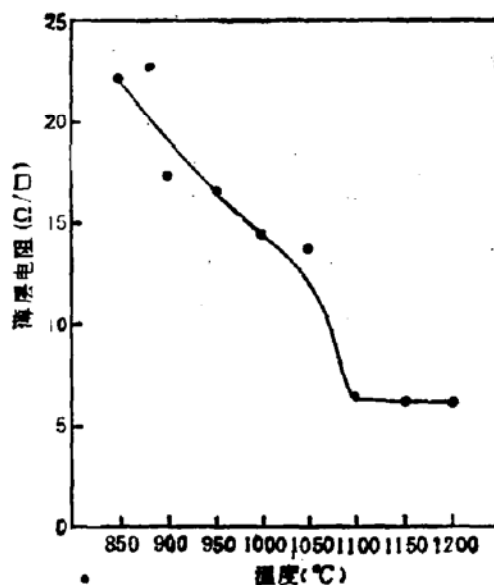


图 2 钼的硅化物的薄层电阻随温度的变化
Ta 500 Å, As $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$, 180 keV, t 30 秒

为了研究钼膜厚度对薄层电阻的影响,我们又选择了 400 埃的钼膜。用 180 keV,

$2 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ 的砷离子剂量注入并经 30 秒快速热处理, 其薄层电阻随热处理温度的变化曲线在图 3 中给出。在图 3 中同时给出了钽膜厚度为 500 埃的曲线, 它的砷离子剂量比 400 埃钽膜的要小 1 倍。可以看出, 500 埃钽膜对应的薄层电阻在饱和区仍小于 400 埃钽膜对应的薄层电阻。但是, 从图 4 可以看出, 在曲线的饱和区, 两者的电阻率已很接近。从图 5 可以看出, 400 埃的钽膜的样品也采用 $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 的砷离子剂量, 热处理条件相同(样品 A4 及 A5), 其薄层电阻要比 500 埃钽膜对应的薄层电阻 ($5.5 \Omega/\square$) 大得多。可见在相同的注入剂量下, 钽膜较薄时的混合程度不如钽膜厚的混合充分。

为了确定砷离子剂量对形成的钽的硅化物的影响, 选择了 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 到 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ 的砷离子剂量。图 5 给出了所得到的结果。从图 5 可以看出, 砷离子剂量越大, 钽的硅化物的薄层电阻越小。用 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 的砷离子注入以后, 热处理前后的薄层电阻并无明显的变化(热处理之前注入之后的薄层电阻为 $43 \Omega/\square$ 到 $45 \Omega/\square$)。由于砷离子剂量直接决定着钽与硅的混合, 在实验的范围内, 剂量越大, 混合越充分, 热处理后得到的薄层电阻越小。

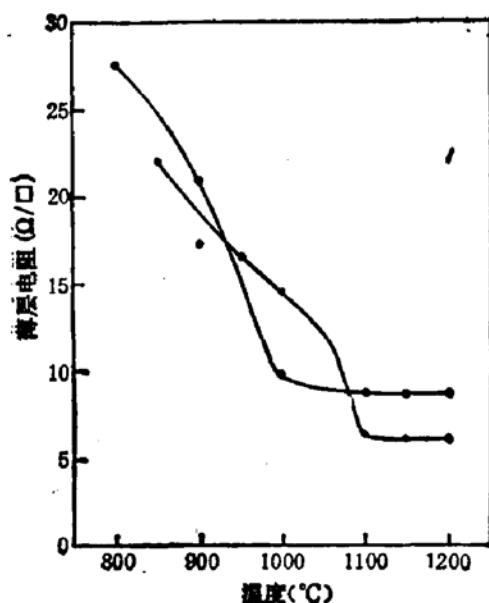


图 3 薄层电阻对热处理温度的变化关系曲线, 钽膜厚度分别为 500 埃和 400 埃

- 样品 A7
Ta 400 Å,
As $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$, 180 keV,
t 30 秒,
- 样品 13,
Ta 500 Å
As $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$, 180 keV
t 30 秒

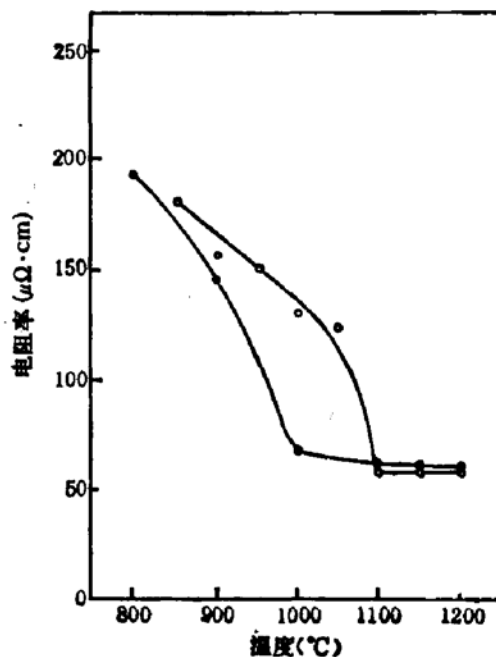


图 4 钽膜厚度为 500 埃和 400 埃时的电阻率随热处理温度变化曲线

- 样品 A7
Ta 400 Å
As $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$, 180 keV
t 30 秒
TaSi₂ 700 Å
- 样品 13
Ta 500 Å
As $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$, 180 keV
t 30 秒
TaSi₂ 900 Å

砷离子能量对薄层电阻只有较小影响。从图 6 可以看出, 使用 200 keV 的砷离子注入能量所得到的薄层电阻略小于 180 keV 能量所得到的薄层电阻。可以看出, 能量为 200 keV 的砷离子使钽与硅之间的混合更充分些, 因而得到的薄层电阻值也略小些。

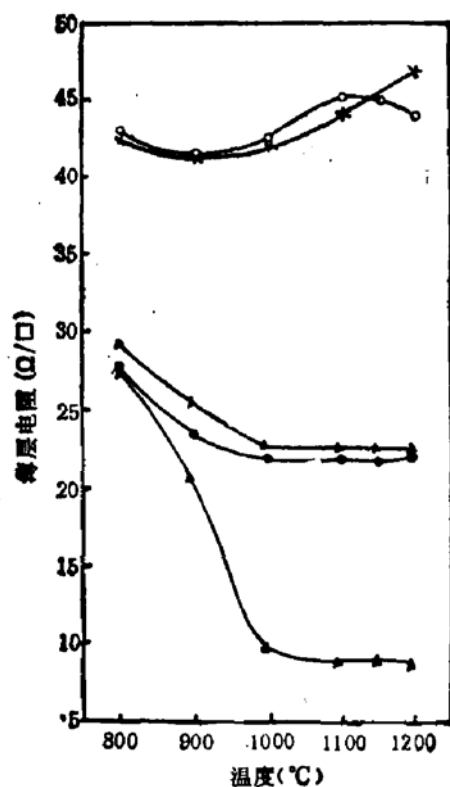


图5 不同剂量的砷离子注入后薄层电阻随热处理温度的变化

- | | |
|---|---|
| ○ 和 × 样品 A2 | △ 样品 A5 |
| T_a 400 Å | T_a 400 Å |
| As $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, 200 keV | As $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, 180 keV |
| t 30 秒 | t 30 秒 |
| ● 样品 A4 | ▲ 样品 A7 |
| T_a 400 Å | T_a 400 Å |
| As $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, 180 keV | As $2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, 180 keV |
| t 30 秒 | t 30 秒 |

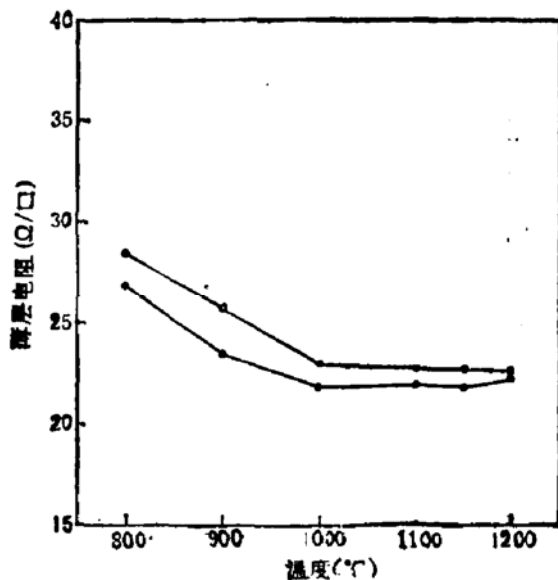
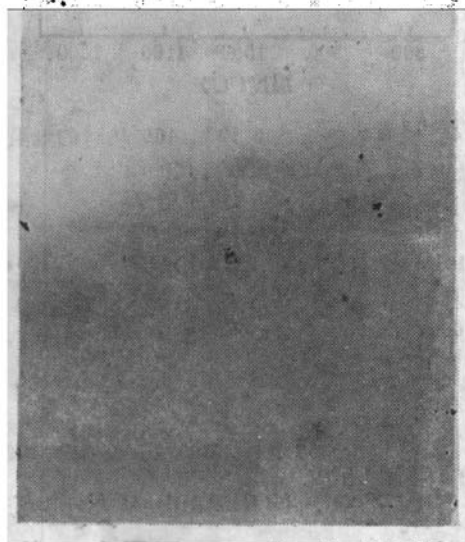
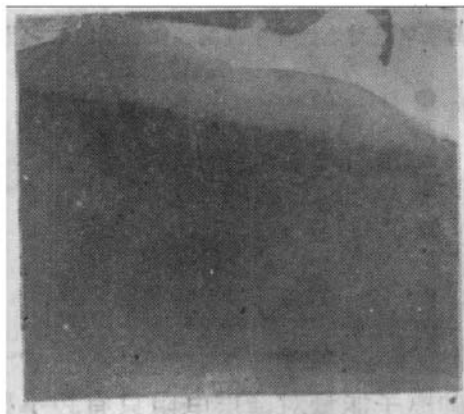


图6 不同能量的砷离子注入样品的薄层电阻随热处理温度的变化

- T_a 400 Å
- As $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, 180 keV
- As $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, 200 keV



(a) 1200 °C 30 秒热处理(×80000)



(b) 1200 °C 30 秒热处理(×64000)

图7 硅衬底上的硅化铝截面透射电镜照片。

除了薄层电阻测量之外, 还利用透射电镜和电子衍射 X 射线对样品进行了研究分析。图 7 给出了样品的截面透射电子显微照片。可以看出钽的硅化物层是清晰可见的, 在 1200°C 下热处理 30 秒形成的硅化物层比较粗糙, 而在 1100°C 下热处理 30 秒形成的硅化物层平坦而均匀。

利用台阶仪 DEKTAK IIA 和透射电镜对所形成的硅化物厚度进行了测量。厚度为 500 埃和 400 埃的钽金属膜对应的硅化物薄层厚度分别为 900 埃和 700 埃。

三、结 论

钽的硅化物可以采用离子束透过钽金属膜进行混合及快速热处理方法来形成。采用这种方法得到了均匀平整的硅化物层。其薄层电阻强烈地依赖于钽膜厚度和砷离子注入剂量。注入能量对硅化物的薄层电阻的影响相对地较小些。

参 考 文 献

- [1] D. L. Kwong, R. Kwor and B. Y. Tsaur, *IEEE Electron Device Letters*, EDL-5, 133(1984).
- [2] B. Z. Li and R. E. Jones, Jr., *J. Appl. Phys.*, 56, 1242(1984).
- [3] D. B. Fraser, S. P. Murarka, A. R. Tretola and A. K. Sinha, *J. Vac. Sci. Technol.*, 18, 345(1981).
- [4] Franz Neppl and Ulrich Schwabe, *IEEE Transactions on Electron Devices*, ED-29, 508(1982).
- [5] Ashok K. Sinha, W. Stewart Lindenberger, David B. Fraser, Shyam P. Murarka and E. N. Fuls, *IEEE Transactions on Electron Devices*, ED-27, 1425(1980).
- [6] Shyam P. Murarka, David B. Fraser, Ashok K. Sinha and H. J. Levinstein, *IEEE Transactions on Electron Devices*, ED-27, 1409(1980).
- [7] R. W. Light and H. B. Bell, *Journal of the Electrochemical Society: Accelerated Brief Communication*, 459(1984).

Tantalum Silicide Formation by Ion-Beam Mixing and Rapid Thermal Annealing

Yao Wenqing

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing)

H. Ryssel

(Fraunhofer-Arbeitsgruppe Abteilung für Bauelementechnologie
and University Erlangen-Nürnberg West Germany)

Abstract

This paper describes the fabrication of tantalum silicide layers by ion-beam mixing and rapid thermal annealing. Smooth layers of tantalum silicide have been formed on p-type silicon substrates by deposition of a tantalum film. Arsenic ion implantation through the film produces ion-beam mixing and rapid thermal annealing. By the use of 500 Å Ta film, the sheet resistance of nearly 5.5 $\Omega/\square$ has been obtained. The samples were characterized by transmission electron microscopy. The thickness of tantalum silicide was also measured.

KEY WORDS: Tantalum silicide, Ion-beam mixing, Rapid thermal annealing, Sheet resistance, Transmission electron microscopy