



(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 I770173 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 07 月 11 日

(21)申請案號：107115859

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 05 月 10 日

(51)Int. Cl. : H01L21/67 (2006.01)

H01L21/3065(2006.01)

H01J37/32 (2006.01)

(30)優先權：2017/09/13 美國

15/703,280

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

美國

(72)發明人：瑪瑞卡塔諾 艾力西 MARAKHTANOV, ALEXEI (US)；趙林 ZHAO, LIN (CN)；
柯札維奇 菲力克斯 KOZAKEVICH, FELIX (US)；露千西 肯尼斯 LUCCHESI,
KENNETH (US)；陳 志剛 CHEN, ZHIGANG (US)；霍藍德 約翰 派翠克
HOLLAND, JOHN PATRICK (US)

(74)代理人：許峻榮

(56)參考文獻：

US 2005/0039682A1

US 2013/0260567A1

審查人員：廖崑男

申請專利範圍項數：35 項 圖式數：7 共 54 頁

(54)名稱

用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性之方法與系統

(57)摘要

描述用以提供多狀態電漿晶圓處理的系統及方法。該等系統及方法具有三狀態。在該等狀態之第一者期間，執行蝕刻操作。在該等狀態之第二者中，千赫射頻信號之功率位準大於零，以增加入射於堆疊層之底部表面上的離子之方向性。在該等狀態之第三者中，堆疊層上方的遮罩之耗損減少，且可執行沉積。

Systems and methods for providing a multi regime plasma wafer processing are described. The systems and methods have three states. During a first one of the states, an etching operation is performed. In a second one of the states, a power level of a kilohertz radio frequency signal is greater than zero to increase directionality of ions that are incident on a bottom surface of a stack layer. In a third one of the states, there is a reduction in a loss of mask on top of the stack layer and deposition may be performed.

指定代表圖：

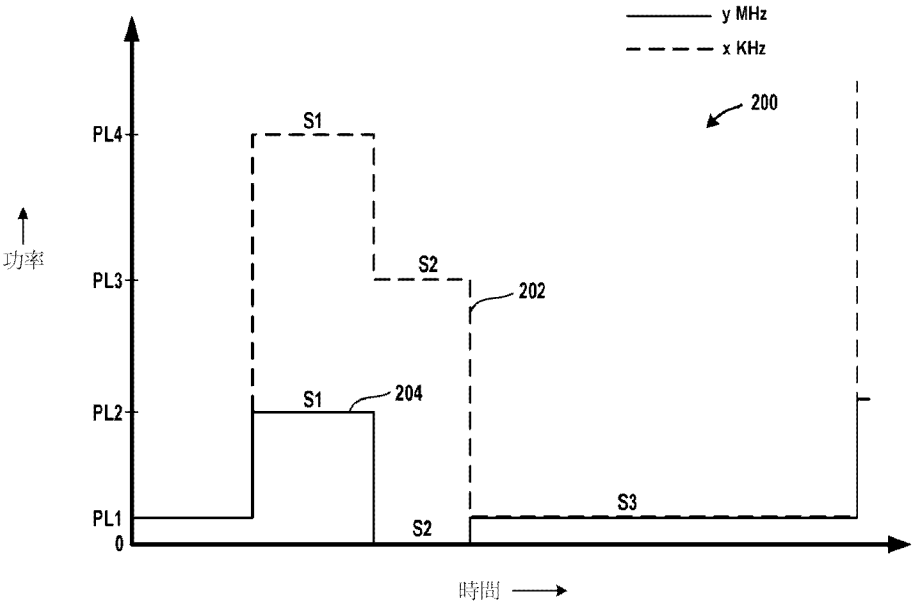


圖 2

符號簡單說明：

200:圖形

202:RF 信號

204:RF 信號

PL1:功率位準

PL2:功率位準

PL3:功率位準

PL4:功率位準

S1:狀態

S2:狀態

S3:狀態



I770173

【發明摘要】

【中文發明名稱】用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性之方法與系統

【英文發明名稱】METHOD AND SYSTEM FOR INCREASING

DIRECTIONALITY OF IONS OF PLASMA TOWARDS A BOTTOM OF A
STACK LAYER

【中文】描述用以提供多狀態電漿晶圓處理的系統及方法。該等系統及方法具有三狀態。在該等狀態之第一者期間，執行蝕刻操作。在該等狀態之第二者中，千赫射頻信號之功率位準大於零，以增加入射於堆疊層之底部表面上的離子之方向性。在該等狀態之第三者中，堆疊層上方的遮罩之耗損減少，且可執行沉積。

【英文】Systems and methods for providing a multi regime plasma wafer processing are described. The systems and methods have three states. During a first one of the states, an etching operation is performed. In a second one of the states, a power level of a kilohertz radio frequency signal is greater than zero to increase directionality of ions that are incident on a bottom surface of a stack layer. In a third one of the states, there is a reduction in a loss of mask on top of the stack layer and deposition may be performed.

【指定代表圖】 圖2

【代表圖之符號簡單說明】

200 圖形

202 RF信號

204	RF信號
PL1	功率位準
PL2	功率位準
PL3	功率位準
PL4	功率位準
S1	狀態
S2	狀態
S3	狀態

【發明說明書】

【中文發明名稱】用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性之方法與系統

【英文發明名稱】METHOD AND SYSTEM FOR INCREASING
DIRECTIONALITY OF IONS OF PLASMA TOWARDS A BOTTOM OF A
STACK LAYER

【技術領域】

【0001】 本發明係關於多狀態電漿晶圓處理以增加離子之方向性。

【先前技術】

【0002】 在一些電漿處理系統中，將射頻(RF)信號提供至電漿腔室內的電極。RF信號係用以在電漿腔室內產生電漿。電漿用於各種操作，例如清洗置於下電極上的基板、蝕刻基板等。在使用電漿的基板處理期間，RF信號在兩狀態之間轉換。

【0003】 本發明中所描述之實施例係由此背景中產生。

【發明內容】

【0004】 本發明之實施例提供系統、設備、方法及電腦程式，用於多狀態電漿晶圓處理以增加離子之方向性。應理解，可以許多方式實行本實施例，例如處理、設備、系統、裝置、或電腦可讀媒體上的方法。以下描述若干實施例。

【0005】 在若干實施例中，描述多電漿狀態方法。在多電漿狀態方法中，在狀態S1期間，具有高密度及高離子能量的電漿係在電漿腔室內產生或維持。例如，在狀態S1期間，x千赫(kHz)射頻(RF)產生器供應具有15000瓦之功率位準的功率，而y兆赫(MHz)射頻(RF)產生器供應具有5000瓦之功率位準的功率。此

外，在狀態S2期間，x kHz RF產生器供應低頻功率，例如具有3000瓦至15000瓦之間之範圍內的功率位準。y MHz RF產生器在狀態S2期間不供應任何功率或供應最小量的功率。舉例而言，在狀態S2期間將y MHz RF產生器關掉。狀態S2產生高密度離子通量、並具有狹窄的離子角度分佈(IAD)。狀態S2期間的較具方向性的高能量離子通量改善了元件接觸孔的蝕刻輪廓、使臨界尺寸(CD)(例如遮罩頸部)擴大、增加離子角度分佈之輪廓的垂直方向性、並且增加通往欲蝕刻之晶圓的堆疊層的底部表面之離子通量。在底部表面處之高量的離子通量導致較高的蝕刻速率。由於狀態S2具有高能量之離子通量，故狀態S2使沉積於堆疊層上的遮罩之耗損加速。在狀態S3期間，將聚合物沉積於堆疊層上，且遮罩的耗損速率係相較於狀態S2中而減低。

【0006】 在一些實施例中，描述一種用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法。該方法包含接收一數位脈衝信號。該數位脈衝信號具有一第一狀態、一第二狀態、及一第三狀態。該方法更包含判定是否該數位脈衝信號正由該第三狀態轉變為該第一狀態，並且一旦判定該數位脈衝信號正由該第三狀態轉變為該第一狀態，即控制kHz RF產生器以產生具有該第一狀態期間之功率位準的kHz RF信號。該方法包含一旦判定該數位脈衝信號正由該第三狀態轉變為該第一狀態，即控制MHz RF產生器以產生具有該第一狀態期間之功率位準的MHz RF信號。該方法包含判定是否該數位脈衝信號正由該第一狀態轉變為該第二狀態，並且一旦判定該數位脈衝信號正由該第一狀態轉變為該第二狀態，即控制該kHz RF產生器以產生具有該第二狀態期間之功率位準的該kHz RF信號。該方法包含一旦判定該數位脈衝信號正由該第一狀態轉變為該第二狀態，即控制該MHz RF產生器以產生具有該第二狀態期間之功率位準的該MHz RF信號。該第二狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準低於該第一狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準。該方法包含判定是否該數位脈衝信號正由該第二狀

態轉變為該第三狀態，並且一旦判定該數位脈衝信號正由該第二狀態轉變為該第三狀態，即控制該kHz RF產生器以產生具有該第三狀態期間之功率位準的該kHz RF信號。該第二狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準低於該第一狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準，且該第二狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準大於該第三狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準，俾增加該電漿之該等離子朝該堆疊層之該底部的該方向性。該方法包含一旦判定該數位脈衝信號正由該第二狀態轉變為該第三狀態，即控制該MHz RF產生器以產生具有該第三狀態期間之功率位準的該MHz RF信號。

【0007】 本文所述之多狀態電漿晶圓處理以增加離子之方向性的一些優點包含：x kHz RF產生器的狀態S2用以藉由控制IAD而控制遮罩的外形、控制接觸窗蝕刻輪廓、並用以增加蝕刻速率或產能。例如，相較於二狀態RF產生器之低狀態期間的功率位準，在x kHz RF產生器的狀態S2期間由x kHz RF產生器所供應的功率位準提升。功率位準之提升使得蝕刻速率或產能提升，而同時亦增加入射於堆疊層內所形成之底部表面上的離子的垂直方向性。

【0008】 其他實施態樣由隨後之實施方式及附圖當可更加明白。

【圖式簡單說明】

【0009】 藉由參照隨後之說明及隨附之圖式可最適當理解實施例：

【0010】 圖1為用以執行多狀態電漿處理以增加離子之方向性的電漿工具之實施例的方塊圖。

【0011】 圖2為用以顯示由千赫(kHz)RF產生器所產生的射頻(RF)信號的三狀態、且用以顯示由兆赫(MHz)RF產生器所產生的RF信號的三狀態之圖形之實施例的示意圖。

【0012】圖3為用以顯示時脈信號、脈衝信號、kHz RF產生器所產生的RF信號、及MHz RF產生器所產生的RF信號之間的同步之多圖形示意圖。

【0013】圖4A具有以電子伏特(eV)顯示形成於電漿腔室內的電漿之離子之能量分佈之繪圖。

【0014】圖4B具有顯示形成於電漿腔室內的電漿之離子之能量分佈之繪圖。

【0015】圖5A為未應用參照圖1之本文所述方法時，基板之實施例之示意圖。

【0016】圖5B為應用參照圖1之本文所述方法時，基板之實施例之示意圖。

【0017】圖6為用以顯示以下者之圖形之實施例：相比於50 kHz RF產生器、100 kHz RF產生器、2 MHz RF產生器、或27 MHz RF產生器，當在圖1之電漿工具中使用400 kHz RF產生器時離子角度分佈(IAD)為最狹窄。

【0018】圖7為用以顯示以下者之圖形之實施例：相比於使用50 kHz RF產生器、100 kHz RF產生器、2 MHz RF產生器、或27 MHz RF產生器以替代400 kHz RF產生器時，離子之相同量的正規化離子通量在當電漿工具中使用400 kHz RF產生器時，促進達成較高的深寬比。

【實施方式】

【0019】以下實施例描述用以執行多狀態電漿處理以增加離子之方向性的系統及方法。以下應為清楚的：在毋須若干或全部此等特定細節之情況下即可實行本發明。在其他範例中，為了不使本發明晦澀難懂，習知的處理操作不會有詳細描述。

【0020】圖1為用以執行多狀態電漿處理以增加離子之方向性的電漿工具100之實施例的方塊圖。電漿工具100包含x千赫(kHz)射頻(RF)產生器、y兆赫

(MHz)RF產生器、主電腦104、阻抗匹配網路(IMN)106、以及電漿腔室108。 x kHz RF產生器為具有400 kHz之操作頻率的400千赫(kHz)RF產生器。例如， x kHz RF產生器在380 kHz至420 kHz之範圍內的頻率下操作。做為另一實例， x kHz RF產生器在370 kHz至430 kHz之範圍內的頻率下操作。 y MHz RF產生器之範例包含2 MHz、或13.56 MHz、或27 MHz、或60 MHz RF產生器。主電腦104之範例包含桌上型電腦、或膝上型電腦、或智慧型手機、或平板電腦等。

【0021】 x kHz RF產生器包含數位信號處理器(DSP)110、功率控制器PWRS1 x 、另一功率控制器PWRS2 x 、再另一功率控制器PWRS3 x 、自動頻率調諧器(AFT) AFTS1 x 、另一自動頻率調諧器AFTS2 x 、再另一自動頻率調諧器AFTS3 x 、RF電源供應器P s_x 、以及驅動系統120。如本文所使用，RF電源供應器之範例包含RF振盪器。舉例而言，RF電源供應器為產生振盪信號(例如在一射頻下的正弦波)的電子電路。在另一範例中，RF電源供應器為具有石英晶體的晶體振盪器，當將電壓施加至該石英晶體之上或附近的電極時，使該石英晶體於一預定頻率下變形。如本文所使用，處理器為特殊應用積體電路(ASIC)、或可程式邏輯元件(PLD)、或中央處理單元(CPU)、或微處理器、或微控制器。如本文所使用，控制器為特殊應用積體電路(ASIC)、或可程式邏輯元件(PLD)、或中央處理單元(CPU)、或微處理器、或微控制器、或處理器。如本文所使用，驅動系統之範例包含一或更多電晶體。

【0022】 電漿腔室108包含夾頭126及面向夾頭126的上電極128。上電極128係連接至接地電位。電漿腔室108亦包含其他元件(未顯示)：環繞上電極128的上電極延伸部、環繞夾頭126的下介電環部、環繞下介電環部的下電極延伸部、上電漿排除區域(PEZ)環部、下PEZ環部等。上電極128位在夾頭126之對側且面向夾頭126，該夾頭126包含一下電極。例如，夾頭126包含附著於下電極頂部的陶瓷層及附著於下電極底部的工具板。下電極係由金屬所組成，例如經陽

極處理之鋁、鋁之合金等。並且，上電極128係由金屬所組成，例如鋁、鋁之合金等。

【0023】 基板130(例如半導體晶圓)係支撐於夾頭126的上表面上。將積體電路(例如特殊應用積體電路(ASIC)、可程式邏輯元件(PLD)等)形成於基板130上，並將積體電路使用於各種裝置中，例如行動電話、平板電腦、智慧型手機、電腦、膝上型電腦、網通設備等。

【0024】 上電極128包含連接至中央氣體供給部(未顯示)的一或更多孔洞。中央氣體供給部自氣體供應部(未顯示)接收一或更多處理氣體。一或更多處理氣體之範例包括含氧氣體，例如氧氣。一或更多處理氣體之其他範例包括含氟氣體，例如四氟甲烷(CF₄)、六氟化硫(SF₆)、六氟乙烷(C₂F₆)等。

【0025】 DSP 110係連接至功率控制器PWRS1x、PWRS2x、以及PWRS3x，且連接至自動頻率調諧器AFTS1x、AFTS2x、以及AFTS3x。此外，功率控制器PWRS1x、PWRS2x、及PWRS3x與自動頻率調諧器AFTS1x、AFTS2x、及AFTS3x係連接至驅動系統120。驅動系統120係連接至RF電源供應器Psx。RF電源供應器Psx係經由x kHz RF產生器之輸出部122而連接至RF纜線124，該RF纜線124係連接至IMN 106之輸入部。

【0026】 IMN 106之輸出部係經由RF傳輸線125而連接至夾頭126的下電極。RF傳輸線125包含由絕緣體所圍繞的金屬條，該絕緣體係進一步地由護套所圍繞。金屬條係經由RF帶而連接至圓柱部，而該圓柱部係連接至夾頭126。

【0027】 y MHz RF產生器包含DSP 132、功率控制器PWRS1y、另一功率控制器PWRS2y、再另一功率控制器PWRS3y、自動頻率調諧器(AFT) AFTS1y、另一自動頻率調諧器AFTS2y。y MHz RF產生器更包含另一自動頻率調諧器AFTS3y、RF電源供應器Psy、以及驅動系統134。DSP 132係連接至功率控制器PWRS1y、PWRS2y、以及PWRS3y，且連接至自動頻率調諧器AFTS1y、AFTS2y、

以及AFTS3y。此外，功率控制器PWRS1y、PWRS2y、及PWRS3y與自動頻率調諧器AFTS1y、AFTS2y、及AFTS3y係連接至驅動系統134。驅動系統134係連接至RF電源供應器Psy。RF電源供應器Psy係經由y MHz RF產生器之輸出部136而連接至RF纜線138，該RF纜線138係連接至IMN 106之另一輸入部。RF纜線138所連接的IMN 106之其他輸入部係不同於RF纜線124所連接的IMN 106之輸入部。

【0028】 IMN 106包含電路元件(例如電感器、電容器、電阻器、或其二或更多之組合)，以將連接至IMN 106之輸出部的負載之阻抗與連接至IMN 106之輸入部的來源之阻抗作匹配。例如，IMN 106將連接至IMN 106之輸出部的電漿腔室108及RF傳輸線125之阻抗，與連接至IMN 106之輸入部的x kHz RF產生器、RF纜線124、y MHz RF產生器、及RF纜線138之阻抗作匹配。在一實施例中，調諧IMN 106之電路元件之一或更多者，以促進下列阻抗之間的匹配：連接至IMN 106之輸出部的負載之阻抗與連接至IMN 106之輸入部的來源之阻抗。IMN 106使得RF功率以朝來源方向(例如由負載朝向來源)被反射的可能性降低。

【0029】 主電腦104包含處理器142及記憶裝置144。處理器142係連接至記憶裝置144。記憶裝置之範例包含隨機存取記憶體(RAM)及唯讀記憶體(ROM)。舉例而言，記憶裝置為快閃記憶體、硬碟、或儲存裝置等。記憶裝置為電腦可讀取媒體之範例。處理器142係經由纜線146而連接至DSP 110、且經由纜線148而連接至DSP 132。纜線146或纜線148之範例包含：用於以串列方式傳輸資料的纜線、用於以並列方式傳輸資料的纜線、以及用於藉應用通用串列匯流排(USB)協定而傳輸資料的纜線。

【0030】 處理器142之控制電路係用以產生脈衝信號150，例如具有三狀態S1至S3之三工作週期的電晶體-電晶體邏輯(TTL)信號、數位脈衝信號、方形波形、脈衝信號等。處理器142之控制電路之範例包含TTL電路。

【0031】脈衝信號150包含狀態S1、S2、及S3。例如，脈衝信號150的狀態S1在時脈信號152之時脈週期的一部分期間具有為一的邏輯位準，而在時脈週期的另一部分期間具有為零的邏輯位準。在另一範例中，脈衝信號150的狀態S2在時脈週期的一部分期間具有為一的邏輯位準，而在時脈週期的另一部分期間具有為零的邏輯位準。在又另一範例中，脈衝信號150的狀態S3在時脈週期的一部分期間具有為一的邏輯位準，而在時脈週期的另一部分期間具有為零的邏輯位準。在各種實施例中，狀態S1、S2、及S3在脈衝信號150之時脈週期期間執行一次，並隨複數時脈週期而重複。例如，時脈週期包含狀態S1至S3，且時脈信號152之另一時脈週期包含狀態S1至S3。舉例而言，在一部分區段的時脈週期期間，執行狀態S1，在另一區段的時脈週期期間，執行狀態S2，而在剩餘部分區段的時脈週期期間，執行狀態S3。

【0032】在一些實施例中，狀態S1至S3之各者具有三分之一的工作週期。在若干實施例中，狀態S1至S3之各者具有與狀態S1至S3剩餘的任一者不同的工作週期。例如，狀態S1具有a%之工作週期、狀態S2具有b%之工作週期、且狀態S3具有(100-a-b)%之工作週期，其中a與b為整數，且其中a為與b不同的數字。

【0033】在各種實施例中，並非使用處理器142之控制電路，而係使用時脈來源(例如，晶體振盪器等)以產生類比時脈信號，藉由類比數位轉換器將該類比時脈信號轉換為相似於脈衝信號150的數位信號。例如，晶體振盪器係用以藉由將電壓施加至靠近晶體振盪器的電極而在電場中振盪。舉例而言，晶體振盪器在時脈信號152之時脈週期的第一部分期間以第一頻率振盪、在時脈信號152之時脈週期的第二部分期間以第二頻率振盪、以及在時脈信號152之時脈週期的剩餘部分期間以第三頻率振盪。第三頻率係不同於第二頻率，第二頻率係不同於第一頻率。在一些實施例中，第一頻率與第二頻率相同、但與第三頻率不同。

在各種實施例中，第一頻率與第三頻率相同、但與第二頻率不同。在各種實施例中，並非處理器142、而係數位時脈來源產生脈衝信號150。

【0034】 處理器142自記憶裝置144存取配方。配方之範例包含欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S1的功率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S2的功率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S3的功率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S1的頻率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S2的頻率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S3的頻率設定點、欲施加至y MHz RF產生器之針對狀態S1的功率設定點、欲施加至y MHz RF產生器之針對狀態S2的功率設定點、欲施加至y MHz RF產生器之針對狀態S3的功率設定點、欲施加至y MHz RF產生器之針對狀態S1的頻率設定點、欲施加至y MHz RF產生器之針對狀態S2的頻率設定點、欲施加至y MHz RF產生器之針對狀態S3的頻率設定點、一或更多處理氣體之化學物、上電極128與夾頭126之間的間隙、或其組合。

【0035】 處理器142以脈衝信號150經由纜線146將指令傳送至DSP 110。經由纜線146而傳送至DSP 110的指令具有下列各者：關於脈衝信號150的資訊、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S1的功率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S2的功率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S3的功率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S1的頻率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S2的頻率設定點、欲施加至x kHz RF產生器之針對狀態S3的頻率設定點。關於脈衝信號150的資訊向DSP 110指示下列各者：由x kHz RF產生器所產生的RF信號欲在時脈週期的轉變時間 t_{s1} 時自狀態S1轉變為狀態S2、RF信號欲在時脈週期的轉變時間 t_{s2} 時自狀態S2轉變為狀態S3、以及RF信號欲在時脈週期的轉變時間 t_{s3} 時自狀態S3轉變為狀態S1。DSP 110根據指令而判定下列各者：在脈衝信號150之狀態S1期間欲施加之針對狀態S1的功率設定點、在脈衝信

號150之狀態S2期間欲施加之針對狀態S2的功率設定點、在脈衝信號150之狀態S3期間欲施加之針對狀態S3的功率設定點、在脈衝信號150之狀態S1期間欲施加之針對狀態S1的頻率設定點、在脈衝信號150之狀態S2期間欲施加之針對狀態S2的頻率設定點、以及在脈衝信號150之狀態S3期間欲施加之針對狀態S3的頻率設定點。此外，DSP 110根據指令及脈衝信號150而判定下列各者：由x kHz RF產生器所產生的RF信號欲在時脈週期的轉變時間ts1時自狀態S1轉變為狀態S2、RF信號欲在時脈週期的轉變時間ts2時自狀態S2轉變為狀態S3、以及RF信號欲在時脈週期的轉變時間ts3時自狀態S3轉變為狀態S1。轉變時間ts1至ts3於時脈信號152之各時脈週期重複。

【0036】在時脈信號152之時脈週期之轉變時間ts3時，DSP 110將狀態S1的功率設定點傳送至功率控制器PWRS1x。同樣地，在時脈信號152之時脈週期之轉變時間ts1時，DSP 110將狀態S2的功率設定點傳送至功率控制器PWRS2x。並且，在時脈信號152之時脈週期之轉變時間ts2時，DSP 110將狀態S3的功率設定點傳送至功率控制器PWRS3x。此外，在時脈週期之轉變時間ts3時，DSP 110將狀態S1的頻率設定點傳送至自動頻率調諧器AFTS1x。並且，在時脈週期之轉變時間ts1時，DSP 110將狀態S2的頻率設定點傳送至自動頻率調諧器AFTS2x。此外，在時脈週期之轉變時間ts2時，DSP 110將狀態S3的頻率設定點傳送至自動頻率調諧器AFTS3x。

【0037】一旦接收到狀態S1的功率設定點，功率控制器PWRS1x判定對應至(例如與其具有一對一關係、映對至、關聯至等)狀態S1的功率設定點之電流量。基於在狀態S1期間欲由驅動系統120產生的電流量，功率控制器PWRS1x產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統120。針對狀態S1，為響應接收該指令信號，驅動系統120產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器Psx。RF電源供應器Psx在接收到電流信號時即產生具有狀態S1的功率設定點的RF信

號、並經由輸出部122及RF纜線124將該RF信號供應至IMN 106之輸入部。藉由RF電源供應器P_{sx}以在狀態S1期間維持狀態S1的功率設定點。

【0038】 同樣地，一旦接收到狀態S2的功率設定點，功率控制器PWRS2_x判定對應至(例如與其具有一對一關係、映對至、關聯至等)狀態S2的功率設定點之電流量。基於在狀態S2期間欲由驅動系統120產生的電流量，功率控制器PWRS2_x產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統120。針對狀態S2，為響應接收該指令信號，驅動系統120產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器P_{sx}。RF電源供應器P_{sx}在接收到電流信號時即產生具有狀態S2的功率設定點的RF信號、並經由輸出部122及RF纜線124將該RF信號供應至IMN 106之輸入部。藉由RF電源供應器P_{sx}以在狀態S2期間維持狀態S2的功率設定點。

【0039】 此外，一旦接收到狀態S3的功率設定點，功率控制器PWRS3_x判定對應至(例如與其具有一對一關係、映對至、關聯至等)狀態S3的功率設定點之電流量。基於在狀態S3期間欲由驅動系統120產生的電流量，功率控制器PWRS3_x產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統120。針對狀態S3，為響應接收該指令信號，驅動系統120產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器P_{sx}。RF電源供應器P_{sx}在接收到電流信號時即產生具有狀態S3的功率設定點的RF信號、並經由輸出部122及RF纜線124將該RF信號供應至IMN 106之輸入部。藉由RF電源供應器P_{sx}以在狀態S3期間維持狀態S3的功率設定點。

【0040】 此外，一旦接收到狀態S1的頻率設定點，自動頻率調諧器AFTS1_x判定對應至(例如與其具有一對一關係、映對至、關聯至等)狀態S1的頻率設定點之電流量。基於在狀態S1期間欲由驅動系統120產生的電流量，自動頻率調諧器AFTS1_x產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統120。針對狀態S1，為響應接收該指令信號，驅動系統120產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器P_{sx}。RF電源供應器P_{sx}在接收到電流信號時即產生具有狀態S1的頻率設定

點的RF信號、並經由輸出部122及RF纜線124將該RF信號供應至IMN 106之輸入部。藉由RF電源供應器P_{sx}以在狀態S1期間維持狀態S1的頻率設定點。具有狀態S1的功率設定點及狀態S1的頻率設定點的RF信號係在狀態S1期間所產生的RF信號。

【0041】 同樣地，一旦接收到狀態S2的頻率設定點，自動頻率調諧器AFTS2_x判定對應至狀態S2的頻率設定點之電流量。基於在狀態S2期間欲由驅動系統120產生的電流量，自動頻率調諧器AFTS2_x產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統120。針對狀態S2，為響應接收該指令信號，驅動系統120產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器P_{sx}。RF電源供應器P_{sx}在接收到電流信號時即產生具有狀態S2的頻率設定點的RF信號、並經由輸出部122及RF纜線124將該RF信號供應至IMN 106之輸入部。藉由RF電源供應器P_{sx}以在狀態S2期間維持狀態S2的頻率設定點。具有狀態S2的功率設定點及狀態S2的頻率設定點的RF信號係在狀態S2期間所產生的RF信號。

【0042】 此外，一旦接收到狀態S3的頻率設定點，自動頻率調諧器AFTS3_x判定對應至狀態S3的頻率設定點之電流量。基於在狀態S3期間欲由驅動系統120產生的電流量，自動頻率調諧器AFTS3_x產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統120。針對狀態S3，為響應接收該指令信號，驅動系統120產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器P_{sx}。RF電源供應器P_{sx}在接收到電流信號時即產生具有狀態S3的頻率設定點的RF信號、並經由輸出部122及RF纜線124將該RF信號供應至IMN 106之輸入部。藉由RF電源供應器P_{sx}以在狀態S3期間維持狀態S3的頻率設定點。具有狀態S3的功率設定點及狀態S3的頻率設定點的RF信號係在狀態S3期間所產生的RF信號。

【0043】 處理器142以脈衝信號150經由纜線148將指令傳送至DSP 132。經由纜線148而傳送至DSP 132的指令具有下列各者：關於脈衝信號150的資訊、欲

施加至 y MHz RF產生器之針對狀態S1的功率設定點、欲施加至 y MHz RF產生器之針對狀態S2的功率設定點、欲施加至 y MHz RF產生器之針對狀態S3的功率設定點、欲施加至 y MHz RF產生器之針對狀態S1的頻率設定點、欲施加至 y MHz RF產生器之針對狀態S2的頻率設定點、欲施加至 y MHz RF產生器之針對狀態S3的頻率設定點。關於脈衝信號150的資訊向DSP 132指示下列各者：由 y MHz RF產生器所產生的RF信號欲在時脈週期的轉變時間 $ts1$ 時自狀態S1轉變為狀態S2、RF信號欲在時脈週期的轉變時間 $ts2$ 時自狀態S2轉變為狀態S3、以及RF信號欲在時脈週期的轉變時間 $ts3$ 時自狀態S3轉變為狀態S1。DSP 132分析指令並根據指令而判定下列各者：在脈衝信號150之狀態S1期間欲施加之針對狀態S1的功率設定點、在脈衝信號150之狀態S2期間欲施加之針對狀態S2的功率設定點、在脈衝信號150之狀態S3期間欲施加之針對狀態S3的功率設定點、在脈衝信號150之狀態S1期間欲施加之針對狀態S1的頻率設定點、在脈衝信號150之狀態S2期間欲施加之針對狀態S2的頻率設定點、以及在脈衝信號150之狀態S3期間欲施加之針對狀態S3的頻率設定點。此外，DSP 132根據指令而判定下列各者：由 y MHz RF產生器所產生的RF信號欲在時脈週期的轉變時間 $ts1$ 時自狀態S1轉變為狀態S2、RF信號欲在時脈週期的轉變時間 $ts2$ 時自狀態S2轉變為狀態S3、以及RF信號欲在時脈週期的轉變時間 $ts3$ 時自狀態S3轉變為狀態S1。

【0044】在時脈信號152之時脈週期之轉變時間 $ts3$ 時，DSP 132將狀態S1的功率設定點傳送至功率控制器PWRS1 y 。同樣地，在時脈信號152之時脈週期之轉變時間 $ts1$ 時，DSP 132將狀態S2的功率設定點傳送至功率控制器PWRS2 y 。並且，在時脈信號152之時脈週期之轉變時間 $ts2$ 時，DSP 132將狀態S3的功率設定點傳送至功率控制器PWRS3 y 。此外，在時脈週期之轉變時間 $ts3$ 時，DSP 132將狀態S1的頻率設定點傳送至自動頻率調諧器AFTS1 y 。並且，在時脈週期之轉變時間 $ts1$ 時，DSP 132將狀態S2的頻率設定點傳送至自動頻率調諧器AFTS2 y 。

此外，在時脈週期之轉變時間 t_{s2} 時，DSP 132將狀態S3的頻率設定點傳送至自動頻率調諧器AFTS3y。

【0045】一旦接收到狀態S1的功率設定點，功率控制器PWRS1y判定對應至(例如與其具有一對一關係、映對至、關聯至等)狀態S1的功率設定點之電流量。基於在狀態S1期間欲由驅動系統134產生的電流量，功率控制器PWRS1y產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統134。針對狀態S1，為響應接收該指令信號，驅動系統134產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器Psy。RF電源供應器Psy在接收到電流信號時即產生具有狀態S1的功率設定點的RF信號、並經由輸出部136及RF纜線138將該RF信號供應至IMN 106之另一輸入部。藉由RF電源供應器Psy以在狀態S1期間維持狀態S1的功率設定點。

【0046】同樣地，一旦接收到狀態S2的功率設定點，功率控制器PWRS2y判定對應至(例如與其具有一對一關係、映對至、關聯至等)狀態S2的功率設定點之電流量。基於在狀態S2期間欲由驅動系統134產生的電流量，功率控制器PWRS2y產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統134。針對狀態S2，為響應接收該指令信號，驅動系統134產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器Psy。RF電源供應器Psy在接收到電流信號時即產生具有狀態S2的功率設定點的RF信號、並經由輸出部136及RF纜線138將該RF信號供應至IMN 106之另一輸入部。藉由RF電源供應器Psy以在狀態S2期間維持狀態S2的功率設定點。

【0047】此外，一旦接收到狀態S3的功率設定點，功率控制器PWRS3y判定對應至(例如與其具有一對一關係、映對至、關聯至等)狀態S3的功率設定點之電流量。基於在狀態S3期間欲由驅動系統134產生的電流量，功率控制器PWRS3y產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統134。針對狀態S3，為響應接收該指令信號，驅動系統134產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器Psy。RF電源供應器Psy在接收到電流信號時即產生具有狀態S3的功率設定點的

RF信號、並經由輸出部136及RF纜線138將該RF信號供應至IMN 106之另一輸入部。藉由RF電源供應器Psy以在狀態S3期間維持狀態S3的功率設定點。

【0048】此外，一旦接收到狀態S1的頻率設定點，自動頻率調諧器AFTS1y判定對應至(例如與其具有一對一關係、映對至、關聯至等)狀態S1的頻率設定點之電流量。基於在狀態S1期間欲由驅動系統134產生的電流量，自動頻率調諧器AFTS1y產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統134。針對狀態S1，為響應接收該指令信號，驅動系統134產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器Psy。RF電源供應器Psy在接收到電流信號時即產生具有狀態S1的頻率設定點的RF信號、並經由輸出部136及RF纜線138將該RF信號供應至IMN 106之另一輸入部。藉由RF電源供應器Psy以在狀態S1期間維持狀態S1的頻率設定點。具有狀態S1的功率設定點及狀態S1的頻率設定點的RF信號係在狀態S1期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號。

【0049】同樣地，一旦接收到狀態S2的頻率設定點，自動頻率調諧器AFTS2y判定對應至狀態S2的頻率設定點之電流量。基於在狀態S2期間欲由驅動系統134產生的電流量，自動頻率調諧器AFTS2y產生指令信號、並將指令信號傳送至驅動系統134。針對狀態S2，為響應接收該指令信號，驅動系統134產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器Psy。RF電源供應器Psy在接收到電流信號時即產生具有狀態S2的頻率設定點的RF信號、並經由輸出部136及RF纜線138將該RF信號供應至IMN 106之另一輸入部。藉由RF電源供應器Psy以在狀態S2期間維持狀態S2的頻率設定點。具有狀態S2的功率設定點及狀態S2的頻率設定點的RF信號係在狀態S2期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號。

【0050】此外，一旦接收到狀態S3的頻率設定點，自動頻率調諧器AFTS3y判定對應至狀態S3的頻率設定點之電流量。基於在狀態S3期間欲由驅動系統134產生的電流量，自動頻率調諧器AFTS3y產生指令信號、並將指令信號傳送至驅

動系統134。針對狀態S3，為響應接收該指令信號，驅動系統134產生並傳送具有電流量的電流信號至RF電源供應器Psy。RF電源供應器Psy在接收到電流信號時即產生具有狀態S3的頻率設定點的RF信號、並經由輸出部136及RF纜線138將該RF信號供應至IMN 106之另一輸入部。藉由RF電源供應器Psy以在狀態S3期間維持狀態S3的頻率設定點。具有狀態S3的功率設定點及狀態S3的頻率設定點的RF信號係在狀態S3期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號。

【0051】 IMN 106之輸入部在輸入部接收來自輸出部122經由RF纜線124的由x kHz RF產生器所產生的RF信號；在另一輸入部接收來自輸出部136經由RF纜線138的由y MHz RF產生器所產生的RF信號；並且將連接至IMN 106之輸出部的負載之阻抗與連接至IMN 106之輸入部的來源之阻抗作匹配，以在IMN 106之輸出部產生經修正之RF信號。經由RF傳輸線125而將經修正之RF信號傳送至夾頭126的下電極。當在上電極128與夾頭126之間供應一或更多處理氣體、並將經修正之RF信號供應至夾頭126之下電極時，一或更多處理氣體被引燃而在電漿腔室108內產生電漿、或電漿被維持於電漿腔室108內。電漿係用以處理(例如蝕刻、沉積材料於其上、清洗、濺射等)基板130。

【0052】 在一些實施例中，用語「調諧器」與「控制器」在本文係可互換地使用。

【0053】 在各種實施例中，功率控制器PWRS1x、PWRS2x、與PWRS3x、以及自動頻率調諧器AFTS1x、AFTS2x、與AFTS3x為由DSP 110所執行之電腦程式的模組(例如，部分等)。

【0054】 在若干實施例中，功率控制器PWRS1x、PWRS2x、與PWRS3x、以及自動頻率調諧器AFTS1x、AFTS2x、與AFTS3x為各別的積體電路，該等積體電路連接至DSP 110的積體電路。例如，功率控制器PWRS1x為x kHz RF產生器的第一積體電路、功率控制器PWRS2x為x kHz RF產生器的第二積體電路、功

率控制器PWRS3x為x kHz RF產生器的第三積體電路、自動頻率調諧器AFTS1x為x kHz RF產生器的第四積體電路、自動頻率調諧器AFTS2x為x kHz RF產生器的第五積體電路、自動頻率調諧器AFTS3x為x kHz RF產生器的第六積體電路、以及DSP 110為x kHz RF產生器的第七積體電路。x kHz RF產生器的第一至第六積體電路之各者係連接至x kHz RF產生器的第七積體電路。

【0055】 在一些實施例中，功率控制器PWRS1y、PWRS2y、與PWRS3y、以及自動頻率調諧器AFTS1y、AFTS2y、與AFTS3y為由DSP 132所執行之電腦程式的模組(例如，部分等)。

【0056】 在各種實施例中，功率控制器PWRS1y、PWRS2y、與PWRS3y、以及自動頻率調諧器AFTS1y、AFTS2y、與AFTS3y為各別的積體電路，該等積體電路連接至DSP 132的積體電路。例如，功率控制器PWRS1y為y MHz RF產生器的第一積體電路、功率控制器PWRS2y為y MHz RF產生器的第二積體電路、功率控制器PWRS3y為y MHz RF產生器的第三積體電路、自動頻率調諧器AFTS1y為y MHz RF產生器的第四積體電路、自動頻率調諧器AFTS2y為y MHz RF產生器的第五積體電路、自動頻率調諧器AFTS3y為y MHz RF產生器的第六積體電路、以及DSP 132為y MHz RF產生器的第七積體電路。y MHz RF產生器的第一至第六積體電路之各者係連接至y MHz RF產生器的第七積體電路。

【0057】 在一些實施例中，RF信號之狀態S1的範例包含狀態S1的功率設定點及狀態S1的頻率設定點。狀態S1的功率設定點為操作功率設定點，其為狀態S1期間RF信號的功率量之功率位準(例如波封(envelope)或靜止點至波峰(zero-to-peak)強度)。狀態S1的頻率設定點為操作頻率設定點，其為狀態S1期間RF信號的頻率數值之頻率位準(例如波封或靜止點至波峰強度)。同樣地，RF信號之狀態S2的範例包含狀態S2的功率設定點及狀態S2的頻率設定點。狀態S2的功率設定點為操作功率設定點，其為狀態S2期間RF信號的功率量之功率位準(例

如波封或靜止點至波峰強度)。狀態S2的頻率設定點為操作頻率設定點，其為狀態S2期間RF信號的頻率數值之頻率位準(例如波封或靜止點至波峰強度)。此外，同樣地，RF信號之狀態S3的範例包含狀態S3的功率設定點及狀態S3的頻率設定點。狀態S3的功率設定點為操作功率設定點，其為狀態S3期間RF信號的功率量之功率位準(例如波封或靜止點至波峰強度)。狀態S3的頻率設定點為操作頻率設定點，其為狀態S3期間RF信號的頻率數值之頻率位準(例如波封或靜止點至波峰強度)。

【0058】 在各種實施例中，三RF產生器連接至IMN 106。例如，額外的RF產生器係經由另一RF纜線(未顯示)而連接至IMN 106的又另一輸入部。額外的RF產生器為x kHz RF產生器與y MHz RF產生器以外的RF產生器。該又另一輸入部係不同於RF纜線124所連接的IMN 106之輸入部或RF纜線138所連接的IMN 106之另一輸入部。除了額外的RF產生器具有與y MHz RF產生器不同的操作頻率(例如，2 MHz、27 MHz、60 MHz等)之外，額外的RF產生器具有與y MHz RF產生器相同的結構和功能。例如，y MHz RF產生器具有13.56 MHz的操作頻率，而額外的RF產生器具有2 MHz、或27 MHz、或60 MHz的操作頻率。IMN 106將自x kHz RF產生器、y MHz RF產生器、及額外的RF產生器接收的RF信號結合、並將連接至IMN 106之輸出部的負載之阻抗與來源(例如，x kHz RF產生器、y MHz RF產生器、額外的RF產生器、RF纜線124、RF纜線138、及其他RF纜線等)之阻抗作匹配，以在IMN 106之輸出部產生經修正之RF信號。

【0059】 在一實施例中，用語「阻抗匹配電路」與「阻抗匹配網路」在本文係可互換地使用。

【0060】 在一些實施例中，RF傳輸線125係連接至上電極128，而夾頭126的下電極係連接至接地電位。

【0061】 在各種實施例中，時脈信號152係由處理器142或由時脈來源所產生，其範例係於上述提供。在一些實施例中，時脈信號152自處理器142經由纜線146而提供至DSP 110、且經由纜線148而提供至DSP 132。

【0062】 在一些實施例中，脈衝信號150並非由處理器142傳送至x kHz及y MHz RF產生器，脈衝信號150係由主RF產生器傳送至從屬RF產生器(例如y MHz RF產生器)。主RF產生器之範例為x kHz RF產生器。舉例而言，x kHz RF產生器的數位信號處理器DSP 110自處理器142接收脈衝信號150、並經由纜線(例如並列傳送纜線、串列傳送纜線、或USB纜線)將脈衝信號150傳送至y MHz RF產生器的數位信號處理器DSP 132。

【0063】 圖2為圖形200之實施例的示意圖，用以顯示RF信號(例如由x kHz RF產生器(圖1)所產生的RF信號202)的三狀態S1至S3、且用以顯示RF信號(例如由y MHz RF產生器所產生的RF信號204)的三狀態S1至S3。RF信號202為x kHz RF產生器之輸出部122處所供應的功率對時間t的作圖，而RF信號204為y MHz RF產生器之輸出部136處所供應的功率對時間t的作圖。

【0064】 藉由在三狀態S1至S3的三功率設定點之間變換，由x kHz RF產生器所產生的RF信號在三狀態S1至S3之間變換。由x kHz RF產生器所產生的RF信號之一狀態的功率設定點之範例為針對該狀態之功率量的波封。由x kHz RF產生器所產生的RF信號之一狀態的功率設定點之另一範例為針對該狀態之功率量的靜止點至波峰數值。

【0065】 應注意，在狀態S1期間由x kHz RF產生器所產生的RF信號的功率設定點具有功率位準PL4。此外，在狀態S2期間由x kHz RF產生器所產生的RF信號的功率設定點具有功率位準PL3，功率位準PL3低於功率位準PL4、而大於狀態S1期間RF信號204的功率位準PL2。例如，在狀態S2期間由x kHz RF產生器

所產生的RF信號的功率位準PL3之所有功率量係低於在狀態S1期間由x kHz RF產生器所產生的RF信號的功率位準PL4之所有功率量。

【0066】此外，在狀態S3期間由x kHz RF產生器所產生的RF信號的功率設定點具有功率位準PL1，功率位準PL1低於RF信號202的功率位準PL3、且低於RF信號204的功率位準PL2。例如，在狀態S3期間由x kHz RF產生器所產生的RF信號的功率位準PL1之所有功率量係低於在狀態S2期間由x kHz RF產生器所產生的RF信號的功率位準PL3之所有功率量。在一範例中，狀態S1期間RF信號202之傳送功率的功率位準係在15000瓦(W)至19000瓦(W)之間的範圍內；狀態S2期間RF信號202之傳送功率的功率位準係在8000瓦至12000瓦之間的範圍內；而狀態S3期間RF信號202之傳送功率的功率位準係在200瓦至400瓦之間的範圍內。在另一範例中，狀態S1期間RF信號202之傳送功率的功率位準為17000瓦(W)；狀態S2期間RF信號202之傳送功率的功率位準為10000瓦；而狀態S3期間RF信號202之傳送功率的功率位準為300瓦。

【0067】藉由在三狀態S1至S3的三功率設定點之間變換，由y MHz RF產生器所產生的RF信號204在三狀態S1至S3之間變換。由y MHz RF產生器所產生的RF信號之一狀態的功率設定點之範例為針對該狀態之功率量的波封。由y MHz RF產生器所產生的RF信號之一狀態的功率設定點之另一範例為針對該狀態之功率量的靜止點至波峰數值。

【0068】RF信號204之各狀態係與RF信號202之各狀態同步。例如，在RF信號202具有狀態S1時的期間，RF信號204具有狀態S1。在RF信號202具有狀態S2時的期間，RF信號204具有狀態S2。並且，在RF信號202具有狀態S3時的期間，RF信號204具有狀態S3。在另一範例中，在RF信號202由狀態S1轉變為狀態S2時，RF信號204由狀態S1轉變為狀態S2。在另一範例中，在RF信號202由狀態S2轉變為狀態S3時，RF信號204由狀態S2轉變為狀態S3。在另一範例中，在RF信

號202由狀態S3轉變為狀態S1時，RF信號204由狀態S3轉變為狀態S1。在又另一範例中，在RF信號202由狀態S1轉變為狀態S2之時段期間，RF信號204由狀態S1轉變為狀態S2。在另一範例中，在RF信號202由狀態S2轉變為狀態S3之時段期間，RF信號204由狀態S2轉變為狀態S3。在又另一範例中，在RF信號202由狀態S3轉變為狀態S1之時段期間，RF信號204由狀態S3轉變為狀態S1。

【0069】應注意，在狀態S1期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號的功率設定點具有功率位準PL2，功率位準PL2低於功率位準PL3、且低於功率位準PL4。此外，在狀態S2期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號的功率設定點具有零功率位準，其低於功率位準PL2。例如，在狀態S2期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號的零功率位準之所有功率量係低於在狀態S1期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號的功率位準PL2之所有功率量。y MHz RF產生器之零功率位準幫助增加電漿腔室108中電漿之離子朝基板130之堆疊層底部的垂直方向性。

【0070】此外，在狀態S3期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號的功率設定點具有功率位準PL1，功率位準PL1低於功率位準PL2、但大於零功率位準。例如，在狀態S3期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號的功率位準PL1之所有功率量，係低於在狀態S1期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號的功率位準PL2之所有功率量、而大於在狀態S2期間由y MHz RF產生器所產生的RF信號的零功率位準之所有功率量。在一範例中，狀態S1期間RF信號204之傳送功率的功率位準係在4000瓦至6000瓦之間的範圍內；狀態S2期間RF信號204之傳送功率的功率位準係在0瓦至100瓦之間的範圍內；而狀態S3期間RF信號204之傳送功率的功率位準係在200瓦至400瓦之間的範圍內。在另一範例中，狀態S1期間RF信號204之傳送功率的功率位準為5000瓦；狀態S2期間RF信號204之傳送功率的功率位準為0瓦；而狀態S3期間RF信號204之傳送功率的功率位準為300瓦。在狀態S3

期間， x kHz RF產生器與 y MHz RF產生器之相同的功率位準PL1促進使堆疊層上方的遮罩層之耗損減少。

【0071】應注意，由 x kHz RF產生器與 y MHz RF產生器所產生的RF信號之狀態S2的工作週期係低於RF信號之狀態S3的工作週期。此外，由 x kHz RF產生器與 y MHz RF產生器所產生的RF信號之狀態S1的工作週期係低於RF信號之狀態S3的工作週期。舉例而言，RF信號202及204之各者的狀態S1的工作週期為時脈信號152之時脈週期的 $a\%$ ；RF信號202及204之各者的狀態S2的工作週期為時脈信號152之時脈週期的 $b\%$ ；而RF信號202及204之各者的狀態S3的工作週期為時脈信號152之時脈週期的 $(100-a-b)\%$ ，其中 a 為整數且 b 為整數。例如， a 與 b 之各者具有小於或等於50的數值，且 b 小於 a 。舉例而言，RF信號202及204之各者的狀態S1的工作週期係在時脈信號152之時脈週期的20%至30%之間的範圍內；RF信號202及204之各者的狀態S2的工作週期係在時脈信號152之時脈週期的5%至15%之間的範圍內；而RF信號202及204之各者的狀態S3的工作週期係在時脈信號152之時脈週期的75%至55%之間的範圍內。在另一範例中，RF信號202及204之各者的狀態S1的工作週期係時脈信號152之時脈週期的25%；RF信號202及204之各者的狀態S2的工作週期係時脈信號152之時脈週期的10%；而RF信號202及204之各者的狀態S3的工作週期係時脈信號152之時脈週期的65%。舉例而言，一狀態的工作週期為時脈信號152之時脈週期以百分比量測的一時段，並於該時段維持該狀態。在一實施例中，由 x kHz RF與 y MHz RF產生器所產生的RF信號之狀態S2的工作週期係低於RF信號之狀態S1的工作週期。

【0072】應注意，由RF產生器所產生的RF信號係相同於由RF產生器所供應的RF信號。例如，由 x kHz RF產生器所產生的RF信號係相同於由 x kHz RF產生器所供應的RF信號。在另一範例中，由 y MHz RF產生器所產生的RF信號係相同於由 y MHz RF產生器所供應的RF信號。

【0073】 在一些範例中，在由 y MHz RF產生器所產生的RF信號之狀態S2期間，功率位準係在預定範圍內(例如由零功率位準算起的百分之五至十之間)，而非為零功率位準。例如，RF信號202之功率位準係低於功率位準PL1、但大於零。

【0074】 在一些範例中，傳送功率量與由RF產生器所產生和供應的功率量相同。例如，當朝RF產生器反射的功率為零或為最小的，則由RF產生器所傳送的功率係相同於由RF產生器所產生、且由RF產生器供應的功率。傳送功率為RF產生器所供應的功率與往RF產生器反射的功率之間之差。功率係自電漿腔室108經由RF傳輸線125、IMN 106、及將RF產生器連接至IMN 106的RF纜線而往RF產生器反射。

【0075】 圖3為多圖形300、302、及200之示意圖，用以顯示時脈信號152、脈衝信號150、 x kHz RF產生器所產生的RF信號、及 z MHz RF產生器所產生的RF信號之間的同步。圖形300繪製時脈信號152之邏輯位準與時間 t 的關係。同樣地，圖形302繪製脈衝信號150之邏輯位準與時間 t 的關係。

【0076】 時段 t_1 為時脈信號152之時脈週期期間的一時段，該時段 t_1 為 x kHz RF產生器及 z MHz RF產生器所產生的RF信號之狀態S1所維持之時段。同樣地，時段 t_2 為時脈信號152之時脈週期期間的一時段，該時段 t_2 為 x kHz RF產生器及 z MHz RF產生器所產生的RF信號之狀態S2所維持之時段。並且，時段 t_3 為時脈信號152之時脈週期期間的一時段，該時段 t_3 為 x kHz RF產生器及 z MHz RF產生器所產生的RF信號之狀態S3所維持之時段。例如，時段 t_1 佔據時脈週期的一部分；時段 t_2 佔據時脈週期的另一部分；而時段 t_3 佔據時脈週期的剩餘部分。時段 t_1 大於時段 t_2 ，且時段 t_3 大於時段 t_2 。時段 t_3 大於時段 t_2 以促進使堆疊層上方的遮罩層之耗損減少。時段 t_2 存在以增加電漿之離子朝堆疊層底部的垂直方向性。此外，時段 t_2 存在以使遮罩層耗損相較於發生於時段 t_1 期間的遮罩層耗損而減少。時脈

信號152之時脈週期係由時段t1至t3所構成、並重複以產生時脈信號152的複數時脈週期。

【0077】在時段t1期間，脈衝信號150自邏輯位準1脈衝至邏輯位準0。邏輯位準1為高邏輯位準之範例，而邏輯位準0為低邏輯位準之範例。在時段t1期間，控制由x kHz RF產生器及z MHz RF產生器所產生的RF信號以維持狀態S1。

【0078】在脈衝信號150自邏輯位準0轉變為邏輯位準1的時脈週期之轉變時間ts1時，控制由x kHz RF產生器及z MHz RF產生器所產生的RF信號以自狀態S1轉變為狀態S2。轉變時間ts1存在於時段t1之後。

【0079】時段t2存在於轉變時間ts1之後。在時段t2期間，脈衝信號150自邏輯位準1脈衝至邏輯位準0。此外，在時段t2期間，控制由x kHz RF產生器及z MHz RF產生器所產生的RF信號以維持狀態S2。

【0080】在脈衝信號150自邏輯位準0轉變為邏輯位準1的時脈週期之轉變時間ts2時，控制由x kHz RF產生器及z MHz RF產生器所產生的RF信號以自狀態S2轉變為狀態S3。轉變時間ts2存在於時段t2之後。

【0081】時段t3存在於轉變時間ts2之後。在時段t3期間，脈衝信號150自邏輯位準1脈衝至邏輯位準0。此外，在時段t3期間，控制由x kHz RF產生器及z MHz RF產生器所產生的RF信號以維持狀態S3。

【0082】在脈衝信號150自邏輯位準0轉變為邏輯位準1的時脈週期之轉變時間ts3時，控制由x kHz RF產生器及z MHz RF產生器所產生的RF信號以自狀態S3轉變為狀態S1。轉變時間ts3存在於時段t3之後。在時脈信號152之連續時脈週期期間，時段t1於轉變時間ts3之後重複。時脈信號152之該連續時脈週期期間的時段t1再次接續著時脈信號152之該連續時脈週期期間的時段t2及t3。時脈信號152之連續時脈週期為連續的，例如連續地跟隨、相繼地跟隨於時脈信號152之時脈週期。轉變時間ts1至ts3及時段t1至t3在該連續時脈週期中重複。此外，轉變

時間 ts_1 至 ts_3 及時段 t_1 至 t_3 在時脈信號152接下來的週期中重複，該等週期在該連續週期之後重複。

【0083】 RF信號202及204的狀態S1至S3與時脈信號152之各週期同步重複。例如，RF信號202之狀態S1至S3存在於時脈信號152之時脈週期期間，且狀態S1至S3在時脈信號152之連續時脈週期期間重複。在另一範例中，RF信號204之狀態S1至S3存在於時脈信號152之時脈週期期間，且狀態S1至S3在時脈信號152之連續時脈週期期間重複。

【0084】 在各種實施例中，RF信號202及204的狀態S1及S2存在於時脈信號152之時脈週期的一半週期完成之前，而狀態S3存在於時脈週期的後半週期期間。例如，RF信號202及204的狀態S1及S2存在於時間 tc_1 之前，而RF信號202及204的狀態S3存在於時間 tc_1 之後。舉例而言，轉變時間 ts_2 存在於時間 tc_1 之前，而轉變時間 ts_3 存在於時間 tc_1 之後。時間 tc_1 為時脈信號152之一半時脈週期的發生時間。例如，時間 tc_1 之前時脈週期係在邏輯位準1，而時間 tc_1 之後時脈週期係在邏輯位準0。

【0085】 在一些實施例中，RF信號202及204的狀態S1存在於時脈信號152之時脈週期的一半週期完成之前；RF信號202及204的狀態S2存在於時脈信號152由前半時脈週期轉變為後半時脈週期之期間；而RF信號202及204的狀態S3存在於後半時脈週期之期間。例如，RF信號202及204的狀態S1存在於時間 tc_1 之前；狀態S2存在於時脈信號152由前半時脈週期轉變為後半時脈週期之期間；而RF狀態S3存在於時間 tc_1 之後、但於轉變時間 ts_3 之前。

【0086】 在若干實施例中，RF信號202及204的狀態S1存在於時脈信號152之時脈週期的一半週期期間，而RF信號202及204的狀態S2及S3存在於時脈週期的剩餘一半週期期間。例如，RF信號202及204的狀態S1存在於時間 tc_1 之前，而RF信號202及204的狀態S2及S3存在於時間 tc_1 之後、但於轉變時間 ts_3 之前。

【0087】 在一些實施例中，時段t1及t2係相等的，且時段t3係大於時段t1及t2之各者。

【0088】 圖4A及4B為用以顯示使用x kHz RF產生器代替2 MHz RF產生器之益處的示意圖。圖4A具有繪圖402A，其以電子伏特(eV)顯示形成於電漿腔室108內的上電極128與夾頭126之間的電漿之離子(例如帶正電離子I1、I2、I3、I4、與I5、以及中性物種N1、N2、N3、N4、與N5)之能量分佈。在使用2 MHz RF產生器而非400 kHz RF產生器時形成電漿，且未應用參照圖1所述的方法。能量分佈係對於以度(degrees)量測的角度 θ 而繪製。在整個形成於堆疊層410A內的通道404A量測角度 θ ，堆疊層410A係形成於終止層(例如基板層)上方。此處所使用的堆疊層包含一或更多氧化物層、阻障層、晶種層、一或更多金屬層、或其組合。在離子入射於堆疊層410A上時形成通道404A。應注意，當使用2 MHz RF產生器代替x kHz RF產生器時，電漿的大部分離子並非入射於通道404A之底部表面408A上。能量分佈係廣佈於整個通道404A，而因此大部分離子蝕刻形成於堆疊層410A上的遮罩層406A。

【0089】 圖4B具有繪圖402B，其以電子伏特顯示形成於電漿腔室108內的上電極128與夾頭126之間的電漿之離子之能量分佈。在如圖1所示而使用x kHz RF產生器時形成電漿。能量分佈係對於以度(degrees)量測的角度 θ 而繪製。在整個形成於堆疊層410B內的通道404B量測角度 θ ，堆疊層410B係形成於終止層上方。在離子入射於堆疊層410B上時形成通道404B。應注意，當如電漿工具100所示而使用x kHz RF產生器時，電漿的大部分離子係入射於通道404B之底部表面408B上，且相較於蝕刻通道404A的蝕刻速率，蝕刻通道404B的蝕刻速率係增加的。在整個通道404B的能量分佈係狹窄的，而因此大部分離子蝕刻堆疊層410B、而非蝕刻形成於堆疊層410B上的遮罩層406B。終止層、堆疊層410B、及遮罩層406B之組合為圖1之基板130之範例。

【0090】如繪圖402B及402A所顯示，相比於使用2 MHz RF產生器代替x kHz RF產生器時、以及相比於未應用使用圖1的圖示方法時的離子能量的角度分佈，如圖1所示而使用x kHz RF產生器時離子之離子能量的角度分佈係較狹窄的。

【0091】圖5A為未應用參照圖1之本文所述方法時，基板502A之實施例之示意圖。未應用參照圖1之本文所述方法時，應用基準輪廓(BL)。基板502A包含終止層504A。堆疊層506A被覆蓋於終止層504A之上，且遮罩層508A被覆蓋於堆疊層506A之上。相比於應用使用電漿工具100的圖示方法時，當應用基準輪廓時臨界尺寸(例如遮罩層508A之部分A與部分B之間的水平距離)係較小的。因此，較低數目的離子得以到達通道512A的底部表面510A，該通道512A係形成於堆疊層506A的部分A與堆疊層506A的部分B之間。

【0092】圖5B為應用參照圖1之本文所述方法時，基板502B之實施例之示意圖。基板502B為基板130(圖1)之範例。基板502B包含終止層504A。堆疊層506B被覆蓋於終止層504A之上，且遮罩層508B被覆蓋於堆疊層506B之上。相比於應用基準輪廓時，當應用參照圖1之本文所述方法時臨界尺寸(例如遮罩層508B之部分A與部分B之間的水平距離)係較大的。因此，較大數目的離子得以到達通道512B的底部表面510B，該通道512B係形成於堆疊層506B的部分A與堆疊層506B的部分B之間。當應用使用圖1之電漿工具100的圖示方法時，離子的垂直方向性係增加的。在狀態S2期間，相比於遮罩層508A，遮罩層508B以較高速率受到蝕刻俾提高垂直方向性，而且相比於蝕刻通道512A的蝕刻速率，蝕刻通道512B的蝕刻速率係增加的。狀態S2期間的遮罩層508B之耗損在狀態S3期間恢復。

【0093】圖6為圖形600之實施例，用以顯示：相比於使用50 kHz RF產生器、100 kHz RF產生器、2 MHz RF產生器、或27 MHz RF產生器以替代400 kHz RF產生器時，當在電漿工具100中使用400 kHz RF產生器時離子角度分佈(IAD)係最狹窄的。圖形600繪製IAD與圖5B之整個通道512B之角度的關係。當如電漿工具

100所示而使用400 kHz RF產生器、俾應用使用圖1之電漿工具100的圖示方法時，離子的垂直聚焦程度(例如垂直方向性)提升，使得離子在通道512B內分佈於狹窄範圍的角度。相比於使用50 kHz RF產生器、100 kHz RF產生器、2 MHz RF產生器、或27 MHz RF產生器以替代400 kHz RF產生器時，垂直方向性之提升使得蝕刻基板130的蝕刻速率增加。

【0094】圖7為圖形700之實施例，用以顯示：相比於使用50 kHz RF產生器、100 kHz RF產生器、2 MHz RF產生器、或27 MHz RF產生器以替代400 kHz RF產生器時，離子之相同量的正規化離子通量在當電漿工具100中使用400 kHz RF產生器時，促進達成較高的深寬比。相比於使用50 kHz RF產生器、100 kHz RF產生器、2 MHz RF產生器、或27 MHz RF產生器以替代400 kHz RF產生器時所達成的深寬比，該深寬比係較高的。

【0095】深寬比為通道深度對通道臨界尺寸的比率。例如，在電漿工具100中使用400 kHz RF產生器所達成的深寬比為：通道512B之深度對水平距離的比率，該水平距離為遮罩層508B的頸部區域處的遮罩層508B之部分A與B之間的水平距離。頸部區域係相比於遮罩層508B之剩餘區域而位在較靠近遮罩層508B之頂部表面。此外，頸部區域位在相較於遮罩層508B之剩餘區域而遠離堆疊層506B。舉例而言，頸部區域係位在形成於遮罩層508B之部分A與B中的凸出部所在之位置。

【0096】可藉由包含下列各者之各種電腦系統構造以實行本文所述之實施例：手持硬體單元、微處理器系統、基於微處理器的或可程式化的消費性電子產品、迷你電腦、主機電腦等。亦可在分散式計算環境中實行該等實施例，在該等分散式計算環境中工作係藉由透過網路連結的遠程處理硬體單元加以執行。

【0097】在一些實施例中，控制器為系統的一部分，該系統可為上述例子

的一部分。此系統包含半導體處理設備，該半導體處理設備包含(複數)處理工具、(複數)腔室、(複數)處理用平台、及/或特定的處理元件(晶圓基座、氣體流動系統等)。該等系統係與電子設備整合，以在半導體晶圓或基板之處理之前、期間、以及之後，控制其運作。電子設備被稱為「控制器」，其可控制(複數)系統的各種元件或子部件。取決於處理需求及/或系統類型，將控制器程式設計成控制本文所揭露之任何處理，包含處理氣體的傳送、溫度設定(例如，加熱及/或冷卻)、壓力設定、真空設定、功率設定、RF產生器設定、RF匹配電路設定、頻率設定、流速設定、流體傳送設定、位置和操作設定、晶圓轉移(進出與系統連接或接合之工具及其他轉移工具、及/或負載間)。

【0098】 廣泛來說，在各種實施例中，將控制器定義為具有接收指令、發佈指令、控制運作、啟動清洗操作、啟動終點量測等之許多積體電路、邏輯、記憶體、及/或軟體的電子設備。積體電路包含：儲存程式指令之韌體形式的晶片、數位訊號處理器(DSPs)、定義為ASICs、PLDs的晶片、及/或一或更多微處理器、或執行程式指令(例如，軟體)的微控制器。程式指令為以不同的單獨設定(或程式檔案)之形式而傳達至控制器或系統的指令，該單獨設定(或程式檔案)為實行特定處理(在半導體晶圓上，或是對半導體晶圓)而定義參數、因子、變數等。在一些實施例中，程式指令係由製程工程師所定義之配方的一部分，俾在一或更多以下者(包含：覆層、材料、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路、及/或基板的晶粒)的製造期間實現一或更多處理步驟。

【0099】 在一些實施例中，控制器為電腦的一部分，或耦接至電腦，該電腦係與系統整合、耦接至系統、或以網路連接至系統、或以其組合之方式連接至系統。例如，控制器在容許遠端存取晶圓處理之「雲端」或廠房主機電腦系統的全部或部分中。電腦使系統能夠遠端存取，以監控製造運作的當前進度、檢查過去製造運作的歷史、由複數之製造運作而檢查趨勢或效能指標，以改變

當前處理的參數、設定當前處理之後的處理步驟、或開始新的製程。

【0100】 在一些實施例中，遠端電腦(例如，伺服器)通過網路提供製程配方至系統，該網路包含局域網路或網際網路。遠端電腦包含使用者介面，其可達成參數及/或設定的接取、或對參數及/或設定進程式化，接著將該參數及/或該設定由遠端電腦傳達至系統。在一些例子中，控制器以資料的形式接收指令，該指令為將於一或更多操作期間執行之每個處理步驟指定參數、因子、及/或變數。應理解，參數、因子、及/或變數特定地針對將執行之製程的類型及將控制器設定以接合或控制之工具的類型。因此，如上所述，控制器為分散式，例如藉由包含以網路的方式連接彼此且朝向共同目的(例如，本文所敘述的製程及控制)而運作的一或更多分離的控制器。用於此目的之分散式控制器的範例包含在腔室上、與位於遠端的一或更多積體電路(例如，在作業平臺位準處、或作為遠端電腦的一部分)進行通訊的一或更多積體電路，兩者結合以控制腔室上的製程。

【0101】 在各種實施例中，應用該等方法的範例系統包含但不限於以下各者：電漿蝕刻腔室或模組、沉積腔室或模組、旋轉淋洗腔室或模組、金屬電鍍腔室或模組、清洗腔室或模組、斜角緣部蝕刻腔室或模組、物理氣相沉積(PVD)腔室或模組、化學氣相沉積(CVD)腔室或模組、原子層沉積(ALD)腔室或模組、原子層蝕刻(ALE)腔室或模組、離子植入腔室或模組、軌道腔室或模組、以及在半導體晶圓的製造及/或加工中相關聯、或使用的任何其他半導體處理系統。

【0102】 應進一步注意，在一些實施例中，上述操作應用於若干類型的電漿腔室，例如包含感應耦合式電漿(ICP)反應器、變壓耦合式電漿腔室、導體工具、介電工具的電漿腔室、包含電子迴旋共振(ECR)反應器的電漿腔室等。例如，一或更多RF產生器係連接至ICP反應器內的電感器。電感器外形之範例包含螺線管、圓頂狀線圈、平坦狀線圈等。

【0103】如上所述，取決於將藉由工具執行之(複數)處理步驟，主機電腦與半導體製造工廠中之一或更多的以下各者進行通訊：其他工具電路或模組、其他工具元件、群集工具、其他工具介面、鄰近之工具、相鄰之工具、遍布工廠的工具、主電腦、另一控制器、或材料運輸中所使用之工具，該材料運輸中所使用之工具將晶圓容器輸送往返於工具位置及/或裝載埠。

【0104】有鑑於以上實施例，應理解，其中一些實施例採用許多以電腦實施的操作，其涉及儲存於電腦系統中的資料。該等操作係實體操控物理量的操作。本文所述之構成實施例一部分的任何操作係有用的機器操作。

【0105】其中一些實施例亦係關於硬體單元或執行該等操作的設備。該設備係特別地針對特殊用途電腦而構建。當被定義為特殊用途電腦時，該電腦執行其他處理、程式執行或非特殊用途之部分的例行工作、而仍有特殊用途之操作的能力。

【0106】在一些實施例中，可藉由儲存於電腦記憶體、快取記憶體中、或透過電腦網路獲取的電腦程式以選擇性地啟用或配置的電腦來處理該等操作。當資料係透過電腦網路獲取時，可藉由電腦網路上的其他電腦(例如，計算資源之雲端)以處理該資料。

【0107】亦可將一或更多實施例編成非暫態電腦可讀媒體上的電腦可讀碼。非暫態電腦可讀媒體係儲存資料之任何的資料儲存硬體單元(例如記憶裝置等)，其之後藉由電腦系統加以讀取。非暫態電腦可讀媒體的範例包含硬碟、網路附加儲存(NAS)、ROM、RAM、唯讀光碟(CD-ROMs)、可錄式光碟(CD-Rs)、可抹寫光碟(CD-RWs)、磁帶、及其他光學式及非光學式資料儲存硬體單元。在一些實施例中，非暫態電腦可讀媒體包含分佈於網路耦合電腦系統範圍內的電腦可讀實質媒體，使得電腦可讀碼係以分散方式儲存及執行。

【0108】 儘管以上方法操作係以特定順序描述，但應理解，在各種實施例中，在複數操作之間執行其他內務操作，或者，將方法操作調整成使得該等方法操作在稍微不同的時間發生，或者該等方法操作係分佈於容許複數方法操作以許多間隔發生的系統中，或者該等方法操作係以不同於上述之順序執行。

【0109】 應進一步注意，在一實施例中，出自上述任何實施例的一或更多特徵係與任何其他實施例的一或更多特徵結合，而不偏離本揭示內容所述之各種實施例所描述之範圍。

【0110】 雖然前述之實施例已針對清楚理解的目的而相當詳細地加以描述，但吾人將明白，某些改變與修改可在隨附之申請專利範圍的範疇內實施。據此，本實施例應考量成說明性而非限制性，且該等實施例不應受限於本文中所提供之細節。

【符號說明】

【0111】

100	電漿工具
104	主電腦
106	阻抗匹配網路(IMN)
108	電漿腔室
110	數位信號處理器(DSP)
120	驅動系統
122	輸出部
124	RF纜線
125	RF傳輸線
126	夾頭

128	上電極
130	基板
132	數位信號處理器(DSP)
134	驅動系統
136	輸出部
138	RF纜線
142	處理器
144	記憶裝置
146	纜線
148	纜線
150	脈衝信號
152	時脈信號
200	圖形
202	RF信號
204	RF信號
300	圖形
302	圖形
402A	繪圖
402B	繪圖
404A	通道
404B	通道
406A	遮罩層
406B	遮罩層
408A	底部表面

408B 底部表面

410A 堆疊層

410B 堆疊層

502A 基板

502B 基板

504A 終止層

506A 堆疊層

506B 堆疊層

508A 遮罩層

508B 遮罩層

510A 底部表面

510B 底部表面

512A 通道

512B 通道

600 圖形

700 圖形

AFTS1x 自動頻率調諧器

AFTS1y 自動頻率調諧器

AFTS2x 自動頻率調諧器

AFTS2y 自動頻率調諧器

AFTS3x 自動頻率調諧器

AFTS3y 自動頻率調諧器

I1 帶正電離子

I2 帶正電離子

I3	帶正電離子
I4	帶正電離子
I5	帶正電離子
N1	中性物種
N2	中性物種
N3	中性物種
N4	中性物種
N5	中性物種
PL1	功率位準
PL2	功率位準
PL3	功率位準
PL4	功率位準
PWRS1x	功率控制器
PWRS1y	功率控制器
PWRS2x	功率控制器
PWRS2y	功率控制器
PWRS3x	功率控制器
PWRS3y	功率控制器
S1	狀態
S2	狀態
S3	狀態
t1	時段
t2	時段
t3	時段

ts1	轉變時間
ts2	轉變時間
ts3	轉變時間

【發明申請專利範圍】

【第1項】一種用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其包含：

接收一數位脈衝信號，其中該數位脈衝信號具有一第一狀態、一第二狀態、及一第三狀態；

判定是否該數位脈衝信號正由該第三狀態轉變為該第一狀態；

一旦判定該數位脈衝信號正由該第三狀態轉變為該第一狀態，即控制千赫(kHz)射頻(RF)產生器以產生具有該第一狀態期間之功率位準的kHz RF信號；

一旦判定該數位脈衝信號正由該第三狀態轉變為該第一狀態，即控制兆赫(MHz)射頻(RF)產生器以產生具有該第一狀態期間之功率位準的MHz RF信號；

判定是否該數位脈衝信號正由該第一狀態轉變為該第二狀態；

一旦判定該數位脈衝信號正由該第一狀態轉變為該第二狀態，即控制該kHz RF產生器以產生具有該第二狀態期間之功率位準的該kHz RF信號；

一旦判定該數位脈衝信號正由該第一狀態轉變為該第二狀態，即控制該MHz RF產生器以產生具有該第二狀態期間之功率位準的該MHz RF信號，其中該第二狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準低於該第一狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準；

判定是否該數位脈衝信號正由該第二狀態轉變為該第三狀態；

一旦判定該數位脈衝信號正由該第二狀態轉變為該第三狀態，即控制該kHz RF產生器以產生具有該第三狀態期間之功率位準的該kHz RF信號，其中該第二狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準低於該第一狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準，且該第二狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準大於該第三狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準，俾在該第二狀態期間增加該電漿之該等離子朝該堆疊層之該底部的該方向性；以及

一旦判定該數位脈衝信號正由該第二狀態轉變為該第三狀態，即控制該MHz RF產生器以產生具有該第三狀態期間之功率位準的該MHz RF信號。

【第2項】如申請專利範圍第1項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該第二狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準為零，俾促進使該電漿之該等離子朝該堆疊層之該底部的該方向性增加。

【第3項】如申請專利範圍第2項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該第三狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準大於該第二狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準，俾促進使該堆疊層上方的遮罩層之耗損減少。

【第4項】如申請專利範圍第1項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該第二狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準大於該第二狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準。

【第5項】如申請專利範圍第1項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該第三狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準係相同於該第三狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準，俾促進使該堆疊層上方的遮罩層之耗損減少。

【第6項】如申請專利範圍第1項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該第一狀態期間之該kHz RF信號之該功率位準大於該第一狀態期間之該MHz RF信號之該功率位準。

【第7項】如申請專利範圍第1項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，更包含接收一時脈信號，其中該第一狀態存在於該時脈信號的第一時段期間；該第二狀態存在於該時脈信號的第二時段期間；且該第三狀態存在於該時脈信號的第三時段期間，其中該第三時段大於該第一時段以促進使

該堆疊層上方的遮罩層之耗損減少，其中該第二時段小於該第一時段以促進使該遮罩層之耗損減少，其中該第二時段促進使該等離子的該方向性增加。

【第8項】如申請專利範圍第1項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該kHz RF產生器為一400 kHz RF產生器，且該MHz RF產生器為一60 MHz RF產生器。

【第9項】如申請專利範圍第1項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，更包含接收具有重複進行的時脈週期的一時脈信號，其中該第一狀態、該第二狀態、及該第三狀態存在於該時脈週期期間且隨該時脈週期之重複而重複出現。

【第10項】一種用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其包含：

控制千赫(kHz)射頻(RF)產生器以產生具有在第一狀態之功率位準、在第二狀態之功率位準、及在第三狀態之功率位準的kHz RF信號；

控制兆赫(MHz)射頻(RF)產生器以產生具有在該第一狀態之功率位準、在該第二狀態之功率位準、及在該第三狀態之功率位準的MHz RF信號，

其中該MHz RF信號在該第一狀態之該功率位準低於該kHz RF信號在該第一狀態之該功率位準，

其中該MHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大約為零，

其中該MHz RF信號在該第三狀態之該功率位準小於該MHz RF信號在該第一狀態之該功率位準並且大於該MHz RF信號在該第二狀態之該功率位準，

其中該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準低於該kHz RF信號在該第一狀態之該功率位準，該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大於該kHz RF信號在該第三狀態之該功率位準，以增加在該第二狀態之該電漿之該等離子朝該堆疊層之該底部的該方向性。

【第11項】如申請專利範圍第10項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，更包含產生一時脈信號，其中該第一狀態存在於該時脈信號的第一時段期間，該第二狀態存在於該時脈信號的第二時段期間，且該第三狀態存在於該時脈信號的第三時段期間，其中該第二時段接續於該第一時段，且該第三時段接續於該第二時段，其中該第三時段大於該第一時段以促進使該堆疊層上方的遮罩層之耗損減少，其中該第二時段小於該第一時段以促進使該遮罩層之耗損減少，其中該第二時段促進使該等離子的該方向性增加。

【第12項】如申請專利範圍第10項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大於二狀態RF信號在第二狀態之功率位準，其中該二狀態RF信號具有第一狀態及該第二狀態。

【第13項】如申請專利範圍第10項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該kHz RF信號由在該第一狀態之該功率位準轉變為在該第二狀態之該功率位準的同時，該MHz RF信號由在該第一狀態之該功率位準轉變為在該第二狀態之該功率位準，其中該kHz RF信號由在該第二狀態之該功率位準轉變為在該第三狀態之該功率位準的同時，該MHz RF信號由在該第二狀態之該功率位準轉變為在該第三狀態之該功率位準。

【第14項】如申請專利範圍第10項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該kHz RF信號在該第三狀態之該功率位準係相同於該MHz RF信號在該第三狀態之該功率位準，俾促進使該基板之該堆疊層上方的遮罩層之耗損減少。

【第15項】如申請專利範圍第10項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大於該MHz RF信號在該第一狀態及該第三狀態之該功率位準。

【第16項】如申請專利範圍第10項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該kHz RF產生器及該MHz RF產生器係經由阻抗匹配網路而連接至電漿腔室的電極。

【第17項】如申請專利範圍第10項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該第一狀態、該第二狀態及該第三狀態與時脈信號同步重複。

【第18項】如申請專利範圍第10項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的方法，其中該kHz RF產生器為一400 kHz RF產生器，且該MHz RF產生器為一60 MHz RF產生器。

【第19項】一種用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的系統，其包含：

千赫射頻(RF)產生器，其係配置以產生具有在第一狀態之功率位準、在第二狀態之功率位準、及在第三狀態之功率位準的kHz RF信號；

兆赫(MHz) RF產生器，其係配置以產生具有在該第一狀態之功率位準、在該第二狀態之功率位準、及在該第三狀態之功率位準的MHz RF信號；

一阻抗匹配網路，其係連接至該kHz RF產生器及該MHz RF產生器，其中該阻抗匹配網路係配置以接收該kHz RF信號及該MHz RF信號，俾產生經修正之RF信號；

一電漿腔室，其係連接至該阻抗匹配網路，其中該電漿腔室係配置以接收該經修正之RF信號，

其中該MHz RF產生器在該第一狀態之該功率位準低於該kHz RF產生器在該第一狀態之該功率位準，

其中該MHz RF產生器在該第二狀態之該功率位準大約為零，

其中該MHz RF產生器在該第三狀態之該功率位準小於該MHz RF產生器在該第一狀態之該功率位準並且大於該MHz RF產生器在該第二狀態之該功率位準，

其中該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準低於該kHz RF信號在該第一狀態之該功率位準，該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大於該kHz RF信號在該第三狀態之該功率位準，以增加在該第二狀態之該電漿之該等離子朝該堆疊層之該底部的該方向性。

【第20項】如申請專利範圍第19項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的系統，其中該第一狀態存在於時脈信號的第一時段期間，該第二狀態存在於該時脈信號的第二時段期間，且該第三狀態存在於該時脈信號的第三時段期間，其中該第二時段接續於該第一時段，且該第三時段接續於該第二時段，其中該第三時段大於該第一時段以促進使該堆疊層上方的遮罩層之耗損減少，其中該第二時段小於該第一時段以促進使該遮罩層之耗損減少，其中該第二時段促進使該等離子的該方向性增加。

【第21項】如申請專利範圍第19項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的系統，其中該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大於二狀態RF信號在第二狀態之功率位準，其中該二狀態RF信號具有第一狀態及該第二狀態。

【第22項】如申請專利範圍第19項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的系統，其中該kHz RF信號由在該第一狀態之該功率位準轉變為在該第二狀態之該功率位準的同時，該MHz RF信號由在該第一狀態之該功率位準轉變為在該第二狀態之該功率位準，其中該kHz RF信號由在該第二狀態之該功率位準轉變為在該第三狀態之該功率位準的同時，該MHz RF信號由在該第二狀態之該功率位準轉變為在該第三狀態之該功率位準。

【第23項】 如申請專利範圍第19項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的系統，其中該kHz RF信號在該第三狀態之該功率位準係相同於該MHz RF信號在該第三狀態之該功率位準，俾促進使該基板之該堆疊層上方的遮罩層之耗損減少。

【第24項】 如申請專利範圍第19項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的系統，其中該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大於該MHz RF信號在該第一狀態及該第三狀態之該功率位準。

【第25項】 如申請專利範圍第19項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的系統，其中該第一狀態、該第二狀態及該第三狀態與時脈信號同步重複。

【第26項】 如申請專利範圍第19項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的系統，其中該kHz RF產生器為一400 kHz RF產生器，且該MHz RF產生器為一60 MHz RF產生器。

【第27項】 一種用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的控制器系統，其包含：

處理器，其係配置以：

控制千赫(kHz)射頻(RF)產生器以產生具有在第一狀態之功率位準、在第二狀態之功率位準、及在第三狀態之功率位準的kHz RF信號；

控制兆赫(MHz)射頻(RF)產生器以產生具有在該第一狀態之功率位準、在該第二狀態之功率位準、及在該第三狀態之功率位準的MHz RF信號，

其中該MHz RF信號在該第一狀態之該功率位準低於該kHz RF信號在該第一狀態之該功率位準，

其中該MHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大約為零，

其中該MHz RF信號在該第三狀態之該功率位準小於該MHz RF信號在該第一狀態之該功率位準並且大於該MHz RF信號在該第二狀態之該功率位準，

其中該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準低於該kHz RF信號在該第一狀態之該功率位準，該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大於該kHz RF信號在該第三狀態之該功率位準，以增加在該第二狀態之該電漿之該等離子朝該堆疊層之該底部的該方向性；及

記憶裝置，其係連接至該處理器，該記憶裝置用於儲存該kHz RF產生器在該第一狀態、該第二狀態及該第三狀態之該等功率位準並且用於儲存該MHz RF產生器在該第一狀態、該第二狀態及該第三狀態之該等功率位準。

【第28項】如申請專利範圍第27項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的控制器系統，其中該處理器係配置以產生一時脈信號，其中該第一狀態存在於該時脈信號的第一時段期間，該第二狀態存在於該時脈信號的第二時段期間，且該第三狀態存在於該時脈信號的第三時段期間，其中該第二時段接續於該第一時段，且該第三時段接續於該第二時段，其中該第三時段大於該第一時段以促進使該堆疊層上方的遮罩層之耗損減少，其中該第二時段小於該第一時段以促進使該遮罩層之耗損減少，其中該第二時段促進使該等離子的該方向性增加。

【第29項】如申請專利範圍第27項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的控制器系統，其中該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大於二狀態RF信號在第二狀態之功率位準，其中該二狀態RF信號具有第一狀態及該第二狀態。

【第30項】如申請專利範圍第27項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的控制器系統，其中該kHz RF信號由在該第一狀態之該功率位準轉變

為在該第二狀態之該功率位準的同時，該MHz RF信號由在該第一狀態之該功率位準轉變為在該第二狀態之該功率位準，其中該kHz RF信號由在該第二狀態之該功率位準轉變為在該第三狀態之該功率位準的同時，該MHz RF信號由在該第二狀態之該功率位準轉變為在該第三狀態之該功率位準。

【第31項】 如申請專利範圍第27項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的控制器系統，其中該kHz RF信號在該第三狀態之該功率位準係相同於該MHz RF信號在該第三狀態之該功率位準，俾促進使該基板之該堆疊層上方的遮罩層之耗損減少。

【第32項】 如申請專利範圍第27項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的控制器系統，其中該kHz RF信號在該第二狀態之該功率位準大於該MHz RF信號在該第一狀態及該第三狀態之該功率位準。

【第33項】 如申請專利範圍第27項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的控制器系統，其中該第一狀態、該第二狀態及該第三狀態與時脈信號同步重複。

【第34項】 如申請專利範圍第27項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的控制器系統，其中該kHz RF產生器為一400 kHz RF產生器，且該MHz RF產生器為一60 MHz RF產生器。

【第35項】 如申請專利範圍第27項之用以增加電漿之離子朝堆疊層之底部的方向性的控制器系統，其中該kHz RF產生器及該MHz RF產生器係經由阻抗匹配網路而連接至電漿腔室的電極。

【發明圖式】

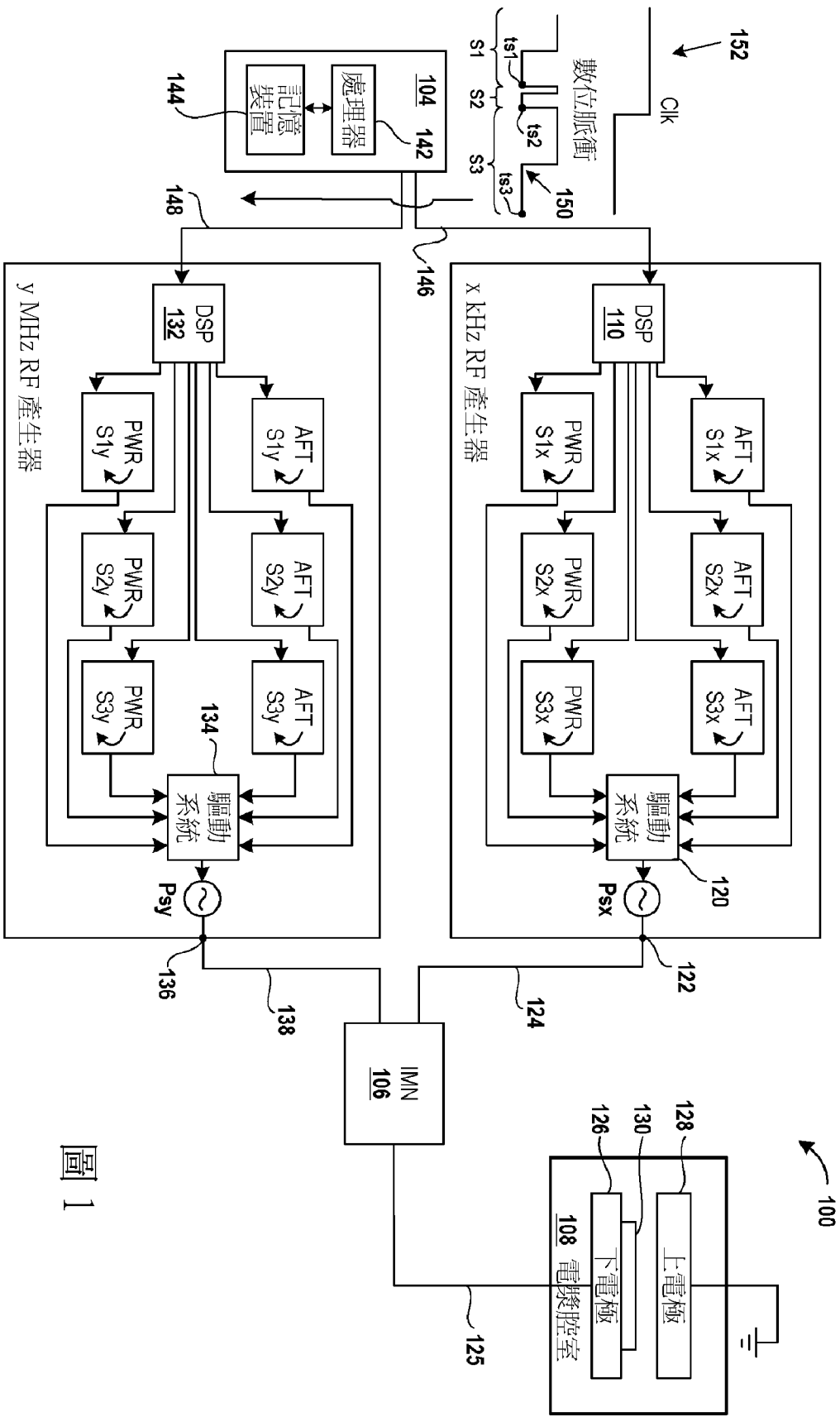


圖 1

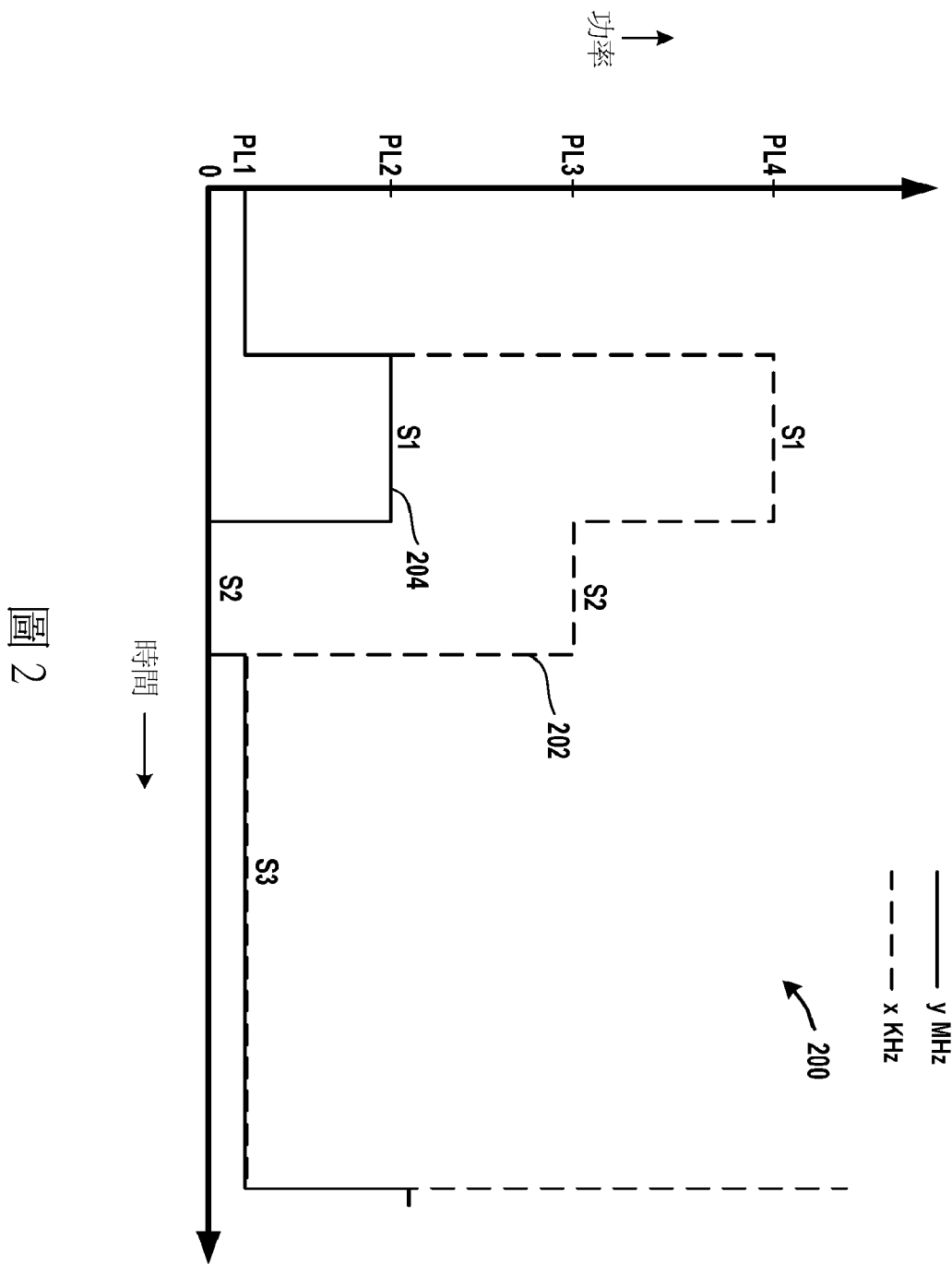


圖 2

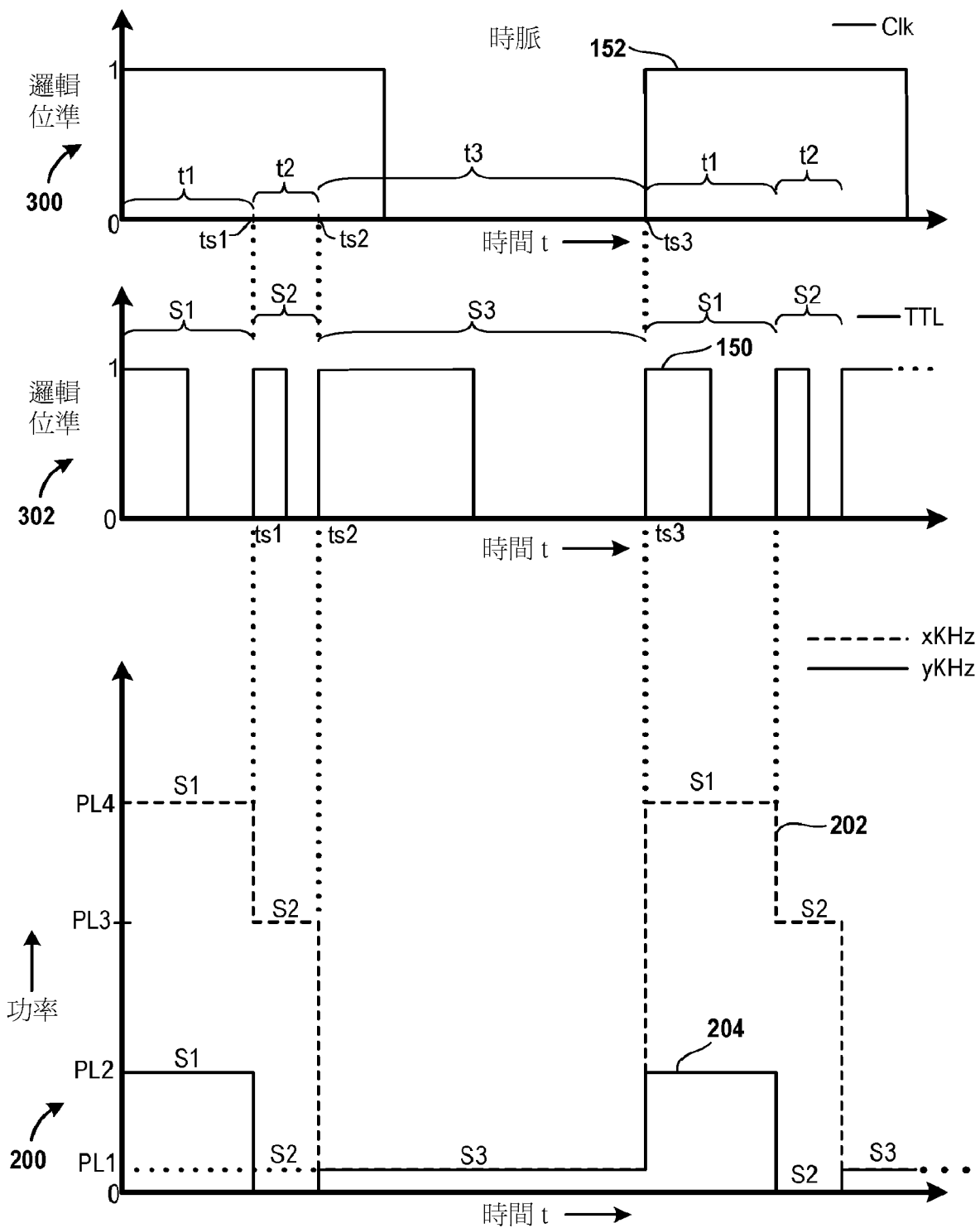


圖 3

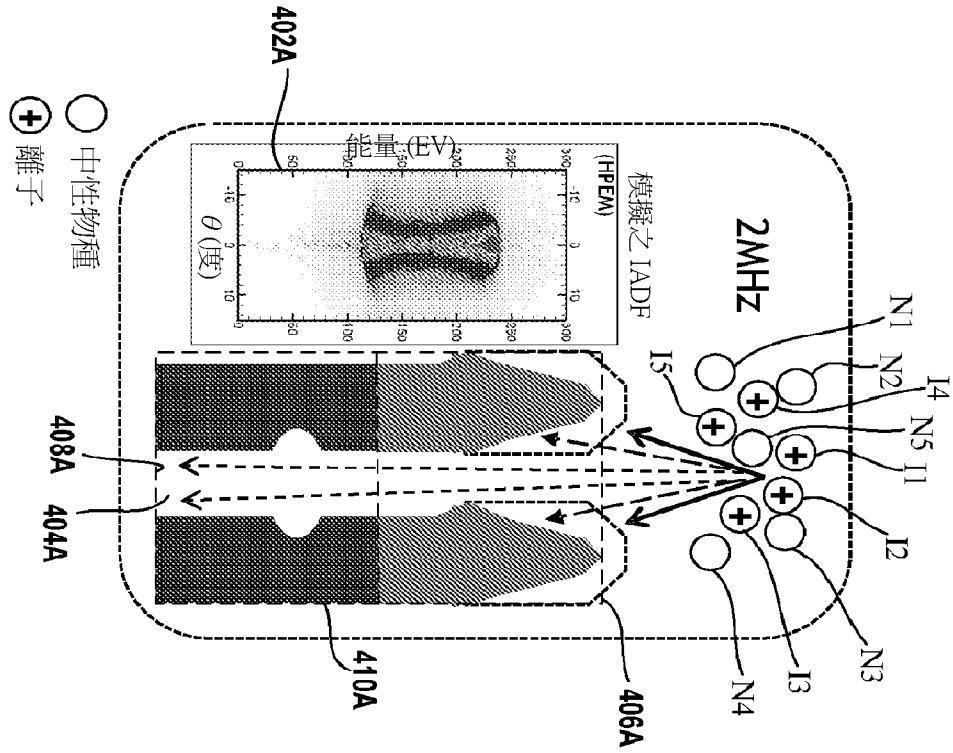


圖 4A

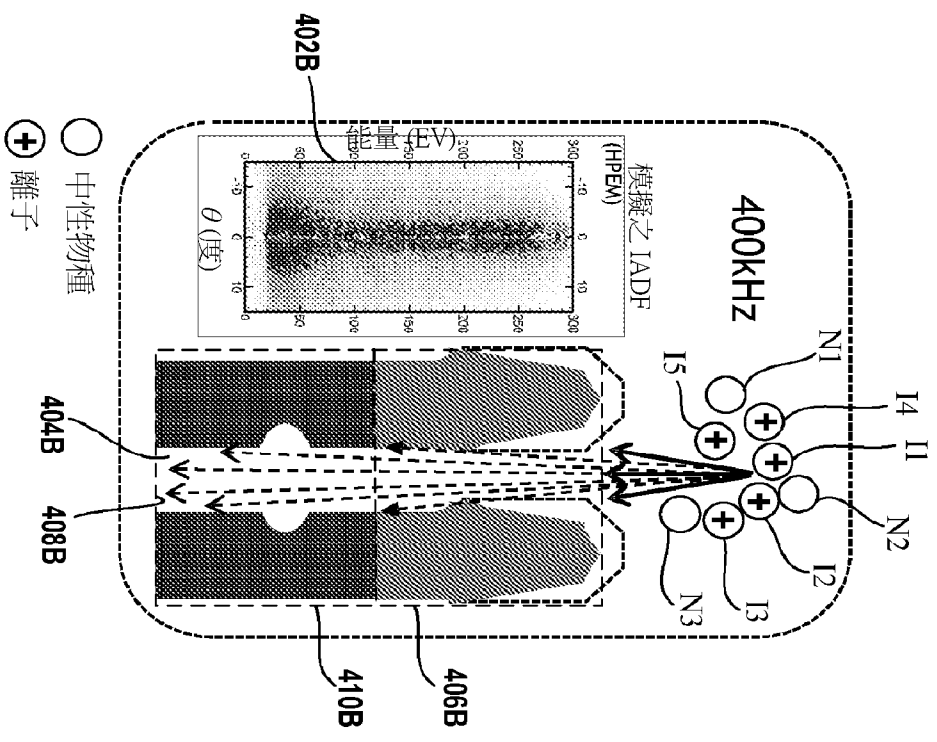


圖 4B

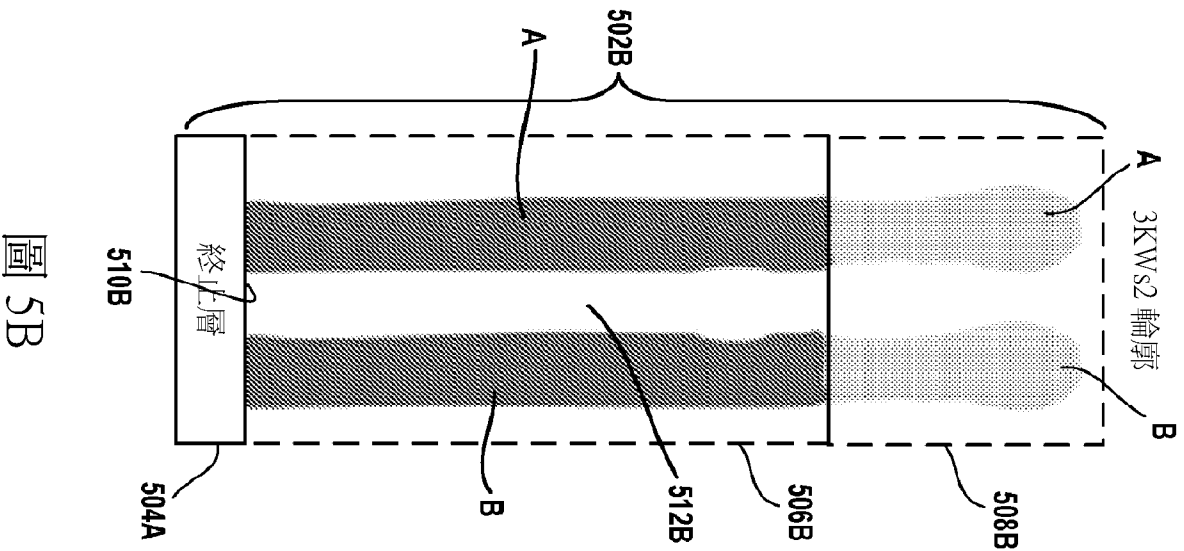
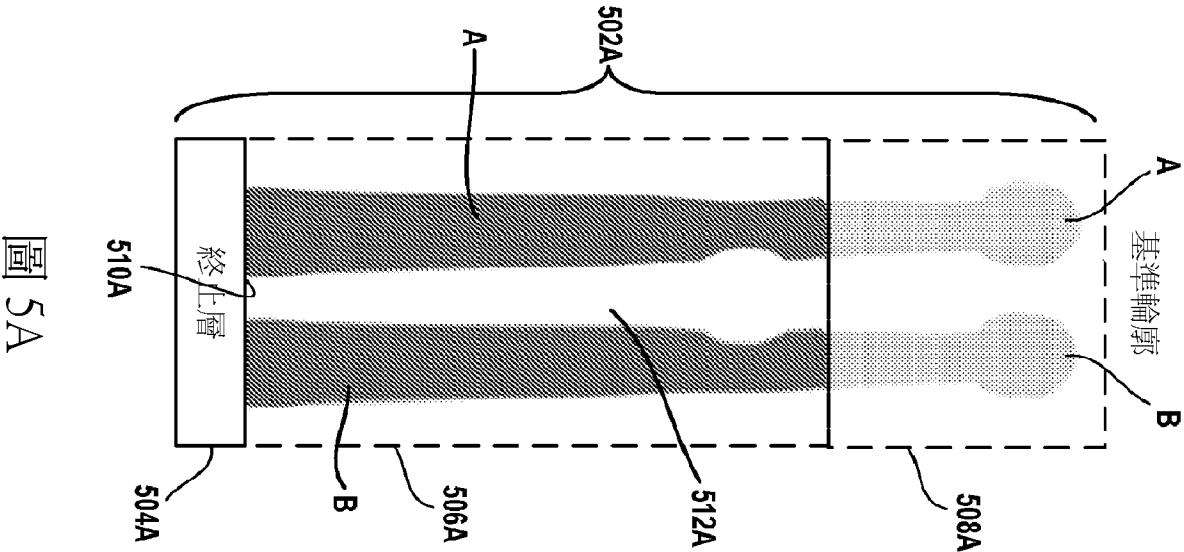


圖 5A

圖 5B

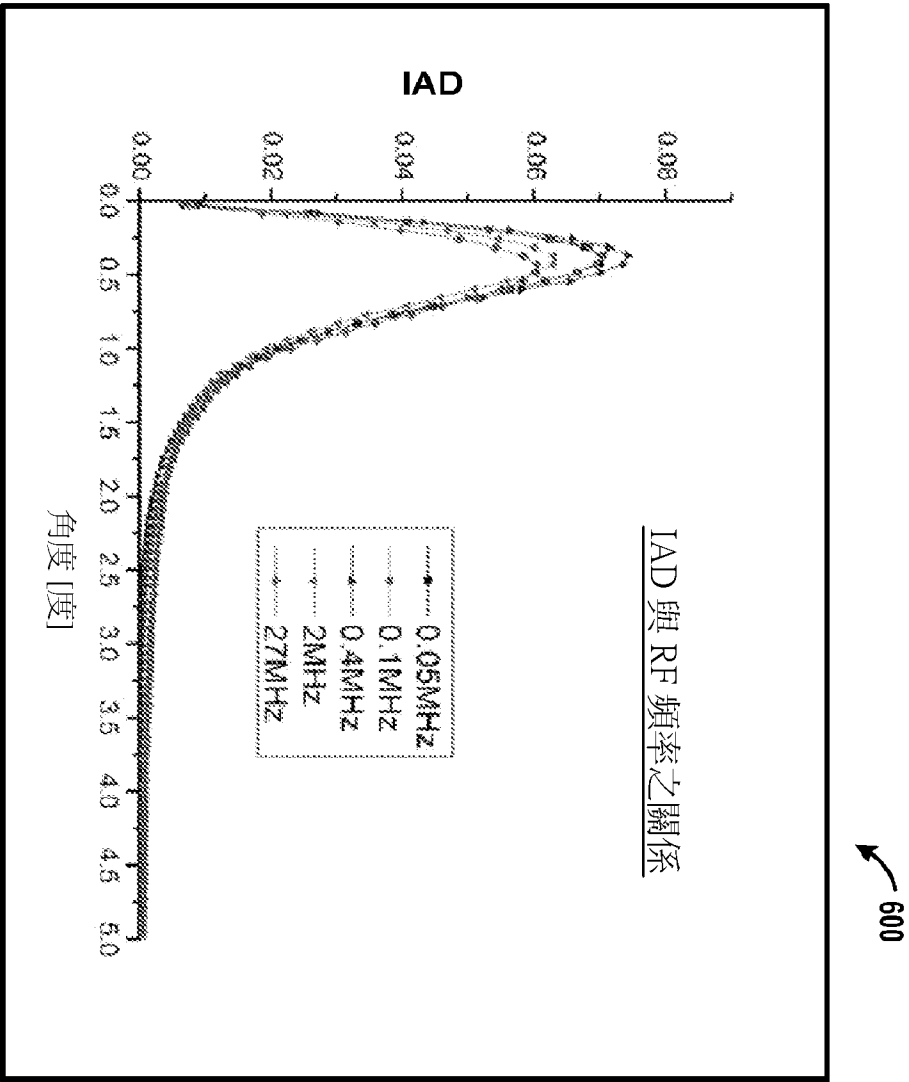


圖 6

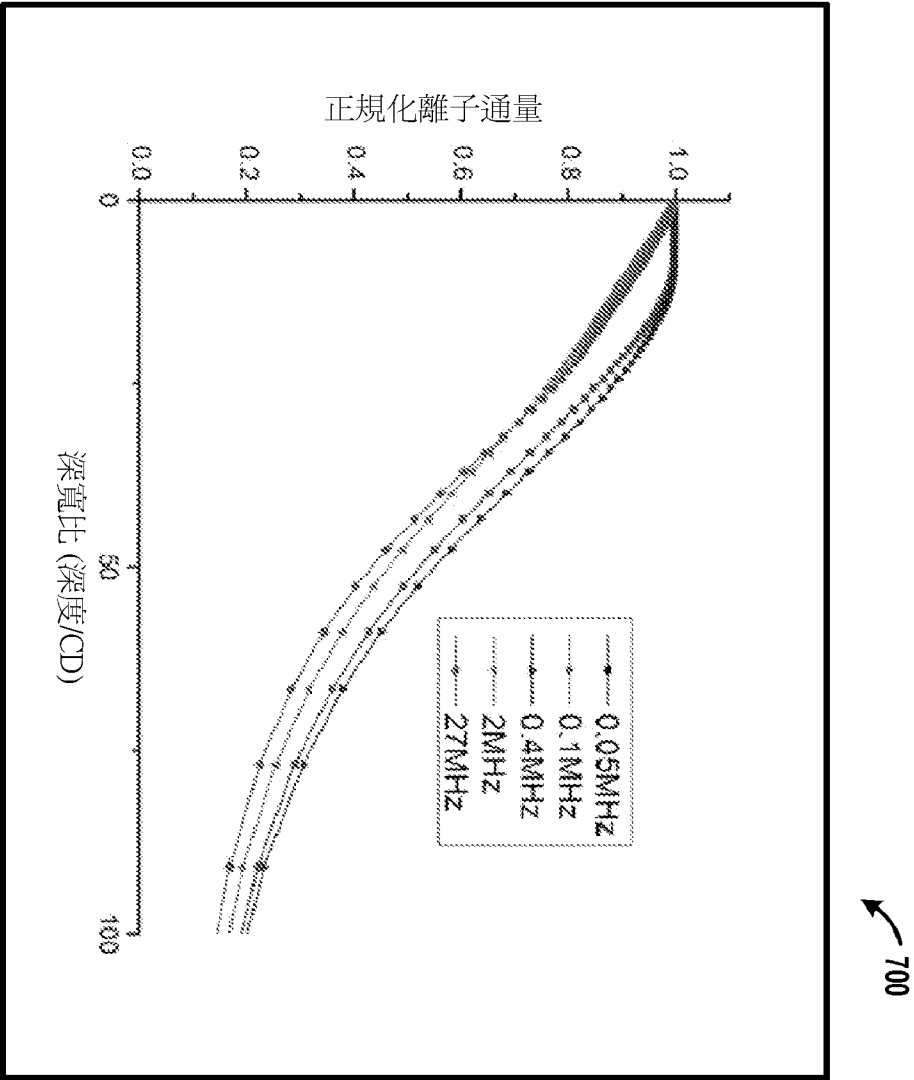


圖 7