



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I504786 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 10 月 21 日

(21)申請案號：100123415

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 07 月 01 日

(51)Int. Cl. : C25D19/00 (2006.01)

C25D21/12 (2006.01)

(30)優先權：2010/07/02 美國

61/361,333

2010/08/18 美國

61/374,911

2010/10/21 美國

61/405,608

(71)申請人：諾菲勒斯系統公司(美國) NOVELLUS SYSTEMS, INC. (US)

美國

(72)發明人：梅爾 史蒂芬 T MAYER, STEVEN T. (US)；波特 大衛 W PORTER, DAVID W.

(US)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

CN 101736376A

US 2005/0161336A1

審查人員：李南漳

申請專利範圍項數：27 項 圖式數：13 共 103 頁

(54)名稱

用於在電鍍期間之有效質量轉移之電解液流體動力控制

CONTROL OF ELECTROLYTE HYDRODYNAMICS FOR EFFICIENT MASS TRANSFER DURING ELECTROPLATING

(57)摘要

本發明描述用於將一或多種金屬電鍍至一基板上之設備及方法。實施例包括經組態以用於在鍍敷期間之有效質量轉移以使得獲得非常均勻之鍍敷層的電鍍設備，及包括在鍍敷期間之有效質量轉移以使得獲得非常均勻之鍍敷層的方法。在特定實施例中，使用晶圓表面處之撞擊流與剪切流的一組合來達成該質量轉移。

Described are apparatus and methods for electroplating one or more metals onto a substrate. Embodiments include electroplating apparatus configured for, and methods including, efficient mass transfer during plating so that highly uniform plating layers are obtained. In specific embodiments, the mass transfer is achieved using a combination of impinging flow and shear flow at the wafer surface.

- 200 . . . 有槽間隔件
- 202 . . . 流塑形板
- 204 . . . 轉向器總成

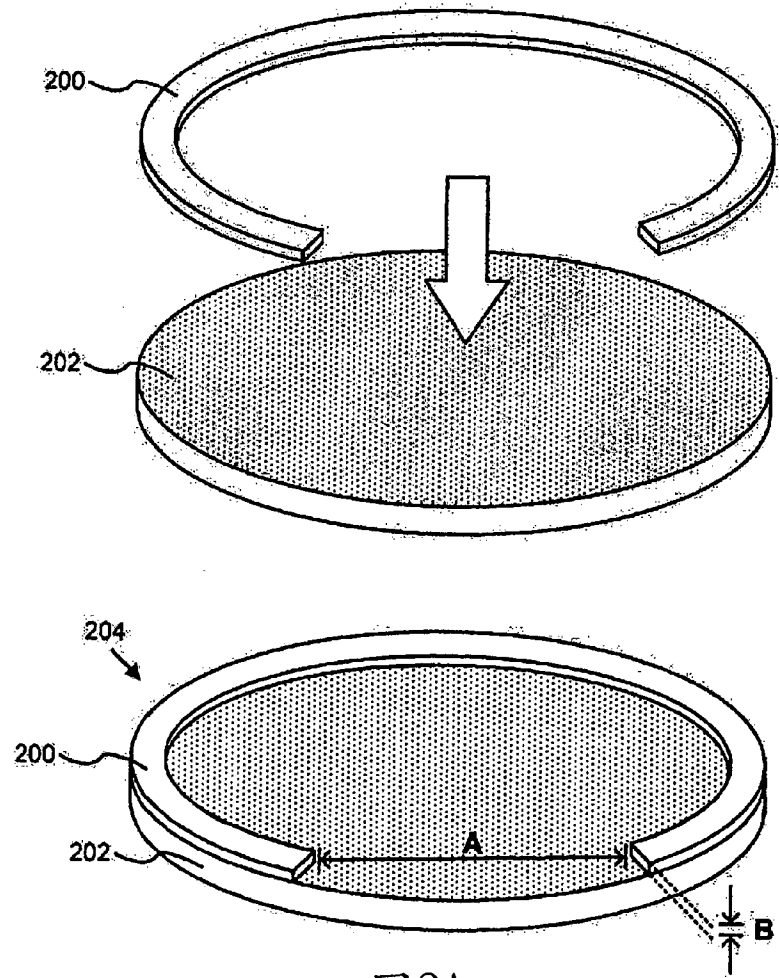


圖2A

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：100123415

※ 申請日：100- 7 /

※IPC 分類：C25D ^{1P/50} (2006.01)
_{21/12} (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

用於在電鍍期間之有效質量轉移之電解液流體動力控制

CONTROL OF ELECTROLYTE HYDRODYNAMICS FOR EFFICIENT
MASS TRANSFER DURING ELECTROPLATING

二、中文發明摘要：

本發明描述用於將一或多種金屬電鍍至一基板上之設備及方法。實施例包括經組態以用於在鍍敷期間之有效質量轉移以使得獲得非常均勻之鍍敷層的電鍍設備，及包括在鍍敷期間之有效質量轉移以使得獲得非常均勻之鍍敷層的方法。在特定實施例中，使用晶圓表面處之撞擊流與剪切流的一組合來達成該質量轉移。

三、英文發明摘要：

Described are apparatus and methods for electroplating one or more metals onto a substrate. Embodiments include electroplating apparatus configured for, and methods including, efficient mass transfer during plating so that highly uniform plating layers are obtained. In specific embodiments, the mass transfer is achieved using a combination of impinging flow and shear flow at the wafer surface.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(2A)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

200 有槽間隔件

202 流塑形板

204 轉向器總成

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於用於在電鍍期間控制電解液流體動力的方法及設備。更特定言之，本文所描述之方法及設備尤其有用於將金屬鍍敷至半導體晶圓基板上。

本申請案依據35 U.S.C. § 119(e)主張2010年7月2日申請之美國臨時專利申請案第61/361,333號、2010年8月18日申請之美國臨時專利申請案第61/374,911號及2010年10月21日申請之美國臨時專利申請案第61/405,608號的權利，該等案中之每一者的全部內容以引用的方式併入本文中。

【先前技術】

在現代積體電路製造中，電化學沈積製程已被廣泛接受。在二十一世紀之早些年中自鋁金屬線至銅金屬線的轉變推動了對愈來愈複雜之電沈積製程及鍍敷工具的需要。大部分複雜性回應於對裝置金屬化層中之愈來愈小之電流載運線的需要而演進。此等銅線係藉由在通常稱為「鑲嵌」處理之方法中將金屬電鍍至非常薄之高縱橫比的溝槽及導通孔中來形成。

電化學沈積現準備用以滿足對複雜之封裝及多晶片互連技術的商業需要，該等技術一般稱為晶圓級封裝(WLP)及矽穿孔(TSV)電連接技術。此等技術呈現出其自己之非常大的挑戰。

該等技術需要比鑲嵌應用顯著更大之大小規模的電鍍。取決於封裝特徵之類型及應用(例如，經由晶片連接的

TSV、互連再分配佈線、或晶片至板或晶片結合，諸如覆晶柱)，在當前技術中，鍍敷特徵通常大於約2微米且通常為5至100微米(例如，柱可為約50微米)。對於諸如電力匯流排之一些晶片上結構，待鍍敷之特徵可大於100微米。WLP特徵之縱橫比通常為約1:1(高度對寬度)或更低，而TSV結構可具有非常高的縱橫比(例如，在約20:1的鄰域中)。

假定待沈積之材料量相對大，則不僅特徵大小，而且鍍敷速度亦在WLP及TSV應用與鑲嵌應用之間不同。對於許多WLP應用，鍍敷必須以至少約2微米/分鐘之速率填充特徵，且通常以至少約4微米/分鐘之速率填充特徵，且對於一些應用以至少約7微米/分鐘的速率來填充。在此等較高鍍敷速率體系下，電解液中之金屬離子至鍍敷表面的有效質量轉移係重要的。

較高之鍍敷速率關於電沈積層之均勻性呈現出挑戰，亦即，必須以非常均勻的方式來進行鍍敷。對於各種WLP應用，鍍敷必須沿著晶圓表面徑向地展現至多約5%的半範圍變化(稱為晶圓內不均勻性，在晶粒中在跨越晶圓直徑之多個位置處作為單一特徵類型來量測)。類似同等之挑戰性要求係具有不同大小(例如，特徵直徑)或特徵密度(例如，陣列中間之隔離式或嵌入式特徵)之各種特徵的均勻沈積(厚度及形狀)。此效能規範一般稱為晶粒內不均勻性。晶粒內不均勻性係作為如下內容來量測：如上文所描述之各種特徵類型的局部可變性(例如，<5%半範圍)對給

定晶圓晶粒內在晶圓上該特定晶粒位置處(例如，半徑中點、中心或邊緣處)的平均特徵高度或形狀。

最終的挑戰性要求係對特徵內形狀之一般控制。線或柱可以凸出、平坦或凹入方式傾斜，其中平坦輪廓一般(但非總是)較佳的。在滿足此等挑戰之同時，WLP應用必須與習知成本較低之選取與置放路徑選擇操作相競爭。再此外，用於WLP應用之電化學沈積可涉及鍍敷各種非銅金屬，諸如鉛、錫、銀、鎳、金，及此等之各種合金，其中一些包括銅。

【發明內容】

本文描述用於將一或多種金屬電鍍至一基板上之設備及方法。大體上描述基板係半導體晶圓之實施例；然而，本發明並未如此限制。實施例包括經組態以用於控制電解液流體動力以用於在鍍敷期間之有效質量轉移以使得獲得非常均勻之鍍敷層的電鍍設備，及包括控制電解液流體動力以用於在鍍敷期間之有效質量轉移以使得獲得非常均勻之鍍敷層的方法。在特定實施例中，使用晶圓表面處之撞擊流與剪切流的一組合來達成該質量轉移。

一實施例係一種電鍍設備，其包括：(a)一鍍敷腔室，其經組態以含有一電解液及一陽極，同時將金屬電鍍至一實質上平面的基板上；(b)一基板固持器，其經組態以固持該實質上平面的基板，以使得在電鍍期間將該基板之一鍍敷面與該陽極分離；(c)一流塑形元件，其包括一面對基板之表面，該面對基板之表面在電鍍期間實質上平行於該基板

的一鍍敷面且與該鍍敷面分離，該流塑形元件包括具有通過該流塑形元件所製成之複數個非連通通道的一離子電阻性材料，其中該等非連通通道允許在電鍍期間輸送該電解液通過該流塑形元件；及(d)一流轉向器，其在該流塑形元件之該面對基板之表面上，該流轉向器包括部分遵循該流塑形元件之圓周且具有一或多個間隙的一壁結構，且在電鍍期間界定該流塑形元件與該實質上平面之基板之間的一部分或「偽」腔室。

在一實施例中，該流塑形元件係圓盤形的，且該流轉向器包括附接至該流塑形元件或整合至該流塑形元件上的一有槽環形間隔件。在一實施例中，該流轉向器之該壁結構具有一單一間隙，且該單一間隙佔據約40度與約90度之間的一弧。該流轉向器之該壁結構的高度可介於約1毫米與約5毫米之間。在某些實施例中，該流轉向器經組態以使得在電鍍期間該壁結構之一頂部表面距該基板固持器之一底部表面介於約0.1毫米與0.5毫米之間，且在電鍍期間該流塑形元件之頂部表面距該基板固持器之該底部表面介於約1毫米與5毫米之間。下文更詳細地論述該流塑形元件中之通孔的數目及組態。該等孔在該流塑形元件上可為均勻及/或不均勻之圖案。在某些實施例中，流塑形元件稱為「流塑形板」。

在某些實施例中，該設備經組態以在該基板鍍敷面之方向上且在於電鍍期間產生退出該流塑形元件之孔的至少約10公分/秒之一平均流速的條件下使電解液流動。在某些

實施例中，該設備經組態以在產生跨越該基板之該鍍敷面之中心點的約3公分/秒或更大之一橫向電解液速度的條件下操作。

在某些實施例中，該壁結構具有高於一內部部分之一外部部分。除了形成偽腔室中之一通風區域之一或多個間隙以外，實施例包括限制退出偽腔室之電解液流的特徵。

一實施例係一種用於將金屬電鍍至一基板上之設備，該設備包括：(a)一鍍敷腔室，其經組態以含有一電解液及一陽極，同時將金屬電鍍至該基板上；(b)一基板固持器，其經組態以固持該基板以使得在電鍍期間將該基板之一鍍敷面與該陽極分離，該基板固持器具有一或多個電力觸點，該一或多個電力觸點經配置以在電鍍期間接觸該基板之一邊緣且將電流提供至該基板；(c)一流塑形元件，其經塑形且組態以在電鍍期間定位於該基板與該陽極之間，該流塑形元件具有在電鍍期間實質上平行於該基板之該鍍敷面且與該鍍敷面分離約10毫米或更小之一距離的一平坦表面，且該流塑形元件亦具有複數個孔以准許該電解液朝向該基板的該鍍敷面流動；(d)用於使該基板及/或該流塑形元件旋轉同時在該基板鍍敷面之方向上使電解液在電鍍槽(electroplating cell)中流動的一機構；及(e)用於將一剪切力施加至在該基板之該鍍敷面處流動之該電解液的一機構；其中該設備經組態以用於在該基板鍍敷面之該方向上於在電鍍期間產生退出該流塑形元件之該等孔的至少約10公分/秒之一平均流速的條件下使電解液流動，且用於在

平行於該基板之該鍍敷面的一方向上在跨越該基板之該鍍敷面之中心點的至少約3公分/秒之一電解液速度下使電解液流動。下文更詳細地描述各種剪切力機構。

一實施例係一種在包括具有至少約2微米之一寬度及/或深度之特徵的一基板上進行電鍍的方法，該方法包括：(a)將該基板提供至一鍍敷腔室，該鍍敷腔室經組態以含有一電解液及一陽極，同時將金屬電鍍至該基板上，其中該鍍敷腔室包括：(i)一基板固持器，其固持該基板以使得在電鍍期間將該基板之一鍍敷面與該陽極分離，及(ii)一流塑形元件，其經塑形且組態以在電鍍期間定位於該基板與該陽極之間，該流塑形元件具有在電鍍期間實質上平行於該基板之該鍍敷面且與該鍍敷面分離約10毫米或更小之一距離的一平坦表面，其中該流塑形元件具有複數個孔；(b)在使該基板及/或該流塑形元件旋轉的同時且在於該基板鍍敷面之方向上且在產生退出該流塑形元件之該等孔的至少約10公分/秒之一平均流速的條件下使該電解液在電鍍槽中流動的同時，將一金屬電鍍至該基板鍍敷表面上。

在一實施例中，該電解液以約3公分/秒或更大之速率在基板之中心點處流動跨越基板的鍍敷面，且剪切力施加至在基板之鍍敷面處流動的電解液。在一實施例中，以至少約5微米/分鐘之速率在特徵中電鍍金屬。在一實施例中，當鍍敷至至少1微米之厚度時，電鍍於基板之鍍敷表面上的金屬之厚度具有約10%或更好的均勻性。

本文所描述之方法尤其有用於電鍍鑲嵌特徵、TSV特徵

及晶圓級封裝(WLP)特徵，諸如再分配層、用於連接至外部導線之凸塊及凸塊下金屬化特徵。

下文包括本文所描述之實施例的特定態樣。

【實施方式】

A. 一般設備背景

圖1A及圖1B之以下描述提供本文中所描述之設備及方法的一些一般非限制性背景。以下論述中所呈現之各種特徵亦呈現在上文所描述之諸圖中的一或多者中。下文中對此等特徵之論述僅意欲為對本文中所包括之實施例的補充描述。後幾幅圖中之特定焦點係朝向與各種流塑形板及流轉向器有關之晶圓固持器總成，且由此描述例示性定位機構、旋轉機構及晶圓固持器。

圖1A提供用於用電化學方式處理半導體晶圓之晶圓固持及定位設備100的透視圖。設備100具有後續圖中所展示並描述之各種特徵。舉例而言，設備100包括晶圓嚙合組件(在本文中有時被稱為「蛤殼」組件)。實際蛤殼包括杯狀物102及將晶圓穩固地夾持在杯狀物中的錐形物103。

杯狀物102由支柱104支撐，支柱104連接至頂板105。此總成(102至105)(統稱為總成101)經由軸106由馬達107驅動。馬達107附接至安裝托架109。軸106將扭矩傳輸至晶圓(此圖中未展示)以允許在鍍敷期間旋轉。軸106內之氣缸(未圖示)亦提供垂直力以將晶圓夾持在杯狀物與錐形物103之間。為此論述之目的，包括組件102至109之總成統稱為晶圓固持器111。然而，請注意，「晶圓固持器」之概念一

般擴展至嚙合晶圓且允許其移動及定位之組件的各種組合及子組合。

包括可滑動地連接至第二板117之第一板115的傾斜總成連接至安裝托架109。驅動汽缸113分別在樞軸接頭119及121處連接至板115及板117兩者。因此，驅動汽缸113提供用於使板115(且由此使晶圓固持器111)滑動跨越板117的力。晶圓固持器111之遠端(亦即，安裝托架109)沿界定板115與117之間的接觸區域之弓形路徑(未圖示)移動，且由此晶圓固持器111的近端(亦即，杯狀物與錐形物總成)基於虛擬樞軸傾斜。此允許晶圓成角度地進入鍍敷槽中。

經由另一致動器(未圖示)將整個設備100上下垂直地提昇以將晶圓固持器111之近端浸入至鍍敷溶液中。因此，兩組件式定位機構提供沿垂直於電解液之軌跡的垂直移動及允許晶圓偏離水平定向(平行於電解液表面)的傾斜移動(成角晶圓浸入性能)。設備100之移動性能及相關聯硬體的更詳細描述描述於在2001年5月31日申請且在2003年4月22日發佈的美國專利6,551,487中，該案之全部內容以引用的方式併入本文中。

請注意，設備100通常與具有鍍敷腔室之特定鍍敷槽一起使用，該鍍敷腔室容納陽極(例如，銅陽極)及電解液。鍍敷槽亦可包括用於使電解液循環通過鍍敷槽-且抵靠正被鍍敷之工件的管路或管路連接件。鍍敷槽亦可包括設計成在陽極隔室及陰極隔室中維持不同之電解液化學性質的隔膜或其他隔板。在一實施例中，一隔膜用以界定陽極腔

室，該陽極腔室含有實質上無抑制劑、加速劑或其他有機鍍敷添加劑的電解液。

以下描述提供對蛤殼之杯狀物與錐形物總成的更多細節。圖1B以橫截面格式描繪總成100之部分101，其包括錐形物103及杯狀物102。請注意，此圖並非意謂為杯狀物與錐形物總成之精確描繪，而是為論述之目的所作的風格化描繪。杯狀物102係經由支柱104由頂板105支撐，支柱104經由螺桿108附接。一般而言，杯狀物102提供上面擱置有晶圓145之支撐件。杯狀物102包括使來自鍍敷槽之電解液可與晶圓接觸的開口。請注意，晶圓145具有正面142，鍍敷發生在該正面上。因此，晶圓145之周邊擱置在杯狀物上。錐形物103壓迫晶圓之背面以在鍍敷期間將其固持在適當位置。

為將晶圓裝載至101中，經由軸106將錐形物103自其所描繪位置提昇，直至錐形物103觸碰頂板105為止。自此位置，在杯狀物與錐形物之間產生間隙，晶圓145可插入至該間隙中，且由此裝載至杯狀物中。接著，錐形物103降低以抵靠杯狀物102之周邊來嚙合晶圓，如所描繪。

軸106傳輸用於使錐形物103嚙合晶圓145之垂直力及用於旋轉總成101的扭矩兩者。此等所傳輸力在圖1B中由箭頭指示。請注意，晶圓鍍敷通常發生在晶圓旋轉之同時(如由圖1B頂部之虛箭頭所指示)。

杯狀物102具有可壓縮之唇形密封件143，唇形密封件143在錐形物103嚙合晶圓145時形成不透流體的密封。來

自錐形物及晶圓之垂直力壓縮唇形密封件143以形成不透流體的密封。唇形密封件防止電解液與晶圓145之背面接觸(其中該接觸可將諸如銅之污染原子直接引入至矽中)且與設備101的敏感性組件接觸。亦可存在位於杯狀物之界面與晶圓之間的密封件，其形成不透流體的密封以進一步保護晶圓145之背面(未圖示)。

錐形物103亦包括密封件149。如所展示，密封件149在嚙合時位於錐形物103之邊緣及杯狀物的上部區域附近。此亦保護晶圓145之背面使之免遭可能自杯狀物上方進入蛤殼的任何電解液。密封件149可黏附至錐形物或杯狀物，且可為單一密封件或多組件式密封件。

在鍍敷起始後，當錐形物103升高至杯狀物102上方時，即將晶圓145引入至總成102。當晶圓最初引入至杯狀物102中(通常藉由機械臂)時，其正面142輕輕地擱置在唇形密封件143上。在鍍敷期間，總成101旋轉以便輔助達成均勻鍍敷。在後續諸圖中，以更簡單之格式且關於用於在鍍敷期間控制電解液在晶圓鍍敷表面142處之流體動力的組件來描繪總成101。因此，接下來描述工件處之質量轉移及流體剪切的概況。

B. 工件鍍敷表面處之質量轉移及流體剪切

如所指示，各種WLP及TSV結構相對大，且因此需要跨越晶圓表面進行快速而又非常均勻的鍍敷。儘管下文中所描述之各種方法及設備適合於實現此等目的，但本發明不以此方式受限。

本文中所描述之某些實施例使用旋轉工件，該旋轉工件在某些操作體系中近似經典的旋轉圓盤電極。電極之旋轉導致電解液向上流向晶圓。在晶圓表面處之流動可為層狀的(如經典之旋轉圓盤電極中一般使用)或湍流的。如所提及，使用水平定向之旋轉晶圓的電鍍槽按照慣例用於諸如購自Novellus Systems, Inc.(San Jose, California)之Sabre[®]系鍍敷系統的電鍍設備中。

在各種實施例中，在大體垂直定向上具有多個通孔之平坦流塑形板部署在電鍍設備內距鍍敷表面短的距離處，例如，流塑形板的平坦表面與鍍敷表面相距約1至10毫米。含有流塑形元件之電鍍設備的實例描述於2008年11月7日申請之美國專利申請案第12/291,356號中，該案之全部內容以引用的方式併入本文中。如圖1C中所描繪，鍍敷設備150包括鍍敷槽155，鍍敷槽155容納陽極160。在此實例中，電解液175通過陽極160流動至槽155中，且電解液穿過具有垂直定向(非相交)之通孔的流塑形元件170，電解液流過該等通孔且接著撞擊固持、定位在晶圓固持器101中並由晶圓固持器101移動的晶圓145。諸如170之流塑形元件提供在晶圓鍍敷表面上的均勻撞擊流；然而，已發現(且如下文更詳細描述)，當以WLP及TSV鍍敷速率體系來鍍敷時，在較大特徵以較高鍍敷速率(例如，相對於某些金屬鑲嵌處理的鍍敷速率而言)來填充的情況下，與外部區域相比，在晶圓之中央區域中觀測到較低的鍍敷速率。此結果在圖1D中典型化，圖1D展示隨沈積速率對300毫米

晶圓上之輻射位置而變的鍍敷均勻性。根據本文中所描述之某些實施例，利用此等流塑形元件之設備係按某方式來組態及/或操作，該方式促進跨越晶圓之面的高速率且非常均勻的鍍敷，包括在高速率沈積體系下的鍍敷(諸如，對於WLP及TSV應用)。所描述之各種實施例中的任一者或全部可在鑲嵌以及TSV及WLP應用的背景下實施。

假設旋轉工件係水平定向的，在晶圓表面下方某距離處之平面處，大塊電解液主要在垂直方向上流動。當其接近並接觸晶圓表面時，晶圓之存在(及其旋轉)重指引流體並迫使流體向外朝向晶圓周邊流動。此流動通常為層狀的。在理想情況下，電極表面處之電流密度由列維奇(Levich)方程式描述，該方程式指示極限電流密度與電極之角速度的平方根成比例。此極限電流密度在旋轉電極之徑向範圍內均勻，主要係因為邊界層厚度為恆定厚度且獨立於徑向或方位角位置兩者。

在各種實施例中，該設備提供通過流塑形板中之小孔的非常高速率的垂直接流動速率。在各種實施例中，彼等小孔為流塑形板中之如下孔：其全部獨立(亦即，非互連-個別孔之間不存在流體連通)且以主要垂直定向來定向以在晶圓表面處在小孔出口上方的短距離處向上指引流。通常，在流塑形板中存在許多此等小孔，常常至少約1000個此等小孔或至少約5000個此等小孔。流出此等孔外之電解液可產生直接撞擊晶圓表面之高速流體的一組個別「微射流(microjet)」。在一些情況下，工件鍍敷表面處之流並非層

狀的，亦即，局部流為湍流的或在湍流與層狀之間轉變。在一些情況下，在晶圓表面之流體動力邊界層處的局部流係由在晶圓表面處約 10^5 或 10^5 以上的雷諾數來定義。在其他情況下，工件鍍敷表面處之流為層狀的及/或由約2300或2300以下的雷諾數來表徵。根據本文中所描述之特定實施例，在垂直方向上發源於流板中之個別孔或小孔的流體流動至晶圓表面的流動速率(且通過流塑形板中的通孔)為約10公分/秒或10公分/秒以上的數量級，更通常為約15公分/秒或15公分/秒以上。在一些情況下，其為約20公分/秒或20公分/秒以上。

另外，電鍍設備可以使得流塑形板與電極之間的電解液之局部剪切發生的方式來操作。對於大小為典型邊界層厚度之長度尺度的特徵而言，流體之剪切(尤其撞擊與剪切流的組合)可最大化反應器內的對流。在許多實施例中，此長度尺度在幾微米或甚至幾十微米的數量級上。流剪切可以至少兩種方式來建立。在第一情況下，其係藉由大體上固定之流塑形板與位於幾毫米遠之高速相對移動的晶圓表面的相對接近來實現。此配置建立相對運動，且因此藉由線性、旋轉及/或軌道運動而建立剪切流。將非移動流塑形板取作參考點，流體局部剪切將由晶圓上之局部點的速度除以板至晶圓之間隙(單位為(公分/秒)/(cm)= sec^{-1})給出，而保持晶圓移動所需的剪切應力簡單地為此值乘以流體的速度。一般而言(對於牛頓流體)，在此第一剪切模式下，速度輪廓一般增加兩個平面表面之間的線性。用以建

立局部剪切之第二方法涉及在流板/晶圓間隙內引入在該兩個平坦表面之間的間隙中產生或誘發側向流體運動的條件(在無板的任何相對運動或存在板之任何相對運動的情況下)。使流體進出間隙之壓力差及/或入口埠及出口埠使流體實質上平行於該兩個表面而移動，包括跨越晶圓的旋轉中心。假設固定晶圓，在流板/晶圓間隙之中間觀測到與所強加流相關聯的最大速度，且局部剪切與局部流體流密度或平均速度(立方公分/秒/公分或公分/秒)除以晶圓至流板的間隙成比例，其中最大速度在間隙的中心處。儘管經典旋轉圓盤/晶圓之第一剪切模式在晶圓中心處不產生任何流體剪切，但第二模式(其可在各種實施例中實施)確實在晶圓中心處產生流體剪切。因此，在某些實施例中，電鍍設備係在以下條件下操作：在距晶圓表面幾毫米之範圍內跨越基板之鍍敷面的中心點產生約3公分/秒或3公分/秒以上(或約5公分/秒或5公分/秒以上)的橫向相對電解液速度。

當在通過流塑形板之此較高的垂直流動速率下操作時，可得到高鍍敷速率，通常在約5微米/分鐘或5微米/分鐘以上的數量級上，在以1:1縱橫比在50微米深度處形成於光阻之穿抗蝕劑層中的特徵中尤其如此。此外，儘管不希望遵循任何特定原理或理論，但在於如本文中所描述之剪切條件下操作時，在正被鍍敷之結構之凹入含流體部分內材料的有利對流型樣及相關聯之增強型輸送增強沈積速率及均勻性兩者，從而產生在個別晶粒內及在鍍敷工件之整個

面之上的非常均勻的塑形特徵，頻繁地在鍍敷表面之上變化不大於約5%。不管作用機構如何，所敘述之操作產生顯著均勻且快速的鍍敷。

如上文所提及，有趣的是注意，在無由本文中設備所產生之流撞擊及剪切條件兩者的適當組合(諸如，在工件表面上之高垂直撞擊流動速率或單獨之流剪切)的情況下，將不會容易地在大的WLP大小之特徵的晶圓表面內及該表面之上產生非常均勻的鍍敷。

首先考慮鍍敷實質上平坦表面之情形。此處，術語實質上平坦意謂特徵或粗糙度小於所計算或所量測之質量轉移邊界層厚度(一般為幾十微米)的表面。具有小於約5微米(諸如，1微米或1微米以下)之凹入特徵的任何表面(諸如，通常用在銅鑲嵌鍍敷中)因此實質上平坦以用於此目的。當使用經典對流(實例為旋轉圓盤或噴鍍系統)時，鍍敷在理論及實踐上跨越工件面為非常均勻的。因為特徵之深度與質量轉移邊界厚度相比為小的，所以內部特徵質量轉移阻力(與特徵內部的擴散相關聯)為小的。重要地，(例如)藉由使用流剪切板剪切流體在理論上將不會更改至平坦表面的質量輸送，因為剪切速度及相關聯對流全部在與表面正交的方向上。為輔助至表面之質量轉移，對流必須具有朝向表面的速度分量。對比而言，在表面之方向上移動的高速流體(諸如，由穿過各向異性多孔板(例如，如本文中所描述之流塑形板)的流體所引起)可產生具有朝向表面之速度分量的大的撞擊流，且因此實質上減小質量輸送邊界

層。因此，再次對於實質上平坦表面，撞擊流將改良輸送，但剪切(只要不產生湍流)將不會改良輸送。在(諸如)在晶圓與緊密接近旋轉工件之剪切板之間の間隙中所產生的湍流(流體的混亂運動)存在的情況下，可顯著地減小質量轉移阻力且增強均勻對流條件，從而產生針對非常薄之邊界層厚度的條件，因為混亂運動中的一些將流體指引至表面。至實質上平坦表面之流在工件的整個徑向範圍內可能為湍流或可能並非湍流，但在特徵內及在晶圓沈積內可一般造成非常均勻。

重要的是理解邊界層厚度之概念的限制，為將質量轉移阻力集總至等效表面薄膜中之空間的高簡化、概念性區域。其在功能上限於表示反應物濃度隨其擴散至大體上平坦表面而改變的距離，從而在應用於「較粗糙」表面時重要性在一定程度上降低。薄邊界層一般與高輸送速率相關聯為成立的。但不造成至平坦表面之改良對流的一些條件可改良至粗糙表面的對流亦為成立的。咸信，對於WLP尺度「粗糙」表面而言，存在流體剪切之添加之、迄今未得到欣賞的特性，其可與撞擊流組合使用以增強至此較粗糙表面(諸如，具有比質量轉移邊界層厚度大之特徵的經圖案化表面)的對流。在實質上平坦表面行為與實質上粗糙表面行為之間的此差異之所感知的原因與增強型材料補給相關聯，該材料補給可產生以隨其越過特徵之口部而攪拌固持在空腔中的物質，從而將流體混合且將流體輸送至相對大的凹入特徵及使之遠離該等凹入特徵。特徵內循環條

件之產生在WLP型結構中在達成非常高之速率的、全域及顯微均勻沈積方面用作手段。

就大的且相對深(1:0.5寬度對深度或更大的縱橫比)之特徵而言，單獨使用撞擊流可僅部分有效，因為撞擊流體隨其接近開放小孔必須自特徵空腔開口向外徑向地發散。含於空腔內之流體未得到有效攪拌或移動且可保持基本上停滯，從而使特徵的輸送主要由擴散單獨進行。因此，咸信，當在主要是單獨撞擊流或單獨剪切流之操作條件下鍍敷WLP尺度特徵時，對流次於使用撞擊流與剪切流之組合時的對流。且與至平坦表面(與邊界層在同一數量級上平坦)之等效對流條件相關聯的質量轉移邊界層將自然地大體上均勻，但在於WLP尺度特徵鍍敷中所遇到的情形中，為實現均勻鍍敷，邊界層厚度(大體上相當於正被鍍敷之特徵的大小且在幾十微米的數量級上)需要相當不同的條件。

最後，層狀撞擊流與層狀剪切流之組合及交叉咸信能夠產生微流漩渦。此等微漩渦(其單獨本質上可為層狀的)可潛在地變成本質上湍流的，且與上文的論述一致，可用於增強至平坦表面鍍敷及粗糙表面鍍敷兩者的對流。應瞭解，提出上述解釋僅為了輔助理解在具有WLP或類WLP特徵之晶圓中的質量轉移及對流的物理基礎。其並非本文中所描述之有益方法及設備之作用機構或必要鍍敷條件的限制性解釋。

發明者已觀測到，當旋轉經圖案化基板-尤其是具有大

小與質量轉移邊界層類似之特徵(例如，在幾微米或幾十微米數量級上之凹座或突起，諸如通常在TSV及WLP基板上遇到的)的經圖案化基板時-可在旋轉基板的中心處產生「異常」或鍍敷失常(參見圖1D)。此鍍敷不均勻性發生在平坦鍍敷表面之旋轉軸線處，此處角速度為零或接近零。在使用如上文所描述之流塑形板之設備中的一些中，在無一些其他中心失常調停機構的情況下，亦已觀測到此情形。在此等情況下，在無此等機構的情況下，就大體上平坦特徵而言，除了工件之中心處以外，跨越經圖案化工件表面任一處，鍍敷速率顯著均勻且快速，在工件中心處速率顯著降低且特徵形狀大體上不均勻(例如，在中心附近凹入)。此情形特別令人感興趣，假定在未經圖案化基板上在類似條件下之鍍敷產生完全均勻的鍍敷輪廓或有時甚至顛倒的鍍敷輪廓(亦即，除了在中心處以外，鍍敷速率跨越工件表面任一處顯著均勻，在中心處鍍敷速率顯著較高，從而產生圓頂形中央區域)。在其他測試中，在總體撞擊流體積及/或速度在中心處增加的情況下，發現沈積速率在該處可增加，但特徵之大體形狀在中心處很大程度上保持未改變(圓頂形且不規則的，而非平坦的)。

此中心不均勻性可藉由提供側向移動流體來減輕或消除，該側向移動流體將在基板中心處產生剪切力使電解液流動跨越基板的鍍敷面。此剪切力可由多個機構中之任一者來施加，將在本文中描述該等機構中的一些。簡要地，該等機構包括(1)在旋轉基板之中心處或附近孔之數目、定

向及散佈的均勻性有變化的流塑形板，諸如如下流塑形板：其中該等孔中之接近旋轉工件之中心的至少一些孔具有自垂直線偏離的角度(更一般而言，不垂直於旋轉基板之鍍敷面的角度)；(2)工件表面與流塑形板之間的相對運動之側向分量(例如，相對線性或軌道運動，諸如有時在化學機械拋光設備中應用)；(3)鍍敷槽中所提供之一或多個往復或旋轉槳(例如，槳輪或葉輪)；(4)附接至流塑形板或接近流塑形板且自工件之旋轉軸線偏移的旋轉總成；(5)附接至流塑形板之圓周或接近流塑形板之圓周且朝向旋轉工件延伸的方位角不均勻限流器(有時被稱為「流轉向器」)；及(6)引入跨越一般晶圓表面(包括中心)之側向流的其他機構。

將在下文更詳細地描述並例示此等機構中的每一者。關於第一所列出機構，板孔散佈之不均勻性可為(a)板之中央區域中孔密度增加及/或(b)中央區域中孔散佈的隨機性。關於所列出機構中之第五者，流轉向器在旋轉基板與流塑形板之間有效地提供幾乎閉合的腔室。在一些情況下，如下文更充分地描述，流轉向器及相關聯硬體提供或實現在基板固持器周邊與邊緣元件之頂部之間的區域之大部分之上非常小的間隙(例如，約0.1毫米至0.5毫米)的產生。在剩餘的周邊區域中，在邊緣元件中存在間隙，該間隙提供具有相對低阻力路徑以使電解液流出幾乎閉合之腔室外的較大間隙。參見(例如)圖2A至圖2C。

C. 設計及操作參數

此章節中將論述各種有關參數。此等參數常常是相關的。然而，將單獨描述此等參數以提供一般操作空間及一般設備設計空間的實例。熟習此項技術者將完全瞭解，當考慮本發明之教示時，可選擇此等參數之適當組合以實現特定結果，諸如所要的鍍敷速率或均勻之沈積輪廓。另外，本文所呈現之參數中的一些可根據被鍍敷之基板及特徵及/或其應用之電鍍槽的大小來按比例調整。除非另有指定，否則所敘述之參數適用於使用流塑形板下方之電解液腔室體積大於約1公升的電鍍槽來鍍敷300毫米晶圓。

退出流塑形板之孔並撞擊晶圓之電解液流動速率

如所指示，通過流塑形板中之孔的流動速率可與鍍敷槽之操作有關。通常，需要使穿過流塑形板之撞擊流具有高速率。在某些實施例中，自板中之個別孔退出的此流動速率至少為約10公分/秒，且常常大至約15公分/秒或甚至約20公分/秒或更大。自板孔至晶圓表面之距離一般小於5毫米，藉此使上述流體速度在衝擊晶圓表面之前的任何電位耗散最小化。基本上，每一通孔之孔隙中的每一者提供撞擊流的微射流。

在具有相對小之開口(例如，直徑約0.03吋或更小)的流塑形板中，黏性壁力通常在開口內部之慣性流體動力中占主導。在此等情況下，雷諾數將遠低於在管中流動的湍流值臨限值(>2000)。因此，在孔內部之流自身通常將為層狀的。然而，該流在以(例如)10至20公分/秒行進之後強烈且直接地(例如，以直角)碰撞鍍敷表面。咸信，此撞擊流

至少部分促成所觀測到的有益結果。舉例而言，可在使用與不使用高速撞擊流體微射流之情況下使用對銅至平坦晶圓之極限電流鍍敷速率的量測來判定邊界層厚度。流塑形板為 $\frac{1}{2}$ 吋厚的板，其中鑽有6500個0.026吋之孔、均勻配置在約300毫米直徑的區域之上。不管孔之面積僅占晶圓鍍敷表面以下之總面積的約3%，且旋轉晶圓在一孔之正上方持續相等的一小段時間的事實，發現在將孔流速自3公分/秒改變至18.2公分/秒而晶圓的旋轉保持在30 RPM時，極限電流增加多達100%。

通過流塑形板之體積流動速率

穿過流塑形板之總體積流量直接依賴自板中之個別孔的線性流動速率。對於如本文中所描述之典型流塑形板(例如，直徑約300毫米之流塑形板，具有大量相等直徑)，通過板孔的體積流量可大於約5公升/分鐘，或大於約10公升/分鐘，或有時大至40公升/分鐘或更高。作為一實例，為24公升/分鐘之體積流動速率在典型板之每一孔的出口處產生為約18.2公分/秒的線性流速。

側向跨越基板工作表面之中心旋轉軸線的流動速率

直接平行於旋轉基板之表面的流在基板之旋轉軸線處一般應為非零的。此平行流係恰好在基板表面上之流體動力邊界層外部量測。在一些實施例中，跨越基板中心之流大於約3公分/秒，或更特定言之，大於約5公分/秒。咸信，此等流減輕或消除在經圖案化晶圓之旋轉軸線處所觀測到的鍍敷速率減小。

流過流塑形板之電解液的壓降

在某些實施例中，流過流塑形元件之孔之電解液的壓降為適度的，例如，約0.5托至3托(在特定實施例中為0.03 psi或1.5托)。在諸如使用關於(例如)圖2A至圖2I所描述之流轉向器結構之設計的一些設計中，跨越板之壓降應顯著大於對在遮板或邊緣元件中之開放間隙的壓降，以確保基板表面上之撞擊流跨越基板表面至少相對均勻。

晶圓與流塑形板之間的距離

在某些實施例中，晶圓固持器及相關聯定位機構將旋轉晶圓固持為非常接近於流塑形元件的平行上表面。在典型情況下，分離距離為約1至10毫米，或約2至8毫米。此小板至晶圓之距離可在晶圓上產生與鍍敷圖案之個別孔之接近性「成像」相關聯的該圖案，尤其是在靠近晶圓旋轉中心處。為避免此現象，在一些實施例中，應將個別孔(尤其是在晶圓中心處及靠近晶圓中心處)建構成具有小的大小，例如小於板至晶圓間隙的約1/5。當與晶圓旋轉耦合時，小孔大小允許在時間上求平均作為射流而來自板之撞擊流體的流速，且減小或避免小規模不均勻性(例如，約數微米的不均勻性)。儘管有以上預防措施，且取決於所使用之鍍槽的性質(例如，所沈積之特定金屬、導電性，及所使用的槽添加劑)，在一些情況下，沈積可能易於發生於因時間平均暴露而引起之微型不均勻圖案及具有變化之厚度(例如，在晶圓中心周圍呈「牛眼」形狀)且對應於所使用之個別孔圖案的接近性成像圖案中。若有限之孔圖

案產生不均勻且影響沈積的撞擊流圖案，則可能發生此現象。在此情況下，已發現跨越晶圓中心引入側向流大大消除原本於該處發現的任何微型不均勻性。

流塑形板之孔隙率

在各種實施例中，流塑形板具有足夠低之孔隙率及小孔大小，以在正常操作體積流動速率下提供黏性背壓及高垂直撞擊流動速率。在一些情況下，流塑形板之約1%至10%為開放區域，從而允許流體到達晶圓表面。在特定實施例中，該板之約2%至5%為開放區域。在特定實例中，該板之開放區域為約3.2%，且有效的總開放橫截面積為約23平方公分。

流塑形板之孔大小

可以許多不同方式實施流塑形板之孔隙率。在各種實施例中，流塑形板實施有許多小直徑的垂直孔。在一些情況下，該板並非由個別「鑽」孔組成，而是由連續多孔材料之燒結板產生。此等燒結板之實例描述於美國專利6,964,792中，該案之全部內容以引用的方式併入本文中。在一些實施例中，鑽出之非連通孔的直徑為約0.01至0.05吋。在一些情況下，該等孔之直徑或為約0.02至0.03吋。如上文所提及，在各種實施例中，該等孔之直徑至多為流塑形板與晶圓之間の間隙距離之約0.2倍。孔之橫截面一般為圓形的，但無需如此。此外，為易於建構，板中之所有孔可具有相同直徑。然而，情況無需如此，且因此如特定要求可能規定的，孔之個別大小及局部密度兩者可在板

表面之上變化。

作為一實例，已發現由合適之陶瓷或塑膠(一般為介電絕緣且機械上穩固的材料)製成、其中提供有大量小孔(例如，直徑為0.026吋之6465個孔)的固體板係有用的。該板之孔隙率通常小於約5%，以使得產生高撞擊速度所必需之總流動速率不會過大。使用較小之孔比較大之孔有助於產生跨越板的大壓降，從而輔助產生通過板的更均勻之向上速度。

一般而言，孔在流塑形板之上之散佈具有均勻密度且為非隨機的。然而，在一些情況下，孔之密度可變化，尤其在徑向方向上。在如下文更完全描述之特定實施例中，在將流朝向旋轉基板之中心指引的板區域中存在較大之孔密度及/或孔直徑。此外，在一些實施例中，指引旋轉晶圓之中心處或靠近該中心處之電解液的孔可誘發相對於晶圓表面以非直角流動。此外，此區域中之孔歸因於有限數目個孔與晶圓旋轉之間的任何交互作用而可具有隨機或部分隨機散佈之不均勻的鍍敷「環」。在一些實施例中，接近流轉向器之開放區段的孔密度低於距所附接之流轉向器之該開放區段較遠的流塑形板區域上之孔密度。

基板之旋轉速率

晶圓之旋轉速率可大大變化。在無撞擊流及流塑形板之情況下，在晶圓以下小距離處，應避免高於90 rpm之旋轉速率，此係由於一般在晶圓之外邊緣處形成的湍流(且層狀流進一步保持)，從而導致徑向不均勻對流條件。然

而，在本文所揭示之大多數實施例(諸如，具有強加之湍流及/或具有撞擊流塑形板的實施例)中，可使用範圍大得多之旋轉速率，例如，自 20 rpm 至 200 rpm 或更大。較高之旋轉速率大大增加晶圓表面大部分的剪切作用，晶圓中心除外。然而，高旋轉速率亦傾向於放大、聚焦或以其他方式修改中心異常/失常之相對規模，因此咸信，跨越中心引入側向流有時對於消除此問題係有必要的，尤其是當在較高的旋轉速率下操作時。

基板之旋轉方向

在一些實施例中，在電鍍製程期間週期性地改變晶圓方向。此方法之一個益處在於，先前在流體流之前邊緣(在角方向上)處之特徵陣列或個別特徵的一部分在旋轉方向反轉時可成為該流之後邊緣處的特徵。當然，相反情況亦成立。有角流體流之此反轉傾向於使在工件面上之特徵之上的沈積速率相等。在某些實施例中，旋轉反轉在整個鍍敷製程中以大致相等的持續時間發生多次，以使得對流對特徵深度迴旋最小化。在一些情況下，旋轉在鍍敷晶圓之過程期間至少反轉約 4 次。舉例而言，可使用一系列振盪的 5 個順時針及 5 個逆時針鍍敷旋轉步驟。一般而言，改變旋轉方向可緩和方位角方向上之上游/下游不均勻性，但對徑向不均勻性具有有限影響，除非與其他隨機化影響(諸如，撞擊流及晶圓橫流)疊加。

基板表面之上之電沈積均勻性-表面至邊緣

如所指示，一般需要鍍敷晶圓之鍍敷面之上的所有特徵

至均勻厚度。在某些實施例中，鍍敷速率及因此被鍍敷特徵之厚度具有在晶圓半範圍(WIW R/2%)內為10%或更小的不均勻性。WIW-R/2定義為在跨越晶圓半徑之多個晶粒處所收集的特定特徵類型(亦即，具有給定大小且與晶圓上之每一晶粒具有相同的相對位置的所選擇特徵)的總厚度範圍除以特徵在整個晶圓之上之平均厚度的兩倍。在一些情況下，鍍敷製程具有為約5%或更好的WIW-R/2均勻性。本發明中所描述之設備及方法能夠在高的沈積速率(例如，5微米/分鐘或更高)下達成或超過此均勻性等級。

電沈積速率

許多WLP、TSV及其他應用要求非常高的電填充速率。在一些情況下，如本文中所描述之電鍍製程以至少約1微米/分鐘之速率填充微米規模的特徵。在一些情況下，其以至少約5微米/分鐘(有時至少約10微米/分鐘)之速率填充此等特徵。本文中所描述之實施例產生有效的質量轉移，以使得可使用此等較高之鍍敷速率同時維持高的鍍敷均勻性。

流塑形板之額外特性

如所指示，流塑形板可具有許多不同的組態。在一些實施例中，其提供以下一般(定性)特性：1)不滑動邊界，其駐留於接近旋轉工件處以使電解液在工件表面處產生局部剪切力，2)大的離子電阻，當電鍍至相對薄之金屬化或以其他方式具有高電阻性的表面上時，其可提供在工件半徑之上更均勻的電位及電流散佈，及3)大量流體微射流，其

將極高速流體直接遞送至晶圓表面上。大的離子電阻係重要的，因為在WLP及TSV鍍數兩者中，可能在整個晶圓上存在極少金屬沈積或無金屬沈積，跨晶圓電阻及自晶圓周邊至其中心的電阻可能在整個製程中保持為高。在整個鍍數製程中具有大的離子電阻允許維持均勻之鍍數製程的有用方式，且使得能夠使用比原本可能之情況薄的晶種層。此解決了如先前以引用的方式併入之美國專利申請案第12/291,356號中所描述的「終端效應」。

在許多實施例中，流塑形元件之小孔或孔不互連，而是非連通的，亦即，其彼此隔離且不與流塑形元件之主體形成互連通道。此孔可被稱為1維通孔，因為其在一個維度上延伸，在一實施例中，正交於晶圓的鍍數表面。亦即，通道相對於流塑形元件之面向基板的表面定向成約 90° 角。在一實施例中，流塑形元件之通道相對於流塑形元件之面向基板的表面定向成約 20° 至約 60° 角，在另一實施例中，相對於流塑形元件之面向基板的表面定向成約 30° 至約 50° 角。在一實施例中，流塑形元件包括以不同角度定向之通道。流塑形元件上之孔圖案可包括均勻、不均勻、對稱及不對稱的元件，亦即，孔之密度及圖案可跨越流塑形元件而變化。在某些實施例中，通道經配置以避免平行於面向基板之表面之長範圍的線性路徑不會遇到通道中的一者。在一實施例中，通道經配置以避免平行於面向基板之表面之約10毫米或更長的長範圍之線性路徑不會遇到通道中的一者。

流塑形元件可由離子電阻性材料建構，離子電阻性材料包括以下材料中之至少一者：聚乙烯、聚丙烯、聚偏二氟乙烯(PVDF)、聚四氟乙烯、聚砜及聚碳酸酯。在一實施例中，流塑形元件之厚度介於約5毫米與約10毫米之間。

在某些實施例中，複數個通道實質上彼此平行，在另一實施例中，該複數個通道中之至少一些通道不彼此平行。在某些實施例中，流塑形元件為具有約6,000至12,000個孔的圓盤。在一實施例中，流塑形元件具有不均勻之孔密度，較大之孔密度存在於面向基板鍍敷面之旋轉軸線的流塑形元件區域中。在一實施例中，流塑形元件中之複數個孔不在流塑形元件內形成連通通道，且實質上所有該複數個孔使得該元件之面向基板之表面的表面上之開口的主要尺寸或直徑不大於約5毫米。

應注意，供本發明使用之流塑形板可具有偏離先前以引用的方式併入之美國專利申請案第12/291,356號中所敘述之特性的某些特性。此等特性包括(1)較低之離子電阻(諸如，顯著小於接種晶圓之電阻的電阻)，(2)大量孔，及(3)較薄之構造(例如，板厚度可為約四分之一吋或更小)。

鑒於上述參數，下文結合諸圖更詳細地描述設備及方法。

D. 用於解決中心鍍敷不均勻性之設備

儘管本文中所描述之本發明的一些態樣可用於各種類型之鍍敷設備中，但為簡單及清晰起見，大多數實例將關於晶圓面向下之「噴泉式」鍍敷設備。在此設備中，待鍍敷

之工件(在本文所呈現之實例中通常為半導體晶圓)一般具有實質上水平定向(其在一些情況下可自真正水平變化幾度)且在以大體垂直向上的電解液對流鍍敷期間旋轉。噴泉式鍍敷類別之槽/設備之部件的一實例係由Novellus Systems, Inc.(San Jose, CA)生產且可購自Novellus Systems, Inc.的Sabre®電鍍系統。另外,噴泉式電鍍系統描述於(例如)美國專利第6,800,187號及2010年2月11日申請之美國專利申請公開案US 2010-0032310A1中,該兩案之全部內容以引用的方式併入本文中。

如所提及,已觀測到,在經圖案化晶圓上,與晶圓之剩餘部分處相比,在晶圓之中心處及在其附近的小徑向區域之上的電鍍速率相對較慢且鍍敷特徵形狀較次,在該剩餘部分中速率實質上均勻。圖1D描繪在使用習知噴泉型鍍敷組態時來自至300毫米晶圓上之銅電鍍行程(run)的結果。此等結果係針對鍍敷有銅且具有50微米寬特徵之晶圓而獲得,該等50微米寬特徵係在以3.5微米/分鐘所鍍敷的50微米厚光阻中界定。鍍敷係在晶圓以90 rpm旋轉之同時進行,使用如上文所描述之流板及20 lpm的總系統流動速率,但不使用用於特定地引入跨中心晶圓流剪切之校正構件。當以高的沈積速率(例如,以幾乎超過當前WLP鍍敷性能體系之上限的速率)來鍍敷時,習知擴散器及晶圓旋轉條件不足以防止在晶圓之中心處之區域中的不均勻沈積。此情形被咸信為係歸因於在晶圓之中央區域處的較緩慢旋轉、最小撞擊流及不足的流體剪切。在晶圓表面上之

實際中心旋轉軸線處，存在與零角速度相關聯的「異常」。

具有有效質量轉移性能，可補償該異常且由此達成高速率均勻鍍敷；由此本文中所描述之設備經組態以電鍍(例如)晶圓級封裝特徵、TSV及其類似者。可使用本文中所描述之設備來鍍敷各種金屬，包括歸因於質量轉移問題而傳統上難以鍍敷的金屬。在一實施例中，本文中所描述之設備經組態以電鍍選自由以下各者組成之群組之一或多種金屬：銅、錫、錫-鉛組合物、錫銀組合物、鎳、錫-銅組合物、錫-銀-銅組合物、金，及其合金。

在上文識別了用於解決所觀測到之不均勻性的各種機構。在某些實施例中，此等機構在旋轉工件之表面處引入流體剪切。在下文更充分地描述該等實施例中之每一者。

一實施例係一種電鍍設備，其包括：(a)鍍敷腔室，其經組態以含有電解液及陽極，同時將金屬電鍍至實質上平面的基板上；(b)基板固持器，其經組態以固持該實質上平面之基板，以使得在電鍍期間該基板之鍍敷面與該陽極分離；(c)流塑形元件，其包括面對基板之表面，該面對基板之表面在電鍍期間實質上平行於該基板之鍍敷面且與該鍍敷面分離，該流塑形元件包括具有通過該流塑形元件所製成之複數個非連通通道的離子電阻性材料，其中該等非連通通道允許在電鍍期間輸送電解液通過該流塑形元件；及(d)流轉向器，其在該流塑形元件之該面對基板的表面上，該流轉向器包括部分遵循該流塑形元件之圓周且具有一或

多個間隙的壁結構，且在電鍍期間在該流塑形元件與該實質上平面的基板之間界定部分或「偽」腔室。

在一實施例中，該流塑形元件係圓盤形的，且該流轉向器包括附接至該流塑形元件或整合至該流塑形元件上的有槽環形間隔件。在一實施例中，該流轉向器之壁結構具有單一間隙，且該單一間隙佔據約40度與約90度之間的弧。該流轉向器之壁結構的高度可介於約1毫米與約5毫米之間。在某些實施例中，該流轉向器經組態以使得在電鍍期間壁結構之頂部表面距基板固持器之底部表面介於約0.1毫米與0.5毫米之間，且在電鍍期間該流塑形元件之頂部表面距基板固持器的底部表面介於約1毫米與5毫米之間。

在某些實施例中，該設備經組態以在基板鍍敷面之方向上且於在電鍍期間產生退出該流塑形元件之孔的至少約10公分/秒之平均流速的條件下使電解液流動。在某些實施例中，該設備經組態以在產生跨越基板之鍍敷面之中心點的至少3公分/秒或更大之橫向電解液速度的條件下操作。

在某些實施例中，該壁結構具有高於內部部分之外部部分。除了形成偽腔室中之通風區域的一或多個間隙以外，實施例包括限制退出偽腔室之電解液之流的特徵。

一實施例係一種用於將金屬電鍍至基板上之設備，該設備包括：(a)鍍敷腔室，其經組態以含有電解液及陽極，同時將金屬電鍍至該基板上；(b)基板固持器，其經組態以固持該基板以使得在電鍍期間該基板之鍍敷面與該陽極分離，該基板固持器具有一或多個電力觸點，該一或多個電

力觸點經配置以在電鍍期間接觸該基板之邊緣且將電流提供至該基板；(c)流塑形元件，其經塑形且組態以在電鍍期間定位於該基板與該陽極之間，該流塑形元件具有在電鍍期間實質上平行於該基板之鍍敷面且與該鍍敷面分離約10毫米或更小之間隙的平坦表面，且該流塑形元件亦具有複數個孔以准許電解液朝向該基板的鍍敷面流動；(d)用於使該基板及/或該流塑形元件旋轉同時在基板鍍敷面之方向上使電解液在電鍍槽中流動的機構；及(e)用於將剪切力施加至在該基板之鍍敷面處流動之電解液的機構；其中該設備經組態以用於在基板鍍敷面之方向上於在電鍍期間產生退出該流塑形元件之該等孔的至少約10公分/秒之平均流速的條件下使電解液流動，且用於在平行於該基板之鍍敷面的方向上在跨越該基板之鍍敷面之中心點的至少約3公分/秒之電解液速度下使電解液流動。下文更詳細地描述各種剪切力機構。

流轉向器

某些實施例在晶圓之鍍敷面處，且尤其是在關於該鍍敷面之中心旋轉軸線處賦予側向剪切作用。咸信此剪切作用減少或消除在晶圓之中心處所觀測到之沈積速率的不均勻性。在此章節中，藉由使用附接至或鄰近流塑形板之圓周且朝向旋轉工件延伸之方位角不均勻的流轉向器來賦予該剪切作用。一般而言，流轉向器將具有至少部分限制電解液自偽腔室(偽腔室之通風部分處除外)之流動的壁結構。該壁結構將具有頂部表面，該頂部表面在一些實施例中係

平坦的，且在其他實施例中具有垂直元件、斜面及/或彎曲部分。在本文中所描述之一些實施例中，流轉向器之邊緣部分的頂部表面在晶圓固持器之底部與流轉向器之間在基板固持器周邊與邊緣部分之頂部之間的大部分區域之上提供非常小的間隙(例如，約0.1毫米至0.5毫米)。在此區域(介於約30度至120度之間的弧)外部，在流轉向器主體中存在間隙(例如，自環形主體所移除之區段)，該間隙為電解液流出在晶圓鍍敷面、晶圓固持器之某些表面、流塑形板與流轉向器之內表面之間所形成的幾乎閉合之腔室提供相對低阻力的路徑。

在一實施例中，電鍍設備之用於施加剪切力的機構包括有槽間隔件，該有槽間隔件位於流塑形元件之圓周上或接近流塑形元件之圓周，並朝向基板固持器突出以界定流塑形元件與基板固持器之間的部分腔室，其中有槽間隔件包括位於角形區之上的槽以為流出部分腔室的電解液流提供低阻力路徑。圖2A至圖2D及相關聯CAD圖2E至圖2I描繪結合流塑形板202(圖2E至圖2K中之5)使用有槽間隔件200以便產生轉向器總成204的實施，當轉向器總成204定位於緊密接近可旋轉驅動總成101處時且當通過板202之通孔提供足夠流時，轉向器總成204以高速率沈積體系提供實質上均勻的鍍敷。圖2A描繪有槽間隔件200(亦稱為方位角不對稱之流轉向器)與流塑形板202組合以形成總成204的方式。有槽間隔件200可(例如)使用螺桿及其類似者(未圖示)附接。一般熟習此項技術者應瞭解，儘管實施例被描述為

組合於總成中之個別流塑形板及流轉向器(例如，有槽間隔件200及板202，一起為總成204)而非此等總成，但自(例如)材料塊研磨而成之單式主體可伺服相同目的。因此，一實施例係具有單式主體之流塑形元件，其經組態以伺服本文中所描述之流轉向器/流塑形板總成的目的。

總成204定位於緊密接近待鍍敷之基板處。舉例而言，總成101之最接近部分(如關於圖1A及圖1B所描述之杯狀物102的基座)與帶方位角的有槽間隔件200之頂部的距離在小於約1毫米的範圍內。以此方式，在晶圓與流塑形板之間形成受限空間或偽腔室，其中撞擊晶圓表面之大部分電解液通過200的有槽部分退出。尺寸A(其可定義為所定義半徑之環的角度或線性尺寸)可變化以允許更多或更少的流通過槽，且尺寸B可變化以在上文所提及之偽腔室中產生較大或較小的體積。圖2B係定位於緊密接近總成101處之總成206的橫截面描繪。在某些實施例中，係間隔件200之頂部與總成101之底部之間的間隙的尺寸C為約0.1毫米至0.5毫米，在另一實施例中為約0.2毫米至0.4毫米。

圖2C描繪在晶圓不旋轉時電解液在晶圓與板202之間的偽腔室內的流動型樣。更特定言之，該圖描繪直接接近晶圓之鍍敷面的流動型樣之代表性向量。電解液撞擊垂直於鍍敷表面之晶圓，但接著發生偏轉，並平行於鍍敷表面流動且流出200的槽。此流動型樣係依據相對於自流轉向器200移除區段所在之區域(其中駐留有偽腔室中之「通風孔」或較大開口)對通過狹窄間隙C(參見圖2B)之流的阻力

所產生。應注意，流向量之量值跨越流塑形板自偽腔室中距通風區域最遠之區域且朝向通風區域增加。此可藉由考慮(例如)距間隙最遠之區域(較高壓力)與接近間隙的區域(較低壓力)之壓力差來合理地說明。另外，在偽腔室中距通風孔最遠之區域中流動的電解液不會像通風孔附近之區域一樣出現來自塑形板中額外微射流之組合流的速度及動量增加。在下文更詳細地描述之某些實施例中，此等流向量量值變得更均勻，以便進一步增加鍍敷均勻性。

圖2D描繪在晶圓在一個方向上旋轉時在晶圓面處之流動型樣的代表性向量。應注意，電解液側向流動跨越旋轉晶圓之旋轉中心(用粗體「X」標記)或旋轉軸線。因此，跨越晶圓之中心建立剪切流，從而減少或消除在存在不足剪切流時所觀測到的中心緩慢鍍敷(例如，如關於圖1D所描述)。

在一些實施例中，將實質上流動受阻但傳導離子的薄膜(諸如，一層流動受阻之微孔過濾材料或陽離子傳導膜)(例如，Nafion™-自E.I. du Pont de Nemours and Company購得之基於磺化四氟乙烯的含氟聚合物-共聚物)置放於流板正下方在該板接近流轉向器之開放流槽的區域中。在一實施例中，該部分為該板之面積的約一半。在另一實施例中，該部分為該板之面積的約1/3，在另一實施例中為約1/4，且在又一實施例中，該部分小於該板之面積的1/4。此構造允許離子電流基本上不受抑制地穿過該處之孔，但防止流向上浸入於該區域中，從而增加以相同的總流動速率跨

越晶圓中心的橫流，同時使跨越晶圓鍍敷表面之流向量正規化。舉例而言，當該部分為該板之面積的一半時，此使得位於槽之相對側處的孔中之流速加倍，並消除通過接近槽之板之一半上的孔之流。熟習此項技術者應瞭解，取決於特定鍍敷設備之組態(包括流轉向器/流塑形板組態)，膜之形狀及置放可經最佳化以使橫向流向量正規化。可調整流塑形板之通孔圖案以使得接近流轉向器中之間隙的孔之密度降低，來替代此膜；類似地，接近間隙之孔的圖案將取決於特定系統之組態及操作參數。更靈活之方法係使用具有某固定孔圖案之流塑形板及使用上文所提及之膜及/或孔阻塞來產生跨越晶圓鍍敷表面的所要橫向流特性。後續諸圖之論述中包括對改良橫向流特性的進一步論述。舉例而言，關於圖7A至圖7C進一步描述用於使跨越晶圓鍍敷表面之橫向流向量正規化的方法及設備。

在自實際鍍敷設備組件之CAD圖得到的圖2E至圖2I中，展示該設備且尤其是轉向器總成的額外特徵。可能時，圖2E至圖2I中之一些組件的編號與先前諸圖中之編號匹配，例如，晶圓145、流轉向器200及流塑形板202。圖2E至圖2I中之其他特徵係藉由以下參考數字識別。圖2E以透視圖展示附接至鍍敷槽總成之總成204，且以橫截面展示晶圓固持器101。參考數字206識別「頂板」，其用於連接至「杯狀物」212且允許該杯狀物上下移動以抵靠「錐形物」210將晶圓固持在適當位置。支柱208將杯狀物212連接至頂板206。外殼205安裝至錐形物210，用以固持各種

連接，諸如氣動連接及電連接。錐形物亦包括用以在錐形物中產生可撓性懸臂結構之斷開切口 (cut out) 207，及密封 O 形環 230。杯狀物 212 包括杯狀物主體或結構 222、用於與晶圓 145 連接之電觸點 224、用於將電遞送至觸點 224 的匯流排板 226，及杯狀物底部 228，杯狀物底部 228 界定總成 101 之下表面 (圖 2A 至圖 2D，亦應注意，圖 1A 及圖 1B 以及相關聯描述提供關於例示性晶圓固持與定位總成 100 的背景，及總成 101 之橫截面)。

有槽間隔件 200 (亦參見圖 2A 至圖 2D) 接觸流塑形板 202 (亦參見圖 2A 至圖 2D)。斷開切口或槽 201 存在於有槽間隔件中，且如所解釋，提供低阻力路徑以使電解液在電鍍期間溢出。在此實例中，安裝螺桿將有槽間隔件 200 連接至流塑形板 202。固定部件 220 將板 202 連接至槽主體 216。圓形壁 214 界定固持陰極電解液之陰極腔室的外部區域，使其與固持陽極電解液之陽極腔室分離。

間隙 232 (亦參見圖 2B 之尺寸 C) 在晶圓 145 之鍍敷表面與流塑形板 202 的上表面之間。在流轉向器之內部區域中，此間隙可為約 2 至 4 毫米。然而，在一些實施例中，在有槽間隔件所駐留之圓周點處，存在僅為約 0.1 毫米至 0.5 毫米的間隙 234。此較小之間隙 234 的特徵在於有槽間隔件 200 之上表面與杯狀物底部 228 之下表面之間的距離。當然，此小間隙 234 不存在於間隔件 200 中之開口 201 處。在此開口處，杯狀物底部與板 202 之間隙與間隙 232 相同。在某些實施例中，間隙 232 與 234 之間隙大小相差約 10

倍。

作為一組替代性實施例，使用液體流作為障壁來產生如本文中所描述之剪切流。在此等實施例中，邊緣間隙未必完全如上文所描述一般小，例如為2毫米，但仍引起產生橫流的效應。在槽大體上如關於圖2A至圖2I中所描述的一實例中，在有槽間隔件200通常將佔據之區域中，存在如下機構(例如，一或多個流體噴嘴)：用於產生朝向晶圓固持器實質上向上指引之向上流動的流體流，藉此在流體將以其他方式嘗試通過間隙「洩漏」的區域中產生液體「壁」。在另一實施例中，間隔件向外延伸超過晶圓固持器之周邊且接著在晶圓自身之方向上側向向上約1公分至10公分的距離，藉此產生裝配晶圓及其固持器的「洩漏的」杯狀物。與流轉向器相似，洩漏的杯狀物具有壁缺失之區，通過該區，進入流板之液體經該流板與晶圓之間隙退出。儘管以上實施例可減少對於晶圓與插入物之間的極小間隙之需要，但跨越晶圓中心之總橫流部分由流塑形板至晶圓的距離判定，且此參數通常保持基本上與上述相同。

圖2H展示電鍍槽之更完整的描繪(以橫截面展示)。如所示，電鍍槽包括部分由圓形壁214所界定的上部或陰極腔室215。槽之上部陰極電解液腔室及下部陽極腔室係藉由離子轉移膜240(例如，Nafion™)及倒圓錐形支撐結構238分離。數字248指示向上且通過流塑形板202之電解液的流動路徑線。陽極腔室包括銅陽極242及用於將電力遞送至

陽極的充電板243。其亦包括入口歧管247及用於以灌溉陽極之頂部表面的方式將電解液遞送至陽極表面的一系列凹槽246。陰極電解液流入口244穿過陽極242之中心及陽極腔室。此結構將陰極電解液沿如圖2H中之徑向/垂直箭頭所示之流線248遞送至上部腔室215。圖2I描繪電解液流過塑形板202中之孔並流入間隙232中(鄰近於晶圓之鍍敷表面)的流動流線248。

圖2E至圖2I中所示之槽特徵中的一些亦展示於圖1A、圖1B及下文所描述之圖3B中。該設備將包括用於以下各者之一或多個控制器：控制(尤其)杯狀物及錐形物中之晶圓的定位、晶圓相對於流塑形板之定位、晶圓之旋轉及電流至陽極及晶圓的遞送。

在下文以下述羅馬數字I至XII闡述流轉向器實施例之一些一般但非限制性的特徵。

I. 用於產生小間隙區域及幾乎閉合之晶圓至流塑形板「腔室」的結構。

II. 在更特定實施例中，幾乎閉合之晶圓至流塑形板腔室係藉由在晶圓固持器周邊與位於流塑形板上或作為流塑形板之部分的周邊邊緣元件(有槽間隔件)之間的大部分空間之間形成非常小的間隙(例如，約0.1毫米至0.5毫米)來產生。

III. 該設備在流塑形板上方以相對高之角速度(例如，至少約30 rpm)旋轉晶圓，藉此產生高程度的流體剪切作用。此流體剪切作用係由移動的晶圓與緊密接近晶圓之塑

形板之(固定)上表面之間的大的速度差所引起。

IV. 充當流體出口「通風孔」之槽區域。此通風孔係開口，或在一些情況下係出口間隙(例如，上文所描述之有槽間隔件中的間隙)。其在流塑形板與旋轉晶圓之間的「腔室」中產生開口。通風孔指引向上移動通過流塑形板之流體以使其方向改變90度，並使其以高速度平行於晶圓表面朝向通風孔位置呈一角度移動。此出口通風孔或間隙包含「腔室」之外圓周的角形部分(晶圓/杯狀物及/或流塑形板的外邊緣)，以在腔室中引入方位角不對稱。在一些情況下，通風孔或間隙所對著之角度為約20度至120度，或為約40度至90度。通過此間隙，進入槽腔室且隨後穿過塑形板中之孔的絕大部分流體最終退出槽(且被重新捕獲以供再循環至鍍槽)。

V. (流體)流塑形板通常具有低的孔隙率及小孔大小，此在操作流動速率下引入大的黏性反壓力。作為一實例，具有提供於其中之大量非常小的孔(例如，直徑為 6465×0.026 吋)的固體板已展示為有用的。該板之孔隙率通常小於約5%。

VII. 在使用直徑為約300毫米(且具有大量孔)之流塑形板的某些實施例中，使用約5公升/分鐘或更高的體積流量。在一些情況下，體積流量為至少約10公升/分鐘，且有時多達40公升/分鐘。

VIII. 在各種實施例中，跨越流塑形板之壓降的量值近似等於或大於出口間隙與處於「腔室」內與出口間隙相對

且在晶圓下方且因此充當流動歧管之位置之間的壓降。

IX. 流塑形板將實質上均勻之流直接遞送於晶圓處且基本上向上朝向晶圓。此避免了大部分流可能以其他方式自流塑形板進入腔室的情形，而是使該流優先藉由主要向外靠近且通過出口間隙之路徑投送(短路的)。

X. 與在晶圓之邊緣與塑形板之間具有大間隙(大於1毫米)且無流轉向器的情況不同，隨著流在晶圓下方之區域中積聚，阻力最小之路徑自徑向向外軌跡的路徑更改為現必須主要與晶圓平行且在出口間隙之方向上通過的路徑。因此，指引流體在平行於晶圓表面之側向方向上橫越，且特別需要注意的是，橫越及橫穿晶圓的中心(或晶圓旋轉軸線)。流體不再在自中心之所有方向上徑向向外被指引。

XI. 在中心及其他位置處橫向流之速度取決於多個設計及操作參數，包括各種間隙(流塑形板至晶圓之間隙、出口間隙、有槽間隔件至晶圓固持器周邊底部的間隙)之大小、總流量、晶圓旋轉速率。然而，在各種實施例中，跨越晶圓中心之流為至少約3公分/秒，或至少約5公分/秒。

XII. 可使用用以使晶圓及固持器傾斜以允許「成角度進入」的機構。該傾斜可朝向上部腔室中之間隙或通風孔。

其他實施例包括流轉向器，其包括進一步抑制流自偽腔室(通風孔或間隙除外)流出的垂直表面。垂直表面可如圖3A所描述，圖3A描繪流轉向器/流塑形板總成304，其包括

流塑形板202(如先前所描述)及流轉向器300。流轉向器300與如關於圖2A所描述之流轉向器200極其相似，因為其具有移除區段之大體環形形狀；然而，流轉向器300經塑形且組態以具有垂直元件。圖3A之底部部分展示流轉向器300的橫截面。並非如在流轉向器200中，晶圓固持器之最低表面下方為平坦的頂部表面，而是流轉向器300之頂部表面經塑形為具有自內圓周開始且徑向向外移動的向上傾斜之表面，該表面最終變為垂直表面，並在晶圓固持器之最低表面上方的頂部(在此實例中為平坦的)表面處終止。因此，在此實例中，壁結構之外部部分高於內部部分。在某些實施例中，外部部分之高度介於約5毫米與約20毫米之間，且內部部分的高度介於約1毫米與約5毫米之間。

在圖3A之實例中，流轉向器具有垂直內表面301。該表面無需完全垂直，如例如，傾斜之表面將為足夠的。此實施例中之重要特徵在於，流轉向器之頂部表面與晶圓固持器之底部表面之間的狹窄間隙，即圖2B中的距離C，經延伸以包括晶圓固持器表面之某一傾斜及/或垂直組件。理論上，此「狹窄間隙延伸」無需包括任何傾斜或垂直表面，但其可包括使流轉向器之上表面及晶圓固持器之下表面配準的區域擴張以便產生狹窄間隙，及/或使狹窄間隙進一步變窄以抑制流體自偽腔室溢出。然而，由於減小設備之總體佔據面積的重要性，時常更需要將狹窄間隙簡單地延伸至傾斜及/或垂直表面，以獲得減少通過狹窄間隙之流體損失的相同結果。

參看圖3B，其描繪用晶圓固持器101、垂直表面301、在此實例中連同晶圓固持器101之垂直部分配準所得到之總成304的部分橫截面，總成304延伸在流轉向器頂部表面與晶圓固持器之間的上文所提及之狹窄間隙(例如，在圖2B中指代「C」)。通常(但非必需)，如圖3B中所描繪，此等垂直及/或傾斜表面之間的距離(如302所指示)小於流轉向器之水平表面與晶圓固持器之間的距離C。在此圖中，描繪流塑形板202之不具有通孔的部分202a及具有通孔之部分202b。在一實施例中，流轉向器經組態以使得在電鍍期間壁結構之內表面與基板固持器之外表面的距離介於約0.1毫米與約2毫米之間。在此實例中，間隙302表示此距離。間隙之此進一步變窄在偽腔室中產生更大的流體壓力，並增加跨越晶圓鍍敷表面且離開通風孔之剪切流(其中流轉向器300之分段部分與晶圓固持器101相對)。圖3C為展示隨所述垂直間隙變化而變的在300毫米晶圓上之鍍銅之均勻性的曲線圖。如所指示，在各種間隙距離下，可達成非常均勻之鍍敷。

圖3D描繪具有垂直元件之流轉向器之橫截面的多種變化305至330。如所描繪，垂直表面無需精確地垂直於鍍敷表面，且無需存在流轉向器之頂部表面的傾斜部分(例如參見橫截面315)。如橫截面320中所描繪，流轉向器之內表面可完全為彎曲表面。橫截面310展示，可僅存在延伸間隙之傾斜表面。一般熟習此項技術者應瞭解，流轉向器之形狀可取決於與其配準以便產生間隙延伸的晶圓固持器。

在一實施例中，偏離水平面(與例如流塑形板之頂部表面相比)之表面具有偏離水平面介於約30度至約90度(垂直於水平面)之間的至少一部分。

如關於圖3A至圖3D所描述之流轉向器有助於在晶圓鍍敷表面與流塑形板之間產生更均勻的橫向流。圖3E展示在使用如關於圖2A至圖2I所描述之流轉向器時所產生的橫向流圖案之俯視衝浪影像霾圖(Surf Image Haze Map)(圖3E之左側部分)與在使用如關於圖3A至圖3D所描述之流轉向器時所產生的霾圖(圖3E的右側部分)的比較。此等霾圖為在不施加鍍敷電流之情況下使鍍敷溶液流動至具有晶種層之晶圓上/跨越該晶圓流動的結果。當用基於雷射之粒子/缺陷偵測器分析時，鍍敷溶液中之硫酸蝕刻接種晶圓表面，並由此產生反映流圖案的圖案。在每一測試中，使用流塑形板(諸如，202)，其中跨越流轉向器內圓周(且其中自轉向器所移除之區段將如其未被移除般駐留)內部之板的整個區域，孔圖案為規則且均勻的正方形孔圖案。圖3E之上部中間的圖式指示流轉向器之定向及流方向為自左上側流向右下側且流出間隙。霾圖之較深部分指示垂直撞擊流，而較淺之區域指示橫向流。如在左手邊之圖中所見，存在深色區域之許多分支，從而指示跨越晶圓之垂直流的匯合。亦即，可能歸因於流塑形板表面上之通孔的規則散佈，存在用於流體之長距離通路，其中流之橫向分量小於流的撞擊分量。此等長距離通路可能不利地影響跨越晶圓鍍敷表面之鍍敷均勻性，且需要使長距離通路減至最少。

如圖3E之右側的霾圖所指示，當使用如關於圖3A至圖3D所描述之流轉向器(具有間隙延伸元件)(例如，垂直內表面)時，存在跨越晶圓之增加量且更均勻的橫向流。

流塑形板上之不均勻孔散佈

在某些實施例中，流塑形板具有不均勻通孔散佈，以便單獨或與流轉向器組合而在鍍敷期間跨越晶圓表面產生增加及/或更非常均勻的橫向流。

在一些實施例中，不均勻孔散佈為螺旋形圖案。圖4A展示一此流塑形板400之俯視圖。請注意，通孔之螺旋形圖案的中心距孔之圓形區域之中心的偏移量為距離D。圖4B展示類似之流塑形板405，其中偏移量更大，為距離E。圖4C描繪另一類似之流塑形板410(分別為俯視圖及透視圖)，其中孔之螺旋形圖案的中心不包括在由孔所佔據之圓形區域中，而是偏移量使得孔之螺旋形圖案的中心不包括在包括通孔的圓形區域中。使用此等偏移螺旋形圖案在鍍敷期間跨越晶圓表面提供改良之橫向流。此等流塑形板更詳細地描述於如上文以引用的方式併入的美國臨時專利申請案第61/405,608號中。

圖5A描繪展示由使用如關於圖3A所描述之流轉向器所產生的流動型樣與如關於圖4C所描述之流塑形板(無晶圓旋轉)結合使用的霾圖。該霾圖指示，歸因於不均勻通孔圖案(在此實例中為螺旋形圖案)，存在幾乎完全的橫向流，其中若存在流之撞擊組份占主導地位的流體流之任何長範圍通路，則橫向流最小。圖5B展示在使用如關於圖

5A所描述之流轉向器/流塑形板組合時在轉向器與晶圓固持器之間的指定間隙(3毫米)下的鍍敷均勻性結果。300毫米晶圓上之鍍敷均勻性相當高。

不均勻通孔圖案可包括除螺旋形式以外的形式。且在某些實施例中，流轉向器不與具有孔不均勻性之流塑形板組合使用。舉例而言，圖6描繪總成600，其說明解決中心緩慢鍍敷問題的一組態。鍍敷設備600具有鍍敷槽155，鍍敷槽155具有陽極160及電解液入口165。在此實例中，流塑形板605跨越晶圓產生不均勻撞擊流。特定言之，如所示，歸因於孔在流塑形板中之不均勻散佈(例如，孔大小及密度之徑向散佈的變化)，晶圓之中心處的流比外部區域中的流大。如由重點線箭頭所指示，在此實例中，在晶圓之中心附近產生更大流以補償不足的質量轉移及在晶圓之中心處所見的所得較低之鍍敷速率(例如，參看圖1D)。

儘管不希望受理論約束，但咸信，在如上文所描述之習知鍍敷體系中存在不足的流體剪切及因此跨越晶圓之表面的不均勻質量轉移。藉由相對於晶圓之其他區域增加晶圓之中心處的流動速率(如由陰極腔室之中心附近對外部區域的較高密度之虛線箭頭所描繪)，可避免更接近晶圓之中心的較低之鍍敷速率。可藉由(例如)增加(例如)流塑形板中之孔數目及/或相對於晶圓之定向角度以便增加撞擊流噴射的次數及中央區域中之所得剪切之量來達成此結果。

一般而言，在流塑形板之中心附近，孔密度、大小及/

或散佈(例如，均勻或隨機的)改變。在一些實施例中，在中心附近，孔密度增加。或者或另外，假設孔在中心附近以其圖案在一定程度上隨機散佈，在流塑形時該孔散佈可在別處以規則或週期性配置提供。在一些實施例中，可提供部分覆蓋物以覆蓋流塑形板之某些區域中的一些孔。在某些實施例中，此等覆蓋物包括離子傳導性流動抑制部件。此將允許終端使用者定製孔密度及/或散佈以滿足特定電鍍需要。

流埠橫向流增強

在一些實施例中，電解液流埠經組態以單獨或與如本文所描述之流塑形板及流轉向器組合而輔助橫向流。下文關於與流塑形板及流轉向器之組合來描述各種實施例，但本發明並非如此受限。請注意，如關於圖2C所描述，在某些實施例中，咸信，跨越晶圓表面之電解液流向量的量值在接近通風孔或間隙處較大且跨越晶圓表面逐漸變小，在距通風孔或間隙最遠之偽腔室內部最小。如圖7A中所描繪，藉由使用適當組態之電解液流埠，此等橫向流向量之量值跨越晶圓表面更均勻。

圖7B描繪鍍敷槽700之簡化橫截面，鍍敷槽700具有晶圓固持器101，晶圓固持器101部分浸入於鍍敷槽155中的電解液175中。鍍敷槽700包括流塑形板705，諸如本文所描述之彼等流塑形板。陽極160駐留於板705下方。板705之頂部為流轉向器315，諸如關於圖3A及圖3D所描述。在此圖中，流轉向器中之通風孔或間隙係在圖式的右側上，且

由此如最大之點線箭頭所指示而賦予自左至右的橫向流。一系列較小之垂直箭頭指示通過板705中之垂直定向通孔的流。在板705下方亦有一系列電解液入口流埠710，該等埠710將電解液引入至板705下方的腔室中。在此圖中，不存在分離陽極電解液腔室與陰極電解液腔室之膜，但此亦可包括在此等鍍敷槽中而不脫離本描述的範疇。

在此實例中，流埠710圍繞槽155之內壁徑向散佈。在某些實施例中，為了增強跨越晶圓鍍敷表面之橫向流，此等流埠中之一或多者被阻塞，例如，接近晶圓、板705與流轉向器315之間所形成之偽腔室中之通風孔或間隙的右手側上之流埠(如所繪製)。以此方式，儘管准許撞擊流通過板705中之所有通孔，但在偽腔室中之間隙或通風孔遠端的左側處的壓力較高，且由此跨越晶圓表面之橫向流(在此實例中展示為自左至右流動)得以增強。在某些實施例中，經阻塞之流埠圍繞與流轉向器之分段部分之方位角至少相等的方位角定位。在一特定實施例中，流塑形板下方之電解液腔室之圓周的90°方位角區上的電解液流埠被阻塞。在一實施例中，此90°方位角區與流轉向器環面的開放區段配準。

在其他實施例中，(多個)電解液入口流埠經組態以促使在通風孔或間隙遠端之流轉向器部分下方之區域(在圖7B中由Y指示)中的壓力較高。在一些例子中，簡單地用實體方式阻塞(例如，經由一或多個截流閥)所選擇的入口埠比設計具有特定組態之電解液入口埠的槽更便利且靈活。此

情況係成立的，因為流塑形板及相關聯流轉向器之組態可隨不同的所要鍍敷結果而改變且由此能夠更靈活地使單一鍍敷槽上之電解液入口組態變化。

在其他實施例中，在阻塞或不阻塞一或多個電解液入口埠之情況下，擋板、隔板或其他實體結構經組態以促使在通風孔或間隙之遠端的流轉向器部分下方之區域中的壓力較高。舉例而言，參看圖7C，隔板720經組態以促使在通風孔或間隙之遠端的流轉向器部分下方之區域(在圖7C中由Y指示)中的壓力較高。圖7D為無晶圓固持器101、流轉向器315或流塑形板705之鍍敷槽155的俯視圖，其展示隔板720促進源自埠720之電解液流匯合在區域Y處且由此增加該區域(上文)中的壓力。一般熟習此項技術者應瞭解，實體結構可以多種不同方式定向，例如，具有水平、垂直、傾斜或其他元件以便引導電解液流以產生如所描述之較高壓力區域且由此在剪切流向量實質上均勻的偽腔室中促進跨越晶圓表面的橫向流。

一些實施例包括與流塑形板與流轉向器總成結合的電解液入口流埠，其經組態以用於橫向流增強。圖7E描繪鍍敷設備725之組件的橫截面，其用於將銅鍍敷至晶圓145上，該晶圓145係由晶圓固持器101固持、定位並旋轉。設備725包括鍍敷槽155，鍍敷槽155為雙腔室槽，具有具銅陽極160及陽極電解液的陽極腔室。陽極腔室與陰極腔室係由陽離子膜740分離，陽離子膜740係由支撐部件735支撐。鍍敷設備725包括如本文所描述之流塑形板410。流轉

向器325處於流塑形板410之頂部，且輔助產生如本文所描述的橫向剪切流。經由流埠710將陰極電解液引入至陰極腔室(在膜740上方)中。自流埠710，陰極電解液穿過如本文所描述之流板410且在晶圓145的鍍敷表面上產生撞擊流。除了陰極電解液流埠710之外，額外流埠710a在其處於在流轉向器325之通風孔或間隙之遠端的位置處的出口處引入陰極電解液。在此實例中，流埠710a之出口形成為流塑形板410中的通道。功能性結果在於將陰極電解液直接引入至流板與晶圓鍍敷表面之間所形成之偽腔室中，以便增強跨越晶圓表面的橫向流且藉此正規化跨越晶圓(及流板410)的流向量。

圖7F描繪與圖2C中之流動圖類似的流動圖，然而，在此圖中，描繪流埠710a(自圖7E)。如圖7F中所見，流埠710a之出口橫跨流轉向器325之內圓周的90度。一般熟習此項技術者應瞭解，埠710a之尺寸、組態及位置可在不脫離本發明之範疇的情況下變化。熟習此項技術者亦應瞭解，等效組態應包括在流轉向器325中具有自埠或通道之陰極電解液出口及/或與(諸如)圖7E中所描繪的通道(在流板410中)組合。其他實施例包括在流轉向器之(下部)側壁(亦即，最接近流塑形板頂面之側壁)中的一或多個埠，其中該一或多個埠位於流轉向器之與通風孔或間隙相對的一部分中。圖7G描繪與流塑形板410組裝之流轉向器750，其中流轉向器750具有陰極電解液流埠710b，陰極電解液流埠710b與流轉向器之間隙相對而自流轉向器供應電解液。諸

如 710a 及 710b 之流埠可以相對於晶圓鍍敷表面或流塑形板頂面的任何角度供應電解液。該一或多個流埠可遞送撞擊流至晶圓表面及/或橫向(剪切)流。

在一實施例中，(例如)如關於圖 7E 至圖 7G 所描述，如本文所描述之流塑形板與(諸如)關於圖 3A 至圖 3D 所描述的流轉向器結合使用，其中經組態以用於增強型橫向流(如本文所描述)之流埠亦供流板/流轉向器總成使用。在一實施例中，流塑形板具有不均勻之孔散佈，在一實施例中，流塑形板具有螺旋形孔圖案。

流塑形板中之成角度孔

增加橫向流且藉此在高速率鍍敷體系中達成更均勻之鍍敷的另一方式在於，在流塑形板中使用成角度孔定向。亦即，流塑形板具有非連通之通孔(如上文所描述)且其中孔維度相對於該孔延伸通過之頂部及底部平行表面成角度。此說明於圖 8A 中，其描繪總成 800。流塑形板 805 中之通孔成角度且由此撞擊晶圓 145 之表面的電解液流以非法向角度衝擊且由此賦予旋轉晶圓之中心處的剪切。關於具有此成角度定向之流塑形板的其他細節提供於 2010 年 7 月 2 日申請之美國臨時專利申請案第 61/361,333 號中，該案以引用的方式併入本文中。

圖 8B 為展示在使用具有 6000 或 9000 個成角度通孔之流塑形板，最佳化流動速率且各自具有 90 rpm 晶圓旋轉時關於用銅鍍敷之 300 毫米晶圓上之徑向位置的鍍敷厚度變化的曲線圖。如自資料所見，當使用具有 6000 個孔之流板時在

24 lpm下，鍍數不如以下情況均勻：(例如)當板具有9000個孔且通過板之流動速率為6 lpm時。因此，當使用具有成角度通孔之流塑形板時，可最佳化孔數目、流動速率等以獲得足夠剪切流從而獲得跨越晶圓表面的均勻鍍數。圖8C為展示在使用具有成角度通孔之流塑形板用銅鍍數時沈積速率對200毫米晶圓上之徑向位置的曲線圖。在6 lpm下，均勻性大於12 lpm下之均勻性。此證明，藉由使用具有成角度通孔之流塑形板，可調整跨越晶圓之質量轉移以補償晶圓中心處的低鍍數速率。成角度通孔流塑形板在廣泛範圍之邊界層條件下產生顯著均勻的鍍數條件。

槳式剪切槽實施例

圖9A描繪另一實施例，其中使用旋轉槳900來增加對流且在旋轉晶圓正下方之晶圓表面處的電解液流中產生剪切，由此在高速率鍍數條件下提供改良的質量轉移。在此實施例中，提供槳輪900作為具有交織槳的軸(參見圖9B)。在此實施例中，槳輪900安裝在基座905上，基座905整合至鍍數腔室中，其中在鍍數期間槳輪與晶圓145之鍍數表面緊密接近。此產生增加之對流，且在一些情況下，在晶圓表面處存在大的剪切與湍流兩者，且由此在高速率鍍數體系中存在足夠的質量轉移。基座905具有多個孔910，以允許電解液流過。在基座905之右下方為用於驅動具有槳輪900之軸的驅動機構。槳總成包括作為總成安裝在基座上之反向旋轉葉輪。具有槳總成之基座係在(例如)晶圓與用以定界陰極腔室與陽極腔室之陽離子膜之間裝配

的模組單元(modular unit)。因此，漿總成在陰極電解液中緊密接近晶圓鍍敷表面而定位，以在晶圓表面處在電解液中產生剪切流。

基板相對於流塑形板之軌道或平移運動

圖10描繪使用軌道運動來影響晶圓表面之中心軸線處的改良之剪切流的實施例。在此實施例中，使用鍍敷腔室，其中該鍍敷腔室具有足夠之直徑以在總成101在電解液中沿軌道運行時容納晶圓固持器101。亦即，在鍍敷期間固持晶圓之總成101不僅沿Z軸線(如所描繪)順時針及逆時針旋轉，而且沿X軸線及/或Y軸線具有平移運動。以此方式，晶圓之中心相對於晶圓表面之其餘部分不經歷流板之上的較小剪切區域或湍流。在一實施例中，電鍍設備之用於施加剪切力的機構包括用於在將基板鍍敷面之旋轉軸線移動至關於流塑形元件之新位置的方向上移動流塑形元件及/或基板的機構。

如熟習此項技術者將瞭解，可以眾多方式實施軌道運動。化學機械拋光設備提供良好之類似物，且用於CMP之許多軌道系統可在良好效應下用於本發明中。

作為流塑形板之部分的離軸線旋轉元件

在一實施例中，電鍍設備之用於施加剪切力的機構包括用於使基板及/或流塑形元件旋轉的機構，該用於旋轉之機構經組態以相對於流塑形元件反轉基板的旋轉方向。然而，在某些實施例中，電鍍設備之用於施加剪切力的機構包括用於旋轉位於流塑形元件與基板之鍍敷面之間的離軸

線剪切板以跨越基板鍍數面之旋轉軸線產生電解液流的機構。圖 11A 描繪總成 1100 包括(例如)流塑形板 1105 與嵌入於流塑形板 1105 中或附接至流塑形板 1105 的可旋轉圓盤 1110 的實施例。圓盤 1110 可依據中心軸線自由旋轉，且在此實施例中由在流板與在流板 1105 及可旋轉圓盤 1110 上方旋轉數毫米的晶圓(未圖示)之間間隙中所產生的成角度旋轉並移動之流體驅動。在一些實施例中，可旋轉圓盤簡單地藉由耦合至間隙中及可旋轉圓盤平坦表面之上之流體剪切而移動(旋轉)。在其他實施例中，存在一組電解液流耦合鰭片，其在此實施例中位於圓盤 1110 中之凹陷 1115 中(但亦可在流板的板上方)且輔助誘發旋轉運動。因此，在此實施例中，除了來自板上方之晶圓及圓盤自身之旋轉以外，不需要對圓盤之旋轉供電的外部機構。此實施例可與流轉向器之實施例組合，以在晶圓中心與其他位置兩者處產生較大流剪切條件，以及使單獨藉由(例如)晶圓旋轉所引起之任何上游-下游流誘發的鍍數不均勻性降至最小。

在所描繪之實施例中，圓盤 1110 經組態，以使得其面積之至少一部分處於晶圓 145 的中央區域下方。因為圓盤 1110 在鍍數期間旋轉，所以在晶圓之中心附近的區域中產生側向流且由此在高速率鍍數體系中達成均勻鍍數的改良之質量轉移。儘管在無可旋轉圓盤 1110 的情況下，藉由流板 1105 上方之旋轉晶圓的運動，通常在晶圓表面(除晶圓中心以外)處產生剪切，但在使用圓盤之實施例中，藉由可旋轉圓盤或類似元件相對於實質上局部非移動性晶圓的

相對運動在晶圓中心處產生流體之剪切。在關於可旋轉圓盤1110之此實例中，流板與可旋轉圓盤兩者中的通孔與晶圓之鍍敷表面垂直(或實質上垂直)且具有相同的大小及密度，但此並非限制性的。在某些實施例中，在旋轉圓盤之區域中，板中及旋轉圓盤中之個別流孔的總和在長度上等於板中於旋轉圓盤所駐留之區域外部的孔總和。此構造確保在流板/旋轉圓盤部件之此等兩個區域中對電流的離子電阻實質上相等。在可旋轉圓盤之底部表面與流板之間通常存在小的垂直間隔或間隙，以容納小支架之存在及/或確保旋轉圓盤自由移動且不在流板表面上摩擦。此外，在一些實施例中，最接近晶圓之此等兩個元件的頂部表面經配置以實質上在距晶圓相同的總體高度或距離處。為滿足此等兩個條件，在於流板之下表面下方突出的流塑形板中可能存在額外材料區。

在另一實施例中，使用諸如關於圖4所描述之成角度通孔的成角度通孔，其單獨存在或與法向定向的通孔組合。

在一實施例中，圓盤1110係以(例如)與關於圖9A至圖9B所描述之槳類似的方式以機械方式驅動。該圓盤亦可藉由對圓盤內或圓盤上所含有之磁體施加隨時間變化的磁場或電場來驅動，或可經由旋轉晶圓固持器及旋轉圓盤中所含有之內部元件以磁性方式耦合。在後者情況下，作為一特定實例，晶圓之周邊中固持並旋轉蛤殼的一組相等間隔之磁體與旋轉圓盤1110中所嵌入之一組相應磁體產生耦合。隨著晶圓固持器中之磁體圍繞晶圓及槽之中心運動/旋

轉，其驅動圓盤在與晶圓/固持器相同之方向上移動。個別磁體最終移動進一步遠離圓盤中之個別磁體，因此其經最強耦合，但圓盤與晶圓固持器中的另一磁性對彼此接近，因為其皆與晶圓固持器/圓盤旋轉一起旋轉。又，旋轉圓盤之運動可藉由將其運動耦合至進入槽之流體流來達成，藉此消除對於腐蝕性電解液中的單獨馬達或電組件或額外移動零件的需要。圖11B為總成1100之橫截面。

已預想產生中央剪切之其他類似設備及驅動機構且將其視為在本發明的範疇內，因為其易於採用對本文所呈現之原理的微小修改。作為另一實例，不使用旋轉圓盤，而是可使用又由移動晶圓之誘發流、由通過流板孔之流體流或由其他耦合外部構件驅動而且經配置來以晶圓及槽之旋轉軸線的往復偏心旋轉的旋轉葉輪或移動螺旋槳。

E. 用於處理中央鍍敷不均勻性之鍍敷方法

圖12描繪根據本文所描述之電鍍方法的製程流程1200。將晶圓定位於晶圓固持器中，參見1205。晶圓及固持器視情況傾斜以成角度地浸在鍍敷槽電解液中，參見1210。接著使晶圓浸在電解液中，參見1215。接著在剪切流體動力條件下且在電解液之微射流撞擊晶圓鍍敷表面的情況下開始電鍍，參見1220。接著方法完成。

如上文所描述，在一實施例中，使用本文中已描述之流轉向器且晶圓及固持器傾斜以使得晶圓及固持器之前邊緣(傾斜總成的下側)與流轉向器中之間隙(例如，具有有槽環形結構，該槽形成通風孔或間隙的一部分)配準。以此方

式，在本文所描述之所要間隙距離下，晶圓固持器、晶圓在浸漬期間可儘可能接近最終所要間隙距離且由此無需以距流轉向器較大的距離浸漬且接著更緊密定位。

圖13展示使用本文所描述之方法及設備鍍敷的結果，其中在鍍敷期間使用橫向剪切流來進行有效質量轉移。兩條曲線展示在存在及不存在如本文所描述之剪切流之情況下的結果。在晶圓之中心處不存在剪切流的情況下，異常或失常及缺乏足夠剪切流產生如關於圖1所描述的概況。但在存在如本文所描述之剪切流的情況下，在使用如(例如)關於圖2A所描述之有槽間隔件型流轉向器的此實例中，鍍敷沈積速率跨越晶圓之鍍敷表面實質上均勻。

一實施例係一種在包括具有至少約2微米之寬度及/或深度之特徵的基板上電鍍的方法，該方法包括：(a)將該基板提供至鍍敷腔室，該鍍敷腔室經組態以含有電解液及陽極，同時將金屬電鍍至該基板上，其中該鍍敷腔室包括：(i)基板固持器，其固持該基板以使得在電鍍期間該基板之鍍敷面與該陽極分離，及(ii)流塑形元件，其經塑形且組態以在電鍍期間定位於該基板與該陽極之間，該流塑形元件具有在電鍍期間實質上平行於該基板之該鍍敷面且與該鍍敷面分離約10毫米或更小之間隙的平坦表面，其中該流塑形元件具有複數個孔；(b)在使該基板及/或該流塑形元件旋轉之同時且在於該基板鍍敷面之方向上且在產生退出該流塑形元件的孔之至少約10公分/秒之平均流速的條件下使電解液在電鍍槽中流動的同時，將金屬電鍍至該基板鍍

敷表面上。在一實施例中，電解液以約3公分/秒或更大之速率在基板之中心點處流動跨越基板的鍍敷面，且將剪切力施加至在該基板之該鍍敷面處流動的電解液。在一實施例中，以至少約5微米/分鐘之速率在特徵中電鍍金屬。在一實施例中，當鍍敷至至少1微米之厚度時，電鍍於基板之鍍敷表面上的金屬之厚度具有約10%或更好的均勻性。在一實施例中，施加剪切力包括在使得基板鍍敷面之旋轉軸線移動至相對於流塑形元件之新位置的方向上移動流塑形元件及/或基板。在一實施例中，施加剪切力包括使位於流塑形元件與基板之鍍敷面之間的離軸線剪切板旋轉，以產生跨越基板鍍敷面之旋轉軸線的電解液流。在另一實施例中，施加剪切力包括使得電解液朝向圍繞流塑形元件之周邊所提供之環結構中的間隙側向流動跨越基板的面。在一實施例中，基板相對於流塑形元件之旋轉方向在鍍敷期間交替。

在一實施例中，流塑形元件中之孔不在主體內形成連通通道，且其中實質上所有孔使得該元件之面對該基板之表面的表面上之開口的主要尺寸或直徑不大於約5毫米。在一實施例中，該流塑形元件係具有約6,000至12,000個孔的圓盤。在一實施例中，該流塑形元件具有不均勻密度之孔，其中較大密度的孔存在於該流塑形元件之面對基板鍍敷面之旋轉軸線的區域中。

本文所描述之方法可用於電鍍鑲嵌特徵、TSV特徵及晶圓級封裝(WLP)特徵，諸如再分配層、用於連接至外部導

線之凸塊及凸塊下金屬化特徵。下文包括關於本文所描述之實施例的WLP鍍敷之進一步論述。

F. WLP鍍敷

本文所描述之實施例可用於WLP應用。在WLP體系中待沈積之材料量相對大的情況下，鍍敷速度在WLP及TSV應用與鑲嵌應用之間不同，且由此鍍敷離子至鍍敷表面的有效質量轉移係重要的。此外，WLP特徵之電化學沈積可涉及鍍敷各種金屬組合，諸如如上文所描述之鉛、錫、銀、鎳、金及銅的組合或合金。用於WLP應用之相關設備及方法描述於2010年12月1日申請的美國臨時申請案第61/418,781號中，該案之全部內容以引用的方式併入本文中。

可在積體電路製造及封裝製程中在各個點處使用電化學沈積程序。在IC晶片級下，藉由在導通孔及溝槽內電沈積銅以形成多個互連金屬化層來產生鑲嵌特徵。如所指示，為此目的之電沈積製程廣泛部署於當前的整合製造程序中。

在該多個互連金屬化層上方，開始晶片之「封裝」。可使用各種WLP方案及結構，且此處描述其中幾種。在一些設計中，第一種係再分配層(亦稱為「RDL」)，其將上部層級觸點自結合墊再分配至各種凸塊下金屬化或焊料凸塊或球位置。在一些情況下，RDL線有助於使常規晶粒觸點匹配於標準封裝之引出線陣列。此等陣列可與一或多個所定義之標準格式相關聯。RDL亦可用以平衡跨越封裝中之

不同線的信號遞送時間，該等線可具有不同的電阻/電容/電感(RCL)延遲。注意，RDL可直接提供在鑲嵌金屬化層之頂部或提供在形成於頂部金屬化層之上的鈍化層上。可使用本發明之各種實施例來電鍍RDL特徵。

在RDL上方，封裝可使用「凸塊下金屬化」(或UBM)結構或特徵。UBM係形成用於焊料凸塊之基座的金屬層特徵。UBM可包括以下各者中之一或多者：黏合層、擴散障壁層及氧化障壁層。鋁頻繁地用作黏合層，因為其提供良好的玻璃-金屬結合。在一些情況下，層間擴散障壁係提供於RDL與UBM之間以阻擋(例如)銅擴散。舉例而言，可根據本文所揭示之原理電鍍的一層間材料為鎳。

凸塊用於將外部導線焊接或以其他方式附接至封裝。凸塊在覆晶設計中用以產生比導線結合技術中所使用之晶片總成小的晶片總成。凸塊可能需要下伏之層間材料來防止(例如)來自凸塊之錫擴散到達下伏墊中的銅。可根據本發明之原理來鍍數層間材料。

另外且最近，可根據本文之方法及設備來電鍍銅柱，以產生覆晶結構及/或形成另一晶片或裝置之UBM及/或凸塊之間的接觸。在一些情況下，使用銅柱來減少焊料材料之量(諸如，減少晶片中之鉛焊料總量)，且實現在使用焊料凸塊時可達成的更嚴密之間距控制。

另外，在具有或不具有首先形成之銅柱的情況下，可電鍍凸塊自身的各種金屬。凸塊可由高熔點鉛-錫組合物(包括較低熔點之鉛-錫共晶物)形成，及由諸如錫-銀合金之不

含鉛的組合物形成。凸塊下金屬化之組件可包括金或鎳-金合金、鎳及鈮的薄膜。

因此，應顯而易見，可使用本文所描述之發明來鍍敷的WLP特徵或層在幾何形狀及材料方面皆為異質群組。下文列出可根據本文所描述之方法及設備來電鍍以形成WLP特徵的材料之一些實例。

1. 銅：如所解釋，可使用銅來形成柱，其可在焊料接合點下使用。銅亦用作RDL材料。

2. 錫焊料材料：鉛-錫—此元素組合之各種組合物當前包括IC應用中約90%的市場焊接。共晶材料通常包括約60%之原子鉛及約40%的原子錫。其相對容易鍍敷，因為該兩個元素之沈積電位 E_{0s} 幾乎相同(相差約10 mV)。錫-銀—通常此材料含有少於約3%之原子銀。挑戰係一起鍍敷錫及銀且維持恰當濃度。錫及銀具有極不同的 E_{0s} (相差幾乎1 V)，其中銀更貴重且優先於錫而鍍敷。因此，甚至在具有非常低之銀濃度的溶液中，銀仍優先鍍敷且可自溶液快速耗盡。此挑戰表明鍍敷100%錫將為合乎需要的。然而，元素錫具有六邊形密集晶格，此導致在不同之結晶方向上形成具有不同CTE的晶粒。此可在正常使用期間引起機械故障。錫亦已知為形成「錫鬚」，此係已知為能夠在鄰近特徵之間產生短接的現象。

3. 鎳：如所提及，此元素在UBM應用中主要用作銅擴散障壁。

4. 金

在一實施例中，上文所提及之電鍍特徵係晶圓級封裝特徵。在一實施例中，晶圓級封裝特徵為再分配層、用於連接至外部導線之凸塊，或凸塊下金屬化特徵。在一實施例中，電鍍金屬係選自由以下各者組成的群組：銅、錫、錫-鉛組合物、錫-銀組合物、鎳、錫-銅組合物、錫-銀-銅組合物、金，及其合金。

儘管已出於清楚理解之目的在一定程度上詳細描述了前述發明，但將顯而易見，可在所附申請專利範圍之範疇內實踐某些改變及修改。因此，本發明實施例應視為說明性而非限制性的，且本發明不限於本文所提供之細節，而是可在申請專利範圍之範疇及等效物內進行修改。

【圖式簡單說明】

圖1A為用於電鍍至晶圓上之半導體晶圓固持器及定位機構的透視圖；

圖1B為關於圖1A所描述之晶圓固持器的橫截面；

圖1C為展示具有用於電解液流之多個通孔的流塑形板之態樣的晶圓鍍敷設備的橫截面；

圖1D為展示在於高沈積速率鍍敷體系下使用如關於圖1C所描述的流塑形板時與外部區域相比晶圓中心附近減小之沈積速率的曲線圖；

圖2A為例示性流轉向器與流塑形板總成的透視圖；

圖2B為如關於圖2A所描述之流轉向器相對於晶圓固持器的橫截面；

圖2C至圖2D為在使用如關於圖2A所描述之流轉向器時

流塑形板頂部之流動力學的俯視圖；

圖2E至圖2I描繪如關於圖2A所描述之總成連同晶圓固持器及電解液腔室硬體的各種態樣；

圖3A展示流轉向器/流塑形板總成之俯視圖及橫截面，其中流轉向器具有垂直表面元件以用於在鍍敷期間輔助跨越晶圓的橫向流體流；

圖3B為展示如關於圖3A所描述之流轉向器與晶圓固持器總成之間的關係的橫截面；

圖3C為展示使用如關於圖3A及圖3B所描述之流轉向器/流塑形板總成所獲得之鍍敷均勻性結果的曲線圖；

圖3D展示具有垂直表面元件之多個流轉向器的橫截面；

圖3E展示自使用如本文所描述之具有流塑形板的流轉向器所得到的流圖案，該流塑形板具有正方形圖案通孔置放；

圖4A至圖4B展示具有螺旋形通孔圖案之流塑形板的俯視圖，其中該螺旋形圖案之原點係在流塑形板上的不同位置；

圖4C展示具有螺旋形通孔圖案之流塑形板的俯視圖及透視圖，其中該螺旋形圖案自流塑形板面的中心偏移以使得該螺旋形圖案的原點不包括在通孔圖案中；

圖5A展示自在鍍敷期間結合如關於圖4C所描述之流塑形板使用如關於圖3A所描述的流轉向器所得到的流圖案；

圖5B展示在使用如關於圖5A所描述之流轉向器/流塑形板組合時的鍍敷均勻性結果；

圖 6 為具有可變流通過性質以便補償如在使用習知流塑形板通孔時所觀測到的晶圓中心附近之較低鍍敷速率的流塑形板的橫截面；

圖 7A 為在使用流埠橫向流增強時流塑形板的頂部之流動力學的俯視圖；

圖 7B 至圖 7G 描繪用於增強跨越工件鍍敷表面之橫向流的各種設備；

圖 8A 為具有成角度通孔以便補償如在使用習知流塑形板通孔時所觀測到的晶圓中心附近之較低鍍敷速率的流塑形板的橫截面；

圖 8B 至圖 8C 為在使用成角度流塑形板時所獲得之鍍敷均勻性的曲線圖；

圖 9A 至圖 9B 分別為用於在電鍍期間產生跨越晶圓表面之橫向湍流之槳輪型總成的橫截面及透視圖；

圖 10 為展示用於晶圓固持器之軌道運動的方向向量及旋轉之該晶圓固持器的透視圖；

圖 11A 至圖 11B 為具有嵌入式旋轉元件以用於在鍍敷期間在晶圓中心處產生橫向流之流塑形板的透視圖及透視橫截面；

圖 12 為概述本文所描述之方法之態樣的流程圖；及

圖 13 為展示在於鍍敷期間使用橫向流時所獲得之鍍敷均勻性的曲線圖。

【主要元件符號說明】

100 晶圓固持及定位設備/總成

- 101 總成/部分/設備/晶圓固持器
- 102 杯狀物
- 103 錐形物
- 104 支柱
- 105 頂板
- 106 軸
- 107 馬達
- 108 螺桿
- 109 安裝托架
- 111 晶圓固持器
- 113 驅動汽缸
- 115 第一板
- 117 第二板
- 119 樞軸接頭
- 121 樞軸接頭
- 142 正面/晶圓鍍敷表面
- 143 可壓縮之唇形密封件
- 145 晶圓
- 149 密封
- 150 鍍敷設備
- 155 鍍敷槽/鍍敷槽
- 160 陽極
- 165 電解液入口
- 170 流塑形元件

175	電解液
200	有槽間隔件
201	斷開切口或槽/開口
202	流塑形板
202a	部分
202b	部分
204	轉向器總成
205	外殼
206	總成/頂板
207	斷開切口
208	支柱
210	錐形物
212	杯狀物
214	圓形壁
215	上部或陰極腔室
216	槽主體
220	固定部件
222	杯狀物主體或結構
224	電觸點
226	匯流排板
228	杯狀物底部
230	密封O形環
232	間隙
234	間隙

238	倒圓錐形支撐結構
240	離子轉移膜
242	銅陽極
243	充電板
244	陰極電解液流入口
246	凹槽
247	入口歧管
248	流動路徑線/流線
300	流轉向器
301	垂直內表面
302	間隙
304	流轉向器/流塑形板總成
305	橫截面
310	橫截面
315	橫截面
320	橫截面
325	橫截面
330	橫截面
400	流塑形板
405	流塑形板
410	流塑形板
600	總成/鍍敷設備
605	流塑形板
700	鍍敷槽

705	流塑形板
710	電解液入口流埠
710a	流埠
710b	陰極電解液流埠
720	隔板
725	鍍敷設備
735	支撐部件
740	陽離子膜
750	流轉向器
800	總成
805	流塑形板
900	旋轉槳/槳輪
905	基座
910	孔
1100	總成
1105	流塑形板
1110	可旋轉圓盤
1115	凹陷

七、申請專利範圍：

104年7月7日修正頁(本)
對線

1. 一種電鍍設備，其包含：

(a) 一鍍敷腔室(plating chamber)，其經組態以含有一電解液(electrolyte)及一陽極，以將金屬電鍍至一實質上平面的基板上；

(b) 一基板固持器，其經組態以固持該實質上平面的基板，以使得在電鍍期間將該基板之一鍍敷面與該陽極分離；

(c) 一流塑形(flow shaping)元件，其包含一面對基板之表面，該面對基板之表面在電鍍期間實質上平行於該基板之一鍍敷面且與該鍍敷面分離，該流塑形元件包含具有通過該流塑形元件所製成之複數個非連通(non-communicating)通道的一離子電阻性材料，其中該等非連通通道允許在電鍍期間輸送該電解液通過該流塑形元件，以在一實質上垂直於該基板的該鍍敷面之方向上建立一電解液之撞擊流(impinging flow)；及

(d) 一流轉向器(diverter)，其在該流塑形元件之該面對基板之表面上，該流轉向器包含一壁結構，該壁結構部分遵循該流塑形元件之圓周(circumference)且具有包含一或多個間隙的一通風(vent)區域，其中該通風區域所對著(subtended)之角度介於20度至120度之間且其中該壁結構在電鍍期間界定(defines)該流塑形元件與該實質上平面之基板之間的一偽腔室，其中該流轉向器經組態以使該電解液之撞擊流轉向至一平行於該基板的該鍍敷

而且朝向至少在該基板之中心處之該流轉向器之該一或多個間隙之方向，從而建立跨越該基板之中心點的一橫向(transverse)電解液流。

2. 如請求項1之設備，其中該流塑形元件係圓盤形的，且該流轉向器包含附接至該流塑形元件或整合至該流塑形元件上的一有槽環形間隔件。
3. 如請求項1之設備，其中該流轉向器之該壁結構具有一單一間隙，且該單一間隙佔據約40度與約90度之間的一弧。
4. 如請求項1之設備，其中該流轉向器之該壁結構的高度介於約1毫米與約5毫米之間。
5. 如請求項1之設備，其中該流轉向器經組態以使得在電鍍期間該壁結構之一頂部表面距該基板固持器之一底部表面介於約0.1毫米與0.5毫米之間，且在電鍍期間該流塑形元件之頂部表面距該基板固持器之該底部表面介於約1毫米與5毫米之間。
6. 如請求項1之設備，其中該離子電阻性材料包含聚乙烯、聚丙烯、聚偏二氟乙烯(PVDF)、聚四氟乙烯、聚砜及聚碳酸酯中之至少一者。
7. 如請求項1之設備，其中該流塑形元件之厚度介於約5毫米與約10毫米之間。
8. 如請求項1之設備，其中該複數個通道相對於該流塑形元件之該面對基板之表面以約90°的一角度定向。
9. 如請求項1之設備，其中該複數個通道實質上彼此平

行。

10. 如請求項1之設備，其中該複數個通道中之至少一些通道彼此不平行。
11. 如請求項1之設備，其中該流塑形元件之該面對基板之表面在電鍍期間與該基板的該鍍敷面分離約10毫米或更小的一距離。
12. 如請求項1之設備，其中該流塑形元件之該面對基板之表面在電鍍期間與該基板的該鍍敷面分離約5毫米或更小的一距離。
13. 如請求項1之設備，其中該設備經組態以在該基板鍍敷面之方向上且在於電鍍期間產生退出該流塑形元件之孔的至少約10公分/秒之一平均流速的條件下使電解液流動。
14. 如請求項1之設備，其中該設備經組態以在產生跨越該基板之該鍍敷面之中心點的約3公分/秒或更大之一橫向電解液速度的條件下操作。
15. 如請求項1之設備，其中該等通道經配置以避開平行於該面對基板之表面的不會遇到該等通道中之一者的長距離線性路徑。
16. 如請求項15之設備，其中該等通道經配置以避開平行於該面對基板之表面的不會遇到該等通道中之一者的約10毫米或更大之長距離線性路徑。
17. 如請求項1之設備，其中該壁結構具有高於一內部部分之一外部部分。

18. 如請求項17之設備，其中該外部部分之高度介於約5毫米與約20毫米之間，且該內部部分之高度介於約1毫米與約5毫米之間。
19. 如請求項17之設備，其中該流轉向器經組態以使得該壁結構之一內表面在電鍍期間距該基板固持器之一外表面介於約0.1毫米與2毫米之間。
20. 一種用於將金屬電鍍至一基板上之設備，該設備包含：
 - (a) 一鍍敷腔室，其經組態以含有一電解液及一陽極，以將金屬電鍍至該基板上；
 - (b) 一基板固持器，其經組態以固持該基板以使得在電鍍期間將該基板之一鍍敷面與該陽極分離，該基板固持器具有一或多個電力觸點，該一或多個電力觸點經配置以在電鍍期間接觸該基板之一邊緣且將電流提供至該基板；
 - (c) 一流塑形元件，其經塑形且經組態以在電鍍期間定位於該基板與該陽極之間，該流塑形元件具有在電鍍期間實質上平行於該基板之該鍍敷面且與該鍍敷面分離約10毫米或更小之一距離的一平坦表面，且該流塑形元件亦具有複數個孔以准許該電解液朝向該基板的該鍍敷面流動；
 - (d) 用於使該基板旋轉同時在該基板鍍敷面之方向上使電解液在電鍍槽(cell)中流動的一機構；及
 - (e) 在該流塑形元件之該平坦表面上之一流轉向器，該流轉向器包含一壁結構，該壁結構部分遵循該流塑形

元件之圓周且具有包含一或多個間隙的一通風區域，其中該通風區域所對著之角度介於20度至120度之間且其中該壁結構在電鍍期間界定該流塑形元件與該實質上平面之基板之間的一偽腔室；

其中該設備經組態以用於在該基板鍍敷面之該方向上於在電鍍期間產生退出(exit)該流塑形元件之該等孔的至少約10公分/秒之一平均流速的條件下使電解液流動，且用於在平行於該基板之該鍍敷面的一方向上在跨越該基板之該鍍敷面之中心點的至少約3公分/秒之一電解液速度下使電解液流動。

21. 如請求項20之設備，其中用於使該基板旋轉之該機構經組態以相對於該流塑形元件反轉該基板的一旋轉方向。
22. 如請求項20之設備，其中該流塑形元件中之該複數個孔不在該流塑形元件內形成連通通道，且其中實質上所有該複數個孔使得該元件之面對該基板之表面的表面上之開口的一主要尺寸或一直徑不大於約5毫米。
23. 如請求項20之設備，其中該流塑形元件係具有約6,000至12,000個孔的一圓盤。
24. 如請求項20之設備，其中該流塑形元件具有一不均勻之孔密度，其中一較大孔密度存在於該流塑形元件的面對該基板鍍敷面之一旋轉軸線的一區域中。
25. 如請求項20之設備，其中該設備經組態以電鍍晶圓級封裝特徵。
26. 如請求項25之設備，其中該設備經組態以電鍍選自由以

下各者組成之群組之一或多種金屬：銅、錫、一錫-鉛組合物、一錫銀組合物、鎳、一錫-銅組合物、一錫-銀-銅組合物、金，及上述金屬之組合之合金。

27. 一種在包含具有至少約2微米之一寬度及/或深度之特徵的一基板上進行電鍍的方法，該方法包括：

(a) 將該基板提供至一鍍敷腔室，該鍍敷腔室經組態以含有一電解液及一陽極，以將金屬電鍍至該基板上，其中該鍍敷腔室包括：

(i) 一基板固持器，其固持該基板，以使得在電鍍期間將該基板之一鍍敷面與該陽極分離，及

(ii) 一流塑形元件，其經塑形且組態以在電鍍期間定位於該基板與該陽極之間，該流塑形元件具有在電鍍期間實質上平行於該基板之該鍍敷面且與該鍍敷面分離約10毫米或更小之一距離之一平坦表面，其中該流塑形元件具有複數個孔；

(iii) 在該流塑形元件之該平坦表面上之一流轉向器，該流轉向器包含一壁結構，該壁結構部分遵循該流塑形元件之圓周且具有包含一或多個間隙的一通風區域，其中該通風區域所對著之角度介於20度至120度之間且其中該壁結構在電鍍期間界定該流塑形元件與該實質上平面之基板之間的一偽腔室；

(b) 在使該基板旋轉的同時且在於該基板鍍敷面之方向上且在產生退出該流塑形元件之該等孔的至少約10公分/秒之一平均流速的條件下使該電解液在電鍍槽中流動

且將剪切力施加至在該基板的該鍍敷面處流動之該電解液的同時，將一金屬電鍍至該基板鍍敷表面上。

八、圖式：

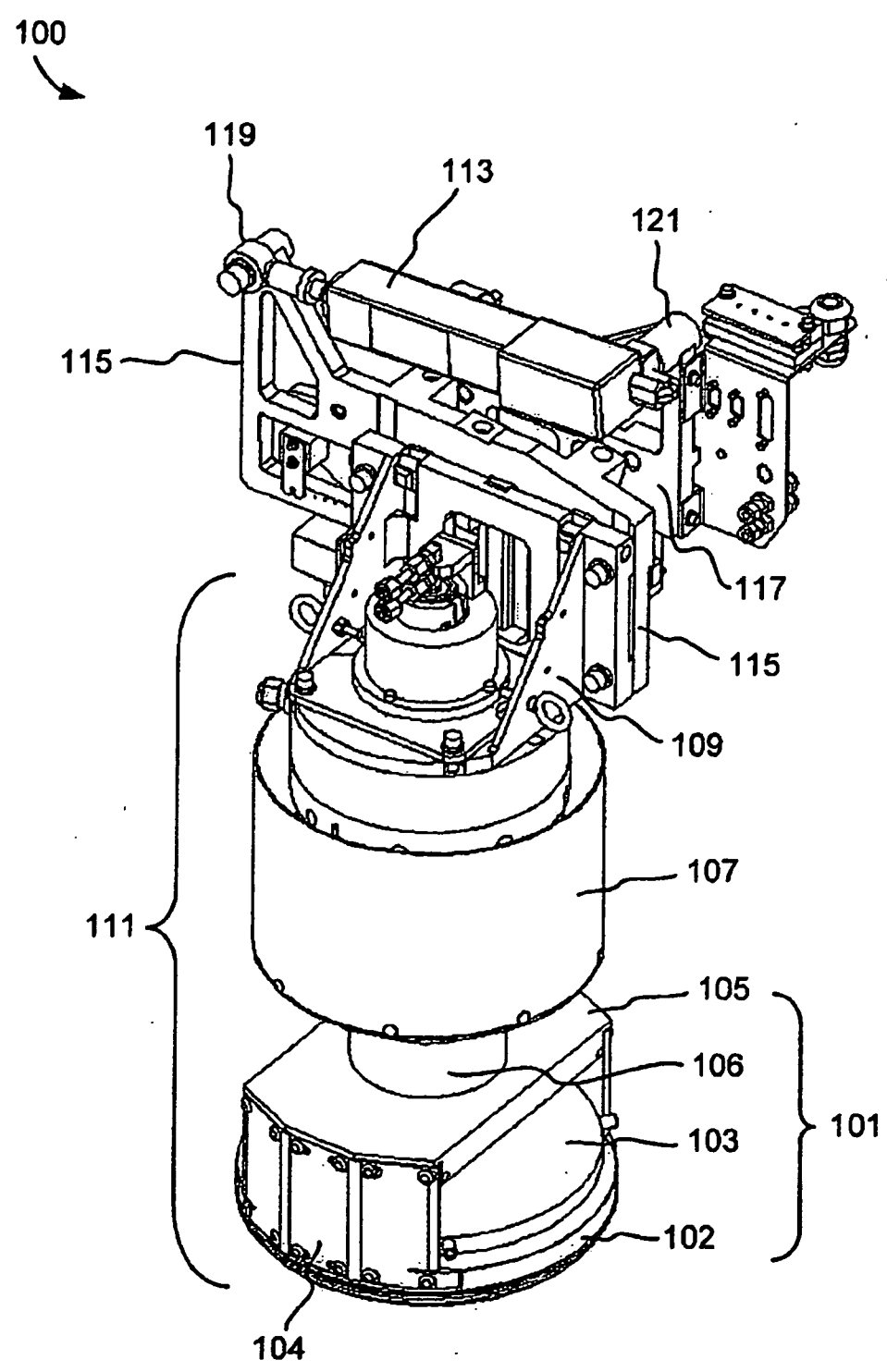


圖1A

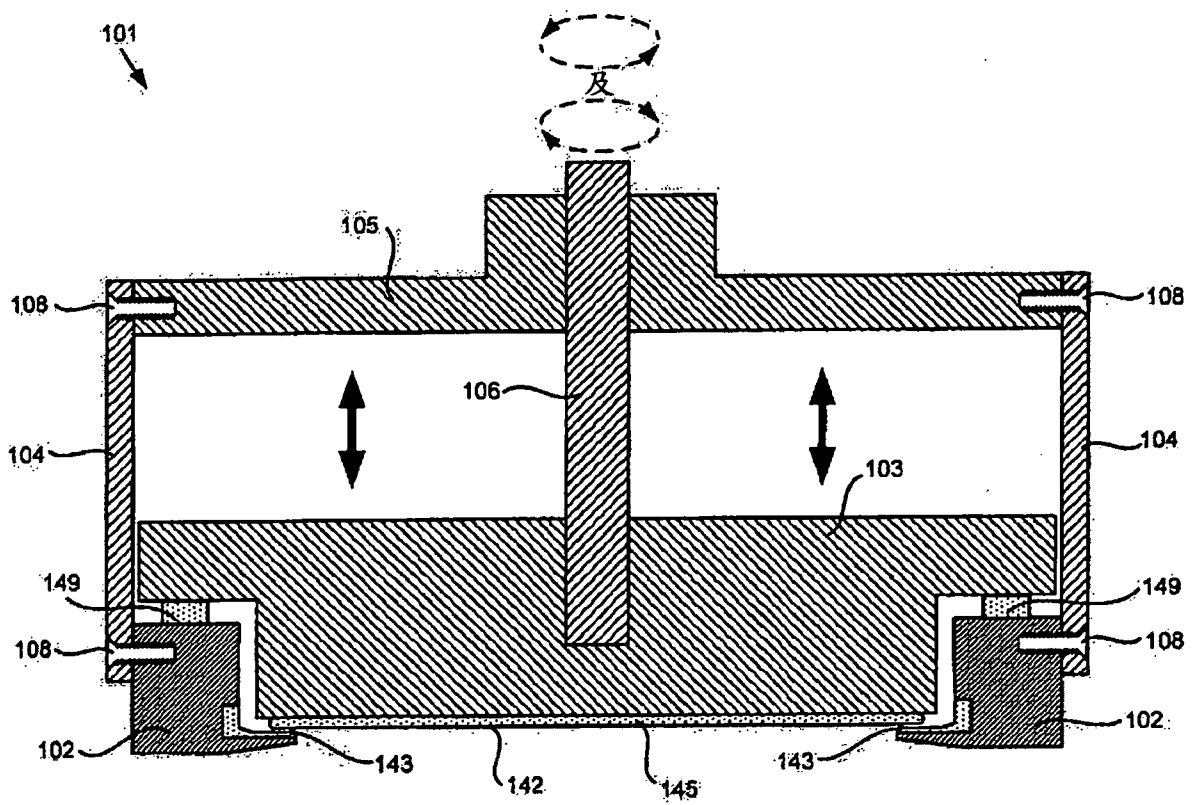


圖1B

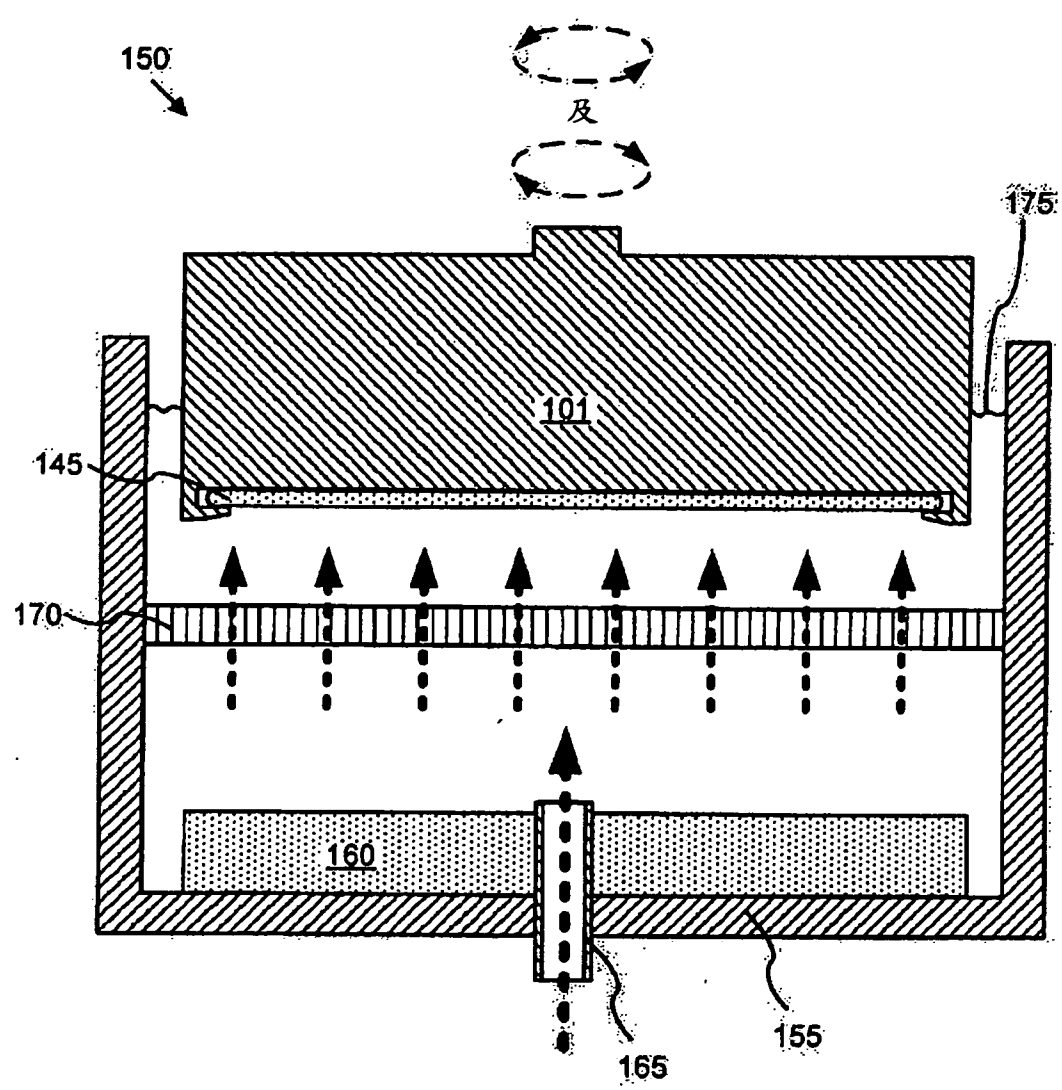


圖 1C

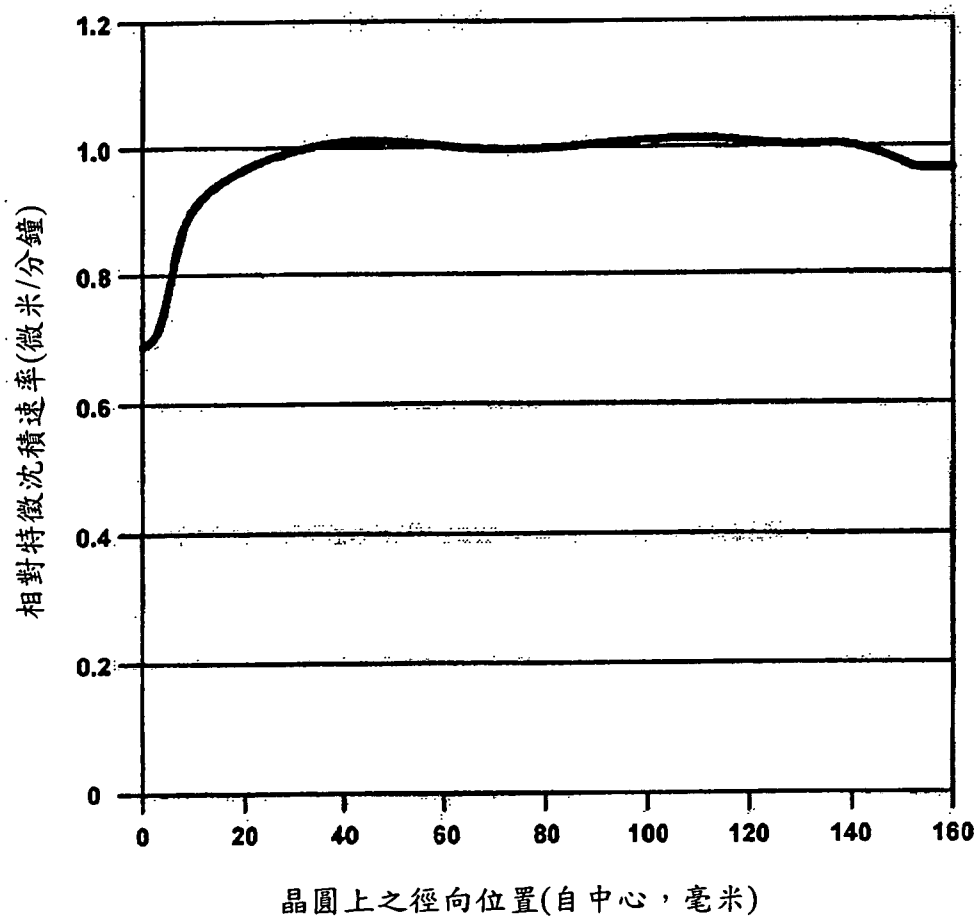


圖1D

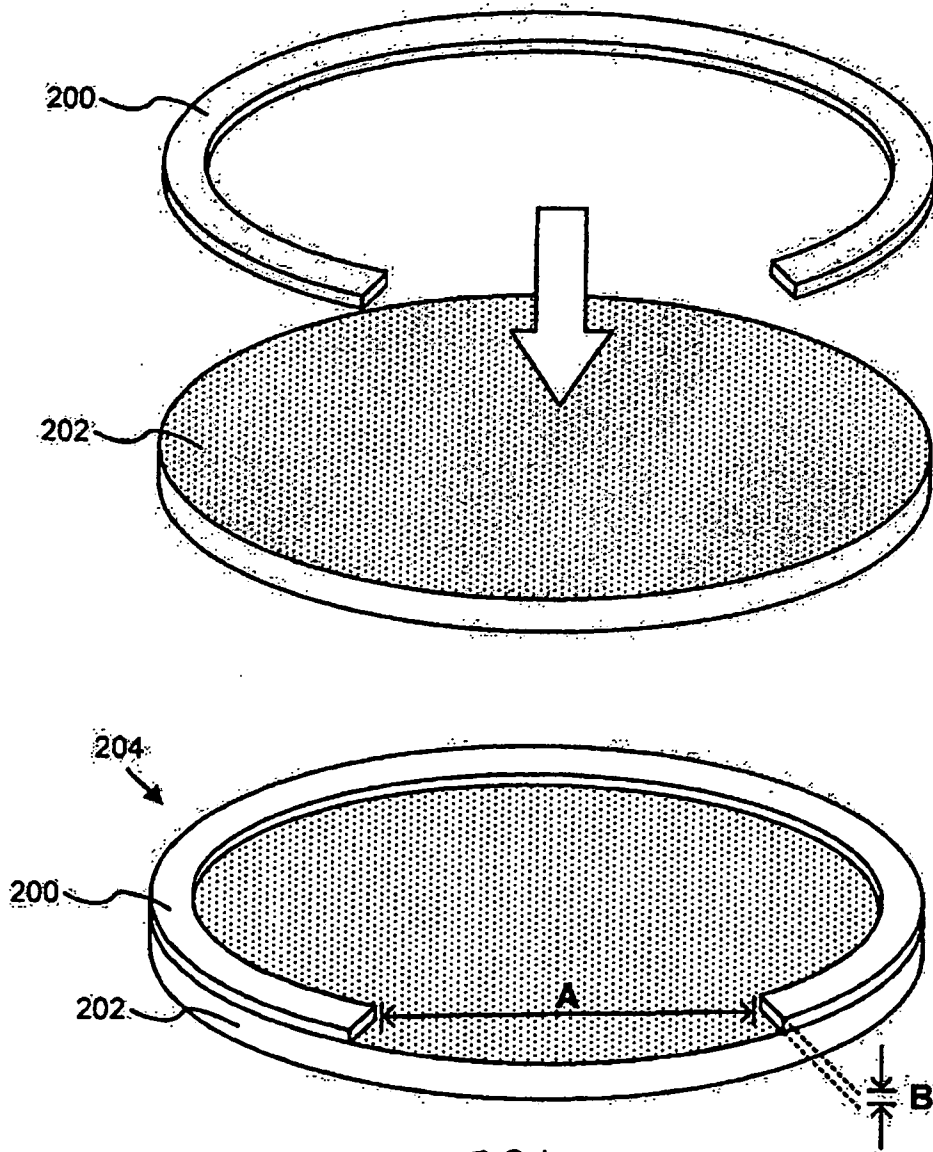


圖2A

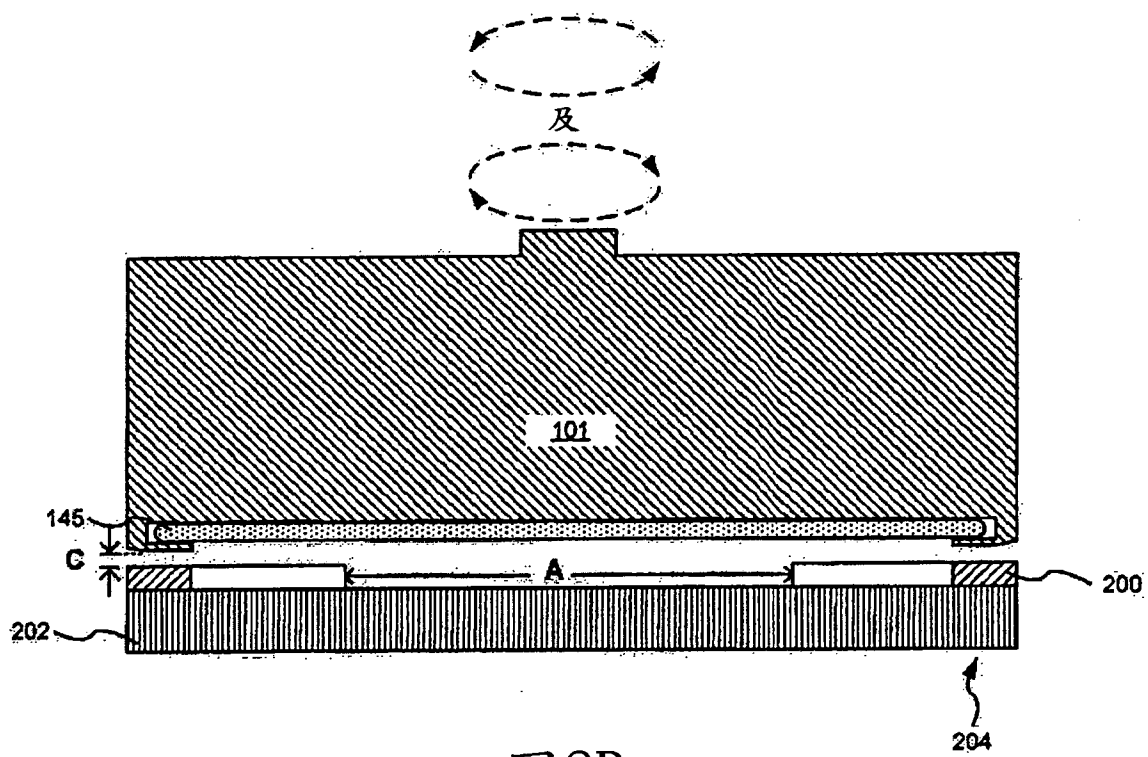


圖 2B

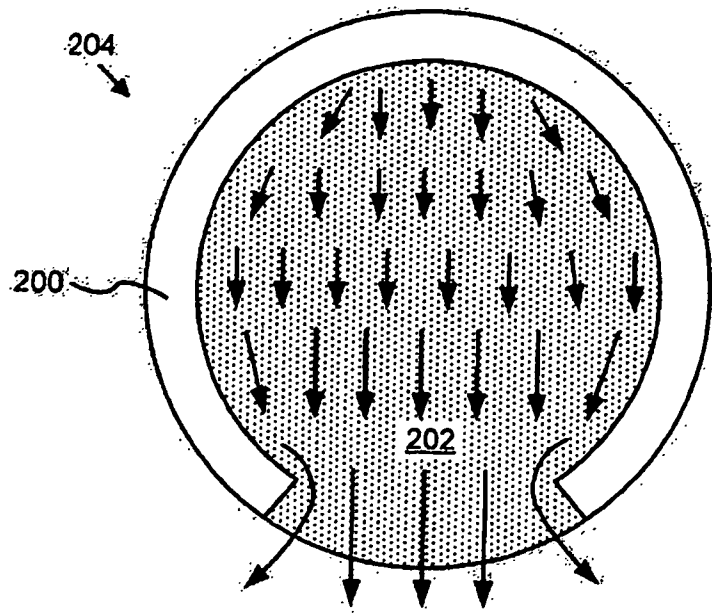


圖 2C

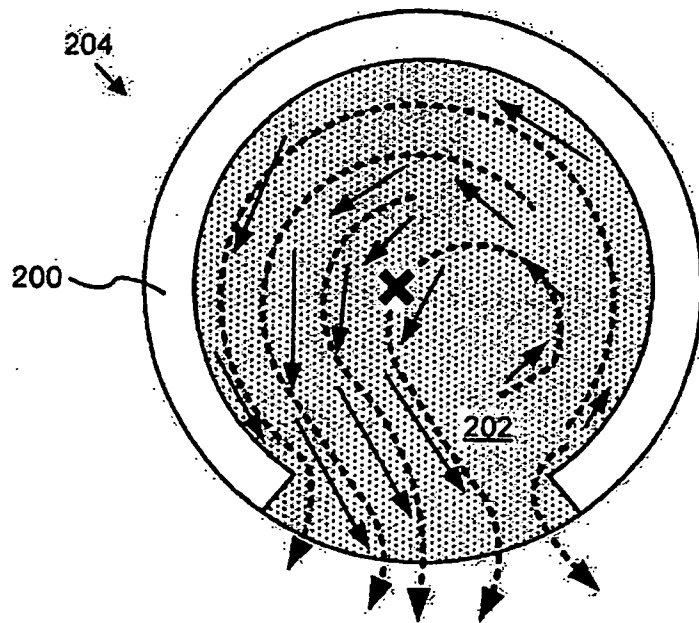


圖 2D

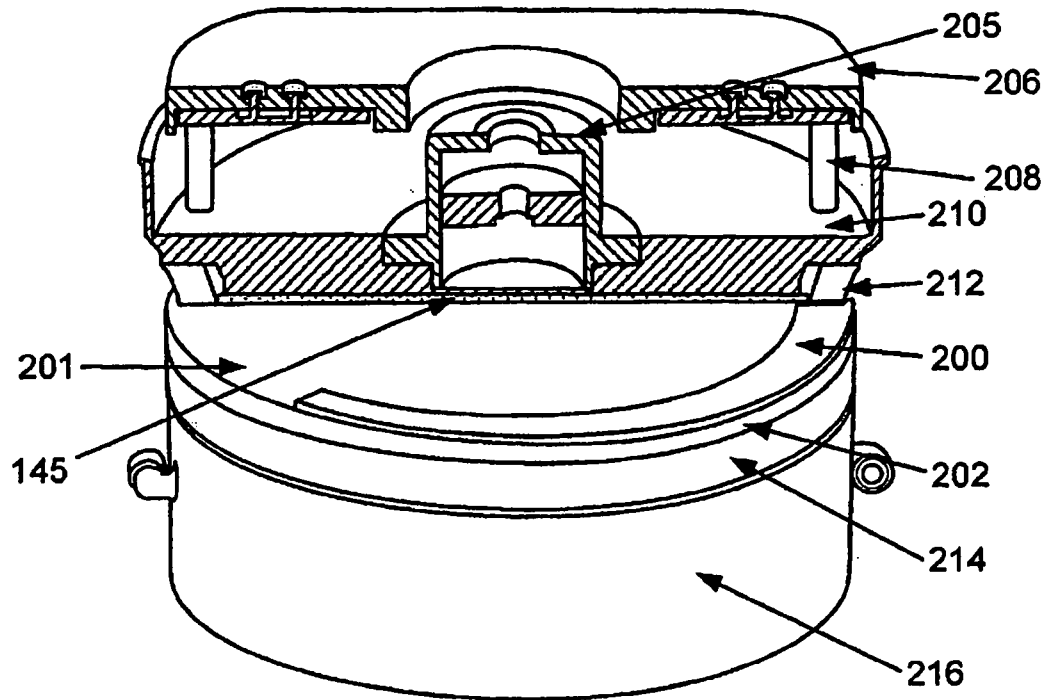


圖2E

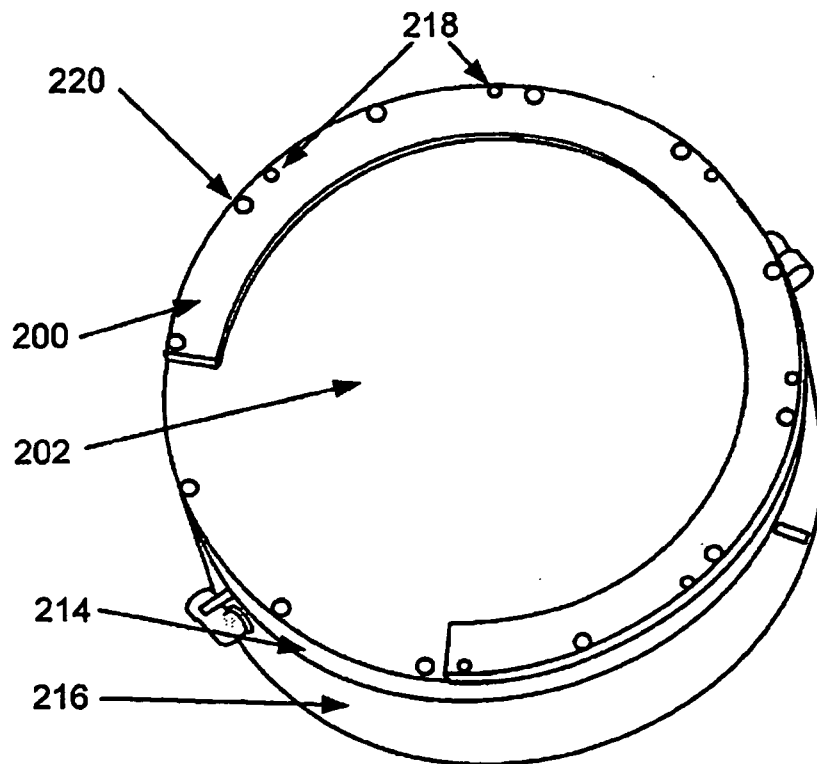


圖2F

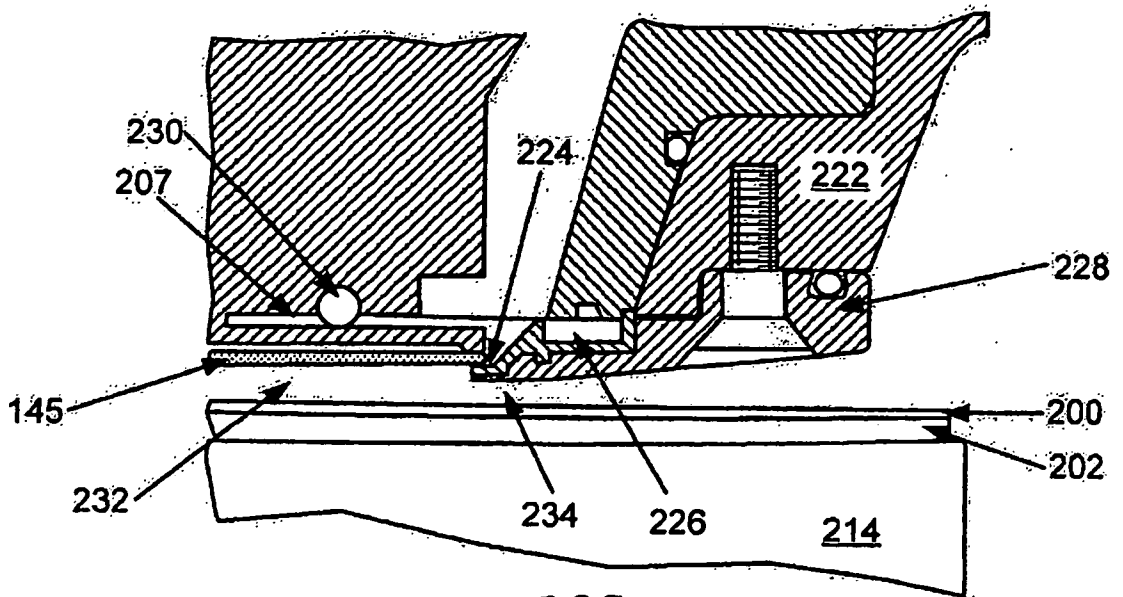


圖 2G

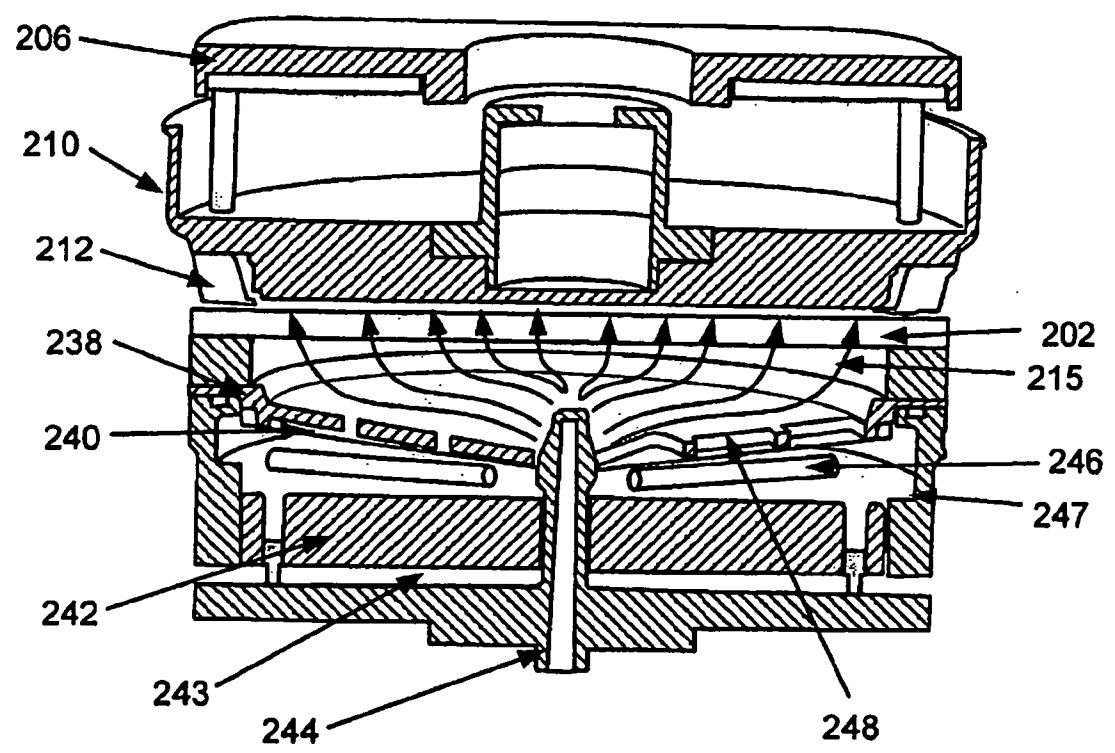


圖 2H

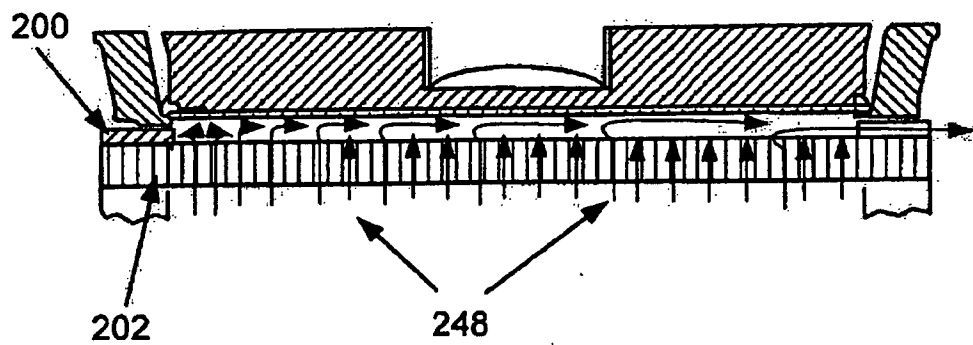


圖 2I

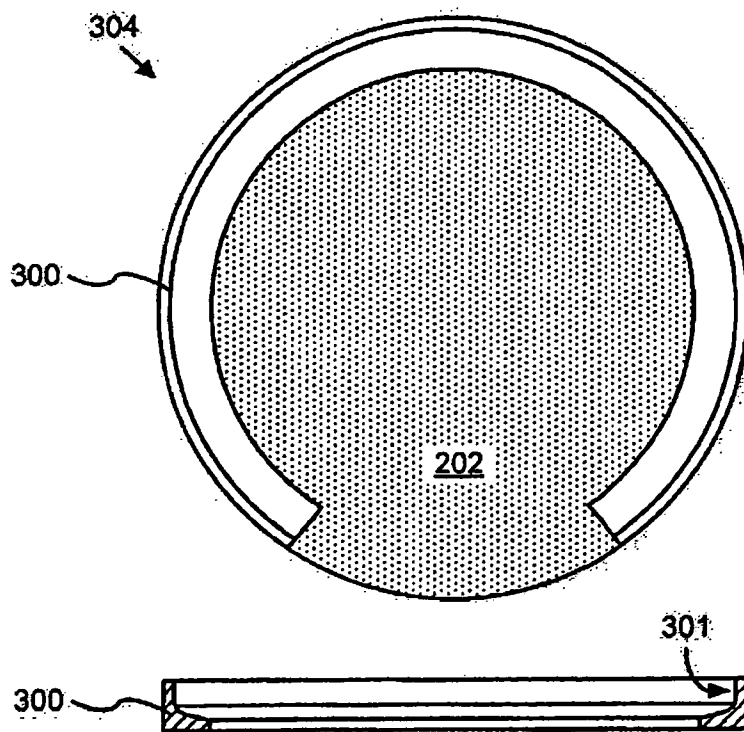


圖 3A

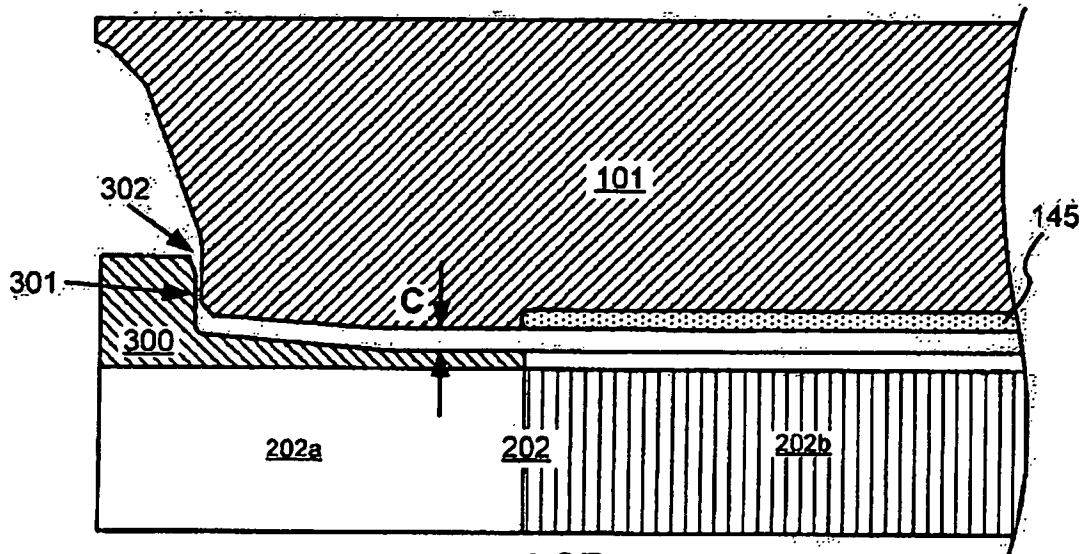


圖 3B

隨晶圓半徑而變之鍍敷均勻性

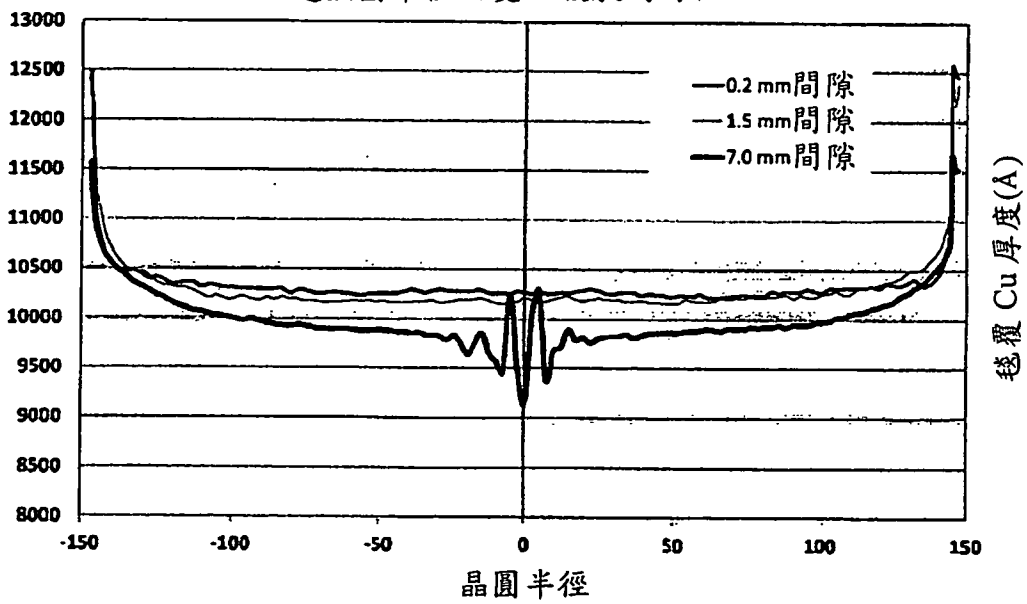


圖 3C

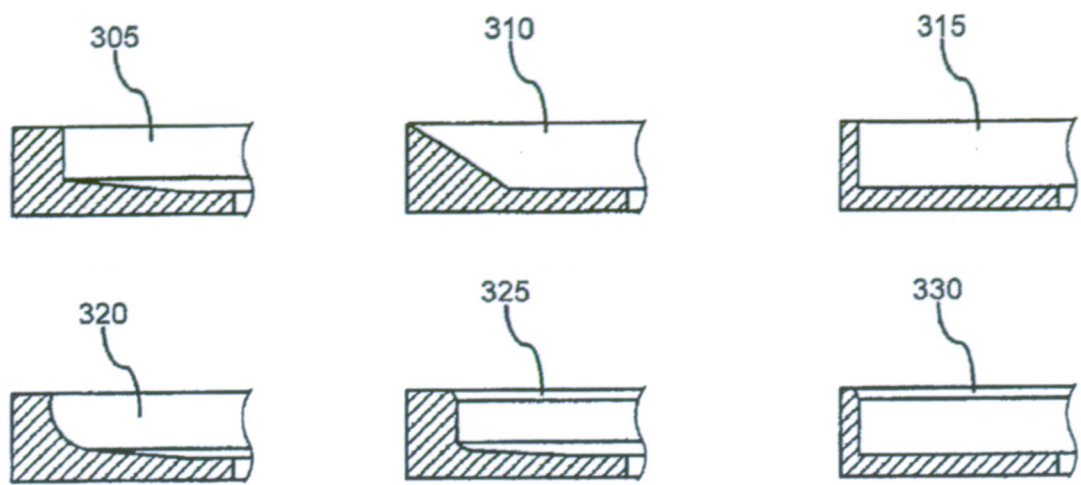


圖 3D

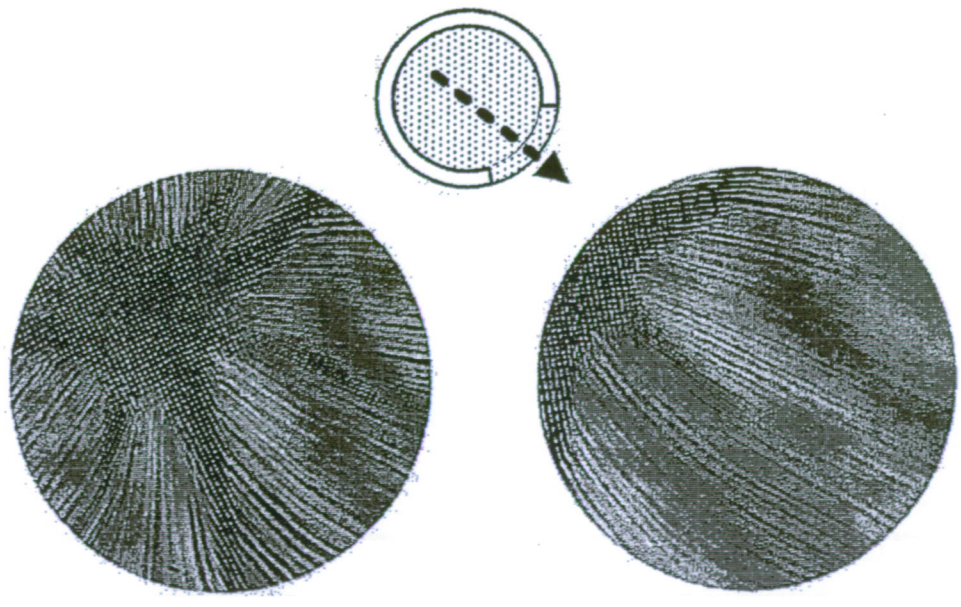


圖 3E

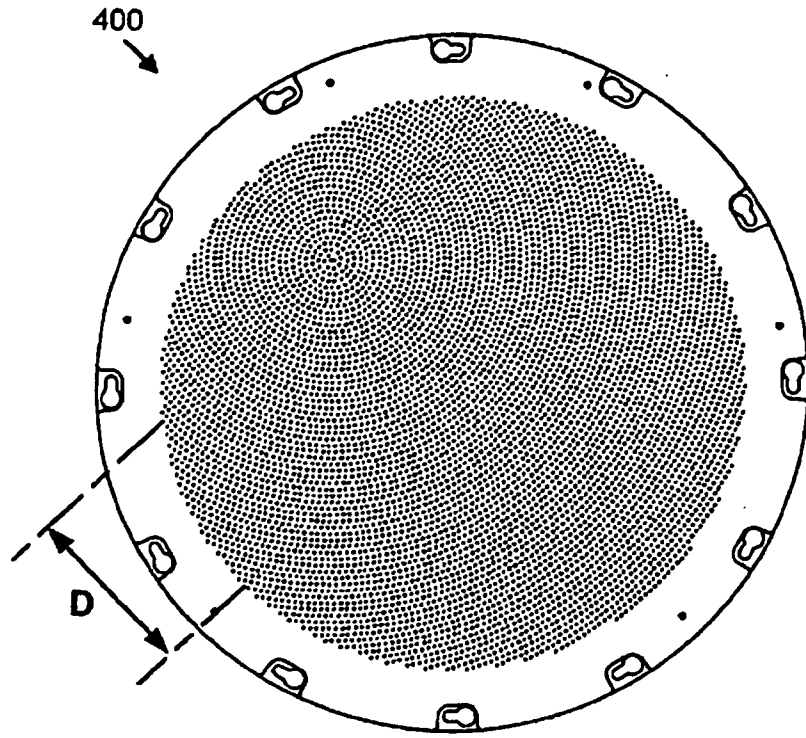


圖4A

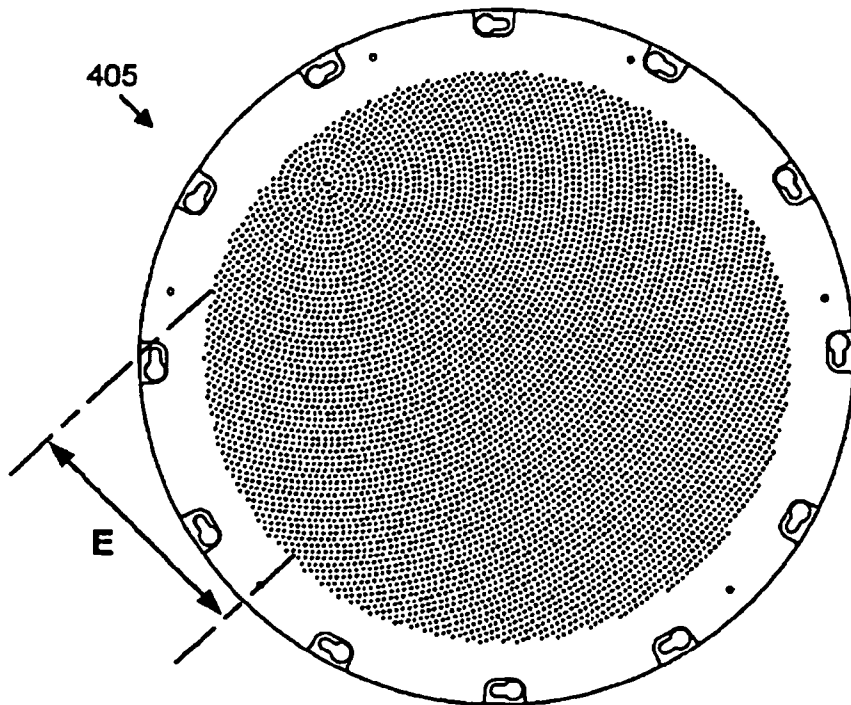


圖4B

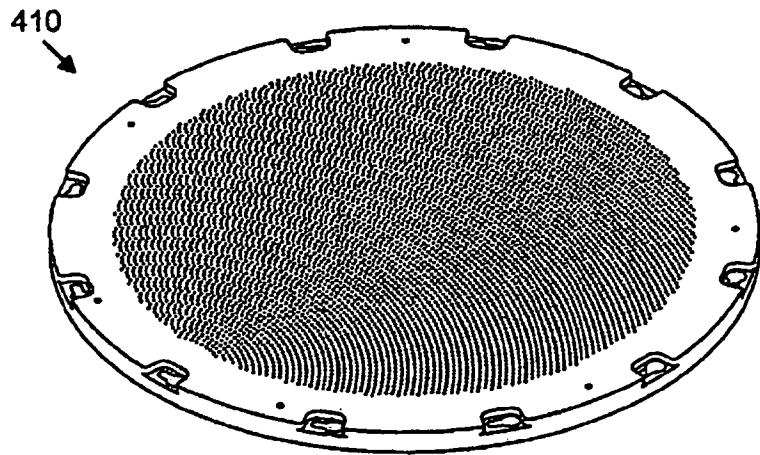
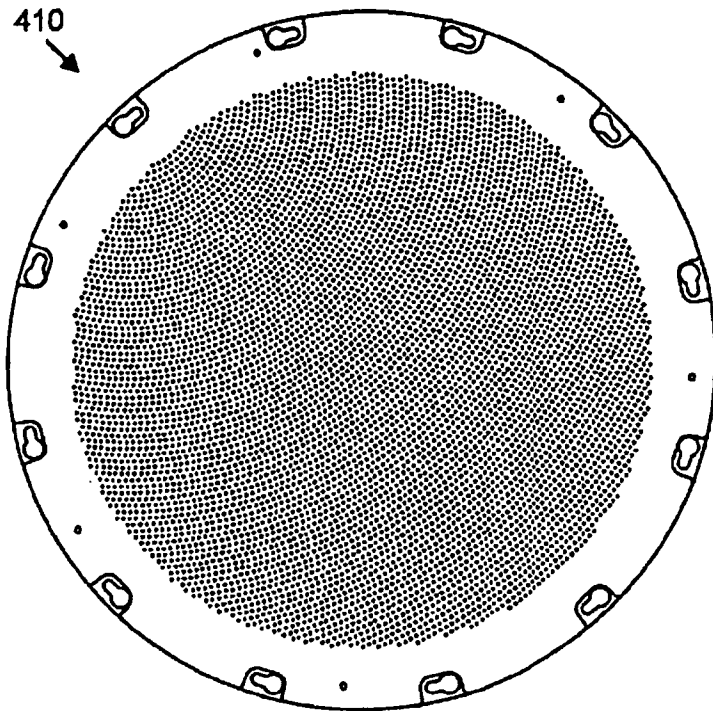


圖4C

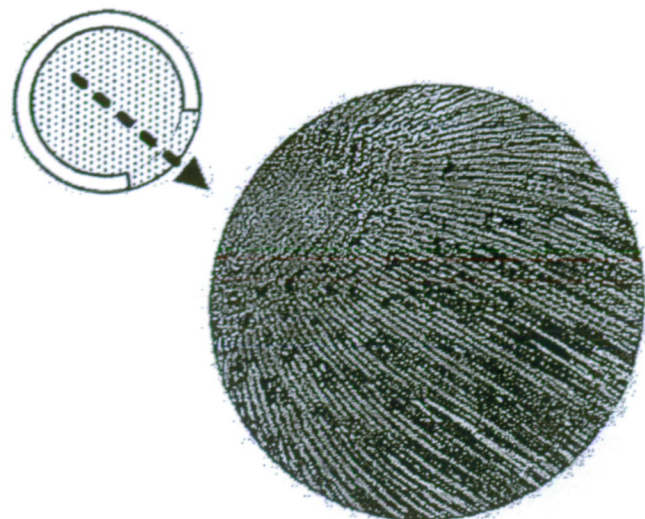


圖5A

隨晶圓半徑而變之鍍數均勻性

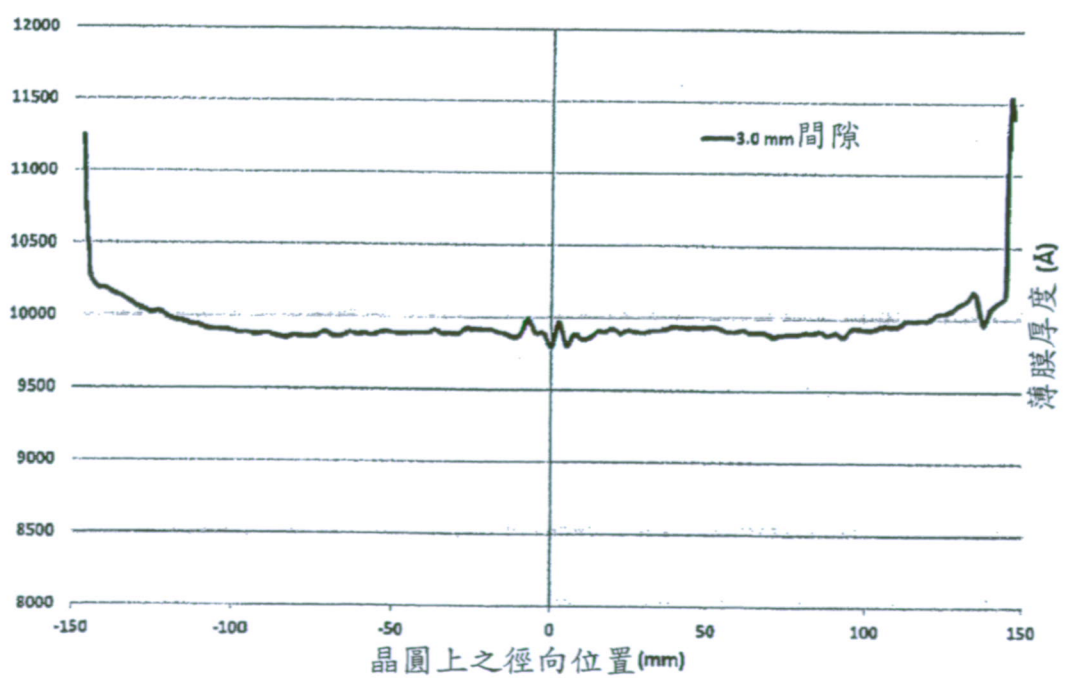


圖5B

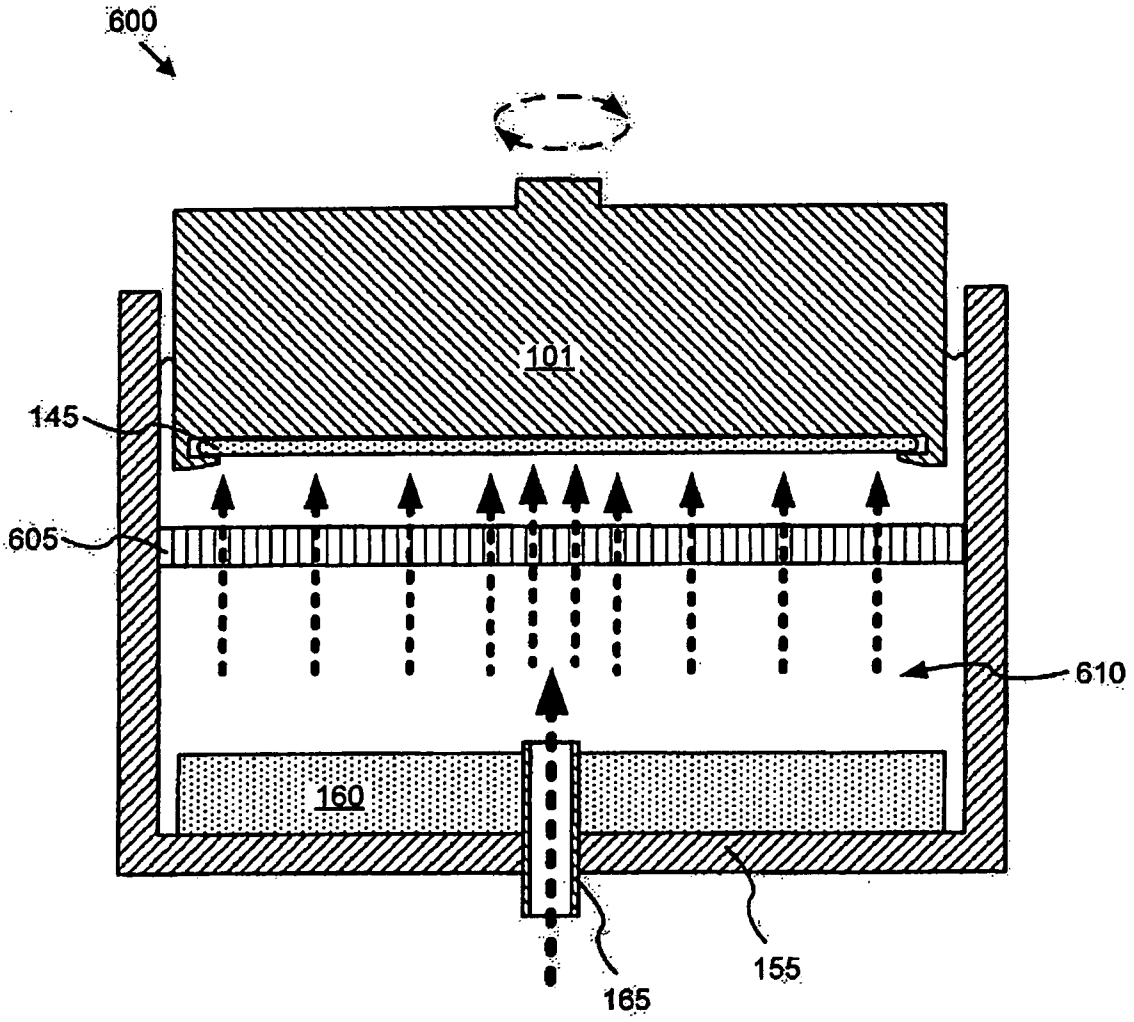


圖 6

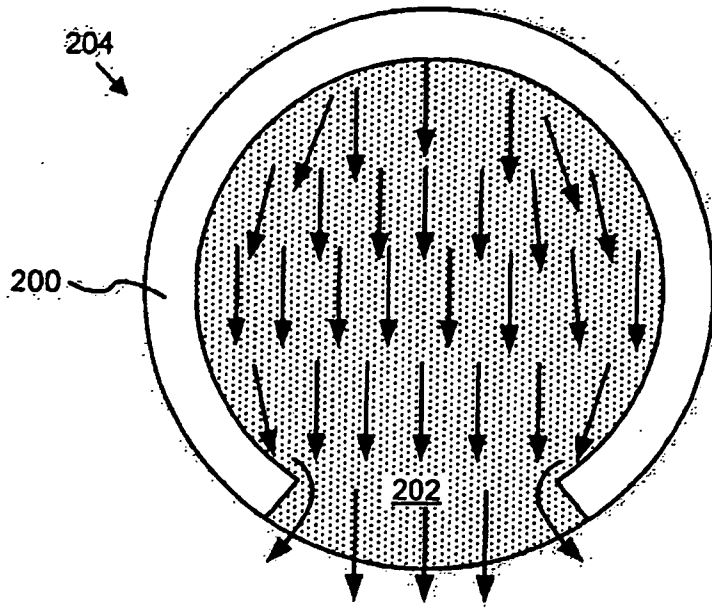


圖 7A

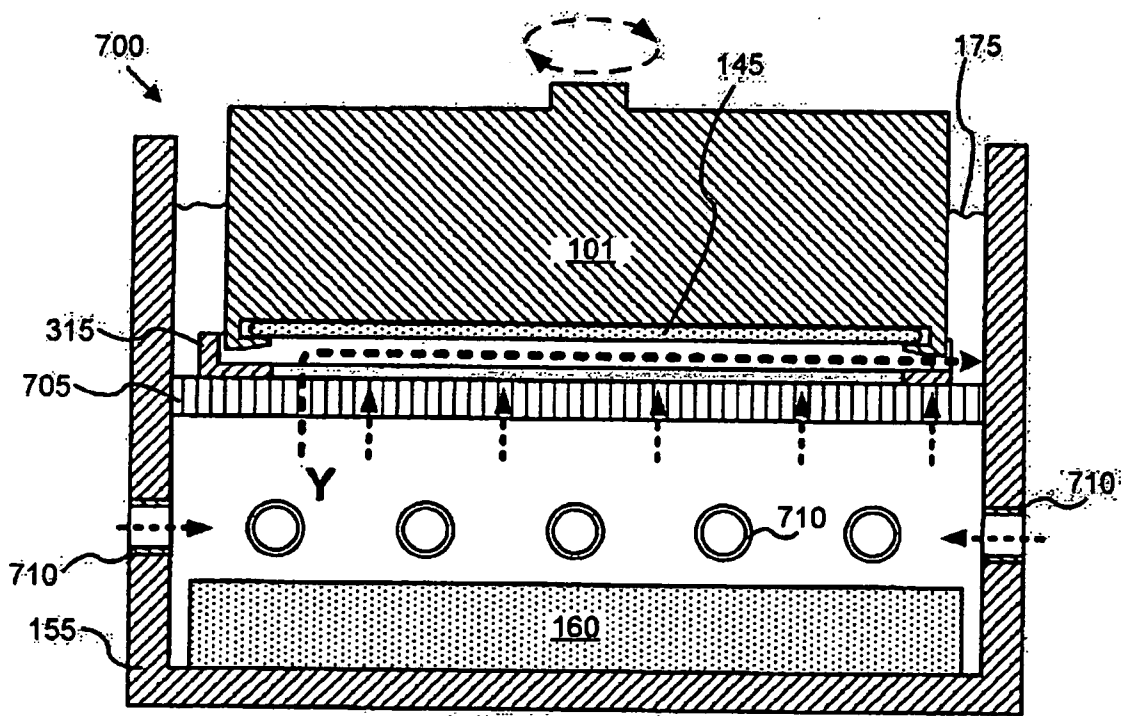


圖 7B

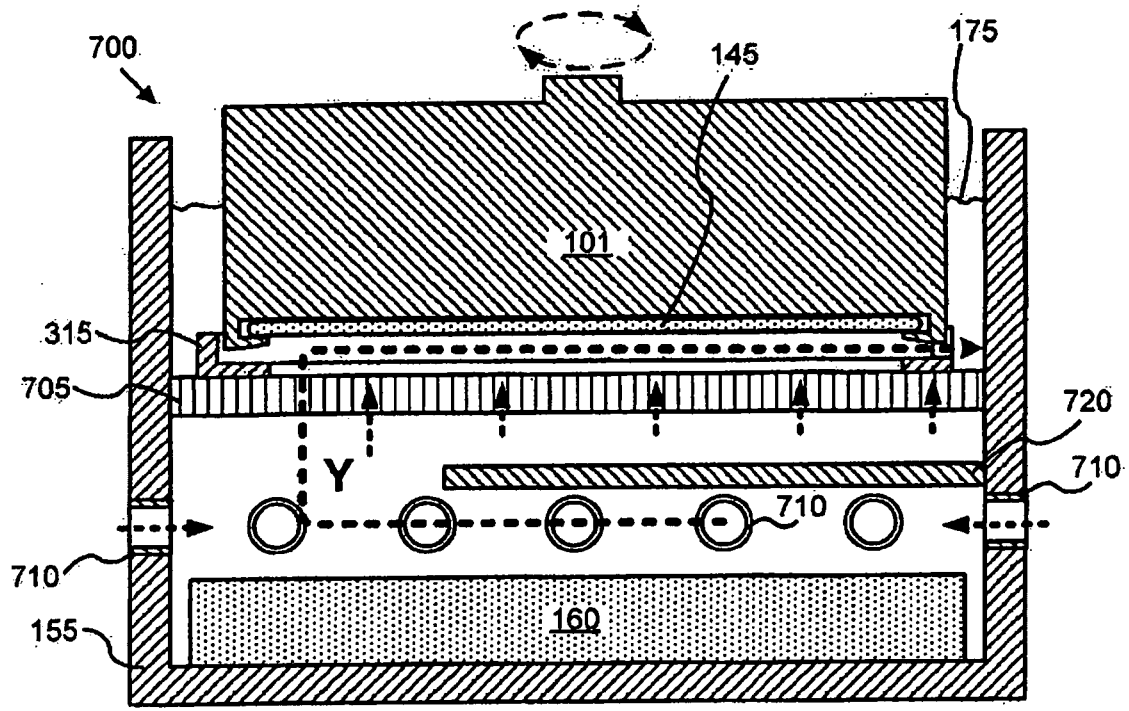


圖 7C

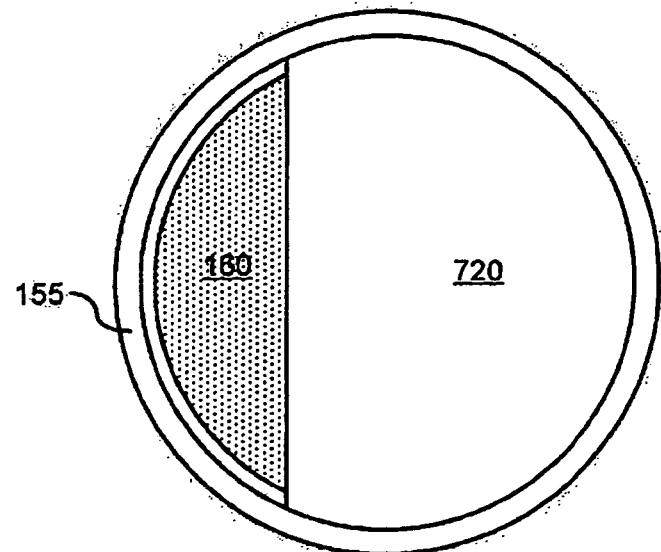


圖 7D

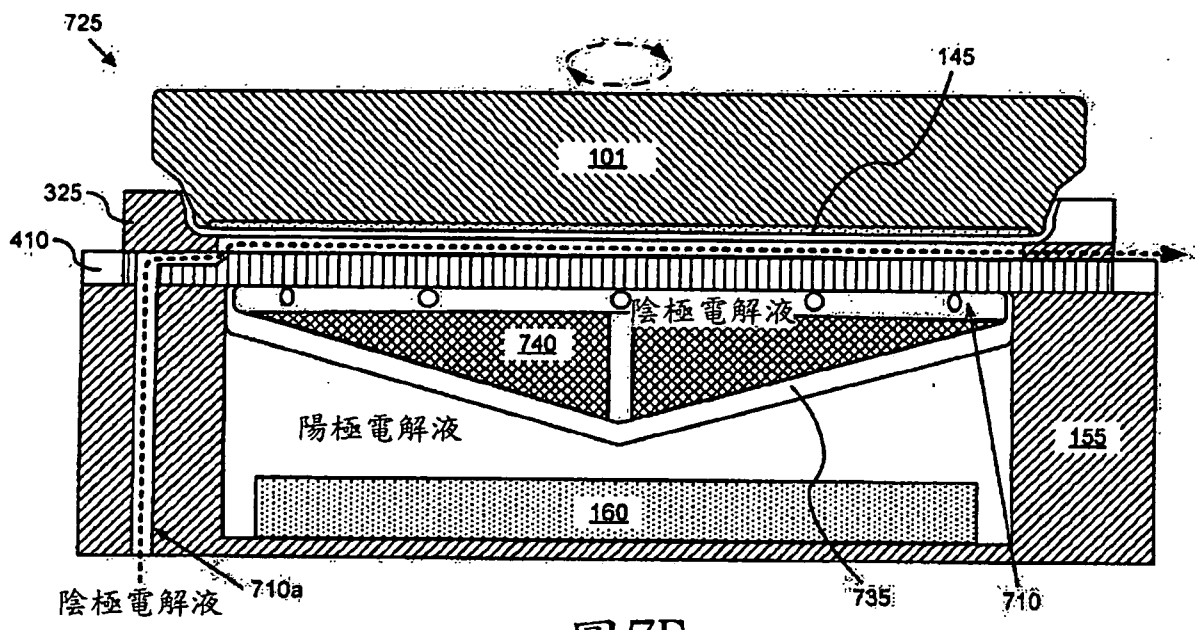


圖7E

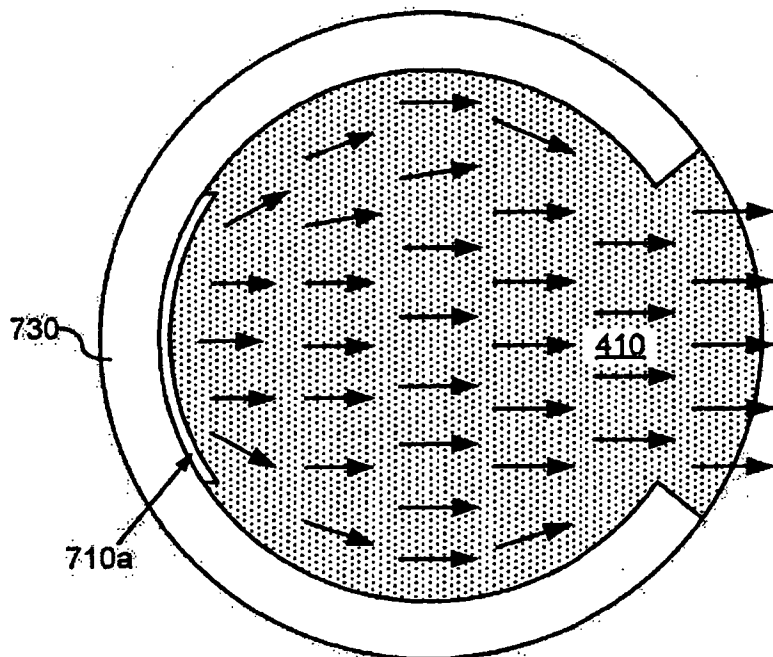


圖 7F

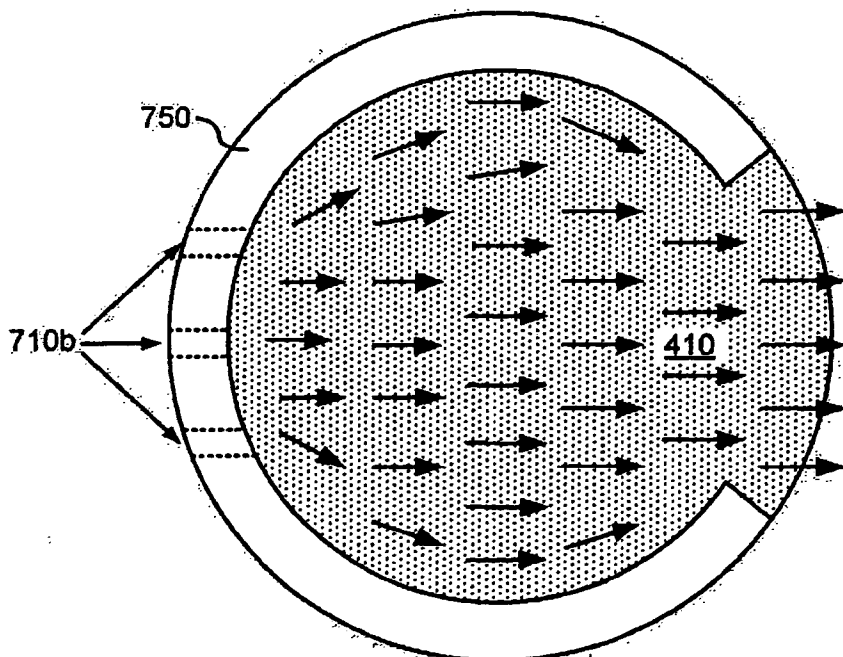


圖 7G

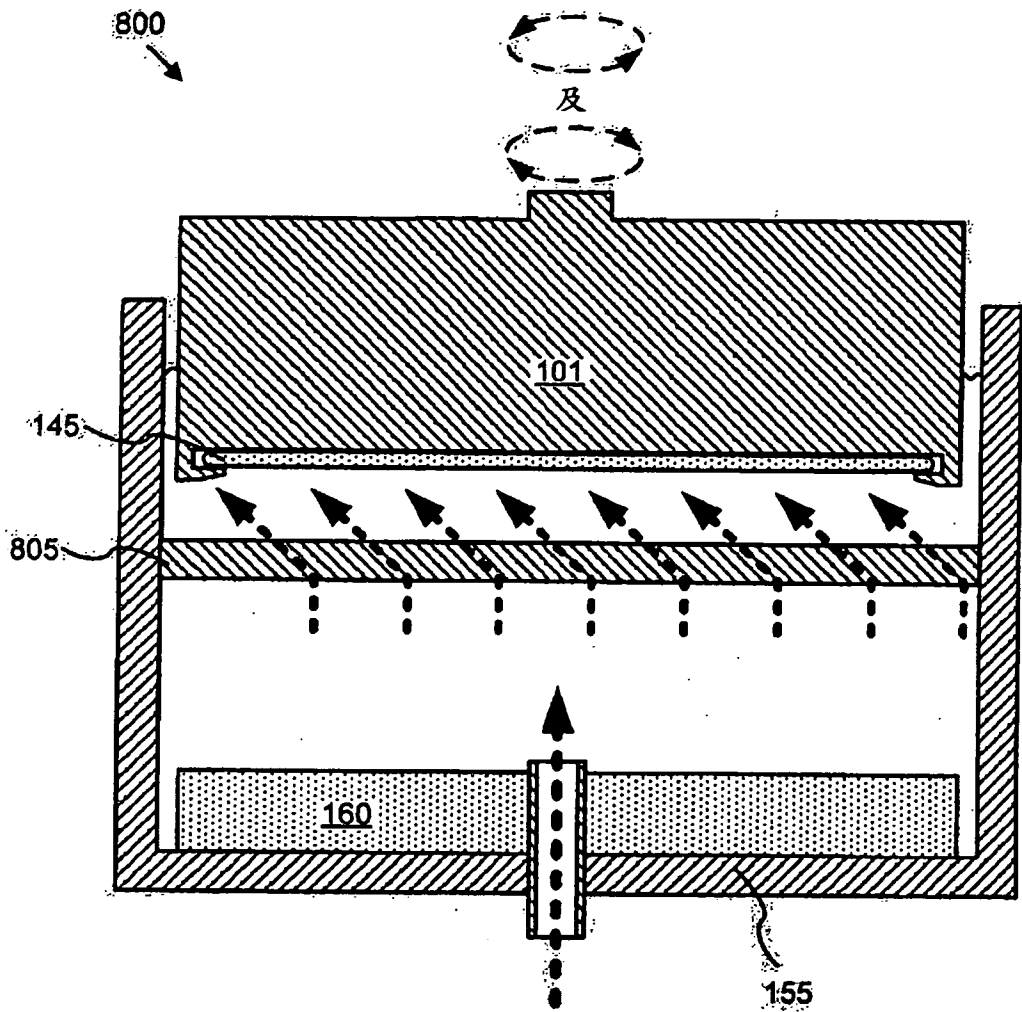


圖 8A

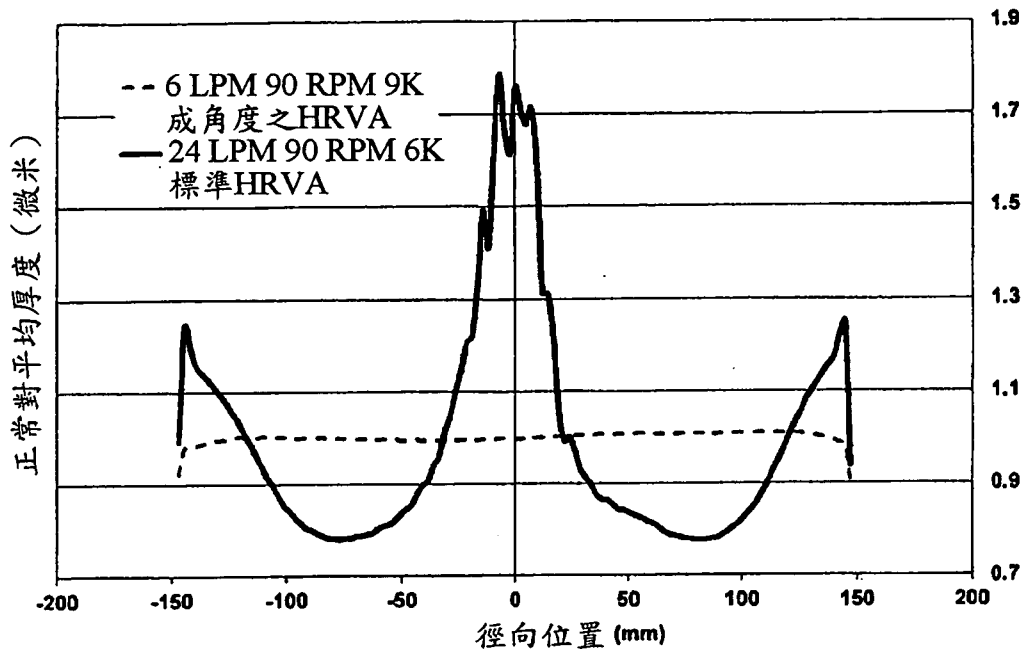


圖 8B

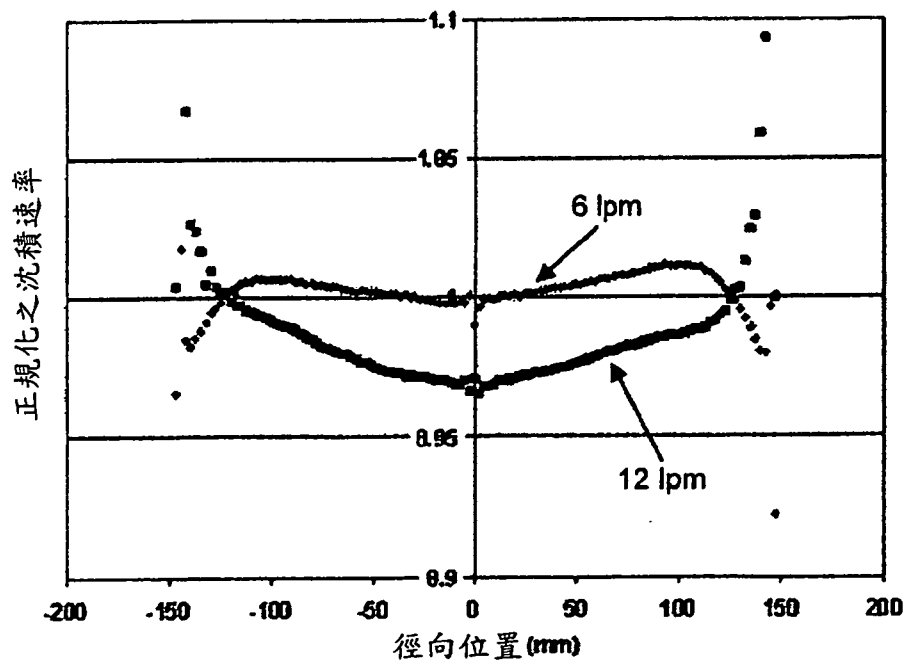


圖 8C

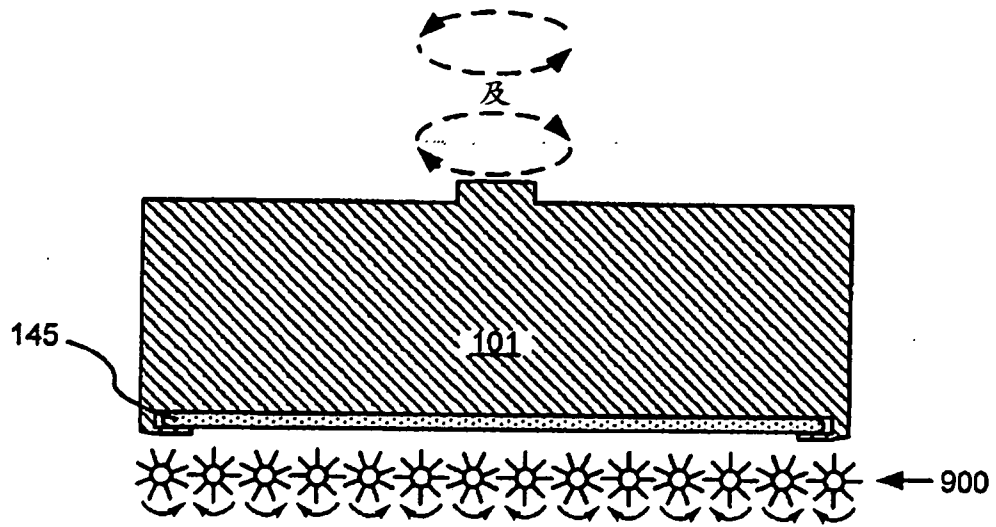


圖 9A

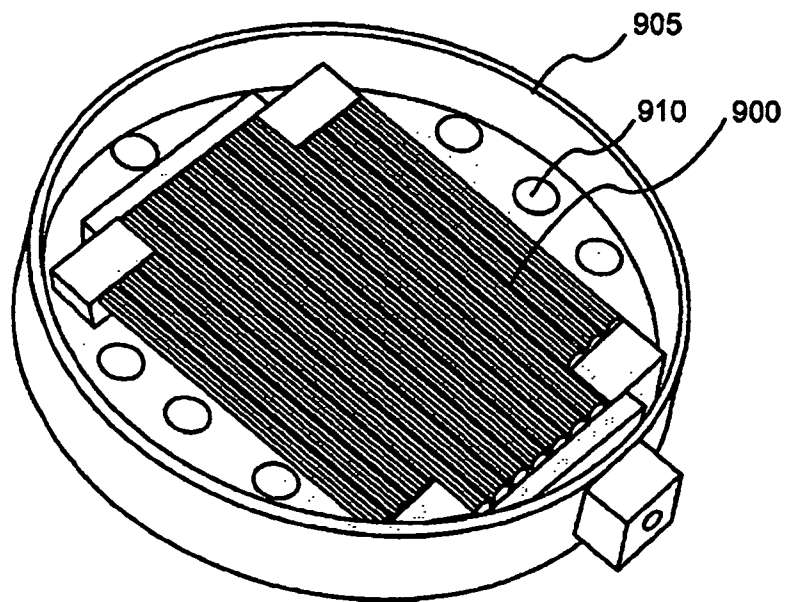


圖 9B

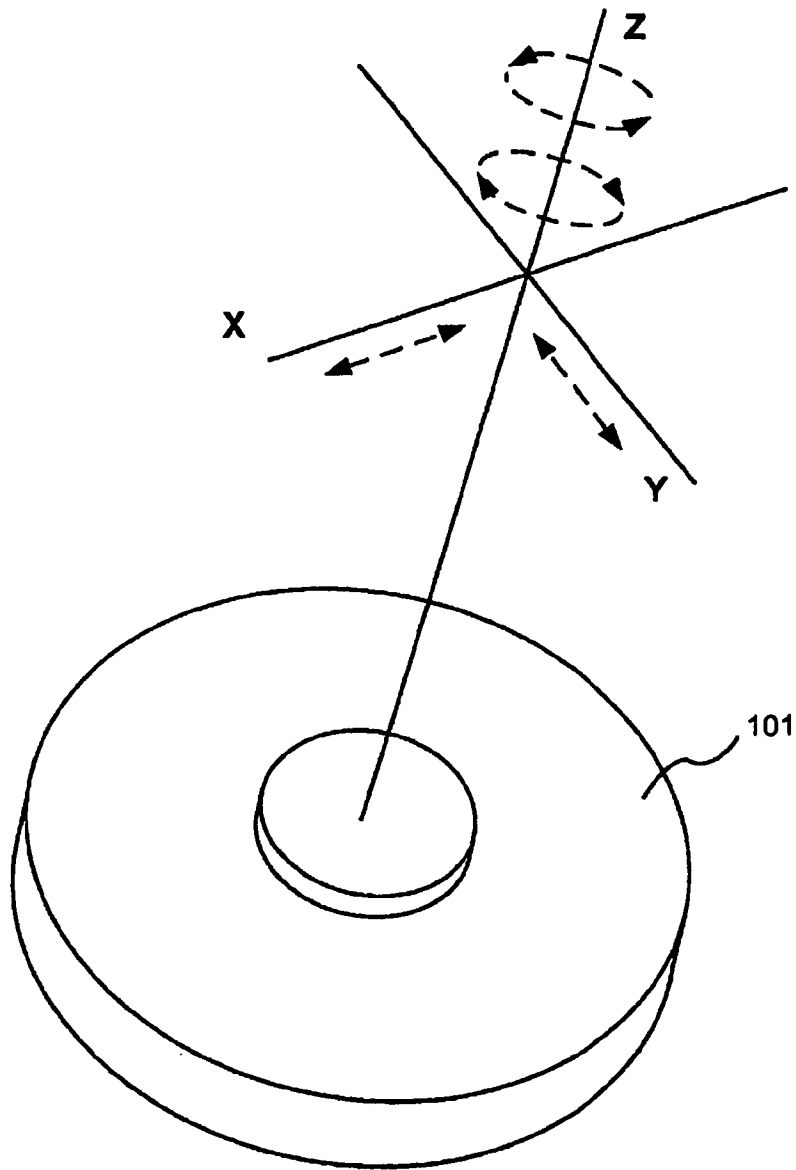


圖 10

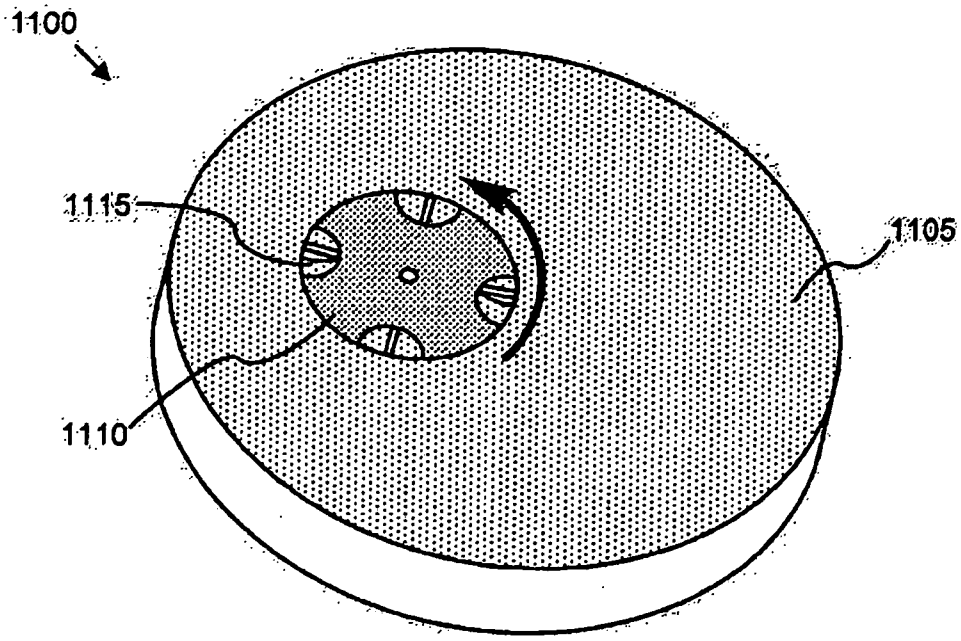


圖 11A

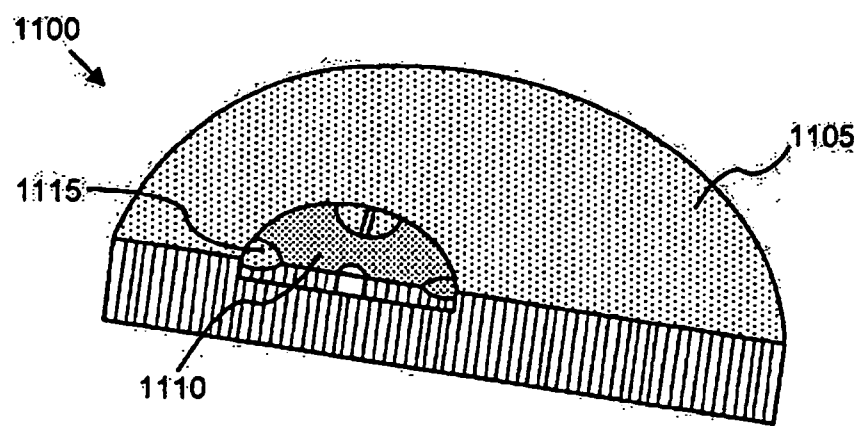


圖 11B

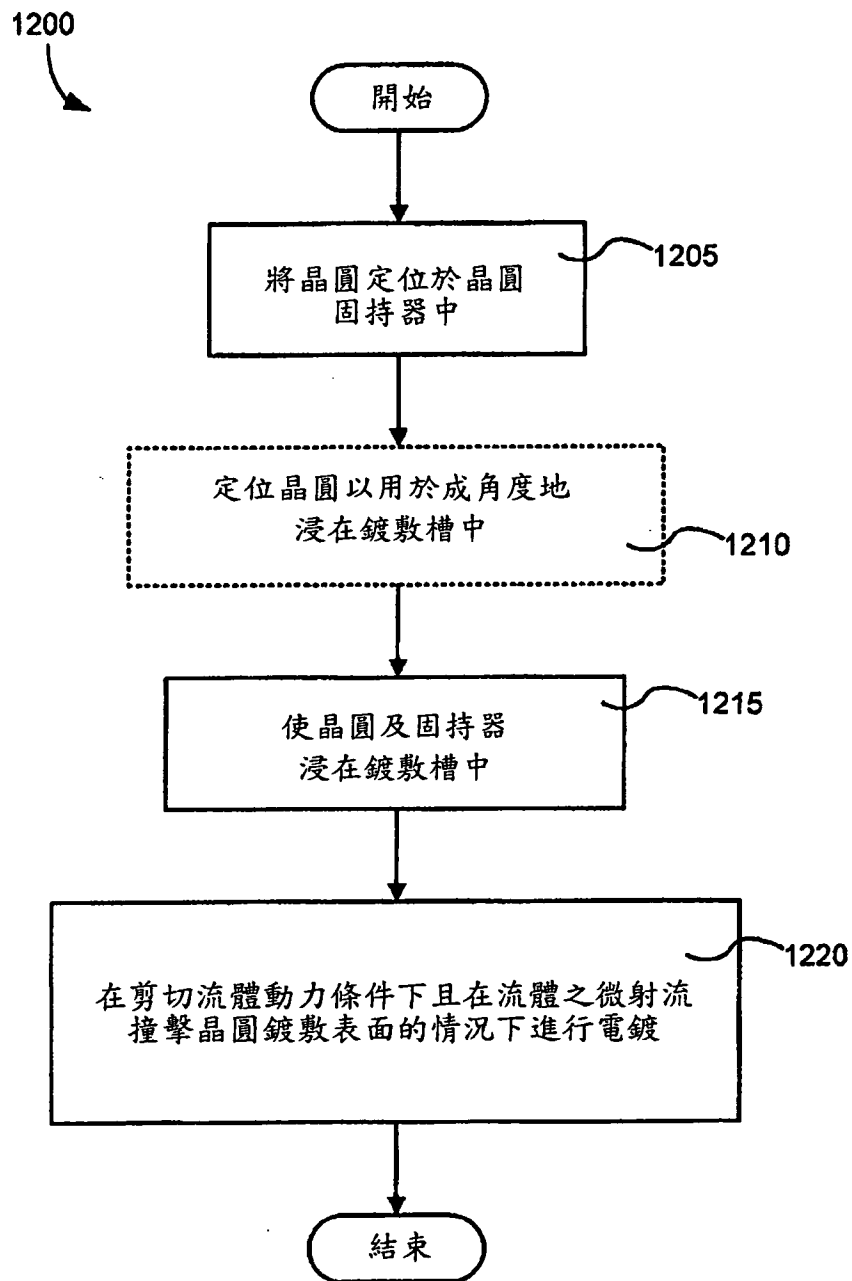


圖12

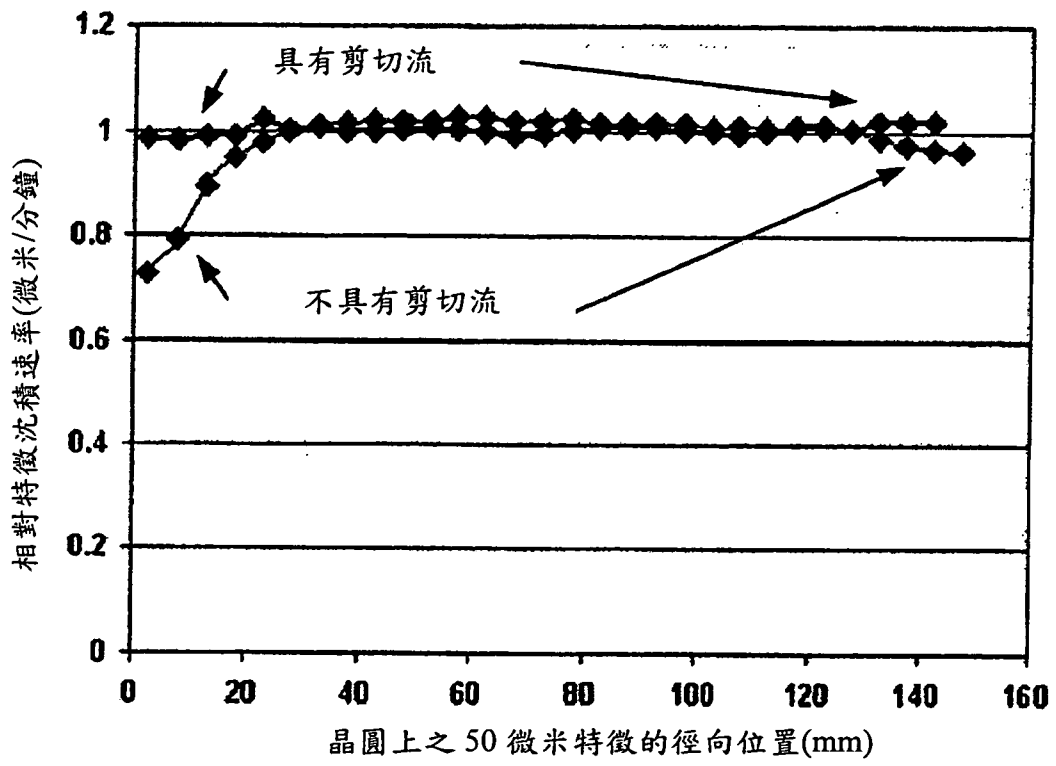


圖13