

【發明說明書】

【中文發明名稱】電漿產生器、電漿製程設備以及電力脈衝供應的方法

【英文發明名稱】PLASMA GENERATOR, PLASMA PROCESSING APPARATUS AND METHOD FOR THE PULSED SUPPLY OF ELECTRICAL POWER

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種用於脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的電漿產生器，以及一種電漿製程設備，以及一種脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的方法。

【先前技術】

【0002】 在先前技術中已知各種應用領域，其中供應具有至少 40KHz 頻率之電力，用以自氣體激勵激發電漿，並為特定製程維持電漿。示例為半導體技術或光伏打工業領域中之電漿輔助氣相沈積。

【0003】 在此例如將晶圓載入所謂之“晶圓舟”，此晶圓舟部分由導電之板件構成，並被送入對應的製程室。在此情形下，將具有至少 40KHz 頻率之電力施加至晶圓舟，用以在板件之間以及在容置於板件上之晶圓之間自一適當的氣體產生電漿。在本案申請人之 DE 10 2015 004 419 A1 中揭示過此種電漿製程設備。

【0004】 此類電漿製程設備皆通常皆由單獨一個製程室構成，此

製程室對應單獨一個電漿產生器。在採用數個製程室之相鄰配置的情況下，儘管部分實現氣體櫃以及其他外圍設備之共同使用，但至目前為止，每個製程室具有單獨一個電漿產生器。此種電漿產生器通常具有包含輸出的可調節之供電單元，這個供電單元適於在其輸出上輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電，並且具有轉換器，其適於自輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 之頻率的交流電作為輸出訊號，並將此輸出訊號施加至連接的製程室。在此情形下，通常透過調節器對此供電單元以及此轉換器進行控制，這個調節器測定製程室所需之功率並產生對應的控制訊號。通常亦設有電弧抑制單元，其以適當的方式獲得有關製程室之製程之當前製程資料以及供電單元及/或開關之當前資料並進行實時分析，用以偵測閃絡或即將發生之閃絡，其中，這個電弧抑制單元與供電單元及/或開關連接，並且以視情況而定對閃絡或即將發生之閃絡之偵測作出響應的方式控制此等元件，從而避免或迅速抑制製程室中之閃絡。

【0005】 在製程期間，通常藉由相應的電漿產生器將電力週期性地作為脈衝提供，其中在此通常以在較長時間段內設置小於 0.1 之占空比（脈衝持續時間與週期持續時間之商）。在製程室中如此脈衝操作電漿被證實為特別有利。因此，在製程之寬廣的區間範圍內，電漿產生器之可用持續功率之 90% 未被使用。亦存在具有大幅減小之占空比的製程，以及具有更高占空比之製程或製程段。

【發明內容】

【0006】 因此，本發明之目的在於更加高效地提供電力。本發明用以達成上述目的之解決方案為一種如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，一種如申請專利範圍第 14 項所述的電漿製程設備，以及一種如申請專利範圍第 17 項所述的方法。本發明之其他技術方案主要參閱從屬權利要求。

【0007】 特別是提出一種用於向至少兩個製程室脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的電漿產生器，其中所述電漿產生器具有以下組件：控制單元，其適於獲得及分析有關所述至少兩個製程室中之製程的製程資料；具有輸出的可調節之供電單元，其適於在其輸出上以響應所述控制單元之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電；以及切換單元，其具有第一輸入，所述第一輸入與所述供電單元之輸出連接，並且具有至少兩個切換單元輸出，用於各自與所述至少兩個製程室中之一個連接；

其中所述切換單元適於自所述輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 之頻率的交流電作為輸出訊號，並且以響應所述控制單元之控制訊號的方式，將所述輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定之脈衝持續時間內輸出至所述切換單元輸出中的一個；其中所述控制單元適於協調至少兩個製程室之功率請求，並且控制供電單元以及切換單元，使得在各個與製程室連接之切換單元輸出上，將與所述功率請求對應之功率在一時間段內作為脈衝提供，其中所述脈衝在時間上相互錯開，使得製程室能夠同步工作。

【0008】 這種電漿產生器實現對數個製程室之經協調的脈衝電力供應，總而提高電漿產生器之效率。能夠大幅降低多腔室電漿處理單元之購置成本，因為將所述電漿產生器之數目減半，或進一步減

少。就實施相似製程的製程室而言，特別是能夠高效地對製程室進行協調。

【0009】 在一實施方式中，所述控制單元具有數個與待連接至切換單元之製程單元的數目對應的調節器，其中每個調節器適於獲得有關對應的製程室中的製程的製程資料，其中每個調節器與供電單元及/或開關連接，從而以響應接收之製程資料的方式控制這些元件。如此便能實現對各製程的良好且可靠的調節。所述電漿產生器較佳還具有至少一電弧抑制單元，其適於獲得並實時分析有關所述至少兩個製程室中之製程的當前製程資料以及供電單元及/或開關之當前資料，用以偵測閃絡或即將發生之閃絡，其中所述電弧抑制單元與供電單元及/或開關連接，用以以視情況而定響應閃絡或即將發生之閃絡之偵測的方式控制這些元件。所述電弧抑制單元可構成所述控制單元的一部分。

【0010】 所述調節器及/或所述至少一電弧抑制單元可建構為獨立的軟體模組，這些軟體模組可在所述電漿產生器之同一處理器上或分隔之處理器上執行。

【0011】 在一實施方式中，所述切換單元具有至少一第三切換單元輸出，其適於與至少另一製程室或吸收器連接，且其中所述切換單元適於以響應所述控制單元之輸入的控制訊號的方式將輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定的脈衝持續時間內施加至所述切換單元輸出中的一個，用以實現電漿產生器之更加高效的利用。所述切換單元可具有至少一切換單元輸出，其適於與吸收器連接，其中所述切換單元適於以響應輸入的控制訊號的方式將輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定的脈衝持續時間內施加至針對吸收器的切換單

元輸出，用以避免或防止製程室中之過載或閃絡。

【0012】 為了實現簡單的協調，所述控制單元可配置成使得其在各切換單元輸出上對脈衝持續時間與對應的脈衝間隔的總和進行協調，使得所述總和皆相同，或使得一切換單元輸出的總和為另一切換單元輸出的總和的數倍。

【0013】 優選的，所述控制單元可配置為使得在功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將脈衝在時間上相對於功率請求偏移，其中對應的時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於功率請求。作為替代或附加方案，所述控制單元可配置為使得在功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將各脈衝相對於功率請求劃分成兩個分隔的脈衝並在時間上進行偏移，其中對應的劃分及時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於功率請求。作為附加或替代方案，所述控制單元亦可經設計以使得在功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將各脈衝在時間上相對於功率請求偏移，其中對應的時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於功率請求。根據一較佳實施方式，所述控制單元經設計以使得在具體功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，能夠改變脈衝之下列參數中之至少一個：脈衝在脈衝序列中的位置、脈衝劃分成子脈衝、脈衝持續時間以及脈衝之振幅。

【0014】 根據另一實施方式，所述電漿產生器適於向至少三個製程室脈衝供應頻率至少為 40KHz 的電力，並且還具有以下組件：控制單元，其適於獲得及分析有關所述至少三個製程室中之製程

的製程資料；另一具有輸出的可調節的供電單元，所述供電單元適於在其輸出上以相應控制單元之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電；以及另一具有功率輸入的切換單元，其與所述供電單元之輸出連接，並且具有至少三個用於分別與所述至少三個製程室中的一個連接的切換單元輸出；其中所述切換單元適於自輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電作為輸出訊號，並且以響應控制單元之控制訊號的方式將所述輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定之脈衝持續時間內輸出至所述切換單元輸出中的一個；其中所述控制單元適於對所述至少三個製程室之功率請求進行協調，並控制供電單元及切換單元，使得在與製程室連接的切換單元輸出中的每個上，實質上分別將與功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中透過切換單元為製程室提供的脈衝在時間上相互錯開，而兩個切換單元之脈衝則可重疊。藉此能夠提高脈衝協調的靈活性。所述供電單元可具有不同的額定功率，以適應各種功率請求。

【0015】 本發明亦有關於一種電漿製程設備，其具有至少兩個分隔的製程室，在這些製程室中能夠各自產生電漿，並且具有前述類型的電漿產生器，其中所述製程室各自與所述切換單元之切換單元輸出中的一個連接。

【0016】 在一實施方案中，這種電漿製程設備具有至少三個分隔的製程室，其中所述電漿產生器之切換單元具有至少三個切換單元輸出，且所述製程室各自與所述切換單元輸出中的一個連接。此外，所述電漿處理設備亦可具有吸收器，其中電漿產生器之切換單元具有至少三個切換單元輸出，且所述吸收器與這些切換單元輸

出中的一個連接。

【0017】 本發明亦有關於一種向至少兩個分隔的製程室脈衝供應具有預定之至少 40KHz 頻率的電力的方法，包含以下步驟：在切換單元之輸入上以響應控制單元之控制訊號的方式提供具有預定之電壓及/或強度的直流電；在切換單元中自所述直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電輸出訊號，以及，以響應控制單元之控制訊號的方式在切換單元之至少兩個切換單元輸出中之一個上選擇性地將所述交流電輸出訊號作為具有預定脈衝持續時間的脈衝輸出，所述切換單元輸出中的每個皆與所述至少兩個分隔的製程室中一個連接；其中所述控制單元以響應所述至少兩個製程室之功率請求以及響應有關至少兩個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，所述控制訊號是經過協調以使得在與製程室連接之切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中所述針對製程室的脈衝在時間上相互錯開，但所述製程室同步工作。這種方法實現上文已述及的更加高效利用電漿產生器的優點。

【0018】 在具體功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，所述控制單元較佳改變脈衝之下列參數中的至少一個：脈衝在脈衝序列中的位置、脈衝劃分成子脈衝、脈衝持續時間以及脈衝之振幅。該製程如此靈活，並且能夠適應各種請求。所述控制單元能夠依照預定的固定規則或可由操作人員設置的規則進行調整。控制單元能夠將針對每個製程室在一時間段範圍內在脈衝中輸出的功率與在此時間段範圍內請求的功率進行比較，並且自動根據所

述比較調整脈衝的至少一個參數。

【0019】 在一實施方式中，向至少三個分隔的製程室提供電力，其中所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，這些切換單元輸出中的每個皆與所述至少三個分隔的製程室中的一個連接；其中所述控制單元以響應所述至少兩個製程室之功率請求以及響應有關至少三個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，這些控制訊號是經過協調以使得在與製程室連接之切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中所述針對製程室的脈衝在時間上相互錯開，但所述製程室同步工作。

【0020】 就所述方法而言，所述切換單元可具有至少三個切換單元輸出，其中一個與吸收器連接，所述吸收器適於接收及吸收電力，且其中所述控制單元能夠對各製程室中之製程進行監測，並偵測這些製程室中之一個內的閃絡現象或閃絡危險，並以對此作出響應的方式，在脈衝持續時間或其至少一部分的範圍內，將所述輸出訊號轉送入所述吸收器，而非送入對應的製程室中。

【0021】 就所述方法而言，在一實施方式中，所述控制單元在各切換單元輸出上對由脈衝持續時間與對應的脈衝間隔構成的總和進行協調，使得這些總和皆相同，或者使得一切換單元輸出上的總和為另一切換單元輸出上的總和的數倍。

【0022】 在另一實施方式中，所述方法用於向至少三個分隔的製程室脈衝供應具有預定之至少 40KHz 頻率的電力，並且具有下列額外步驟：以響應控制單元之控制訊號的方式，在另一切換單元之

輸入上提供具有預定之電壓及/或強度的直流電；在另一切換單元中自所述直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電輸出訊號，以及，以響應控制單元之控制訊號的方式，在所述另一切換單元之至少三個切換單元輸出中的一個上將所述交流電輸出訊號選擇性地作為具有預定之脈衝持續時間的脈衝輸出，這些切換單元輸出中的每個皆與至少三個分隔的製程室中的一個連接；其中所述控制單元以響應所述至少三個製程室之功率請求以及響應有關至少三個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，這些控制訊號經過協調，使得在與製程室連接之切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中由所述切換單元中之一個輸出的脈衝在時間上相互錯開，但兩個切換單元之脈衝可在時間上重疊。

【圖式簡單說明】

【0023】 下面結合圖式對本發明進行詳細說明；其中：

圖 1 為本發明的包含電漿產生器的電漿製程設備的示意圖。

圖 2 為本發明的包含替代性電漿產生器的替代性電漿製程設備的示意圖。

圖 3 為本發明的包含另一替代性電漿產生器的另一替代性電漿製程設備的示意圖。

圖 4 為電漿產生器所發出之脈衝序列，其中(A)示出常見電漿產生器之常規脈衝序列，而(B)至(D)示出根據圖 1 之電漿產生器所

發出之不同的示例性脈衝序列。

圖 5 為脈衝序列的示意圖，其中(A)至(D)示出根據圖 2 之電漿產生器所發出之不同的示例性脈衝序列。

圖 6 為脈衝序列的示意圖，其中(A)示出製程室之脈衝序列請求，且(B)示出根據圖 2 之電漿產生器以響應脈衝序列請求的方式發出的示例性脈衝序列。

圖 7 為根據圖 3 之電漿產生器所發出之示例性脈衝序列的示意圖，其中兩個上下設置的示意圖示出在電漿產生器之不同切換單元上的輸出。

圖 8 為脈衝序列的示意圖，其中(A)示出製程室之脈衝序列請求，且(B)示出根據圖 2 之電漿產生器以響應脈衝序列請求的方式發出的示例性脈衝序列。

圖 9 為脈衝序列的示意圖，其中(A)示出製程室之脈衝序列請求，且(B)示出根據圖 2 之電漿產生器以響應脈衝序列請求的方式發出的示例性脈衝序列。

圖 10 為脈衝序列的示意圖，其中(A)示出製程室之脈衝序列請求，且(B)示出根據圖 2 之電漿產生器以響應脈衝序列請求的方式發出的示例性脈衝序列。

【實施方式】

【0024】 在本說明書中，表述將實質上包含所述及值的 $\pm 5\%$ （較佳 $\pm 2\%$ ）的偏差在內。

【0025】 圖 1 為具有兩個製程單元 3a、3b 以及一電漿產生器 5 的

電漿製程設備 1 的第一實施方式的示意圖。製程單元 3a 及 3b 可具有相同的結構，並且各具一用於容置一或多個基板、特別是半導體晶圓或 PV 基板。所述製程室可緊密封閉，且製程單元 3a 及 3b 具有不同的用於在各製程室內調節期望之環境條件的構件（未繪示），例如泵及氣櫃。每個製程室同樣與一自有的泵對應，而一氣櫃則可視情況而定對數個製程室進行供給。在所述製程室中還設有用於產生電漿的構件，其中這些構件例如可由晶圓舟構成，這個晶圓舟例如被與基板一起送入製程室並在該處被電接觸，正如在上文述及之 DE 10 2015 004 419 A1 中所描述的，其就此而言被納入本公開案。

【0026】製程單元 3a、3b 透過電力線纜 7a 或 7b 以及資料連接 8a 或 8b 與電漿產生器 5 連接。電漿產生器 5 透過電力線纜 7a、7b 將頻率大於 40KHz 之電力提供給各製程單元 3a 及 3b。透過資料連接 8a 或 8b 能夠在製程單元 3a、3b 與電漿產生器 5 之間交換資料。資料連接 8a 或 8b 可採用有線或無線的實施方案。製程單元 3a、3b 特別是可將有關各製程室中之製程的不同製程資料提供給電漿產生器 5。在此特別是可傳輸有關實際輸入之電力、電漿之存在等的實際資料，但亦可傳輸對應的標稱資料（Soll-Daten），例如就習知的具有單獨一個製程單元及單獨一個電漿產生器的電漿製程設備而言便是如此。

【0027】電漿產生器 5 具有可調節之供電單元 10、切換單元 12 以及控制單元 14。所述供電單元具有未繪示之輸入以及輸出，所述輸出透過電力線纜 15 與切換單元 12 之輸入連接。供電單元 10 適於以響應控制單元 14 之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/

或強度的直流電，此為本領域習知。

【0028】 切換單元 12 具有已述及的輸入，其與電力線纜 15 連接，用以自供電單元 10 接收直流電，以及具有兩個分隔的輸出，其中一輸出與電力線纜 7a 連接，且另一輸出與電力線纜 7b 連接。切換單元 12 具有轉換器電路，其能夠自所述輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電作為輸出訊號。所述轉換器電路例如可具有雙極電晶體，其自供電單元 10 所提供之直流電形成準正弦訊號（階梯狀訊號）。切換單元 12 還具有切換部件，其將如此形成之輸出訊號以響應控制單元 14 之控制訊號的方式施加至其中一個或另一輸出，藉此施加至製程單元 3a 或製程單元 3b。

【0029】 如圖所示，控制單元 14 又具有兩個分隔的調節器 16a、16b，以及電弧抑制單元 18。調節器 16a、16b 透過資料連接 8a 或 8b 與製程單元 3a 或 3b 連接。調節器 16a、16b 皆適於根據有關製程單元 3a、3b 中之各製程之實際資料及標稱資料測定製程單元 3a、3b 之功率請求。隨後，調節器 16a、16b（或下游之單元）根據此等功率請求創建用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料。儘管調節器 16a、16b 被顯示為各別獨立的單元，但其亦可建構為單獨一個單元，所述單元實現製程單元 3a 及 3b 之資料之實質上並行的處理。調節器 16a、16b 特別是可實施為可實質上並行執行之軟體常式（Software routines），這些軟體常式在處理器上執行。

【0030】 在所示實施方式中，所述調節器之對應的輸出與電弧抑制單元 18 之對應的輸入連接。因此，電弧抑制單元 18 能夠自調節器 16a、16b 獲得各製程單元之功率請求，亦或直接獲得據此創建之用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料。此外，電弧抑

制單元 18 亦可直接自各製程單元 3a、3b 獲得未經處理的資料。這類資料特別是為能夠實時進行以下分析的資料：判斷是否在製程單元 3a 及 3b 中的一個中發生了閃絡，或者是否即將發生閃絡。為此所需之資料以及對應的偵測算法已為本領域技術人員所知，故在此不再贅述。在偵測出閃絡或閃絡危險的情況下，電弧抑制單元 18 能夠調整傳輸至供電單元 10 及切換單元 12 的控制訊號，並且將對發生閃絡或存在對應危險的製程單元 3a、3b 的電力供應短暫中斷。

【0031】 在本實施方式中，電弧抑制單元 18 還可經建構以使得在獲得各製程單元之功率請求資料的情況下據此產生用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料。當然，若已藉由調節器 16a、16b 產生這些控制資料，便無需再採用此方案。此外，電弧抑制單元 18 是經建構以使得其對自身產生或由調節器 16a、16b 產生之用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料進行協調。必須如此協調用於供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料，從而根據功率請求向各製程單元 3a、3b 提供功率。但亦需要在時間上對用於供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料進行協調，因為在每個時間點上僅能在切換單元的輸出中的一個上提供功率。如上文所述，將功率作為具有特定脈衝持續時間的脈衝提供給各製程單元 3a、3b。因此，透過用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料對各脈衝進行協調，使得這些脈衝不重疊，其中製程室仍能同步工作。

【0032】 圖 2 為電漿製程設備 1 之一替代性實施方式的示意圖，所述電漿製程設備在這個實施方式中具有三個製程單元 3a、3b、3c，一吸收器 20 以及一電漿產生器 5。不同實施方式中之相同或

相似的元件是用同一元件符號表示。

【0033】 製程單元 3a、3b 及 3c 可與上文所述相同，並透過電力線纜 7a、7b 或 7c 以及資料連接 8a、8b 或 8c 與電漿產生器 5 連接。電力線纜 7a、7b 及 7c 亦用於將頻率大於 40KHz 之電力自電漿產生器 5 提供給各製程單元 3a、3b 及 3c。透過資料連接 8a、8b 及 8c 亦能夠在製程單元 3a、3b、3c 與電漿產生器 5 之間交換資料。

【0034】 電漿產生器 5 亦具有可調節之供電單元 10、切換單元 12 以及控制單元 14。供電單元 10 可與前文所述相同。切換單元 12 亦具有透過電力線纜 15 與所述供電單元之輸出連接的輸入。但在這個實施方式中，所述切換單元具有四個分隔的輸出，其中這些輸出中的三個與電力線纜 7a、7b 或 7c 連接，且第四輸出透過電力線纜 21 與所述吸收器連接。

【0035】 切換單元 12 亦具有轉換器電路，以及如上文所述的切換部件，其以響應控制單元 14 之控制訊號的方式將透過所述轉換器電路形成之輸出訊號選擇性地施加至所述輸出中的一個。故能將輸出訊號選擇性地施加至製程單元 3a 至 3c 中的一個或施加至吸收器 20。

【0036】 在這個實施方式中，控制單元 14 亦具有三個分隔的調節器 16a、16b 及 16c，以及一電弧抑制單元 18。調節器 16a、16b 及 16c 透過各資料連接 8a、8b 或 8c 與製程單元 3a、3b 或 3c 連接。調節器 16a、16b 及 16c 亦可為前文所述類型，其適於測定各製程單元 3a、3b 或 3c 之功率請求，並且視情況而定亦測定用於供電單元 10 及/或切換單元 12 的控制資料。

【0037】 電弧抑制單元 18 亦可實質上為前文所述類型，其中所述電弧抑制單元在這個實施方式中監控三個製程單元 3a、3b 及 3c，以防止閃絡。所述電弧抑制單元還對由切換單元 12 為三個製程單元 3a、3b 及 3c 提供之脈衝進行協調。

【0038】 在這個實施方式中，電弧抑制單元 18 還可建構成使得其在獲得各製程單元之功率請求的情況下據此產生用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料。當然，若已藉由調節器 16a、16b 產生這些控制資料，便無需再採用此方案。

【0039】 此外，電弧抑制單元 18 經建構成使得其對自身產生或由調節器 16a、16b、16c 產生之用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料進行協調。供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料必須根據功率請求向各製程單元 3a、3b 及 3c 提供功率的協調。但亦需要在時間上對用於供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料進行協調，因為在每個時間點上僅能在切換單元的輸出中的一個上提供功率。如上文所述，將功率作為具有特定脈衝持續時間的脈衝提供給各製程單元 3a、3b 及 3c。因此，透過用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料對各脈衝進行協調，使得這些脈衝不重疊，其中製程室仍能同步工作。

【0040】 儘管將電弧抑制單元 18 作為既承擔電弧抑制功能亦承擔脈衝協調功能的單獨一個單元示出，但亦可在分隔的單元中實施這些功能。對於電弧抑制功能而言，可為製程室中的每個單獨進行對製程資料及控制資料的分析，並可對應地設有三個單元（例如實施為獨立的並行的軟體常式）。在電弧抑制功能判斷出閃絡或閃絡危險的情況下，其能將原本為製程單元 3a、3b 及 3c 中的一個準

備的脈衝轉送入吸收器 20，而非導入各製程單元 3a、3b 及 3c，所述吸收器適於吸收功率脈衝並例如轉換成熱。可為整個脈衝或子脈衝進行此切換，下文還將對此進行詳細說明。

【0041】 對於脈衝協調功能而言，資料，特別是各製程單元之功率請求或期望之用於供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料必須彙集在一協調常式中（*Koordinationsroutine*）。這種協調常式可如上文所述在電弧抑制單元 18 中抑或在獨立的脈衝協調單元中運行。在所述協調常式中將透過調節器測定之各製程單元之功率請求或據此創建之用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料彙總，並檢驗是否存在衝突。此外，在這個檢驗中亦將有關供電單元 10 以及切換單元 12 的資料，例如切換時間、最大功率、最大脈衝持續時間（在受限制的情況下）納入考量。亦可將其他有關各製程單元 3a、3b、3c 以及運行中的製程的資料納入考量。這類資料例如可包含脈衝輸入中之時間公差、有關脈衝振幅的公差、對製程的最小需要及/或最大允許的能量輸入，以及視情況而定包含其他參數。這些資料可在製程範圍內保持不變，抑或發生改變。故存在以下製程：在特定時間點上必須遵循具有定義的週期長度以及特定脈衝振幅的精確的脈衝序列，而在這個製程的其他時間點上，週期長度以及脈衝振幅相當靈活，但能量輸入在時間範圍內位於較窄的公差內。

【0042】 根據這些資料，所述協調單元能夠對控制單元之輸出上的輸出脈衝進行協調。較佳的，在各製程單元 3a、3b、3c 中實施允許設置週期長度（脈衝持續時間與脈衝間隔之和）的製程，所述週期長度相同，或對於製程中之一個而言為另一製程之週期長度

的整數倍。正如下文還將結合脈衝圖對此進行詳細說明的那般，此舉將協調大幅簡化，但亦並非必需。下文結合脈衝圖對不同的協調方案進行詳細說明。

【0043】 圖 3 為電漿製程設備 1 之另一替代性實施方式的示意圖。在這個實施方式中，設有五個製程單元 3a 至 3e，一個吸收器 20 以及一個電漿產生器 5。不同實施方式中之相同或相似的元件仍用同一元件符號表示。

【0044】 製程單元 3a 至 3e 可與上文所述相同，並透過電力線纜 7a 至 7e 以及資料連接 8a 至 8e 與電漿產生器 5 連接。電力線纜 7a 至 7e 亦用於將頻率大於 40KHz 之電力自電漿產生器 5 提供給各製程單元 3a 至 3e。透過資料連接 8a、8b 及 8c 亦能夠在製程單元 3a、3b、3c 與電漿產生器 5 之間交換資料。

【0045】 在這個實施方式中，電漿產生器 5 具有兩個可調節之供電單元 10a、10b，兩個切換單元 12a、12b，以及控制單元 14。供電單元 10a、10b 可與前文述及的供電單元相同。就額定功率而言供電單元 10a、10b 可相同抑或不同。切換單元 12a、12b 各具一輸入，其透過電力線纜 15a 或 15b 與所述供電單元中之一個的輸出連接。在這個實施方式中，切換單元 12a、12b 各自具有六個分隔的輸出，其中這六個輸出中的五個與電力線纜 7a 至 7e、進而與電漿單元 3a 至 3e 連接，且第六輸出透過電力線纜 21 與吸收器 20 連接。

【0046】 切換單元 12a、12b 各具一轉換器電路，以及如上文所述具有切換部件，其以響應控制單元 14 之控制訊號的方式將透過所述轉換器電路形成之輸出訊號選擇性地施加至所述輸出中的一

個。故能將每個切換單元 12a、12b 之輸出訊號選擇性地施加至製程單元 3a 至 3e 中的一個或施加至吸收器 20。

【0047】 在這個實施方式中，控制單元 14 又具有五個分隔的調節器 16a 至 16e，以及電弧抑制單元 18。調節器 16a 至 16e 透過資料連接 8a 至 8e 與製程單元 3a 至 3e 連接。調節器 16a 至 16e 亦可為前文所述類型，其適於測定各製程單元 3a 至 3e 之功率請求，並且視情況而定亦測定用於供電單元 10 及/或切換單元 12 的控制資料。

【0048】 電弧抑制單元 18 在這個實施方式中監控五個製程單元 3a 至 3e，以防止閃絡。所述電弧抑制單元還適於透過兩個供電單元 10a、10b 以及兩個切換單元 12a、12b 分配以及協調電漿單元 3a 至 3e 所需之脈衝。

【0049】 由於電弧抑制單元 18 能夠將所需脈衝分配至兩個電力供應系統（供電單元與切換單元的組合），在脈衝分配方面的靈活性大幅提昇。在此情形下，當因功率請求而必要時，特別是亦能提供在時間上重疊的脈衝，下文還將對此進行詳細說明。對應的協調需要在切換單元 12a 或 12b 上依序提供脈衝，但可如此控制切換單元 12a、12b，使得其同時提供脈衝。但在透過分隔的切換單元 12a、12b 同時提供脈衝的情況下，需要將這些脈衝施加至獨立的電漿單元 3a 至 3e。

【0050】 儘管將電弧抑制單元 18 作為既承擔電弧抑制功能亦承擔脈衝協調功能的單獨一個單元示出，但亦可在分隔的單元中實施這些功能。特別是當協調變得複雜，以及視情況而定對電弧抑制功能造成負面影響時，可在分隔的單元中實施脈衝協調功能。

【0051】電漿產生器 5 亦被作為具有兩個分隔的電力供應系統的單獨一個電漿產生器示出。當然，在此亦可設有兩個分隔的電漿產生器 5，其各自與電漿單元 3a 至 3e 以及所述吸收器連接，並且透過共用的控制單元對這些電漿產生器進行相應的協調。但較佳採用單獨一個單元，因為在電弧抑制單元 18 與供電單元 10a、10b 以及切換單元 12a、12b 之間透過實時資料連接實現通訊，這些實時資料連接是機械靈敏的，故應儘可能避免將其鋪設在各單元外。

【0052】可為本領域技術人員所理解的是，待供應之電漿單元的數目以及電漿產生器的結構不僅侷限於具體示出的實施方式。確切言之，例如如圖 3 所示，還可藉由一個電漿產生器為更多的電漿單元進行電力供應。在電漿單元之數目較大的情況下，亦可在電漿產生器中設置例如三個電力供應系統，其中隨著製程室以及電力供應系統的數目增大，脈衝協調之複雜度亦增大。但根據本發明，電漿單元之數目應高於可用電力供應系統之數目，特別是至少為兩倍。

【0053】目前例如考慮以下電漿製程設備：具有八個電漿單元(+1 可選的吸收器)以及一個電漿產生器，所述電漿產生器帶有兩個分隔的電力供應系統，如圖 3 所示，或具有兩個分隔的電漿產生器以及一個共用的控制單元。

【0054】對於脈衝協調功能而言，在這個實施方式中亦可彙集與上文所述相同的資料。

【0055】圖 4 至 7B 示出不同的示例性脈衝序列，這些脈衝序列可透過本發明之電漿產生器 5 提供。

【0056】圖 4A 示出電漿產生器目前所提供過的經典的脈衝序列。

針對預定的例如 5ms 的持續時間 t_{on} 輸出具有至少 40KHz 的頻率以及預定的功率 (P) 的交流電脈衝 30。之後跟隨例如 45ms 的脈衝間隔 t_{off} ，在這個脈衝間隔後跟隨有持續時間 t_{on} 例如為 5ms 的又一脈衝。此為在電漿單元中實施電漿製程時提供的典型的功率脈衝序列。在此情形下產生 50ms 的週期以及 0.1 的占空比。因此，所使用的電漿產生器的可用持續功率的例如 90%在此未被利用。

【0057】圖 4B 示出一替代性脈衝序列，本發明之例如如圖 1 所示的電漿產生器能夠提供這個脈衝序列。所述示例性脈衝序列由脈衝 30 與脈衝 40 構成，其中例如將脈衝 30 提供給製程單元 3a 以及將脈衝 40 提供給製程單元 3b。就這個脈衝序列而言，脈衝 30 與 40 各自具有相同的功率以及相同的例如為 5ms 的脈衝持續時間 t_{on} 。在脈衝 30 - 30/40 - 40 之間，對於各製程單元 3a/3b 而言分別有例如 45ms 的脈衝間隔 t_{off} 。在脈衝 30 - 40 - 30 之間則產生例如 20ms 的脈衝間隔 t_{off} 。每個單獨的製程單元 3a、3b 以 0.1 的占空比工作，而電漿產生器則以 0.2 的占空比工作，故其負荷率顯著改善。

【0058】圖 4C 示出另一示例性脈衝序列，本發明之例如如圖 1 所示的電漿產生器能夠提供這個脈衝序列。所述示例性脈衝序列亦由脈衝 30 與脈衝 40 構成，其中例如將脈衝 30 提供給製程單元 3a 以及將脈衝 40 提供給製程單元 3b。就這個脈衝序列而言，脈衝 30 與 40 各自具有不同的功率，但又如圖 4B 所示具有相同的例如為 5 ms 的脈衝持續時間 t_{on} 以及相同的脈衝間隔。如圖所示，所述電漿產生器不僅能夠將相同的脈衝交錯，亦能夠提供具有不同功率的脈衝，這例如可透過供電單元 10 的對應控制實現。

【0059】 圖 4D 示出另一示例性脈衝序列，本發明之例如如圖 1 所示的電漿產生器能夠提供這個脈衝序列。所述示例性脈衝序列亦由脈衝 30 與脈衝 40 構成，其中例如將脈衝 30 提供給製程單元 3a 以及將脈衝 40 提供給製程單元 3b。就這個脈衝序列而言，脈衝 30 與 40 亦如圖 4C 所示各自具有不同的功率，並且在此亦具有不同的脈衝持續時間 t_{on} ，例如對於脈衝 30 而言為 15ms，對於脈衝 40 而言為 5ms。脈衝 30 - 40 之間的脈衝間隔分別為例如 10ms，且脈衝 40 - 30 之間的脈衝間隔分別為例如 20ms。可以看出，具有相同的週期長度（或週期長度為彼此的數倍）的用於電漿製程的脈衝易於交錯，並能夠藉由單獨一個電漿產生器提供。

【0060】 但藉由單獨一個電漿產生器亦能提供具有不同的並非相互倍數的週期長度的製程。為此，由於在一時間點上僅能為一電漿單元提供一脈衝，可採用其中一脈衝及/或另一脈衝之時間上的脈衝偏移，或者脈衝之分割及部分偏移，下文還將結合圖 6 對此進行詳細說明。在此試圖滿足各電漿單元之需求，故例如僅在允許的公差內進行偏移/劃分。其中，為對電力供應系統（供電單元與切換單元的組合）進行控制，對應的控制單元可對對應的資料進行分析，並視情況而定亦預測一或多個循環，用以預計何時會出現脈衝之間的衝突，從而視情況而定準備偏移。例如，製程中之最大脈衝間隔 t_{off} 為 45ms - 50ms 的正常脈衝間隔，但在兩個循環中需要 +10ms 的偏移，則可在兩個相繼的循環中分別進行 +5ms 的偏移，使得在兩個相繼的循環中產生 50ms 的脈衝間隔。但較佳選擇偏移為，使得在例如 50 個循環的較長時間段內，對製程的能量輸入對應於功率請求，或者在此時間範圍內保持不變。

【0061】圖 5A 至 5D 示出不同的示例性脈衝序列，這些脈衝序列例如可透過根據圖 2 的電漿產生器 5 提供。其中例如為不同的製程單元 3a 至 3c 提供三個不同的脈衝 30、40、50。

【0062】圖 5A 示出包含脈衝 30、40、50 的脈衝序列，其各自具有相同的例如 5 ms 的脈衝持續時間 t_{on} 以及相同的功率。在脈衝 30 - 30/40 - 40/50 - 50 之間，對於各製程單元 3a/3b/3c 而言分別有例如 45ms 的脈衝間隔 t_{off} 。在脈衝 30 - 40 - 50 - 30 之間產生例如 10ms - 15ms - 10ms 的脈衝間隔 t_{off} 。每個單獨的製程單元 3a、3b 以 0.1 的占空比工作，而電漿產生器則以 0.3 的占空比工作。

【0063】圖 5B 亦示出包含脈衝 30、40、50 的脈衝序列，但這些脈衝的脈衝持續時間 t_{on} 以及功率有區別。但脈衝 30 - 30/40 - 40/50 - 50 又各自具有相同的例如 50ms 的週期長度，使得脈衝易於交錯。這些脈衝易於交錯。

【0064】圖 5C 示出另一類似於圖 5B 的包含脈衝 30、40、50 的示例性脈衝序列，這些脈衝的脈衝持續時間 t_{on} 以及功率有區別。此外，脈衝 30 - 30/40 - 40 各自具有相同的例如 50ms 的週期長度，而脈衝 50 - 50 具有兩倍的例如 100ms 的週期長度。在此情形下亦能輕易實現脈衝的交錯。

【0065】圖 5D 示出另一類似於圖 5B 的包含脈衝 30、40、50 的示例性脈衝序列，這些脈衝的脈衝持續時間 t_{on} 以及功率有區別，但脈衝 30 - 30/40 - 40/50 - 50 又各自具有相同的週期長度。但這個脈衝序列示例性示出電弧抑制單元 18 對常規脈衝序列的干預。因此，在第二脈衝 50 的第一半期間已判斷出電漿單元 3c 中之閃絡，電弧抑制單元 18 據此對切換單元 12 進行實時控制，從而將脈衝

50 的第二半轉送入吸收器。此過程足夠迅速，並且不會在後續脈衝中產生功率波動，在簡單地將電漿單元 3c 自電漿產生器 5 分隔時可能會發生功率波動，因為已在切換單元中提供功率。

【0066】圖 6 在(A)中示出三個製程室的示例性脈衝序列需求（功率請求），其例如需要由根據圖 2 之電弧抑制單元 18 處理及協調，並且在（B）中示出示例性脈衝序列，其由根據圖 2 之電漿產生器以響應所述脈衝序列需求的方式發出。

【0067】如圖 6A 所示，請求具有不同脈衝持續時間以及不同功率的脈衝 30、40、50，其中例如透過調節器 16a 至 16c 產生對應的請求輪廓。此外，脈衝 30 - 30/40 - 40/50 - 50 亦具有不同的週期長度，故脈衝序列請求以部分重疊或直接相繼的方式請求脈衝。

【0068】由於無法實現這一點，電弧抑制單元 18 或另一控制單元必須如此對待輸出之脈衝進行協調，從而以適當的方式將這些脈衝輸出，其中在此將電漿單元之需求儘可能納入考量。在如圖 6 所示之示例中，假定脈衝 30 不允許經受任何改變，因為對應的電漿單元至少在製程的當前相位期間不允許偏差。故輸出的脈衝 30（參閱圖 6B）精確地與所請求的脈衝一致。在總能量輸出在時間範圍內保持恆定的情況下，電漿單元 3b 及 3c 中之製程則允許脈衝上之處於預定極限內的偏差。因此，將圖 6B 中之第一脈衝 50 相對其請求（這個請求直接與針對脈衝 30 的脈衝請求鄰接）在時間上略微向前偏移，從而讓控制單元 12 具有緩衝，例如 1 ms。根據脈衝請求會與脈衝 30 完全重疊的第二脈衝 50 在此被劃分成兩個部分 50-1、50-2，其中部分 50-1 在時間上位於對應的脈衝 30 前，且部分 50-2 在時間上被偏移至脈衝 30 後。在此情形下，子脈衝 50-

1、50-2 的持續時間的總和等於正常脈衝 50 的持續時間。除這種劃分以外，在不會超出脈衝 50 - 50 之間最大允許的脈衝間隔的情況下，視情況而定亦可將脈衝 50 完全偏移至脈衝 30 後。第三及第四脈衝 40 亦可經過時間偏移，用以實現合理的脈衝序列。在重疊脈衝中的任一個皆無需在一定時間點上發出的情況下，亦可將兩者皆偏移，其中通常逆向偏移。將其中一個向前偏移，而將另一個向後偏移。如此便能視情況而定更佳地保持在腔室之相同脈衝之間請求的脈衝間隔。

【0069】 圖 6 示出用以根據測定的功率請求以及電漿單元之需求產生脈衝序列的不同方案。本領域技術人員能夠自本發明之基本原理領會各種脈衝協調方案，這些方案亦可如上文所述為預測式。

【0070】 除脈衝之偏移及/或拆分以外，或作為其替代方案，亦可改變各脈衝高度及/或各脈衝持續時間。此方案的示例在圖 8(A)及 8(B)中示出。圖 8(A)示出三個製程室的示例性脈衝序列請求（功率請求），而圖 8(B)示出示例性脈衝序列輸出。所述脈衝序列請求特別是與圖 6(A)相同，且脈衝 30 再次被視作不可改變。但根據圖 8(B)之脈衝序列輸出有別於根據圖 6(B)之脈衝序列輸出。第一脈衝 50 並非如圖 6(B)在時間上向前偏移。確切言之，脈衝起點符合請求。但脈衝在時間上被縮短，為此則將功率增大。由此，在短暫的持續時間內提供更高的功率，使得脈衝的總功率等於或近乎等於請求的功率。第二脈衝 50 並未被分割，而是被在時間上偏移至重疊請求的脈衝 30 後。如同第一脈衝 50 那般，同時在時間上將脈衝縮短並增大功率。與分割相比，上述方案例如有助於在腔室之相繼的脈衝之間保持最小化的脈衝間隔。以類似於第一脈衝 50 的

方式對第三脈衝 40 進行處理，即保持請求的起始時間，而將脈衝持續時間縮短以及將脈衝高度增大。就第四脈衝 40 而言則將起始時間偏移，但保持根據申請的結束時間。藉此亦縮短脈衝持續時間，這透過增大脈衝高度得到補償。因此，圖 8(B)示出一替代性脈衝管理，其在實現與圖 6(A)相同的輸出位置的情況下完全不採用脈衝偏移。在此將起始時間以及結束時間相對請求的偏移視作脈衝偏移。在所述時間點中的至少一個根據請求實施的情況下，不將其視作偏移。

【0071】 本領域技術人員結合圖 8 能夠領會的是，除脈衝之偏移及劃分以外，還提供其他用於脈衝協調的方案。當然，亦可將這些方案相互融合，特別是亦可既將脈衝偏移，亦就脈衝高度及/或脈衝持續時間對脈衝進行調變。

【0072】 在上述措施中的一個不可行或不妥當的情況下，儘管未示出，亦可將脈衝完全忽略。但在此情形下不應對時間範圍內之能量輸入造成顯著影響。在例如不允許低於每個單位時間（例如毫秒）的最小能量輸入的情況下，概念“時間範圍內”視情況而定相對較短，因為在此需要將對應的單位時間納入考量。但例如在實質上關注整體送入製程的能量的情況下，所述概念亦可包括整個製程自身。就較短之時間段而言，例如可在脈衝完全失效或部分失效的情況下視情況而定將前一及/或後一脈衝相應提高或延長。就較長之時間段而言，亦可視情況而定將脈衝大幅延後提供，例如在製程之依照計劃的末尾後提供。所述脈衝管理是如此配置，使得在將插入之組件（如供電單元 10 及/或開關 12）之性能納入考量的情況下，為腔室之各種請求選擇由脈衝持續時間、脈衝偏移、脈衝功

率位準以及/或者脈衝拆分構成的最佳配置。在此將儘可能小之製程影響視作最佳。為了改善恆定能量輸入，亦可不僅改變在時間上重疊或鄰接的脈衝。所述脈衝管理例如可實施為獨立的硬體，或整合至所述控制單元，特別是調節器。

【0073】 圖 7 亦示出示例性脈衝序列，其為由根據圖 3 之電漿產生器透過切換單元 12a、12b 提供的脈衝序列，其中兩個上下設置的示意圖示出在所述電漿產生器之不同切換單元 12a、12b 上的輸出。

【0074】 作為功率請求，應提供具有相同脈衝持續時間、相同脈衝之間的週期長度以及相同功率的脈衝 30、40、50，其例如到達三個同步實施相同製程的電漿單元 3a 至 3c。但此外亦需要產生用於電漿單元 3d 至 3e 的具有不同脈衝持續時間、脈衝週期以及功率的脈衝 60 及 70，其中每個脈衝 70 在時間上與脈衝 60 中的一個重疊。電漿單元 3d 及 3e 的需求不允許偏移。

【0075】 在此情形下，所述控制單元發現脈衝之劃分，其中切換單元 12a 主要輸出脈衝 30、40、50，而切換單元 12b 主要輸出脈衝 60 及 70。但由於切換單元 12b 不允許將脈衝 60 及 70 偏移，而就請求而言在每次需要將脈衝 70 輸出的情況下皆存在重疊，故在透過切換單元 12b 輸出脈衝 70 的時間點上透過切換單元 12a 輸出所需的脈衝 60。如圖 7 所示，無需脈衝 30、40 及 50 之偏移便能實現此方案。但在不與電漿單元 3a 至 3c 之需求抵觸的情況下，必要時亦可在脈衝 30、40 及/或 50 之間提供空位，用以接收脈衝 60。

【0076】 如圖所示，就脈衝序列之創建而言，根據圖 3 之電漿產生器 5 提供較大的靈活性，藉此能夠在將各需求納入考量的情況

下滿足數個電漿單元的功率請求。下面對其他特定脈衝管理方案進行詳細說明。

【0077】 採用脈衝關斷時間分析（Puls-Aus-Zeit-Analyse）的脈衝偏移

下面對採用脈衝關斷時間分析的脈衝偏移方案進行介紹，其中視情況而定，脈衝偏移導致針對同一腔室之後續脈衝的偏移（其中在下文中亦將針對各腔室之脈衝稱作通道之脈衝）。在此情形下，下列規則適用：

- a. 不允許改變脈衝長度及脈衝高度。
- b. 脈衝之間的脈衝間隔為最小時間，但可視需要延長。
- c. 首先請求之脈衝必須首先輸出，其他通道上之脈衝必須等待，並且隨後被完全輸出。不將所產生之脈衝關斷時間延長（前一脈衝與經偏移之脈衝之間的經延長的間隔時間）自下一脈衝關斷時間減去。因此，將後續脈衝向後偏移，偏移程度為所述脈衝關斷時間延長。
- d. 在正好同時請求兩個脈衝的情況下，首先輸出較短的脈衝，隨後輸出較長的脈衝。若這些脈衝相同，則應首先輸出位於第一通道上的脈衝。在有數個通道的情況下，以定義的輸出序列進行輸出。
- e. 脈衝的偏移導致脈衝關斷時間在一時間段範圍內的增大。應據此求出移動平均值。這個值表明時間範圍內的整個脈衝關斷時間的平均延長。下文將此稱作脈衝關斷時間增大（Puls-Aus-Zeit-Erhöhung）。

【0078】 圖 9(A)及 9(B)結合一具有兩個腔室（通道）的系統示出

這個方案，其中圖 9(A)示出脈衝請求，且圖 9(B)示出對應的脈衝輸出。如圖 9(A)所示，第三個及第四個請求的脈衝 30 及 40 重疊，其中其就第三脈衝發送而言，脈衝 30 應在脈衝 40 前開始。故如圖 9(B)所示，就第三脈衝發送而言，首先輸出脈衝 30，隨後再輸出脈衝 40。就第四脈衝發送而言，首先輸出脈衝 40，隨後再輸出脈衝 30。但其中將第四脈衝 40 相對其請求輪廓向後偏移，偏移時間與第三脈衝向後偏移的程度相同，從而避免第三與第四脈衝之間的時間間隔降至請求的時間間隔（最小時間間隔）以下。因此，在一脈衝發生偏移後，後續脈衝會隨之偏移。

【0079】 此方案之優點在於，無需將所產生的從屬脈衝的等待時間自時間間隔減去。這樣便能避免意外的反饋。但此方案可能會在時間範圍內導致脈衝關斷時間增大，進而導致功率輸出減小。可採用不同的措施來彌補此情形，例如相關腔室中之總製程的與所述移動平均值對應的延長。下文將對其他示例性措施進行說明。

【0080】 採用脈衝關斷時間補償的脈衝偏移

為了對在時間段範圍內增大的脈衝關斷時間進行補償，可為上述規則 a 至 e 補充以下規則。

f. 使用者必須輸入補償值，其使脈衝之等待時間減小一固定設定的值。這個值由使用者基於測定的移動平均值選擇，並且在製程期間不進行反饋。此方案在以下式中示出。

脈衝關斷時間 $P_{uls\ X}$ = 設置的脈衝關斷時間 $P_{uls\ X}$ - 補償值

【0081】 在所述移動平均值產生脈衝關斷時間的例如 2%的延長的情況下，可相應地設置所述補償值。就 2%而言，例如可在設置的脈衝關斷時間為 50 μ s 的情況下輸入 1 μ s 的補償值。在製程期間

固定地使用這個補償值。

【0082】 採用脈衝關斷時間補償的脈衝偏移

另一對在時間段範圍內增大的脈衝關斷時間進行補償的方案為計算相對值。為此可為規則 a 至 e 補充以下規則。

g. 以百分比輸入補償值，其將相繼脈衝之間的時間減小，減小程度為介於 0%與輸入的補償值之間的隨機分配的百分比值。例如在採用 10%的情況下，為設置的 $50\mu\text{s}$ 的脈衝間隔時間產生針對間隔時間的 $45\mu\text{s}$ 至 $50\mu\text{s}$ 的窗口。這個值由使用者選擇，並且不再進行其他反饋。此方案在以下式中示出。

$$\text{脈衝關斷時間}_{\text{Puls X}} = \text{設置的脈衝關斷時間}_{\text{Puls X}} * (100 - X)$$

【0083】 X 在此為介於 0%與輸入的補償值之間的單位為%的隨機值。在製程期間固定地設置及使用這個值。

【0084】 採用帶反饋的脈衝關斷時間補償的脈衝偏移

另一對在時間段範圍內增大的脈衝關斷時間進行補償的替代性方案為帶反饋的補償。為了使電漿產生器更加易用，自動測定、輸入以及透過積分調整補償值。但在某些情形下可能會導致因反饋引起的意外振動。視情況而定可採用預先用以偵測及抑制這類可能的振動的算法。

為此為上述規則 a 至 e 補充以下規則。

h. 基於測定的脈衝關斷時間延長確定補償值。為此，將所述脈衝關斷時間延長與比例因數 K 相乘。K 可由使用者選擇，並且在 $K < 1$ 的情況下相當於阻尼因數，以及在 $K > 1$ 的情況下相當於增益因數。此方案在以下式中示出。

$$\text{補償值} = K * \text{脈衝關斷時間延長}$$

脈衝關斷時間 = 設置的脈衝關斷時間 - 補償值

可將這些式應用於每個脈衝。

【0085】 採用脈衝時間保持的脈衝偏移

脈衝時間保持方案用於如上文所述避開功率損失以及複雜的補償機制。在此採用下列規則：

- a. 不允許改變脈衝長度及脈衝高度。
- b. 通道之相繼脈衝之間的時間是靈活的，並可視需要縮短或延長。
- c. 首先將第一個請求的脈衝輸出，將位於其他通道上的脈衝在時間上向後偏移（至通道的前一脈衝的脈衝關斷時間延長），並且被完全輸出。相應地，將脈衝關斷時間之延長自至相同通道的下一脈衝的脈衝關斷時間減去，從而以經縮短的脈衝關斷時間將下一脈衝輸出。

【0086】 因此，在不存在與另一通道之脈衝的重疊的情況下，每個脈衝皆在請求時間點上輸出。一脈衝的偏移不會造成相同通道之後續脈衝的偏移。

【0087】 採用優先權的脈衝失效

針對脈衝管理的另一方案為至少部分忽略脈衝，具體方式為，賦予脈衝中之一個以優先權。為此例如產生以下規則：

- a. 不允許改變脈衝高度。
- b. 脈衝間隔是固定的，且不允許改變。
- c. 輸出之脈衝具有優先權列表，且重要的脈衝總是優於不重要的脈衝輸出。其中可將低優先權的脈衝完全無效化或僅部分輸出。

d. 測定失效的脈衝的綜合並得到脈衝失效總和。

【0088】 圖 10(A)及 10(B)結合具有兩個腔室（通道）的系統示出這個方案，其中圖(A)示出脈衝請求，且圖(B)示出對應的脈衝輸出。如圖 10(A)所示，第三個及第四個請求的脈衝 30 及 40 重疊。在本示例中，脈衝 30 具有更高的優先權，故總是如請求的那般被輸出，如圖 10(B)所示。第三及第四脈衝 40 則被在縮短後輸出。就第三脈衝 40 而言，將開端移至脈衝 30 之末尾後，而將根據請求輪廓之末尾保持。就第四脈衝 40 而言，脈衝如請求的那般開始，但提前結束，特別是在重疊請求之脈衝 30 的請求時間點（以及輸出）前。

【0089】 脈衝之（部分）無效化可能會顯著降低功率輸入，故在下文中定義了用於解決這個問題的方案。

【0090】 採用脈衝數目補償的脈衝失效

為了對根據“採用優先權的脈衝失效”方案的（部分）失效的脈衝進行補償，作為替代方案，可為對應的規則 a 至 d 補充以下規則。

e. 基於在 d 中確定的脈衝失效總和，在調節脈衝序列的末尾輸出失效脈衝的數目。

【0091】 由於製程結果通常很大程度上取決於送入的總功率，在脈衝失效不導致製程終止的情況下，例如可透過簡單地延長製程時間來對脈衝失效進行補償。

【0092】 採用脈衝功率及/或脈衝持續時間補償的脈衝失效

為了抑制功率降低，可改變脈衝持續時間及/或脈衝功率，其中脈衝持續時間改變包含相對正常（請求的）脈衝持續時間的偏

差，故並非簡單的脈衝偏移。在此可如下調整根據“具有優先權的脈衝失效”方案的規則 a 至 d，並透過下列規則進行補充：

- a. 僅允許在預定之極限內改變脈衝高度。
- b. 允許視情況而定在預定之極限內改變、特別是縮短間隔時間。
- c. 輸出之脈衝具有優先權列表，且重要的脈衝總是優於不重要的脈衝輸出。其中可將低優先權的脈衝完全無效化或僅部分輸出。
- d. 測定因重疊而失效之脈衝的比例。
- e. 測定在將間隔時間納入考量的情況下，能夠透過脈衝開端/脈衝末尾之偏移及/或透過在預定之極限內增大脈衝對脈衝之失效比例進行補償的程度。
- f. 將脈衝開端/脈衝末尾偏移，以及/或者在預定之極限內增大脈衝。

【0093】相對於脈衝增大，在此例如可優先處理脈衝開端/脈衝末尾之偏移，從而首先試圖透過偏移對脈衝之失效比例進行補償，隨後方透過剩餘比例之脈衝增大（在能夠完整進行的情況下）進行補償。但亦可規定優先權或設置權重。

【0094】當然，亦可僅允許脈衝開端/脈衝末尾之偏移或脈衝增大。

【0095】可將上述不同的方案相互組合，從而視具體製程需求為本領域技術人員實現各種方案。

【0096】前文結合較佳實施方式對本發明進行說明，但本發明不侷限於這些具體實施方式。特別是可將所述電漿產生器用於各種電漿單元，且待由電漿產生器供應電力之電漿單元的數目可有別

於示出的數目。就根據圖 3 之實施方式而言，切換單元 12a、12b 亦無需皆與所有電漿單元 3a 至 3e 連接。因此，例如亦可僅電漿單元 3a 至 3c 與切換單元 12a 連接，且電漿單元 3c 至 3e 與切換單元 12b 連接，使得僅電漿單元 3c 可由兩者控制。這會降低靈活性，但透過兩個切換單元總是實現對電漿單元中之至少一個的電力供應，從而在脈衝序列建立中化解可能的衝突。

【符號說明】

【0097】

1：電漿處理設備

3a，3b，3c，3d，3e：製程單元

5：電漿產生器

7a，7b，7c，7d，7e：電力線纜

8a，8b，8c，8d，8e：資料連接

10，10a，10b：供電單元

12，12a，12b：切換單元

14：控制單元

15，15a，15b：電力線纜

16a，16b，16c，16d，16e：調節器

18：電弧抑制單元

20：吸收器

21：電力線纜

30：脈衝

40：脈衝

50：脈衝

50-1，50-2：子脈衝

60：脈衝

70：脈衝



201904358

【發明摘要】

【中文發明名稱】電漿產生器、電漿製程設備以及電力脈衝供應的方法

【英文發明名稱】PLASMA GENERATOR, PLASMA PROCESSING APPARATUS AND METHOD FOR THE PULSED SUPPLY OF ELECTRICAL POWER

【中文】本發明提出用於向至少兩個製程室脈衝供應具有至少40KHz頻率之電力的電漿產生器以及方法。所述電漿產生器具有以下組件：控制單元，其適於獲得及分析有關所述至少兩個製程室中之製程的製程資料，具有輸出的可調節之供電單元，其適於在其輸出上以響應所述控制單元之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電，以及切換單元，其具有第一輸入，所述第一輸入與所述供電單元之輸出連接，並且具有至少兩個切換單元輸出，用於各自與所述至少兩個製程室中之一個連接。其中所述切換單元適於自所述輸入上之直流電形成具有預定之至少40KHz之頻率的交流電作為輸出訊號交流電，並且以響應所述控制單元之控制訊號的方式，將所述輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定之脈衝持續時間內輸出至所述切換單元輸出中的一個。所述控制單元適於協調所述至少兩個製程室之功率請求，並且控制供電單元以及切換單元，使得在各與製程室連接之切換單元輸出上皆實質上將與所述功率請求對應之功率在一時間段內作為脈衝提供，其中各製程室之脈衝在時間上相互錯開，使得這些製程室能夠同步工作。

【指定代表圖】圖1。

【代表圖之符號簡單說明】

1：電漿處理設備

3a，3b：製程單元

5：電漿產生器

7a，7b：電力線纜

8a，8b：資料連接

10：供電單元

12：切換單元

14：控制單元

15：電力線纜

16a，16b：調節器

18：電弧抑制單元

【特徵化學式】

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種用於向至少兩個製程室脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的電漿產生器，所述電漿產生器包括：

控制單元，其適於獲得及分析有關所述至少兩個製程室中之製程的製程資料；

具有輸出的可調節之供電單元，其適於在其輸出上以響應所述控制單元之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電；以及

切換單元，其具有第一輸入，所述第一輸入與所述供電單元之所述輸出連接，並且具有至少兩個切換單元輸出，用於各自與所述至少兩個製程室中的一個連接；

其中所述切換單元適於自所述輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 之頻率的交流電作為輸出訊號，並且以響應所述控制單元之控制訊號的方式，將所述輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定之脈衝持續時間內輸出至所述切換單元輸出中的一個；

其中所述控制單元適於協調所述至少兩個製程室之功率請求，並且控制所述供電單元以及所述切換單元以使得在各與所述製程室連接之所述切換單元輸出上皆實質上將與所述功率請求對應之功率在一時間段內作為脈衝提供，其中各所述製程室之脈衝在時間上如此相互錯開，使得所述製程室能夠同步工作。

【第2項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其中所述控制單元具有數個與待連接至所述切換單元之製程單元的數目對應的調節器，其中每個所述調節器適於獲得有關所述製程室中的一

個中的製程的製程資料，其中每個所述調節器與所述供電單元及/或所述開關連接，從而以響應接收之製程資料的方式控制這些元件。

【第3項】 如申請專利範圍第 1 或 2 項所述的電漿產生器，其還具有至少一電弧抑制單元，所述電弧抑制單元適於獲得並實時分析有關所述至少兩個製程室中之製程的當前製程資料以及所述供電單元及/或所述開關之當前資料，用以偵測閃絡或即將發生之閃絡，其中所述電弧抑制單元與所述供電單元及/或所述開關連接，用以響應偵測的閃絡或即將發生之閃絡以控制這些元件。

【第4項】 如申請專利範圍第 3 項所述的電漿產生器，其中所述電弧抑制單元構成所述控制單元的一部分。

【第5項】 如前述申請專利範圍中任一項所述的電漿產生器，其中所述調節器及/或所述至少一電弧抑制單元建構為獨立的軟體模組，所述軟體模組可在所述電漿產生器之同一處理器上或不同之處理器上執行。

【第6項】 如前述申請專利範圍中任一項所述的電漿產生器，其中所述切換單元具有至少一第三切換單元輸出，其適於與至少另一製程室或吸收器連接，且其中所述切換單元適於以響應所述控制單元之輸入的控制訊號的方式將輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定的脈衝持續時間內施加至所述切換單元輸出中的一個。

【第7項】 如前述申請專利範圍中任一項所述的電漿產生器，其中所述切換單元具有至少一切換單元輸出，其適於與吸收器連接，且其中所述切換單元適於以響應輸入的控制訊號的方式將輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定的脈衝持續時間內施加至對應所述吸收

器的所述切換單元輸出。

【第8項】 如前述申請專利範圍中任一項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得其在各所述切換單元輸出上對由脈衝持續時間與對應的脈衝間隔構成的總和進行協調，使得所述總和皆相同，或使得所述切換單元輸出中之一個上的所述總和為另一切換單元輸出上的所述總和的數倍。

【第9項】 如申請專利範圍第 1 至 8 項中任一項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得在所述功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將所述脈衝在時間上相對於所述功率請求偏移，其中對應的時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於所述功率請求。

【第10項】 如申請專利範圍第 1 至 8 項中任一項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得在所述功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將單一個所述脈衝相對所述功率請求劃分成兩個分隔的脈衝並在時間上進行偏移，其中對應的劃分及時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於所述功率請求。

【第11項】 如前述申請專利範圍中任一項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得在所述功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將單一個所述脈衝在時間上相對於所述功率請求偏移，其中對應的時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內對應於所述功率請求。

【第12項】 如前述申請專利範圍中任一項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得在具體功率請求會導致不同輸出上之

脈衝重疊的情況下，能夠改變所述脈衝之下列參數中的至少一個：脈衝在脈衝序列中的位置、脈衝劃分成子脈衝、脈衝持續時間以及脈衝之振幅。

【第13項】如前述申請專利範圍中任一項所述的用於向至少三個製程室脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的電漿產生器，其中所述電漿產生器還具有以下組件：

控制單元，其適於獲得及分析有關所述至少三個製程室中之製程的製程資料；

另一具有輸出的可調節之供電單元，其適於在其輸出上以響應所述控制單元之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電；以及

另一切換單元，其具有功率輸入，所述功率輸入與所述供電單元之輸出連接，並且具有至少三個切換單元輸出，用於各自與所述至少三個製程室中的一個連接；

其中所述切換單元適於自所述輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 之頻率的交流電作為輸出訊號，並且以響應所述控制單元之控制訊號的方式，將所述輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定之脈衝持續時間內輸出至所述切換單元輸出中的一個；

其中所述控制單元適於協調所述至少三個製程室之所述功率請求，並且如此控制所述供電單元以及所述切換單元，使得在與製程室連接之所述切換單元輸出中的每個上皆實質上將與所述功率請求對應之功率在一時間範圍內作為脈衝提供，其中透過切換單元為製程室提供的脈衝在時間上相互錯開，而所述兩個切換單元之脈衝則可重疊。

【第14項】 如申請專利範圍第 12 項所述的電漿產生器，其中所述供電單元具有不同的額定功率。

【第15項】 一種電漿製程設備，具有至少兩個分隔的製程室，在這些製程室中能夠各自產生電漿，並且具有如前述申請專利範圍中任一項所述的電漿產生器，其中所述製程室各自與所述切換單元之切換單元輸出中的一個連接。

【第16項】 如申請專利範圍第 14 項所述的電漿製程設備，具有至少三個分隔的製程室，其中所述電漿產生器之所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，且所述製程室各自與所述切換單元輸出中的一個連接。

【第17項】 如申請專利範圍第 14 或 15 項所述的電漿製程設備，其還具有吸收器，其中所述電漿產生器之所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，且所述吸收器與所述切換單元輸出中的一個連接。

【第18項】 一種向至少兩個分隔的製程室脈衝供應具有預定之至少 40KHz 頻率之電力的方法，包含以下步驟：

在切換單元之輸入上以響應控制單元之控制訊號的方式提供具有預定之電壓及/或強度的直流電；

在所述切換單元中自所述直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電輸出訊號，以及

以響應控制單元之控制訊號的方式在所述切換單元之至少兩個切換單元輸出中的一個上選擇性地將所述交流電輸出訊號作為脈衝輸出，所述切換單元輸出中的每個皆與所述至少兩個分隔的製程室中一個連接；

其中所述控制單元以響應所述至少兩個製程室之功率請求以及響應有關所述至少兩個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，所述控制訊號經過協調以使得在與所述製程室連接之所述切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與所述功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中所述針對所述製程室的脈衝在時間上相互錯開，但所述製程室同步工作。

【第19項】 如申請專利範圍第 18 項所述的方法，其中在具體功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，所述控制單元改變脈衝之下列參數中的至少一個：脈衝在脈衝序列中的位置、脈衝劃分成子脈衝、脈衝持續時間以及脈衝之振幅。

【第20項】 如申請專利範圍第 19 項所述的方法，其中所述控制單元依照預定的固定規則或可由操作人員設置的規則進行調整。

【第21項】 如申請專利範圍第 19 項所述的方法，其中所述控制單元將針對每個製程室在一時間段範圍內在脈衝中輸出的功率與在此時間段範圍內請求的功率進行比較，並且自動根據所述比較調整脈衝的至少一個參數。

【第22項】 如申請專利範圍第 18 至 21 中任一項所述的方法，其中向至少三個分隔的製程室提供電力，其中所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，這些切換單元輸出中的每個皆與所述至少三個分隔的製程室中的一個連接；且其中所述控制單元以響應所述至少三個製程室之功率請求以及響應有關所述至少三個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，這些控制訊號經過

協調以使得在與所述製程室連接之所述切換單元輸出中的每一個上，皆將與所述功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中所述針對所述製程室的脈衝在時間上相互錯開，但所述製程室同步工作。

【第23項】 如申請專利範圍第 18 至 22 中任一項所述的方法，其中所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，其中一個與吸收器連接，所述吸收器適於接收及吸收電力，且其中所述控制單元能夠對各製程室中之製程進行監測，並偵測這些製程室中之一個內的閃絡現象或閃絡危險，並以對此作出響應的方式，在脈衝持續時間或其至少一部分的範圍內，將所述輸出訊號轉送入所述吸收器，而非送入對應的製程室中。

【第24項】 如申請專利範圍第 18 至 23 中任一項所述的方法，其中所述控制單元如此在各切換單元輸出上對由脈衝持續時間與對應的脈衝間隔構成的總和進行協調，使得所述總和皆相同，或者使得一切換單元輸出上的所述總和為另一切換單元輸出上的所述總和的數倍。

【第25項】 如申請專利範圍第 18 至 23 中任一項所述的用於向至少三個分隔的製程室脈衝供應具有預定之至少 40KHz 頻率的電力的方法，具有下列額外步驟：

以響應控制單元之控制訊號的方式，在另一切換單元之輸入上提供具有預定之電壓及/或強度的直流電；

在所述另一切換單元中自所述直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電輸出訊號，以及，以響應控制單元之控制訊號的方式，在所述另一切換單元之至少三個切換單元輸出中的一

個上將所述交流電輸出訊號選擇性地作為具有預定之脈衝持續時間的脈衝輸出，這些切換單元輸出中的每個皆與所述至少三個分隔的製程室中的一個連接；

其中所述控制單元以響應所述至少三個製程室之功率請求以及響應有關所述至少三個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，這些控制訊號是經協調以使得在與製程室連接之所述切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與所述功率請求對應的功率在時間範圍內作為具有預定之脈衝持續時間的脈衝提供，其中由所述切換單元中之一個輸出的脈衝在時間上相互錯開，但兩個切換單元之脈衝可在時間上重疊。

【發明說明書】

【中文發明名稱】電漿產生器、電漿製程設備以及電力脈衝供應的方法

【英文發明名稱】PLASMA GENERATOR, PLASMA PROCESSING APPARATUS AND METHOD FOR THE PULSED SUPPLY OF ELECTRICAL POWER

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種用於脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的電漿產生器，以及一種電漿製程設備，以及一種脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的方法。

【先前技術】

【0002】 在先前技術中已知各種應用領域，其中供應具有至少 40KHz 頻率之電力，用以自氣體激勵激發電漿，並為特定製程維持電漿。示例為半導體技術或光伏打工業領域中之電漿輔助氣相沈積。

【0003】 在此例如將晶圓載入所謂之“晶圓舟”，此晶圓舟部分由導電之板件構成，並被送入對應的製程室。在此情形下，將具有至少 40KHz 頻率之電力施加至晶圓舟，用以在板件之間以及在容置於板件上之晶圓之間自一適當的氣體產生電漿。在本案申請人之 DE 10 2015 004 419 A1 中揭示過此種電漿製程設備。

【0004】 此類電漿製程設備皆通常皆由單獨一個製程室構成，此

製程室對應單獨一個電漿產生器。在採用數個製程室之相鄰配置的情況下，儘管部分實現氣體櫃以及其他外圍設備之共同使用，但至目前為止，每個製程室具有單獨一個電漿產生器。此種電漿產生器通常具有包含輸出的可調節之供電單元，這個供電單元適於在其輸出上輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電，並且具有轉換器，其適於自輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 之頻率的交流電作為輸出訊號，並將此輸出訊號施加至連接的製程室。在此情形下，通常透過調節器對此供電單元以及此轉換器進行控制，這個調節器測定製程室所需之功率並產生對應的控制訊號。通常亦設有電弧抑制單元，其以適當的方式獲得有關製程室之製程之當前製程資料以及供電單元及/或開關之當前資料並進行實時分析，用以偵測閃絡或即將發生之閃絡，其中，這個電弧抑制單元與供電單元及/或開關連接，並且以視情況而定對閃絡或即將發生之閃絡之偵測作出響應的方式控制此等元件，從而避免或迅速抑制製程室中之閃絡。

【0005】 在製程期間，通常藉由相應的電漿產生器將電力週期性地作為脈衝提供，其中在此通常以在較長時間段內設置小於 0.1 之占空比（脈衝持續時間與週期持續時間之商）。在製程室中如此脈衝操作電漿被證實為特別有利。因此，在製程之寬廣的區間範圍內，電漿產生器之可用持續功率之 90% 未被使用。亦存在具有大幅減小之占空比的製程，以及具有更高占空比之製程或製程段。

【發明內容】

【0006】 因此，本發明之目的在於更加高效地提供電力。本發明用以達成上述目的之解決方案為一種如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，一種如申請專利範圍第 14 項所述的電漿製程設備，以及一種如申請專利範圍第 17 項所述的方法。本發明之其他技術方案主要參閱從屬權利要求。

【0007】 特別是提出一種用於向至少兩個製程室脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的電漿產生器，其中所述電漿產生器具有以下組件：控制單元，其適於獲得及分析有關所述至少兩個製程室中之製程的製程資料；具有輸出的可調節之供電單元，其適於在其輸出上以響應所述控制單元之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電；以及切換單元，其具有第一輸入，所述第一輸入與所述供電單元之輸出連接，並且具有至少兩個切換單元輸出，用於各自與所述至少兩個製程室中之一個連接；

其中所述切換單元適於自所述輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 之頻率的交流電作為輸出訊號，並且以響應所述控制單元之控制訊號的方式，將所述輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定之脈衝持續時間內輸出至所述切換單元輸出中的一個；其中所述控制單元適於協調至少兩個製程室之功率請求，並且控制供電單元以及切換單元，使得在各個與製程室連接之切換單元輸出上，將與所述功率請求對應之功率在一時間段內作為脈衝提供，其中所述脈衝在時間上相互錯開，使得製程室能夠同步工作。

【0008】 這種電漿產生器實現對數個製程室之經協調的脈衝電力供應，總而提高電漿產生器之效率。能夠大幅降低多腔室電漿處理單元之購置成本，因為將所述電漿產生器之數目減半，或進一步減

少。就實施相似製程的製程室而言，特別是能夠高效地對製程室進行協調。

【0009】 在一實施方式中，所述控制單元具有數個與待連接至切換單元之製程單元的數目對應的調節器，其中每個調節器適於獲得有關對應的製程室中的製程的製程資料，其中每個調節器與供電單元及/或切換單元連接，從而以響應接收之製程資料的方式控制這些元件。如此便能實現對各製程的良好且可靠的調節。所述電漿產生器較佳還具有至少一電弧抑制單元，其適於獲得並實時分析有關所述至少兩個製程室中之製程的當前製程資料以及供電單元及/或切換單元之當前資料，用以偵測閃絡或即將發生之閃絡，其中所述電弧抑制單元與供電單元及/或切換單元連接，用以以視情況而定響應閃絡或即將發生之閃絡之偵測的方式控制這些元件。所述電弧抑制單元可構成所述控制單元的一部分。

【0010】 所述調節器及/或所述至少一電弧抑制單元可建構為獨立的軟體模組，這些軟體模組可在所述電漿產生器之同一處理器上或分隔之處理器上執行。

【0011】 在一實施方式中，所述切換單元具有至少一第三切換單元輸出，其適於與至少另一製程室或吸收器連接，且其中所述切換單元適於以響應所述控制單元之輸入的控制訊號的方式將輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定的脈衝持續時間內施加至所述切換單元輸出中的一個，用以實現電漿產生器之更加高效的利用。所述切換單元可具有至少一切換單元輸出，其適於與吸收器連接，其中所述切換單元適於以響應輸入的控制訊號的方式將輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定的脈衝持續時間內施加至針對吸收器的切換單

元輸出，用以避免或防止製程室中之過載或閃絡。

【0012】 為了實現簡單的協調，所述控制單元可配置成使得其在各切換單元輸出上對脈衝持續時間與對應的脈衝間隔的總和進行協調，使得所述總和皆相同，或使得一切換單元輸出的總和為另一切換單元輸出的總和的數倍。

【0013】 優選的，所述控制單元可配置為使得在功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將脈衝在時間上相對於功率請求偏移，其中對應的時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於功率請求。作為替代或附加方案，所述控制單元可配置為使得在功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將各脈衝相對功率請求劃分成兩個分隔的脈衝並在時間上進行偏移，其中對應的劃分及時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於功率請求。作為附加或替代方案，所述控制單元亦可經設計以使得在功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將各脈衝在時間上相對於功率請求偏移，其中對應的時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於功率請求。根據一較佳實施方式，所述控制單元經設計以使得在具體功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，能夠改變脈衝之下列參數中之至少一個：脈衝在脈衝序列中的位置、脈衝劃分成子脈衝、脈衝持續時間以及脈衝之振幅。

【0014】 根據另一實施方式，所述電漿產生器適於向至少三個製程室脈衝供應頻率至少為 40KHz 的電力，並且還具有以下組件：控制單元，其適於獲得及分析有關所述至少三個製程室中之製程

的製程資料；另一具有輸出的可調節的供電單元，所述供電單元適於在其輸出上以相應控制單元之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電；以及另一具有功率輸入的切換單元，其與所述供電單元之輸出連接，並且具有至少三個用於分別與所述至少三個製程室中的一個連接的切換單元輸出；其中所述切換單元適於自輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電作為輸出訊號，並且以響應控制單元之控制訊號的方式將所述輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定之脈衝持續時間內輸出至所述切換單元輸出中的一個；其中所述控制單元適於對所述至少三個製程室之功率請求進行協調，並控制供電單元及切換單元，使得在與製程室連接的切換單元輸出中的每個上，實質上分別將與功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中透過切換單元為製程室提供的脈衝在時間上相互錯開，而兩個切換單元之脈衝則可重疊。藉此能夠提高脈衝協調的靈活性。所述供電單元可具有不同的額定功率，以適應各種功率請求。

【0015】 本發明亦有關於一種電漿製程設備，其具有至少兩個分隔的製程室，在這些製程室中能夠各自產生電漿，並且具有前述類型的電漿產生器，其中所述製程室各自與所述切換單元之切換單元輸出中的一個連接。

【0016】 在一實施方案中，這種電漿製程設備具有至少三個分隔的製程室，其中所述電漿產生器之切換單元具有至少三個切換單元輸出，且所述製程室各自與所述切換單元輸出中的一個連接。此外，所述電漿處理設備亦可具有吸收器，其中電漿產生器之切換單元具有至少三個切換單元輸出，且所述吸收器與這些切換單元輸

出中的一個連接。

【0017】 本發明亦有關於一種向至少兩個分隔的製程室脈衝供應具有預定之至少 40KHz 頻率的電力的方法，包含以下步驟：在切換單元之輸入上以響應控制單元之控制訊號的方式提供具有預定之電壓及/或強度的直流電；在切換單元中自所述直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電輸出訊號，以及，以響應控制單元之控制訊號的方式在切換單元之至少兩個切換單元輸出中之一個上選擇性地將所述交流電輸出訊號作為具有預定脈衝持續時間的脈衝輸出，所述切換單元輸出中的每個皆與所述至少兩個分隔的製程室中一個連接；其中所述控制單元以響應所述至少兩個製程室之功率請求以及響應有關至少兩個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，所述控制訊號是經過協調以使得在與製程室連接之切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中所述針對製程室的脈衝在時間上相互錯開，但所述製程室同步工作。這種方法實現上文已述及的更加高效利用電漿產生器的優點。

【0018】 在具體功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，所述控制單元較佳改變脈衝之下列參數中的至少一個：脈衝在脈衝序列中的位置、脈衝劃分成子脈衝、脈衝持續時間以及脈衝之振幅。該製程如此靈活，並且能夠適應各種請求。所述控制單元能夠依照預定的固定規則或可由操作人員設置的規則進行調整。控制單元能夠將針對每個製程室在一時間段範圍內在脈衝中輸出的功率與在此時間段範圍內請求的功率進行比較，並且自動根據所

述比較調整脈衝的至少一個參數。

【0019】 在一實施方式中，向至少三個分隔的製程室提供電力，其中所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，這些切換單元輸出中的每個皆與所述至少三個分隔的製程室中的一個連接；其中所述控制單元以響應所述至少兩個製程室之功率請求以及響應有關至少三個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，這些控制訊號是經過協調以使得在與製程室連接之切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中所述針對製程室的脈衝在時間上相互錯開，但所述製程室同步工作。

【0020】 就所述方法而言，所述切換單元可具有至少三個切換單元輸出，其中一個與吸收器連接，所述吸收器適於接收及吸收電力，且其中所述控制單元能夠對各製程室中之製程進行監測，並偵測這些製程室中之一個內的閃絡現象或閃絡危險，並以對此作出響應的方式，在脈衝持續時間或其至少一部分的範圍內，將所述輸出訊號轉送入所述吸收器，而非送入對應的製程室中。

【0021】 就所述方法而言，在一實施方式中，所述控制單元在各切換單元輸出上對由脈衝持續時間與對應的脈衝間隔構成的總和進行協調，使得這些總和皆相同，或者使得一切換單元輸出上的總和為另一切換單元輸出上的總和的數倍。

【0022】 在另一實施方式中，所述方法用於向至少三個分隔的製程室脈衝供應具有預定之至少 40KHz 頻率的電力，並且具有下列額外步驟：以響應控制單元之控制訊號的方式，在另一切換單元之

輸入上提供具有預定之電壓及/或強度的直流電；在另一切換單元中自所述直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電輸出訊號，以及，以響應控制單元之控制訊號的方式，在所述另一切換單元之至少三個切換單元輸出中的一個上將所述交流電輸出訊號選擇性地作為具有預定之脈衝持續時間的脈衝輸出，這些切換單元輸出中的每個皆與至少三個分隔的製程室中的一個連接；其中所述控制單元以響應所述至少三個製程室之功率請求以及響應有關至少三個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，這些控制訊號經過協調，使得在與製程室連接之切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中由所述切換單元中之一個輸出的脈衝在時間上相互錯開，但兩個切換單元之脈衝可在時間上重疊。

【圖式簡單說明】

【0023】 下面結合圖式對本發明進行詳細說明；其中：

圖 1 為本發明的包含電漿產生器的電漿製程設備的示意圖。

圖 2 為本發明的包含替代性電漿產生器的替代性電漿製程設備的示意圖。

圖 3 為本發明的包含另一替代性電漿產生器的另一替代性電漿製程設備的示意圖。

圖 4(A)至圖 4(D)為電漿產生器所發出之脈衝序列，其中圖 4 (A)示出常見電漿產生器之常規脈衝序列，而圖 4 (B)至圖 4 (D)示

出根據圖 1 之電漿產生器所發出之不同的示例性脈衝序列。

圖 5(A)至圖 5(D)為脈衝序列的示意圖，其中圖 5 (A)至圖 5 (D)示出根據圖 2 之電漿產生器所發出之不同的示例性脈衝序列。

圖 6(A)至圖 6(B)為脈衝序列的示意圖，其中圖 6 (A)示出製程室之脈衝序列請求，且圖 6 (B)示出根據圖 2 之電漿產生器以響應脈衝序列請求的方式發出的示例性脈衝序列。

圖 7(A)至圖 7(B)為根據圖 3 之電漿產生器所發出之示例性脈衝序列的示意圖，其中圖 7(A)至圖 7(B)兩個上下設置的示意圖示出在電漿產生器之不同切換單元上的輸出。

圖 8(A)至圖 8(B)為脈衝序列的示意圖，其中圖 8 (A)示出製程室之脈衝序列請求，且圖 8 (B)示出根據圖 2 之電漿產生器以響應脈衝序列請求的方式發出的示例性脈衝序列。

圖 9(A)至圖 9(B)為脈衝序列的示意圖，其中圖 9 (A)示出製程室之脈衝序列請求，且圖 9 (B)示出根據圖 2 之電漿產生器以響應脈衝序列請求的方式發出的示例性脈衝序列。

圖 10(A)至圖 10(B)為脈衝序列的示意圖，其中圖 10 (A)示出製程室之脈衝序列請求，且圖 10 (B)示出根據圖 2 之電漿產生器以響應脈衝序列請求的方式發出的示例性脈衝序列。

【實施方式】

【0024】 在本說明書中，表述將實質上包含所述及值的 $\pm 5\%$ （較佳 $\pm 2\%$ ）的偏差在內。

【0025】 圖 1 為具有兩個製程單元 3a、3b 以及一電漿產生器 5 的

電漿製程設備 1 的第一實施方式的示意圖。製程單元 3a 及 3b 可具有相同的結構，並且各具一用於容置一或多個基板、特別是半導體晶圓或 PV 基板。所述製程室可緊密封閉，且製程單元 3a 及 3b 具有不同的用於在各製程室內調節期望之環境條件的構件（未繪示），例如泵及氣櫃。每個製程室同樣與一自有的泵對應，而一氣櫃則可視情況而定對數個製程室進行供給。在所述製程室中還設有用於產生電漿的構件，其中這些構件例如可由晶圓舟構成，這個晶圓舟例如被與基板一起送入製程室並在該處被電接觸，正如在上文述及之 DE 10 2015 004 419 A1 中所描述的，其就此而言被納入本公開案。

【0026】製程單元 3a、3b 透過電力線纜 7a 或 7b 以及資料連接 8a 或 8b 與電漿產生器 5 連接。電漿產生器 5 透過電力線纜 7a、7b 將頻率大於 40KHz 之電力提供給各製程單元 3a 及 3b。透過資料連接 8a 或 8b 能夠在製程單元 3a、3b 與電漿產生器 5 之間交換資料。資料連接 8a 或 8b 可採用有線或無線的實施方案。製程單元 3a、3b 特別是可將有關各製程室中之製程的不同製程資料提供給電漿產生器 5。在此特別是可傳輸有關實際輸入之電力、電漿之存在等的實際資料，但亦可傳輸對應的標稱資料（Soll-Daten），例如就習知的具有單獨一個製程單元及單獨一個電漿產生器的電漿製程設備而言便是如此。

【0027】電漿產生器 5 具有可調節之供電單元 10、切換單元 12 以及控制單元 14。所述供電單元具有未繪示之輸入以及輸出，所述輸出透過電力線纜 15 與切換單元 12 之輸入連接。供電單元 10 適於以響應控制單元 14 之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/

或強度的直流電，此為本領域習知。

【0028】 切換單元 12 具有已述及的輸入，其與電力線纜 15 連接，用以自供電單元 10 接收直流電，以及具有兩個分隔的輸出，其中一輸出與電力線纜 7a 連接，且另一輸出與電力線纜 7b 連接。切換單元 12 具有轉換器電路，其能夠自所述輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電作為輸出訊號。所述轉換器電路例如可具有雙極電晶體，其自供電單元 10 所提供之直流電形成準正弦訊號（階梯狀訊號）。切換單元 12 還具有切換部件，其將如此形成之輸出訊號以響應控制單元 14 之控制訊號的方式施加至其中一個或另一輸出，藉此施加至製程單元 3a 或製程單元 3b。

【0029】 如圖所示，控制單元 14 又具有兩個分隔的調節器 16a、16b，以及電弧抑制單元 18。調節器 16a、16b 透過資料連接 8a 或 8b 與製程單元 3a 或 3b 連接。調節器 16a、16b 皆適於根據有關製程單元 3a、3b 中之各製程之實際資料及標稱資料測定製程單元 3a、3b 之功率請求。隨後，調節器 16a、16b（或下游之單元）根據此等功率請求創建用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料。儘管調節器 16a、16b 被顯示為各別獨立的單元，但其亦可建構為單獨一個單元，所述單元實現製程單元 3a 及 3b 之資料之實質上並行的處理。調節器 16a、16b 特別是可實施為可實質上並行執行之軟體常式（Software routines），這些軟體常式在處理器上執行。

【0030】 在所示實施方式中，所述調節器之對應的輸出與電弧抑制單元 18 之對應的輸入連接。因此，電弧抑制單元 18 能夠自調節器 16a、16b 獲得各製程單元之功率請求，亦或直接獲得據此創建之用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料。此外，電弧抑

制單元 18 亦可直接自各製程單元 3a、3b 獲得未經處理的資料。這類資料特別是為能夠實時進行以下分析的資料：判斷是否在製程單元 3a 及 3b 中的一個中發生了閃絡，或者是否即將發生閃絡。為此所需之資料以及對應的偵測算法已為本領域技術人員所知，故在此不再贅述。在偵測出閃絡或閃絡危險的情況下，電弧抑制單元 18 能夠調整傳輸至供電單元 10 及切換單元 12 的控制訊號，並且將對發生閃絡或存在對應危險的製程單元 3a、3b 的電力供應短暫中斷。

【0031】 在本實施方式中，電弧抑制單元 18 還可經建構以使得在獲得各製程單元之功率請求資料的情況下據此產生用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料。當然，若已藉由調節器 16a、16b 產生這些控制資料，便無需再採用此方案。此外，電弧抑制單元 18 是經建構以使得其對自身產生或由調節器 16a、16b 產生之用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料進行協調。必須如此協調用於供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料，從而根據功率請求向各製程單元 3a、3b 提供功率。但亦需要在時間上對用於供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料進行協調，因為在每個時間點上僅能在切換單元的輸出中的一個上提供功率。如上文所述，將功率作為具有特定脈衝持續時間的脈衝提供給各製程單元 3a、3b。因此，透過用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料對各脈衝進行協調，使得這些脈衝不重疊，其中製程室仍能同步工作。

【0032】 圖 2 為電漿製程設備 1 之一替代性實施方式的示意圖，所述電漿製程設備在這個實施方式中具有三個製程單元 3a、3b、3c，一吸收器 20 以及一電漿產生器 5。不同實施方式中之相同或

相似的元件是用同一元件符號表示。

【0033】 製程單元 3a、3b 及 3c 可與上文所述相同，並透過電力線纜 7a、7b 或 7c 以及資料連接 8a、8b 或 8c 與電漿產生器 5 連接。電力線纜 7a、7b 及 7c 亦用於將頻率大於 40KHz 之電力自電漿產生器 5 提供給各製程單元 3a、3b 及 3c。透過資料連接 8a、8b 及 8c 亦能夠在製程單元 3a、3b、3c 與電漿產生器 5 之間交換資料。

【0034】 電漿產生器 5 亦具有可調節之供電單元 10、切換單元 12 以及控制單元 14。供電單元 10 可與前文所述相同。切換單元 12 亦具有透過電力線纜 15 與所述供電單元之輸出連接的輸入。但在這個實施方式中，所述切換單元具有四個分隔的輸出，其中這些輸出中的三個與電力線纜 7a、7b 或 7c 連接，且第四輸出透過電力線纜 21 與所述吸收器連接。

【0035】 切換單元 12 亦具有轉換器電路，以及如上文所述的切換部件，其以響應控制單元 14 之控制訊號的方式將透過所述轉換器電路形成之輸出訊號選擇性地施加至所述輸出中的一個。故能將輸出訊號選擇性地施加至製程單元 3a 至 3c 中的一個或施加至吸收器 20。

【0036】 在這個實施方式中，控制單元 14 亦具有三個分隔的調節器 16a、16b 及 16c，以及一電弧抑制單元 18。調節器 16a、16b 及 16c 透過各資料連接 8a、8b 或 8c 與製程單元 3a、3b 或 3c 連接。調節器 16a、16b 及 16c 亦可為前文所述類型，其適於測定各製程單元 3a、3b 或 3c 之功率請求，並且視情況而定亦測定用於供電單元 10 及/或切換單元 12 的控制資料。

【0037】 電弧抑制單元 18 亦可實質上為前文所述類型，其中所述電弧抑制單元在這個實施方式中監控三個製程單元 3a、3b 及 3c，以防止閃絡。所述電弧抑制單元還對由切換單元 12 為三個製程單元 3a、3b 及 3c 提供之脈衝進行協調。

【0038】 在這個實施方式中，電弧抑制單元 18 還可建構成使得其在獲得各製程單元之功率請求的情況下據此產生用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料。當然，若已藉由調節器 16a、16b 產生這些控制資料，便無需再採用此方案。

【0039】 此外，電弧抑制單元 18 經建構成使得其對自身產生或由調節器 16a、16b、16c 產生之用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料進行協調。供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料必須根據功率請求向各製程單元 3a、3b 及 3c 提供功率的協調。但亦需要在時間上對用於供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料進行協調，因為在每個時間點上僅能在切換單元的輸出中的一個上提供功率。如上文所述，將功率作為具有特定脈衝持續時間的脈衝提供給各製程單元 3a、3b 及 3c。因此，透過用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料對各脈衝進行協調，使得這些脈衝不重疊，其中製程室仍能同步工作。

【0040】 儘管將電弧抑制單元 18 作為既承擔電弧抑制功能亦承擔脈衝協調功能的單獨一個單元示出，但亦可在分隔的單元中實施這些功能。對於電弧抑制功能而言，可為製程室中的每個單獨進行對製程資料及控制資料的分析，並可對應地設有三個單元（例如實施為獨立的並行的軟體常式）。在電弧抑制功能判斷出閃絡或閃絡危險的情況下，其能將原本為製程單元 3a、3b 及 3c 中的一個準

備的脈衝轉送入吸收器 20，而非導入各製程單元 3a、3b 及 3c，所述吸收器適於吸收功率脈衝並例如轉換成熱。可為整個脈衝或子脈衝進行此切換，下文還將對此進行詳細說明。

【0041】 對於脈衝協調功能而言，資料，特別是各製程單元之功率請求或期望之用於供電單元 10 以及切換單元 12 的控制資料必須彙集在一協調常式中（*Koordinationsroutine*）。這種協調常式可如上文所述在電弧抑制單元 18 中抑或在獨立的脈衝協調單元中運行。在所述協調常式中將透過調節器測定之各製程單元之功率請求或據此創建之用於供電單元 10 及切換單元 12 的控制資料彙總，並檢驗是否存在衝突。此外，在這個檢驗中亦將有關供電單元 10 以及切換單元 12 的資料，例如切換時間、最大功率、最大脈衝持續時間（在受限制的情況下）納入考量。亦可將其他有關各製程單元 3a、3b、3c 以及運行中的製程的資料納入考量。這類資料例如可包含脈衝輸入中之時間公差、有關脈衝振幅的公差、對製程的最小需要及/或最大允許的能量輸入，以及視情況而定包含其他參數。這些資料可在製程範圍內保持不變，抑或發生改變。故存在以下製程：在特定時間點上必須遵循具有定義的週期長度以及特定脈衝振幅的精確的脈衝序列，而在這個製程的其他時間點上，週期長度以及脈衝振幅相當靈活，但能量輸入在時間範圍內位於較窄的公差內。

【0042】 根據這些資料，所述協調單元能夠對控制單元之輸出上的輸出脈衝進行協調。較佳的，在各製程單元 3a、3b、3c 中實施允許設置週期長度（脈衝持續時間與脈衝間隔之和）的製程，所述週期長度相同，或對於製程中之一個而言為另一製程之週期長度

的整數倍。正如下文還將結合脈衝圖對此進行詳細說明的那般，此舉將協調大幅簡化，但亦並非必需。下文結合脈衝圖對不同的協調方案進行詳細說明。

【0043】 圖 3 為電漿製程設備 1 之另一替代性實施方式的示意圖。在這個實施方式中，設有五個製程單元 3a 至 3e，一個吸收器 20 以及一個電漿產生器 5。不同實施方式中之相同或相似的元件仍用同一元件符號表示。

【0044】 製程單元 3a 至 3e 可與上文所述相同，並透過電力線纜 7a 至 7e 以及資料連接 8a 至 8e 與電漿產生器 5 連接。電力線纜 7a 至 7e 亦用於將頻率大於 40KHz 之電力自電漿產生器 5 提供給各製程單元 3a 至 3e。透過資料連接 8a、8b 及 8c 亦能夠在製程單元 3a、3b、3c 與電漿產生器 5 之間交換資料。

【0045】 在這個實施方式中，電漿產生器 5 具有兩個可調節之供電單元 10a、10b，兩個切換單元 12a、12b，以及控制單元 14。供電單元 10a、10b 可與前文述及的供電單元相同。就額定功率而言供電單元 10a、10b 可相同抑或不同。切換單元 12a、12b 各具一輸入，其透過電力線纜 15a 或 15b 與所述供電單元中之一個的輸出連接。在這個實施方式中，切換單元 12a、12b 各自具有六個分隔的輸出，其中這六個輸出中的五個與電力線纜 7a 至 7e、進而與製程單元 3a 至 3e 連接，且第六輸出透過電力線纜 21 與吸收器 20 連接。

【0046】 切換單元 12a、12b 各具一轉換器電路，以及如上文所述具有切換部件，其以響應控制單元 14 之控制訊號的方式將透過所述轉換器電路形成之輸出訊號選擇性地施加至所述輸出中的一

個。故能將每個切換單元 12a、12b 之輸出訊號選擇性地施加至製程單元 3a 至 3e 中的一個或施加至吸收器 20。

【0047】 在這個實施方式中，控制單元 14 又具有五個分隔的調節器 16a 至 16e，以及電弧抑制單元 18。調節器 16a 至 16e 透過資料連接 8a 至 8e 與製程單元 3a 至 3e 連接。調節器 16a 至 16e 亦可為前文所述類型，其適於測定各製程單元 3a 至 3e 之功率請求，並且視情況而定亦測定用於供電單元 10 及/或切換單元 12 的控制資料。

【0048】 電弧抑制單元 18 在這個實施方式中監控五個製程單元 3a 至 3e，以防止閃絡。所述電弧抑制單元還適於透過兩個供電單元 10a、10b 以及兩個切換單元 12a、12b 分配以及協調製程單元 3a 至 3e 所需之脈衝。

【0049】 由於電弧抑制單元 18 能夠將所需脈衝分配至兩個電力供應系統（供電單元與切換單元的組合），在脈衝分配方面的靈活性大幅提昇。在此情形下，當因功率請求而必要時，特別是亦能提供在時間上重疊的脈衝，下文還將對此進行詳細說明。對應的協調需要在切換單元 12a 或 12b 上依序提供脈衝，但可如此控制切換單元 12a、12b，使得其同時提供脈衝。但在透過分隔的切換單元 12a、12b 同時提供脈衝的情況下，需要將這些脈衝施加至獨立的製程單元 3a 至 3e。

【0050】 儘管將電弧抑制單元 18 作為既承擔電弧抑制功能亦承擔脈衝協調功能的單獨一個單元示出，但亦可在分隔的單元中實施這些功能。特別是當協調變得複雜，以及視情況而定對電弧抑制功能造成負面影響時，可在分隔的單元中實施脈衝協調功能。

【0051】 電漿產生器 5 亦被作為具有兩個分隔的電力供應系統的單獨一個電漿產生器示出。當然，在此亦可設有兩個分隔的電漿產生器 5，其各自與製程單元 3a 至 3e 以及所述吸收器連接，並且透過共用的控制單元對這些電漿產生器進行相應的協調。但較佳採用單獨一個單元，因為在電弧抑制單元 18 與供電單元 10a、10b 以及切換單元 12a、12b 之間透過實時資料連接實現通訊，這些實時資料連接是機械靈敏的，故應儘可能避免將其鋪設在各單元外。

【0052】 可為本領域技術人員所理解的是，待供應之製程單元的數目以及電漿產生器的結構不僅侷限於具體示出的實施方式。確切言之，例如如圖 3 所示，還可藉由一個電漿產生器為更多的製程單元進行電力供應。在製程單元之數目較大的情況下，亦可在電漿產生器中設置例如三個電力供應系統，其中隨著製程室以及電力供應系統的數目增大，脈衝協調之複雜度亦增大。但根據本發明，製程單元之數目應高於可用電力供應系統之數目，特別是至少為兩倍。

【0053】 目前例如考慮以下電漿製程設備：具有八個製程單元(+1 可選的吸收器)以及一個電漿產生器，所述電漿產生器帶有兩個分隔的電力供應系統，如圖 3 所示，或具有兩個分隔的電漿產生器以及一個共用的控制單元。

【0054】 對於脈衝協調功能而言，在這個實施方式中亦可彙集與上文所述相同的資料。

【0055】 圖 4(A)至 7(B)示出不同的示例性脈衝序列，這些脈衝序列可透過本發明之電漿產生器 5 提供。

【0056】 圖 4(A)示出電漿產生器目前所提供過的經典的脈衝序

列。針對預定的例如 5ms 的持續時間 t_{on} 輸出具有至少 40KHz 的頻率以及預定的功率 (P) 的交流電脈衝 30。之後跟隨例如 45ms 的脈衝間隔 t_{off} ，在這個脈衝間隔後跟隨有持續時間 t_{on} 例如為 5ms 的又一脈衝。此為在製程單元中實施電漿製程時提供的典型的功率脈衝序列。在此情形下產生 50ms 的週期以及 0.1 的占空比。因此，所使用的電漿產生器的可用持續功率的例如 90%在此未被利用。

【0057】圖 4(B)示出一替代性脈衝序列，本發明之例如如圖 1 所示的電漿產生器能夠提供這個脈衝序列。所述示例性脈衝序列由脈衝 30 與脈衝 40 構成，其中例如將脈衝 30 提供給製程單元 3a 以及將脈衝 40 提供給製程單元 3b。就這個脈衝序列而言，脈衝 30 與 40 各自具有相同的功率以及相同的例如為 5ms 的脈衝持續時間 t_{on} 。在脈衝 30 - 30/40 - 40 之間，對於各製程單元 3a/3b 而言分別有例如 45ms 的脈衝間隔 t_{off} 。在脈衝 30 - 40 - 30 之間則產生例如 20ms 的脈衝間隔 t_{off} 。每個單獨的製程單元 3a、3b 以 0.1 的占空比工作，而電漿產生器則以 0.2 的占空比工作，故其負荷率顯著改善。

【0058】圖 4(C)示出另一示例性脈衝序列，本發明之例如如圖 1 所示的電漿產生器能夠提供這個脈衝序列。所述示例性脈衝序列亦由脈衝 30 與脈衝 40 構成，其中例如將脈衝 30 提供給製程單元 3a 以及將脈衝 40 提供給製程單元 3b。就這個脈衝序列而言，脈衝 30 與 40 各自具有不同的功率，但又如圖 4(B)所示具有相同的例如為 5 ms 的脈衝持續時間 t_{on} 以及相同的脈衝間隔。如圖所示，所述電漿產生器不僅能夠將相同的脈衝交錯，亦能夠提供具有不

同功率的脈衝，這例如可透過供電單元 10 的對應控制實現。

【0059】 圖 4(D)示出另一示例性脈衝序列，本發明之例如如圖 1 所示的電漿產生器能夠提供這個脈衝序列。所述示例性脈衝序列亦由脈衝 30 與脈衝 40 構成，其中例如將脈衝 30 提供給製程單元 3a 以及將脈衝 40 提供給製程單元 3b。就這個脈衝序列而言，脈衝 30 與 40 亦如圖 4(C)所示各自具有不同的功率，並且在此亦具有不同的脈衝持續時間 t_{on} ，例如對於脈衝 30 而言為 15ms，對於脈衝 40 而言為 5ms。脈衝 30 - 40 之間的脈衝間隔分別為例如 10ms，且脈衝 40 - 30 之間的脈衝間隔分別為例如 20ms。可以看出，具有相同的週期長度（或週期長度為彼此的數倍）的用於電漿製程的脈衝易於交錯，並能夠藉由單獨一個電漿產生器提供。

【0060】 但藉由單獨一個電漿產生器亦能提供具有不同的並非相互倍數的週期長度的製程。為此，由於在一時間點上僅能為一製程單元提供一脈衝，可採用其中一脈衝及/或另一脈衝之時間上的脈衝偏移，或者脈衝之分割及部分偏移，下文還將結合圖 6(A)至圖 6(B)對此進行詳細說明。在此試圖滿足各製程單元之需求，故例如僅在允許的公差內進行偏移/劃分。其中，為對電力供應系統（供電單元與切換單元的組合）進行控制，對應的控制單元可對對應的資料進行分析，並視情況而定亦預測一或多個循環，用以預計何時會出現脈衝之間的衝突，從而視情況而定準備偏移。例如，製程中之最大脈衝間隔 t_{off} 為 45ms - 50ms 的正常脈衝間隔，但在兩個循環中需要+10ms 的偏移，則可在兩個相繼的循環中分別進行+5ms 的偏移，使得在兩個相繼的循環中產生 50ms 的脈衝間隔。但較佳選擇偏移為，使得在例如 50 個循環的較長時間段內，對製程的能

量輸入對應於功率請求，或者在此時間範圍內保持不變。

【0061】 圖 5(A)至 5(D)示出不同的示例性脈衝序列，這些脈衝序列例如可透過根據圖 2 的電漿產生器 5 提供。其中例如為不同的製程單元 3a 至 3c 提供三個不同的脈衝 30、40、50。

【0062】 圖 5(A)示出包含脈衝 30、40、50 的脈衝序列，其各自具有相同的例如 5 ms 的脈衝持續時間 t_{on} 以及相同的功率。在脈衝 30 - 30/40 - 40/50 - 50 之間，對於各製程單元 3a/3b/3c 而言分別有例如 45ms 的脈衝間隔 t_{off} 。在脈衝 30 - 40 - 50 - 30 之間產生例如 10ms - 15ms - 10ms 的脈衝間隔 t_{off} 。每個單獨的製程單元 3a、3b 以 0.1 的占空比工作，而電漿產生器則以 0.3 的占空比工作。

【0063】 圖 5(B)亦示出包含脈衝 30、40、50 的脈衝序列，但這些脈衝的脈衝持續時間 t_{on} 以及功率有區別。但脈衝 30 - 30/40 - 40/50 - 50 又各自具有相同的例如 50ms 的週期長度，使得脈衝易於交錯這些脈衝易於交錯。

【0064】 圖 5(C)示出另一類似於圖 5(B)的包含脈衝 30、40、50 的示例性脈衝序列，這些脈衝的脈衝持續時間 t_{on} 以及功率有區別。此外，脈衝 30 - 30/40 - 40 各自具有相同的例如 50ms 的週期長度，而脈衝 50 - 50 具有兩倍的例如 100ms 的週期長度。在此情形下亦能輕易實現脈衝的交錯。

【0065】 圖 5(D)示出另一類似於圖 5(B)的包含脈衝 30、40、50 的示例性脈衝序列，這些脈衝的脈衝持續時間 t_{on} 以及功率有區別，但脈衝 30 - 30/40 - 40/50 - 50 又各自具有相同的週期長度。但這個脈衝序列示例性示出電弧抑制單元 18 對常規脈衝序列的干預。因此，在第二脈衝 50 的第一半期間已判斷出製程單元 3c 中之閃

絡，電弧抑制單元 18 據此對切換單元 12 進行實時控制，從而將脈衝 50 的第二半轉送入吸收器。此過程足夠迅速，並且不會在後續脈衝中產生功率波動，在簡單地將製程單元 3c 自電漿產生器 5 分隔時可能會發生功率波動，因為已在切換單元中提供功率。

【0066】 圖 6(A)中示出三個製程室的示例性脈衝序列需求（功率請求），其例如需要由根據圖 2 之電弧抑制單元 18 處理及協調，並且在圖 6（B）中示出示例性脈衝序列，其由根據圖 2 之電漿產生器以響應所述脈衝序列需求的方式發出。

【0067】 如圖 6(A)所示，請求具有不同脈衝持續時間以及不同功率的脈衝 30、40、50，其中例如透過調節器 16a 至 16c 產生對應的請求輪廓。此外，脈衝 30 - 30/40 - 40/50 - 50 亦具有不同的週期長度，故脈衝序列請求以部分重疊或直接相繼的方式請求脈衝。

【0068】 由於無法實現這一點，電弧抑制單元 18 或另一控制單元必須如此對待輸出之脈衝進行協調，從而以適當的方式將這些脈衝輸出，其中在此將製程單元之需求儘可能納入考量。在如圖 6(A)至圖 6(B)所示之示例中，假定脈衝 30 不允許經受任何改變，因為對應的製程單元至少在製程的當前相位期間不允許偏差。故輸出的脈衝 30（參閱圖 6(B)）精確地與所請求的脈衝一致。在總能量輸出在時間範圍內保持恆定的情況下，製程單元 3b 及 3c 中之製程則允許脈衝上之處於預定極限內的偏差。因此，將圖 6(B)中之第一脈衝 50 相對其請求（這個請求直接與針對脈衝 30 的脈衝請求鄰接）在時間上略微向前偏移，從而讓控制單元 12 具有緩衝，例如 1 ms。根據脈衝請求會與脈衝 30 完全重疊的第二脈衝 50 在此被劃分成兩個部分 50-1、50-2，其中部分 50-1 在時間上位於對

應的脈衝 30 前，且部分 50-2 在時間上被偏移至脈衝 30 後。在此情形下，子脈衝 50-1、50-2 的持續時間的總和等於正常脈衝 50 的持續時間。除這種劃分以外，在不會超出脈衝 50 - 50 之間最大允許的脈衝間隔的情況下，視情況而定亦可將脈衝 50 完全偏移至脈衝 30 後。第三及第四脈衝 40 亦可經過時間偏移，用以實現合理的脈衝序列。在重疊脈衝中的任一個皆無需在特定時間點上發出的情況下，亦可將兩者皆偏移，其中通常逆向偏移。將其中一個向前偏移，而將另一個向後偏移。如此便能視情況而定更佳地保持在腔室之相同脈衝之間請求的脈衝間隔。

【0069】 圖 6(A)至圖 6(B)示出用以根據測定的功率請求以及製程單元之需求產生脈衝序列的不同方案。本領域技術人員能夠自本發明之基本原理領會各種脈衝協調方案，這些方案亦可如上文所述為預測式。

【0070】 除脈衝之偏移及/或拆分以外，或作為其替代方案，亦可改變各脈衝高度及/或各脈衝持續時間。此方案的示例在圖 8(A)及圖 8(B)中示出。圖 8(A)示出三個製程室的示例性脈衝序列請求(功率請求)，而圖 8(B)示出示例性脈衝序列輸出。所述脈衝序列請求特別是與圖 6(A)相同，且脈衝 30 再次被視作不可改變。但根據圖 8(B)之脈衝序列輸出有別於根據圖 6(B)之脈衝序列輸出。第一脈衝 50 並非如圖 6(B)在時間上向前偏移。確切言之，脈衝起點符合請求。但脈衝在時間上被縮短，為此則將功率增大。由此，在短暫的持續時間內提供更高的功率，使得脈衝的總功率等於或近乎等於請求的功率。第二脈衝 50 並未被分割，而是被在時間上偏移至重疊請求的脈衝 30 後。如同第一脈衝 50 那般，同時在時間上將

脈衝縮短並增大功率。與分割相比，上述方案例如有助於在腔室之相繼的脈衝之間保持最小化的脈衝間隔。以類似於第一脈衝 50 的方式對第三脈衝 40 進行處理，即保持請求的起始時間，而將脈衝持續時間縮短以及將脈衝高度增大。就第四脈衝 40 而言則將起始時間偏移，但保持根據申請的結束時間。藉此亦縮短脈衝持續時間，這透過增大脈衝高度得到補償。因此，圖 8(B)示出一替代性脈衝管理，其在實現與圖 6(A)相同的輸出位置的情況下完全不採用脈衝偏移。在此將起始時間以及結束時間相對請求的偏移視作脈衝偏移。在所述時間點中的至少一個根據請求實施的情況下，不將其視作偏移。

【0071】 本領域技術人員結合圖 8(A)至圖 8(B)能夠領會的是，除脈衝之偏移及劃分以外，還提供其他用於脈衝協調的方案。當然，亦可將這些方案相互融合，特別是亦可既將脈衝偏移，亦就脈衝高度及/或脈衝持續時間對脈衝進行調變。

【0072】 在上述措施中的一個不可行或不妥當的情況下，儘管未示出，亦可將脈衝完全忽略。但在此情形下不應對時間範圍內之能量輸入造成顯著影響。在例如不允許低於每個單位時間（例如毫秒）的最小能量輸入的情況下，概念“時間範圍內”視情況而定相對較短，因為在此需要將對應的單位時間納入考量。但例如在實質上關注整體送入製程的能量的情況下，所述概念亦可包括整個製程自身。就較短之時間段而言，例如可在脈衝完全失效或部分失效的情況下視情況而定將前一及/或後一脈衝相應提高或延長。就較長之時間段而言，亦可視情況而定將脈衝大幅延後提供，例如在製程之依照計劃的末尾後提供。所述脈衝管理是如此配置，使得在將

插入之組件（如供電單元 10 及/或切換單元 12）之性能納入考量的情況下，為腔室之各種請求選擇由脈衝持續時間、脈衝偏移、脈衝功率位準以及/或者脈衝拆分構成的最佳配置。在此將儘可能小之製程影響視作最佳。為了改善恆定能量輸入，亦可不僅改變在時間上重疊或鄰接的脈衝。所述脈衝管理例如可實施為獨立的硬體，或整合至所述控制單元，特別是調節器。

【0073】 圖 7(A)至圖 7(B)亦示出示例性脈衝序列，其為由根據圖 3 之電漿產生器透過切換單元 12a、12b 提供的脈衝序列，其中兩個上下設置的示意圖示出在所述電漿產生器之不同切換單元 12a、12b 上的輸出。

【0074】 作為功率請求，應提供具有相同脈衝持續時間、相同脈衝之間的週期長度以及相同功率的脈衝 30、40、50，其例如到達三個同步實施相同製程的製程單元 3a 至 3c。但此外亦需要產生用於製程單元 3d 至 3e 的具有不同脈衝持續時間、脈衝週期以及功率的脈衝 60 及 70，其中每個脈衝 70 在時間上與脈衝 60 中的一個重疊。製程單元 3d 及 3e 的需求不允許偏移。

【0075】 在此情形下，所述控制單元發現脈衝之劃分，其中切換單元 12a 主要輸出脈衝 30、40、50，而切換單元 12b 主要輸出脈衝 60 及 70。但由於切換單元 12b 不允許將脈衝 60 及 70 偏移，而就請求而言在每次需要將脈衝 70 輸出的情況下皆存在重疊，故在透過切換單元 12b 輸出脈衝 70 的時間點上透過切換單元 12a 輸出所需的脈衝 60。如圖 7(A)至圖 7(B)所示，無需脈衝 30、40 及 50 之偏移便能實現此方案。但在不與製程單元 3a 至 3c 之需求抵觸的情況下，必要時亦可在脈衝 30、40 及/或 50 之間提供空位，用以

接收脈衝 60。

【0076】 如圖所示，就脈衝序列之創建而言，根據圖 3 之電漿產生器 5 提供較大的靈活性，藉此能夠在將各需求納入考量的情況下滿足數個製程單元的功率請求。下面對其他特定脈衝管理方案進行詳細說明。

【0077】 採用脈衝關斷時間分析（Puls-Aus-Zeit-Analyse）的脈衝偏移

下面對採用脈衝關斷時間分析的脈衝偏移方案進行介紹，其中視情況而定，脈衝偏移導致針對同一腔室之後續脈衝的偏移（其中在下文中亦將針對各腔室之脈衝稱作通道之脈衝）。在此情形下，下列規則適用：

- a. 不允許改變脈衝長度及脈衝高度。
- b. 脈衝之間的脈衝間隔為最小時間，但可視需要延長。
- c. 首先請求之脈衝必須首先輸出，其他通道上之脈衝必須等待，並且隨後被完全輸出。不將所產生之脈衝關斷時間延長（前一脈衝與經偏移之脈衝之間的經延長的間隔時間）自下一脈衝關斷時間減去。因此，將後續脈衝向後偏移，偏移程度為所述脈衝關斷時間延長。
- d. 在正好同時請求兩個脈衝的情況下，首先輸出較短的脈衝，隨後輸出較長的脈衝。若這些脈衝相同，則應首先輸出位於第一通道上的脈衝。在有數個通道的情況下，以定義的輸出序列進行輸出。
- e. 脈衝的偏移導致脈衝關斷時間在一時間段範圍內的增大。應據此求出移動平均值。這個值表明時間範圍內的整個脈衝關

斷時間的平均延長。下文將此稱作脈衝關斷時間增大（Puls-Aus-Zeit-Erhöhung）。

【0078】圖 9(A)及圖 9(B)結合一具有兩個腔室（通道）的系統示出這個方案，其中圖 9(A)示出脈衝請求，且圖 9(B)示出對應的脈衝輸出。如圖 9(A)所示，第三個及第四個請求的脈衝 30 及 40 重疊，其中其就第三脈衝發送而言，脈衝 30 應在脈衝 40 前開始。故如圖 9(B)所示，就第三脈衝發送而言，首先輸出脈衝 30，隨後再輸出脈衝 40。就第四脈衝發送而言，首先輸出脈衝 40，隨後再輸出脈衝 30。但其中將第四脈衝 40 相對其請求輪廓向後偏移，偏移時間與第三脈衝向後偏移的程度相同，從而避免第三與第四脈衝之間的時間間隔降至請求的時間間隔（最小時間間隔）以下。因此，在一脈衝發生偏移後，後續脈衝會隨之偏移。

【0079】此方案之優點在於，無需將所產生的從屬脈衝的等待時間自時間間隔減去。這樣便能避免意外的反饋。但此方案可能會在時間範圍內導致脈衝關斷時間增大，進而導致功率輸出減小。可採用不同的措施來彌補此情形，例如相關腔室中之總製程的與所述移動平均值對應的延長。下文將對其他示例性措施進行說明。

【0080】採用脈衝關斷時間補償的脈衝偏移

為了對在時間段範圍內增大的脈衝關斷時間進行補償，可為上述規則 a 至 e 補充以下規則。

f. 使用者必須輸入補償值，其使脈衝之等待時間減小一固定設定的值。這個值由使用者基於測定的移動平均值選擇，並且在製程期間不進行反饋。此方案在以下式中示出。

脈衝關斷時間 $P_{uls\ X}$ = 設置的脈衝關斷時間 $P_{uls\ X}$ - 補償值

【0081】 在所述移動平均值產生脈衝關斷時間的例如 2%的延長的情況下，可相應地設置所述補償值。就 2%而言，例如可在設置的脈衝關斷時間為 $50\mu\text{s}$ 的情況下輸入 $1\mu\text{s}$ 的補償值。在製程期間固定地使用這個補償值。

【0082】 採用脈衝關斷時間補償的脈衝偏移

另一對在時間段範圍內增大的脈衝關斷時間進行補償的方案為計算相對值。為此可為規則 a 至 e 補充以下規則。

g. 以百分比輸入補償值，其將相繼脈衝之間的間隔時間減小，減小程度為介於 0%與輸入的補償值之間的隨機分配的百分比值。例如在採用 10%的情況下，為設置的 $50\mu\text{s}$ 的脈衝間隔時間產生針對間隔時間的 $45\mu\text{s}$ 至 $50\mu\text{s}$ 的窗口。這個值由使用者選擇，並且不再進行其他反饋。此方案在以下式中示出。

脈衝關斷時間 $\text{Puls X} = \text{設置的脈衝關斷時間} \times (100 - X)$

【0083】 X 在此為介於 0%與輸入的補償值之間的單位為%的隨機值。在製程期間固定地設置及使用這個值。

【0084】 採用帶反饋的脈衝關斷時間補償的脈衝偏移

另一對在時間段範圍內增大的脈衝關斷時間進行補償的替代性方案為帶反饋的補償。為了使電漿產生器更加易用，自動測定、輸入以及透過積分調整補償值。但在某些情形下可能會導致因反饋引起的意外振動。視情況而定可採用預先用以偵測及抑制這類可能的振動的算法。

為此為上述規則 a 至 e 補充以下規則。

h. 基於測定的脈衝關斷時間延長確定補償值。為此，將所述脈衝關斷時間延長與比例因數 K 相乘。K 可由使用者選擇，並且

在 $K < 1$ 的情況下相當於阻尼因數，以及在 $K > 1$ 的情況下相當於增益因數。此方案在以下式中示出。

補償值 = $K \times$ 脈衝關斷時間延長

脈衝關斷時間 = 設置的脈衝關斷時間 - 補償值

可將這些式應用於每個脈衝。

【0085】 採用脈衝時間保持的脈衝偏移

脈衝時間保持方案用於如上文所述避開功率損失以及複雜的補償機制。在此採用下列規則：

- a. 不允許改變脈衝長度及脈衝高度。
- b. 通道之相繼脈衝之間的時間是靈活的，並可視需要縮短或延長。
- c. 首先將第一個請求的脈衝輸出，將位於其他通道上的脈衝在時間上向後偏移（至通道的前一脈衝的脈衝關斷時間延長），並且被完全輸出。相應地，將脈衝關斷時間之延長自至相同通道的下一脈衝的脈衝關斷時間減去，從而以經縮短的脈衝關斷時間將下一脈衝輸出。

【0086】 因此，在不存在與另一通道之脈衝的重疊的情況下，每個脈衝皆在請求時間點上輸出。一脈衝的偏移不會造成相同通道之後續脈衝的偏移。

【0087】 採用優先權的脈衝失效

針對脈衝管理的另一方案為至少部分忽略脈衝，具體方式為，賦予脈衝中之一個以優先權。為此例如產生以下規則：

- a. 不允許改變脈衝高度。
- b. 脈衝間隔是固定的，且不允許改變。

c. 輸出之脈衝具有優先權列表，且重要的脈衝總是優於不重要的脈衝輸出。其中可將低優先權的脈衝完全無效化或僅部分輸出。

d. 測定失效的脈衝的綜合並得到脈衝失效總和。

【0088】圖 10(A)及圖 10(B)結合具有兩個腔室（通道）的系統示出這個方案，其中圖(A)示出脈衝請求，且圖(B)示出對應的脈衝輸出。如圖 10(A)所示，第三個及第四個請求的脈衝 30 及 40 重疊。在本示例中，脈衝 30 具有更高的優先權，故總是如請求的那般被輸出，如圖 10(B)所示。第三及第四脈衝 40 則被在縮短後輸出。就第三脈衝 40 而言，將開端移至脈衝 30 之末尾後，而將根據請求輪廓之末尾保持。就第四脈衝 40 而言，脈衝如請求的那般開始，但提前結束，特別是在重疊請求之脈衝 30 的請求時間點（以及輸出）前。

【0089】脈衝之（部分）無效化可能會顯著降低功率輸入，故在下文中定義了用於解決這個問題的方案。

【0090】採用脈衝數目補償的脈衝失效

為了對根據“採用優先權的脈衝失效”方案的（部分）失效的脈衝進行補償，作為替代方案，可為對應的規則 a 至 d 補充以下規則。

e. 基於在 d 中確定的脈衝失效總和，在調節脈衝序列的末尾輸出失效脈衝的數目。

【0091】由於製程結果通常很大程度上取決於送入的總功率，在脈衝失效不導致製程終止的情況下，例如可透過簡單地延長製程時間來對脈衝失效進行補償。

【0092】 採用脈衝功率及/或脈衝持續時間補償的脈衝失效

為了抑制功率降低，可改變脈衝持續時間及/或脈衝功率，其中脈衝持續時間改變包含相對正常（請求的）脈衝持續時間的偏差，故並非簡單的脈衝偏移。在此可如下調整根據“具有優先權的脈衝失效”方案的規則 a 至 d，並透過下列規則進行補充：

- a. 僅允許在預定之極限內改變脈衝高度。
- b. 允許視情況而定在預定之極限內改變、特別是縮短間隔時間。
- c. 輸出之脈衝具有優先權列表，且重要的脈衝總是優於不重要的脈衝輸出。其中可將低優先權的脈衝完全無效化或僅部分輸出。
- d. 測定因重疊而失效之脈衝的比例。
- e. 測定在將間隔時間納入考量的情況下，能夠透過脈衝開端/脈衝末尾之偏移及/或透過在預定之極限內增大脈衝對脈衝之失效比例進行補償的程度。
- f. 將脈衝開端/脈衝末尾偏移，以及/或者在預定之極限內增大脈衝。

【0093】 相對於脈衝增大，在此例如可優先處理脈衝開端/脈衝末尾之偏移，從而首先試圖透過偏移對脈衝之失效比例進行補償，隨後方透過剩餘比例之脈衝增大（在能夠完整進行的情況下）進行補償。但亦可規定優先權或設置權重。

【0094】 當然，亦可僅允許脈衝開端/脈衝末尾之偏移或脈衝增大。

【0095】 可將上述不同的方案相互組合，從而視具體製程需求為本領域技術人員實現各種方案。

【0096】 前文結合較佳實施方式對本發明進行說明，但本發明不侷限於這些具體實施方式。特別是可將所述電漿產生器用於各種製程單元，且待由電漿產生器供應電力之製程單元的數目可有別於示出的數目。就根據圖 3 之實施方式而言，切換單元 12a、12b 亦無需皆與所有製程單元 3a 至 3e 連接。因此，例如亦可僅製程單元 3a 至 3c 與切換單元 12a 連接，且製程單元 3c 至 3e 與切換單元 12b 連接，使得僅製程單元 3c 可由兩者控制。這會降低靈活性，但透過兩個切換單元總是實現對製程單元中之至少一個的電力供應，從而在脈衝序列建立中化解可能的衝突。

【符號說明】

【0097】

1：電漿處理設備

3a，3b，3c，3d，3e：製程單元

5：電漿產生器

7a，7b，7c，7d，7e：電力線纜

8a，8b，8c，8d，8e：資料連接

10，10a，10b：供電單元

12，12a，12b：切換單元

14：控制單元

15，15a，15b：電力線纜

16a，16b，16c，16d，16e：調節器

18：電弧抑制單元

20：吸收器

21：電力線纜

30：脈衝

40：脈衝

50：脈衝

50-1，50-2：子脈衝

60：脈衝

70：脈衝

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種用於向至少兩個製程室脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的電漿產生器，所述電漿產生器包括：

控制單元，其適於獲得及分析有關所述至少兩個製程室中之製程的製程資料；

具有輸出的可調節之供電單元，其適於在其輸出上以響應所述控制單元之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電；以及

切換單元，其具有第一輸入，所述第一輸入與所述供電單元之所述輸出連接，並且具有至少兩個切換單元輸出，用於各自與所述至少兩個製程室中的一個連接；

其中所述切換單元適於自所述輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 之頻率的交流電作為輸出訊號，並且以響應所述控制單元之控制訊號的方式，將所述輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定之脈衝持續時間內輸出至所述切換單元輸出中的一個；

其中所述控制單元適於協調所述至少兩個製程室之功率請求，並且控制所述供電單元以及所述切換單元以使得在各與所述製程室連接之所述切換單元輸出上皆實質上將與所述功率請求對應之功率在一時間段內作為脈衝提供，其中各所述製程室之脈衝在時間上如此相互錯開，使得所述製程室能夠同步工作。

【第2項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其中所述控制單元具有數個與待連接至所述切換單元之製程單元的數目對應的調節器，其中每個所述調節器適於獲得有關所述製程室中的一

個中的製程的製程資料，其中每個所述調節器與所述供電單元及/或所述切換單元連接，從而以響應接收之製程資料的方式控制這些元件。

【第3項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其還具有至少一電弧抑制單元，所述電弧抑制單元適於獲得並實時分析有關所述至少兩個製程室中之製程的當前製程資料以及所述供電單元及/或所述切換單元之當前資料，用以偵測閃絡或即將發生之閃絡，其中所述電弧抑制單元與所述供電單元及/或所述切換單元連接，用以響應偵測的閃絡或即將發生之閃絡以控制這些元件。

【第4項】 如申請專利範圍第 3 項所述的電漿產生器，其中所述電弧抑制單元構成所述控制單元的一部分。

【第5項】 如申請專利範圍第 3 項所述的電漿產生器，其中所述調節器及/或所述至少一電弧抑制單元建構為獨立的軟體模組，所述軟體模組可在所述電漿產生器之同一處理器上或不同之處理器上執行。

【第6項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其中所述切換單元具有至少一第三切換單元輸出，其適於與至少另一製程室或吸收器連接，且其中所述切換單元適於以響應所述控制單元之輸入的控制訊號的方式將輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定的脈衝持續時間內施加至所述切換單元輸出中的一個。

【第7項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其中所述切換單元具有至少一切換單元輸出，其適於與吸收器連接，且其中所述切換單元適於以響應輸入的控制訊號的方式將輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定的脈衝持續時間內施加至對應所述吸收器的所

述切換單元輸出。

【第8項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得其在各所述切換單元輸出上對由脈衝持續時間與對應的脈衝間隔構成的總和進行協調，使得所述總和皆相同，或使得所述切換單元輸出中之一個上的所述總和為另一切換單元輸出上的所述總和的數倍。

【第9項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得在所述功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將所述脈衝在時間上相對於所述功率請求偏移，其中對應的時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於所述功率請求。

【第10項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得在所述功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將單一個所述脈衝相對所述功率請求劃分成兩個分隔的脈衝並在時間上進行偏移，其中對應的劃分及時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內實質上對應於所述功率請求。

【第11項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得在所述功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，將單一個所述脈衝在時間上相對於所述功率請求偏移，其中對應的時間偏移經選擇以使得透過各輸出進行的能量輸出在所述時間範圍內對應於所述功率請求。

【第12項】 如申請專利範圍第 1 項所述的電漿產生器，其中所述控制單元經設計使得在具體功率請求會導致不同輸出上之脈衝重

疊的情況下，能夠改變所述脈衝之下列參數中的至少一個：脈衝在脈衝序列中的位置、脈衝劃分成子脈衝、脈衝持續時間以及脈衝之振幅。

【第13項】 如申請專利範圍第 1 項所述的用於向至少三個製程室脈衝供應具有至少 40KHz 頻率之電力的電漿產生器，其中所述控制單元適於獲得及分析有關所述至少三個製程室中之製程的製程資料且所述電漿產生器還具有以下組件：

另一具有輸出的可調節之供電單元，其適於在其輸出上以響應所述控制單元之控制訊號的方式輸出具有預定之電壓及/或強度的直流電；以及

另一切換單元，其具有功率輸入，所述功率輸入與所述另一供電單元之輸出連接，並且具有至少三個切換單元輸出，用於各自與所述至少三個製程室中的一個連接；

其中所述另一切換單元適於自所述輸入上之直流電形成具有預定之至少 40KHz 之頻率的交流電作為輸出訊號，並且以響應所述控制單元之控制訊號的方式，將所述輸出訊號作為脈衝選擇性地在預定之脈衝持續時間內輸出至所述切換單元輸出中的一個；

其中所述控制單元適於協調所述至少三個製程室之所述功率請求，並且如此控制所述供電單元以及所述切換單元，使得在與製程室連接之所述切換單元輸出中的每個上皆實質上將與所述功率請求對應之功率在一時間範圍內作為脈衝提供，其中透過切換單元為製程室提供的脈衝在時間上相互錯開，而所述兩個切換單元之脈衝則可重疊。

【第14項】 如申請專利範圍第 13 項所述的電漿產生器，其中所述

供電單元具有不同的額定功率。

【第15項】一種電漿製程設備，具有至少兩個分隔的製程室，在這些製程室中能夠各自產生電漿，並且具有如前述申請專利範圍中任一項所述的電漿產生器，其中所述製程室各自與所述切換單元之切換單元輸出中的一個連接。

【第16項】如申請專利範圍第 15 項所述的電漿製程設備，具有至少三個分隔的製程室，其中所述電漿產生器之所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，且所述製程室各自與所述切換單元輸出中的一個連接。

【第17項】如申請專利範圍第 15 項所述的電漿製程設備，其還具有吸收器，其中所述電漿產生器之所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，且所述吸收器與所述切換單元輸出中的一個連接。

【第18項】一種向至少兩個分隔的製程室脈衝供應具有預定之至少 40KHz 頻率之電力的方法，包含以下步驟：

在切換單元之輸入上以響應控制單元之控制訊號的方式提供具有預定之電壓及/或強度的直流電；

在所述切換單元中自所述直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電輸出訊號，以及

以響應控制單元之控制訊號的方式在所述切換單元之至少兩個切換單元輸出中的一個上選擇性地將所述交流電輸出訊號作為脈衝輸出，所述切換單元輸出中的每個皆與所述至少兩個分隔的製程室中一個連接；

其中所述控制單元以響應所述至少兩個製程室之功率請求以及響應有關所述至少兩個製程室中之製程的製程資料的方式產生

用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，所述控制訊號經過協調以使得在與所述製程室連接之所述切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與所述功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，其中所述針對所述製程室的脈衝在時間上相互錯開，但所述製程室同步工作。

【第19項】 如申請專利範圍第 18 項所述的方法，其中在具體功率請求會導致不同輸出上之脈衝重疊的情況下，所述控制單元改變脈衝之下列參數中的至少一個：脈衝在脈衝序列中的位置、脈衝劃分成子脈衝、脈衝持續時間以及脈衝之振幅。

【第20項】 如申請專利範圍第 19 項所述的方法，其中所述控制單元依照預定的固定規則或可由操作人員設置的規則進行調整。

【第21項】 如申請專利範圍第 19 項所述的方法，其中所述控制單元將針對每個製程室在一時間段範圍內在脈衝中輸出的功率與在此時間段範圍內請求的功率進行比較，並且自動根據所述比較調整脈衝的至少一個參數。

【第22項】 如申請專利範圍第 18 至 21 中任一項所述的方法，其中向至少三個分隔的製程室提供電力，其中所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，這些切換單元輸出中的每個皆與所述至少三個分隔的製程室中的一個連接；且其中所述控制單元以響應所述至少三個製程室之功率請求以及響應有關所述至少三個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，這些控制訊號經過協調以使得在與所述製程室連接之所述切換單元輸出中的每一個上，皆將與所述功率請求對應的功率在時間範圍內作為脈衝提供，

其中所述針對所述製程室的脈衝在時間上相互錯開，但所述製程室同步工作。

【第23項】 如申請專利範圍第 18 至 21 中任一項所述的方法，其中所述切換單元具有至少三個切換單元輸出，其中一個與吸收器連接，所述吸收器適於接收及吸收電力，且其中所述控制單元能夠對各製程室中之製程進行監測，並偵測這些製程室中之一個內的閃絡現象或閃絡危險，並以對此作出響應的方式，在脈衝持續時間或其至少一部分的範圍內，將所述輸出訊號轉送入所述吸收器，而非送入對應的製程室中。

【第24項】 如申請專利範圍第 18 至 21 中任一項所述的方法，其中所述控制單元如此在各切換單元輸出上對由脈衝持續時間與對應的脈衝間隔構成的總和進行協調，使得所述總和皆相同，或者使得一切換單元輸出上的所述總和為另一切換單元輸出上的所述總和的數倍。

【第25項】 如申請專利範圍第 22 項所述的用於向至少三個分隔的製程室脈衝供應具有預定之至少 40KHz 頻率的電力的方法，具有下列額外步驟：

以響應控制單元之控制訊號的方式，在另一切換單元之輸入上提供具有預定之電壓及/或強度的直流電；

在所述另一切換單元中自所述直流電形成具有預定之至少 40KHz 頻率的交流電輸出訊號，以及，以響應控制單元之控制訊號的方式，在所述另一切換單元之至少三個切換單元輸出中的一個上將所述交流電輸出訊號選擇性地作為具有預定之脈衝持續時間的脈衝輸出，這些切換單元輸出中的每個皆與所述至少三個分

隔的製程室中的一個連接；

其中所述控制單元以響應所述至少三個製程室之功率請求以及響應有關所述至少三個製程室中之製程的製程資料的方式產生用於提供直流電的控制訊號以及用於選擇性輸出交流電輸出訊號的控制訊號，這些控制訊號是經協調以使得在與製程室連接之所述切換單元輸出中的每一個上，皆實質上將與所述功率請求對應的功率在時間範圍內作為具有預定之脈衝持續時間的脈衝提供，其中由所述切換單元中之一個輸出的脈衝在時間上相互錯開，但兩個切換單元之脈衝可在時間上重疊。

