

# 一种利用夹层 Ta 难熔金属提高 NiSi 薄膜热稳定性的新方法

黄 伟,张树丹,许居衍

(中国电子科技集团公司第五十八研究所,江苏无锡 214035)

**摘 要:** 本文首次给出了一种具有规律性的能用来提高镍硅化物热稳定性的方法.依据此方法,首次摸索出在 Ni 中掺入夹层金属 Ta 来提高 NiSi 硅化物的热稳定性. Ni/Ta/Ni/Si 样品经 600~800℃ 快速热退火后,薄层电阻率保持较小值,约  $2\Omega/\square$ . XRD 衍射分析结果表明,在 600~800℃ 快速热退火温度下形成的 Ni(Ta)Si 薄膜中只存在低阻 NiSi 相,而没有高阻 NiSi<sub>2</sub> 相生成,从而将 NiSi 薄膜的低阻温度窗口的上限从 700℃ 提高到 800℃,使形成高阻 NiSi<sub>2</sub> 相的最低温度提高到 850℃. AES 俄歇能谱, RBS 卢瑟福背散射和 AFM 原子力显微镜分析表明,夹层金属层 Ta 在镍硅化反应中向表面移动,其峰值距离薄膜顶层 2nm 左右,在阻止氧原子参与镍硅化反应中起到很好的屏蔽层作用. Ni(Ta)Si 薄膜中 Ta 与 Ni 的原子比约为 2.1:98,硅化物薄膜界面平整,均方根粗糙度仅为 1.11nm. 研制的高压 Ni(Ta)Si/Si 肖特基硅器件在 650~800℃ 温度跨度范围内保留了与 NiSi/Si 肖特基相近的整流特性,因此 Ni(Ta)Si 硅化物在深亚微米集成电路制造中是一种令人满意的互连和接触材料.

**关键词:** 镍硅化物; 快速热退火; X 射线衍射分析; 俄歇能谱分析; 卢瑟福背散射; 原子力显微镜

**中图分类号:** TN311+.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2011)11-2502-05

## A Thin Tantalum Interlayer on the Thermal Stability and Electrical of NiSi Film

HUANG Wei, ZHANG Shu-dan, XU Ju-yan

(The 58th Research and Scientific Institute, China Electronic Technology Group Corporation, Wuxi, Jiangsu 214035, China)

**Abstract:** A novel method with the property of law was for the first time put forward to improve the thermal stability of NiSi film. According to the way, adding a thin Tantalum interlayer within the nickel film was first reported to effectively improve the thermal stability of nickel monosilicide. After rapid thermal annealing (RTA) at temperatures ranging from 600℃ to 800℃, the sheet resistance of formed Ni(Ta)Si samples was about  $2\Omega/\square$ , and its value is also lower than that of nickel monosilicide without the interlayer. X-ray diffraction (XRD), AES, RBS and AFM results both reveal that NiSi phase exists in these samples, but the high resistance NiSi<sub>2</sub> phase does not exist because tantalum interlayer as the diffusion barrier for oxygen element moved to the top of the thin film after rapid thermal annealing. Fabricated Ni(Ta)Si/Si Schottky barrier diodes with the guard ring structure displayed good quality, with the barrier height being located generally about 0.64 eV and the ideality factor approaching unity. Therefore, It shows that Ni(Ta)Si is a satisfactory local connection and contact material.

**Key words:** nickel silicide; rapid thermal annealing (RTA); X-ray diffraction (XRD); auger electron spectroscopy (AES); rutherford backscattering spectrometry (RBS); atomic force microscopy (AFM)

### 1 引言

集成电路发展进入深亚微米尺度 (ULSI), 互连引线引入的寄生电容、电阻和电感越来越成为影响电路性能的主要原因<sup>[1~3]</sup>. 硅化镍 (NiSi) 是一种性能优异的接触材料, 在 90nm 技术节点以下的微电子制造工艺中具有

极其重要的应用, 它也是实现 65/45nm 节点集成电路制造工艺的关键技术之一<sup>[4]</sup>. 与在深亚微米集成电路中广泛采用的其他金属硅化物 (如 TiSi<sub>2</sub>, CoSi<sub>2</sub>) 相比, NiSi 硅化反应过程中金属镍作为主扩原子, 因此它没有线宽和桥连效应, 并拥有电阻率低 (约为  $10 \sim 15\mu\Omega \times \text{cm}$ ), 耗硅量少, 应力小等众多优点. 然而 NiSi 存在一个亟待解决

的问题,即热稳定性差,大于 650℃ RTA 退火后的 NiSi 薄膜开始结团,750℃ 就能生成高阻的 NiSi<sub>2</sub>,这将增大硅化物薄膜电阻率,并引起器件的漏电流增大<sup>[5-7]</sup>。目前通常采用在 Ni 中掺入少量金属 Pt 方法来提高 NiSi 的热稳定性,起到了显著的改善作用<sup>[8]</sup>。

深入研究发现,掺 Pt 之所以能改善 NiSi 的热稳定性的原因在于两点:(1)就 PtSi 硅化物薄膜来说,即使经受高温热退火后,它仍然有与 NiSi 硅化物大小相当的薄膜电阻率,电阻率约为(20~30)Ω·cm;(2)在 600℃ 高温的条件下,PtSi 硅化物的摩尔熵(33 KJ/mol)比 NiSi 硅化物的摩尔熵(92.53 KJ/mol)低得多,这意味着在高温条件下,PtSi 应具有比 NiSi 硅化物更稳定的性质,不易出现相转变的发生。因此,如在金属 Ni 掺入少量金属 Pt 后,Si 应首先与金属 Pt 发生反应。待上述反应完毕后,它再和 Ni 硅化反应,最终形成由三种元素组成的 Ni(Pt)Si 硅化物。正因为这种三元硅化物中含有更为稳定的 PtSi 成分,能延缓 NiSi 的相变,使 NiSi 硅化物热稳定性得到有效改善。从这个规律性的现象入手,我们摸索出一套能改善镍硅化物的热稳定性的方法:首先,从常见难熔硅化物中筛选出一些在高温条件下有较低薄层电阻率、性质稳定且不易发生相变的硅化物;然后,在不同快速热退火温度下,对掺有少量该金属的镍金属薄膜进行硅化反应,然后用四探针法测量三元镍硅化物薄膜的薄层电阻率,它将作为从直观上判断掺入金属是否对镍硅化物的热稳定性有改善的依据;随后对镍硅化物薄膜进行 X 射线衍射从微观上把握镍硅化物的物相变化,用 AES 俄歇能谱分析和卢瑟福背散射手段确定镍硅化物薄膜结构组成和组份状况,借助 AFM 原子力显微镜考察硅化物表面平整度;最后,对保护环结构的这个肖特基器件进行正反向电学性能测试,以进一步考察该硅化物与硅集成电路制造的兼容性。正是凭借该方法,我们相继发现了具有与 Pt<sup>[8]</sup>相同作用的能提高镍硅化物热稳定性的 Mo<sup>[9]</sup>、Zr<sup>[10]</sup>两种金属,进而遵循上述规律,首次提出在 Ni 中掺入 W 的方法来提高 NiSi 硅化物的热稳定性,并获得初步的实验结果<sup>[11]</sup>。目前难熔金属氮化物 TaN 因其稳定的物理特性,在深亚微米集成电路工艺中作为引线金属 Cu、W 的阻挡层被深入地研究。本文首次在 Ni 薄膜中采用掺夹层金属 Ta 来提高 NiSi 薄膜热稳定性,取得了较好的结果。

## 2 实验步骤

实验内容为 Ni(Ta)Si 硅化物薄膜的热稳定性和 Ni(Ta)Si 硅化物薄膜与 Si 表面的接触特性,以考察能否与深亚微米集成电路制造工艺的兼容性。

(1)Ni(Ta)Si 硅化物薄膜制备。选取基于掺磷,浓度为  $1 \times 19 \text{cm}^{-3}$ ,晶向(100),n 型单晶硅衬底的厚度为

1.5μm,掺磷外延层浓度  $3 \times 16 \text{cm}^{-3}$  的单层外延片作为实验衬底。常规清洗后将实验衬底放入 S-Gun 磁控反应溅射室内,在本底真空度达到  $4.6 \times 10^{-5} \text{Pa}$  时,再通入 Ar 气后。当压强达到  $10^{-3} \text{Pa}$  时,用 300W 溅射厚度为 30nm Ni 金属,用 50W 溅射厚度为 2.5nm Ta 金属,用 50W 溅射厚度为 20nm Ni 金属,最终在硅衬底上形成三明治结构的 30nm Ni/2.5nm Ta/20nm Ni 夹层金属,以获得界面平整且夹层金属分布均匀的金属薄膜样品。随后依次完成温度为 600℃/时间 50 秒和温度为 600~900℃/时间 40 秒的硅化物反应,形成 Ni(Ta)Si 薄膜。最后用四探针法测量 Ni(Ta)Si 硅化物薄膜的薄层电阻率,分别采用 X 射线衍射(XRD)、AES 俄歇能谱、卢瑟福背散射(RBS)分析研究 Ni(Ta)Si 硅化物薄膜的物相转变,薄膜结构变化和原子百分含量比。用原子力显微镜(AFM)比较 NiSi 与 Ni(Ta)Si 表面粗糙度。

(2)高压 Ni(Ta)Si/Si 肖特基二极管研制。结构为保护环结构肖特基势垒二极管,如图 1 所示,器件面积为  $210 \times 210 \mu\text{m}^2$ 。该器件的工艺流程包括:形成保护环结构-形成硅化物的肖特基接触-背面减薄-形成电极等重要步骤。其中 Ni(Ta)Si/Si 硅化物肖特基接触是自对准的形成。最后使用 HP4156B 半导体参数测试仪测量 Ni(Ta)Si/Si 肖特基二极管的正反向电学特性,以考察 Ni(Ta)Si 硅化物薄膜与 Si 表面的接触特性。

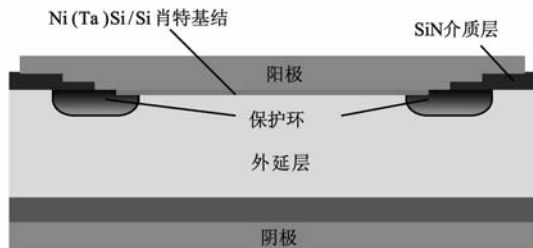


图1 保护环结构的Ni(Ta)Si/Si肖特基二极管

## 3 结果和讨论

### 3.1 Ni(Ta)Si 及 NiSi 薄膜的薄层电阻率

用四探针法测量经不同温度快速热退火后的 Ni(Ta)Si、Ni(Pt)Si、Ni(Mo)Si、Ni(Zr)Si、Ni(W)Si 与 NiSi 薄膜的薄层电阻率,结果如图 2 所示。

由图可以看出,掺入夹层金属 Ta 后,形成镍硅化物 Ni(Ta)Si 的薄层电阻率在五种三元镍硅化物薄膜中仅略为高于 Ni(Zr)Si,且温度窗口的上限也由 700℃ 提高到 800℃。采用 Cap Ti 结构的 Ni/Si 结构经 600~700℃ 快速热退火后,该硅化物的薄层电阻约为  $3.0 \Omega/\square$ ,这时主要以低阻 NiSi 为主,硅化物颗粒细小。当快速热退火温度升高到 750℃ 时,薄膜电阻迅速增大到  $7 \Omega/\square$ ,此刻高阻 NiSi<sub>2</sub> 开始出现,硅化物薄膜表面出现黑斑。由此可见,Ni/Si 结构的 Cap Ti 帽层并不是行之有效可改

善镍硅化物热稳定性的手段. 另一方面, Ni/Ta/Ni/Si 夹层结构经受 600~800℃ 快速热退火后, 形成的 Ni(Ta)Si 薄膜的薄层电阻率比上述 NiSi 的要低得多, 低阻率约为 1.5Ω/□; 当退火温度达到 850℃, 硅化物薄膜电阻率  $R_{\square}$  才略有增加, 且形成一个更宽的温度窗口, 此时说明低阻 NiSi 薄膜特性才开始退化. 由此可见, 掺入夹层金属 Ta 并经快速热退火后, 镍硅化物薄膜的热稳定性有了很大的改善, 其薄层电阻由低阻增大到高阻的温度

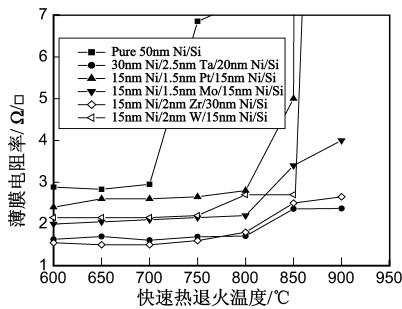


图2 六种镍硅化物薄膜的薄层电阻率随 RTA 退火温度变化

图 3(a) 表明, 50nm Ni/Si 样品在 700℃ RTA 退火后, 出现了一些代表低阻相 NiSi 的衍射强峰, 如 NiSi(021), NiSi(312) 等. 样品经历 750℃ RTA 退火后, 不但原先已有的低阻相如 NiSi(112) 消失, 还产生了一些高阻相, 如 NiSi<sub>2</sub>(112), NiSi<sub>2</sub>(001). 因此可知, 样品中已有高阻相 NiSi<sub>2</sub> 形成, 这个结果与 50nm Ni/Si 样品的薄层电阻率随 RTA 温度变化相一致.

图 3(b) 给出了 Ni/Ta/Ni/Si 样品在 750℃、800℃ 和 850℃ 热退火后的物相转变. 可以看到, 在 750℃、800℃ 温度条件下形成 Ni(Ta)Si 低阻相的幅度较大, 如 NiSi(102), NiSi(211), 这表明掺入金属 Ta 后, NiSi 晶粒较大, 结晶程度较好. 此外, 在 800℃ 退火后形成的 Ni(Ta)Si 物相状况与在 700℃ 退火后形成的 NiSi 有较多的相似性, 而且保留了窄而尖的低阻相 NiSi(211)、NiSi(102) 等强峰, 此时尚无 NiSi<sub>2</sub> 高阻相出现. 当退火温度进一步上升到 850℃ RTA 后, 样品的 NiSi 低阻衍射峰才消失, 此时不但低阻相 NiSi(001) 已转变成高阻相 NiSi<sub>2</sub>(001), 同时也生成了高阻相 NiSi<sub>2</sub>(112). 由此可见, 掺入金属 Ta 的中间层掺杂效果, 可以将低阻相 NiSi 向高阻相 NiSi<sub>2</sub> 转化的温度由 750℃ 向上扩展到 850℃.

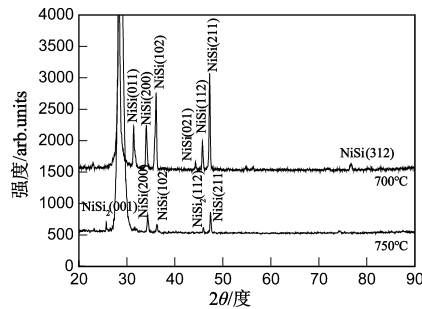
图 4 给出了经历 800℃/40s RTA 退火后的 Ni(Ta)Si 薄膜俄歇电子能谱分析. 可以看出, 硅化物薄膜上层部分形成的是富镍化物, 沿薄膜深度方向 Ni、Si 的原子比先以近似常数的比例向体内延伸, 直至出现 Ni 原子峰值. 此后 Ni、Si 的原子比随深度迅速递减, 由此可见 Ni 原子往下扩散的趋势.

另一方面, 夹层金属 Ta 层作为阻止氧元素参与镍

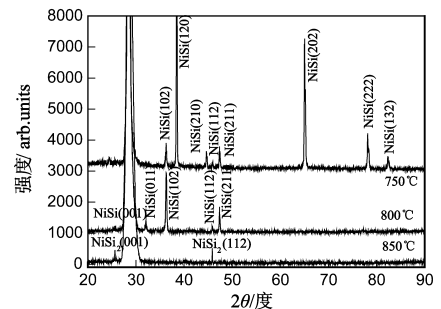
提高到 800℃ 以上.

### 3.2 Ni(Ta)Si 及 NiSi 薄膜的物相及组份分析

为了说明经 RTA 退火后的 Ni(Ta)Si 薄膜, 它的薄层电阻率随温度变化为什么能有着这样的变化规律. 借助了型号为 Rigaku-RA 的 X 射线衍射仪来鉴别不同硅化物样品中的物相成份, 并重点关注了 20°~50° 衍射角度范围. 图 3(a)、(b) 分别给出了经快速热退火的 Cap Ti/Ni/Si 和 Ni/Ta/Ni/Si 两种结构的 XRD 分析.



(a) Cap Ti/Ni/Si



(b) Ni/Ta/Ni/Si 薄膜经不同温度快速热退火后的 XRD 分析

图3

硅化反应的屏蔽层, Ta 原子主要分布在薄膜顶层处, 并沿薄膜深度方向 Ta 含量迅速减少. 位于初始金属夹层结构 30nm Ni/2.5nm Ta/20nm Ni 的 Ta 原子层, 在硅化反应中向薄膜表面移动, 并在离薄膜顶层 2nm 位置形成一个峰值, 由于 Ta 原子屏蔽层的存在, 氧元素含量在薄膜深度方向急剧降低到零, 因此镍硅化物的热稳定性得以改善.

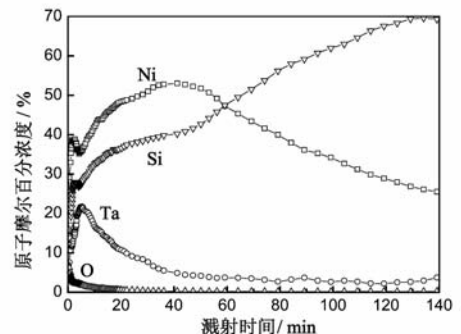


图4 Ni/Ta/Ni/Si 结构经 800℃/40s 退火后的 AES 分析图

采用卢瑟福背散射设备 RBS 确定上述 Ni(Ta)Si 薄膜的原子含量, 所用的设备是电串列加速器. 图 5 给出了 RBS 实验与拟合结果. Ni(Ta)Si 硅化物薄膜的成分明显分为两层: 近薄膜表面处的顶层主要是 Ta、Si 元素为主, Ta 原子已基本转移至薄膜顶层; 硅化物薄膜深处主要是以 Ni、Si 为主, 这与 AES 结合吻合. 根据拟合结果可知, 整个硅化物薄膜中 Ta 与 Ni 的原子比为 2.1:98, 这与最初淀积的 Ta、Ni 原子比 2.2:92 很接近.

利用原子力显微镜 AFM 对 NiSi 薄膜和 Ni(Ta)Si 薄膜样品的表面形貌特征进行观察和分析<sup>[12]</sup>. 图 6 给出

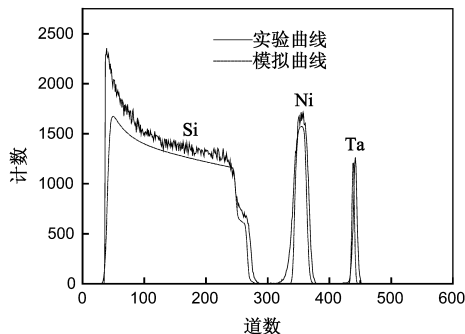


图5 Ni/Ta/Ni/Si经800℃/40s快速热退火的RBS曲线图

了经历 700℃/40 s RTA 退火后的 NiSi 样品和经历 800℃/40 s RTA 退火后的面积为  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$  Ni(Ta)Si 样品 AFM 三维形貌图, 刻度单位为  $\mu\text{m}$  量级. 从图中可见, NiSi 薄膜表面的均方根粗糙度 (Rrms) 为 4.17nm, 而 Ni(Ta)Si 薄膜的均方根粗糙度仅为 1.11nm. NiSi 薄膜表面的均方根粗糙度 (Rrms) 约为 Ni(Ta)Si 薄膜表面 Rrms 的四倍, 从而可知 Ni(Ta)Si 薄膜远比 NiSi 薄膜的表面平滑. 由 AFM 结果可以知道, 掺 Ta 有效地抑制了 NiSi 薄膜的结团发生, 避免了薄膜形貌退化. 因此, Ta 元素对 NiSi 薄膜结团的抑制, 一定程度上也延缓了低阻相 NiSi 向高阻相 NiSi<sub>2</sub> 转化.

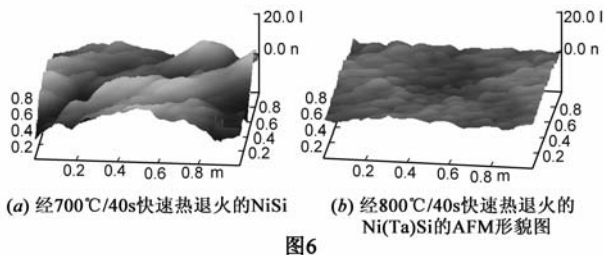


图6

### 3.3 Ni(Ta)Si/Si 肖特基器件的电学特性

图 7 给出了在四种快速热退火温度条件下形成的 Ni(Ta)Si/Si 肖特基结的正向特性. 我们利用线性度较好的区域 (0.1 ~ 0.3V), 并结合肖特基二极管的电流公式进行线性拟合, 可以求得各肖特基二极管的势垒高度  $\Phi_B$  和理想因子  $n$  分别如下表 1 所示.

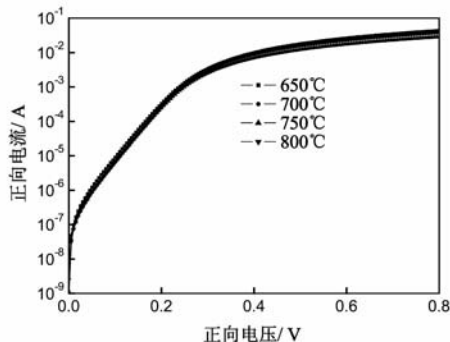


图7 四种Ni(Ta)Si/Si肖特基势垒二极管正向I-V特性

表 1 四个 Ni(Ta)Si/Si 器件相应的 ( $\Phi_B/eV$ ) 和理想因子 ( $n$ )

退火温度/℃	650	700	750	800
势垒高度 $\Phi_B/eV$	0.64	0.64	0.65	0.62
理想因子/ $n$	1.04	1.05	1.03	1.05

从表 1 可以看出, 经历不同快速热退火条件的 Ni(Ta)Si/Si 肖特基势垒高度随温度变化 (650℃ ~ 800℃) 不明显, 且理想因子接近 1. 另外, Ni(Ta)Si/Si 肖特基二极管与 NiSi/Si 肖特基二极管的势垒高度接近, 约为 0.64eV, 这就进一步证明 Ta 原子在硅化物薄膜中溶解度较小, 且大部分已转移到薄膜表面处, 夹层金属 Ta 对势垒高度的影响很微弱.

图 8 给出了具有保护环结构的 Ni(Ta)Si/Si 肖特基二极管的反向特性.

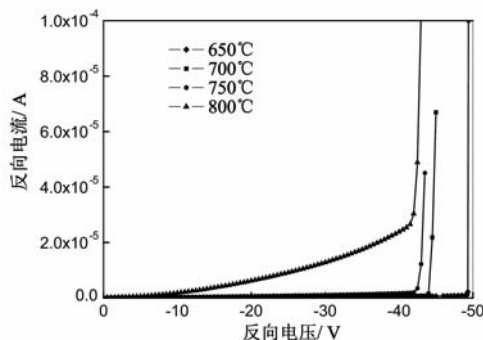


图8 Ni(Ta)Si/Si肖特基势垒二极管反向I-V特性

可以看到, 经历 650℃ ~ 750℃ 快速热退火形成的 Ni(Ta)Si/Si 肖特基二极管都是硬击穿, 击穿电压均大于 40V, 反向漏电流均在微安数量级. 800℃ 退火后二极管漏电流有所增大, 漏电流也仅为 30mA, 这表明此时硅化物薄膜可经受集成电路制造工艺的后续 800℃ 高温过程.

从 Ni(Ta)Si/Si 肖特基势垒二极管的电学分析可知, 夹层金属 Ta 的掺入既保留了 NiSi/Si 肖特基势垒二极管原有的电学特性, 同时还将温度窗口的上限从 700℃ 提高到 800℃.

## 4 结论

本文首次给出了一种具有规律性的方法来改善镍硅化物热稳定性, 并率先发现掺入的夹层金属 Ta 在硅化反应作为阻挡层, 使 NiSi 薄膜的热稳定性得以提高. 在 600 ~ 800℃ 温度范围内快速热退火后薄层电阻率低, 小于  $2\Omega/\square$ . XRD 分析, AES 俄歇电子能谱, RBS 卢瑟福背散射和 AFM 分析结果表明, 经历上述温度快速热退火形成的 Ni(Ta)Si 硅化物界面平整, 该薄膜中只有 NiSi 相而不存在 NiSi<sub>2</sub> 物相, 硅化物薄膜中 Ta 与 Ni 的原子比约为 2.1:98, 将镍硅化物的薄层电阻由低阻增大为高阻的温度提高到 800℃ 以上, 比纯镍硅化物的转变温度的上限提高了 100℃. 研制的高压 Ni(Ta)Si/Si

肖特基硅器件在 650 ~ 800°C 温度跨度范围内保留了 NiSi/Si 肖特基相近的整流特性,肖特基势垒高度约为 0.64eV,理想因子接近于 1,表明 Ni(Ta)Si/Si 能够较好地兼容深亚微米集成电路制造工艺.因而夹层金属 Ta 是一种可替代金属 Pt,能改善镍硅化物热稳定性的低成本难熔金属.

**致谢:**感谢中国电子科技集团公司第五十八研究所工艺实验室的全体人员和北京大学微电子研究院张利春和高玉芝两位教授对本项目的技术指导和帮助.

## 参考文献

- [1] Zhang S H, et al. Metal silicides in CMOS technology: past, present, and future trend[J]. *Critical Reviews in Solid State and Material Science*, 2003, 28(1): 1 - 129.
- [2] 殷华湘,徐秋霞.体硅 CMOS FinFET 结构与特性研究[J]. *电子学报*, 2005, 33(8): 1484 - 1486.  
Yin Huaxiang, Xu Qiuxia. Bulk silicon CMOS FinFET's structure and characteristics[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2005, 33(8): 1484 - 1486. (in Chinese)
- [3] 汪金辉,宫娜,耿淑琴,等. 45nm 低功耗、高性能 Zipper CMOS 多米诺全加器设计[J]. *电子学报*, 2009, 37(2): 266 - 271.  
Wang Jinhui, Gong Na, Geng Shuqin, et al. Low power and high performance Zipper CMOS domino full-adder design in 45nm technology[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2009, 37(2): 266 - 271. (in Chinese)
- [4] 蔡一茂,黄如,单晓楠,等. 锗预非晶化注入对镍硅(NiSi)金属栅功函数的影响研究[J]. *电子学报*, 2006, 34(8): 1534 - 1536.  
Cai Yimao, Huang Ru, Shan Xiaonan, et al. Study on the impact of germanium preamorphization on the workfunction of fully silicided NiSi gate[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2006, 34(8): 1534 - 1536. (in Chinese)
- [5] Lee P S, Pey K L, Manginck D. New salicidation technology with Ni(Pt) alloy for MOSFETs[J]. *IEEE Electron Device Lett*, 2001, 22(12): 568 - 570.
- [6] Liu J F, Chen H B, Feng J Y. Enhanced thermal stability of NiSi films on Si(111) substrates by a thin Pt interlayer[J]. *Journal of Crystal Growth*, 2000, 220: 488 - 493.
- [7] Lee P S, Pey K L, Manginck D. Improved NiSi silicide process using presilicide N<sub>2</sub><sup>+</sup> implant for MOSFETs[J]. *IEEE Electron Device Lett*, 2001, 21(12): 566 - 568.
- [8] 黄伟,张利春,高玉芝. Ni/Pt 硅化物温度稳定性的研究[J]. *固体电子学研究与进展*, 2005, 25(3): 422 - 426.  
Huang Wei, Zhang Lichun, Gao Yuzhi. Investigation on temperature stability of Ni(Pt)Si silicide[J]. *Research & Progress of Solid State Electronics*, 2005, 25(3): 422 - 426. (in Chinese)
- [9] 黄伟,张利春,高玉芝. 掺 Mo 对 NiSi 薄膜热稳定性的改善[J]. *物理学报*, 2005, 54(5): 2252 - 2255.  
Huang Wei, Zhang Lichun, Gao Yuzhi. The improvement of thermal stability of NiSi film by adding Mo[J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, 54(5): 2252 - 2255. (in Chinese)
- [10] Huang W, Zhang L C, Gao Y Z. The improvement of thermal stability of nickel silicide by adding a thin Zr interlayer[J]. *Microelectronic Engineering*, 2006, 83(2): 345 - 350.
- [11] 王胜,黄伟,张树丹,许居衍. Ni(W)Si/Si 肖特基势垒二极管电学特性研究[J]. *电子与封装*, 2010, 10(10): 24 - 27.  
Wang Sheng, Huang Wei, Zhang Shudan, Xu Juyan. Investigation on electrical characteristics of Ni(W)Si/Si schottky barrier diode[J]. 2010, 10(10): 24 - 27. (in Chinese)
- [12] Yue X W, Zhang L C, Gao Y Z. A Hafnium interlayer method to improve the thermal of NiSi film[J]. *Microelectronic Engineering*, 2008, 85(2): 1723 - 1727.

## 作者简介



**黄伟** 男,高级工程师,分别于 1998 年、2006 年在电子科技大学、北京大学获得工学学士和理学博士,并先后在香港科技大学电子与计算机系博士后流动站、摩托罗拉亚太研发中心(香港)等海外研究机构从事氮化镓 GaN 基电力电子芯片与硅 Si 基高压功率芯片工艺等项目开发.目前在中国电子科技集团公司第五十八研究所从事智能化 LED 半导体照明的第二站博士后研究工作. E-mail: huangw@pku.org.cn



**张树丹** 男,教授级高工,中国电科第 58 研究所所长,目前主要从事抗辐照 FPGA 超大规模集成电路、高压 SOI 等技术研究与产品开发工作.