



# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫名稱: 多層導體連線平坦化之研究—電鍍銅之電解拋光技術

計畫編號: NSC 90-2215-E-009-062

執行期限: 90年08月01日至91年07月31日

主持人: 馮明憲 國立交通大學材料科學與工程系所

共同主持人: 謝嘉民 國家奈米元件實驗室

計畫參與人員: 張世杰、黃志昌 國立交通大學材料科學與工程系所

## 一、中文摘要

銅電解拋光技術應用在全面平坦化製程中需操作在極限電流平坦區以及在濃度高的酸電解液下。拋光後的表面粗糙度及拋光速率會隨著酸濃度的降低而增高。銅電解拋光的平坦化作用是由於再銅膜表面產生一層含磷的鈍化層來造成銅的電解速率差而得到光滑的表面。

關鍵詞: 銅、電解拋光、平坦化

## Abstract

Cu electropolishing is usually obtained over the plateau region with a stable limiting current and in a concentrated acid electrolyte. The surface roughness of polished surfaces and the polishing rates increased as the acid concentration decreased. The existence of the passivation film, verified by the presence of phosphorus (P) on the anodic surface and by electrochemical impedance spectroscopy, contributes to microleveling and maintains the smoothness of the polished surface.

Keywords: Cu、electropolishing、microleveling

## 二、緣由與目的

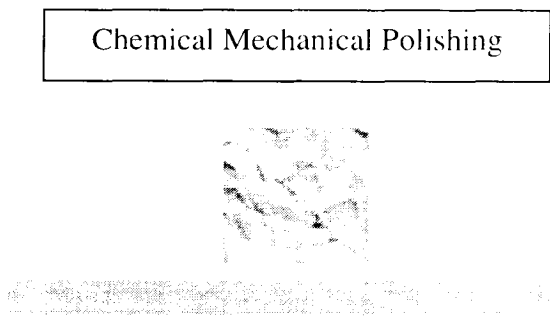
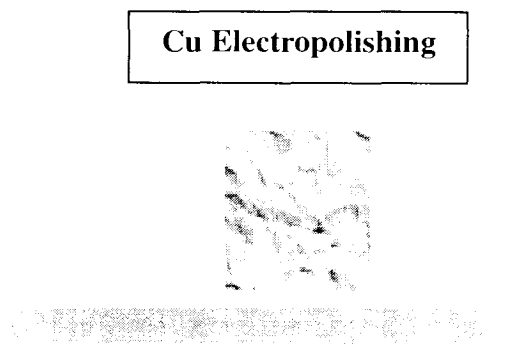
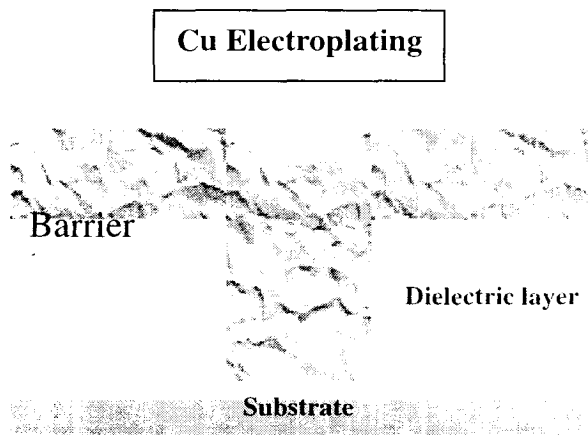
在化學機械研磨法(Chemical Mechanical Polishing, CMP)乃現今半導體製程中,常用來作為晶圓平坦化的方法,然而,當化學機械研磨製程用於玻璃絕緣層平坦化與金屬導線(銅金屬鑲嵌結構)製作時,圖形效應問題(Pattern Effect)、移除選擇比(Remove

Selectivity)、金屬導線窪陷現象(Dishing Effect)、刮痕(Scratch)、絕緣層磨耗(Oxide Erosion)以及化學機械研磨後清潔(Post-Clean)等,都是目前急需克服之關鍵問題。[1-5]

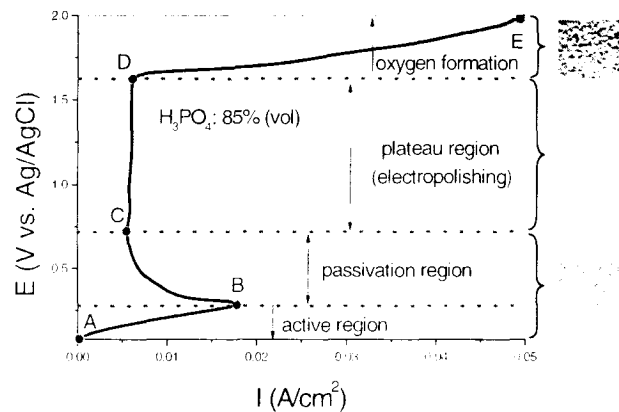
電解拋光製程(Electropolishing)由於具有較化學機械研磨製程可減少刮痕、減少微粒狀物質、減少廢棄溶液(低溶液成本)、高拋光速率(高產能)、以及無機械應力等優點,而為一種較新穎的電鍍銅層的平坦化製程。銅電解拋光技術,最近正被積極的研究開發並與乾式蝕刻、濕式蝕刻及傳統的CMP整合成一新的全面平坦化技術。[6,7] 本計畫之目的為開發銅電解拋光技術來取代銅化學機械研磨以增進多層導體連線之平坦化效能。

## 三、結果與討論

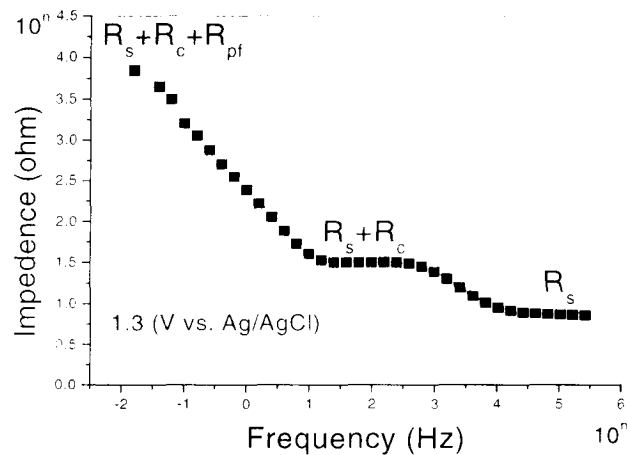
本計畫的目標為開發銅電解拋光的方法來取代銅化學機械研磨並整合第二階段化學機械研磨而成為一新的電化學全面平坦化製程,如圖一所示。本實驗銅電解拋光之主溶液為濃磷酸溶液,由電化學實驗分析(圖二),我們可在I-E圖中找到一平坦的電流穩定區,此為一般電解拋光之操作電壓範圍(約0.7~1.6V)。由光學顯微鏡也可觀察到在此區域電壓下,電解拋光後可得到一平坦的表面。此平坦化的機制是因為在電解拋光時,會生成一層鈍化層來保護較低的區域,使表面較高的區域的溶解速率大於低的區域而達到平坦化的目的。我們可從圖三中電化學交流阻抗圖可得知有一鈍化層(阻抗約4000Ω)在銅表面生成。另外,由圖四中ESCA圖中可發現在電解拋光後,銅表面有一含磷的薄膜存在。



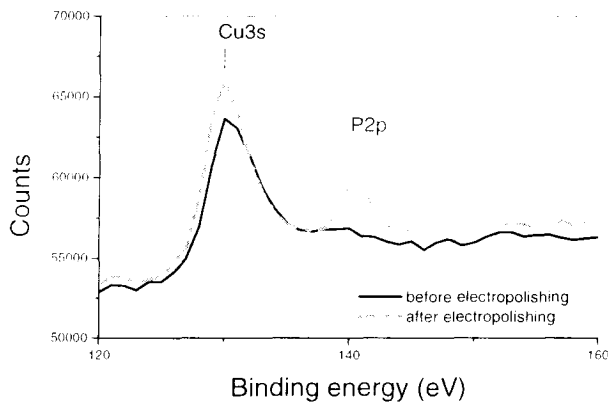
圖一：電化學全面平坦化製程示意圖。



圖二：在濃磷酸中，銅電化學 I-E 圖。



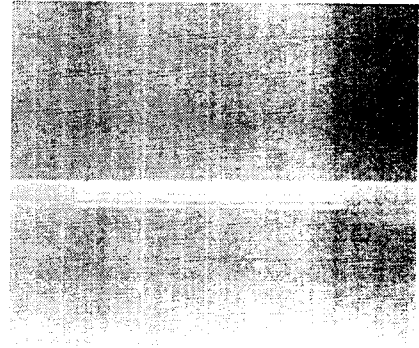
圖三：在濃磷酸中，銅電化學交流阻抗圖。



圖四：銅電解拋光前後 ESCA 圖。

由圖五可得知拋光後的銅表面粗糙度及拋光速率會隨著酸濃度的降低而增高，因此，銅電解拋光技術應用在全面平坦化製程中需操作在極限電流平坦區以及在濃度高的酸電解液下，且銅膜在經過電解拋光後，其阻值並不會受電解拋光的影響，表面平均粗糙度(Ra)也可從電鍍完後的 15.3 nm 降至 1.0 nm 左右，無任何刮痕，符合半導體製程之要求，如圖六所示。

由圖七所示我們可看到我們所開發的銅電解拋光技術可有效的降低電鍍後所造成的銅層階梯差而得到一大線寬(~ 10  $\mu\text{m}$ )的平坦導線。



圖七: 10  $\mu\text{m}$  銅導線 SEM 截面圖

#### 四、結論

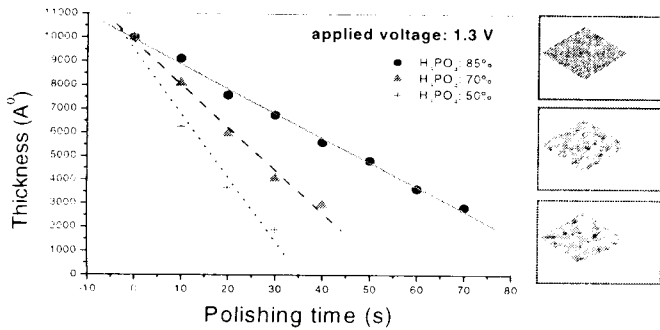
本計劃成功地利用銅電解拋光技術來取代傳統銅化學機械研磨而成為一新的電鍍銅平坦化技術。銅電解拋光技術應用在全面平坦化製程中需操作在極限電流平坦區以及在濃度高的酸電解液下。電解拋光後，銅膜阻值並不會受電解拋光的影響，表面平均粗糙度(Ra)也可從電鍍完後的 15.3 nm 降至 1.0 nm 左右，皆可符合半導體製程之要求。

#### 五、計畫成果自評

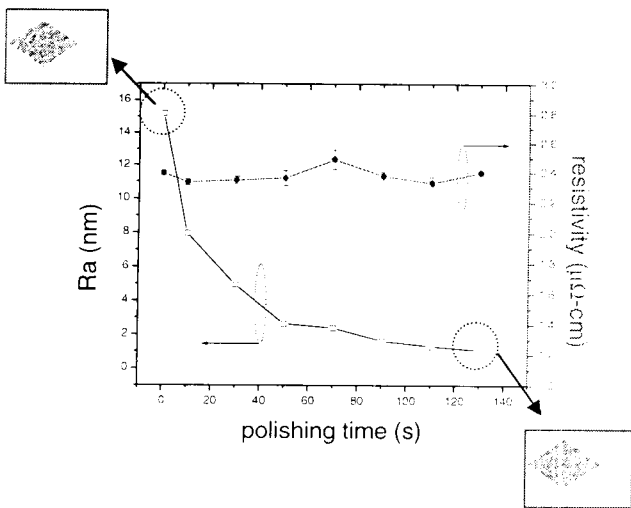
本研究已全部完成，符合原定目標。

#### 六、參考文獻

1. S. Kondo, N. Sakuma, Y. Homma, Y. Goto, N. Ohashi, H. Yamaguchi, and N. Owada, *J. Electrochem. Soc.*, **147** (10), p. 3907 (2000).
2. H. S. Kuo and W. T. Tsai, *J. Electrochem. Soc.*, **147** (1), p. 149 (2000).
3. J. Hernandez, P. Wrschka, and G. S. Oehrlein, *J. Electrochem. Soc.*, **148** (7), G389-G397 (2001).
4. Y. Li and S. V. Babu, *Electrochemical and Solid-State Letters*, **4** (2), G20-G22 (2001).
5. H. Yamaguchi, N. Ohashi, T. Imai, K. Torii, J. Noguchi, T. Fujiwara, T. Saito, N. Owada, Y. Homma, S. Kondo and K. Hinode, in *Proceedings of the International Interconnect Technology Conference (IITC)*, San Francisco, CA, p. 264 (2000).
6. M. H. Tsai, S. W. Chou, C. L. Chang, C. H. Hsieh, M. W. Lin, C. M. Wu, Winston S. Shue, Douglas C. Yu, and M. S. Liang, p. 80, *International Electron Devices Meeting*, Washington, DC (2001).
7. S. Sato, Z. Yasuda, M. Ishihara, N. Komai, H. Ohtorii, A. Yoshio, Y. Segawa, H. Horikoshi, Y. Ohoka, K. Tai, S. Takahashi, and T. Nogami, p. 84, *International Electron Devices Meeting*, Washington, DC (2001).



圖五: 銅膜拋光速率，表面粗糙度對酸濃度之變化圖。



圖六: 銅膜阻值，表面平均粗糙度隨拋光時間之變化圖。