



(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 I764988 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 05 月 21 日

(21)申請案號：107105704

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 02 月 21 日

(51)Int. Cl. : H01J37/32 (2006.01)

H05G1/20 (2006.01)

(30)優先權：2017/03/13 美國

15/457,798

(71)申請人：美商應用材料股份有限公司 (美國) APPLIED MATERIALS, INC. (US)
美國

(72)發明人：川崎勝正 KAWASAKI, KATSUMASA (JP)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：

TW 201419371A

US 5195045

US 9390893B2

US 2014/0106572A1

US 2016/0276137A1

審查人員：謝紀明

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：6 共 39 頁

(54)名稱

利用變頻產生器的智慧 RF 脈衝調整

(57)摘要

本文提供了用於 RF 脈衝反射減少的方法和系統。在一些實施例中，一種方法包括：(a)接收用於處理基板的處理配方，該處理配方包括在第一工作週期期間的來自複數個 RF 產生器的複數個脈衝 RF 功率波形、(b)將第一工作週期分成複數個相等的時間間隔、(c)對於每個 RF 產生器，確定對於所有間隔的頻率命令集合，並且將該頻率命令集合發送到 RF 產生器，其中該頻率命令集合包括對於在複數個相等的時間間隔中的每個間隔的頻率設定點、及(d)根據發送到每個 RF 產生器的頻率命令集合，在第一工作週期期間將複數個 RF 功率波形從複數個 RF 產生器提供到處理腔室。

Methods and systems for RF pulse reflection reduction are provided herein. In some embodiments, a method includes (a) receiving a process recipe for processing the substrate that includes a plurality of pulsed RF power waveforms from a plurality of RF generators during a first duty cycle, (b) dividing the first duty cycle into a plurality of equal time intervals, (c) for each RF generator, determining a frequency command set for all intervals and send the frequency command set to the RF generator, wherein the frequency command set includes a frequency set point for each of the intervals in the plurality of equal time intervals, and (d) providing a plurality of RF power waveforms from a plurality of RF generators to a process chamber during a first duty cycle according to the frequency command set sent to each RF generator.

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 402 . . . 波形
- 404 . . . 波形
- 406 . . . 波形
- 408 . . . 延遲期
- 410 . . . 功率脈衝
- 412 . . . 功率脈衝
- 420 . . . 功率脈衝
- 422 . . . 功率脈衝
- 432 . . . 頻率
- 530 . . . 時間間隔

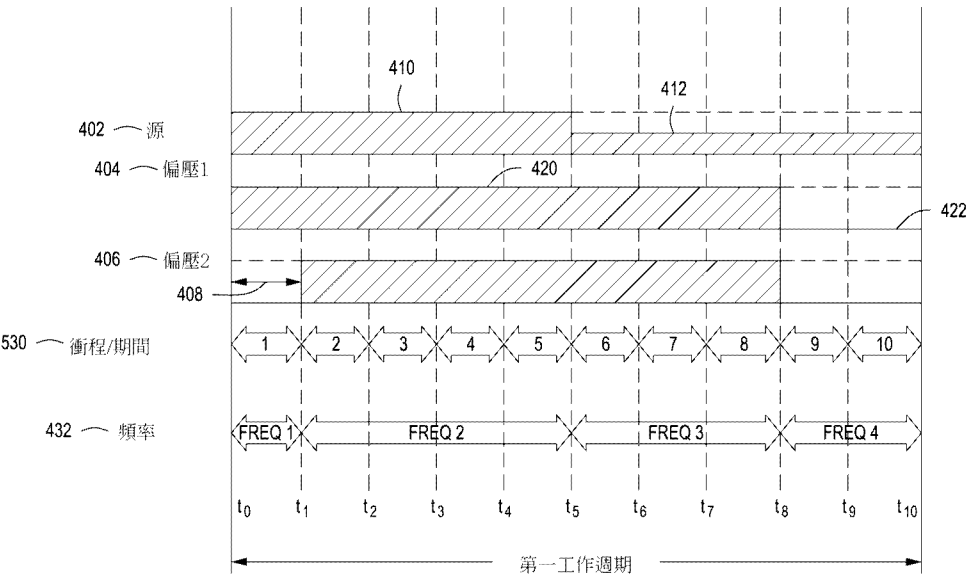


圖5A



I764988

【發明摘要】

【中文發明名稱】利用變頻產生器的智慧RF脈衝調整

【英文發明名稱】 SMART RF PULSING TUNING USING VARIABLE

FREQUENCY GENERATORS

【中文】

本文提供了用於 R F 脈衝反射減少的方法和系統。在一些實施例中，一種方法包括：(a) 接收用於處理基板的處理配方，該處理配方包括在第一工作週期期間的來自複數個 R F 產生器的複數個脈衝 R F 功率波形、(b) 將第一工作週期分成複數個相等的時間間隔、(c) 對於每個 R F 產生器，確定對於所有間隔的頻率命令集合，並且將該頻率命令集合發送到 R F 產生器，其中該頻率命令集合包括對於在複數個相等的時間間隔中的每個間隔的頻率設定點、及 (d) 根據發送到每個 R F 產生器的頻率命令集合，在第一工作週期期間將複數個 R F 功率波形從複數個 R F 產生器提供到處理腔室。

【英文】

Methods and systems for RF pulse reflection reduction are provided herein. In some embodiments, a method includes (a) receiving a process recipe for processing the substrate that includes a plurality of pulsed RF power waveforms from a plurality of RF generators during a first duty cycle, (b) dividing the first duty cycle into a plurality of equal time intervals, (c) for each RF generator, determining a frequency command set for all intervals and send the frequency command set to the RF generator, wherein the frequency command set includes a frequency set point for each of the intervals in the plurality of equal time intervals, and (d) providing a plurality of RF power

waveforms from a plurality of RF generators to a process chamber during a first duty cycle according to the frequency command set sent to each RF generator.

【指定代表圖】第（ 5A ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

4 0 2 波 形

4 0 4 波 形

4 0 6 波 形

4 0 8 延 遲 期

4 1 0 功 率 脈 衝

4 1 2 功 率 脈 衝

4 2 0 功 率 脈 衝

4 2 2 功 率 脈 衝

4 3 2 頻 率

5 3 0 時 間 間 隔

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】利用變頻產生器的智慧RF脈衝調整

【英文發明名稱】 SMART RF PULSING TUNING USING VARIABLE
FREQUENCY GENERATORS

【技術領域】

【0001】 本案的實施例一般涉及用於處理基板的RF功率輸送方法。

【先前技術】

【0002】 在傳統的射頻(RF)電漿處理中，諸如在許多半導體裝置的製造階段期間所使用的電漿處理，可經由RF能量源將RF能量提供到基板處理腔室。可在連續或脈衝波模式下產生和提供RF能量。由於在處理腔室中所形成的電漿與RF能量源的阻抗之間的不匹配，RF能量將反射回到RF能量源，而導致RF能量的低效能使用並浪費能量、潛在損壞處理腔室或射頻能量源、及與基板處理有關的潛在不一致/不可重複性問題。因此，通常將RF能量通過固定的或可調節的匹配網路耦合到在處理腔室中的電漿，該匹配網路藉由將電漿的阻抗更接近地匹配到RF能量源的阻抗，來操作以最小化所反射的RF能量。匹配網路確保RF源的輸出將有效地耦合到電漿，以最大化耦合到電漿的能量的量(例如，稱為調整RF功率輸送)。因此，匹配網路確保總阻抗(即，電漿阻抗+腔室阻抗+匹配網路阻抗)與RF功率輸送的輸出阻抗相同。在一些實施例中，

R F 能量源還可以能夠進行頻率調整，或調整由 R F 能量源所提供的 R F 能量的頻率，以協助阻抗匹配。

【0003】 在使用以多個功率層級來脈衝的多個分離的 R F 功率信號的處理腔室中，將典型地使用同步 R F 脈衝。可將多個分離的 R F 功率信號彼此異相獨立地或以不同的工作週期來脈衝。可通過使用電晶體 - 電晶體邏輯 (T T L) 信號來完成同步。一個主產生器產生 T T L 信號到其他從屬產生器進行同步。每個 R F 產生器 (主產生器和從屬產生器) 可提供以獨立工作週期及 / 或脈衝延遲的脈衝 R F 功率。

【0004】 然而，在使用以多個功率層級來脈衝的多個分離的 R F 功率信號 (例如，每個皆具有多個功率設定) 的 R F 單層級脈衝 (S L P) 或雙層級 (D L P) 或多層級脈衝 (M L P) 中，在脈衝工作週期期間所發生的多個阻抗改變將使得阻抗調整困難。也就是說，匹配網路及 / 或 R F 產生器不能充分地調整反射功率，因為反射功率在每個工作週期內多次改變。更具體來說，具有可變電容器或電感器的常規匹配網路及固定頻率產生器能典型地僅針對一個特定阻抗 (例如，平均阻抗) 來執行阻抗匹配，因為驅動可變電容器 / 電感器的馬達速度太慢以至於不能在一個脈衝週期中遵循阻抗變化。

【0005】 因此，發明人已提供除了使用可變電容器 / 電感器之外還使用一或多個可變頻率產生器的用於 R F 脈衝調整的改良方法和設備，以有利地最小化在處理腔室中的

R F 脈衝反射，該等處理腔室使用在單個工作週期期間以多個功率層級來脈衝的多個分離的 R F 功率信號。

【發明內容】

【0006】 本文提供了用於 R F 脈衝反射減少的方法和系統。在一些實施例中，一種方法包括：(a)接收用於處理該基板的一處理配方，該處理配方包括在一第一工作週期期間的來自複數個 R F 產生器的複數個脈衝 R F 功率波形、(b)將該第一工作週期分成複數個相等的時間間隔、(c)對於每個 R F 產生器，確定對於所有間隔的一頻率命令集合，並且將該頻率命令集合發送到該 R F 產生器，其中該頻率命令集合包括對於在該複數個相等的時間間隔中的每個間隔的一頻率設定點、及(d)根據發送到每個 R F 產生器的該頻率命令集合，在一第一工作週期期間將複數個 R F 功率波形從複數個 R F 產生器提供到一處理腔室。

【0007】 在一些實施例中，提供一種其上儲存有指令的非暫態計算機可讀取媒體，該等指令在執行時將導致執行使用多層級脈衝 R F 功率操作一電漿增強式基板處理系統的一方法。所執行的該方法可包括以下步驟：(a)接收用於處理該基板的一處理配方，該處理配方包括在一第一工作週期期間的來自複數個 R F 產生器的複數個脈衝 R F 功率波形、(b)將該第一工作週期分成複數個相等的時間間隔、(c)對於每個 R F 產生器，確定對於所有間隔的一頻率命令集合，並且將該頻率命令集合發送到該 R F 產生器，其中該頻率命令集合包括對於在該複數個相等的時間間

隔中的每個間隔的一頻率設定點、及(d)根據發送到每個RF產生器的該頻率命令集合，在一第一工作週期期間將複數個RF功率波形從複數個RF產生器提供到一處理腔室。

【0008】 在一些實施例中，一種基板處理系統可包括：複數個RF產生器、一脈衝控制器、至少一個匹配網路，該複數個RF產生器經配置以在一第一工作週期期間將複數個RF功率波形提供到一處理腔室，該脈衝控制器耦合到該複數個RF產生器，該至少一個匹配網路耦合到該複數個RF產生器中之每一者、該處理腔室、及該脈衝控制器，其中該至少一個匹配網路包括至少一個量測裝置和至少一個可變匹配部件，該至少一個量測裝置經配置以量測對於該複數個RF功率波形的反射功率。在一些實施例中，該至少一個匹配網路經配置以：(a)接收用於處理該基板的一處理配方，該處理配方包括在一第一工作週期期間的來自複數個RF產生器的複數個脈衝RF功率波形、(b)將該第一工作週期分成複數個相等的時間間隔、(c)對於每個RF產生器，確定對於所有間隔的一頻率命令集合、及(d)將該頻率命令集合發送到該RF產生器，其中該頻率命令集合包括對於在該複數個相等的時間間隔中的每個間隔的一頻率設定點。

【0009】 在下文描述本案的其他和進一步的實施例。

【圖式簡單說明】

【0010】 可藉由參考在附圖中所描繪的本案的說明性實施例，來理解在上文所簡要總結並在下文更詳細討論的本案的實施例。然而，要注意的是，附圖僅顯示出本案的典型實施例，而因此不被認為是對本案範疇的限制，因為本案可允許其他等效的實施例。

【0011】 圖1描繪了根據本案的一些實施例的電漿反應器。

【0012】 圖2A - 圖2C描繪了根據本案的一些實施例的射頻信號的脈衝波形。

【0013】 圖3A - 圖3D描繪了根據本案的一些實施例的脈衝波形之間的相位變化。

【0014】 圖4描繪了根據本案的一些實施例的具有與基板處理配方相關的多個脈衝功率波形用以處理基板的多衝程循環脈衝(MSCP)。

【0015】 圖5A描繪了根據本案的一些實施例的針對單個工作週期的具有在圖4中所描繪的多個脈衝功率波形的相同MSCP，該單個工作週期已被分成複數個相等時間間隔。

【0016】 圖5B描繪了根據本案的一些實施例的用於在處理腔室中的RF脈衝反射減少的方法的流程圖，該等處理腔室使用針對單個工作週期以多個功率層級來脈衝的多個分離的RF功率信號，該單個工作週期已被分成複數個相等時間間隔。

【0017】圖6描繪了根據本案的一些實施例的用於採用智慧調整演算法的示例性設備。

【0018】為便於理解，在可能的地方已使用相同的元件符號，來表示附圖中共有的相同元件。附圖並非按比例繪示，並且為了清晰起見可能會被簡化。可預期的是，可將一個實施例的元件和特徵有益地併入其他實施例中而無需進一步記載。

【實施方式】

【0019】本案的實施例提供除了使用可變電容器/電感器之外還使用一或多個可變頻率產生器的用於RF脈衝調整的改良方法和設備。具體而言，改良方法和設備使用至少兩個調整自由度，來藉由使用至少一個可變電容器/電感器及由一或多個可變頻率產生器所產生的一或多個可變頻率來執行阻抗匹配。因為由一或多個可變頻率產生器所產生的頻率能被快速改變(即，在微秒層級)，所以它們能快速調節和調整到由在單個RF脈衝週期內的總正向功率的變化所產生的新阻抗。在與本案相符的實施例中，RF匹配網路將在單個RF脈衝週期內對所有間隔發送頻率命令集合到RF頻率產生器。然後，RF產生器將對單個RF脈衝週期產生具有多個頻率的RF脈衝輸出，以在單個RF脈衝週期內對每個間隔最小化反射功率。將可變電容器/電感器將調整到所計算的平均阻抗值。與本案相符的實施例有利地最小化在使用多個分離的RF功率信號的處理腔室中的RF脈衝反射，藉由除了使用一或多個可變電

容器/電感器之外還使用一或多個可變頻率產生器，來在單個工作週期期間以多個功率層級脈衝化該多個分離的RF功率信號。

【0020】圖1描繪了可用來執行本文所揭示的發明方法的電漿反應器。可在電容耦合電漿反應器(例如，如圖1所示)或任何其他合適的電漿反應器(諸如電感耦合電漿反應器)中執行本發明方法。然而，發明人已經觀察到，本發明方法能在電容耦合電漿反應器中特別有益，諸如在使用高偏壓功率(例如，約2000W或更高)和低源功率(例如，約500W或更低)的情況下，因為非期望的充電效應可能比例如在電感耦合電漿處理腔室中更嚴重得多。在一些實施例中，發明人已經發現到，本發明方法在DC偏壓(V_{DC})、 V_{RF} 、或電漿鞘電壓中之至少一者是處於或高於約1000V的配置中提供特別的益處。

【0021】圖1的反應器包括由圓柱形側壁102、底板103、及天花板104所包圍的反應腔室100。天花板104可以是氣體分配噴頭，該氣體分配噴頭包括覆蓋氣體分配板108的氣體歧管106，該氣體分配板108具有通過氣體分配板108而形成的孔口109。由具有氣體供應入口111的歧管外殼110來包圍氣體歧管106。氣體分配噴頭(即，天花板104)藉由絕緣環112來與圓柱形側壁102電絕緣。諸如渦輪分子泵的真空泵114抽空腔室100。氣體面板120控制到氣體供應入口111的不同處理氣體的個別流速。通過腔室的底板103所支撐的工件支撐基座136

可具有絕緣頂表面和內部電極(晶圓支撐電極138)。例如，內部電極可用於夾持在支撐基座136的頂表面上的基板137。將電漿源功率從產生器140通過阻抗匹配網路142施加到天花板104(在本文也稱為氣體分配噴頭)。天花板或氣體分配噴頭由諸如(例如)鋁的導電材料來形成，而因此用作天花板電極。產生器140可在VHF頻譜的高部分中產生VHF功率，諸如在100至200MHz的範圍中。產生器140具有對以所期望的脈衝速率和工作週期來產生的VHF功率進行脈衝的能力。為此目的，VHF源產生器140具有用於接收界定脈衝速率及/或工作週期以及由RF產生器140所產生的每個脈衝的相位的控制信號或多個控制信號的脈衝控制輸入140a。

【0022】 將電漿偏壓功率從RF偏壓產生器144通過RF阻抗匹配網路146及從RF偏壓產生器148通過RF阻抗匹配網路149施加到晶圓支撐電極138。RF偏壓產生器144、148可在HF頻譜的低部分中或在MF或LF頻譜中產生HF或LF功率，諸如在13.56MHz的範圍中或在1至2MHz的數量級上。RF偏壓產生器144、148具有對以所期望的脈衝速率和工作週期來產生的RF偏壓功率進行脈衝的能力。為此目的，RF偏壓產生器144、148具有用於接收界定脈衝速率及/或工作週期以及由RF產生器144、148所產生的每個脈衝的相位的控制信號或多個控制信號的脈衝控制輸入144a、148a。可將RF偏壓產生器144、148來獨立地脈衝、定相、及/或工作週期控

制。此外，可將RF偏壓產生器144、148來同步地或非同步地脈衝。

【0023】可選地，可將電漿源功率從第二VHF產生器通過VHF阻抗匹配(未示出)施加到晶圓支撐電極138。第二VHF產生器可在VHF頻譜的低部分中產生VHF功率，諸如在50至100MHz的範圍中。第二VHF產生器具有對以所期望的脈衝速率和工作週期來產生的VHF功率進行脈衝的能力。為此目的，第二VHF產生器具有用於接收界定脈衝速率及/或工作週期以及由第二VHF產生器所產生的每個脈衝的相位的控制信號或多個控制信號的脈衝控制輸入。例如，在一些實施例中，RF偏壓產生器144、148中之一者及其部件(例如，匹配、脈衝控制輸入等)可以第二VHF產生器及其部件來替換。或者，除了第一RF產生器140及偏壓產生器144、148和它們各自部件之外，還可包括第二VHF產生器及其部件。

【0024】在一些實施例中，可由一或多個電容器及/或電感器來形成匹配網路142、146及149。可將電容器的值電子調整或機械調整，以調節每個匹配網路142、146及149的匹配。在較低功率系統中，可將一或多個電容器電子調整而不是機械調整。在一些實施例中，匹配網路142、146及149可具有可調整電感器。在一些實施例中，用於匹配網路142、146及149的電容器中之一或多者可以是一或多個固定電容器或串聯電容器。在其它實施例中，用於匹配網路142、146及149的電容器中之一或

多者可以是可變電容器，可將該可變電容器電子調整或機械調整，以調節匹配網路142、146及149的匹配。在一些實施例中，匹配網路142、146及149中之一或多者可具有對地的電容分流。

【0025】 上述匹配網路僅是說明性的，並且根據本文所提供的教示可使用並調整具有用於調整匹配網路的一或多個可調節元件的匹配網路的其他各種配置。例如，圖6描繪了根據本案的一些實施例的用於採用智慧調整演算法的示例性設備。RF產生器602是圖1的產生器140、144及148中之一或多者的示意表示。在圖6中，可將RF產生器602經由RF電纜151和一或多個高速鏈接電纜150連接到RF匹配網路604。RF匹配604是RF/VHF匹配142、146、149中之一或多者的示意表示。RF匹配網路604可包括一或多個匹配傳感器或阻抗量測裝置(例如，VI探針/傳感器606)、CPU 130、可變阻抗匹配部件608(例如，可變電容器/電感器)、及固定部件 Z_2 610(例如，固定電容器/電感器)。可變阻抗匹配部件608可包括一或多個可變電容器及/或電感器，以提供所期望的阻抗匹配。可使用複數個串聯電纜，來將時序信號(例如，13MHz的開/關時序信號)供應給RF產生器602和RF匹配網路604。因此，在此配置中，可藉由將可變阻抗匹配部件608調整到所計算的平均阻抗(如下所述)，並且藉由改變由產生器所提供的頻率/功率，來減少/最小化

反射功率(即，可調整系統)。此提供2個調整自由度(即，可變阻抗匹配部件608和可變頻率)。

【0026】 控制器160是可編程以將脈衝控制信號施加到產生器140、144、148的脈衝控制輸入140a、144a、148a中之每一者，以產生在產生器140(例如，VHF源功率產生器)及RF偏壓功率產生器144、148的脈衝之間的所期望的相位超前或延遲關係及/或工作週期關係。控制器160還可控制工具/處理腔室的其他態樣。儘管在圖1中示出為分離的部件，但是在一些實施例中，可將控制器160內部設置在每個RF產生器的內部。將在主產生器(例如，產生器140)處產生同步信號，並且將該同步信號發送到其他從屬產生器(例如，產生器144及/或148)。

【0027】 在一些實施例中，RF產生器140、144及148、匹配網路142、146及149、及/或控制器160包括中央處理單元(CPU)130、複數個支援電路134、及記憶體132。儘管將RF產生器140、144及148、匹配網路142、146及149、及控制器160的當前示例性實施例相對於具有CPU、支援電路、及記憶體的計算機進行討論，但本領域具有通常知識者將理解的是，可用各種方式來實現RF產生器140、144及148、匹配網路142、146及149、及控制器160，包括實現為特定應用介面電路(ASIC)、現場可編程邏輯閘陣列(FPGA)、單晶片系統(SOC)等。還可將控制器160的各種實施例整合在其他

處理工具控制器內，而具有本領域已知的對應輸入/輸出介面。

【0028】支援電路134可包括顯示裝置以及其他電路，以支援CPU 130的功能。這種電路可包括時脈電路、緩存器、電源、網卡、視頻電路等。

【0029】記憶體132可包括唯讀記憶體、隨機存取記憶體、可移除記憶體、磁碟機、光碟機、及/或其他形式的數位儲存器。記憶體132經配置以儲存操作系統及輔助晶圓廠控制模組。操作系統執行以控制RF產生器140、144及148、匹配網路142、146及149、及控制器160的一般操作，包括促進執行各種處理、應用、及模組，以控制該一或多個產生器140、144及148或該匹配網路142、146及149以便執行本文所討論的方法(例如，在下文所討論的方法900)。

【0030】此外，可將DC產生器162耦合到晶圓支撐電極138和天花板104中之任一者(或兩者)。在一些實施例中，DC產生器162可供應連續的及/或可變的DC。在一些實施例中，DC產生器162可提供脈衝DC功率。可由控制器160來控制DC產生器的脈衝重複速率、相位、及工作週期。可提供DC隔離電容器164、166，以將每個RF產生器與DC產生器162隔離。由DC產生器所產生的DC信號可與由產生器140、144及148所產生的RF信號進行同步，以提供諸如在基板137上的減少充電或使用在電漿

反應器中所形成的電漿的基板的改良蝕刻速率控制的益處。

【0031】 圖2A描繪了可反映每個產生器140、144、148的脈衝RF輸出的時域波形圖，示出了脈衝RF輸出的脈衝包絡，其特徵在於由控制器160對每個產生器140、144、148所個別控制的下列參數：脈衝持續時間 t_P 、脈衝「開」時間 t_{ON} 、脈衝「關」時間 t_{OFF} 、脈衝頻率 $1/t_P$ 、及脈衝工作週期 $(t_{ON}/t_P)*100\%$ 。脈衝持續時間 t_P 是 t_{ON} 和 t_{OFF} 之和。

【0032】 圖2B和圖2C描繪了用下列方式一起同步的兩個RF脈衝信號的同時期時域波形：使它們具有相同的相位和工作週期，而因此在它們之間的相位差為零。在圖2B和2C中所描繪的示例性實施例是在第一脈衝RF信號（例如，脈衝源信號）與第二脈衝RF信號（例如，脈衝偏壓信號）之間進行同步的一個示例性形式。在此示例性實施例中，每個脈衝信號的相位和工作週期皆是相同的。

【0033】 在本案的一些實施例中，由產生器140、144及148所提供的脈衝信號將在相位上變化。圖3A至圖3D顯示了如何可由控制器160改變相位差，並且分別描繪了在 0° 、 90° 、 180° 及 270° 的相位差的源功率波形和偏壓功率波形的疊加，其中由第二脈衝輸出比第一脈衝輸出延遲多少來定義相位差。圖3A對應於圖2B的零相位差的實例。圖3B描繪了其中偏壓功率脈衝輸出比源功率脈衝輸出延遲 90° 的情況。圖3C描繪了其中偏壓功率脈衝輸出比

源功率脈衝輸出延遲180度的情況。圖3D描繪了其中偏壓功率脈衝輸出比源功率脈衝輸出延遲270°的情況。儘管圖3A至圖3D僅描繪了具有變化相位的兩個脈衝RF信號，但與本案相符的實施例還可包括具有變化相位的三個或更多脈衝RF信號。

【0034】 在一些實施例中，可藉由控制RF包絡的相位超前或延遲，來提高蝕刻速率而同時脈衝電漿。當異相獨立地或以不同的工作週期脈衝源和偏壓時，極高頻(VHF)和低頻(LF)的不同電漿動力允許在整個脈衝上更好的電漿填充。在一些實施例中，約162MHz的源頻率的VHF的組合與約13.56MHz的偏壓頻率和約2MHz的另一偏壓頻率結合使用。在一些實施例中，約162MHz的源頻率的VHF的組合與約60MHz的偏壓頻率和約2MHz的另一偏壓頻率結合使用。在一些實施例中，約60MHz的源頻率與約2MHz及/或約13.56MHz的偏壓頻率結合使用。

【0035】 圖4描繪了與用以處理基板的基板處理配方相關的脈衝RF功率。在圖4所示的實例中，基板處理配方需要提供三個分離的脈衝RF波形以處理基板。圖4描繪了根據本案的一些實施例的可連續地提供或以多個功率層級脈衝的多個分離的RF功率信號。圖4描繪了使用多層級脈衝(MLP)進行多頻率RF混合的多衝程循環脈衝(MSCP)。具體而言，圖4描繪了四(4)個衝程循環脈衝，

其中示出存在由分離的 RF 功率波形所提供的四個不同的總頻率。在一些實施例中，可使用單層級脈衝 (SLP) (即，開/關脈衝波形) 和連續波形 (CW)。在圖 4 中，示出了三個分離的 RF 功率波形，第一 RF 功率波形 402、第二 RF 功率波形 404、及第三 RF 功率波形 406。與本案的實施例相符，可以多個功率層級彼此獨立且異相地，或有不同的工作週期，來提供該三個分離的 RF 功率波形 402、404 及 406 中之每一者。可由源 RF 產生器和偏壓 RF 產生器 140、144 及 148 中之一或多者來提供 RF 功率波形 402、404 及 406。在存在兩個或更多脈衝 RF 功率波形的實施例中，可彼此同步脈衝分離的脈衝 RF 功率波形。在一些實施例中，可異步脈衝分離的 RF 功率波形。

【0036】 在一些實施例中，第一 RF 功率波形 402 的頻率可以是約 2 MHz 至約 162 MHz。在一些實施例中，第一 DLP RF 功率波形的功率層級可以是約 200 瓦至約 5.0 千瓦 (例如，3.6 千瓦)。如果第一 RF 功率波形是脈衝的，則第二功率層級的值可以是第一功率層級的約 0 至 100 %。在其他實施例中，第二功率層級可大於第一功率層級。

【0037】 在圖 4 中，可在時間 t_0 引入第一 RF 功率波形 402，並且該第一 RF 功率波形 402 可包括在第一功率層級的第一功率脈衝 410 和在第二功率層級的第二功率脈衝 412。在一些實施例中，可以約 2 MHz 至約 162 MHz 的頻率來提供第一 RF 波形 402。在其他實施例中，可使用如上所述的其他頻率。

【0038】還可在時間 t_0 或在延遲期408之後引入第二RF功率波形404。第二RF功率波形404可包括在第一功率層級的第一功率脈衝420和在第二功率層級的第二功率脈衝422。如圖4所顯示，第一RF功率脈衝420可在第二RF功率脈衝422之前。如果需要，則可按照該順序或以不同的順序提供額外的RF功率脈衝。如圖4所示，可以高功率層級來提供第一RF功率脈衝420，可以零功率層級或以比第一RF功率脈衝420的第一功率層級更低的低功率層級來提供第二RF功率脈衝422。可適當地使用額外的步驟(即，額外的RF功率脈衝)和功率層級。在一些實施例中，施加每個RF功率脈衝420和422的每個時間段的長度可彼此不同。在其他實施例中，施加每個RF功率脈衝420和422的每個時間段的長度可彼此相等。在一些實施例中，可以約2MHz至約162MHz的頻率來提供第二RF波形404。在其他實施例中，可使用如上所述的其他頻率。

【0039】還可在時間 t_0 (如所示)或在延遲期408之後引入第三RF功率波形406。第三RF功率波形406可包括如上所述與第一RF功率波形402及/或第二RF功率波形404相關的類似特徵。

【0040】在一些實施例中，分離的RF功率波形的工作週期是同步的。在一些實施例中，還可施加分離的同步TTL時序信號，其還影響阻抗。在一些實施例中，同步

時序信號可以是 13 MHz 的開 / 關時序信號。在一些實施例中，同步時序信號可以是 DC 信號。

【0041】 在圖 4 中，示出了四個分離的間隔 / 衝程 430，對每個不同的頻率 432 提供一個分離的間隔 / 衝程 430 並提供正向功率，具有不同的阻抗和反射功率層級。在圖 4 所示的實例中，間隔 / 時期都不具有相似的頻率。然而，在圖 4 中，在所提供的總正向功率變化的每個新聞隔處，系統調整以基於所提供的總正向功率來補償新反射功率。在一些情況下，如果所提供的總正向功率的變化還很大，則調整可以很大。為了進一步最小化反射功率，發明人已發展一種方法和設備，其利用在圖 5 A 和 5 B 中所示及在下文所述的方法，來更快調整多個阻抗層級以最小化平均反射功率。

【0042】 圖 5 A 描繪了與圖 4 中所示的用以處理基板的基板處理配方相關的脈衝 RF 功率。但是，在圖 5 A 中，工作週期被分成相等的時間間隔 530。在圖 5 A 所示的實例中，工作週期被分成 10 個相等的時間段。圖 5 B 描繪了方法 500 的流程圖，該方法 500 藉由將工作週期分成如圖 5 A 所示的相等的時間間隔，來更快調整多個阻抗層級以最小化平均反射功率。在下文將結合圖 1、圖 5 A 及圖 6 來描述在圖 5 B 中的流程圖。在與本案相符的實施例中，可藉由一或多個 RF 匹配 604、一或多個 RF 產生器 602、或控制器 160，來執行該方法。

【0043】 方法500開始於502，在502處，接收用於處理基板的處理配方。處理配方包括針對第一工作週期的來自複數個RF產生器602的複數個脈衝RF功率波形(即，402、404及406)。在504處，分析處理配方，並且第一工作週期被分成大約複數個相等的時間間隔。例如，如圖5A所示，第一工作週期可被分成10個相等的衝程或時間間隔。在506處，計算在第一工作週期中的所有時間間隔上的平均阻抗值，並且可將RF匹配604的可變部件608(例如，可變電容器/電感器)調整到該平均值。在一些實施例中，將在RF/VHF匹配142、146及149中的每個可變部件608調整到所計算的相同平均阻抗值。圖5A和圖5B描述了在單個工作週期期間發生的處理，其可根據需要而重複以處理基板。在與本案相符的一些實施例中，處理配方可包括針對所有工作週期的RF脈衝功率波形，就在每個間隔的頻率和功率而言，該等RF脈衝功率波形可能並不總是彼此相同。因此，每個個別的工作週期可被分開分析，並被分成複數個相等的時間間隔。

【0044】 在508處，確定用於一或多個產生器602(例如，產生器140、144或148)的頻率命令集合。頻率命令集合包括在第一工作週期中的每個等分的時間間隔(即，衝程)的頻率及/或功率設定點。將每個產生器140、144或148的所確定的頻率命令集合發送到與頻率命令集合相關的對應產生器140、144或148。在一些實施例中，可將頻率命令集合經由高速輔助通信電纜150、

154、158發送到分別的產生器。在其他實施例中，可將頻率命令集合經由控制器160發送到分別的產生器。

【0045】 在510處，根據/基於在第一工作週期期間發送到每個產生器的頻率指令集合，來將來自複數個RF產生器的複數個脈衝RF功率波形(例如，402、404及406)提供到處理腔室。也就是，在複數個等分的時間間隔/衝程中之每一者的開始，在508處所確定的頻率設定點處將提供RF脈衝功率。在一些情況下，如果先前時間間隔的先前設定點等於在後續時間間隔中的設定點，則不需要進行調整，除非基於量測值對頻率進行調節以減少反射功率(如下所述)。在一些實施例中，複數個波形中的第一脈衝RF功率波形402是由產生器140所提供的RF源信號，複數個波形中的第二脈衝RF功率波形404是由產生器144所提供的RF偏壓信號，並且複數個波形中的第三脈衝RF功率波形406是由產生器148所提供的第二RF偏壓信號。

【0046】 在512處，藉由匹配傳感器606在每個匹配網路604處量測阻抗/反射功率。在514處，可調節由RF產生器中之一或多者所提供的頻率及/或功率，以基於在512處所量測的阻抗進一步減少反射功率。可經由高速輔助通信電纜150、154、158發送這些微頻率調節。該方法重複並回到510，以在每個新聞隔開始時提供RF脈衝功率、在512處量測反射/功率阻抗、及在514處調節所

提供的頻率/功率，直到基板處理完成，此時方法結束於516。

【0047】 由電漿反應器的一或多個處理器來執行方法500，例如RF/VHF匹配中之一或多者的處理器、RF產生器中之一或多者的處理器、脈衝控制器的處理器等。處理器的實例包括特定應用積體電路(ASIC)、可編程邏輯裝置(PLD)、微處理器、微控制器、中央處理單元(CPU)等。

【0048】 考慮到上述實施例，應理解的是，該等實施例可採用涉及儲存在計算機系統中的資料的各種計算機實現的操作。這些操作是需要對實體量進行實體操控的操作。本文所述的形成該等實施例之一部分的任何操作是有用的機器操作。該等實施例還涉及用於執行這些操作的裝置或設備。該設備可專門為特殊用途計算機建構。當界定為特殊用途計算機時，該計算機還可執行不屬於該特殊用途的其他處理、程式執行、或例程，而同時仍能夠為該特殊用途而操作。或者，可由一般用途計算機來處理該等操作，由儲存在計算機記憶體、緩存器中或通過網路獲得的一或多個計算機程式，來選擇性地激活或配置該一般用途計算機。當通過網路獲得資料時，可由在網路上的其他計算機來處理該資料，例如計算資源的雲。

【0049】 還可將一或多個實施例製造為在非暫態計算機可讀取媒體上的計算機可讀取代碼。計算機可讀取媒體是可儲存資料的任何資料儲存器，其隨後可由計算機系統

來讀取。計算機可讀取媒體的實例包括硬碟、網路附加儲存器(NAS)、ROM、RAM、光碟-ROM(CD-ROM)、可錄CD(CD-R)、可重寫CD(CD-RW)、磁帶和其他光學和非光學的資料儲存器裝置。計算機可讀取媒體可包括分散在網路耦合的計算機系統上的計算機可讀取有形媒體，以使得計算機可讀取代碼將以分散式方式儲存和執行。

【0050】 儘管前述內容是針對本案的實施例，但可在不脫離本案的基本範圍的情況下設計本案的其他和進一步的實施例。

【符號說明】

【0051】

100 腔室

102 側壁

103 底板

104 天花板

106 氣體歧管

108 氣體分配板

109 孔口

110 歧管外殼

111 氣體供應入口

112 絕緣環

114 真空泵

120 氣體面板

1 3 0 C P U

1 3 2 記 憶 體

1 3 4 支 援 電 路

1 3 6 支 撐 基 座

1 3 7 基 板

1 3 8 電 極

1 4 0 產 生 器

1 4 0 a 脈 衝 控 制 輸 入

1 4 2 匹 配 網 路

1 4 4 產 生 器

1 4 4 a 脈 衝 控 制 輸 入

1 4 6 匹 配 網 路

1 4 8 產 生 器

1 4 8 a 脈 衝 控 制 輸 入

1 4 9 匹 配 網 路

1 5 0 電 纜

1 5 1 電 纜

1 5 4 電 纜

1 5 8 電 纜

1 6 0 控 制 器

1 6 2 D C 產 生 器

1 6 4 電 容 器

1 6 6 電 容 器

4 0 2 波 形

4 0 4 波 形
4 0 6 波 形
4 0 8 延 遲 期
4 1 0 功 率 脈 衝
4 1 2 功 率 脈 衝
4 2 0 功 率 脈 衝
4 2 2 功 率 脈 衝
4 3 0 間 隔 / 衝 程
4 3 2 頻 率
5 0 0 方 法
5 0 2 步 驟
5 0 4 步 驟
5 0 6 步 驟
5 0 8 步 驟
5 1 0 步 驟
5 1 2 步 驟
5 1 4 步 驟
5 3 0 時 間 間 隔
6 0 2 產 生 器
6 0 4 匹 配
6 0 6 傳 感 器
6 0 8 部 件
6 1 0 部 件

【生物材料寄存】

【 0 0 5 2 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 0 5 3 】 國外寄存資訊 (請依寄存國家、機構、日期、號碼順序註

記)

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種用於使用多層級脈衝 RF 功率來在一電漿增強型基板處理系統中處理一基板的方法，包括以下步驟：

(a) 接收用於處理該基板的一處理配方，該處理配方包括在一第一工作週期期間的來自複數個 RF 產生器的複數個脈衝 RF 功率波形；

(b) 將該第一工作週期分成複數個相等的時間間隔；

(c) 對於每個 RF 產生器，確定對於所有間隔的一頻率命令集合，並且將該頻率命令集合發送到該 RF 產生器，其中該頻率命令集合包括對於在該複數個相等的時間間隔中的每個間隔的一頻率設定點；及

(d) 根據發送到每個 RF 產生器的該頻率命令集合，在一第一工作週期期間將複數個 RF 功率波形從複數個 RF 產生器提供到一處理腔室。

【第2項】 如請求項 1 所述之方法，進一步包括以下步驟：

在該複數個相等的時間間隔中之一第一時間間隔期間量測一第一反射功率或阻抗；及

調節由該複數個 RF 產生器中之至少一者所提供的一頻率或功率，以減少該反射功率或阻抗。

【第3項】如請求項2所述之方法，其中根據發送到每個RF產生器的該頻率命令集合，在一第一工作週期間將複數個RF功率波形從複數個RF產生器提供到一處理腔室的步驟包括在該複數個相等的時間間隔中之一第二時間間隔的一頻率設定點處提供功率，該方法進一步包括以下步驟：

在該複數個相等的時間間隔中之一第二時間間隔期間量測一第二反射功率或阻抗；及

調節由該複數個RF產生器中之至少一者所提供的一頻率或功率，以減少該反射功率或阻抗。

【第4項】如請求項1所述之方法，進一步包括以下步驟：

計算在該第一工作週期中的所有間隔上的一平均阻抗值；及

將在一或多個RF匹配網路中的可變匹配部件調整到所計算的該平均值。

【第5項】如請求項4所述之方法，其中被調整到所計算的該平均值的該等可變匹配部件包括一可變電容器或電感器中之至少一者。

【第6項】如請求項4所述之方法，其中被調整到所計算的該平均值的該等可變匹配部件是電子調整或機械調整中之一者。

【第7項】 如請求項 1 所述之方法，其中該複數個相等的時間間隔的一數量是 10 個間隔。

【第8項】 如請求項 1 所述之方法，其中由一 RF 匹配網路來確定該頻率命令集合。

【第9項】 如請求項 8 所述之方法，其中將該頻率命令集合經由高速通信電纜發送到該 RF 產生器，該高速通信電纜直接地且通信地耦合該 RF 匹配網路和該 RF 產生器。

【第10項】 如請求項 8 所述之方法，其中將該頻率命令集合由該 RF 匹配網路經由通信地耦合到該 RF 匹配網路的一脈衝控制器間接地發送到該 RF 產生器。

【第11項】 如請求項 1 所述之方法，進一步包括以下步驟：

從該複數個 RF 產生器中之一者接收一時序信號，以同步來自該複數個 RF 產生器的該複數個 RF 功率波形。

【第12項】 如請求項 11 所述之方法，其中該時序信號是一 13 MHz 的開/關時序信號。

【第13項】 如請求項 1 所述之方法，其中該複數個 RF 功率波形中之至少一者是以多個功率層級來脈衝的雙層級脈衝(DLP)波形。

【第14項】 一種其上儲存有指令的非暫態計算機可讀

取媒體，該等指令在執行時將導致執行操作一電漿增強式基板處理系統的一方法，該方法包括以下步驟：

(a) 接收用於處理該基板的一處理配方，該處理配方包括在一第一工作週期期間的來自複數個 RF 產生器的複數個脈衝 RF 功率波形；

(b) 將該第一工作週期分成複數個相等的時間間隔；

(c) 對於每個 RF 產生器，確定對於所有間隔的一頻率命令集合，並且將該頻率命令集合發送到該 RF 產生器，其中該頻率命令集合包括對於在該複數個相等的時間間隔中的每個間隔的一頻率設定點；及

(d) 根據發送到每個 RF 產生器的該頻率命令集合，在一第一工作週期期間將複數個 RF 功率波形從複數個 RF 產生器提供到一處理腔室。

【第15項】 如請求項 14 所述之非暫態計算機可讀取媒體，其中所執行的該方法進一步包括以下步驟：

在該複數個相等的時間間隔中之一第一時間間隔期間量測一第一反射功率或阻抗；及

調節由該複數個 RF 產生器中之至少一者所提供的一頻率或功率，以減少該反射功率或阻抗。

【第16項】 如請求項 15 所述之非暫態計算機可讀取媒體，其中根據發送到每個 RF 產生器的該頻率命令

集合，在一第一工作週期期間將複數個 RF 功率波形從複數個 RF 產生器提供到一處理腔室的步驟包括在該複數個相等的時間間隔中之一第二時間間隔的一頻率設定點處提供功率，該方法進一步包括以下步驟：

在該複數個相等的時間間隔中之一第二時間間隔期間量測一第二反射功率或阻抗；及

調節由該複數個 RF 產生器中之至少一者所提供的一頻率或功率，以減少該反射功率或阻抗。

【第17項】 如請求項 14 所述之非暫態計算機可讀取媒體，其中所執行的該方法進一步包括以下步驟：

計算在該第一工作週期中的所有間隔上的一平均阻抗值；及

將在一或多個 RF 匹配網路中的可變匹配部件調整到所計算的該平均值。

【第18項】 如請求項 17 所述之非暫態計算機可讀取媒體，其中被調整到所計算的該平均值的該等可變匹配部件包括一可變電容器或電感器中之至少一者。

【第19項】 一種基板處理系統，包括：

複數個 RF 產生器，其經配置以在一第一工作週期期間將複數個 RF 功率波形提供到一處理腔室；

一脈衝控制器，其耦合到該複數個 RF 產生器；

至少一個匹配網路，其耦合到該複數個 RF 產生器

中之每一者、該處理腔室、及該脈衝控制器，其中該至少一個匹配網路包括至少一個量測裝置和至少一個可變匹配部件，該至少一個量測裝置經配置以量測對於該複數個 RF 功率波形的反射功率，其中該至少一個匹配網路經配置以：

(a) 接收用於處理該基板的一處理配方，該處理配方包括在一第一工作週期期間的來自複數個 RF 產生器的複數個脈衝 RF 功率波形；

(b) 將該第一工作週期分成複數個相等的時間間隔；

(c) 對於每個 RF 產生器，確定對於所有間隔的一頻率命令集合；及

(d) 將該頻率命令集合發送到該 RF 產生器，其中該頻率命令集合包括對於在該複數個相等的時間間隔中的每個間隔的一頻率設定點。

【第20項】 如請求項19所述之基板處理系統，其中該複數個 RF 產生器經配置以根據由該至少一個匹配網路發送到每個 RF 產生器的該頻率命令集合，在一第一工作週期期間將複數個 RF 功率波形提供到一處理腔室。

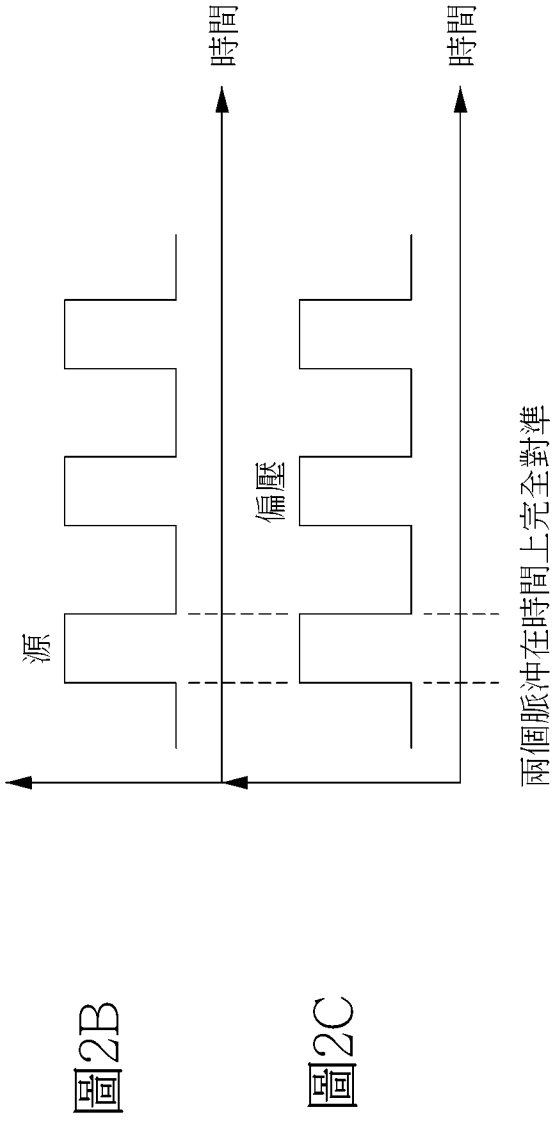
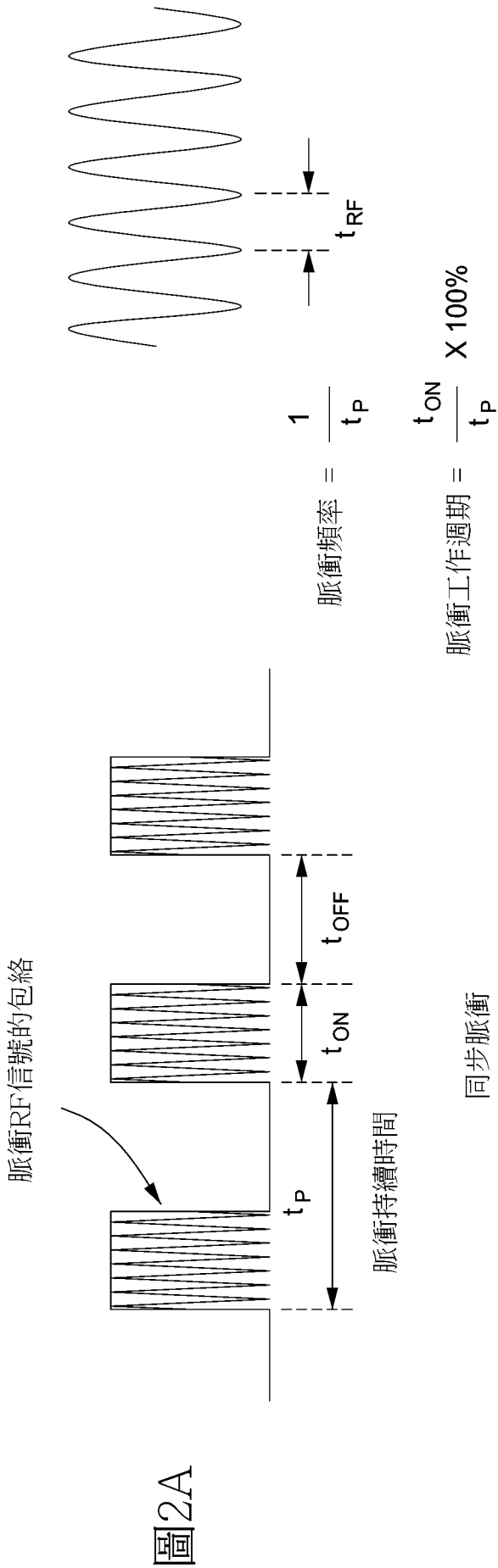


圖2C

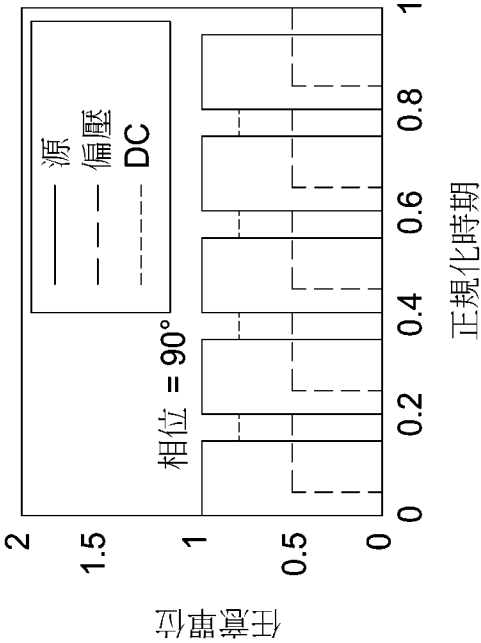


圖3A

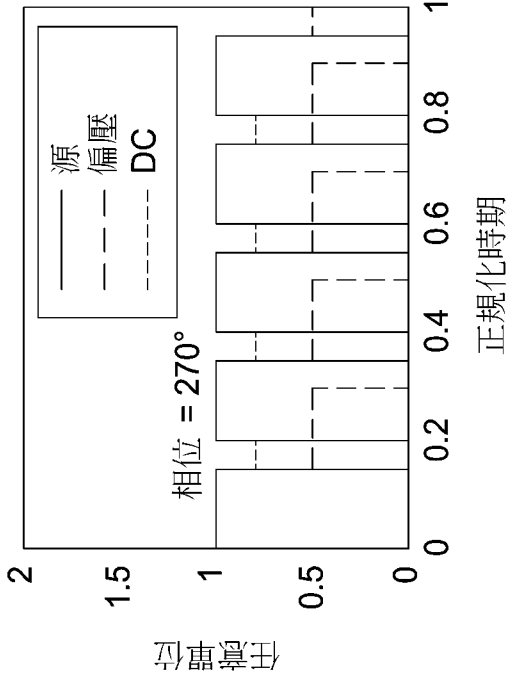


圖3B

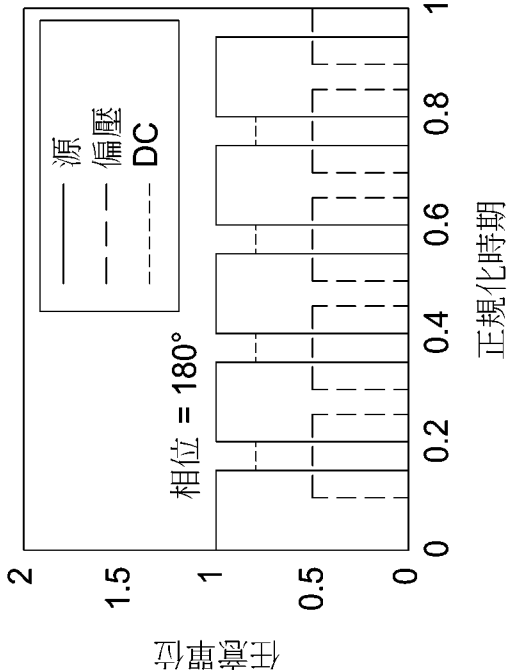


圖3C

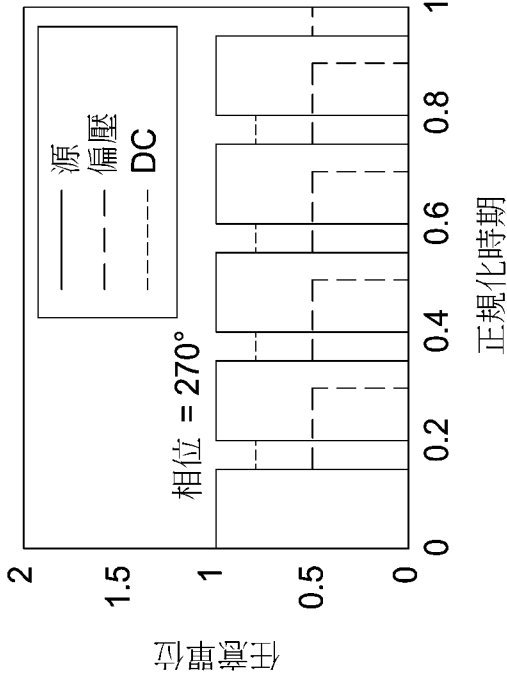


圖3D

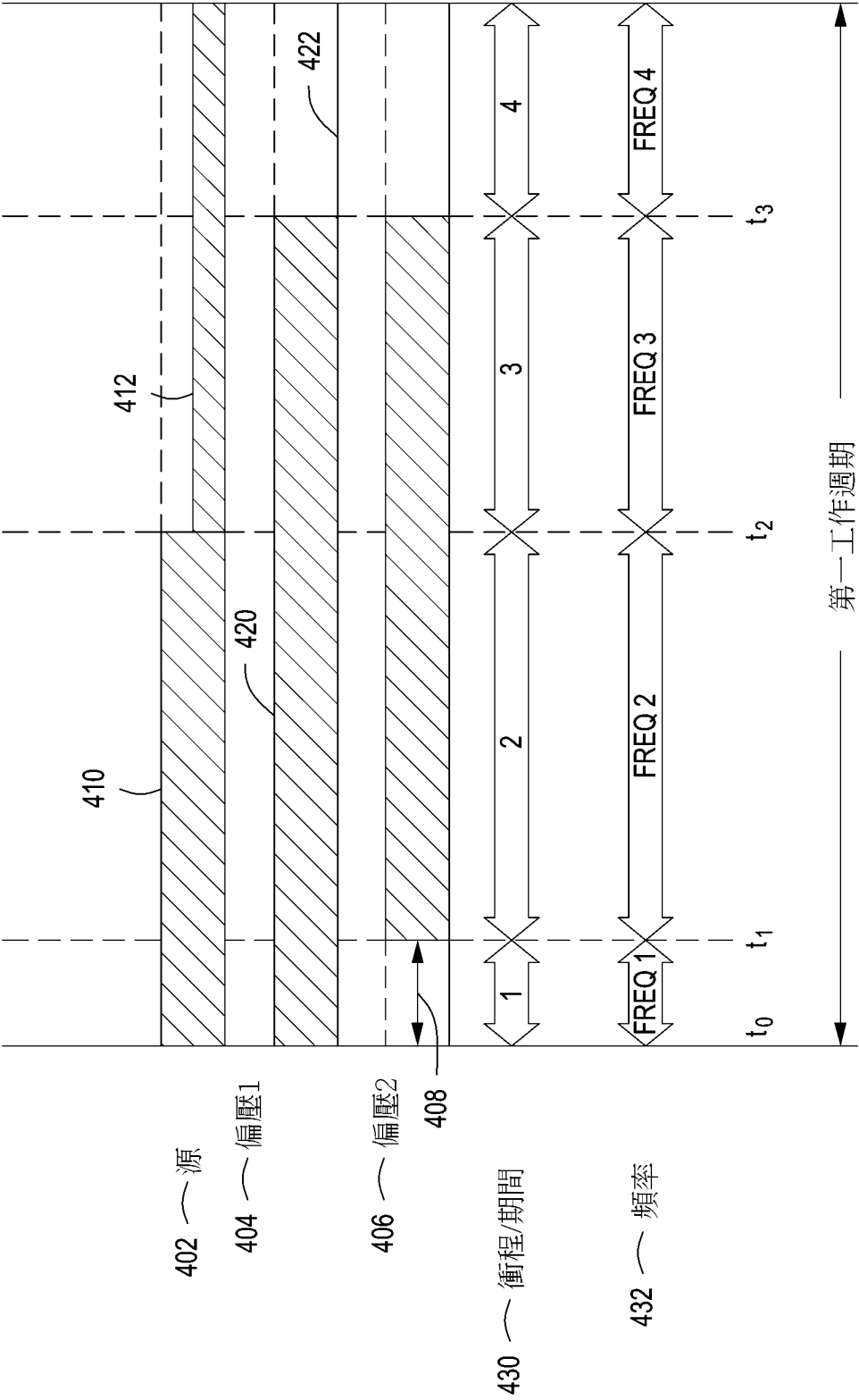


圖4

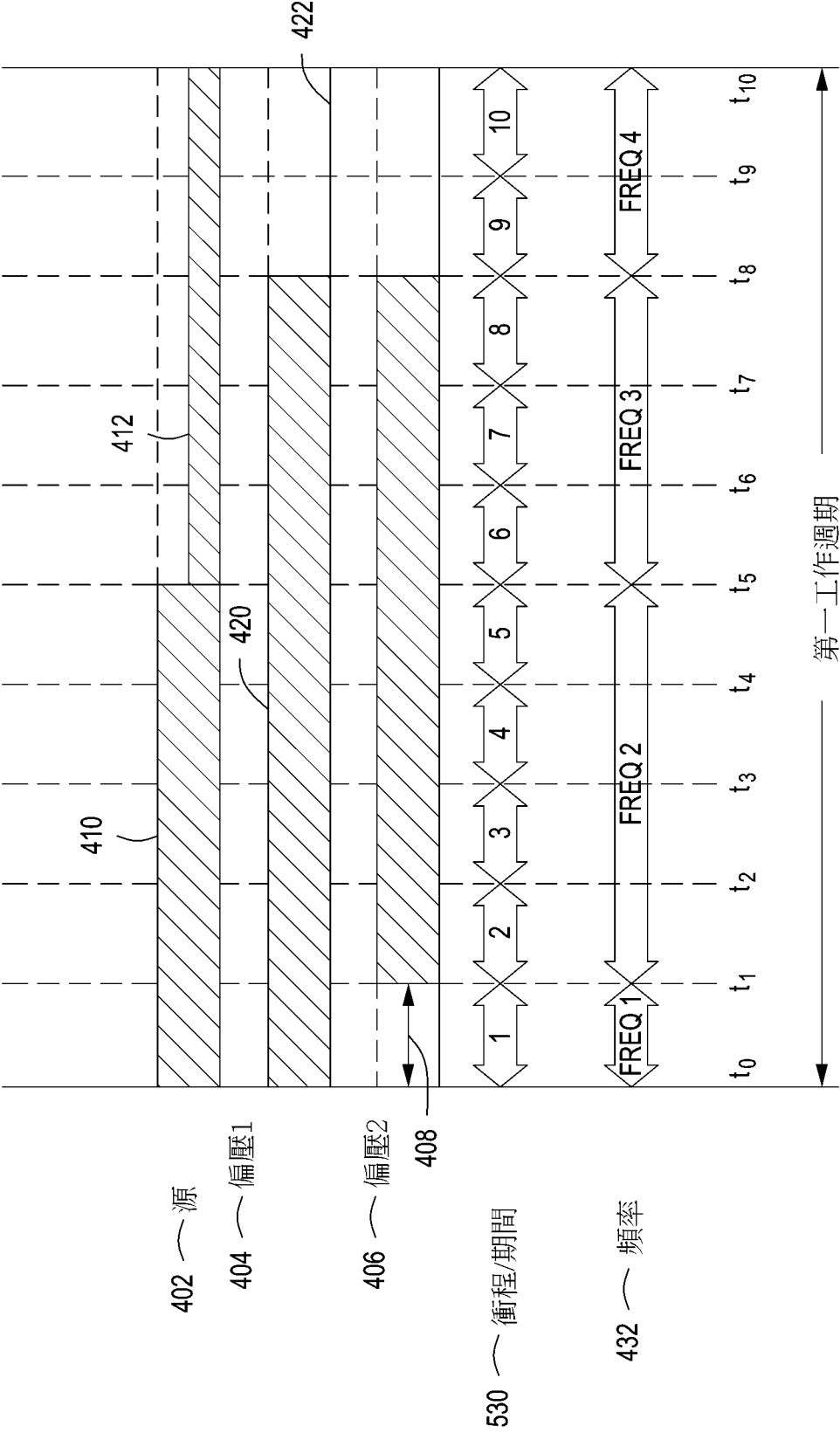


圖5A

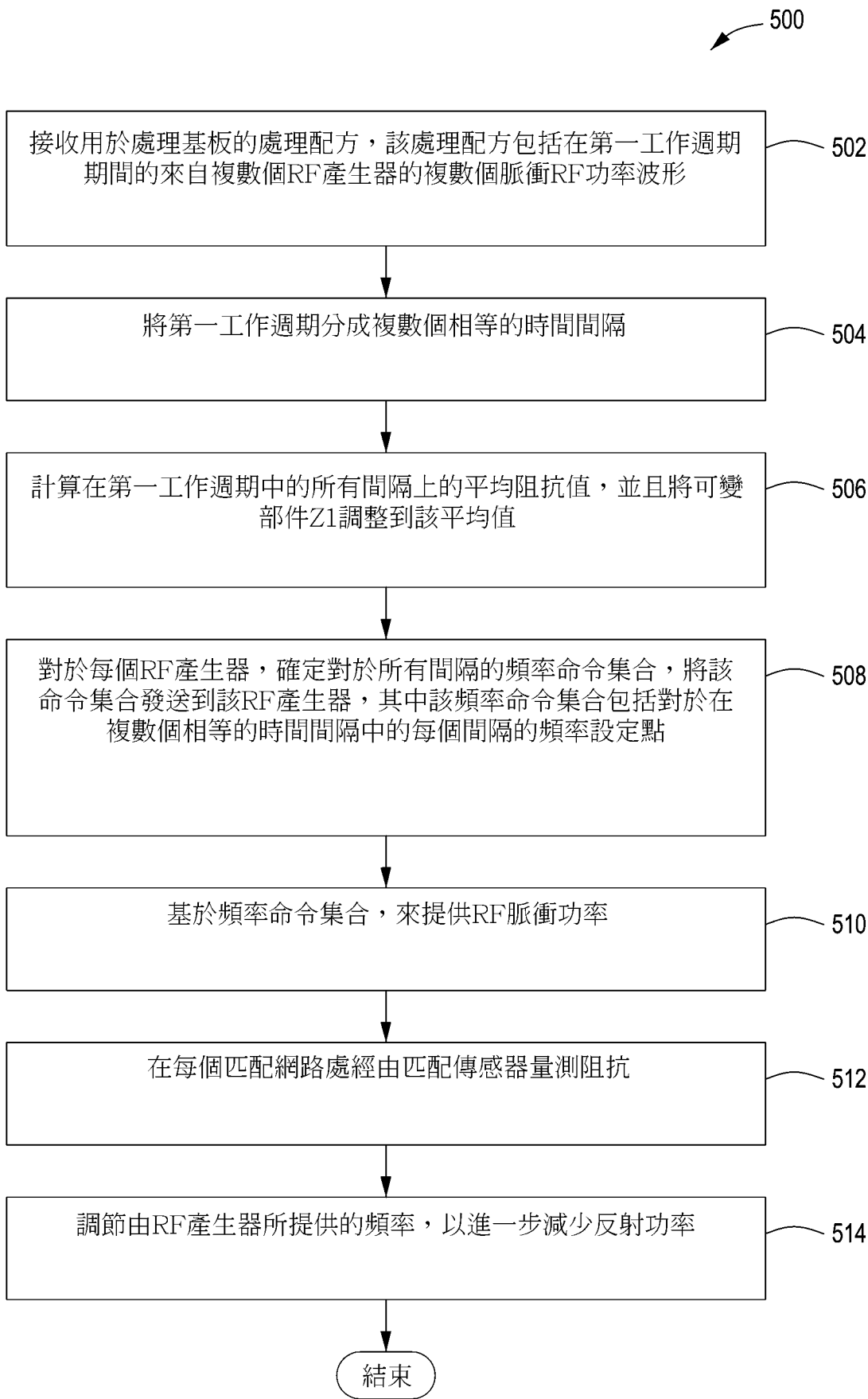


圖5B

