



(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 I856971 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：108131260 (22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 08 月 30 日

(51)Int. Cl. : H05H1/46 (2006.01) H01L21/67 (2006.01)

(30)優先權：2018/08/30 美國 16/117,457

(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)；費賈斯汀 PHI, JUSTIN (US)；拉馬斯瓦米 卡提克 RAMASWAMY, KARTIK (US)；修吉 瑟吉歐富庫達 SHOJI, SERGIO FUKUDA (US)；清水大亮 SHIMIZU, DAISUKE (JP)

(74)代理人：李世章；彭國洋

(56)參考文獻：

TW	I599272B	TW	201722213A
US	2014/0273487A1	US	2016/0126069A1
WO	2016/003758A1	WO	2017/065855A1

審查人員：林家正

申請專利範圍項數：17 項 圖式數：7 共 45 頁

(54)名稱

具有乘數模式的射頻(RF)脈衝阻抗調諧

(57)摘要

本文中提供用於 RF 脈衝反射減少之方法。在一些實施例中，一種用於使用多位準脈衝式 RF 功率在一電漿增強基板處理系統中處理一基板的方法包括：接收用於處理該基板之一處理配方，該處理配方包括來自複數個 RF 產生器的複數個脈衝式 RF 功率波形；使用該主 RF 產生器以產生具有一基頻及一第一工作循環之一電晶體對電晶體邏輯(TTL)訊號；為每一 RF 產生器設定一乘數；將該第一工作循環劃分為一高位準間隔及一低位準間隔；決定用於每一 RF 產生器之一頻率命令集，且將該頻率命令集發送至每一 RF 產生器，其中該頻率命令集包括每一 RF 產生器之一頻率設定點；以及將來自該複數個 RF 產生器之該複數個脈衝式 RF 功率波形提供至一製程腔室。

Methods for RF pulse reflection reduction are provided herein. In some embodiments, a method for processing a substrate in a plasma enhanced substrate processing system using multi-level pulsed RF power includes; receiving a process recipe for processing the substrate that includes a plurality of pulsed RF power waveforms from a plurality of RF generators, using the master RF generator to generate a transistor-transistor logic (TTL) signal having a base frequency and a first duty cycle, setting a multiplier for each RF generator, dividing the first duty cycle into a high level interval and a low level interval, determining a frequency command set for each RF generator and sending the frequency command set to each RF generator, wherein the frequency command set includes a frequency set point for each RF generator; and providing the plurality of pulsed RF power waveforms from the plurality of RF generators to a process chamber.

指定代表圖：

符號簡單說明：

- 100:腔室
 102:圓柱形側壁
 103:底板
 104:蓋
 106:氣體歧管
 108:氣體分配板
 109:節流孔
 110:歧管外殼
 111:氣體供應入口
 112:絕緣環
 114:真空泵
 120:氣體控制板
 130:CPU
 132:記憶體
 134:支援電路
 136:支撐基座
 137:基板
 138:晶圓支撐電極
 140:RF 產生器
 140a:脈衝控制輸入
 142:匹配網路
 144:第一從 RF 產生器
 144a:脈衝控制輸入
 146:匹配網路
 148:RF 產生器
 148a:脈衝控制輸入
 149:匹配網路
 150:從 RF 產生器
 150a:脈衝控制輸入
 151:RF 纜線
 152:匹配網路
 160:控制器
 162:DC 產生器
 164:DC 隔離電容器
 166:DC 隔離電容器
 168:DC 隔離電容器

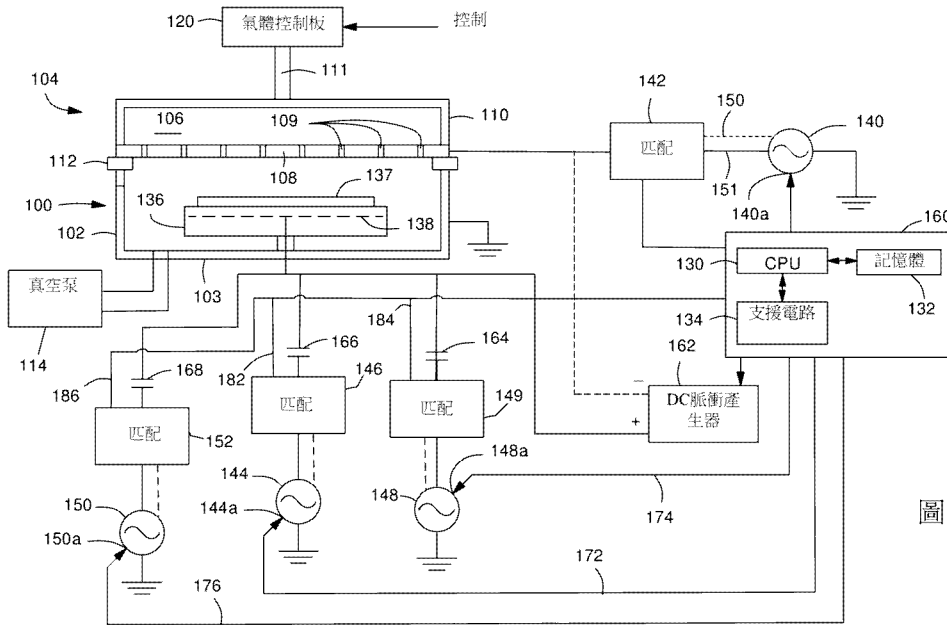


圖1

172:高速鏈路纜線

174:高速鏈路纜線

176:高速鏈路纜線

182:高速鏈路纜線

184:高速鏈路纜線



I856971

【發明摘要】

【中文發明名稱】具有乘數模式的射頻(RF)脈衝阻抗調諧

【英文發明名稱】RADIO FREQUENCY (RF) PULSING IMPEDANCE TUNING
WITH MULTIPLIER MODE

【中文】

本文中提供用於RF脈衝反射減少之方法。在一些實施例中，一種用於使用多位準脈衝式RF功率在一電漿增強基板處理系統中處理一基板的方法包括：接收用於處理該基板之一處理配方，該處理配方包括來自複數個RF產生器的複數個脈衝式RF功率波形；使用該主RF產生器以產生具有一基頻及一第一工作循環之一電晶體對電晶體邏輯(TTL)訊號；為每一RF產生器設定一乘數；將該第一工作循環劃分為一高位準間隔及一低位準間隔；決定用於每一RF產生器之一頻率命令集，且將該頻率命令集發送至每一RF產生器，其中該頻率命令集包括每一RF產生器之一頻率設定點；以及將來自該複數個RF產生器之該複數個脈衝式RF功率波形提供至一製程腔室。

【英文】

Methods for RF pulse reflection reduction are provided herein. In some embodiments, a method for processing a substrate in a plasma enhanced substrate processing system using multi-level pulsed RF power includes; receiving a process recipe for processing the substrate that includes a plurality of pulsed RF power waveforms from a plurality of RF generators, using the master RF generator to generate a transistor-transistor logic (TTL) signal having a base frequency and a first duty cycle, setting a multiplier for

each RF generator, dividing the first duty cycle into a high level interval and a low level interval, determining a frequency command set for each RF generator and sending the frequency command set to each RF generator, wherein the frequency command set includes a frequency set point for each RF generator; and providing the plurality of pulsed RF power waveforms from the plurality of RF generators to a process chamber.

【指定代表圖】第(1)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

- 1 0 0 腔室
- 1 0 2 圓柱形側壁
- 1 0 3 底板
- 1 0 4 蓋
- 1 0 6 氣體歧管
- 1 0 8 氣體分配板
- 1 0 9 節流孔
- 1 1 0 歧管外殼
- 1 1 1 氣體供應入口
- 1 1 2 絕緣環
- 1 1 4 真空泵
- 1 2 0 氣體控制板
- 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 晶圓支撐電極
- 1 4 0 R F 產生器
 - 1 4 0 a 脈衝控制輸入
- 1 4 2 匹配網路
- 1 4 4 第一從 R F 產生器
 - 1 4 4 a 脈衝控制輸入
- 1 4 6 匹配網路
- 1 4 8 R F 產生器
 - 1 4 8 a 脈衝控制輸入
- 1 4 9 匹配網路
- 1 5 0 從 R F 產生器
 - 1 5 0 a 脈衝控制輸入
- 1 5 1 R F 纜線
- 1 5 2 匹配網路
- 1 6 0 控制器
- 1 6 2 D C 產生器
- 1 6 4 D C 隔離電容器
- 1 6 6 D C 隔離電容器
- 1 6 8 D C 隔離電容器
- 1 7 2 高速鏈路纜線
- 1 7 4 高速鏈路纜線
- 1 7 6 高速鏈路纜線
- 1 8 2 高速鏈路纜線

1 8 4 高 速 鏈 路 纜 線

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】具有乘數模式的射頻(RF)脈衝阻抗調諧

【英文發明名稱】RADIO FREQUENCY (RF) PULSING IMPEDANCE

TUNING WITH MULTIPLIER MODE

【技術領域】

【0001】 本揭示案之實施例大體上關於用於處理基板之RF功率輸送方法。

【先前技術】

【0002】 在習知射頻(radio frequency; RF)電漿處理(諸如,在許多半導體元件之製造階段期間使用的射頻電漿處理)中,可經由RF能量源將RF能量提供至基板製程腔室。可以連續的或脈衝波模式產生並提供RF能量。由於RF能量源與製程腔室中所形成之電漿之間的阻抗匹配不良,因此RF能量被反射回RF能量源,導致RF能量的低效使用且浪費能量,有可能損壞製程腔室或RF能量源,且有可能導致相對於基板處理的不一致/不可重複性問題。如此,時常經由固定的或可調諧的匹配網路將RF能量耦合至製程腔室中之電漿,該匹配網路操作以藉由使電漿之阻抗與RF能量源之阻抗更緊密地匹配而使反射之RF能量最小化。匹配網路試圖高效地將RF源之輸出耦合至電漿以便使耦合至電漿之能量的量最大化(例如,稱作調諧RF功率輸送)。因此,匹配網路試圖將總阻抗(亦即,電漿阻抗+腔室阻抗+匹配網路阻抗)調整為與RF功率輸送之輸出阻抗相同。在一些實施例中,RF能量源亦

可能能夠進行頻率調諧，或調整由RF能量源所提供之RF能量的頻率，以便輔助阻抗匹配。

【0003】 在使用以多個功率位準脈衝輸送之多個單獨RF功率訊號的製程腔室中，通常使用同步RF脈衝化。然而，發明者已觀察到，在各種RF脈衝化方案中，發生的多個阻抗變化使得阻抗調諧變得困難。亦即，匹配網路及/Rf產生器無法隨著反射功率改變充分地調諧反射功率。

【0004】 因此，發明者已提供用於RF脈衝化調諧之改良方法及裝置，其除了使用可變電容器/電感器以外還使用一或更多個可變頻率產生器，以便有利地使製程腔室中之RF脈衝反射最小化，該等製程腔室在單個工作循環期間使用以多個功率位準脈衝輸送之多個單獨RF功率訊號。

【發明內容】

【0005】 本文中提供用於RF脈衝反射減少之方法及系統。在一些實施例中，一種用於使用多位準脈衝式RF功率在電漿增強基板處理系統中處理基板的方法包括：接收用於處理該基板之處理配方，該處理配方包括來自複數個RF產生器的複數個脈衝式RF功率波形，其中該複數個RF產生器包括主RF產生器及一或更多個從RF產生器；使用該主RF產生器以產生具有基頻及第一工作循環之電晶體對電晶體邏輯(transistor-transistor logic; TTL)訊號；為每一RF產生器設定乘數，其中該乘數為該基頻之倍數；將該第一工作循環劃分為高位準間隔及低位

準間隔；決定用於每一RF產生器之頻率命令集，且將該頻率命令集發送至每一RF產生器，其中該頻率命令集包括每一RF產生器之頻率設定點；以及根據發送至每一RF產生器之該頻率命令集將來自該複數個RF產生器之該複數個脈衝式RF功率波形提供至製程腔室。

【0006】 在一些實施例中，提供一種其上儲存有指令之非暫時性電腦可讀媒體，當執行該等指令時，該等指令導致執行操作電漿增強基板處理系統之方法，該方法包括：接收用於處理該基板之處理配方，該處理配方包括來自複數個RF產生器的複數個脈衝式RF功率波形，其中該複數個RF產生器包括主RF產生器及一或更多個從RF產生器；使用該主RF產生器以產生具有基頻及第一工作循環之TTL訊號；為每一RF產生器設定乘數，其中該乘數為該基頻之倍數；將該第一工作循環劃分為高位準間隔及低位準間隔；決定用於每一RF產生器之頻率命令集，且將該頻率命令集發送至每一RF產生器，其中該頻率命令集包括每一RF產生器之頻率設定點；以及根據發送至每一RF產生器之該頻率命令集將來自該複數個RF產生器之該複數個脈衝式RF功率波形提供至製程腔室。

【0007】 在一些實施例中，一種基板處理系統包括：複數個RF產生器，該複數個RF產生器經配置以在第一工作循環期間將複數個RF功率波形提供至製程腔室，其中該複數個RF產生器包括主RF產生器及一或更多個從RF產生器；脈衝控制器，該脈衝控制器耦接至該複數個RF產

生器；至少一個匹配網路，該至少一個匹配網路耦接至該複數個RF產生器、該製程腔室及該脈衝控制器中之每一者，其中該至少一個匹配網路包括至少一個量測設備，該至少一個量測設備經配置以量測該複數個RF功率波形及至少一個可變匹配部件的反射功率或阻抗；其中該脈衝控制器或該至少一個匹配網路中之至少一者經配置以：接收用於處理該基板之處理配方；為該複數個RF產生器中之至少一者設定乘數，其中該乘數為該主RF產生器所產生之TTL訊號之基頻的倍數；將該TTL訊號之第一工作循環劃分為高位準間隔及低位準間隔；決定用於每一RF產生器之頻率命令集，且將該頻率命令集發送至每一RF產生器，其中該頻率命令集包括每一RF產生器之頻率設定點；以及根據發送至每一RF產生器之該頻率命令集將來自每一RF產生器之RF功率波形提供至製程腔室。

【0008】 以下描述本揭示案之其他及另外實施例。

【圖式簡單說明】

【0009】 藉由參考在附加圖式中所描繪的本揭示案之說明性實施例，可理解以上簡要概述並在以下更詳細地論述的本揭示案之實施例。然而，附加圖式僅圖示本揭示案之一些實施例，且因此不應被視為對範疇的限制，因為本揭示案可承認其他同等有效的實施例。

【0010】 圖1描繪根據本揭示案之一些實施例的電漿反應器。

【0011】圖2描繪根據本揭示案之一些實施例的主RF產生器及一或更多個從RF產生器之接線圖。

【0012】圖3A至圖3C描繪根據本揭示案之一些實施例之射頻訊號的脈衝波形。

【0013】圖4A至圖4D描繪根據本揭示案之一些實施例的脈衝波形之間的相位變化。

【0014】圖5描繪根據本揭示案之一些實施例的在第一工作循環中之多個脈衝功率波形。

【0015】圖6描繪根據本揭示案之一些實施例的用於採用調諧演算法之例示性裝置。

【0016】圖7描繪根據本揭示案之一些實施例的用於製程腔室中之RF脈衝反射減少之方法的流程圖。

【0017】為了便於理解，在可能的情況下，已使用相同元件符號來表示諸圖中共同的相同元件。諸圖並未按比例繪製，且可為了清楚起見而簡化。一個實施例之元件及特征可有利地併入其他實施例中而無需進一步敘述。

【實施方式】

【0018】本揭示案之實施例提供用於RF脈衝化調諧之改良方法及裝置，其除了使用可變電容器/電感器以外還使用一或更多個可變頻率產生器。特定而言，改良方法及裝置使用至少兩個調諧自由度以藉由使用至少一個可變電容器/電感器以及由一或更多個可變頻率產生器產生的一或更多個可變頻率，來執行阻抗匹配。因為可迅速改變（亦即，以微秒級別）由一或更多個可變頻率產生器產生

的頻率，所以其可迅速調整並調諧至由單個 RF 脈衝循環內總的前向功率之變化所產生的新阻抗。在根據本揭示案之一些實施例中，RF 匹配網路將向 RF 頻率產生器發送頻率命令集。RF 產生器將接著產生用於單個 RF 脈衝循環的具有單個頻率或多個頻率之 RF 脈衝輸出，以便使單個 RF 脈衝循環內之每一間隔的反射功率最小化。可變電容器/電感器將被調諧至所計算出之目標阻抗值。根據本揭示案之實施例藉由除了使用一或更多個可變電容器/電感器以外還使用一或更多個可變頻率產生器而有利地使製程腔室中之 RF 脈衝反射最小化，該等製程腔室使用在單個工作循環期間以多個功率位準脈衝輸送之多個單獨 RF 功率訊號。

【0019】 圖 1 描繪可用以執行本文中所揭示之方法的電漿反應器。該等方法可在電容耦合電漿反應器（例如，如圖 1 中所圖示）或任何其他適當的電漿反應器（諸如，電感耦合電漿反應器）中執行。然而，發明者已觀察到，該等方法在電容耦合電漿反應器（諸如，其中使用高偏置功率（例如，約 2000 W 或更大）及低的源功率（例如，約 500 W 或更小））中可尤其有利，因為不當充電效應可能遠比（例如）電感耦合電漿處理腔室中嚴重。在一些實施例中，發明者已發現，本案之方法在其中 DC 偏置（ V_{DC} ）、 V_{RF} 或電漿鞘電壓中之至少一者為約 1000 V 或高於約 1000 V 的配置中提供了特定益處。

【0020】圖1之反應器包括腔室100，該腔室100由圓柱形側壁102、底板103及蓋104封閉。在一些實施例中，蓋104可為氣體分配噴頭，該氣體分配噴頭包括上覆於氣體分配板108之氣體歧管106，該氣體分配板108具有形成為穿過氣體分配板108之節流孔109。氣體歧管106由具有氣體供應入口111之歧管外殼110封閉。氣體分配噴頭（亦即，蓋104）藉由絕緣環112與圓柱形側壁102電絕緣。真空泵114（諸如，渦輪分子泵）能夠抽空腔室100。氣體控制板120控制不同處理氣體至氣體供應入口111之個別流動速率。經由腔室之底板103進行支撐的支撐基座136可具有絕緣頂表面及內部電極（晶圓支撐電極138）。舉例而言，內部電極可用於將基板137夾緊在支撐基座136之頂表面上。

【0021】可自複數個RF產生器140、144、148及150將功率施加至腔室100。複數個RF產生器140、144、148及150包括主RF產生器140以及一或更多個從RF產生器144、148及150。自主RF產生器140經由阻抗匹配網路142將電漿源功率施加至蓋104（本文中亦稱作氣體分配噴頭）。蓋或氣體分配噴頭由導電材料（諸如，鋁）形成，且因此充當蓋電極。在一些實施例中，主RF產生器140可產生在VHF頻譜之高部分中（諸如，在100MHz至200MHz之範圍中）的VHF功率。主RF產生器140具有使以期望脈衝速率及工作循環產生之功率脈衝化的能力。舉例而言，主RF產生器140具有脈衝控制輸入

140a，用於接收定義脈衝速率及/或工作循環以及由主RF產生器140產生之每一脈衝之相位的（若干）控制訊號。

【0022】 在圖1中所示之實施例中，自第一從RF產生器144經由阻抗匹配網路146，自第二從RF產生器148經由阻抗匹配網路149，以及自第三從RF產生器150經由阻抗匹配網路152將電漿偏置功率或電漿源功率施加至晶圓支撐電極138。舉例而言，第一從RF產生器144可施加電漿源功率，而第二從RF產生器148及第三從RF產生器150可施加電漿偏置功率。一或更多個從RF產生器144、148、150可產生在低頻(low frequency; LF)頻譜至高頻(high frequency; HF)頻譜之低部分中的HF或LF，諸如，在30kHz至5MHz之範圍中。舉例而言，第一從RF產生器144、第二從RF產生器148及第三從RF產生器150可分別產生約2MHz、約400kHz及約100kHz之功率。一或更多個從RF產生器144、148、150具有使以期望脈衝速率及工作循環產生之功率脈衝化的能力。舉例而言，一或更多個從RF產生器144、148、150具有脈衝控制輸入144a、148a、150a，用於接收定義脈衝速率及/或工作循環以及由一或更多個從RF產生器144、148、150產生之每一脈衝之相位的（若干）控制訊號。可使一或更多個從RF產生器144、148、150獨立地接受脈衝、定相及/或控制工作循環。另外，

可同步地或異步地使一或更多個從RF產生器144、148、150接受脈衝。

【0023】 在一些實施例中，可藉由一或更多個電容器及/或電感器形成阻抗匹配網路142、146、149及152。可以電子方式或機械方式調諧電容器之值，以調整阻抗匹配網路142、146、149及152中之每一者的匹配。在較低功率系統中，可以電子方式而不是機械方式來調諧一或更多個電容器。在一些實施例中，阻抗匹配網路142、146、149及152可具有可調諧電感器。在一些實施例中，阻抗匹配網路142、146、149及152中所使用之電容器中的一或更多者可為一或更多個固定電容器或串聯電容器。在其他實施例中，阻抗匹配網路142、146、149及152中所使用之電容器中的一或更多者可為可變電容器，可以電子方式或機械方式調諧該可變電容器，以調整阻抗匹配網路142、146、149及152的匹配。在一些實施例中，阻抗匹配網路142、146、149及152中之一或更多者可具有接地之電容分路。

【0024】 圖2描繪根據圖1中所示實施例之主RF產生器及一或更多個從RF產生器之接線圖。主RF產生器140可經由高速鏈路纜線153及RF纜線155連接至阻抗匹配網路142。主RF產生器140可經由高速鏈路纜線172連接至第一從RF產生器144。主RF產生器140可經由高速鏈路纜線174連接至第二從RF產生器148。主RF產生器140可經由高速鏈路纜線176連接至第三從RF產生器

150。主RF產生器140可分別經由高速鏈路纜線153、182及184連接至阻抗匹配網路142、146及152。

【0025】第一從RF產生器144可經由RF纜線202及高速鏈路纜線212連接至阻抗匹配網路146。第二從RF產生器148可經由RF纜線204及高速鏈路纜線214連接至阻抗匹配網路149。第三從RF產生器150可經由RF纜線206及高速鏈路纜線216連接至阻抗匹配網路152。

【0026】上述阻抗匹配網路僅為說明性的，且可根據本文所提供之教示利用並調諧具有用於調諧匹配網路之一或更多個可調整元件之阻抗匹配網路的其他各種配置。舉例而言，圖6描繪根據本揭示案之一些實施例的用於採用智慧調諧演算法之例示性裝置。RF產生器602為圖1之複數個RF產生器140、144、148及150之示意性表示。

【0027】在圖6中，RF產生器602可經由RF纜線151以及一或更多個高速鏈路纜線153連接至RF匹配網路604。RF匹配網路604為一或更多個阻抗匹配網路142、146、149、152之示意性表示。RF匹配網路604可包括一或更多個匹配感測器或阻抗量測設備（例如，VI探針/感測器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可包括一或更多個可變電容器及/或電感器以提供期望的阻抗匹配。可使用複數個串聯纜線將時序訊號供應至（若干）RF產生器602及RF匹配網路604。因此，在上述配置

中，可藉由將可變阻抗匹配部件 608 調諧至所計算出之目標阻抗（如下所論述），且變化由產生器提供之頻率/功率以便提供兩個(2)調諧自由度（亦即，可變阻抗匹配部件 608 及可變頻率），來減少/最小化反射功率（亦即，可調諧系統）。

【0028】 控制器 160 可程式化以將脈衝控制訊號施加至複數個 RF 產生器 140、144、148、150 之脈衝控制輸入 140a、144a、148a、150a 中的每一者，以產生主 RF 產生器 140 以及從 RF 產生器 144、148、150 之脈衝之間期望的相位超前或滯後關係及/或工作循環關係。控制器 160 亦可控制工具/製程腔室之其他態樣。儘管在圖 1 中被示為單獨部件，但在一些實施例中，可將控制器 160 內部安置在每一 RF 產生器之內。可在主 RF 產生器（例如，主 RF 產生器 140）處產生同步訊號，並將其發送至其他從產生器（例如，從 RF 產生器 144、148 及/或 150）。

【0029】 在一些實施例中，RF 產生器 140、144、148 及 150、阻抗匹配網路 142、146、149 及 152 及/或控制器 160 包括中央處理單元 (central processing unit; CPU) 130、複數個支援電路 134 及記憶體 132。雖然相對於具有 CPU、支援電路及記憶體之電腦描述了複數個 RF 產生器 140、144、148 及 150、阻抗匹配網路 142、146、149 及 152 以及控制器 160 的本案之例示性實施例，但一般熟習此項技藝者應認識到，可以多種方式來實施複數個 RF 產生器 140、144、148 及 150、阻抗匹配網

路 142、146、149 及 152 以及控制器 160，包括作為專用介面電路 (application specific interface circuit; ASIC)、現場可程式化閘陣列 (field-programmable gate array; FPGA)、晶片上系統 (system-on-a-chip; SOC) 及其類似者。亦可將控制器 160 之各種實施例整合在具有如此項技藝中所已知之對應輸入/輸出介面的其他處理工具控制器內。

【0030】 支援電路 134 可包括顯示設備以及其他電路，以支援 CPU 130 之功能。此些電路可包括時鐘電路、快取記憶體、電源供應器、網路卡、視訊電路及其類似者。

【0031】 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、硬碟驅動器、光學驅動器及/或其他形式的數位儲存器。記憶體 132 經配置以儲存作業系統，及次晶圓廠控制模組。作業系統執行以控制複數個 RF 產生器 140、144、148 及 150、阻抗匹配網路 142、146、149 及 152 以及控制器 160 之一般操作，包括促進用以控制一或更多個 RF 產生器 140、144、148 及 150 或阻抗匹配網路 142、146、149 及 152 的各種進程、應用程式及模組之執行，以便執行本文所論述的方法（例如，以下所論述之方法 700）。

【0032】 另外，DC 產生器 162 可耦接至晶圓支持電極 138 或蓋 104（或此兩者）。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 可提供脈衝式 DC 功率。DC 產生器之脈衝

重複速率、相位及工作循環受控制器 160 控制。可提供 DC 隔離電容器 164、166、168 以分別將每一 RF 產生器 148、144、150 與 DC 產生器 162 隔離。由 DC 產生器產生之 DC 訊號可與由 RF 產生器 140、144、148 及 150 產生之 RF 訊號同步，以提供益處，諸如，基板 137 上減少的充電，或使用形成於電漿反應器中之電漿得以改良的基板蝕刻速率控制。

【0033】圖 3A 描繪時域波形圖，其可反映出複數個 RF 產生器 140、144、148、150 中之每一者的脈衝式 RF 輸出，從而示出脈衝式 RF 輸出之脈衝包絡，其特征在於由控制器 160 分別針對每一 RF 產生器 140、144、148、150 單獨控制的以下參數：脈衝持續時間 t_P 、脈衝「接通」時間 t_{ON} 、脈衝「斷開」時間 t_{OFF} 、脈衝頻率 $1/t_P$ ，及脈衝工作循環 (t_{ON}/t_P) 百分比。脈衝持續時間 t_P 為 t_{ON} 與 t_{OFF} 之總和。

【0034】圖 3B 及圖 3C 描繪兩個 RF 脈衝式訊號之同時時域波形，該兩個 RF 脈衝式訊號以使得其具有相同相位及工作循環，且因此其間的相位差為零的方式同步在一起。圖 3B 及圖 3C 中所描繪之例示性實施例為第一脈衝式 RF 訊號（例如，脈衝式主訊號）與第二脈衝式 RF 訊號（例如，脈衝式從訊號）之間的一種例示性同步形式。如圖所示，每一脈衝式訊號之相位以及工作循環均相同。

【0035】在本揭示案之一些實施例中，由複數個 RF 產生器 140、144、148、150 提供之脈衝式訊號的相位不

同。圖 4 A 至圖 4 D 圖示可如何藉由控制器 160 改變相位差，且分別描繪在相位差為 0° 、 90° 、 180° 及 270° 時的源功率波形或主功率波形與偏置功率波形或從功率波形之疊加，其中相位差是由第二脈衝輸出滯後於第一脈衝輸出的量來定義。圖 4 A 對應於圖 3 B 之零相位差之實例。圖 4 B 描繪其中偏置功率脈衝輸出滯後於源功率脈衝輸出 90° 的情況。圖 4 C 描繪其中偏置功率脈衝輸出滯後於源功率脈衝輸出 180° 的情況。圖 4 D 描繪其中偏置功率脈衝輸出滯後於源功率脈衝輸出 270° 的情況。儘管圖 4 A 至圖 4 B 僅描繪了具有變化相位之兩個脈衝式 RF 訊號，但在根據本揭示案之實施例中亦可包括具有變化相位之三個或更多個脈衝式 RF 訊號。

【0036】 在一些實施例中，藉由控制 RF 包絡之相位超前或滯後，可在使電漿脈衝化的同時增強蝕刻速率。當源及偏置獨立異相地脈衝或以變化之工作循環脈衝時，極高頻率 (very high frequency; VHF) 及低頻 (low frequency; LF) 的不同電漿動力學允許在整個脈衝上的更佳電漿填充。在一些實施例中，結合約 2 MHz 之第一偏置頻率、約 400 kHz 之第二偏置頻率及約 100 kHz 之第三偏置頻率來使用約 162 MHz 之源頻率的 VHF 組合。

【0037】 主 RF 產生器 140 可產生具有基頻及第一工作循環之電晶體對電晶體邏輯 (transistor-transistor logic; TTL) 訊號。圖 5 描繪與用以處理基板之基板處理配方相關聯的脈衝式 RF 功率之第一工作循環。在圖 5 中所

示實例中，基板處理配方要求提供四個單獨的脈衝式RF波形以便處理基板。圖5描繪根據本揭示案之一些實施例的可以多個功率位準連續地提供或脈衝之多個單獨RF功率訊號。圖5描繪使用多級脈衝化(multi-level pulsing; MLP)用於多頻率RF混合的多衝程循環脈衝(Multi-Stroke Cycle Pulse; MSCP)。在一些實施例中，可使用單位準脈衝化(single level pulsing; SLP)(亦即，接通/斷開脈衝波形)及連續波形(continuous waveform; CW)。在一些實施例中，可使用雙位準脈衝化(dual level pulsing; DLP)(亦即，高功率/低功率脈衝波形)。在一些實施例中，可使用三重位準脈衝化(triple level pulsing; TLP)(亦即，高功率/低功率/斷開脈衝波形)。

【0038】在圖5中，示出四個單獨的RF功率波形：主RF功率波形502、第一從RF功率波形504、第二從RF功率波形506及第三從RF功率波形508。如圖所示，主RF功率波形502具有TLP波形，第一從RF功率波形504具有TLP波形，第二從RF功率波形506具有DLP波形，且第三從RF功率波形508具有SLP波形。

【0039】可以獨立地且彼此異相地以多個功率位準或藉由根據本揭示案之實施例的變化工作循環來提供分離的四個RF功率波形502、504、506及508中之每一者。可藉由源RF產生器及偏置RF產生器(例如，複數個RF產生器140、144、148及150)中之一或更多者提供RF

功率波形 502、504、506 及 508。在存在兩個或更多個脈衝式 RF 功率波形之實施例中，可彼此同步地脈衝輸送單獨的脈衝式 RF 功率波形。在一些實施例中，可異步地脈衝輸送單獨的 RF 功率波形。

【0040】 可將四個單獨的 RF 功率波形中之每一者設定成以為 TTL 訊號之基頻之整數倍的頻率脈衝輸送。在一些實施例中，諸如，在標準乘數模式下，所有從 RF 功率波形皆具有相同脈衝頻率。在一些實施例中，諸如，在通用乘數模式下，每一從 RF 功率波形皆可具有相同的或不同的脈衝頻率。主 RF 功率波形 502 可具有為一之乘數（亦即，與 TTL 訊號之基頻相同的頻率）。在圖 5 中，主 RF 功率波形 502 具有為二之乘數（亦即，主 RF 功率波形以兩倍於 TTL 訊號之基頻的頻率脈衝輸送）。第一從 RF 功率波形 504 具有為一之乘數。第二從 RF 功率波形 506 具有為三之乘數。第三從 RF 功率波形 508 具有為四之乘數。

【0041】 在圖 5 中，在時間 t_0 處引入 TTL 訊號且其具有第一工作循環 520。可將第一工作循環 520 劃分為高位準間隔 522 及低位準間隔 524。高位準間隔 522 與 TTL 訊號之上升 526 及下降 527 相對應。低位準間隔 524 與 TTL 訊號之下降 527 及後一上升 528 相對應。可在時間 t_0 處引入主 RF 功率波形 502 且其可包括處在第一功率位準之第一功率脈衝 510、處在第二功率位準之第二功率脈衝 512 及處在零功率位準之第三功率脈衝 514。

【0042】 在一些實施例中，主RF功率波形502之頻率可為約2MHz至約200MHz。在一些實施例中，主RF功率波形502之功率位準可為約200瓦特至約5.0千瓦（例如，3.6千瓦）。若脈衝輸送主RF功率波形502，則第二功率位準之值可為第一功率位準的約0%至100%。在其他實施例中，第二功率位準可大於第一功率位準。

【0043】 亦可在時間 t_0 處（如所示）或在延遲週期525之後引入第一從RF功率波形504。第一從RF功率波形504可包括處在第一功率位準之第一功率脈衝530、處在第二功率位準之第二功率脈衝532及處在第三功率位準之第三功率脈衝534。如圖5中所圖示，第一功率脈衝530在第二功率脈衝532及第三功率脈衝534之前。視需要，可以彼次序或以不同次序提供額外功率脈衝。如圖5中所示，可以高功率位準提供第一功率脈衝530，可以低於第一功率脈衝530之低功率位準提供第二功率脈衝532，且可以零功率位準提供第三功率脈衝534。在一些實施例中，施加每一功率脈衝530、532及534之每一時間週期的長度可彼此不同。在其他實施例中，施加每一功率脈衝530、532及534之每一時間週期的長度可彼此相等。在一些實施例中，可以約1MHz至約3MHz之頻率提供第一從RF功率波形504。在其他實施例中，可使用如上所述之其他頻率。

【0044】 亦可在時間 t_0 處（如所示）或在延遲週期525之後引入第二從RF功率波形506。在一些實施例中，第

二從RF功率波形506可包括與以上相對於主RF功率波形502及/或第一從RF功率波形504所述特征類似的特征。在一些實施例中，第二從RF功率波形506可包括處在第一功率位準之第一功率脈衝540及處在第二功率位準之第二功率脈衝542。如圖5中所示，可以低功率位準提供第一功率脈衝540，且可以高於第一功率位準540之高功率位準提供第二功率脈衝532。

【0045】亦可在時間 t_0 處或在延遲週期525之後（如圖所示）引入第三從RF功率波形508。在一些實施例中，第三從RF功率波形508可包括與以上相對於主RF功率波形502、第一從RF功率波形504或第二從RF功率波形506所述特征類似的特征。在一些實施例中，第三從RF功率波形508可包括處在第一功率位準之第一功率脈衝550及處在第二功率位準之第二功率脈衝552。如圖5中所示，可以零功率位準提供第一功率脈衝550，且可以高功率位準提供第二功率脈衝552。

【0046】在一些實施例中，單獨的RF功率波形之工作循環同步。在一些實施例中，TTL訊號可為由DC產生器162提供之時序訊號。

【0047】在圖5中，提供高位準間隔522及低位準間隔524。CPU 130經配置以計算高平均阻抗值，其為高位準間隔內之平均阻抗值。CPU經配置以計算低平均阻抗值，其為低位準間隔內之平均阻抗值。CPU 130經配置以基於所計算之高平均阻抗值及低平均阻抗值來計算目

標阻抗值。在一些實施例中，目標阻抗值為高及低平均阻抗值的平均值。在一些實施例中，相比於低平均阻抗值，目標阻抗值更接近高平均阻抗值。在一些實施例中，相比於高平均阻抗值，目標阻抗值更接近低平均阻抗值。一或更多個RF匹配網路經配置以調諧至目標阻抗以便有利地使平均反射功率最小化。在TTL訊號之每一新工作循環，系統基於所提供之總的前向功率進行調諧以補償新的反射功率。

【0048】 為了進一步使反射功率最小化，發明者已開發出一種方法，該方法利用上述裝置，該上述裝置使用圖6中所示並在以下描述之方法更快地調諧複數個RF功率波形以使平均反射功率最小化。在根據本揭示案之實施例中，可藉由一或更多個RF匹配網路604、一或更多個RF產生器602或控制器160來執行方法700。

【0049】 方法700在702處開始，此處接收用於處理基板之處理配方。該處理配方包括來自複數個RF產生器140、144、148及150之複數個脈衝式RF功率波形（亦即，502、504、506及508）。複數個RF產生器包括主RF產生器140以及一或更多個從RF產生器144、148及150。在704處，主RF產生器140可用以產生具有基頻及第一工作循環之TTL訊號。在706處，為複數個RF產生器140、144、148及150中之每一者設定乘數。在一些實施例中，為複數個RF產生器140、144、148及150中之至少一者設定乘數。該乘數為整數。在708處，將第

一工作循環劃分為高位準間隔522及低位準間隔524。高位準間隔522與TTL訊號之偵測到上升至TTL訊號之偵測到下降的持續時間相對應。低位準間隔524與TTL訊號之偵測到下降至TTL訊號之偵測到之後一上升的持續時間相對應。在一些實施例中，CPU 130能夠接收TTL上升及TTL下降時序。

【0050】 在710處，決定用於每一RF產生器之頻率命令集，其中頻率命令集包括頻率設定點。在一些實施例中，藉由RF匹配網路（例如，RF匹配網路604）決定頻率命令集。頻率命令集包括每一工作循環之頻率及/或功率設定點。在一些實施例中，由RF匹配網路經由以通訊方式耦接至RF匹配網路及RF產生器的控制器（例如，控制器160），間接地將頻率命令集發送至RF產生器。將用於RF產生器140、144、148及150中之每一者的已決定頻率命令集發送至與該頻率命令集相關聯之對應RF產生器140、144、148及150。在一些實施例中，可經由高速鏈路纜線153、212、214、216將頻率命令集發送至相應的產生器。在其他實施例中，可經由控制器160將頻率命令集發送至相應的產生器。

【0051】 決定頻率命令集可包括CPU 130計算高位準間隔內之高平均阻抗值以及低位準間隔內之低平均阻抗值。CPU 130可接著基於高平均阻抗值及低平均阻抗值計算目標阻抗。可使用安置於一或更多個RF匹配網路內之可變匹配部件（例如，可變電容器/電感器）將一或更

多個 RF 匹配網路調諧至目標阻抗。可變阻抗匹配部件包括可變電容器或電感器中之至少一者。

【0052】 在一些實施例中，將阻抗匹配網路 142、146、149 及 152 中之可變阻抗匹配部件 608 中的每一者調諧至所計算出之同一目標阻抗值。圖 7 描述在單個工作循環期間發生之處理，可在必要時重複該處理以處理基板。在根據本揭示案之一些實施例中，處理配方可包括所有工作循環之 RF 脈衝功率波形，該等 RF 脈衝功率波形在每一間隔處之頻率及功率可能並不總是彼此相同。因此，可如上所述單獨地分析並劃分每一個別工作循環。

【0053】 在 712 處，根據在第一工作循環期間發送至每一產生器之頻率命令集將來自複數個 RF 產生器之複數個脈衝式 RF 功率波形（例如，502、504、506 及 508）提供至製程腔室。亦即，將以在 710 處決定之頻率設定點提供 RF 脈衝功率。在一些情況下，若前一時間間隔之前一設定點等於後一時間間隔中的設定點，則無需進行調整，除非存在基於量測值對頻率的調整以減少反射功率，以下將描述此情況。

【0054】 在 712 後，藉由匹配感測器 606 在每一 RF 匹配網路 604 處量測阻抗 / 反射功率。可基於在 712 之後量測之阻抗調整由 RF 產生器中之一或更多者提供的頻率及 / 或功率，以進一步減少反射功率。可經由高速鏈路纜線 153、212、214、216 發送此些微頻調整。重複該方法並返回至 712，以在後一時間間隔之開始處提供 RF 脈衝

功率波形，量測反射/功率阻抗，且調整頻率/功率直至基板之處理完成為止，在此點處方法在714處結束。

【0055】藉由電漿反應器之一或更多個處理器來執行方法700，例如，阻抗匹配網路（亦即，匹配器）中之一或更多者的處理器、RF產生器中之一或更多者的處理器、脈衝控制器之處理器，等等。處理器之實例包括特殊應用積體電路(application specific integrated circuit; ASIC)、可程式化邏輯元件(programmable logic device; PLD)、微處理器、微控制器、中央處理單元(central processing unit; CPU)，等等。

【0056】所揭示實施例可採用涉及儲存於電腦系統中之資料的各種電腦實施操作。此些操作為需要物理量之物理操縱的操作。形成實施例之一部分的本文所述操作中之任一者皆為有用的機器操作。實施例亦關於用於執行此些操作之設備或裝置。該裝置可經特別構造用於專用電腦。當被定義為專用電腦時，電腦亦可執行並非專用之一部分之其他處理、程式執行或應用常式，而同時仍能夠出於專用目的操作。或者，操作可由通用電腦處理，該通用電腦由儲存於電腦記憶體、快取記憶體中或經由網路獲得的一或更多個電腦程式選擇性地啟動或配置。當經由網路獲得資料時，資料可由網路上之其他電腦（例如，計算資源雲端）處理。

【0057】亦可將一或更多個實施例製造為非暫時性電腦可讀媒體上之電腦可讀程式碼。電腦可讀媒體為可儲存

資料（該資料後來可被電腦系統讀取）的任何資料儲存器。電腦可讀媒體之實例包括硬碟驅動器、網路附接儲存器（network attached storage; NAS）、ROM、RAM、壓縮光碟 ROM（compact disc-ROM; CD-ROM）、可刻錄 CD（CD-R）、可擦寫 CD（CD-RW）、磁帶以及其他光學的及非光學的資料儲存設備。電腦可讀媒體可包括電腦可讀有形媒體，該電腦可讀有形媒體分佈於網路耦接之電腦系統上，使得以分散式方式儲存並執行電腦可讀程式碼。

【0058】 雖然前文針對本揭示案之實施例，但可在不脫離本揭示案之基本範疇的情況下設計出本揭示案之其他及另外實施例。

【符號說明】

【0059】

100 腔室

102 圓柱形側壁

103 底板

104 蓋

106 氣體歧管

108 氣體分配板

109 節流孔

110 歧管外殼

111 氣體供應入口

112 絕緣環

- 1 1 4 真空泵
- 1 2 0 氣體控制板
- 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 晶圓支撐電極
- 1 4 0 R F 產生器
- 1 4 0 a 脈衝控制輸入
- 1 4 2 匹配網路
- 1 4 4 第一從 R F 產生器
- 1 4 4 a 脈衝控制輸入
- 1 4 6 匹配網路
- 1 4 8 R F 產生器
- 1 4 8 a 脈衝控制輸入
- 1 4 9 匹配網路
- 1 5 0 從 R F 產生器
- 1 5 0 a 脈衝控制輸入
- 1 5 1 R F 纜線
- 1 5 2 匹配網路
- 1 5 3 高速鏈路纜線
- 1 5 5 R F 纜線
- 1 6 0 控制器

- 1 6 2 D C 產 生 器
- 1 6 4 D C 隔 離 電 容 器
- 1 6 6 D C 隔 離 電 容 器
- 1 6 8 D C 隔 離 電 容 器
- 1 7 2 高 速 鏈 路 纜 線
- 1 7 4 高 速 鏈 路 纜 線
- 1 7 6 高 速 鏈 路 纜 線
- 1 8 2 高 速 鏈 路 纜 線
- 1 8 4 高 速 鏈 路 纜 線
- 2 0 2 R F 纜 線
- 2 0 4 R F 纜 線
- 2 0 6 R F 纜 線
- 2 1 2 高 速 鏈 路 纜 線
- 2 1 4 高 速 鏈 路 纜 線
- 2 1 6 高 速 鏈 路 纜 線
- 5 0 2 脈 衝 式 R F 功 率 波 形
- 5 0 4 脈 衝 式 R F 功 率 波 形
- 5 0 6 脈 衝 式 R F 功 率 波 形
- 5 0 8 脈 衝 式 R F 功 率 波 形
- 5 1 0 第 一 功 率 脈 衝
- 5 1 2 第 二 功 率 脈 衝
- 5 1 4 第 三 功 率 脈 衝
- 5 1 8 電 晶 體 對 電 晶 體 邏 輯
- 5 2 0 第 一 工 作 循 環

- 5 2 2 高位準間隔
- 5 2 4 低位準間隔
- 5 2 6 上升
- 5 2 7 下降
- 5 2 8 後一上升
- 5 3 0 第一功率脈衝
- 5 3 2 第二功率脈衝
- 5 3 4 第三功率脈衝
- 5 4 0 第一功率脈衝
- 5 4 2 第二功率脈衝
- 5 5 0 第一功率脈衝
- 5 5 2 第二功率脈衝
- 6 0 2 R F 產生器
- 6 0 4 R F 匹配網路
- 6 0 6 匹配感測器
- 6 0 8 阻抗匹配部件
- 6 1 0 固定部件
- 7 0 0 方法
- 7 0 2 步驟
- 7 0 4 步驟
- 7 0 6 步驟
- 7 0 8 步驟
- 7 1 0 步驟
- 7 1 2 步驟

7 1 4 步 驟

【生物材料寄存】

【 0 0 6 0 】 國內寄存資訊 (請依寄存機構、日期、號碼順序註記)

無

【 0 0 6 1 】 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】 一種用於使用多位準脈衝式 RF 功率在一電漿增強基板處理系統中處理一基板的方法，包括以下步驟：

接收用於處理該基板之一處理配方，該處理配方包括來自複數個 RF 產生器的複數個脈衝式 RF 功率波形，其中該複數個 RF 產生器包括一主 RF 產生器及一或更多個從 RF 產生器；

使用該主 RF 產生器以產生具有一基頻及一第一工作循環之一電晶體對電晶體邏輯 (TTL) 訊號，其中該基頻是用於一脈衝 RF 功率波形的一頻率；

為該複數個 RF 產生器中之每一者設定一乘數，其中該乘數為該基頻之一倍數；

將該第一工作循環劃分為一高位準間隔及一低位準間隔；

計算該高位準間隔內之一高平均阻抗值及該低位準間隔內之一低平均阻抗值；

藉由基於該高平均阻抗值及該低平均阻抗值計算一目標阻抗並將一或更多個 RF 匹配網路調諧至該目標阻抗來決定用於該複數個 RF 產生器中之每一者之一頻率命令集，且將該頻率命令集發送至該複數個 RF

產生器中之每一者，其中該頻率命令集包括該複數個 RF 產生器中之每一者之一頻率設定點；以及

根據發送至該複數個 RF 產生器中之每一者之該頻率命令集將來自該複數個 RF 產生器之該複數個脈衝式 RF 功率波形提供至一製程腔室。

【第2項】如請求項 1 所述之方法，進一步包括以下步驟：

調整由該複數個 RF 產生器中之至少一者提供的一頻率或功率。

【第3項】如請求項 2 所述之方法，其中將該一或更多個 RF 匹配網路調諧至該目標阻抗的步驟包括以下步驟：將安置於該一或更多個 RF 匹配網路內之一可變匹配部件調諧至該目標阻抗。

【第4項】如請求項 3 所述之方法，其中被調諧至該目標阻抗之該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5項】如請求項 1 所述之方法，其中該頻率命令集由與該複數個 RF 產生器中之每一者相關聯之該一或更多個 RF 匹配網路決定。

【第6項】如請求項 5 所述之方法，其中經由一高速鏈路纜線將該頻率命令集發送至該複數個 RF 產生器中之每一者，該高速鏈路纜線直接地且以通訊方式耦接

該一或更多個 RF 匹配網路及該複數個 RF 產生器中之每一者。

【第7項】 如請求項 5 所述之方法，其中由該一或更多個 RF 匹配網路經由一控制器間接地將該頻率命令集發送至該複數個 RF 產生器中之每一者，該控制器以通訊方式耦接至該一或更多個 RF 匹配網路及該複數個 RF 產生器中之每一者。

【第8項】 如請求項 1 至 7 中任一項所述之方法，其中該高位準間隔與該電晶體對電晶體邏輯訊號之一偵測到上升至一偵測到下降的一持續時間相對應。

【第9項】 如請求項 1 至 7 中任一項所述之方法，其中該低位準間隔與該電晶體對電晶體邏輯訊號之一偵測到下降至一偵測到上升的一持續時間相對應。

【第10項】 如請求項 1 至 7 中任一項所述之方法，進一步包括以下步驟：

自該主 RF 產生器接收一時序訊號，以使來自該一或更多個從 RF 產生器之該複數個 RF 功率波形同步。

【第11項】 如請求項 1 至 7 中任一項所述之方法，其中可獨立地設定該複數個 RF 產生器中之每一者之該乘數。

【第12項】 如請求項 1 至 7 中任一項所述之方法，其中該複數個 RF 功率波形中之至少一者為以多個功率

位準脈衝輸送之一三重位準脈衝化(TLP)波形。

【第13項】 一種其上儲存有指令之非暫時性電腦可讀媒體，該等指令當被執行時，導致執行操作一電漿增強基板處理系統之一方法，該方法包括以下步驟：

自複數個 RF 產生器接收用於處理該基板之一處理配方，該處理配方包括複數個脈衝式 RF 功率波形，其中該複數個 RF 產生器包括一主 RF 產生器及一或更多個從 RF 產生器；

使用該主 RF 產生器以產生具有一基頻及一第一工作循環之一電晶體對電晶體邏輯訊號，其中該基頻是用於一脈衝 RF 功率波形的一頻率；

為該複數個 RF 產生器中之每一者設定一乘數，其中該乘數為該基頻之一倍數；

將該第一工作循環劃分為一高位準間隔及一低位準間隔；

計算該高位準間隔內之一高平均阻抗值；

計算該低位準間隔內之一低平均阻抗值；

藉由基於該高平均阻抗值及該低平均阻抗值計算一目標阻抗並將一或更多個 RF 匹配網路調諧至該目標阻抗來決定用於該複數個 RF 產生器中之每一者之一頻率命令集，且將該頻率命令集發送至該複數個 RF

產生器中之每一者，其中該頻率命令集包括該複數個 R F 產生器中之每一者之一頻率設定點；以及

根據發送至該複數個 R F 產生器中之每一者之該頻率命令集將來自該複數個 R F 產生器之該複數個脈衝式 R F 功率波形提供至一製程腔室。

【第 14 項】 如請求項 13 所述之非暫時性電腦可讀媒體，其中所執行之該方法進一步包括以下步驟：

將該一或更多個 R F 匹配網路中之可變匹配部件調諧至該目標阻抗。

【第 15 項】 如請求項 14 所述之非暫時性電腦可讀媒體，其中被調諧至該目標阻抗之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 16 項】 如請求項 13 至 15 中任一項所述之非暫時性電腦可讀媒體，其中該頻率命令集由該一或更多個 R F 匹配網路決定。

【第 17 項】 一種基板處理系統，包括：

複數個 R F 產生器，該複數個 R F 產生器經配置以在一第一工作循環期間將複數個 R F 功率波形提供至一製程腔室，其中該複數個 R F 產生器包括一主 R F 產生器及一或更多個從 R F 產生器；

一脈衝控制器，該脈衝控制器耦接至該複數個 R F 產生器；

至少一個匹配網路，該至少一個匹配網路耦接至該複數個 RF 產生器、該製程腔室及該脈衝控制器中之每一者，其中該至少一個匹配網路包括至少一個量測設備，該至少一個量測設備經配置以量測該複數個 RF 功率波形及至少一個可變匹配部件的反射功率或阻抗；

其中該脈衝控制器或該至少一個匹配網路中之至少一者經配置以：

接收用於處理該基板之一處理配方；

為該複數個 RF 產生器中之至少一者設定一乘數，其中該乘數為該主 RF 產生器所產生之一電晶體對電晶體邏輯訊號之一基頻的一倍數，其中該基頻是用於一脈衝 RF 功率波形的一頻率；

將該電晶體對電晶體邏輯訊號之一第一工作循環劃分為一高位準間隔及一低位準間隔；

計算該高位準間隔內之一高平均阻抗值；

計算該低位準間隔內之一低平均阻抗值；

藉由基於該高平均阻抗值及該低平均阻抗值計算一目標阻抗並將一或更多個 RF 匹配網路調諧至該目標阻抗來決定用於該複數個 RF 產生器中之每一者之一頻率命令集，且將該頻率命令集發送至該複數個 RF 產生器中之每一者，其中該頻率命令集包

括該複數個 R F 產生器中之每一者之一頻率設定點；
以及

根據發送至該複數個 R F 產生器中之每一者之該
頻率命令集將來自該複數個 R F 產生器中之每一者
之一 R F 功率波形提供至該製程腔室。

【發明圖式】

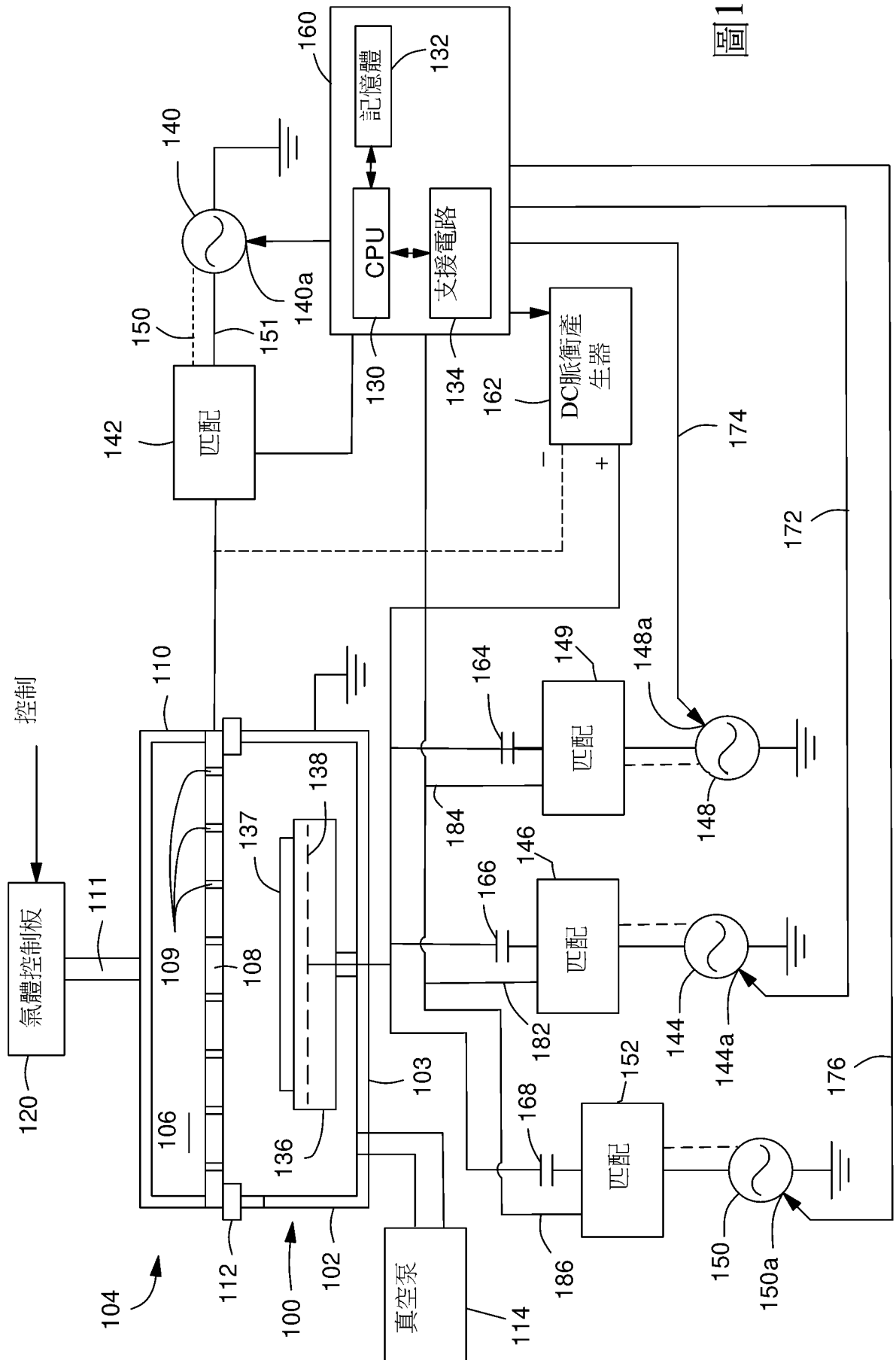


圖1

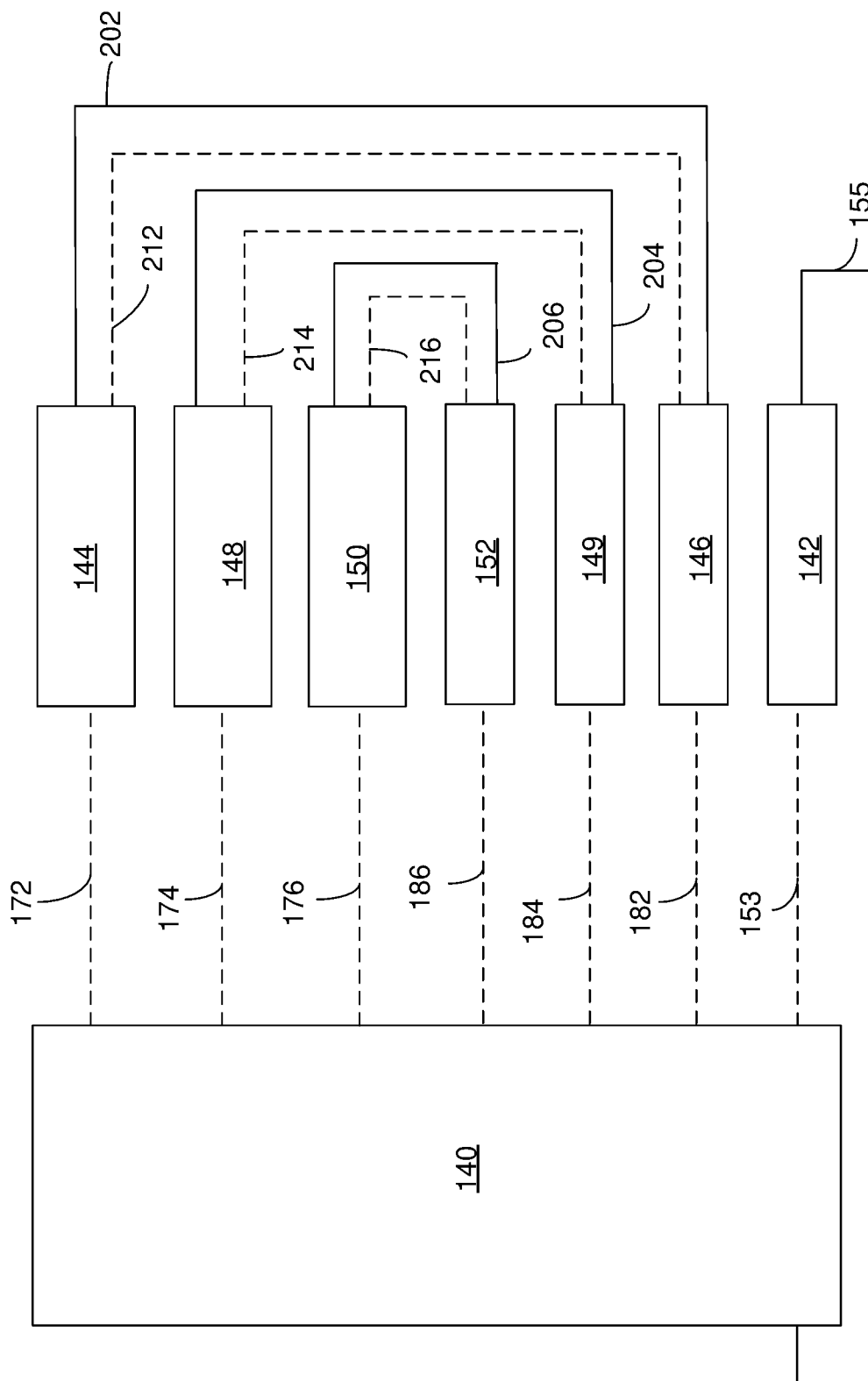


圖2

脈衝式RF訊號之包絡

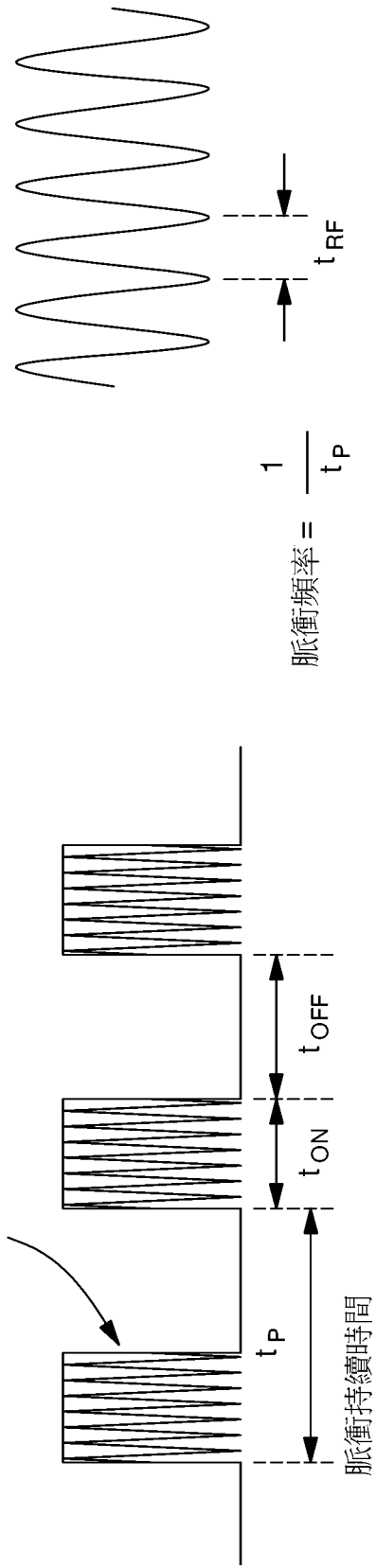


圖3A

同步脈衝化

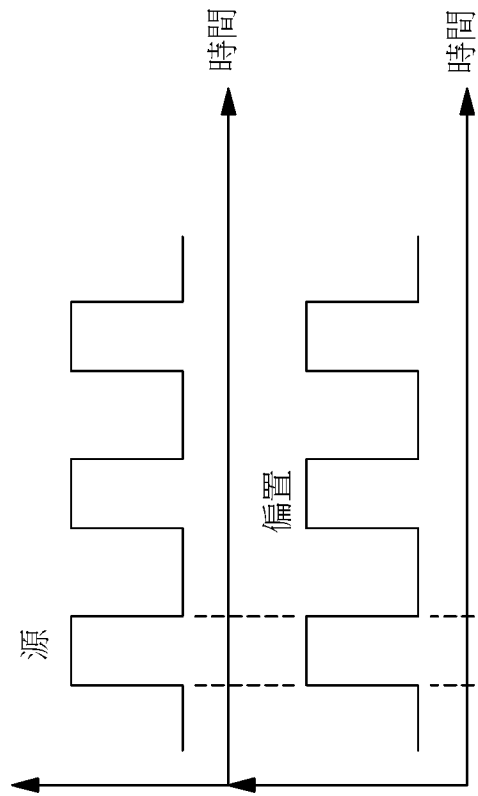


圖3B

圖3C

兩個脈衝在時間上完全對準

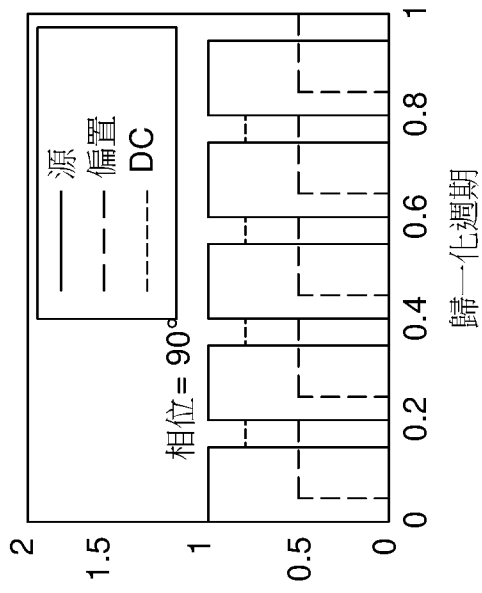


圖4B

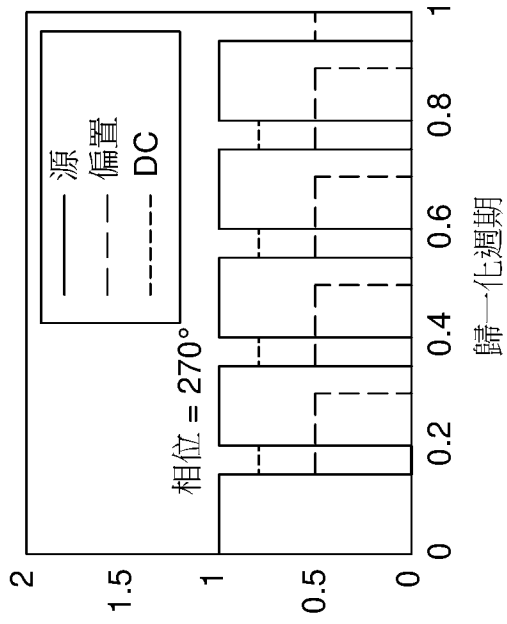


圖4D

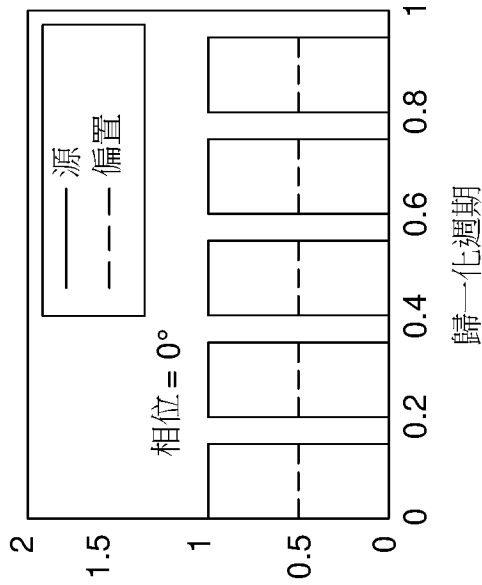


圖4A

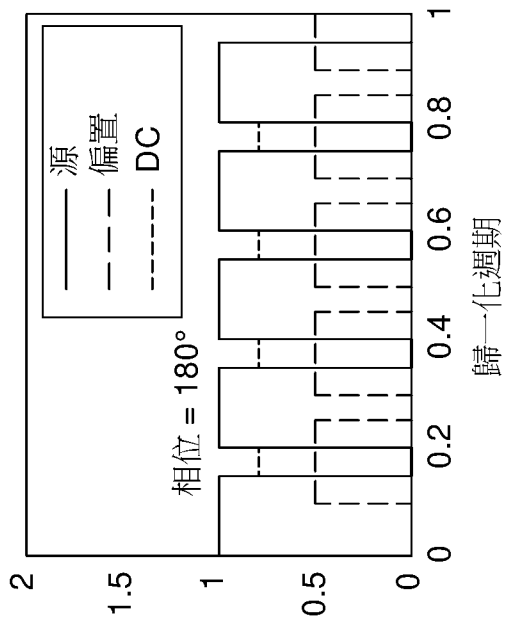


圖4C

任意相位

任意相位

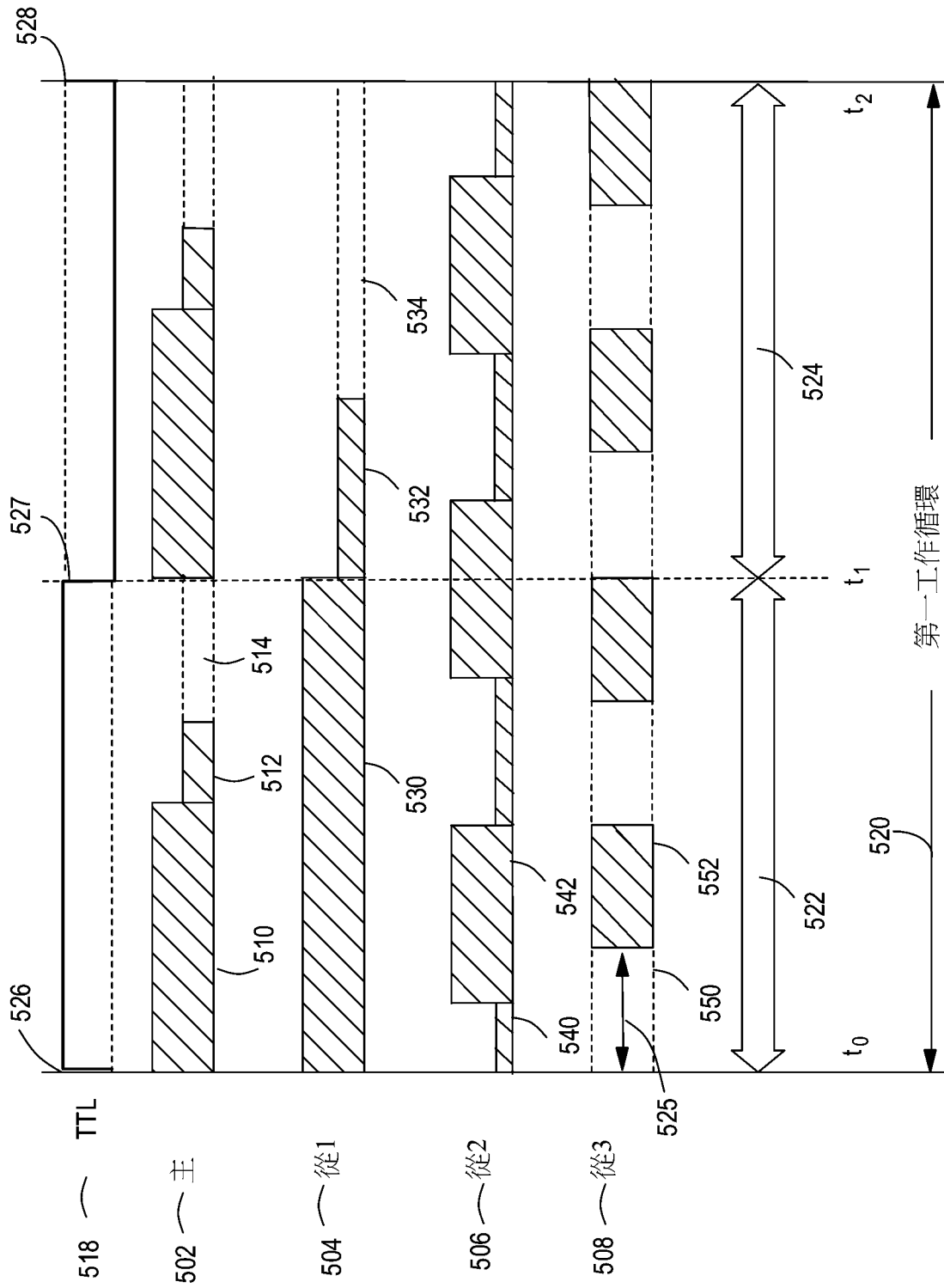


圖5

第一工作循環

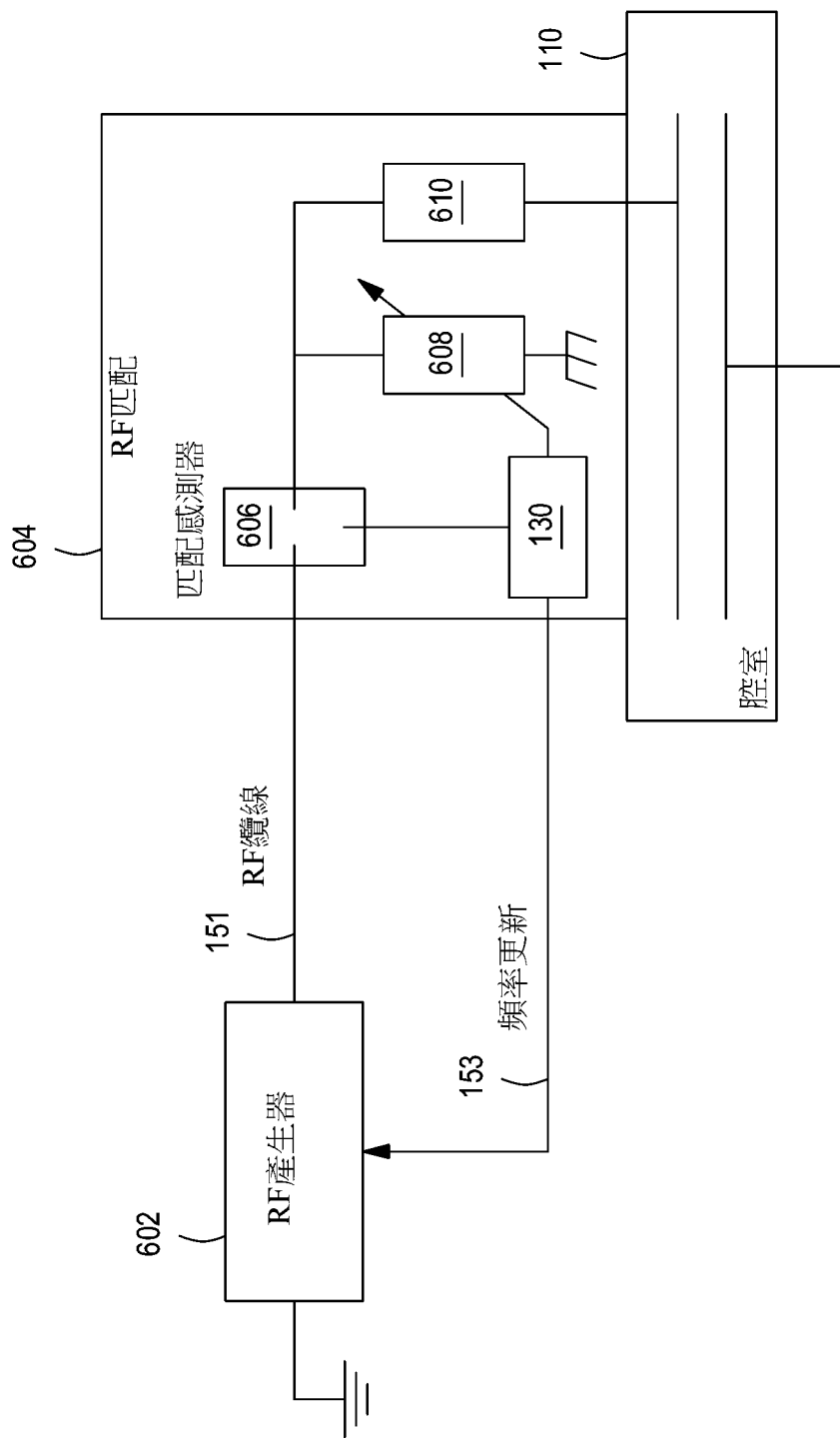


圖6

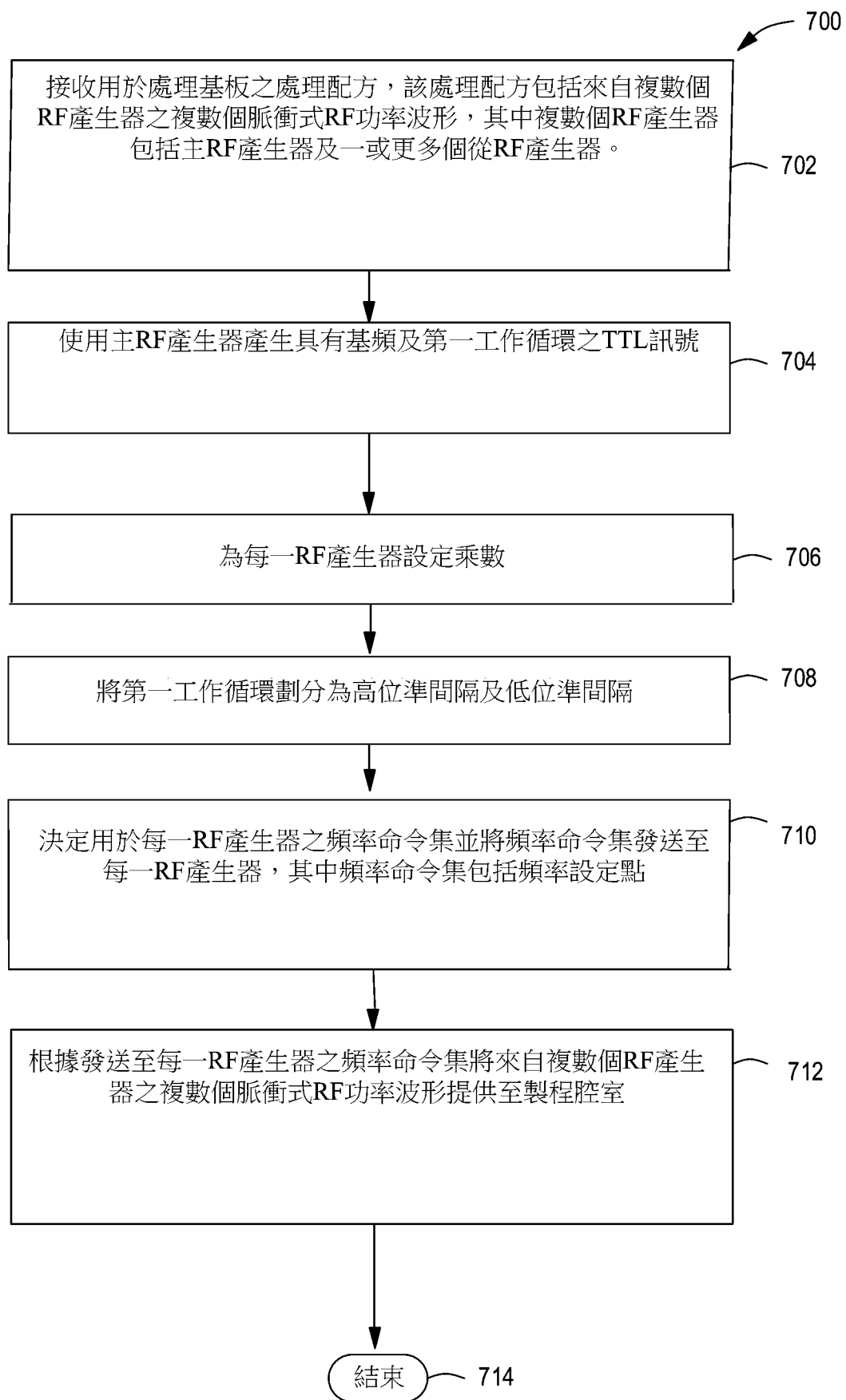


圖7

第7頁，共7頁(發明圖式)