



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：94144158

※ 申請日期：94年12月13日

※IPC 分類：*H05H 1/10, H01L 21/00*

一、發明名稱：(中文/英文)

用於電漿均勻性與減少元件損壞之對於尖端、螺線管與鏡像場具有最少
直流電線圈的電漿反應器

PLASMA REACTOR WITH MINIMAL D.C. COILS FOR CUSP,
SOLENOID AND MIRROR FIELDS FOR PLASMA UNIFORMITY AND
DEVICE DAMAGE REDUCTION

二、申請人：(共1人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商・應用材料股份有限公司

APPLIED MATERIALS, INC.

代表人：(中文/英文)

鄺錦安

KWONG, RAYMOND K.

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國加州聖大克勞拉市波爾斯大道3050號

3050 Bowers Avenue, Santa Clara, CA 95054, U.S.A.

國籍：(中文/英文)

美國/USA

三、發明人：(共7人)

姓 名：(中文/英文)

1. 霍夫曼丹尼爾 J/HOFFMAN, DANIEL J.

2. 林黎羅傑 A/LINDLEY, ROGER A.

3. 庫特尼麥可 C/KUTNEY, MICHAEL C.
4. 薩理納斯馬丁 J/SALINAS, MARTIN J.
5. 塔法梭利哈米德 F/TAVASSOLI, HAMID F.
6. 堀岡啟二/HORIOKA, KEIJI
7. 布卻柏格道格拉斯 A 二世/BUCHBERGER, DOUGLAS A. JR.

國 稷：(中文 / 英文)

1. 美國/USA
2. 美國/USA
3. 美國/USA
4. 美國/USA
5. 美國/USA
6. 美國/Japan
7. 美國/USA

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項 第一款或 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

美國；2005年1月28日；11/046,656

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

99. 8. 31 日修(英)正替換真
第 941447

號專利案 99年 8 月修正

五、中文發明摘要：

本發明揭示一種用以處理一工作部件之電漿反應器，其包含一真空室及一工作部件支架墊座，其中該真空室藉由一側壁及頂蓋界定，該工作部件支架墊座係具有位於該室內之工作部件支架表面、面對該頂蓋且包含一陰極電極。一RF發電器耦合於該陰極電極。藉由位於覆蓋該工作部件支架表面之第一平面中的外界環狀內部電磁鐵，位於覆蓋該工作部件支架表面之第二平面中且直徑大於該內部電磁鐵的外界環狀外部電磁鐵，及位於覆蓋該工作部件支架表面之第三平面中的外界環狀底部電磁鐵，可控制電漿之分佈。直流電流供應連接於該內部、外部及底部的電磁鐵之各者。

六、英文發明摘要：

A plasma reactor for processing a workpiece, includes a vacuum chamber defined by a sidewall and ceiling, and a workpiece support pedestal having a workpiece support surface in the chamber and facing the ceiling and including a cathode electrode. An RF power generator is coupled to the cathode electrode. Plasma distribution is controlled by an external annular inner electromagnet in a first plane overlying the workpiece support surface, an external annular outer electromagnet in a second plane overlying the workpiece support surface and having a greater diameter than the inner electromagnet, and an external annular bottom electromagnet in a third plane underlying the workpiece support surface. D.C. current supplies are connected to respective ones of the inner, outer and bottom electromagnets.

99年6月3日修(更)正

七、指定代表圖：

(一)、本案指定代表圖為：第 54 圖。

(二)、本代表圖之元件代表符號簡單說明：

40 RF 發電器	45 匹配電路
60 內線圈	65 外線圈
100 反應器室	105 晶圓支架
110 晶圓	115 導體或半導體環
120 介電環	125 導體電極
126 電極組件	127 反應器主體
130 介電密封墊	135 同軸短線
135a 同軸遠端	135b 同軸近端
140 內部圓柱狀導體	145 外部圓柱狀導體
147 絝緣體	150 RF 發電器
150a RF 回傳端	150b RF 電源端
160 同軸分接頭	162 同軸電纜
165 終止導體	170 氣體管線
172 氣體入口	173 冷卻劑管線
174 冷卻劑通道	175 導體外殼
176 導體圓柱體	180 介電環

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明
特徵的化學式。

無

99年8月3日修(具)正

九、發明說明：

本申請案係美國專利申請案序號 10/841,116(標題“CAPACITIVELY COUPLED PLASMA REACTOR WITH MAGNETIC PLASMA CONTROL”，申請日 2004/05/07，發明人 Daniel Hoffman 等人)之部分延續案，該申請案係美國專利申請案序號 10/192,271(申請日 2002/07/09，標題“CAPACITIVELY COUPLED PLASMA REACTOR WITH MAGNETIC PLASMA CONTROL”，發明人 Daniel Hoffman 等人)之分割案，以上皆讓渡予本案之受讓人。

【發明所屬之技術領域】

本發明之實施例關於用於電漿均勻性與減少元件損壞之對於尖端、螺線管與鏡像場具有最少直流電線圈的電漿反應器。

【先前技術】

電容耦合的電漿反應器用於製造具有高長寬比之半導體微電子的結構。此類的結構典型上具有較窄且深的開口，其穿透至少一薄膜而形成在一半導體結構上。電容耦合的電漿反應器用在多個類型的此類裝置製程中，包括介電蝕刻處理、金屬蝕刻處理、化學氣相沈積等。此類反應器亦用在製造微影罩幕及半導體平面顯示器。此類用途取決於電漿離子，以強化或致能所期望之處理。電漿離子在半導體工作部件表面上的密度會影響製程參數，且特別在

製造高長寬比的微電子結構中，這個密度是很關鍵的。事實上，製造高長寬比之微電子積體電路的難題在於，工作部件表面上之電漿離子密度是不均勻的，且會因不均勻的蝕刻速率或沈積速率而導致製程的失敗。

典型的電容耦合反應器具有位於反應器室中的晶圓支架墊座及覆蓋該晶圓支架的頂蓋。該頂蓋包括一氣體分佈板，其可將處理氣體噴入該室。一 RF 電源會施加在該晶圓支架與頂蓋或室壁之間，以撞擊且維持該晶圓支架上方的電漿。一般而言，該室係圓柱形，而該頂蓋及晶圓支架為圓形且與該圓柱形之室同軸以提高製程的均勻度。然而，此類反應器具有不均勻的電漿密度分佈。典型上，電漿離子的徑向密度分佈為，在晶圓支架中央會較高而在周圍則較低，這是一個嚴重的問題。有多樣措施可用以控制電漿離子密度分佈，俾以增進晶圓及工作部件表面上方的製程均勻度，且至少可部份克服這個難題。

一個此類措施即在環繞該反應器室周圍的面上，間距地設置一組面對該室中央的磁線圈。各線圈會供以較低頻的正弦電流，相鄰線圈的正弦電流會在相位上有所偏移，俾以在該晶圓支架上方產生緩慢旋轉的磁場。這樣的特徵易於提高在晶圓支架上方之電漿離子的徑向分佈。當該措施用在反應離子蝕刻之時，則稱之為磁場增強式反應性離子蝕刻 (magnetically enhanced reactive ion etching, MERIE)。該措施具有某些限制。特別的是，磁場強度必須受限，以為防止半導體工作部件上之微電子結構與磁場

強度相關的裝置損壞。磁場強度亦須受限，以防止與磁場強度之改變率相關的反應室電弧放電。因此，MERIE 磁場整體必須實質地降低，且因此必須實質地限制電漿離子密度的均勻度控制。

另一措施稱為可配置磁場 (configurable magnetic fields, CMF)，且利用與上述相同的周圍間隔線圈。但在 CMF 中，會操作該等線圈俾以強加一磁場，其中該磁場由該工作部件支架所在平面的一側跨越延伸至另一側。此外，該磁場可繞著該晶圓支架之軸旋轉，以產生徑向的時間平均磁場。在具有四個並列線圈之反應器的狀況中，可藉由在一對相鄰線圈上裝配一直流電流及在另一對相鄰線圈上裝配不同(或相對)的直流電流而完成。該等線圈會切換為令該樣式旋轉，是故磁場亦會如上述般地產生旋轉。該措施容易因 CMF 磁場的突然切換，而遭受反應室或晶圓電弧放電的問題，故磁場強度必須受限。因此，在某些應用中，磁場強度不足以補償因反應器而產生的電漿離子不均勻性。

因此，我們需要的是能更有效地補償電漿離子密度分佈之不均勻(是故磁場強度可較低)的方式，且磁場中具有較低(或無)的時間變動。

【發明內容】

本發明揭示一種用以處理工作部件的電漿反應器，包括一真空室(其由側壁與頂蓋所界定)及一工作部件支架墊

99年8月3日
三版(四)

座(其具有位於該室中的工作部件支架表面，且面對該頂蓋而包括一陰極)。一RF發電器會耦合至該陰極。藉由位於覆蓋該工作部件支架之第一平面表面的環狀內部電磁鐵、位於覆蓋工作部件支架表面之第二平面表面的環狀外部電磁鐵(其直徑大於該向內電磁鐵)、及位於工作部件支架表面下方之第三平面表面的環狀底部電磁鐵，可控制電漿的分佈。直流電流供應會個別連接至內部、外部及底部電磁鐵。工作部件支架墊座及內部、外部及底部磁鐵皆是同軸的。在一實施例中，該第一平面會覆蓋該第二平面，及該第一與第二平面兩者會覆蓋該第三平面，且該第一、第二與第三平面與工作部件支架的表面是平行的。

該反應器包括一處理器，其控制來自於內部、外部及底部直流電流供應的直流電流。該處理器可在三個模式下操作，即：

一尖端模式，其中該直流電流令該底部電磁鐵及該內部與外部電磁鐵中之一者，在工作部件支架表面產生相等且反向的磁場，

一鏡像模式，其中該直流電流令該底部電磁鐵及該內部與外部電磁鐵中之一者，在工作部件支架表面產生相同的磁場，及

一螺線管模式，其中該直流電流令該等電磁鐵之至少一，在工作部件支架表面產生徑向及軸向的磁場。

對於此三個磁鐵，可將該處理器程式化以搜尋最佳的直流電流組合，以增進位於具有徑向磁場之晶圓處的電漿

離子密度分佈均勻性，且藉由控制(例如，降低)晶圓的軸向磁場來改良裝置損壞的結果。

【實施方式】

特定電漿反應器所展現的電漿離子密度分佈，係室內壓力，氣體混合與擴散，及來源電源放射樣態之函數。在本發明之反應器中，會因磁力而將分佈改變為近似於所選擇的或理想的分佈，即預設為可增進製程均勻性的分佈。因磁力而改變的或校正的電漿離子密度分佈是如此的，是故可增進晶圓或工作部件表面上方的製程均勻性。為此，磁力校正的電漿分佈可能是不均勻的或均勻的，其皆取決於使用者所判定的需求。我們已發現，能夠增進效能的平均磁場強度會施加壓力於電漿，使該電漿之分佈變為期望的樣子。我們可以根據這個發現，而藉由增加磁場梯度的徑向分量，來達成這個驚奇的結果。我們應了解，徑向方向係圓柱室的對稱軸方向。因此，所需的磁場結構是具有較大的徑向梯度及其他方向的較弱磁場強度。這樣的磁場是尖端形的，其對稱軸與圓柱狀反應器室之軸重疊。產生尖端形磁場的一個方法為，在該圓柱室上方及下方設置線圈，且直流電流以相反方向流過該等線圈。

依反應器室的設計，在晶圓墊座下方設置一線圈是行不通的，而因此在一第一狀況中，一頂部線圈即可滿足這些目的。此外，所需的是希望為了能夠準確地控制或改變電漿離子在已知之電漿反應器室中的分佈(環繞之電漿離

子分佈)，而令尖端形磁場成為可配置的或可調整的。因為不同的電容耦合反應器所提供的電漿離子分佈會有極大差異，這樣的可調整度在某些狀況中是很基本的。磁場梯度的徑向分量是可選擇的，以施加為了令環繞之分佈變為所期望之分佈所需的磁壓。例如，若所期望之分佈係一均勻分佈，則可選擇所施加之磁場，以當磁場不存在之時，抵消反應器所展現之電漿離子密度徑向分佈的不均勻性。在這個狀況中，例如，若該反應器易於具有中央較高的電漿離子密度分佈，則可選擇磁場的梯度，以維持該晶圓支架墊座上方的電漿密度，及提高周圍的電漿密度以達成均勻性。

根據我們的發現，可藉由提供除了第一線圈的至少一個不同(例如，較小的)直徑之第二頂上線圈，來達成此類的尖端形磁場之可調整性。個別線圈的直流電流可彼此無關地調整，俾以允許該尖端形磁場之配置，以高度靈活的方式來將任何的周圍電漿離子分佈，實際地變成近似於某種期望的電漿離子分佈。可為了調適中央較高或中央較低的電漿離子密度分佈，而設計這樣的磁場配置選擇。

可實現的優點是雙倍的，因為該尖端形磁場關於磁場強度會具有較大的徑向梯度(如上述般)，故因此，可高度有效地在電漿上施加校正的壓力；然而，因為磁場不因時間而變動，幾乎不可能有電弧放電發生的傾向，故因此當需要之時，為了達到更強的校正能力，可利用稍微更強的磁場。在本申請案下文中的敘述中，該特徵對於較高的反

應器室壓力會很有幫助。

第 1A 圖繪示一電容耦合的電漿反應器，其可提供可調整的尖端形磁場。第 1A 圖之反應器包括一圓柱狀側壁 5，作為氣體分佈板的頂蓋 10，及支撐一半導體工作部件 20 的晶圓支架墊座 15。該頂蓋 10 或氣體分佈板係可導電，俾以令其當作一陽極使用，或具有一陽極附著於其上。該頂蓋 10 或氣體分佈板典型上由鋁製成，且在其面對該反應器室的內部表面上具有一內部氣體歧管及多個氣體注入孔。一處理氣體供應 25 會將處理氣體供給該氣體分佈板 10。一真空泵 30 可控制該反應器室內的壓力。經由一阻抗匹配電路 45 而連接至該晶圓支架墊座 15 的 RF 發電器 40，可產生用以點燃且維持該反應器室內之電漿的電漿來源電源，是故該晶圓支架墊座 15 可當作一 RF 電極使用。該陽極(其可為由一導體材料所形成的頂蓋 10)會連接至 RF 地線，是故可當作計時器電極使用。這樣的反應器易於具有極不均勻的電漿離子密度分佈，且典型上是中央較高的。

第 1B 圖繪示一特徵，其中該頂蓋 10 不同於第 1A 圖中那般的直接接地，該頂蓋 10 會經由一 RF 阻抗匹配元件 11(其僅示意性顯示)而連接至一 VHF 信號產生器 12，其供給該電漿來源電源。這此狀況中，該 RF 發電器 40 僅控制該半導體晶圓或工作部件上的 RF 偏壓。(該 RF 阻抗匹配元件 11 可以是固定調諧元件，例如，同軸調諧短線或帶狀線電路。)這樣的特徵會在稍後做更進一步的細節討論。

為了控制電漿離子密度的分佈，會在該頂蓋 10 上方設置一組誘導線圈。在第 1A 圖的狀況中，該組線圈包括一內線圈 60 及一外線圈 65，該二者與該圓柱狀室是同軸的，且各者會組成一導體的單一繞捲線圈。第 1A 圖中所繪示的繞捲線圈 60, 65 皆是單圈的，各者會組成垂直設置的複數個圈，例如像第 1B 圖中所示般。或者，如第 1C 圖所示者，該繞捲線圈 60, 65 會往垂直方向及水平方向等兩方面延伸。在第 1A 圖的狀況中，在該頂蓋 10 的上方，該內線圈 60 的設置高於該外線圈 65。然而，在其他狀況中，可保有如此之設置，或該二線圈 60, 65 亦可位於該頂蓋 10 上方的相同高度之處。

在第 1A 圖及第 1B 圖的狀況中，一控制器 90 可藉由控制彼此無關的直流電流供應 70, 75，而判定流往個別頂上線圈 60, 65 之電流的強度及極性，該等直流電流供應 70, 75 連接至個別的線圈 60, 65。此刻，參照第 2 圖，所繪示的狀況為，控制器 90 管理由一直流電流供應 76 流往該等線圈 60, 65 的直流電流，該直流電流供應 76 經由該控制器 90 而供給電流，該控制器 90 會連接至個別線圈 60, 65。在另一狀況中，該控制器 90 可令不同極性及強度的直流電流，流往不同的線圈 60, 65。在第 2 圖的狀況中，該控制器 90 包括一對電位計 82a, 82b，其可調整供應到個別線圈 60, 65 及一對聯動開關 84a, 84b 的直流電流，該對聯動開關 84a, 84b 可彼此無關地判定供給各線圈 60, 65 之直流電流的極性。一可程式化之裝置(例如，微處理

器 91)可包括在該控制器 90 中，俾以人工智慧來管理該等電位計 82a, 82b 及該對聯動開關 84a, 84b。

第 1A 圖，第 1B 圖及第 1C 圖所繪示之二線圈 60, 65 的設置可提供某些優點，其中在該頂蓋 10 上方，該內線圈 60 的設置係高於該外線圈 65。特別的是，由任一線圈所提供的磁場梯度之徑向分量，會至少粗略地正比於該線圈半徑，且與距離該線圈的軸向位移成反比。因此，該內部及外部線圈 60, 65 因為不同的大小及位移量，故可執行不同的功能。因為該外線圈 65 的較大半徑及較靠近該晶圓 20，故可主導該晶圓 20 的整個表面，而該內線圈 60 在靠近該晶圓中央之處具有最大的影響力且可視為一微調線圈以用於精細地調整或雕塑該磁場。其他的設置則可藉由不同的線圈，其具有不同的半徑及設置在相距於電漿不同的位移量，而實現不同的控制。在下文參照某些操作範例的稍後討論中，不僅可藉由選擇在個別頂上線圈(60, 65)流動的不同電流強度，來改變周圍電漿離子密度的不同分佈，亦可藉由選擇在不同頂上線圈中之不同極性及方向的電流來達成之。

第 3A 圖繪示第 1A 圖的狀況中，該內線圈 60 所產生之磁場的徑向(實線)分量及方位角(虛線)，其係該晶圓 20 上之徑向位置的函數。第 3B 圖繪示該外線圈 65 所產生之磁場的徑向(實線)分量及方位角(虛線)，其係該晶圓 20 上之徑向位置的函數。第 3A 圖及第 3B 圖所繪示的資料可在實作中獲得，其中該晶圓 20 之直徑係 300 公厘，該內線圈

60 之直徑係 12 吋及設置在該電漿上方 10 吋處，且該外線圈 65 之直徑係 22 吋及設置在該電漿上方約 6 吋處。第 3C 圖係該內部及外部頂上線圈 60, 65 所產生之半尖端形磁場線樣態的簡化圖。

第 2 圖之控制器 90 可改變施加於個別線圈 60, 65 的電流，以為了調整晶圓表面的磁場，及藉以改變電漿離子密度的空間分佈。現將說明的是在線圈 60, 65 中之各者施加不同磁場的效果，以說明該控制器 90 如何藉由改變其磁場，而深切地影響且改良該反應器室內的電漿離子分佈。在以下的範例中，係直接測量晶圓表面上的蝕刻速率之空間分佈(而不是電漿離子分佈)。蝕刻速率分佈會隨著電漿離子分佈而直接改變，故因此其中一者之改變即可反應另一者的改變。

第 4A 圖，第 4B 圖，第 4C 圖及第 4D 圖繪示在低室內壓力(30mT)時僅使用內線圈 60，所獲得的良好效果。第 4A 圖繪示蝕刻速率的量側值(縱軸/Z 軸)，其係晶圓 20 表面位置(橫軸/X 及 Y 軸)的函數。因此，第 4A 圖繪示晶圓表面之平面上的蝕刻速率之空間分佈。在第 4A 圖中清晰可見的是，中央較高之蝕刻速率分佈的不均勻性。第 4A 圖可對應到未施加磁場的狀況，故可因此而說明不均勻的蝕刻速率分佈，其中該不均勻的蝕刻速率分佈為反應器中所固有的且需要校正的。蝕刻速率在該狀況中具有 5.7% 的標準差。在第 4 圖及第 5 圖中，磁場強度會如靠近晶圓中央的軸向磁場所述般，雖然應了解徑向磁場為作用在電漿

離子密度的徑向分佈上而可增進均勻性。在這個敘述中可選擇軸向磁場，因其更易於測量。晶圓邊緣處的徑向磁場，典型上約為該處之軸向磁場的三分之一。

第 4B 圖繪示當供能予該內線圈 60 而產生 9 高斯的磁場之時，蝕刻速率分佈的改變方式。不均勻度會降低到 4.7% 的標準差。

第 4C 圖中，該內線圈 60 的磁場已增加到 18 高斯，且可見的是在中央之峰值已大幅降低，結果為晶圓上之蝕刻速率的標準差會降低到 2.1%。

第 4D 圖中，該內線圈 60 的磁場會再增加至 27 高斯，是故第 4A 圖中央較高的樣態幾乎要扭轉為中央較低的樣態了。在第 4D 圖之狀況中，晶圓表面的蝕刻速率之標準差為 5.0%。

第 5A 圖，第 5B 圖，第 5C 圖及第 5D 圖繪示在較高室內壓力 (200 mT) 時使用二線圈 60, 65 的良好效果。第 5A 圖與第 4A 圖對應，且繪示藉由磁場所校正之反應器的中央較高之蝕刻速率不均勻度。在這個狀況中，晶圓表面之蝕刻速率的標準差係 5.2%。

在第 5B 圖中，會供能予該外線圈 65，以產生 22 高斯的磁場，其稍微降低了蝕刻速率分佈的中央峰值。在這個狀況中，蝕刻速率的標準差已降低到 3.5%。

在第 5C 圖中，會供能予該二線圈 60, 65，以產生 24 高斯的磁場。第 5C 圖中所見的結果即，蝕刻速率分佈的中央峰值已大幅降低，而靠近周邊的蝕刻速率則增加了。

整體效果為其蝕刻速率分佈更為均勻而獲得低的標準差 3.2%。

在第 5D 圖中，會供能予該二線圈，以產生 40 高斯的磁場，而導致了過度校正，是故晶圓表面上的蝕刻速率分佈會轉變為中央較低的分佈。此狀況的蝕刻速率標準差會稍微提升(相對於第 5C 圖的狀況)至 3.5%。

比較在第 4A 圖至第 4D 圖的低壓測試與在第 5A 圖至第 5D 圖的高壓測試所獲得的結果可知，較高的室壓需要更高的磁場來達成對蝕刻速率不均勻分佈的相似校正。例如，在 30mT 時，可在 18 高斯時僅使用該內線圈 60 即可獲得最佳校正，而在 300mT 時，需要 24 高斯的磁場且使用該二線圈 60, 65 才可達到最佳校正。

第 6 圖顯示頂上線圈的磁場，會大幅影響電漿離子密度或蝕刻速率分佈的均勻性，但不會大幅影響蝕刻速率本身。這是一個優點，因為我們期望較佳為增進蝕刻速率分佈的均勻性，而不改變針對特定半導體程序所選擇的蝕刻速率。在第 6 圖中，菱形符號代表蝕刻速率(左側縱軸)的量測值，其係磁場(橫軸)的函數，而方形符號則代表蝕刻速率的標準差(不均勻度/右側縱軸刻度)，其係磁場的函數。繪示範圍中之不均勻度的改變約為一倍大小，而蝕刻速率的改變僅約 25%。

第 1A 圖，第 1B 圖及第 1C 圖的頂上線圈電感器 60, 65 可與習用 MERIE 反應器一起使用。第 7 圖及第 8 圖所繪示的狀況與第 1A 圖對照為，前者具有的額外特徵為四

個習用 MERIE 電磁鐵 92, 94, 96, 98 及一個 MERIE 電流控制器 99。該電流控制器 99 可提供交流電流於個別的 MERIE 電磁鐵 92, 94, 96, 98。個別電流皆具有相同的低頻率，但其相位角偏移為 90° ，俾以在反應器室中以習用方式產生緩慢旋轉的磁場。

使用頂上線圈控制電漿分佈：

根據反應器的一方法，在一特定反應器中固有的晶圓表面電漿離子密度分佈，會藉由選擇該等頂上線圈 60, 65 所產生的特定磁場之一特定方式進行配置。例如，電漿分佈可配置為在晶圓表面上方產生更均勻的蝕刻速率分佈。例如，可藉由將該控制器 90 程式化以選擇該等頂上線圈中之直流電流的最佳極性及安培數，來完成配置。雖然本範例涉及僅具有二共圓心之頂上線圈(即，線圈 60 及 65)的反應器，該方法可以二個以上的線圈實行之，且使用較多的頂上線圈可提供更精確的結果。藉由該控制器 90 可配置磁場，以改變晶圓表面上的電漿離子密度分佈，而接著影響蝕刻速率分佈。

第一步驟為，在來自頂上線圈 60, 65 的任何校正磁場不存在之時，測量晶圓表面上的蝕刻速率分佈。下一步驟為，判定電漿離子密度分佈的改變，其令蝕刻速率分佈更為均勻。最後的步驟為，判定可產生期望的電漿離子密度分佈之改變的磁場。提供這樣的磁場，則可以由習知的靜電磁場方程式計算得到產生該磁場所須之頂上線圈 60, 65

中的電流大小及方向。

我們發現了一個計算的方式，可利用磁場、電漿上之頂上線圈 60, 65 之磁場所施加的壓力(亦稱為磁壓)。在下文中會再討論之。在電漿上的磁壓會產生電漿離子密度分佈的改變。電漿離子密度分佈的改變會產生晶圓表面上之蝕刻速率分佈的正比之改變，這是可以直接觀察到的。因此，晶圓表面上的電漿離子密度分佈與蝕刻速率分佈至少會具有粗略相關的比例係數。

開始之時，在施加頂上線圈 60, 65 所產生的磁場之前，會先測量晶圓表面之蝕刻速率的空間分佈。由此，可判定蝕刻速率分佈的期望改變(俾以達成均勻分佈)。接著，各頂上線圈 60, 65 所產生之磁場的空間分佈(其係該室內之位置及線圈中之電流的函數)可由各線圈的幾何形狀分析判定出來。接著，藉由施加習知的電流組到該等線圈，且接著測量晶圓表面之蝕刻速率分佈的最終改變值，可推演出一線性比例係數，其中磁場的(其來自晶圓表面上的所有線圈)向量之和與晶圓表面之蝕刻速率分佈的改變有關。(該比例係數大致上係電漿之自然壓力的函數，且直至約 500mT 室壓以上仍適用。)因此，給予蝕刻速率分佈的期望改變或校正(以為達到了較佳的均勻性)即可(以下文中即將敘述的方式)發現必要的磁場，且可由此而使用先前分析判定出來的磁場空間分佈函數，來推導出對應的線圈電流。

可使用多種方式來建立對於蝕刻速率分佈之不均勻度

的期望校正。例如，由均匀或平均的蝕刻速率減去晶圓表面的二維蝕刻速率分佈，可產生一「差別」分佈。欲以該方法校正的蝕刻速率分佈之不均勻度，係反應器室中多樣因素的結果，包括電容耦合之來源電源的不均勻施加、不均勻的處理氣體分佈、以及不均勻的電漿離子密度分佈。在上述方法中，可藉由磁壓來改變電漿離子密度分佈，而校正不均勻性。

亦可利用以下方法，來建立經過校正的電漿分佈，其在某個期望觀點中係不均勻。在這個狀況中，待實行的校正即，未校正的或周圍電漿離子密度分佈，與期望分佈(其本身是不均勻的)間之差。因此，該方法對於欲令該電漿密度分佈更為均勻或具有選定之特殊密度分佈樣態(未必是均勻的)，是很有幫助的。

此刻，參照第 9 圖來描述用以實行上述方法的一系列步驟。

第一步(第 9 圖之方塊 910)係針對各頂上線圈 60, 65, 分析地判定晶圓表面之磁場的表示式，其係晶圓表面之線圈及徑向位置之電流的函數。使用圓柱座標，對於第 i 個線圈，表示法可寫成 $B_i(r, z = \text{晶圓}, I_i)$ 。可使用必歐-沙伐定律(Biot-Savart law)而以極直接的方式來判定之。

下一步驟(第 9 圖之方塊 920)會在無電流流經該等頂上線圈 60, 65 之時實行。在這個步驟中，可測得電漿離子密度在晶圓表面上的空間分佈。該空間分佈可寫成 $n(r, z = \text{晶圓})$ 。在這個步驟中，可藉由測量測試晶圓表面的蝕刻速

率分佈，而間接測量電漿離子密度分佈。熟習該項技藝的工作者，可由蝕刻速率分佈輕鬆地推導出電漿離子密度分佈。

接著，在方塊 930 的步驟中，可判定對於在上一步驟中測得之電漿離子密度空間分佈函數 $n(r, z=晶圓)$ 的校正 $c(r)$ 。可以任何適當方法來定義該校正 $c(r)$ 。例如，其可定義為最大值 $n(r, z=晶圓)_{max}$ 減去 $n(r, z=晶圓)$ 。依此方式，將 $c(r)$ 加入 $n(r, z=晶圓)$ ，可獲得經校正的分佈，其平均振幅等於 $n(r)_{max}$ 。當然，校正函數 $c(r)$ 可以不同方式定義而產生不同的均勻振幅。或者，如上文的簡潔敘述般，若期望的分佈是不均勻的，則其校正為期望之分佈與 $n(r, z=晶圓)$ 間之差。

下一步驟(方塊 940)為，針對各頂上線圈 60, 65 來選擇一測試電流 I_i ，且施加該電流予適當的線圈，且測量所得的電漿離子分佈，其中該所得的電漿離子分可寫成 $n(r, z=晶圓)_{test}$ 。藉由減去當磁場存在及不存在之時所測得的離子分佈，即可獲得離子分佈的改變 $\Delta n(r)$ ：

$$\Delta n(r) \approx n(r, z=晶圓) - n(r, z=晶圓)_{test}$$

下一步驟(方塊 950)為，計算一比例係數 S ，其中壓力(其係磁場所施加，即磁壓)梯度與離子分佈的改變 $\Delta n(r)$ 有關。將該磁壓除以 $\Delta n(r)$ ，即可執行這個計算。可根據磁流體動力學之方程式，而針對各線圈來個別計算第 i 個線圈之磁場 $B(r, z=晶圓, I_i)$ 的磁壓梯度：

$$\nabla_r P \approx -\nabla_r [B(r, z=晶圓, I_i)^2 / 2\mu_0]$$

其中下標 r 表示徑向分量。因此，針對各線圈所個別獲得的結果，可加總在一起。因此，總磁壓梯度為：

$$-\nabla_r \{ \sum_i [B(r, z=\text{晶圓}, I_i)^2 / 2\mu_0] \}$$

因此，該比例係數 S 為：

$$S = \{ -\nabla_r \{ \sum_i [B(r, z=\text{晶圓}, I_i)^2 / 2\mu_0] \} \} / \Delta n(r)$$

在不同的 r 值時可實行該除法操作，且可求得其結果的平均值，以獲得比例形式的 S 。此外，該比例係數 S 可以是 R 的函數，且以適宜的方式使用。

在方塊 950 之步驟中所發現的比例係數 S ，為判定磁壓與所得離子分佈改變的線圈電流 I_i 之間的連結。特別的是，給定一組線圈電流 I_i ，則可藉由乘上磁壓而計算出對應的離子分佈 $n(r)$ 之變化，其中該磁壓由該組 I_i 而藉由比例係數 S 來判定：

$$\Delta n(r) = \{ -\nabla_r \{ \sum_i [B(r, z=\text{晶圓}, I_i)^2 / 2\mu_0] \} \} / S$$

這個事實可提供基礎予下一步驟(方塊 960)，其中一電腦(例如，微處理器 91)可使用上述方程式來搜尋一組線圈電流 I_i ，其可產生最接近預先指定或期望的電漿離子密度分佈之改變 $\Delta n(r)$ 的最佳近似值。在這個狀況中，期望的改變等於在方塊 930 之步驟中所計算的校正函數 $c(r)$ 。即，電腦會搜尋可滿足以下條件的一組線圈電流 I_i ：

$$\{ -\nabla_r \{ \sum_i [B(r, z=\text{晶圓}, I_i)^2 / 2\mu_0] \} \} = c(r)S$$

該搜尋之實行可藉由習知的最佳化技術，其涵括(例如)急遽遞減法。熟習該項技藝者可輕易地實行此類的技術，故不需在此贅述。

藉由搜尋而發現的該組線圈電流 I_i 的大小與極性，會接著傳送到該控制器 90，其接著會施加該等電流於個別線圈 60, 65。

第 10 圖比較了磁壓(實線)與所量得的電漿離子分佈之改變(虛線)，其係晶圓表面之徑向位置的函數。如上述般，該磁壓係頂上線圈之磁場的平方之梯度。第 10 圖指出了，磁壓與離子密度分佈的改變之間有相當的關聯性。

第 11 圖至第 14 圖繪示了該方法的應用。第 11 圖繪示晶圓表面的蝕刻速率空間分佈之不均勻度或標準差(縱軸)如何隨著頂上線圈中之一者的線圈電流改變。在無線圈電流時，標準差約為 12%，及第 12 圖中顯示了離子分佈為中央較高。

在約 17 安培的線圈電流時，可達到約 3% 的最低不均勻度。這表示約 4 倍的改進(即，蝕刻速率分佈的標準差由 12% 至 3%)。第 13A 圖顯示了蝕刻速率分佈的實際值或測量值，而第 13B 圖顯示了使用第 9 圖的技術時所預測的蝕刻速率分佈。

在 35 安培的高線圈電流時，蝕刻速率標準差約為 14%。第 14A 圖顯示了蝕刻速率空間分佈的測量值，而第 14B 圖顯示了分佈的預測值。

請再參閱第 13A 圖，所獲得的最均勻離子分佈顯然不是最平坦的，且事實上其形狀為碗形，在靠近周圍時係成凹面，而靠近中央時則會凸面。在使用較多的獨立頂上線圈(例如，三個或更多)時，電流之最佳值的施加可帶來較

大解晰度及較佳均勻度的結果。因此，該反應器不受限於僅具有二線圈的狀況。該反應器應可以使用低於二個或至少二個的頂上線圈來進行實作，以獲得不同的結果。

可應用相同的方法，以控制頂蓋表面的電漿離子密度分佈或蝕刻速率分佈。這樣的措施在(例如)反應器室淨化操作期間是有用的。第 15 圖繪示第 9 圖之方法的態樣，其中離子密度(或蝕刻速率)之空間分佈的均勻度可最佳化。第 15 圖的步驟(即方塊 910'，920'，930'，940'，950' 及 960')與第 9 圖的步驟(即方塊 910，920，930，940，950 及 960)是相同的，除了第 15 圖的步驟在頂蓋平面上實行，而非在晶圓平面：

第一步驟(第 15 圖之方塊 910')為，針對各頂上線圈 60，65，分析地判定頂蓋表面之磁場的表示式，其係晶圓表面之線圈及徑向位置之電流的函數。使用圓柱座標，對於第 i 個線圈，其表示法可寫成 $B_i(r, z = \text{頂蓋}, I_i)$ 。可由簡單靜電磁場方程式判定之，且其不僅是線圈電流 I_i 及頂蓋表面之徑向位置 r 的函數，而且還是某些常數的函數，例如，線圈半徑及線圈與頂蓋內部表面之間的距離， $z = \text{頂蓋}$ 。

下一步驟(第 15 圖之方塊 920')會在無電流流經該等頂上線圈 60，65 之時實行。在這個步驟中，可測得電漿離子密度在頂蓋表面上的空間分佈。該空間分佈可寫成 $n(r, z = \text{頂蓋})$ 。在這個步驟中，可藉由習用探針或其他的間接技術，而測量出電漿離子密度分佈。

接著，在方塊 930' 的步驟中，可判定對於在上一步驟

中測得之電漿離子密度空間分佈函數 $n(r, z=頂蓋)$ 的校正 $c'(r)$ 。(應注意的是，此處所用的上標'，係為了分辨第 15 圖與上述之第 9 圖的數值，在本文中並不代表導函數。)可以任何適當方法來定義該校正 $c'(r)$ 。例如，可定義為最大值 $n(r, z=頂蓋)_{max}$ 減去 $n(r, z=頂蓋)$ 。依此方式，將 $c'(r)$ 加入 $n(r, z=頂蓋)$ ，可獲得經校正的分佈，其均勻振幅等於 $n(r)_{max}$ 。當然，校正函數 $c'(r)$ 可以不同方式定義，而產生不同的均勻振幅。亦，若期望特殊的不均勻分佈，則其校正為未經校正或周圍的電漿分佈 $n(r, z=頂蓋)$ 與期望的分佈之間之差。因此，該方法可用來建立期望的電漿離子分佈(其具有特殊的不均勻樣態)或建立均勻的電漿離子密度分佈。

下一步驟(方塊 940')為，針對各頂上線圈 60, 65 來選擇一測試電流 I_i ，且施加該電流予適當的線圈，且測量所得的電漿離子分佈，其中該所得的電漿離子分佈可寫成 $n(r, z=頂蓋)_{test}$ 。藉由減去當磁場存在及不存在之時所測得的離子分佈，即可獲得離子分佈的改變 $\Delta n(r)$ ：

$$\Delta n'(r) \approx n(r, z=頂蓋) - n(r, z=頂蓋)_{test}$$

下一步驟(方塊 950')為，計算一比例係數 S' ，其中壓力(其係磁場所施加，即磁壓)梯度與離子分佈的改變 $\Delta'n(r)$ 有關。將該磁壓除以 $\Delta'n(r)$ ，即可執行這個計算。可根據磁流體動力學之方程式，而針對各線圈來個別計算第 i 個線圈之磁場 $B(r, z=頂蓋, I_i)$ 的磁壓梯度：

$$\nabla_r P \approx -\nabla_r [B(r, z=頂蓋, I_i)^2 / 2\mu_0]$$

其中下標 r 表示徑向分量。因此，針對各線圈所個別獲得的結果，可加總在一起。因此，總磁壓梯度為：

$$-\nabla_r \{ \sum_i [B(r, z=\text{頂蓋}, I_i)^2 / 2\mu_0] \}$$

因此，該比例係數 S 為：

$$S' = \{ -\nabla_r \{ \sum_i [B(r, z=\text{頂蓋}, I_i)^2 / 2\mu_0] \} \} / \Delta n'(r)$$

在方塊 950' 之步驟中所發現的比例係數 S' ，為判定磁壓與所得離子分佈改變的線圈電流 I_i 之間的連結。特別的是，給定一組線圈電流 I_i ，則可藉由乘上磁壓而計算出對應的離子分佈 $n'(r)$ 之變化，其中該磁壓由該組 I_i 而藉由比例係數 S' 來判定：

$$\Delta n'(r) = \{ -\nabla_r \{ \sum_i [B(r, z=\text{頂蓋}, I_i)^2 / 2\mu_0] \} \} / S'$$

這個事實可提供基礎予下一步驟(方塊 960')，其中一電腦(例如，微處理器 91)可使用上述方程式，來搜尋一組線圈電流 I_i ，其可產生最接近預先指定或期望的電漿離子密度分佈之改變 $\Delta n'(r)$ 的最佳近似值。在這個狀況中，期望的改變等於在方塊 930' 之步驟中所計算的校正函數 $c'(r)$ 。即，電腦會搜尋可滿足以下條件的一組線圈電流 I_i ：

$$\{ -\nabla_r \{ \sum_i [B(r, z=\text{頂蓋}, I_i)^2 / 2\mu_0] \} \} = c'(r) S'$$

該搜尋之實行可藉由習知的最佳化技術，其涵括(例如)急遽遞減法。熟習該項技藝者可輕易地實行此類的技術，故不需在此贅述。

藉由搜尋所發現的該組線圈電流 I_i 之大小及極性會接著傳送至該控制器 90，其會接著施加該等電流至個別線圈 60, 65。

經由唯一頂上線圈時，該裝置可用以令晶圓處或頂蓋處的電漿離子分佈均勻性最佳化，但無法同時達成該二處的最佳化。經由至少二頂上線圈(例如，頂上線圈 60 及 65)時，電漿離子分佈均勻性可同時在晶圓處及頂蓋處達到幾近最佳化。

使用該等頂上線圈來引導電漿：

我們已發現可以一方式選擇線圈電流 I_i ，俾以引導電漿朝向該頂蓋及/或側壁移動，或引導電漿朝向該晶圓表面移動。亦可使用與第 9 圖之方法相似的方式，來選擇該線圈電流 I_i ，俾以增進頂蓋表面處之電漿密度分佈的均勻性。因此，可在晶圓處理期間集中電漿，及接著在淨化期間令電漿集中於頂蓋及/或側壁。因此，藉由將電漿集中在該頂蓋，即可縮短淨化時間。

在一範例中，會藉由控制器 90 施加 -17.5 安培之電流於該內線圈 60 及施加 +12.5 安培之電流於該外線圈 65，而引導電漿前往該反應器室的側壁。第 16 圖繪示反應器室內部之徑向部份，其係由零半徑往該室周圍而沿著橫軸延伸，及由該晶圓表面往該頂蓋而沿著縱軸延伸。當藉由控制器 90 施加 -17.5 安培之電流於該內線圈 60，及 +12.5 安培之電流於該外線圈 65，而引導電漿朝向該室內側壁前進之時，第 16 圖的小型箭頭代表磁場在該室內不同位置的大小及方向。第 17 圖繪示晶圓表面之磁場的平方對應梯度，其係徑向位置的函數。

在另一範例中，會藉由控制器 90 施加 -12.5 安培之電流於該內線圈 60 及施加 +5 安培之電流於該外線圈 65，而引導電漿前往該反應器室的頂部。第 18 圖繪示反應器室內部之徑向部份，其係由零半徑往該室周圍而沿著橫軸延伸，及由該晶圓表面往該頂蓋而沿著縱軸延伸。當藉由控制器 90 施加 -12.5 安培之電流於該內線圈 60，及 +5 安培之電流於該外線圈 65，而引導電漿朝向該室內側壁前進之時，第 18 圖的小型箭頭代表磁場在該室內不同位置的大小及方向。第 19 圖繪示晶圓表面之磁場的平方對應梯度，其係徑向位置的函數。

在另一範例中，會藉由控制器 90 施加 -25 安培之電流於該內線圈 60 及施加 +2.75 安培之電流於該外線圈 65，而引導電漿沿著由該頂蓋中央往該側壁的磁場方向移動。第 20 圖繪示反應器室內部之徑向部份，其係由零半徑往該室周圍而沿著橫軸延伸，及由該晶圓表面往該頂蓋而沿著縱軸延伸。當藉由控制器 90 施加 -25 安培之電流於該內線圈 60，及 +2.5 安培之電流於該外線圈 65，而引導電漿朝向該室內側壁前進之時，第 20 圖的小型箭頭代表磁場在該室內不同位置的大小及方向。第 21 圖繪示晶圓表面之磁場的平方對應梯度，其係徑向位置的函數。

第 17 圖顯示出，當引導電漿前往邊緣時，電漿的高正磁壓會施加在靠近該反應器室的邊緣。第 19 圖顯示出，當引導電漿前往該頂蓋的邊緣時，電漿的低磁壓會施加在靠近該反應器室的邊緣。第 21 圖顯示出，當磁場線由該頂蓋

往邊緣延伸之時，低負壓會出現在該反應器室的邊緣。

因此，可選擇頂上線圈 50, 65 中的電流，以引導電漿前向該反應器室中的不同位置(其需要淨化，例如其頂蓋及側壁)。或者，電漿可集中在更靠近晶圓之處。為了將電漿引導至該晶圓處或該頂蓋處，或為了根據某引導比值 S_R 而將電漿分配於該晶圓與該頂蓋之間，則可實行第 22 圖中所繪示的方法。

參照第 22 圖，第一步驟(第 22 圖之方塊 2210)為定義該室內之磁場的分析模型，其係頂上線圈(例如，該對線圈 60, 65)中之所有線圈電流的函數。熟習該項技藝者可使用靜電磁場方程式，輕易地完成該定義，在此不需另加贅述。該磁場係來自各線圈之個別磁場的總和。個別磁場中的各者係以下各者的函數：個別線圈的直徑、各線圈的位置、線圈中之電流及該室內之位置。因此，第 i 個線圈所產生的磁場可寫成：

$$B(x, y, z, I_i)$$

是故總磁場為：

$$\Sigma_i \{B(x, y, z, I_i)\}$$

下一步驟(方塊 2220)為選擇一組磁場，其中該組磁場可滿足一組期望的處理條件。例如，為了引導電漿前往該頂蓋，會選擇可對該電漿產生磁壓而將該電漿推往該頂蓋之一磁場，如第 18 圖之範例所繪示般。為了將電漿引導為朝向側壁前進，可選擇對該電漿流生一磁壓而將該電漿推往周圍之一磁場，如第 16 圖所繪示般。

對於方塊 2220 之步驟中所定義的各磁場(其可滿足特殊條件)而言，一電腦會為了在方塊 2210 之步驟所定義的模型而搜尋一組線圈電流，其中該組線圈電流可產生期望的磁場。這是方塊 2230 之下一步驟。在方塊 2230 之步驟中所發現的各組電流，會與記憶位置中的對應條件之名稱一起進行儲存，其中該記憶位置與對應的處理條件相關(第 22 圖之方塊 2240)。當選擇一特殊的處理條件(例如，將電漿引導至該頂蓋)之時，該微處理器 91 會接著由對應之記憶體位置，取得該組電流值(方塊 2250)，及接著令該等對應電流施加於合適的線圈(方塊 2260)。

第 23 圖顯示如何將微處理器 91 程式化以回應使用者之輸入。首先做一判定：該處理是否包括晶圓表面的蝕刻(方塊 2310)及無論該程序是否包括淨化(蝕刻)該頂蓋(方塊 2320)。若僅該晶圓將進行蝕刻，則會引導該電漿往該晶圓前進(方塊 2330)，及該晶圓表面的電漿分佈均勻性會使用第 9 圖的方法而達到最佳(方塊 2350)。若該頂蓋進行淨化且同時該晶圓必須進行蝕刻，則該電漿密度會分配在該頂蓋與該晶圓之間(方塊 2360)，且如同第 9 圖般，晶圓表面處的電漿密度均勻性會最佳化，及如同第 15 圖般，該頂蓋處者會最佳化(方塊 2370)。若僅該頂蓋將進行淨化，則會引導該電漿往該頂蓋前進(方塊 2380)，且該頂蓋處的電漿密度均勻性會最佳化(方塊 2390)。

與 VHF 頂上電極一起使用：

第 24 圖繪示該內部及外部線圈 60, 65 與一電容耦合之反應器組合在一起的方法，該反應器具有經由一固定調諧短線而連接至一 VHF 電漿來源發電機之一頂上電極。此類的反應器見於美國專利申請案序號 10/028,922(申請日 2001/12/19，發明人 Daniel Hoffman 等人，名稱“Plasma Reactor with Overhead RF Electrode Tuned to the Plasma”，讓渡予本發明受讓人)，該文獻以引用的方式併入本文中。

參照第 24 圖，一電漿反應器包括一反應器室 100，其底部之晶圓支架 105 會支撐一半導體晶圓 110。在示範性實作中，一製程工具組包括一導電或半導電環 115，其藉由一介電環 120 而支撐在一接地室主體 127 上。該室 100 之頂部被一碟狀頂上導電電極 125 所界定，該電極 125 藉由一介電密封墊 130 而被支撐距離該接地室主體 127 上之晶圓 110 上方一溝隙長度。在一實作中，該晶圓支架 105 可依垂直方向移動，是故該溝隙長度可改變。在其他的實作中，該溝隙長度可以是固定的預設長度。頂上電極 125 可以是使用類金屬材料(例如，矽或碳化矽)來覆蓋在其內表面上之金屬(例如，鋁)，或其本身可以是類金屬材料。一 RF 發電機 150 可施加 RF 電力於該電極 125。來自該發電機 150 的 RF 電力，會經由一同軸電纜 162 且進入一同軸短線 135 而產生耦合，其中該同軸電纜 162 匹配至該發電機 150，且該同軸短線 135 連接至該電極 125。該短線 135 具有一特徵阻抗，並且提供在該電極 125 與該同軸電

纜 162 或與該 RF 發電機 150 的輸出之間一共振頻率，這在下文中會做完整的描述。該室的主體會連接至該 RF 發電機 150 的 RF 回傳(RF 地線)。由該頂上電極 125 至 RF 地線的 RF 路徑，會因介電密封墊 120 的電容量及因介電密封墊 130 的電容量而產生影響。該晶圓支架 105，晶圓 110 及該製程工具組之導傳或半導電環 115，會針對施加於該電極 125 的 RF 電力，而提供主要的 RF 回傳路徑。

在第 1A 圖的狀況中，該內線圈 60 會小於該外線圈 65 的直徑之一半，且所處平面與該室的距離大於與該外部線圈的距離。該外線圈 65 位於或靠近該電極 125 頂部的平面上，而該內線圈 60 則恰位於該電極 125 的上方。如第 1 圖中的狀況般，可藉由電漿引導控制器 90 來管理該等線圈 60，65 的電流供應 70，75，而控制該等線圈 60，65 中的直流電流。

在一示範狀況中，關於 RF 回傳或地線而測量的頂上電極組件 126(其包括有該電極 125、該製程工具組 115，120 及該介電密封墊 130)之電容值係 180 微微法拉。該電極組件電容值會因該電極面積、該溝隙長度(即晶圓支架與頂上電極間之距離)而受影響，及因會影響雜散電容的因素(特別是密封墊 130 及介電環 120 的介電值)而受影響，這會依次因所用之材料的介電常數及厚度而受影響。更為常見的是，該(未註明數量的)電極組件 126 的電容值，會如下述般，等於或幾乎等於在特定來源電源頻率、電漿密度及操作壓力時電漿之負電容的大小(為一複數)。

許多影響上述關係的因素，大部份都因以下事實而預設：反應器的執行所需之電漿製程需求，晶圓尺寸，及欲在晶圓上均勻實行之處理的需求。因此，該電漿電容值係電漿密度及來源電源頻率的函數，而該電極電容值係晶圓支架至電極之溝隙(高度)，電極直徑，及該組件之絕緣體介電值等的函數。電漿密度，操作壓力，溝隙及電極直徑，必須滿足該反應器欲執行之電漿製程的需求。特別的是，離子密度必須界於某一範圍以內。例如，矽及介電電漿蝕刻程序大致上需要界定在 10^9 至 10^{12} 總子/立方公分的電漿離子密度之範圍內。該晶圓電極溝隙會針對 8 吋晶圓而提供最適之電漿離子分佈均勻性，例如若該溝隙為約 2 吋時。該電極直徑較佳為至少與該晶圓之直徑一般大(若未大於該直徑的話)。同樣地，針對典型蝕刻及其他電漿製程，操作壓力亦具有實際的範圍。

然而現今已發現，仍可選擇其他的因素，以達成上述的較佳關係，特別是針對頂上電極組件 126 之來源頻率的選擇及電容值的選擇。在上述加諸於電極的尺寸限制及加諸於電漿的限制(例如，密度範圍)中，若選擇該來源電源頻率為一 VHF 頻率，且若適當地選擇電極組件 126 之絕緣零件的介電值時，則該電極電容值可與電漿的負電容大小匹配。這樣的選擇可在來源電源頻率與電漿電極共振頻率之間，達成或幾乎達成一匹配。

因此，在一示範狀況中，對於 8 吋晶圓而言，該頂上電極直徑約為 11 吋，該溝隙約為 2 吋，該電漿密度及操作

壓力典型上為如上述般用於蝕刻製程，該 VHF 來源電源頻率係 210MHz(雖然其他的 VHF 頻率亦是同等有效的)，及該來源電源頻率，該電漿電極共振頻率，及該短線共振頻率，皆可匹配或幾乎匹配。

更特別的是，該三頻率會彼此稍有偏差，該來源電源頻率係 210MHz，該電極電漿共振頻率係約 200MHz，及該短線頻率係約 220MHz，俾以達成有助於降低系統 Q 之調諧的效果。系統 Q 此類的降低令該反應器效能較不易因該室內之條件改變而被影響，是故整體製程會大為穩定，且可在較寬的製程適用範圍中實行整體製程。

現行的較佳模式具有的室及墊座直徑，其是適用以適應以下各者：12 吋直徑的晶圓，約 1.25 吋的晶圓至頂蓋溝隙，及 162MHz 的 VHF 來源電源頻率(而非上述的 210MHz)。

該同軸短線 135 係一特別地配置的設計，其可再促進整體系統的穩定度、其寬大的製程適用範圍性能、及其他許多有用的優點。其包括一內部圓柱狀導體 140 及一外部同心圓柱狀導體 145。一絕緣體 147(以第 24 圖之陰影斜線所標示者)會填塞在該內部與外部導體 140, 145 之間的空間，該絕緣體 147 具有(例如)其值為 1 的相對介電常數。該內部及外部導體 140, 145 可以由(例如)塗有鎳的鋁所形成。在一示範狀況中，該外部導體 145 的直徑約為 4 吋，及該內部導體 140 的直徑約為 1.5 吋。該短線的特徵阻抗可藉由內部及外部導體 140, 145 的半徑及該絕緣體 147

的介電常數來判定。上述狀況的短線 135 具有 65 的特徵阻抗。更為普遍的是，該短線特徵阻抗會高出來源電源輸出阻抗約 20%至 40%，及較佳為約 30%。該短線 135 具有約 29 吋的軸長(220MHz 的半波長)，俾以在 220MHz 左右具有共振，以大致上匹配，而稍微由 210MHz 之 VHF 來源電源頻率產生偏移。

一分接頭 160 設置於沿著該短線 135 之軸向長度的特定點之處，用以供應來自該 RF 發電器 150 的 RF 電力予該短線 135，下文將詳述之。該發電器 150 的 RF 電源端 150b 及 RF 回傳端 150a 會在該短線 135 上的分接頭 160 之處，分別連接到該內部及外部的同軸短線導體 140, 145。經由一發電器至短線的同軸電纜 162 可依習知方式完成該等連接，其中該同軸電纜 162 具有可與發電器 150 之輸出阻抗(典型上為 50)匹配的特徵阻抗。該短線 135 之遠端 135a 處的終止導體 165，可令該內部及外部導體 140, 146 一起產生短路，是故該短線 135 在其遠端 135a 會產生短路。在該短線 135 的近端 135b(未短路的一端)，該外部導體 145 會經由一環狀導體外殼或支架 175 而連接至該室主體，而該內部導體 140 會經由一導體圓柱體或支架 176 而連接至該電極 125 中央。一介電環 180 會夾在該導體圓柱體 176 與該電極 125 之間，且分離該二者。

該內部導體 140 可提供多用途的導線管，例如，用於處理氣體及冷卻劑。與典型的電漿反應器不同的是，該特徵之主要優點為，該氣體管線 170 及該冷卻劑管線 173 不

會跨越很大的電位差。因此，為此目的其可由金屬、較便宜且可信度更高的材料所製成，來建構該導體 140。該金屬氣體管線 170 將氣體出口 172 饋入或相鄰於該頂上電極 125，而該金屬冷卻劑管線 173 則將冷卻劑通道或護罩 174 饋入該頂上電極 125 內。

藉此，可藉由該特殊配置的短線匹配來提供一主動且共振的阻抗變換，其中該短線匹配位於該 RF 發電器 150、與該頂上電極組件 126 及處理電漿負載之間，而將反射功率降到最低，且可提供極寬的阻抗匹配空間，其可適應該負載阻抗的寬廣變化。是以，可以提供寬廣的處理視窗及製程彈性，以及先前使用電力無法獲得的效能，這皆在將典型阻抗匹配裝置所須減到最小時或避免該裝置所須之時發生。如上述，該短線共振頻率亦會由理想匹配偏移，以進一步加強整體系統 Q，系統穩定度，及製程適用範圍與多程序耐受力。

令電極電漿共振頻率與 VHF 來源電源頻率產生匹配：

如上文之概述，一主要特徵為，配置頂上電極組件 126，以為為了與電極電漿共振頻率達成共振，及為了令該來源電源頻率與該電極電漿頻率達成匹配(或接近匹配)。該電極組件 126 具有一優勢容抗，而該電漿電抗係頻率，電漿密度與其他參數的複合函數。(下文將會更詳細地描述，會就電抗而分析一電漿，其中電抗是一個涵括想像範疇之複和函數且大致上對應於負電容相對應。)藉由該電極組件

126 的電抗及該電漿的電抗，可判定該電極電漿共振頻率(類似於藉由電容器及電感器的電抗所判定的電容器/電感器共振電路之共振頻率)。因此，該電極電漿共振頻率不一定是來源電源頻率，取決於該電漿密度。因此，這個問題即在給定電漿密度及電極尺寸之特殊範圍的實際限制之拘束時，去找出電極電漿共振頻率會等於或幾近等於該來源電源頻率時之電漿電抗的來源電源頻率。這個問題甚至會更形困難，因為電漿密度(其將影響電漿電抗)及電極尺寸(其將影響電極的電容值)必須符合某些製程限制。更具體的是，對於介電及導體的電漿蝕刻程序而言，電漿密度應在 10^9 至 10^{12} 離子/立方公分的範圍內，這亦限制了電漿電抗。再者，針對處理 8 吋直徑之晶圓而言，可藉由(例如)約 2 吋的晶圓至電極之溝隙或高度，及晶圓直徑等級或更大的電極直徑，來實現更均勻的電漿離子密度分佈，而這亦是對電極電容值的一項限制。在另一方面而言，不同的溝隙會用在 12 吋直徑的晶圓。

因此，藉由令該電極電容量匹配於(或幾乎匹配於)該電漿之負電容量的強度，該電極電漿共振頻率與來源電源頻率至少可達到幾乎匹配。對於上述的一般導體與介電蝕刻處理條件(即， 10^9 - 10^{12} 離子/立方公分的電漿密度，2 吋的間隙及約 11 吋等級的電極直徑)而言，若該電源頻率係 VHF 頻率，則該匹配係可行。其他的條件(例如，不同的晶圓直徑，不同的電漿密度等)應指定一不同的頻率範圍，於是在完成該反應器的特徵時，可達成這樣的匹配。在下文

中亦將提及，在包括介電與金屬電漿蝕刻及化學氣相沉積的數個主要應用中，於用以處理 8 吋晶圓的有利電漿處理條件之下，在具有上文曾提及之電漿密度的典型工作範例中，該電漿之電容量係在 -50 與 -400 微微法拉第之間。在一示範狀況中，該頂上電極組件 126 的電容量應藉由使用直徑為 11 吋的電極、約 2 吋的溝隙長度(電極至柱腳之間隔)，而針對介電常數為 9 且厚度為 1 吋等級的密封墊 130，與針對介電常數為 4 且厚度等級為 10 公厘的介電環 120，來分別選擇一介電材料，來匹配於該負電漿電容量的強度。

該電極組件 126 與電漿的組合會以一電極-電漿共振之頻率產生共振，其中該電極-電漿共振頻率至少幾近於匹配施加於該電極 125 的來源電源頻率，假設其電容值的匹配皆如上述般。我們發現對於較有利的蝕刻電漿處理方法，環境及電漿而言，該電極-電漿共振頻率及來源電源頻率皆可匹配於或幾近匹配於 VHF 頻率；且發現到實作這樣的頻率匹配或幾近匹配是有極有助益的。在一示範狀況中，與上述之電漿負電容值相對應的電極-電漿共振頻率，幾近於 200MHz，如下文詳述般。該來源電源頻率為 210MHz 的幾近匹配，其中該來源電源頻率會稍微高於該電極-電漿共振頻率，俾以實現下文所述的其他優點。

除了其他事物以外，該電漿電容值亦為電漿電子密度的函數。這有關於維持在大致上為 10^9 至 10^{12} 離子/立方公分之範圍所需的電漿離子密度，俾以提供良好的電漿處理

條件。密度，與來源電源頻率及其他參數，皆可判定電漿負電容值，因此，該密度之選擇會因使電漿處理條件最佳化之需求而受限，這在下文會詳細描述。但是，該頂上電極組件的電容值會因許多的物理因素而受影響，例如，溝隙長度(電極 125 與晶圓間之距離)、電極 125 的面積、對於介電密封墊 130 之介電耗損正切的範圍、位於電極 125 與接地室主體 127 之間的介電密封墊 130 之介電常數的選擇、對於製程工具組之介電密封墊 130 的介電常數之選擇、及介電密封墊 130 與 120 的厚度及介電環 180 之厚度及介電常數。這可允許該電極組件電容值經由上述選擇及其他會影響頂上電極電容值的物理因素，而做出些許調整。我們已發現，這個調整的範圍足以達成令該頂上電極組件電容值與該負電漿電容值之大小產生匹配的必要程度。特別的是，會為了提供期望的介電常數及結果介電值，而選擇用於密封墊 130 及環 120 的介電材料及大小。儘管某些影響電極電容值的相同物理因素(特別是溝隙長度)會因下列實例而規定或受限，仍可接著令該電極電容值與該電漿電容值達成匹配，該等實例係：操縱較大直徑之晶圓的需求，伴隨著在晶圓整個直徑上之電漿離子密度的良好均勻分佈而進行，及對離子密度及離子能量的良好控制。

針對電漿電容值及頂上電極電容值的匹配而給定上述的範圍，在一來源電源頻率為 210MHz 時，該電極-電漿共振頻率為幾近於 200MHz。

依此方式選擇電極組件 126 之電容值，且接著令所得

之電極-電漿共振頻率與來源電源頻率達成匹配的大優點為，電極與電漿靠近來源電源頻率的共振頻率可提供較寬的阻抗匹配及較寬的製程適用範圍、及接著對於製程條件改變之較大免疫力、與因此較大的效能穩定性。整個處理系統會較不易因操作條件的變動(例如，電漿阻抗的改變)而受影響，及因此可具有較大範圍之製程適用性，而更增加可靠程度。如下文將討論的，可藉由該電極-電漿共振頻率與該來源電源頻率之間小幅地偏移，來進一步強化該優點。

第 25 圖繪示該內部及該外部線圈 60，65 與一電容耦合之反應器組合的方法，該反應器具有經由一固定調諧短線而連接至一 VHF 電漿來源發電器之一頂上電極，且具有 MERIE 電磁鐵環繞於周圍。此類的反應器見於美國專利申請案序號 10/028,922(申請日 2001/12/19，發明人 Daniel Hoffman 等人，名稱“Plasma Reactor with Overhead RF Electrode Tuned to the Plasma”，讓渡予本發明受讓人)，該文獻以引用的方式併入本文中。

參照第 25 圖，一 VHF 電容耦合之電漿反應器包括在第 1A 圖之反應器中所發現的以下元件：一反應器室 100，其底部之晶圓支架 105 會支撐一半導體晶圓 110。在示範性狀況中，一製程工具組由一半導電環或導電環 115 組成，該環 115 藉由一介電環 120 而支撐在一接地室主體 127 上。該室 100 之頂部被一碟狀頂上鋁電極 125 所界定，該電極 125 藉由一介電密封墊 130 被支撐為距離該接地室主體 127 上之晶圓 110 上方的溝隙長度。頂上電極 125 亦可

以是使用類金屬材料(例如，矽或碳化矽)來覆蓋在其內表面上之金屬(例如，鋁)，或其本身可以是類金屬材料。一 RF 發電機 150 可施加 RF 電力於該電極 125。來自該發電機 150 的 RF 電力，會經由一同軸電纜 162 且進入一同軸短線 135 而產生耦合，該同軸電纜 162 會匹配至該發電機 150，該同軸短線 135 則連接至該電極 125。該短線 135 具有一特徵阻抗、一共振頻率，且在該電極 125 與該同軸電纜 162/RF 發電機 150 之間提供一阻抗匹配，這在下文中會做完整的描述。該室的主體會連接至該 RF 發電機 150 的 RF 回傳(RF 地線)。由該頂上電極 125 至 RF 地線的 RF 路徑，會因製程工作組的介電環 120 及介電密封墊 130 的電容量而受影響。該晶圓支架 105，晶圓 110 及該製程工具組之半導電環(或導傳)115，會針對施加於該電極 125 的 RF 電力，而提供主要的 RF 回傳路徑。

在第 1A 圖的狀況中，該內線圈 60 會小於該外線圈 65 的直徑之一半，且所處平面與該室的距離大於與該外部線圈的距離。該外線圈 65 位於或靠近該電極 125 頂部的平面上，而該內線圈 60 則恰位於該電極 125 的上方。如第 1 圖中的狀況般，可藉由電漿引導控制器 90 來管理該等線圈 60，65 的電流供應 70，75，而控制該等線圈 60，65 中的直流電流。

藉由引用一組 MERIE 電磁鐵 902，即可達成改良的電漿密度分佈均勻性，其中該組 MERIE 電磁鐵 902 係以一定距離環繞該晶圓支架墊座的周圍，且位於該反應器室的外

側(如第 7 圖及第 8 圖所示般)。該 MERIE 磁鐵用以大致在該晶圓支架墊座的表面上方，製造一緩慢繞著該圓柱狀室之對稱軸旋轉的磁場。在一狀況中，該特徵可藉由多個 MERIE 磁鐵 902 來實現，其中該等 MERIE 磁鐵 902 具有對著個別軸而繞之電磁繞捲線圈，該個別軸係相切於該晶圓支架墊座圓周。在這個狀況中，一 MERIE 電流控制器 904 可控制流往各 MERIE 磁鐵的個別電流。一循環磁場會藉由控制器 904 提供流往個別磁性繞捲線圈之各者的個別交流電流，而在工作部件支架所在平面產生，該個別交流電流具有相同頻率但相位偏移為 90° (或 360° 除以 MERIE 磁鐵個數之度數的相位偏移)。在另一狀況中，可藉由支持所有 MERIE 磁鐵的支持框架 1020(虛線)，來實現旋轉磁場的特徵，其中該等 MERIE 磁鐵藉由一轉子 1025(虛線)而繞著對稱軸而旋轉。在該另一狀況中，該等 MERIE 磁鐵為永久磁鐵。

亦可設置第二陣列的 MERIE 磁鐵 906(以虛線顯示)，其中該等 MERIE 磁鐵 906 以一致的距離環繞該工作部件或晶圓支架墊座，但位於較第一組之 MERIE 磁鐵 902 更高的平面上。該兩組磁鐵位於靠近該工作部件支架所在平面的個別平面中。

該控制器 910 會施加一低頻($0.5\text{-}10\text{ Hz}$)的交流電流到各電磁鐵 902, 906，施加到相鄰磁鐵之電流的相位會如上述般地偏移 90° 。這個結果是產生會以該交流電流的低頻率，繞著工作部件支架之對稱軸進行旋轉的磁場。該磁場

可令電漿受靠近該工作部件表面的磁場吸引，且繞著該磁場而環行。這會攪動電漿，因此其密度分佈會變得更為均勻。結果，反應器的效能會大幅提升，因為在晶圓的整個表面上可獲得更均勻的蝕刻效果。

頂上電極與氣體分佈板的組合：

我們期望能由頂上頂蓋饋入該處理氣體，以增進該反應器室內的氣體分佈均勻性。因此，在第 24 圖及第 25 圖之狀況中的該頂上電極 125，可以是氣體分佈噴頭，且因此在其面對該工作部件支架 105 的底部會具有較多的氣體注入部份或小孔 300。在一示範狀況中，該等孔洞的直徑在 0.01 與 0.03 吋之間，且其中心會以約 $3/8$ 吋的距離均勻相隔。

該頂上電極/氣體分佈板 125(下文中稱作為氣體分佈板 125)對電弧有較佳的抗性。這可歸因於一電弧抑制特製件的使用，該特製件由各開口或孔洞 300 的中央排除處理氣體及/或電漿。該電弧抑制特製件係位於該等孔洞 300 中央的一組中央片狀物或盤狀物 302，其分別以圓柱狀指狀物或細棒 303 的一端支撐，如同第 26 圖的剖面圖及第 27 圖的放大剖面圖所示般。在典型的氣體分佈板內的起弧放電，易於發生在靠近該氣體注入孔的中央。因此將該中央片狀物 302 設置於各孔洞 300 的中央，可避免處理氣體到各孔洞 300 的中央，及因此而降低了起弧放電發生的可能性。如第 28 圖的平面圖所示般，該孔洞 300 之中央片狀物

302 的引用，可將非圓形的開口或孔洞 300 轉變為環狀開口。

參照第 29A 圖，具有改良起弧抑制的氣體分佈板 125，會構成一遮蓋 1402 及一基座 1404。該基座 1404 係一圓盤板 1406，其具有穿透而形成的多個氣體注入開口，該圓盤板 1406 由一內部肩狀側壁 1410 的環狀壁 1408 環繞之。該遮蓋 1402 亦可以是一圓盤板。該碟狀物 302 係該圓柱狀指狀物 303 一端的切面，該指狀物 303 附著於該遮蓋 1402 的底面上且由其向下延伸。該遮蓋 1402 的外緣可擋在該基座 1404 的肩狀側壁 1410，以在該遮蓋 1402 與該基座 1404 之間形成一氣體歧管 1414(第 26 圖)。處理氣體會由該遮蓋 1402 中央的氣體入口 1416 流入該歧管 1414。

接觸該反應器室之處理氣體或電漿的部份氣體分佈板 125，可由外層塗有半導體製程相容材料(例如，碳化矽)的金屬(例如，鋁)所形成。在該範例中，除了該遮蓋 1402 的頂部表面以外，氣體分佈板的所有表面皆覆蓋以一層的碳化矽塗層 1502，如第 29B 圖的部份放大剖面圖所示般。第 30 圖中，該遮蓋 1402 的鋁製頂部表面與一溫控構件 1520 接觸，該溫控構件 1520 可以是水冷式的，其藉由內有因一熱交換器 1524 而產生循環之冷卻劑的多個水套 1522 而進行冷卻，是故該氣體分佈板 125 的導熱鋁材料會具有受控制的溫度。或者，如第 31 圖所示般，該等水套位於該氣體分佈板 125 內。

然而，對碳化矽塗層 1502 而言，為了具有相同的受控

溫度，必須在碳化矽塗層與鋁之間具有一導熱黏著劑。否則，碳化矽塗層的溫度會不受控制地升降。為了達成該氣體分佈板 125 的鋁材料與碳化矽塗層間之良好熱傳導，會在該鋁製的氣體分佈板與碳化矽塗層 1502 之間形成一聚合物黏著層 1504，如第 29A 圖所示般。第 29A 圖顯示，聚合物黏著層 1504 位於該碳化矽塗層 1502 與鋁基座 1404 之間。該聚合物黏著層可在鋁與碳化矽塗層 1502 之間提供良好的導熱性，是故可藉由該熱交換器 1524 控制該塗層 1502 的溫度。

第 32 圖，第 33 圖及第 34 圖繪示修改第 29A 圖的氣體分佈板 125 以提供雙區氣體流控的方法。這樣的特徵可用以藉由選擇補助的處理氣體分佈，來幫助校正蝕刻速率或沈積速率的空間分佈，其中該空間分佈可能是中央較高或中央較低的。具體的是，一環狀分隔或壁 1602 可將該氣體歧管 1414 分為一中央歧管 1414a 及一外部歧管 1414b。除了饋入中央歧管 1414a 的中央饋氣管 1416 以外，位於氣體分佈板 125 的中央及周圍之間的另一饋氣管 1418，亦會饋入外部歧管 1414b。一雙區控制器 1610 會分配來自一處理氣體供應 1612 的氣體，該處理氣體供應 1612 位於內部與外部饋氣管之間。第 35 圖繪示氣閥 1610 的實作，其中一連通導片 1618 會控制流入氣體分佈板的內部及外部歧管 1414a, 1414b 之氣體的相對量。人工智慧的流量控制器 1640 可管理該導片 1618 的位置。在第 36 圖所繪示的另一實作中，一對氣閥 1651, 1652 可針對該室內的個別徑向區

域，來執行個別的氣流控制。

第 37 圖繪示一狀況，其中氣體分佈板 125 具有三個氣流區，該歧管 1414 會藉由內部及外部環狀隔間 1604，1606，而分隔為三歧管 1414a，1414b 及 1414c。三個個別饋氣管 1416，1418，1420 可提供流入個別歧管 1414a，b，c 的氣體。

儘管本說明書至此所描述的多樣狀況為具有一對的頂上線圈 60，65，第 37 圖顯示二個以上的頂上線圈的存在。誠然，第 37 圖的狀況會繪示為具有三個同心的頂上線圈或線圈 60，64，65。藉由增加獨立控制的頂上線圈之數目，可增加解晰度，其中解析度校正了處理的不均勻度。

第 34 圖及第 37 圖的多區氣體分佈板享有之優點為，可靈活控制工作部件之內部及外部處理區之間的氣體分配。然而，自定氣體的另一方式是，藉由在不同半徑的氣體分佈板 125 設置不同大小的氣體注入孔，而不停地執行以上方法。例如，若該反應器傾向於展現中央較高的空間蝕刻速率分佈，則藉由在中央使用較小的氣體注入孔 300 及在周圍附近使用較大者，而在該室中央應供應較少的氣體且在周圍則供應較多的氣體。這樣的氣體分佈板繪示於第 38 圖的平面圖中。對於中央較低的蝕刻分佈，可利用第 39 圖所繪示的相反孔洞設置。

第 9 圖之反應器中的電漿引導：

參照第 11 圖至第 14 圖的上述之電漿引導，可在第 9

圖的狀況中執行。藉由施加 -13 安培的電流於內線圈 60 及 +1.4 安培的電流於外線圈 65，可產生指向側壁的磁場。藉由施加 -13 安培的電流於內線圈 60 及 +5.2 安培的電流於外線圈 65，可產生指向頂蓋或電極 125 之周圍的磁場。藉由施加 -13 安培的電流於內線圈 60 及 +9.2 安培的電流於外線圈 65，可在側壁處產生強烈的磁場。我們發現在淨化期間，藉由以上述的方式施加指向該頂蓋或電極 125 周圍的磁場，可提升該室表面的蝕刻速率達 40%。

線圈結構：

上述狀況已參照內部及外部線圈 60, 65 完成描述，然亦可利用更多的線圈。例如，第 40 圖的狀況具有五個頂上線圈 4060, 4062, 4064, 4066, 4068，各者自身的電流會藉由控制器 90 而分離地控制。該等線圈 4060, 4062, 4064, 4066, 4068 可位於該頂蓋 125 上方的相同高度(如第 40 圖中者)，或位於不同高度處。第 41 圖繪示頂上線圈 60, 65 位於相同高度的狀況。在第 41 圖中，各線圈 60, 65 的繞捲線圈會在垂直及徑向兩方向堆疊。第 42 圖及第 43 圖繪示不同的狀況，其中該等線圈 60, 65 具有往垂直方向及往徑向方向延伸的繞捲線圈。

如先前在本文中參照第 1A 圖中所討論的，在電漿上用以校正不均勻分佈的磁壓，係與磁場的平方梯度之徑向分量成正比。因此，最有效的措施為利用具有大徑向梯度的磁場，例如，尖端形的磁場。如上述般，尖端形磁場較

強的效率會降低某磁壓量所需的磁場強度，藉以降低或消除與強磁場相關的裝置損壞。第 44 圖繪示之狀況為，藉由分別位於該室上下及下方的一對線圈 4420, 4440，而產生完全成為尖端形的磁場。在頂線圈 4420 及底線圈 4440 中的電流係分別為順時鐘及逆時鐘的。第 45 圖係由該對線圈 4420, 4440 所產生之完全尖端形磁場的磁場線樣態之簡化圖示。

第 46 圖繪示的狀況為，會利用習用 MERIE 反應器 4650 的四個電磁鐵 4610, 4620, 4630, 4640，來產生第 45 圖中完全成為尖端形的磁場。控制各電磁鐵 4610, 4620, 4630, 4640 中之電流的電流控制器 4660 係被程式化，以施加以相同方向(例如，順時鐘)在所有電磁鐵 4610, 4620, 4630, 4640 中流動的直流電流，如第 46 圖中之箭頭所指示般。依此方式，頂部導體 4610a, 4620a, 4630a, 4640a 中的直流電流會形成一順時鐘的電流迴路，底部導體 4610b, 4620b, 4630b, 4640b 中的直流電流會形成一逆時鐘的電流迴路，而在該陣列的各角落之處，相鄰電磁鐵之垂直導體(例如，該對垂直導體 4620c 及 4630c)中的電流會取消晶圓表面上另一個磁場。淨效應為，與第 44 圖之狀況類似的，分別在該室的頂部及底部產生順時鐘及逆時鐘的電流迴路，具有與第 45 圖中繪示之完全尖端形磁場相同的結果。第 46 圖的反應器可在以下三模式中之任一者下操作：

磁壓模式，其中會產生尖端形磁場；

正弦波模式，其中會以九十度的相位差，施加四個正弦波電流於四電磁鐵 4610, 4620, 4630, 4640，以在晶圓表面上產生緩慢旋轉的磁場；

可配置之磁場 (configurable magnetic field, CMF) 模式，其中該四電磁鐵 4610, 4620, 4630, 4640 會歸類為相鄰對的相對組，一對具有直流電流及相對之對具有反向直流電流，以產生大致上平直的磁場線，其以關於四磁鐵 4610, 4620, 4630, 4640 方向的對角線方向而在該晶圓表面上延伸。這樣的歸類會因電流的切換而旋轉，是故磁場會依四個對角線方向而旋轉。該等方向的時間順序繪示在第 47A 圖，第 47B 圖，第 47C 圖及第 47D 圖中。

在第 47A 圖中，該等電磁鐵 4610, 4620 具有正的直流電流，而該等電磁鐵 4630, 4640 則具有負的直流電流，及所得的平均磁場方向大致上為，由圖式的左上角往右下角之方向。在第 47B 圖中，會切換該類群，是故該等電磁鐵 4620, 4630 會具有正電流，而該等電磁鐵 4640, 4610 則具有負電流，及平均磁場為以 90° 順時鐘旋轉。第 47C 圖及第 47D 圖會完成這個循環。藉由所施加的正及負直流電的強度差，可判定磁場強度之線，且其可藉由依需求而將該控制器 4560 程式化來進行調整。

第 9 圖之方法可在 CMF 模式下使用，以準確地選擇該四電磁鐵 4610, 4620, 4630, 4640 的直流電流，以產生針對不均勻之蝕刻速率或電漿離子密度分佈的最佳校正。應用第 9 圖之方法於第 47A 圖至第 47D 圖的 CMF 模式之時，

各電磁鐵的線圈或多個線圈 4610, 4620, 4630, 4640 會取代頂上線圈 60, 65, 及第 9 圖的所有步驟會根據該取代而執行。唯一的差別為，來自各線圈之磁場的計算會計算為經過與第 47A 圖至第 47D 圖對應之四個時間週期的平均值。

第 48 圖繪示包括一特殊格柵 4810 的反應器，該格柵 4810 嵌入該抽吸環狀物。該格柵 4810 由一半導體材料(例如，碳化矽)所形成或由導體材料(例如，鋁)所形成，且具有多個開口 4820 以允許氣體由該室內經由該抽吸環狀物而抽出。該特殊格柵 4810 會將電漿由該抽吸環狀物排出，提供所需的保護及製程控制。為此目的，在該徑向平面中之各開口 4820 內部之間的距離，不應大於該電漿鞘厚度的兩倍。依此方式，若電漿無法穿越該格柵 4810，則會非常困難。這會降低或消除在該抽吸環狀物內，電漿與該室表面的反相影響。

第 49 圖及第 50 圖繪示一體成形的可移除室內襯裡 4910，其與第 48 圖的電漿侷限格柵 4810 合併。該襯裡 4910 會覆蓋部份的反應器室，該部份係下墊該電極 125 且下襯該晶圓 110 之區域的徑向外側。因此，該襯裡 4910 包括一上方水平部份 4920(其覆蓋該室頂蓋的外側周圍)，一垂直部份 4930(其覆蓋該室側壁)，及一下方水平部份 4940(其包括該電漿侷限格柵 4819 且覆蓋該抽吸環狀物及與該晶圓 110 相鄰的環狀物表面)。在一狀況中，該等部份 4920, 4930, 4940 中之各者會一起形成為一個整體的碳化矽物

4950。該襯裡 4910 更包括一鋁基座 4960，其位於該碳化矽物 4950 的下方水平部份 4940 且黏結於其上。該鋁基座 4960 包括一對向下延伸且較長且細的環狀軌 4962, 4964，其提供該晶圓支架墊座 105 下方之室的接地架構元件良好的導電性。

該反應器具有多個溫控元件 4972, 4974，其與向下延伸之環狀軌 4962, 4964 具有熱接觸，且該反應器亦具有一溫控元件 4976，其亦與該垂直側面部份 4930 具有熱接觸。各溫控元件 4972, 4974, 4976 包括冷卻裝置(其包括冷卻劑通道)及加熱裝置(其包括一電熱器)。我們期望可以維持該襯裡 4910 在夠高的溫度(例如，高至 120°F)，以最小化或避免聚合物或氟碳化物沈積在該襯裡 4910 的內表面上。

該襯裡 4910 可強化製程穩定性，因為該襯裡 4910 會提供良好的地線回傳路徑。這歸因於一事實，即該碳化矽物 4950 之內表面的電位是均勻的(該內表面包括該上方水平部份 4920，該垂直部份 4930 及該下方水平部份 4940 的向內表面)。因此，該襯裡 4910 會在所有的向內表面提供均勻的 RF 回傳路徑，以供電力由頂上電極 125 或由該晶圓墊座 105 的傳送。其優點之一為，當電漿起伏而令該 RF 回傳電流分佈集中在該襯裡 4910 之內表面的不同部份時，呈現在該電流的阻抗會維持極穩定。這個特徵可促進製程穩定性。

第 51 圖繪示第 7 圖之狀況的改良，其中該等頂上螺線管 60, 65 會界定與該 MERIE 磁鐵 92, 94, 96, 98 之方波

樣態對稱之一方波樣態，且特別適用於方形半導體或介電工作部件 4910(例如，微影罩幕)的均勻處理。

第 52 圖繪示第 24 圖之反應器的態樣，其中該晶圓支架墊座 105 可上下移動。除了用以控制電漿離子徑向分佈的二頂上線圈 60, 65 以外，在該晶圓支架墊座 105 之平面下方仍有一底部線圈 5210。此外，在該室周圍亦有一外部線圈 5220。該外部頂上線圈 65 及底部線圈 5210 可令反向直流電流在該室內形成完全的尖端磁場。

此刻，已一併完成對該等頂上線圈 60, 65 與具有頂上頂蓋之反應器的描述(其中該頂蓋作為一頂上來源電源電極及氣體分佈板二者使用)，然而該頂蓋亦可以是非氣體分佈板的類型，其處理氣體則以另一習用方式(例如，經由側壁)注入。此外，該等線圈 60, 65 可用於一反應器，其中該來源電源非藉由一頂蓋電極而產生電容耦合。亦，用於該頂上電極的阻抗匹配元件已經被描述為一固定元件，例如一同軸調諧短線。然而，該阻抗匹配元件亦可以是任何合適的或習用的阻抗匹配裝置，例如，習用的動態阻抗匹配電路。

三磁鐵之三模式的電漿分佈控制：

在電漿處理中，例如在電漿強化反應性離子蝕刻中，該磁場會用以增進該半導體晶圓之蝕刻速率徑向分佈的均勻性。在大部份的狀況中，電漿離子密度在晶圓中央會較高，而在晶圓的其他地方會較低，是故蝕刻速率傾向於在

晶圓中央較高而在晶圓周圍較低。磁場可藉由內部及外部磁鐵 60, 65 產生，以改變該電漿離子密度的徑向分佈。典型上，期望的效果為降低中央的電漿離子密度及增加晶圓周圍的電漿離子密度。該內部及外部電磁鐵(第 1B 圖)可用以達成電漿離子密度分佈均勻性的此類改良。一起產生的磁場可藉由分解為二分量來進行分析，例如徑向分量 B_r (其通量線係與該晶圓平面平行)及軸向分量 B_z (其通量線係垂直於該晶圓平面)。該磁場的徑向分量 B_r 最有助於改變或校正電漿離子密度的徑向分佈(例如，達成蝕刻程序中之蝕刻速率或 CVD 程序中之沈積的均勻徑向分佈)。然而，僅使用內部及外部電磁鐵 60, 65 對於徑向分量 B_r 的改變，必定會以徑向分量 B_r 之改變所規定的方式來改變磁場的軸向分量 B_z 。例如， B_r 的提升典型上會造成 B_z 不可避免的提升。 B_z 如此的提升並不受歡迎，也不是我們所期望的。我們發現了對於軸向分量 B_z 的控制與降低晶圓上之裝置損壞(例如，歸因於電荷累積，高電場，高誘導電流或電壓)，有可緊密的關聯性。在許多狀況中，我們偏好可將該徑向分量 B_r 最佳化(例如，提升)至所期望的任何程度，而同時亦將軸向分量 B_z 減到最小。

參照第 53A 圖，會藉由該晶圓平面下方的底部電磁鐵 401，而增強第 1B 圖之內部及外部電磁鐵 60, 65。該控制器 90 所管理的直流電流供應 403，會提供直流電流於該底部電磁鐵 401，而該控制器 90 所管理的電流供應 70, 75，則會供應電流於該內部及外部的電磁鐵 60, 65。儘管第 53A

100年3月20日
100年3月20日

圖之各電磁鐵 60, 65, 401 由單一導體繞捲線圈所組成之時，其亦可反而由複數個垂直設置的繞捲線圈所組成，如第 53B 圖所繪示般。第 54 圖繪示該三電磁鐵 60, 65, 401 設置於第 24 圖之反應器中的方法。如在本文中稍早曾提及的，第 24 圖之反應器具有一頂上 VHF 電極，其中該頂上 VHF 電極經由一固定阻抗匹配元件而以電極與電漿共振的頻率藉由 VHF 電漿來源電源進行驅動。

該等磁鐵 60, 65, 401 可用以產生以下三類磁場中任何一者(或其組合)：(1)一螺線管磁場(第 55A 圖)，其中 B_r 及 B_z 兩者在晶圓 20 表面皆很強。此類之螺線管磁場的產生可藉由施加電流於三電磁鐵 60, 65, 401 中之唯一者。第 56A 圖繪示電流施加於外側電磁鐵 65，以產生螺線管磁場的範例。(2)一尖端磁場(第 55B 圖)，其中在晶圓表面上，僅 B_r 是強的，而 B_z 是弱的或其值為零。此類之尖端磁場的產生可藉由從底部電磁鐵 401 及內部或外部電磁鐵 60, 65 中任一者，產生相等且反向的磁場。第 56B 圖繪示施加反向電流於該底部及外部電磁鐵 401, 65，以產生尖端磁場的範例。在這個範例中，假設各磁鐵 65, 401 中的繞捲線圈以相同方式(順時鐘或逆時鐘方向)捲繞。然而，在較佳實施例中，可以相反方向繞捲，其狀況所施加電流之極性可由第 56 圖之繪示適當地修正。(3)一鏡像磁場(第 55C 圖)，其產生可藉由在底部電磁鐵 401 及內部或外部電磁鐵 60, 65 中任一者中，產生相等且同向的磁場。第 56C 圖繪示施加相等的電流於該底部及外部電磁鐵 401, 65，而產

生鏡像磁場的範例。

第 57A 圖，第 57B 圖及第 58A 圖，第 58B 圖比較了尖端及鏡像磁場的徑向及軸向磁場分量 $B_r(r)$ 及 $B_z(r)$ ，與螺線管磁場的徑向及軸向磁場分量 $B_r(r)$ 及 $B_z(r)$ ，皆在第 53A 圖之反應器中的晶圓 20 平面處測量。第 57A 圖比較了螺線管與尖端磁場的徑向分量 $B_r(r)$ ，而第 57B 圖比較了螺線管與尖端磁場的軸向分量 $B_z(r)$ 。第 58A 圖比較了螺線管與鏡像磁場的徑向分量 $B_r(r)$ ，而第 58B 圖比較了螺線管與鏡像磁場的軸向分量 $B_z(r)$ 。螺線管與尖端磁場的徑向分量在需要時可製成幾乎相同(第 57A 圖)，而尖端磁場的軸向分量可幾近於(但不真的是)零，或遠小於螺線管磁場的軸向分量(第 57B 圖)。鏡像磁場的徑向分量在需要時可製成幾近於零(第 58A 圖)，或遠小於螺線管磁場的徑向分量。鏡像磁場的軸向分量可製成幾乎與螺線管磁場的軸向分量相同(第 58B 圖)。

由第 57A 圖及第 58A 圖可見，徑向磁場對於校正中央較高之電漿離子分佈顯得較為理想，因為徑向磁場會由晶圓中央增加到晶圓周圍的最大強度。這可從第 59 圖之圖表曲線中所繪示的資料得到確認，其中標示有以電漿離子飽和電流(縱軸)所代表的電漿離子密度，其係晶圓表面之半徑(橫軸)的函數。曲線標示的「零電流」與零磁場對應，且針對中央較高的電漿離子分佈顯示了最不理想的配置。針對中央較高之電漿離子分佈的較佳校正為，由外部電磁鐵 65 中之 5 安培或 10 安培所產生的二螺線管磁場(分別標

示以「5A 螺線管」及「10A 螺線管」)。根據第 59 圖的圖表曲線可知，就是螺線管磁場最能令晶圓由中央至邊緣增加。

第 60 圖係藉由在不同磁場中測量蝕刻速率所獲得之資料的圖表曲線，該蝕刻速率係 200 公厘矽晶圓的晶圓表面上之徑向位置的函數。該鏡像磁場會產生蝕刻速率分佈的最佳均勻性或最低誤偏差(約 1.7% 的部份偏差)，其中部份偏差的定義為將標準差除以晶圓之平均蝕刻速率。次佳的均勻性由使用螺線管磁場獲得，該磁場產生約 2% 的部份偏差。尖端磁場(標示以「100% 尖端」者)僅是第三順位，其部份偏差 7.9%。然而，該晶圓上之元件損壞(歸因於電荷累積，放電或局部高電流或電壓條件)的測量會產生相反的結果，其中最均勻的狀況(鏡像磁場)具有最大的元件損壞，及第二均勻的狀況(螺線管磁場)具有第二嚴重的元件損壞，而尖端磁場則幾乎不造成損壞。這些結果會在下文參照第 61 圖討論。

上述結果支持了我們的發現，即，磁場之軸向分量 $B_z(r)$ 相對於徑向分量 $B_r(r)$ 的控制，緊密連結到改良晶圓上之元件損壞的結果。尖端磁場產生了極輕微或無的元件損壞。然而，我們認為第 57A 圖及第 58A 圖所示之徑向分量 $B_r(r)$ 的狀態，會隨著半徑的增加，會維持較佳的期望，即較軸向分量 $B_z(r)$ 維持更佳的均勻性。因此，可實行以下方法：調整尖端磁場，是故晶圓邊緣的徑向分量 B_r 在第 60 圖之螺線管磁場中會是相同的，其產出了良好的結果(即，在晶

圓邊緣的磁場強度為 22 高斯)。接著，尖端磁場的強度會增加(當 B_z 降低或降為零時會增加 $B_r(r)$)，直至獲得的均勻性結果接近使用螺線管時所獲得之理想結果。我們發現這需要不斷增加尖端磁場的強度，直至晶圓邊緣的 B_r 由 22 高斯增加到 32 高斯(或約 160%)。這會造成第 60 圖之圖表曲線中，以曲線標示之「尖端 160%」的蝕刻速率分佈。在此刻，蝕刻速率的部份偏差會降到 2.4%。儘管大幅增加尖端磁場的強度，該尖端磁場仍會繼續造成輕微或無的元件損壞。

上文之結論概述在第 61 圖的表格中。左行表示磁場類型，且以高斯針對該磁場之晶圓中央的 B_z 及晶圓邊緣的 B_r 進行列表。中間行列舉的是蝕刻速率對應的部份偏差(不均勻性)，及右行提供元件損壞的估計(良或劣)，且列舉出誘導之元件電流(千分之一安培)及電壓(伏特)。第 61 圖的表格顯示了使用螺線管及鏡像磁場時所獲得的良好均勻性及差勁元件損壞結果，及使用尖端磁場時所獲得的差勁均勻性及良好元件損壞結果，該尖端磁場在晶圓邊緣具有之 B_r 與螺線管磁場的 B_r 相匹配。表格的最後一列顯示當使用尖端磁場(而實際上不存在其他磁場)時所獲得的良好均勻性及良好元件損壞結果，增加到其先前狀況的 160%。

上述措施係促進第 62 圖所繪示的方法。第一步驟(第 62 圖之方塊 415)為尋找一螺線管磁場強度，其中在該強度時蝕刻速率徑向分佈之不均勻度已降到最低。這對應於第 60 圖的螺線管磁場，其在晶圓邊緣具有 22 高斯的徑向分

量強度。其實際值會因特殊程序而有所變化。所選擇之半徑(例如，晶圓邊緣)的徑向分量值會記錄下來。接著，建立一尖端磁場，而其他磁場則闊如或者可忽略，該尖端磁場在所選擇的半徑處具有與方塊 417 之步驟中所記錄者相同的徑向分量磁場強度(方塊 419)。最後，增加尖端磁場強度，直至蝕刻速率徑向分佈的不均勻性降到最低(方塊 421)。該步驟對應至尖端徑向分量由 22 高斯增加至 32 高斯，雖然該等值會因所實行的程序而有所變化。

第 62 圖之方法中之尖端磁場的建立會使用其他的電磁鐵 65 及底部電磁鐵 401。一旦建立起期望的徑向分量 $B_r(r)$ ，根據第 62 圖，就得藉由施加極小的電流到內部電磁鐵 60，而進行進一步的微調或校正。可選擇內部電磁鐵之電流，以進一步增進均勻性或控制或降低軸向分量 $B_z(r)$ ，以改進元件損壞的結果(即，降低元件損壞)。這個措施會在第 63 圖之方法中實作，其中第一步驟(方塊 423)為使用(例如)第 62 圖的方法，來建立期望的徑向分量強度 $B_r(r)$ 。接著，藉由供應極小的電流於內部電磁鐵 60，而使條件最佳化(以再增進均勻性或消除 B_z)(第 63 圖的方塊 425)。

在第 64 圖所繪示之程序的修改中，會使用內部及外部磁鐵 60, 65 來建立一期望之磁場(例如，理想的 $B_r(r)$)，而底部磁鐵則是不起作用的(第 64 圖之方塊 431)。接著，在第 64 圖之方塊 433 中會對該磁場進行微調(例如，在需要時增加 B_r)，其藉由增加流徑內部電磁鐵 401 的電流，

直至獲得期望的結果。在某些實施例中，所增進的電漿離子密度分佈之均勻性的獲得，可藉由實際加入來自於內部磁鐵 60 的極小量之軸向磁場 B_z ，而不會導致無法承受的元件損壞。

在實行第 64 圖的程序時，用於內部及外部電磁鐵 60, 65 的期望直流電流值組之發現，係為了將針對蝕刻速率分佈的不均勻性降到最低。其完成可藉由測量蝕刻速率徑向分佈，其中該徑向分佈之獲得可在其他電磁鐵具有零電流時，針對內部及外部電磁鐵 60, 65 中之一者的各電流值。例如，第 65 圖之圖表曲線所含有之曲線，代表以所選範圍內(0 安培至 25 安培)之不同直流電流值，供應於內部磁鐵 60 時的蝕刻速率徑向分佈資料。第 66 圖之圖表曲線所含有之曲線，代表以所選範圍內(0 安培至 25 安培)之不同直流電流值，供應於外部磁鐵 65 時的蝕刻速率徑向分佈資料。來自於第 65 圖及第 66 圖的不同對之蝕刻速率分佈曲線會疊加，以針對某一對的內部及外部磁鐵電流值 I_i, I_o ，來模擬組合的蝕刻速率分佈，直至許多對或所有可能對的磁鐵電流值已並列，且因重疊而獲得對應對蝕刻速率徑向分佈 $E(r)_{I_i, I_o}$ 。接著，會處理各蝕刻速率分佈，以計算對應的不均勻度(例如，先前在本文中曾定義的部份偏差 D)。這可產生一組的偏差 $D(I_i, I_o)$ ，代表了第 67 圖中繪示的單一表面。該表面或方程式可使用習用技術來檢視，以發現令部份偏差 D (第 67 圖之縱軸)降到最低之 I_i, I_o 值或該值之組。這些值為藉由控制器為了用於內部及外部磁

鐵電流而選擇。

上述措施可以第 68 圖所繪示之方法實作。首先，底部磁鐵電流會設定為零(方塊 435)。針對不同的內部及外部之磁鐵電流，來測量蝕刻徑向分佈，以分別獲得一組分佈值 $E(r)I_i$ (方塊 437)及一組分佈值 $E(r)I_o$ (方塊 439)。該二分佈值的對應對會重疊，以形成不同的蝕刻速率分佈值 $E(r)_{I_i+I_o}$ (方塊 441)，且由其可計算出對應的偏差 $D(I_i, I_o)$ (方塊 443)。該組偏差 $D(I_i, I_o)$ 可藉由一表面來表示(第 67 圖)，由該表面搜尋該組 (I_i, I_o) 之值，其可得到最小的部份偏差 D (方塊 445)。

檢視第 67 圖的立體表面 $D(I_i, I_o)$ ，展現出一細長低谷(以虛線標明)，其對應一系列或一列的連續最適對 (I_i, I_o) ，其 D 值(縱軸)係最小。該低谷可藉由習用搜尋來發現。為了使第三磁鐵(即，底部磁鐵 401)的使用最佳化，各最適對 (I_i, I_o) 會與連續的底部磁鐵電流值 I_b (皆在預設範圍內)結合，及三電流 (I_i, I_o, I_b) 之各組合會施加於反應器，且測量各蝕刻偏差。第 68 圖之方塊 447 的步驟是最後的操作。該結果會經修改(方塊 449)，以產生一組偏差值 $D(I_i, I_o, I_b)$ 。該組結果的表示，會藉由針對將 D 值最小化之該組值 (I_i, I_o, I_b) 來使用習用技術，而搜尋四維表面(方塊 451)。這個最小化可為了僅使用二磁鐵之方塊 445 的步驟中，所獲得之最小化提供改良。最終的最適值或 (I_i, I_o, I_b) 等多個值，在製造晶圓之處理期間，為了最佳製程均勻性，會應用在個別電磁鐵 60, 65, 401。

第 68 圖的製程概述如下：起先，該三磁鐵中僅一對磁鐵發揮作用，例如，內部及外部磁鐵 60, 65。該磁鐵對會接著視為一體，且令第三磁鐵（例如，底部磁鐵 410）發揮作用，是故三個同時使用的磁鐵可達最佳化。然而，有三個可行的順序，其中三磁鐵皆發揮作用。一者為第 68 圖的範例。在第二順序中，發揮作用的起先那對磁鐵係外部磁鐵 65 及底部磁鐵 401，及第三磁鐵係內部磁鐵 60。在第三順序中，發揮作用的起先那對磁鐵為內部磁鐵 60 及底部磁鐵 410，及第三磁鐵係外部磁鐵 65。

第 69 圖繪示該製程的第二態樣，其中起先的磁鐵對係該外部磁鐵 65 及該底部磁鐵 401，及該第三磁鐵係內部磁鐵 60。在第 69 圖的第一步驟中，內部磁鐵電流會設定為零（方塊 435-1）。蝕刻速率徑向分佈會在不同的底部磁鐵電流時測量，以獲得一組分佈值 $E(r)_{1b}$ （方塊 437-1），及在不同的外部磁鐵電流時測量，可獲得一組分佈值 $E(r)_{1o}$ （方塊 439-1）。該二對應之對的分佈值會重疊，以形成不同的蝕刻速率分佈值 $E(r)_{1b+1o}$ （方塊 441-1），且由其可計算出對應的偏差 $D(I_b, I_o)$ （方塊 443-1）。該組偏差 $D(I_b, I_o)$ 可藉由一表面來表示（與第 67 圖者類似），由該表面搜尋該組 (I_b, I_o) 之值，其可得到最小的部份偏差 D （方塊 445-1）。

為了令第三磁鐵（即，底部磁鐵 401）的使用最佳化，最適對 (I_i, I_o) 各者會與連續的底部磁鐵電流值 I_b （皆在預設範圍內）結合，及三電流 (I_i, I_o, I_b) 之各組合會施加於反應器，且測量各蝕刻偏差。第 69 圖之方塊 447-1 的步驟是

最後的操作。該結果會經修改(方塊 449-1)，以產生一組偏差值 $D(I_i, I_o, I_b)$ 。該組結果會藉由一矩陣(或四維表面)來表示，其中會針對將偏差或部份偏差 D 值最小化的該組值 (I_i, I_o, I_b) ，來使用習用技術搜尋該矩陣。根據最後之值的組，會建立施加於三磁鐵 60, 65, 401 的電流。

第 70 圖之流程圖繪示用以使用三電磁鐵 60, 65, 401 來達成均勻之電漿或蝕刻速率分佈的方法。首先，當無電流施加到電磁鐵 60, 65, 401 時，先測量名義的(未經校正的)蝕刻速率分佈 $ER(r)$ (方塊 461)。接著，在許多不同的內部線圈電流 I_i 值時，會測量 I_i 所產生的蝕刻速率之徑向分佈，即 $\Delta ER(r, I_i)$ (方塊 463)。在許多不同的外部線圈電流 I_o 值時，測會量 I_o 所產生之蝕刻速率徑向分佈的改變，即 $\Delta ER(r, I_o)$ (方塊 465)。在許多不同的外部線圈電流 I_b 值時，會測量 I_b 所產生之蝕刻速率徑向分佈的改變，即 $\Delta ER(r, I_b)$ (方塊 467)。接著，可針對不同的 I_i , I_o ，及 I_b 值的各組合，可計算蝕刻速率分佈(方塊 469)：

$$ER(r, I_i, I_o, I_b) = ER(r) + \Delta ER(r, I_i) + \Delta ER(r, I_o) + \Delta ER(r, I_b)$$

在方塊 471 中會計算各分佈值的不均勻性或偏差或部份偏差 $D(I_i, I_o, I_b)$ 。該矩陣 $D(I_i, I_o, I_b)$ 會進行修改，以提供平滑函數，其接著會搜尋(方塊 473)以求得該組或多組之值 (I_i, I_o, I_b) ，其適用於最佳的 D 。因此，所發現的最適直流電流組 (I_i, I_o, I_b) ，會施加在該三磁鐵 60, 65, 401(方塊 475)。

第 71A 圖至第 71E 圖以圖表繪示各蝕刻速率分佈值

$ER(r, I_i, I_o, I_b)$ 中單一者的計算輔導範例。第 71A 圖之曲線繪示表面之蝕刻分佈 $ER(r)$ 。因施加 5 安培的直流電流於內部電磁鐵 60，而產生之名義分佈的改變 $\Delta ER(r, I_i)$ 會繪示在第 71B 圖。因施加 1 安培的直流電流於外部電磁鐵 65，而產生之名義分佈的改變 $\Delta ER(r, I_o)$ 會繪示在第 71C 圖。因施加 2 安培的直流電流於底部電磁鐵，而產生之名義分佈的改變 $\Delta ER(r, I_b)$ 會繪示在第 71D 圖。第 71A 圖至第 71D 圖之蝕刻速率分佈值的總和繪示在第 71E 圖，且係蝕刻速率分佈值 $ER(r, I_i=5, I_o=1, I_b=2)$ 。

判定該三磁鐵之最適電流 (I_i, I_o, I_b) 的另一方法為，在許多組合的 (I_i, I_o, I_b) 值之下，直接測量蝕刻速率分佈值 $ER(r, I_i, I_o, I_b)$ 。這個措施需要大量的測量，且可取代第 70 圖的方塊 461 至 469 之步驟。因此，一旦已測量了足夠數量的不同 $ER(r, I_i, I_o, I_b)$ ，即可執行第 70 圖的方塊 471, 473 及 475 之步驟。

在上述製程中，可參照在反應器中發生蝕刻之晶圓的蝕刻速率之徑向分佈，來判定均勻性。然而，更普遍而言，製程均勻性可定義為在任何製程中，包括蝕刻製程或沈積製程，晶圓表面之電漿離子密度分佈的徑向分佈之均勻性。在一蝕刻反應器中，電漿離子密度分佈可由晶圓表面所量得的蝕刻速率徑向分佈推導而得，該晶圓在實行電漿強化反應性離子蝕刻程序的反應器中進行處理。

該反應器已藉由特別參照較佳實施例的方式來進行細節說明，應了解在不違反該反應器之本質精神及範圍之

15/6/19 修正
三

下，可針對該反應器做變化及改良。

【圖式簡單說明】

第 1A 圖，第 1B 圖及第 1C 圖繪示具有頂上 VHF 電極及頂上線圈的電漿反應器，其用以控制電漿離子均勻性。

第 2 圖繪示用以控制第 1 圖之頂上線圈的示範裝置。

第 3A 圖及第 3B 圖係第 1 圖之頂上線圈的磁場強度的圖形表示。

第 4A 圖，第 4B 圖，第 4C 圖及第 4D 圖係在第 1 圖之反應器的各模式操作下的圖表曲線，其中晶圓表面之蝕刻速率(縱軸)係徑向位置(橫軸)的函數。

第 5A 圖，第 5B 圖，第 5C 圖及第 5D 圖係在第 1 圖之反應器的第四模式操作下的圖表曲線，其中晶圓表面之蝕刻速率(縱軸)係徑向位置(橫軸)的函數。

第 6 圖之圖表曲線繪示蝕刻速率，其係磁場之函數。

第 7 圖及第 8 圖繪示第 1A 圖中具有 MERIE 磁鐵的反應器。

第 9 圖繪示操作第 1A 圖之反應器的方法。

第 10 圖之圖表曲線繪示在第 1A 圖之反應器的磁性壓力的比較範例，其中離子或電子密度係晶圓表面上之徑向位置的函數。

第 11 圖之圖表曲線繪示蝕刻速率的不均勻性，其係線圈電流之函數。

第 12 圖繪示在第 11 圖之範例中的零線圈電流的徑向

離子分佈。

第 13A 圖及第 13B 圖比較了第 11 圖之範例中，約 11 安培之線圈電流處的量測與預測之蝕刻速率分佈。

第 14A 圖及第 14B 圖比較了第 11 圖之範例中，約 35 安培之線圈電流處的量測與預測之蝕刻速率分佈。

第 15 圖繪示操作第 1A 圖之反應器的另一方法。

第 16 圖繪示在與第 1A 圖對應之反應器中，所獲得之磁場分佈。

第 17 圖繪示晶圓面上，第 16 圖之磁場平方梯度。

第 18 圖繪示在對第 1A 圖對應之反應器中，所獲得的另一磁場分佈。

第 19 圖繪示晶圓面上，第 18 圖之磁場平方梯度。

第 20 圖繪示在對第 1A 圖對應之反應器中，所獲得的再另一磁場分佈。

第 21 圖繪示晶圓面上，第 20 圖之磁場平方梯度。

第 22 圖繪示操作第 1A 圖之反應器的再另一方法。

第 23 圖繪示用以控制第 1A 圖之反應器的示範微控制器之操作。

第 24 圖繪示一電漿反應器，其包括第 1A 圖之反應器所含有之特徵。

第 25 圖繪示另一電漿反應器，其包括第 1A 圖之反應器所含有之特徵。

第 26 圖，第 27 圖，第 28 圖，第 29A 圖及第 29B 圖繪示用於第 1A 圖，第 24 圖及第 25 圖之反應器的氣體分

佈板。

第 30 圖及第 31 圖繪示如同第 26 圖之氣體分佈板的熱控制特徵。

第 32 圖及第 33 圖繪示對應至第 26 圖之氣體分佈板，其具有雙區氣體流控。

第 34 圖繪示對應至第 1A 圖之電漿反應器，其具有雙區氣體分佈板。

第 35 圖及第 36 圖繪示示範之雙區氣流控制器。

第 37 圖繪示對應至第 34 圖之電漿反應器，其具有用以控制電漿離子分佈的頂上線圈。

第 38 圖及第 39 圖繪示第 26 圖之氣體分佈板中的不同氣體注入孔之態樣，其分別用以製造中央較低或中央較高的氣流分佈。

第 40 圖，第 41 圖，第 42 圖，及第 43 圖繪示不同的頂上線圈配置，其用以控制電漿離子分佈。

第 44 圖及第 45 圖繪示對應至第 1A 圖之電漿反應器，其中位於該反應器室上方及下方的較高及較低磁線圈取代了頂上線圈，以產生第 45 圖中最常見的尖端形磁場。

第 46 圖繪示可配置之磁場(CMF)線圈取代第 44 圖之較高及較低線圈的方法，該 CMF 線圈在以產生第 45 圖之尖端形磁場的方式下操作。

第 47A 圖至第 47D 圖繪示第 46 圖之 CMF 線圈為了產生期望之磁場配置的操作模式。

第 48 圖，第 49 圖及第 50 圖繪示第 1A 圖之反應器中

的環狀有孔平面，其用以避免該電漿離子進入該反應器之抽運環狀區域。

第 51 圖繪示第 1A 圖之反應器的矩形態樣，其用以處理矩形的工作部件。

第 52 繪示對應至第 1A 圖的反應器，其具有矩形工作部件的支架墊座。

第 53A 圖及第 53B 圖繪示利用二個頂上線圈及一個襯底線圈以控制電漿離子分佈的不同實施例。

第 54 圖繪示本發明之實施例。

第 55A 圖至第 55C 圖繪示在對應至第 54 圖反應器之三個模式之晶圓平面的三個磁場。

第 56A 圖至第 56C 圖分別繪示對應至第 55A 圖至第 55C 圖所施加的電磁直流電流。

第 57A 圖及第 57B 圖之圖表曲線分別比較了第 54 圖反應器之尖端模式及螺線管模式的徑向分量及軸向分量。

第 58A 圖及第 58B 圖之圖表曲線分別比較了第 54 圖反應器之螺線管及鏡像模式的徑向分量及軸向分量。

第 59 圖係針對第 54 圖反應器之不同模式的電漿離子徑向分佈的圖表曲線(得自離子飽和電流)。

第 60 圖之圖表曲線係蝕刻速率，其係第 54 圖反應器之不同磁場或模式之半徑的函數。

第 61 圖繪示一表格，其特徵為在不同磁場或模式下的蝕刻速率不均勻性及裝置損壞。

第 62 圖繪示用以針對三磁鐵中之至少二者來判定最

大直流線圈電流的基本程序。

第 63 圖繪示一額外程序，其可遵照用以針對三磁鐵全體來判定直流電流之第 62 圖的程序。

第 64 圖繪示第 63 圖之另一程序。

第 65 圖之圖表曲線繪示根據一磁鐵的第一檢查，針對不同磁場強度的蝕刻速率之徑向分佈。

第 66 圖之圖表曲線繪示根據另一磁鐵的第二檢查，針對不同磁場強度的蝕刻速率之徑向分佈。

第 67 圖之圖表曲線繪示由第 65 圖及第 66 圖之分佈所建構出來的數學分佈函數。

第 68 圖繪示用以判定最大電磁直流電流的程序。

第 69 圖繪示用以判定最大電磁直流電流的另一程序。

第 70 圖繪示用以判定最大電磁直流電流的再另一程序。

第 71A 圖至第 71E 圖繪示在第 70 圖之程序的相繼步驟中，所獲的的蝕刻速率分佈圖。

【主要元件符號說明】

5	圓柱狀側壁	10	頂蓋
11	阻抗匹配元件	12	VHF 信號產生器
15	支架墊座	20	工作部件
25	氣體供應	30	真空泵
40	RF 發電器	45	匹配電路
60	內線圈	64	線圈

65	外線圈	70	直流電流供應
75	直流電流供應	76	直流電流供應
82a	電位計	82b	電位計
84a	開關	84b	開關
90	控制器	91	微處理器
92	MERIE 電磁鐵	94	MERIE 電磁鐵
96	MERIE 電磁鐵	98	MERIE 電磁鐵
99	MERIE 電流控制器	100	反應器室
105	晶圓支架	110	晶圓
115	導體或半導體環	120	介電環
125	導體電極	126	電極組件
127	反應器主體	130	介電密封墊
135	同軸短線	135a	同軸遠端
135b	同軸近端	140	內部圓柱狀導體
145	外部圓柱狀導體	147	絕緣體
150	RF 發電器	150a	RF 回傳端
150b	RF 電源端	160	同軸分接頭
162	同軸電纜	165	終止導體
170	氣體管線	172	氣體入口
173	冷卻劑管線	174	冷卻劑通道
175	導體外殼	176	導體圓柱體
180	介電環	300	氣體注入小孔
302	中央片狀物	303	圓柱狀指狀物
401	底部電磁鐵	403	直流電壓供應

415	第 62 圖之第一步驟	417	第 62 圖之第二步驟
419	第 62 圖之第三步驟	421	第 62 圖之第四步驟
423	第 63 圖之第一步驟	425	第 63 圖之第二步驟
431	第 64 圖之第一步驟	433	第 64 圖之第二步驟
435	第 68 圖之第一步驟	437	第 68 圖之第二步驟
439	第 68 圖之第三步驟	441	第 68 圖之第四步驟
443	第 68 圖之第五步驟	445	第 68 圖之第六步驟
447	第 68 圖之第七步驟	449	第 68 圖之第八步驟
451	第 68 圖之第九步驟	435-1	第 69 圖之第一步驟
437-1	第 69 圖之第二步驟	439-1	第 69 圖之第三步驟
441-1	第 69 圖之第四步驟	443-1	第 69 圖之第五步驟
445-1	第 69 圖之第六步驟	447-1	第 69 圖之第七步驟
449-1	第 69 圖之第八步驟	451-1	第 69 圖之第九步驟
461	第 70 圖之第一步驟	463	第 70 圖之第二步驟
465	第 70 圖之第三步驟	467	第 70 圖之第四步驟
469	第 70 圖之第五步驟	471	第 70 圖之第六步驟
472	第 70 圖之第七步驟	475	第 70 圖之第八步驟
902	MERIE 磁鐵	904	MERIE 磁鐵控制器
910	分析判定方塊	901'	分析判定方塊
920	測量離子密度	920'	測量離子密度
930	判定校正	930'	判定校正
940	施加測試電流且測量	940'	施加測試電流且測量
950	判定比例係數	950'	判定比例係數
960	搜尋線圈電流	960'	搜尋線圈電流

1020	支架框架	1025	轉子
1402	遮蓋	1404	基座
1406	圓盤板	1408	環狀壁
1410	肩狀側壁	1414	歧管
1414a	中央歧管	1414b	外側歧管
1414c	外側歧管	1416	饋體管
1418	饋氣管	1420	饋氣管
2210	定義分析模型	2220	選擇磁場
2230	搜尋模型	2240	儲存電流
2250	選擇電流值	2260	施加電流值
2310	晶圓面的蝕刻	2320	淨化頂蓋
2330	引導電漿朝向晶圓前進	2350	校正電漿的不均勻性
2360	引導電漿朝向晶圓及頂蓋前進		
2370	校正電漿的不均勻性	2380	引導電漿朝向頂蓋前進
2390	校正電漿的不均勻性	1502	碳化矽塗層
1504	聚合物黏著層	1520	溫控構件
1522	水套	1524	熱交換器
1602	環狀分隔	1604	內部分隔
1606	外部分隔	1610	雙區控制器
1612	氣體供應	1618	連通導管
1640	流量控制器	1651	氣閥
1652	氣閥	4060	線圈
4062	線圈	4064	線圈
4066	線圈	4068	線圈

4420 線圈	4440 線圈
4610 電磁鐵	4610a 頂部導體
4610b 底部導體	4620 電磁體
4620a 頂部導體	4620b 底部導體
4620c 垂直導體	4630 電磁鐵
4630a 頂磁導體	4630b 底磁導體
4630d 垂直導體	4640 電磁鐵
4640a 頂部導體	4640b 底部導體
4650 MERIE 反應器	4660 電流控制器
4810 格柵	4820 開口
4910 反應器室內襯	4920 上方水平部份
4930 垂直部份	4940 下方水平部份
4950 整體物	4960 基座
4962 環狀軌	4964 環狀軌
4972 溫控元件	4974 溫控元件
4976 溫控元件	5210 底部線圈
5220 外部線圈	

十、申請專利範圍：

10 | 20 | 11 | 0

1. 一種用在一電漿反應器中，改良電漿離子密度分佈之均勻性之方法，該電漿反應器具有一位於一第一平面之外界環狀內部電磁鐵、一位於一第二平面且直徑大於該內部電磁鐵之外界環狀外部電磁鐵、及一位於一第三平面之外界環狀底部電磁鐵，該第一平面、第二平面覆蓋一工作部件支架表面，且該第三平面位於一工作部件支架表面下方，該方法至少包含以下步驟：

由該底部電磁鐵與該內部及該外部電磁鐵中之一者，在該工作部件支架表面產生一徑向磁場，其磁場強度會相對於該工作部件支架表面中央之電漿離子密度，而增加靠近該工作部件支架表面周圍之電漿離子密度；

藉由使用該內部及外部電磁鐵中之另一者，來產生一額外之磁場分量，以再增加該周圍處之電漿離子密度；

其中該額外磁場分量包括該工作部件支架表面之一軸向磁場且該軸向磁場之強度低於該工作部件支架表面之徑向磁場。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，更包含以下步驟：

在處理一生產工作部件之前，尋找一螺線管磁場，其產生期望之電漿離子密度徑向分佈之均勻度，及判定該螺線管磁場之徑向分量；及

其中產生該徑向磁場之步驟至少包含：增加高於該螺線管磁場之該徑向分量強度之該徑向磁場，直至電漿離子密度之徑向分佈均勻性至少幾近於到達由該螺線管磁場所產生之該期望均勻性。

3. 一種用在一電漿反應器中，控制電漿離子密度分佈之方法，該電漿反應器具有一位於一第一平面之外界環狀內部電磁鐵、一位於一第二平面且直徑大於該內部電磁鐵之外界環狀外部電磁鐵、及一位於一第三平面之外界環狀底部電磁鐵，該第一平面、第二平面覆蓋一工作部件支架表面，且該第三平面位於該工作部件支架表面下方，該方法至少包含以下步驟：

由該底部電磁鐵與該內部及該外部電磁鐵中之一者，在該工作部件支架表面產生一徑向磁場，其磁場強度會相對於該工作部件支架表面中央之電漿離子密度，而增加靠近該工作部件支架表面周圍之電漿離子密度；及

由該內部及外部電磁鐵中之另一者，在該工作部件支架表面產生一軸向磁場，其最有一最小強度，而足以維持電漿離子密度的更均勻之徑向分佈。

4. 如申請專利範圍第3項所述之方法，其中電漿離子密度係由生產晶圓上之蝕刻速率徑向分佈來判定，該生產晶圓係在該工作部件支架表面進行處理。

5. 一種用在一電漿反應器中，控制電漿離子密度分佈之方法，該電漿反應器具有一位於一第一平面之外界環狀內部電磁鐵、一位於一第二平面且直徑大於該內部電磁鐵之外界環狀外部電磁鐵、及位於一第三平面之外界環狀底部電磁鐵，該第一平面與第二平面覆蓋一工作部件支架表面，且該第三平面位於該工作部件支架表面下方，該方法至少包含以下步驟：

尋找一組直流電流對，其施加於該內部、外部及底部磁鐵中之一對，其傾向於令電漿離子密度分佈之不均勻性降到最低；

針對該組直流電流對中之每一直流電流對，尋找一直流電流，其施加於該內部、外部及底部電磁鐵中之另一者，其傾向於令電漿離子密度分佈之不均勻性降到最低，俾以建立一組直流電流三元組，其中該直流電流三元組係對應於該內部、外部及底部之磁鐵；及

施加該組直流電流三元組中之一者於該內部、外部及底部磁鐵；

中該內部、外部及底部電磁鐵中之該對，至少包含該底部電磁鐵與該內部及外部電磁鐵中之一者，藉此，該電磁鐵對會在該工作部件支架表面處建立一主要徑向磁場，及該另一磁鐵則建立一較弱之軸向磁場。

6. 如申請專利範圍第5項所述之方法，其中該內部、外部

及底部電磁鐵中之該對至少包含該底部電磁鐵與該外部電磁鐵，及該另一電磁鐵至少包含該內部電磁鐵。

7. 如申請專利範圍第 5 項所述之方法，其中可由半導體晶圓上之蝕刻速率徑向分佈之測量值，推導出電漿離子密度分佈，該半導體晶圓在該工作部件支架表面處進行處理。

8. 一種用在一電漿反應器中，控制電漿離子密度分佈之方法，該電漿反應器具有一位於一第一平面之外界環狀內部電磁鐵、一位於一第二平面且直徑大於該內部電磁鐵之外界環狀外部電磁鐵、及一位於一第三平面之外界環狀底部電磁鐵，其中該第一平面與第二平面覆蓋一工作部件支架表面，且該第三平面位於該工作部件支架表面下方，該方法至少包含以下步驟：
 - 判定該工作部件支架表面處之未經校正的電漿離子密度分佈；
 - 判定電漿離子密度分佈之改變，其為個別施加於該內部、外部及底部電磁鐵中之各者的直流電流之函數；
 - 對該內部、外部及底部電磁鐵施加不同組合之直流電流，以將該等函數重疊在該未經校正之電漿分佈，以獲得複數個試驗之電漿離子密度分佈；
 - 搜尋該等試驗之電漿離子密度分佈以找出具有電漿離子密度分佈高均勻度之至少一者，及判定對應於該

者之最適電流組；及

施加該最適電流組於該內部、外部及底部電磁鐵之各者。

9. 如申請專利範圍第8項所述之方法，其中判定電漿離子密度分佈之步驟至少包含：由半導體晶圓上之蝕刻速率分佈之測量值，推論出該電漿離子密度分佈，該半導體晶圓在該工作部件支架表面上進行處理。

10. 一種用以處理一反應器室內之一工作部件支架表面上之一工作部件的電漿反應器，其至少包含：

一外界環狀內部電磁鐵，位於覆蓋該工作部件支架表面之一第一平面中；

一外界環狀外部電磁鐵，位於覆蓋該工作部件支架表面之一第二平面中且具有大於該內部電磁鐵之直徑；

一外界環狀底部電磁鐵，位於該工作部件支架表面下方之一第三平面中；

一處理器，控制施加於該內部、外部及底部電磁鐵中之各者的直流電流；及

一記憶體，該處理器可存取該記憶體，其儲存用於該內部、外部及底部電磁鐵中之各者的直流電流值，該等電流藉由一程序來判定，其中該程序至少包含以下步驟：

尋找一組直流電流對，其施加於該內部、外部

及底部磁鐵中之一對，其傾向於令電漿離子密度分佈之不均勻性降到最低；

針對該組直流電流對中之每一直流電流對，尋找施加於該內部、外部及底部電磁鐵中之另一者的直流電流，其傾向於令電漿離子密度分佈之不均勻性降到最低，俾以建立一組直流電流三元組，其中該直流電流三元組對應於該內部、外部及底部磁鐵。

11. 如申請專利範圍第 10 項所述之反應器，其中可由晶圓上之蝕刻速率分佈之測量值，推導出電漿離子密度分佈，該晶圓在該工作部件支架表面處進行處理。

12. 一種用以處理位於一反應器室內之一工作部件支架表面上之一工作部件的電漿反應器，其至少包含：

一外界環狀內部電磁鐵，位於覆蓋該工作部件支架表面之一第一平面中；

一外界環狀外部電磁鐵，位於覆蓋該工作部件支架表面之一第二平面中且具有大於該內部電磁鐵之直徑；

一外界環狀底部電磁鐵，位於該工作部件支架表面下方之一第三平面中；

一處理器，控制施加於該內部、外部及底部電磁鐵中之各者的直流電流；及

一記憶體，該處理器可存取該記憶體，其儲存用於該內部、外部及底部電磁鐵中之各者的直流電流值，該

等電流藉由一程序來判定，其中該程序至少包含以下步驟：

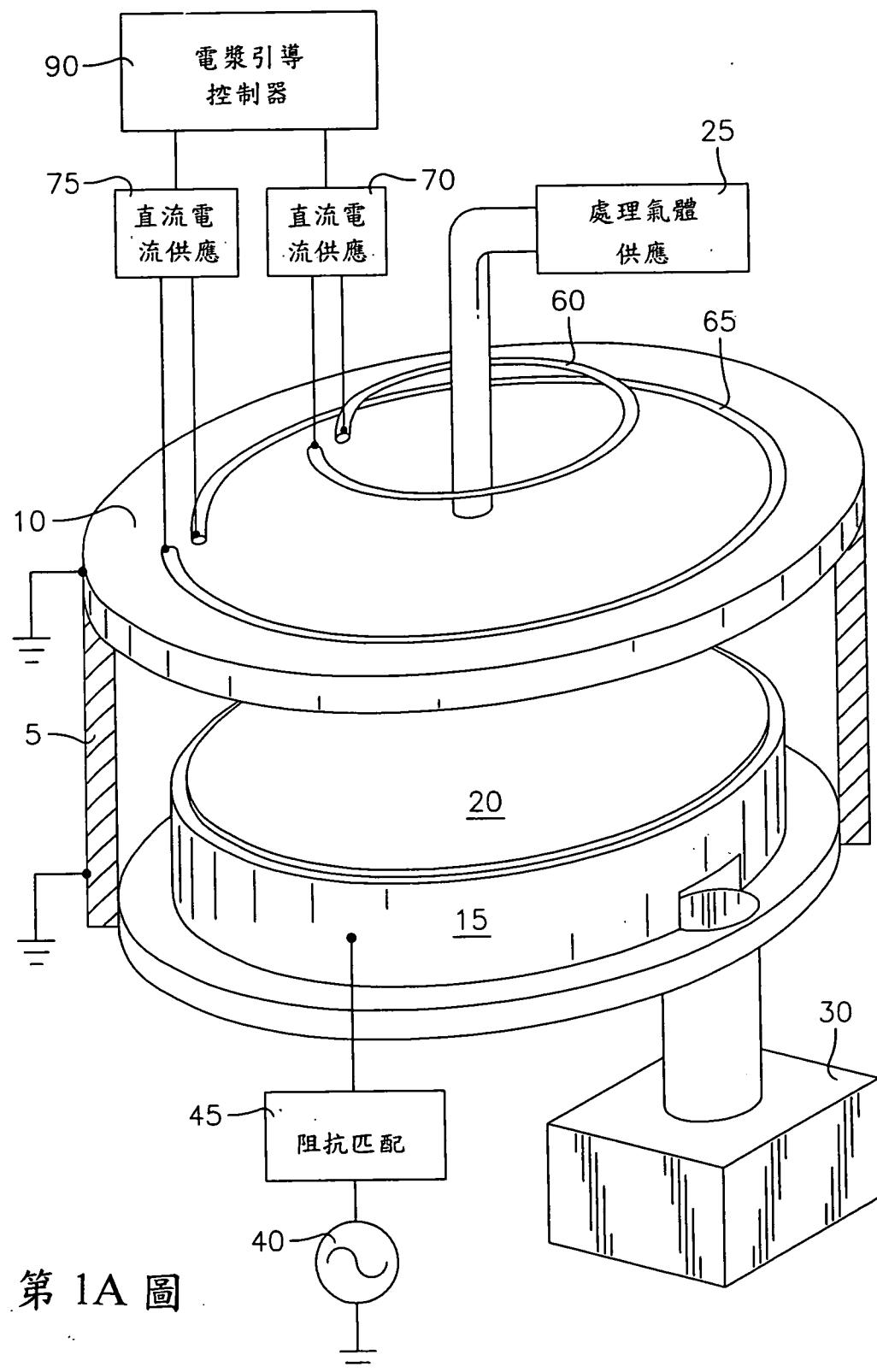
判定該工作部件支架表面處之未經校正的電漿離子密度分佈；

判定電漿離子密度分佈之改變，其為個別施加於該內部、外部及底部電磁鐵中之各者的直流電流之函數；

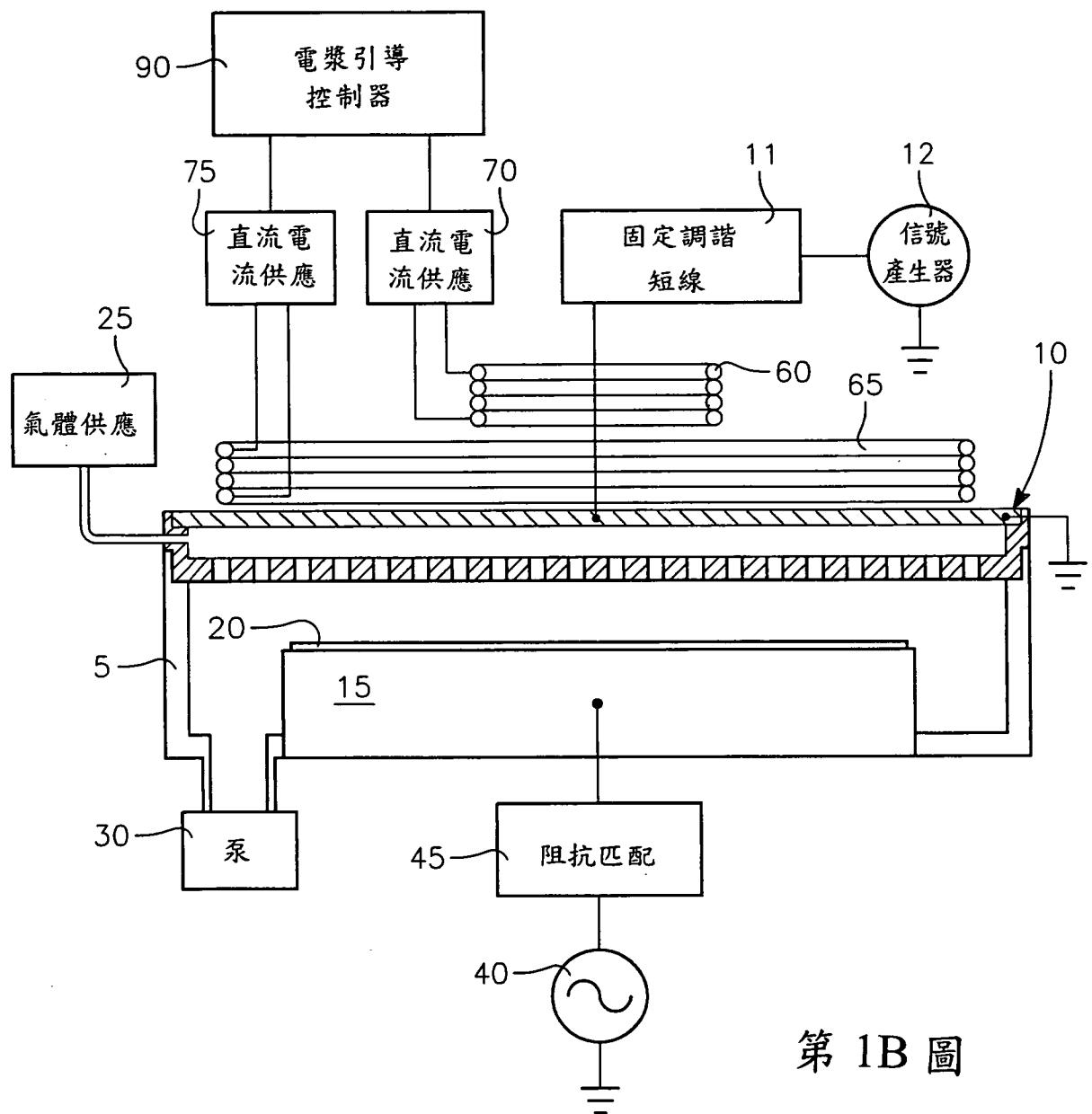
對該內部、外部及底部電磁鐵施加不同組合之直流電流，以將該等函數重疊於該未經校正之電漿分佈，以獲得複數個試驗之電漿離子密度分佈；及

搜尋該試驗之電漿離子密度分佈以找出具有電漿離子密度分佈高均勻度之至少一者，及判定對應於該者之最適電流組。

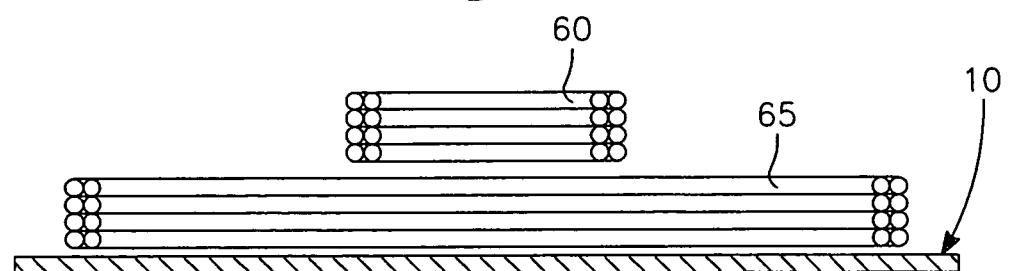
13. 如申請專利範圍第 12 項所述之反應器，其中可由晶圓上之蝕刻速率分佈之測量值，推導出電漿離子密度分佈，該晶圓在該工作部件支架表面處進行處理。



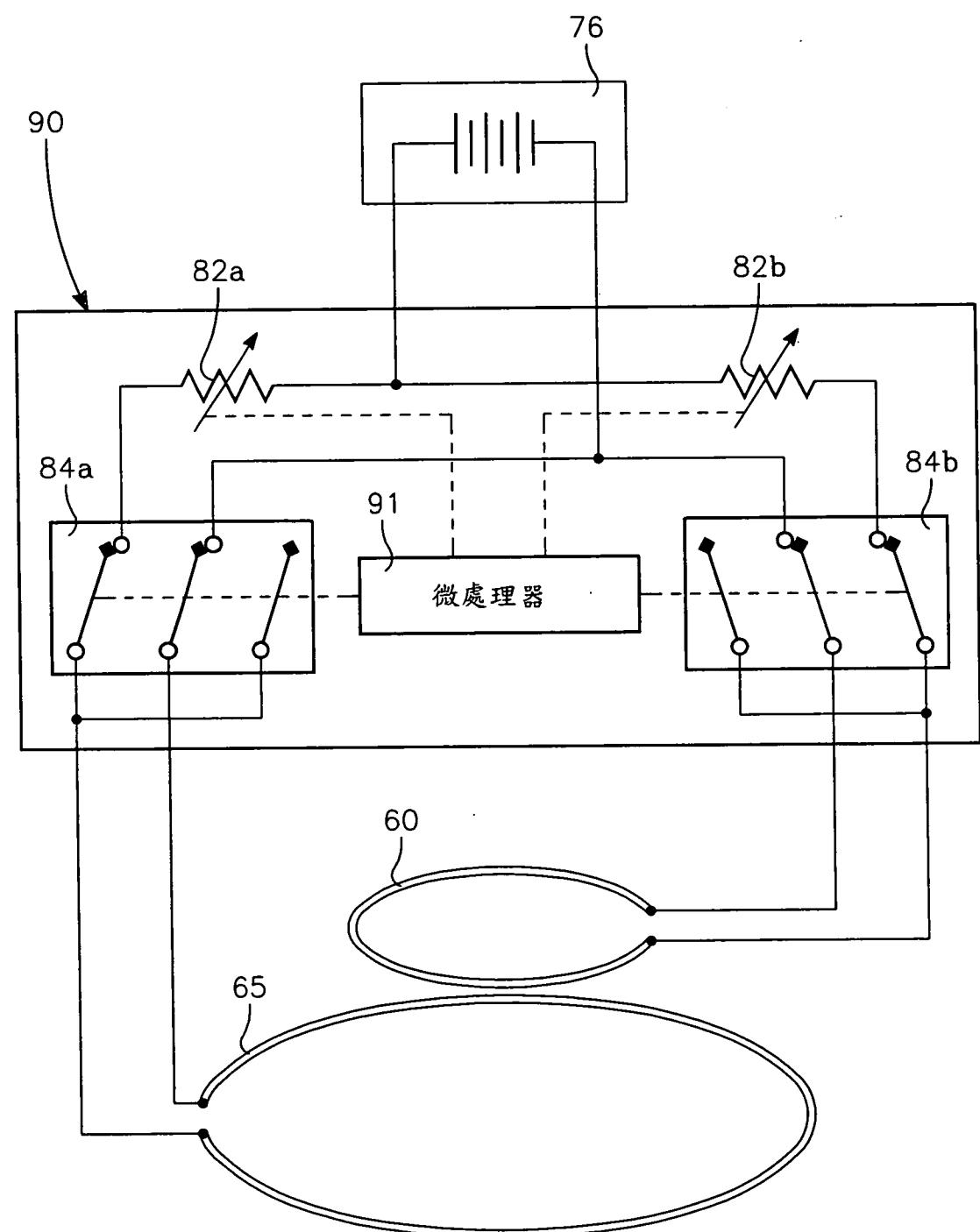
第 1A 圖



第 1B 圖

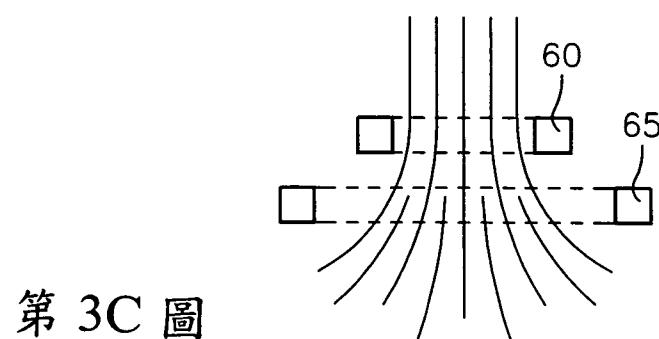
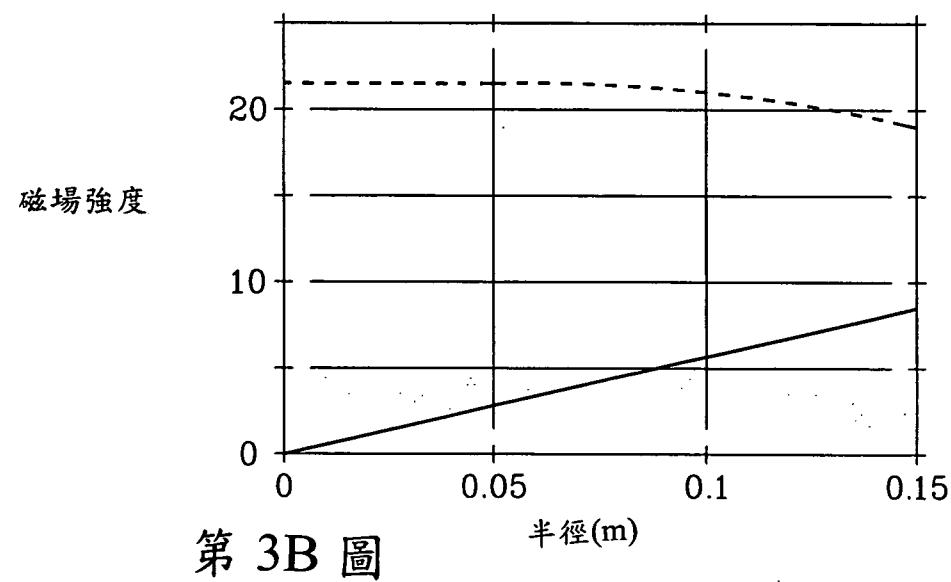
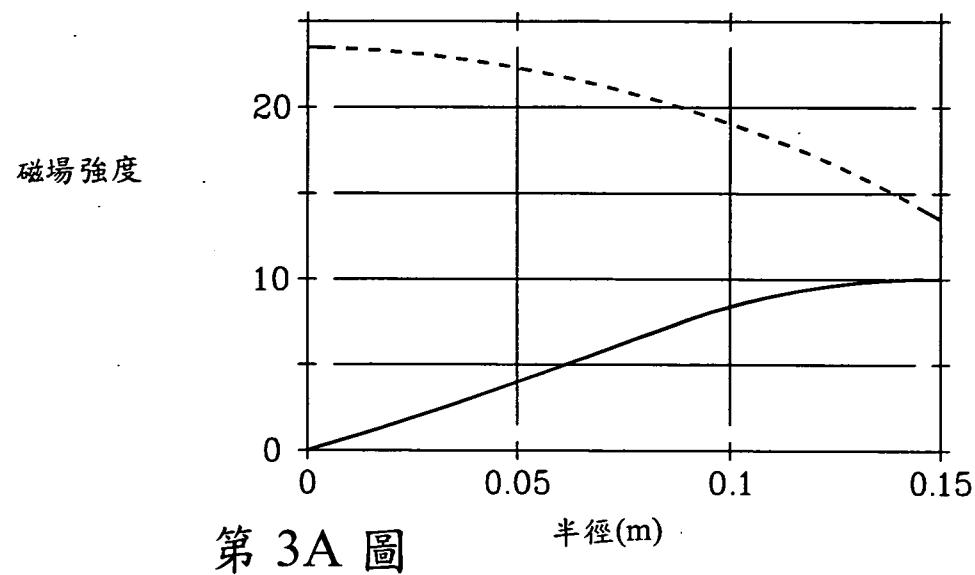


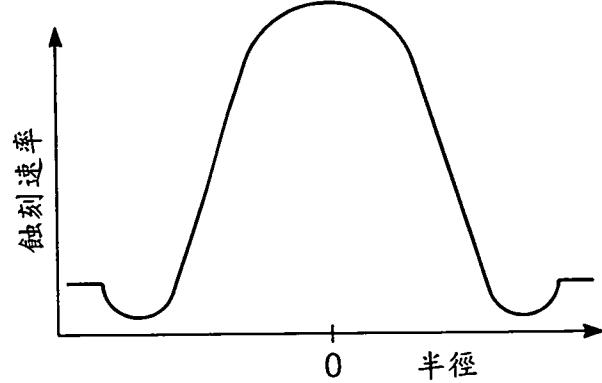
第 1C 圖



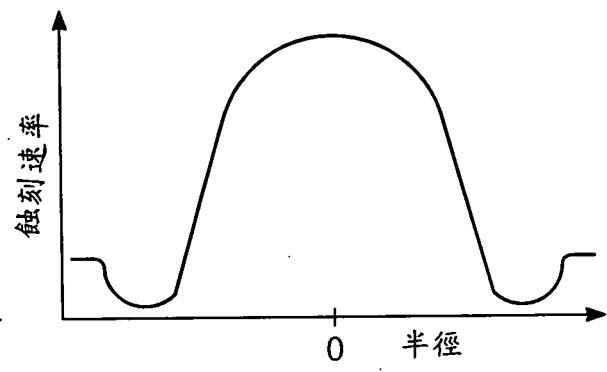
第 2 圖

I388243

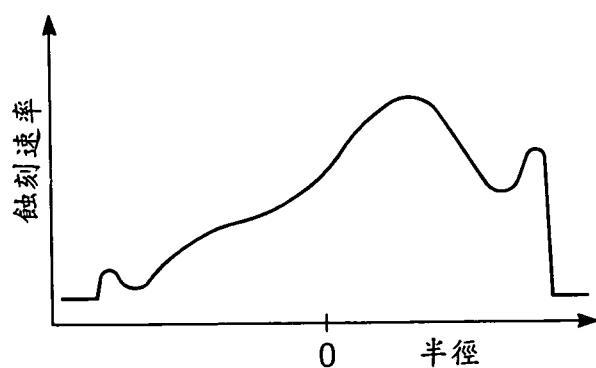




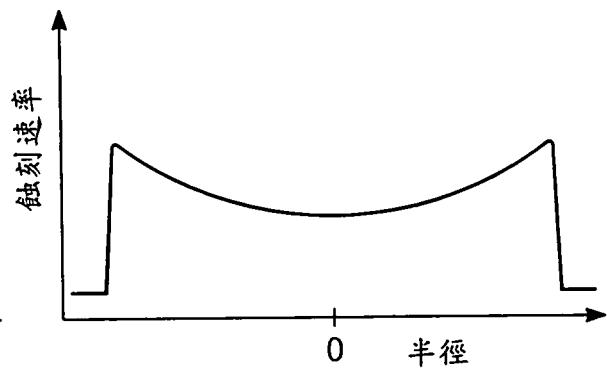
第 4A 圖



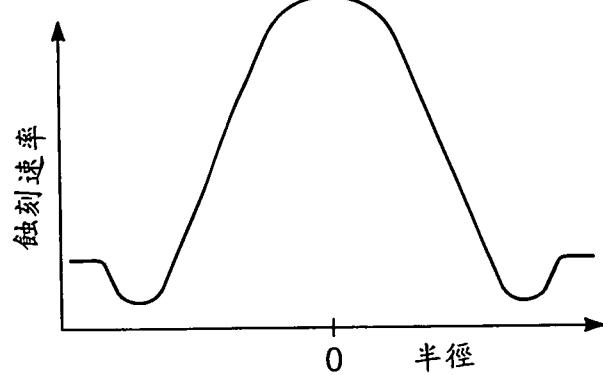
第 4B 圖



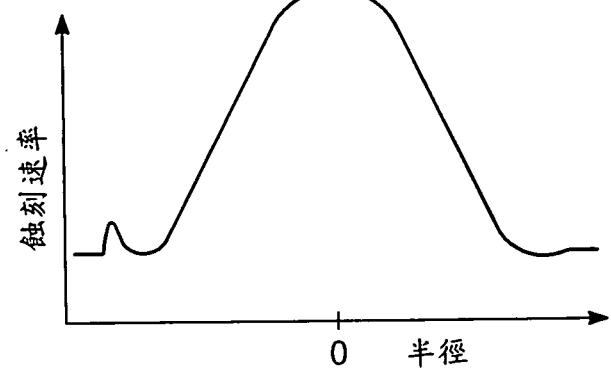
第 4C 圖



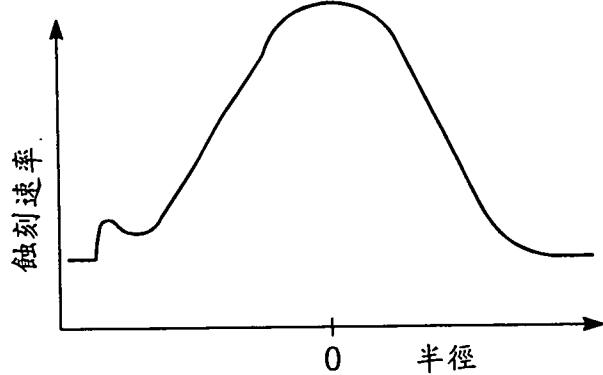
第 4D 圖



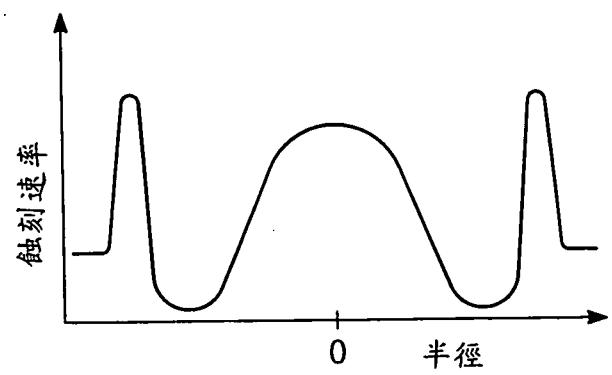
第 5A 圖



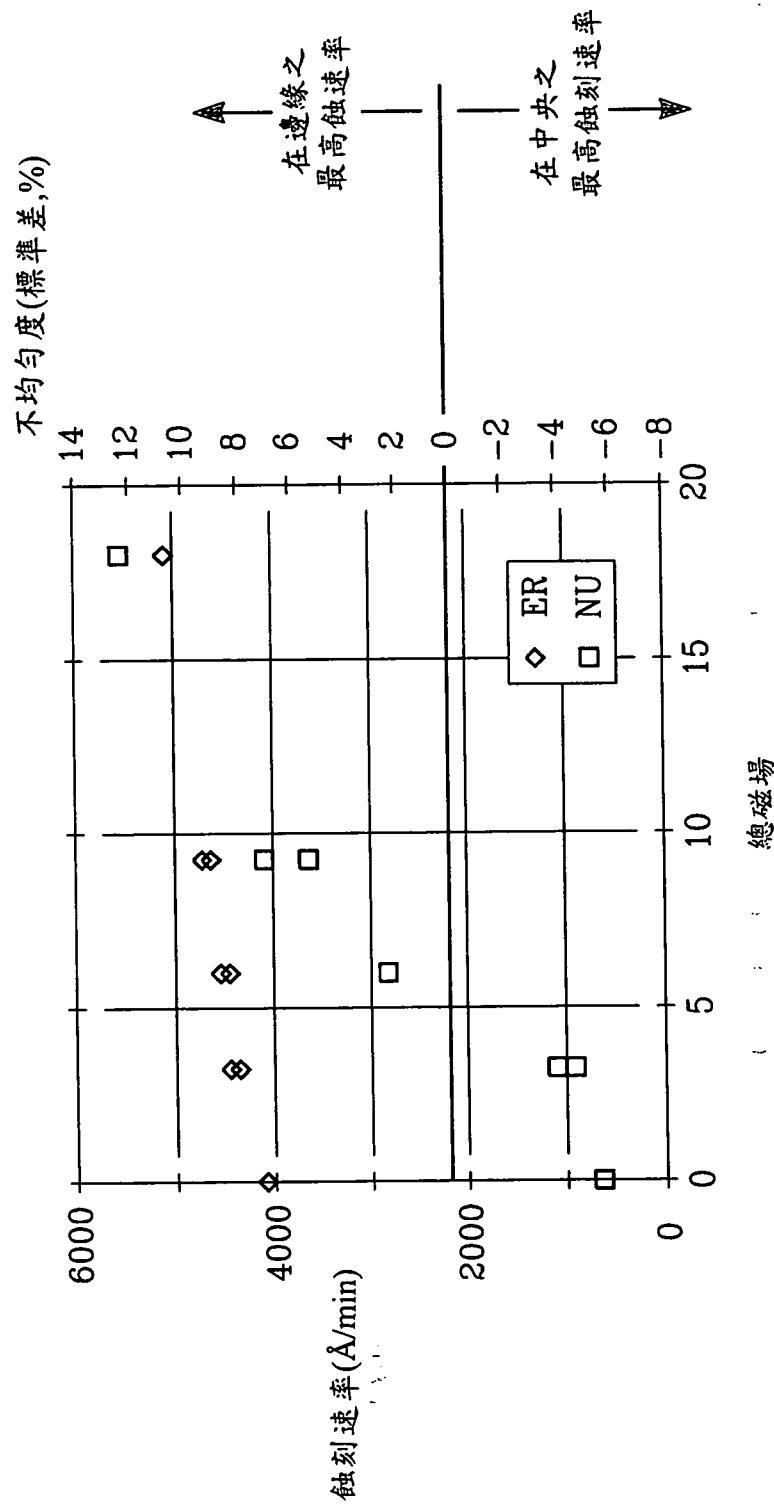
第 5B 圖



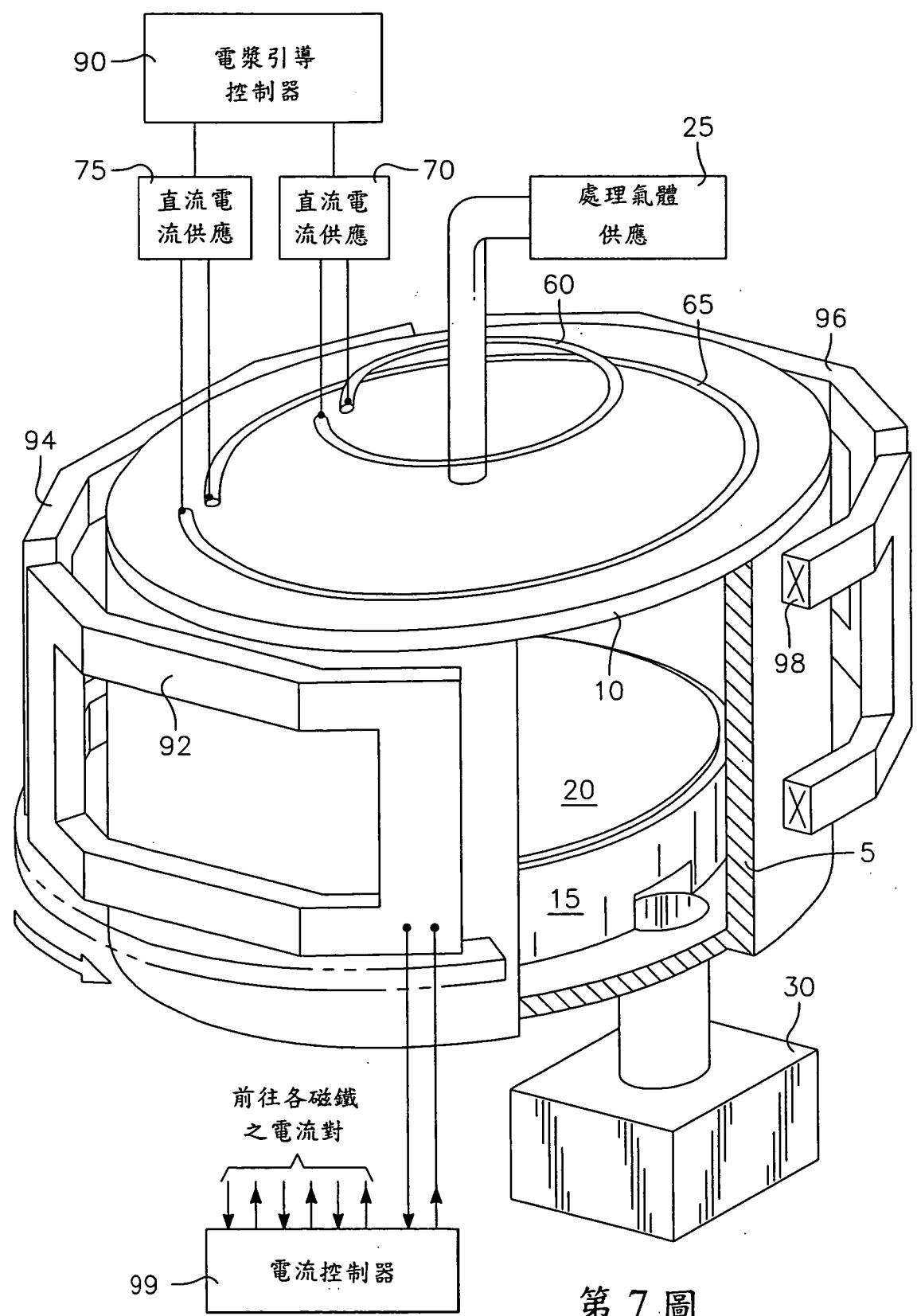
第 5C 圖



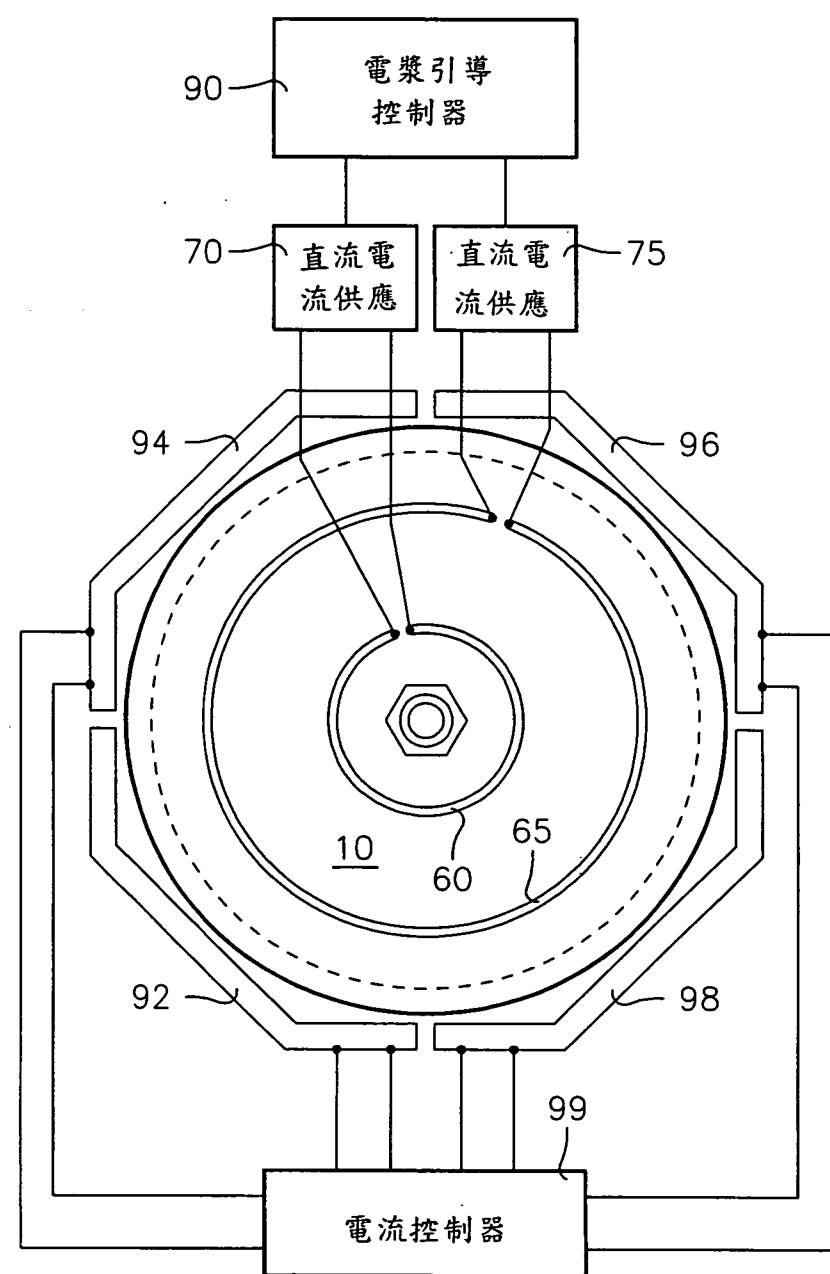
第 5D 圖



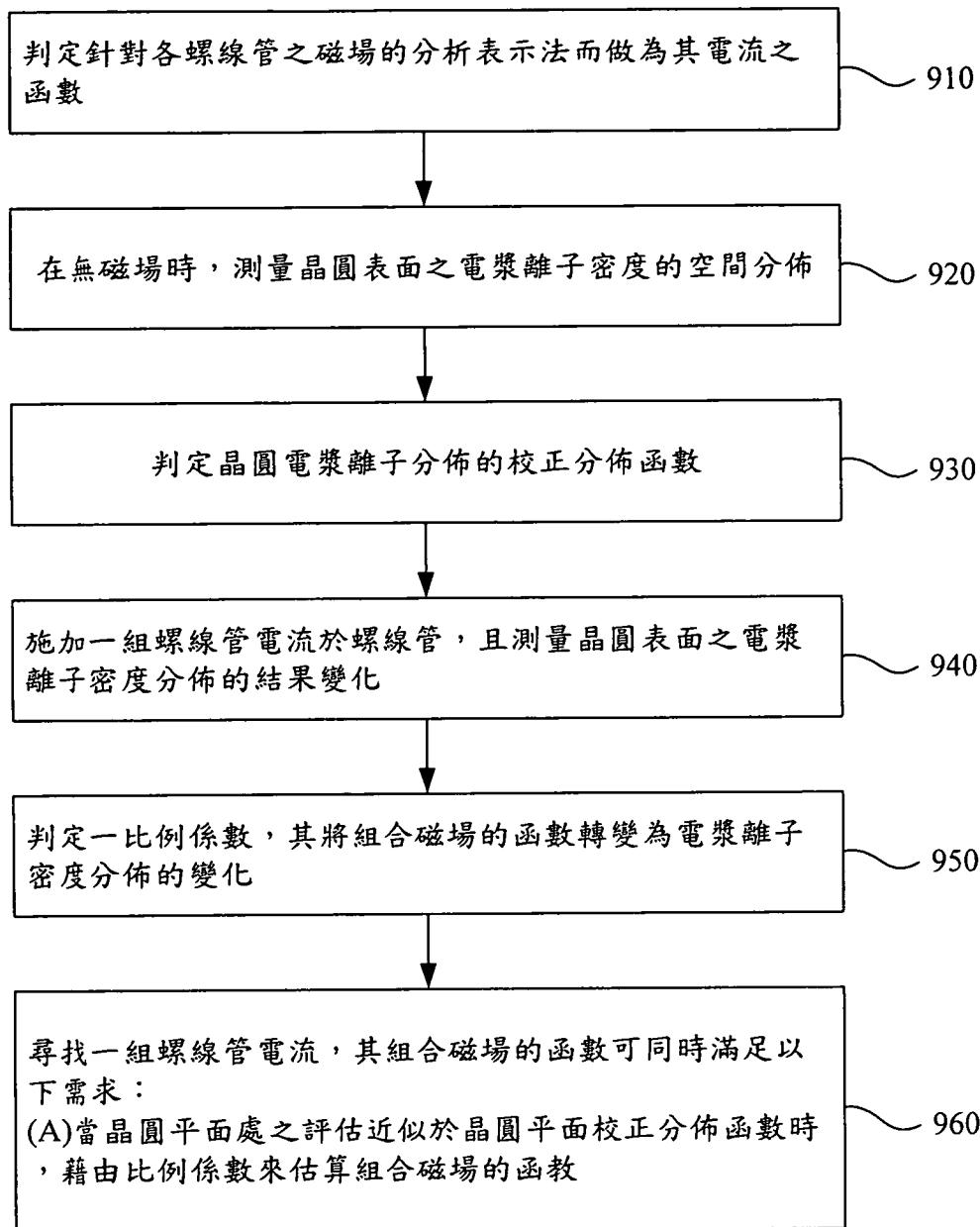
第 6 圖



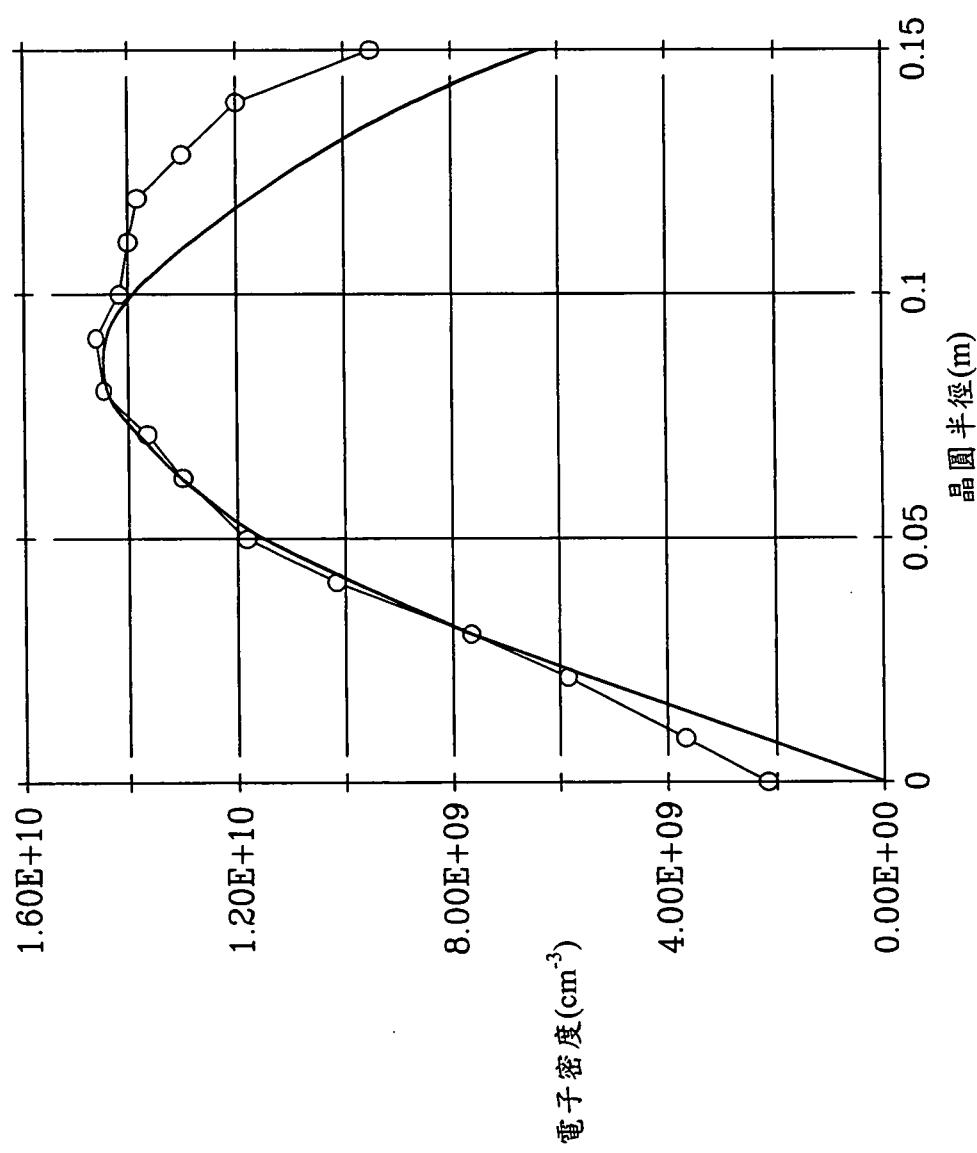
第 7 圖



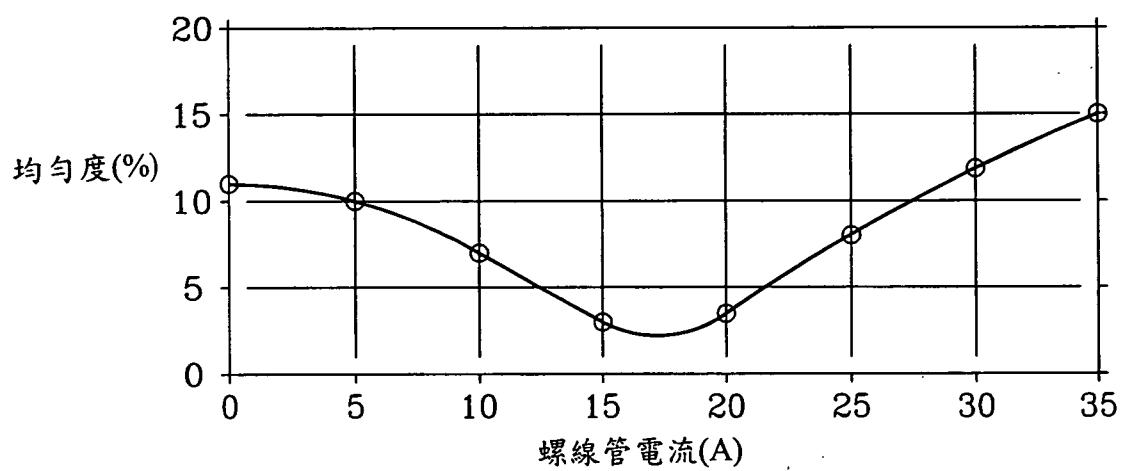
第 8 圖



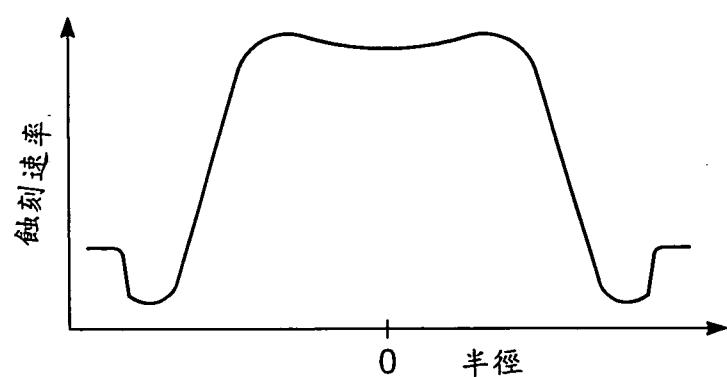
第 9 圖



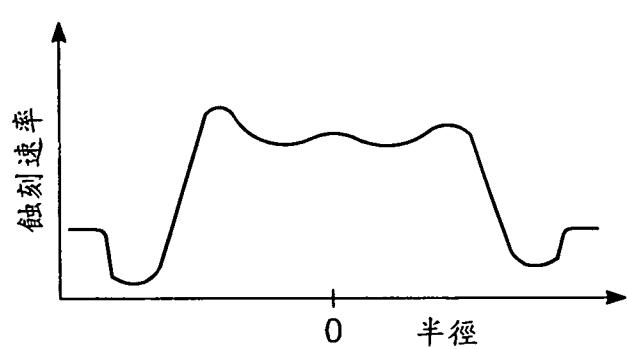
第 10 圖



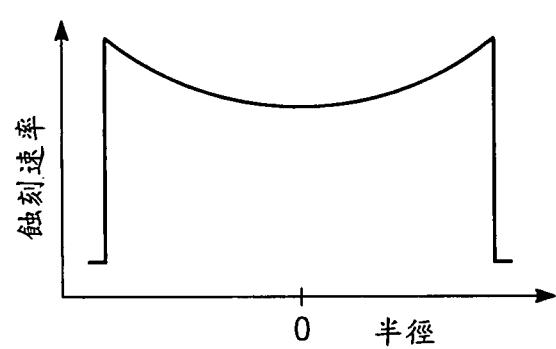
第 11 圖



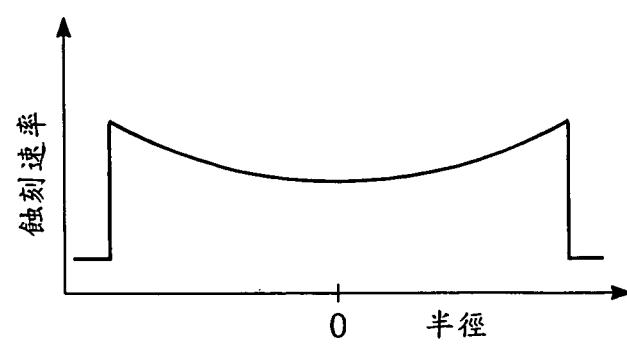
第 12 圖



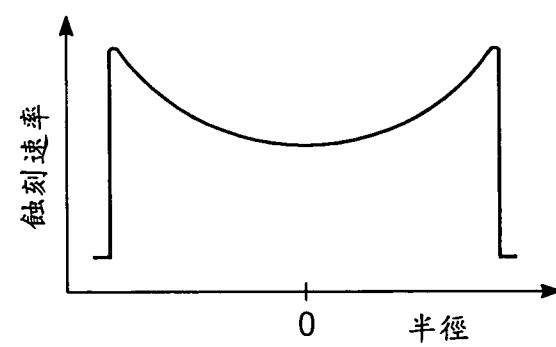
第 13A 圖



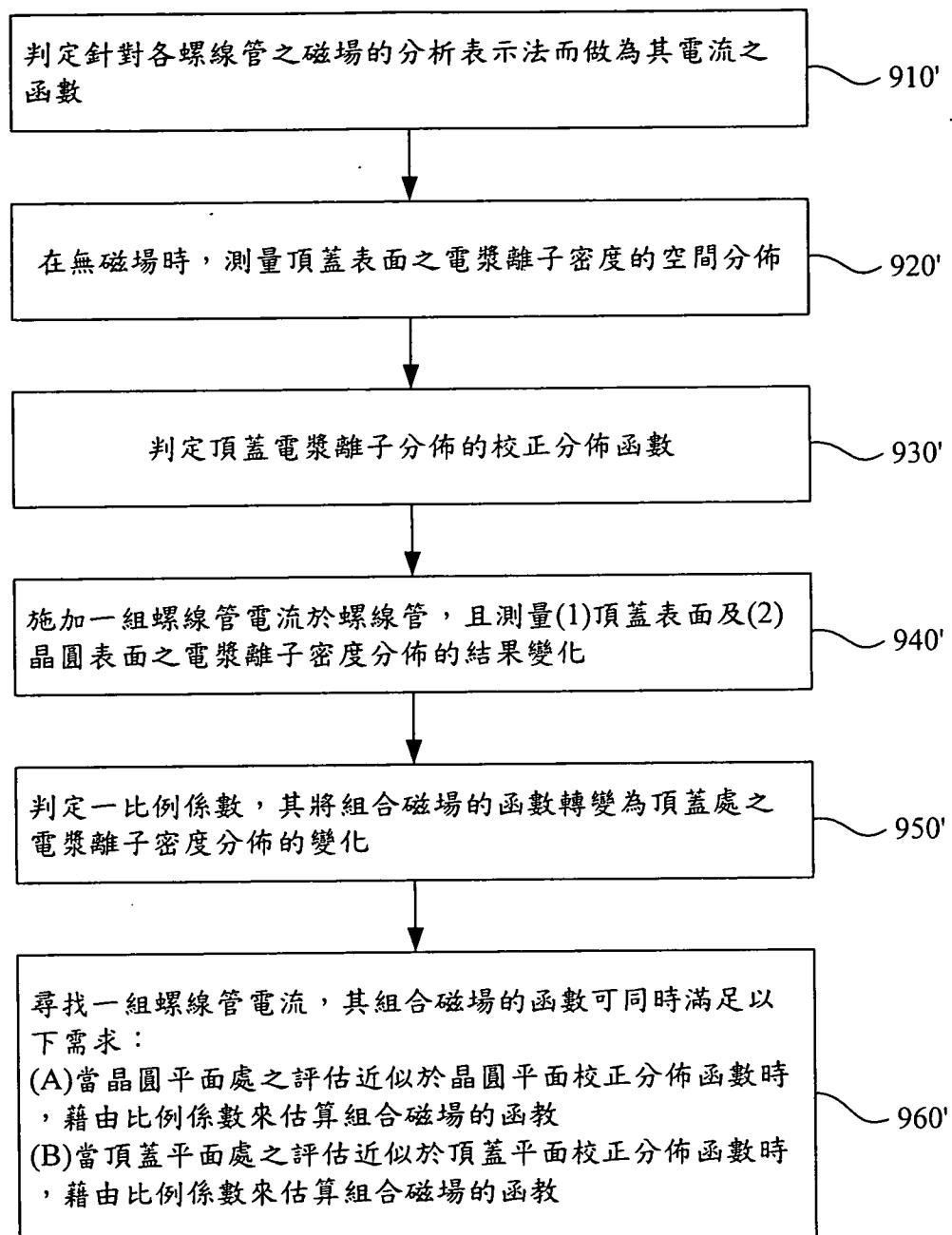
第 13B 圖



第 14A 圖

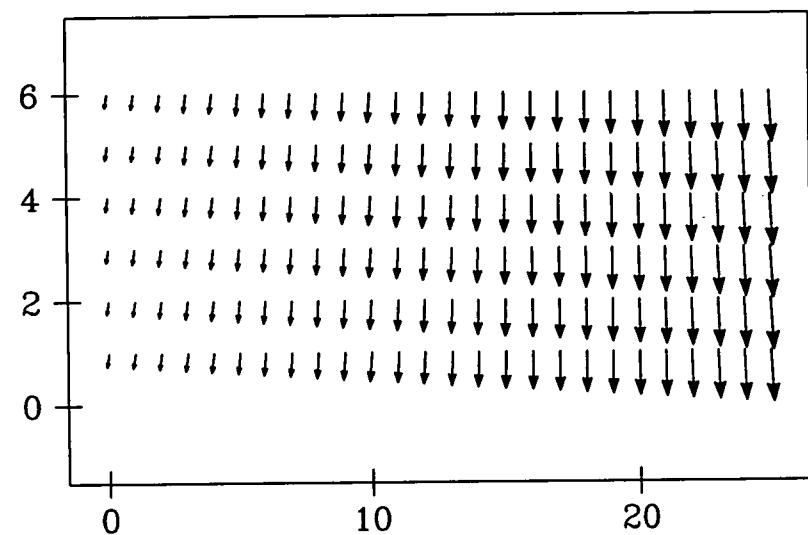


第 14B 圖

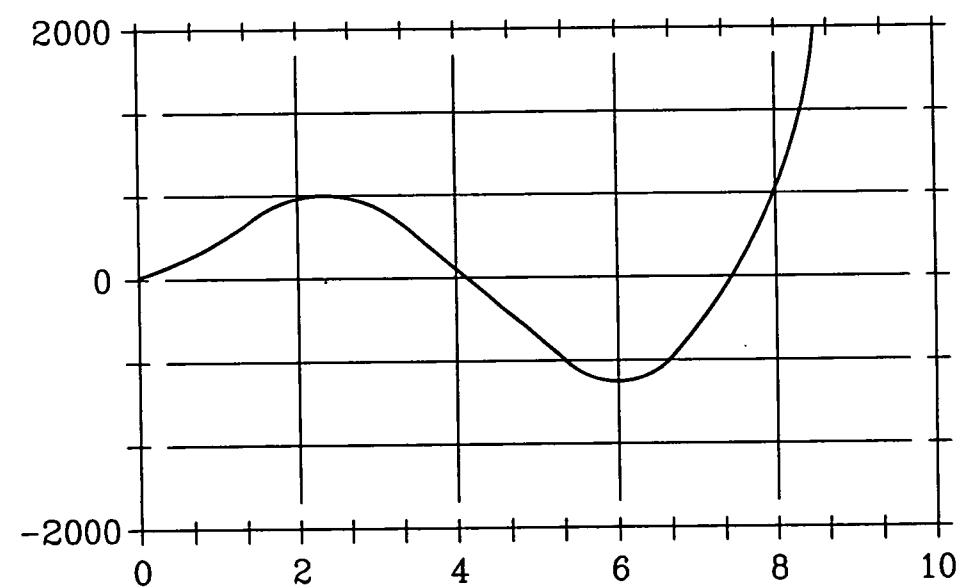


第 15 圖

I388243

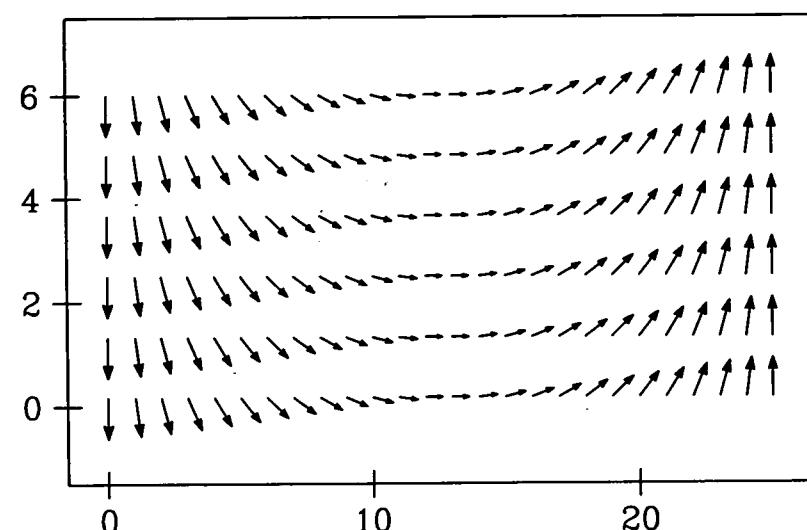


第 16 圖

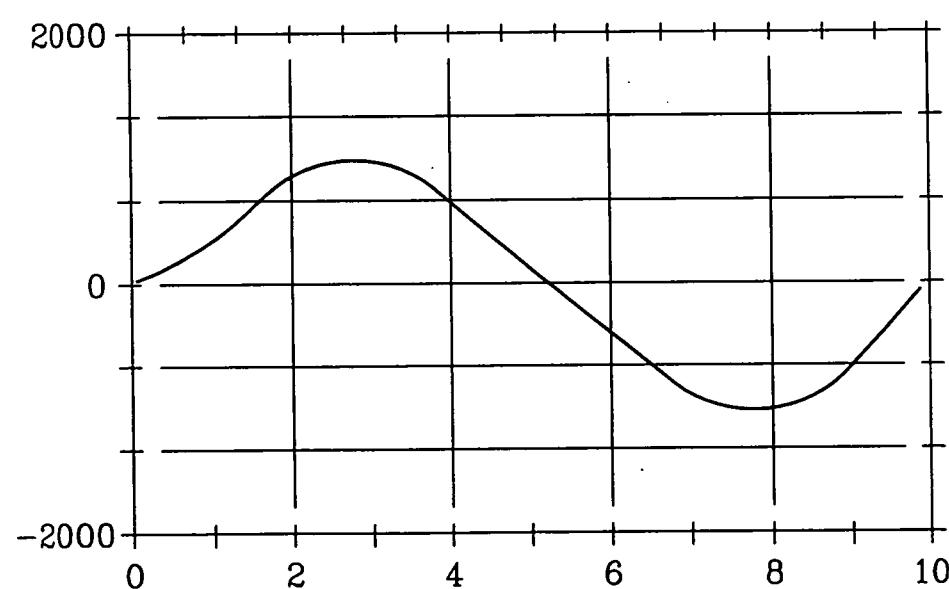


第 17 圖

I388243

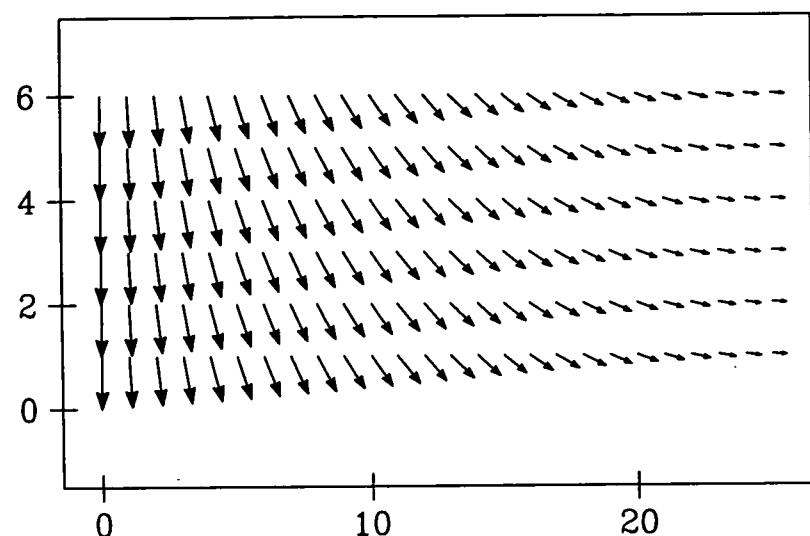


第 18 圖

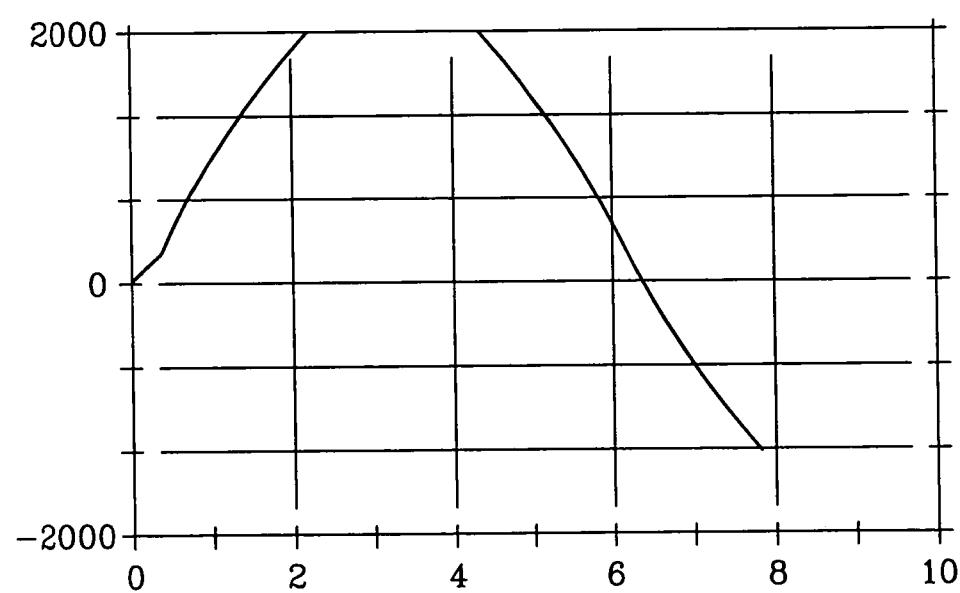


第 19 圖

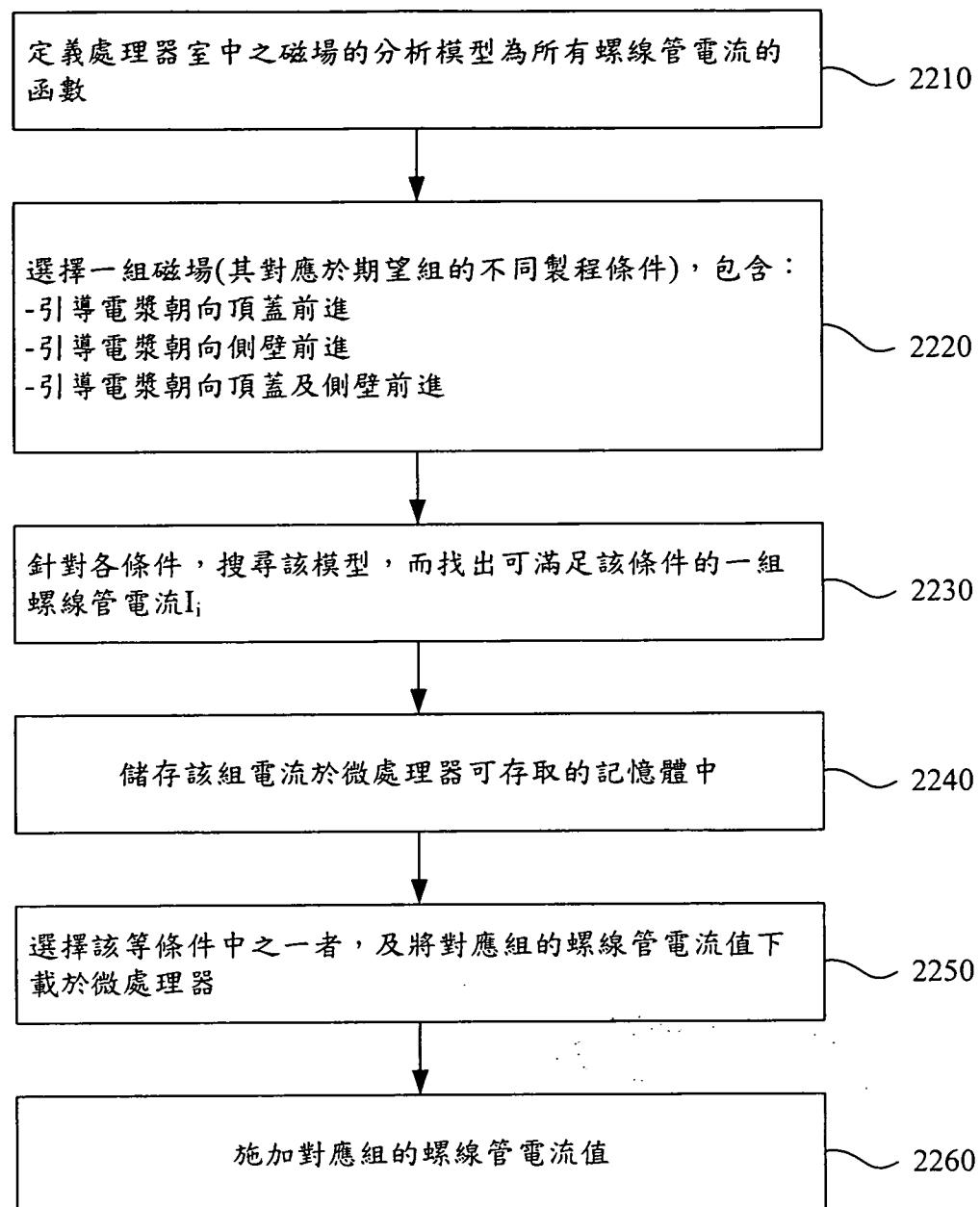
I388243



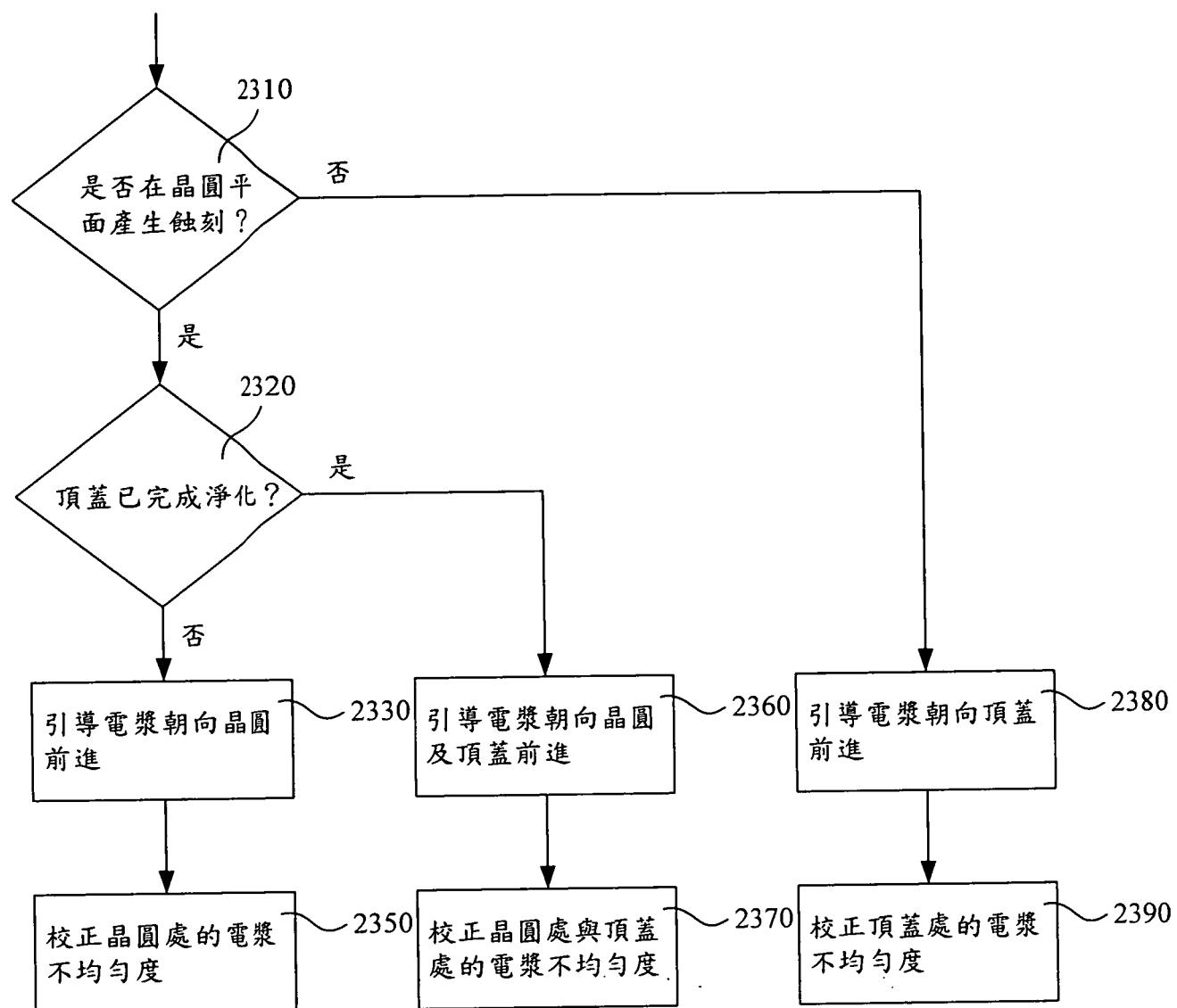
第 20 圖



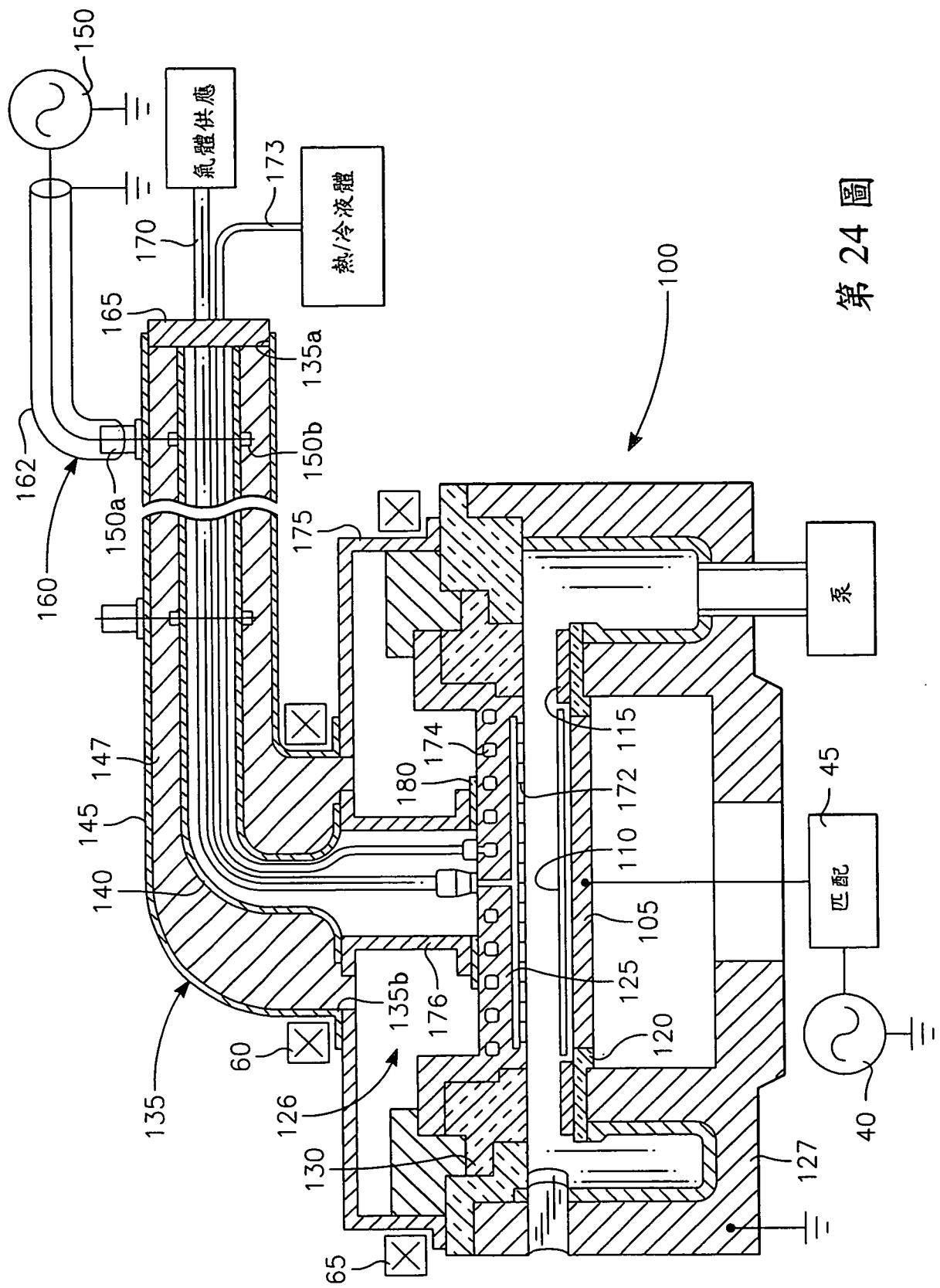
第 21 圖



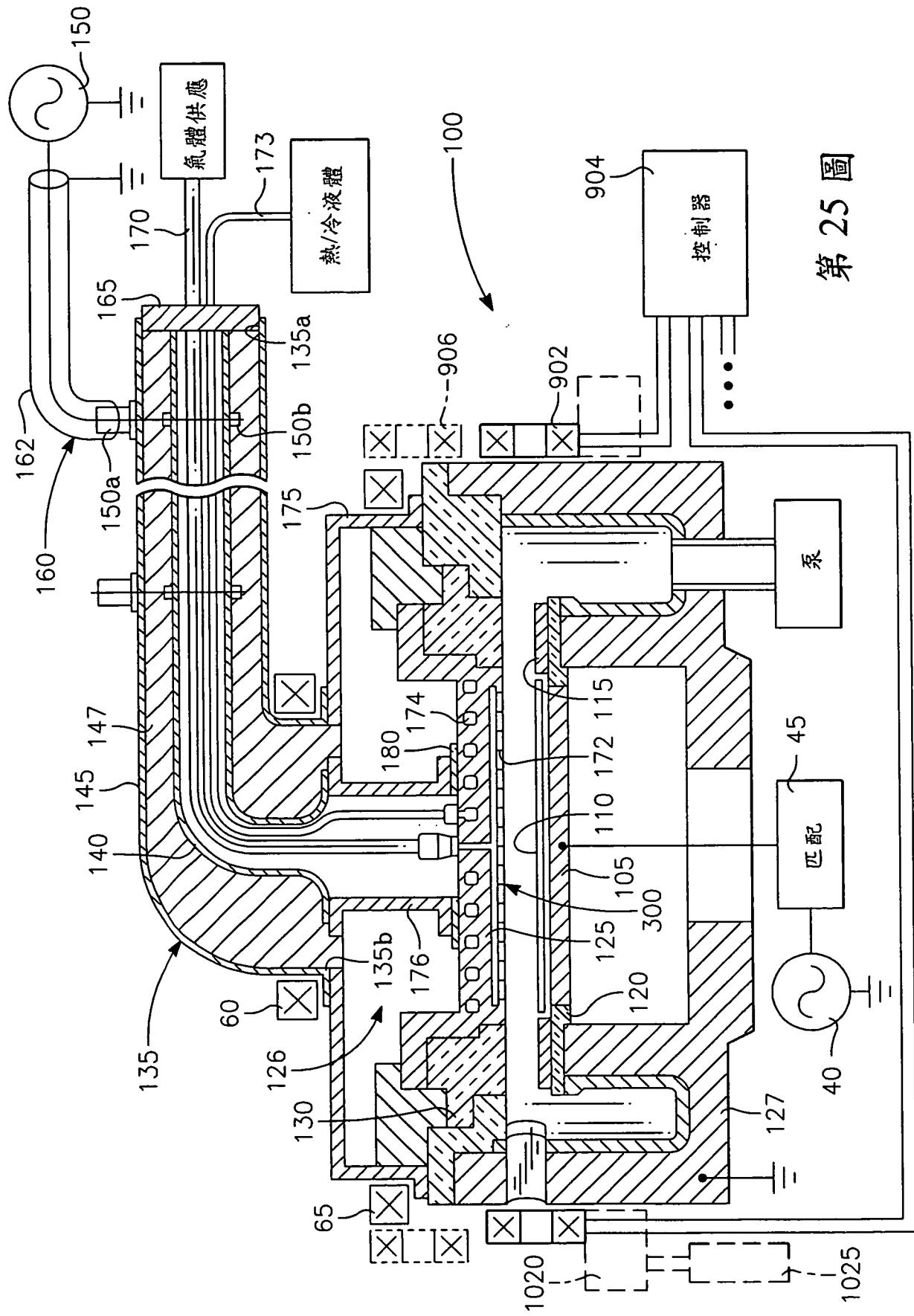
第 22 圖



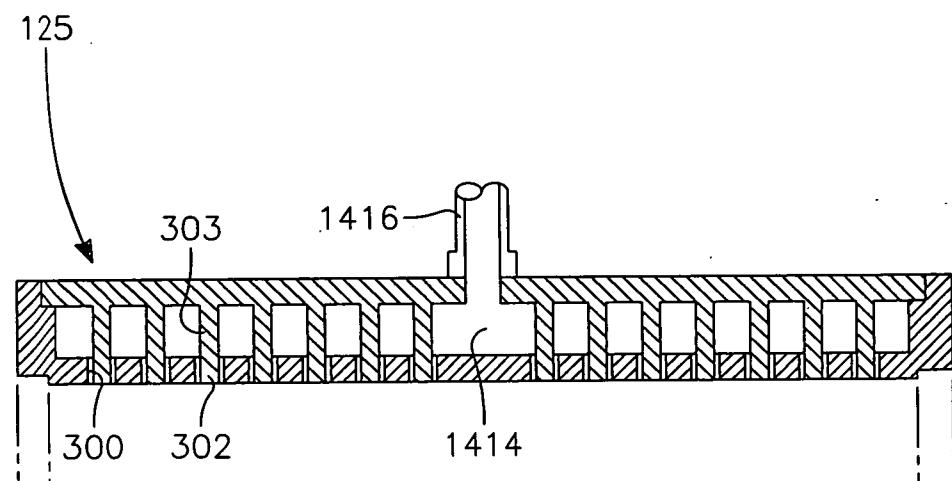
第 23 圖



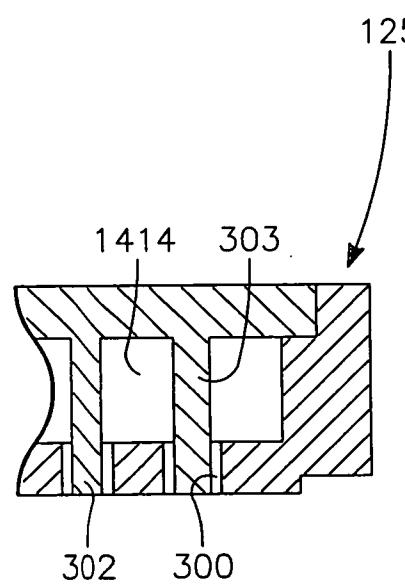
第 25 圖



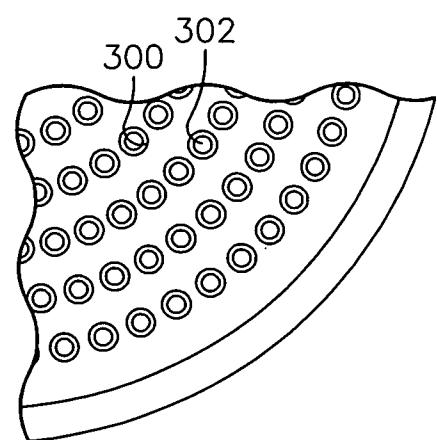
I388243



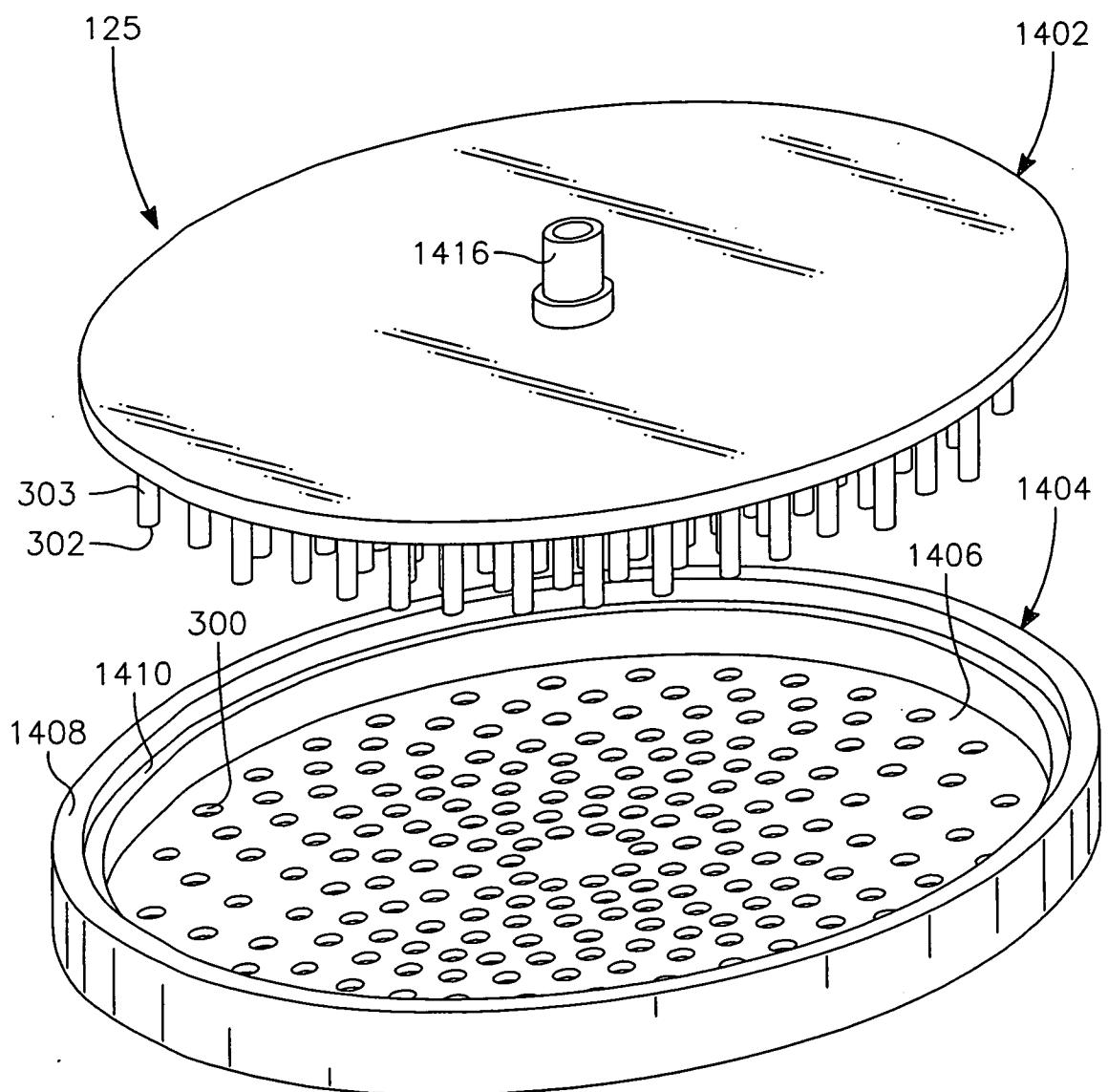
第 26 圖



第 27 圖

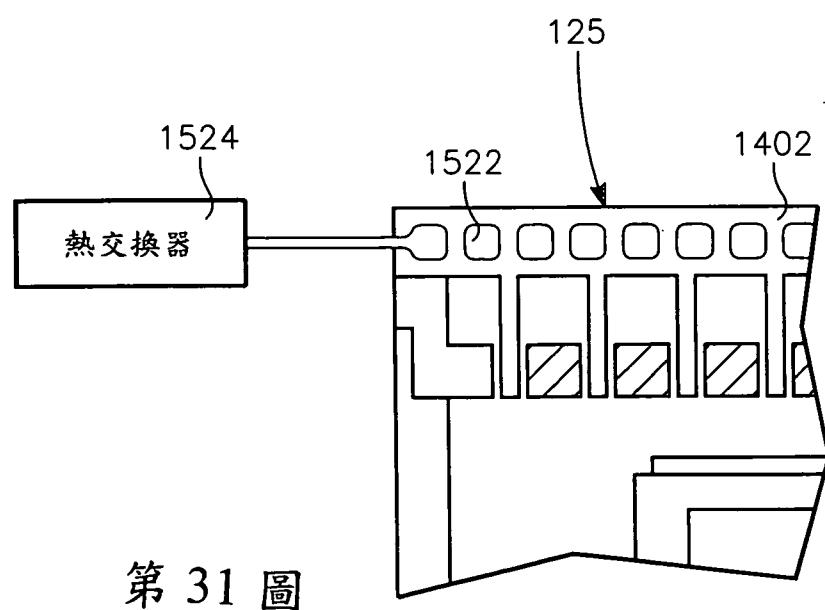
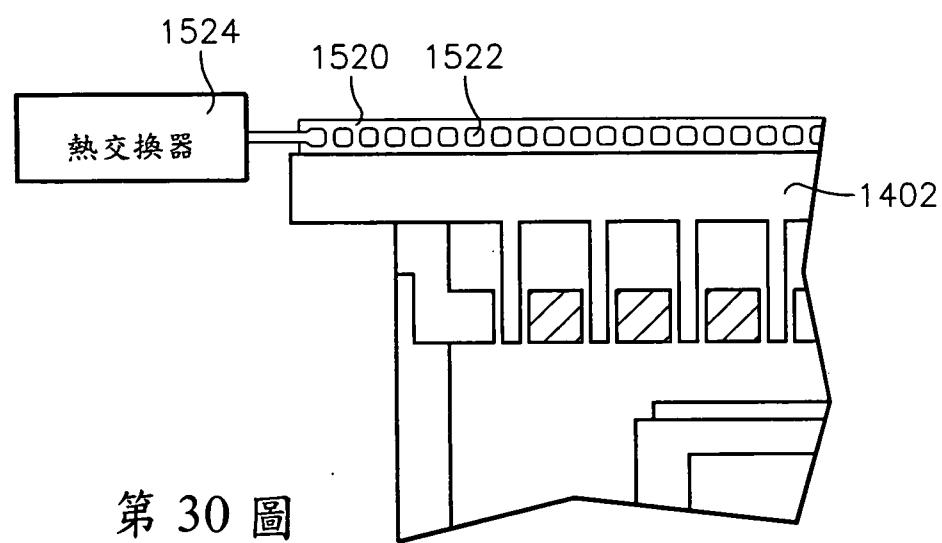
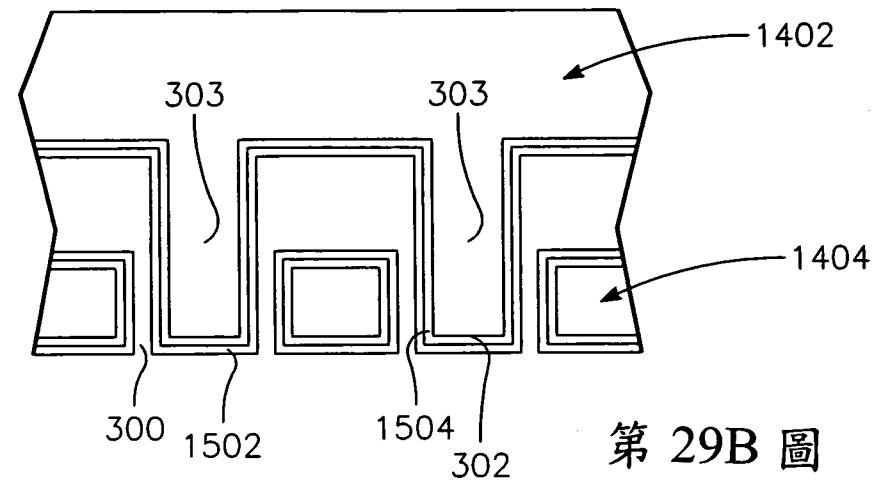


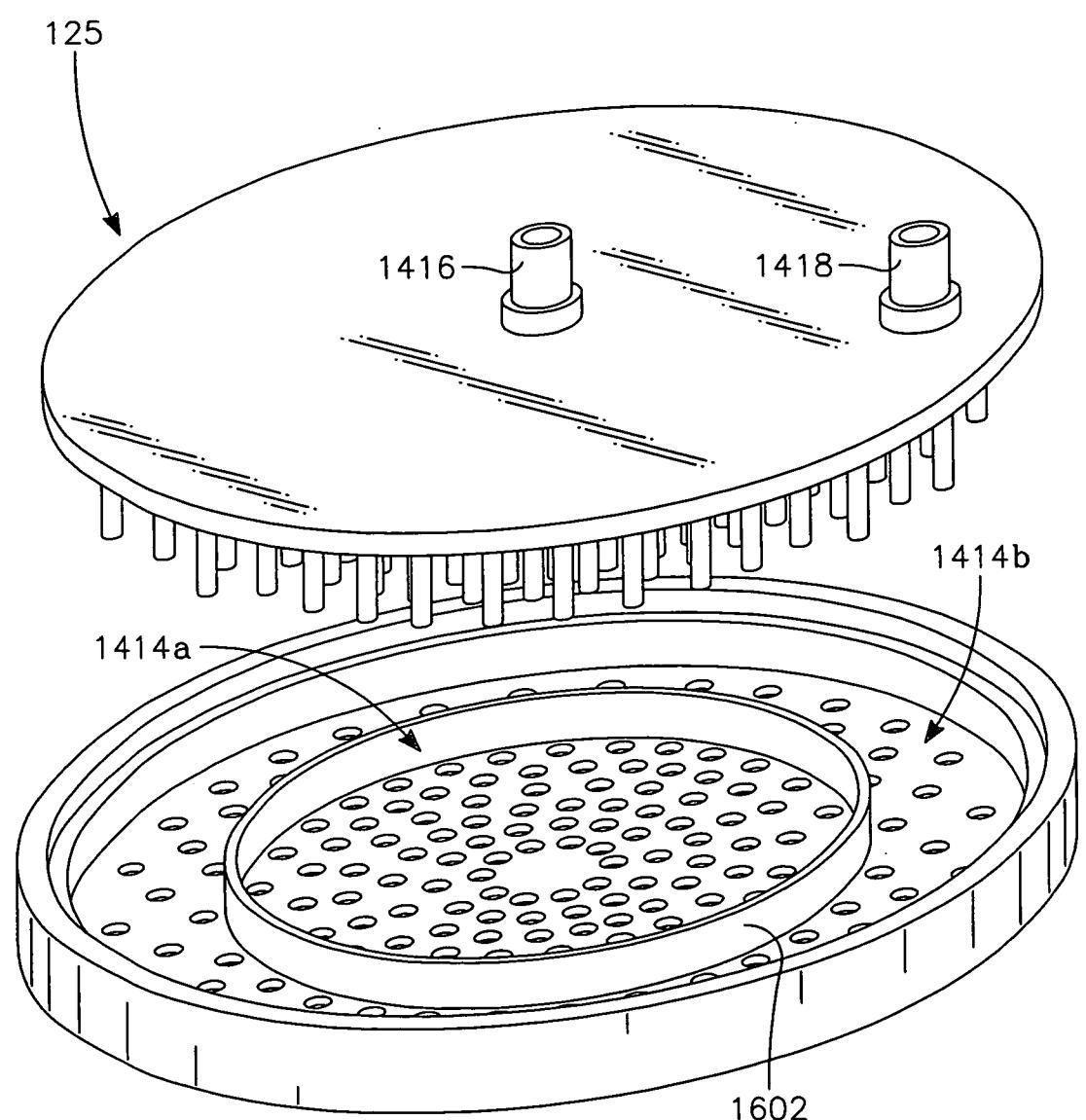
第 28 圖



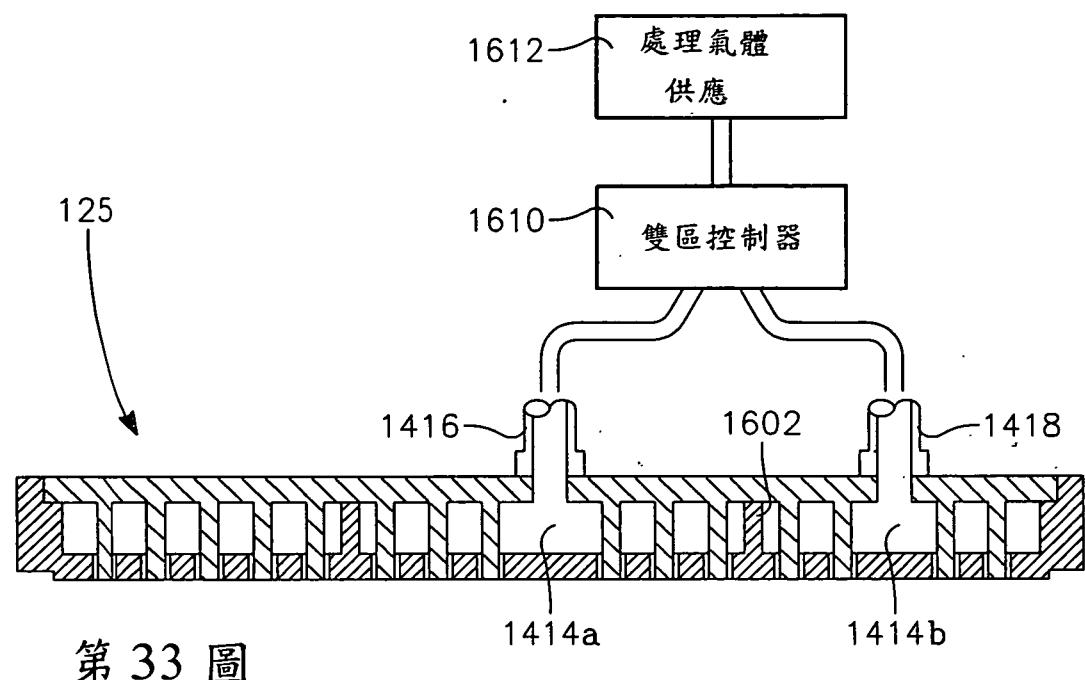
第 29A 圖

I388243

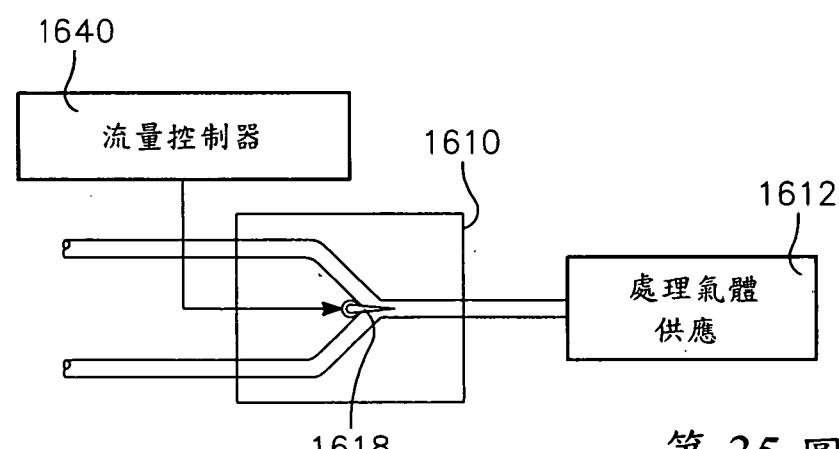




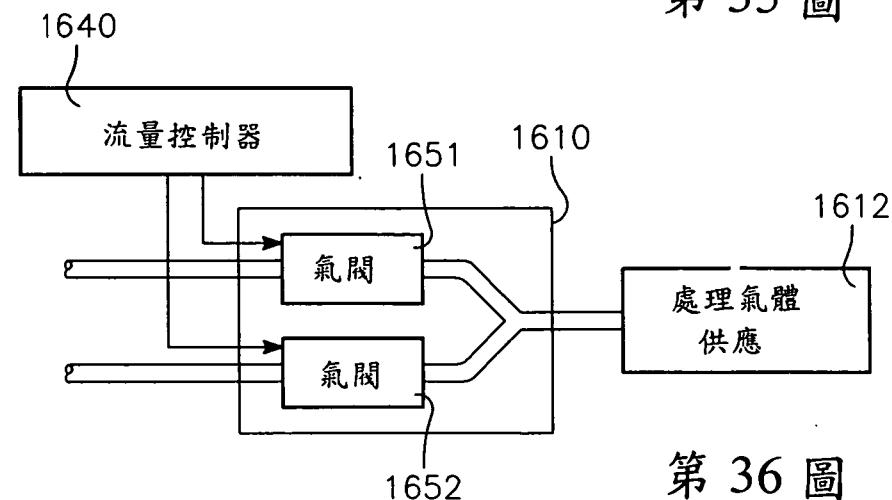
第 32 圖



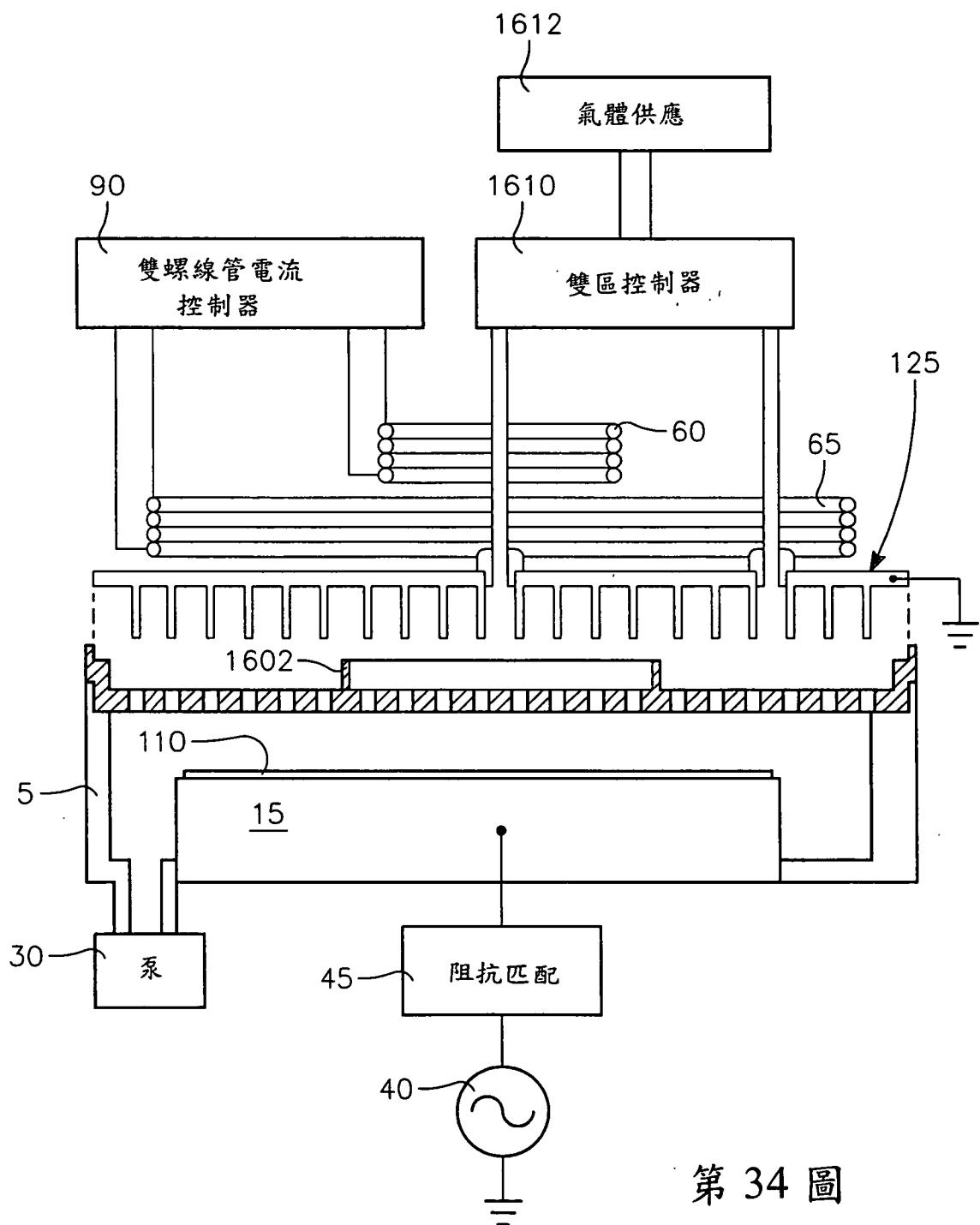
第 33 圖

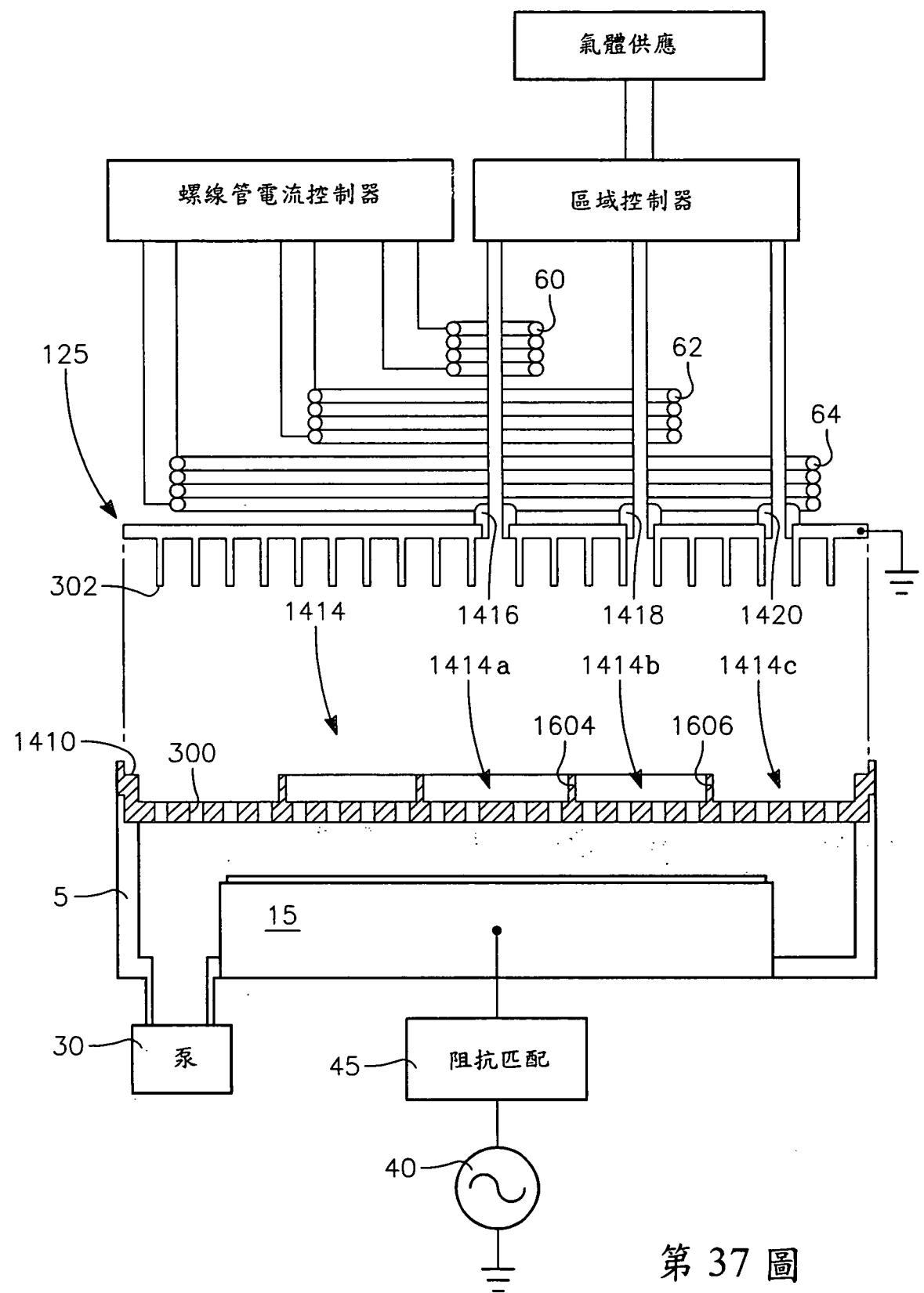


第 35 圖

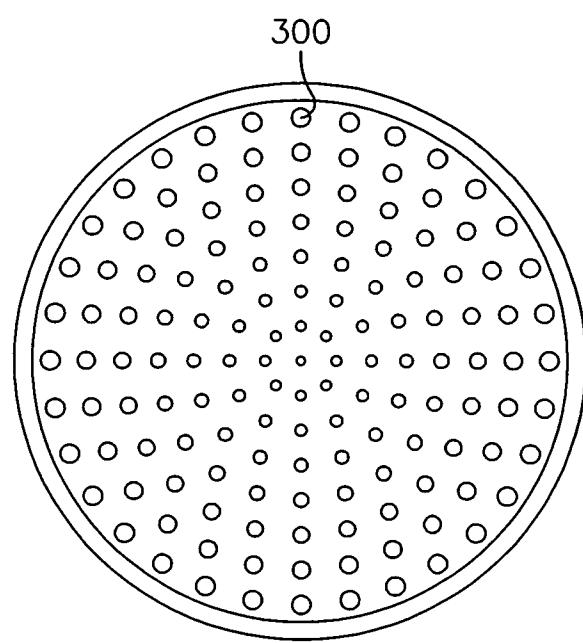


第 36 圖

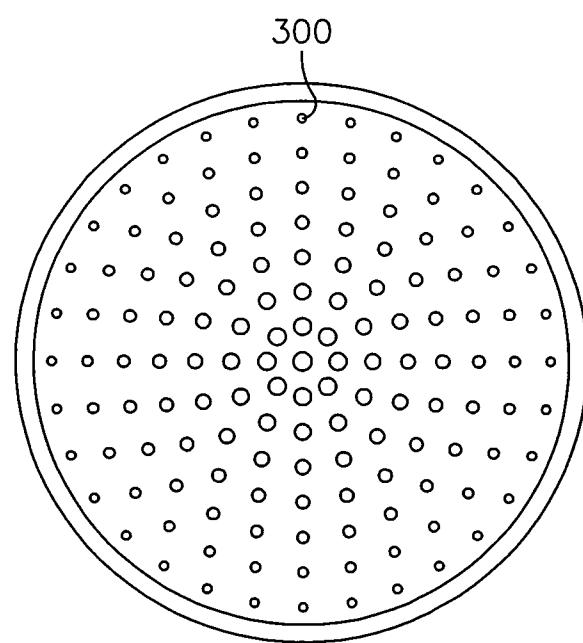




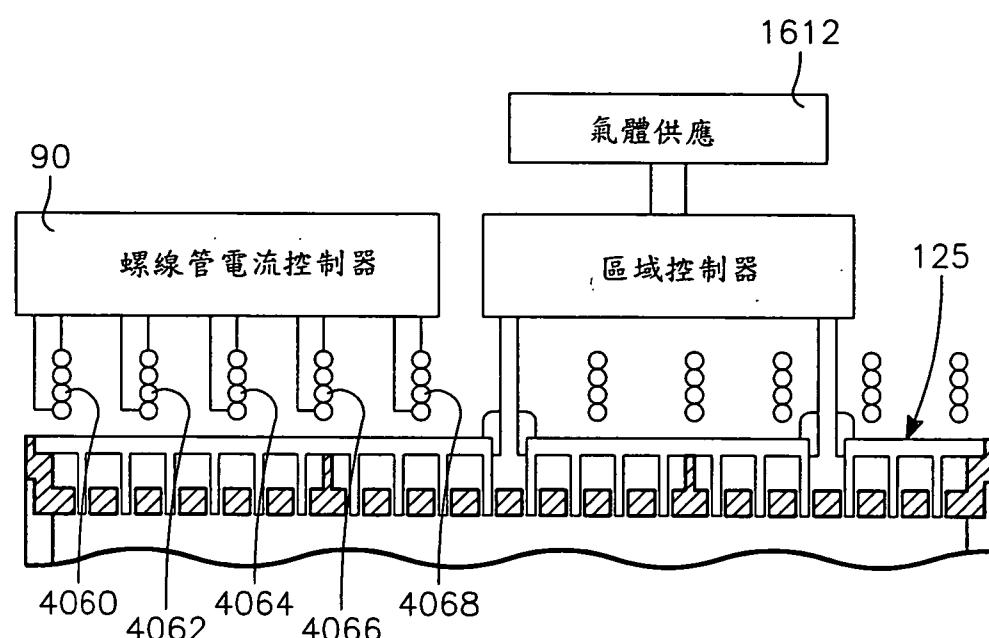
I388243



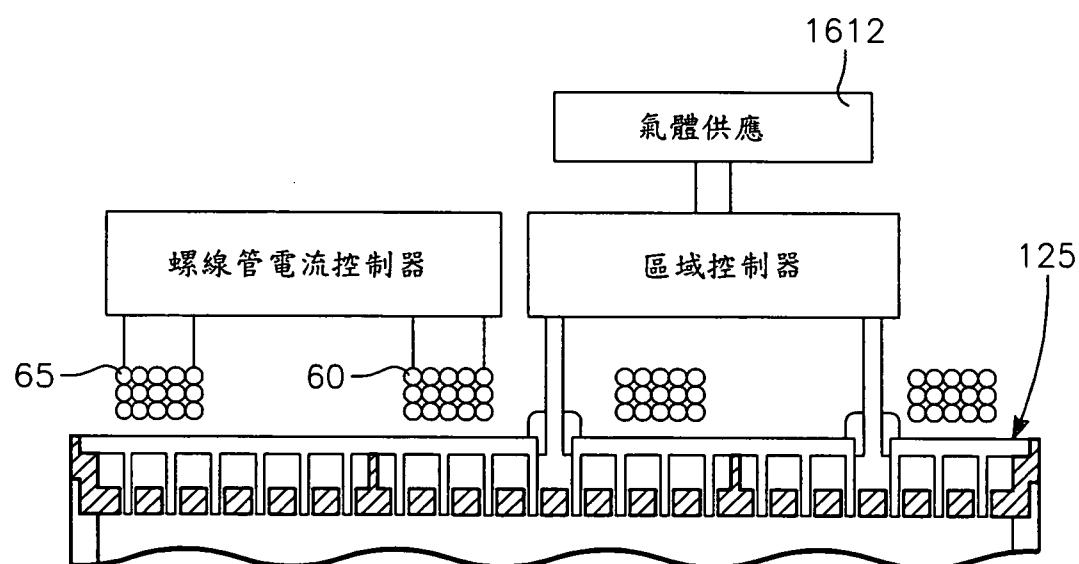
第 38 圖



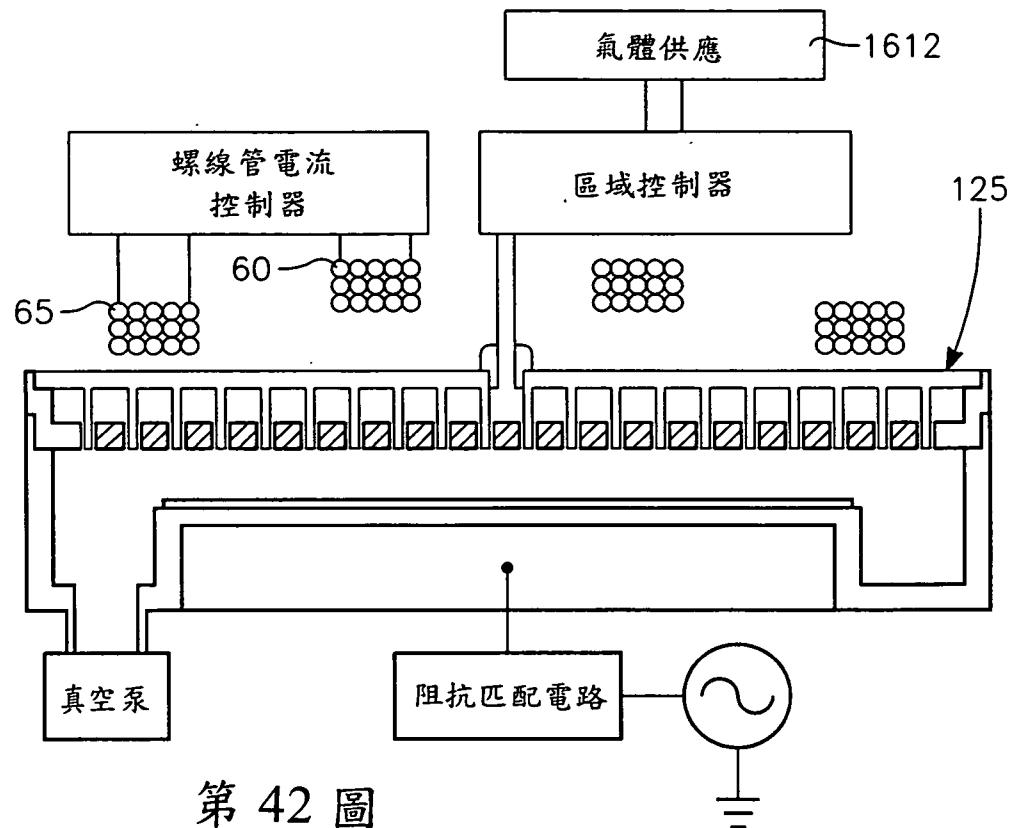
第 39 圖



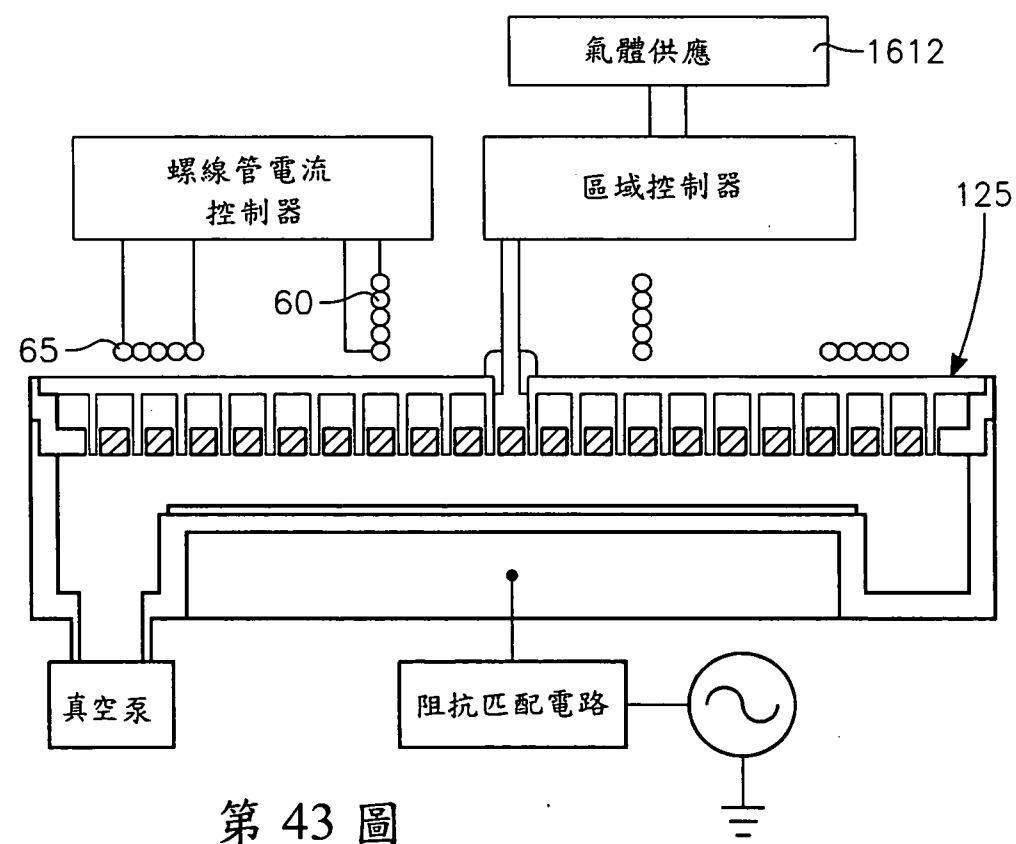
第 40 圖



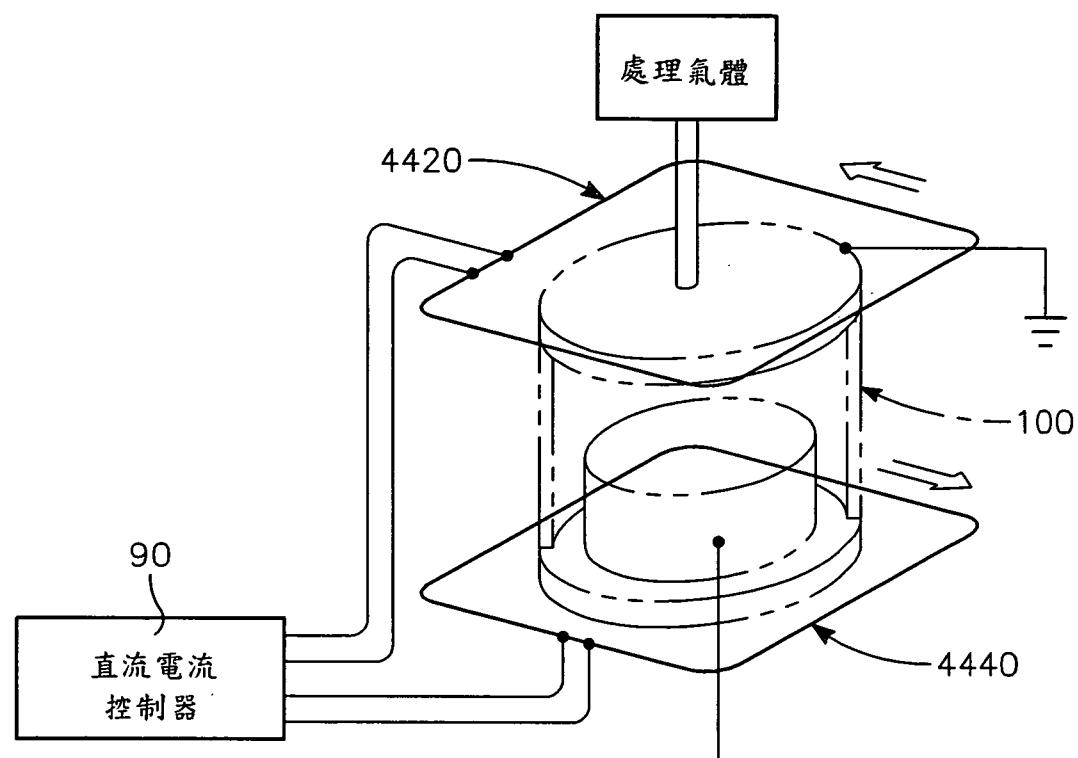
第 41 圖



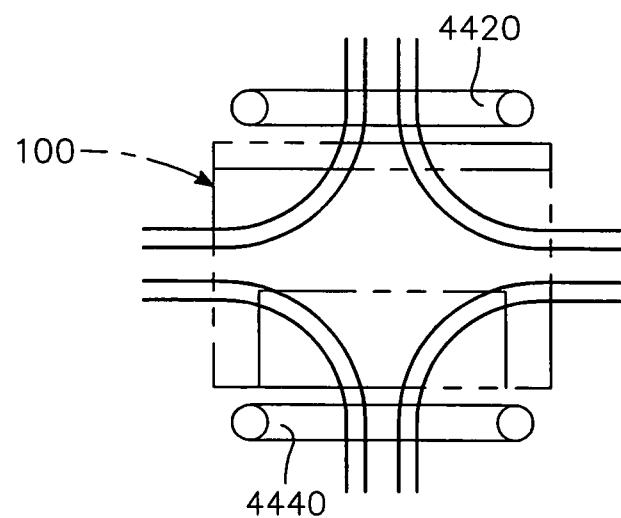
第 42 圖



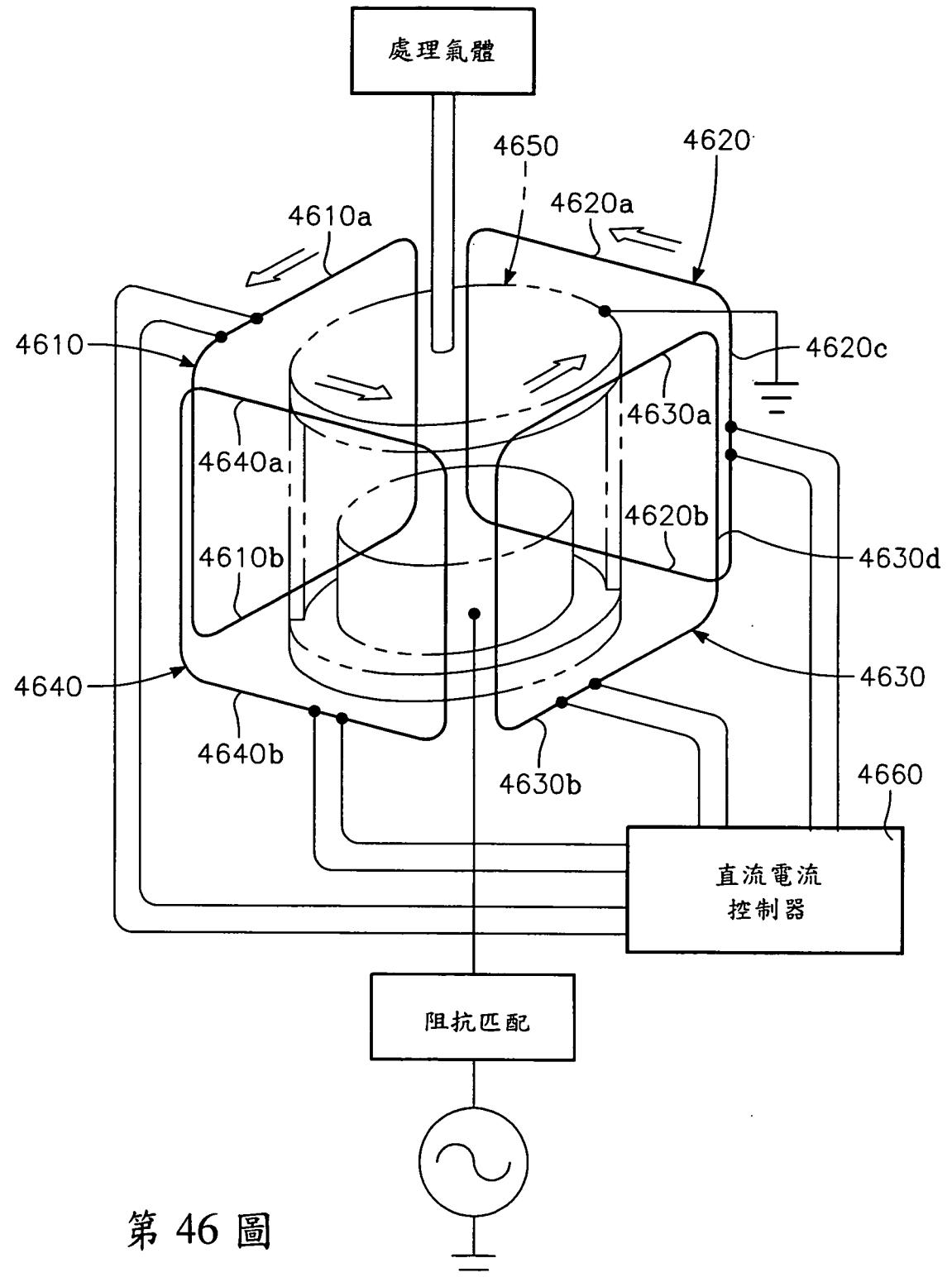
第 43 圖



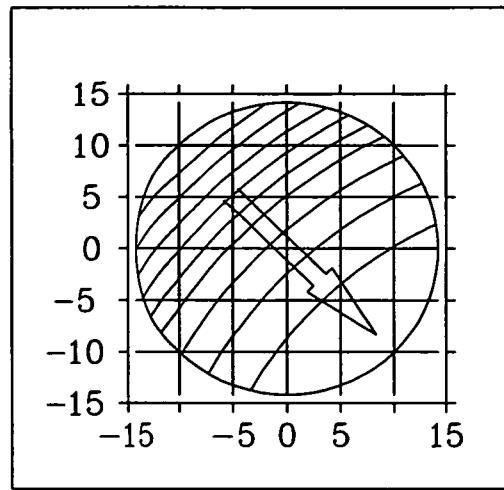
第 44 圖



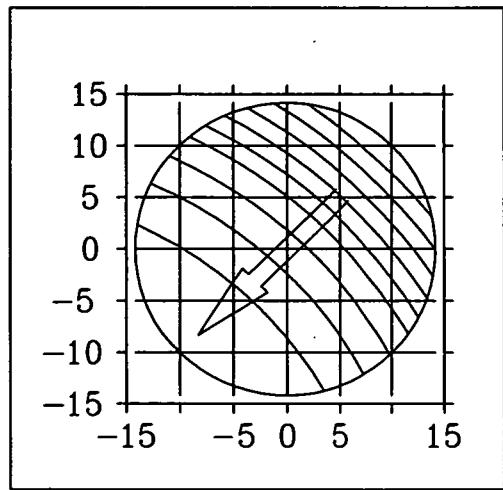
第 45 圖



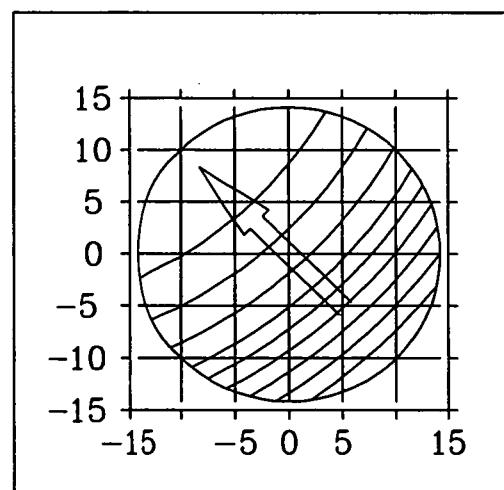
第 46 圖



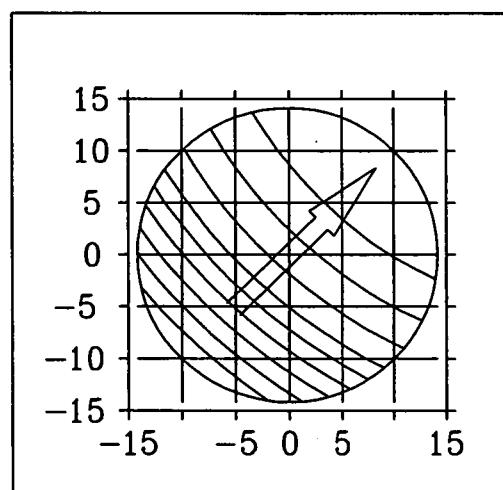
第 47A 圖



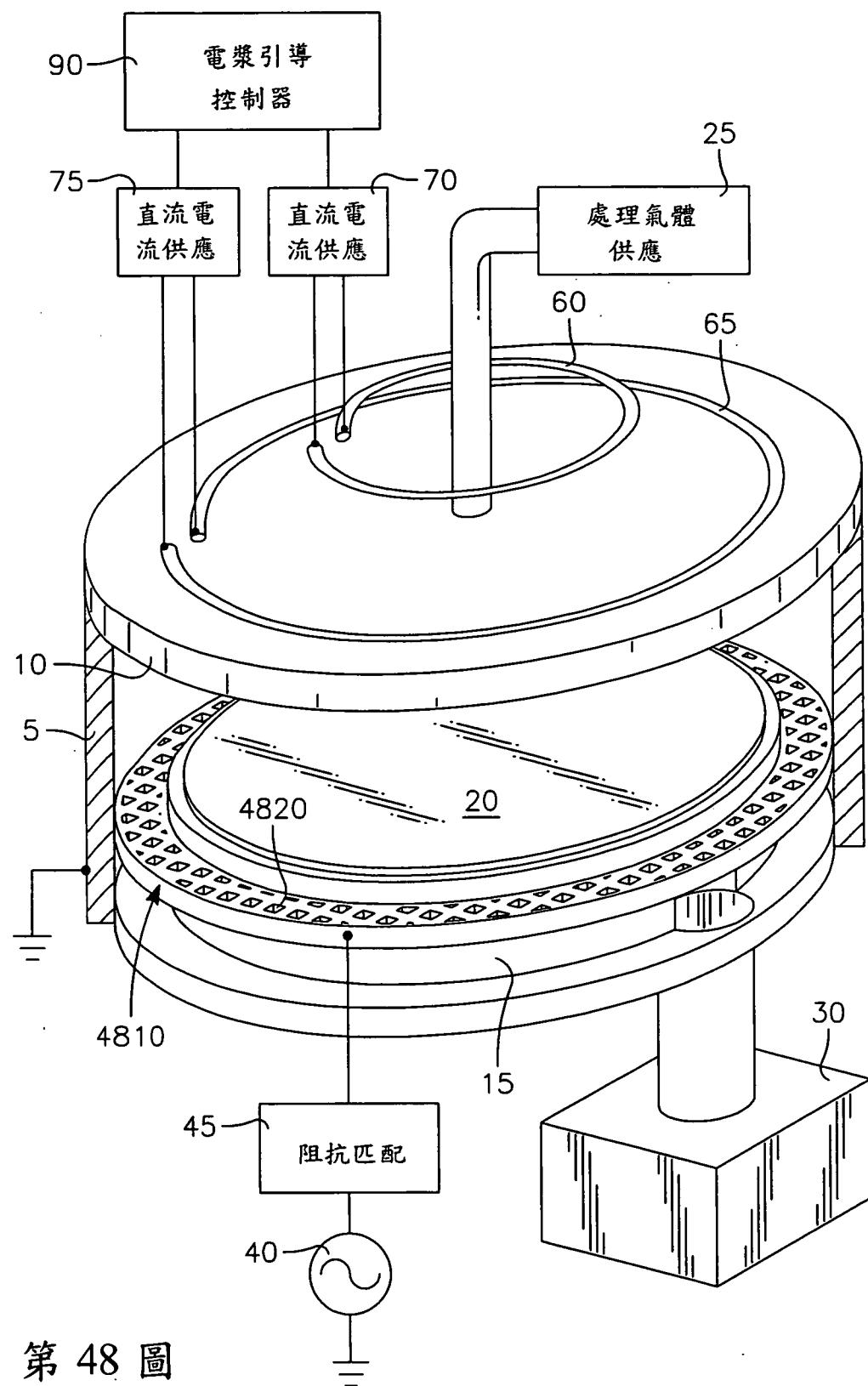
第 47B 圖



第 47C 圖



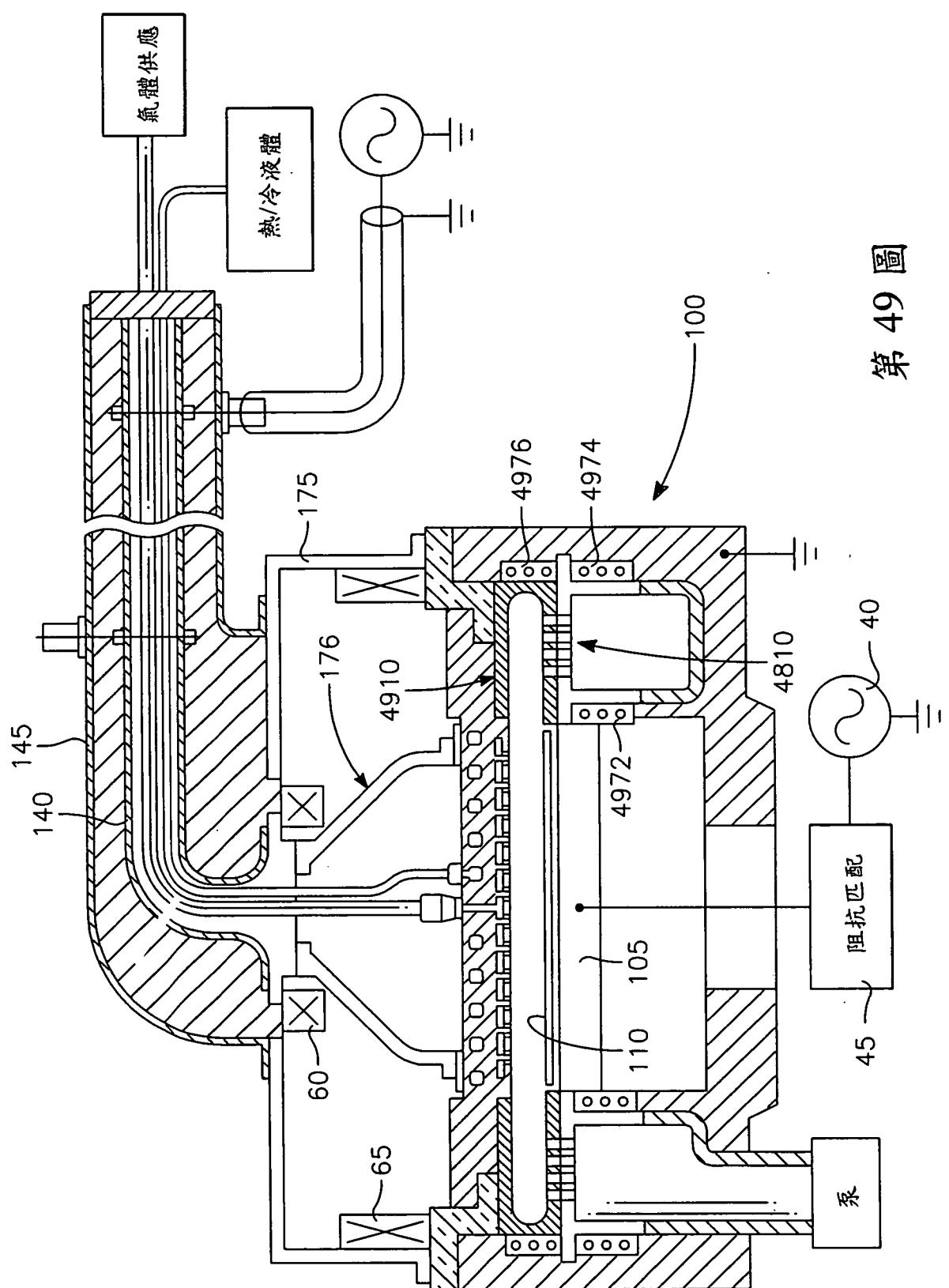
第 47D 圖



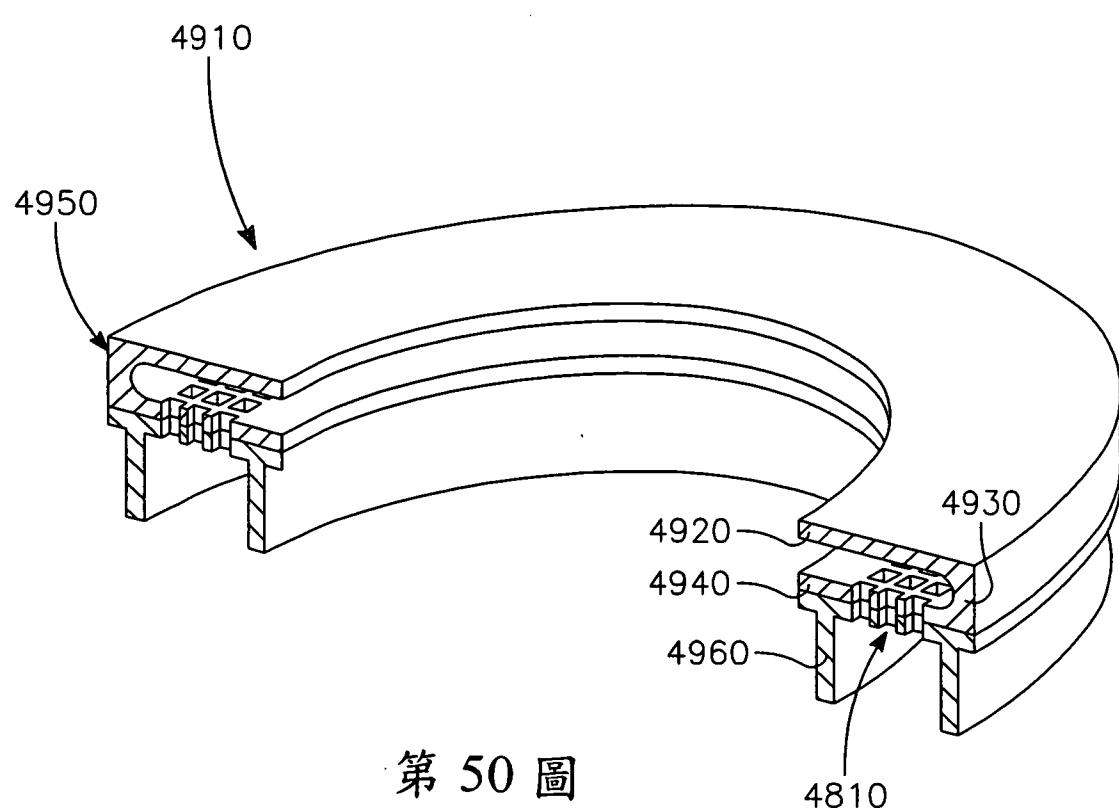
第 48 圖

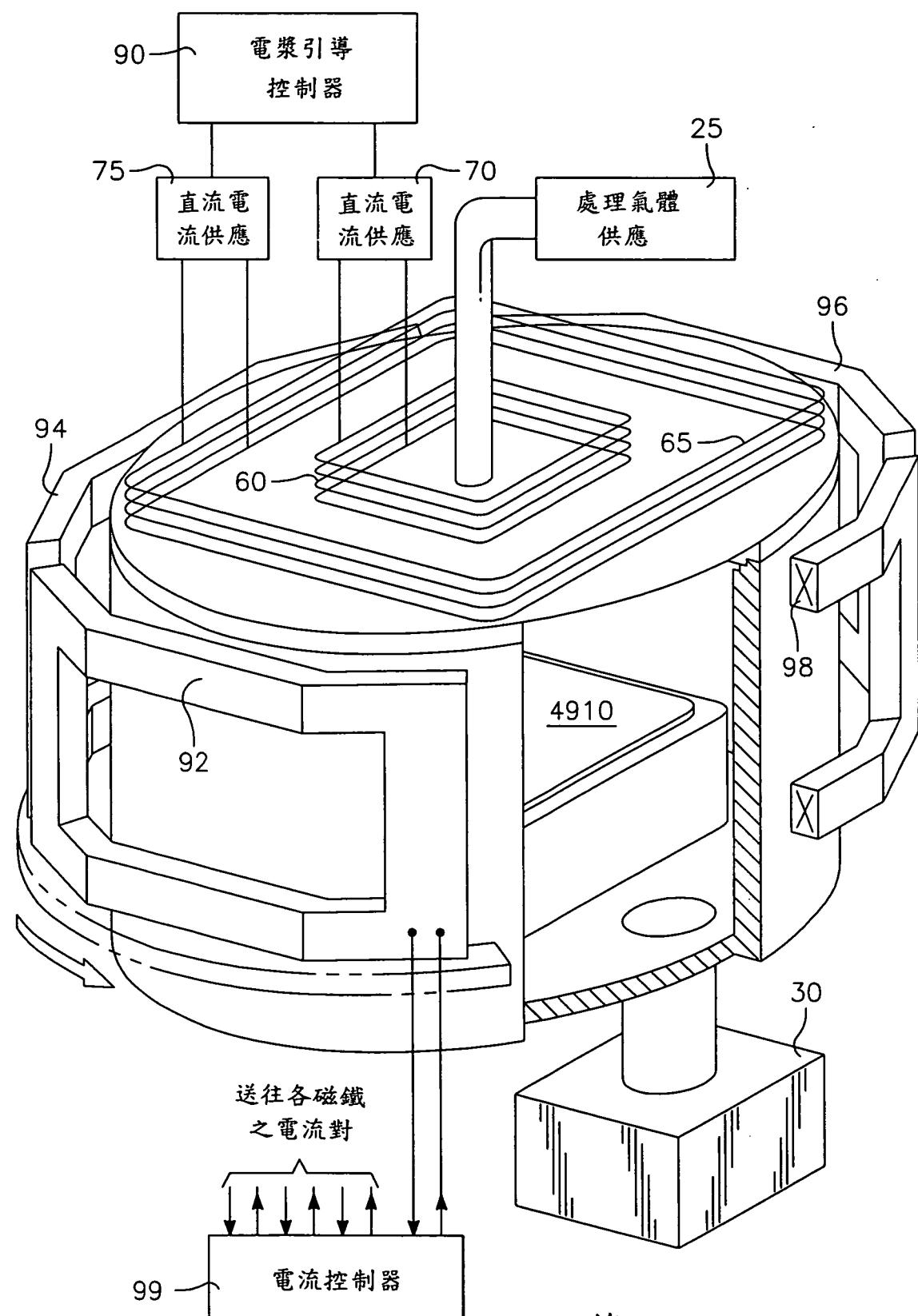
I388243

第 49 圖

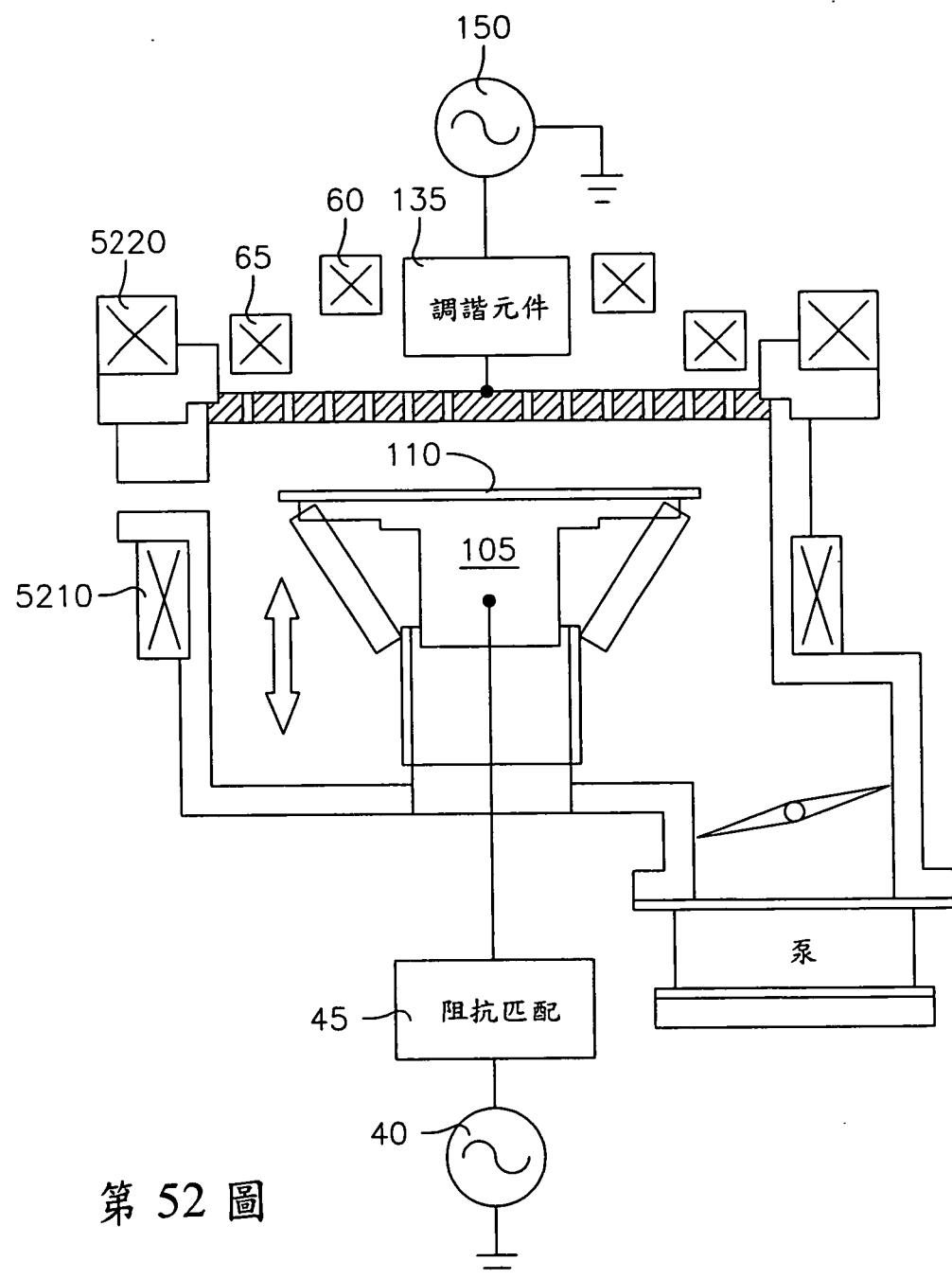


I388243

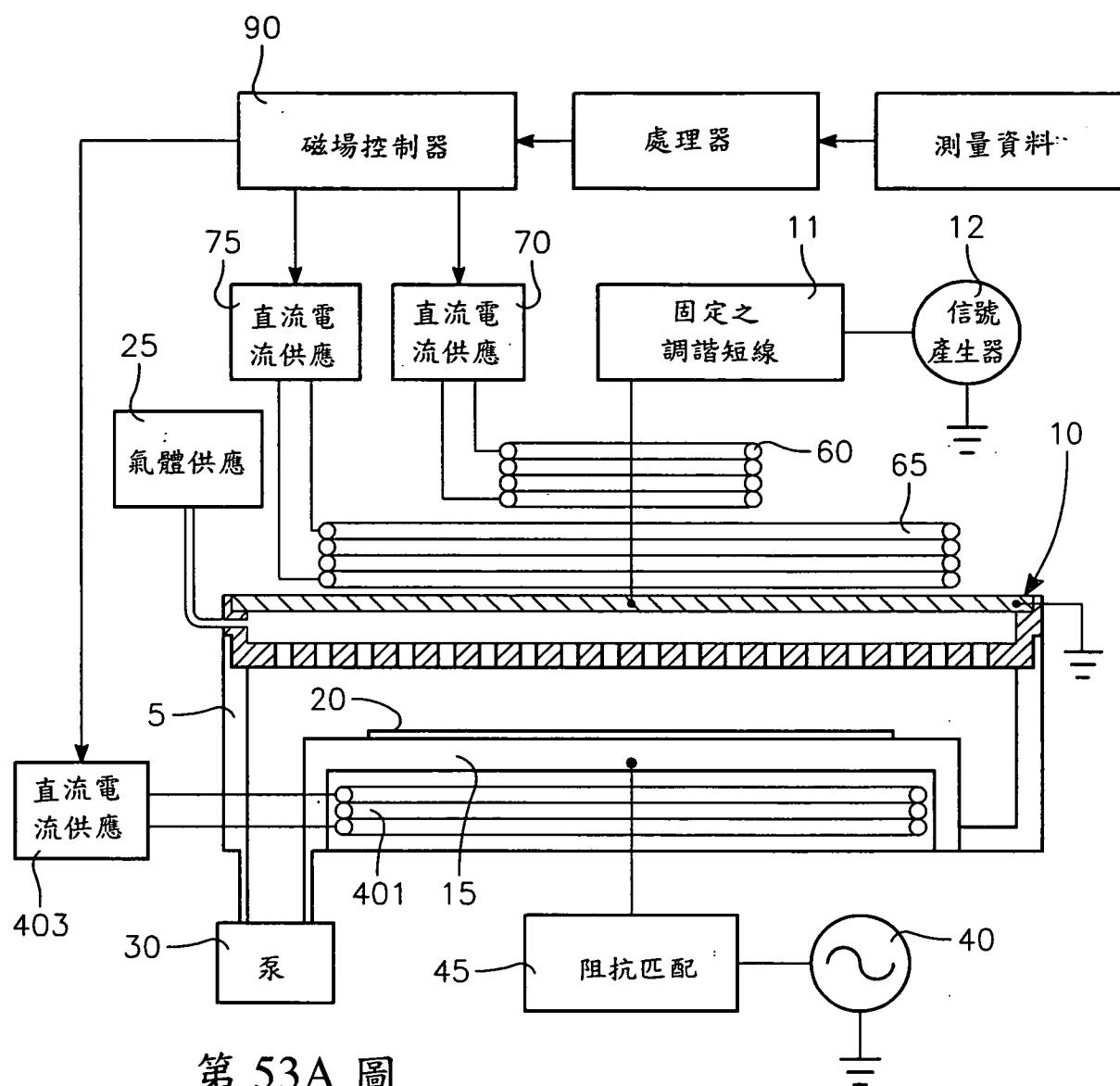




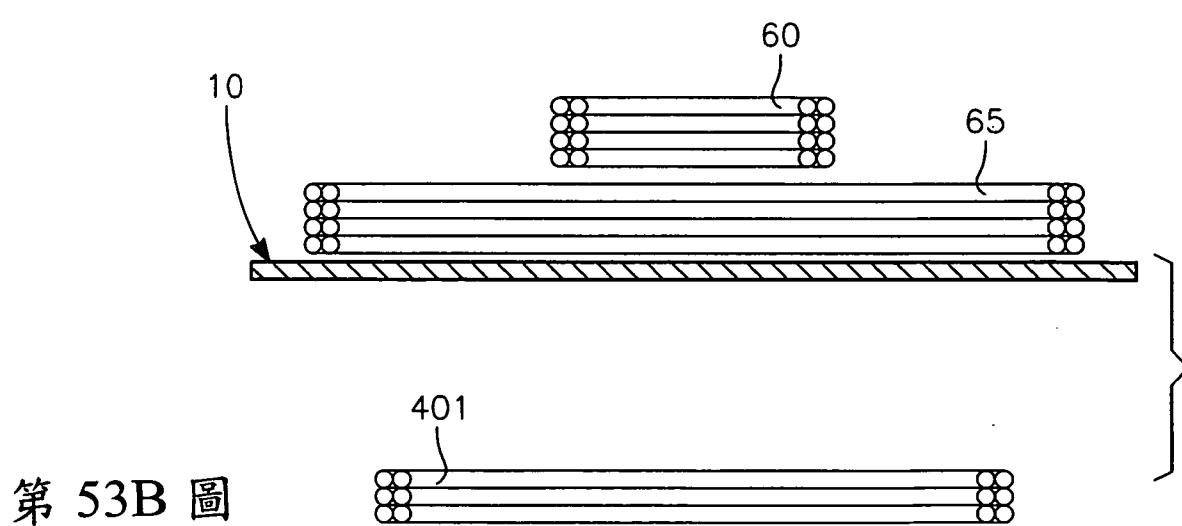
第 51 圖



第 52 圖

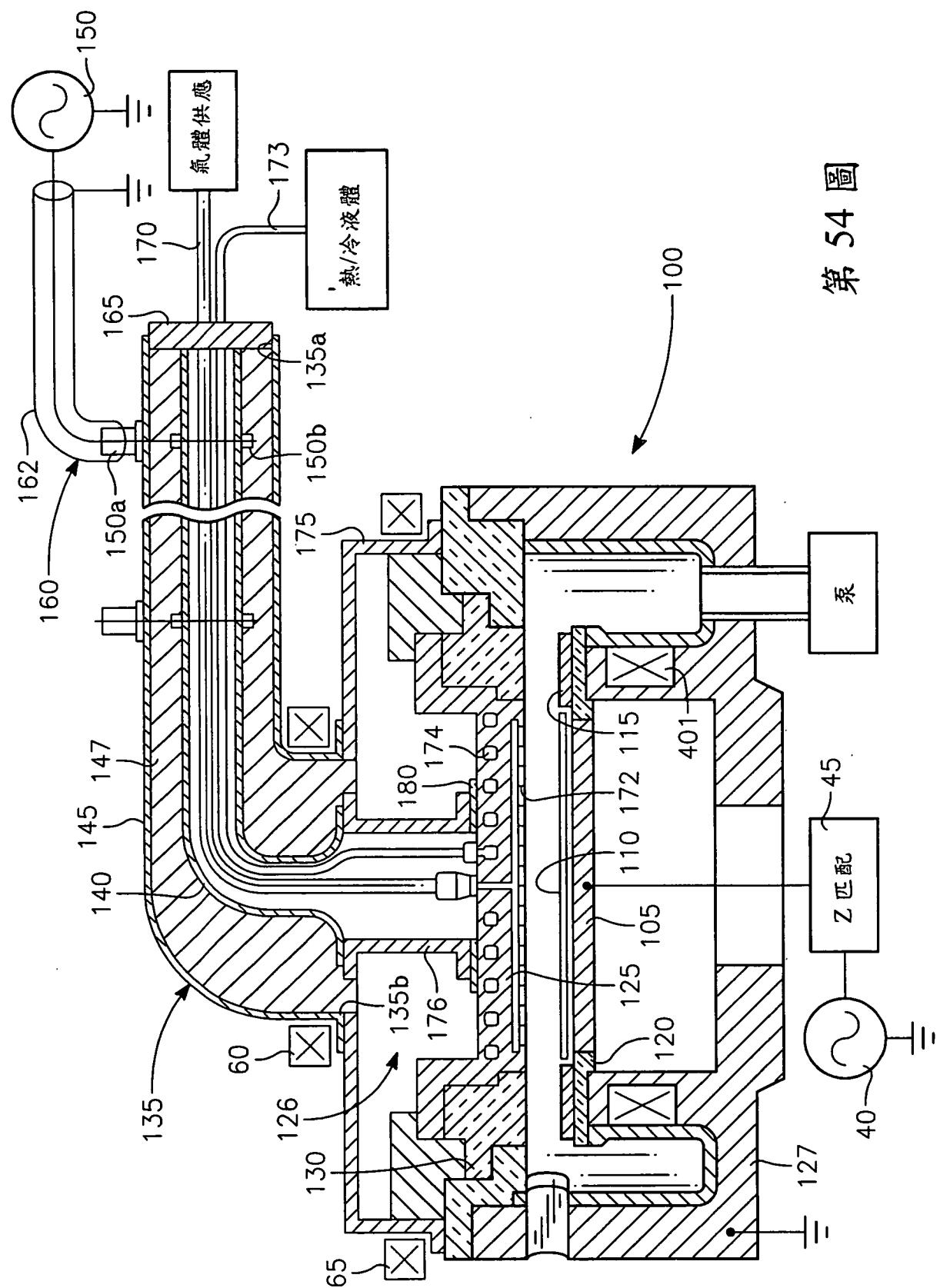


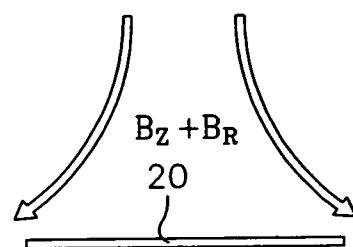
第 53A 圖



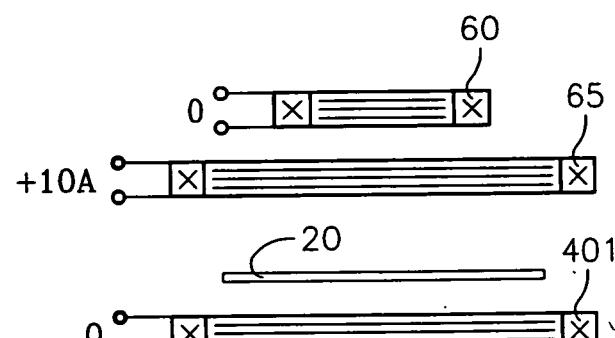
第 53B 圖

第 54 圖

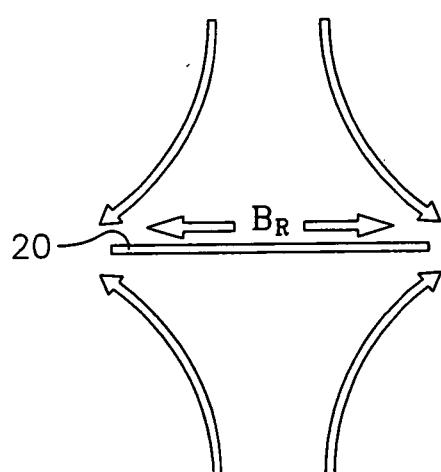




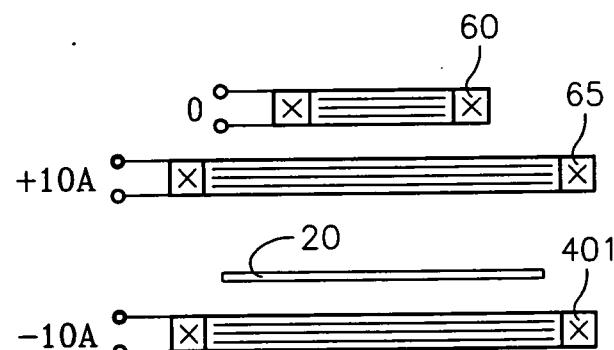
第 55A 圖



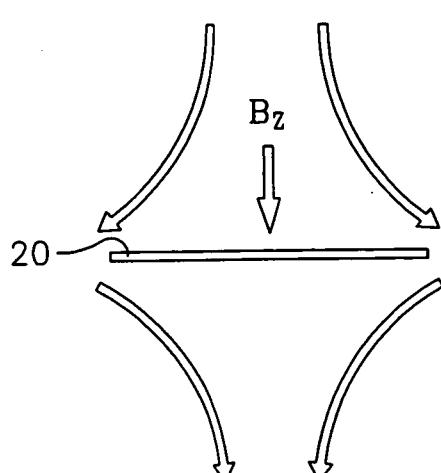
第 56A 圖



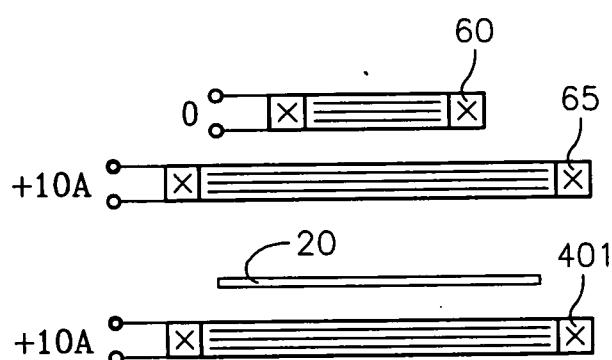
第 55B 圖



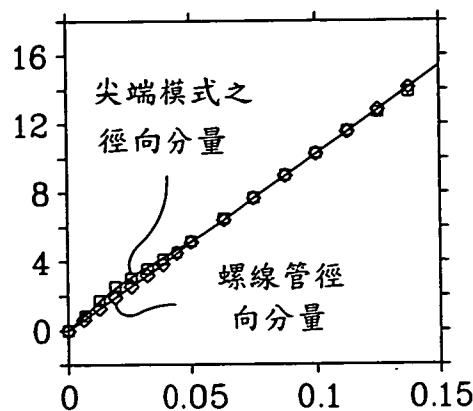
第 56B 圖



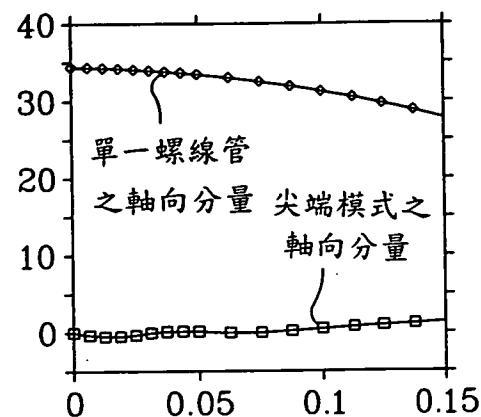
第 55C 圖



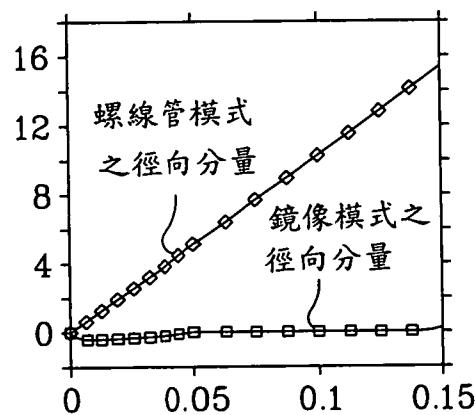
第 56C 圖



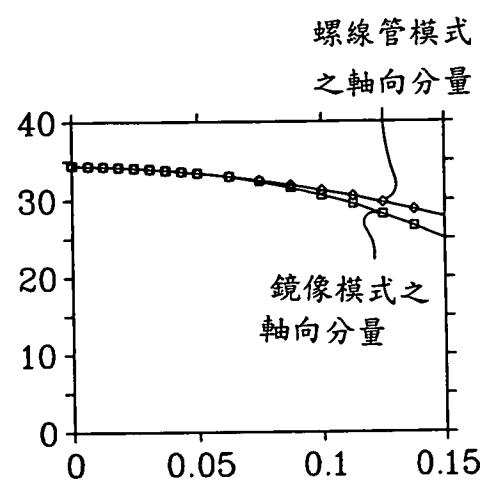
第 57A 圖



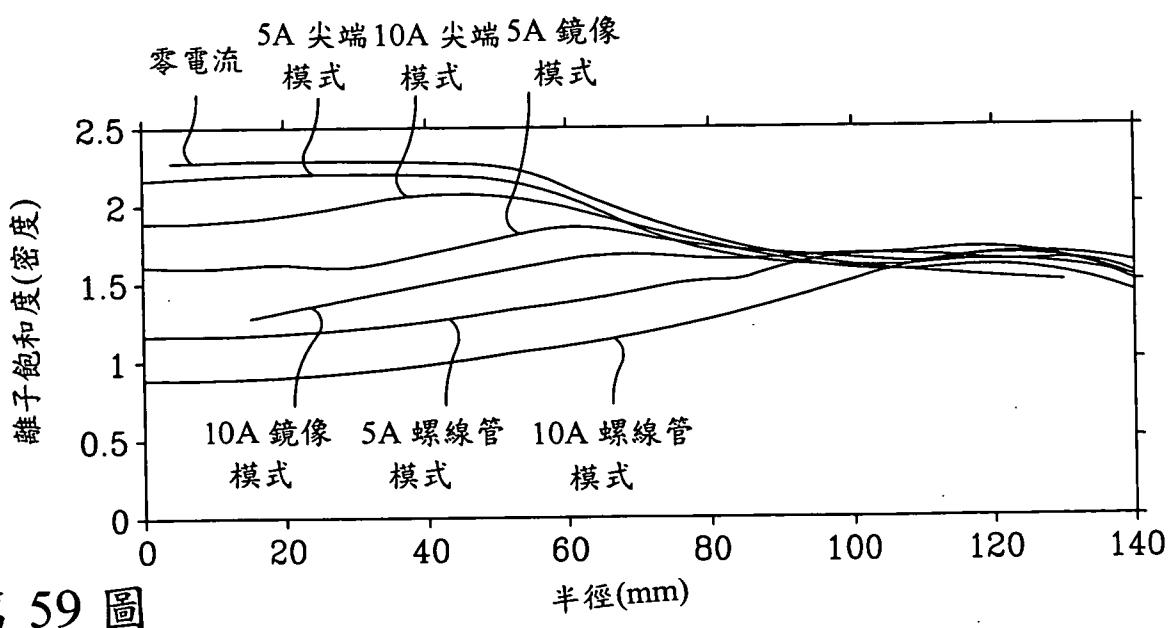
第 57B 圖



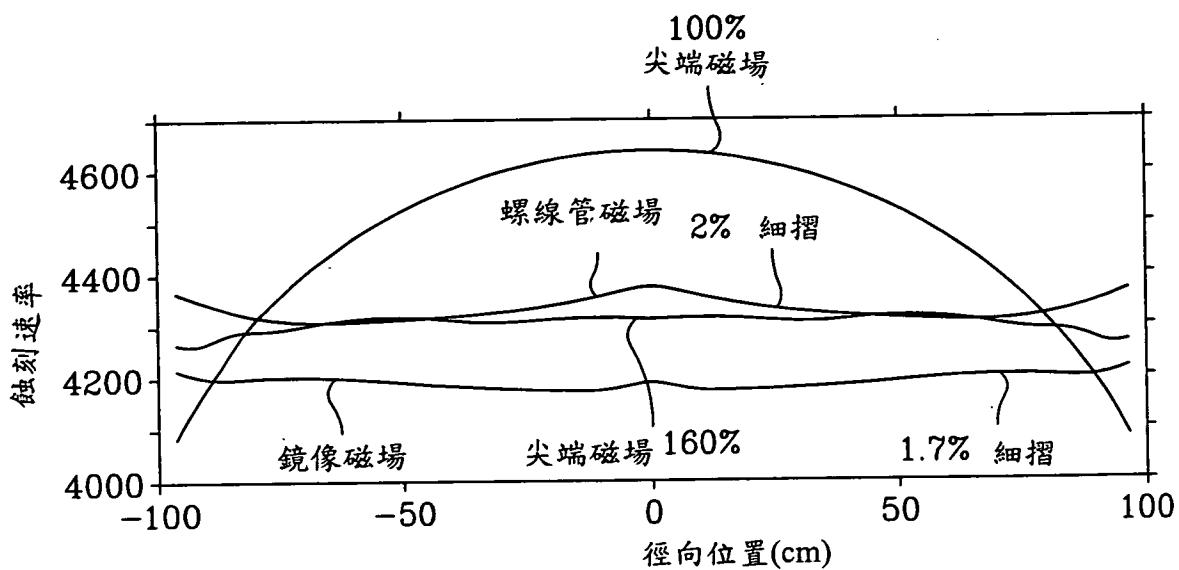
第 58A 圖



第 58B 圖



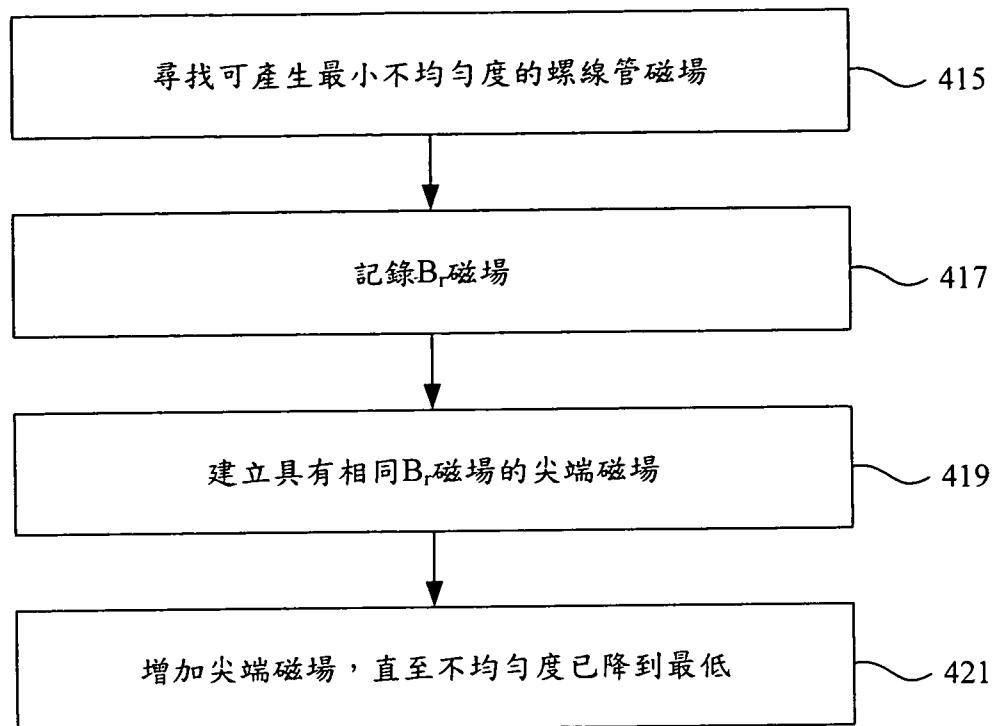
第 59 圖



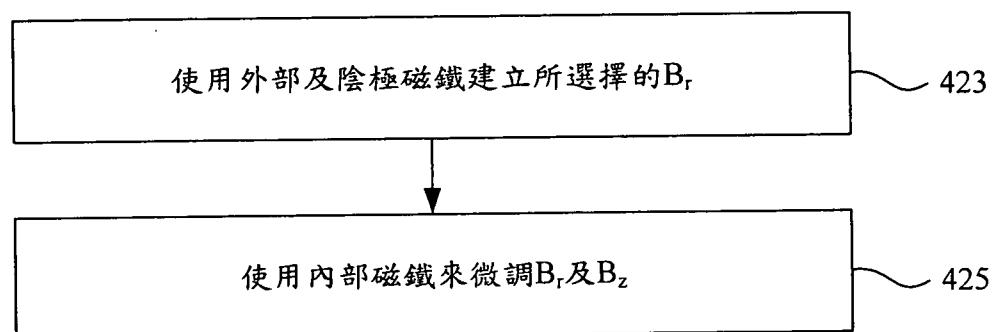
第 60 圖

蝕刻速率		
磁場	不均勻度	損壞
螺線管	2.0%	劣 15V 3mA
鏡像 (軸向)	1.7%	劣 11V 7mA
100%尖端 (徑向)	7.9%	良 3.3V 0.04mA
160%尖端	2.4%	良 4V 0.4mA

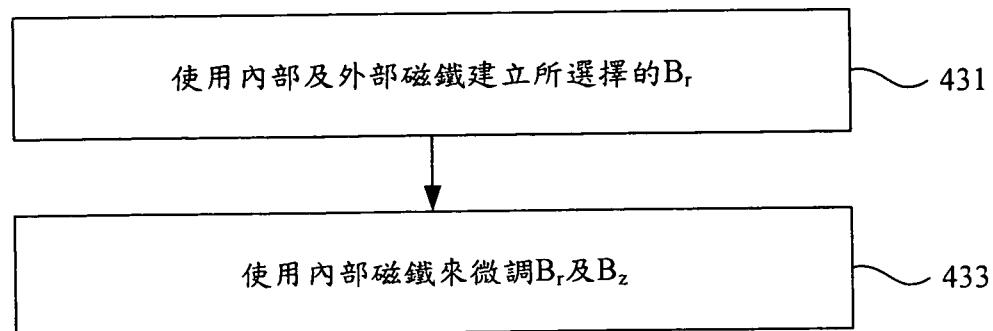
第 61 圖



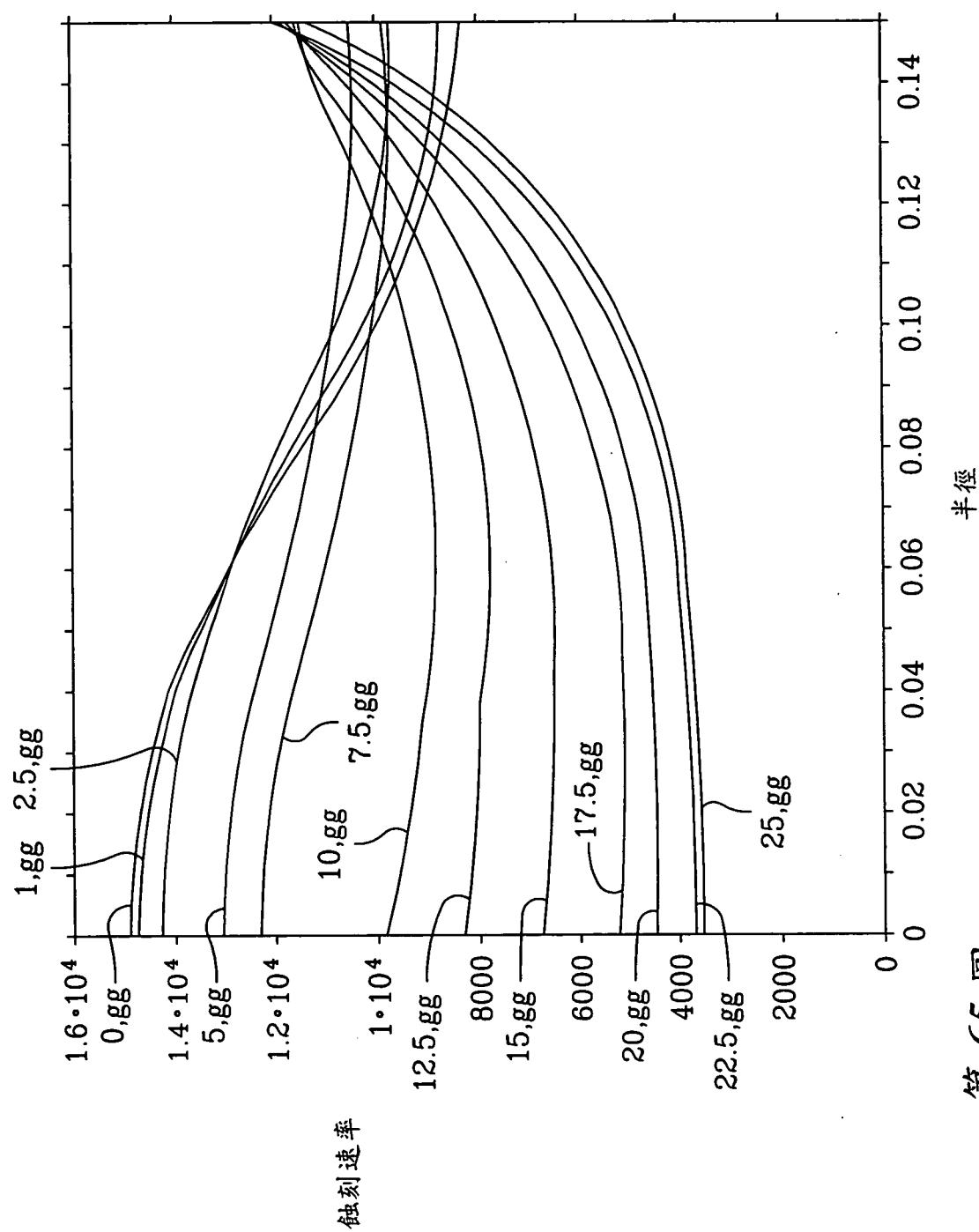
第 62 圖



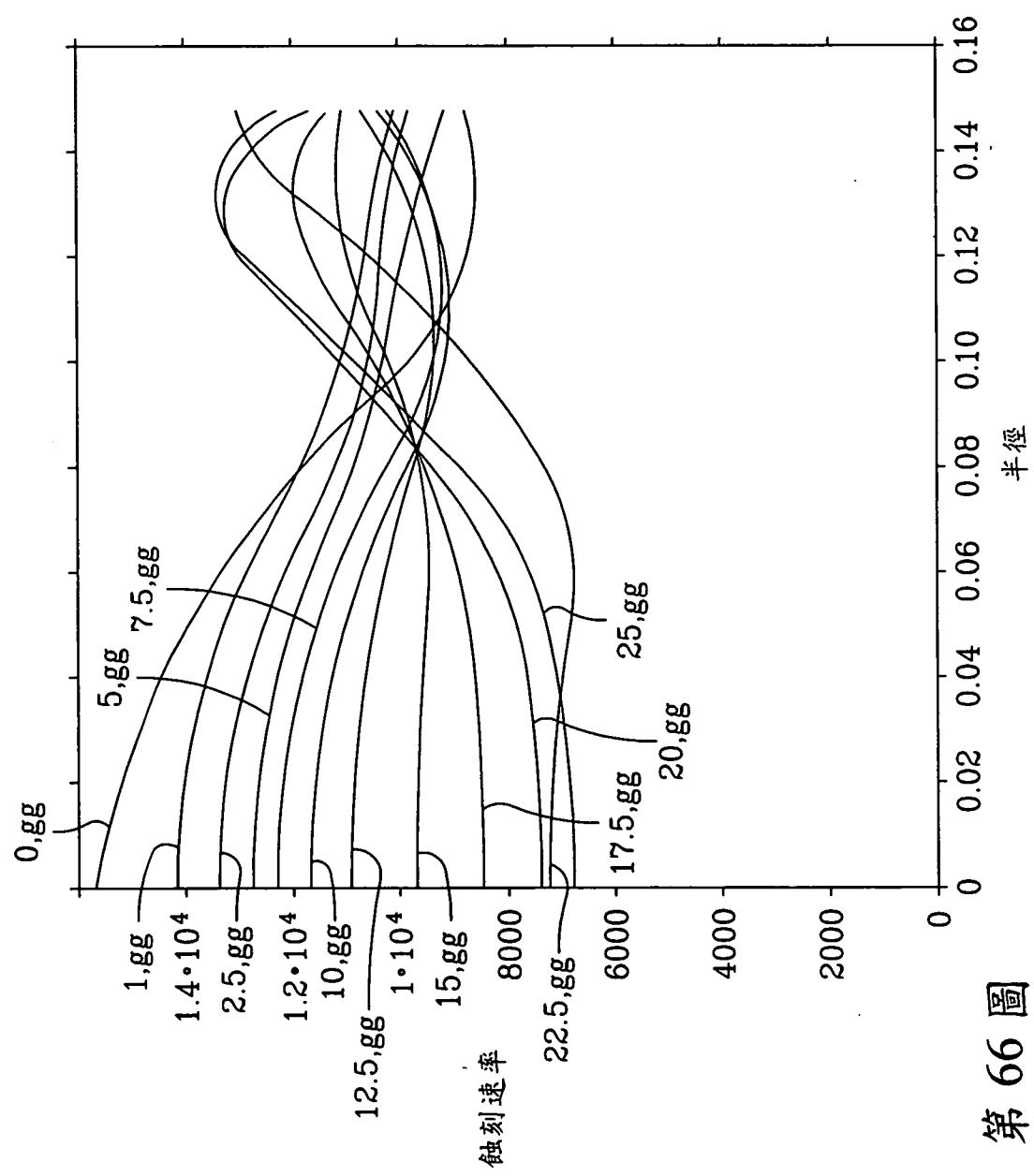
第 63 圖



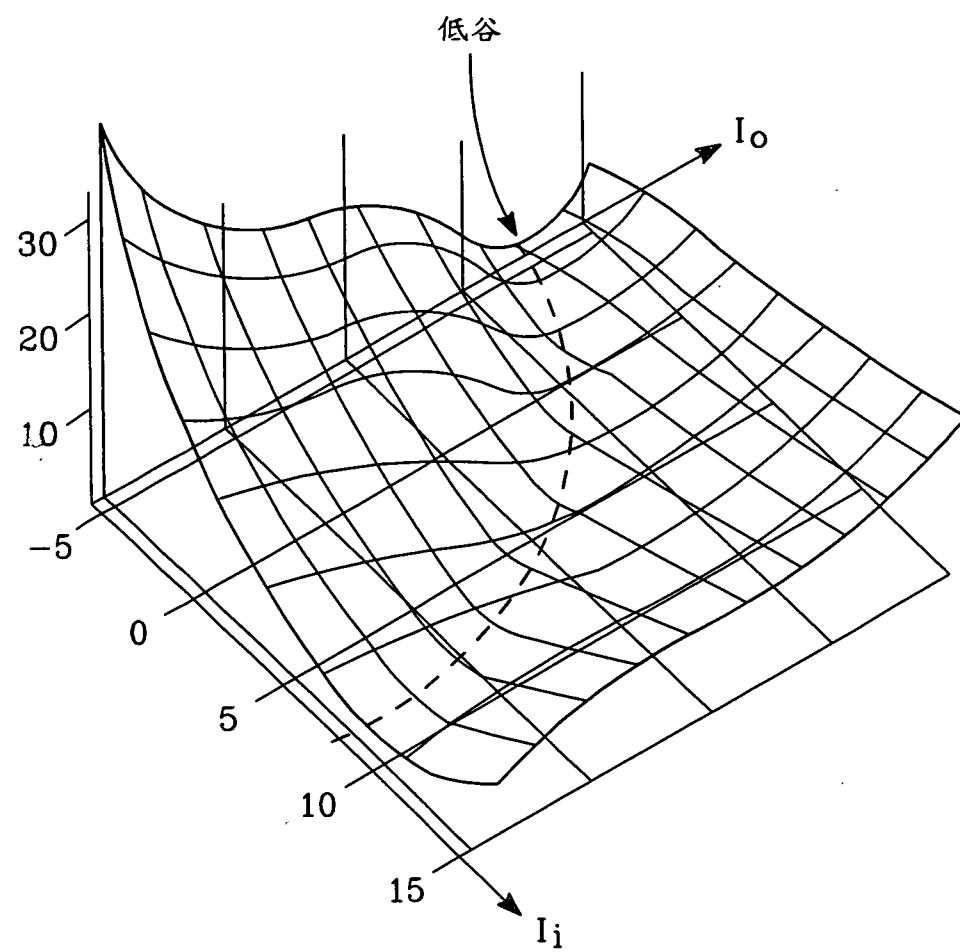
第 64 圖



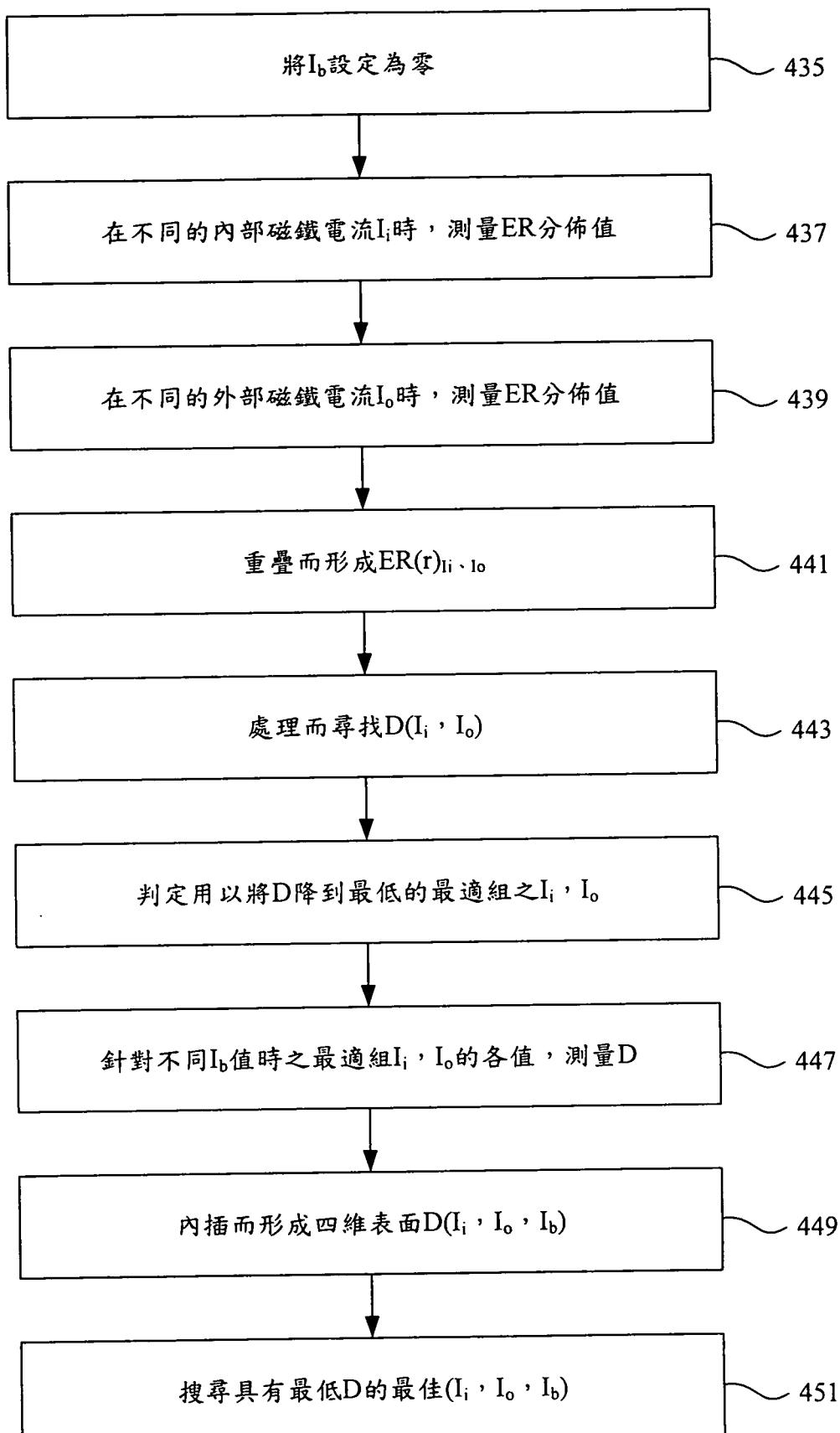
第 65 圖



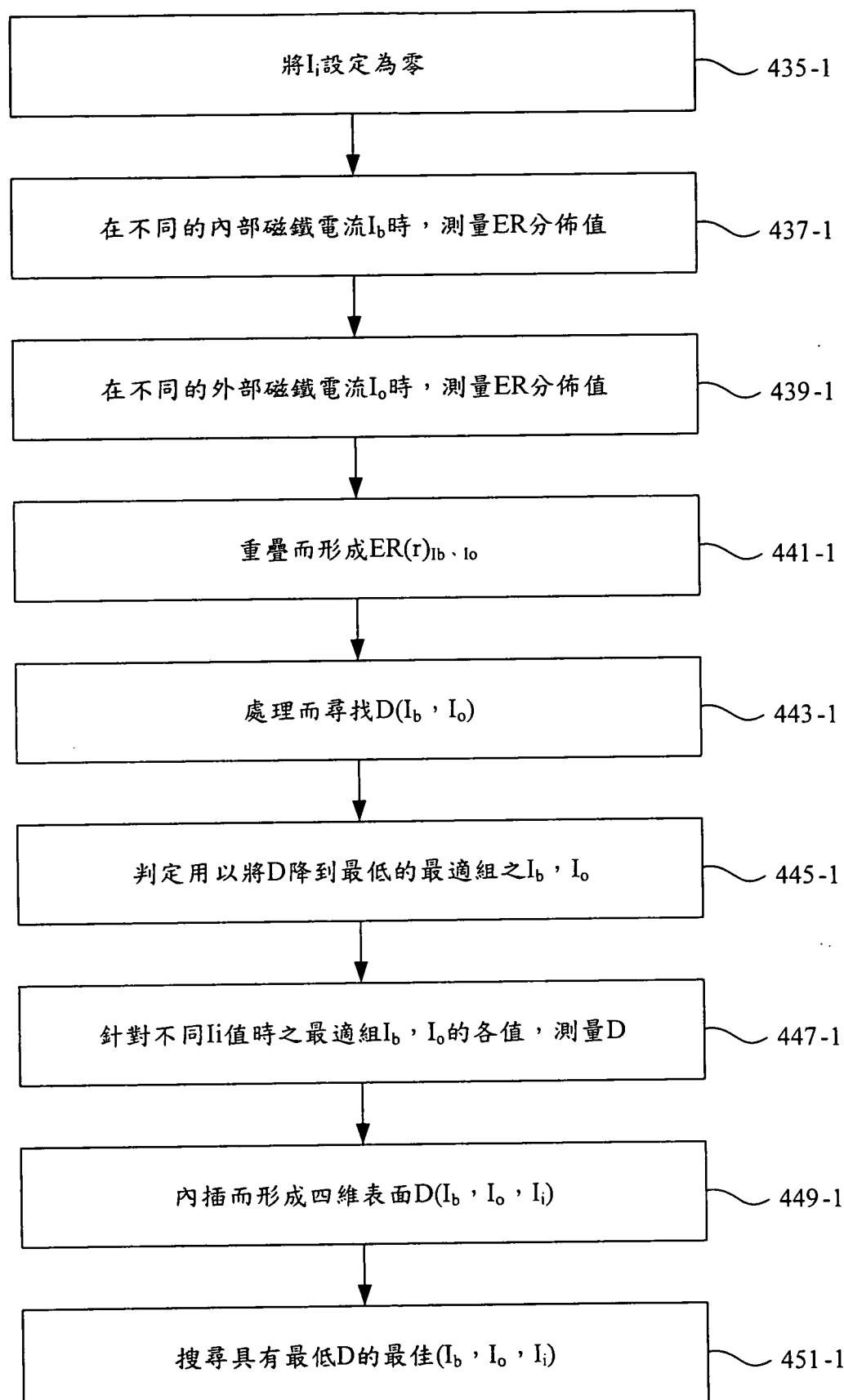
第 66 圖

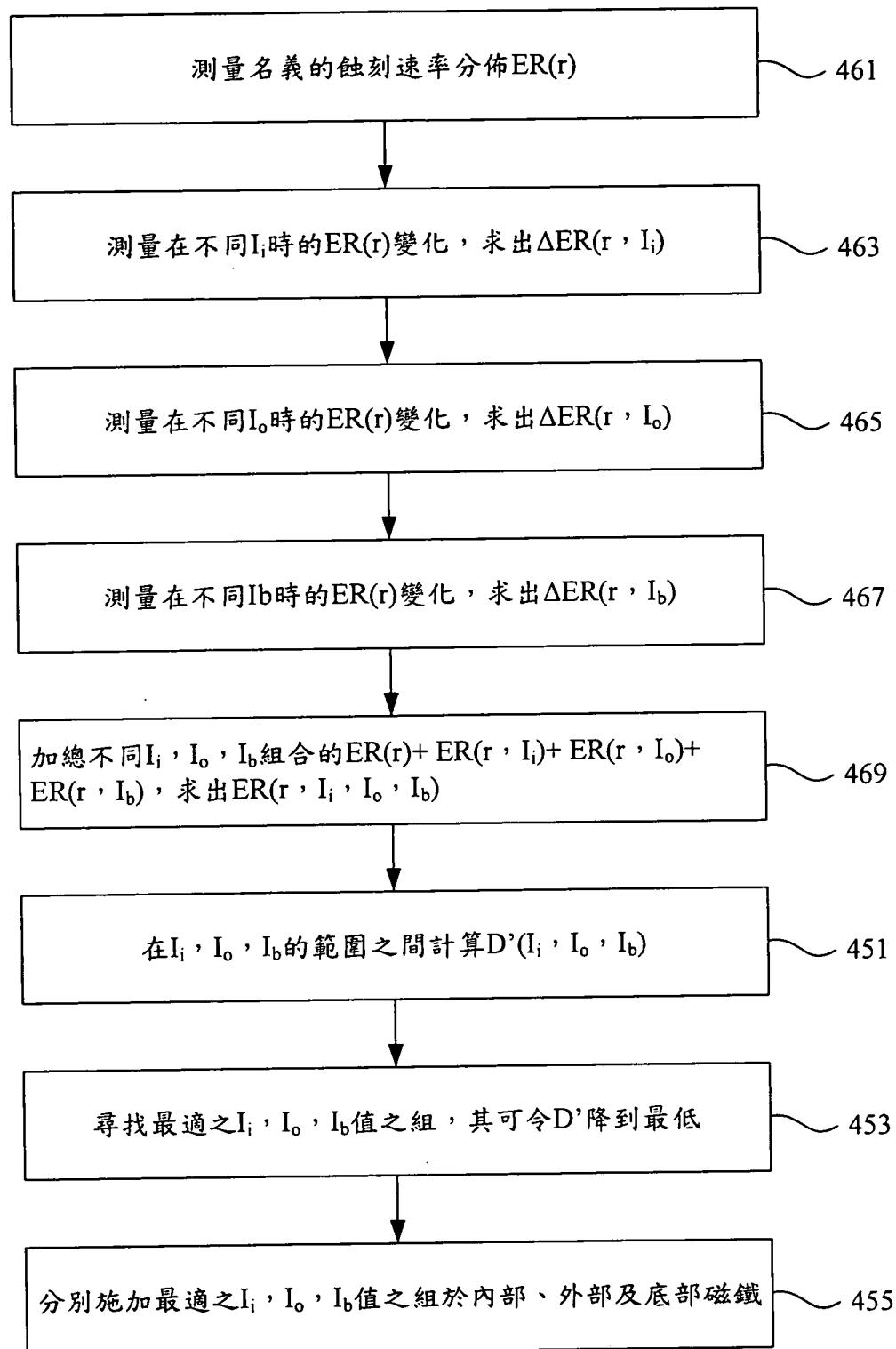


第 67 圖

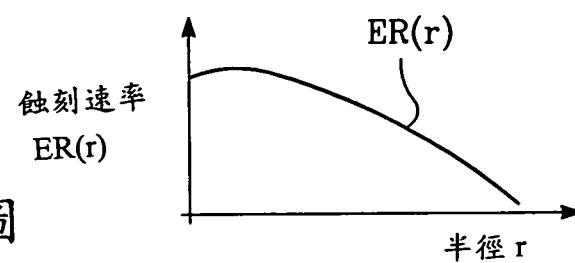


第 68 圖

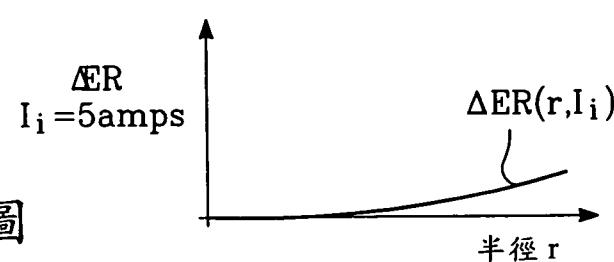




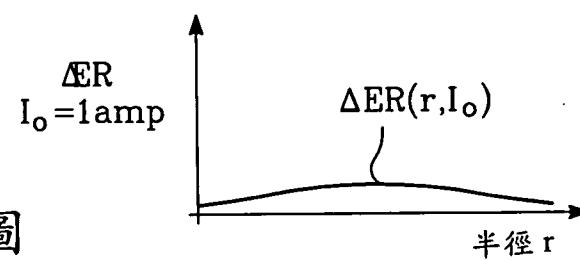
第 70 圖



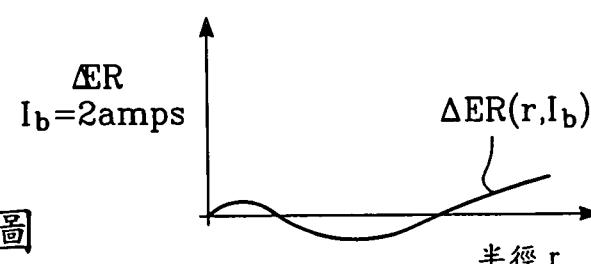
第 71A 圖



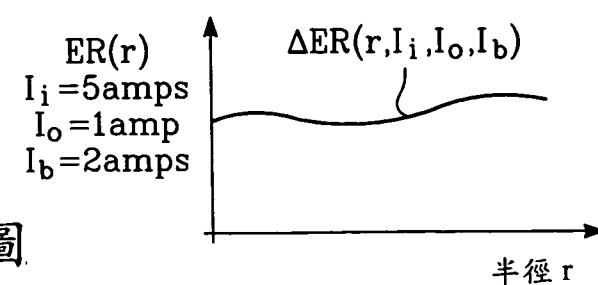
第 71B 圖



第 71C 圖



第 71D 圖



第 71E 圖