

# Ch12 Chemical Mechanical Polishing

## Introduction to Semiconductor Processing

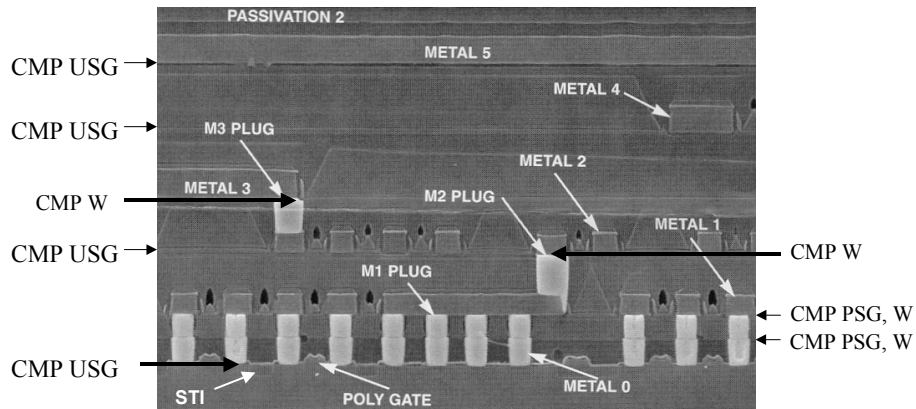
1

## 平坦化

- 平滑化及局部平坦化可就由熱流動以及回蝕刻製程而達成
- 對圖形尺寸小於 $0.35\ \mu\text{m}$ 而言，全面性平坦化是必須的，而這只能藉化學機械研磨才能達成。
- 顯影製程之解析度  $R = K_1\lambda/NA$
- $DOF = K_2\lambda/2(NA)^2$
- 我們假設  $K_1=K_2$ ,  $\lambda=248\ \text{nm}$  (DUV)，以及  $NA=0.6$ , 當解析度為  $0.25\ \mu\text{m}$ 時DOF 大約為  $2,083\ \text{\AA}$ ；當其為  $0.18\ \mu\text{m}$ , DOF為 $1,500\ \text{\AA}$ 。
- $0.25\ \mu\text{m}$  圖形其粗糙度須  $< \sim 2000\ \text{\AA}$
- 只有CMP可達到此一平坦化

2

## CMP之應用



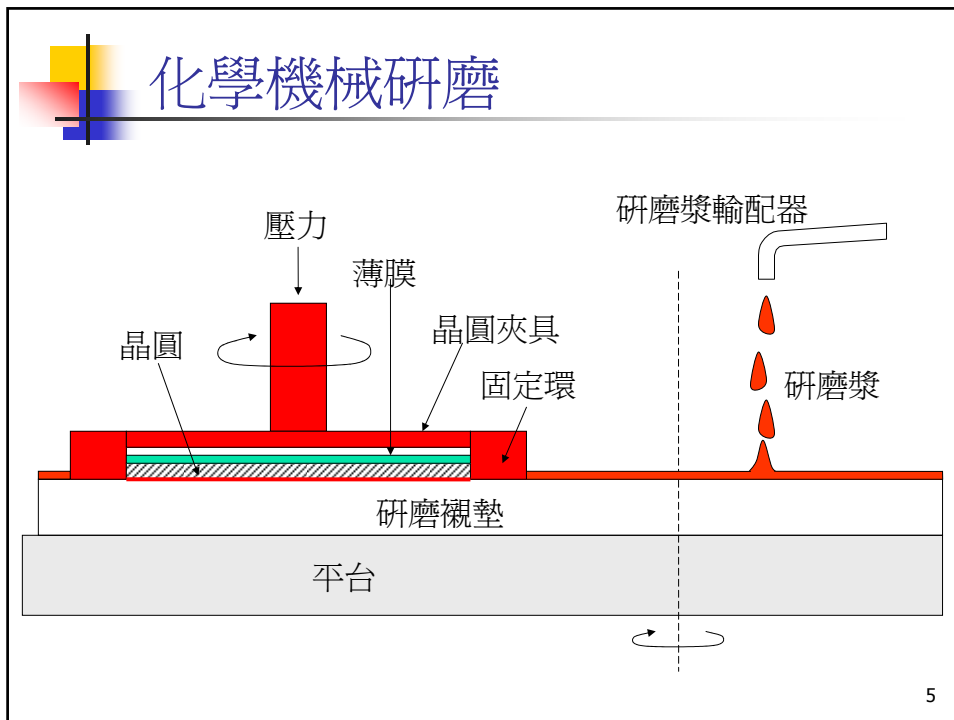
3

## 鎢的化學機械研磨

- 鎢被用來做為金屬栓塞
- 化學氣相沈積鎢能填充小的接觸窗及連接窗孔並覆蓋整個晶圓表面
- 必須從表面移除鎢的薄膜
- 以氟為基礎的電漿回蝕刻製程
- 鎢的化學機械研磨取代回蝕刻

4

## 化學機械研磨



## 研磨襯墊

- 多孔、有彈性之高分子材料
  - 脫落或是切成薄片的聚氨酯或是氨基甲酸酯塗佈的聚酯氈製品
- 襯墊直接影響CMP製程之品質
- 襯墊材料: 在製程溫度內需具耐用、可再生及可壓縮
- 製程需求: 高形貌選擇性以達到表面平坦化

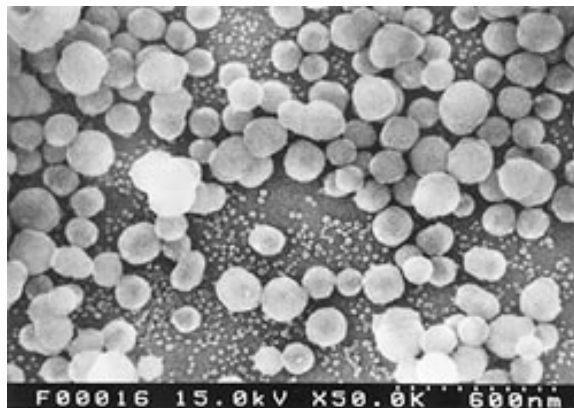
6

## CMP研磨漿

- 研磨漿內的化學物質和表面材料反應形成可被研磨粒子移除的化合物
- 研磨漿中的顆粒機械性地研磨晶圓表面並移除物質
- CMP研磨漿的添加劑幫助達到所需之研磨效果
- 研磨漿通常會針對某一特殊的應用而配置
- 氧化物研磨漿: 鹼性溶液及二氧化矽
- 金屬研磨漿: 酸性溶液及氧化鋁
- 控制研磨漿之pH值
  - 氧化物, pH 從 10 到 12
  - 金屬, pH 從 6 到 2

7

## 燻烤二氧化矽顆粒



Courtesy of Fujimi Corporation

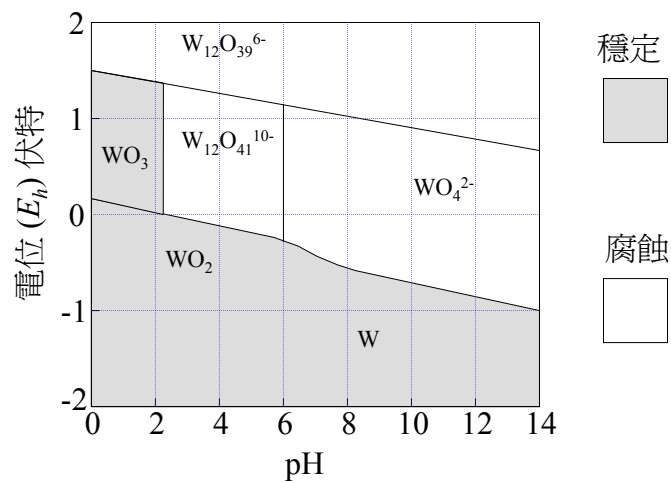
8

## 金屬研磨漿

- 金屬 CMP 研磨漿通常是pH值可調的氧化鋁懸浮物
- 研磨漿的pH值控制兩競爭之金屬移除機制
  - 金屬腐蝕濕式蝕刻
  - 金屬氧化鈍化層
- 不同金屬氧化物有不同之溶解度
- 如果氧化物可溶，濕式蝕刻主導
  - 不傾向: 等向蝕刻而無形貌選擇性
- 如果氧化物不可溶，它阻絕進一步之氧化過程。
  - 顆粒機械性磨耗氧化層
  - 重複金屬氧化及金屬磨耗
  - 傾向: 高表面形貌選擇性
- pH值控制氧化過程

9

## 鎢的波貝克斯圖 (Pourbaix)



10



## 鎢的CMP

- 鐵氰化鉀 ( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ) 被作為蝕刻劑及氧化劑
- 濕式蝕刻化學反應：
$$\text{W} + 6\text{Fe}(\text{CN})_6^{-3} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{WO}_4^{-2} + 6\text{Fe}(\text{CN})_6^{-4} + 8\text{H}^+$$
- 競爭之鈍化層氧化反應：
$$\text{W} + 6\text{Fe}(\text{CN})_6^{-3} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{WO}_3 + 6\text{Fe}(\text{CN})_6^{-3} + 6\text{H}^+$$

11

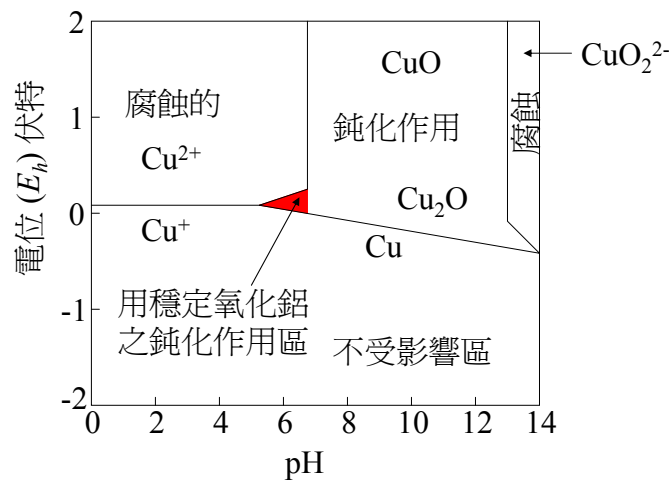


## 銅研磨漿

- 酸性溶液
- 氧化劑: 過氧化氫 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )，帶有硝酸 ( $\text{HNO}_4$ ) 的乙醇 ( $\text{HOC}_2\text{H}_5$ )，帶有鐵化鉀或鐵氰化物的氫氧化銨 ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )，或是含三氮二烯五圓苯的硝酸
- 氧化鋁為研磨劑

12

## 銅的波貝克斯圖



13

## 銅研磨漿

- 為達一致的研磨製程效果，需要一膠狀穩定的研磨漿
- 當pH值剛好在7以下，將狀穩定的氧化鋁懸浮物可形成
- 只有一很小的製程窗口可達到電化學的鈍化作用即使水性的氧化鋁粒子變成膠狀的穩定懸浮物

14

## 移除速率

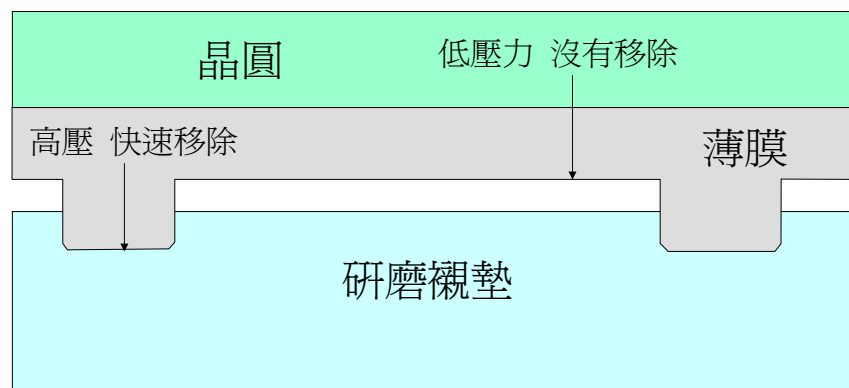
- 機械的移除速率  $R$  由普萊斯頓所發現
- 普萊斯頓方程式可表示成：

$$R = K_p \cdot p \cdot \Delta v$$

- $p$  為研磨壓力
- $K_p$  普萊斯頓係數
- $\Delta v$  晶圓與襯墊間的相對速度

15

## 施予高壓的突出部分



16

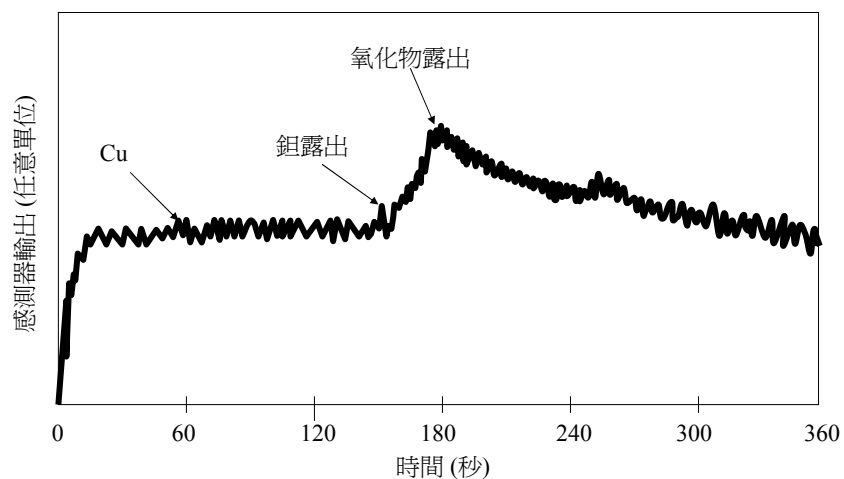


## CMP 終端點偵測

- 當CMP 製程接近終點，研磨襯墊會開始接觸並研磨底層
- 摩擦力開始改變
- 為保持固定之襯墊旋轉速度，研磨頭旋轉馬達的電流將會改變
- 藉監視馬達電流改變可找出CMP製程終端點

17

## 銅CMP製程的馬達電流輸出



18



## CMP後清洗

- CMP後清洗必須移除殘餘的顆粒及其他化學污染物
- 否則缺陷生成及良率減低
- 機械刷洗清洗器 (高分子) 用去離子水
- 大量去離子水量，高刷洗壓力可達較高之清洗效率
- 三個基本步驟: 清洗，洗滌，及旋乾