

計劃名稱：超大型積體電路中連接導線之銅材及障礙層微結構及特性研究

計劃編號 NSC-88-2215-E-009-027

執行期限 87-08-01-88-07-31

計劃主持人：張立 副教授 交通大學材料系 [licahng@cc.nctu.edu.tw](mailto:licahng@cc.nctu.edu.tw)

## 一、中文摘要

濺鍍 100 nm 銅膜及 10 nm Ta/ 10 nm TaN 雙障礙層於矽晶片上，並於真空中退火至 800 °C 四點探針量測電阻值之結果顯示至 700 °C 未有變化。利用電子顯微鏡及 Auger 電子能譜儀觀察微結構與成分之變化，並探討其熱穩定性之原因，發現在 600 °C 時氮從 TaN 擴散至 Ta 轉換成 Ta<sub>2</sub>N 而 750 °C 以上銅與鈮擴散至矽基材，造成失效

關鍵字：障礙層、熱穩定性、電子顯微鏡 TaN

Bilayer of 10 nm Ta/ 10 nm TaN was deposited on Si substrate, followed by deposition of 100 nm Cu film. Annealing up to 800 °C was carried out in a vacuum furnace. Resistance measurements by four-point probe showed no change after annealing at 700 °C. Electron microscopy and Auger electron spectroscopy reveal that nitrogen diffusion occurred from TaN to Ta after annealing at 600 °C. Thermal stability of the bilayer diffusion barrier is compared with a single layer of TaN in 20 nm thick. Above 750 °C, Cu and Ta diffused into Si substrate, resulting in failure of the barrier.

## 二、緣由與目的

銅在下一代 ULSI 金屬化中將扮演極為重要的角色，主要是因銅之電阻比鋁低，電遷移阻抗亦比鋁佳，然而在製程中可能因為滲入雜質等元素而改變相關之特性 [1]。銅極易擴散至 Si 中，跟 Si 形成矽化物，致使元件失效；此外在加偏壓狀況下，銅也很容易在 SiO<sub>2</sub> 中擴散，使得 SiO<sub>2</sub> 導電性增加。因此，在銅製程中，銅與矽或銅與 SiO<sub>2</sub> 之間，需加入擴散障礙層，阻止銅之擴散。銅之擴散障礙層以 Ta 或 TaN 最有可能，可以有效降低 Cu 與 Si 之間的擴散，避免形成銅矽化合物 [2]。然而，Ta 之熱穩定性差，但電阻係數低；而 TaN 電阻係數高，但熱穩定性佳。因此，採用複合層之結構，各取 Ta 與 TaN 之優點，探討其熱穩定性。在高溫熱處理過程中，Cu、Ta 與 Si 等元素互相之間的擴散、反應及偏析對材質微結構有所影響，而微結構將影響電阻及電遷移等之特性。本計畫擬就銅及 Ta/TaN 薄膜層之材質分析及微結構做一探討。同時，希望了解擴散與溫度的關係，及各界面之間的鍵結情形。

## 三、研究方法

本實驗在探討以 Ta 及 TaN 複合層做為銅與矽之間擴散障礙層的反應，由擴散、相變化的觀點來討論其變化。所採用的鍍膜結構如下：

Cu(100nm)/TaN(10nm)/Ta(10nm)/Si

銅膜及障礙層以直流濺鍍法沈積後，對試片做 450~850 °C / 30 分鐘的真空 ( $\sim 10^{-5}$  torr) 退火處理，以四點探針量測片電阻，歐傑電子能譜儀(AES)做成分縱深分析，場發射電子顯微鏡 (FE-SEM) 觀察表面銅膜的變化，並利用穿透式電子顯微鏡 (TEM) 做鍍膜截面的觀察，分析各層結構的變化。TEM 試片製作是用楔形法，經過研磨與拋光，最後用低電壓離子槍減薄。

### 三、結果與討論

Cu/10 nm TaN /10 nmTa/Si 結構剛鍍完之片電阻值為 457 m $\Omega$ /，在 450 °C 退火後電阻值降低至 236 m $\Omega$ /，到 700 °C 都維持在這個範圍，直到 750 °C /30 分鐘真空退火後電阻明顯上升至 316 m $\Omega$ /，表示銅微結構產生變化。SEM 觀察顯示 700°C 以下銅表面無異常現象，而 750°C 退火後，表面有些區域有生成物出現，尺寸約在 0.7  $\mu\text{m}$ ，如圖 2 所示。Auger 電子縱深分析圖(如圖 3)顯示在剛鍍完之試片上，從 N 的訊號 TaN/Ta 有明顯的差別，障礙層在退火過程中產生變化；600 °C 時 N 從 TaN 擴散至 Ta 形成 Ta<sub>2</sub>N；在 750 °C Ta 已擴散至 Si，有可能形成矽化物，銅也有擴散的情形發生。

薄膜微結構在 750 °C 的變化如圖 4 橫截面穿透式電子顯微鏡影像所示，銅表面產生不平整的情形，障礙層有斷裂發生，這是因為在矽之中有水滴狀析出物，其尺寸約在 500-600 nm 的範圍。水滴狀析出物可能含有 Cu<sub>3</sub>Si 與 SiO<sub>2</sub>。另外，在其他區域，障礙層本身仍維持其層狀結構(如圖 5)，但在與矽相接之界面產生 TaSi<sub>2</sub> 矽化物，這跟 Auger 電子縱深分析結果吻合。TaSi<sub>2</sub> 矽化物本身在 750 °C 已經無法阻擋銅的擴散。因此，銅與鈮兩者在高溫擴散是造成 TaN/Ta 複合式擴散障礙層失效的主因。

Cu/20 nm TaN/Si 結構之片電阻值在 850 °C 才開始增加，因此障礙層的穩定性至 800 °C。複合層之結構的熱穩定性只低 100 °C。其他文獻報導單層之 Ta 或 Ta<sub>2</sub>N 之障礙層熱穩定性更差，多半低於 700 °C [2-4]。

### 四、參考文獻

- [1] S.P. Murarka, Multilevel interconnections for ULSI and GSI era, *Materials Science and Engineering*, **R19** (1997) 87-151.
- [2] Holloway K, Fryer PM, Cabral C Jr, Harper JME, Bailey PJ, Kelleher KH., *J. Appl. Phys.*, **71** (1992)5433,.
- [3] K.H. Min, K.C. Chun, and K.B. Kim, *J. Vac. Sci. Technol. B*. **14** (1996) 3263.
- [4] M.T. Wang, Y.C. Lin, and M.C. Chen, *J. Electrochem. Soc.*, **145** (1998) 2538.

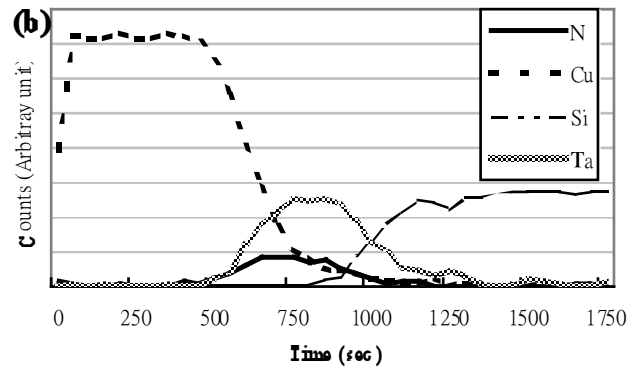
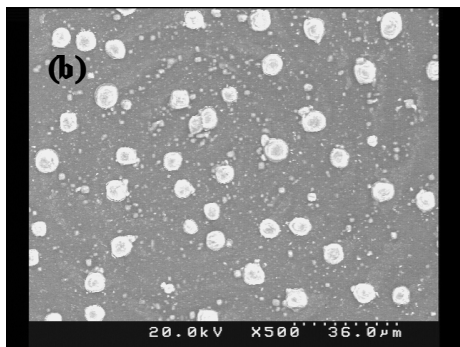
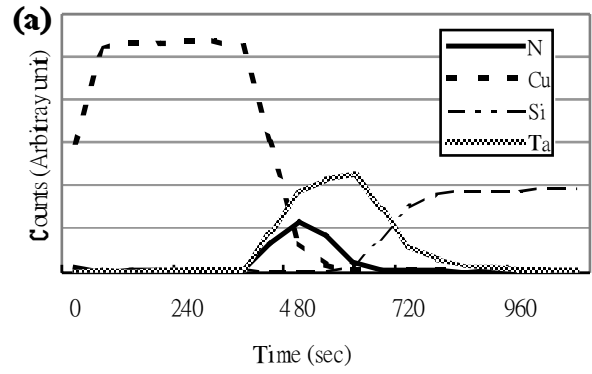
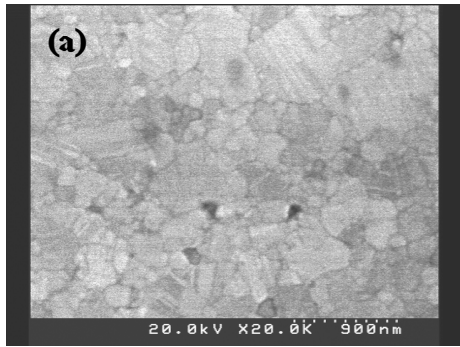


圖 1. SEM 影像 (a) 450 C 退火，  
(b) 750 C 退火

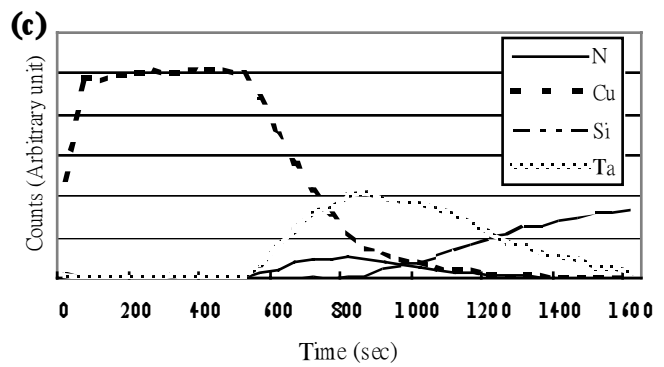


圖 2. Auger 縱深分析圖 (a) 剛鍍完，(b) 600C，(c) 750C 退火。

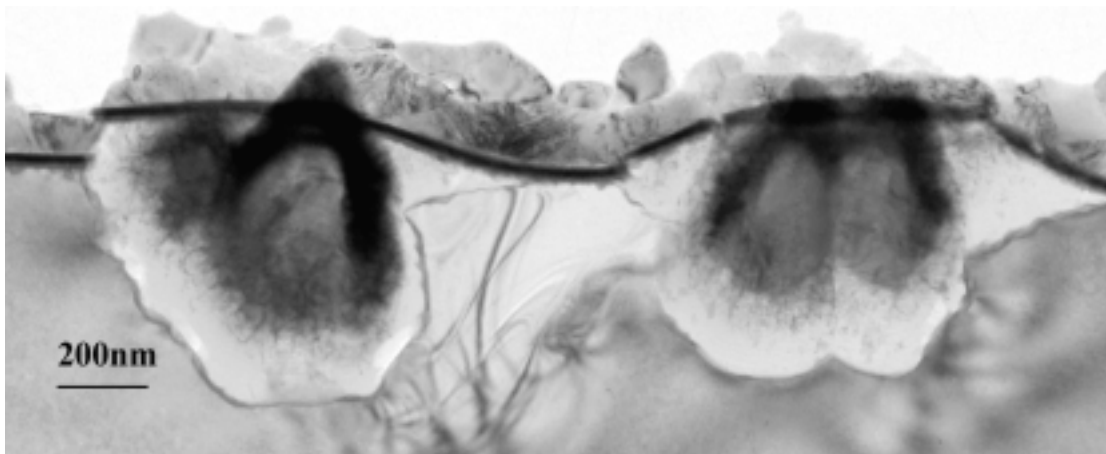


圖 4. 750 °C 橫截面穿透式電子顯微鏡影像

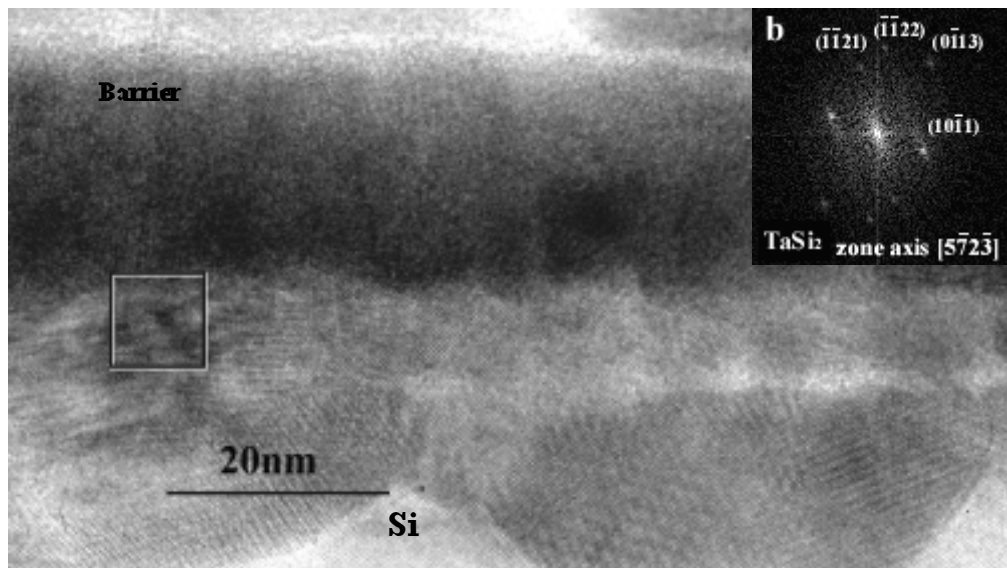


圖 5. 750 °C 高分辨橫截面穿透式電子顯微鏡影像，右上角之繞射圖形是從左邊方框中做 **FFT** 而得。