



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202320593 A

(43)公開日：中華民國 112 (2023) 年 05 月 16 日

(21)申請案號：111134897

(22)申請日：中華民國 111 (2022) 年 09 月 15 日

(51)Int. Cl. : H05H1/36 (2006.01) H01L21/302 (2006.01)

(30)優先權：2021/09/17 美國 63/245,773

(71)申請人：美商蘭姆研究公司(美國) LAM RESEARCH CORPORATION (US)
美國(72)發明人：朱爾瑞 約翰 DREWERY, JOHN (US)；派特森 亞歷山大 米勒 PATERSON,
ALEXANDER MILLER (GB)

(74)代理人：許峻榮

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：8 共 57 頁

(54)名稱

線圈對直接驅動式射頻電源供應器的對稱耦合

(57)摘要

線圈被設置於電漿處理腔室旁。第一直接驅動式射頻 (RF) 電源供應器具有輸出端，經由輸出端傳輸第一整形放大方波信號。第一電抗電路連接於第一直接驅動式 RF 電源供應器之輸出端以及線圈之第一端之間。第一電抗電路將第一整形放大方波信號轉換為第一整形正弦信號，並傳送至線圈之第一端。第二直接驅動式 RF 電源供應器具有輸出端，經由輸出端傳輸第二整形放大方波信號。第二電抗電路連接於第二直接驅動 RF 電源供應器之輸出端以及線圈之第二端之間。第二電抗電路將第二整形放大方波信號轉換為第二整形正弦信號，並傳送至線圈之第二端。

A coil is disposed next to a plasma processing chamber. A first direct-drive radiofrequency (RF) power supply has an output through which a first shaped-amplified square waveform signal is transmitted. A first reactive circuit is connected between the output of the first direct-drive RF power supply and a first end of the coil. The first reactive circuit transforms the first shaped-amplified square waveform signal into a first shaped-sinusoidal signal in route to the first end of the coil. A second direct-drive RF power supply has an output through which a second shaped-amplified square waveform signal is transmitted. A second reactive circuit is connected between the output of the second direct-drive RF power supply and a second end of the coil. The second reactive circuit transforms the second shaped-amplified square waveform signal into a second shaped-sinusoidal signal in route to the second end of the coil.

指定代表圖：

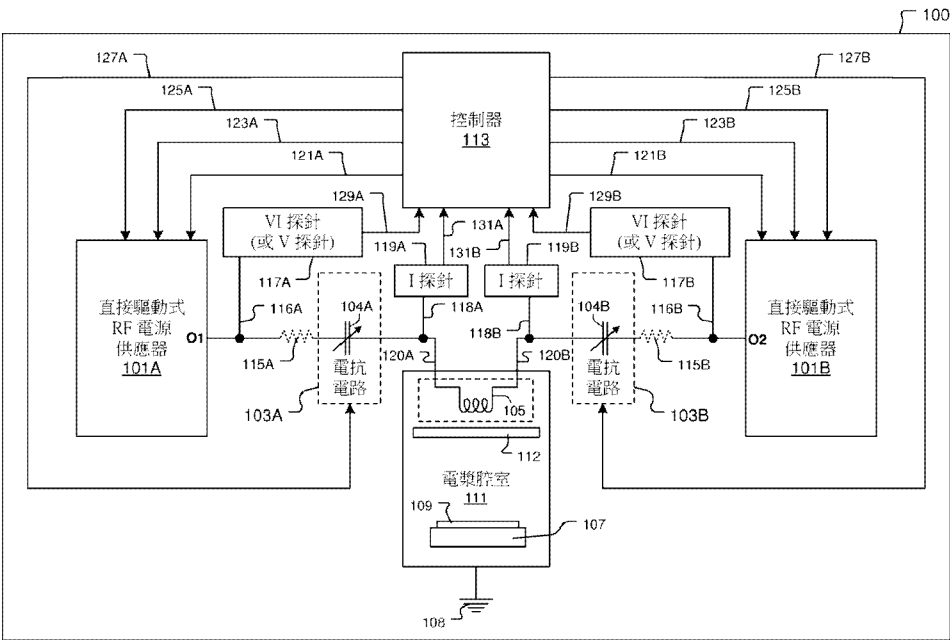


圖 1

符號簡單說明：

- 100:電漿處理系統
- 101A:第一直接驅動式射頻電源供應器
- 101B:第二直接驅動式射頻電源供應器
- 103A:第一電抗電路
- 103B:第二電抗電路
- 104A:可變電容
- 104B:可變電容
- 105:線圈
- 107:基板固持器
- 108:參考接地電位
- 109:半導體晶圓
- 111:電漿處理腔室
- 112:窗口
- 113:控制器
- 115A:電阻
- 115B:電阻
- 116A:連接
- 116B:連接
- 117A:第一電壓及電流探針
- 117B:第二電壓及電流探針
- 118A:連接
- 118B:連接
- 119A:電流探針
- 119B:電流探針
- 120A:連接
- 120B:連接
- 121A:連接
- 121B:連接
- 123A:連接
- 123B:連接
- 125A:連接
- 125B:連接
- 127A:連接

127B:連接

129A:連接

129B:連接

131A:回饋信號

131B:回饋信號

【發明摘要】

【中文發明名稱】線圈對直接驅動式射頻電源供應器的對稱耦合

【英文發明名稱】SYMMETRIC COUPLING OF COIL TO DIRECT-DRIVE
RADIOFREQUENCY POWER SUPPLIES

【中文】

線圈被設置於電漿處理腔室旁。第一直接驅動式射頻 (RF) 電源供應器具有輸出端，經由輸出端傳輸第一整形放大方波信號。第一電抗電路連接於第一直接驅動式RF電源供應器之輸出端以及線圈之第一端之間。第一電抗電路將第一整形放大方波信號轉換為第一整形正弦信號，並傳送至線圈之第一端。第二直接驅動式RF電源供應器具有輸出端，經由輸出端傳輸第二整形放大方波信號。第二電抗電路連接於第二直接驅動RF電源供應器之輸出端以及線圈之第二端之間。第二電抗電路將第二整形放大方波信號轉換為第二整形正弦信號，並傳送至線圈之第二端。

【英文】

A coil is disposed next to a plasma processing chamber. A first direct-drive radiofrequency (RF) power supply has an output through which a first shaped-amplified square waveform signal is transmitted. A first reactive circuit is connected between the output of the first direct-drive RF power supply and a first end of the coil. The first reactive circuit transforms the first shaped-amplified square waveform signal into a first shaped-sinusoidal signal in route to the first end of the coil. A second direct-

drive RF power supply has an output through which a second shaped-amplified square waveform signal is transmitted. A second reactive circuit is connected between the output of the second direct-drive RF power supply and a second end of the coil. The second reactive circuit transforms the second shaped-amplified square waveform signal into a second shaped-sinusoidal signal in route to the second end of the coil.

【指定代表圖】 圖 1

【代表圖之符號簡單說明】

- 100: 電漿處理系統
- 101A: 第一直接驅動式射頻電源供應器
- 101B: 第二直接驅動式射頻電源供應器
- 103A: 第一電抗電路
- 103B: 第二電抗電路
- 104A: 可變電容
- 104B: 可變電容
- 105: 線圈
- 107: 基板固持器
- 108: 參考接地電位
- 109: 半導體晶圓
- 111: 電漿處理腔室
- 112: 窗口
- 113: 控制器

115A: 電阻

115B: 電阻

116A: 連接

116B: 連接

117A: 第一電壓及電流探針

117B: 第二電壓及電流探針

118A: 連接

118B: 連接

119A: 電流探針

119B: 電流探針

120A: 連接

120B: 連接

121A: 連接

121B: 連接

123A: 連接

123B: 連接

125A: 連接

125B: 連接

127A: 連接

127B: 連接

129A: 連接

129B: 連接

131A: 回饋信號

131B: 回饋信號

【發明說明書】

【中文發明名稱】線圈對直接驅動式射頻電源供應器的對稱耦合

【英文發明名稱】SYMMETRIC COUPLING OF COIL TO DIRECT-DRIVE
RADIOFREQUENCY POWER SUPPLIES

【技術領域】

【0001】 本發明是有關一種射頻電源供應器，特別是有關一種與線圈對稱耦合之直接驅動式射頻電源供應器。

【先前技術】

【0002】 電漿處理系統是用於在半導體晶圓上製造半導體裝置，例如晶片/晶粒。於電漿處理系統中，半導體晶圓曝露於各種類型之電漿以引起半導體晶圓之狀態的預定變化，例如經由材料沉積及/或材料去除及/或材料植入及/或材料改性等。電漿處理系統通常包含射頻 (radiofrequency, RF) 源、RF傳輸電纜、RF阻抗匹配網路、電極以及電漿產生腔室。RF源經由RF傳輸電纜連接至RF阻抗匹配網路。RF阻抗匹配網路經由電性導體連接至電極。RF源所產生之RF功率經由RF傳輸電纜以及經由RF阻抗匹配網路傳輸至電極。從電極所傳輸之RF功率使處理氣體於電漿產生腔室內轉化為電漿。於此一背景下出現了本揭露內容所描述之實施例。

【發明內容】

【0003】於一示例實施例中，揭露了一種電漿處理系統。電漿處理系統包含電漿處理腔室以及線圈，其設置於電漿處理腔室旁。線圈具有第一端以及第二端。電漿處理系統亦包含第一直接驅動式射頻電源供應器，其具有輸出端，經由輸出端傳輸第一整形放大方波信號。電漿處理系統亦包含第一電抗電路，其連接於第一直接驅動式射頻電源供應器之輸出端以及線圈之第一端之間。第一電抗電路被配置為將第一整形放大方波信號轉換為第一整形正弦信號，並傳送至線圈之第一端。電漿處理系統亦包含第二直接驅動式射頻電源供應器，其具有輸出端，經由輸出端傳輸一第二整形放大方波信號。電漿處理系統亦包含第二電抗電路，連接於第二直接驅動式射頻電源供應器之輸出端以及線圈之第二端之間。第二電抗電路被配置為將第二整形放大方波信號轉換為一第二整形正弦信號，並傳送至線圈之第二端。

【0004】於一示例實施例中，揭露了一種操作電漿處理系統之方法。該方法包含操作一第一直接驅動式射頻信號產生器，以產生一第一整形放大方波信號。該方法亦包含傳送第一整形放大方波信號至第一電抗電路。該方法亦包含操作第一電抗電路以將第一整形放大方波信號轉換為第一整形正弦信號。該方法亦包含傳送第一整形正弦信號至電漿處理腔室之線圈之第一端。第一整形正弦信號將射頻功率傳送至線圈。該方法亦包含操作第二直接驅動式射頻信號產生器，以產生第二整形放大方波信號。該方法亦包含傳送第二整形放大方波信號至第二電抗電路。該方法亦包含操作第二電抗電路以將第二整形放大方波信號轉換為第二整形正弦信號。該方法亦包含傳送第二整形正弦信號至電漿處理腔室之線圈之第二端，第二整形正弦信號將射頻功率傳送至線圈。

【0005】於一示例實施例中，揭露了一種電漿處理系統。電漿處理系統包含電漿處理腔室以及線圈，其設置電漿處理腔室旁。線圈具有第一端以及第二端。電漿處理系統亦包含直接驅動式射頻電源供應器，其具有一輸出端，經由輸出端傳輸一整形放大方波信號。電漿處理系統亦包含電抗電路，其連接於直接驅動式射頻電源供應器之輸出端以及線圈之第一端之間。電抗電路被配置為將整形放大方波信號轉換為整形正弦信號，並傳送至線圈之第一端。電漿處理系統亦包含可變電容，其具有一輸入端連接至線圈之第二端。可變電容具有一輸出端連接至一參考接地電位。

【0006】於一示例實施例中，揭露了一種操作電漿處理系統之方法。該方法包含操作一直接驅動式射頻信號產生器，以產生一整形放大方波信號。該方法亦包含傳送整形放大方波信號至電抗電路。該方法亦包含操作電抗電路以將整形放大方波信號轉換為整形正弦信號。該方法亦包含傳送整形正弦信號至電漿處理腔室之線圈之第一端。整形正弦信號將射頻功率傳送至線圈。該方法亦包含調整連接於線圈之第二端以及參考接地電位之間之可變電容之電容設定，以達到與從線圈向電漿處理腔室內之電漿之傳輸射頻功率相關之規定條件。

【0007】實施例之其它態樣以及優點將從以下之詳細描述以及附圖中變得更加明顯。

【圖式簡單說明】

【0008】圖1示出了電漿處理系統之示意圖，根據一些實施例，電漿處理系統實現了對稱耦合之直接驅動式RF電源供應器。

【0009】圖2示出了根據一些實施例，第一直接驅動式RF電源供應器以及第二直接驅動式RF電源供應器中之每一個之配置示意圖。

【0010】圖3示出了半橋電晶體電路之電路示意圖，根據一些實施例，半橋電晶體電路實現了跨第一電晶體以及第二電晶體之電壓限制器。

【0011】圖4A示出了根據一些實施例，於第一/第二直接驅動式RF電源供應器之輸出端產生之示例整形放大方波之參數隨時間變化之曲線圖。

【0012】圖4B示出了根據一些實施例，於第一/第二電抗電路之輸出端產生之示例整形正弦波形之參數隨時間變化之曲線圖。

【0013】圖5A示出了根據一些實施例，於第一/第二電抗電路之輸出端產生之示例整形正弦波形之參數隨時間變化之曲線圖。

【0014】圖5B示出了根據一些實施例，於第一/第二電抗電路之輸出端產生之示例整形正弦波形之參數隨時間變化之曲線圖。

【0015】圖5C示出了根據一些實施例，於第一/第二電抗電路之輸出端產生之示例整形正弦波形之參數隨時間變化之曲線圖。

【0016】圖5D示出了根據一些實施例，於第一/第二電抗電路之輸出端產生之示例整形正弦波形之參數隨時間變化之曲線圖。

【0017】圖6示出了根據一些實施例，用於將RF功率從第一/第二直接驅動式RF電源供應器傳輸至電漿處理腔室之方法之流程圖。

【0018】圖7示出了電漿處理系統之示意圖，根據一些實施例，電漿處理系統具有連接至線圈之第一端之第一直接驅動式RF電源供應器以及連接至線圈之第二端之可變電容。

【0019】圖8示出了根據一些實施例，用於將RF功率傳輸至電漿處理腔室之方法之流程圖。

【實施方式】

【0020】在以下敘述中，許多特定細節被提出以提供對於本揭露內容之徹底理解。然而，對於本領域技術人員來說顯而易見的是，本揭露內容之實施例可在沒有這些特定細節之部分或全部之情況下加以實施。在其它情況下，熟知的處理操作並未詳細地描述，以免不必要地混淆本揭露內容。

【0021】圖1示出了根據一些實施例之電漿處理系統100之示意圖，其實施對稱耦合之直接驅動式射頻 (RF) 電源供應器101A及101B。電漿處理系統100包含第一直接驅動式RF電源供應器101A，其經由第一電抗電路 (reactive circuit) 103A連接至線圈105之第一端，如連接120A所示。電漿處理系統100亦包含第二直接驅動式RF電源供應器101B，其經由第二電抗電路103B連接至線圈105之第二端，如連接120B所示。以此方式，線圈105以對稱的方式連接至第一及第二直接驅動式RF電源供應器101A及101B。第一及第二直接驅動式RF電源供應器101A及101B中之每一個被配置為藉由線圈105產生並傳送RF功率至電漿處理腔室111，而不必經由RF纜線及阻抗匹配網路在通往電漿處理腔室111之路徑中傳輸RF信號。直接驅動式RF電源供應器101A及101B中之每一個也被稱為無匹配電漿源 (matchless plasma source, MPS)。

【0022】在一些實施例中，線圈105設置於電漿處理腔室111之窗口112上方。於各種實施例中，窗口112是由介電材料形成，例如石英或其他類似材料，其允許RF功率從線圈105通過窗口112進入電漿處理腔室111。電漿處理腔室111

電性連接至參考接地電位108。當RF功率傳輸至並通過電漿處理腔室111時，RF功率將電漿處理腔室111內之處理氣體轉化為電漿，曝露於被支撐於電漿處理腔室111內之基板固持器107 (例如靜電卡盤)上之半導體晶圓109。於各種實施例中，電漿用於提供半導體晶圓109狀況的受控修改，例如經由材料沉積及/或材料去除及/或材料植入及/或材料修改等。此外，於一些實施例中，電漿於電漿處理腔室111中產生，以提供電漿處理腔室111的清潔。直接驅動式RF電源供應器101A及101B於以下結合圖2進行詳細描述。於本討論中，可以理解的是，每一直接驅動式RF電源供應器101A及101B被配置為產生RF信號，其具有隨時間變化之預定波形，並傳送所產生之RF信號至線圈105。

【0023】 於電漿處理腔室111內，RF功率使處理氣體在曝露於被支撐在基板固持器107上之晶圓109時轉化為電漿。此外，在電漿處理腔室111之操作期間，來自晶圓109處理之廢氣以及副產物材料從電漿處理腔室111排出。可以理解的是，於各種實施例中，電漿處理腔室111之操作可包含許多其它附加操作，例如於晶片109準位產生偏置電壓，以吸引或排斥電漿之帶電成分朝向或遠離晶圓109，及/或控制晶圓109之溫度，及/或將額外之RF功率施加至佈置於基板固持器107內之一或多個電極以產生額外的電漿，以及其它額外的操作。此外，於各種實施例中，電漿處理腔室111根據規定之配方進行操作，該配方指定用於控制以下一或多項之時間安排：向電漿處理腔室111供應處理氣體、電漿處理腔室111內之壓力及溫度、向線圈105供應RF功率、於晶圓109準位提供偏置電壓、向基板固持器107內之電極供應RF功率，以及基本上與電漿處理腔室111之操作相關的任何其它處理參數。

【0024】電漿處理系統100包含用於控制第一直接驅動式RF電源供應器101A以及第二直接驅動式RF電源供應器101B之操作之控制器113。於一些實施例中，控制器113包含處理器以及記憶體裝置。於一些實施例中，控制器113包含微處理器、特殊應用積體電路(application specific integrated circuit, ASIC)、中央處理器、處理器、可程式化邏輯裝置(programmable logic device, PLD)以及現場可程式化邏輯閘陣列(field programmable gate array, FPGA)中之一或多種。控制器113被連接以經由連接121A傳輸用於第一直接驅動式RF電源供應器101A之波形產生器控制信號。類似地，控制器113被連接以經由連接121B傳輸用於第二直接驅動式RF電源供應器101B之波形產生器控制信號。控制器113被連接以經由連接123A傳輸用於第一直接驅動式RF電源供應器101A之信號產生器控制信號。類似地，控制器113被連接以經由連接123B傳輸用於第二直接驅動式RF電源供應器101B之信號產生器控制信號。控制器113被連接以經由連接125A傳輸用於第一直接驅動式RF電源供應器101A之頻率輸入控制信號。類似地，控制器113被連接以經由連接125B傳輸用於第二直接驅動式RF電源供應器101B之頻率輸入控制信號。控制器113被連接以經由連接127A傳輸用於第一電抗電路103A內之至少一可變電容104A之電抗電路控制信號。類似地，控制器113被連接以經由連接127B傳輸用於第一電抗電路103B內之至少一可變電容104B之電抗電路控制信號。

【0025】第一直接驅動式RF電源供應器101A之輸出端O1看到了電阻115A。電阻115A代表線圈105中之電阻、當電漿在電漿處理腔室111內時所呈現之電阻、以及從第一直接驅動式RF電源供應器101A之輸出端至線圈105之RF功率傳輸路徑之電阻的組合。類似地，第二直接驅動式RF電源供應器101B之輸出端O2看到了電阻115B。電阻115B代表線圈105中之電阻、當電漿在電漿處理腔室

111內時所呈現之電阻、以及從第一直接驅動式RF電源供應器101B之輸出端至線圈105之RF功率傳輸路徑之電阻的組合。

【0026】 於一些實施例中，第一電壓及電流 (VI) 探針117A耦合至第一直接驅動式RF電源供應器101A之輸出端O1，如連接116A所示。VI探針117A為測量輸出端O1處之複電流 (complex current)、輸出端O1處之複電壓 (complex voltage)、以及輸出端O1處之複電壓及複電流間之相位差之感測器。複電流具有大小以及相位。類似地，複電壓具有大小以及相位。VI探針117A耦合至控制器113，以將回饋信號129A傳輸至控制器113。於一些實施例中，使用電壓 (V) 探針代替VI探針117A。於這些實施例中，電流 (I) 探針119A耦合至第一電抗電路103A之輸出端，如連接118A所示。於這些實施例中，V探針是測量輸出端O1處之時變複電壓大小以及相位之感測器。I探針119A是測量第一電抗電路103A之輸出端處之時變複電流大小以及相位之感測器。I探針119A耦合至控制器113，以將回饋信號131A傳輸至控制器113。

【0027】 於一些實施例中，第二電壓及電流 (VI) 探針117B耦合至第二直接驅動式RF電源供應器101B之輸出端O2，如連接116B所示。VI探針117B為測量輸出端O2處之複電流、輸出端O2處之複電壓以及輸出端O2處之複電壓及複電流間之相位差之感測器。複電流具有大小及相位。類似地，複電壓具有大小及相位。VI探針117B耦合至控制器113，以將回饋信號129B傳輸至控制器113。於一些實施例中，使用電壓 (V) 探針代替VI探針117B。於這些實施例中，電流 (I) 探針119B耦合至第二電抗電路103B之輸出端，如連接118B所示。於這些實施例中，V探針為測量輸出端O2處之時變複電壓大小及相位之感測器。I探針119B為測量第二電

抗電路103B之輸出端處之時變複電流大小及相位之感測器。I探針119B耦合至控制器113，以將回饋信號131B傳輸至控制器113。

【0028】圖2示出了根據一些實施例之第一直接驅動式RF電源供應器101A以及第二直接驅動式RF電源供應器101B中之每一個的配置示意圖。可以理解的是，第一直接驅動式RF電源供應器101A以及第二直接驅動式RF電源供應器101B具有相同的配置。於圖2中，給定參考標號之字尾「A」表示對應於給定參考標號之組件/特徵是在第一直接驅動式RF電源供應器101A中。類似地，給定參考標號之字色「B」表示對應於給定參考標號之組件/特徵是在第二直接驅動式RF電源供應器101B中。舉例而言，連接121A/B表示連接121A存在於第一直接驅動式RF電源供應器101A內以及連接121B存在於第二直接驅動式RF電源供應器101B內。

【0029】第一直接驅動式RF電源供應器101A以及第二直接驅動式RF電源供應器101B中之每一個包含輸入部分201A/B以及輸出部分203A/B。輸入部分201A/B包含電性信號產生器209A/B以及閘極驅動器207A/B之一部分。輸出部分203A/B包含閘極驅動器207A/B之其餘部分以及半橋電晶體(例如，場效應電晶體(FET))電路233A/B。半橋電晶體電路233A/B也稱為放大電路/樹，且耦合至閘極驅動器207A/B。於一些實施例中，輸入部分201A/B包含控制器板205A/B，在其上實施電性信號產生器209A/B、波形產生器213A/B以及頻率輸入控制器211A/B。電性信號產生器209A/B被連接以經由連接123A/B從控制器113接收信號產生器控制信號。波形產生器213A/B被連接以經由連接121A/B從控制器113接收波形產生器控制信號。頻率輸入控制器211A/B被連接以經由連接125A/B從控

制器113接收頻率輸入控制信號。頻率輸入控制器211A/B被連接以經由連接212A/B向電性信號產生器209A/B提供頻率輸入。

【0030】 於一些實施例中，整個閘極驅動器207A/B是在控制器板205A/B上實現。輸入部分201A/B產生多個方波信號並將方波信號提供給輸出部分203A/B。輸出部分203A/B根據從輸入部分201A/B所接收之多個方波信號產生放大大方波。輸出部分203A/B亦對放大大方波之包絡 (envelope)，例如峰至峰 (peak-to-peak) 幅度，進行整形。舉例而言，整形控制信號214A/B從輸入部分201A/B內之波形產生器213A/B提供給輸出部分203A/B內之半橋電晶體電路233A/B以產生包絡。整形控制信號214A/B具有多個電壓值，用於對放大大方波進行整形以產生整形放大大方波。對於第一直接驅動式RF電源供應器101A，整形放大大方波從輸出部分203A傳輸至第一電抗電路103A。對於第二直接驅動式RF電源供應器101B，整形放大大方波從輸出部分203B傳輸至第二電抗電路103B。

【0031】 第一電抗電路103A以及第二電抗電路103B中之每一個去除 (例如濾除) 整形放大大方波之高階諧波，以產生具有基頻之整形正弦波形。整形正弦波形具有與整形放大大方波相同的包絡。對於第一直接驅動式RF電源供應器101A，RF功率以具有基頻之整形正弦波形的形式從第一電抗電路103A傳輸至線圈105之第一端。對於第二直接驅動式RF電源供應器101B，RF功率以具有基頻之整形正弦波形的形式從第二電抗電路103B傳輸至線圈105之第二端。傳輸至線圈105之RF功率被傳輸至電漿處理腔室111中，以將電漿處理腔室111內之一或多種處理氣體轉化為電漿以用於處理晶圓109，如先前關於圖1所討論的。

【0032】 於一些實施例中，對於第一直接驅動式RF電源供應器101A，第一電抗電路103A之電抗藉由從控制器113經由連接127A向第一電抗電路103A傳輸

第一品質因數控制信號進行修改，其中第一品質因數控制信號管理實施第一電抗電路103A之電抗的特定變化，例如藉由管理實施第一電抗電路103A內至少一個可變電容104A之電容設定的變化。於一些實施例中，對於第二直接驅動式RF電源供應器101B，第二電抗電路103B之電抗藉由從控制器113經由連接127B向第二電抗電路103B傳輸第二品質因數控制信號進行修改，其中第二品質因數控制信號127B管理實施第二電抗電路103B之電抗的特定變化，例如藉由管理實施第二電抗電路103B內至少一個可變電容104B之電容設定的變化。

【0033】 於一些實施例中，回饋信號129A/B從VI探針117A/B發送至控制器113。於一些實施例中，回饋信號129A/B用於確定輸出部分203A/B之輸出端O1/O2處之整形放大方波之時變電壓以及時變電流之間之相位差，以實現對輸出部分203A/B的控制以減少或消除相位差。於一些實施例中，對於第一直接驅動式RF電源供應器101A，除了回饋信號129A之外或代替回饋信號129A，回饋信號131A從I探針119A傳輸至控制器113。於一些實施例中，在第一電抗電路103A之輸出端O1處之整形正弦波形之時變電壓以及時變電流之間之相位差是根據回饋信號131A確定的，以實現輸出部分203A的控制及/或第一電抗電路103A的控制以減小或消除相位差。於一些實施例中，對於第二直接驅動式RF電源供應器101B，除了回饋信號129B之外或代替回饋信號129B，回饋信號131B從I探針119B傳輸至控制器113。於一些實施例中，在第二電抗電路103B之輸出端O2處之整形正弦波形之時變電壓以及時變電流之間之相位差是根據回饋信號131B確定的，以實現輸出部分203B的控制及/或第二電抗電路103B部分的控制以減小或消除相位差。

【0034】電性信號產生器209A/B為方波振盪器，其諸如產生數位波形或脈衝列 (pulse train) 之方波信號。電性信號產生器209A/B所輸出之方波信號在諸如高 (或1) 之第一邏輯準位以及諸如低 (或0) 之第二邏輯準位之間脈動。根據從頻率輸入控制器211A/B提供給電性信號產生器209A/B之頻率輸入，電性信號產生器209A/B以規定的操作頻率產生方波信號，例如400千赫茲 (kHz)，或2MHz，或13.56MHz，或27MHz，或60MHz，以及其它操作頻率。

【0035】閘極驅動器207A/B包含輸入部分201A/B內之第一部分，其包含閘極驅動器子部分215A/B、電容223A/B、電阻225A/B以及脈衝變壓器217A/B之初級繞組227A/B。閘極驅動器207A/B亦包括輸出部分203A/B內之第二部分，其包含脈衝變壓器217A/B之次級繞組229A/B及231A/B。閘極驅動器子部分215A/B包含多個閘極驅動器219A/B及221A/B。閘極驅動器219A/B及221A/B中之每一個在一端耦合至正電壓源 (+)，且在其相對端耦合至負電壓源 (-)。

【0036】於一些實施例中，半橋電晶體電路233A/B包含直流 (DC) 軌 (direct current rail) 235A/B，其包含經由導體237A/B電性連接至第一電晶體239A/B之第一端之電壓源Vdc，第一電晶體239A/B之第二端電性連接至第二電晶體241A/B之第一端，第二電晶體241A/B之第二端電性連接至參考接地電位242A/B。以此方式，半橋電晶體電路233A/B包含以推挽 (push-pull) 配置彼此耦合之第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B。於一些實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B為n型場效應電晶體 (FET)，其在至少一閾值電壓被施加至它們的閘極導體時導通。然而，於其它實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B是p型FET，其在至少一閾值電壓被施加到它們的閘極導體時截止。於一些實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B中之每一個被實現為金

屬氧化物半導體場效應電晶體 (metal oxide semiconductor field effect transistor, MOSFET)。於一些實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B被實現為另一種類型的電晶體，例如絕緣閘雙極性電晶體 (insulated gate bipolar transistor, IGBT) 或金屬半導體場效電晶體 (metal semiconductor field effect transistor, MESFET) 或接面場效電晶體 (junction field effect transistor, JFET) 等。於一些實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B中之每一個由碳化矽或矽或氮化鎵製成。第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B中之每一個具有位於預定範圍內之輸出阻抗，例如在約0.01歐姆延伸至約10歐姆的範圍內。第一直接驅動式RF電源供應器101A之輸出端O1為第一電晶體239A之第二端 (源極端) 與第二電晶體241A之第一端 (汲極端) 之間之節點連接。類似地，第二直接驅動式RF電源供應器101B之輸出端O2為第一電晶體239B之第二端 (源極端) 與第二電晶體241B之第一端 (汲極端) 之間之節點連接。

【0037】 控制器113經由連接125A/B耦合至頻率輸入控制器211A/B，以向電性信號產生器209A/B提供頻率輸入 (操作頻率)。控制器113進一步耦合至波形產生器213A/B，以控制提供給DC軌235A/B之整形控制信號214A/B。電性信號產生器209A/B具有耦合至閘極驅動器219A/B及221A/B之相對應輸出端。閘極驅動器219A/B之輸出端耦合至電容223A/B之輸入端。閘極驅動器221A/B之輸出端耦合至電阻225A/B之輸入端。電容223A/B耦合至脈衝變壓器217A/B之初級繞組227A/B之第一端。電阻225A/B耦合至脈衝變壓器217A/B之初級繞組227A/B之第二端。電容223A/B發揮抵消或消除初級繞組227A/B之電感的作用。初級繞組227A/B之電感的抵消或消除有助於由閘極驅動器219A/B及221A/B所輸出之方

形閘極驅動信號的產生。此外，電阻225A/B減少了由電性信號產生器209A/B所產生之方波信號的振盪。

【0038】脈衝變壓器217A/B之次級繞組229A/B之第一端電性連接至第一電晶體239A/B之閘極端。次級繞組229A/B之第二端電性連接至第一電晶體239A/B之第二端以及第二電晶體241A/B之第一端，其皆電性連接至半橋電晶體電路233A/B。脈衝變壓器217A/B之次級繞組231A/B之第一端電性連接至第二電晶體241A/B之閘極端。次級繞組231A/B之第二端電性連接至參考接地電位242A/B。半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2電性連接至第一/第二電抗電路103A/B之輸入。半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2看到了電阻115A/B。電阻115A/B代表第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B所連接之線圈105中之電阻、當電漿在電漿處理腔室111內時所呈現之電阻、以及從輸出端O1/O2至線圈105之RF功率傳輸路徑之電阻的組合。

【0039】控制器113產生設定，例如藉由頻率輸入控制器211A/B提供至電性信號產生器209A/B之頻率輸入。頻率輸入為目標操作頻率的值，例如2MHz、13.56MHz等。電性信號產生器209A/B產生具有目標操作頻率之輸入RF信號。輸入RF信號是方波信號。閘極驅動器219A/B及221A/B放大輸入RF信號以產生放大RF信號，並將放大RF信號提供給脈衝變壓器217A/B之初級繞組227A/B。

【0040】基於在給定時間之放大RF信號之電流流動的方向性，次級繞組229A/B或次級繞組231A/B產生在給定時間具有閾值電壓之閘極驅動信號。舉例而言，當放大RF信號之電流從初級繞組227A/B之正電端流向初級繞組227A/B之負電端時，次級繞組229A/B產生具有至少閾值電壓之閘極驅動信號，以導通第一電晶體239A/B，且次級繞組231A/B不產生閾值電壓，使得第二電晶體241A/B

截止。相反地，當放大RF信號之電流從初級繞組227A/B之負電端流向初級繞組227A/B之正電端時，次級繞組231A/B產生具有至少閾值電壓之閘極驅動信號，以導通第二電晶體241A/B，且次級繞組229A/B不產生閾值電壓，使得第一電晶體239A/B截止。

【0041】 傳輸至第一電晶體239A/B之閘極以及第二電晶體241A/B之閘極之每一閘極驅動信號為具有目標操作頻率之方波信號，例如數位信號或脈衝信號。舉例而言，傳輸至第一電晶體239A/B之閘極以及第二電晶體241A/B之閘極之每一閘極驅動信號在低準位以及高準位之間轉變。傳送至第一電晶體239A/B之閘極以及第二電晶體241A/B之閘極之閘極驅動信號具有目標操作頻率，且彼此反向同步。更具體地，在傳輸至第一電晶體239A/B之閘極之閘極驅動信號從低準位轉變為高準位之時間間隔或時間點期間，傳輸至第二電晶體241A/B之閘極之閘極驅動信號同時由高準位轉變為低準位。類似地，在傳輸至第一電晶體239A/B之閘極之閘極驅動信號從高準位轉變為低準位之時間間隔或時間點期間，傳輸至第二電晶體241A/B之閘極之閘極驅動信號同時從低準位轉變為高準位。閘極驅動信號的這種反向同步允許第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B根據時變方波信號之目標操作頻率，以重複的方式連續導通以及連續截止。第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B是連續操作的。舉例而言，當第一電晶體239A/B導通時，第二電晶體241A/B截止。並且，當第二電晶體241A/B導通時，第一電晶體239A/B截止。第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B不同時或在相同時間段期間導通。在目標操作頻率以外的頻率下，第一/第二電抗電路103A/B呈現高負載，使得在其它非目標頻率下不會有多少電流從第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B輸出。

【0042】 當第一電晶體239A/B導通且第二電晶體241A/B截止時，電流在電壓源Vdc以及輸出端O1/O2之間流動，以在輸出端O1/O2處產生電壓。輸出端O1/O2處之電壓是根據藉由波形產生器213A/B從控制器113所接收之整形控制信號214A/B產生的。當第二電晶體241A/B截止時，沒有電流從輸出端O1/O2流到連接至第二電晶體241A/B之第二端之參考接地電位242A/B。當第一電晶體239A/B導通時，電流從電壓源Vdc經過半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2流到第一/第二電抗電路103A/B之輸入。此外，當第二電晶體241A/B導通且第一電晶體239A/B截止時，電流從半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2流向連接至第二電晶體241A/B之第二端之參考接地電位242A/B。當第一電晶體239A/B截止時，沒有電流從電壓源Vdc流到半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2。

【0043】 於一些實施例中，控制器113指揮波形產生器213A/B產生整形控制信號214A/B，其指示用於控制DC軌235A/B之電壓值。整形控制信號214A/B經由電性導體傳輸至電壓源Vdc。DC軌235A/B是敏捷的，藉由控制器113 (以及可選地，藉由波形產生器213A/B) 對電壓源Vdc進行快速控制。控制器113以及電壓源Vdc皆為電子電路，其允許控制器113對電壓源Vdc進行實質上地瞬時控制。舉例而言，在控制器113將整形控制信號214A/B中之電壓值發送 (直接或經由波形產生器213A/B) 至電壓源Vdc時，電壓源Vdc實質上相對應地瞬時改變其輸出電壓準位。於一些實施例中，由整形控制信號214A/B所指示之電壓值在從約0伏特延伸至約80伏特的範圍內，使得DC軌235A/B在此電壓範圍內操作。由整形控制信號214A/B所指示之電壓值為電壓源Vdc所產生之電壓信號的幅度，其定義在半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2處 (亦即在第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B之輸出端) 之整形放大方波之整形包絡。舉例而言，當操作第一/第二

直接驅動式RF電源供應器101A/B以產生連續波形時，由整形控制信號214A/B所指示之電壓值，作為時間的函數，控制在半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2處所產生之連續波形之參數之峰至峰幅度，作為示例，參數為功率、電壓、電流中之一或多種。在半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2處，連續波形之峰至峰幅度將連續波形之整形包絡定義為時間的函數。

【0044】於另一示例中，當操作第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B以在半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2處產生整形放大方波，以具有脈衝形狀之整形包絡時，在給定時間或在給定的預定時間段期間，由整形控制信號214A/B所指示之電壓值實質上瞬時（以類似階躍函數的方式）改變，使得整形放大方波之峰至峰幅度從第一參數準位（例如高準位）變化至第二參數準位（例如低準位）或者從第二參數準位變化至第一參數準位，作為示例，其中參數為功率、電壓以及電流中之一或多種。於另一示例中，當操作第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B以在半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2處產生整形放大方波，以具有任意形狀之整形包絡時，由整形控制信號214A/B所指示之電壓值藉由波形產生器213A/B按照控制器113的管理以規定及受控之任意方式改變，使得整形放大方波之峰至峰幅度以規定及受控之任意方式變化。於另一示例中，當操作第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/101B以在半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2處產生整形放大方波，以具有多狀態脈衝形狀時，在給定時間或在給定的預定時間段期間，由整形控制信號214A/B所指示之電壓值實質上瞬時（以類似階躍函數的方式）改變，使得整形放大方波之峰至峰值幅度在不同狀態之間變化，其中每一不同狀態具有特定參數準位之不同峰至峰幅度，例如

功率準位、電壓準位和/或電流準位等。於各種實施例中，不同狀態之數量為二個或更多個，如控制器113所指定。

【0045】 在半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2處所產生之整形放大方波是基於第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B根據閘極驅動器219A/B及221A/B所輸出之閘極驅動信號的操作（作為時間的函數），且根據整形控制信號214A/B由電壓源Vdc提供電壓（作為時間的函數）。整形放大方波之放大量是基於半橋電晶體電路233A/B之第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B之輸出阻抗、在整形控制信號214A/B中由控制器113（以及可選地，由波形產生器213A/B）供應至電壓源Vdc之電壓值、以及電壓源Vdc之最大可實現電壓值。第一/第二電抗電路103A/B接收整形放大方波，並發揮降低或消除整形放大方波之高階諧波的作用，以產生具有基頻之整形正弦波形。可以理解的是，第一/第二電抗電路103A/B所輸出之整形正弦波形具有與輸入至第一/第二電抗電路103A/B之整形放大方波相同的整形包絡。由第一/第二電抗電路103A/B所輸出之整形正弦波形被提供給線圈105作為用於在電漿處理腔室111內產生電漿之RF信號。

【0046】 於一些實施例中，VI探針117A/B測量半橋電晶體電路233A/B之輸出端O1/O2處之整形放大方波之複電壓以及複電流，並經由連接129A/B將相對應之回饋信號提供給控制器113，其中回饋信號表示複電壓以及複電流。控制器113從回饋信號中識別整形放大方波之複電壓以及整形放大方波之複電流之間之相位差，並確定該相位差是否在預定的可接受範圍內。舉例而言，控制器113確定相位差是否為零或在遠離零之預定可接受範圍（百分比）內。一旦確定相位差不在預定可接受範圍內時，控制器113改變操作頻率之頻率值，以改變藉由頻率輸入控制器211A/B提供給電性信號產生器209A/B之頻率輸入。改變後之頻率值從

頻率輸入控制器211A/B提供給電性信號產生器209A/B，以改變電性信號產生器209A/B之操作頻率。於一些實施例中，操作頻率在小於或等於約10微秒內改變。改變電性信號產生器209A/B之操作頻率，直到控制器113確定VI探針117A/B所測量之複電壓以及複電流之間之相位差在預定的可接受範圍內。一旦確定複電壓以及複電流之間之相位差在預定的可接受範圍內時，控制器113不再改變輸入至電性信號產生器209A/B之頻率。當相位差在預定的可接受範圍內時，預定量之功率從第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B之輸出端O1/O2經由第一/第二電抗電路103A/B提供給線圈105。

【0047】於一些實施例中，除了改變輸入至電性信號產生器209A/B之頻率之外或代替改變輸入至電性信號產生器209A/B之頻率，控制器113改變供應給電壓源Vdc之整形控制信號214A/B中之電壓值，以改變電壓源Vdc所產生之電壓信號。電壓源Vdc根據整形控制信號214A/B中所指示之電壓值改變它的電壓準位。控制器113繼續改變整形控制信號214A/B中之電壓值，直到整形放大方波達到預定功率設定點。於一些實施例中，預定功率設定點儲存於控制器113的儲存裝置中。於各種實施例中，不是改變輸出端O1/O2處之整形放大方波之電壓，而是改變整形放大方波之電流。舉例而言，藉由改變整形控制信號214A/B中之電壓值，控制器113改變輸出端O1/O2處之整形放大方波之電流，直到整形放大方波達到預定電流設定點。於一些實施例中，預定電流設定點儲存於控制器113的儲存裝置中。於一些實施例中，不是改變輸出端O1/O2處之整形放大方波之電壓或電流，而是改變整形放大方波之功率。舉例而言，藉由改變整形控制信號214A/B中之電壓值，控制器113改變輸出端O1/O2處之整形放大方波之功率，直到整形放大方波達到預定功率設定點。於一些實施例中，預定功率設定點儲存於控制器113

的儲存裝置中。需注意的是，於輸出端O1/O2處所產生之整形放大方波之電壓、電流或功率的任何變化分別造成第一/第二電抗電路103A/B所輸出之整形正弦波形之電壓、電流或功率發生相同的變化。

【0048】 於一些實施例中，控制器113經由馬達驅動器以及馬達 (例如步進馬達) 耦合至第一/第二電抗電路103A/B。於一些實施例中，馬達驅動器被實現為包含一或多個電晶體之積體電路裝置。控制器113經由連接127A/B將品質因數控制信號發送至第一/第二電抗電路103A/B內之馬達驅動器，進而直接產生從馬達驅動器傳輸至馬達之電性信號。馬達根據從馬達驅動器所接收之電性信號操作，以改變第一/第二電抗電路103A/B之電抗。舉例而言，於一些實施例中，馬達進行操作以改變可變電容104A/B內之導電板之間的面積 (或間隔) 以改變第一/第二電抗電路103A/B之電抗。於一些實施例中，第一/第二電抗電路103A/B之電抗被改變，以保持第一/第二電抗電路103A/B之規定品質因數。

【0049】 第一/第二電抗電路103A/B與線圈105之電感結合具有高品質因數 (Q)。舉例而言，相較於從第一/第二電抗電路103A/B之輸出端傳輸至線圈105之整形正弦波形之功率量，在輸出端O1/O2處所產生之整形放大方波在第一/第二電抗電路103A/B中損失之功率量較低。第一/第二電抗電路103A/B之高品質因數有助於電漿處理腔室111內電漿的快速點燃。此外，第一/第二電抗電路103A/B被配置以及設置為諧振出線圈105以及電漿之感抗 (inductive reactance)，使得第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B之輸出端O1/O2看到了電阻115A/B，但基本上看不到任何電抗。舉例而言，第一電抗電路103A被控制為具有降低 (例如抵消或消除) 線圈105、電漿以及第一電抗電路103A與線圈105之間之RF功率傳輸連接之電抗的電抗。於一些實施例中，第一電抗電路103A之電抗藉由控制可

變電容104A之電容設定來控制。類似地，第二電抗電路103B被控制為具有降低(例如抵消或消除)線圈105、電漿以及第二電抗電路103B與線圈105之間之RF功率傳輸連接之電抗的電抗。於一些實施例中，第二電抗電路103B之電抗藉由控制可變電容104B之電容設定來控制。

【0050】於一些實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B是由碳化矽製成，以具有低內阻以及快速切換時間，並有助於第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B的冷卻。碳化矽第一電晶體239A/B以及碳化矽第二電晶體241A/B之低內阻降低了第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B所產生的熱量，這使得使用冷卻板或散熱器更容易冷卻第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B。此外，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B之低內阻提供了更高的效率，這使得第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B幾乎瞬時地導通以及快速截止，例如小於10微秒。於一些實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B中之每一個被配置為在小於預定時間段(例如小於10微秒)內導通以及截止。於一些實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B中之每一個被配置為在從約0.5微秒延伸至約10微秒的時間段內導通以及截止。於一些實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B中之每一個被配置為在從約1微秒延伸至約5微秒的時間段內導通以及截止。於一些實施例中，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B中之每一個被配置為在從約3微秒延伸至約7微秒的時間段內導通以及截止。可以理解的是，第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B中之每一個的導通及截止狀態之間的轉變基本上沒有延遲。以此方式，當第一電晶體239A/B導通時，第二電晶體241A/B基本上同時截止。並且，當第一電晶體239A/B截止時，第二電晶體241A/B基本上同時導通。第一電晶體

239A/B以及第二電晶體241A/B被配置為足夠快地導通以及截止，以確保第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B不會同時導通，以避免電流直接從電壓源Vdc經由第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B流向參考接地電位242A/B。

【0051】可以理解的是，第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B之電晶體等元件是電子元件。此外，可以理解的是，在從第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B至線圈105之RF功率傳輸路徑中，沒有RF阻抗匹配網路以及RF纜線。第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B內之電子元件與在從第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B至線圈105之RF功率傳輸路徑中不存在RF阻抗匹配網路以及不存在RF纜線相結合，為不同的電漿處理腔室111之間之快速電漿點燃以及電漿可持續性提供了可重複性以及一致性。

【0052】圖3示出了半橋電晶體電路233A/B之電路示意圖，其根據一些實施例實現跨第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B之電壓限制器。二極體303A/B連接在第一電晶體239A/B之汲極端 (D) 以及源極端 (S) 之間，以限制第一電晶體239A/B兩端之電壓。當第一電晶體239A/B導通且第二電晶體241A/B截止時，第一電晶體239A/B兩端之電壓增加，直到該電壓被二極體303A/B限制。二極體303A/B發揮了防止電流不利地經由第一電晶體239A/B從電壓源Vdc直射至參考接地電位242A/B的作用。類似地，二極體305A/B連接在第二電晶體241A/B之汲極端 (D) 以及源極端 (S) 之間，以限制第二電晶體241A/B兩端之電壓。當第二電晶體241A/B導通且第一電晶體239A/B截止時，第二電晶體241A/B兩端之電壓增加，直到該電壓被二極體305A/B限制。二極體305A/B發揮了防止電流不利地經由第二電晶體241A/B從電壓源Vdc直射至參考接地電位242A/B的作用。電容301A/B連接在第一電晶體239A/B之汲極端 (D) 以及第二電晶體

241A/B之源極端(S)之間。在第一電晶體239A/B及/或第二電晶體241A/B之截止以及導通延遲的情況下，電流將從電壓源Vdc經由電容301A/B流向參考接地電位242A/B，以降低不利且潛在破壞性的電流量經由第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B之輸出端O1/O2流至線圈105的可能性。

【0053】圖4A示出了根據一些實施例，在第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B之輸出端O1/O2處產生之示例整形放大方波401之參數隨時間變化之曲線圖。整形放大方波401之參數為功率、電壓或電流。整形放大方波401具有整形包絡403，其是根據由控制器113及/或波形產生器213A/B所管理的整形控制信號214A/B所指示之電壓值所產生的。整形包絡403被控制，使得整形放大方波401之參數的絕對幅度於第一準位L1(較低準位)以及第二準位L2(較高準位)之間轉變。參數於第一準位L1之峰至峰幅度低於第二準位L2之峰至峰幅度。可以理解的是，取決於由整形控制信號214A/B所指示之電壓值，整形包絡403可具有與圖4A所示不同的形狀。舉例而言，可產生整形控制信號214A/B以管理整形包絡403具有連續波形、三角形、多級脈衝形狀或基本上任何其它規定之受控任意形狀。

【0054】圖4B示出了根據一些實施例，在第一/第二電抗電路103A/B之輸出端處產生之示例整形正弦波形405之參數隨時間變化之曲線圖。整形正弦波形405之參數為功率、電壓或電流。整形正弦波形405是基於隨時間變化之輸入至第一/第二電抗電路103A/B之整形放大方波401。整形放大方波401為基頻正弦波形405A以及多個高階諧波頻率正弦波405B、405C等之組合。舉例而言，正弦波形405B表示基頻正弦波形405A之二階諧波頻率。並且，正弦波形405C表示基頻正弦波形405A之三階諧波頻率。第一/第二電抗電路103A/B發揮了從整形放大方波405中去除高階諧波頻率正弦波形405B、405C的作用，以便在第一/第二電抗電

路103A/B之輸出端僅提供隨時間變化之基頻正弦波形405A。第一/第二電抗電路103A/B之高品質因數有助於從第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B所輸出之整形放大方波401中去除高階諧波頻率正弦波形405B、405C等。基頻正弦波形405A作為整形正弦波形傳輸至線圈105，從而將RF功率傳輸至線圈105。

【0055】圖5A示出了根據一些實施例，在第一/第二電抗電路103A/B之輸出端處所產生之示例整形正弦波形501之參數隨時間變化之曲線圖。整形正弦波形501之參數為功率、電壓或電流。整形正弦波形501具有整形包絡503，是根據由控制器113及/或波形產生器213A/B所管理的整形控制信號214A/B所指示之電壓值所產生的。整形包絡503定義隨時間變化之整形正弦波形501之參數中峰至峰變化。示例之整形包絡503展現基本上方形之包絡，例如脈衝形狀之包絡。

【0056】圖5B示出了根據一些實施例，在第一/第二電抗電路103A/B之輸出端處所產生之示例整形正弦波形505之參數隨時間變化之曲線圖。整形正弦波形505之參數為功率、電壓或電流。整形正弦波形505具有整形包絡507，其是根據由控制器113及/或波形產生器213A/B管理之整形控制信號214A/B所指示之電壓值所產生的。整形包絡507定義隨時間變化之整形正弦波形505之參數之峰至峰變化。示例整形包絡505展現基本上三角形之包絡。

【0057】圖5C示出了根據一些實施例，在第一/第二電抗電路103A/B之輸出端處所產生之示例整形正弦波形509之參數隨時間變化之曲線圖。整形正弦波形509之參數為功率、電壓或電流。整形正弦波形509具有整形包絡511，其是根據由控制器113及/或波形產生器213A/B管理之整形控制信號214A/B所指示之電壓值所產生的。整形包絡511定義隨時間變化之整形正弦波形509之參數之峰至峰變化。示例整形包絡511展現包含三個不同狀態S1、S2及S3之多狀態整形包絡。

整形包絡511被定義為使得在第一狀態S1期間之整形正弦波形509之參數之峰至峰變化大於在第二狀態S2期間之整形正弦波形509之參數之峰至峰變化。整形包絡511也被定義為使得在第二狀態S2期間之整形正弦波形509之參數之峰至峰變化大於在第三狀態S3期間之整形正弦波形509之參數之峰至峰變化。整形包絡511在第三狀態S3之後回復至第一狀態S1。狀態S1、S2及S3以小於第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B所輸出之整形放大方波之頻率的頻率重複。因此，狀態S1、S2及S3以小於整形正弦波形509之頻率的頻率重複。於各種實施例中，多狀態整形包絡包含多於三個不同狀態，每一不同狀態對應於隨時間變化之整形正弦波形509之參數之不同峰至峰變化。此外，於各種實施例中，可控制多狀態整形包絡，使得整形包絡之三個或更多個不同狀態中之任何一個具有相對於整形包絡之下一個狀態較低或較高之整形正弦波形509之參數之峰至峰幅度。

【0058】圖5D示出了根據一些實施例，在第一/第二電抗電路103A/B之輸出端處所產生之示例整形正弦波形513之參數隨時間變化之曲線圖。整形正弦波形513之參數為功率、電壓或電流。整形正弦波形513具有整形包絡515，其是根據由控制器113及/或波形產生器213A/B管理之整形控制信號214A/B所指示之電壓值所產生的。整形包絡515定義隨時間變化之整形正弦波形513之參數之峰至峰變化。示例整形包絡515基本上是平坦的，使得整形正弦波形513展現具有實質上穩定之峰至峰幅度之連續波信號。

【0059】圖6示出了根據一些實施例之用於將RF功率從第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/B傳輸至電漿處理腔室111之方法之流程圖。該方法包含操作601A，其用以將第一整形放大方波信號從第一直接驅動式RF電源供應器101A之輸出端傳輸至第一電抗電路103A，其中第一電抗電路103A進行操作以轉

換第一整形放大方波信號轉換為第一整形正弦信號。於一些實施例中，第一直接驅動式RF電源供應器101A具有非50歐姆之輸出阻抗。該方法亦包含操作603A，其用以將來自第一電抗電路103A之輸出端之第一整形正弦信號傳輸至電漿處理腔室111之線圈105之第一端。第一整形正弦信號將RF功率傳送至線圈105。

【0060】該方法亦包含可選的操作605A，其用以調整第一電抗電路103A內之電容設定，使得RF功率之峰值量從第一直接驅動式RF電源供應器101A經由第一電抗電路103A傳輸至線圈105。於一些實施例中，於操作605A中調整電容設定基本上消除了第一直接驅動式RF電源供應器101A經由線圈105連接之負載的電感部分，使得負載主要為電阻負載。於一些實施例中，在操作605A中調整電容設定去除從第一直接驅動式RF電源供應器101A之輸出端傳輸至第一電抗電路103A之第一整形放大方波信號之非基本諧波成分。

【0061】該方法包含操作601B，其用以將第二整形放大方波信號從第二直接驅動式RF電源供應器101B之輸出端傳輸至第二電抗電路103B，其中第二電抗電路103B進行操作以轉換第二整形放大方波信號為第二個整形正弦信號。於一些實施例中，第二直接驅動式RF電源供應器101B具有非50歐姆之輸出阻抗。該方法亦包含操作603B，其用以將來自第二電抗電路103B之輸出端之第二整形正弦信號傳輸至電漿處理腔室111之線圈105之第二端。第二整形正弦信號將RF功率傳送至線圈105。

【0062】該方法亦包含可選的操作605B，其用以調整第二電抗電路103B內之電容設定，使得RF功率之峰值量從第二直接驅動式RF電源供應器101B經由第二電抗電路103B傳輸至線圈105。於一些實施例中，操作605B包含調整第二電抗電路103B中之可變電容104B之電容設定，以實質上匹配第一電抗電路103A中之

可變電容104A之電容設定。於一些實施例中，在操作605B中調整電容設定基本上消除了第二直接驅動式RF電源供應器101B經由線圈105連接之負載的電感部分，使得負載主要為電阻負載。於一些實施例中，在操作605B中調整電容設定去除從第二直接驅動式RF電源供應器101B之輸出端傳輸至第二電抗電路103B之第二整形放大方波信號之非基本諧波成分。可以理解的是，方法操作601A、601B、603A、603B以及可選的605A及605B彼此並行執行。

【0063】 於一些實施例中，第一直接驅動式RF電源供應器101A所輸出之第一整形放大方波信號具有約2MHz的頻率，且第一電抗電路103A中之可變電容104A之電容設定於操作605A中被調整在從約2500皮法 (pF) 延伸至約4500pF的範圍內，以及由第二直接驅動式RF電源供應器101B所輸出之第二整形放大方波信號亦具有約2MHz的頻率，第二電抗電路103B中之可變電容104B之電容設定於操作605B中被調整為具有與第一電抗電路103A中之可變電容104A實質上相同之電容設定。於一些實施例中，第一直接驅動式RF電源供應器101A所輸出之第一整形放大方波信號具有約13.56MHz的頻率，第二電抗電路103A中之可變電容104A之電容設定於操作605A中被調整在從約5pF延伸至約1000pF的範圍內，以及第二直接驅動式RF電源供應器101B所輸出之第二整形放大方波信號亦具有約13.56MHz的頻率，第二電抗電路103B中之可變電容104B之電容設定於操作605B中被調整為具有與第一電抗電路103A中之可變電容104A實質上相同之電容設定。

【0064】 於一些實施例中，第一直接驅動式RF電源供應器101A被配置為向線圈105之第一端供應具有約2MHz頻率之第一整形放大方波信號，以及第二直接驅動式RF電源供應器101B被配置為同時向線圈105之第二端供應同樣具有

約2MHz頻率之第二整形放大方波信號。於這些實施例之一些中，第一電抗電路103A被配置為在第一直接驅動式RF電源供應器101A之輸出端O1以及線圈105之第一端之間提供電容，其在從約2500pF延伸至約4500pF之範圍內，以及第二電抗電路103B被配置為在第二直接驅動式RF電源供應器101B之輸出端O2以及線圈105之第二端之間提供電容，其實質上等於第一電抗電路103A所提供之電容。於這些實施例之一些中，第一電抗電路103A包含彼此並聯連接之可變電容104A以及固定電容，以及第二電抗電路103B包含彼此並聯連接之可變電容104B以及固定電容。於這些實施例之一些中，可變電容104A及104B中之每一個之電容設定可在從約100pF延伸至約2000pF的範圍內調整，且第一電抗電路103A以及第二電抗電路103B之固定電容中之每一個的電容在從約2000pF延伸至約3500pF的範圍內，其中第二電抗電路103B以與第一電抗電路103A實質上等效的方式配置。

【0065】於一些實施例中，第一直接驅動式RF電源供應器101A被配置為向線圈105之第一端供應具有約13.56MHz頻率之第一整形放大方波信號，以及第二直接驅動式RF電源供應器101B被配置為向線圈105之第二端同時供應亦具有約13.56MHz頻率之第二整形放大方波信號。於這些實施例之一些中，第一電抗電路103A被配置為在第一直接驅動式RF電源供應器101A之輸出端O1以及線圈105之第一端之間提供電容，其從約5pF延伸至約1000pF之範圍內，以及第二電抗電路103B被配置為在第二直接驅動式RF電源供應器101B之輸出端O2以及線圈105之第二端之間提供電容，其實質上等於第一電抗電路103A所提供之電容。

【0066】於電漿處理系統100中，藉由第一直接驅動式RF電源供應器101A以及第二直接驅動式RF電源供應器101B之組合以實質上對稱的方式驅動RF功率通過線圈105。第一直接驅動式RF電源供應器101A將設定點RF功率的一半傳

送至線圈105，第二直接驅動式RF電源供應器101B將設定點RF功率的一半傳送至線圈105。線圈105之第一端連接至第一直接驅動式RF電源供應器101A之半橋電晶體電路233A之輸出端O1，同時線圈105之第二端連接至第二直接驅動式RF電源供應器101B之半橋電晶體電路233B之輸出端O2，使線圈105能夠使用DC軌235A/B電壓 (V_{dc}) 的一半以指定的RF功率準位被驅動，若以其它方式，線圈105僅由第一直接驅動式RF電源供應器101A以及第二直接驅動式RF電源供應器101B中之一個驅動。對於給定之DC軌235A/B電壓 (V_{dc})，線圈105上會有更高的電壓。因此，藉由使線圈105之相對端對稱地耦合至第一直接驅動式RF電源供應器101A以及第二直接驅動式RF電源供應器101B，電漿處理系統100能夠於給定之DC軌235A/B電壓(V_{dc})下使經由線圈105驅動之RF功率加倍。這使得DC軌235A/B能夠針對給定的RF 率準位在較低電壓 (V_{dc}) 下操作，這有助於滿足 (低於) 第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B之最大額定電壓在DC軌235A/B內。於一些實施例中，以第一直接驅動式RF電源供應器101A以及第二直接驅動式RF電源供應器101B對稱連接向線圈105供應RF功率，傳輸至線圈105之總RF功率大於約8千瓦 (kW) 或大於約10kW，而不超過DC軌235A/B內之第一電晶體239A/B以及第二電晶體241A/B之電壓限制。此外，第一電抗電路103A以及第二電抗電路103B被配置為提供實質上相等之電容準位，以便維持線圈105兩端之電壓平衡。第一直接驅動式RF電源供應器101A以及第二直接驅動式RF電源供應器101B至線圈105之對稱耦合在具有高電感以及低電流的應用中特別有益。

【0067】 圖7示出了根據一些實施例之電漿處理系統700之示意圖，該系統具有連接至線圈105之第一端之第一直接驅動式RF電源供應器101A以及連接至線圈105之第二端之可變電容701。於電漿處理系統700中，可變電容701代替第二

直接驅動式RF電源供應器101B，如關於圖1-6所描述的。線圈105之第二端連接至可變電容701之第一端。可變電容701之第二端連接至參考接地電位703。於一些實施例中，調整可變電容701之電容設定以達到線圈105兩端之電壓平衡，使得線圈105之第一端處之電壓實質上等於線圈105之第二端處之電壓。於一些實施例中，調整可變電容701之電容設定以達到平衡RF功率饋電條件，其中可變電容701之電抗實質上等於線圈105之電抗的一半。於一些實施例中，調整可變電容701之電容設定以最佳化（例如最大化）電漿處理腔室111內之電漿密度。於一些實施例中，調節可變電容701之電容設定以最佳化（例如最小化）電漿處理腔室111內之電漿電位。於一些實施例中，調整可變電容701之電容設定以最佳化（例如最小化）電漿處理腔室111內之電漿護套兩端的電壓降。於一些實施例中，調整可變電容701之電容設定以最佳化電漿處理腔室111內之電漿內之電子溫度。

【0068】圖8示出了根據一些實施例之用於將RF功率傳輸至電漿處理腔室700之方法的流程圖。該方法包含操作801，其用以將整形放大方波信號從第一直接驅動式RF電源供應器101A之輸出端傳輸至第一電抗電路103A，其中第一電抗電路103A進行操作以轉換整形放大方波信號為整形正弦信號。該方法亦包含操作803，其用以將來自第一電抗電路103A之輸出端之整形正弦信號傳輸至電漿處理腔室111之線圈105之第一端，其中整形正弦信號將RF功率傳送至線圈105。該方法亦包含可選的操作805，其用以調整第一電抗電路103A之電容設定，使得RF功率之峰值量從第一直接驅動式RF電源供應器101A經由第一電抗電路103A傳輸至線圈105。該方法亦包含操作807，其用以調節連接在線圈105之第二端以及參考接地電位703之間之可變電容701之電容設定，以達到與從線圈向電漿處理腔室111內之電漿傳輸RF功率相關之規定條件。於一些實施例中，執行操作807

以達到線圈105兩端 (線圈105之第一端以及第二端之間) 電壓之實質上平衡。於一些實施例中，執行操作807以達到平衡RF功率饋電條件，其中可變電容701之電抗實質上等於線圈105之電抗的一半。於一些實施例中，執行操作807以最佳化 (例如最大化) 電漿處理腔室111內之電漿密度。於一些實施例中，執行操作807以最佳化 (例如最小化) 電漿處理腔室111內之電漿電位。於一些實施例中，執行操作807以最佳化 (例如最小化) 電漿處理腔室111內之電漿護套兩端的電壓降。於一些實施例中，執行操作807以最佳化電漿處理腔室111內之電漿內之電子溫度。

【0069】 本文所述之各種實施例可結合各種電腦系統配置加以實踐，包含手持式硬體單元、微處理器系統、基於微處理器或可編程之消費電子產品、小型電腦、大型電腦等。本文所述之各種實施例亦可結合分散式運算環境加以實踐，其中任務是以經由電腦網路鏈接之遠端處理硬體單元來執行。

【0070】 於一些實施例中，提供用於控制電漿處理系統100及700之控制系統，例如主機電腦系統。於各種實施例中，電漿處理系統100及700包含半導體處理設備，例如處理工具、腔室、處理平台及/或特定處理組件，例如晶圓基座、氣體流量系統以及其它組件。於各種實施例中，電漿處理系統100及700與用於在半導體晶圓或基板之處理之前、期間以及之後控制它們的操作之電子設備整合，其中電子設備於控制器內實施，該控制器被配置以及連接，以控制各種組件及/或電漿處理系統100及700之子部分。根據基板/晶圓處理的要求及/或電漿處理系統100及700之特定配置，控制器被編程以控制本文所揭露之任何處理及/或組件，包含處理氣體之輸送、溫度設定 (例如加熱及/或冷卻)、壓力設定、真空設定、功率設定、第一/第二直接驅動式RF電源供應器101A/101B設定、第一/第二電抗電路103A/B設定、可變電容701設定、電性信號頻率設定、氣體流量設定、流體

輸送設定、位置以及操作設定、基板/晶圓傳入傳出電漿處理腔室111及/或進出連接至電漿處理系統100及700或與之界接之負載鎖等等。

【0071】 廣義地說，連接至電漿處理腔室100及700以控制其操作之控制器可被定義為具有各種積體電路、邏輯、記憶體及/或軟體之電子設備，其管理及控制各種任務/操作，例如接收指令、發出指令、控制裝置操作、啟用清潔操作、啟用端點測量、啟用計量測量(光學、熱學、電氣等)，以及其他任務/操作。於一實施例中，控制器內之積體電路包含儲存程式指令之一或多個韌體、數位信號處理器(digital signal processor, DSP)、特殊應用積體電路(ASIC)晶片、可程式化邏輯裝置(PLD)、一或多個微處理器、及/或執行程式指令(例如軟體)之微控制器、以及其它計算裝置。於一實施例中，程式指令是以各種單獨設定(或程式檔案)之形式與控制器通訊，各種單獨設定定義了用以於電漿處理系統100及700內之基板/晶圓上進行處理之操作參數。於一些實施例中，操作參數被包含於處理工程師所定義之配方中，以在製造一或多層、材料、金屬、氧化物、矽、二氧化矽、表面、電路及/或晶粒於基板/晶圓期間完成一或多個處理步驟。

【0072】 於一些實施例中，控制器可為與電漿處理系統100及700整合或連接之電腦之一部分或連接至電腦，或以其它方式連網至電漿處理系統100及700或其組合。舉例而言，於一些實施例中，控制器實現於“雲端”中或晶圓廠主機電腦系統之全部或一部分中，這允許遠端存取以控制電漿處理系統100及700之基板/晶圓處理。控制器啟用對電漿處理系統100及700之遠端存取，以監控製造操作之當前進度、檢查過去製造操作之歷史、檢查來自多個製造操作之趨勢或效能指標、改變處理參數、設定後續處理步驟及/或開始新的基板/晶圓製造處理。

【0073】 於一些實施例中，遠端電腦(例如伺服器電腦系統)可經由電網路向電漿處理系統100及700之控制器提供處理配方，電腦網路包含區域網路及/或網際網路。遠端電腦包含能夠輸入或編程參數及/或設定之使用者界面，然後將其從遠端電腦傳送至電漿處理系統100及700之控制器。於一些示例中，控制器接收資料形式之指令，用以處理電漿處理系統100及700內之基板/晶圓。可以理解的是，設定具體為要執行於基板/晶圓上之處理類型以及工具/裝置/組件類型，其控制器與之溝通或控制。於一些實施例中，控制器為分散式的，例如藉由包含一或多個由網路連接在一起且同步為共同目的工作之獨立控制器，例如操作電漿處理系統100及700以於基板/晶圓上進行預定處理。用於這種目的之分散式控制器之示例包含腔室上之一或多個積體電路，其與一或多個位於遠端之積體電路(例如於平台級別或作為遠端電腦之一部分) 通訊，這些積體電路結合起來以控制腔室中之處理。根據電漿處理系統100及700要執行之處理操作，控制器與一或多個其它工具電路或模組、其它工具組件、叢集工具(cluster tool)、其它工具界面、相鄰的工具、鄰近的工具、遍及工廠而分布的工具、主電腦、另一控制器或材料輸送中所使用之工具，該材料輸送中所使用之工具在半導體製造廠中將基板/晶圓容器帶至工具位置及/或裝載埠，或自工具位置及/或裝載埠帶來基板/晶圓容器。

【0074】 可以理解的是，於一些實施例中，電漿處理系統100及700之操作包含執行涉及儲存於電腦系統中之資料之各種電腦實現的操作。這些電腦實現的操作是那些控制物理量的操作。於各種實施例中，電腦實現的操作由通用電腦或特殊用途電腦執行。於一些實施例中，電腦實現的操作由選擇性啟動之電腦執行，及/或由儲存於電腦記憶體中或經由電腦網路獲得之一或多個電腦程式管理。

當經由電腦網路獲得電腦程式及/或數位資料時，數位資料可由電腦網路上之其它電腦處理，例如計算資源雲。電腦程式以及數位資料作為電腦可讀取代碼儲存於非暫時性電腦可讀取媒體上。非暫時性電腦可讀取媒體為儲存資料之任何資料儲存硬體單元，例如記憶體裝置等，其隨後可由電腦系統讀取。非暫時性電腦可讀取媒體之示例包含硬碟、網路附加儲存 (network attached storage, NAS)、ROM (唯讀記憶體)、RAM (隨機存取記憶體)、唯讀光碟 (CD-ROM)、可錄式光碟 (CD-R)、可重複燒錄光碟 (CD-RW)、數位視訊/多功能光碟 (digital video/versatile disc, DVD)、磁帶以及其它光學及非光學資料儲存硬體單元。於一些實施例中，電腦程式及/或數位資料分佈於多個電腦可讀取媒體，其位於耦合電腦系統之網路內之不同電腦系統中，使得電腦程式及/或數位資料以分散式的方式執行及/或儲存。

【0075】 儘管為了清楚理解的目的，上述揭露內容包含一些細節，但是顯然可在所附之申請專利範圍之範圍內實施某些改變以及修改。舉例而言，可以理解的是，本文所揭露之任何實施例之一或多個特徵可與本文所揭露之任何其它實施例之一或多個特徵組合。因此，本實施例應被認為是說明性的而非限制性的，且所要求保護之內容不限於本文所給出之細節，而是可在所述之實施例之範圍以及均等物內進行修改。

【符號說明】

【0076】

100: 電漿處理系統

101A: 第一直接驅動式射頻電源供應器

- 101B: 第二直接驅動式射頻電源供應器
- 103A: 第一電抗電路
- 103B: 第二電抗電路
- 104A: 可變電容
- 104B: 可變電容
- 105: 線圈
- 107: 基板固持器
- 108: 參考接地電位
- 109: 半導體晶圓
- 111: 電漿處理腔室
- 112: 窗口
- 113: 控制器
- 115A: 電阻
- 115B: 電阻
- 116A: 連接
- 116B: 連接
- 117A: 第一電壓及電流探針
- 117B: 第二電壓及電流探針
- 118A: 連接
- 118B: 連接
- 119A: 電流探針
- 119B: 電流探針

120A: 連接

120B: 連接

121A: 連接

121B: 連接

123A: 連接

123B: 連接

125A: 連接

125B: 連接

127A: 連接

127B: 連接

129A: 連接

129B: 連接

131A: 回饋信號

131B: 回饋信號

201A/B: 輸入部分

203A/B: 輸出部分

205A/B: 控制器板

207A/B: 閘極驅動器

209A/B: 電性信號產生器

211A/B: 頻率輸入控制器

212A/B: 連接

213A/B: 波形產生器

214A/B: 整形控制信號

215A/B: 閘極驅動器子部分

217A/B: 脈衝變壓器

219A/B: 閘極驅動器

221A/B: 閘極驅動器

223A/B: 電容

225A/B: 電阻

227A/B: 初級繞組

229A/B: 次級繞組

231A/B: 次級繞組

233A/B: 半橋電晶體電路

235A/B: 直流軌

237A/B: 導體

239A/B: 第一電晶體

241A/B: 第二電晶體

242A/B: 參考接地電位

303A/B: 二極體

305A/B: 二極體

401: 整形放大方波

403: 整形包絡

405: 整形正弦波形

405A: 基頻正弦波形

405B: 高階諧波頻率正弦波形

405C: 高階諧波頻率正弦波形

501: 整形正弦波形

503: 整形包絡

505: 整形正弦波形

507: 整形包絡

509: 整形正弦波形

511: 整形包絡

513: 整形正弦波形

515: 整形包絡

601A: 步驟

601B: 步驟

603A: 步驟

603B: 步驟

605A: 步驟

605B: 步驟

700: 電漿處理系統

701: 可變電容

703: 參考接地電位

D: 汲極端

L1: 第一準位

L2: 第二準位

O1: 輸出端

O2: 輸出端

S: 源極端

S1: 第一狀態

S2: 第二狀態

S3: 第三狀態

Vdc: 電壓源

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種電漿處理系統，包含：

一電漿處理腔室；

一線圈，其設置於該電漿處理腔室旁，該線圈具有一第一端以及一第二端；

一第一直接驅動式射頻電源供應器，其具有一輸出端，經由該輸出端傳輸一第一整形放大方波信號；

一第一電抗電路，其連接於該第一直接驅動式射頻電源供應器之該輸出端以及該線圈之該第一端之間，該第一電抗電路被配置為將該第一整形放大方波信號轉換為一第一整形正弦信號，並傳送至該線圈之該第一端；

一第二直接驅動式射頻電源供應器，其具有一輸出端，經由該輸出端傳輸一第二整形放大方波信號；以及

一第二電抗電路，連接於該第二直接驅動式射頻電源供應器之該輸出端以及該線圈之該第二端之間，該第二電抗電路被配置為將該第二整形放大方波信號轉換為一第二整形正弦信號，並傳送至該線圈之該第二端。

【請求項2】 如請求項1所述之電漿處理系統，其中該第一直接驅動式射頻電源供應器以及該第二直接驅動式射頻電源供應器具有匹配的配置，以及其中該第一電抗電路以及該第二電抗電路具有匹配的配置。

【請求項3】 如請求項2所述之電漿處理系統，其中該第一直接驅動式射頻電源供應器包含一電性信號產生器，其被連接以經由一第一閘極驅動器傳輸一第一電性信號至一脈衝變壓器之一初級繞組之一第一端，該第一電性信號產生器亦被連接以經由一第二閘極驅動器傳輸一第二電性信號至該脈衝變壓器之該

初級繞組之一第二端，該第一直接驅動式射頻電源供應器包含一半橋電晶體電路，其包含串聯連接於一電壓電源以及一參考接地電位之間之一第一電晶體以及一第二電晶體，該第一電晶體具有一閘極，其連接至該脈衝變壓器之一第一次級繞組，該第二電晶體具有一閘極，其連接至該脈衝變壓器之一第二次級繞組，該第一直接驅動式射頻電源供應器之該輸出端是位於該第一電晶體以及該第二電晶體之間的連接處。

【請求項4】 如請求項2所述之電漿處理系統，其中該第一電抗電路包含一可變電容。

【請求項5】 一種操作電漿處理系統之方法，包含：

操作一第一直接驅動式射頻信號產生器，以產生一第一整形放大方波信號；

傳送該第一整形放大方波信號至一第一電抗電路；

操作該第一電抗電路以將該第一整形放大方波信號轉換為一第一整形正弦信號；

傳送該第一整形正弦信號至一電漿處理腔室之一線圈之一第一端，該第一整形正弦信號將射頻功率傳送至該線圈；

操作一第二直接驅動式射頻信號產生器，以產生一第二整形放大方波信號；

傳送該第二整形放大方波信號至一第二電抗電路；

操作該第二電抗電路以將該第二整形放大方波信號轉換為一第二整形正弦信號；以及

傳送該第二整形正弦信號至該電漿處理腔室之該線圈之一第二端，該第二整形正弦信號將射頻功率傳送至該線圈。

【請求項6】 如請求項5所述之操作電漿處理系統之方法，其中該第一整形正弦信號將射頻功率總量之約一半傳送至該線圈，且該第二整形正弦信號將射頻功率總量之約一半傳送至該線圈。

【請求項7】 如請求項5所述之操作電漿處理系統之方法，其中該第一直接驅動式射頻信號產生器以及該第二直接驅動式射頻信號產生器具有匹配的配置，以及其中該第一電抗電路以及該第二電抗電路具有匹配的配置。

【請求項8】 如請求項5所述之操作電漿處理系統之方法，其中該第一直接驅動式射頻信號產生器以及該第二直接驅動式射頻信號產生器於相同之直流軌電壓下進行操作。

【請求項9】 如請求項8所述之操作電漿處理系統之方法，其中該相同之直流軌電壓小於該線圈兩端之電壓。

【請求項10】 如請求項5所述之操作電漿處理系統之方法，更包含：

調整該第一電抗電路內之一電容設定，使得射頻功率之峰值量從該第一直接驅動式射頻電源供應器經由該第一電抗電路傳輸至該線圈之該第一端；
以及

調整該第二電抗電路內之一電容設定，使得射頻功率之峰值量從該第二直接驅動式射頻電源供應器經由該第二電抗電路傳輸至該線圈之該第二端。

【請求項11】 一種電漿處理系統，包含：

一電漿處理腔室；

一線圈，其設置該電漿處理腔室旁，該線圈具有一第一端以及一第二端；

一直接驅動式射頻電源供應器，其具有一輸出端，經由該輸出端傳輸一整形放大方波信號；

一電抗電路，其連接於該直接驅動式射頻電源供應器之該輸出端以及該線圈之該第一端之間，該電抗電路被配置為將該整形放大方波信號轉換為一整形正弦信號，並傳送至該線圈之該第一端；以及

可變電容，其具有一輸入端連接至該線圈之該第二端，該可變電容具有一輸出端連接至一參考接地電位。

【請求項12】 如請求項11所述之電漿處理系統，其中該線圈之該第二端連接至一電子元件，其能夠影響從該線圈至該電漿處理腔室內之電漿之射頻功率傳輸，該電子元件為該可變電容。

【請求項13】 如請求項11所述之電漿處理系統，其中該直接驅動式射頻電源供應器包含一電性信號產生器，其被連接以經由一第一閘極驅動器傳輸一第一電性信號至一脈衝變壓器之一初級繞組之一第一端，該電性信號產生器亦被連接以經由一第二閘極驅動器傳輸一第二電性信號至該脈衝變壓器之該初級繞組之一第二端，該直接驅動式射頻電源供應器包含一半橋電晶體電路，其包含串聯連接於一電壓電源以及另一參考接地電位之間之一第一電晶體以及一第二電晶體，該第一電晶體具有一閘極，其連接至該脈衝變壓器之一第一次級繞組，該第二電晶體具有一閘極，其連接至該脈衝變壓器之一第二次級繞組，該直接驅動式射頻電源供應器之該輸出端是位於該第一電晶體以及該第二電晶體之間的連接處。

【請求項14】 一種操作電漿處理系統之方法，包含：

操作一直接驅動式射頻信號產生器，以產生一整形放大方波信號；

傳送該整形放大方波信號至一電抗電路；

操作該電抗電路以將該整形放大方波信號轉換為一整形正弦信號；

傳送該整形正弦信號至一電漿處理腔室之一線圈之一第一端，該整形正弦信號將該射頻功率傳送至該線圈；以及

調整連接於該線圈之一第二端以及一參考接地電位之間之一可變電容之一電容設定，以達到與從該線圈向該電漿處理腔室內之電漿之傳輸射頻功率相關之一規定條件。

【請求項15】 如請求項14所述之操作電漿處理系統之方法，其中該規定條件為該線圈兩端之電壓實質上平衡。

【請求項16】 如請求項14所述之操作電漿處理系統之方法，其中該規定條件為一平衡射頻功率饋電條件，其中該可變電容之一電抗實質上等於該線圈之一電抗的一半。

【請求項17】 如請求項14所述之操作電漿處理系統之方法，其中該規定條件為該電漿處理腔室內之一電漿密度之最佳化。

【請求項18】 如請求項14所述之操作電漿處理系統之方法，其中該規定條件為該電漿處理腔室內之一電漿電位之最佳化。

【請求項19】 如請求項14所述之操作電漿處理系統之方法，其中該規定條件為該電漿處理腔室內之電漿護套兩端之電壓降之最佳化。

【請求項20】 如請求項14所述之操作電漿處理系統之方法，其中該規定條件為該電漿處理腔室內之該電漿內之電子溫度之最佳化。

【發明圖式】

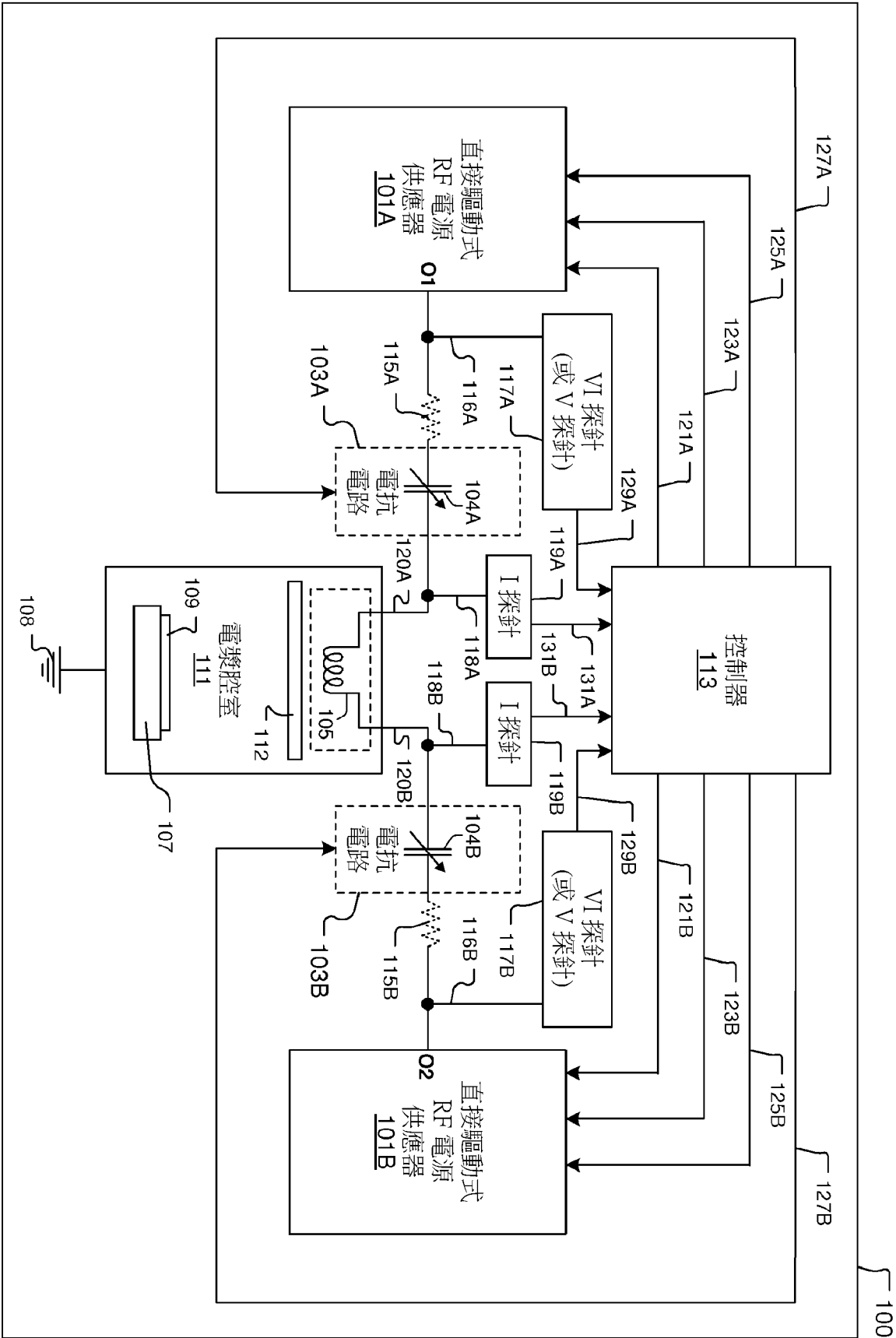


圖 1

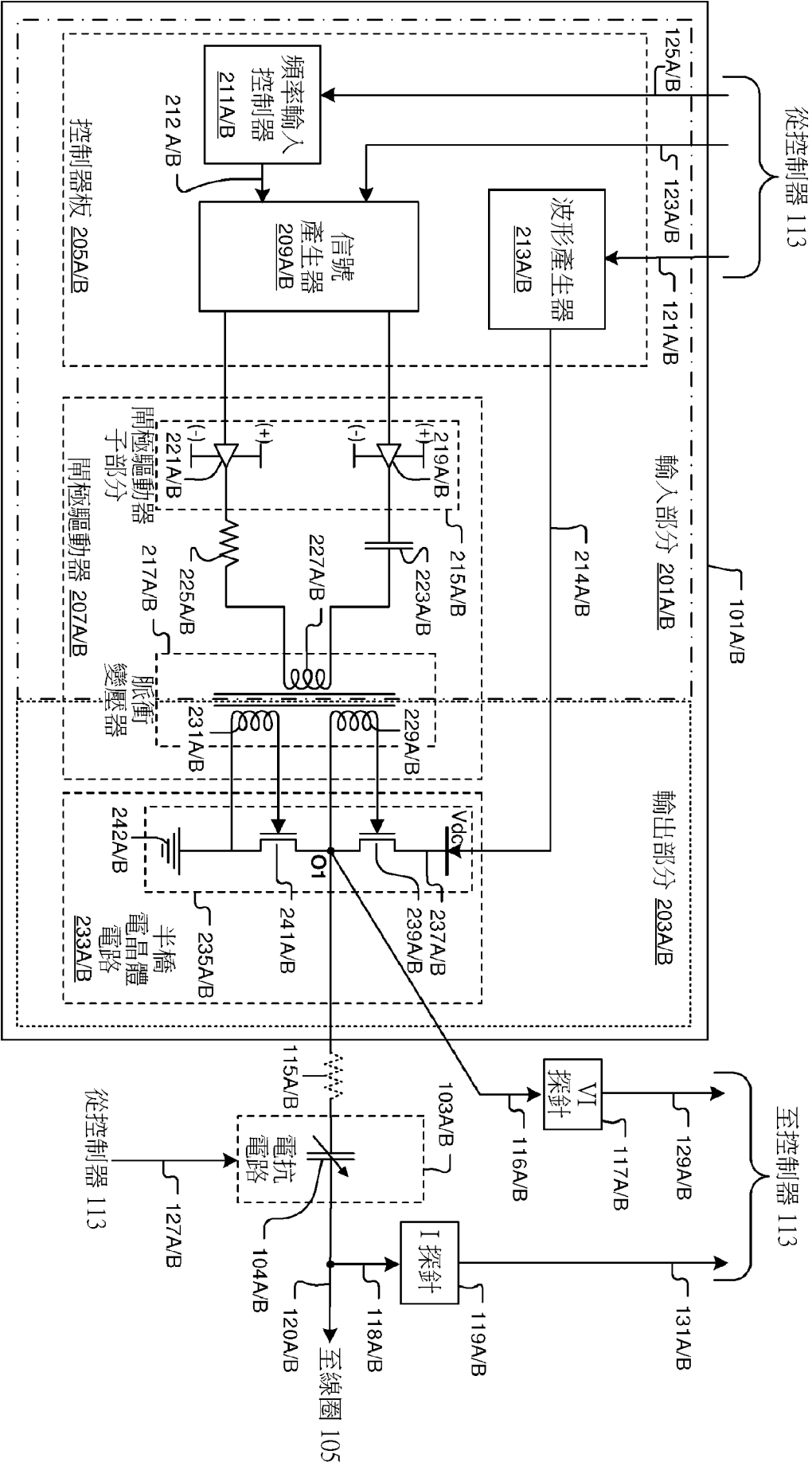


圖 2

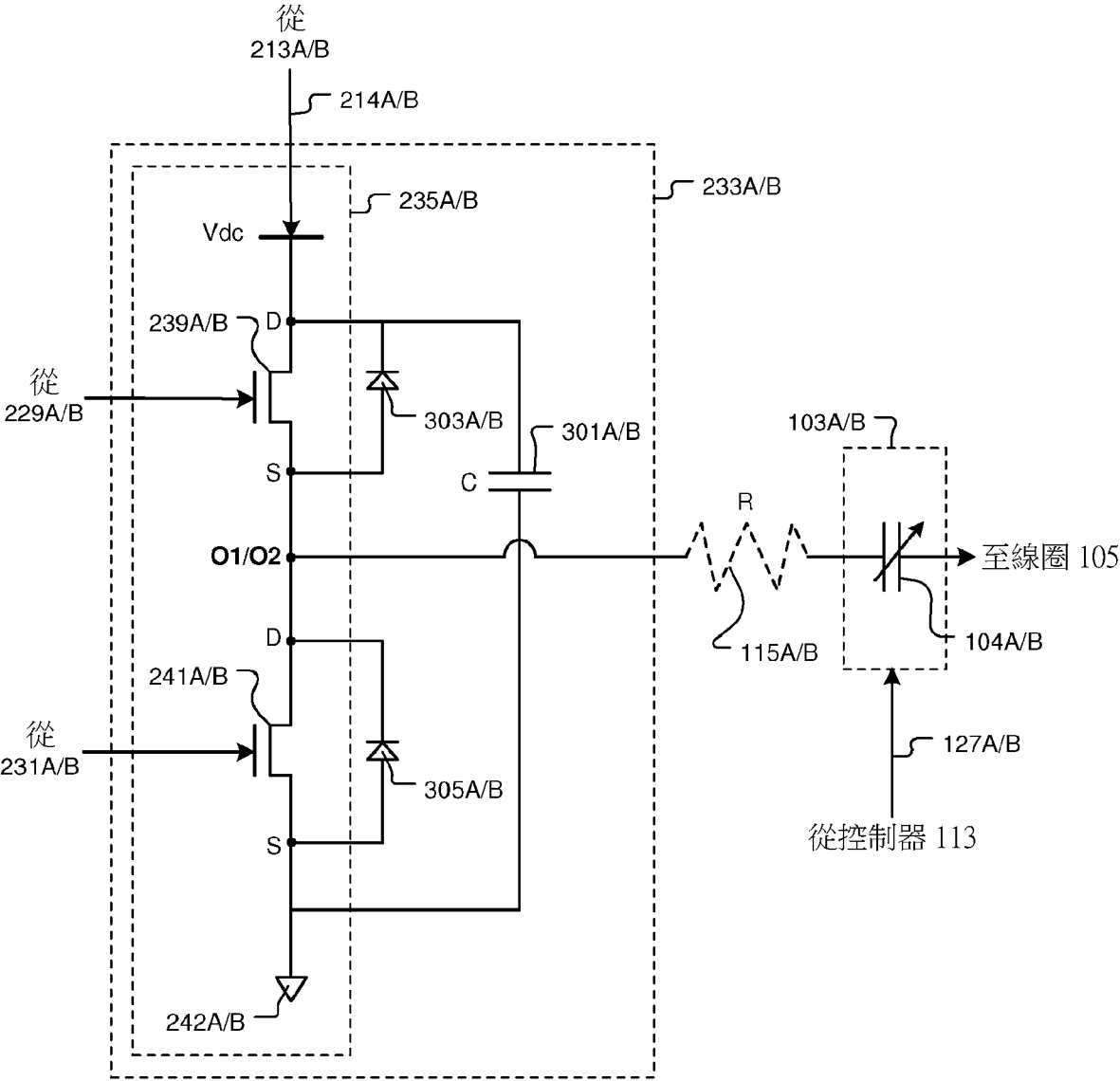


圖 3

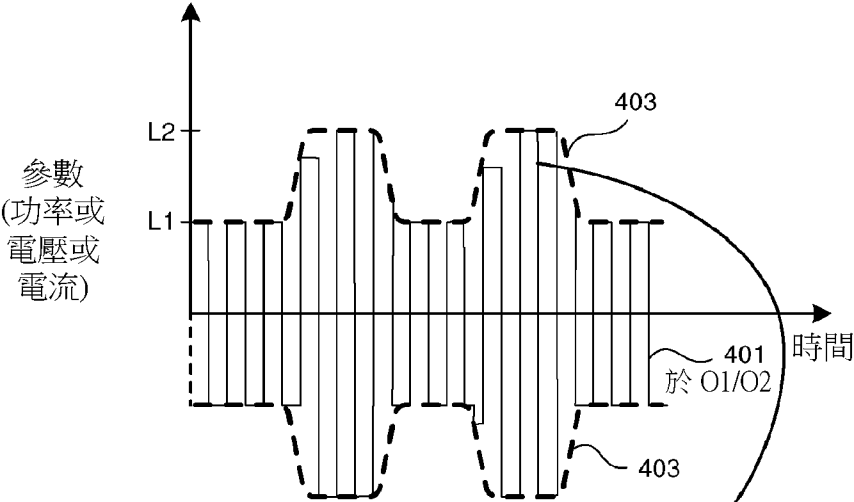


圖 4A

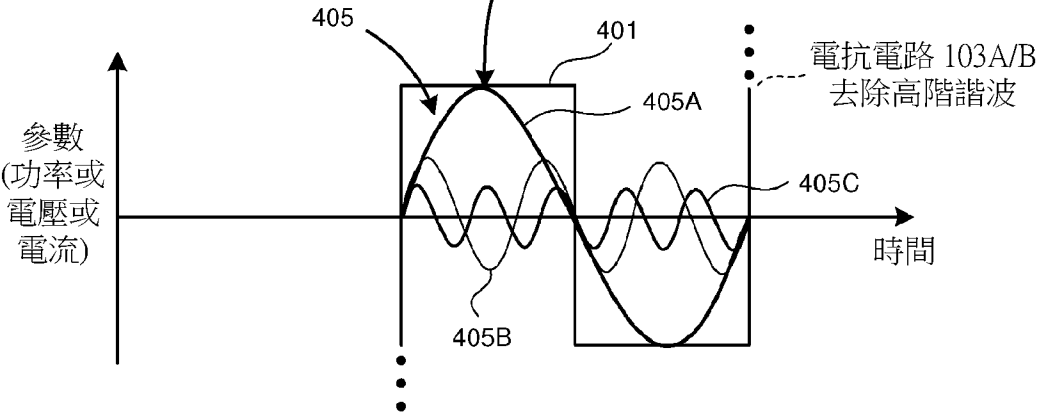


圖 4B

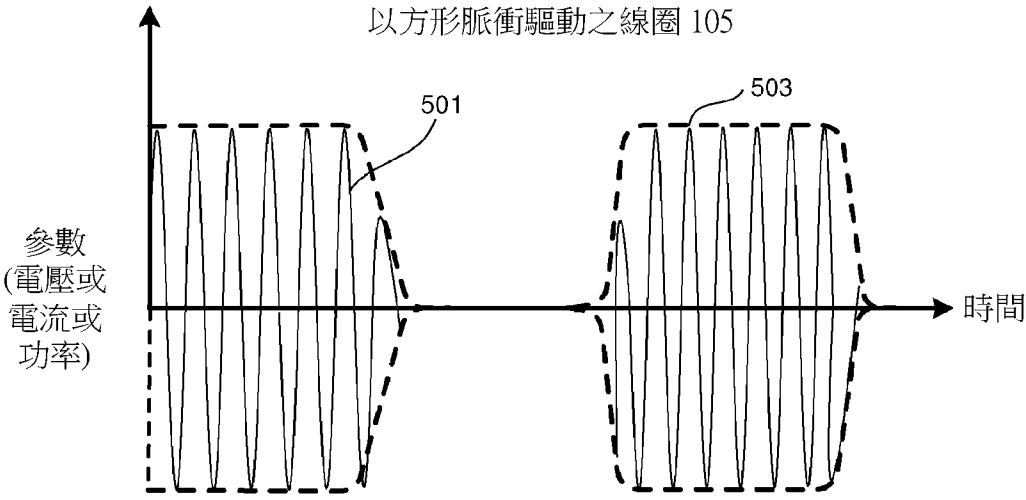


圖 5A

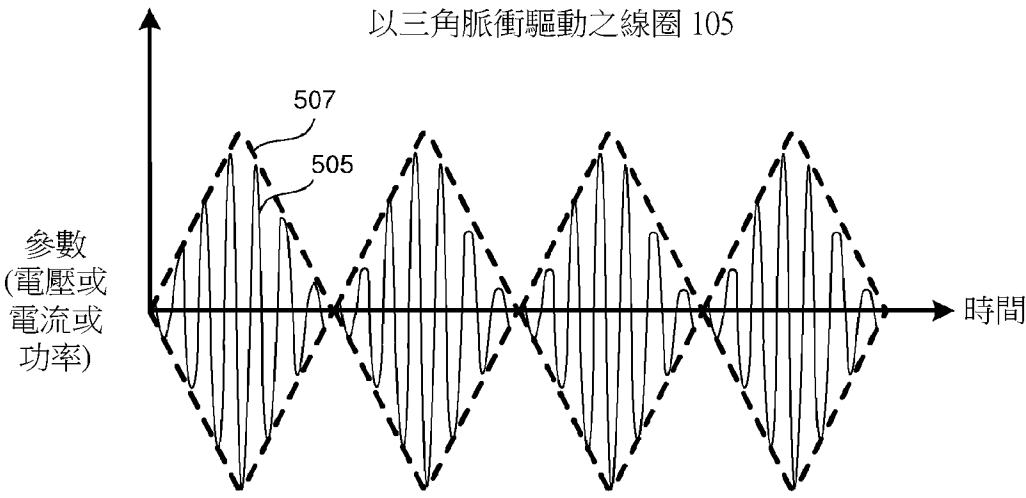


圖 5B

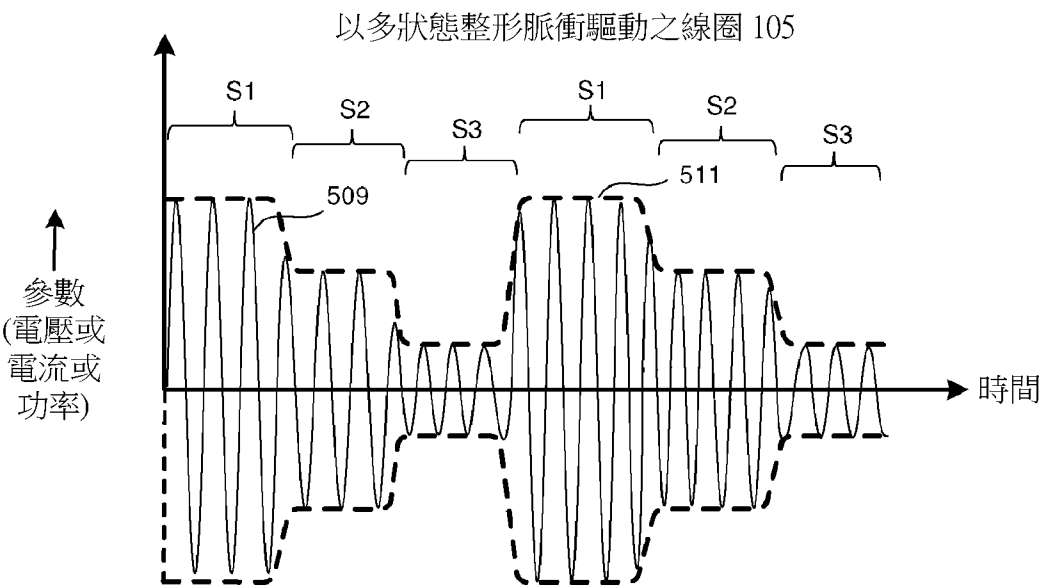


圖 5C

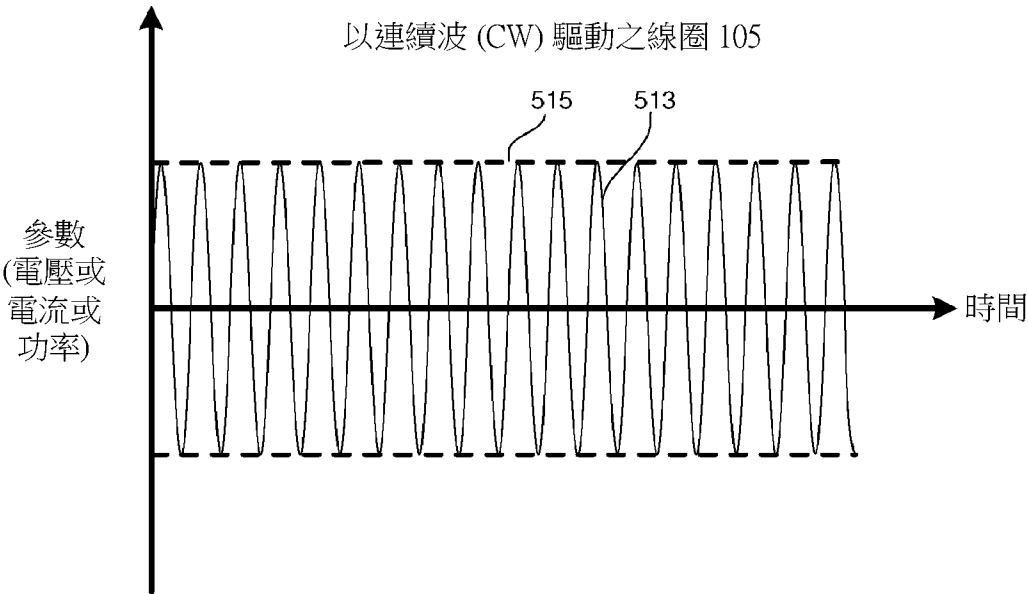


圖 5D

開始

603A 7

603B

傳輸來自第一直接驅動式光源信號產生器之輸出端之第一整形放大方波信號至第一電流電路，第一電流電路進行操作以將第一整形放大方波信號轉換為第一整形三角信號

傳輸來自第二直接驅動式光源信號發生器之輸出端之第二整形放大方波信號至第二電流電路，第二電流電路進行操作以將第二整形放大方波信號轉換為第二整形三角信號

603A 7

603B

傳輸來自第一電流電路之輸出端之第一整形三角信號至電壓處理迴路之線路之第一端，第一整形三角信號將光源功率傳輸至線路

傳輸來自第二電流電路之輸出端之第二整形三角信號至電壓處理迴路之線路之第二端，第二整形三角信號將光源功率傳輸至線路

605A 7

605B

三、選擇：調整第一電流電路大之電容設定，使得光源功率之峰值量從第一直接驅動式光源信號產生器經主第一電流電路傳輸至線路

三、選擇：調整第二電流電路大之電容設定，使得光源功率之峰值量從第二直接驅動式光源信號產生器經主第二電流電路傳輸至線路

進行電壓處理

圖 6

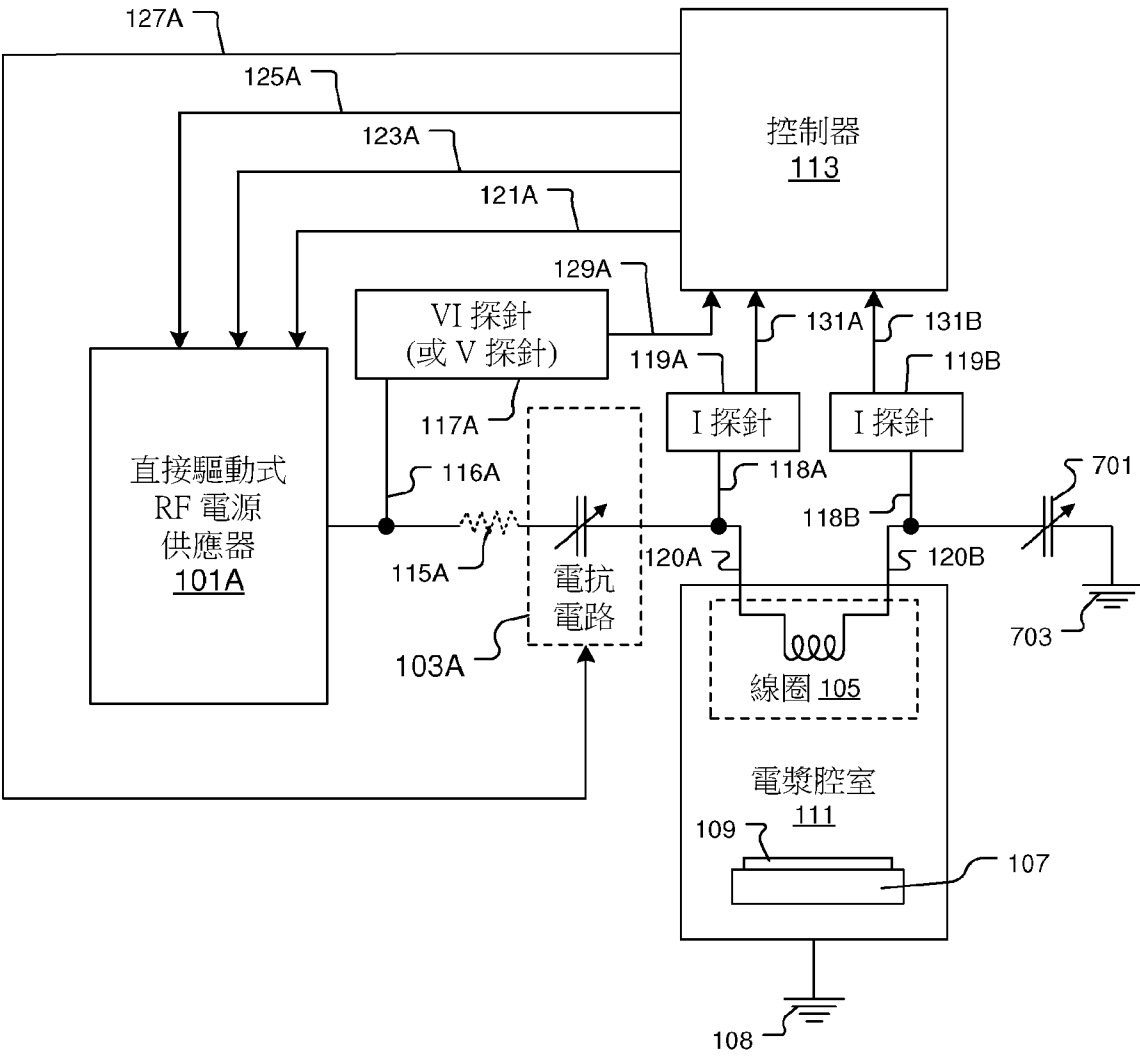


圖 7

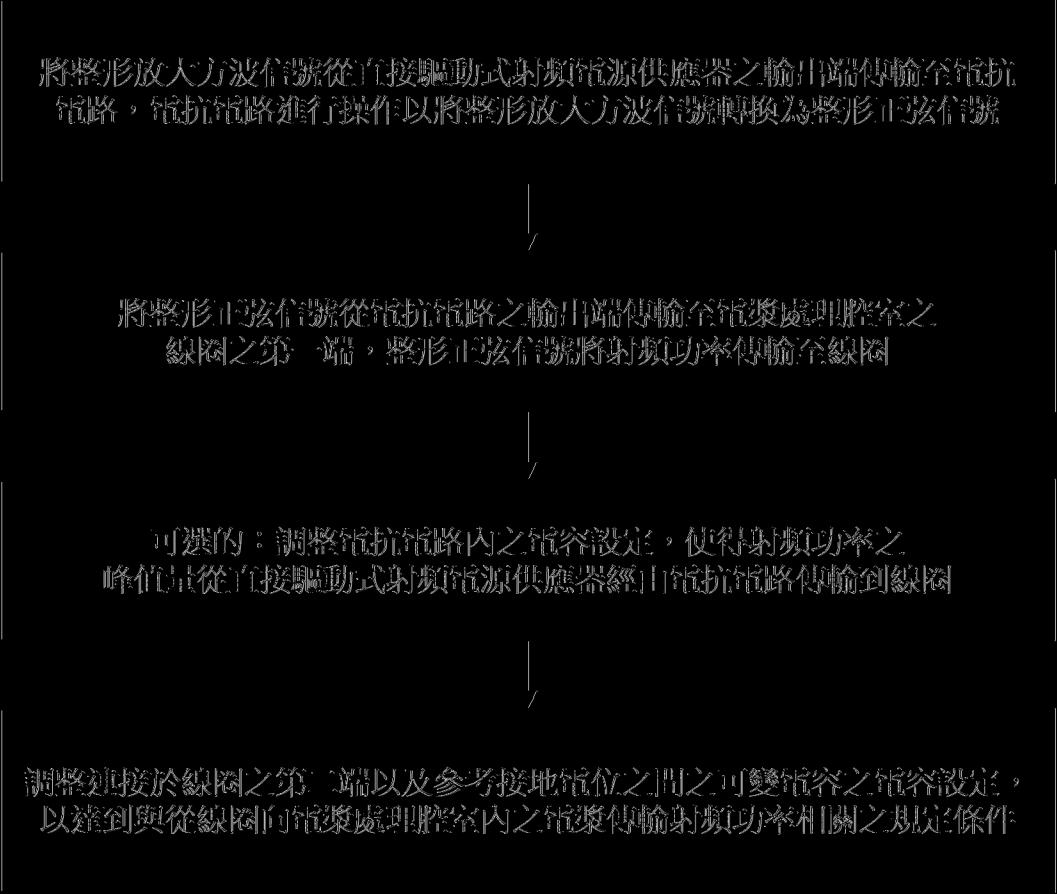


圖 8