201919150

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 201919150 A

(43)公開日： 中華民國 108 (2019) 年 05 月 16 日

(21)申請案號：107125404 (22)申請日： 中華民國 107 (2018) 年 07 月 24 日

(51)Int. Cl.： *H01L21/768 (2006.01)* *C25D17/00 (2006.01)*
C25D7/12 (2006.01)

(30)優先權：2017/07/28 美國 62/538,202
2018/07/19 美國 16/040,407

(71)申請人：美商蘭姆研究公司 (美國) LAM RESEARCH CORPORATION (US)
美國

(72)發明人：索爾克森 卡里 THORKELSSON, KARI (US)；亞伯拉罕 理查 G ABRAHAM, RICHARD G. (US)；邁爾 史蒂芬 T MAYER, STEVEN T. (US)

(74)代理人：許峻榮

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：204 項 圖式數：32 共 176 頁

(54)名稱

通遮罩互連線製造中的電氧化金屬移除

ELECTRO-OXIDATIVE METAL REMOVAL IN THROUGH MASK INTERCONNECT FABRICATION

(57)摘要

在一實施例中，一種晶圓處理方法包含將一金屬填充至複數通遮罩凹陷特徵部中俾使一第一通遮罩特徵部之一填充速率與一第二通遮罩特徵部之一填充速率之間的一比值為 R1；接著藉由電化學移除金屬俾使該第一通遮罩特徵部之金屬移除速率與該第二通遮罩特徵部之金屬移除速率的一比值係大於 R1，以改善填充均勻度。在某些實施例中，該方法包含以一電解液接觸一受到陽極化偏壓的基板俾使該電解液具有沿著實質上平行於該基板之工作表面之方向的橫流分量。該方法可在用以在基板表面處產生橫流的設備中進行。在某些實施例中，該方法使用不同的電化學狀態以達到均勻度的改善。

In one implementation a wafer processing method includes filling a plurality of through-resist recessed features with a metal, such that a ratio of fill rate of a first feature to a fill rate of a second feature is R1; followed by electrochemically removing metal such that a ratio of metal removal rate from the first feature to the metal removal rate from the second feature is greater than R1, improving the uniformity of the fill. In some embodiments the method includes contacting an anodically biased substrate with an electrolyte such that the electrolyte has a transverse flow component in a direction that is substantially parallel to the working surface of the substrate. The method can be implemented in an apparatus that is configured for generating the transverse flow at the surface of the substrate. In some implementations the method makes use of distinct electrochemical regimes to achieve improvement in uniformity.

指定代表圖：

符號簡單說明：

1301・・・操作

1303・・・操作

1305・・・操作

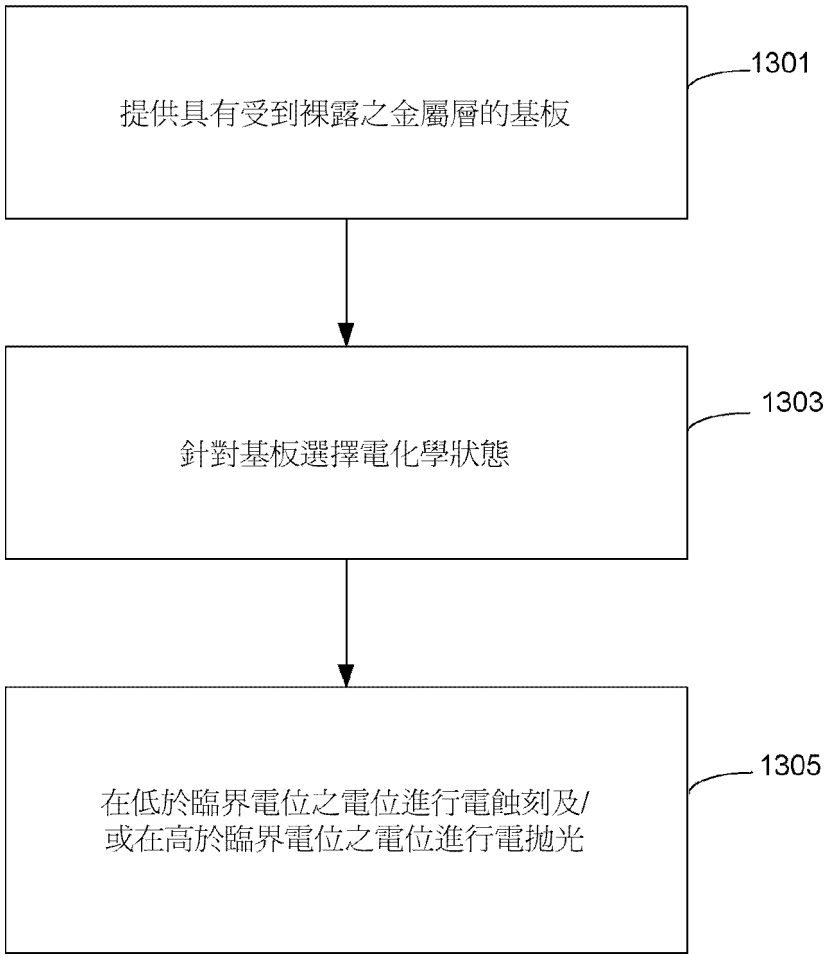


圖 13

【發明說明書】

【中文發明名稱】通遮罩互連線製造中的電氧化金屬移除

【英文發明名稱】ELECTRO-OXIDATIVE METAL REMOVAL IN THROUGH MASK INTERCONNECT FABRICATION

【技術領域】

【0001】本發明係關於利用電化學金屬移除來改善金屬層之均勻度的設備與方法。在一實施例中，本發明係關於晶圓內均勻度、晶粒內均勻度及/或通遮罩電鍍特徵部之特徵部內均勻度的改善設備與方法。

【先前技術】

【0002】通遮罩電鍍為在半導體裝置製造中於多個處理方案中形成金屬凸塊及柱的方法。使用通遮罩電鍍之標準處理中的一者涉及下列步驟。首先以薄導電晶種層材料(如 Cu 或 Ni 晶種層)覆蓋基板(如具有平坦裸露表面的半導體基板)，其中薄導電晶種層材料可以任何適合的方法沉積，例如物理氣相沉積(PVD)。接下來，將非導電性的遮罩層，如光阻，沉積在晶種層上然後對其圖案化以定義凹陷特徵部，其中圖案化裸露了每一凹陷特徵部之底部處的晶種層。在圖案化後，基板之裸露表面包含在場區域中的非導電性遮罩的部分及凹陷特徵部之底部部分處的導電晶種層。

【0003】接下來，進行通遮罩電鍍(或在光阻的情況中進行通光阻電鍍)。在通光阻電鍍中，基板被置於電鍍設備中俾以對晶種層建立電接觸，大部分通常位於基板之外緣處。設備容納陽極及包含欲電鍍之一或多種金屬之離子的電解液。基板受到陰極偏壓並被浸沒於電解液中，其中如方程式(1)中所示來自電

解液的金屬離子在基板表面處受到還原，其中 M 為金屬(如銅)而 n 為在還原期間被轉移的電子數。

$$M^{n+} + ne \rightarrow M^{0} \qquad (1)$$

【0004】 由於導電晶種層僅於凹陷特徵部之底部處受到暴露，電化學沉積僅在凹陷特徵部內發生而(在凹陷特徵部填滿金屬之前)不會在場(field)上發生，這導致在光阻層嵌入了許多填入金屬的凹陷。

【0005】 在電鍍後，藉由例如傳統的濕式或乾式剝除方法移除遮罩，藉此提供具有許多獨立的金屬凸塊或柱的基板。

【0006】 文中的先前技術段落的目的在於大致上呈現本發明的背景。在此先前技術段落中所提及之本發明人的作品以及在申請時不能算作是先前技術的說明並非為本發明人明示或暗示自認之與本發明相對的先前技術。

【發明內容】

【0007】 提供一種方法及設備，利用電氧化處理改善半導體基板上之金屬層之均勻度，尤其是改善填充金屬之通遮罩特徵部之均勻度。文中所提供的該方法及設備能大幅減少橫跨整個晶圓、橫跨晶粒及/或填充金屬之特徵部內的金屬厚度變異性。此外，在某些實施例中，對於獲得具有目標均勻度之金屬層的目的而言，如文中所述進行金屬電沉積再進行電平坦化之設備的生產率可比僅用於電沉積之設備的生產率大 1.5-2 倍。在某些實施例中，電平坦化可以至少約 2 微米/分鐘（如介於約 5-10 微米/分鐘）的快速金屬移除速率進行且可在沉積速率至少約 1 微米/分鐘（如介於約 2-3 微米/分鐘）之相對快速之金屬電沉積之後進行。

【0008】 在一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，

其中該工作表面包含受到暴露之一金屬(如銅)；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；(c)藉由非半導體基板旋轉的一方法沿著實質上平行於該半導體基板之該工作表面的一方向提供與該半導體基板之該工作表面接觸的一電解液橫流的同時，電化學移除受到暴露之該金屬的一部分並改善該金屬的一均勻度。在某些實施例中，旋轉可對該電解液流有所貢獻，但該電解液流之至少某些部分係利用非旋轉之一方法所產生。在某些實施例中，針對該電化學金屬移除之時間的至少 50%提供該電解液橫流。

【0009】 在某些實施例中，在(a)中所提供之該半導體基板之該工作表面更包含受到暴露之一介電材料，且受到暴露之該金屬包含藉由在受到暴露之該介電材料下方之一導電層(如一金屬晶種層)所連接之複數受到暴露之金屬特徵部(如通遮罩之特徵部)。例如，在(a)中所提供之該半導體基板之該工作表面可包含受到暴露之一光阻(如受到暴露之介電材料)且該基板可包含複數已填充銅的特徵部，該複數已填充銅的特徵部具有至少約 1：1 的一深寬比(該深度包含該特徵部之已填充及未填充部分)並藉由在受到暴露之該光阻下方之一導電層所連接，其中該複數已填充銅的特徵部係被銅填充至至少約 50%。

【0010】 由所提供之該電化學金屬移除所改善之該均勻度可包含晶圓內均勻度、晶粒內均勻度、及特徵部內之均勻度中的一或多者。在某些實施例中，該電化學金屬移除改善晶粒內均勻度與特徵部內均勻度二者。

【0011】 在一實施例中，提供該電解液橫流之步驟包含使該電解液流經該設備的一入口並流出該設備的一出口，其中該入口與該出口係設置於該半導體基板之該工作表面之方位角相對的周長位置附近。在某些實施例中，提供該電解液橫流的步驟包含以一往復槳動作（paddle motion）形成該橫流。在某些實施例中，提供該電解液橫流的步驟包含自實質上垂直於該半導體基板之該工作表面之一方向的一衝擊流移轉一電解流至該橫流。在某些實施例中，該電解液橫

流係於具有 10 mm 或更小之一寬度的一間隙中加以提供，其中該間隙係介於一離子電阻性離子可滲透之元件與該基板的該工作表面之間。在一實施例中，該間隙具有側壁、一入口及一出口，且該電解液在該間隙中自該入口沿著實質上平行該基板之該工作表面的方向流至該出口。

【0012】 較佳地，該電解液橫流具有橫跨該基板之該工作表面的一中心點至少約 3 公分/秒（如至少約 10 公分/秒）的一速度(在靠近該基板中心附近該電解液中沿著橫跨該基板中心並平行該基板之該工作表面的方向)。在某些實施例中，該方法更涉及在該電化學金屬移除期間以介於約 1 至 30 rpm 的一旋轉速率旋轉該半導體基板。

【0013】 在某些實施例中，該方法涉及處理具有複數通遮罩之特徵部的一基板，且該方法涉及：在(a)及該電化學金屬移除之前電鍍一金屬至複數凹陷特徵部中至一厚度，該厚度比在(c)後該電化學金屬移除後所獲得之金屬的一目標厚度至少高 10%。在某些實施例中，將該金屬電鍍至該複數凹陷特徵部至一厚度，該厚度比該目標厚度高約 20-30 %。在某些實施例中，電鍍係於不同於用於該電化學金屬移除中所使用之該電解液的一電解液中進行，且在某些實施例中，該電鍍與該電化學金屬移除係於不同的池中進行。

【0014】 在許多實施例中該電化學金屬移除較佳使用黏性的水系或含水電解液。例如，在某些實施例中，該電解液為一黏度至少約 4 厘泊，如至少約 7 厘泊的一導電黏性液體。在包含黏性電解液的某些實例中，該電解液包含水及一濃縮的黏性酸，如磷酸及/或 1-羥基亞乙基-1,1 二膦酸(HEDP)。在某些實施例中，該電解液係配置以使其能形成能抵抗形成沉澱物之金屬鹽的高過飽和溶液。當在一長及緩慢的處理後在此類電解液中真的形成一沉澱物，該沉澱物具有非晶及/或水合材料的微細粒子形式而非大結晶的形式。在某些實施例中，初始針

對將該半導體基板浸沒至該電化學金屬移除所提供的該電解液包含：在該基板之該工作表面上所裸露之相同金屬的金屬離子。

【0015】在某些實施例中，包含複數通遮罩之凹陷特徵部之一基板係藉由如下方式處理：首先利用一電鍍電解液將金屬電鍍至該半導體基板上的該複數凹陷特徵部中，其中該電鍍電解液包含一金屬鹽、一酸及選自由一整平劑與一抑制劑所組成群組至少一電鍍添加物；然後如文中所述進行電化學移除金屬並改善均勻度，其中在該電化學金屬移除期間所用的一電解液係不同於該電鍍電解液且具有至少約 4 厘泊的黏度。在某些實施例中，該電化學金屬移除所用之該電解液黏度係比該電鍍用的電解液黏度至少大 2 倍。在某些實施例中，該電化學金屬移除用的該電解液並無電化學抑制劑及整平劑。

【0016】在某些實施例中，電化學移除受到暴露之該金屬的一部分包含：(i)從由低於一臨界電位之一電蝕刻、高於該臨界電位之一電拋光、及低於該臨界電位之該電蝕刻其後接著高於該臨界電位之該電拋光所組成的群組，針對該電化學金屬移除選擇一狀態；及(ii)在該選定之狀態中電化學移除該金屬的一部分以改善該金屬的該均勻度。電化學移除受到暴露之該金屬之該部分較佳包含利用一參考電極監測靠近該半導體基板的一電位。

【0017】在某些實施例中，電化學移除受到暴露之該金屬之該部分的步驟包含將該電解液溶液中之該金屬離子的一濃度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約 5%。在某些實施例中，該方法更包含，在自一基板電化學金屬移除後，在相同的電化學金屬移除設備中依序自複數半導體基板電化學移除金屬，並同時改善金屬均勻度及將該電解液溶液中之該金屬離子的該濃度維持在一目標位準，俾使在自該複數基板電化學移除金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約 5%。

【0018】欲移除之該金屬的擴散係數為用以決定大致行為及用以控制文中所述之電化學金屬移除處理的重要參數之一。擴散係數會影響金屬的移除速率及電拋光過渡的電位。如下面將更詳細說明的，斯托克-愛因斯坦方程式顯示一離子的擴散係數及溶液黏度為強相關的。自該關係可見，黏度和擴散率之間大致上呈逆相關。例如，增加黏度會造成擴散率減少。擴散係數(及相關的離子物種遷移率)為決定一特徵部內及質量傳輸邊界層中之擴散質量傳輸的重要理化特性。黏度亦為決定電解液流速度之分佈與強度的理化特性，因此對於決定質量傳輸邊界層的尺寸及特徵部內之液流強度以及往返經歷處理之晶圓的一般質量傳輸對流而言是重要的。

【0019】在某些實施例中，該電化學金屬移除包含控制該電解液黏度，該電解液黏度為此處理中的關鍵理化特性其中之一。在某些實施例中，黏度控制係藉由下列方式進行：直接量測黏度(例如利用一黏度儀)及調整該黏度(例如藉由添加或移除該電解液流體)。在某些實施例中，該黏度係藉由下列方式控制：量測與該黏度相關且可輕易可靠地監測的其他巨觀變數。此類巨觀特性包含但不限於溶液導電度、密度、光吸收、可見光譜、UV 光譜、IR 光譜、溶液折射率或音速。量測到的特性可與該黏度相關聯，或在每一量測後不進行與該黏度之關聯的情況下維持量測到的數值接近目標值。在某些實施例中，可使用此些方案的組合或兩者。在某些實施例中，電解液控制方法包含量測每一電解液物種的濃度並將其數值維持在目標值(如該目標值的約 10%內或約 5%內)，俾使該黏度合於目標。在某些實施例中，電化學移除受到暴露之該金屬的該部分包含將該電解液溶液的該黏度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除金屬的過程期間該黏度不會波動離該目標位準超過一預定量。該黏度係取決於該電解液溶液的水含量、酸含量、及/或金屬離子含量。更多水傾向於減少該黏度，但更多的酸或金屬傾向於增加該黏度。在該電解液黏度低的某些實施例中，該方

法涉及移除水(如藉由蒸發)以將該黏度恢復至該目標位準。在某些情況中，該電解液黏度係藉由下列方式維持：使所有成分的濃度隨時間維持常數(例如藉由替換濃度低於該目標濃度的電解液成分、及藉由利用成分濃度落在該目標規格內的一電解液替換具有偏離目標特性的電解液)。在其他的情況中，可利用兩種分開的溶液添加酸及/或金屬離子以維持該電解液黏度，其中第一溶液比第二溶液具有一較高的酸濃度，且該第二溶液比該第一溶液具有一較高的金屬離子濃度。在該電化學金屬移除期間所用的陰極材料及金屬移除條件，在某些實施例中會導致在該電化學金屬移除期間於該陰極處產生氫氣(H_2)。在某些實施例中，該陰極材料及該金屬移除條件會因為金屬離子自該電解液還原導致金屬電沉積在電極上。在某些實施例中，在該基板電化學金屬移除的期間會存在 H_2 在該陰極處生成及金屬電沉積至該陰極上兩種現象。在一實施例中，受到陽極化偏壓的基板及該陰極係藉由一離子可透過之分離件所分離，該離子可透過之分離件能避免在該陰極處所產生的氫氣泡泡及/或金屬粒子接觸該基板。在某些實施例中，電化學移除該金屬的該部分之步驟包含在電化學金屬移除設備的一陰極處產生 H_2 並自該電解液分離 H_2 而不允許 H_2 接觸該半導體基板。在一實施例中，電化學金屬移除設備包含一離子可透過之分離件，該離子可透過之分離件係用以阻擋 H_2 泡泡自一陰極室移動至一陽極室。在某些實施例中，該方法更包含在一沉靜室（stilling chamber）中以一惰性氣體稀釋 H_2 並自該沉靜室移除經稀釋的 H_2。一實施例包含在該電化學金屬移除期間利用一或多個再循環迴路再循環該電解液，其中該一或多個再循環迴路包含用以將氫氣泡泡自該電解液分離的一沉靜室及一電解液儲槽。在一實例中，該沉靜室與該儲槽係位於一組件中。

【0020】 在某些實施例中，自受到陽極化偏壓之該基板電化學移除該金屬的一部分的步驟包含自一含金屬之電解液將金屬電沉積至該陰極上。例如，當自該基板移除銅時，可自該電解液將銅電沉積至該陰極上。在涉及將金屬電沉

積至該陰極上的某些實施例中，該設備亦在受到陽極化偏壓的該基板與該陰極之間使用一離子可透過之分離件，產生一陽極室與一陰極室。該設備在一實施例中係用以引導電解液流流經該陰極或在該陰極附近流動並用以阻擋粒子到達該晶圓基板。該粒子係由一離子導電薄膜(或當受到該電解液潤濕時變得離子導電的薄膜)所阻擋，該離子導電薄膜有助於引導該流體藉由該陰極室的一出口而流出該陰極室及/或流經該薄膜。在一實施例中，所提供的該方法也包含：在該電化學金屬移除期間利用一或多個再循環迴路再循環該電解液，其中該一或多個再循環迴路包含一外部浴儲槽、一泵浦、一濾件、及選擇性的一除氣設備(用以移除如氮氣及氧氣之已溶解之氣體的一設備)。

【0021】所提供的方法可用以改善數個基板上的均勻度，但尤其有助於具有不同特徵部密度之區域的基板以及具有不同深寬比及/或寬度之特徵部的基板。在一實施例中，在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部，其中該基板包含至少一孤立特徵部及至少兩個緻密特徵部，其中一第一緻密特徵部係以一第一距離與靠其最近的特徵部分離，且一第一孤立特徵部係以一第二距離與靠其最近的特徵部分離，該第二距離比該第一距離大至少兩倍。在一實施例中，在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部且包含具有一第一寬度的第一通遮罩特徵部及具有一不同之第二寬度的一第二通遮罩特徵部。在一實施例中，在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部且包含具有一第一深寬比之凹陷的一第一通遮罩特徵部及具有一不同之第二深寬比之凹陷的一第二通遮罩特徵部。在一實例中，凹陷之深寬比之間的差異為有效深寬比之間的差異，該有效深寬比之間的該差異係因複數下層中的一地貌變異所獲得。在某些實施例中，在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部且包含具有一第一寬度與一第一深寬比之凹陷的一第一通遮罩特徵部、具有一第二寬度與一第二深寬比之凹陷的一第二通遮罩特徵部、具有一第三寬度與

一第三深寬比之凹陷的一第三通遮罩特徵部、及具有一第四寬度與一第四深寬比之凹陷的一第四通遮罩特徵部，其中該第二寬度係不同於該第一寬度且凹陷的該第四深寬比係不同於凹陷之該第三深寬比。

【0022】 在另一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含複數通遮罩金屬特徵部；(b)從由低於一臨界電位之一電蝕刻、高於該臨界電位之一電拋光、及低於該臨界電位之該電蝕刻其後接著高於該臨界電位之該電拋光所組成的群組，針對該電化學金屬移除選擇一狀態；及(c)在該選定之狀態中自該複數通遮罩金屬特徵部電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度。

【0023】 在另一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；及(c)藉著在低於一臨界電位的電蝕刻狀態中移除該金屬接著藉著在高於該臨界電位的一電拋光狀態中移除該金屬，電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度。在一實施例中，該金屬為銅且該電化學金屬移除包含在介於約 0.1 V - 0.7 V 之一電位處的一電蝕刻及接續之在介於約 0.7 V - 2.0 V 之一電位處的一電拋光，其中該電位係相對於一銅參考電極量測，且其中在電拋光期間所用之電位係高於在該電蝕刻期間所用之電位。

【0024】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液溶液中；(c)藉著將該金屬

電化學溶解至該電解液溶液中而自該半導體基板電化學移除該金屬的至少一部分並同時改善該金屬的均勻度；及(d)將該電解液溶液中之金屬離子的一濃度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約 5%。

【0025】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液溶液中；(c)藉著將該金屬電化學溶解至該電解液溶液中而自該半導體基板電化學移除該金屬的至少一部分並同時改善該金屬的均勻度；及(d)將該電解液溶液的一黏度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該電解液溶液的該黏度不會波動離該目標位準超過一預定量。

【0026】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中，該電解液包含欲自該半導體基板移除之相同金屬的離子，該離子的濃度至少約 10 g/L；及(c)藉著將該金屬電化學溶解至該電解液溶液中而自該半導體基板電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度。

【0027】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；及(c)自該半導體基板電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度，且同時在該電化學金

屬移除設備之一陰極處產生 H_2 並同時阻擋 H_2 泡泡接觸受到陽極化偏壓的該半導體基板。

【0028】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；及(c)自該半導體基板電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度，其中該設備包含容納受到陽極化偏壓之該基板的一陽極室及容納一陰極的一陰極室，其中該陽極室與該陰極室係藉由一離子可透過之薄膜而彼此分離。在一實施例中，該方法包含當自該基板電化學移除該金屬時同時將該金屬電沉積至該陰極上。在另一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有複數通遮罩金屬特徵部的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之一工作表面浸沒至一電解液中；及(c)自該複數通遮罩金屬特徵部移除該金屬的一部分俾以減少個別通遮罩特徵部內的金屬厚度變異。

【0029】 在另一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有複數通遮罩凹陷特徵部及在每一該通遮罩金屬特徵部之一底部處具有一裸露導電晶種層的一半導體基板提供至一電鍍設備中；(b)在該電鍍設備中利用包含一金屬鹽、一酸與一或多種改善電鍍之均勻度用之電鍍添加物的一電解液，將該複數通遮罩凹陷特徵部以一金屬至少部分地填充，其中一第一通遮罩特徵部中之一填充速率與一第二通遮罩特徵部中之一填充速率之間的一比值為 R1；(c)將該基板傳送至電化學金屬移除用的一設備；及(d)藉著在一電解液中自該複數通遮罩金屬特徵部電化學移除該金屬之一部分而改善已經電鍍之該金屬的均勻度，該電解液具有至少約 4 厘泊的一黏度且係不同於該電鍍電解液，

其中該第一通遮罩特徵部中之一電化學金屬移除速率與該第二通遮罩特徵部中之一電化學金屬移除速率的一比值係大於 R1。

【0030】 所提供的方法可與用以圖案化半導體基板上之膜層的微影技術整合。在某些實施例中，所提供的方法更包含：塗佈一光阻至該半導體基板上；對該光阻曝光；圖案化該光阻並將該圖案轉移至該半導體基板；及選擇性自該半導體基板移除該光阻。

【0031】 在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a)在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極的一容器；(b) 一半導體基板支撐件，用以支撐該半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該陰極分離；(c)用以提供沿著實質上平行該半導體基板之該工作表面之一方向與該半導體基板之該工作表面接觸之一電解液橫流的一機構，其中該機構係不同於用以旋轉該半導體基板的一機構；及(d)用以量測靠近該半導體基板之一電位、或一等效電位的一參考電極。

【0032】 在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，用於在自一受到陽極化偏壓之半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一氫氣生成陰極，該容器包含用以容納受到陽極化偏壓之該半導體基板的一陽極室及用以容納該氫氣生成陰極的一陰極室；(b)介於該陽極室與陰極室之間的一離子可透過之分離件，其中該離子可透過之分離件係用以抑制或避免氫氣泡泡自該陰極室轉移至該陽極室；(c) 一半導體基板支撐件，用以支撐受到陽極化偏壓之該半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該氣體生成陰極分離；及(d)與該陰極室流體連接的一沉靜室，其中該沉靜室係用以自

該陰極室接收一陰極電解液及使該氫氣泡泡自所接收的該電解液分離並移除該氫氣泡泡。

【0033】在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一陽極室，在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一受到陽極化偏壓之半導體基板，其中該陽極室具有用以將一流體導至該陽極室的至少一入口；(b)一陰極室，用以容納一陰極，其中該陰極室具有用以將一流體導至該陰極室的至少一入口；及(c)介於該陽極室與該陰極室之間的一離子可透過之分離件。

【0034】在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，在自一受到陽極化偏壓之半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極基板，該容器包含用以容納該受到陽極化偏壓之半導體基板的一陽極室及用以容納該陰極的一陰極室，自該半導體基板移除之相同金屬物種係電沉積至該陰極上；(b)介於該陽極室與陰極室之間的一離子可透過之分離件；(c) 一半導體基板支撐件，用以支撐該受到陽極化偏壓之半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該陰極分離；及(d) 一電解液再循環迴路，與該陰極室呈流體連接，該電解液再循環迴路係用以自該陰極室接收一陰極電解液並過濾該陰極電解液。

【0035】在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極，該容器包含用以容納該半導體基板的一陽極室及用以容納該陰極的一陰極室，其中該設備係用以在該電化學移除金屬期間陽極化偏壓該半導體基板；(b)介於該陽極室與一陰極室之間的一離子可透過之分離件；及(c)一半導體基板支撐件，用以支撐該受到陽極化偏壓之半導體基板，俾使在自該

半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該氣體生成陰極分離；其中該設備係用以經由該陰極室中的一入口將流體添加至該陰極室。在某些實施例中，該陰極為一氫氣生成陰極，且該離子可透過之分離件阻擋氫氣與該基板接觸。在某些實施例中，該離子可透過之分離件阻擋可在該陰極處產生的粒子與該基板接觸。

【0036】 在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極，該容器包含用以容納該半導體基板的一陽極室及用以容納該陰極的一陰極室，其中該設備係用以在該電化學移除金屬期間陽極化偏壓該半導體基板；(b)介於該陽極室與一陰極室之間的一離子可透過之分離件；(c) 一半導體基板支撐件，用以支撐該受到陽極化偏壓之半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該氣體生成陰極分離；其中該設備包含一陽極電解液再循環迴路與一陰極電解液再循環迴路，該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路具有一共用部分，其中該設備係用以自該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路之該共用部分分開輸送複數經定義量之該電解液至該陽極室與該陰極室。在另一實施例中，該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路具有一共用部分，但該設備係用以自該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路之非共用部分分開輸送複數經定義量之該電解液至該陽極室與該陰極室。例如，該陽極電解液再循環迴路可具有與該陽極電解液室流體連接之一專用的電解液儲槽，且該該陰極電解液再循環迴路可具有與該陰極電解液室流體連接之一分離的電解液儲槽。但在其他實施例中，該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路不具有共用部分。

【0037】在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極，其中該設備係用以在該電化學移除金屬期間陽極化偏壓該半導體基板；(b) 一半導體基板支撐件，用以支撐該半導體基板俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該陰極分離；(c)在該容器中用以將一稀釋劑添加至該容器的一入口；(d)在該容器中用以自該容器移除該電解液的一出口；及(e)至少兩個量測裝置，用以在該電化學金屬移除期間量測該電解液中之金屬離子的濃度與酸的濃度。

【0038】在另一態樣中，提供一種設備，其中該設備包含電化學金屬移除用的一容器及包含用以執行文中所提供之任何方法之程式指令的一控制器。

【0039】在另一態樣中，提供一種系統，其中該系統包含文中所提供的任何設備及一步進機。

【0040】在另一態樣中，提供一種系統，其中該系統包含一電鍍設備及文中所述之任何電化學金屬移除用的設備。

【0041】在另一態樣中，提供一種非瞬變電腦可讀媒體，其包含用以執行文中所提供之任何方法的程式碼。

【0042】在另一態樣中，提供一種電化學金屬移除用之陰極，其中該陰極包含：(a)複數通道，該複數通道係用以使一電解液流過該陰極的主體；及(b)在該陰極之邊緣處的複數凹口。在某些實施例中，該陰極具有一大致碟形的主體。在某些實施例中，該複數通道係與在該陰極之導電表面上方延伸的非導電性管適配。

【0043】在另一態樣中，提供一種電化學金屬移除用之陰極，其中該陰極具有一大致上為碟形的主體且在該陰極的一導電表面上包含複數非導電性之固定元件，其中該複數固定元件係可附接至一或多個柄。在金屬被電沉積至該陰

極之表面上後可輕易自該設備移除此類陰極。在某些實施例中，該複數固定元件係設置在該大致上為碟形之陰極的不同徑向位置處。

【0044】 在另一態樣中，提供一種電化學金屬移除用的設備，其中該設備包含支撐如文中所述之一陰極的一容器。

【0045】 在另一態樣中，提供一種電化學金屬移除用之電解液的製作方法。在某些實施例中，該方法涉及將金屬氧化物及/或金屬氫氧化物溶解於磷酸中；接著將溶解該金屬氧化物及/或金屬氫氧化物後所獲得的一溶液與一較濃的磷酸結合，形成黏度至少約 4 厘泊的一電解液。下面將參考相關圖示更詳細說明本發明之此些與其他特徵與優點。

【圖式簡單說明】

【0046】 圖 1A-1D 為根據文中所揭露之一實施例之經歷處理之基板的概略橫剖面圖。

【0047】 圖 2A 為例示根據文中所揭露之一實施例之處理的處理流程圖。

【0048】 圖 2B 為根據一實施例之以如蕈菇之金屬突出物填充金屬後之基板的概略橫剖面圖。

【0049】 圖 2C 為在金屬填充及遮罩移除後結合了柱與介層窗之特徵部的概略側面圖。

【0050】 圖 2D 為在金屬填充及遮罩移除後結合了線與介層窗之特徵部的概略側面圖。

【0051】 圖 3A-3D 為經歷根據文中所揭露之一實施例之處理之基板的概略橫剖面圖。

【0052】 圖 4 之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例之處理。

【0053】 圖5A與5B之基板概略橫剖面圖分別例示決定晶粒內之非均勻度與特徵部內之非均勻度。

【0054】 圖6之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例之電化學金屬移除處理。

【0055】 圖7A與7B為接近基板之金屬移除設備之部分的概略橫剖面圖，其例示根據兩個不同之實施例的電解液流模式。

【0056】 圖8之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例之電化學金屬移除處理。

【0057】 圖9A之橫剖面圖例示受到電蝕刻的基板。

【0058】 圖9B之橫剖面圖例示受到電拋光的基板。

【0059】 圖9C為圖9B中之基板在電拋光後的橫剖面圖。

【0060】 圖10為用以估算用以決定電蝕刻與電拋光狀態之臨界電位之實驗I-V的圖。

【0061】 圖11為一系列實驗I-V的曲線，其例示臨界電位對電解液橫流速率的相依性。

【0062】 圖12例示決定臨界電位所用之兩個實驗圖。

【0063】 圖13之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例的電化學金屬移除處理。

【0064】 圖14之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例的電化學金屬移除處理。

【0065】 圖15A為電蝕刻後之基板的概略橫剖面圖，其例示過蝕刻問題。

【0066】 圖15B –15E為根據文中所揭露之一實施例先經歷電蝕刻再經歷電拋光之基板的概略橫剖面圖。

【0067】 圖 16A 為未進行電化學金屬移除所獲得之銅特徵部的 SEM 照片。

【0068】 圖 16B 為在電拋光狀態中電平坦化之銅特徵部的 SEM 照片。

【0069】 圖 16C 為在電蝕刻狀態中電平坦化之銅特徵部的 SEM 照片。

【0070】 圖 16D 為先電蝕刻再電拋光電平坦化之銅特徵部的 SEM 照片。

【0071】 圖 17 為根據文中所揭露之一實施例之一處理的處理流程圖。

【0072】 圖 18 為根據文中所揭露之一實施例之一處理的處理流程圖。

【0073】 圖 19A 為根據文中所揭露之一實施例之控制器連接的概圖。

【0074】 圖 19B 為根據文中所揭露之一實施例之材料進入池及離開池的概圖。

【0075】 圖 20 為根據文中所揭露之一實施例之電化學金屬移除設備之除鍍池的概略橫剖面圖。

【0076】 圖 21 為根據文中所揭露之一實施例之離子電阻性離子可滲透之元件的上視圖，離子電阻性離子可滲透之元件具有橫流限制結構設置於其上。

【0077】 圖 22A 為根據文中所揭露之一實施例之除鍍池之一部分的概略橫剖面圖，其例示自陰極室移除 H_2 泡泡。

【0078】 圖 22B 為根據一替代性實施例之除鍍池的概略橫剖面圖，其例示一傾斜薄膜。

【0079】 圖 23 為根據文中所揭露之一實施例之除鍍池之一部分的概略橫剖面圖。

【0080】 圖 24 之概圖例示根據文中所揭露之一實施例之電化學金屬移除設備中的流體連接。

【0081】 圖 25 之概圖例示根據文中所揭露之另一實施例之電化學金屬移除設備中的流體連接。

【0082】 圖 26 為根據文中所揭露之一實施例之與電解液儲槽一起顯示之沉靜室的概略橫剖面圖。

【0083】 圖 27 為根據文中所揭露之一實施例之電解液儲槽的概略橫剖面圖。

【0084】 圖 28A 為根據文中所揭露之一實施例之容納活性陰極之除鍍池之一部分的概略橫剖面圖。

【0085】 圖 28B 為圖 28A 中所示之除鍍池在將一層金屬沉積至活性陰極上後的橫剖面圖。

【0086】 圖 29A 為根據文中所揭露之一實施例之陰極的上視圖。

【0087】 圖 29B 為用以適配陰極中之通孔之管的一部分的圖。

【0088】 圖 29C 為圖 29A 所示之陰極的圖。

【0089】 圖 29D 為圖 29A 中所示之陰極的圖，其顯示附接至陰極以移除陰極的柄。

【0090】 圖 30 為根據文中所揭露之實施例之可用以施行操作之整合系統的概略上視圖。

【0091】 圖 31 為根據文中所揭露之實施例之可用以施行操作之另一整合系統的概略上視圖。

【0092】 圖 32 為根據文中所提供之一實例之計算模型化圖，其例示電解液移除速率為穩態銅濃度之函數的相依性。

【實施方式】

【0093】 在下面的敘述中將提供各種特定細節以提供對所述實施例的全面瞭解。然而熟知此項技藝者當明白，本發明之實施例可在缺乏此些特定細節

的情況下實施或利用替代性的元件或處理實施。在其他的情況下，不詳細說明習知的處理操作以免不必要地模糊本發明之實施例。

【0094】 提供改善半導體基板上之金屬層之均勻度的方法及設備。在本申請案中，「半導體晶圓」或「半導體基板」係指在其本體中任何處具有半導體材料的基板，應瞭解，半導體材料不必裸露。半導體基板可含形成在半導體材料上方的一或多種介電材料及導電層。半導體裝置業界中所用的晶圓通常為圓形半導體基板。實例包含具有 200、300、或 450 mm 直徑的晶圓。下面的詳細敘述說明晶圓上的沉積與蝕刻。然而，本發明之實施例不限於此。工作件可具有各種形狀、各種尺寸、及各種材料。除了半導體晶圓外，可受惠於本發明實施例的其他工作件包含各種物品如印刷電路板等。

【0095】 文中所提供的方法可用以改善各種金屬層（尤其是易適於電化學溶解的金屬如 Cu、Ni、Co、Sn、及包含此些金屬的合金）的均勻度。在某些實施例中，利用所提供的方法電平坦化貴重金屬及包含此些金屬的合金，如 Pd、Pt、Ag、Rh、Ru、Ir 及 Au。可利用所提供之方法電平坦化之合金的一實例為錫銀合金(如包含 5 原子%或更少之銀的合金)。

【0096】 當對半導體基板施加陽極偏壓時，根據方程式(2)所示的反應產生電化學溶解：

$$M^0 \rightarrow M^{n+} + ne^- \qquad (2)$$

【0097】 電化學金屬移除用的設備更包含電連接至電源的陰極，其中設備係用以在電化學金屬移除期間對陽極施加負偏壓。陰極自電解液還原金屬，金屬接著被電鍍至陰極表面及/或藉著自電解液還原質子而產生 H_2。在某些實施例中，選擇陰極俾以在不會大幅還原金屬離子的情況下實質上僅產生 H_2。在其他實施例中，選擇陰極俾以在不會產生 H_2 的情況下實質僅還原金屬離子。在更其他的實施例中，在陰極會發生大量的 H_2 生成及金屬離子還原。如文中所用，主

要地使其他反應超過金屬離子還原的陰極(如主要地生成 H_2)係稱為惰性陰極，而主要地將金屬離子還原成金屬的陰極係稱為活性陰極。惰性陰極通常包含對催化氫氣生成有貢獻的金屬，如鉑。活性陰極通常可具有任何可鍍的表面，如不銹鋼表面、銅表面等。應注意，處理條件，如電解液濃度及提供至陰極的功率，可影響氫氣生成與金屬離子還原反應之間的平衡。例如，當使用具有較高金屬濃度的電解液時較有利於金屬離子還原。

【0098】「電化學金屬移除」及「電化學回蝕」等詞在本文中可交換使用且係指自受到陽極偏壓的基板電化學溶解金屬。文中所用之「電平坦化」一詞為伴隨著任何類型之均勻度之改善(即任何類型之金屬厚度變異的縮減，包含晶圓級、晶粒級及特徵部級的厚度變異)之電化學金屬移除的上位化名詞。在後續將更詳細討論的不同之「電蝕刻」及「電拋光」狀態中可進行電化學金屬移除與電平坦化。

【0099】從本案的上下文可明白，文中所用的「特徵部」一詞係指基板上未填充、部分受到填充、或完全填充的凹陷。通遮罩之特徵部係指形成在介電遮罩層中（如光阻層中）之未填充、部分受到填充、或完全填充的凹陷特徵部，其中遮罩層在後續欲被移除。通遮罩之特徵部在底部處具有導電晶種層。換言之，具有未受填充或部分填充之通遮罩之特徵部的基板包含受到暴露之非連續性金屬層及受到暴露之介電材料層，其中受到暴露之非連續性金屬層係藉由介電材料層下方的導電層加以電連接。

【0100】在一態樣中，提供通遮罩之特徵部之均勻度的改善用之設備及方法。雖然所提供的方法及設備尤其有利於改善非連續性金屬層(如通遮罩金屬特徵部)的均勻度且主要係針對通光阻特徵部說明，但其亦可被用於改善連續性金屬層的均勻度。在某些實施例中，上述方法涉及自具有金屬層中之非均勻度的半導體基板電化學移除金屬，其中電化學回蝕可改善例如晶粒內均勻度、特徵

部內之均勻度及晶圓內均勻度中的至少一者，其中均勻度通常指金屬厚度的變異而改善涉及減少至少一種類型之金屬厚度變異性。不若化學機械拋光(CMP)，所提供的電化學方法不仰賴使用機械墊、與固體拋光儀器的物理接觸、及/或改善均勻度用的研磨漿，而是在金屬移除期間利用電解液流體動力學特性、電解液組成、及特定電化學狀態中的一或多者以達到均勻度改善。此處理的一個獨特特徵為，其能夠改善特徵部內、特徵部與特徵部之間、及全局的厚度均勻度並同時使特徵部在遮罩層內維持凹陷(如在部分受到填充之特徵部中)，且因此特徵部不會受到如 CMP 之機械研磨作用的影響。在某些實施例中，額外的優異特點在於，沒有來自於與作用在基板之表面或特徵部上之固體拋光儀器互動的物理力。在彼此之間缺乏支撐材料的孤立特徵部上作用的研磨力會導致個別的柱與線上的龐大機械剪切力，通常會造成柱與線在拋光處理中受到損害。

【0101】 在製造具有各種尺寸之特徵部之各種封裝內連線(包含銅線、重佈線(RDL))及不同尺寸之柱(如微柱、標準柱及整合高密度扇出(HDFO)及巨柱(mega pillar))的期間，可進行通遮罩之特徵部的均勻度改善。特徵部寬度的範圍廣泛，上述方法對較大的特徵部尤其有利，如寬度自約 1 - 300 μm 的特徵部，如自 5 μm (RDL)至約 200 μm (巨柱)。例如，在製造具有寬度約 20 μm 之複數微柱的基板或製造具有寬約 200 μm 之複數巨柱的基板期間可使用上述方法。在某些實施例中，特徵部的深寬比可在自約 1：2 (高比寬)至 2：1 及更高的比例的範圍之間變化。

【0102】 所提供的方法高度有利於平坦化包含具有不同直徑與節距(亦被稱為關鍵尺寸(CD))之複數特徵部的基板。在某些實施例中，基板包含具有第一直徑之第一特徵部及具有第二之不同直徑(如比第一直徑大至少 10%、50%或 100%的直徑)的第二特徵部。在某些實施例中，上述方法係用於電平坦化具有不同深寬比之複數特徵部的基板。例如，基板可包含具有第一深寬比的第一特徵

部及具有第二之不同深寬比(如第二深寬比第一深寬比至少大10%、50%或100%)的第二特徵部。在某些實施例中，基板可包含因基板上之下方形貌的變異而有不同有效深寬比的複數特徵部。例如，若基板包含配置在傾斜下方表面上之深寬比為 1：1 的兩個特徵部，相較於位在較薄部分之表面上的特徵部，位在較厚部分之表面上的特徵部會是較高地勢的特徵部且具有較低的有效深寬比。在某些實施例中，將所提供的電平坦化方法用於因特徵部下方形貌的變異而有地勢較低與地勢較高之特徵部(如第一特徵部具有第一有效深寬比而第二特徵部具有第二之不同的有效深寬比，舉例來說，第二有效深寬比可比第一有效深寬比大至少 10%、50%或 100%)的基板上。文中所用之「深寬比」一詞為一上位詞，其包含真實的深寬比(高對寬的比例)及有效深寬比(自特徵部底部量測到場區域最低平面所得之有效高度對寬度的比例)。

【0103】 此外，所提供的方法特別適合電平坦化包含具有直徑變異性及深寬比變異性之特徵部的基板。此些基板尤其難以利用傳統的方法處理而達到期望的均勻度。在某些實施例中，本發明之方法係用於包含具有第一直徑與第一深寬比之第一特徵部及具有第二直徑與第二深寬比之第二特徵部的基板，其中第二直徑係不同於第一直徑(如第二直徑比第一直徑至少大 10 %、50 %或 100%)且第二深寬比係不同於第一深寬比(如第二深寬比比第一深寬比至少大 10 %、50 %或 100%)。在某些實施例中，本發明之方法係用於包含具有第一直徑與第一深寬比之第一特徵部、具有第二直徑與第二深寬比之第二特徵部、具有第三直徑與第三深寬比之第三特徵部及具有第四直徑與第四深寬比之第四特徵部的基板，其中第二直徑係不同於第一直徑(如第二直徑比第一直徑至少大 10 %、50 %或 100%)且第四深寬比係不同於第三深寬比(如第四深寬比比第一深寬比至少大 10 %、50 %或 100%)。

【0104】在某些實施例中，所提供的方法尤其有用於具有複數緻密特徵部及一或多個孤立特徵部的基板。例如，在某些實施例中，基板包含以第一距離與靠其最近的特徵部分離的第一特徵部(緻密特徵部)，以及以第二距離與靠其最近的特徵部分離的第二特徵部(孤立特徵部)，其中第二距離至少比第一距離大兩倍，如至少大三倍或至少大五倍。距離係自第一或第二特徵部的中心量測至其對應相鄰特徵部的中心。此外，所提供的方法尤其有用於包含不同尺寸之特徵部的基板。例如，基板可包含具有第一寬度之第一特徵部及具有至少比第一寬度大約 1.1 倍（如至少大 1.2 倍或至少大 2 倍）之第二寬度的特徵部。在更不尋常的情況中，第二寬度可至少比第二寬度大 20 倍或更大。具有不同寬度之特徵部之基板的一實例為具有複數 WLP 特徵部的晶圓，複數 WLP 特徵部包含具有第一寬度之第一特徵部及寬度比第一特徵部大約 1.1 - 1.5 倍的另一特徵部。具有可變寬度之特徵部之基板的另一實例為具有 RDL 圖案的基板，其中該 RDL 圖案包含具有第一寬度之第一特徵部(如線)及具有第二寬度之第二特徵部(如焊墊)，其中第二寬度比第一寬度大上至 20 倍(如比第一寬度大介於約 5 - 20 倍)。例如，RDL 圖案可包含 5 μm 寬的線及 100 μm 寬的焊墊。

【0105】特徵部密度具有顯著變異性(特徵部緻密的區域及大致孤立之特徵部的其他區域)的基板，以及具有不同寬度之範圍之特徵部的基板，尤其受惠於所提供的方法，因為在此些基板中在電鍍後金屬厚度分佈的變異性會因為電鍍期間離子流的變異性而加劇。

【0106】圖 1A-1D 針對具有孤立特徵部的基板例示此問題，並提供一處理流程實例例示在通遮罩電鍍中可能遭遇到的一種非均勻度類型，以及使用電氧化金屬移除方法改善此非均勻度。圖 1A-1D 顯示經歷處理之半導體基板之一部分的概略橫剖面圖。圖 2A 之處理流程圖例示圖 1A-1D 中所示之處理的數個步驟。參考圖 2A，處理始於 201，提供具有通遮罩之特徵部的基板。圖 1A 例示一個此

類基板 100 之一部分的橫剖面圖，其中基板包含具有導電晶種層 103（如銅層）位於其上的膜層 101(如介電層例如氧化矽)。應瞭解，膜層 101 可位於一或多層其他層(未顯示)上方，該其他層可包含黏著層或「粘層」(Ta、TaN、W、WN、Ti、TiN、TiW 等)及半導體材料（如 Si、Ge、SiGe 等）。圖案化的非導電性的遮罩層 105(如光阻)位於晶種層 103 上且具有形成在遮罩中的複數凹陷特徵部俾使導電晶種層材料在凹陷特徵部的底部處受到暴露。此些特徵部係稱為通遮罩凹陷特徵部。圖 1A 顯示彼此相鄰設置的兩個凹陷特徵部 107 與 108 及距離最近的凹陷 108 隔較大距離的孤立凹陷特徵部 109。圖 1A 中所示的基板可藉由下列方式獲得：提供具有受到裸露之膜層 101(如介電層)的半導體基板；藉由任何適合的方法將導電層沉積至受到裸露之膜層上方(如可以PVD沉積導電銅晶種層)；將遮罩層沉積於晶種層上方(例如旋塗光阻遮罩)然後利用例如微影技術圖案化遮罩以定義出通遮罩凹陷特徵部 107、108 及 109。取決於應用可變化凹陷特徵部的尺寸，其通常具有介於約 5 - 250 μm 的寬度及介於約 1:2 - 15:1 的深寬比。

【0107】 接下來，將金屬電鍍至凹陷特徵部中以填充凹陷特徵部(部分填充、完全填充、或過填充，其中具過填充的電鍍有時被稱為圖 2B 中所示的「蕈菇型（mushroom）」電鍍)。由於導電晶種層材料連接所有特徵部，且對於電流流動相對於電解液之電阻率具有較小的電阻 (藉此在所有及每一凹陷特徵部的底部處適當地達到恆電位)，並且，因為孤立特徵部被暴露至三維電解液環境更多，故孤立特徵部在電解液中對電流流通呈現出較低的電阻，因此相較於較緻密之凹陷特徵部 107 與 108 的區域，孤立的凹陷特徵部(如凹陷 109)傾向為較高離子電流及電沉積之位置。圖 1A 中概略地顯示了被稱為「主電流分佈負載效應」的此效應。在電鍍期間，基板 100 藉由在晶圓側面處受到暴露且電連接至電源的晶種層 103 而受到陰極化偏壓。基板係置於與陽極相對的電鍍池中且基板的工

作表面被浸沒於中電解液，其中電解液包含欲電鍍之金屬的離子及用以增加電解液的導電率之選擇性的酸。

【0108】 電鍍溶液通常包含電鍍添加物，相對於無該電鍍添加物的情況，該電鍍添加物能修改表面反應動力學性質且常有用於改善電流分佈(特徵部形狀及厚度分佈)的電鍍添加物(有電鍍添加物時相對於主或電解液電阻驅動電流分佈較改善)。圖 1A 中以箭頭概略顯示離子電流場的分佈。由於遮罩層 105 並非導電性的，故離子電流分佈主要會由基板表面上之導電晶種層 103 的裸露部分的分佈所支配。雖然不希望被限制至任何特定的模型或理論，但在缺乏表面動力、均質反應及質傳阻力下的電流分佈係稱為主電流分佈且係受到電場分佈之拉普拉斯方程式(3)所支配(其中 φ 為電解液中的電位且 ∇^2 為拉普拉斯微分運算子(一函數之梯度的散度))。

$$\nabla^2\varphi = 0 \qquad (3)$$

是以，對較孤立的凹陷特徵部而言，預測出 109 會比凹陷特徵部 107 與 108 經歷更大的離子電流通量。在許多情況中，使用電鍍添加物期望能解決及抵消此「負載」效應，但通常情況是，即使存在添加物，孤立特徵部以較高的速率電鍍。因此，這會導致相較於較緻密的特徵部而言孤立的凹陷特徵部中會有較高的電鍍速率且較孤立的特徵部中有更厚的金屬層，導致晶粒內非均勻度。亦針對其他目的使用電鍍添加物，包含更改晶粒度或修改表面的平滑度與光亮度。即便在電鍍期間採取多種方法(如電鍍添加物的選擇)以改善電鍍均勻度，這些方法不是總會導致在可接受之沉積速率(或甚至極低沉積速率)下的可接受或期望的均勻度程度，且通常期望或需要更進一步地改善晶粒內均勻度。又，較快的電沉積速率通常會導致厚度變異性增加，尤其因為電鍍添加物阻擋電荷傳輸的效能及其補償上述主電流分佈場效應的能力會隨著電流密度減弱，且受到暴露的特徵部亦更被暴露至電解液之金屬離子源更多，故其對質傳提供較少的阻力。因

此，為了達到金屬層的目標均勻度，吾人通常必須要在比期望之電鍍速率更慢的速率下進行電鍍。在某些情況中，在任何電鍍速率(甚至極低的電鍍速率下)皆無法達到目標均勻度。如文中所揭露的一種選擇是在較快的電鍍速率下電鍍接著利用文中所述的方法進行電平坦化。最終，在許多實施例中，使用所提供的方法，藉著電鍍接著電平坦化針對一特定的目標均勻度程度可達到較高的淨處理速率及設備生產率。換言之，使用文中所述的方法及設備吾人可達到傳統純電鍍方法在任何電鍍速率(包含極慢的電鍍速率)下所無法達到的均勻度程度。

【0109】 參考圖 2A，在操作 203 中，將金屬電鍍至凹陷特徵部中達到高於最終目標金屬厚度的一位準，其中最快之特徵部填充與最慢之特徵部填充之間的電鍍速率比為 R1。在說明特徵部填充比時所用的金屬沉積速率與金屬移除速率係指平均時間速率。例如，在圖 1B 所示的基板中，將金屬 113（如銅）填充至特徵部達到大於目標位準 115 的一位準。在所示之實例中，最快的特徵部填充發生在孤立特徵部 119 中而最慢的填充發生在特徵部 117 中。自填充後取得的厚度比值可判斷出此些特徵部之間之時間平均電鍍速率的比值。超過目標位準的過度電鍍係通常大於目標電鍍厚度的約 10 %，如大於目標厚度之介於約 10 - 50 %。在後續的電化學移除步驟中，當在金屬移除期間改善均勻度時，移除(犧牲)過度電鍍的金屬。過度電鍍的量取決於幾個考量因素，其包含但不限於目標特徵部和特徵部之間的均勻度需求、期望的特徵部平坦度、操作成本及/或生產率需求、及比值 R1。

【0110】 一般而言，電鍍步驟可在凹陷特徵部填充的各種位準處停止。在某些實施例中，電鍍後的基板包含如圖 1B 中所示之受到部分填充的特徵部。在某些實施例中，凹陷特徵部受到完全填充且可能甚至包含超過遮罩位準上方的所有或部分金屬突出部。在某些實施例中，在電鍍後突出的金屬不會合併(橫向

成長不足)而形成相鄰特徵部之間的金屬橋或基板場區域上的連續性金屬層。然而，在某些實施例中，可將金屬沉積至下列程度或位準：在場區域上形成橫跨兩或更多受到填充之特徵部(如在特徵部之間發生橋接)的連續性金屬層。此係例示於圖 2B 中所示的結構中，其中位於光阻 213 中且藉由晶種層 215 電連接的特徵部 207、209 及 211 係受到金屬過度填充以致於在每一特徵部上方形成了如蕈菇狀之金屬突出物 217。又，金屬橋 219 係形成在兩個相鄰的蕈菇型突出物 217 之間。在所示的實例中，金屬橋不會延伸至更孤立的特徵部 211。

【0111】 應注意，在電鍍後單一基板可包含不同類型的填充特徵部。例如，在某些實施例中，在電鍍後基板可包含受到部分填充及受到完全填充的凹陷特徵部。在其他情況中，特徵部可彼此在幾何上不同(無論填充金屬的量)，例如某些特徵部具有低於大致上起始基板平面的一或多個凹陷(如柱內的介層窗)。圖 2C 例示結合了柱 221 及柱下方之介層窗 223 的特徵部。此外，某些特徵部可包含線與柱的組合。此類的結合特徵部係例示於圖 2D 中，其中線 225 係設置在介層窗 227 的上方。圖 2C 與 2D 提供受到填充之特徵部在光阻移除後的概略側面圖。

【0112】 更通常，在電鍍步驟中每一特徵部被填充至其初始凹陷深度的至少約 50%。無論填充的量為何，流程接著在操作 205 中在每一特徵部中進行電化學金屬移除且電化學移除在特徵部之平均厚度接近目標厚度位準之時停止。相較於純電鍍處理，電化學移除處理改善了均勻度(減少厚度變異)，且電化學金屬移除處理俾使在最快電鍍/填充之特徵部與最慢電鍍/填充之特徵部之間之金屬移除速率比值(被稱為 R2)係大於 R1(上述相同一對特徵部之間的金屬沉積(電鍍)比值)。如現在所將解釋的，R2>R1 的此關係對於平坦化處理的成功是很重要的。若 R2 等於 R1，則最快電鍍之特徵部與最慢電鍍之特徵部之間的相對厚度將實質上不變(且所增加的處理是無用的，因為其無法達到任何厚度均勻度的改

善)。以一簡單的實例證明，吾人可假設最快電鍍之特徵部之電鍍速率為最慢電鍍之特徵部之電鍍速率的兩倍(R1 =2)且目標厚度為 20 μm。在此情況中，最快電鍍之特徵部會電鍍至 2 x 20 = 40 μm 的厚度而最慢電鍍之特徵部會電鍍至 1 x 20 =20 μm 的厚度(在此例中我們允許較薄的特徵部達到目標厚度)。現在若吾人對特徵部進行更久的電鍍如分別電鍍至 2 x 25 = 50 μm 及 1 x 25 = 25 μm 的厚度且若 R2 = R1 =2，則自此些特徵部的金屬移除會以相同的 2 比 1 的相對速率進行。更具體而言，吾人自較薄的特徵部移除 5 μm 將厚度降至 20 μm，則自較快電鍍的特徵部會移除 2 x 5 = 10 μm 的厚度。於是相對於純電鍍的情況(分別是 40 μm 與 20 μm)，在電化學移除後所獲得的最終特徵部將是不變的。當 R2 係小於 R1 時，藉著使用電鍍接著進行電化學金屬移除處理所獲得之特徵部相對厚度差異會發散(變得更差或更大)。只有在電化學金屬移除處理中金屬移除速率比值 R2 係大於前面電鍍處理之 R1 比值時，淨處理才會導致較佳的厚度均勻度。是以，為了使處理有用，R2/R1 之值應大於 1，舉例來說，R2/R1 應大於約 1.1，例如大於約 1.15。在某些需要高處理效率的情況中，R2/R1 應大於約 1.25。R1 與 R2 比值間之所需關係可藉由配置一或多個參數而最小化 R1 使 R1 儘可能地接近 1.0 及/或最大化 R2 來達到。例如，如上所述，在某些實施例中，可在電鍍溶液中使用某些可抵消主電流分佈或歐姆場分佈效應之電鍍添加物，藉由改變特徵部之不同表面上的沉積動力學性質而減少 R1。在某些實施例中，在包含可相對於 R1* 減少 R1 之一或多種電鍍抑制劑及/或一或多種電鍍整平劑的溶液中進行電鍍，其中 R1*為在缺乏此類添加物的情況下或缺乏其他用以減少 R1*之措施的情況下所獲得的比值。雖然不欲受到任何模型或理論的限制，但 R1*可被視為是已知之「主電流分佈」、電場分佈及電鍍電流分佈僅受到對各種裸露特徵部之相對離子電阻及暴露之調制的結果。更孤立的特徵部傾向於更暴露至溶液且具有更多電流之離子路徑以使其受到電鍍，因此傾向具有較低的電阻及較高的電鍍速率。

在某些限制性的電化學情況中，主電流分佈係受到拉普拉斯方程式的支配，如文中方程式 3 中所提供的。

【0113】將 R1*減少至 R1(或藉著在電鍍步驟中添加添加物使電流分佈比主電流分佈更均勻)的重要性可如下所示。若在受到電鍍的基板中 R1*為 2 且係如上所述主要受到離子電流場分佈所決定，則在接下來的電化學移除期間 R2(由相同的場分佈所決定但沿相反方向)亦約為 2(若未採取任何手段或能增加其的手段)。在此情況中，均勻度將不會有任何的改善。如自拉普拉斯方程式可見，主電流分佈不取決於電解液之比導電率或其他特性。因此，主電流分佈(或針對此實例而言，R1*)一定不小於 R2。如文中所提供的，需要藉由例如使用表面電阻添加物將 R1*減少至 R1。受到溶液與界面之結合電阻所支配的電流分佈係稱為第二電流分佈。應瞭解，存在例外，其中可藉著非為添加電鍍添加物之方法而將 R1*降低至 R1。例如，一種此類方法為，修改若非如此則電鍍最快之電鍍特徵部中擴散或對流電阻變得可觀或主要之處的條件(被稱為第三電流分佈)，則若非如此則會因電場暴露而電鍍得較快速的此些特徵部會具有和受到較少暴露之特徵部更相等的總電阻或甚至具有比受到較少暴露之特徵部更高的質傳阻力。然而，若因為在電鍍期間添加抑制及/或整平添加物或其他方法，相對於 R*1 將 R1 降低至 1.5，則以 R2 等於 2 進行的回蝕會導致較厚孤立結構的較快蝕刻，因而改善均勻度。

【0114】圖 1C 中顯示在操作 205 後所形成的結構，其中可觀察到在所有三個特徵部 107、108 及 109 中的金屬填充物 113 已被電化學回蝕至目標位準 115，因而已改善晶粒內均勻度。如下文所將述，可藉著使用不同的電化學狀態(regime)而針對改善均勻度控制而配置電平坦化的處理條件。在某些實施例中，方法涉及以電量方式決定電化學回蝕處理的結束或終點。當電鍍與回蝕處理具有近乎或等於 100%之電流效率(電流效率為造成金屬沉積或移除之電流的分率)，以電

量方式控制在目標厚度處結束電鍍及回蝕至最終目標厚度係最簡單也較有利地加以實施。在常見的硫酸/硫酸銅電解液中進行銅電鍍的情況中，電流效率為100%，但使用相同電解液之蝕刻的電流效率通常遠低於 100%(如 53%)且其實際值係取決於蝕刻速率、蝕刻溫度、主體溶液的濃度、流動/對流條件與時間。因此，如後述，使用較佳的電鍍與電化學移除電解液，其具有參數上恆定且接近100%的電流與蝕刻/拋光效率(例如，至少約 90%電流效率，如至少約 95%)。電量方法涉及量測在金屬移除期間通過金屬移除池的電荷量並將此電荷量與過度電鍍超過目標位準期間通過電鍍池的電荷量相比較。當電鍍處理與蝕刻處理兩者形成相同的電狀態陽離子(例如，電鍍過程自 Cu^{+2} 將銅還原為 Cu，蝕刻過程在兩電子步驟處理時將 Cu 氧化為 Cu^{+2})時，一旦通過金屬移除池的電荷量超過一預定值(如過度電鍍超過目標位準期間通過的電荷量)時可停止回蝕。

【0115】 一旦完成電化學回蝕後，移除遮罩層 105(如可藉由光阻剝除而移除光阻)並如圖 1D 中所示獲得具有複數金屬凸塊及/或柱 113 的基板。在接續的蝕刻操作中可移除晶種層 103。

【0116】 文中所提供之方法可改善之另一類型的均勻度為特徵部內之均勻度。此處理係由圖 3A-3D 中所示之概略橫剖面結構及圖 4 所示之處理流程圖所例示。處理始於 401，提供具有通遮罩特徵部的基板。此基板係例示於圖 3A 中，其中,通遮罩之凹陷特徵部 107 係位於光阻層 105 中。接下來，在圖 4 之 403 中，將金屬電化學沉積至凹陷特徵部中高於目標位準 115，如圖 3B 中所示。在此情況中，金屬填充物 113 在特徵部內是不平的，在特徵部的直徑範圍內有較厚部分也有較薄部分。一般而言，特徵部內之非均勻度可以任何形狀顯現，包含但不限於凸圓頂特徵部(其中受到電鍍之特徵部的中心比特徵部的邊緣部分更厚)、凹盤特徵部(其中受到電鍍之特徵部的中心比特徵部的邊緣部分更薄)、可包含複數小突出物與凹陷的粗糙特徵部。特徵部內之非均勻形狀的背後原因包

含許多會造成特徵部與特徵部之間之變異的相同原因(如主場效應及特徵部內流動循環的非均勻度)。處理接著在操作 405 中電化學移除一部分金屬達目標位準並同時改善特徵部內之均勻度。所得之結構係如圖 3C 中所示，其中特徵部的形狀已受到改善且金屬填充物 113 已平坦化至目標位準 115。接著處理可移除光阻，提供圖 3D 中所示之結構，其包含具有平坦之經平坦化的之上部的單一柱 113。

【0117】 圖 5A 與 5B 分別例示晶粒內非均勻度與特徵部內之非均勻度的正式計算。圖 5A 例示晶粒內(WID)非均勻度的計算。在具有複數晶粒的晶圓上，針對每一晶粒計算特徵部高度的範圍(最高與最矮特徵部之間的差異)並將其除以 2。針對基板上所有晶粒之此些半範圍的平均值提供了 WID 非均勻度的量測值。圖 5B 例示特徵部內之(WIF)非均勻度的計算。在具有複數特徵部的基板上，針對每一特徵部計算一範圍：特徵部之最厚部與特徵部之最薄部間的差異。此些範圍的平均值特徵部內之非均勻度。雖然例示於圖 5A 與 5B 中的此些計算係運用至移除遮罩後之特徵部，但應瞭解，可類似地計算及/或估算遮罩移除前的非均勻度。

【0118】 有利地，不僅可將文中所提供的方法用於單獨改善晶粒內均勻度或單獨改善特徵部內之均勻度，亦可將其用於改善兩者之組合。例如，可將所研發出的電化學回蝕方法用於平坦化具有被填充至不同高度之特徵部的基板，其中特徵部本身可具有厚度不規則性，如凸形或凹形或粗糙表面。

【0119】 又，可將文中所提供的方法用以改善晶圓內(WIW)非均勻度。在某些實施例中，晶圓基板的某些區域可能經歷比期望更厚或更薄的電鍍。其發生可能是因為晶種層厚度及/或遮罩層厚度的晶圓內變異，或者更一般性因為不佳或有限能力來最佳化設計電鍍處理或電鍍設備。此外，這可能會發生在包含一晶粒(通常位於晶圓或基板的邊緣處)及與晶粒區域相鄰之無特徵部或無晶粒或無部分晶粒之區域的基板中。此幾何特徵可能會導致「負載效應」及在無特

徵部之區域附近的較厚電鍍。徑向及方位角之 WIW 非均勻度有時可以下列方式量測：在橫跨晶圓直徑、邊緣附近、或橫跨整個晶圓之複數位置處的一晶粒中一單一特徵部類型上所量測到的厚度半範圍。在此些情況中，所提供的電化學移除方法可成功地改善電鍍金屬的均勻度。在某些實施例中，可使用所提供的方法得到具有小於 2%之 WIF、小於 3%之 WID、小於 2%之 WIW、及其組合的基板。

電化學金屬移除處理條件

【0120】 文中所提供的電化學金屬移除處理係用以改善金屬層(連續性金屬層及非連續性金屬層兩者)之均勻度，且尤其適合用以改善通遮罩電鍍的特徵部的均勻度，尤其是具有非連續性裸露金屬層(在連續性金屬層被沉積於場區域上之前電鍍結束時)之特徵部的均勻度。此類基板包含受到暴露之金屬的區域及受到暴露之介電材料(例如，遮罩，如光阻)的區域，且表面上金屬層的此不連續性對電鍍及電化學金屬移除都造成了某些挑戰。在某些實施例中，文中所提供的方法配置電化學回蝕期間晶圓表面上之電解液流體動力學以改善均勻度。在某些實施例中，方法配置電化學狀態(藉由控制基板處的電位及/或電流)以改善均勻度。在某些實施例中，方法配置電解液的組成以改善回蝕均勻度。在某些實施例中，提供之方法係用以在連續使用電化學金屬移除設備期間將電解液組成維持在實質上恆定的濃度，使得利用實質上相等的電解液依序處理大量晶圓基板(例如，大於約 50 片基板，如介於約 100-5000 片基板)，藉此改善回蝕之晶圓與晶圓之間的再現性。方法更可涉及在金屬移除期間分離、移除與稀釋在陰極處形成的氫氣或將金屬電鍍至陰極上。方法的此些特徵可分開使用或彼此結合使用。

【0121】 文中所提供的電平坦化大致上涉及將具有裸露金屬層(連續性金屬層及非連續性金屬層)之基板之工作表面浸沒至被容納於電平坦化設備中之電

解液中，及陽極化偏壓基板，俾使金屬如方程式(2)所示電化學溶解於電解液，並同時配置用以改善裸露金屬層之均勻度，例如，用以改善晶粒內、晶圓內及/或特徵部內均勻度的處理條件。基板之陽極偏壓化係利用連接至基板之導電部分的電接觸件，電接觸件係電連接至電源。當基板包含通遮罩特徵部時，接觸係經由介電遮罩層下方之導電性連續晶種層。接觸通常(但並非必要)位於基板邊緣處。電平坦化設備亦包含陰極相對電極，其可以是活性陰極或惰性陰極。活性陰極的實例包含不銹鋼、鐵或鎳陰極，其在處理期間藉著還原電解液中的金屬離子可輕易電鍍。例如，當自基板移除銅並將銅溶解至電解液中時，銅金屬層會沉積在活性陰極上。針對惰性陰極，所有或部分的還原處理會導致基板上之電平坦化處理所移除之金屬的還原以外的其他電化學反應，如質子還原而在水性電解液中產生氫氣。在陽極處發生基板金屬移除處理期間在陰極處可發生金屬沉積及/或氫氣釋出。例如，當受到移除的金屬為銅時，反應(4) - (5)發生在受到陽極化偏壓的基板處而反應(6) - (8)發生在陰極處。

陽極反應：

$$Cu^{0}_{(s)} - e \rightarrow Cu^{+} \quad (4)$$

$$Cu^{+} - e \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} \quad (5)$$

陰極反應：

$$Cu^{+} + e \rightarrow Cu^{0}_{(s)} \quad (6)$$

$$Cu^{2+} + e \rightarrow Cu^{+} \quad (7)$$

$$2H^{+}_{(aq)} + 2e \rightarrow H_{2\,(g)} \quad (8)$$

【0122】根據所提供方法的一實施例，在金屬移除期間在基板表面處的電解液流係用以使接觸基板之工作表面的電解液橫流存在。在電化學回蝕期間使用橫流能改善回蝕期間金屬層的均勻度，因為橫流能促進電解液往返於特徵部的質傳。此方法的處理圖係顯示於圖 6 中。處理始於 601，提供具有金屬層的基

板。此方法可大致上用於各種基板，包含具有連續性與非連續性金屬層的基板。然而，其對於回蝕通遮罩電鍍之特徵部尤其有用，其中基板具有受到暴露之金屬 (非連續性的)與受到暴露之介電材料且如圖 1B 中所示金屬特徵部係藉由連續性的晶種層在受到暴露之介電材料下方電連接。這大部分是因為介電材料所分離之特徵部之場負載效應的特徵部密度變異性與暴露效應差異所主導。作為連續導電性且互連之可電鍍或可蝕刻場區域之部分的凹陷特徵部(例如通常位於鑲嵌電鍍晶圓中)在擴散暴露時因為場金屬的存在故不會經歷相同程度的可變電場濃度或變異。當該些處理在整個大致表面上進行時，電鍍或蝕刻在特徵部之間同時發生。被嵌於介電材料中彼此分離的特徵部在緻密與較不緻密的特徵部集中區域之間有遠遠更大程度的場與環境暴露對比。除了通遮罩特徵部之回蝕外，或與通遮罩特徵部之回蝕結合，針對通光阻電鍍並以快且空間均勻的移除速率(如至少約 5 μm/分鐘的平均金屬移除速率)回蝕及針對自較大特徵部(如寬度大於約 100 μm)與較高深寬比之特徵部 (如深寬比大於 2：1)回蝕，因為此些情況中對電解液質傳有較高要求，因此橫流實施例尤其有用。

【0123】 再參考圖 6，處理接著在 603 中陽極化偏壓基板並將基板浸沒至電解液中，接著在 605 中提供與基板接觸之電解液流，較佳提供與基板接觸之空間均勻的電解液流，最佳提供與基板接觸之均勻電解液橫流；以及自基板電化學移除金屬並同時改善金屬層的均勻度。電解液橫流為沿著質實上平行基板之工作表面之方向的電解液流。雖然不希望受到任何特定模型或理論的限制，相信的是，當金屬特徵部係低於介電材料之平面(如使用遮罩之通光阻電鍍，其中特徵部被電鍍至低於光阻平面)，表面上方之區域中的橫流會在遮罩開口凹陷空穴內產生循環的沖灌流動模式，這會導致較佳的質傳與處理速率。文中所提供的電解液橫流係藉由非旋轉基板的其他方法所提供。應存在不同於旋轉基板而對橫流亦有貢獻之方法，且較佳是貢獻程度更甚於旋轉。一般而言，僅僅是

旋轉無法提供徑向均勻的傳輸流，例如無法提供橫跨基板中心的任何橫流，且其對晶圓級的處理均勻度是有害的。當然，基板旋轉可造成一部分橫流，但其主要用以產生時間平均的均勻流場並增加晶圓邊緣附近的流動。文中所提供的方法提供橫流俾使橫跨基板中心之流速(關於緊鄰基板工作表面且橫跨基板中心點之平行基板表面的流向量)至少約為 3 公分/秒(如至少約 5 cm/s、至少約 10 cm/s 或至少約 20 cm/s)。在某些實施例中，在整個電化學金屬移除處理期間提供橫流。例如，在某些實施例中，應在進行電化學金屬移除處理的時間的至少 50%或至少 80%期間提供橫流。例如，在某些實施例中，電解液橫流可藉由往復槳機構所產生，往復槳機構可涉及槳動作（paddle motion）之方向改變之間的短暫空閒時間。

【0124】 可使用各種方法產生電解液橫流，包含但不限於橫向注射電解液俾使電解液沿著實質上平行基板之工作表面的方向進入靠近基板的池；利用各種液流轉向技術使液流轉向而產生或增加電解液流的橫向分量；利用動作元件，如往復槳或槳輪動作，在池內產生橫流；及上述方式的任何組合。

【0125】 圖 7A 例示產生橫流用之液流轉向方法。在此實例中，引導電解液流向上朝向晶圓基板流動。電解液以向上移動通過位於晶圓附近(如約 10 mm 內)之離子電阻性離子可滲透之元件 701，然後進入由在底部處之元件之面基板表面、在頂部上之晶圓之工作表面、及在側邊上之液流分流元件 703 所定義的虛擬腔。液流分流元件之壁通常循元件的周邊且具有排放區域，排放區域具有能讓電解液如箭頭所示離開虛擬腔的一或多個開口。排放區域係以方位角不對稱之方式設置，藉此造成自該元件發出的電解液流以橫跨晶圓中心點之非零速度轉向進入電解液橫流中。

【0126】 圖 7B 例示利用橫向電解液注射及流動轉向之組合獲得電解液橫流的一實例。如圖 7B 所示的實例，電解液流向上經過元件 701 然後被液流分流

元件 703 轉向至橫流中，但此外尚有電解液注射接口 705 將電解液以實質上平行基板表面之方式以大致朝向液流分流器的排放區域之方向注射。

【0127】 此些實例提供產生橫流的例示，但應瞭解，可使用其他橫流生成方法。例如，在某些實施側中可能不需要離子電阻性離子可滲透之元件的存在。

【0128】 在某些實施例中，較佳在以橫流電化學金屬移除期間旋轉晶圓。旋轉會改變金屬移除過程期間橫流向量的方向(若將晶圓上的一點作為參考點)，且因此會改善特徵部內均勻度。發現到，旋轉速率較佳應為慢，且在某些實施例中，角旋轉速率應俾使基板邊緣的切線線性速度 V 不會超過基板邊緣處之橫流速率。線性速度係以方程式(9)與角旋轉速率相關聯

$$V = D$$

其中 D 為基板直徑(如 30 cm)且 為角旋轉速率(每秒轉數)。例如，若橫跨邊緣的橫流速率為 10 公分/秒而基板具有 30 cm 的直徑，則角旋轉速率應小於 0.106 轉/每秒即 $<10/(\pi \times 30) = 0.106$ 轉/每秒或小於 6.4 轉/分鐘(rpm)。較佳是，角旋轉速率應大幅小於以此方式所推算出之速率，如在上列實例中 2 rpm，俾使角旋轉速率不會對晶圓邊緣與電解液橫流的相對線性速度提供明顯貢獻。在某些實例中晶圓的旋轉速率係介於約 0.5 - 30 rpm 之間，如介於約 0.5 - 12 rpm 之間。

電解液組成

【0129】 在金屬移除期間所用之電解液為導電性液體，其通常包含酸，較佳是包含具有中等至高黏度(如大於約 4 cP 之黏度)的酸，如磷酸(H_3PO_4)、1-羥基亞乙基-1,1 二膦酸(HEDP)、及/或烷磺酸(如甲磺酸、乙磺酸或丙磺酸)。電解液可包含此些酸彼此的混合物及此些酸與其他酸（如硫酸或醋酸）的混合物。在某些實施例中，在電解液中使用非酸性的增黏劑，如甘油或乙二醇。已發現

甲磺酸的濃溶液在移除處理某些金屬（如錫、銀、鉛及此些金屬之合金，如 SnAg 合金）的處理時尤其有用。雖然可使用各種酸，磷酸與 HEDP 對於電化學移除銅、鎳及鈷較佳，因為其低成本且因為在電化學金屬移除期間使用此些酸會最少化或根本不會自溶液沉澱金屬銅、鎳或鈷粒子。相對的，例如在電化學銅移除期間使用硫酸可導致形成大量的金屬銅粒子，一般相信金屬銅粒子係因為金屬僅氧化為+1態 Cu^{+} 接著一價離子不成比例地成為 Cu^{2+} 及 Cu^{0} 金屬粒子而形成。粒子形成可能會造成基板上的缺陷及其他設備與處理困難，因此較佳應避免。黏性移除電解液可包含錯合劑，錯合劑包含螯合劑，如有機膦酸鹽。

【0130】 一般而言，在電解液中可與磷酸及/或 HEDP 結合使用的酸包含硫酸、甲磺酸、醋酸、高氯酸等。亦可使用此些酸的混合物。此些較適合移除銅以外的其他金屬，如鎳、鈷、錫銀合金等。電解液中酸的濃度及溶液的黏度較佳應高。例如，在某些實施例中，電解液包含濃度大於 40 重量%（如大於 45 重量%，如介於 40 – 65 重量%）的磷酸，且電解液黏度係大於約 4 cP，如 5 cP。

【0131】 在各種可能適合的電解液中可使用某些乙二醇，如丙三醇、丙二醇及乙二醇、及各種其他水溶性有機黏性化合物）作為產生高黏度的基溶劑或添加物。此些材料非為導電性且通常與水及鹽或弱酸一起使用。此類溶液主要但不限於被用於偏好使用弱酸(pH >1)或非酸性電解液溶液(包含具有錯合劑及螯合劑的溶液)的應用。此類電解液的其他成分包含導電性的酸或鹽(如胺基磺酸、硫酸鈉或硫酸銨、硫代硫酸鈉、四氟硼酸鈉)且能用於蝕刻金屬，如 Pd、Pt、Ag、Rh、Ru、Ir 及 Au。

【0132】 在某些實施例中，選擇電解液成分俾使其黏度隨著金屬離子濃度的增加而快速大幅增加(如隨著金屬離子含量的每兩倍增加而增加大於 20%，如大於 30%)。隨著電化學金屬移除的進行，靠近基板之工作表面在電解液中的金屬離子濃度會增加。若電解液係用以俾使此層的黏度亦隨著金屬離子濃度的增

加而增加，如上關於黏度與擴散率之間的關係的討論，靠近表面之此層中的擴散會明顯減少因此處理會導致不同深度或高度之特徵部之間與之內的較佳均勻度。

【0133】 分子之擴散係數與黏度之間的關係係由史托克-愛因斯坦方程式(10)描述，其中 D 為擴散係數、k_B 為波茲曼常數、T 為溫度、μ 為溶液的動黏度(單位為長度平方除以時間)、r 為原子的水合原子半徑。

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\mu r} \qquad (10)$$

是以，當黏度增加時，擴散會根據方程式(11)減慢。

$$D(T) \propto \frac{T}{\mu(T)} \qquad (11)$$

【0134】 不欲受限於特定理論，相信的是，當在黏度會隨著受到拋光之金屬之濃度而增加的溶液中進行電拋光時，擴散速率會隨著靠近金屬表面的金屬含量增加而減少，直到在靠近金屬表面之界面的電解液中形成了質傳限制層為止，質傳限制層會限制拋光處理的質傳速率。在暴露較少的區域中及空間之侷限區域中會更完全或有效地形成質傳層。文中所述之基於磷酸與 HEDP 的電解液會取決於黏度變化而達到所需的金屬濃度。

【0135】 在許多實施例中，金屬移除處理期間的目標電解液黏度較佳係至少約 4 厘泊，如介於約 5 - 12 厘泊之間。在某些實施例中，針對較小特徵部(如寬度小於約 100 μm 的特徵部，如 2 - 60 μm)的電平坦化及/或針對改善特徵部內之均勻度，較佳使用較高的黏度(如 7 - 12 厘泊)。在電平坦化較大特徵部，尤其是當期望較高金屬移除速率時，可使用相對較低的黏度(如 4 - 7 厘泊)。

【0136】 雖然在某些實施例中，在金屬移除處理的初期，電解液係實質上無金屬，但已發現在每一金屬移除處理開始時便包含受到移除之金屬的金屬離子作為電解液的一部分是有利的。當處理初期包含金屬離子時，因為可避免處理開始時金屬離子濃度的大波動(以及，藉由上面的討論與方程式所連結，在相

關的黏度與擴散係數的大波動)，因此處理的穩定度與再現性較佳。這尤其適合於在一基板及接續處理的複數基板上的金屬移除過程期間將電解液組成維持實質上恆定的實施例。此外，若未在金屬移除處理開始時包含金屬，可能需要更長的時間才能到達期望的電拋光條件。圖 8 所示的圖例示了使用含金屬之電解液之處理流程。處理始於 801，提供具有裸露金屬層的基板。可使用各種基板，包含但不限於具有如文中所述之通遮罩特徵部的基板。具有相對較小之特徵部的基板，以及需要特徵部內均勻度改善的基板，尤其能受惠於此方法。在 803 中陽極化偏壓基板並將基板浸沒至包含欲移除之金屬離子的電解液中。例如，若基板具有需被電平坦化的銅層，則電解液將包含銅離子；若欲移除的金屬為鎳，則電解液將包含鎳離子，以此類推。在某些實施例中，在移除銅的初期(在基板浸沒時)，銅離子的濃度的範圍係介於約 0.1 - 2 莫耳/升之間，更較佳係介於約 0.2 - 1.5 莫耳/升之間。在一實施例中，電解液包含磷酸銅(II)(包含所有類型的磷酸鹽，如磷酸氫鹽)與磷酸的水性溶液或由磷酸銅(II)與磷酸的水性溶液所組成。在另一實施例中，電解液包含 HEDP 之銅鹽與 HEDP 的水性溶液或實質上由 HEDP 之銅鹽與 HEDP 的水性溶液所組成。在某些實施例中，電解液係藉著將金屬之氧化物或氫氧化物，如銅(II)氧化物或銅(II)氫氧化物，溶解於酸(如磷酸)中而加以製備。例如，磷酸銅溶液可藉著將氫氧化銅(II)溶解於水性磷酸中而製備。酸與氧化物或氫氧化物反應而形成酸的金屬鹽及水。在某些實施例中，製備電解液的方法包含將金屬氧化物及/或氫氧化物(如銅氧化物或銅氫氧化物)溶解於酸中，然後結合所形成的溶液與更濃的酸。例如，可將銅之氧化物及/或氫氧化物溶解於稀釋的磷酸中然後將其與更濃的磷酸混合。接下來，可選擇性地添加添加物，如甲磺酸、氯化物及電鍍抑制劑。

【0137】 在某些實施例，尤其是使用自電解液還原金屬離子的陰極的實施例中，電解液包含電鍍抑制劑，如選自聚環氧烷類或聚烯烴基二醇類的化合物。

例如，電解液可包含經取代或未經取代的聚環氧乙烷及/或聚乙二醇。此些添加物改善沉積在陰極上之金屬層的形態。又，藉由使用極濃的電解液，如銅濃度(意指銅離子濃度)大於 30 g/L 且磷酸濃度大於 625 g/L 的電解液，可改善形態。在某些實施例中，可使用過飽和的電解液。一旦基板被浸沒至電解液中後，如 805 中所示開始進行電化學金屬移除處理並改善金屬層的均勻度。在某些實施例中，在整個金屬移除處理期間電解液中的銅濃度係落在 0.1 - 2 莫耳/升的範圍內。在某些實施例中，如後文所將述，控制處理俾使在金屬移除處理期間以及複數片晶圓的處理之間電解液中的金屬離子濃度係維持在實質上恆定的位準。

【0138】 可用以調制金屬移除條件的另一參數為電解液溫度。溫度的變化會改變異質反應處理以及電解液的特性(如導電率與黏度)。在某些實施例中，溫度範圍係自攝氏約 20 至約 45 度。在某些實施例中，較佳是利用被加熱至大於約攝氏 25 度之溫度的電解液進行金屬移除。例如，在某些實施例中，處理係於介於約 27- 40 °C 的電解液溫度範圍下進行。較高的溫度會導致較高的電蝕刻速率與拋光速率且亦會導致較高的水蒸發速率(若處理是在開放的大氣條件下操作)。由於晶圓在進入電鍍池與浴槽之前通常會預濕，且由於晶圓在處理之後通常會沖洗且在沖洗期間某些沖洗水會進到池與浴槽中，因此大於其他處理所攝取之水攝取率的蒸發速率是有利的。亦可利用與電蝕刻/電拋光電解液具有相同或類似組成之預濕液來進行晶圓的預濕，最少化對處理電解液的水注入。在較高溫度下的處理會使進入之水的移除比進入更快，且可被用於一處理，其中藉由週期性地量測(或計算與預測)水含量變化並週期性地將水添加至浴槽/池以將水含量維持在期望限度內。

【0139】 表 1 提供用以改善具有通遮罩特徵部之基板上之均勻度之電解液組成與溫度的數個實例。

[表 1]

特徵部直徑 μm	目標黏度 (cP)	目標磷酸濃度 (重量%)	目標 Cu^{2+}濃度 (重量%)	目標溫度 (°C)
30 - 50	11	48	60	30
100 - 300	5	48	60	45
100 - 300	6	60	0	45

【0140】在許多實施例中，在金屬移除期間所用之電解液係實質上不同於在電鍍期間所用之電解液。例如，在某些情況中，利用包含酸（如硫酸）、金屬離子（如硫酸銅）及一或多種添加物（如抑制劑）(如平均分子量約 1000 之聚乙二醇)、整平劑 (如聚胺整平劑，例如四級聚胺)、加速劑(如雙（鈉磺丙基）二硫化物)或其組合的電鍍電解液在基板上進行電鍍，電鍍之後接著進行電平坦化步驟，在某些情況中，電平坦化電解液不包含任何添加物。在某些實施例中，電鍍與電平坦化期間所用之酸的主要類型不同，或者電鍍時所用之酸(如硫酸)係完全不存在於電平坦化中。在相同的主要酸係存在於電鍍電解液與電平坦化電解液兩者(如甲磺酸係用於電鍍與電平坦化兩者的電解液中)的某些實施例中，電鍍溶液中的酸濃度係低於 20 重量%，如 15 重量%，且電平坦化電解液中的酸濃度通常大於 45 重量%，例如 50 重量%或更高。高濃度的酸溶液可比較低酸濃度的溶液具有更低的導電率。對應至最大導電率的酸濃度會隨著酸的本質而改變。為了達到高均勻度的電鍍，通常期望使用具有最大導電率及最大添加物影響與穩定性的溶液。高濃度的酸溶液可具有較低的導電率且可快速地分解有機電鍍添加物。在一實施例中，在包含硫酸及/或甲磺酸、包含表面極化添加物(抑制劑及/或整平劑化合物)的電解液中進行電鍍，然後在包含磷酸及/或 HEDP 作為主要之酸的電解液中進行電平坦化。在另一實施例中，在更包含甲基磺酸錫

(30-70 g/L)與電鍍添加物的甲磺酸電解液(100 至 200 g/L)中電鍍錫或錫合金(如 SnAg、PbSn)焊料膜，然後在亦包含甲基磺酸錫(30-70 g/L)但實質上無添加物的甲磺酸 電解液(40-65 重量%)中對焊料電平坦化。

電蝕刻狀態與電拋光狀態

【0141】本發明人發現，電化學金屬移除可在兩個不同的電化學狀態中進行，每一電位學狀態具有其特別的處理行為與特性及在金屬移除速率上的效應。此些電化學狀態在本文中係稱為電蝕刻與電拋光。

【0142】在電蝕刻狀態中，金屬移除速率主要是受到電解液中之歐姆電阻的支配；意即，由電流因電解液中的電阻及電場的相關空間分佈而導致自身如何分配所支配。在此狀態中表面反應阻力及質傳(對流)阻力並非決定性的因素。是以例如在電蝕刻狀態中，受到更多暴露的那些特徵部具有較多數目之自其自電解液發射的三維電流路徑，具有較低的離子電阻，因此經歷較大的離子電流且比經歷較大離子電阻(如靠近許多其他特徵部者)與較小離子電流的特徵部有更快的蝕刻速率。此係例示於圖 9A 中，圖 9A 顯示具有暴露至陰極 901 之三個通遮罩填充金屬之特徵部 903、905 及 907 之基板之一部分的二維投影。在電蝕刻狀態中，較孤立的特徵部 903 會比較緻密的特徵部 905 與 907 經歷較大的離子電流(線概略顯示了路徑及大小，在每一相鄰組線之間的每一間距中的流過相同量的電流)，因此會比較緻密的特徵部 905 與 907 經歷更高的蝕刻速率。雖然決定電蝕刻之電流分佈的主要因素是特徵部的相對空間分佈，但應注意的是，電蝕刻速率及蝕刻的相對速率可隨著特徵部中的金屬凹陷深度而改變，因為當特定特徵部變得更凹陷時該特徵部之總離子電阻的較大部分會匯聚在遮罩-電解液邊界 909 的平面下及特徵部的凹陷內；這傾向於最小化空間分佈的影響。雖然不欲被限制至特定的模型或理論，但只要特徵部的深度係小於或等於約其寬度的一半(深寬比小於 1：2)，大致上電蝕刻速率為實質上常數且取決於特徵部與其

他特徵部的相對靠近程度。在許多受到關注的情況中，特徵部係於此些物理限制下受到處理。在此限制下，在蝕刻發生在深寬比小於約 1：1 的情況中，在電蝕刻處理期間即便特徵部隨著金屬移除而變得愈來愈深，選定特徵部的蝕刻率仍會維持實質上常數。例如，圖 9A 中所示的參考基板，在電蝕刻狀態中孤立特徵部 903 的蝕刻速率會大於較不孤立之特徵部 905 的蝕刻速率，較不孤立之特徵部 905 的蝕刻速率會大於更不孤立之特徵部 907 的蝕刻速率，其中每一特徵部的蝕刻速率為實質上的常數。

【0143】 在充分高的電位及適合之對流條件下的電拋光狀態主要是受到下列因素支配：與高黏性薄膜形成相關的質傳限制以及在特徵部-電解液界面處與在特徵部凹陷中的相關質傳限制層。在電拋光狀態中，金屬移除速率不會明顯取決於施加電位或靠近特徵部與對於特徵部之電解液中的電場分佈，而是取決於特定特徵部對質傳限制擴散與對流處理的暴露。是以在電拋光狀態中，較不凹陷而受到較多暴露之特徵部中的金屬移除速率可大於較凹陷而受到較少暴露之特徵部中的金屬移除速率。又，在某些實施例中，在單一特徵部內，特徵部之較厚(位於較高處)且受到較多暴露的部分會比相對較薄(位於較低處)的部分經歷更高的金屬移除速率。雖然相對受到較佳暴露之特徵部的電拋光可在穩定的金屬移除速率下進行，但若電拋光持續進行直到特徵部變得明顯受到較少暴露，來自該特徵部的金屬移除速率會減少。是以在某些實施例中，電拋光包含自特徵部或特徵部內的突出物電化學移除金屬，其中來自此特定元件的金屬移除速率在電拋光的起始時大於 接近電拋光處理結束時。電拋光移除速率可例如參考圖 9B 與 9C 說明。圖 9B 例示在電拋光前之基板的概略橫剖面圖，基板具有三個通遮罩特徵部 913、915 及 917。在此實例中，特徵部 913 為位於最高的且最厚的特徵部；特徵部 915 比特徵部 913 薄而特徵部 917 為三個特徵部中最薄且位於最低的特徵部。特徵部亦具有圓頂，其中央部分較厚而邊緣處的部分較薄。

在電拋光狀態中，來自位於最高之特徵部 913 的金屬移除速率在起始時會大於來自位於較低的特徵部 915 的金屬移除速率，來自位於較低的特徵部 915 的金屬移除速率會大於來自位於最低之特徵部 917 的金屬移除速率。隨著電拋光進行，特徵部會變得愈來愈深且暴露愈來愈少，因此金屬移除速率會減少，最終導致特徵部之高度差異的減少，結果達到平坦化。又，電拋光亦會減少圓頂，因為受到較多暴露之圓頂的中央部會比靠近側壁之圓頂之受到較少暴露的較低部分有更高蝕刻率的蝕刻。由於電拋光可獲得圖 9C 中所示的結構，其中特徵部之間的厚度差異減少且特徵部內之形狀變得實質上更平坦。

【0144】 應注意，相較於電蝕刻，電拋光對特徵部暴露及離子電流環境明顯地較不敏感，因此能使較不凹陷之特徵部(即便其並非最孤立的特徵部)的金屬移除比更凹陷之特徵部在更快的速率下進行。若較凹陷的特徵部為較孤立的特徵部(如圖 9B 中所示)，在電蝕刻狀態中不可能有此類移除速率傾向(在電蝕刻中孤立特徵部是蝕刻得較快的特徵部且不必要是最凹陷的特徵部)。然而，可成功地使用電拋光平坦化孤立特徵部比其他特徵部更凹陷(位於更低，如圖 9B 中所示)的基板以及孤立特徵部比其他特徵部較不凹陷(位於更高，如圖 9A 中所示)的基板。又，本發明之發明人發現，電拋光狀態中的金屬移除比電蝕刻狀態中的金屬移除實質提供更平滑且更平坦的金屬特徵部表面。

【0145】 電拋光狀態與電蝕刻狀態提供一組獨特的工具，用以改善不同類型的均勻度(如特徵部內均勻度、晶粒內均勻度及晶圓內均勻度)，用以減少特徵部表面粗糙度，用以最佳化平坦化速率且因此用於改善基板處理生產率。在某些實施例中，進行金屬移除俾使處理被設計在一特定狀態進行。電蝕刻與電拋光的發生電位不同， 其中電位係指電化學金屬移除期間的基板電位。電蝕刻發生在金屬移除期間基板電位被維持在低於臨界電位(較佳是低於臨界電位至少 50 mV，如 100 mV)時，且電拋光發生在金屬移除期間基板電位被維持在高於臨

界電位(較佳是高於臨界電位至少 100mV，如 200mV)時，其中臨界電位可以文中所述方式決定。雖然不希望受限於任何特定的模型或理論，本發明之發明人相信，為了使電拋光發生，必須驅動充分的金屬移除速率(因此施加充分大的電位)俾以在界面附近因擴散係數隨著電解液中金屬含量之增加快速下降而形成質傳抑制電阻膜。應注意，臨界電位可取決於特徵部在基板上的分佈、電解液化學品、及橫流電解液流速率，但可基於從在類似於預期處理條件的條件下受到處理且類似於欲處理之基板的基板所獲得的數據加以估算。利用特徵部分佈與欲處理之基板上之特徵部分佈相同的基板亦可更精準判斷，其中用以判斷臨界電位之基板係於欲處理之基板的預期相同條件下受到處理。應瞭解，當進行電蝕刻或電拋光時，如藉由利用參考電極監控電位，吾人應意識到臨界電位並採取步驟以在期望狀態中進行處理。具有參考電極位於晶圓表面附近或位於池中相對於晶圓表面電壓降為小之點處(例如在極少或無電流流至晶圓或流出晶圓之平面中)是有用的。然而，進行電鍍或電拋光的步驟本身不會涉及判斷臨界電位的步驟。臨界電位可以書寫指示或程式指令的形式提供予使用者，或使用者或服務提供者利用估算、計算模型及/或文中所提供的判斷方法、或其他適合的方法在金屬移除前估算或判斷臨界電位。

【0146】 圖 10 例示可用以估計臨界電位用之電流-電壓圖。自圖 10 藉著檢視電極(晶圓)/電解液系統的電流-電壓(I/V)行為可識別蝕刻狀態與拋光狀態。蝕刻狀態為電解液中特定金屬(如銅)之平衡電位之起始陽極狀態。在此狀態中，電流隨著施加的電位而增加(在圖 9 中顯示顯性的關係)。電位的更進一步增加會導致過渡至拋光狀態中。拋光狀態是電流在所施加的一電位範圍內(如 500 mV)實質上維持不變的狀態。臨界電位可被估算為對應至兩切線之相交處的電位，其中第一切線為電流高原區所畫出的切線而第二切線為快速電流成長區之所畫出的切線。

【0147】在蝕刻狀態與拋光狀態之間的界面處有一小過渡區域，有時伴隨著電流的尖峰(取決於電壓上升速率)。此尖峰的尺寸與寬度可取決於在一系列電位階的電壓上升速率或時間。在高於拋光狀態的電壓處，開始自電解液釋出氧氣並造成電流再次隨著電壓增加。除了連續掃描電位之外，可藉由例如以下方式來建構圖 10 中所示的曲線：自一系列晶圓電化學移除金屬，其中每一晶圓係於一預定電壓下受到處理；量測所得的電流；及針對該晶圓系列繪製電壓-電流關係。

【0148】如前所述，臨界電位不僅取決於電解液組成，但亦取決於電解液的電解液溫度與橫流速率。圖 11 例示臨界電位如何隨著變化的橫流速率而改變。圖 11 例示在相同條件下受到處理之基板的三條 I-V 曲線，其中唯一的差異為橫流速率。當橫流速率從曲線(a)增加至(b)且增加至(c)時，臨界電位推移至較高數值。亦應注意，拋光電流隨著流率增加而增加。本發明之發明人相信，在較高的流率下，會較快速地自擴散電阻薄膜的上部移除材料，因此薄膜大致上較薄且電阻較小。在某些實施例中，可使用電解液橫流的變化，以臨界電位的推移來控制蝕刻狀態與拋光狀態之間的過渡。

【0149】利用與將受到處理之晶圓基板相同的單一晶圓基板(即在基板上具有相同的特徵部分佈)及在真實處理期間將使用之相同的電解液與電解液流率，可進行臨界電位的更精準判斷。將基板浸沒於電解液中，將一經設定的電位施加至基板，並連續量測電流。針對相同的基板以步進方式增加電位，然後隨時間量測電流。所得的圖 1201 係顯示於圖 12 中，其例示電流與時間的相依性，其中電壓以步進方式約每 30 秒增加 0.1 V 的增額自 0.1 V 增加至 1 V。穩態電流被取為在每一增額的最後 10 秒中所獲得之電流的平均。或者，可將整個增額期間的平均電流值或每一增額之終點處的電流值取為穩態電流值。接下來，將穩態電流值繪製為電壓的函數，得到圖 12 中所示之圖 1203 中的圖。穩態電流被顯示

為方塊而真實量測到的電流被示為點。誤差線顯示每一電壓處之電流值的一標準差。此圖中的臨界電位對應至此例中電流峰值處的電壓即 0.4 V。蝕刻狀態對應至低於 0.4 V 的電位，且較佳低於 0.35 V 的電位(考量過渡區，由於 0.35 – 0.4 V 處的電流可能相對不穩定)，拋光狀態對應至高於 0.4 V 的電位，且較佳高於 0.55 V 的電位(考量過渡區，由於 0.4 - 0.55 V 處的電流可能相對不穩定)。在電流不具峰值而僅具有自正斜率至零斜率區之拐點的情況中，拐點的電壓係對應至臨界電位。若期望更精準地判斷臨界電位或電壓步數相對大，可藉由對圖繪出兩條切線來判斷臨界電位– 一切線通過來自顯示正斜率之區域的最後實驗點而另一切線通過來自顯示負斜率或零斜率之區域的第一實驗點。兩條切線之交點的電壓係對應至臨界電位。

【0150】 圖 13 例示使用特定電化學狀態進行電平坦化處理的處理流程圖。在 1301 中，提供具有受到裸露之金屬層的基板。接下來在 1301 中，為基板選擇電化學狀態。選擇可受到需要改善之特定均勻度類型及/或生產率考量的支配。電蝕刻處理很適合用以改善具有緻密及孤立之通光阻特徵部之基板、及具有不同直徑之通光阻特徵部之基板的晶粒內均勻度。電蝕刻亦可用以改善晶圓內均勻度且可應用於平坦化特徵部內的凹陷或凸出形狀。亦可使用電拋光改善此些類型的非均勻度，但此外更可用以最小化表面粗糙度。其亦可用以當最厚的特徵部並非孤立特徵部時減少特徵部的高度範圍。雖然電蝕刻的金屬移除速率通常低於電拋光的金屬移除速率，但電蝕刻通常能比電拋光更快達到期望的目標均勻度。因此在某些實施例中，為了生產率的考量，單獨使用電蝕刻或在電拋光之前使用電蝕刻。在操作 1305 中，基板的金屬層在低於臨界電位下受到電蝕刻及/或在高於臨界電位下受到電拋光。較佳地，用以量測基板附近之電位的參考電極係用以確保能在期望的電化學狀態中進行金屬移除。在某些實施例中，整個電平坦化的步驟皆在電蝕刻狀態中進行。在某些實施例中，較佳是在電流

控制條件下進行電蝕刻。參考圖 10 可觀察到，將電流維持在低於「高原」電拋光區之相對穩定電流值(I_{polish})的電流將導致電蝕刻。是以在某些實施例中，在低於臨界電位的電位下但不用活性電位控制的方式進行電蝕刻，其中對電化學狀態的控制係藉著將電流維持在低於電拋光電流的較低位準處而加以進行。在某些實施例中，在電蝕刻期間將電流維原在一恆定位準。在其他實施例中，在電蝕刻期間變化電流但仍使其低於拋光電流。亦可在電位控制條件下進行電蝕刻，但在某些實施例中較期望使用電流控制，這是因為電流控制通常能較輕易地準確控制電流，且因為施行的硬體較不昂貴，且因為相較於在特定電壓處的材料移除(移除速率在整個處理期間會變化)電流控制較易預測在特定電流處會有多少材料被移除(直接和移除速率呈比例)。

【0151】 在某些實施例中，在介於 0.1 - 0.7 V 之間的一電位處進行銅的電蝕刻並在介於相對於銅電極 0.7 - 2.0 V 之間的一電位處進行銅的電拋光，其中在電拋光期間所用的電位係高於在電蝕刻期間所用的電位。

【0152】 在某些實施例中當選擇電拋光狀態時，利用電位控制來進行電拋光。例如，利用位於基板附近或在一等效位置處的參考電極可將基板電位直接控制至高於臨界電位(例如比臨界電位高至少約 0.1 V)。在電拋光操作的過程期間電流通常會改變，因此對通過的電荷積分並將其與目標終點移除之電荷比較是有用的。

【0153】 雖然電蝕刻狀態提供均勻度的快速改善，但在某些實施例中可能期望依序在電蝕刻後進行電拋光。這是因為電蝕刻可能會導致金屬特徵部上的相對粗糙表面。又，在某些情況中電蝕刻可能會導致對一開始比其他特徵部更厚之特徵部的過度蝕刻，這會影響均勻度。電拋光處理傾向於較自我調節；較淺特徵部移除得比較深特徵部更快，但隨著特徵部的深度變得類似時兩個特徵部之間的移除速率也變得類似。例如，若處理起始基板，如圖 1B 中所示的基板，

在電蝕刻處理過程中孤立特徵部中的電蝕刻速率會大於緻密特徵部中的電蝕刻速率，這可能最終會導致圖 15A 中所示的結構，其中孤立特徵部被過度蝕刻至低於目標位準且緻密特徵部剛好達到目標位準。藉著在電蝕刻步驟前電鍍較厚可避免這樣的處理，但這樣的處理不會有電拋光能提供的可能期望特質，如平滑且平坦的特徵部表面。因此，替代性的，若在任何特徵部到達目標位準之前便停止電蝕刻並自金屬移除狀態切換至電拋光，則可避免此問題。這是否發生取決於在所用之電拋光處理下孤立特徵部對緻密特徵部的相對移除速率。由於電拋光能以可變速度移除金屬(可變速度可隨著時間減少且取決於所選定之特徵部對對流的暴露)，因此終究可利用此兩步驟方法來獲得平坦化的結構。此方法係由圖 14 中所示之處理流程圖及圖 15B-15E 中所示之結構所例示。處理始於 1401，提供具有受到裸露之金屬層的基板(例如具有非連續性金屬層與受到暴露之介電材料層的基板，如具有通遮罩電鍍之特徵部的基板)。圖 15B 中提供了此類基板之例示。在此實例中，基板包含三個特徵部 1503、1505 及 1507，其中較孤立的特徵部 1507 被金屬填充所達之位準高於其餘較緻密特徵部 1503 與 1505 被金屬填充所達之位準。此外，在此例中三個特徵部 1503、1505、1507 在特徵部內皆有圓頂形之金屬填充物。處理接續進行 1403，在低於臨界電位之電位電蝕刻金屬。由於電蝕刻在較孤立之特徵部 1507 中進行得比在其餘的兩個特徵部中進行更快速，因此電蝕刻能大幅減少特徵部之間的厚度變異。然而在此實例中電蝕刻不會大幅削減各別特徵部內的圓頂。圖 15C 中顯示了所得結構。隨著電蝕刻的更進一步進行，可如圖 15D 中所示發生各別特徵部的厚度反轉，圖 15D 顯示孤立特徵部 1507 現在變成具有最小金屬厚度的特徵部。接下來，在 1405 中改變條件並在高於臨界電位的電拋光狀態中移除一部分金屬。圖 15E 中顯示在電拋光後所獲得的結構。電拋光大幅減少特徵部內之厚度變異且在減少特徵部之間之厚度變異之外更實質上平坦化圓頂。較佳是，至少在處理的一部分期

間或在電蝕刻 與電拋光的整個期間使用參考電極監測電位。在某些實施例中，在將電流控制在低於拋光電流(間接地將電位維持至低於臨界電位)時進行電蝕刻，接著過渡至活性電位控制(如增加所施加之電位)以過渡至電拋光處理並在電拋光處理期間將電位直接控制至高於臨界電位。

【0154】 應注意，雖然方法涉及低於臨界電位的電蝕刻與高於臨界電位的電拋光，但臨界電位本身係取決於處理條件，如橫流電解液之流率與溫度。在某些實施例中，除了增加施加的電位以外或甚至不增加施加電位，自電蝕刻過渡至電拋光包含減少電解液的橫流率，其中橫流大小的減少係用以使處理自電蝕刻切換至電拋光狀態。例如，在一實施例中，針對此些條件在一控制電流(對應至低於臨界電位之電位)下電蝕刻基板並同時以第一橫流速率供給電解液。接著，減少電解液流速率以在不改變施加的電位的方式下使處理過渡至電拋光狀態中，其中針對低橫流速率條件電位現在係高於臨界電位。

【0155】 圖 16A-16D 為 50μm 寬約 30 μm 高之銅柱(顯示在光阻剝除後)的 SEM 照片 ，此些銅柱係自四片不同的晶圓在各種處理程序後所獲得。所有的銅柱皆於下列方式後獲得：凹陷特徵部在能得到大致上粗糙之金屬表面之高速電鍍電解液中於相同條件下受到電填充。圖 16A 為控制實例，其顯示在銅電鍍後不進行任何電蝕刻或電平坦化步驟的銅柱。可觀察到上表面很不平且具有圓頂形狀。圖 16B 顯示在銅電鍍後僅進行電拋光所獲得的銅柱。可觀察到電拋光幾乎移除了所有高度變異。圖 16C 顯示在銅電鍍後僅進行電蝕刻所獲得的銅柱。此方法稍微改善了較大的厚度差異，但在電蝕刻後所得到的表面粗糙度是明顯的。圖 16D 顯示利用電蝕刻(80%之金屬移除時間)並接著進行電拋光(20 %之金屬移除時間)所處理之銅柱。可觀察到獲得平滑的表面。

電解液成分的動態平衡

【0156】在某些實施例中，進行電化學金屬移除，同時在一基板上進行電化學金屬移除的過程期間或在複數基板上依序進行電化學金屬移除的過程期間維持電解液成分的動態平衡。維持動態平衡是重要的，以維持一組可預測且衡定的晶圓處理結果(例如，在 WIF、WID 及金屬移除速率的晶圓間一致性)，且維持動態平衡涉及控制電解液之一或多種成分的濃度俾使濃度不會自目標濃度波動超過一小的定義量。在一替代性實施例中，在一基板上進行電化學金屬移除的過程期間或在複數基板上依序進行電化學金屬移除的過程期間維持實質恆常的電解液黏度。在此實施例中，利用一或多個黏度感測器控制黏度且不允許黏度自目標黏度波動超過一定義量。可藉由若黏度高於期望時添加較不黏的流體(如藉著將水添加至基於酸的電解液)及/或增加溫度來調制黏度，藉此將黏度維持在一期望位準。雖然在許多實施例中較佳是維持電解液成分之濃度的動態平衡，但可類似地使用維持實質上恆定的黏度之方式來使處理速率及處理特性維持實質上不變。在某些實施例中，控制電解液中金屬離子及/或陽離子及/或質子的濃度，俾使其不會自目標濃度偏離超過預定可容許的量。「將濃度維持在目標位準」一詞係指將濃度維持在離目標濃度可允許的偏離範圍內。例如，若銅離子的目標濃度為 50 g/L 且可允許的偏離(波動)為 5 %，則當銅濃度係落在介於比 50 g/L 低 5%與比 50 g/L 高 5%(或 47.5 – 52.5 g/L)之間的範圍內時可說銅濃度被維持在目標位準處。一般而言，可允許的偏離大小係針對目標物種之變化對處理速率、平均特徵部移除速率、特徵部之間之相對移除或平坦化速率(對比)、特徵部形狀平坦化特性或速率等的影響加以決定。

【0157】此處理係例示於圖 17 中。在 1701 中提供具有裸露金屬層的基板之後，在 1703 中陽極化偏壓基板並將基板浸沒於電解液中。接著在 1705 中，處理基板俾以電化學移除金屬並改善金屬層的均勻度，並同時將電解液中金屬離子及/或酸(質子)的濃度維持在目標位準的約 10%內。在此實例中可允許的偏離

為 10%。在某些實施例中，將金屬離子的濃度及/或酸的濃度維持在目標位準的約 5%內，如目標位準的約 2%內。在一較佳的實施例中，控制金屬離子與酸兩者的濃度。例如，在一實施例中，在電化學銅金屬移除期間維持銅離子的濃度俾使其波動不自銅目標位準超過 5%，或更較佳是不自銅目標位準超過 2.5%，且酸濃度的波動不自酸目標位準超過 2%，或更較佳是不自酸目標位準超過 0.5%。例如在銅離子的目標濃度為 60 g/L 且磷酸的目標濃度 為 48 重量%的系統中，動態平衡可藉由下列方式達成：將銅濃度維持在約 57 - 63 g/L 的範圍內(在目標位準約 5%內)，且更較佳是將銅濃度維持在約 58.5 - 61.5 g/L 的範圍內(在目標位準約 2.5%內)，並同時將磷酸濃度維持在約 47.04 - 48.96 重量%的範圍內(在目標位準約 2%內)，且更較佳是將磷酸濃度維持在約 47.76 - 48.24 重量%的範圍內(在目標位準約 0.5%內)。在某些實施例中，一開始將基板浸沒至包含金屬離子與酸的電解液中，其中濃度不自金屬離子與酸濃度之目標位準偏離超過一小定義量，且在電化學金屬移除的過程期間控制金屬離子與酸濃度，俾使金屬離子與酸濃度不落在定義範圍外(如目標量之 10%內或 5%內)。在其他實施例中，一開始可將基板浸沒至一或多種成分偏離目標濃度超過 10%的電解液中，但在電化學金屬移除的過程期間使此一或多種成分的濃度落在期望範圍內(每一成分之目標位準的 10%內)並在基板上電化學金屬移除的整個期間維持該一或多種成分的濃度。

【0158】 接著，在已處理第一基板後，處理進行至 1709，依序處理複數基板並同時將金屬離子及/或酸的濃度維持在目標位準的約 10%內。例如，可依序處理至少 2、至少 5、至少 10、或至少 50 片基板，俾以自其表面電化學移除金屬而改善金屬層的均勻度，同時將金屬離子(如銅離子)的濃度維持在金屬離子之目標濃度的 10%內並同時將酸濃度維持在酸之目標濃度的 10%內。在處理數片

基板過程期間之維持動態平衡用的更特定範圍可與上面針對單一基板所述者相同。

【0159】除了維持金屬離子濃度及/或酸濃度的動態平衡之外，方法更可涉及在自單一基板電化學金屬移除的過程期間或複數基板依序處理期間控制電解液溫度，俾使溫度自目標溫度偏離不超過約 1°C，較佳是自目標溫度偏離不超過約 0.5°C。在某些實施例中，亦控制電解液黏度，俾使黏度不自目標黏度偏離超過一小定義值。可經由控制酸及銅濃度及/或控制溫度而間接控制黏度。

【0160】在一替代性的實施例中，在不特別量測電解液成分之濃度且不刻意將電解液成分之濃度維持在一恆定位準的情況下，將黏度維持在一實質上恆定的位準處。在此實施例中，可利用例如 Anton Paar L-Vis 510 或 Emerson FVM 黏度計直接量測電解液黏度，且若電解液黏度偏離目標黏度超過一預定值可調整電解液黏度。在某些實施例中，黏度計係與用以量測電解液溫度的溫度計組合使用。藉由例如自電解液蒸發水，減少電解液溫度，將更黏的流體添加至電解液(如較高黏度之含酸及/或含金屬離子的溶液)或上述方法的組合，可增加黏度以回應過低的黏度計感測器讀數。藉由將較不黏的流體添加至電解液(如藉由加水)，增加電解液的溫度，或藉由上述方法的組合，可減少黏度以回應過高的黏度計感測器讀數。利用經驗預定的相關性可準確地預測回應上述變化的黏度改變。在某些實施例中，維持電解液黏度俾使其自目標值偏離不超過一預定量。

【0161】處理一或數片基板時維持電解液成分的動態平衡具有許多重要的優點。當依序處理數片基板時，維持期望濃度會導致電化學金屬移除之晶圓與晶圓間的高再現性，且維持期望濃度是用以針對複數類似晶圓獲得類似均勻度改善及可預測、恆定之移除速率與處理時間的重要因素。又，在自單一晶圓電化學金屬移除期間，如上所述較佳是將金屬離子與酸濃度維持在一期望的窄範圍內，因為穩定的濃度能更精準地識別臨界電位與選擇電化學狀態，導致更

可預測的結果。除了使每片晶圓都在實質上相同的系列條件下受到處理外，能簡化池中效能的問題或變異監測，因為可變電解液組成(如其導電率或密度)的貢獻小，且因此反應器電壓或功率、熱生成及其他參數不會隨著不斷變動的電解液條件而複雜化。

【0162】圖 18 提供用以維持電解液中金屬離子與酸之動態平衡的例示性處理。處理涉及在 1801 中的電化學移除金屬以及在 1803 中之電化學金屬移除期間量測金屬離子與酸的濃度。在文中所用之「濃度量測」一詞可涉及與金屬離子與酸之濃度相關聯的電解液特性的量測，電解液特性的量測能分別判斷酸濃度與金屬離子濃度。在一較佳的實施例中，量測兩種電解液特性，其中第一特性和酸濃度的關聯性比和金屬離子濃度的關聯性更強，第二特性和金屬離子濃度的關聯性比和酸濃度的關聯性更強。第一特性的一實例為電解液的導電率，其顯示與酸的濃度的強相依性。第二特性的實例包含電解液密度及電解液的光吸收度(針對光活性的金屬離子，如 Cu^{2+}、Ni^{2+}、Co^{2+}等)。在一實施例中，酸與金屬離子的濃度係自電解液之導電率與密度的組合讀值所推導出。在另一實施例中，酸與金屬離子的濃度係自電解液之導電率與光吸收度的組合讀值所推導出。在另一實施例中，可使用酸的滴定或酸與金屬兩者的滴定。大致上實施例被限定在能推導出化學浴組成的特定方法。可使用及預見兩或更多理化特性量測之組合的範圍，其實例包含但不限於：電解液中的密度、導電率、黏度、光吸收度(在一或多個波長處的)、拉曼光譜、化學滴定、伏安法(如，利用限制金屬沉積之電流的線性掃描伏安法，關聯金屬濃度)、折射係數或音速。此外，通常利用溫度感測器監測電解液溫度，因為電解液參數和酸與金屬離子濃度的關聯性通常取決於溫度。利用將濃度鏈結至量測參數的經驗式可判斷金屬離子與酸濃度。在下面的實例 1 提供銅離子濃度和磷酸濃度每一者與導電率、電解液密度及電解液溫度之相依性用的此類經驗式。

【0163】在某些實施例中，在電化學金屬移除處理期間連續量測金屬離子與酸的濃度。例如，可連續量測電解液之密度、導電率及溫度並傳遞至系統控制器，在系統控制器中處理此些參數以對電解液管理作出決定。在其他實施例中，以預定區間(如每 300 秒)量測濃度並傳輸予控制器以供處理。若金屬離子濃度及/或酸濃度係高於目標位準、或其超過預定容限或閾值，將稀釋劑添加至電解液及/或藉由電解回收法減少金屬離子的濃度。稀釋劑之添加量係使金屬離子及/或酸的濃度低於預定閾值濃度而更靠近目標濃度。若金屬離子濃度及/或酸濃度減少至低於預定閾值，將濃縮液添加至電解液。濃縮液之添加量係俾使金屬離子及/或酸的濃度高於預定閾值濃度而更靠近目標濃度。例如，若金屬含量低，添加特定量之含金屬溶液，此含金屬溶液所具有的金屬含量係高於池/浴槽中之目標金屬含量。類似地，若酸位準低，添加濃縮的酸。預定閾值濃度係落在離目標濃度位準之允許波動範圍內。例如，若允許金屬離子的濃度自目標位準波動 5%，則觸發稀釋或電解回收的預定閾值濃度可比目標濃度高 3%，且觸發添加濃縮液的預定閾值濃度可比目標濃度低 3%。

【0164】用以減少金屬離子濃度的稀釋劑可為水、酸的水性溶液、或包含具有濃度低於針對金屬離子之預定閾值之濃度的金屬離子的水性溶液。在一實施例中，稀釋劑為不含金屬離子之酸的水性溶液。用以減少酸濃度的稀釋劑可為水、酸的水性溶液、或含金屬之溶液，上述每一稀釋劑中所具有之酸的濃度係低於針對酸的預定閾值濃度。在某些實施例中，在超過金屬濃度閾值時及超過酸濃度閾值時，將來自單一稀釋劑源的單一稀釋劑添加至電解液。在一實施例中，此稀釋劑為包含極少(如少於 1 g/L 金屬)或不包含任何金屬離子的水性酸溶液。在某些實施例中，可藉由在分離的電解回收設備中自電解液電解回收預定量之金屬以減少電解液中的金屬離子濃度。電解回收設備通常包含陰極及尺寸穩定之釋氧惰性電極，來自電解液之金屬離子係在陰極還原並沉積為金屬。

電解回收可將電解液中的金屬離子濃度降至低於預定閾值。電解回收的量可藉由控制通過電解回收裝置之電荷(利用庫侖法)而加以控制。在某些實施例中，藉著將稀釋劑添加至電解液並藉著自電解液電解回收一部分金屬離子而減少金屬離子的濃度，此些方法的組合能使金屬離子濃度落入期望範圍。

【0165】 增加金屬離子濃度的濃縮液可為包含金屬離子(其濃度係高於針對金屬離子之預定閾值濃度)的水性溶液或亦包含酸(酸之濃度係高於、低於或等於針對酸之預定閾值濃度)之類似溶液。增加酸濃度的濃縮液可為濃縮的酸、或酸濃度高於酸之預定閾值濃度之酸的水性溶液、或亦包含金屬離子(金屬離子之濃度係高於、低於或等於金屬離子之預定閾值濃度)的類似溶液。在某些實施例中，池的相對電極為釋氫相對電極，其中自晶圓溶解的金屬量超過沉積在釋氫相對電極上的金屬量。在此情況中，若金屬含量低於目標，更進一步的晶圓處理傾向於增加電解液金屬含量因此毋需添加。又，在操作 1807 中監測電解液的體積，且若電解液的體積超過預定體積閾值，則自系統移除一部分的電解液以使體積低於預定值。在一實施例中，藉由電解液位準計連續監測電解液的體積。

【0166】 應注意，在某些實施例中，將第一稀釋劑(如無金屬離子的酸溶液)添加至與除鍍池呈流體交流的電解液儲槽。在該儲槽中稀釋後，儲槽電解液相對於除鍍池中的電解液變得更稀，且因此當其自電解液儲槽 被添加至除鍍池時可作為第二稀釋劑。圖 19 顯示可用以控制例如包含 Cu^{2+}離子與酸之電解液中之電解液組成的例示性系統。此系統包含用以將電解液相關資訊提供予控制器 1909 的複數感測器 1901、1903、1905 及 1907。更具體而言，此系統包含用以將電解液密度之數據提供予控制器之密度計 1901、用以量測電解液導電率並將此資訊提供予控制器之導電率儀 1903、用以將電解液溫度提供予控制器的溫度計 1905、及用以監測電解液之體積並將此數據供給予控制器之電解液位準計 1907。控制器 1909 係用以處理感測器所提供的資訊，並回應已接收到的資訊而用以將

與電解液稀釋或濃縮、電解液移除及選擇性之銅電解回收相關的一或多個硬體加以啟動。在其他情況中，(未顯示) 控制器 1909 可操作可修改自池及/或池儲槽移除水(經由例如蒸發或反向滲透)之速率的硬體，如開啟或關閉排放調節閘（exhaust damper）或使處理流體流經反向滲透設備。例如，為了回應自密度計、導電率儀及溫度計所接收之組合數據，控制器可啟動稀釋硬體 1911，啟動稀釋硬體 1911 可包含開啟閥件以及啟動用以添加稀釋劑至電解液的泵浦。選擇性地，為了回應來自此些感測器的組合數據，控制器可啟動用以將 Cu^{2+}離子轉換為銅金屬之電解回收系統 1913，並藉此減少電解液中的 Cu^{2+}濃度。為了回應來自電解液位準計的訊號，控制器可啟動與電解液移除相關的硬體 1915。這可包含開啟與容納電解液之容器中之出口相關的閥件，並允許一部分電解液流出容器。

【0167】 只要量測到的參數實質上與靠近晶圓基板的相同，感測器(如導電率儀、密度計及溫度探針)可位於設備的任何位置處。在某些實施例中，感測器係直接位於除鍍池中。在其他實施例中，設備包含一或多個電解液再循環迴路且感測器中的至少某些者係位於除鍍池外、再循環迴路內，其中再循環迴路中的量測到的參數係實質上與除鍍池中量測到的參數實質上相同(例如不偏移超過 1%)。在一實施例中，再循環迴路包含除鍍池本身、位於除鍍池外的電解液儲槽、及使電解液能自除鍍池循環至儲槽並自儲槽循環回除鍍池的流體線。再循環迴路可包含一或多個用以過濾電解液的濾件、一或多個使電解液在再循環迴路中移動的泵浦、流量計、池隔絕閥(用以停止自儲槽至除鍍池之液流的閥件)、及溶解氣體添加或移除設備(例如，用於移除溶解氧，諸如利用氣-液「接觸件」，如 Liqui-Cell Superphobic 薄膜接觸件)。較佳地，快速地混合再循環迴路中的電解液俾使其在迴路中不同部分處(如除鍍池中、儲槽中、流體線中)的濃度實質上相同。在此實施例中，較佳是在某些實施例中於除鍍池外的再循環迴路中設置感測器，如在儲槽中設置，或如設置與導入或離開除鍍池的流體線相關的感測器。

類似地，稀釋劑的添加及銅電解回收可直接進行在除鍍池中，或者在某些實施例中可在除鍍池外的再循環迴路中進行。例如，可將稀釋劑添加至位於儲槽中的電解液，且接著將經稀釋的電解液快速地引導至除鍍池以在整個再循環迴路中快速混合電解液成分。

【0168】 在某些實施例中，利用亦用來作為濃度控制溶液的兩種電解液起始/構成溶液來控制電解液組成。此方案大致上是有用的且可用於具有氫氣生成陰極的設備中以及使用活性陰極的設備中。當使用氫氣生成陰極時且當陰極上的金屬電鍍不存在或最少時，電解液會因為金屬自受到陽極化偏壓的基板溶解至電解液中而需要濃度調整(如稀釋)。然而即便是在使用活性陰極且池本身內之反應不會修改金屬與酸含量的情況中，仍可進行電解液濃度調整。在活性陰極的情況中，由於材料進入及離開池/浴槽系統或由於低於 100%的陽極(基板金屬移除)與陰極(相對電極之電鍍)效率，電解液組成可能仍然會隨著時間漂移。

【0169】 第一溶液 M 具有高的金屬(如銅)濃度與低的酸濃度，第二溶液 A 具有高的酸含量及低的金屬(如銅)含量。溶液 M 中的金屬濃度係高於溶液 A 中的金屬濃度。相反地，溶液 M 中的酸濃度係低於溶液 A 中的酸濃度。例如，溶液 M 可包含約 50 至 80 g/L 的 Cu^{+2}，如磷酸銅，及約 150 至 400 g/L 的磷酸。使用在此範圍內較低的銅濃度與較低酸濃度(如 50 - 75 g/L 的銅與 150 - 200 g/L 的磷酸)，其中在此範圍內較高的銅濃度係與較高的酸濃度一起使用(如 75 - 80 g/L 的銅與 200 - 400 g/L 的磷酸)。此實例中的溶液 A 可包含約 0 至 10 g/L(如 5 - 10 g/L)的 Cu^{+2}，如磷酸銅，及約 800 至 1350 g/L 的磷酸。一般而言，金屬/酸的濃度應儘可能地高，同時避免金屬鹽在預期溶液所暴露之最低溫度(例如，在運送溶液期間所遇到的溫度)期間沉澱。

【0170】 圖 19B 例示根據一實施例之電鍍模組質量平衡 1920。當晶圓進入電鍍池模組 1921 時，取決於晶圓的先前歷史，晶圓可將水、酸、金屬離子、或

來自其先前處理步驟於其表面上的夾帶的其他污染物帶入模組中。晶圓亦可將材料自遮罩/光阻層淋溶進系統中。此些來自晶圓的進入材料被稱為晶圓拖入物1922。水係藉由實質上恆定速率之蒸發 1923 而自系統移除。在某些實施例中，可將用以修改水移除速率的機構建入系統中。例如，可使用速度控制蒸汽流量或機械控制之閘閥來修改水移除速率。可自系統將受控量的材料(如含酸與金屬鹽之電解液)移除至廢液排出口。自系統流出的此材料流係顯示為材料流 1924。可將受到控制之量的純去離子水 1925、富金屬的溶液 M 1926 及富酸的溶液 A 1927 添加（給劑）至系統。方法更包含依需要移除受到控制之量之可具有高金屬、酸或雜質含量的電解液材料(例如自位於電解液再循環迴路中的儲槽)，以將酸、金屬及水的濃度維持在目標位準處且將雜質濃度維持在可接受之低位準。可使用一系列之感測器(如文中所述)監測電解液成分的濃度。使用系統控制器以及特性/濃度關聯及預測與反饋邏輯以維持濃度。在系統的起始時，藉著以受到控制之量組合溶液 M、溶液 A 及水以產生具有成分之所需目標濃度的溶液，製備起始(新的)電解液。

【0171】 文中所述之電化學金屬移除方法可在一設備中進行。此設備具有：用以容納電解液與陰極的一容器；及一半導體基板支撐件，用以支撐半導體基板俾以在電化學金屬移除期間使半導體基板之工作表面浸沒於電解液中並與陰極分離。此設備包含用以在電解金屬移除期間用以負偏壓陰極及正偏壓基板的電源與電連接件。在某些實施例中，此設備更包含機構用以在電化學金屬移除期間提供沿著實質上平行於基板之工作表面之方向與基板之工作表面接觸的電解液橫流。在某些實施例中，設備包含用以量測半導體基板附近(如基板之約 5 mm 內)之電位或等效電位的參考電極。在某些實施例中，此設備較佳是包含位於陰極與基板支撐件之間的分離件，藉此定義陽極室與陰極室，其中分離件係用以阻擋在陰極處形成的任何 H_2 泡泡或粒子橫跨分離件而到達基板。分離件為

電解液之離子物種可滲透的且允許陽極室與陰極室之間的離子交流。此設備較佳係用以安全地分離陰極室中的 H_2 或粒子並經由靠近分離件薄膜之陰極室中的一或多個開口移除 H_2 或粒子。

【0172】 圖 20 中例示電化學金屬移除設備之一部分的實例，此設備包含橫流用之機構、參考電極、及用以分離及移除 H_2 氣體的陰極室。應注意，除了（或取代）分離及移除 H_2 氣體，此設備亦可用以分離及移除在陰極處生成的粒子。設備包含用以支撐及旋轉半導體基板 3 的半導體基板支撐件 1。沿著基板周邊設有複數電接觸件。電接觸件係電連接至電源(未顯示)以在電化學金屬移除期間正(陽極化)偏壓半導體基板。陰極 5 係位於基板 3 下方且係電連接至在電化學金屬移除期間負偏壓陰極的電源(未顯示)。可使用不同類型的陰極，包含由欲移除之相同金屬所製成的陰極(例如在銅金屬移除期間的銅陰極)、由可電鍍之金屬(如不銹鋼)所製成之陰極及惰性陰極。在某些實施例中，使用惰性的氫氣生成陰極，因為活性陰極可與某些電解液反應或溶解於某些電解液中、或電鍍不附著之金屬或金屬的樹突狀粒子生成層而導致電解液之金屬離子濃度無可避免地增加或形成含金屬的淤泥。在其他實施例中，活性陰極不會與電解液化學反應且為較佳選擇，因為自基板所移除的金屬會電鍍至活性陰極上，故整個池的化學反應呈平衡且處理成本可從而降低，因為很少或不會因為金屬耗盡而需要置換溶液。惰性陰極的實例包含塗佈有鉑、銥、鈮或任何此些金屬之組合的金屬陰極(如鈦陰極)。

【0173】 錐形薄膜 7 係位於陰極 5 與陽極基板 3 之間，將除鍍池 9 分為陰極室 13 與陽極室 11。薄膜 7 係設置在框 12 上俾使錐的頂點比錐的底部更靠近陰極。薄膜材料不允許在陰極 5 處所形成的 H_2 泡泡自陰極室 13 跨越至陽極室 11 中。薄膜係由離子可滲透的材料所製成，如離子可滲透的聚合物。在某些實施例中，親水性的聚合物是較佳，如包含官能基團-SO_2-的聚合物。在某些實施

例中，薄膜材料包含聚醚碸(PES)、聚苯碸及來自聚碸家族的其他聚合物。親水性的薄膜泡泡分離材料是較佳的，因為泡泡附著至此些材料的機會小於附著至斥水性薄膜的機會。薄膜的錐形使 H_2 泡泡能在陰極處被釋放而向上移動，沿著薄膜表面徑向向外而朝向陰極室的外緣移動，在薄膜與陰極室側壁之間的界面處累積。出口 15 係位於陰極室側壁中接近薄膜與側壁之間的交接部，且係用以移除與陰極電解液的混合物中之累積的 H_2 泡泡。例如，出口係位於與薄膜組件和陰極室側壁之交接部約 1mm 內，且在某些實施例中無任何間隙。出口與該交接部之間不希望有間隙(垂直間隙)存在，因為泡泡會傾向於累積在間隙中並更難以自池移除。在某些實施例中，出口包含位於陰極室側壁之周圍附近以實質上相同小間隔設置的複數開口，例如沿著陰極室以 45°等間隔設置的八個開口。在某些實施例中，此出口為壁中的連續性槽口。在一實施例中，池之周長附近的連續性槽口會導致具有電解液出口作用之多個等距分佈的孔口。一般而言，只要將池設計成能自陰極電解液移除大部分泡泡或實質上所有泡泡，陰極電解液出口可採用各種形狀及形式。例如，當池被設計成引導泡泡朝向此出口，可使用由小於 360°或小於 180°所對向之單一出口。薄膜與陰極電解液出口的相互位置有助於達成有效及安全的氫氣泡泡分離及自陰極室移除。陰極室更包含用以接收陰極電解液的入口 17。在所示的實施例中，陰極電解液入口係位於陰極下方。一般而言，較佳是將陰極電解液入口設置在陰極電解液出口下方俾使進入陰極室的陰極電解液能向上並繞著陰極流動(或流過穿孔或多孔的陰極)，因為這能促進陰極電解液及泡泡於向上方向的移動並避免陰極室中之電解液與靠近陰極之電解液之間的組成的大差異。陽極室 11 係位於薄膜 7 上方且容納受到陽極化偏壓的基板 3。在所示的實施例中，離子電阻性離子可滲透之元件 19(「元件」)係位於薄膜 7 與基板支撐件 1 之間的陽極室中。離子電阻性離子可滲透之元件較佳係在電化學金屬移除期間與基板實質上共延且位於基板之工作表面的附近。

該元件具有面基板表面及相對表面，且配置成俾使在電化學金屬移除期間面基板表面與基板之工作表面之間的最近距離約為約 10 mm 或更小。在所示的實施例中，該元件的面基板表面是平的，但在其他實施例中，該元件可例如為凸面的，使中間和基板之間的距離小於邊緣和基板之間的距離。此元件係由具有孔隙的介電材料所製成，其中該元件的孔隙度較佳相對低俾使該元件在系統的離子電流路徑上導入大的電阻。在某些實施例中，該元件包含複數非連通性的通道，允許電解液流過元件。在某些實施例中，元件包含介於約 6,000 - 12,000 個鑿鑽的通道。對於降低由於終端效應在電化學金屬移除期間可能會出現之徑向非均勻度，該元件是有用的。若與基板之電接觸係於基板外緣處(通常如此)，終端效應本身可顯現在靠近基板外緣的較多電化學金屬移除。在此配置中，尤其在使用薄及/或電阻性之晶種層進行接觸時，在基板外緣處所移除的金屬可能會多過於在基板中央部分所移除的金屬，導致徑向非均勻度。離子電阻性離子可滲透之元件可具有用以使場分佈更均勻及用以減少所述終端效應的高離子電阻板的功用，藉此能改善金屬移除的徑向均勻度。在某些實施例中，該元件更扮演著形塑基板附近之電解液流的角色。其可具有流動限制元件的功能，定義高電解液流量的區域並限制液流進入橫流區域。例如，其可提供元件之面基板表面與基板之工作表面之間的窄間隙(如 10 mm 或更小)，電解液係橫向注入此間隙中。此配置能促進靠近基板表面的電解液橫流。可利用至少部分由元件 19 之空腔所定義的橫流注射歧管 21 將電解液(陽極電解液)注射至間隙中。橫流注射歧管為弧形且位於基板外緣附近。橫流限制環 23 係位於基板外緣附近至少部分介於元件 19 與基板支撐件之間。橫流限制環 23 至少部分地定義了元件與基板之間之間隙的側邊。陽極室具有用以經由例如橫流注射歧管自陽極電解液源接收陽極電解液之間隙的入口 25，以及用以自該間隙移除陽極電解液之間隙的出口 27。入口 25 與出口 27 係位於基板之工作表面之方位角相對的周長位置附近(且

亦位於基板支撐件之方位角相對的周長位置附近及該元件之方位角相對的周長位置附近)。入口 25 與出口 27 係用以在電化學金屬移除期間於此間隙中產生電解液橫流並在靠近基板的工作表面處產生或維持電解液橫流。在某些實施例中，離子電阻性離子可滲透之元件具有緩和終端效應及限制電解液流的雙重目的，以在基板附近提供電解液橫流用之定義空間。參考電極 29 係位於元件 19 上方靠近基板支撐件 1 的外緣。參考電極較佳係位於離基板表面約 5 cm 內，或位於可量測到等於離基板 5 cm 內所量測到之電位之電位的位置處。更較佳地，參考電極係位於離基板表面約 5 mm 內，或位於等於晶圓表面平面處之電位或與晶圓表面平面處之電位有最少差異的位置處。例如，參考電極可被浸沒至離開陽極室的電解液中。在所示的實施例中，參考電極係由與欲自晶圓基板移除之金屬相同之金屬之條或棒所製成。例如，在銅移除期間可使用銅參考電極，在鎳移除期間可使用鎳參考電極，在錫移除期間可使用錫參考電極等，而此類電極之表面的一部分係與處理電解液直接接觸。針對參考電極使用與欲自基板移除之金屬相同之金屬是有利的，因為此類參考電極相對於零電流操作點會有零(或幾乎是零)開路電位且比常用的參考電極操作更長且更穩定。在某些情況中，當金屬電極被暴露至所選擇之電蝕刻 電解液時可能會形成薄膜(氧化物或鹽類薄膜)，使其為較不偏好的參考電極選擇。更通常，可使用各種不同類型的參考電極，其包含但不限於所包含之電解質係不同於電解質處理溶液者，如飽和甘汞電極 (Hg/Hg_2Cl_2 或 SCE)、$Hg/HgSO_4$ 電極、及 Ag/AgCl 電極。應注意，在使用魯金毛細管的該些實施例中，參考電極的物理位置可靠近或遠離基板。上述離晶圓 5 mm 的參考距離是參考電極之最靠近的點，或參考電極與晶圓之間構成魯金連接之電流之限制與孤立線之最靠近的點。參考電極感測魯金毛細管之開放尖端處的溶液電位。因此，參考電極亦可與池分離而遠端地加以容納並藉由所謂的「魯金毛細管」連接，其中魯金毛細管的開口距離晶圓 5 mm 或更短。魯金毛細管亦

為人知為魯金探針、魯金尖端、或魯金-哈伯毛細管。在所示的實施例中，參考電極係位於陽極電解液中基板支撐件 1 的徑向外側。在許多實施例中此類外緣位置是較佳的，因為參考電極較佳應不會干擾靠近基板之工作表面的電鍍電流。在某些實施例中，在電化學金屬移除期間參考電極在基板之工作表面上的覆蓋區(電極對基板表面上的投影)為零。

【0174】 參考電極及設備的其他元件係與控制器 31 電交流，控制器 31 具有處理器與記憶體，且具有能控制設備操作之程式指令。例如，電連接件 30 可將參考電極 29 與控制器 31 連接。控制器可包含用以進行文中所述之任何方法的程式指令。控制器可處理參考電極所提供的電位資訊且可調整提供至受到陽極化偏壓之基板的電流及/或電位以回應量測到的電位，以控制電化學金屬移除處理。在一例示性實施例中，參考電極係由自基板移除之相同金屬所製成、被浸沒於陽極電解液中且位於基板附近之離子電阻性離子可滲透之元件的上方(但不必是其之上)。此類位置能最小化基板與參考電極之間的電壓降並改善電位讀值的準確度。

【0175】 圖 21 顯示可用以產生及維持基板之工作表面附近之橫流的系統的上視圖。離子電阻性離子可滲透之元件 19 之周邊係受到橫流限制環 23 部分圍繞，橫流限制環 23 係設計用以形成在該元件與基板之工作表面之間之間隙的側壁。弧形橫流注射歧管 21 利用間隙之入口 25 注射電解液。電解液流係由箭頭顯示。電解液流係以橫向方式朝向出口 27，出口 27 係位於相對於基板周長(或基板支撐件之周長、或離子電阻性離子可滲透之元件的周長)實質方位角相對位置處。

【0176】 設備較佳係提供具有橫跨基板中心至少約 3 公分/秒之速度的橫流。在某些實施例中，較佳是提供具有橫跨基板中心至少 10 公分/秒（如介於約 10 - 90 公分/秒或介於約 20 - 80 公分/秒）之橫流速率的旺盛橫流。此類相對高的

橫流速率可例如利用將電解液橫向注射至靠近基板之間隙中或使用往復槳運動來達到。

【0177】在不同的實施例中，可利用一或多種下列機構來產生橫流：(1)橫向電解液流注射器；(2)用以使電解液流轉向為橫流的液流分流器；(3)離子電阻性離子可滲透之元件，其位於旋轉基板之中心處或靠近旋轉基板之中心的孔洞的數目、位向及分佈均勻度有變異，例如一元件，其中靠近旋轉工作件之中心之孔洞的至少部分者具有偏離垂直的角度(更一般地，不垂直旋轉基板之電鍍面的角度)；(4)用以產生工作件表面與離子電阻性離子可滲透之元件之間之相對移動(例如相對線性或軌道移動)之橫向分量的機構、(5)在電鍍池中提供一或多個往復或旋轉槳、或具有複數槳或鰭片之板(例如槳輪或葉輪)，在板移動時能迫使流體至少部分橫越過晶圓；及(6)附接至液流塑形板或靠近液流塑形板之旋轉組件，其偏離工作件的旋轉軸。在某些實施例中，設備包含晶圓支撐件，晶圓支撐件為模組/處理站的一部分，其中晶圓支撐件留在模組及/或處理站中但可在處理站或模組內旋轉及上下移動，例如晶圓支撐件可具有蛤殼設計。在另一實施例中，晶圓支撐件可與其所支撐的晶圓自處理站移除並通過設備，形成密封並在非金屬移除處理站之他處自載件釋放晶圓。

【0178】圖 22 提供除鍍池之一部分的橫剖面概圖，其例示利用來自陰極室 13 之陰極電解液流移除 H_2 泡泡。H_2 泡泡 33 及/或粒子係於陰極 5 處產生且如箭頭所示朝向薄膜 7 上升。在薄膜處，泡泡沿著薄膜/框組件的錐形壁移動直到其到達陰極室出口 15 為止。泡泡係隨著經過導管 35 的陰極電解液之部分一起被移除，在某些實施例中，導管 35 將陰極電解液與泡泡的混合物輸送至沉靜室，H_2 氣體在沉靜室處與陰極電解液分離、受到惰性氣體稀釋而被安全移除。圖 22A 亦顯示參考電極 29 的位置以及在此實施例中自參考電極向下並用以連接參考電極與控制器的電連接件 30。

【0179】圖 22B 中例示之實施例顯示泡泡分離薄膜的替代性位置，其顯示池 2201 的簡化橫剖面圖。該池包含用以容納水平放置之陽極基板 2205 的陽極室 2203 以及用以容納陰極 2209 之陰極室 2207。在此實施例中分離兩室的薄膜 2211 係相對水平面以一角度設置。例如，薄膜可為附接至池側壁之平面材料薄片俾使其如所示位於傾斜位置中。在某些實施例中，薄膜平面傾向水平面的角度係介於約 5 – 85°之間，如介於約 10 – 60°之間。平面薄膜的傾斜位向能促進傳輸泡泡並自陰極室移除泡泡。在所示的實施例中，陰極室出口 2213 係位於薄膜上部與池之側壁的交接部附近，允許在泡泡自陰極向上移動後利用陰極電解液移除泡泡。

【0180】在更另一替代性實施例中，可以垂直位向處理基板俾使基板之工作表面的位向與水平面夾 90 度角。在此實施例中，分離陽極與陰極室的薄膜可垂直配置(平行於基板表面)，且陰極室出口可位於陰極室之上部中的任何位置處，只要能移除泡泡及/或避免粒子到達工作件即可。

【0181】圖 23 提供圖 22A 中所示之實施例之除鍍池之一部分的橫剖面概圖，其例示添加陰極電解液至陰極室。陰極電解液經由陰極室入口 17 進入陰極室 13。陰極電解液係藉由耦合至入口 17 的導管所提供，且在某些實施例中陰極電解液係自陰極電解液再循環迴路（如自位於陰極電解液再循環迴路中的儲槽）所提供。陰極電解液的流動係由箭頭所示。陰極電解液流至位於薄膜與池側壁之交接部外緣的陰極電解液出口。一般而言，陰極電解液入口及出口的位置可變化，但其較佳是設置以在陰極上方或通過陰極本身提供均勻對流。如上所述，一或多個出口較佳係位於池外緣儘可能地靠近薄膜與池壁的交接部。

【0182】圖 24 提供電化學金屬移除設備之概圖，電化學金屬移除設備包含除鍍池、沉靜室、陽極電解液再循環迴路及陰極電解液再循環迴路，其中兩迴路具有共用的儲槽。在使用活性陰極且金屬電鍍至陰極上的效率高(例如，大

於 95%的電流最終用來電鍍金屬)的情況中，可能不需要用以分離及稀釋氫氣的沉靜室。圖 24 例示設備之元件之間的流體連接。在所示的實施例中，所示之設備係用於利用電解液自基板電化學移除銅，該電解液包含磷酸(H_3PO_4)之水性溶液及磷酸之一或多種銅鹽(如 $Cu_3(PO_4)_2$)或基本上由其所組成。例如，電解液可包含 Cu^{2+}、Cu^{+}、H^{+}、$H_2PO_4^{-}$、HPO_4^{2-}及 PO_4^{3-}之任何組合。應瞭解，所提供的設備可用於利用文中所述的其他電解液而電化學移除其他金屬(如 Ni、Co、Sn 等)。設備包含除鍍池 9，除鍍池 9 被薄膜 7 分割為陽極室 11 與陰極室 13。陽極室 11 容納受到陽極化偏壓的基板 3，在電化學金屬移除期間當基板上的銅層根據反應(3)與(4)電化學溶解時，基板 3 會將 Cu^{+}與 Cu^{2+}離子釋放至陽極電解液中。Cu^{2+}通常在電解液中為主要的銅離子，而 Cu^{+}通常只存在極少量。陰極室 13 容納陰極，反應(5)、(6)及(7)係於陰極處發生。陰極處的氫氣釋出為將薄膜 7 置於陽極與陰極之間的主要驅動力，因為在陰極室中分離氫氣是有利的。在所示的實例中，陽極電解液與陰極電解液的組成係實質上相同，但陰極室中的陰極電解液包含 H_2 泡泡而陽極室中的陽極電解液實質上不具有 H_2 泡泡，薄膜 7 阻擋 H_2 泡泡進入陰極室。所示的系統包含用以自陰極室移除一部分陰極電解液、處理被移除之陰極電解液並使處理過之陰極電解液返回陰極室的陰極電解液再循環迴路。處理陰極電解液可包含下列之一或多者：自陰極電解液移除氫氣泡泡、使陰極電解液與陽極電解液混合、稀釋陰極電解液(例如在與陽極電解液混合後)、自陰極電解液電解回收銅(例如在與陽極電解液混合後)、過濾陰極電解液、對電解液進行除氣(例如藉由接觸件)、及加熱或冷卻陰極電解液。在所示的實施例中，陰極電解液再循環迴路包含沉靜室 37、儲槽 39、相關的流體接口、流體線、及流體管理機構(如一或多個泵浦、電解液流計及濾件)。包含磷酸、磷酸銅及氫氣泡泡的陰極電解液經由陰極室出口 15 離開並經由相關的流體線 35 而流至沉靜室 37。沉靜室 37 係用以自液態陰極電解液分離氫氣泡泡、以惰性氣體稀釋氫氣

及自沉靜室移除經稀釋的氫氣。陰極電解液經由沉靜室陰極電解液入口 40 進入沉靜室 37，且在一實施例中經由曲折的路徑通過沉靜室，曲折的路徑可藉由來自陰極電解液混合物的浮力促進氫氣分離。沉靜室更具有惰性氣體入口 41，惰性氣體入口 41 係經由惰性氣體線 45 連接至惰性氣體源 43(如 N_2 源)。惰性氣體經由入口 41 流至沉靜室中並允許與氫氣混合。接著經稀釋的氫氣混合物流至沉靜室之氣體出口 47，然後可進行在經稀釋的之氣體流中之氫氣濃度的量測，然後將混合物移除至排放件 49。在沉靜室 37 中已至少部分排除氫氣後的陰極電解液經由陰極電解液出口 51 離開沉靜室然後藉由流體線 53 流至儲槽 39。在某些實施例中，沉靜室 37 與儲槽 39 係結合於一緊湊的組件中且在此些實施例中移除流體線 53 俾使陰極電解液出口 51 與儲槽陰極電解液入口 55 重合。

【0183】 來自沉靜室 37 的陰極電解液經由儲槽陰極電解液入口 55 進入儲槽 39。在圖 24 所示的實施例中，儲槽 39 係由陰極電解液再循環迴路與陽極電解液再循環迴路共用，且來自陽極電解液再循環迴路的陽極電解液係於儲槽中與陰極電解液混合。若有需要，在此階段可以稀釋劑(如水性磷酸)稀釋混合物。自稀釋劑源 57 經由稀釋劑線 59 並通過儲槽稀釋劑入口 61 將稀釋劑添加至儲槽 39。在某些實施例中，稀釋劑可包含濃度小於儲槽電解液之濃度的銅鹽。儲槽更包含電解液移除接口 63，若儲槽中之電解液的體積超過預定閾值，可通過電解液移除接口 63 將一部分電解液移除至排放件 65。陰極電解液再循環迴路係藉由下列方式完成：利用泵浦 71 經由電解液出口接口 67 與線 69 自儲槽 39 移除一部分陰極電解液(已與陽極電解液混合)，然後利用陰極電解液進入線 73 將一部分陰極電解液(已與陽極電解液混合)導至陰極室 13。已經再循環及處理的陰極電解液經由陰極電解液入口 17 進入陰極室 13，藉此完成再循環迴路。

【0184】 陽極電解液再循環迴路係用以自陽極室 11 移除一部分的陽極電解液、處理陽極電解液、及使經處理的陽極電解液返回陽極室 11。處理陽極電

解液可包含下列之一或多者：使陽極電解液與陰極電解液混合、添加稀釋劑至陽極電解液(例如在其與陰極電解液混合後)、自陽極電解液電解回收銅(例如在其與陰極電解液混合後)、過濾陽極電解液、及加熱陽極電解液。此外，陽極電解液再循環迴路可用以量測一或多個陽極電解液特性，如密度、導電率及除鍍池外的溫度。在所示的實例中，陽極電解液再循環迴路包含與陰極電解液再循環迴路共用的儲槽 39、用以將陽極電解液自陽極室 11 輸送至儲槽 39 的流體線 74、用以將陽極電解液自儲槽 39 輸送至陽極室 11 的流體線 69 與 75、位於儲槽 39 中之導電率儀 77、及位於流體線 81 中之密度計 79，在線 75 通至陽極室入口 25 前流體線 81 形成自線 69 形成一迴路。在再循環期間，陽極電解液經由陽極電解液出口 27 離開陽極室 11 並藉由導管 74 流至儲槽 39，在儲槽 39 處陽極電解液與來自陰極電解液再循環迴路的陰極電解液結合。可如上述稀釋陽極電解液(已與陰極電解液結合)，且若有需要可自儲槽 39 移除一部分陽極電解液(已與陰極電解液結合)至排放件。在儲槽中利用導電率儀 77 量測陽極電解液(已與陰極電解液結合)之導電率。接著利用泵浦 71 引導陽極電解液(已與陰極電解液結合)回到陽極室 11。陽極電解液(已與陰極電解液結合)經由電解液出口接口 67 離開並流經線 69(與陰極電解液再循環迴路結合)。在接點 83 處，流體線 69 分支為流體線 75(引導至陽極室 11)與流體線 73(引導至陰極室 13)。一部分陽極電解液(已與陰極電解液混合)通過迴路 81，在迴路 81 中利用密度計 79 量測電解液之密度。接著陽極電解液(已與陰極電解液混合)經由陽極室入口 25 重新進入陽極室 11。

【0185】 在某些實施例中，利用安裝在儲槽 39、陽極室 11 及/或陽極電解液再循環迴路中的加熱器加熱電解液。在此些實施例中，安裝於儲槽 39 或陽極室 11 中加熱器附近的溫度感測器係用以與系統控制器通訊並調節溫度。

【0186】所示之系統更包含基板沖洗機構，基板沖洗機構連接沖洗液(如去離子水)源 85 與沖洗液輸送線 87。線 87 可與噴嘴耦合且可用以在電化學金屬移除後沖洗基板以自基板移除電解液。

【0187】在一替代性實施例中，陰極電解液再循環迴路與陽極電解液再循環迴路並未共用元件。此實施例係例示於圖 25 中，圖 25 提供電化學金屬移除設備之概圖，該電化學金屬移除設備具有兩個分離的再循環迴路。在此實施例中，陽極電解液再循環迴路係與圖 24 中所示的陽極電解液再循環迴路相同但儲槽 39 並未接收來自陰極電解液再循環迴路的任何陰極電解液。在此實施例中，陰極電解液再循環迴路包含沉靜室 37。然而，不若圖 24 之共同儲槽實施例，經再循環的陰極電解液並非自沉靜室流至儲槽而是在氫氣移除後回到陰極電解液室。陰極電解液經由陰極電解液出口 51 離開而進入流體線 52 中，然後在泵浦 72 的協助下經由陰極電解液入口 17 進入而回到陰極電解液室 13。陰極電解液再循環迴路可包含一或多個感測器以分別量測陰極電解液特性。例如在所示的實例中，導電率儀 78 係位於沉靜室中且用以量測陰極電解液之導電率。此外，自陰極電解液線 52 分支的流體迴路 54 配有密度計 80，密度計 80 係用以量測陰極電解液的密度。在某些實施例中，陰極電解液再循環迴路可用以獨立於陽極電解液再循環迴路而接收稀釋劑及/或電解液成分以回應陰極電解液再循環迴路之感測器所提供之資訊。例如可自酸源 58 經由酸輸送線 60 通過接口 62 將酸溶液給劑至沉靜室 37。在所示的實施例中，陽極電解液再循環迴路與陰極電解液再循環迴路在池外並無流體或離子交流。然而在一替代性實施例中，陽極電解液再循環迴路可例如經由陰極電解液儲槽溢流管自陰極電解液再循環迴路接收陰極電解液。亦應注意，雖然在前面的實施例中陽極電解液與陰極電解液具有實質上相同的組成(包含實質上相同濃度的相同成分)，但在其他實施例中陰極電解液與陽極電解液具有不同組成且陰極電解液與陽極電解液中之成分的濃度係利用分離

的陽極電解液與陰極電解液感測器及成分輸送系統所分別管理。在使用具有不同組成之陽極電解液與陰極電解液的一實例中，維持陰極電解液實質上無金屬離子。在此實施例中，分離的陰極室(SCC)係藉由薄膜與陽極室分離，薄膜能實質上避免存在於陽極電解液中的金屬離子(如自基板溶解的銅離子)傳輸進入陰極室。此分離的陰極電解液室實施例(或 SCC)能使實質上不同的化學組成暴露至陽極/基板及陰極。在此實例中，SCC 薄膜能抑制及/或避免陽極電解液中的銅(或其他金屬)離子傳輸到達陰極而電鍍至陰極上。此類電鍍可能是樹突狀(dendritic)或不規則的，且可造成粒子形成而劣化池操作。因此在某些實施例中有 SCC 且 SCC 中的電解液實質上不包含自晶圓移除且包含於陽極電解液中的金屬(如銅)。例如，陰極電解液可包含酸，此酸可能是與陽極電解液中所包含之酸相同類型的酸。在某些實施例中，由於酸會被氫氣生成陰極反應所消耗，因此藉由直接添加酸至 SCC 或藉由將 SCC 加至陰極電解液再循環迴路，週期性地將酸補充予 SCC。

【0188】 圖 26 提供沉靜室/儲槽之組合組件的橫剖面圖。沉靜室 37 佔據組件的右前部且係藉由側壁(包含側壁 89)及底壁而與儲槽 39 分離，其中底壁具有開口 51 使陰極電解液自沉靜室 37 流至儲槽 39。由於沉靜室與儲槽為交流的容器，兩容器中的電解液位準通常相同且由位準 91 所顯示。藉由具有開口 40 的導管 35 將來自陰極室的陰極電解液(例如酸、金屬鹽及氫氣泡泡的混合物)引導至沉靜室。在沉靜室中陰極電解液經由擋板 93 所定義之曲折路徑向下流動，如箭頭顯示。在此過程中氫氣泡泡自陰極電解液分離，且上升通過陰極電解液到達陰極電解液位準 91 上方的空間。在沉靜室的底部處，陰極電解液經由開口 51 進入儲槽。沉靜室中的在氫氣在陰極電解液上方的空間中與惰性氣體(如 N_2)混合，然後隨惰性氣體流引導流出沉靜室。在所示的實施例中，惰性氣體經由開口 41 流至沉靜室中，且氫氣與惰性氣體的混合物經由側壁中的開口(未顯示)離

開沉靜室然後流經引導至排放件的開口 47。沉靜室係用以自電解液(至少部分地)分離氫氣泡泡並用以利用惰性氣體稀釋經分離的氫氣。在某些實施例中，稀釋氫氣俾使緊接在經由排放件釋出之前氫與惰性氣體之混合物中的氫氣濃度低於 4 體積%(4%為空氣中氫氣的爆炸下限(LEL))，更較佳是低於約 1 體積%。較佳是配置氫氣與惰性氣體的混合物俾使氫氣濃度低於在空氣中其混合物的爆炸下限(LEL)，即便混合物中的所有惰性氣體皆被 O_2 取代。在一實例中，0.8 L 的 H_2 係由 20 L 的 N_2 所稀釋。應注意，藉由量測通過除鍍池之電荷量來估算陰極電解液中 H_2 的最大量，因為 H_2 的最大量係與通過的電荷成比例。又，在某些實施例中藉由可置於緊接在氣體混合物進入排放件之前的氫氣感測器量測 H_2 濃度。在某些實施例中，惰性氣體係以介於約 20 - 30 L/min 的流率連續流經沉靜室，且在某些實施例中利用 H_2 感測器所提供的反饋，調整流率俾使 H_2 濃度低於預定濃度(如低於 4 體積%)。

【0189】 圖 27 顯示根據一實施例之儲槽 39 的橫剖面圖。為了維持清晰度，未顯示相鄰沉靜室的細節。儲槽 39 具有用以經由線 74 自陽極電解液室接收陽極電解液的進入接口 72。儲槽亦具有用以自沉靜室接收陰極電解液之入口。在此圖中並未顯示入口。在所示之實施例中陰極電解液與陽極電解液在儲槽中混合，利用導電率儀 77 量測經混合之電解液的導電率。接著電解液自儲槽先通過位於儲槽中之濾件 95 而返回再循環迴路。濾件 95 可為位於儲槽中之複數濾件中的一者且係用以過濾電解液使其不含任何剩餘的氫氣泡泡。在一實施例中，在儲槽中使用兩濾件。在一實施例中濾件的位置俾使電解液向下(而非橫向)通過濾件。此類垂直位向的濾件能促進氫氣泡泡分離。

【0190】 在所示的實施例中，自稀釋劑源藉由稀釋劑線 59 將稀釋劑添加至儲槽 39，稀釋劑線 59 係藉由稀釋劑入口 61 進入儲槽。自圖 27 所示之透視可見，稀釋劑線 59 在靠近儲槽 39 之底部、靠近線 74 之出口、在引導至泵浦 71

之線後方終止。這能確保來自陽極電解液返回線 74 的電解液與稀釋劑快速混合。

【0191】 在某些實施例中泵浦 71 係用以產生比儲槽中之壓力更低的壓力，俾使來自儲槽的電解液藉由吸力而被吸引至與流體線及泵浦耦合的濾件。在所示系統中這比使用泵浦增加儲槽中的壓力更有利，因為增加壓力可導致氣體非所欲地溶解至電解液中。

【0192】 儲槽更包含電解液位準感測器 97，其係用以量測儲槽中之電解液的位準並在超過值位準時與控制器通訊。儲槽更包含用以移除電解液至排放件 65 的出口 63。在儲槽的上部處可包含一或多個 用以導入空氣的開口，如氣體入口 99。

【0193】 圖 28A 與 28B 提供根據使用活性陰極之某些實施例之除鍍池之一部分的橫剖面圖。所示實施例中的陰極大致上為碟形且在電鍍期間的位置與基板相對。在某些實施例中，基板直徑與陰極直徑的差異小於 30%，如小於 25%。這對均勻度是有利的。又，陰極的相對大表面積有助於減少陰極處的電流密度，這可最小化陰極與電解液之間的非所欲互動。

【0194】 圖 28A 顯示金屬(如銅)電鍍至活性陰極上之前的池，而圖 28B 顯示在自基板移除金屬並將金屬電鍍至活性陰極上之後的相同池。在所示的實施例中，設備係用以使電解液能進入陰極室中並使電解液沿著向上方向通過在活性陰極中所製造出的開口。設備係更用以使電解液分別在兩位置處進入陽極室中-高於離子電阻性離子可滲透之元件之位置及低於元件之位置。陽極室之入口及陽極室之出口係配置成接近方位角相對的位置處以在基板表面附近產生橫向電解液流。

【0195】 在圖 28A 中例示除鍍池 2200 的一部分。除鍍池包含容納活性陰極的陰極室及容納離子電阻性離子可滲透之元件 2201 與基板(未顯示)的陽極室。

陽極室與陰極室係由薄膜框 2203 分離，薄膜框 2203 支撐離子可滲透薄膜。大致上，薄膜不需是離子選擇性的。薄膜係用以避免可在活性陰極處產生的金屬粒子進入陽極室從而接觸基板。具有橫流限制結構 2202 的離子電阻性離子可滲透之元件 2201 係設置於薄膜框 2203 上並與其附接。薄膜框位於陰極室上方且係附接且密封陰極室壁 2204。

【0196】 流體注射歧管 2205 係用以將流動的電解液饋送至離子電阻性離子可滲透之元件 2201 與薄膜框 2203 之間的腔室中及饋送至離子電阻性離子可滲透之元件與基板之間的間隙中。除了饋送至陽極室中的流體流外，有額外的流體流饋送至陰極室中。流體係藉由導管 2208 注射至陰極室 2207 中，且接著在所示的實例中流過擴散板 2209，然後通過及繞過陰極 2210。接著陰極電解液經由在薄膜框 2203 下方之陰極室中的間隙離開陰極室並經由另一系列導管(未顯示)離開而到達歧管 2006 處，且最終離開池。陰極 2210 在其外緣處受到陰極室底部中的突出部 2211 支撐。在所示的實施例中，陰極 2210 在其邊緣處具有複數凹口(溝槽)。當陰極被置於突出部 2211 上時，此些凹口形成開口，允許流體進入陰極下方的陰極室中並在陰極外緣處通過而進入陰極室的主體區。參考圖 28B，在一或多片基板的除鍍期間，金屬 2212 被電鍍至陰極 2210 上。在某些實施例中，允許金屬在陰極上累積至至少約 1 cm 的厚度，如介於約 1.5 - 3 cm 之間的厚度，直到自陰極室移除陰極為止。

【0197】 當金屬被沉積至陰極上時，陰極的重量可大幅增加且可能難以自池移除陰極。在某些實施例中，陰極係設計或建構以在其導電表面上包含複數非導電性的固定元件，其中固定元件係用以附接至一或多個柄，該一或多個柄可用以將陰極在使用後舉升並自池移除。

【0198】在某些實施例中，陰極包含複數孔口使電解液向上流經陰極時可通過陰極。此外，在陰極邊緣處製造出的凹口使陰極被置於陰極室中的突出部上而使得凹口能形成外緣開口之後，讓電解液能夠在陰極邊緣處向上移動。

【0199】在圖 28A 與 28B 中所示的實施例中，陰極包含柄附接用之非導電性的固定元件、與自陰極表面上向延伸之非導電性管適配的通孔、以及在陰極邊緣處的凹口。

【0200】圖 29A 中顯示了此類陰極的上視圖，圖 29C 中顯示了透視圖。圖 29D 例示具有附接至固定元件之柄的相同陰極。圖 29B 為適配至陰極之多個通孔中之一通孔中之絕緣管的一部分的圖。

【0201】回到圖 29A-29D，陰極具有大致上碟形的主體 2401 且可由不銹鋼或任何可電鍍的金屬所製成。此碟已被加工以能夠和數個非導電性的(如塑膠的)元件適配。一系列流通絕緣塑膠管 2402 係附接至陰極 2401 且適配至陰極中的開口。圖 29B 中例示了適配，圖 29B 顯示藉由管 2403 中之溝槽及夾環 2404 而附接至陰極的塑膠管 2402。每一管通過形成在陰極中的一孔口且藉由夾環而附接至陰極。在某些實施例中，在高度上，管延伸超過陰極的碟形體 1.2 - 4.5 cm 的高度。管的高度較佳應大於將被電鍍至陰極上之金屬的突出厚度。

【0202】流通管係用以允許陰極室內的對流並允許金屬累積在陰極表面上。該管更能避免金屬累積阻塞通孔。

【0203】在此實施例中，陰極具有設置在外緣處的凹口(溝槽)2405，當陰極被安裝於池中且支撐邊緣 2211 係位於陰極室外緣時，凹口(溝槽)2405 使流體有額外的路徑得以流動圍繞陰極的邊緣。此些凹口 2405 與流通管 2402 的組合為電解液提供數個路徑使陰極室中能有電解液的對流。

【0204】陰極亦包含位於中央的安裝閂 2213，安裝閂 2213 係用以將陰極置於設備的中央處且亦驅使陰極的底部進入陰極電匯流排終端 2214 中。安裝閂

係藉由塑膠絕緣蓋與力傳輸件 2215 與電解液隔絕，元件 2215 亦可容納用以避免閂頭 2213 暴露至電解液並在陰極壽命結束時(當金屬已電鍍至陰極上達其最大厚度，即剛好低於流通管之開口時)使閂頭 2213 能被移除的密封蓋 2216。各種 O 形環及墊圈密封件可避免組件的金屬部分，如閂2213 及陰極電匯流排終端2214，暴露至電解液，且可協助避免電鍍至此些部分上以及由電鍍使各種金屬安裝件的連接。亦包含數個(顯示四個)非導電性的(如塑膠的)安裝柱 2406，安裝柱係用以附接至柄 2408。利用閂 2409 將手動移除柄 2408 旋至螺紋 2407 中。柱 2406 亦被旋至陰極的相對側上以使另一組閂能自背側將柱 2406 穩固地附接至陰極 2401。較佳是選擇安裝柱 2406 的位置俾使所有的柱係位於陰極碟上的不同徑向位置處。如所示，安裝柱 2406 係徑向錯開俾以避免因非導電性安裝柱的存在而在晶圓基板上的特定半徑處產生被暴露至大幅較少量之電流的區域。沒有兩個柱 2406 係位於相同半徑處或使表面在晶圓於陰極 2401 上方作 360 度旋轉期間阻擋晶圓之任何部分被暴露至的相同的投影半徑。當陰極被電鍍至需移除陰極的一厚度時，利用柱 2406 之孔洞內的螺紋藉由閂 2409 使柄 2408 附接至柱 2406。這允許快速有效率地將板連帶附接之電鍍的金屬呈一體地移除。移除程序涉及旋鬆蓋 2216 以暴露安裝閂 2213、旋鬆閂 2213、然後拉起柄 2408。

【0205】 在某些實施例中，使用利用活性陰極的設備（如圖 28A 中所述的設備）與特別開發的電解液。此些電解液能有效率地電蝕刻及電平坦化具有遮罩的基板且係用以在陰極上達到高效率電鍍。例如，可以高電荷效率(例如高於 95%之電荷效率)電鍍極厚的膜(如至少 2 cm 厚或至少 2.5 cm 厚的膜)。電解液係用以最佳化沉積在陰極上之膜的形態，例如在陰極上形成緊實、非粉末狀、非樹突狀的金屬層。當電解液與圖 28A 中所示之陰極室一起使用時，電解液的所述優點尤其明顯。在一實施例中，所提供的電解液具有極高的金屬濃度與高酸濃度且可額外地包含可在不抑制或干擾基板表面處之氧化處理的情況下抑制活

性陰極表面處之電鍍的添加物。例如，在某些實施例中，電解液包含濃度高於 30 g/L 的銅及濃度高於 625 g/L 的磷酸 且更包含電鍍抑制劑添加物及/或另一添加物。適合之電鍍抑制劑(如銅電鍍抑制劑)的實例包含選自聚亞烷基二醇及聚環氧烷類別的化合物。例如可使用經取代或未經取代之聚乙二醇及/或聚環氧乙烷作為添加物。又，可在電解液中包含少量的氯離子作為添加物。

【0206】 電化學金屬移除用的設備可為亦包含電鍍設備之系統的一部分，其中該系統係建構以在電鍍後將基板傳輸至電化學金屬移除設備。圖 30 顯示一例示性整合系統的概圖，此整合系統可用以進行多種操作，包含電鍍與電化學金屬移除。如圖 30 中所示，整合系統 307 可包含複數電鍍模組，在此例中包含三個分離的模組 309、311 及 313。每一電鍍模組通常包含用以在電鍍期間容納陽極與電鍍溶液的池，以及在電鍍期間用以將晶圓支撐於電鍍 溶液中並用以旋轉晶圓的晶圓支撐件。圖 30 中所示的電鍍系統 307 更包含具有三個分離之電化學金屬移除模組 315、317 及 319 的電化學金屬移除系統。模組中的每一者皆包含如文中所述用以容納陰極與晶圓支撐件的除鍍池。此外，整合系統 307 可包含一或多個電填充後模組(PEM，未顯示)，其功能可包含完全沖洗晶圓上的任何電解液溶液與污染物及/或乾燥晶圓。取決於實施例，每一 PEM 可用以進行任何下列之功能：邊緣移除(EBR)、背側蝕刻、晶圓之酸清理、在晶圓受到模組 309、311 及 313 中之一者電填充後之晶圓的沖洗與乾燥。整合系統 307 亦可包含用以容納稀釋劑並將稀釋劑輸送至電化學移除模組的化學稀釋模組 321 以及用以容納電化學移除模組所用之電解液的中央電解液浴槽 323。中央電解液浴槽 323 可為用以容納電化學金屬移除模組中用來作為電解液之化學溶液的槽。整合系統 307 亦可包含氫氣管理系統 333，氫氣管理系統 333 可包含一或多個沉靜室，以及儲存惰性氣體並將惰性氣體輸送至沉靜室的惰性氣體源。在某些實施例中，過濾與泵抽單元 337 過濾中央浴槽 323 用的電解液溶液並將其泵抽至電化學金

屬移除模組。電鍍及/或電化學金屬移除模組可包含其自己的稀釋與給劑模組(如用以將電鍍添加物添加至電鍍溶液)、其自己的過濾與泵抽單元、及其自己的中央電解液浴槽(未顯示)。在某些實施例中，電化學金屬移除模組與電鍍模組係以雙層配置的方式垂直堆疊，電鍍模組佔據第一層而電化學金屬移除模組佔據不同的一層。在其他實施例中，電鍍模組可堆疊在設備的一區中而電化學金屬移除模組可堆疊在設備的不同一區中。

【0207】 最後，在某些實施例中，電子單元 339 可具有系統控制器的功能，提供操作電鍍系統 307 所需的電子與界面控制。系統控制器通常包含一或多個記憶體裝置及用以執行指令俾使整合系統可進行所其欲之處理操作的一或多個處理器。包含用以根據文中所述之實施例控制處理操作之指令之機器可讀媒體可耦合至系統控制器。單元 339 亦可針對系統設置一電源。

【0208】 在操作中，包含後端機械手臂 325 的機器人可用以自晶圓盒（如晶圓盒 329A 或 329B）選擇晶圓。後端機械手臂 325 可利用真空附接或某些其他的可行附接機制而附接至晶圓。

【0209】 前端機械手臂 340 可自晶圓盒（如晶圓盒 329A 或晶圓盒 329B）選擇一晶圓。晶圓盒 329A 或 329B 可為前開口統一艙(FOUP)。一 FOUP 為一容器，其係設計被用來安穩地將晶圓支撐在一受控環境中並使晶圓能藉由設有適當加載接口及機械搬運系統的設備而受到移除以接受處理或量測。前端機械手臂 340 可利用真空附接或某些其他附接機制支撐晶圓。前端機械手臂 340 可與晶圓盒 329A 或 329B、傳送站 350、或對準件 310 交界。後端機械手臂 325 可自傳送站 350 而與晶圓之接取。傳送站 350 可為槽口或位置，前端機械手臂 340 與後端機械手臂 325 可在不使晶圓通過對準件 310 的方式下將晶圓傳輸至該槽口或位置或自該槽口或位置拿取晶圓。應注意，在某些實施例中，傳送站 350 可具有晶圓邊緣攝像模組的功能(或位置功能)。然而在某些實施例中，為了確保晶圓

能在後端機械手臂 325 上適當對準以精準地將晶圓輸送至電鍍模組，後端機械手臂 325 可利用對準件 310 對準晶圓。後端機械手臂 325 亦可將晶圓輸送至電填充模組 309、311 或 313 中的一者或將晶圓輸送至電化學金屬移除模組 315、317 及 319 中的一者。

【0210】 為了確保晶圓能在後端機械手臂 325 上適當對準以精準地將晶圓輸送至電鍍模組 309、311 或 313 或者電化學金屬移除模組 315、317 及 319，後端機械手臂 325 可將晶圓傳輸至對準件模組 331。在某些實施例中，對準件模組 331 包含對準臂，後端機械手臂 325 會將晶圓推向對準臂以倚靠對準臂。當晶圓適當地倚靠對準臂對準時，後端機械手臂 325 移動至相對於對準臂的一預設位置。在其他實施例中，對準件模組 331 判斷晶圓中心以使後端機械手臂 325 自新位置拾起晶圓。接著後端機械手臂 325 重新附接至晶圓並將晶圓輸送至電鍍模組 309、311 或 313 中的一者或電化學金屬移除模組 315、317 及 319 中的一者。

【0211】 是以在利用整合系統 307 在晶圓上形成金屬層的一典型操作中，後端機械手臂 325 將晶圓自晶圓晶圓盒 329A 或 329B 傳輸至用以電鍍前置中調整的對準件模組 331，接著將晶圓傳輸至電鍍用的電鍍模組 309、311 或 313，接著將晶圓傳回電平坦化前置中調整用的對準件模組 331，接著將晶圓傳輸至邊緣移除用的電化學金屬移除模組 315、317 或 319。當然，在某些實施例中，可省略中間的置中/對準步驟並可直接在電鍍模組與電平坦化模組之間傳輸晶圓。在某些實施例中，將晶圓自電填充模組傳輸至 PEM 模組然後自 PEM 模組傳輸至電化學金屬移除模組。

【0212】 在某些情況中，處理涉及先自晶圓支撐晶圓盒或 FOUP(前開口統一艙)移除晶圓、將晶圓傳輸至真空預濕站(在此處包含通光阻特徵部的晶圓的表面在次大氣壓下的無泡泡濕化處理中完全濕化)、將已經濕化的晶圓傳輸至第一電鍍模組並在第一電鍍模組中電鍍第一金屬(如銅)、在第一電鍍模組中回收電鍍

溶液並沖洗晶圓、自第一電鍍模組移除晶圓並將表面仍濕的晶圓傳輸至電平坦化模組、在電平坦化模組中處理晶圓、在電平坦化模組中回收電平坦化溶液並沖洗晶圓、接著將晶圓傳輸至處理後模組(PTM)並在該處至少完全沖洗並乾燥晶圓，接著使已乾燥的晶圓返回晶圓盒或 FOUP。某些實施例修改上述程序以包含：在電平坦化模組中完成處理後將晶圓傳輸至另一電鍍站以對基板電鍍與在第一次訪問之電鍍模組中所沉積的相同金屬，或在訪問電平坦化模組及在電平坦化模組中接受處理之前將晶圓傳輸至一電鍍站以電鍍不同之金屬(如鎳、錫、或錫銀合金)。在一較佳的實施例中，先在第一電鍍模組中以銅電鍍晶圓，然後將晶圓傳輸至第二電鍍模組並在第二電鍍模組中電鍍錫(此步驟可選擇性地跳過)。接下來，將晶圓傳輸至第三電鍍模組並在第三電鍍模組處沉積錫或錫銀合金，接著將晶圓傳輸至電平坦化模組並在電平坦化模組處移除一部分之錫銀薄膜，由於後者處理的結果，產生錫銀之受到改善的厚度分佈。厚度分佈的改善包含獨立特徵部中(特徵部分佈)的改善及晶圓上方之疊層結構的整體分佈(晶粒內及晶圓內厚度分佈)的改善，其中改善係與未在最終電平坦化模組中進行處理的結構相比。在此較佳實施例的一實施方式中，在錫銀平坦化用之電平坦化模組中所使用的電解液溶液為濃度高於 45 重量%的硫酸或甲磺酸溶液。

【0213】 電鍍操作可涉及將晶圓載入殼式晶圓支撐件中並將殼式晶圓支撐件降入欲進行電鍍之電鍍模組 309、311 或 313 中之一者之池內所包含的電鍍浴中。池通常包含作為欲電鍍之金屬源的陽極(雖然陽極可以是遠端的)以及電鍍浴溶液，電鍍浴溶液可受到中央電填充浴儲槽(未顯示)之供給以及來自給劑系統之選擇性化學添加物的供給。在選擇性的 EBR 後，通常會清理、沖洗與乾燥晶圓，然後將晶圓導入電化學金屬移除模組 315、317 及 319 中的一者，電化學金屬移除模組可類似地使用可用以將基板降至電化學金屬移除電解液中的殼式晶圓支撐件。

【0214】最後應注意，在完成電化學金屬移除處理之後及在 PTM 模組中選擇性的沖洗與乾燥後，後端機械手臂 325 可收回晶圓並將其返還晶圓盒 329A 或 329B。自該處，晶圓盒 329A 或 329B 可被提供至其他半導體晶圓處理系統。

【0215】圖 31 中概略地例示電沉積與電化學金屬移除用之整合設備的一替代性實施例。設備 3100 具有以一對或多雙組態配置的電鍍及/或電化學金屬移除池 3107，每一池包含一含電解液之浴。除電鍍與電化學金屬移除本身外，設備 3100 可進行各種其他電鍍或電平坦化相關的處理及子步驟例如旋轉沖洗、旋轉乾燥、金屬與矽的濕式蝕刻、無電沉積、預濕與預化學處理、還原、退火、光阻剝除、及表面預活化。在圖 31 中概略顯示從上往下看之設備 3100，且在圖中僅顯示單一位準或「樓板」，但熟知此項技藝者當明白，此類設備如科林研發之 Sabre™ 3D 設備可具有彼此上下「堆疊」的兩或更多位準，每一位準可能具有相同或不同類型的處理站。在某些實施例中，電鍍站及電化學金屬移除站係設置在設備的不同位準上。在其他實施例中，單一位準可包含電鍍站與電化學金屬移除站兩者。

【0216】再次參考圖 31，經由前端裝載 FOUP 3101 將欲受到電鍍的複數基板 3206 大致上饋送至設備 3100，在此實例中，藉由前端機器人 3102 將欲受到電鍍的複數基板 3206 自 FOUP 搬運至設備 3100 的主基板製程區，前端機器人 3102 可以多維度自複數接取站 3108 中的一者收回受到轉子 3103 驅動的基板 3106 並將基板 3106 移動至複數接取站 3108 中的另一者—在此實例中複數接取站顯示兩個前端接取站 3104 及兩個前端接取站 3108。前端接取站 3104 與 3108 可包含例如預處理站、旋轉沖洗乾燥(SRD)站。前端機器人 3102 之側至側的橫向移動係利用機器人軌道 3102a 來完成。每一基板 3106 可被一杯狀/錐狀組件(未顯示)所支撐，杯狀/錐狀組件係由連接至馬達(未顯示)的一轉子 3103 所驅動，馬達係附接至安裝架 3109。在此實例中亦顯示四「雙」電鍍及/或電化學金屬移除

池 3107，因此總共八個池 3107。電鍍池 3107 可用以針對含銅結構電鍍銅及針對焊料結構電鍍焊料材料。在複數電鍍站 3107 中之一者中電鍍金屬後，基板被傳送至設備之相同位準上或設備 3100 之不同位準上的電化學移除池。系統控制器(未顯示)可耦合至電沉積設備 3100 以控制電沉積設備 3100 的部分或全部特性。可程式化或以其他方式配置系統控制器以執行根據前文中所述之處理的指令。

【0217】 本發明之另一態樣為用以完成文中所述之方法的設備。適合的設備包含用以完成處理操作的硬體及具有指令用以控制根據本發明之處理操作的系統控制器。系統控制器通常包含一或多個記憶體裝置及一或多個用以執行指令的處理器俾使設備進行根據本發明之方法。包含用以控制根據本發明之處理操作之指令的機器可讀媒體可耦合至系統控制器。

【0218】 在某些實施例中，控制器為系統的一部分，系統可為上述實例的一部分。此類系統可包含半導體處理設備，其包含一處理工具或複數處理工具、一處理室或複數處理室、一處理平臺或複數處理平臺、及/或特定的製程元件(晶圓平臺、氣體流動系統等)。此系統係與一些電子裝置整合，此些電子裝置係用以在半導體晶圓或基板處理之前、期間及之後控制系統的操作。此些電子裝置係稱為「控制器」，其可控制系統或複數系統的各種元件或子部件。取決於處理需求及/或系統類型，控制器可被程式化以控制文中所揭露的任何處理包含輸送處理氣體、溫度設定(如加熱及/或冷卻)、壓力設定、真空設定、功率設定、射頻(RF)產生器設定、RF 匹配電路設定、頻率設定、流率設定、流體輸送設定、位置與操作設定、晶圓傳輸進入及離開工具與連接至特定系統或與特定系統交界的其他傳輸設備及/或裝載互鎖機構。

【0219】 概括地說，控制器可被定義為具有各種積體電路、邏輯、記憶體及/或軟體的電子裝置，其可接收指令、發佈指令、控制操作、致能清理操作、致能終點量測等。積體電路可包含儲存了程式指令之具有韌體形式的晶片、數

位訊號處理器(DSP)、被定義為特殊應用積體電路(ASIC)的晶片、及/或能執行程式指令(如軟體)的一或多個微處理器或微控制器。程式指令可為與控制器通訊之具有各種獨立設定(或程式檔案)形式的指令，其定義為了在半導體晶圓上或針對半導體晶圓或對系統進行特定處理所用的操作參數。在某些實施例中，操作參數為製程工程師為了完成一或多膜層、材料、表面、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路及/或晶圓之晶粒之製造期間的一或多個處理步驟所定義之配方的一部分。

【0220】在某些實施例中控制器為整合至系統、耦合至系統、藉由網路連接至系統、或其組合的電腦的一部分或控制器耦合至電腦。例如，控制器係位於「雲端」中或工廠主機電腦系統的全部或部分中，這允許使用者遠端接取晶圓處理。電腦可致能遠端接取系統以監控製造操作的目前進展、檢視過去製造操作的歷程、自複數製造操作檢視驅勢或效能度量、改變現有處理的參數、設定處理步驟以符合現有處理、或開始一新的處理。在某些實施例中，遠端電腦(如伺服器)可經由電腦網路對系統提供處理配方，電腦網路包含區域網路或網際網路。遠端電腦可包含使用者介面，使用者介面讓使用者能進入或程式化參數及/或設定，然後自遠端電腦與系統通訊。在某些實例中，控制器接收數據形式的指令，此些指令指定在一或多個操作期間欲進行之每一處理步驟用的複數參數。應瞭解，複數參數係特別針對欲施行之處理的類型及控制器用以交界或控制之設備的類型。因此如上所述，可分散控制器如藉著包含一或多個藉由網路互連並朝向共同目的如文中所述之處理與控制工作的離散控制器。為了此類目的的分散控制器的實例包含處理室上的一或多個積體電路，其係與一或多個位於遠端(例如位於平臺位準處或為遠端電腦的一部分)的積體電路通訊而共同控制處理室中的處理。

【0221】不受限地，例示性的系統包含電化學金屬移除系統或模組、電鍍系統或模組、電漿蝕刻室或模組、沉積室或模組、化學金屬蝕刻室或模組、清理室或模組、邊緣蝕刻室或模組、物理氣相沉積(PVD)室或模組、化學氣相沉積(CVD)室或模組、原子層沉積(ALD)室或模組、原子層蝕刻(ALE)室或模組、離子植入室或模組、軌道室或模組、及和半導體晶圓之製造相關及/或用於製造的任何其他半導體處理系統。

【0222】如上所述，取決於設備所欲進行的處理步驟或複數步驟，控制器可與下列的一或多者通訊交流：其他設備電路或模組、其他設備的元件、叢集設備、其他設備的界面、相鄰設備、鄰近設備、位於工廠內的設備、主電腦、另一控制器、或半導體製造工廠中用以將晶圓容器載入與載出設備位置及/或裝載接口的材料運輸用設備。

【0223】一般而言，控制器可包含用以施行文中所述之任何方法的程式指令。在某些實施例中，控制器包含用以在電蝕刻狀態中、在電拋光狀態中、在電蝕刻狀態接著在電拋光狀態中移除金屬的程式指令。控制器亦可自電化學金屬移除設備之一或多個感測器接收反饋，且可包含用以基於感測器讀數而將一或多種流體添加至除鍍池的程式指令。

圖案化方法/設備：

【0224】上文中所述的各種設備/處理可與微影圖案化設備或處理一起使用，例如用以製造半導體裝置、顯示器、LED、光伏面板等的微影圖案化設備或處理。一般而言，雖然沒有必要，但此些設備/處理會在一共同的製造廠房中一起使用或進行。薄膜的微影圖案化通常包含下列步驟的部分者或全部，每一步驟可由許多可能的設備達成：(1)利用旋塗或噴塗設備將光阻施加至一工作件即基板上；(2)利用熱板、爐管或 UV 固化設備固化光阻；(3)利用一設備如晶圓步進機將光阻曝露至可見光或 UV 或 X 射線；(4)利用一設備如濕式槽顯影光阻

以選擇性地移除光阻藉此將其圖案化；(5)利用一乾式或電漿輔助蝕刻設備將光阻圖案轉移至下方膜層或工作件中；及(6)利用一設備如 RF 或微波電漿光阻剝除設備移除光阻。

實例

【0225】 實例 1. 獲得基於溫度、導電率及密度之用以判斷 H_3PO_4 與 Cu^{2+} 離子之濃度的經驗式。經驗式對由以下條件下之磷酸及磷酸銅所實質組成之溶液有效：介於約 20 - 50 °C 之溫度範圍、磷酸濃度範圍介於約 45 - 50 重量%、Cu^{2+} 濃度範圍介於約 30 - 60 g/L。經驗式係利用具有已知酸及銅濃度的溶液量測導電率為溫度與濃度(針對酸及銅離子分開)的函數以及密度為濃度(針對酸及銅離子分開)的函數所決定。量測密度為溫度的函數並非必須，因為溶液密度對溫度有極弱的相依性。

【0226】 表 2 列出用以決定經驗式之具有已知酸及銅濃度的 7 種溶液。針對每一溶液量測密度及導電率。密度係於 19 °C 下量測。導電率係於 19 °C、29 °C、40 °C 及 49 °C 下量測。

[表 2] 用以決定經驗式的溶液

溶液	H_3PO_4 (重量%)	Cu^{2+} (g/L)
1	0.5	57.7
2	0.45	29.1
3	0.5	28.9
4	0.5	43.4
5	0.475	29.0
6	0.45	58.1
7	0.475	43.4

【0227】 利用表 2 所提供的數據決定磷酸之濃度為溫度、密度及導電率之函數的經驗關係。又，利用表 2 所提供的數據決定銅離子之濃度為溫度、密度及導電率之函數的經驗關係。此些關係係用以在電化學金屬移除設備的操作期間基於電解液、導電率及密度讀值來判斷銅及磷酸的濃度。

【0228】 實例 2. 需要自電化學金屬移除設備移除以維持期望之銅離子穩態濃度(銅離子之目標濃度)的電解液量係由計算模型所決定。此實例中的模型假設：所移除之電解液的體積係等於無銅稀釋劑的體積；在池中的銅移除速率約為 2.4 mg/秒；及系統中之電解液的總體積為 60L。

【0229】 圖 32 顯示了電解液移除速率(每一池每小時以升單位之流出速率（bleed rate）)為穩態銅濃度之函數的所得相依性。可見在較高的穩態銅濃度，需要較低之電解液移除(及稀釋劑添加)速率。

【0230】 實例 3. 將電氧化處理施加至 Cu 特徵部以修正特徵部均勻度。所用的基板為 300 mm 直徑的矽晶圓，其有 3000Å 的 Cu 晶種層且其上塗覆有 50 μm 厚的光阻。特徵部係藉由選擇性移除光阻而利用稀疏的佈局(50 μm 直徑的特徵部及 200 μm 之中心至中心距離)及緻密的佈局(50 μm 直徑的特徵部及 100 μm 之中心至中心距離)形成重覆性的晶粒圖案。目標特徵部厚度為 30 μm 或 60%光阻的特徵部深度。當此些特徵部在通常的條件(見表 3)下受到電鍍且未施加電氧化後處理時， WID 非均勻度為 0.86 μm 而 WIF 非均勻度為 3.0 μm。

[表 3] 根據實例 3 之電鍍處理條件

條件	僅電鍍	針對電氧化修正之預電鍍
電解液	40 g/L Cu、140 g/L H_2SO_4、樂思（Enthone）SC 添加物化學品	40 g/L Cu、140 g/L H_2SO_4、樂思 SC 添加物化學品
橫流速率	20 L/min	20 L/min

溫度	30 °C	30 °C
填充%	60%	84%
過電鍍%	0%	40%

【0231】欲用於電氧化後處理的晶圓被電鍍達額外的 12 μm 厚度，總共 42 μm 或 84%光阻的特徵部深度(見表 3)。接著，晶圓被傳輸至如上所述適合用於電氧化處理的池，其具有惰性不銹鋼陽極與組合的沉靜室及陽極電解液/陰極電解液儲槽。所用的橫流速度為 10 L/min。電解液係由 30 °C 下之 60 g/L Cu 的銅及 48 重量%的磷酸所構成。在此電解液針對此模式的臨界電位已預先決定約為 0.5-0.6V。在 6A 的電流控制下移除 4 μm 的銅，施加電壓在電蝕刻狀態中相對 Cu 參考電極約為 0.3 V。接著在電拋光狀態中 0.7 V 的電位控制下移除 8 μm 的銅。藉著積分隨著時間所施加的電流來得到已通過的電荷量而決定每一步驟的終點。

【0232】所得的特徵部顯示 0.36 μm 的 WID 非均勻度(相對於僅電鍍有 57%的縮減)及 0.75 μm 的 WIF 非均勻度(相對於僅電鍍有 75%的縮減)。

【符號說明】

【0233】

1 基板支撐件

3 基板

5 陰極

7 薄膜

9 除鍍池

11 陽極室

12 框

13	陰極室
15	出口
17	入口
19	離子電阻性離子可滲透之元件
21	橫流注射歧管
23	橫流限制環
25	入口
27	出口
29	參考電極
30	電連接件
31	控制器
33	H_2泡泡
35	導管/流體線
37	沉靜室
39	儲槽
40	沉靜室陰極電解液入口
41	惰性氣體入口
43	惰性氣體源
45	惰性氣體線
47	氣體出口
49	排放件
51	陰極電解液出口
52	流體線
53	流體線

54	流體迴路
55	儲槽陰極電解液入口
57	稀釋劑源
58	酸源
59	稀釋劑線
60	酸輸送線
61	儲槽稀釋劑入口
62	接口
63	電解液移除接口
65	排放件
67	電解液出口接口
69	流體線
71	泵浦
72	泵浦
73	流體線
74	流體線
75	流體線
77	導電率儀
78	導電率儀
79	密度計
80	密度計
81	流體線/迴路
83	接點
85	沖洗液源

87	沖洗液輸送線
89	側壁
91	位準
93	擋板
95	濾件
97	電解液位準感測器
99	氣體入口
100	基板
101	膜層
103	晶種層
105	遮罩層
107	凹陷特徵部
108	凹陷特徵部
109	孤立之凹陷特徵部
113	金屬
115	目標位準
201	操作
203	操作
205	操作
207	特徵部
209	特徵部
211	特徵部
213	光阻
215	晶種層

217	金屬突出物
219	金屬橋
221	柱/支撐邊緣
223	介層窗
225	線
227	介層窗
307	整合系統
309	電填充模組
310	對準件
311	電填充模組
313	電填充模組
315	電化學金屬移除模組
317	電化學金屬移除模組
319	電化學金屬移除模組
321	化學稀釋模組
323	中央電解液浴槽
325	後端機械手臂
329A	晶圓盒
329B	晶圓盒
331	對準件模組
333	氫氣管理系統
337	過濾與泵抽單元
339	電子單元
340	前端機械手臂

350	傳送站
401	操作
403	操作
405	操作
601	操作
603	操作
605	操作
701	離子電阻性離子可滲透之元件
703	液流分流元件
705	電解液注射接口
801	操作
803	操作
805	操作
901	陰極
903	特徵部
905	特徵部
907	特徵部
909	邊界
913	通遮罩特徵部
915	通遮罩特徵部
917	通遮罩特徵部
1201	圖
1203	圖
1301	操作

1303 操作

1305 操作

1401 操作

1403 操作

1405 操作

1503 特徵部

1505 特徵部

1507 特徵部

1701 操作

1703 操作

1705 操作

1709 操作

1801 操作

1803 操作

1807 操作

1901 密度計

1903 導電率儀

1905 溫度計

1907 電解液位準計

1909 控制器

1911 稀釋硬體

1913 電解系統

1915 硬體

1920 電鍍模組質量平衡

1921	電鍍池模組
1922	晶圓拖入物
1923	蒸發
1924	材料流
1925	純去離子水
1926	富金屬的溶液M
1927	富酸的溶液A
2206	歧管
2200	除鍍池
2201	池
2202	橫流限制結構
2203	陽極室
2204	陰極室壁
2205	陽極基板
2207	陰極室
2208	導管
2209	陰極
2210	陰極
2211	薄膜
2212	金屬
2213	陰極室出口
2214	陰極電匯流排終端
2215	塑膠絕緣蓋與力傳輸件
2216	密封蓋

2401	陰體主體
2402	塑膠管
2403	管
2404	夾環
2405	凹口
2406	柱
2407	螺紋
2408	柄
2409	閂
3100	設備
3101	FOUP
3102	前端機器人
3102a	機器人軌道
3103	轉子
3104	前端接取站
3106	基板
3107	電鍍及/或電化學金屬移除池
3108	接取站
3109	安裝架

201919150

【發明摘要】

【中文發明名稱】通遮罩互連線製造中的電氧化金屬移除

【英文發明名稱】ELECTRO-OXIDATIVE METAL REMOVAL IN THROUGH MASK INTERCONNECT FABRICATION

【中文】在一實施例中，一種晶圓處理方法包含將一金屬填充至複數通遮罩凹陷特徵部中俾使一第一通遮罩特徵部之一填充速率與一第二通遮罩特徵部之一填充速率之間的一比值為R1；接著藉由電化學移除金屬俾使該第一通遮罩特徵部之金屬移除速率與該第二通遮罩特徵部之金屬移除速率的一比值係大於R1，以改善填充均勻度。在某些實施例中，該方法包含以一電解液接觸一受到陽極化偏壓的基板俾使該電解液具有沿著實質上平行於該基板之工作表面之方向的橫流分量。該方法可在用以在基板表面處產生橫流的設備中進行。在某些實施例中，該方法使用不同的電化學狀態以達到均勻度的改善。

【英文】In one implementation a wafer processing method includes filling a plurality of through-resist recessed features with a metal, such that a ratio of fill rate of a first feature to a fill rate of a second feature is R1; followed by electrochemically removing metal such that a ratio of metal removal rate from the first feature to the metal removal rate from the second feature is greater than R1, improving the uniformity of the fill. In some embodiments the method includes contacting an anodically biased substrate with an electrolyte such that the electrolyte has a transverse flow component in a direction that is substantially parallel to the working surface of the substrate. The method can be implemented in an apparatus that is configured for generating the transverse flow at the

surface of the substrate. In some implementations the method makes use of distinct electrochemical regimes to achieve improvement in uniformity.

【指定代表圖】　　圖 13

【代表圖之符號簡單說明】

1301　操作

1303　操作

1305　操作

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種半導體基板的處理方法，該方法包含：

(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含複數通遮罩金屬特徵部；

(b)從由低於一臨界電位之一電蝕刻、高於該臨界電位之一電拋光、及低於該臨界電位之該電蝕刻其後接著高於該臨界電位之該電拋光所組成的群組，針對該電化學金屬移除而選擇一狀態；及

(c)在該選擇之狀態中，自該複數通遮罩金屬特徵部電化學移除金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度。

【第2項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除該金屬的一部分之步驟包含在電流控制條件下以低於該臨界電位的方式電蝕刻該金屬。

【第3項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除該金屬的一部分之步驟包含在電位控制條件下以高於該臨界電位的方式電拋光該金屬。

【第4項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除該金屬的一部分之步驟包含：在電流控制條件下以低於該臨界電位的方式電蝕刻該金屬，然後在電位控制條件下以高於該臨界電位的方式電拋光該金屬。

【第5項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除該金屬的一部分之步驟包含利用一參考電極控制該半導體基板附近的一電位。

【第6項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中該參考電極包含與自該半導體基板所移除之金屬相同的金屬。

【第7項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中該金屬為銅，且其中針對電化學銅移除選擇該狀態之步驟包含：自下列者所組成的群組

選擇一狀態：在介於約0.1 V-0.7 V之一電位處的該電蝕刻、在介於約0.7 V-2.0 V之一電位處的該電拋光、及在介於約0.1 V-0.7 V之一電位處的該電蝕刻接著在介於約0.7 V-2.0 V之一電位處的該電拋光，其中電位係相對於一銅參考電極而量測。

【第8項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中藉由該電化學金屬移除所改善的該均勻度為下列的一或多者：晶圓內均勻度、晶粒內均勻度、及特徵部內均勻度。

【第9項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中該電化學金屬移除改善晶粒內均勻度與特徵部內均勻度兩者。

【第10項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除該金屬之一部分的步驟包含將電解液溶液中之金屬離子的濃度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約5%。

【第11項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，更包含在(c)之後在相同的電化學金屬移除設備中依序自複數半導體基板電化學移除金屬並同時改善金屬均勻度及將電解液溶液中之金屬離子的一濃度維持在一目標位準，俾使在自該複數基板電化學移除金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約5%。

【第12項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除該金屬的一部分之步驟包含在電化學金屬移除設備的一陰極處產生H_2，及自該電解液分離H_2而不允許H_2接觸該半導體基板。

【第13項】 如申請專利範圍第12項之半導體基板的處理方法，其中電化學金屬移除設備包含一離子可透過之分離件，該離子可透過之分離件係用以阻擋H_2泡泡自一陰極室移動至一陽極室。

【第14項】 如申請專利範圍第12項之半導體基板的處理方法，更包含在一沉靜室中以一惰性氣體稀釋H_2並自該沉靜室移除經稀釋的H_2。

【第15項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間利用一或多個再循環迴路再循環電解液，其中該一或多個再循環迴路包含用以將氫氣泡泡自該電解液分離的一沉靜室、及一電解液儲槽。

【第16項】 如申請專利範圍第15項之半導體基板的處理方法，其中該沉靜室與該儲槽係位於一組件中。

【第17項】 如申請專利範圍第1項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間利用一參考電極監測一電位。

【第18項】 一種半導體基板的處理方法，該方法包含：

(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；

(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；及

(c)藉由在低於一臨界電位之一電蝕刻狀態中移除該金屬接著在高於該臨界電位的一電拋光狀態中移除該金屬而電化學移除該金屬的一部分並改善該金屬的一均勻度。

【第19項】 如申請專利範圍第18項之半導體基板的處理方法，其中受到移除的該金屬為銅。

【第20項】 如申請專利範圍第18項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間藉由半導體基板旋轉以外的一方法沿著實質上平行於該半導體基板之該工作表面的一方向提供與該半導體基板之該工作表面接觸的一電解液橫流。

【第21項】 如申請專利範圍第18項之半導體基板的處理方法，其中所改善之該均勻度係選自 由晶圓內均勻度、晶粒內均勻度、及特徵部內之均勻度所組成的群組。

【第22項】 一種半導體基板的處理方法，該方法包含：

(a)將具有複數通遮罩金屬特徵部的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中；

(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之一工作表面浸沒至一電解液中；及

(c)自該複數通遮罩金屬特徵部電化學移除金屬的一部分俾以減少個別通遮罩特徵部內的金屬厚度變異。

【第23項】 如申請專利範圍第22項之半導體基板的處理方法，其中受到移除的該金屬為銅。

【第24項】 如申請專利範圍第22項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間藉由半導體基板旋轉以外的一方法沿著實質上平行於該半導體基板之該工作表面的一方向提供與該半導體基板之該工作表面接觸的一電解液橫流。

【第25項】 如申請專利範圍第22項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間利用一參考電極監測靠近該半導體基板的一電位。

【第26項】 如申請專利範圍第22項之半導體基板的處理方法，更包含將該電解液溶液中之金屬離子的一濃度維持在一目標位準，俾使在自該半導體基板電化學移除該金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約5%。

【第27項】 一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，該設備包含：

(a)在自該半導體基板電化學金屬移除期間用以容納一受到陽極化偏壓之一半導體基板的一陽極室，其中該陽極室具有用以將流體導至該陽極室的至少一入口；

(b)用以容納一陰極的一陰極室，其中該陰極室具有用以將流體導至該陰極室的至少一入口；及

(c)介於該陽極室與該陰極室之間的一離子可透過之分離件。

【第28項】 如申請專利範圍第27項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該陰極室之該入口係位於該陰極附近，且其中該陰極室更包含位於該離子可透過之分離件附近的一出口。

【第29項】 如申請專利範圍第27項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該離子可透過之分離件係用以阻擋或抑制氫氣泡泡及/或金屬粒子自該陰極室轉移至該陽極室。

【第30項】 如申請專利範圍第27項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，更包含一陰極電解液再循環迴路及一陽極電解液再循環迴路。

【第31項】 如申請專利範圍第27項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，更包含具有複數通孔之一陰極，其中該設備係用以使流體自該陰極室中的該至少一入口流過該陰極之該複數通孔。

【第32項】 一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，該設備包含：

(a)一容器，在自該半導體基板電化學金屬移除期間用以容納一電解液與一陰極；

(b) 一半導體基板支撐件，用以支撐該半導體基板俾使在自該半導體基板的該電化學金屬移除期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該陰極分離；

(c)一機構，用以沿著實質上平行該半導體基板之該工作表面之一方向提供與該半導體基板之該工作表面接觸之一電解液橫流，其中該機構係不同於用以旋轉該半導體基板的機構；

(d) 一參考電極，用以量測靠近該半導體基板之一電位、或一等效電位。

【第33項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中用以提供該電解液橫流的該機構包含：用以使該電解液流入該容器之一入口及流出該容器之一出口之一機構，其中該入口與該出口係位於該半導體基板之該工作表面之周長位置的方位角相對部分的附近。

【第34項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，更包含一離子電阻性離子可滲透之元件，建構以位於在該電化學金屬移除期間該半導體基板之該工作表面之約10 mm 內。

【第35項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備更包含在該電化學金屬移除期間用以旋轉該半導體基板的一機構。

【第36項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中用以提供該電解液橫流的該機構包含：用以提供一往復槳動作的一機構。

【第37項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中用以提供該電解液橫流的該機構包含一橫流注射歧管。

【第38項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中用以提供該電解液橫流的該機構包含具有一或多個間隙的一限制環。

【第39項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中用以提供該電解液橫流的該機構包含：

(i)一離子電阻性離子可滲透之元件，包含以約10 mm或更小之一間隙與該半導體基板之該工作表面分離的一個 面基板表面，其中該離子電阻性離子可滲透之元件在該電化學金屬移除期間係至少與該半導體基板之該工作表面共延，該離子電阻性離子可滲透之元件係用以在該電化學金屬移除期間提供經由該元件的離子傳輸；

(ii)一橫流注射歧管，至少部分由該離子電阻性離子可滲透之元件中的一空腔所定義，其中該橫流注射歧管為弧形且係位於該半導體基板的一外緣附近；

(iii)一橫流限制元件，係位於該基板之該外緣附近且至少部分位於該離子電阻性離子可滲透之元件與該半導體基板支撐件之間，其中該橫流限制元件至少部分定義該間隙的一側；

(iv)該間隙的一入口，用以引導該電解液至該間隙，其中該入口自該橫流注射歧管接收該電解液；及

(v)該間隙的一出口，用以接收在該間隙中流動之該電解液，

其中該入口與該出口係位於在該電化學金屬移除期間該基板之該工作表面之方位角相對的周長位置附近，且其中該入口與該出口係用以在該電化學金屬移除期間於該間隙中產生橫流電解液以在該半導體基板之該工作表面處產生或維持橫流。

【第40項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中用以提供該電解液橫流的該機構係用以產生：具有橫跨該基板之該工作表面的一中心點至少約3公分/秒之一速度的橫流。

【第41項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中用以提供該電解液橫流的該機構係用以產生：具有橫跨該基板之該工作表面的一中心點至少約10公分/秒之一速度的橫流。

【第42項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該參考電極為一銅電極。

【第43項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該參考電極係加以配置俾使其位於在該電化學金屬移除期間該半導體基板之5 mm內，或者其中該參考電極係加以配置俾使其量測與該半導體基板之5 mm內之一電位等效的一電位。

【第44項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該參考電極係加以配置俾使其位於在該電化學金屬移除期間該半導體基板之外緣處。

【第45項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，更包含：

(e)一離子電阻性離子可滲透之元件，在一電阻性材料中具有複數通道，該元件係加以形塑及建構俾使其位於在該電化學金屬移除期間該半導體基板與該陰極之間，該離子電阻性離子可滲透之元件在該電化學金屬移除期間係以約10毫米或更小的一距離與該半導體基板之該工作表面分離，其中該參考電極係建構以在z方向上比該離子電阻性離子可滲透之元件更靠近該半導體基板之該工作表面。

【第46項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備係用以在該電化學金屬移除期間阻擋在該陰極處產生的H_2泡泡接觸該半導體基板。

【第47項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該容器包含介於該陰極與該半導體基板支撐件之間的一離子可滲透薄膜，其中該離子可滲透薄膜將該容器分為一陽極室與一陰極室且係用以阻擋在該陰極處產生的H_2泡泡通過而到達該陽極室。

【第48項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備係用以自該電解液分離H_2泡泡、以一惰性氣體稀釋該H_2泡泡、及自該設備移除經稀釋的該H_2。

【第49項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，更包含與該容器呈流體交流的一沉靜室，其中該沉靜室係用以自該電解液分離H_2泡泡並以一惰性氣體稀釋該經分離的H_2。

【第50項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備更包含具有一電解液儲槽的一電解液再循環迴路。

【第51項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備更包含一陽極電解液再循環迴路與一陰極電解液再循環迴路，其中該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路具有一共用電解液儲槽。

【第52項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備具有用以將一稀釋劑添加至該電解液的一入口。

【第53項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含用以量測該電解液中之酸濃度與金屬離子濃度的至少兩個感測器。

【第54項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含用以判斷該電解液中之酸濃度與金屬離子濃度的一密度計與一導電率儀。

【第55項】 如申請專利範圍第32項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備係用以將該電解液溶液中之金屬離子的一濃度維持在一目標位準，俾使該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約5%。

【第56項】 一種電化學金屬移除用之陰極，該陰極包含：

(a)複數通道，該複數通道係用以使一電解液流過該陰極的主體；及

(b)在該陰極之邊緣處的複數凹口，該陰極具有大致碟形的主體。

【第57項】 如申請專利範圍第56項之電化學金屬移除用之陰極，其中該陰極包含適配於該複數通道中的複數非導電性通管。

【第58項】 如申請專利範圍第56項之電化學金屬移除用之陰極，其中該陰極包含適配於該複數通道中的複數非導電性通管，俾使該複數通管在該陰極的該大致碟形的主體上方延伸至少約1 cm。

【第59項】 如申請專利範圍第56項之電化學金屬移除用之陰極，更包含用以附接至一或多個柄之複數非導電性固定元件。

【第60項】 如申請專利範圍第59項之電化學金屬移除用之陰極，其中該複數固定元件係位於該陰極之該大致碟形的主體上的不同徑向位置處。

【第61項】 一種半導體基板的處理方法，該方法包含：

(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；

(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；及

(c)在藉由半導體基板旋轉以外的一方法而沿著實質上平行於該半導體基板之該工作表面的一方向提供與該半導體基板之該工作表面接觸的一電解液橫流的同時，電化學移除受到暴露之該金屬的一部分並改善該金屬的均勻度。

【第62項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中在(a)中所提供之該半導體基板之該工作表面更包含受到暴露之一介電材料，且受到暴露之該金屬包含藉由受到暴露之該介電材料下方之一導電層所連接之複數受到暴露之金屬特徵部。

【第63項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中在(a)中所提供之該半導體基板之該工作表面更包含受到暴露之一光阻，且其中在(a)中所提供之該半導體基板包含複數已填充銅的特徵部，該複數已填充銅的特徵部具有至少約1：1的深寬比並藉由受到暴露之該光阻下方之一導電層所連接，其中該複數已填充銅的特徵部係被銅填充至至少約50%。

【第64項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中由該電化學金屬移除所改善之該均勻度包含晶圓內均勻度、晶粒內均勻度、及特徵部內之均勻度中的一或多者。

【第65項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中該電化學金屬移除改善晶粒內均勻度與特徵部內均勻度兩者。

【第66項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中提供該電解液橫流的步驟包含使該電解液流經該設備的一入口並流出該設備的一出口，其中該入口與該出口係設置於該半導體基板之該工作表面之方位角相對的周長位置附近。

【第67項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中提供該橫流的步驟包含以一往復槳動作形成該橫流。

【第68項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中該電解液橫流具有橫跨該基板之該工作表面的一中心點之至少約3公分/秒的一速度。

【第69項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中該電解液橫流具有橫跨該基板之該工作表面的一中心點之至少約10公分/秒的一速度。

【第70項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間以介於約1至30 rpm的一旋轉速率旋轉該半導體基板。

【第71項】 如申請專利範圍第62項之半導體基板的處理方法，更包含，在(a)之前：電鍍一金屬至複數凹陷特徵部中至一厚度，該厚度比在(c)後該電化學金屬移除後所獲得之金屬的一目標厚度至少高10%。

【第72項】 如申請專利範圍第62項之半導體基板的處理方法，更包含，在(a)之前：電鍍一金屬至複數凹陷特徵部中至一厚度，該厚度比在(c)後該電化學金屬移除後所獲得之金屬的一目標厚度高約20-30 %。

【第73項】 如申請專利範圍第71項之半導體基板的處理方法，其中該電鍍步驟係於不同於用於該電化學金屬移除中之該電解液的一電解液中進行。

【第74項】 如申請專利範圍第71項之半導體基板的處理方法，其中該電鍍步驟與該電化學金屬移除係於不同的池中進行。

【第75項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中提供該橫流的步驟包含自實質上垂直於該半導體基板之該工作表面之一方向的一衝擊流移轉一電解液流至該橫流。

【第76項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中該電解液橫流係於具有10 mm或更小之寬度的一間隙中所提供，其中該間隙係介於一離子電阻性離子可滲透之元件與該基板的該工作表面之間。

【第77項】 如申請專利範圍第76項之半導體基板的處理方法，其中該間隙具有側壁、一入口及一出口，且其中該電解液自該入口沿著實質上平行該基板之該工作表面的方向流至該出口。

【第78項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中該電解液為一黏度至少約4厘泊的一導電黏性液體。

【第79項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中該電解液為一黏度至少約7厘泊的一導電黏性液體。

【第80項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中該電解液包含磷酸及/或HEDP。

【第81項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中初始針對將該半導體基板浸沒所提供的該電解液包含：與在該基板之該工作表面上所暴露相同之金屬的金屬離子。

【第82項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中該金屬為銅。

【第83項】 如申請專利範圍第62項之半導體基板的處理方法，更包含在(a)之前，利用一電鍍電解液將金屬電鍍至該半導體基板上的凹陷特徵部中，其中該電鍍電解液包含一金屬鹽、一酸、及選自由一整平劑與一抑制劑所組成之群組之至少一電鍍添加物，其中在該電化學金屬移除期間所用的該電解液係不同於該電鍍電解液、具有至少約4厘泊的黏度、且不含電鍍抑制劑與整平劑。

【第84項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除受到暴露之該金屬的一部分的步驟包含：

(i)從由低於一臨界電位之一電蝕刻、高於該臨界電位之一電拋光、及低於該臨界電位之該電蝕刻其後接著高於該臨界電位之該電拋光所組成的群組，針對該電化學金屬移除選擇一狀態；及

(ii)在該選定之狀態中電化學移除該金屬的一部分以改善該金屬的該均勻度。

【第85項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除受到暴露之該金屬之該部分的步驟包含：利用一參考電極監測靠近該半導體基板的一電位。

【第86項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除受到暴露之該金屬之該部分的步驟包含：將該電解液溶液中之金屬離子的一

濃度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約5%。

【第87項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，更包含：在(c)之後，在相同的該電化學金屬移除設備中依序自複數半導體基板電化學移除金屬，並同時改善金屬均勻度及將該電解液溶液中之金屬離子的一濃度維持在一目標位準，俾使在自該複數基板電化學移除金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約5%。

【第88項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除該金屬之該部分的步驟包含：在該電化學金屬移除設備的一陰極處產生H_2，並自該電解液分離H_2而不允許H_2接觸該半導體基板。

【第89項】 如申請專利範圍第88項之半導體基板的處理方法，其中該電化學金屬移除設備包含：一離子可透過之分離件，該離子可透過之分離件係用以阻擋H_2泡泡自一陰極室移動至一陽極室。

【第90項】 如申請專利範圍第88項之半導體基板的處理方法，更包含在一沉靜室中以一惰性氣體稀釋H_2並自該沉靜室移除經稀釋的H_2。

【第91項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間利用一或多個再循環迴路再循環該電解液，其中該一或多個再循環迴路包含用以將氫氣泡泡自該電解液分離的一沉靜室及一電解液儲槽。

【第92項】 如申請專利範圍第91項之半導體基板的處理方法，其中該沉靜室與該儲槽係位於一組件中。

【第93項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中在該電化學金屬移除之時間的至少50%時間提供該電解液橫流。

【第94項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部，其中該基板包含至少一孤立特

徵部及至少兩個緻密特徵部，其中一第一緻密特徵部係以一第一距離與靠其最近的特徵部分離，且一第一孤立特徵部係以一第二距離與靠其最近的特徵部分離，該第二距離至少比該第一距離大兩倍。

【第95項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部，且包含具有一第一寬度的一第一通遮罩特徵部及具有一不同之第二寬度的一第二通遮罩特徵部。

【第96項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部，且包含具有一第一深寬比之凹陷的一第一通遮罩特徵部、及具有一不同之第二深寬比之凹陷的一第二通遮罩特徵部。

【第97項】 如申請專利範圍第96項之半導體基板的處理方法，其中該等凹陷之深寬比之間的差異為有效深寬比之間的差異，該有效深寬比之間的該差異係因下層中的地貌變異而產生。

【第98項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部，且包含具有一第一寬度與一第一深寬比之凹陷的一第一通遮罩特徵部、具有一第二寬度與一第二深寬比之凹陷的一第二通遮罩特徵部、具有一第三寬度與一第三深寬比之凹陷的一第三通遮罩特徵部、及具有一第四寬度與一第四深寬比之凹陷的一第四通遮罩特徵部，其中該第二寬度係不同於該第一寬度且凹陷的該第四深寬比係不同於凹陷之該第三深寬比。

【第99項】 如申請專利範圍第61項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除受到暴露之該金屬的該部分的步驟包含將該電解液溶液的一黏度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除金屬的過程期間該黏度不會波動離該目標位準超過一預定量。

【第100項】一種半導體基板的處理方法，用於處理一或多片半導體基板，該方法包含：

(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；

(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液溶液中；

(c)藉著將該金屬電化學溶解至該電解液溶液中而自該半導體基板電化學移除該金屬的至少一部分並同時改善該金屬的均勻度；及

(d)將該電解液溶液中之金屬離子的濃度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約5%。

【第101項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中該電解液溶液包含一酸，且其中該方法更包含將該電解液溶液中之該酸的濃度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該酸的該濃度不會波動離該目標位準超過約2%。

【第102項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中(d)包含：在該電化學金屬移除期間量測該電解液溶液之金屬離子的濃度，以及在已到達該金屬之一預定閾值濃度後將一界定量的稀釋劑導入該電解液溶液。

【第103項】如申請專利範圍第102項之半導體基板的處理方法，其中該稀釋劑為一酸之一實質上不含金屬的溶液。

【第104項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中(d)包含：在該電化學金屬移除期間量測該電解液溶液之金屬離子的濃度，以及在已到達該金屬之一預定閾值濃度後自該電解液溶液 電解提鍊一界定量的金屬。

【第105項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中該電解液包含一酸，且其中該方法包含連續量測該電解液溶液中金屬離子的濃度及該酸的濃度。

【第106項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中該電解液包含一酸，且其中該方法包含利用一密度計與一導電率儀的組合連續量測該電解液溶液中金屬離子的濃度及該酸的濃度。

【第107項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中該電解液包含一酸，其中該方法包含利用一光吸收計與一導電率儀的組合連續量測該電解液溶液中金屬離子的濃度及該酸的一濃度。

【第108項】如申請專利範圍第107項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間連續量測該電解液溶液的一體積，且若該體積超過一預定閾值，則藉著自該設備移除該電解液溶液而調整該電解液溶液的該體積。

【第109項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間連續量測該電解液溶液的一體積，且若該體積低於一預定閾值，藉著將該電解液溶液的一或多種成分添加至該設備而調整該電解液溶液的該體積。

【第110項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，更包含：在(d)之後，在相同的該電化學金屬移除設備中依序自複數半導體基板電化學移除金屬並同時改善金屬均勻度及將該電解液溶液中之金屬離子的濃度維持在一目標位準，俾使在自該複數基板電化學移除金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約5%。

【第111項】如申請專利範圍第110項之半導體基板的處理方法，其中在自至少五片基板依序電化學移除金屬的過程期間將該金屬離子的該濃度維持在該目標位準處。

【第112項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中在(a)中所提供之該半導體基板之該工作表面更包含受到暴露之一介電材料，且其中受到暴露之該金屬包含藉由受到暴露之該介電材料下方之一導電層所連接之複數受到暴露之金屬特徵部。

【第113項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中該電解液為黏度至少約4厘泊的一導電黏性液體。

【第114項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中該電解液為黏度至少約7厘泊的一導電黏性液體。

【第115項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中該電解液包含磷酸及/或HEDP。

【第116項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中初始針對將該半導體基板浸沒所提供的該電解液包含：與在該基板之該工作表面上所暴露相同之金屬的金屬離子。

【第117項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中該金屬為銅。

【第118項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中電化學移除該金屬之至少一部分的步驟包含：在該電化學金屬移除設備的一陰極處產生H_2並自該電解液分離H_2而不允許H_2接觸該半導體基板。

【第119項】如申請專利範圍第118項之半導體基板的處理方法，其中該電化學金屬移除設備包含一離子可透過之分離件，該離子可透過之分離件係用以阻擋H_2泡泡自一陰極室移動至一陽極室。

【第120項】如申請專利範圍第118項之半導體基板的處理方法，更包含在一沉靜室中以一惰性氣體稀釋H_2並自該沉靜室移除經稀釋的H_2。

【第121項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間利用一或多個再循環迴路再循環該電解液，其中該一或多個再循環迴路包含用以將氫氣泡泡自該電解液分離的一沉靜室及一電解液儲槽。

【第122項】如申請專利範圍第121項之半導體基板的處理方法，其中該沉靜室與該儲槽係位於一組件中。

【第123項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中維持該金屬離子的該濃度的步驟包含將一稀釋劑添加至一電解液再循環迴路中的一電解液中，該電解液再循環迴路係位於進行該電化學金屬移除之一池的外部。

【第124項】如申請專利範圍第100項之半導體基板的處理方法，其中該電化學金屬移除改善受到暴露之該金屬之晶圓內均勻度、晶粒內均勻度、及特徵部內均勻度中的至少一者。

【第125項】一種一或多片半導體基板的處理方法，該方法包含：

(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；

(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液溶液中；

(c)藉著將該金屬電化學溶解至該電解液溶液中而自該半導體基板電化學移除該金屬的至少一部分並同時改善該金屬的均勻度；及

(d)將該電解液溶液的黏度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該電解液溶液的該黏度不會波動離該目標位準超過一預定量。

【第126項】如申請專利範圍第125項之一或多片半導體基板的處理方法，更包含在(d)之後，在該相同的電化學金屬移除設備中依序自複數半導體基板電化

學移除該金屬並同時改善該金屬之均勻度及同時將該電解液溶液的該黏度維持在該目標位準，俾使在自該複數基板電化學移除該金屬的過程期間該電解液溶液的該黏度不會波動離該目標位準超過一預定量。

【第127項】 一種一或多片半導體基板的處理方法，該方法包含：

(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；

(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中，其中該電解液包含欲自該半導體基板移除之相同金屬的離子，該離子的濃度至少約10 g/L；及

(c)藉著將該金屬電化學溶解至該電解液溶液中而自該半導體基板電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度。

【第128項】 如申請專利範圍第127項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該電解液係配置成在該金屬係電化學溶解至該電解液中時增加黏度。

【第129項】 如申請專利範圍第127項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該金屬為銅且該電解液溶液包含銅離子、及選自 由磷酸及HEDP所組成之群組的一酸。

【第130項】 如申請專利範圍第127項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該電解液中之該金屬離子的該濃度至少約為40 g/L。

【第131項】 如申請專利範圍第127項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該電解液具有至少約4厘泊的一黏度。

【第132項】 如申請專利範圍第127項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該電解液具有至少約7厘泊的一黏度。

【第133項】 如申請專利範圍第127項之一或多片半導體基板的處理方法，其中在(a)中所提供之該半導體基板之該工作表面更包含受到暴露之一介電材料，

且其中受到暴露之該金屬包含藉由受到暴露之該介電材料下方之一導電層所連接之複數受到暴露之金屬特徵部。

【第134項】一種一或多片半導體基板的處理方法，該方法包含：

(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；

(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；及

(c)自該半導體基板電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度，及同時在該電化學金屬移除設備的一陰極處產生H_2並同時阻擋H_2泡泡接觸受到陽極化偏壓的該半導體基板。

【第135項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，其中(c)更包含在該陰極處將金屬離子還原為金屬。

【第136項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，其中藉由位於受到陽極化偏壓之該半導體基板與一陰極之間的一離子可透過之分離件阻擋H_2泡泡接觸該半導體基板。

【第137項】如申請專利範圍第136項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該離子可透過之分離件係由一親水性材料所製成。

【第138項】如申請專利範圍第136項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該離子可透過之分離件為具有一個 面陰極表面的一錐形薄膜，其係用以引導氫氣泡泡朝向一陰極室之一壁中的一開口。

【第139項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，更包含自該電解液分離H_2。

【第140項】如申請專利範圍第139項之一或多片半導體基板的處理方法，其中在一沉靜室中自該電解液分離H_2。

【第141項】如申請專利範圍第140項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該沉靜室係位於一陰極電解液再循環迴路中。

【第142項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，更包含在一沉靜室中以一惰性氣體稀釋H_2。

【第143項】如申請專利範圍第142項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該惰性氣體為N_2。

【第144項】如申請專利範圍第142項之一或多片半導體基板的處理方法，更包含自該沉靜室移除經稀釋的H_2。

【第145項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該電解液具有至少約4厘泊的一黏度。

【第146項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該電解液具有至少約7厘泊的一黏度。

【第147項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該電解液包含磷酸及/或HEDP。

【第148項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該陰極 為一惰性陰極。

【第149項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該金屬為銅。

【第150項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，其中在(a)中所提供之該半導體基板之該工作表面更包含受到暴露之一介電材料，且其中受到暴露之該金屬包含藉由受到暴露之該介電材料下方之一導電層所連接之複數受到暴露之金屬特徵部。

【第151項】如申請專利範圍第134項之一或多片半導體基板的處理方法，更包含在一陰極電解液再循環迴路中再循環一陰極電解液及在一陽極電解液再循

環迴路中再循環一陽極電解液，其中H_2係自該陰極電解液再循環迴路中的該陰極電解液移除。

【第152項】如申請專利範圍第151項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路具有一共用電解液儲槽。

【第153項】如申請專利範圍第151項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該陰極電解液再循環迴路包含用以自該陰極電解液移除H_2的一沉靜室，且其中該陰極電解液係於移除H_2後才輸送至該共用電解液儲槽。

【第154項】如申請專利範圍第153項之一或多片半導體基板的處理方法，其中該沉靜室與該電解液儲槽係結合於一組件中。

【第155項】一種半導體基板的處理方法，該方法包含：

(a)將一半導體基板提供至一電鍍設備中，該半導體基板具有複數通遮罩凹陷特徵部及在每一該通遮罩凹陷特徵部之一底部處具有一暴露的導電晶種層；

(b)在該電鍍設備中，利用包含一金屬鹽、一酸與一或多種改善電鍍之均勻度用之電鍍添加物的一電鍍電解液，將一金屬至少部分填充該複數通遮罩凹陷特徵部，其中在一第一通遮罩特徵部中之一填充速率與在一第二通遮罩特徵部中之一填充速率之間的一比值為R1；

(c)將該基板傳送至電化學金屬移除用的一設備；及

(d)藉著在一電解液中自該複數通遮罩金屬特徵部電化學移除該金屬之一部分而改善已經電鍍之該金屬的均勻度，該電解液具有至少約4厘泊的一黏度且係不同於該電鍍電解液，其中該第一通遮罩特徵部中之一電化學金屬移除速率與該第二通遮罩特徵部中之一電化學金屬移除速率的一比值係大於R1。

【第156項】如申請專利範圍第155項之半導體基板的處理方法，其中該電鍍電解液包含一金屬鹽、選自 由硫酸與烷磺酸所組成之群組的一酸、及選自 由電鍍抑制劑與電鍍整平劑所組成之群組的一添加物。

【第157項】如申請專利範圍第156項之半導體基板的處理方法，其中在該電化學金屬移除期間所用的該電解液包含磷酸及/或HEDP。

【第158項】如申請專利範圍第155項之半導體基板的處理方法，其中該經改善的均勻度為晶粒內均勻度。

【第159項】如申請專利範圍第155項之半導體基板的處理方法，其中該經改善的均勻度為晶粒內均勻度與特徵部內均勻度兩者。

【第160項】如申請專利範圍第155項之半導體基板的處理方法，更包含在該金屬填充期間沿著平行於該半導體基板之工作表面的一方向提供該電鍍電解液的一橫流。

【第161項】如申請專利範圍第155項之半導體基板的處理方法，更包含在該電化學金屬移除期間沿著平行於該半導體基板之工作表面的一方向提供電化學金屬移除電解液的一橫流。

【第162項】一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，該設備包含：

(a) 一容器，在自一受到陽極化偏壓之半導體基板電化學金屬移除期間用以容納一電解液與一氫氣生成陰極，該容器包含用以容納受到陽極化偏壓之該半導體基板的一陽極室、及用以容納該氫氣生成陰極的一陰極室；

(b)介於該陽極室與陰極室之間的一離子可透過之分離件，其中該離子可透過之分離件係用以抑制或避免氫氣泡泡自該陰極室轉移至該陽極室；

(c) 一半導體基板支撐件，用以支撐受到陽極化偏壓之該半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該氫氣生成陰極分離；及

(d)與該陰極室呈流體連接的一沉靜室，其中該沉靜室係用以自該陰極室接收一陰極電解液及使該氫氣泡泡自所接收的該電解液分離並移除該氫氣泡泡。

【第163項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備係用以自該陰極室移除該H_2泡泡。

【第164項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該陰極室包含用以自該陰極室移除一部分之該陰極電解液及H_2的一出口。

【第165項】如申請專利範圍第164項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該出口係位於該離子可透過之分離件及該陰極室之側壁之間的一界面附近。

【第166項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中 該離子可透過之分離件為錐形且配置成俾使該錐的一頂點比該錐的剩餘部分更靠近該氫氣生成陰極。

【第167項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該離子可透過之分離件係由一親水性材料所製成。

【第168項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含一電解液再循環迴路，且其中該沉靜室為該電解液再循環迴路的一部分。

【第169項】如申請專利範圍第168項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該電解液再循環迴路包含一電解液儲槽，且其中該沉靜室與該儲槽形成一單一組件，且該設備係用以在自該電解液至少部分移除H_2後將該電解液輸送至該儲槽。

【第170項】如申請專利範圍第168項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該儲槽包含用以自該電解液過濾該H_2泡泡的一或多個過濾元件。

【第171項】如申請專利範圍第170項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該一或多個過濾元件係連接至一泵浦，其中該泵浦係用以藉著產生比儲槽中之壓力更低的壓力而將該電解液汲取至該一或多個過濾元件中。

【第172項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含一陰極電解液再循環迴路與一陽極電解液再循環迴路，其中該沉靜室係位於該陰極電解液再循環迴路中，且其中一儲槽係由該陰極電解液再循環迴路與該陽極電解液再循環迴路所共用。

【第173項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含分離的一陰極電解液再循環迴路與一陽極電解液再循環迴路，其中該沉靜室係位於該陰極電解液再循環迴路中，且一陽極電解液儲槽係位於該陽極電解液再循環迴路中。

【第174項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備具有用以將流體添加至該陰極電解液的一入口。

【第175項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備具有用以將流體添加至一陽極電解液的一入口。

【第176項】如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含用於下列者的一陰極電解液再循環迴路：

(i)自該陰極室將具有H_2泡泡的該陰極電解液的一部分移除；

(ii) 在該沉靜室中自該陰極電解液分離H_2、以一惰性氣體稀釋H_2、及自該設備移除經稀釋的H_2；

(iii)自該沉靜室將該陰極電解液傳輸至一電解液儲槽，其中該電解液儲槽及該沉靜室係組合於一單一組件中；

(iv)將一或多種陰極電解液成分添加至該電解液儲槽中的該陰極電解液中；

(v)過濾該陰極電解液；及

(vi)使經過過濾的該陰極電解液返回至該陰極室。

【第177項】 如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含用於下列者的一陽極電解液再循環迴路：

(i)自該陽極室移除一陽極電解液之一部分並將其引導至一電解液儲槽；

(ii)將一或多種陽極電解液成分添加至該電解液儲槽中的該陽極電解液中；

(v)過濾該陽極電解液；及

(vi) 使經過過濾的該陽極電解液返回至該陽極室。

【第178項】 如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備更包含用以自該沉靜室接收該電解液的一電解液儲槽，其中該設備係用以將該電解液自該儲槽引導至該容器。

【第179項】 如申請專利範圍第162項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該沉靜室包含用以接收一稀釋劑氣體流的一入口及用以自該沉靜室移除經稀釋之氫氣的一出口。

【第180項】 如申請專利範圍第179項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中 該稀釋劑氣體為N_2。

【第181項】 如申請專利範圍第179項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中 使該經稀釋的H_2氣體選擇路線而使其被汲取至一排放件。

【第182項】 如申請專利範圍第27項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備係用以將一流體添加至該陽極室及該陰極室之外的一電解液儲槽接著將該流體輸送至該陰極室。

【第183項】 如申請專利範圍第182項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備係更用以經由該陽極室中的一入口而將一流體添加至該陽極室。

【第184項】如申請專利範圍第183項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中被添加至該陽極室的該流體係先被添加至該容器外部的一電解液儲槽中然後再被傳輸至該陽極室。

【第185項】一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，該設備包含：

(a)一容器，在自半導體基板電化學金屬移除期間用以容納一電解液與一陰極，其中該設備係用以在該電化學金屬移除期間陽極化偏壓該半導體基板；

(b)一半導體基板支撐件，用以支撐該半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該陰極分離；

(c)該容器中的一入口，用以將一稀釋劑添加至該容器；

(d)該容器中的一出口，用以自該容器移除該電解液；及

(e)至少兩個量測裝置，用以在該電化學金屬移除期間量測該電解液中之金屬離子的一濃度與酸的一濃度。

【第186項】如申請專利範圍第185項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，更包含與該至少兩個量測裝置通訊的一控制器，其中該控制器係用以調節對該容器之該稀釋劑的添加及自該容器之該電解液的移除以在自該半導體基板電化學金屬移除期間維持該電解液中之該金屬離子的一目標濃度，俾使該金屬離子的該濃度不會波動離該目標濃度超過5%。

【第187項】如申請專利範圍第185項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該兩個量測裝置為一密度計及一導電率儀。

【第188項】如申請專利範圍第185項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該兩個量測裝置為一光吸收計及一導電率儀。

【第189項】如申請專利範圍第185項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，更包含與該容器之該入口與該出口呈流體交流的一電解液儲槽。

【第190項】如申請專利範圍第185項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該容器包含藉由一離子可透過之分離件分離的一陽極室與一陰極室、一陽極電解液再循環迴路、及一陰極電解液再循環迴路。

【第191項】如申請專利範圍第190項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路具有一共用儲槽。

【第192項】如申請專利範圍第186項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該控制器係用以在自複數半導體基板依序移除金屬的過程期間連續將該電解液中之該金屬離子的該濃度維持在一目標濃度並使其不會波動超過5%。

【第193項】如申請專利範圍第186項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該控制器係用以在自複數半導體基板依序移除金屬的過程期間連續將該電解液中之該酸的該濃度維持在一目標濃度並使其不會波動超過2%。

【第194項】如申請專利範圍第185項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，更包含與該容器呈流體交流的一稀釋劑源。

【第195項】如申請專利範圍第185項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含與該容器呈流體交流的一電解液儲槽，其中該儲槽包含用以自該容器接收該電解液的一第一入口、用以將該電解液傳輸至該容器的一第一出口、用以自一稀釋劑源接收一稀釋劑的一第二入口、及用以將該電解液移除至一排放件的一第二出口。

【第196項】如申請專利範圍第195項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該電解液儲槽係與用以自該電解液分離氫氣泡泡的一沉靜室呈流體交流，其中該設備係用以經由該沉靜室將來自該容器的該電解液輸送至該電解液儲槽。

【第197項】如申請專利範圍第196項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該電解液儲槽與該沉靜室皆為一小型組件的部件。

【第198項】 如申請專利範圍第195項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該儲槽包含用以過濾氫氣泡泡的一濾件，其中該濾件係與該儲槽的該第一出口呈流體耦合，且其中該第一出口係流體耦合至用以將來自該電解液儲槽之該電解液引導至該容器的一泵浦。

【第199項】 如申請專利範圍第195項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該容器包含一陽極室與一陰極室，且其中來自該電解液儲槽的該第一出口係流體連接至：用以將來自該儲槽之該電解液傳輸至該陽極室的一第一電解液輸送線，及用以將來自該儲槽之該電解液傳輸至該陰極室的一第二電解液輸送線。

【第200項】 如申請專利範圍第195項之自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中用以將一稀釋劑添加至該容器之該容器中的該入口係流體耦合至該儲槽之該第一出口的一入口，且其中該稀釋劑為來自該儲槽之一經稀釋的電解液。

【第201項】 一種電化學金屬移除用之陰極，該陰極具有一大致碟形的主體並包含在該陰極之一導電表面上的複數非導電性固定元件，其中該複數固定元件係建構成可附接至一或多個柄。

【第202項】 一種電化學金屬移除用的設備，包含一陰極，其中該陰極包含：

(a)複數通道，其中該複數通道係用以使一電解液流過該陰極的主體；及

(b)在該陰極之邊緣處的複數凹口，其中該陰極具有大致碟形的主體。

【第203項】 一種電化學金屬移除用的設備，包含一陰極，其中該陰極具有一大致碟形的主體並包含在該陰極之一導電表面上的複數非導電性固定元件，其中該複數固定元件係建構成可附接至一或多個柄。

【第204項】 一種電化學金屬移除用之電解液的製作方法，其包含：

(a) 將金屬氧化物及/或金屬氫氧化物溶解於磷酸中；及

(b)將(a)後所獲得的一溶液與比(a)中所用之該磷酸更濃的一磷酸結合，其中所形成之電解液具有至少約4厘泊的黏度。

【發明說明書】

【中文發明名稱】通遮罩互連線製造中的電氧化金屬移除

【英文發明名稱】ELECTRO-OXIDATIVE METAL REMOVAL IN THROUGH MASK INTERCONNECT FABRICATION

【技術領域】

【0001】本發明係關於利用電化學金屬移除來改善金屬層之均勻度的設備與方法。在一實施例中，本發明係關於晶圓內均勻度、晶粒內均勻度及/或通遮罩電鍍特徵部之特徵部內均勻度的改善設備與方法。

【先前技術】

【0002】通遮罩電鍍為在半導體裝置製造中於多個處理方案中形成金屬凸塊及柱的方法。使用通遮罩電鍍之標準處理中的一者涉及下列步驟。首先以薄導電晶種層材料(如 Cu 或 Ni 晶種層)覆蓋基板(如具有平坦裸露表面的半導體基板)，其中薄導電晶種層材料可以任何適合的方法沉積，例如物理氣相沉積(PVD)。接下來，將非導電性的遮罩層，如光阻，沉積在晶種層上然後對其圖案化以定義凹陷特徵部，其中圖案化裸露了每一凹陷特徵部之底部處的晶種層。在圖案化後，基板之裸露表面包含在場區域中的非導電性遮罩的部分及凹陷特徵部之底部部分處的導電晶種層。

【0003】接下來，進行通遮罩電鍍(或在光阻的情況中進行通光阻電鍍)。在通光阻電鍍中，基板被置於電鍍設備中俾以對晶種層建立電接觸，大部分通常位於基板之外緣處。設備容納陽極及包含欲電鍍之一或多種金屬之離子的電解液。基板受到陰極偏壓並被浸沒於電解液中，其中如方程式(1)中所示來自電

解液的金屬離子在基板表面處受到還原，其中 M 為金屬(如銅)而 n 為在還原期間被轉移的電子數。

$$M^{n+} + ne \rightarrow M^{0} \qquad (1)$$

【0004】 由於導電晶種層僅於凹陷特徵部之底部處受到暴露，電化學沉積僅在凹陷特徵部內發生而(在凹陷特徵部填滿金屬之前)不會在場(field)上發生，這導致在光阻層嵌入了許多填入金屬的凹陷。

【0005】 在電鍍後，藉由例如傳統的濕式或乾式剝除方法移除遮罩，藉此提供具有許多獨立的金屬凸塊或柱的基板。

【0006】 文中的先前技術段落的目的在於大致上呈現本發明的背景。在此先前技術段落中所提及之本發明人的作品以及在申請時不能算作是先前技術的說明並非為本發明人明示或暗示自認之與本發明相對的先前技術。

【發明內容】

【0007】 提供一種方法及設備，利用電氧化處理改善半導體基板上之金屬層之均勻度，尤其是改善填充金屬之通遮罩特徵部之均勻度。文中所提供的該方法及設備能大幅減少橫跨整個晶圓、橫跨晶粒及/或填充金屬之特徵部內的金屬厚度變異性。此外，在某些實施例中，對於獲得具有目標均勻度之金屬層的目的而言，如文中所述進行金屬電沉積再進行電平坦化之設備的生產率可比僅用於電沉積之設備的生產率大 1.5-2 倍。在某些實施例中，電平坦化可以至少約 2 微米/分鐘（如介於約 5-10 微米/分鐘）的快速金屬移除速率進行且可在沉積速率至少約 1 微米/分鐘（如介於約 2-3 微米/分鐘）之相對快速之金屬電沉積之後進行。

【0008】 在一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，

其中該工作表面包含受到暴露之一金屬(如銅)；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；(c)藉由非半導體基板旋轉的一方法沿著實質上平行於該半導體基板之該工作表面的一方向提供與該半導體基板之該工作表面接觸的一電解液橫流的同時，電化學移除受到暴露之該金屬的一部分並改善該金屬的一均勻度。在某些實施例中，旋轉可對該電解液流有所貢獻，但該電解液流之至少某些部分係利用非旋轉之一方法所產生。在某些實施例中，針對該電化學金屬移除之時間的至少 50%提供該電解液橫流。

【0009】 在某些實施例中，在(a)中所提供之該半導體基板之該工作表面更包含受到暴露之一介電材料，且受到暴露之該金屬包含藉由在受到暴露之該介電材料下方之一導電層(如一金屬晶種層)所連接之複數受到暴露之金屬特徵部(如通遮罩之特徵部)。例如，在(a)中所提供之該半導體基板之該工作表面可包含受到暴露之一光阻(如受到暴露之介電材料)且該基板可包含複數已填充銅的特徵部，該複數已填充銅的特徵部具有至少約 1：1 的一深寬比(該深度包含該特徵部之已填充及未填充部分)並藉由在受到暴露之該光阻下方之一導電層所連接，其中該複數已填充銅的特徵部係被銅填充至至少約 50%。

【0010】 由所提供之該電化學金屬移除所改善之該均勻度可包含晶圓內均勻度、晶粒內均勻度、及特徵部內之均勻度中的一或多者。在某些實施例中，該電化學金屬移除改善晶粒內均勻度與特徵部內均勻度二者。

【0011】 在一實施例中，提供該電解液橫流之步驟包含使該電解液流經該設備的一入口並流出該設備的一出口，其中該入口與該出口係設置於該半導體基板之該工作表面之方位角相對的周長位置附近。在某些實施例中，提供該電解液橫流的步驟包含以一往復槳動作（paddle motion）形成該橫流。在某些實施例中，提供該電解液橫流的步驟包含自實質上垂直於該半導體基板之該工作表面之一方向的一衝擊流移轉一電解流至該橫流。在某些實施例中，該電解液橫

流係於具有 10 mm 或更小之一寬度的一間隙中加以提供，其中該間隙係介於一離子電阻性離子可滲透之元件與該基板的該工作表面之間。在一實施例中，該間隙具有側壁、一入口及一出口，且該電解液在該間隙中自該入口沿著實質上平行該基板之該工作表面的方向流至該出口。

【0012】 較佳地，該電解液橫流具有橫跨該基板之該工作表面的一中心點至少約 3 公分/秒（如至少約 10 公分/秒）的一速度(在靠近該基板中心附近該電解液中沿著橫跨該基板中心並平行該基板之該工作表面的方向)。在某些實施例中，該方法更涉及在該電化學金屬移除期間以介於約 1 至 30 rpm 的一旋轉速率旋轉該半導體基板。

【0013】 在某些實施例中，該方法涉及處理具有複數通遮罩之特徵部的一基板，且該方法涉及：在(a)及該電化學金屬移除之前電鍍一金屬至複數凹陷特徵部中至一厚度，該厚度比在(c)後該電化學金屬移除後所獲得之金屬的一目標厚度至少高 10%。在某些實施例中，將該金屬電鍍至該複數凹陷特徵部至一厚度，該厚度比該目標厚度高約 20-30 %。在某些實施例中，電鍍係於不同於用於該電化學金屬移除中所使用之該電解液的一電解液中進行，且在某些實施例中，該電鍍與該電化學金屬移除係於不同的池中進行。

【0014】 在許多實施例中該電化學金屬移除較佳使用黏性的水系或含水電解液。例如，在某些實施例中，該電解液為一黏度至少約 4 厘泊，如至少約 7 厘泊的一導電黏性液體。在包含黏性電解液的某些實例中，該電解液包含水及一濃縮的黏性酸，如磷酸及/或 1-羥基亞乙基-1,1 二膦酸(HEDP)。在某些實施例中，該電解液係配置以使其能形成能抵抗形成沉澱物之金屬鹽的高過飽和溶液。當在一長及緩慢的處理後在此類電解液中真的形成一沉澱物，該沉澱物具有非晶及/或水合材料的微細粒子形式而非大結晶的形式。在某些實施例中，初始針

對將該半導體基板浸沒至該電化學金屬移除所提供的該電解液包含：在該基板之該工作表面上所裸露之相同金屬的金屬離子。

【0015】在某些實施例中，包含複數通遮罩之凹陷特徵部之一基板係藉由如下方式處理：首先利用一電鍍電解液將金屬電鍍至該半導體基板上的該複數凹陷特徵部中，其中該電鍍電解液包含一金屬鹽、一酸及選自由一整平劑與一抑制劑所組成群組至少一電鍍添加物；然後如文中所述進行電化學移除金屬並改善均勻度，其中在該電化學金屬移除期間所用的一電解液係不同於該電鍍電解液且具有至少約 4 厘泊的黏度。在某些實施例中，該電化學金屬移除所用之該電解液黏度係比該電鍍用的電解液黏度至少大 2 倍。在某些實施例中，該電化學金屬移除用的該電解液並無電化學抑制劑及整平劑。

【0016】在某些實施例中，電化學移除受到暴露之該金屬的一部分包含：(i)從由低於一臨界電位之一電蝕刻、高於該臨界電位之一電拋光、及低於該臨界電位之該電蝕刻其後接著高於該臨界電位之該電拋光所組成的群組，針對該電化學金屬移除選擇一狀態；及(ii)在該選定之狀態中電化學移除該金屬的一部分以改善該金屬的該均勻度。電化學移除受到暴露之該金屬之該部分較佳包含利用一參考電極監測靠近該半導體基板的一電位。

【0017】在某些實施例中，電化學移除受到暴露之該金屬之該部分的步驟包含將該電解液溶液中之該金屬離子的一濃度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約 5%。在某些實施例中，該方法更包含，在自一基板電化學金屬移除後，在相同的電化學金屬移除設備中依序自複數半導體基板電化學移除金屬，並同時改善金屬均勻度及將該電解液溶液中之該金屬離子的該濃度維持在一目標位準，俾使在自該複數基板電化學移除金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約 5%。

【0018】欲移除之該金屬的擴散係數為用以決定大致行為及用以控制文中所述之電化學金屬移除處理的重要參數之一。擴散係數會影響金屬的移除速率及電拋光過渡的電位。如下面將更詳細說明的，斯托克-愛因斯坦方程式顯示一離子的擴散係數及溶液黏度為強相關的。自該關係可見，黏度和擴散率之間大致上呈逆相關。例如，增加黏度會造成擴散率減少。擴散係數(及相關的離子物種遷移率)為決定一特徵部內及質量傳輸邊界層中之擴散質量傳輸的重要理化特性。黏度亦為決定電解液流速度之分佈與強度的理化特性，因此對於決定質量傳輸邊界層的尺寸及特徵部內之液流強度以及往返經歷處理之晶圓的一般質量傳輸對流而言是重要的。

【0019】在某些實施例中，該電化學金屬移除包含控制該電解液黏度，該電解液黏度為此處理中的關鍵理化特性其中之一。在某些實施例中，黏度控制係藉由下列方式進行：直接量測黏度(例如利用一黏度儀)及調整該黏度(例如藉由添加或移除該電解液流體)。在某些實施例中，該黏度係藉由下列方式控制：量測與該黏度相關且可輕易可靠地監測的其他巨觀變數。此類巨觀特性包含但不限於溶液導電度、密度、光吸收、可見光譜、UV 光譜、IR 光譜、溶液折射率或音速。量測到的特性可與該黏度相關聯，或在每一量測後不進行與該黏度之關聯的情況下維持量測到的數值接近目標值。在某些實施例中，可使用此些方案的組合或兩者。在某些實施例中，電解液控制方法包含量測每一電解液物種的濃度並將其數值維持在目標值(如該目標值的約 10%內或約 5%內)，俾使該黏度合於目標。在某些實施例中，電化學移除受到暴露之該金屬的該部分包含將該電解液溶液的該黏度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除金屬的過程期間該黏度不會波動離該目標位準超過一預定量。該黏度係取決於該電解液溶液的水含量、酸含量、及/或金屬離子含量。更多水傾向於減少該黏度，但更多的酸或金屬傾向於增加該黏度。在該電解液黏度低的某些實施例中，該方

法涉及移除水(如藉由蒸發)以將該黏度恢復至該目標位準。在某些情況中，該電解液黏度係藉由下列方式維持：使所有成分的濃度隨時間維持常數(例如藉由替換濃度低於該目標濃度的電解液成分、及藉由利用成分濃度落在該目標規格內的一電解液替換具有偏離目標特性的電解液)。在其他的情況中，可利用兩種分開的溶液添加酸及/或金屬離子以維持該電解液黏度，其中第一溶液比第二溶液具有一較高的酸濃度，且該第二溶液比該第一溶液具有一較高的金屬離子濃度。在該電化學金屬移除期間所用的陰極材料及金屬移除條件，在某些實施例中會導致在該電化學金屬移除期間於該陰極處產生氫氣(H_2)。在某些實施例中，該陰極材料及該金屬移除條件會因為金屬離子自該電解液還原導致金屬電沉積在電極上。在某些實施例中，在該基板電化學金屬移除的期間會存在 H_2 在該陰極處生成及金屬電沉積至該陰極上兩種現象。在一實施例中，受到陽極化偏壓的基板及該陰極係藉由一離子可透過之分離件所分離，該離子可透過之分離件能避免在該陰極處所產生的氫氣泡泡及/或金屬粒子接觸該基板。在某些實施例中，電化學移除該金屬的該部分之步驟包含在電化學金屬移除設備的一陰極處產生 H_2 並自該電解液分離 H_2 而不允許 H_2 接觸該半導體基板。在一實施例中，電化學金屬移除設備包含一離子可透過之分離件，該離子可透過之分離件係用以阻擋 H_2 泡泡自一陰極室移動至一陽極室。在某些實施例中，該方法更包含在一沉靜室（stilling chamber）中以一惰性氣體稀釋 H_2 並自該沉靜室移除經稀釋的 H_2。一實施例包含在該電化學金屬移除期間利用一或多個再循環迴路再循環該電解液，其中該一或多個再循環迴路包含用以將氫氣泡泡自該電解液分離的一沉靜室及一電解液儲槽。在一實例中，該沉靜室與該儲槽係位於一組件中。

【0020】 在某些實施例中，自受到陽極化偏壓之該基板電化學移除該金屬的一部分的步驟包含自一含金屬之電解液將金屬電沉積至該陰極上。例如，當自該基板移除銅時，可自該電解液將銅電沉積至該陰極上。在涉及將金屬電沉

積至該陰極上的某些實施例中，該設備亦在受到陽極化偏壓的該基板與該陰極之間使用一離子可透過之分離件，產生一陽極室與一陰極室。該設備在一實施例中係用以引導電解液流流經該陰極或在該陰極附近流動並用以阻擋粒子到達該晶圓基板。該粒子係由一離子導電薄膜(或當受到該電解液潤濕時變得離子導電的薄膜)所阻擋，該離子導電薄膜有助於引導該流體藉由該陰極室的一出口而流出該陰極室及/或流經該薄膜。在一實施例中，所提供的該方法也包含：在該電化學金屬移除期間利用一或多個再循環迴路再循環該電解液，其中該一或多個再循環迴路包含一外部浴儲槽、一泵浦、一濾件、及選擇性的一除氣設備(用以移除如氮氣及氧氣之已溶解之氣體的一設備)。

【0021】所提供的方法可用以改善數個基板上的均勻度，但尤其有助於具有不同特徵部密度之區域的基板以及具有不同深寬比及/或寬度之特徵部的基板。在一實施例中，在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部，其中該基板包含至少一孤立特徵部及至少兩個緻密特徵部，其中一第一緻密特徵部係以一第一距離與靠其最近的特徵部分離，且一第一孤立特徵部係以一第二距離與靠其最近的特徵部分離，該第二距離比該第一距離大至少兩倍。在一實施例中，在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部且包含具有一第一寬度的第一通遮罩特徵部及具有一不同之第二寬度的一第二通遮罩特徵部。在一實施例中，在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部且包含具有一第一深寬比之凹陷的一第一通遮罩特徵部及具有一不同之第二深寬比之凹陷的一第二通遮罩特徵部。在一實例中，凹陷之深寬比之間的差異為有效深寬比之間的差異，該有效深寬比之間的該差異係因複數下層中的一地貌變異所獲得。在某些實施例中，在(a)中所提供的該半導體基板包含複數通遮罩之特徵部且包含具有一第一寬度與一第一深寬比之凹陷的一第一通遮罩特徵部、具有一第二寬度與一第二深寬比之凹陷的一第二通遮罩特徵部、具有一第三寬度與

一第三深寬比之凹陷的一第三通遮罩特徵部、及具有一第四寬度與一第四深寬比之凹陷的一第四通遮罩特徵部，其中該第二寬度係不同於該第一寬度且凹陷的該第四深寬比係不同於凹陷之該第三深寬比。

【0022】 在另一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含複數通遮罩金屬特徵部；(b)從由低於一臨界電位之一電蝕刻、高於該臨界電位之一電拋光、及低於該臨界電位之該電蝕刻其後接著高於該臨界電位之該電拋光所組成的群組，針對該電化學金屬移除選擇一狀態；及(c)在該選定之狀態中自該複數通遮罩金屬特徵部電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度。

【0023】 在另一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；及(c)藉著在低於一臨界電位的電蝕刻狀態中移除該金屬接著藉著在高於該臨界電位的一電拋光狀態中移除該金屬，電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度。在一實施例中，該金屬為銅且該電化學金屬移除包含在介於約 0.1 V - 0.7 V 之一電位處的一電蝕刻及接續之在介於約 0.7 V - 2.0 V 之一電位處的一電拋光，其中該電位係相對於一銅參考電極量測，且其中在電拋光期間所用之電位係高於在該電蝕刻期間所用之電位。

【0024】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液溶液中；(c)藉著將該金屬

電化學溶解至該電解液溶液中而自該半導體基板電化學移除該金屬的至少一部分並同時改善該金屬的均勻度；及(d)將該電解液溶液中之金屬離子的一濃度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該金屬離子的該濃度不會波動離該目標位準超過約 5%。

【0025】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液溶液中；(c)藉著將該金屬電化學溶解至該電解液溶液中而自該半導體基板電化學移除該金屬的至少一部分並同時改善該金屬的均勻度；及(d)將該電解液溶液的一黏度維持在一目標位準，俾使在自該基板電化學移除該金屬的過程期間該電解液溶液的該黏度不會波動離該目標位準超過一預定量。

【0026】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中，該電解液包含欲自該半導體基板移除之相同金屬的離子，該離子的濃度至少約 10 g/L；及(c)藉著將該金屬電化學溶解至該電解液溶液中而自該半導體基板電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度。

【0027】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；及(c)自該半導體基板電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度，且同時在該電化學金

屬移除設備之一陰極處產生 H_2 並同時阻擋 H_2 泡泡接觸受到陽極化偏壓的該半導體基板。

【0028】 在另一態樣中，提供一種一或多片半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有一工作表面的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中，其中該工作表面包含受到暴露之一金屬；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之該工作表面浸沒至一電解液中；及(c)自該半導體基板電化學移除該金屬的一部分並同時改善該金屬的均勻度，其中該設備包含容納受到陽極化偏壓之該基板的一陽極室及容納一陰極的一陰極室，其中該陽極室與該陰極室係藉由一離子可透過之薄膜而彼此分離。在一實施例中，該方法包含當自該基板電化學移除該金屬時同時將該金屬電沉積至該陰極上。在另一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有複數通遮罩金屬特徵部的一半導體基板提供至用於電化學金屬移除的一設備中；(b)陽極化偏壓該半導體基板並將該半導體基板之一工作表面浸沒至一電解液中；及(c)自該複數通遮罩金屬特徵部移除該金屬的一部分俾以減少個別通遮罩特徵部內的金屬厚度變異。

【0029】 在另一態樣中，提供一種半導體基板的處理方法，其中該方法包含：(a)將具有複數通遮罩凹陷特徵部及在每一該通遮罩金屬特徵部之一底部處具有一裸露導電晶種層的一半導體基板提供至一電鍍設備中；(b)在該電鍍設備中利用包含一金屬鹽、一酸與一或多種改善電鍍之均勻度用之電鍍添加物的一電解液，將該複數通遮罩凹陷特徵部以一金屬至少部分地填充，其中一第一通遮罩特徵部中之一填充速率與一第二通遮罩特徵部中之一填充速率之間的一比值為 R1；(c)將該基板傳送至電化學金屬移除用的一設備；及(d)藉著在一電解液中自該複數通遮罩金屬特徵部電化學移除該金屬之一部分而改善已經電鍍之該金屬的均勻度，該電解液具有至少約 4 厘泊的一黏度且係不同於該電鍍電解液，

其中該第一通遮罩特徵部中之一電化學金屬移除速率與該第二通遮罩特徵部中之一電化學金屬移除速率的一比值係大於 R1。

【0030】 所提供的方法可與用以圖案化半導體基板上之膜層的微影技術整合。在某些實施例中，所提供的方法更包含：塗佈一光阻至該半導體基板上；對該光阻曝光；圖案化該光阻並將該圖案轉移至該半導體基板；及選擇性自該半導體基板移除該光阻。

【0031】 在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a)在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極的一容器；(b) 一半導體基板支撐件，用以支撐該半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該陰極分離；(c)用以提供沿著實質上平行該半導體基板之該工作表面之一方向與該半導體基板之該工作表面接觸之一電解液橫流的一機構，其中該機構係不同於用以旋轉該半導體基板的一機構；及(d)用以量測靠近該半導體基板之一電位、或一等效電位的一參考電極。

【0032】 在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，用於在自一受到陽極化偏壓之半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一氫氣生成陰極，該容器包含用以容納受到陽極化偏壓之該半導體基板的一陽極室及用以容納該氫氣生成陰極的一陰極室；(b)介於該陽極室與陰極室之間的一離子可透過之分離件，其中該離子可透過之分離件係用以抑制或避免氫氣泡泡自該陰極室轉移至該陽極室；(c) 一半導體基板支撐件，用以支撐受到陽極化偏壓之該半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該氣體生成陰極分離；及(d)與該陰極室流體連接的一沉靜室，其中該沉靜室係用以自

該陰極室接收一陰極電解液及使該氫氣泡泡自所接收的該電解液分離並移除該氫氣泡泡。

【0033】在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一陽極室，在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一受到陽極化偏壓之半導體基板，其中該陽極室具有用以將一流體導至該陽極室的至少一入口；(b)一陰極室，用以容納一陰極，其中該陰極室具有用以將一流體導至該陰極室的至少一入口；及(c)介於該陽極室與該陰極室之間的一離子可透過之分離件。

【0034】在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，在自一受到陽極化偏壓之半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極基板，該容器包含用以容納該受到陽極化偏壓之半導體基板的一陽極室及用以容納該陰極的一陰極室，自該半導體基板移除之相同金屬物種係電沉積至該陰極上；(b)介於該陽極室與陰極室之間的一離子可透過之分離件；(c) 一半導體基板支撐件，用以支撐該受到陽極化偏壓之半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該陰極分離；及(d) 一電解液再循環迴路，與該陰極室呈流體連接，該電解液再循環迴路係用以自該陰極室接收一陰極電解液並過濾該陰極電解液。

【0035】在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極，該容器包含用以容納該半導體基板的一陽極室及用以容納該陰極的一陰極室，其中該設備係用以在該電化學移除金屬期間陽極化偏壓該半導體基板；(b)介於該陽極室與一陰極室之間的一離子可透過之分離件；及(c)一半導體基板支撐件，用以支撐該受到陽極化偏壓之半導體基板，俾使在自該

半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該氣體生成陰極分離；其中該設備係用以經由該陰極室中的一入口將流體添加至該陰極室。在某些實施例中，該陰極為一氫氣生成陰極，且該離子可透過之分離件阻擋氫氣與該基板接觸。在某些實施例中，該離子可透過之分離件阻擋可在該陰極處產生的粒子與該基板接觸。

【0036】在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極，該容器包含用以容納該半導體基板的一陽極室及用以容納該陰極的一陰極室，其中該設備係用以在該電化學移除金屬期間陽極化偏壓該半導體基板；(b)介於該陽極室與一陰極室之間的一離子可透過之分離件；(c) 一半導體基板支撐件，用以支撐該受到陽極化偏壓之半導體基板，俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該氣體生成陰極分離；其中該設備包含一陽極電解液再循環迴路與一陰極電解液再循環迴路，該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路具有一共用部分，其中該設備係用以自該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路之該共用部分分開輸送複數經定義量之該電解液至該陽極室與該陰極室。在另一實施例中，該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路具有一共用部分，但該設備係用以自該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路之非共用部分分開輸送複數經定義量之該電解液至該陽極室與該陰極室。例如，該陽極電解液再循環迴路可具有與該陽極電解液室流體連接之一專用的電解液儲槽，且該該陰極電解液再循環迴路可具有與該陰極電解液室流體連接之一分離的電解液儲槽。但在其他實施例中，該陽極電解液再循環迴路與該陰極電解液再循環迴路不具有共用部分。

【0037】在另一態樣中，提供一種自半導體基板電化學移除金屬的設備，其中該設備包含：(a) 一容器，在自該半導體基板電化學移除金屬期間用以容納一電解液與一陰極，其中該設備係用以在該電化學移除金屬期間陽極化偏壓該半導體基板；(b) 一半導體基板支撐件，用以支撐該半導體基板俾使在自該半導體基板電化學移除金屬期間該半導體基板之一工作表面浸沒於該電解液中並與該陰極分離；(c)在該容器中用以將一稀釋劑添加至該容器的一入口；(d)在該容器中用以自該容器移除該電解液的一出口；及(e)至少兩個量測裝置，用以在該電化學金屬移除期間量測該電解液中之金屬離子的濃度與酸的濃度。

【0038】在另一態樣中，提供一種設備，其中該設備包含電化學金屬移除用的一容器及包含用以執行文中所提供之任何方法之程式指令的一控制器。

【0039】在另一態樣中，提供一種系統，其中該系統包含文中所提供的任何設備及一步進機。

【0040】在另一態樣中，提供一種系統，其中該系統包含一電鍍設備及文中所述之任何電化學金屬移除用的設備。

【0041】在另一態樣中，提供一種非瞬變電腦可讀媒體，其包含用以執行文中所提供之任何方法的程式碼。

【0042】在另一態樣中，提供一種電化學金屬移除用之陰極，其中該陰極包含：(a)複數通道，該複數通道係用以使一電解液流過該陰極的主體；及(b)在該陰極之邊緣處的複數凹口。在某些實施例中，該陰極具有一大致碟形的主體。在某些實施例中，該複數通道係與在該陰極之導電表面上方延伸的非導電性管適配。

【0043】在另一態樣中，提供一種電化學金屬移除用之陰極，其中該陰極具有一大致上為碟形的主體且在該陰極的一導電表面上包含複數非導電性之固定元件，其中該複數固定元件係可附接至一或多個柄。在金屬被電沉積至該陰

極之表面上後可輕易自該設備移除此類陰極。在某些實施例中，該複數固定元件係設置在該大致上為碟形之陰極的不同徑向位置處。

【0044】 在另一態樣中，提供一種電化學金屬移除用的設備，其中該設備包含支撐如文中所述之一陰極的一容器。

【0045】 在另一態樣中，提供一種電化學金屬移除用之電解液的製作方法。在某些實施例中，該方法涉及將金屬氧化物及/或金屬氫氧化物溶解於磷酸中；接著將溶解該金屬氧化物及/或金屬氫氧化物後所獲得的一溶液與一較濃的磷酸結合，形成黏度至少約 4 厘泊的一電解液。下面將參考相關圖示更詳細說明本發明之此些與其他特徵與優點。

【圖式簡單說明】

【0046】 圖 1A-1D 為根據文中所揭露之一實施例之經歷處理之基板的概略橫剖面圖。

【0047】 圖 2A 為例示根據文中所揭露之一實施例之處理的處理流程圖。

【0048】 圖 2B 為根據一實施例之以如蕈菇之金屬突出物填充金屬後之基板的概略橫剖面圖。

【0049】 圖 2C 為在金屬填充及遮罩移除後結合了柱與介層窗之特徵部的概略側面圖。

【0050】 圖 2D 為在金屬填充及遮罩移除後結合了線與介層窗之特徵部的概略側面圖。

【0051】 圖 3A-3D 為經歷根據文中所揭露之一實施例之處理之基板的概略橫剖面圖。

【0052】 圖 4 之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例之處理。

【0053】 圖5A與5B之基板概略橫剖面圖分別例示決定晶粒內之非均勻度與特徵部內之非均勻度。

【0054】 圖6之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例之電化學金屬移除處理。

【0055】 圖7A與7B為接近基板之金屬移除設備之部分的概略橫剖面圖，其例示根據兩個不同之實施例的電解液流模式。

【0056】 圖8之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例之電化學金屬移除處理。

【0057】 圖9A之橫剖面圖例示受到電蝕刻的基板。

【0058】 圖9B之橫剖面圖例示受到電拋光的基板。

【0059】 圖9C為圖9B中之基板在電拋光後的橫剖面圖。

【0060】 圖10為用以估算用以決定電蝕刻與電拋光狀態之臨界電位之實驗I-V的圖。

【0061】 圖11為一系列實驗I-V的曲線，其例示臨界電位對電解液橫流速率的相依性。

【0062】 圖12例示決定臨界電位所用之兩個實驗圖。

【0063】 圖13之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例的電化學金屬移除處理。

【0064】 圖14之處理流程圖例示根據文中所揭露之一實施例的電化學金屬移除處理。

【0065】 圖15A為電蝕刻後之基板的概略橫剖面圖，其例示過蝕刻問題。

【0066】 圖15B –15E為根據文中所揭露之一實施例先經歷電蝕刻再經歷電拋光之基板的概略橫剖面圖。

【0067】圖 16A 為未進行電化學金屬移除所獲得之銅特徵部的 SEM 照片。

【0068】圖 16B 為在電拋光狀態中電平坦化之銅特徵部的 SEM 照片。

【0069】圖 16C 為在電蝕刻狀態中電平坦化之銅特徵部的 SEM 照片。

【0070】圖 16D 為先電蝕刻再電拋光電平坦化之銅特徵部的 SEM 照片。

【0071】圖 17 為根據文中所揭露之一實施例之一處理的處理流程圖。

【0072】圖 18 為根據文中所揭露之一實施例之一處理的處理流程圖。

【0073】圖 19A 為根據文中所揭露之一實施例之控制器連接的概圖。

【0074】圖 19B 為根據文中所揭露之一實施例之材料進入池及離開池的概圖。

【0075】圖 20 為根據文中所揭露之一實施例之電化學金屬移除設備之除鍍池的概略橫剖面圖。

【0076】圖 21 為根據文中所揭露之一實施例之離子電阻性離子可滲透之元件的上視圖，離子電阻性離子可滲透之元件具有橫流限制結構設置於其上。

【0077】圖 22A 為根據文中所揭露之一實施例之除鍍池之一部分的概略橫剖面圖，其例示自陰極室移除 H_2 泡泡。

【0078】圖 22B 為根據一替代性實施例之除鍍池的概略橫剖面圖，其例示一傾斜薄膜。

【0079】圖 23 為根據文中所揭露之一實施例之除鍍池之一部分的概略橫剖面圖。

【0080】圖 24 之概圖例示根據文中所揭露之一實施例之電化學金屬移除設備中的流體連接。

【0081】圖 25 之概圖例示根據文中所揭露之另一實施例之電化學金屬移除設備中的流體連接。

【0082】 圖 26 為根據文中所揭露之一實施例之與電解液儲槽一起顯示之沉靜室的概略橫剖面圖。

【0083】 圖 27 為根據文中所揭露之一實施例之電解液儲槽的概略橫剖面圖。

【0084】 圖 28A 為根據文中所揭露之一實施例之容納活性陰極之除鍍池之一部分的概略橫剖面圖。

【0085】 圖 28B 為圖 28A 中所示之除鍍池在將一層金屬沉積至活性陰極上後的橫剖面圖。

【0086】 圖 29A 為根據文中所揭露之一實施例之陰極的上視圖。

【0087】 圖 29B 為用以適配陰極中之通孔之管的一部分的圖。

【0088】 圖 29C 為圖 29A 所示之陰極的圖。

【0089】 圖 29D 為圖 29A 中所示之陰極的圖，其顯示附接至陰極以移除陰極的柄。

【0090】 圖 30 為根據文中所揭露之實施例之可用以施行操作之整合系統的概略上視圖。

【0091】 圖 31 為根據文中所揭露之實施例之可用以施行操作之另一整合系統的概略上視圖。

【0092】 圖 32 為根據文中所提供之一實例之計算模型化圖，其例示電解液移除速率為穩態銅濃度之函數的相依性。

【實施方式】

【0093】 在下面的敘述中將提供各種特定細節以提供對所述實施例的全面瞭解。然而熟知此項技藝者當明白，本發明之實施例可在缺乏此些特定細節

的情況下實施或利用替代性的元件或處理實施。在其他的情況下，不詳細說明習知的處理操作以免不必要地模糊本發明之實施例。

【0094】 提供改善半導體基板上之金屬層之均勻度的方法及設備。在本申請案中，「半導體晶圓」或「半導體基板」係指在其本體中任何處具有半導體材料的基板，應瞭解，半導體材料不必裸露。半導體基板可含形成在半導體材料上方的一或多種介電材料及導電層。半導體裝置業界中所用的晶圓通常為圓形半導體基板。實例包含具有 200、300、或 450 mm 直徑的晶圓。下面的詳細敘述說明晶圓上的沉積與蝕刻。然而，本發明之實施例不限於此。工作件可具有各種形狀、各種尺寸、及各種材料。除了半導體晶圓外，可受惠於本發明實施例的其他工作件包含各種物品如印刷電路板等。

【0095】 文中所提供的方法可用以改善各種金屬層（尤其是易適於電化學溶解的金屬如 Cu、Ni、Co、Sn、及包含此些金屬的合金）的均勻度。在某些實施例中，利用所提供的方法電平坦化貴重金屬及包含此些金屬的合金，如 Pd、Pt、Ag、Rh、Ru、Ir 及 Au。可利用所提供之方法電平坦化之合金的一實例為錫銀合金(如包含 5 原子%或更少之銀的合金)。

【0096】 當對半導體基板施加陽極偏壓時，根據方程式(2)所示的反應產生電化學溶解：

$$M^0 \rightarrow M^{n+} + ne^- \qquad (2)$$

【0097】 電化學金屬移除用的設備更包含電連接至電源的陰極，其中設備係用以在電化學金屬移除期間對陽極施加負偏壓。陰極自電解液還原金屬，金屬接著被電鍍至陰極表面及/或藉著自電解液還原質子而產生 H_2。在某些實施例中，選擇陰極俾以在不會大幅還原金屬離子的情況下實質上僅產生 H_2。在其他實施例中，選擇陰極俾以在不會產生 H_2 的情況下實質僅還原金屬離子。在更其他的實施例中，在陰極會發生大量的 H_2 生成及金屬離子還原。如文中所用，主

要地使其他反應超過金屬離子還原的陰極(如主要地生成 H_2)係稱為惰性陰極，而主要地將金屬離子還原成金屬的陰極係稱為活性陰極。惰性陰極通常包含對催化氫氣生成有貢獻的金屬，如鉑。活性陰極通常可具有任何可鍍的表面，如不銹鋼表面、銅表面等。應注意，處理條件，如電解液濃度及提供至陰極的功率，可影響氫氣生成與金屬離子還原反應之間的平衡。例如，當使用具有較高金屬濃度的電解液時較有利於金屬離子還原。

【0098】「電化學金屬移除」及「電化學回蝕」等詞在本文中可交換使用且係指自受到陽極偏壓的基板電化學溶解金屬。文中所用之「電平坦化」一詞為伴隨著任何類型之均勻度之改善(即任何類型之金屬厚度變異的縮減，包含晶圓級、晶粒級及特徵部級的厚度變異)之電化學金屬移除的上位化名詞。在後續將更詳細討論的不同之「電蝕刻」及「電拋光」狀態中可進行電化學金屬移除與電平坦化。

【0099】從本案的上下文可明白，文中所用的「特徵部」一詞係指基板上未填充、部分受到填充、或完全填充的凹陷。通遮罩之特徵部係指形成在介電遮罩層中（如光阻層中）之未填充、部分受到填充、或完全填充的凹陷特徵部，其中遮罩層在後續欲被移除。通遮罩之特徵部在底部處具有導電晶種層。換言之，具有未受填充或部分填充之通遮罩之特徵部的基板包含受到暴露之非連續性金屬層及受到暴露之介電材料層，其中受到暴露之非連續性金屬層係藉由介電材料層下方的導電層加以電連接。

【0100】在一態樣中，提供通遮罩之特徵部之均勻度的改善用之設備及方法。雖然所提供的方法及設備尤其有利於改善非連續性金屬層(如通遮罩金屬特徵部)的均勻度且主要係針對通光阻特徵部說明，但其亦可被用於改善連續性金屬層的均勻度。在某些實施例中，上述方法涉及自具有金屬層中之非均勻度的半導體基板電化學移除金屬，其中電化學回蝕可改善例如晶粒內均勻度、特徵

部內之均勻度及晶圓內均勻度中的至少一者，其中均勻度通常指金屬厚度的變異而改善涉及減少至少一種類型之金屬厚度變異性。不若化學機械拋光(CMP)，所提供的電化學方法不仰賴使用機械墊、與固體拋光儀器的物理接觸、及/或改善均勻度用的研磨漿，而是在金屬移除期間利用電解液流體動力學特性、電解液組成、及特定電化學狀態中的一或多者以達到均勻度改善。此處理的一個獨特特徵為，其能夠改善特徵部內、特徵部與特徵部之間、及全局的厚度均勻度並同時使特徵部在遮罩層內維持凹陷(如在部分受到填充之特徵部中)，且因此特徵部不會受到如 CMP 之機械研磨作用的影響。在某些實施例中，額外的優異特點在於，沒有來自於與作用在基板之表面或特徵部上之固體拋光儀器互動的物理力。在彼此之間缺乏支撐材料的孤立特徵部上作用的研磨力會導致個別的柱與線上的龐大機械剪切力，通常會造成柱與線在拋光處理中受到損害。

【0101】 在製造具有各種尺寸之特徵部之各種封裝內連線(包含銅線、重佈線(RDL))及不同尺寸之柱(如微柱、標準柱及整合高密度扇出(HDFO)及巨柱(mega pillar))的期間，可進行通遮罩之特徵部的均勻度改善。特徵部寬度的範圍廣泛，上述方法對較大的特徵部尤其有利，如寬度自約 1 - 300 μm 的特徵部，如自 5 μm (RDL)至約 200 μm (巨柱)。例如，在製造具有寬度約 20 μm 之複數微柱的基板或製造具有寬約 200 μm 之複數巨柱的基板期間可使用上述方法。在某些實施例中，特徵部的深寬比可在自約 1：2 (高比寬)至 2：1 及更高的比例的範圍之間變化。

【0102】 所提供的方法高度有利於平坦化包含具有不同直徑與節距(亦被稱為關鍵尺寸(CD))之複數特徵部的基板。在某些實施例中，基板包含具有第一直徑之第一特徵部及具有第二之不同直徑(如比第一直徑大至少 10%、50%或 100%的直徑)的第二特徵部。在某些實施例中，上述方法係用於電平坦化具有不同深寬比之複數特徵部的基板。例如，基板可包含具有第一深寬比的第一特徵

部及具有第二之不同深寬比(如第二深寬比第一深寬比至少大10%、50%或100%)的第二特徵部。在某些實施例中，基板可包含因基板上之下方形貌的變異而有不同有效深寬比的複數特徵部。例如，若基板包含配置在傾斜下方表面上之深寬比為 1：1 的兩個特徵部，相較於位在較薄部分之表面上的特徵部，位在較厚部分之表面上的特徵部會是較高地勢的特徵部且具有較低的有效深寬比。在某些實施例中，將所提供的電平坦化方法用於因特徵部下方形貌的變異而有地勢較低與地勢較高之特徵部(如第一特徵部具有第一有效深寬比而第二特徵部具有第二之不同的有效深寬比，舉例來說，第二有效深寬比可比第一有效深寬比大至少 10%、50%或 100%)的基板上。文中所用之「深寬比」一詞為一上位詞，其包含真實的深寬比(高對寬的比例)及有效深寬比(自特徵部底部量測到場區域最低平面所得之有效高度對寬度的比例)。

【0103】 此外，所提供的方法特別適合電平坦化包含具有直徑變異性及深寬比變異性之特徵部的基板。此些基板尤其難以利用傳統的方法處理而達到期望的均勻度。在某些實施例中，本發明之方法係用於包含具有第一直徑與第一深寬比之第一特徵部及具有第二直徑與第二深寬比之第二特徵部的基板，其中第二直徑係不同於第一直徑(如第二直徑比第一直徑至少大 10 %、50 %或 100%)且第二深寬比係不同於第一深寬比(如第二深寬比比第一深寬比至少大 10 %、50 %或 100%)。在某些實施例中，本發明之方法係用於包含具有第一直徑與第一深寬比之第一特徵部、具有第二直徑與第二深寬比之第二特徵部、具有第三直徑與第三深寬比之第三特徵部及具有第四直徑與第四深寬比之第四特徵部的基板，其中第二直徑係不同於第一直徑(如第二直徑比第一直徑至少大 10 %、50 %或 100%)且第四深寬比係不同於第三深寬比(如第四深寬比比第一深寬比至少大 10 %、50 %或 100%)。

【0104】在某些實施例中，所提供的方法尤其有用於具有複數緻密特徵部及一或多個孤立特徵部的基板。例如，在某些實施例中，基板包含以第一距離與靠其最近的特徵部分離的第一特徵部(緻密特徵部)，以及以第二距離與靠其最近的特徵部分離的第二特徵部(孤立特徵部)，其中第二距離至少比第一距離大兩倍，如至少大三倍或至少大五倍。距離係自第一或第二特徵部的中心量測至其對應相鄰特徵部的中心。此外，所提供的方法尤其有用於包含不同尺寸之特徵部的基板。例如，基板可包含具有第一寬度之第一特徵部及具有至少比第一寬度大約 1.1 倍（如至少大 1.2 倍或至少大 2 倍）之第二寬度的特徵部。在更不尋常的情況中，第二寬度可至少比第二寬度大 20 倍或更大。具有不同寬度之特徵部之基板的一實例為具有複數 WLP 特徵部的晶圓，複數 WLP 特徵部包含具有第一寬度之第一特徵部及寬度比第一特徵部大約 1.1 - 1.5 倍的另一特徵部。具有可變寬度之特徵部之基板的另一實例為具有 RDL 圖案的基板，其中該 RDL 圖案包含具有第一寬度之第一特徵部(如線)及具有第二寬度之第二特徵部(如焊墊)，其中第二寬度比第一寬度大上至 20 倍(如比第一寬度大介於約 5 - 20 倍)。例如，RDL 圖案可包含 5 μm 寬的線及 100 μm 寬的焊墊。

【0105】特徵部密度具有顯著變異性(特徵部緻密的區域及大致孤立之特徵部的其他區域)的基板，以及具有不同寬度之範圍之特徵部的基板，尤其受惠於所提供的方法，因為在此些基板中在電鍍後金屬厚度分佈的變異性會因為電鍍期間離子流的變異性而加劇。

【0106】圖 1A-1D 針對具有孤立特徵部的基板例示此問題，並提供一處理流程實例例示在通遮罩電鍍中可能遭遇到的一種非均勻度類型，以及使用電氧化金屬移除方法改善此非均勻度。圖 1A-1D 顯示經歷處理之半導體基板之一部分的概略橫剖面圖。圖 2A 之處理流程圖例示圖 1A-1D 中所示之處理的數個步驟。參考圖 2A，處理始於 201，提供具有通遮罩之特徵部的基板。圖 1A 例示一個此

類基板 100 之一部分的橫剖面圖，其中基板包含具有導電晶種層 103（如銅層）位於其上的膜層 101(如介電層例如氧化矽)。應瞭解，膜層 101 可位於一或多層其他層(未顯示)上方，該其他層可包含黏著層或「粘層」(Ta、TaN、W、WN、Ti、TiN、TiW 等)及半導體材料（如 Si、Ge、SiGe 等）。圖案化的非導電性的遮罩層 105(如光阻)位於晶種層 103 上且具有形成在遮罩中的複數凹陷特徵部俾使導電晶種層材料在凹陷特徵部的底部處受到暴露。此些特徵部係稱為通遮罩凹陷特徵部。圖 1A 顯示彼此相鄰設置的兩個凹陷特徵部 107 與 108 及距離最近的凹陷 108 隔較大距離的孤立凹陷特徵部 109。圖 1A 中所示的基板可藉由下列方式獲得：提供具有受到裸露之膜層 101(如介電層)的半導體基板；藉由任何適合的方法將導電層沉積至受到裸露之膜層上方(如可以PVD沉積導電銅晶種層)；將遮罩層沉積於晶種層上方(例如旋塗光阻遮罩)然後利用例如微影技術圖案化遮罩以定義出通遮罩凹陷特徵部 107、108 及 109。取決於應用可變化凹陷特徵部的尺寸，其通常具有介於約 5 - 250 μm 的寬度及介於約 1:2 - 15:1 的深寬比。

【0107】 接下來，將金屬電鍍至凹陷特徵部中以填充凹陷特徵部(部分填充、完全填充、或過填充，其中具過填充的電鍍有時被稱為圖 2B 中所示的「蕈菇型（mushroom）」電鍍)。由於導電晶種層材料連接所有特徵部，且對於電流流動相對於電解液之電阻率具有較小的電阻 (藉此在所有及每一凹陷特徵部的底部處適當地達到恆電位)，並且，因為孤立特徵部被暴露至三維電解液環境更多，故孤立特徵部在電解液中對電流流通呈現出較低的電阻，因此相較於較緻密之凹陷特徵部 107 與 108 的區域，孤立的凹陷特徵部(如凹陷 109)傾向為較高離子電流及電沉積之位置。圖 1A 中概略地顯示了被稱為「主電流分佈負載效應」的此效應。在電鍍期間，基板 100 藉由在晶圓側面處受到暴露且電連接至電源的晶種層 103 而受到陰極化偏壓。基板係置於與陽極相對的電鍍池中且基板的工

作表面被浸沒於中電解液，其中電解液包含欲電鍍之金屬的離子及用以增加電解液的導電率之選擇性的酸。

【0108】 電鍍溶液通常包含電鍍添加物，相對於無該電鍍添加物的情況，該電鍍添加物能修改表面反應動力學性質且常有用於改善電流分佈(特徵部形狀及厚度分佈)的電鍍添加物(有電鍍添加物時相對於主或電解液電阻驅動電流分佈較改善)。圖 1A 中以箭頭概略顯示離子電流場的分佈。由於遮罩層 105 並非導電性的，故離子電流分佈主要會由基板表面上之導電晶種層 103 的裸露部分的分佈所支配。雖然不希望被限制至任何特定的模型或理論，但在缺乏表面動力、均質反應及質傳阻力下的電流分佈係稱為主電流分佈且係受到電場分佈之拉普拉斯方程式(3)所支配(其中 φ 為電解液中的電位且 ∇^2 為拉普拉斯微分運算子(一函數之梯度的散度))。

$$\nabla^2\varphi = 0 \qquad (3)$$

是以，對較孤立的凹陷特徵部而言，預測出 109 會比凹陷特徵部 107 與 108 經歷更大的離子電流通量。在許多情況中，使用電鍍添加物期望能解決及抵消此「負載」效應，但通常情況是，即使存在添加物，孤立特徵部以較高的速率電鍍。因此，這會導致相較於較緻密的特徵部而言孤立的凹陷特徵部中會有較高的電鍍速率且較孤立的特徵部中有更厚的金屬層，導致晶粒內非均勻度。亦針對其他目的使用電鍍添加物，包含更改晶粒度或修改表面的平滑度與光亮度。即便在電鍍期間採取多種方法(如電鍍添加物的選擇)以改善電鍍均勻度，這些方法不是總會導致在可接受之沉積速率(或甚至極低沉積速率)下的可接受或期望的均勻度程度，且通常期望或需要更進一步地改善晶粒內均勻度。又，較快的電沉積速率通常會導致厚度變異性增加，尤其因為電鍍添加物阻擋電荷傳輸的效能及其補償上述主電流分佈場效應的能力會隨著電流密度減弱，且受到暴露的特徵部亦更被暴露至電解液之金屬離子源更多，故其對質傳提供較少的阻力。因

此，為了達到金屬層的目標均勻度，吾人通常必須要在比期望之電鍍速率更慢的速率下進行電鍍。在某些情況中，在任何電鍍速率(甚至極低的電鍍速率下)皆無法達到目標均勻度。如文中所揭露的一種選擇是在較快的電鍍速率下電鍍接著利用文中所述的方法進行電平坦化。最終，在許多實施例中，使用所提供的方法，藉著電鍍接著電平坦化針對一特定的目標均勻度程度可達到較高的淨處理速率及設備生產率。換言之，使用文中所述的方法及設備吾人可達到傳統純電鍍方法在任何電鍍速率(包含極慢的電鍍速率)下所無法達到的均勻度程度。

【0109】 參考圖 2A，在操作 203 中，將金屬電鍍至凹陷特徵部中達到高於最終目標金屬厚度的一位準，其中最快之特徵部填充與最慢之特徵部填充之間的電鍍速率比為 R1。在說明特徵部填充比時所用的金屬沉積速率與金屬移除速率係指平均時間速率。例如，在圖 1B 所示的基板中，將金屬 113（如銅）填充至特徵部達到大於目標位準 115 的一位準。在所示之實例中，最快的特徵部填充發生在孤立特徵部 119 中而最慢的填充發生在特徵部 117 中。自填充後取得的厚度比值可判斷出此些特徵部之間之時間平均電鍍速率的比值。超過目標位準的過度電鍍係通常大於目標電鍍厚度的約 10 %，如大於目標厚度之介於約 10 - 50 %。在後續的電化學移除步驟中，當在金屬移除期間改善均勻度時，移除(犧牲)過度電鍍的金屬。過度電鍍的量取決於幾個考量因素，其包含但不限於目標特徵部和特徵部之間的均勻度需求、期望的特徵部平坦度、操作成本及/或生產率需求、及比值 R1。

【0110】 一般而言，電鍍步驟可在凹陷特徵部填充的各種位準處停止。在某些實施例中，電鍍後的基板包含如圖 1B 中所示之受到部分填充的特徵部。在某些實施例中，凹陷特徵部受到完全填充且可能甚至包含超過遮罩位準上方的所有或部分金屬突出部。在某些實施例中，在電鍍後突出的金屬不會合併(橫向

成長不足)而形成相鄰特徵部之間的金屬橋或基板場區域上的連續性金屬層。然而，在某些實施例中，可將金屬沉積至下列程度或位準：在場區域上形成橫跨兩或更多受到填充之特徵部(如在特徵部之間發生橋接)的連續性金屬層。此係例示於圖 2B 中所示的結構中，其中位於光阻 213 中且藉由晶種層 215 電連接的特徵部 207、209 及 211 係受到金屬過度填充以致於在每一特徵部上方形成了如蕈菇狀之金屬突出物 217。又，金屬橋 219 係形成在兩個相鄰的蕈菇型突出物 217 之間。在所示的實例中，金屬橋不會延伸至更孤立的特徵部 211。

【0111】 應注意，在電鍍後單一基板可包含不同類型的填充特徵部。例如，在某些實施例中，在電鍍後基板可包含受到部分填充及受到完全填充的凹陷特徵部。在其他情況中，特徵部可彼此在幾何上不同(無論填充金屬的量)，例如某些特徵部具有低於大致上起始基板平面的一或多個凹陷(如柱內的介層窗)。圖 2C 例示結合了柱 221 及柱下方之介層窗 223 的特徵部。此外，某些特徵部可包含線與柱的組合。此類的結合特徵部係例示於圖 2D 中，其中線 225 係設置在介層窗 227 的上方。圖 2C 與 2D 提供受到填充之特徵部在光阻移除後的概略側面圖。

【0112】 更通常，在電鍍步驟中每一特徵部被填充至其初始凹陷深度的至少約 50%。無論填充的量為何，流程接著在操作 205 中在每一特徵部中進行電化學金屬移除且電化學移除在特徵部之平均厚度接近目標厚度位準之時停止。相較於純電鍍處理，電化學移除處理改善了均勻度(減少厚度變異)，且電化學金屬移除處理俾使在最快電鍍/填充之特徵部與最慢電鍍/填充之特徵部之間之金屬移除速率比值(被稱為 R2)係大於 R1(上述相同一對特徵部之間的金屬沉積(電鍍)比值)。如現在所將解釋的，R2>R1 的此關係對於平坦化處理的成功是很重要的。若 R2 等於 R1，則最快電鍍之特徵部與最慢電鍍之特徵部之間的相對厚度將實質上不變(且所增加的處理是無用的，因為其無法達到任何厚度均勻度的改

善)。以一簡單的實例證明，吾人可假設最快電鍍之特徵部之電鍍速率為最慢電鍍之特徵部之電鍍速率的兩倍(R1 =2)且目標厚度為 20 μm。在此情況中，最快電鍍之特徵部會電鍍至 2 x 20 = 40 μm 的厚度而最慢電鍍之特徵部會電鍍至 1 x 20 =20 μm 的厚度(在此例中我們允許較薄的特徵部達到目標厚度)。現在若吾人對特徵部進行更久的電鍍如分別電鍍至 2 x 25 = 50 μm 及 1 x 25 = 25 μm 的厚度且若 R2 = R1 =2，則自此些特徵部的金屬移除會以相同的 2 比 1 的相對速率進行。更具體而言，吾人自較薄的特徵部移除 5 μm 將厚度降至 20 μm，則自較快電鍍的特徵部會移除 2 x 5 = 10 μm 的厚度。於是相對於純電鍍的情況(分別是 40 μm 與 20 μm)，在電化學移除後所獲得的最終特徵部將是不變的。當 R2 係小於 R1 時，藉著使用電鍍接著進行電化學金屬移除處理所獲得之特徵部相對厚度差異會發散(變得更差或更大)。只有在電化學金屬移除處理中金屬移除速率比值 R2 係大於前面電鍍處理之 R1 比值時，淨處理才會導致較佳的厚度均勻度。是以，為了使處理有用，R2/R1 之值應大於 1，舉例來說，R2/R1 應大於約 1.1，例如大於約 1.15。在某些需要高處理效率的情況中，R2/R1 應大於約 1.25。R1 與 R2 比值間之所需關係可藉由配置一或多個參數而最小化 R1 使 R1 儘可能地接近 1.0 及/或最大化 R2 來達到。例如，如上所述，在某些實施例中，可在電鍍溶液中使用某些可抵消主電流分佈或歐姆場分佈效應之電鍍添加物，藉由改變特徵部之不同表面上的沉積動力學性質而減少 R1。在某些實施例中，在包含可相對於 R1* 減少 R1 之一或多種電鍍抑制劑及/或一或多種電鍍整平劑的溶液中進行電鍍，其中 R1*為在缺乏此類添加物的情況下或缺乏其他用以減少 R1*之措施的情況下所獲得的比值。雖然不欲受到任何模型或理論的限制，但 R1*可被視為是已知之「主電流分佈」、電場分佈及電鍍電流分佈僅受到對各種裸露特徵部之相對離子電阻及暴露之調制的結果。更孤立的特徵部傾向於更暴露至溶液且具有更多電流之離子路徑以使其受到電鍍，因此傾向具有較低的電阻及較高的電鍍速率。

在某些限制性的電化學情況中，主電流分佈係受到拉普拉斯方程式的支配，如文中方程式 3 中所提供的。

【0113】將 R1*減少至 R1(或藉著在電鍍步驟中添加添加物使電流分佈比主電流分佈更均勻)的重要性可如下所示。若在受到電鍍的基板中 R1*為 2 且係如上所述主要受到離子電流場分佈所決定，則在接下來的電化學移除期間 R2(由相同的場分佈所決定但沿相反方向)亦約為 2(若未採取任何手段或能增加其的手段)。在此情況中，均勻度將不會有任何的改善。如自拉普拉斯方程式可見，主電流分佈不取決於電解液之比導電率或其他特性。因此，主電流分佈(或針對此實例而言，R1*)一定不小於 R2。如文中所提供的，需要藉由例如使用表面電阻添加物將 R1*減少至 R1。受到溶液與界面之結合電阻所支配的電流分佈係稱為第二電流分佈。應瞭解，存在例外，其中可藉著非為添加電鍍添加物之方法而將 R1*降低至 R1。例如，一種此類方法為，修改若非如此則電鍍最快之電鍍特徵部中擴散或對流電阻變得可觀或主要之處的條件(被稱為第三電流分佈)，則若非如此則會因電場暴露而電鍍得較快速的此些特徵部會具有和受到較少暴露之特徵部更相等的總電阻或甚至具有比受到較少暴露之特徵部更高的質傳阻力。然而，若因為在電鍍期間添加抑制及/或整平添加物或其他方法，相對於 R*1 將 R1 降低至 1.5，則以 R2 等於 2 進行的回蝕會導致較厚孤立結構的較快蝕刻，因而改善均勻度。

【0114】圖 1C 中顯示在操作 205 後所形成的結構，其中可觀察到在所有三個特徵部 107、108 及 109 中的金屬填充物 113 已被電化學回蝕至目標位準 115，因而已改善晶粒內均勻度。如下文所將述，可藉著使用不同的電化學狀態(regime)而針對改善均勻度控制而配置電平坦化的處理條件。在某些實施例中，方法涉及以電量方式決定電化學回蝕處理的結束或終點。當電鍍與回蝕處理具有近乎或等於 100%之電流效率(電流效率為造成金屬沉積或移除之電流的分率)，以電

量方式控制在目標厚度處結束電鍍及回蝕至最終目標厚度係最簡單也較有利地加以實施。在常見的硫酸/硫酸銅電解液中進行銅電鍍的情況中，電流效率為100%，但使用相同電解液之蝕刻的電流效率通常遠低於 100%(如 53%)且其實際值係取決於蝕刻速率、蝕刻溫度、主體溶液的濃度、流動/對流條件與時間。因此，如後述，使用較佳的電鍍與電化學移除電解液，其具有參數上恆定且接近100%的電流與蝕刻/拋光效率(例如，至少約 90%電流效率，如至少約 95%)。電量方法涉及量測在金屬移除期間通過金屬移除池的電荷量並將此電荷量與過度電鍍超過目標位準期間通過電鍍池的電荷量相比較。當電鍍處理與蝕刻處理兩者形成相同的電狀態陽離子(例如，電鍍過程自 Cu^{+2} 將銅還原為 Cu，蝕刻過程在兩電子步驟處理時將 Cu 氧化為 Cu^{+2})時，一旦通過金屬移除池的電荷量超過一預定值(如過度電鍍超過目標位準期間通過的電荷量)時可停止回蝕。

【0115】 一旦完成電化學回蝕後，移除遮罩層 105(如可藉由光阻剝除而移除光阻)並如圖 1D 中所示獲得具有複數金屬凸塊及/或柱 113 的基板。在接續的蝕刻操作中可移除晶種層 103。

【0116】 文中所提供之方法可改善之另一類型的均勻度為特徵部內之均勻度。此處理係由圖 3A-3D 中所示之概略橫剖面結構及圖 4 所示之處理流程圖所例示。處理始於 401，提供具有通遮罩特徵部的基板。此基板係例示於圖 3A 中，其中,通遮罩之凹陷特徵部 107 係位於光阻層 105 中。接下來，在圖 4 之 403 中，將金屬電化學沉積至凹陷特徵部中高於目標位準 115，如圖 3B 中所示。在此情況中，金屬填充物 113 在特徵部內是不平的，在特徵部的直徑範圍內有較厚部分也有較薄部分。一般而言，特徵部內之非均勻度可以任何形狀顯現，包含但不限於凸圓頂特徵部(其中受到電鍍之特徵部的中心比特徵部的邊緣部分更厚)、凹盤特徵部(其中受到電鍍之特徵部的中心比特徵部的邊緣部分更薄)、可包含複數小突出物與凹陷的粗糙特徵部。特徵部內之非均勻形狀的背後原因包

含許多會造成特徵部與特徵部之間之變異的相同原因(如主場效應及特徵部內流動循環的非均勻度)。處理接著在操作 405 中電化學移除一部分金屬達目標位準並同時改善特徵部內之均勻度。所得之結構係如圖 3C 中所示，其中特徵部的形狀已受到改善且金屬填充物 113 已平坦化至目標位準 115。接著處理可移除光阻，提供圖 3D 中所示之結構，其包含具有平坦之經平坦化的之上部的單一柱 113。

【0117】 圖 5A 與 5B 分別例示晶粒內非均勻度與特徵部內之非均勻度的正式計算。圖 5A 例示晶粒內(WID)非均勻度的計算。在具有複數晶粒的晶圓上，針對每一晶粒計算特徵部高度的範圍(最高與最矮特徵部之間的差異)並將其除以 2。針對基板上所有晶粒之此些半範圍的平均值提供了 WID 非均勻度的量測值。圖 5B 例示特徵部內之(WIF)非均勻度的計算。在具有複數特徵部的基板上，針對每一特徵部計算一範圍：特徵部之最厚部與特徵部之最薄部間的差異。此些範圍的平均值特徵部內之非均勻度。雖然例示於圖 5A 與 5B 中的此些計算係運用至移除遮罩後之特徵部，但應瞭解，可類似地計算及/或估算遮罩移除前的非均勻度。

【0118】 有利地，不僅可將文中所提供的方法用於單獨改善晶粒內均勻度或單獨改善特徵部內之均勻度，亦可將其用於改善兩者之組合。例如，可將所研發出的電化學回蝕方法用於平坦化具有被填充至不同高度之特徵部的基板，其中特徵部本身可具有厚度不規則性，如凸形或凹形或粗糙表面。

【0119】 又，可將文中所提供的方法用以改善晶圓內(WIW)非均勻度。在某些實施例中，晶圓基板的某些區域可能經歷比期望更厚或更薄的電鍍。其發生可能是因為晶種層厚度及/或遮罩層厚度的晶圓內變異，或者更一般性因為不佳或有限能力來最佳化設計電鍍處理或電鍍設備。此外，這可能會發生在包含一晶粒(通常位於晶圓或基板的邊緣處)及與晶粒區域相鄰之無特徵部或無晶粒或無部分晶粒之區域的基板中。此幾何特徵可能會導致「負載效應」及在無特

徵部之區域附近的較厚電鍍。徑向及方位角之 WIW 非均勻度有時可以下列方式量測：在橫跨晶圓直徑、邊緣附近、或橫跨整個晶圓之複數位置處的一晶粒中一單一特徵部類型上所量測到的厚度半範圍。在此些情況中，所提供的電化學移除方法可成功地改善電鍍金屬的均勻度。在某些實施例中，可使用所提供的方法得到具有小於 2%之 WIF、小於 3%之 WID、小於 2%之 WIW、及其組合的基板。

電化學金屬移除處理條件

【0120】 文中所提供的電化學金屬移除處理係用以改善金屬層(連續性金屬層及非連續性金屬層兩者)之均勻度，且尤其適合用以改善通遮罩電鍍的特徵部的均勻度，尤其是具有非連續性裸露金屬層(在連續性金屬層被沉積於場區域上之前電鍍結束時)之特徵部的均勻度。此類基板包含受到暴露之金屬的區域及受到暴露之介電材料(例如，遮罩，如光阻)的區域，且表面上金屬層的此不連續性對電鍍及電化學金屬移除都造成了某些挑戰。在某些實施例中，文中所提供的方法配置電化學回蝕期間晶圓表面上之電解液流體動力學以改善均勻度。在某些實施例中，方法配置電化學狀態(藉由控制基板處的電位及/或電流)以改善均勻度。在某些實施例中，方法配置電解液的組成以改善回蝕均勻度。在某些實施例中，提供之方法係用以在連續使用電化學金屬移除設備期間將電解液組成維持在實質上恆定的濃度，使得利用實質上相等的電解液依序處理大量晶圓基板(例如，大於約 50 片基板，如介於約 100-5000 片基板)，藉此改善回蝕之晶圓與晶圓之間的再現性。方法更可涉及在金屬移除期間分離、移除與稀釋在陰極處形成的氫氣或將金屬電鍍至陰極上。方法的此些特徵可分開使用或彼此結合使用。

【0121】 文中所提供的電平坦化大致上涉及將具有裸露金屬層(連續性金屬層及非連續性金屬層)之基板之工作表面浸沒至被容納於電平坦化設備中之電

解液中，及陽極化偏壓基板，俾使金屬如方程式(2)所示電化學溶解於電解液，並同時配置用以改善裸露金屬層之均勻度，例如，用以改善晶粒內、晶圓內及/或特徵部內均勻度的處理條件。基板之陽極偏壓化係利用連接至基板之導電部分的電接觸件，電接觸件係電連接至電源。當基板包含通遮罩特徵部時，接觸係經由介電遮罩層下方之導電性連續晶種層。接觸通常(但並非必要)位於基板邊緣處。電平坦化設備亦包含陰極相對電極，其可以是活性陰極或惰性陰極。活性陰極的實例包含不銹鋼、鐵或鎳陰極，其在處理期間藉著還原電解液中的金屬離子可輕易電鍍。例如，當自基板移除銅並將銅溶解至電解液中時，銅金屬層會沉積在活性陰極上。針對惰性陰極，所有或部分的還原處理會導致基板上之電平坦化處理所移除之金屬的還原以外的其他電化學反應，如質子還原而在水性電解液中產生氫氣。在陽極處發生基板金屬移除處理期間在陰極處可發生金屬沉積及/或氫氣釋出。例如，當受到移除的金屬為銅時，反應(4) - (5)發生在受到陽極化偏壓的基板處而反應(6) - (8)發生在陰極處。

陽極反應：

$$Cu^{0}_{(s)} - e \rightarrow Cu^{+} \quad (4)$$

$$Cu^{+} - e \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} \quad (5)$$

陰極反應：

$$Cu^{+} + e \rightarrow Cu^{0}_{(s)} \quad (6)$$

$$Cu^{2+} + e \rightarrow Cu^{+} \quad (7)$$

$$2H^{+}_{(aq)} + 2e \rightarrow H_{2\,(g)} \quad (8)$$

【0122】根據所提供方法的一實施例，在金屬移除期間在基板表面處的電解液流係用以使接觸基板之工作表面的電解液橫流存在。在電化學回蝕期間使用橫流能改善回蝕期間金屬層的均勻度，因為橫流能促進電解液往返於特徵部的質傳。此方法的處理圖係顯示於圖 6 中。處理始於 601，提供具有金屬層的基

板。此方法可大致上用於各種基板，包含具有連續性與非連續性金屬層的基板。然而，其對於回蝕通遮罩電鍍之特徵部尤其有用，其中基板具有受到暴露之金屬 (非連續性的)與受到暴露之介電材料且如圖 1B 中所示金屬特徵部係藉由連續性的晶種層在受到暴露之介電材料下方電連接。這大部分是因為介電材料所分離之特徵部之場負載效應的特徵部密度變異性與暴露效應差異所主導。作為連續導電性且互連之可電鍍或可蝕刻場區域之部分的凹陷特徵部(例如通常位於鑲嵌電鍍晶圓中)在擴散暴露時因為場金屬的存在故不會經歷相同程度的可變電場濃度或變異。當該些處理在整個大致表面上進行時，電鍍或蝕刻在特徵部之間同時發生。被嵌於介電材料中彼此分離的特徵部在緻密與較不緻密的特徵部集中區域之間有遠遠更大程度的場與環境暴露對比。除了通遮罩特徵部之回蝕外，或與通遮罩特徵部之回蝕結合，針對通光阻電鍍並以快且空間均勻的移除速率(如至少約 5 μm/分鐘的平均金屬移除速率)回蝕及針對自較大特徵部(如寬度大於約 100 μm)與較高深寬比之特徵部 (如深寬比大於 2：1)回蝕，因為此些情況中對電解液質傳有較高要求，因此橫流實施例尤其有用。

【0123】 再參考圖 6，處理接著在 603 中陽極化偏壓基板並將基板浸沒至電解液中，接著在 605 中提供與基板接觸之電解液流，較佳提供與基板接觸之空間均勻的電解液流，最佳提供與基板接觸之均勻電解液橫流；以及自基板電化學移除金屬並同時改善金屬層的均勻度。電解液橫流為沿著質實上平行基板之工作表面之方向的電解液流。雖然不希望受到任何特定模型或理論的限制，相信的是，當金屬特徵部係低於介電材料之平面(如使用遮罩之通光阻電鍍，其中特徵部被電鍍至低於光阻平面)，表面上方之區域中的橫流會在遮罩開口凹陷空穴內產生循環的沖灌流動模式，這會導致較佳的質傳與處理速率。文中所提供的電解液橫流係藉由非旋轉基板的其他方法所提供。應存在不同於旋轉基板而對橫流亦有貢獻之方法，且較佳是貢獻程度更甚於旋轉。一般而言，僅僅是

旋轉無法提供徑向均勻的傳輸流，例如無法提供橫跨基板中心的任何橫流，且其對晶圓級的處理均勻度是有害的。當然，基板旋轉可造成一部分橫流，但其主要用以產生時間平均的均勻流場並增加晶圓邊緣附近的流動。文中所提供的方法提供橫流俾使橫跨基板中心之流速(關於緊鄰基板工作表面且橫跨基板中心點之平行基板表面的流向量)至少約為 3 公分/秒(如至少約 5 cm/s、至少約 10 cm/s 或至少約 20 cm/s)。在某些實施例中，在整個電化學金屬移除處理期間提供橫流。例如，在某些實施例中，應在進行電化學金屬移除處理的時間的至少 50%或至少 80%期間提供橫流。例如，在某些實施例中，電解液橫流可藉由往復槳機構所產生，往復槳機構可涉及槳動作（paddle motion）之方向改變之間的短暫空閒時間。

【0124】 可使用各種方法產生電解液橫流，包含但不限於橫向注射電解液俾使電解液沿著實質上平行基板之工作表面的方向進入靠近基板的池；利用各種液流轉向技術使液流轉向而產生或增加電解液流的橫向分量；利用動作元件，如往復槳或槳輪動作，在池內產生橫流；及上述方式的任何組合。

【0125】 圖 7A 例示產生橫流用之液流轉向方法。在此實例中，引導電解液流向上朝向晶圓基板流動。電解液以向上移動通過位於晶圓附近(如約 10 mm 內)之離子電阻性離子可滲透之元件 701，然後進入由在底部處之元件之面基板表面、在頂部上之晶圓之工作表面、及在側邊上之液流分流元件 703 所定義的虛擬腔。液流分流元件之壁通常循元件的周邊且具有排放區域，排放區域具有能讓電解液如箭頭所示離開虛擬腔的一或多個開口。排放區域係以方位角不對稱之方式設置，藉此造成自該元件發出的電解液流以橫跨晶圓中心點之非零速度轉向進入電解液橫流中。

【0126】 圖 7B 例示利用橫向電解液注射及流動轉向之組合獲得電解液橫流的一實例。如圖 7B 所示的實例，電解液流向上經過元件 701 然後被液流分流

元件 703 轉向至橫流中，但此外尚有電解液注射接口 705 將電解液以實質上平行基板表面之方式以大致朝向液流分流器的排放區域之方向注射。

【0127】 此些實例提供產生橫流的例示，但應瞭解，可使用其他橫流生成方法。例如，在某些實施側中可能不需要離子電阻性離子可滲透之元件的存在。

【0128】 在某些實施例中，較佳在以橫流電化學金屬移除期間旋轉晶圓。旋轉會改變金屬移除過程期間橫流向量的方向(若將晶圓上的一點作為參考點)，且因此會改善特徵部內均勻度。發現到，旋轉速率較佳應為慢，且在某些實施例中，角旋轉速率應俾使基板邊緣的切線線性速度 V 不會超過基板邊緣處之橫流速率。線性速度係以方程式(9)與角旋轉速率相關聯

$$V = D$$

其中 D 為基板直徑(如 30 cm)且 為角旋轉速率(每秒轉數)。例如，若橫跨邊緣的橫流速率為 10 公分/秒而基板具有 30 cm 的直徑，則角旋轉速率應小於 0.106 轉/每秒即 $<10/(\pi \times 30) = 0.106$ 轉/每秒或小於 6.4 轉/分鐘(rpm)。較佳是，角旋轉速率應大幅小於以此方式所推算出之速率，如在上列實例中 2 rpm，俾使角旋轉速率不會對晶圓邊緣與電解液橫流的相對線性速度提供明顯貢獻。在某些實例中晶圓的旋轉速率係介於約 0.5 - 30 rpm 之間，如介於約 0.5 - 12 rpm 之間。

電解液組成

【0129】 在金屬移除期間所用之電解液為導電性液體，其通常包含酸，較佳是包含具有中等至高黏度(如大於約 4 cP 之黏度)的酸，如磷酸(H_3PO_4)、1-羥基亞乙基-1,1 二膦酸(HEDP)、及/或烷磺酸(如甲磺酸、乙磺酸或丙磺酸)。電解液可包含此些酸彼此的混合物及此些酸與其他酸（如硫酸或醋酸）的混合物。在某些實施例中，在電解液中使用非酸性的增黏劑，如甘油或乙二醇。已發現

甲磺酸的濃溶液在移除處理某些金屬（如錫、銀、鉛及此些金屬之合金，如 SnAg 合金）的處理時尤其有用。雖然可使用各種酸，磷酸與 HEDP 對於電化學移除銅、鎳及鈷較佳，因為其低成本且因為在電化學金屬移除期間使用此些酸會最少化或根本不會自溶液沉澱金屬銅、鎳或鈷粒子。相對的，例如在電化學銅移除期間使用硫酸可導致形成大量的金屬銅粒子，一般相信金屬銅粒子係因為金屬僅氧化為+1態 Cu^{+} 接著一價離子不成比例地成為 Cu^{2+} 及 Cu^{0} 金屬粒子而形成。粒子形成可能會造成基板上的缺陷及其他設備與處理困難，因此較佳應避免。黏性移除電解液可包含錯合劑，錯合劑包含螯合劑，如有機膦酸鹽。

【0130】 一般而言，在電解液中可與磷酸及/或 HEDP 結合使用的酸包含硫酸、甲磺酸、醋酸、高氯酸等。亦可使用此些酸的混合物。此些較適合移除銅以外的其他金屬，如鎳、鈷、錫銀合金等。電解液中酸的濃度及溶液的黏度較佳應高。例如，在某些實施例中，電解液包含濃度大於 40 重量%（如大於 45 重量%，如介於 40 – 65 重量%）的磷酸，且電解液黏度係大於約 4 cP，如 5 cP。

【0131】 在各種可能適合的電解液中可使用某些乙二醇，如丙三醇、丙二醇及乙二醇、及各種其他水溶性有機黏性化合物）作為產生高黏度的基溶劑或添加物。此些材料非為導電性且通常與水及鹽或弱酸一起使用。此類溶液主要但不限於被用於偏好使用弱酸(pH >1)或非酸性電解液溶液(包含具有錯合劑及螯合劑的溶液)的應用。此類電解液的其他成分包含導電性的酸或鹽(如胺基磺酸、硫酸鈉或硫酸銨、硫代硫酸鈉、四氟硼酸鈉)且能用於蝕刻金屬，如 Pd、Pt、Ag、Rh、Ru、Ir 及 Au。

【0132】 在某些實施例中，選擇電解液成分俾使其黏度隨著金屬離子濃度的增加而快速大幅增加(如隨著金屬離子含量的每兩倍增加而增加大於 20%，如大於 30%)。隨著電化學金屬移除的進行，靠近基板之工作表面在電解液中的金屬離子濃度會增加。若電解液係用以俾使此層的黏度亦隨著金屬離子濃度的增

加而增加，如上關於黏度與擴散率之間的關係的討論，靠近表面之此層中的擴散會明顯減少因此處理會導致不同深度或高度之特徵部之間與之內的較佳均勻度。

【0133】 分子之擴散係數與黏度之間的關係係由史托克-愛因斯坦方程式(10)描述，其中 D 為擴散係數、k_B 為波茲曼常數、T 為溫度、μ 為溶液的動黏度(單位為長度平方除以時間)、r 為原子的水合原子半徑。

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\mu r} \qquad (10)$$

是以，當黏度增加時，擴散會根據方程式(11)減慢。

$$D(T) \propto \frac{T}{\mu(T)} \qquad (11)$$

【0134】 不欲受限於特定理論，相信的是，當在黏度會隨著受到拋光之金屬之濃度而增加的溶液中進行電拋光時，擴散速率會隨著靠近金屬表面的金屬含量增加而減少，直到在靠近金屬表面之界面的電解液中形成了質傳限制層為止，質傳限制層會限制拋光處理的質傳速率。在暴露較少的區域中及空間之侷限區域中會更完全或有效地形成質傳層。文中所述之基於磷酸與 HEDP 的電解液會取決於黏度變化而達到所需的金屬濃度。

【0135】 在許多實施例中，金屬移除處理期間的目標電解液黏度較佳係至少約 4 厘泊，如介於約 5 - 12 厘泊之間。在某些實施例中，針對較小特徵部(如寬度小於約 100 μm 的特徵部，如 2 - 60 μm)的電平坦化及/或針對改善特徵部內之均勻度，較佳使用較高的黏度(如 7 - 12 厘泊)。在電平坦化較大特徵部，尤其是當期望較高金屬移除速率時，可使用相對較低的黏度(如 4 - 7 厘泊)。

【0136】 雖然在某些實施例中，在金屬移除處理的初期，電解液係實質上無金屬，但已發現在每一金屬移除處理開始時便包含受到移除之金屬的金屬離子作為電解液的一部分是有利的。當處理初期包含金屬離子時，因為可避免處理開始時金屬離子濃度的大波動(以及，藉由上面的討論與方程式所連結，在相

關的黏度與擴散係數的大波動)，因此處理的穩定度與再現性較佳。這尤其適合於在一基板及接續處理的複數基板上的金屬移除過程期間將電解液組成維持實質上恆定的實施例。此外，若未在金屬移除處理開始時包含金屬，可能需要更長的時間才能到達期望的電拋光條件。圖 8 所示的圖例示了使用含金屬之電解液之處理流程。處理始於 801，提供具有裸露金屬層的基板。可使用各種基板，包含但不限於具有如文中所述之通遮罩特徵部的基板。具有相對較小之特徵部的基板，以及需要特徵部內均勻度改善的基板，尤其能受惠於此方法。在 803 中陽極化偏壓基板並將基板浸沒至包含欲移除之金屬離子的電解液中。例如，若基板具有需被電平坦化的銅層，則電解液將包含銅離子；若欲移除的金屬為鎳，則電解液將包含鎳離子，以此類推。在某些實施例中，在移除銅的初期(在基板浸沒時)，銅離子的濃度的範圍係介於約 0.1 - 2 莫耳/升之間，更較佳係介於約 0.2 - 1.5 莫耳/升之間。在一實施例中，電解液包含磷酸銅(II)(包含所有類型的磷酸鹽，如磷酸氫鹽)與磷酸的水性溶液或由磷酸銅(II)與磷酸的水性溶液所組成。在另一實施例中，電解液包含 HEDP 之銅鹽與 HEDP 的水性溶液或實質上由 HEDP 之銅鹽與 HEDP 的水性溶液所組成。在某些實施例中，電解液係藉著將金屬之氧化物或氫氧化物，如銅(II)氧化物或銅(II)氫氧化物，溶解於酸(如磷酸)中而加以製備。例如，磷酸銅溶液可藉著將氫氧化銅(II)溶解於水性磷酸中而製備。酸與氧化物或氫氧化物反應而形成酸的金屬鹽及水。在某些實施例中，製備電解液的方法包含將金屬氧化物及/或氫氧化物(如銅氧化物或銅氫氧化物)溶解於酸中，然後結合所形成的溶液與更濃的酸。例如，可將銅之氧化物及/或氫氧化物溶解於稀釋的磷酸中然後將其與更濃的磷酸混合。接下來，可選擇性地添加添加物，如甲磺酸、氯化物及電鍍抑制劑。

【0137】 在某些實施例，尤其是使用自電解液還原金屬離子的陰極的實施例中，電解液包含電鍍抑制劑，如選自聚環氧烷類或聚烯烴基二醇類的化合物。

例如，電解液可包含經取代或未經取代的聚環氧乙烷及/或聚乙二醇。此些添加物改善沉積在陰極上之金屬層的形態。又，藉由使用極濃的電解液，如銅濃度(意指銅離子濃度)大於 30 g/L 且磷酸濃度大於 625 g/L 的電解液，可改善形態。在某些實施例中，可使用過飽和的電解液。一旦基板被浸沒至電解液中後，如 805 中所示開始進行電化學金屬移除處理並改善金屬層的均勻度。在某些實施例中，在整個金屬移除處理期間電解液中的銅濃度係落在 0.1 - 2 莫耳/升的範圍內。在某些實施例中，如後文所將述，控制處理俾使在金屬移除處理期間以及複數片晶圓的處理之間電解液中的金屬離子濃度係維持在實質上恆定的位準。

【0138】 可用以調制金屬移除條件的另一參數為電解液溫度。溫度的變化會改變異質反應處理以及電解液的特性(如導電率與黏度)。在某些實施例中，溫度範圍係自攝氏約 20 至約 45 度。在某些實施例中，較佳是利用被加熱至大於約攝氏 25 度之溫度的電解液進行金屬移除。例如，在某些實施例中，處理係於介於約 27- 40 °C 的電解液溫度範圍下進行。較高的溫度會導致較高的電蝕刻速率與拋光速率且亦會導致較高的水蒸發速率(若處理是在開放的大氣條件下操作)。由於晶圓在進入電鍍池與浴槽之前通常會預濕，且由於晶圓在處理之後通常會沖洗且在沖洗期間某些沖洗水會進到池與浴槽中，因此大於其他處理所攝取之水攝取率的蒸發速率是有利的。亦可利用與電蝕刻/電拋光電解液具有相同或類似組成之預濕液來進行晶圓的預濕，最少化對處理電解液的水注入。在較高溫度下的處理會使進入之水的移除比進入更快，且可被用於一處理，其中藉由週期性地量測(或計算與預測)水含量變化並週期性地將水添加至浴槽/池以將水含量維持在期望限度內。

【0139】 表 1 提供用以改善具有通遮罩特徵部之基板上之均勻度之電解液組成與溫度的數個實例。

[表 1]

特徵部直徑 μm	目標黏度 (cP)	目標磷酸濃度 (重量%)	目標 Cu^{2+}濃度 (重量%)	目標溫度 (°C)
30 - 50	11	48	60	30
100 - 300	5	48	60	45
100 - 300	6	60	0	45

【0140】在許多實施例中，在金屬移除期間所用之電解液係實質上不同於在電鍍期間所用之電解液。例如，在某些情況中，利用包含酸（如硫酸）、金屬離子（如硫酸銅）及一或多種添加物（如抑制劑）(如平均分子量約 1000 之聚乙二醇)、整平劑 (如聚胺整平劑，例如四級聚胺)、加速劑(如雙（鈉磺丙基）二硫化物)或其組合的電鍍電解液在基板上進行電鍍，電鍍之後接著進行電平坦化步驟，在某些情況中，電平坦化電解液不包含任何添加物。在某些實施例中，電鍍與電平坦化期間所用之酸的主要類型不同，或者電鍍時所用之酸(如硫酸)係完全不存在於電平坦化中。在相同的主要酸係存在於電鍍電解液與電平坦化電解液兩者(如甲磺酸係用於電鍍與電平坦化兩者的電解液中)的某些實施例中，電鍍溶液中的酸濃度係低於 20 重量%，如 15 重量%，且電平坦化電解液中的酸濃度通常大於 45 重量%，例如 50 重量%或更高。高濃度的酸溶液可比較低酸濃度的溶液具有更低的導電率。對應至最大導電率的酸濃度會隨著酸的本質而改變。為了達到高均勻度的電鍍，通常期望使用具有最大導電率及最大添加物影響與穩定性的溶液。高濃度的酸溶液可具有較低的導電率且可快速地分解有機電鍍添加物。在一實施例中，在包含硫酸及/或甲磺酸、包含表面極化添加物(抑制劑及/或整平劑化合物)的電解液中進行電鍍，然後在包含磷酸及/或 HEDP 作為主要之酸的電解液中進行電平坦化。在另一實施例中，在更包含甲基磺酸錫

(30-70 g/L)與電鍍添加物的甲磺酸電解液(100 至 200 g/L)中電鍍錫或錫合金(如 SnAg、PbSn)焊料膜，然後在亦包含甲基磺酸錫(30-70 g/L)但實質上無添加物的甲磺酸 電解液(40-65 重量%)中對焊料電平坦化。

電蝕刻狀態與電拋光狀態

【0141】本發明人發現，電化學金屬移除可在兩個不同的電化學狀態中進行，每一電位學狀態具有其特別的處理行為與特性及在金屬移除速率上的效應。此些電化學狀態在本文中係稱為電蝕刻與電拋光。

【0142】在電蝕刻狀態中，金屬移除速率主要是受到電解液中之歐姆電阻的支配；意即，由電流因電解液中的電阻及電場的相關空間分佈而導致自身如何分配所支配。在此狀態中表面反應阻力及質傳(對流)阻力並非決定性的因素。是以例如在電蝕刻狀態中，受到更多暴露的那些特徵部具有較多數目之自其自電解液發射的三維電流路徑，具有較低的離子電阻，因此經歷較大的離子電流且比經歷較大離子電阻(如靠近許多其他特徵部者)與較小離子電流的特徵部有更快的蝕刻速率。此係例示於圖 9A 中，圖 9A 顯示具有暴露至陰極 901 之三個通遮罩填充金屬之特徵部 903、905 及 907 之基板之一部分的二維投影。在電蝕刻狀態中，較孤立的特徵部 903 會比較緻密的特徵部 905 與 907 經歷較大的離子電流(線概略顯示了路徑及大小，在每一相鄰組線之間的每一間距中的流過相同量的電流)，因此會比較緻密的特徵部 905 與 907 經歷更高的蝕刻速率。雖然決定電蝕刻之電流分佈的主要因素是特徵部的相對空間分佈，但應注意的是，電蝕刻速率及蝕刻的相對速率可隨著特徵部中的金屬凹陷深度而改變，因為當特定特徵部變得更凹陷時該特徵部之總離子電阻的較大部分會匯聚在遮罩-電解液邊界 909 的平面下及特徵部的凹陷內；這傾向於最小化空間分佈的影響。雖然不欲被限制至特定的模型或理論，但只要特徵部的深度係小於或等於約其寬度的一半(深寬比小於 1：2)，大致上電蝕刻速率為實質上常數且取決於特徵部與其

他特徵部的相對靠近程度。在許多受到關注的情況中，特徵部係於此些物理限制下受到處理。在此限制下，在蝕刻發生在深寬比小於約 1：1 的情況中，在電蝕刻處理期間即便特徵部隨著金屬移除而變得愈來愈深，選定特徵部的蝕刻率仍會維持實質上常數。例如，圖 9A 中所示的參考基板，在電蝕刻狀態中孤立特徵部 903 的蝕刻速率會大於較不孤立之特徵部 905 的蝕刻速率，較不孤立之特徵部 905 的蝕刻速率會大於更不孤立之特徵部 907 的蝕刻速率，其中每一特徵部的蝕刻速率為實質上的常數。

【0143】 在充分高的電位及適合之對流條件下的電拋光狀態主要是受到下列因素支配：與高黏性薄膜形成相關的質傳限制以及在特徵部-電解液界面處與在特徵部凹陷中的相關質傳限制層。在電拋光狀態中，金屬移除速率不會明顯取決於施加電位或靠近特徵部與對於特徵部之電解液中的電場分佈，而是取決於特定特徵部對質傳限制擴散與對流處理的暴露。是以在電拋光狀態中，較不凹陷而受到較多暴露之特徵部中的金屬移除速率可大於較凹陷而受到較少暴露之特徵部中的金屬移除速率。又，在某些實施例中，在單一特徵部內，特徵部之較厚(位於較高處)且受到較多暴露的部分會比相對較薄(位於較低處)的部分經歷更高的金屬移除速率。雖然相對受到較佳暴露之特徵部的電拋光可在穩定的金屬移除速率下進行，但若電拋光持續進行直到特徵部變得明顯受到較少暴露，來自該特徵部的金屬移除速率會減少。是以在某些實施例中，電拋光包含自特徵部或特徵部內的突出物電化學移除金屬，其中來自此特定元件的金屬移除速率在電拋光的起始時大於 接近電拋光處理結束時。電拋光移除速率可例如參考圖 9B 與 9C 說明。圖 9B 例示在電拋光前之基板的概略橫剖面圖，基板具有三個通遮罩特徵部 913、915 及 917。在此實例中，特徵部 913 為位於最高的且最厚的特徵部；特徵部 915 比特徵部 913 薄而特徵部 917 為三個特徵部中最薄且位於最低的特徵部。特徵部亦具有圓頂，其中央部分較厚而邊緣處的部分較薄。

在電拋光狀態中，來自位於最高之特徵部 913 的金屬移除速率在起始時會大於來自位於較低的特徵部 915 的金屬移除速率，來自位於較低的特徵部 915 的金屬移除速率會大於來自位於最低之特徵部 917 的金屬移除速率。隨著電拋光進行，特徵部會變得愈來愈深且暴露愈來愈少，因此金屬移除速率會減少，最終導致特徵部之高度差異的減少，結果達到平坦化。又，電拋光亦會減少圓頂，因為受到較多暴露之圓頂的中央部會比靠近側壁之圓頂之受到較少暴露的較低部分有更高蝕刻率的蝕刻。由於電拋光可獲得圖 9C 中所示的結構，其中特徵部之間的厚度差異減少且特徵部內之形狀變得實質上更平坦。

【0144】 應注意，相較於電蝕刻，電拋光對特徵部暴露及離子電流環境明顯地較不敏感，因此能使較不凹陷之特徵部(即便其並非最孤立的特徵部)的金屬移除比更凹陷之特徵部在更快的速率下進行。若較凹陷的特徵部為較孤立的特徵部(如圖 9B 中所示)，在電蝕刻狀態中不可能有此類移除速率傾向(在電蝕刻中孤立特徵部是蝕刻得較快的特徵部且不必要是最凹陷的特徵部)。然而，可成功地使用電拋光平坦化孤立特徵部比其他特徵部更凹陷(位於更低，如圖 9B 中所示)的基板以及孤立特徵部比其他特徵部較不凹陷(位於更高，如圖 9A 中所示)的基板。又，本發明之發明人發現，電拋光狀態中的金屬移除比電蝕刻狀態中的金屬移除實質提供更平滑且更平坦的金屬特徵部表面。

【0145】 電拋光狀態與電蝕刻狀態提供一組獨特的工具，用以改善不同類型的均勻度(如特徵部內均勻度、晶粒內均勻度及晶圓內均勻度)，用以減少特徵部表面粗糙度，用以最佳化平坦化速率且因此用於改善基板處理生產率。在某些實施例中，進行金屬移除俾使處理被設計在一特定狀態進行。電蝕刻與電拋光的發生電位不同， 其中電位係指電化學金屬移除期間的基板電位。電蝕刻發生在金屬移除期間基板電位被維持在低於臨界電位(較佳是低於臨界電位至少 50 mV，如 100 mV)時，且電拋光發生在金屬移除期間基板電位被維持在高於臨

界電位(較佳是高於臨界電位至少 100mV，如 200mV)時，其中臨界電位可以文中所述方式決定。雖然不希望受限於任何特定的模型或理論，本發明之發明人相信，為了使電拋光發生，必須驅動充分的金屬移除速率(因此施加充分大的電位)俾以在界面附近因擴散係數隨著電解液中金屬含量之增加快速下降而形成質傳抑制電阻膜。應注意，臨界電位可取決於特徵部在基板上的分佈、電解液化學品、及橫流電解液流速率，但可基於從在類似於預期處理條件的條件下受到處理且類似於欲處理之基板的基板所獲得的數據加以估算。利用特徵部分佈與欲處理之基板上之特徵部分佈相同的基板亦可更精準判斷，其中用以判斷臨界電位之基板係於欲處理之基板的預期相同條件下受到處理。應瞭解，當進行電蝕刻或電拋光時，如藉由利用參考電極監控電位，吾人應意識到臨界電位並採取步驟以在期望狀態中進行處理。具有參考電極位於晶圓表面附近或位於池中相對於晶圓表面電壓降為小之點處(例如在極少或無電流流至晶圓或流出晶圓之平面中)是有用的。然而，進行電鍍或電拋光的步驟本身不會涉及判斷臨界電位的步驟。臨界電位可以書寫指示或程式指令的形式提供予使用者，或使用者或服務提供者利用估算、計算模型及/或文中所提供的判斷方法、或其他適合的方法在金屬移除前估算或判斷臨界電位。

【0146】 圖 10 例示可用以估計臨界電位用之電流-電壓圖。自圖 10 藉著檢視電極(晶圓)/電解液系統的電流-電壓(I/V)行為可識別蝕刻狀態與拋光狀態。蝕刻狀態為電解液中特定金屬(如銅)之平衡電位之起始陽極狀態。在此狀態中，電流隨著施加的電位而增加(在圖 9 中顯示顯性的關係)。電位的更進一步增加會導致過渡至拋光狀態中。拋光狀態是電流在所施加的一電位範圍內(如 500 mV)實質上維持不變的狀態。臨界電位可被估算為對應至兩切線之相交處的電位，其中第一切線為電流高原區所畫出的切線而第二切線為快速電流成長區之所畫出的切線。

【0147】在蝕刻狀態與拋光狀態之間的界面處有一小過渡區域，有時伴隨著電流的尖峰(取決於電壓上升速率)。此尖峰的尺寸與寬度可取決於在一系列電位階的電壓上升速率或時間。在高於拋光狀態的電壓處，開始自電解液釋出氧氣並造成電流再次隨著電壓增加。除了連續掃描電位之外，可藉由例如以下方式來建構圖 10 中所示的曲線：自一系列晶圓電化學移除金屬，其中每一晶圓係於一預定電壓下受到處理；量測所得的電流；及針對該晶圓系列繪製電壓-電流關係。

【0148】如前所述，臨界電位不僅取決於電解液組成，但亦取決於電解液的電解液溫度與橫流速率。圖 11 例示臨界電位如何隨著變化的橫流速率而改變。圖 11 例示在相同條件下受到處理之基板的三條 I-V 曲線，其中唯一的差異為橫流速率。當橫流速率從曲線(a)增加至(b)且增加至(c)時，臨界電位推移至較高數值。亦應注意，拋光電流隨著流率增加而增加。本發明之發明人相信，在較高的流率下，會較快速地自擴散電阻薄膜的上部移除材料，因此薄膜大致上較薄且電阻較小。在某些實施例中，可使用電解液橫流的變化，以臨界電位的推移來控制蝕刻狀態與拋光狀態之間的過渡。

【0149】利用與將受到處理之晶圓基板相同的單一晶圓基板(即在基板上具有相同的特徵部分佈)及在真實處理期間將使用之相同的電解液與電解液流率，可進行臨界電位的更精準判斷。將基板浸沒於電解液中，將一經設定的電位施加至基板，並連續量測電流。針對相同的基板以步進方式增加電位，然後隨時間量測電流。所得的圖 1201 係顯示於圖 12 中，其例示電流與時間的相依性，其中電壓以步進方式約每 30 秒增加 0.1 V 的增額自 0.1 V 增加至 1 V。穩態電流被取為在每一增額的最後 10 秒中所獲得之電流的平均。或者，可將整個增額期間的平均電流值或每一增額之終點處的電流值取為穩態電流值。接下來，將穩態電流值繪製為電壓的函數，得到圖 12 中所示之圖 1203 中的圖。穩態電流被顯示

為方塊而真實量測到的電流被示為點。誤差線顯示每一電壓處之電流值的一標準差。此圖中的臨界電位對應至此例中電流峰值處的電壓即 0.4 V。蝕刻狀態對應至低於 0.4 V 的電位，且較佳低於 0.35 V 的電位(考量過渡區，由於 0.35 – 0.4 V 處的電流可能相對不穩定)，拋光狀態對應至高於 0.4 V 的電位，且較佳高於 0.55 V 的電位(考量過渡區，由於 0.4 - 0.55 V 處的電流可能相對不穩定)。在電流不具峰值而僅具有自正斜率至零斜率區之拐點的情況中，拐點的電壓係對應至臨界電位。若期望更精準地判斷臨界電位或電壓步數相對大，可藉由對圖繪出兩條切線來判斷臨界電位– 一切線通過來自顯示正斜率之區域的最後實驗點而另一切線通過來自顯示負斜率或零斜率之區域的第一實驗點。兩條切線之交點的電壓係對應至臨界電位。

【0150】 圖 13 例示使用特定電化學狀態進行電平坦化處理的處理流程圖。在 1301 中，提供具有受到裸露之金屬層的基板。接下來在 1301 中，為基板選擇電化學狀態。選擇可受到需要改善之特定均勻度類型及/或生產率考量的支配。電蝕刻處理很適合用以改善具有緻密及孤立之通光阻特徵部之基板、及具有不同直徑之通光阻特徵部之基板的晶粒內均勻度。電蝕刻亦可用以改善晶圓內均勻度且可應用於平坦化特徵部內的凹陷或凸出形狀。亦可使用電拋光改善此些類型的非均勻度，但此外更可用以最小化表面粗糙度。其亦可用以當最厚的特徵部並非孤立特徵部時減少特徵部的高度範圍。雖然電蝕刻的金屬移除速率通常低於電拋光的金屬移除速率，但電蝕刻通常能比電拋光更快達到期望的目標均勻度。因此在某些實施例中，為了生產率的考量，單獨使用電蝕刻或在電拋光之前使用電蝕刻。在操作 1305 中，基板的金屬層在低於臨界電位下受到電蝕刻及/或在高於臨界電位下受到電拋光。較佳地，用以量測基板附近之電位的參考電極係用以確保能在期望的電化學狀態中進行金屬移除。在某些實施例中，整個電平坦化的步驟皆在電蝕刻狀態中進行。在某些實施例中，較佳是在電流

控制條件下進行電蝕刻。參考圖 10 可觀察到，將電流維持在低於「高原」電拋光區之相對穩定電流值(I_{polish})的電流將導致電蝕刻。是以在某些實施例中，在低於臨界電位的電位下但不用活性電位控制的方式進行電蝕刻，其中對電化學狀態的控制係藉著將電流維持在低於電拋光電流的較低位準處而加以進行。在某些實施例中，在電蝕刻期間將電流維原在一恆定位準。在其他實施例中，在電蝕刻期間變化電流但仍使其低於拋光電流。亦可在電位控制條件下進行電蝕刻，但在某些實施例中較期望使用電流控制，這是因為電流控制通常能較輕易地準確控制電流，且因為施行的硬體較不昂貴，且因為相較於在特定電壓處的材料移除(移除速率在整個處理期間會變化)電流控制較易預測在特定電流處會有多少材料被移除(直接和移除速率呈比例)。

【0151】 在某些實施例中，在介於 0.1 - 0.7 V 之間的一電位處進行銅的電蝕刻並在介於相對於銅電極 0.7 - 2.0 V 之間的一電位處進行銅的電拋光，其中在電拋光期間所用的電位係高於在電蝕刻期間所用的電位。

【0152】 在某些實施例中當選擇電拋光狀態時，利用電位控制來進行電拋光。例如，利用位於基板附近或在一等效位置處的參考電極可將基板電位直接控制至高於臨界電位(例如比臨界電位高至少約 0.1 V)。在電拋光操作的過程期間電流通常會改變，因此對通過的電荷積分並將其與目標終點移除之電荷比較是有用的。

【0153】 雖然電蝕刻狀態提供均勻度的快速改善，但在某些實施例中可能期望依序在電蝕刻後進行電拋光。這是因為電蝕刻可能會導致金屬特徵部上的相對粗糙表面。又，在某些情況中電蝕刻可能會導致對一開始比其他特徵部更厚之特徵部的過度蝕刻，這會影響均勻度。電拋光處理傾向於較自我調節；較淺特徵部移除得比較深特徵部更快，但隨著特徵部的深度變得類似時兩個特徵部之間的移除速率也變得類似。例如，若處理起始基板，如圖 1B 中所示的基板，

在電蝕刻處理過程中孤立特徵部中的電蝕刻速率會大於緻密特徵部中的電蝕刻速率，這可能最終會導致圖 15A 中所示的結構，其中孤立特徵部被過度蝕刻至低於目標位準且緻密特徵部剛好達到目標位準。藉著在電蝕刻步驟前電鍍較厚可避免這樣的處理，但這樣的處理不會有電拋光能提供的可能期望特質，如平滑且平坦的特徵部表面。因此，替代性的，若在任何特徵部到達目標位準之前便停止電蝕刻並自金屬移除狀態切換至電拋光，則可避免此問題。這是否發生取決於在所用之電拋光處理下孤立特徵部對緻密特徵部的相對移除速率。由於電拋光能以可變速度移除金屬(可變速度可隨著時間減少且取決於所選定之特徵部對對流的暴露)，因此終究可利用此兩步驟方法來獲得平坦化的結構。此方法係由圖 14 中所示之處理流程圖及圖 15B-15E 中所示之結構所例示。處理始於 1401，提供具有受到裸露之金屬層的基板(例如具有非連續性金屬層與受到暴露之介電材料層的基板，如具有通遮罩電鍍之特徵部的基板)。圖 15B 中提供了此類基板之例示。在此實例中，基板包含三個特徵部 1503、1505 及 1507，其中較孤立的特徵部 1507 被金屬填充所達之位準高於其餘較緻密特徵部 1503 與 1505 被金屬填充所達之位準。此外，在此例中三個特徵部 1503、1505、1507 在特徵部內皆有圓頂形之金屬填充物。處理接續進行 1403，在低於臨界電位之電位電蝕刻金屬。由於電蝕刻在較孤立之特徵部 1507 中進行得比在其餘的兩個特徵部中進行更快速，因此電蝕刻能大幅減少特徵部之間的厚度變異。然而在此實例中電蝕刻不會大幅削減各別特徵部內的圓頂。圖 15C 中顯示了所得結構。隨著電蝕刻的更進一步進行，可如圖 15D 中所示發生各別特徵部的厚度反轉，圖 15D 顯示孤立特徵部 1507 現在變成具有最小金屬厚度的特徵部。接下來，在 1405 中改變條件並在高於臨界電位的電拋光狀態中移除一部分金屬。圖 15E 中顯示在電拋光後所獲得的結構。電拋光大幅減少特徵部內之厚度變異且在減少特徵部之間之厚度變異之外更實質上平坦化圓頂。較佳是，至少在處理的一部分期

間或在電蝕刻 與電拋光的整個期間使用參考電極監測電位。在某些實施例中，在將電流控制在低於拋光電流(間接地將電位維持至低於臨界電位)時進行電蝕刻，接著過渡至活性電位控制(如增加所施加之電位)以過渡至電拋光處理並在電拋光處理期間將電位直接控制至高於臨界電位。

【0154】 應注意，雖然方法涉及低於臨界電位的電蝕刻與高於臨界電位的電拋光，但臨界電位本身係取決於處理條件，如橫流電解液之流率與溫度。在某些實施例中，除了增加施加的電位以外或甚至不增加施加電位，自電蝕刻過渡至電拋光包含減少電解液的橫流率，其中橫流大小的減少係用以使處理自電蝕刻切換至電拋光狀態。例如，在一實施例中，針對此些條件在一控制電流(對應至低於臨界電位之電位)下電蝕刻基板並同時以第一橫流速率供給電解液。接著，減少電解液流速率以在不改變施加的電位的方式下使處理過渡至電拋光狀態中，其中針對低橫流速率條件電位現在係高於臨界電位。

【0155】 圖 16A-16D 為 50μm 寬約 30 μm 高之銅柱(顯示在光阻剝除後)的 SEM 照片 ，此些銅柱係自四片不同的晶圓在各種處理程序後所獲得。所有的銅柱皆於下列方式後獲得：凹陷特徵部在能得到大致上粗糙之金屬表面之高速電鍍電解液中於相同條件下受到電填充。圖 16A 為控制實例，其顯示在銅電鍍後不進行任何電蝕刻或電平坦化步驟的銅柱。可觀察到上表面很不平且具有圓頂形狀。圖 16B 顯示在銅電鍍後僅進行電拋光所獲得的銅柱。可觀察到電拋光幾乎移除了所有高度變異。圖 16C 顯示在銅電鍍後僅進行電蝕刻所獲得的銅柱。此方法稍微改善了較大的厚度差異，但在電蝕刻後所得到的表面粗糙度是明顯的。圖 16D 顯示利用電蝕刻(80%之金屬移除時間)並接著進行電拋光(20 %之金屬移除時間)所處理之銅柱。可觀察到獲得平滑的表面。

電解液成分的動態平衡

【0156】在某些實施例中，進行電化學金屬移除，同時在一基板上進行電化學金屬移除的過程期間或在複數基板上依序進行電化學金屬移除的過程期間維持電解液成分的動態平衡。維持動態平衡是重要的，以維持一組可預測且衡定的晶圓處理結果(例如，在 WIF、WID 及金屬移除速率的晶圓間一致性)，且維持動態平衡涉及控制電解液之一或多種成分的濃度俾使濃度不會自目標濃度波動超過一小的定義量。在一替代性實施例中，在一基板上進行電化學金屬移除的過程期間或在複數基板上依序進行電化學金屬移除的過程期間維持實質恆常的電解液黏度。在此實施例中，利用一或多個黏度感測器控制黏度且不允許黏度自目標黏度波動超過一定義量。可藉由若黏度高於期望時添加較不黏的流體(如藉著將水添加至基於酸的電解液)及/或增加溫度來調制黏度，藉此將黏度維持在一期望位準。雖然在許多實施例中較佳是維持電解液成分之濃度的動態平衡，但可類似地使用維持實質上恆定的黏度之方式來使處理速率及處理特性維持實質上不變。在某些實施例中，控制電解液中金屬離子及/或陽離子及/或質子的濃度，俾使其不會自目標濃度偏離超過預定可容許的量。「將濃度維持在目標位準」一詞係指將濃度維持在離目標濃度可允許的偏離範圍內。例如，若銅離子的目標濃度為 50 g/L 且可允許的偏離(波動)為 5 %，則當銅濃度係落在介於比 50 g/L 低 5%與比 50 g/L 高 5%(或 47.5 – 52.5 g/L)之間的範圍內時可說銅濃度被維持在目標位準處。一般而言，可允許的偏離大小係針對目標物種之變化對處理速率、平均特徵部移除速率、特徵部之間之相對移除或平坦化速率(對比)、特徵部形狀平坦化特性或速率等的影響加以決定。

【0157】此處理係例示於圖 17 中。在 1701 中提供具有裸露金屬層的基板之後，在 1703 中陽極化偏壓基板並將基板浸沒於電解液中。接著在 1705 中，處理基板俾以電化學移除金屬並改善金屬層的均勻度，並同時將電解液中金屬離子及/或酸(質子)的濃度維持在目標位準的約 10%內。在此實例中可允許的偏離

為 10%。在某些實施例中，將金屬離子的濃度及/或酸的濃度維持在目標位準的約 5%內，如目標位準的約 2%內。在一較佳的實施例中，控制金屬離子與酸兩者的濃度。例如，在一實施例中，在電化學銅金屬移除期間維持銅離子的濃度俾使其波動不自銅目標位準超過 5%，或更較佳是不自銅目標位準超過 2.5%，且酸濃度的波動不自酸目標位準超過 2%，或更較佳是不自酸目標位準超過 0.5%。例如在銅離子的目標濃度為 60 g/L 且磷酸的目標濃度 為 48 重量%的系統中，動態平衡可藉由下列方式達成：將銅濃度維持在約 57 - 63 g/L 的範圍內(在目標位準約 5%內)，且更較佳是將銅濃度維持在約 58.5 - 61.5 g/L 的範圍內(在目標位準約 2.5%內)，並同時將磷酸濃度維持在約 47.04 - 48.96 重量%的範圍內(在目標位準約 2%內)，且更較佳是將磷酸濃度維持在約 47.76 - 48.24 重量%的範圍內(在目標位準約 0.5%內)。在某些實施例中，一開始將基板浸沒至包含金屬離子與酸的電解液中，其中濃度不自金屬離子與酸濃度之目標位準偏離超過一小定義量，且在電化學金屬移除的過程期間控制金屬離子與酸濃度，俾使金屬離子與酸濃度不落在定義範圍外(如目標量之 10%內或 5%內)。在其他實施例中，一開始可將基板浸沒至一或多種成分偏離目標濃度超過 10%的電解液中，但在電化學金屬移除的過程期間使此一或多種成分的濃度落在期望範圍內(每一成分之目標位準的 10%內)並在基板上電化學金屬移除的整個期間維持該一或多種成分的濃度。

【0158】 接著，在已處理第一基板後，處理進行至 1709，依序處理複數基板並同時將金屬離子及/或酸的濃度維持在目標位準的約 10%內。例如，可依序處理至少 2、至少 5、至少 10、或至少 50 片基板，俾以自其表面電化學移除金屬而改善金屬層的均勻度，同時將金屬離子(如銅離子)的濃度維持在金屬離子之目標濃度的 10%內並同時將酸濃度維持在酸之目標濃度的 10%內。在處理數片

基板過程期間之維持動態平衡用的更特定範圍可與上面針對單一基板所述者相同。

【0159】除了維持金屬離子濃度及/或酸濃度的動態平衡之外，方法更可涉及在自單一基板電化學金屬移除的過程期間或複數基板依序處理期間控制電解液溫度，俾使溫度自目標溫度偏離不超過約 1°C，較佳是自目標溫度偏離不超過約 0.5°C。在某些實施例中，亦控制電解液黏度，俾使黏度不自目標黏度偏離超過一小定義值。可經由控制酸及銅濃度及/或控制溫度而間接控制黏度。

【0160】在一替代性的實施例中，在不特別量測電解液成分之濃度且不刻意將電解液成分之濃度維持在一恆定位準的情況下，將黏度維持在一實質上恆定的位準處。在此實施例中，可利用例如 Anton Paar L-Vis 510 或 Emerson FVM 黏度計直接量測電解液黏度，且若電解液黏度偏離目標黏度超過一預定值可調整電解液黏度。在某些實施例中，黏度計係與用以量測電解液溫度的溫度計組合使用。藉由例如自電解液蒸發水，減少電解液溫度，將更黏的流體添加至電解液(如較高黏度之含酸及/或含金屬離子的溶液)或上述方法的組合，可增加黏度以回應過低的黏度計感測器讀數。藉由將較不黏的流體添加至電解液(如藉由加水)，增加電解液的溫度，或藉由上述方法的組合，可減少黏度以回應過高的黏度計感測器讀數。利用經驗預定的相關性可準確地預測回應上述變化的黏度改變。在某些實施例中，維持電解液黏度俾使其自目標值偏離不超過一預定量。

【0161】處理一或數片基板時維持電解液成分的動態平衡具有許多重要的優點。當依序處理數片基板時，維持期望濃度會導致電化學金屬移除之晶圓與晶圓間的高再現性，且維持期望濃度是用以針對複數類似晶圓獲得類似均勻度改善及可預測、恆定之移除速率與處理時間的重要因素。又，在自單一晶圓電化學金屬移除期間，如上所述較佳是將金屬離子與酸濃度維持在一期望的窄範圍內，因為穩定的濃度能更精準地識別臨界電位與選擇電化學狀態，導致更

可預測的結果。除了使每片晶圓都在實質上相同的系列條件下受到處理外，能簡化池中效能的問題或變異監測，因為可變電解液組成(如其導電率或密度)的貢獻小，且因此反應器電壓或功率、熱生成及其他參數不會隨著不斷變動的電解液條件而複雜化。

【0162】圖 18 提供用以維持電解液中金屬離子與酸之動態平衡的例示性處理。處理涉及在 1801 中的電化學移除金屬以及在 1803 中之電化學金屬移除期間量測金屬離子與酸的濃度。在文中所用之「濃度量測」一詞可涉及與金屬離子與酸之濃度相關聯的電解液特性的量測，電解液特性的量測能分別判斷酸濃度與金屬離子濃度。在一較佳的實施例中，量測兩種電解液特性，其中第一特性和酸濃度的關聯性比和金屬離子濃度的關聯性更強，第二特性和金屬離子濃度的關聯性比和酸濃度的關聯性更強。第一特性的一實例為電解液的導電率，其顯示與酸的濃度的強相依性。第二特性的實例包含電解液密度及電解液的光吸收度(針對光活性的金屬離子，如 Cu^{2+}、Ni^{2+}、Co^{2+}等)。在一實施例中，酸與金屬離子的濃度係自電解液之導電率與密度的組合讀值所推導出。在另一實施例中，酸與金屬離子的濃度係自電解液之導電率與光吸收度的組合讀值所推導出。在另一實施例中，可使用酸的滴定或酸與金屬兩者的滴定。大致上實施例被限定在能推導出化學浴組成的特定方法。可使用及預見兩或更多理化特性量測之組合的範圍，其實例包含但不限於：電解液中的密度、導電率、黏度、光吸收度(在一或多個波長處的)、拉曼光譜、化學滴定、伏安法(如，利用限制金屬沉積之電流的線性掃描伏安法，關聯金屬濃度)、折射係數或音速。此外，通常利用溫度感測器監測電解液溫度，因為電解液參數和酸與金屬離子濃度的關聯性通常取決於溫度。利用將濃度鏈結至量測參數的經驗式可判斷金屬離子與酸濃度。在下面的實例 1 提供銅離子濃度和磷酸濃度每一者與導電率、電解液密度及電解液溫度之相依性用的此類經驗式。

【0163】在某些實施例中，在電化學金屬移除處理期間連續量測金屬離子與酸的濃度。例如，可連續量測電解液之密度、導電率及溫度並傳遞至系統控制器，在系統控制器中處理此些參數以對電解液管理作出決定。在其他實施例中，以預定區間(如每 300 秒)量測濃度並傳輸予控制器以供處理。若金屬離子濃度及/或酸濃度係高於目標位準、或其超過預定容限或閾值，將稀釋劑添加至電解液及/或藉由電解回收法減少金屬離子的濃度。稀釋劑之添加量係使金屬離子及/或酸的濃度低於預定閾值濃度而更靠近目標濃度。若金屬離子濃度及/或酸濃度減少至低於預定閾值，將濃縮液添加至電解液。濃縮液之添加量係俾使金屬離子及/或酸的濃度高於預定閾值濃度而更靠近目標濃度。例如，若金屬含量低，添加特定量之含金屬溶液，此含金屬溶液所具有的金屬含量係高於池/浴槽中之目標金屬含量。類似地，若酸位準低，添加濃縮的酸。預定閾值濃度係落在離目標濃度位準之允許波動範圍內。例如，若允許金屬離子的濃度自目標位準波動 5%，則觸發稀釋或電解回收的預定閾值濃度可比目標濃度高 3%，且觸發添加濃縮液的預定閾值濃度可比目標濃度低 3%。

【0164】用以減少金屬離子濃度的稀釋劑可為水、酸的水性溶液、或包含具有濃度低於針對金屬離子之預定閾值之濃度的金屬離子的水性溶液。在一實施例中，稀釋劑為不含金屬離子之酸的水性溶液。用以減少酸濃度的稀釋劑可為水、酸的水性溶液、或含金屬之溶液，上述每一稀釋劑中所具有之酸的濃度係低於針對酸的預定閾值濃度。在某些實施例中，在超過金屬濃度閾值時及超過酸濃度閾值時，將來自單一稀釋劑源的單一稀釋劑添加至電解液。在一實施例中，此稀釋劑為包含極少(如少於 1 g/L 金屬)或不包含任何金屬離子的水性酸溶液。在某些實施例中，可藉由在分離的電解回收設備中自電解液電解回收預定量之金屬以減少電解液中的金屬離子濃度。電解回收設備通常包含陰極及尺寸穩定之釋氧惰性電極，來自電解液之金屬離子係在陰極還原並沉積為金屬。

電解回收可將電解液中的金屬離子濃度降至低於預定閾值。電解回收的量可藉由控制通過電解回收裝置之電荷(利用庫侖法)而加以控制。在某些實施例中，藉著將稀釋劑添加至電解液並藉著自電解液電解回收一部分金屬離子而減少金屬離子的濃度，此些方法的組合能使金屬離子濃度落入期望範圍。

【0165】 增加金屬離子濃度的濃縮液可為包含金屬離子(其濃度係高於針對金屬離子之預定閾值濃度)的水性溶液或亦包含酸(酸之濃度係高於、低於或等於針對酸之預定閾值濃度)之類似溶液。增加酸濃度的濃縮液可為濃縮的酸、或酸濃度高於酸之預定閾值濃度之酸的水性溶液、或亦包含金屬離子(金屬離子之濃度係高於、低於或等於金屬離子之預定閾值濃度)的類似溶液。在某些實施例中，池的相對電極為釋氫相對電極，其中自晶圓溶解的金屬量超過沉積在釋氫相對電極上的金屬量。在此情況中，若金屬含量低於目標，更進一步的晶圓處理傾向於增加電解液金屬含量因此毋需添加。又，在操作 1807 中監測電解液的體積，且若電解液的體積超過預定體積閾值，則自系統移除一部分的電解液以使體積低於預定值。在一實施例中，藉由電解液位準計連續監測電解液的體積。

【0166】 應注意，在某些實施例中，將第一稀釋劑(如無金屬離子的酸溶液)添加至與除鍍池呈流體交流的電解液儲槽。在該儲槽中稀釋後，儲槽電解液相對於除鍍池中的電解液變得更稀，且因此當其自電解液儲槽 被添加至除鍍池時可作為第二稀釋劑。圖 19 顯示可用以控制例如包含 Cu^{2+}離子與酸之電解液中之電解液組成的例示性系統。此系統包含用以將電解液相關資訊提供予控制器 1909 的複數感測器 1901、1903、1905 及 1907。更具體而言，此系統包含用以將電解液密度之數據提供予控制器之密度計 1901、用以量測電解液導電率並將此資訊提供予控制器之導電率儀 1903、用以將電解液溫度提供予控制器的溫度計 1905、及用以監測電解液之體積並將此數據供給予控制器之電解液位準計 1907。控制器 1909 係用以處理感測器所提供的資訊，並回應已接收到的資訊而用以將

與電解液稀釋或濃縮、電解液移除及選擇性之銅電解回收相關的一或多個硬體加以啟動。在其他情況中，(未顯示) 控制器 1909 可操作可修改自池及/或池儲槽移除水(經由例如蒸發或反向滲透)之速率的硬體，如開啟或關閉排放調節閘（exhaust damper）或使處理流體流經反向滲透設備。例如，為了回應自密度計、導電率儀及溫度計所接收之組合數據，控制器可啟動稀釋硬體 1911，啟動稀釋硬體 1911 可包含開啟閥件以及啟動用以添加稀釋劑至電解液的泵浦。選擇性地，為了回應來自此些感測器的組合數據，控制器可啟動用以將 Cu^{2+}離子轉換為銅金屬之電解回收系統 1913，並藉此減少電解液中的 Cu^{2+}濃度。為了回應來自電解液位準計的訊號，控制器可啟動與電解液移除相關的硬體 1915。這可包含開啟與容納電解液之容器中之出口相關的閥件，並允許一部分電解液流出容器。

【0167】 只要量測到的參數實質上與靠近晶圓基板的相同，感測器(如導電率儀、密度計及溫度探針)可位於設備的任何位置處。在某些實施例中，感測器係直接位於除鍍池中。在其他實施例中，設備包含一或多個電解液再循環迴路且感測器中的至少某些者係位於除鍍池外、再循環迴路內，其中再循環迴路中的量測到的參數係實質上與除鍍池中量測到的參數實質上相同(例如不偏移超過 1%)。在一實施例中，再循環迴路包含除鍍池本身、位於除鍍池外的電解液儲槽、及使電解液能自除鍍池循環至儲槽並自儲槽循環回除鍍池的流體線。再循環迴路可包含一或多個用以過濾電解液的濾件、一或多個使電解液在再循環迴路中移動的泵浦、流量計、池隔絕閥(用以停止自儲槽至除鍍池之液流的閥件)、及溶解氣體添加或移除設備(例如，用於移除溶解氧，諸如利用氣-液「接觸件」，如 Liqui-Cell Superphobic 薄膜接觸件)。較佳地，快速地混合再循環迴路中的電解液俾使其在迴路中不同部分處(如除鍍池中、儲槽中、流體線中)的濃度實質上相同。在此實施例中，較佳是在某些實施例中於除鍍池外的再循環迴路中設置感測器，如在儲槽中設置，或如設置與導入或離開除鍍池的流體線相關的感測器。

類似地，稀釋劑的添加及銅電解回收可直接進行在除鍍池中，或者在某些實施例中可在除鍍池外的再循環迴路中進行。例如，可將稀釋劑添加至位於儲槽中的電解液，且接著將經稀釋的電解液快速地引導至除鍍池以在整個再循環迴路中快速混合電解液成分。

【0168】 在某些實施例中，利用亦用來作為濃度控制溶液的兩種電解液起始/構成溶液來控制電解液組成。此方案大致上是有用的且可用於具有氫氣生成陰極的設備中以及使用活性陰極的設備中。當使用氫氣生成陰極時且當陰極上的金屬電鍍不存在或最少時，電解液會因為金屬自受到陽極化偏壓的基板溶解至電解液中而需要濃度調整(如稀釋)。然而即便是在使用活性陰極且池本身內之反應不會修改金屬與酸含量的情況中，仍可進行電解液濃度調整。在活性陰極的情況中，由於材料進入及離開池/浴槽系統或由於低於 100%的陽極(基板金屬移除)與陰極(相對電極之電鍍)效率，電解液組成可能仍然會隨著時間漂移。

【0169】 第一溶液 M 具有高的金屬(如銅)濃度與低的酸濃度，第二溶液 A 具有高的酸含量及低的金屬(如銅)含量。溶液 M 中的金屬濃度係高於溶液 A 中的金屬濃度。相反地，溶液 M 中的酸濃度係低於溶液 A 中的酸濃度。例如，溶液 M 可包含約 50 至 80 g/L 的 Cu^{+2}，如磷酸銅，及約 150 至 400 g/L 的磷酸。使用在此範圍內較低的銅濃度與較低酸濃度(如 50 - 75 g/L 的銅與 150 - 200 g/L 的磷酸)，其中在此範圍內較高的銅濃度係與較高的酸濃度一起使用(如 75 - 80 g/L 的銅與 200 - 400 g/L 的磷酸)。此實例中的溶液 A 可包含約 0 至 10 g/L(如 5 - 10 g/L)的 Cu^{+2}，如磷酸銅，及約 800 至 1350 g/L 的磷酸。一般而言，金屬/酸的濃度應儘可能地高，同時避免金屬鹽在預期溶液所暴露之最低溫度(例如，在運送溶液期間所遇到的溫度)期間沉澱。

【0170】 圖 19B 例示根據一實施例之電鍍模組質量平衡 1920。當晶圓進入電鍍池模組 1921 時，取決於晶圓的先前歷史，晶圓可將水、酸、金屬離子、或

來自其先前處理步驟於其表面上的夾帶的其他污染物帶入模組中。晶圓亦可將材料自遮罩/光阻層淋溶進系統中。此些來自晶圓的進入材料被稱為晶圓拖入物1922。水係藉由實質上恆定速率之蒸發1923而自系統移除。在某些實施例中，可將用以修改水移除速率的機構建入系統中。例如，可使用速度控制蒸汽流量或機械控制之閘閥來修改水移除速率。可自系統將受控量的材料(如含酸與金屬鹽之電解液)移除至廢液排出口。自系統流出的此材料流係顯示為材料流1924。可將受到控制之量的純去離子水1925、富金屬的溶液M 1926及富酸的溶液A 1927添加（給劑）至系統。方法更包含依需要移除受到控制之量之可具有高金屬、酸或雜質含量的電解液材料(例如自位於電解液再循環迴路中的儲槽)，以將酸、金屬及水的濃度維持在目標位準處且將雜質濃度維持在可接受之低位準。可使用一系列之感測器(如文中所述)監測電解液成分的濃度。使用系統控制器以及特性/濃度關聯及預測與反饋邏輯以維持濃度。在系統的起始時，藉著以受到控制之量組合溶液M、溶液A及水以產生具有成分之所需目標濃度的溶液，製備起始(新的)電解液。

【0171】文中所述之電化學金屬移除方法可在一設備中進行。此設備具有：用以容納電解液與陰極的一容器；及一半導體基板支撐件，用以支撐半導體基板俾以在電化學金屬移除期間使半導體基板之工作表面浸沒於電解液中並與陰極分離。此設備包含用以在電解金屬移除期間用以負偏壓陰極及正偏壓基板的電源與電連接件。在某些實施例中，此設備更包含機構用以在電化學金屬移除期間提供沿著實質上平行於基板之工作表面之方向與基板之工作表面接觸的電解液橫流。在某些實施例中，設備包含用以量測半導體基板附近(如基板之約5 mm內)之電位或等效電位的參考電極。在某些實施例中，此設備較佳是包含位於陰極與基板支撐件之間的分離件，藉此定義陽極室與陰極室，其中分離件係用以阻擋在陰極處形成的任何H_2泡泡或粒子橫跨分離件而到達基板。分離件為

電解液之離子物種可滲透的且允許陽極室與陰極室之間的離子交流。此設備較佳係用以安全地分離陰極室中的H_2或粒子並經由靠近分離件薄膜之陰極室中的一或多個開口移除H_2或粒子。

【0172】圖 20 中例示電化學金屬移除設備之一部分的實例，此設備包含橫流用之機構、參考電極、及用以分離及移除H_2氣體的陰極室。應注意，除了（或取代）分離及移除H_2氣體，此設備亦可用以分離及移除在陰極處生成的粒子。設備包含用以支撐及旋轉半導體基板 3 的半導體基板支撐件 1。沿著基板周邊設有複數電接觸件。電接觸件係電連接至電源(未顯示)以在電化學金屬移除期間正(陽極化)偏壓半導體基板。陰極 5 係位於基板 3 下方且係電連接至在電化學金屬移除期間負偏壓陰極的電源(未顯示)。可使用不同類型的陰極，包含由欲移除之相同金屬所製成的陰極(例如在銅金屬移除期間的銅陰極)、由可電鍍之金屬(如不銹鋼)所製成之陰極及惰性陰極。在某些實施例中，使用惰性的氫氣生成陰極，因為活性陰極可與某些電解液反應或溶解於某些電解液中、或電鍍不附著之金屬或金屬的樹突狀粒子生成層而導致電解液之金屬離子濃度無可避免地增加或形成含金屬的淤泥。在其他實施例中，活性陰極不會與電解液化學反應且為較佳選擇，因為自基板所移除的金屬會電鍍至活性陰極上，故整個池的化學反應呈平衡且處理成本可從而降低，因為很少或不會因為金屬耗盡而需要置換溶液。惰性陰極的實例包含塗佈有鉑、銥、鈮或任何此些金屬之組合的金屬陰極(如鈦陰極)。

【0173】錐形薄膜 7 係位於陰極 5 與陽極基板 3 之間，將除鍍池 9 分為陰極室 13 與陽極室 11。薄膜 7 係設置在框 12 上俾使錐的頂點比錐的底部更靠近陰極。薄膜材料不允許在陰極 5 處所形成的H_2泡泡自陰極室 13 跨越至陽極室 11 中。薄膜係由離子可滲透的材料所製成，如離子可滲透的聚合物。在某些實施例中，親水性的聚合物是較佳，如包含官能基團-SO_2-的聚合物。在某些實施

例中，薄膜材料包含聚醚碸(PES)、聚苯碸及來自聚碸家族的其他聚合物。親水性的薄膜泡泡分離材料是較佳的，因為泡泡附著至此些材料的機會小於附著至斥水性薄膜的機會。薄膜的錐形使 H_2 泡泡能在陰極處被釋放而向上移動，沿著薄膜表面徑向向外而朝向陰極室的外緣移動，在薄膜與陰極室側壁之間的界面處累積。出口 15 係位於陰極室側壁中接近薄膜與側壁之間的交接部，且係用以移除與陰極電解液的混合物中之累積的 H_2 泡泡。例如，出口係位於與薄膜組件和陰極室側壁之交接部約 1mm 內，且在某些實施例中無任何間隙。出口與該交接部之間不希望有間隙(垂直間隙)存在，因為泡泡會傾向於累積在間隙中並更難以自池移除。在某些實施例中，出口包含位於陰極室側壁之周圍附近以實質上相同小間隔設置的複數開口，例如沿著陰極室以 45°等間隔設置的八個開口。在某些實施例中，此出口為壁中的連續性槽口。在一實施例中，池之周長附近的連續性槽口會導致具有電解液出口作用之多個等距分佈的孔口。一般而言，只要將池設計成能自陰極電解液移除大部分泡泡或實質上所有泡泡，陰極電解液出口可採用各種形狀及形式。例如，當池被設計成引導泡泡朝向此出口，可使用由小於 360°或小於 180°所對向之單一出口。薄膜與陰極電解液出口的相互位置有助於達成有效及安全的氫氣泡泡分離及自陰極室移除。陰極室更包含用以接收陰極電解液的入口 17。在所示的實施例中，陰極電解液入口係位於陰極下方。一般而言，較佳是將陰極電解液入口設置在陰極電解液出口下方俾使進入陰極室的陰極電解液能向上並繞著陰極流動(或流過穿孔或多孔的陰極)，因為這能促進陰極電解液及泡泡於向上方向的移動並避免陰極室中之電解液與靠近陰極之電解液之間的組成的大差異。陽極室 11 係位於薄膜 7 上方且容納受到陽極化偏壓的基板 3。在所示的實施例中，離子電阻性離子可滲透之元件 19(「元件」)係位於薄膜 7 與基板支撐件 1 之間的陽極室中。離子電阻性離子可滲透之元件較佳係在電化學金屬移除期間與基板實質上共延且位於基板之工作表面的附近。

該元件具有面基板表面及相對表面，且配置成俾使在電化學金屬移除期間面基板表面與基板之工作表面之間的最近距離約為約 10 mm 或更小。在所示的實施例中，該元件的面基板表面是平的，但在其他實施例中，該元件可例如為凸面的，使中間和基板之間的距離小於邊緣和基板之間的距離。此元件係由具有孔隙的介電材料所製成，其中該元件的孔隙度較佳相對低俾使該元件在系統的離子電流路徑上導入大的電阻。在某些實施例中，該元件包含複數非連通性的通道，允許電解液流過元件。在某些實施例中，元件包含介於約 6,000 - 12,000 個鑿鑽的通道。對於降低由於終端效應在電化學金屬移除期間可能會出現之徑向非均勻度，該元件是有用的。若與基板之電接觸係於基板外緣處(通常如此)，終端效應本身可顯現在靠近基板外緣的較多電化學金屬移除。在此配置中，尤其在使用薄及/或電阻性之晶種層進行接觸時，在基板外緣處所移除的金屬可能會多過於在基板中央部分所移除的金屬，導致徑向非均勻度。離子電阻性離子可滲透之元件可具有用以使場分佈更均勻及用以減少所述終端效應的高離子電阻板的功用，藉此能改善金屬移除的徑向均勻度。在某些實施例中，該元件更扮演著形塑基板附近之電解液流的角色。其可具有流動限制元件的功能，定義高電解液流量的區域並限制液流進入橫流區域。例如，其可提供元件之面基板表面與基板之工作表面之間的窄間隙(如 10 mm 或更小)，電解液係橫向注入此間隙中。此配置能促進靠近基板表面的電解液橫流。可利用至少部分由元件 19 之空腔所定義的橫流注射歧管 21 將電解液(陽極電解液)注射至間隙中。橫流注射歧管為弧形且位於基板外緣附近。橫流限制環 23 係位於基板外緣附近至少部分介於元件 19 與基板支撐件之間。橫流限制環 23 至少部分地定義了元件與基板之間之間隙的側邊。陽極室具有用以經由例如橫流注射歧管自陽極電解液源接收陽極電解液之間隙的入口 25，以及用以自該間隙移除陽極電解液之間隙的出口 27。入口 25 與出口 27 係位於基板之工作表面之方位角相對的周長位置附近(且

亦位於基板支撐件之方位角相對的周長位置附近及該元件之方位角相對的周長位置附近)。入口 25 與出口 27 係用以在電化學金屬移除期間於此間隙中產生電解液橫流並在靠近基板的工作表面處產生或維持電解液橫流。在某些實施例中，離子電阻性離子可滲透之元件具有緩和終端效應及限制電解液流的雙重目的，以在基板附近提供電解液橫流用之定義空間。參考電極 29 係位於元件 19 上方靠近基板支撐件 1 的外緣。參考電極較佳係位於離基板表面約 5 cm 內，或位於可量測到等於離基板 5 cm 內所量測到之電位之電位的位置處。更較佳地，參考電極係位於離基板表面約 5 mm 內，或位於等於晶圓表面平面處之電位或與晶圓表面平面處之電位有最少差異的位置處。例如，參考電極可被浸沒至離開陽極室的電解液中。在所示的實施例中，參考電極係由與欲自晶圓基板移除之金屬相同之金屬之條或棒所製成。例如，在銅移除期間可使用銅參考電極，在鎳移除期間可使用鎳參考電極，在錫移除期間可使用錫參考電極等，而此類電極之表面的一部分係與處理電解液直接接觸。針對參考電極使用與欲自基板移除之金屬相同之金屬是有利的，因為此類參考電極相對於零電流操作點會有零(或幾乎是零)開路電位且比常用的參考電極操作更長且更穩定。在某些情況中，當金屬電極被暴露至所選擇之電蝕刻 電解液時可能會形成薄膜(氧化物或鹽類薄膜)，使其為較不偏好的參考電極選擇。更通常，可使用各種不同類型的參考電極，其包含但不限於所包含之電解質係不同於電解質處理溶液者，如飽和甘汞電極 (Hg/Hg_2Cl_2 或 SCE)、$Hg/HgSO_4$ 電極、及 Ag/AgCl 電極。應注意，在使用魯金毛細管的該些實施例中，參考電極的物理位置可靠近或遠離基板。上述離晶圓 5 mm 的參考距離是參考電極之最靠近的點，或參考電極與晶圓之間構成魯金連接之電流之限制與孤立線之最靠近的點。參考電極感測魯金毛細管之開放尖端處的溶液電位。因此，參考電極亦可與池分離而遠端地加以容納並藉由所謂的「魯金毛細管」連接，其中魯金毛細管的開口距離晶圓 5 mm 或更短。魯金毛細管亦

為人知為魯金探針、魯金尖端、或魯金-哈伯毛細管。在所示的實施例中，參考電極係位於陽極電解液中基板支撐件 1 的徑向外側。在許多實施例中此類外緣位置是較佳的，因為參考電極較佳應不會干擾靠近基板之工作表面的電鍍電流。在某些實施例中，在電化學金屬移除期間參考電極在基板之工作表面上的覆蓋區(電極對基板表面上的投影)為零。

【0174】 參考電極及設備的其他元件係與控制器 31 電交流，控制器 31 具有處理器與記憶體，且具有能控制設備操作之程式指令。例如，電連接件 30 可將參考電極 29 與控制器 31 連接。控制器可包含用以進行文中所述之任何方法的程式指令。控制器可處理參考電極所提供的電位資訊且可調整提供至受到陽極化偏壓之基板的電流及/或電位以回應量測到的電位，以控制電化學金屬移除處理。在一例示性實施例中，參考電極係由自基板移除之相同金屬所製成、被浸沒於陽極電解液中且位於基板附近之離子電阻性離子可滲透之元件的上方(但不必是其之上)。此類位置能最小化基板與參考電極之間的電壓降並改善電位讀值的準確度。

【0175】 圖 21 顯示可用以產生及維持基板之工作表面附近之橫流的系統的上視圖。離子電阻性離子可滲透之元件 19 之周邊係受到橫流限制環 23 部分圍繞，橫流限制環 23 係設計用以形成在該元件與基板之工作表面之間之間隙的側壁。弧形橫流注射歧管 21 利用間隙之入口 25 注射電解液。電解液流係由箭頭顯示。電解液流係以橫向方式朝向出口 27，出口 27 係位於相對於基板周長(或基板支撐件之周長、或離子電阻性離子可滲透之元件的周長)實質方位角相對位置處。

【0176】 設備較佳係提供具有橫跨基板中心至少約 3 公分/秒之速度的橫流。在某些實施例中，較佳是提供具有橫跨基板中心至少 10 公分/秒（如介於約 10 - 90 公分/秒或介於約 20 - 80 公分/秒）之橫流速率的旺盛橫流。此類相對高的

橫流速率可例如利用將電解液橫向注射至靠近基板之間隙中或使用往復槳運動來達到。

【0177】在不同的實施例中，可利用一或多種下列機構來產生橫流：(1)橫向電解液流注射器；(2)用以使電解液流轉向為橫流的液流分流器；(3)離子電阻性離子可滲透之元件，其位於旋轉基板之中心處或靠近旋轉基板之中心的孔洞的數目、位向及分佈均勻度有變異，例如一元件，其中靠近旋轉工作件之中心之孔洞的至少部分者具有偏離垂直的角度(更一般地，不垂直旋轉基板之電鍍面的角度)；(4)用以產生工作件表面與離子電阻性離子可滲透之元件之間之相對移動(例如相對線性或軌道移動)之橫向分量的機構、(5)在電鍍池中提供一或多個往復或旋轉槳、或具有複數槳或鰭片之板(例如槳輪或葉輪)，在板移動時能迫使流體至少部分橫越過晶圓；及(6)附接至液流塑形板或靠近液流塑形板之旋轉組件，其偏離工作件的旋轉軸。在某些實施例中，設備包含晶圓支撐件，晶圓支撐件為模組/處理站的一部分，其中晶圓支撐件留在模組及/或處理站中但可在處理站或模組內旋轉及上下移動，例如晶圓支撐件可具有蛤殼設計。在另一實施例中，晶圓支撐件可與其所支撐的晶圓自處理站移除並通過設備，形成密封並在非金屬移除處理站之他處自載件釋放晶圓。

【0178】圖 22 提供除鍍池之一部分的橫剖面概圖，其例示利用來自陰極室 13 之陰極電解液流移除 H_2 泡泡。H_2 泡泡 33 及/或粒子係於陰極 5 處產生且如箭頭所示朝向薄膜 7 上升。在薄膜處，泡泡沿著薄膜/框組件的錐形壁移動直到其到達陰極室出口 15 為止。泡泡係隨著經過導管 35 的陰極電解液之部分一起被移除，在某些實施例中，導管 35 將陰極電解液與泡泡的混合物輸送至沉靜室，H_2 氣體在沉靜室處與陰極電解液分離、受到惰性氣體稀釋而被安全移除。圖 22A 亦顯示參考電極 29 的位置以及在此實施例中自參考電極向下並用以連接參考電極與控制器的電連接件 30。

【0179】圖 22B 中例示之實施例顯示泡泡分離薄膜的替代性位置，其顯示池 2201 的簡化橫剖面圖。該池包含用以容納水平放置之陽極基板 2205 的陽極室 2203 以及用以容納陰極 2209 之陰極室 2207。在此實施例中分離兩室的薄膜 2211 係相對水平面以一角度設置。例如，薄膜可為附接至池側壁之平面材料薄片俾使其如所示位於傾斜位置中。在某些實施例中，薄膜平面傾向水平面的角度係介於約 5 – 85°之間，如介於約 10 – 60°之間。平面薄膜的傾斜位向能促進傳輸泡泡並自陰極室移除泡泡。在所示的實施例中，陰極室出口 2213 係位於薄膜上部與池之側壁的交接部附近，允許在泡泡自陰極向上移動後利用陰極電解液移除泡泡。

【0180】在更另一替代性實施例中，可以垂直位向處理基板俾使基板之工作表面的位向與水平面夾 90 度角。在此實施例中，分離陽極與陰極室的薄膜可垂直配置(平行於基板表面)，且陰極室出口可位於陰極室之上部中的任何位置處，只要能移除泡泡及/或避免粒子到達工作件即可。

【0181】圖 23 提供圖 22A 中所示之實施例之除鍍池之一部分的橫剖面概圖，其例示添加陰極電解液至陰極室。陰極電解液經由陰極室入口 17 進入陰極室 13。陰極電解液係藉由耦合至入口 17 的導管所提供，且在某些實施例中陰極電解液係自陰極電解液再循環迴路（如自位於陰極電解液再循環迴路中的儲槽）所提供。陰極電解液的流動係由箭頭所示。陰極電解液流至位於薄膜與池側壁之交接部外緣的陰極電解液出口。一般而言，陰極電解液入口及出口的位置可變化，但其較佳是設置以在陰極上方或通過陰極本身提供均勻對流。如上所述，一或多個出口較佳係位於池外緣儘可能地靠近薄膜與池壁的交接部。

【0182】圖 24 提供電化學金屬移除設備之概圖，電化學金屬移除設備包含除鍍池、沉靜室、陽極電解液再循環迴路及陰極電解液再循環迴路，其中兩迴路具有共用的儲槽。在使用活性陰極且金屬電鍍至陰極上的效率高(例如，大

於 95%的電流最終用來電鍍金屬)的情況中，可能不需要用以分離及稀釋氫氣的沉靜室。圖 24 例示設備之元件之間的流體連接。在所示的實施例中，所示之設備係用於利用電解液自基板電化學移除銅，該電解液包含磷酸(H_3PO_4)之水性溶液及磷酸之一或多種銅鹽(如 $Cu_3(PO_4)_2$)或基本上由其所組成。例如，電解液可包含 Cu^{2+}、Cu^{+}、H^{+}、$H_2PO_4^{-}$、HPO_4^{2-}及 PO_4^{3-}之任何組合。應瞭解，所提供的設備可用於利用文中所述的其他電解液而電化學移除其他金屬(如 Ni、Co、Sn 等)。設備包含除鍍池 9，除鍍池 9 被薄膜 7 分割為陽極室 11 與陰極室 13。陽極室 11 容納受到陽極化偏壓的基板 3，在電化學金屬移除期間當基板上的銅層根據反應(3)與(4)電化學溶解時，基板 3 會將 Cu^{+}與 Cu^{2+}離子釋放至陽極電解液中。Cu^{2+}通常在電解液中為主要的銅離子，而 Cu^{+}通常只存在極少量。陰極室 13 容納陰極，反應(5)、(6)及(7)係於陰極處發生。陰極處的氫氣釋出為將薄膜 7 置於陽極與陰極之間的主要驅動力，因為在陰極室中分離氫氣是有利的。在所示的實例中，陽極電解液與陰極電解液的組成係實質上相同，但陰極室中的陰極電解液包含 H_2 泡泡而陽極室中的陽極電解液實質上不具有 H_2 泡泡，薄膜 7 阻擋 H_2 泡泡進入陰極室。所示的系統包含用以自陰極室移除一部分陰極電解液、處理被移除之陰極電解液並使處理過之陰極電解液返回陰極室的陰極電解液再循環迴路。處理陰極電解液可包含下列之一或多者：自陰極電解液移除氫氣泡泡、使陰極電解液與陽極電解液混合、稀釋陰極電解液(例如在與陽極電解液混合後)、自陰極電解液電解回收銅(例如在與陽極電解液混合後)、過濾陰極電解液、對電解液進行除氣(例如藉由接觸件)、及加熱或冷卻陰極電解液。在所示的實施例中，陰極電解液再循環迴路包含沉靜室 37、儲槽 39、相關的流體接口、流體線、及流體管理機構(如一或多個泵浦、電解液流計及濾件)。包含磷酸、磷酸銅及氫氣泡泡的陰極電解液經由陰極室出口 15 離開並經由相關的流體線 35 而流至沉靜室 37。沉靜室 37 係用以自液態陰極電解液分離氫氣泡泡、以惰性氣體稀釋氫氣

及自沉靜室移除經稀釋的氫氣。陰極電解液經由沉靜室陰極電解液入口 40 進入沉靜室 37，且在一實施例中經由曲折的路徑通過沉靜室，曲折的路徑可藉由來自陰極電解液混合物的浮力促進氫氣分離。沉靜室更具有惰性氣體入口 41，惰性氣體入口 41 係經由惰性氣體線 45 連接至惰性氣體源 43(如 N_2 源)。惰性氣體經由入口 41 流至沉靜室中並允許與氫氣混合。接著經稀釋的氫氣混合物流至沉靜室之氣體出口 47，然後可進行在經稀釋的之氣體流中之氫氣濃度的量測，然後將混合物移除至排放件 49。在沉靜室 37 中已至少部分排除氫氣後的陰極電解液經由陰極電解液出口 51 離開沉靜室然後藉由流體線 53 流至儲槽 39。在某些實施例中，沉靜室 37 與儲槽 39 係結合於一緊湊的組件中且在此些實施例中移除流體線 53 俾使陰極電解液出口 51 與儲槽陰極電解液入口 55 重合。

【0183】 來自沉靜室 37 的陰極電解液經由儲槽陰極電解液入口 55 進入儲槽 39。在圖 24 所示的實施例中，儲槽 39 係由陰極電解液再循環迴路與陽極電解液再循環迴路共用，且來自陽極電解液再循環迴路的陽極電解液係於儲槽中與陰極電解液混合。若有需要，在此階段可以稀釋劑(如水性磷酸)稀釋混合物。自稀釋劑源 57 經由稀釋劑線 59 並通過儲槽稀釋劑入口 61 將稀釋劑添加至儲槽 39。在某些實施例中，稀釋劑可包含濃度小於儲槽電解液之濃度的銅鹽。儲槽更包含電解液移除接口 63，若儲槽中之電解液的體積超過預定閾值，可通過電解液移除接口 63 將一部分電解液移除至排放件 65。陰極電解液再循環迴路係藉由下列方式完成：利用泵浦 71 經由電解液出口接口 67 與線 69 自儲槽 39 移除一部分陰極電解液(已與陽極電解液混合)，然後利用陰極電解液進入線 73 將一部分陰極電解液(已與陽極電解液混合)導至陰極室 13。已經再循環及處理的陰極電解液經由陰極電解液入口 17 進入陰極室 13，藉此完成再循環迴路。

【0184】 陽極電解液再循環迴路係用以自陽極室 11 移除一部分的陽極電解液、處理陽極電解液、及使經處理的陽極電解液返回陽極室 11。處理陽極電

解液可包含下列之一或多者：使陽極電解液與陰極電解液混合、添加稀釋劑至陽極電解液(例如在其與陰極電解液混合後)、自陽極電解液電解回收銅(例如在其與陰極電解液混合後)、過濾陽極電解液、及加熱陽極電解液。此外，陽極電解液再循環迴路可用以量測一或多個陽極電解液特性，如密度、導電率及除鍍池外的溫度。在所示的實例中，陽極電解液再循環迴路包含與陰極電解液再循環迴路共用的儲槽 39、用以將陽極電解液自陽極室 11 輸送至儲槽 39 的流體線 74、用以將陽極電解液自儲槽 39 輸送至陽極室 11 的流體線 69 與 75、位於儲槽 39 中之導電率儀 77、及位於流體線 81 中之密度計 79，在線 75 通至陽極室入口 25 前流體線 81 形成自線 69 形成一迴路。在再循環期間，陽極電解液經由陽極電解液出口 27 離開陽極室 11 並藉由導管 74 流至儲槽 39，在儲槽 39 處陽極電解液與來自陰極電解液再循環迴路的陰極電解液結合。可如上述稀釋陽極電解液(已與陰極電解液結合)，且若有需要可自儲槽 39 移除一部分陽極電解液(已與陰極電解液結合)至排放件。在儲槽中利用導電率儀 77 量測陽極電解液(已與陰極電解液結合)之導電率。接著利用泵浦 71 引導陽極電解液(已與陰極電解液結合)回到陽極室 11。陽極電解液(已與陰極電解液結合)經由電解液出口接口 67 離開並流經線 69(與陰極電解液再循環迴路結合)。在接點 83 處，流體線 69 分支為流體線 75(引導至陽極室 11)與流體線 73(引導至陰極室 13)。一部分陽極電解液(已與陰極電解液混合)通過迴路 81，在迴路 81 中利用密度計 79 量測電解液之密度。接著陽極電解液(已與陰極電解液混合)經由陽極室入口 25 重新進入陽極室 11。

【0185】 在某些實施例中，利用安裝在儲槽 39、陽極室 11 及/或陽極電解液再循環迴路中的加熱器加熱電解液。在此些實施例中，安裝於儲槽 39 或陽極室 11 中加熱器附近的溫度感測器係用以與系統控制器通訊並調節溫度。

【0186】所示之系統更包含基板沖洗機構，基板沖洗機構連接沖洗液(如去離子水)源 85 與沖洗液輸送線 87。線 87 可與噴嘴耦合且可用以在電化學金屬移除後沖洗基板以自基板移除電解液。

【0187】在一替代性實施例中，陰極電解液再循環迴路與陽極電解液再循環迴路並未共用元件。此實施例係例示於圖 25 中，圖 25 提供電化學金屬移除設備之概圖，該電化學金屬移除設備具有兩個分離的再循環迴路。在此實施例中，陽極電解液再循環迴路係與圖 24 中所示的陽極電解液再循環迴路相同但儲槽 39 並未接收來自陰極電解液再循環迴路的任何陰極電解液。在此實施例中，陰極電解液再循環迴路包含沉靜室 37。然而，不若圖 24 之共同儲槽實施例，經再循環的陰極電解液並非自沉靜室流至儲槽而是在氫氣移除後回到陰極電解液室。陰極電解液經由陰極電解液出口 51 離開而進入流體線 52 中，然後在泵浦 72 的協助下經由陰極電解液入口 17 進入而回到陰極電解液室 13。陰極電解液再循環迴路可包含一或多個感測器以分別量測陰極電解液特性。例如在所示的實例中，導電率儀 78 係位於沉靜室中且用以量測陰極電解液之導電率。此外，自陰極電解液線 52 分支的流體迴路 54 配有密度計 80，密度計 80 係用以量測陰極電解液的密度。在某些實施例中，陰極電解液再循環迴路可用以獨立於陽極電解液再循環迴路而接收稀釋劑及/或電解液成分以回應陰極電解液再循環迴路之感測器所提供之資訊。例如可自酸源 58 經由酸輸送線 60 通過接口 62 將酸溶液給劑至沉靜室 37。在所示的實施例中，陽極電解液再循環迴路與陰極電解液再循環迴路在池外並無流體或離子交流。然而在一替代性實施例中，陽極電解液再循環迴路可例如經由陰極電解液儲槽溢流管自陰極電解液再循環迴路接收陰極電解液。亦應注意，雖然在前面的實施例中陽極電解液與陰極電解液具有實質上相同的組成(包含實質上相同濃度的相同成分)，但在其他實施例中陰極電解液與陽極電解液具有不同組成且陰極電解液與陽極電解液中之成分的濃度係利用分離

的陽極電解液與陰極電解液感測器及成分輸送系統所分別管理。在使用具有不同組成之陽極電解液與陰極電解液的一實例中，維持陰極電解液實質上無金屬離子。在此實施例中，分離的陰極室(SCC)係藉由薄膜與陽極室分離，薄膜能實質上避免存在於陽極電解液中的金屬離子(如自基板溶解的銅離子)傳輸進入陰極室。此分離的陰極電解液室實施例(或 SCC)能使實質上不同的化學組成暴露至陽極/基板及陰極。在此實例中，SCC 薄膜能抑制及/或避免陽極電解液中的銅(或其他金屬)離子傳輸到達陰極而電鍍至陰極上。此類電鍍可能是樹突狀(dendritic)或不規則的，且可造成粒子形成而劣化池操作。因此在某些實施例中有 SCC 且 SCC 中的電解液實質上不包含自晶圓移除且包含於陽極電解液中的金屬(如銅)。例如，陰極電解液可包含酸，此酸可能是與陽極電解液中所包含之酸相同類型的酸。在某些實施例中，由於酸會被氫氣生成陰極反應所消耗，因此藉由直接添加酸至 SCC 或藉由將 SCC 加至陰極電解液再循環迴路，週期性地將酸補充予 SCC。

【0188】 圖 26 提供沉靜室/儲槽之組合組件的橫剖面圖。沉靜室 37 佔據組件的右前部且係藉由側壁(包含側壁 89)及底壁而與儲槽 39 分離，其中底壁具有開口 51 使陰極電解液自沉靜室 37 流至儲槽 39。由於沉靜室與儲槽為交流的容器，兩容器中的電解液位準通常相同且由位準 91 所顯示。藉由具有開口 40 的導管 35 將來自陰極室的陰極電解液(例如酸、金屬鹽及氫氣泡泡的混合物)引導至沉靜室。在沉靜室中陰極電解液經由擋板 93 所定義之曲折路徑向下流動，如箭頭顯示。在此過程中氫氣泡泡自陰極電解液分離，且上升通過陰極電解液到達陰極電解液位準 91 上方的空間。在沉靜室的底部處，陰極電解液經由開口 51 進入儲槽。沉靜室中的在氫氣在陰極電解液上方的空間中與惰性氣體(如 N_2)混合，然後隨惰性氣體流引導流出沉靜室。在所示的實施例中，惰性氣體經由開口 41 流至沉靜室中，且氫氣與惰性氣體的混合物經由側壁中的開口(未顯示)離

開沉靜室然後流經引導至排放件的開口 47。沉靜室係用以自電解液(至少部分地)分離氫氣泡泡並用以利用惰性氣體稀釋經分離的氫氣。在某些實施例中，稀釋氫氣俾使緊接在經由排放件釋出之前氫與惰性氣體之混合物中的氫氣濃度低於 4 體積%(4%為空氣中氫氣的爆炸下限(LEL))，更較佳是低於約 1 體積%。較佳是配置氫氣與惰性氣體的混合物俾使氫氣濃度低於在空氣中其混合物的爆炸下限(LEL)，即便混合物中的所有惰性氣體皆被 O_2 取代。在一實例中，0.8 L 的 H_2 係由 20 L 的 N_2 所稀釋。應注意，藉由量測通過除鍍池之電荷量來估算陰極電解液中 H_2 的最大量，因為 H_2 的最大量係與通過的電荷成比例。又，在某些實施例中藉由可置於緊接在氣體混合物進入排放件之前的氫氣感測器量測 H_2 濃度。在某些實施例中，惰性氣體係以介於約 20 - 30 L/min 的流率連續流經沉靜室，且在某些實施例中利用 H_2 感測器所提供的反饋，調整流率俾使 H_2 濃度低於預定濃度(如低於 4 體積%)。

【0189】 圖 27 顯示根據一實施例之儲槽 39 的橫剖面圖。為了維持清晰度，未顯示相鄰沉靜室的細節。儲槽 39 具有用以經由線 74 自陽極電解液室接收陽極電解液的進入接口 72。儲槽亦具有用以自沉靜室接收陰極電解液之入口。在此圖中並未顯示入口。在所示之實施例中陰極電解液與陽極電解液在儲槽中混合，利用導電率儀 77 量測經混合之電解液的導電率。接著電解液自儲槽先通過位於儲槽中之濾件 95 而返回再循環迴路。濾件 95 可為位於儲槽中之複數濾件中的一者且係用以過濾電解液使其不含任何剩餘的氫氣泡泡。在一實施例中，在儲槽中使用兩濾件。在一實施例中濾件的位置俾使電解液向下(而非橫向)通過濾件。此類垂直位向的濾件能促進氫氣泡泡分離。

【0190】 在所示的實施例中，自稀釋劑源藉由稀釋劑線 59 將稀釋劑添加至儲槽 39，稀釋劑線 59 係藉由稀釋劑入口 61 進入儲槽。自圖 27 所示之透視可見，稀釋劑線 59 在靠近儲槽 39 之底部、靠近線 74 之出口、在引導至泵浦 71

之線後方終止。這能確保來自陽極電解液返回線 74 的電解液與稀釋劑快速混合。

【0191】 在某些實施例中泵浦 71 係用以產生比儲槽中之壓力更低的壓力，俾使來自儲槽的電解液藉由吸力而被吸引至與流體線及泵浦耦合的濾件。在所示系統中這比使用泵浦增加儲槽中的壓力更有利，因為增加壓力可導致氣體非所欲地溶解至電解液中。

【0192】 儲槽更包含電解液位準感測器 97，其係用以量測儲槽中之電解液的位準並在超過值位準時與控制器通訊。儲槽更包含用以移除電解液至排放件 65 的出口 63。在儲槽的上部處可包含一或多個 用以導入空氣的開口，如氣體入口 99。

【0193】 圖 28A 與 28B 提供根據使用活性陰極之某些實施例之除鍍池之一部分的橫剖面圖。所示實施例中的陰極大致上為碟形且在電鍍期間的位置與基板相對。在某些實施例中，基板直徑與陰極直徑的差異小於 30%，如小於 25%。這對均勻度是有利的。又，陰極的相對大表面積有助於減少陰極處的電流密度，這可最小化陰極與電解液之間的非所欲互動。

【0194】 圖 28A 顯示金屬(如銅)電鍍至活性陰極上之前的池，而圖 28B 顯示在自基板移除金屬並將金屬電鍍至活性陰極上之後的相同池。在所示的實施例中，設備係用以使電解液能進入陰極室中並使電解液沿著向上方向通過在活性陰極中所製造出的開口。設備係更用以使電解液分別在兩位置處進入陽極室中-高於離子電阻性離子可滲透之元件之位置及低於元件之位置。陽極室之入口及陽極室之出口係配置成接近方位角相對的位置處以在基板表面附近產生橫向電解液流。

【0195】 在圖 28A 中例示除鍍池 2200 的一部分。除鍍池包含容納活性陰極的陰極室及容納離子電阻性離子可滲透之元件 2801 與基板(未顯示)的陽極室。

陽極室與陰極室係由薄膜框 2803 分離，薄膜框 2803 支撐離子可滲透薄膜。大致上，薄膜不需是離子選擇性的。薄膜係用以避免可在活性陰極處產生的金屬粒子進入陽極室從而接觸基板。具有橫流限制結構 2202 的離子電阻性離子可滲透之元件 2801 係設置於薄膜框 2803 上並與其附接。薄膜框位於陰極室上方且係附接且密封陰極室壁 2204。

【0196】 流體注射歧管 2805 係用以將流動的電解液饋送至離子電阻性離子可滲透之元件 2801 與薄膜框 2803 之間的腔室中及饋送至離子電阻性離子可滲透之元件與基板之間的間隙中。除了饋送至陽極室中的流體流外，有額外的流體流饋送至陰極室中。流體係藉由導管 2208 注射至陰極室 2207 中，且接著在所示的實例中流過擴散板 2809，然後通過及繞過陰極 2210。接著陰極電解液經由在薄膜框 2803 下方之陰極室中的間隙離開陰極室並經由另一系列導管(未顯示)離開而到達歧管 2206 處，且最終離開池。陰極 2210 在其外緣處受到陰極室底部中的突出部 2811 支撐。在所示的實施例中，陰極 2210 在其邊緣處具有複數凹口(溝槽)。當陰極被置於突出部 2811 上時，此些凹口形成開口，允許流體進入陰極下方的陰極室中並在陰極外緣處通過而進入陰極室的主體區。參考圖 28B，在一或多片基板的除鍍期間，金屬 2212 被電鍍至陰極 2210 上。在某些實施例中，允許金屬在陰極上累積至至少約 1 cm 的厚度，如介於約 1.5 - 3 cm 之間的厚度，直到自陰極室移除陰極為止。

【0197】 當金屬被沉積至陰極上時，陰極的重量可大幅增加且可能難以自池移除陰極。在某些實施例中，陰極係設計或建構以在其導電表面上包含複數非導電性的固定元件，其中固定元件係用以附接至一或多個柄，該一或多個柄可用以將陰極在使用後舉升並自池移除。

【0198】在某些實施例中，陰極包含複數孔口使電解液向上流經陰極時可通過陰極。此外，在陰極邊緣處製造出的凹口使陰極被置於陰極室中的突出部上而使得凹口能形成外緣開口之後，讓電解液能夠在陰極邊緣處向上移動。

【0199】在圖 28A 與 28B 中所示的實施例中，陰極包含柄附接用之非導電性的固定元件、與自陰極表面上向延伸之非導電性管適配的通孔、以及在陰極邊緣處的凹口。

【0200】圖 29A 中顯示了此類陰極的上視圖，圖 29C 中顯示了透視圖。圖 29D 例示具有附接至固定元件之柄的相同陰極。圖 29B 為適配至陰極之多個通孔中之一通孔中之絕緣管的一部分的圖。

【0201】回到圖 29A-29D，陰極具有大致上碟形的主體 2401 且可由不銹鋼或任何可電鍍的金屬所製成。此碟已被加工以能夠和數個非導電性的(如塑膠的)元件適配。一系列流通絕緣塑膠管 2402 係附接至陰極 2401 且適配至陰極中的開口。圖 29B 中例示了適配，圖 29B 顯示藉由管 2403 中之溝槽及夾環 2404 而附接至陰極的塑膠管 2402。每一管通過形成在陰極中的一孔口且藉由夾環而附接至陰極。在某些實施例中，在高度上，管延伸超過陰極的碟形體 1.2 - 4.5 cm 的高度。管的高度較佳應大於將被電鍍至陰極上之金屬的突出厚度。

【0202】流通管係用以允許陰極室內的對流並允許金屬累積在陰極表面上。該管更能避免金屬累積阻塞通孔。

【0203】在此實施例中，陰極具有設置在外緣處的凹口(溝槽)2405，當陰極被安裝於池中且支撐邊緣 2211 係位於陰極室外緣時，凹口(溝槽)2405 使流體有額外的路徑得以流動圍繞陰極的邊緣。此些凹口 2405 與流通管 2402 的組合為電解液提供數個路徑使陰極室中能有電解液的對流。

【0204】陰極亦包含位於中央的安裝閂 2813，安裝閂 2813 係用以將陰極置於設備的中央處且亦驅使陰極的底部進入陰極電匯流排終端 2214 中。安裝閂

係藉由塑膠絕緣蓋與力傳輸件 2215 與電解液隔絕，元件 2215 亦可容納用以避免閂頭 2813 暴露至電解液並在陰極壽命結束時(當金屬已電鍍至陰極上達其最大厚度，即剛好低於流通管之開口時)使閂頭 2813 能被移除的密封蓋 2216。各種 O 形環及墊圈密封件可避免組件的金屬部分，如閂2813 及陰極電匯流排終端2214，暴露至電解液，且可協助避免電鍍至此些部分上以及由電鍍使各種金屬安裝件的連接。亦包含數個(顯示四個)非導電性的(如塑膠的)安裝柱 2406，安裝柱係用以附接至柄 2408。利用閂 2409 將手動移除柄 2408 旋至螺紋 2407 中。柱 2406 亦被旋至陰極的相對側上以使另一組閂能自背側將柱 2406 穩固地附接至陰極 2401。較佳是選擇安裝柱 2406 的位置俾使所有的柱係位於陰極碟上的不同徑向位置處。如所示，安裝柱 2406 係徑向錯開俾以避免因非導電性安裝柱的存在而在晶圓基板上的特定半徑處產生被暴露至大幅較少量之電流的區域。沒有兩個柱 2406 係位於相同半徑處或使表面在晶圓於陰極 2401 上方作 360 度旋轉期間阻擋晶圓之任何部分被暴露至的相同的投影半徑。當陰極被電鍍至需移除陰極的一厚度時，利用柱 2406 之孔洞內的螺紋藉由閂 2409 使柄 2408 附接至柱 2406。這允許快速有效率地將板連帶附接之電鍍的金屬呈一體地移除。移除程序涉及旋鬆蓋 2216 以暴露安裝閂 2213、旋鬆閂 2213、然後拉起柄 2408。

【0205】 在某些實施例中，使用利用活性陰極的設備（如圖 28A 中所述的設備）與特別開發的電解液。此些電解液能有效率地電蝕刻及電平坦化具有遮罩的基板且係用以在陰極上達到高效率電鍍。例如，可以高電荷效率(例如高於 95%之電荷效率)電鍍極厚的膜(如至少 2 cm 厚或至少 2.5 cm 厚的膜)。電解液係用以最佳化沉積在陰極上之膜的形態，例如在陰極上形成緊實、非粉末狀、非樹突狀的金屬層。當電解液與圖 28A 中所示之陰極室一起使用時，電解液的所

述優點尤其明顯。在一實施例中，所提供的電解液具有極高的金屬濃度與高酸濃度且可額外地包含可在不抑制或干擾基板表面處之氧化處理的情況下抑制活性陰極表面處之電鍍的添加物。例如，在某些實施例中，電解液包含濃度高於 30 g/L 的銅及濃度高於 625 g/L 的磷酸 且更包含電鍍抑制劑添加物及/或另一添加物。適合之電鍍抑制劑(如銅電鍍抑制劑)的實例包含選自聚亞烷基二醇及聚環氧烷類別的化合物。例如可使用經取代或未經取代之聚乙二醇及/或聚環氧乙烷作為添加物。又，可在電解液中包含少量的氯離子作為添加物。

【0206】 電化學金屬移除用的設備可為亦包含電鍍設備之系統的一部分，其中該系統係建構以在電鍍後將基板傳輸至電化學金屬移除設備。圖 30 顯示一例示性整合系統的概圖，此整合系統可用以進行多種操作，包含電鍍與電化學金屬移除。如圖 30 中所示，整合系統 307 可包含複數電鍍模組，在此例中包含三個分離的模組 309、311 及 313。每一電鍍模組通常包含用以在電鍍期間容納陽極與電鍍溶液的池，以及在電鍍期間用以將晶圓支撐於電鍍 溶液中並用以旋轉晶圓的晶圓支撐件。圖 30 中所示的電鍍系統 307 更包含具有三個分離之電化學金屬移除模組 315、317 及 319 的電化學金屬移除系統。模組中的每一者皆包含如文中所述用以容納陰極與晶圓支撐件的除鍍池。此外，整合系統 307 可包含一或多個電填充後模組(PEM，未顯示)，其功能可包含完全沖洗晶圓上的任何電解液溶液與污染物及/或乾燥晶圓。取決於實施例，每一 PEM 可用以進行任何下列之功能：邊緣移除(EBR)、背側蝕刻、晶圓之酸清理、在晶圓受到模組 309、311 及 313 中之一者電填充後之晶圓的沖洗與乾燥。整合系統 307 亦可包含用以容納稀釋劑並將稀釋劑輸送至電化學移除模組的化學稀釋模組 321 以及用以容納電化學移除模組所用之電解液的中央電解液浴槽 323。中央電解液浴槽 323 可為用以容納電化學金屬移除模組中用來作為電解液之化學溶液的槽。整合系統 307 亦可包含氫氣管理系統 333，氫氣管理系統 333 可包含一或多個沉靜室，以

及儲存惰性氣體並將惰性氣體輸送至沉靜室的惰性氣體源。在某些實施例中，過濾與泵抽單元 337 過濾中央浴槽 323 用的電解液溶液並將其泵抽至電化學金屬移除模組。電鍍及/或電化學金屬移除模組可包含其自己的稀釋與給劑模組(如用以將電鍍添加物添加至電鍍溶液)、其自己的過濾與泵抽單元、及其自己的中央電解液浴槽(未顯示)。在某些實施例中，電化學金屬移除模組與電鍍模組係以雙層配置的方式垂直堆疊，電鍍模組佔據第一層而電化學金屬移除模組佔據不同的一層。在其他實施例中，電鍍模組可堆疊在設備的一區中而電化學金屬移除模組可堆疊在設備的不同一區中。

【0207】 最後，在某些實施例中，電子單元 339 可具有系統控制器的功能，提供操作電鍍系統 307 所需的電子與界面控制。系統控制器通常包含一或多個記憶體裝置及用以執行指令俾使整合系統可進行所其欲之處理操作的一或多個處理器。包含用以根據文中所述之實施例控制處理操作之指令之機器可讀媒體可耦合至系統控制器。單元 339 亦可針對系統設置一電源。

【0208】 在操作中，包含後端機械手臂 325 的機器人可用以自晶圓盒（如晶圓盒 329A 或 329B）選擇晶圓。後端機械手臂 325 可利用真空附接或某些其他的可行附接機制而附接至晶圓。

【0209】 前端機械手臂 340 可自晶圓盒（如晶圓盒 329A 或晶圓盒 329B）選擇一晶圓。晶圓盒 329A 或 329B 可為前開口統一艙(FOUP)。一 FOUP 為一容器，其係設計被用來安穩地將晶圓支撐在一受控環境中並使晶圓能藉由設有適當加載接口及機械搬運系統的設備而受到移除以接受處理或量測。前端機械手臂 340 可利用真空附接或某些其他附接機制支撐晶圓。前端機械手臂 340 可與晶圓盒 329A 或 329B、傳送站 350、或對準件 310 交界。後端機械手臂 325 可自傳送站 350 而與晶圓之接取。傳送站 350 可為槽口或位置，前端機械手臂 340 與後端機械手臂 325 可在不使晶圓通過對準件 310 的方式下將晶圓傳輸至該槽口或

位置或自該槽口或位置拿取晶圓。應注意，在某些實施例中，傳送站 350 可具有晶圓邊緣攝像模組的功能(或位置功能)。然而在某些實施例中，為了確保晶圓能在後端機械手臂 325 上適當對準以精準地將晶圓輸送至電鍍模組，後端機械手臂 325 可利用對準件 310 對準晶圓。後端機械手臂 325 亦可將晶圓輸送至電填充模組 309、311 或 313 中的一者或將晶圓輸送至電化學金屬移除模組 315、317 及 319 中的一者。

【0210】 為了確保晶圓能在後端機械手臂 325 上適當對準以精準地將晶圓輸送至電鍍模組 309、311 或 313 或者電化學金屬移除模組 315、317 及 319，後端機械手臂 325 可將晶圓傳輸至對準件模組 331。在某些實施例中，對準件模組 331 包含對準臂，後端機械手臂 325 會將晶圓推向對準臂以倚靠對準臂。當晶圓適當地倚靠對準臂對準時，後端機械手臂 325 移動至相對於對準臂的一預設位置。在其他實施例中，對準件模組 331 判斷晶圓中心以使後端機械手臂 325 自新位置拾起晶圓。接著後端機械手臂 325 重新附接至晶圓並將晶圓輸送至電鍍模組 309、311 或 313 中的一者或電化學金屬移除模組 315、317 及 319 中的一者。

【0211】 是以在利用整合系統 307 在晶圓上形成金屬層的一典型操作中，後端機械手臂 325 將晶圓自晶圓晶圓盒 329A 或 329B 傳輸至用以電鍍前置中調整的對準件模組 331，接著將晶圓傳輸至電鍍用的電鍍模組 309、311 或 313，接著將晶圓傳回電平坦化前置中調整用的對準件模組 331，接著將晶圓傳輸至邊緣移除用的電化學金屬移除模組 315、317 或 319。當然，在某些實施例中，可省略中間的置中/對準步驟並可直接在電鍍模組與電平坦化模組之間傳輸晶圓。在某些實施例中，將晶圓自電填充模組傳輸至 PEM 模組然後自 PEM 模組傳輸至電化學金屬移除模組。

【0212】 在某些情況中，處理涉及先自晶圓支撐晶圓盒或 FOUP(前開口統一艙)移除晶圓、將晶圓傳輸至真空預濕站(在此處包含通光阻特徵部的晶圓的表

面在次大氣壓下的無泡泡濕化處理中完全濕化)、將已經濕化的晶圓傳輸至第一電鍍模組並在第一電鍍模組中電鍍第一金屬(如銅)、在第一電鍍模組中回收電鍍溶液並沖洗晶圓、自第一電鍍模組移除晶圓並將表面仍濕的晶圓傳輸至電平坦化模組、在電平坦化模組中處理晶圓、在電平坦化模組中回收電平坦化溶液並沖洗晶圓、接著將晶圓傳輸至處理後模組(PTM)並在該處至少完全沖洗並乾燥晶圓，接著使已乾燥的晶圓返回晶圓盒或 FOUP。某些實施例修改上述程序以包含：在電平坦化模組中完成處理後將晶圓傳輸至另一電鍍站以對基板電鍍與在第一次訪問之電鍍模組中所沉積的相同金屬，或在訪問電平坦化模組及在電平坦化模組中接受處理之前將晶圓傳輸至一電鍍站以電鍍不同之金屬(如鎳、錫、或錫銀合金)。在一較佳的實施例中，先在第一電鍍模組中以銅電鍍晶圓，然後將晶圓傳輸至第二電鍍模組並在第二電鍍模組中電鍍錫(此步驟可選擇性地跳過)。接下來，將晶圓傳輸至第三電鍍模組並在第三電鍍模組處沉積錫或錫銀合金，接著將晶圓傳輸至電平坦化模組並在電平坦化模組處移除一部分之錫銀薄膜，由於後者處理的結果，產生錫銀之受到改善的厚度分佈。厚度分佈的改善包含獨立特徵部中(特徵部分佈)的改善及晶圓上方之疊層結構的整體分佈(晶粒內及晶圓內厚度分佈)的改善，其中改善係與未在最終電平坦化模組中進行處理的結構相比。在此較佳實施例的一實施方式中，在錫銀平坦化用之電平坦化模組中所使用的電解液溶液為濃度高於 45 重量%的硫酸或甲磺酸溶液。

【0213】 電鍍操作可涉及將晶圓載入殼式晶圓支撐件中並將殼式晶圓支撐件降入欲進行電鍍之電鍍模組 309、311 或 313 中之一者之池內所包含的電鍍浴中。池通常包含作為欲電鍍之金屬源的陽極(雖然陽極可以是遠端的)以及電鍍浴溶液，電鍍浴溶液可受到中央電填充浴儲槽(未顯示)之供給以及來自給劑系統之選擇性化學添加物的供給。在選擇性的 EBR 後，通常會清理、沖洗與乾燥晶圓，然後將晶圓導入電化學金屬移除模組 315、317 及 319 中的一者，電化學金

屬移除模組可類似地使用可用以將基板降至電化學金屬移除電解液中的殼式晶圓支撐件。

【0214】 最後應注意，在完成電化學金屬移除處理之後及在 PTM 模組中選擇性的沖洗與乾燥後，後端機械手臂 325 可收回晶圓並將其返還晶圓盒 329A 或 329B。自該處，晶圓盒 329A 或 329B 可被提供至其他半導體晶圓處理系統。

【0215】 圖 31 中概略地例示電沉積與電化學金屬移除用之整合設備的一替代性實施例。設備 3100 具有以一對或多雙組態配置的電鍍及/或電化學金屬移除池 3107，每一池包含一含電解液之浴。除電鍍與電化學金屬移除本身外，設備 3100 可進行各種其他電鍍或電平坦化相關的處理及子步驟例如旋轉沖洗、旋轉乾燥、金屬與矽的濕式蝕刻、無電沉積、預濕與預化學處理、還原、退火、光阻剝除、及表面預活化。在圖 31 中概略顯示從上往下看之設備 3100，且在圖中僅顯示單一位準或「樓板」，但熟知此項技藝者當明白，此類設備如科林研發之 Sabre™ 3D 設備可具有彼此上下「堆疊」的兩或更多位準，每一位準可能具有相同或不同類型的處理站。在某些實施例中，電鍍站及電化學金屬移除站係設置在設備的不同位準上。在其他實施例中，單一位準可包含電鍍站與電化學金屬移除站兩者。

【0216】 再次參考圖 31，經由前端裝載 FOUP 3101 將欲受到電鍍的複數基板 3206 大致上饋送至設備 3100，在此實例中，藉由前端機器人 3102 將欲受到電鍍的複數基板 3206 自 FOUP 搬運至設備 3100 的主基板製程區，前端機器人 3102 可以多維度自複數接取站 3108 中的一者收回受到轉子 3103 驅動的基板 3106 並將基板 3106 移動至複數接取站 3108 中的另一者—在此實例中複數接取站顯示兩個前端接取站 3104 及兩個前端接取站 3108。前端接取站 3104 與 3108 可包含例如預處理站、旋轉沖洗乾燥(SRD)站。前端機器人 3102 之側至側的橫向移動係利用機器人軌道 3102a 來完成。每一基板 3106 可被一杯狀/錐狀組件(未

顯示)所支撐，杯狀/錐狀組件係由連接至馬達(未顯示)的一轉子 3103 所驅動，馬達係附接至安裝架 3109。在此實例中亦顯示四「雙」電鍍及/或電化學金屬移除池 3107，因此總共八個池 3107。電鍍池 3107 可用以針對含銅結構電鍍銅及針對焊料結構電鍍焊料材料。在複數電鍍站 3107 中之一者中電鍍金屬後，基板被傳送至設備之相同位準上或設備 3100 之不同位準上的電化學移除池。系統控制器(未顯示)可耦合至電沉積設備 3100 以控制電沉積設備 3100 的部分或全部特性。可程式化或以其他方式配置系統控制器以執行根據前文中所述之處理的指令。

【0217】 本發明之另一態樣為用以完成文中所述之方法的設備。適合的設備包含用以完成處理操作的硬體及具有指令用以控制根據本發明之處理操作的系統控制器。系統控制器通常包含一或多個記憶體裝置及一或多個用以執行指令的處理器俾使設備進行根據本發明之方法。包含用以控制根據本發明之處理操作之指令的機器可讀媒體可耦合至系統控制器。

【0218】 在某些實施例中，控制器為系統的一部分，系統可為上述實例的一部分。此類系統可包含半導體處理設備，其包含一處理工具或複數處理工具、一處理室或複數處理室、一處理平臺或複數處理平臺、及/或特定的製程元件(晶圓平臺、氣體流動系統等)。此系統係與一些電子裝置整合，此些電子裝置係用以在半導體晶圓或基板處理之前、期間及之後控制系統的操作。此些電子裝置係稱為「控制器」，其可控制系統或複數系統的各種元件或子部件。取決於處理需求及/或系統類型，控制器可被程式化以控制文中所揭露的任何處理包含輸送處理氣體、溫度設定(如加熱及/或冷卻)、壓力設定、真空設定、功率設定、射頻(RF)產生器設定、RF 匹配電路設定、頻率設定、流率設定、流體輸送設定、位置與操作設定、晶圓傳輸進入及離開工具與連接至特定系統或與特定系統交界的其他傳輸設備及/或裝載互鎖機構。

【0219】概括地說，控制器可被定義為具有各種積體電路、邏輯、記憶體及/或軟體的電子裝置，其可接收指令、發佈指令、控制操作、致能清理操作、致能終點量測等。積體電路可包含儲存了程式指令之具有韌體形式的晶片、數位訊號處理器(DSP)、被定義為特殊應用積體電路(ASIC)的晶片、及/或能執行程式指令(如軟體)的一或多個微處理器或微控制器。程式指令可為與控制器通訊之具有各種獨立設定(或程式檔案)形式的指令，其定義為了在半導體晶圓上或針對半導體晶圓或對系統進行特定處理所用的操作參數。在某些實施例中，操作參數為製程工程師為了完成一或多膜層、材料、表面、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路及/或晶圓之晶粒之製造期間的一或多個處理步驟所定義之配方的一部分。

【0220】在某些實施例中控制器為整合至系統、耦合至系統、藉由網路連接至系統、或其組合的電腦的一部分或控制器耦合至電腦。例如，控制器係位於「雲端」中或工廠主機電腦系統的全部或部分中，這允許使用者遠端接取晶圓處理。電腦可致能遠端接取系統以監控製造操作的目前進展、檢視過去製造操作的歷程、自複數製造操作檢視驅勢或效能度量、改變現有處理的參數、設定處理步驟以符合現有處理、或開始一新的處理。在某些實施例中，遠端電腦(如伺服器)可經由電腦網路對系統提供處理配方，電腦網路包含區域網路或網際網路。遠端電腦可包含使用者介面，使用者介面讓使用者能進入或程式化參數及/或設定，然後自遠端電腦與系統通訊。在某些實例中，控制器接收數據形式的指令，此些指令指定在一或多個操作期間欲進行之每一處理步驟用的複數參數。應瞭解，複數參數係特別針對欲施行之處理的類型及控制器用以交界或控制之設備的類型。因此如上所述，可分散控制器如藉著包含一或多個藉由網路互連並朝向共同目的如文中所述之處理與控制工作的離散控制器。為了此類目的的分散控制器的實例包含處理室上的一或多個積體電路，其係與一或多個位於遠

端(例如位於平臺位準處或為遠端電腦的一部分)的積體電路通訊而共同控制處理室中的處理。

【0221】不受限地，例示性的系統包含電化學金屬移除系統或模組、電鍍系統或模組、電漿蝕刻室或模組、沉積室或模組、化學金屬蝕刻室或模組、清理室或模組、邊緣蝕刻室或模組、物理氣相沉積(PVD)室或模組、化學氣相沉積(CVD)室或模組、原子層沉積(ALD)室或模組、原子層蝕刻(ALE)室或模組、離子植入室或模組、軌道室或模組、及和半導體晶圓之製造相關及/或用於製造的任何其他半導體處理系統。

【0222】如上所述，取決於設備所欲進行的處理步驟或複數步驟，控制器可與下列的一或多者通訊交流：其他設備電路或模組、其他設備的元件、叢集設備、其他設備的界面、相鄰設備、鄰近設備、位於工廠內的設備、主電腦、另一控制器、或半導體製造工廠中用以將晶圓容器載入與載出設備位置及/或裝載接口的材料運輸用設備。

【0223】一般而言，控制器可包含用以施行文中所述之任何方法的程式指令。在某些實施例中，控制器包含用以在電蝕刻狀態中、在電拋光狀態中、在電蝕刻狀態接著在電拋光狀態中移除金屬的程式指令。控制器亦可自電化學金屬移除設備之一或多個感測器接收反饋，且可包含用以基於感測器讀數而將一或多種流體添加至除鍍池的程式指令。

圖案化方法/設備：

【0224】上文中所述的各種設備/處理可與微影圖案化設備或處理一起使用，例如用以製造半導體裝置、顯示器、LED、光伏面板等的微影圖案化設備或處理。一般而言，雖然沒有必要，但此些設備/處理會在一共同的製造廠房中一起使用或進行。薄膜的微影圖案化通常包含下列步驟的部分者或全部，每一步驟可由許多可能的設備達成：(1)利用旋塗或噴塗設備將光阻施加至一工作件

即基板上；(2)利用熱板、爐管或 UV 固化設備固化光阻；(3)利用一設備如晶圓步進機將光阻曝露至可見光或 UV 或 X 射線；(4)利用一設備如濕式槽顯影光阻以選擇性地移除光阻藉此將其圖案化；(5)利用一乾式或電漿輔助蝕刻設備將光阻圖案轉移至下方膜層或工作件中；及(6)利用一設備如 RF 或微波電漿光阻剝除設備移除光阻。

實例

【0225】 實例 1. 獲得基於溫度、導電率及密度之用以判斷 H_3PO_4 與 Cu^{2+} 離子之濃度的經驗式。經驗式對由以下條件下之磷酸及磷酸銅所實質組成之溶液有效：介於約 20 - 50 °C 之溫度範圍、磷酸濃度範圍介於約 45 - 50 重量%、Cu^{2+} 濃度範圍介於約 30 - 60 g/L。經驗式係利用具有已知酸及銅濃度的溶液量測導電率為溫度與濃度(針對酸及銅離子分開)的函數以及密度為濃度(針對酸及銅離子分開)的函數所決定。量測密度為溫度的函數並非必須，因為溶液密度對溫度有極弱的相依性。

【0226】 表 2 列出用以決定經驗式之具有已知酸及銅濃度的 7 種溶液。針對每一溶液量測密度及導電率。密度係於 19 °C 下量測。導電率係於 19 °C、29 °C、40 °C 及 49 °C 下量測。

[表 2] 用以決定經驗式的溶液

溶液	H_3PO_4 (重量%)	Cu^{2+} (g/L)
1	0.5	57.7
2	0.45	29.1
3	0.5	28.9
4	0.5	43.4
5	0.475	29.0

6	0.45	58.1
7	0.475	43.4

【0227】 利用表 2 所提供的數據決定磷酸之濃度為溫度、密度及導電率之函數的經驗關係。又，利用表 2 所提供的數據決定銅離子之濃度為溫度、密度及導電率之函數的經驗關係。此些關係係用以在電化學金屬移除設備的操作期間基於電解液、導電率及密度讀值來判斷銅及磷酸的濃度。

【0228】 實例 2. 需要自電化學金屬移除設備移除以維持期望之銅離子穩態濃度(銅離子之目標濃度)的電解液量係由計算模型所決定。此實例中的模型假設：所移除之電解液的體積係等於無銅稀釋劑的體積；在池中的銅移除速率約為 2.4 mg/秒；及系統中之電解液的總體積為 60L。

【0229】 圖 32 顯示了電解液移除速率(每一池每小時以升單位之流出速率（bleed rate）)為穩態銅濃度之函數的所得相依性。可見在較高的穩態銅濃度，需要較低之電解液移除(及稀釋劑添加)速率。

【0230】 實例 3. 將電氧化處理施加至 Cu 特徵部以修正特徵部均勻度。所用的基板為 300 mm 直徑的矽晶圓，其有 3000Å 的 Cu 晶種層且其上塗覆有 50 μm 厚的光阻。特徵部係藉由選擇性移除光阻而利用稀疏的佈局(50 μm 直徑的特徵部及 200 μm 之中心至中心距離)及緻密的佈局(50 μm 直徑的特徵部及 100 μm 之中心至中心距離)形成重覆性的晶粒圖案。目標特徵部厚度為 30 μm 或 60%光阻的特徵部深度。當此些特徵部在通常的條件(見表 3)下受到電鍍且未施加電氧化後處理時， WID 非均勻度為 0.86 μm 而 WIF 非均勻度為 3.0 μm。

[表 3] 根據實例 3 之電鍍處理條件

條件	僅電鍍	針對電氧化修正之預電鍍
電解液	40 g/L Cu、140 g/L H_2SO_4、	40 g/L Cu、140 g/L H_2SO_4、

	樂思（Enthone）SC 添加物化學品	樂思 SC 添加物化學品
橫流速率	20 L/min	20 L/min
溫度	30 °C	30 °C
填充%	60%	84%
過電鍍%	0%	40%

【0231】 欲用於電氧化後處理的晶圓被電鍍達額外的 12 μm 厚度，總共 42 μm 或 84%光阻的特徵部深度(見表 3)。接著，晶圓被傳輸至如上所述適合用於電氧化處理的池，其具有惰性不銹鋼陽極與組合的沉靜室及陽極電解液/陰極電解液儲槽。所用的橫流速度為 10 L/min。電解液係由 30 °C 下之 60 g/L Cu 的銅及 48 重量%的磷酸所構成。在此電解液針對此模式的臨界電位已預先決定約為 0.5-0.6V。在 6A 的電流控制下移除 4 μm 的銅，施加電壓在電蝕刻狀態中相對 Cu 參考電極約為 0.3 V。接著在電拋光狀態中 0.7 V 的電位控制下移除 8 μm 的銅。藉著積分隨著時間所施加的電流來得到已通過的電荷量而決定每一步驟的終點。

【0232】 所得的特徵部顯示 0.36 μm 的 WID 非均勻度(相對於僅電鍍有 57%的縮減)及 0.75 μm 的 WIF 非均勻度(相對於僅電鍍有 75%的縮減)。

【符號說明】

【0233】

1 基板支撐件

3 基板

5 陰極

7	薄膜
9	除鍍池
11	陽極室
12	框
13	陰極室
15	出口
17	入口
19	離子電阻性離子可滲透之元件
21	橫流注射歧管
23	橫流限制環
25	入口
27	出口
29	參考電極
30	電連接件
31	控制器
33	H_2泡泡
35	導管/流體線
37	沉靜室
39	儲槽
40	沉靜室陰極電解液入口
41	惰性氣體入口
43	惰性氣體源
45	惰性氣體線
47	氣體出口

49	排放件
51	陰極電解液出口
52	流體線
53	流體線
54	流體迴路
55	儲槽陰極電解液入口
57	稀釋劑源
58	酸源
59	稀釋劑線
60	酸輸送線
61	儲槽稀釋劑入口
62	接口
63	電解液移除接口
65	排放件
67	電解液出口接口
69	流體線
71	泵浦
72	泵浦
73	流體線
74	流體線
75	流體線
77	導電率儀
78	導電率儀
79	密度計

80	密度計
81	流體線/迴路
83	接點
85	沖洗液源
87	沖洗液輸送線
89	側壁
91	位準
93	擋板
95	濾件
97	電解液位準感測器
99	氣體入口
100	基板
101	膜層
103	晶種層
105	遮罩層
107	凹陷特徵部
108	凹陷特徵部
109	孤立之凹陷特徵部
113	金屬
115	目標位準
201	操作
203	操作
205	操作
207	特徵部

209 特徵部

211 特徵部

213 光阻

215 晶種層

217 金屬突出物

219 金屬橋

221 柱/支撐邊緣

223 介層窗

225 線

227 介層窗

307 整合系統

309 電填充模組

310 對準件

311 電填充模組

313 電填充模組

315 電化學金屬移除模組

317 電化學金屬移除模組

319 電化學金屬移除模組

321 化學稀釋模組

323 中央電解液浴槽

325 後端機械手臂

329A 晶圓盒

329B 晶圓盒

331 對準件模組

333 氫氣管理系統

337 過濾與泵抽單元

339 電子單元

340 前端機械手臂

350 傳送站

401 操作

403 操作

405 操作

601 操作

603 操作

605 操作

701 離子電阻性離子可滲透之元件

703 液流分流元件

705 電解液注射接口

801 操作

803 操作

805 操作

901 陰極

903 特徵部

905 特徵部

907 特徵部

909 邊界

913 通遮罩特徵部

915 通遮罩特徵部

917	通遮罩特徵部
1201	圖
1203	圖
1301	操作
1303	操作
1305	操作
1401	操作
1403	操作
1405	操作
1503	特徵部
1505	特徵部
1507	特徵部
1701	操作
1703	操作
1705	操作
1709	操作
1801	操作
1803	操作
1807	操作
1901	密度計
1903	導電率儀
1905	溫度計
1907	電解液位準計
1909	控制器

1911	稀釋硬體
1913	電解系統
1915	硬體
1920	電鍍模組質量平衡
1921	電鍍池模組
1922	晶圓拖入物
1923	蒸發
1924	材料流
1925	純去離子水
1926	富金屬的溶液M
1927	富酸的溶液A
2206	歧管
2200	除鍍池
2201	池
2202	橫流限制結構
2203	陽極室
2204	陰極室壁
2205	陽極基板
2207	陰極室
2208	導管
2209	陰極
2210	陰極
2211	薄膜
2212	金屬

2213	陰極室出口
2214	陰極電匯流排終端
2215	塑膠絕緣蓋與力傳輸件
2216	密封蓋
2401	陰體主體
2402	塑膠管
2403	管
2404	夾環
2405	凹口
2406	柱
2407	螺紋
2408	柄
2409	閂
2801	離子可滲透之元件
2803	薄膜框
2805	流體注射歧管
2809	擴散板
2811	突出部
2813	安裝閂
3100	設備
3101	FOUP
3102	前端機器人
3102a	機器人軌道
3103	轉子

3104 前端接取站

3106 基板

3107 電鍍及/或電化學金屬移除池

3108 接取站

3109 安裝架