

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-504890
(P2025-504890A)

(43)公表日 令和7年2月19日(2025.2.19)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 L 21/3065(2006.01)	H 0 1 L 21/302 1 0 1 B	2 G 0 8 4
H 0 5 H 1/46 (2006.01)	H 0 5 H 1/46 R	5 F 0 0 4
	H 0 5 H 1/46 M	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全42頁)

(21)出願番号	特願2024-543490(P2024-543490)	(71)出願人	519027693
(86)(22)出願日	令和4年12月21日(2022.12.21)		エーイーエス グローバル ホールディングス, プライベート リミテッド
(85)翻訳文提出日	令和6年9月12日(2024.9.12)		シンガポール国 5 3 9 7 7 5 シンガポール, タイ セン 1 8, ナンバー 0 5 - 0 7
(86)国際出願番号	PCT/US2022/053709	(74)代理人	100078282
(87)国際公開番号	WO2023/146665		弁理士 山本 秀策
(87)国際公開日	令和5年8月3日(2023.8.3)	(74)代理人	100113413
(31)優先権主張番号	17/584,992		弁理士 森下 夏樹
(32)優先日	令和4年1月26日(2022.1.26)	(74)代理人	100181674
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		弁理士 飯田 貴敏
(81)指定国・地域	AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV	(74)代理人	100181641
	最終頁に続く		弁理士 石川 大輔
		(74)代理人	230113332
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 バイアス供給源のための能動スイッチオン時間制御

(57)【要約】

バイアス供給源およびプラズマ処理システムが開示される。1つのバイアス供給源は、出力ノードと、帰還ノードと、出力ノードおよび帰還ノードに結合される、スイッチネットワークおよび少なくとも1つの電力供給源とを備える。スイッチネットワークおよび少なくとも1つの電力供給源は、組み合わせて、出力ノードにおいて、帰還ノードに対して、非対称周期的電圧波形を印加し、対応する電流波形を提供するように構成される。タイミングパラメータ推定器が、電圧および電流波形の完全サイクルのデジタル表現を受信し、正のピーク電流値から降下後、電流波形が閾値電流値に交差する、交差時間に基づいて、パルス幅制御信号を発生させ、スイッチネットワークを制御する。

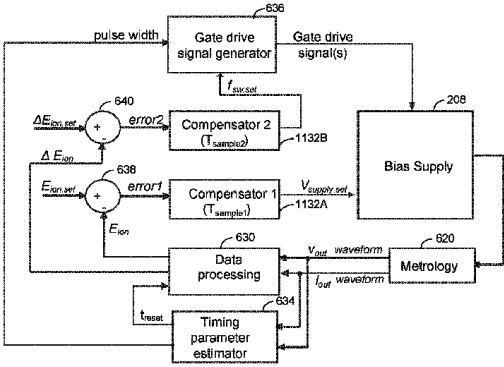


FIG. 6

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

周期的電圧を印加するためのバイアス供給源であって、
出力ノードと、
帰還ノードと、

前記出力ノードおよび前記帰還ノードに結合されるスイッチネットワークおよび少なくとも 1 つの電力供給源であって、前記スイッチネットワークおよび前記少なくとも 1 つの電力供給源は、組み合わせて、前記出力ノードにおいて、前記帰還ノードに対して、非対称周期的電圧波形および対応する電流波形を印加するように構成される、スイッチネットワークおよび少なくとも 1 つの電力供給源と、

10

タイミングパラメータ推定器であって、前記タイミングパラメータ推定器は、前記非対称周期的電圧波形および前記電流波形の完全サイクルのデジタル表現を受信し、正のピーク電流値から降下後、前記電流波形が閾値電流値に交差する第 1 の交差時間に基づいて、パルス幅制御信号を発生させるように構成される、タイミングパラメータ推定器と、

ゲート駆動信号ジェネレータであって、前記ゲート駆動信号ジェネレータは、前記タイミングパラメータ推定器から受信される前記パルス幅制御信号に応答して、ゲート駆動信号を前記スイッチネットワークの少なくとも 1 つのスイッチに提供し、前記帰還ノードに対する前記出力ノードへの前記非対称周期的電圧波形および前記電流波形の印加を制御するように構成される、ゲート駆動信号ジェネレータと

を備える、バイアス供給源。

20

【請求項 2】

前記スイッチネットワークは、単一スイッチを備える、請求項 1 に記載のバイアス供給源。

【請求項 3】

前記タイミングパラメータ推定器は、

最小パルス幅が、前記電流波形が前記閾値電流値に交差する前記第 1 の交差時間であることを決定する、

請求項 2 に記載のバイアス供給源。

【請求項 4】

前記タイミングパラメータ推定器は、

負のピーク電流値から上昇後、前記電流波形が閾値に交差する第 2 の交差時間を決定し

30

、
最大パルス幅が前記第 1 の交差時間と前記第 2 の交差時間との間の中間であることを決定し、

前記パルス幅制御信号が前記最小パルス幅と前記最大パルス幅との間にあるように制御する、

請求項 3 に記載のバイアス供給源。

【請求項 5】

前記バイアス供給源は、1 つの電力供給源または 2 つの電力供給源のいずれかを有する、請求項 4 に記載のバイアス供給源。

40

【請求項 6】

補償電流が前記インダクタを通して流動するように、前記少なくとも 1 つの電力供給源と直列であるインダクタをさらに備え、前記閾値電流値は、前記補償電流から決定される、請求項 4 に記載のバイアス供給源。

【請求項 7】

前記タイミングパラメータ推定器は、

前記補償電流が直接利用可能である場合、前記閾値電流値が前記補償電流の負のパーセンテージであることを決定し、

前記補償電流が直接利用可能ではない場合、前記補償電流が前記サイクルの終了までの前記第 2 の交差時間からの前記電流波形の負の平均値であることを決定し、前記閾値電流

50

値が前記決定された補償電流の負のパーセンテージであることを決定する、
請求項 6 に記載のバイアス供給源。

【請求項 8】

前記タイミングパラメータ推定器は、
最大パルス幅が、正のピーク電圧値から降下後、前記電圧波形が閾値電圧値に交差する
電圧閾値交差時間であることを決定することと、
前記パルス幅制御信号が前記最小パルス幅と前記最大パルス幅との間にあるように制御
することと
を行うように構成される、請求項 3 に記載のバイアス供給源。

【請求項 9】

前記バイアス供給源は、電圧 V_{supply} を有する単一電源を備え、
前記タイミングパラメータ推定器は、前記非対称周期的電圧波形が AC - 結合される場
合、前記閾値電圧値が V_{supply} であることを決定し、
前記タイミングパラメータ推定器は、前記非対称周期的電圧波形が DC - 結合される場
合、前記閾値電圧値がゼロであることを決定する、
請求項 8 に記載のバイアス供給源。

【請求項 10】

前記バイアス供給源は、電圧 V_{supply} を有する第 1 の電源と、電圧 V_{rail} を有
する第 2 の電源とを備え、
前記タイミングパラメータ推定器は、前記非対称周期的電圧波形が AC - 結合される場
合、前記閾値電圧値が V_{supply} および V_{rail} の和であることを決定するように構
成され、
前記タイミングパラメータ推定器は、前記非対称周期的電圧波形が DC - 結合される場
合、前記閾値電圧値が V_{rail} であることを決定するように構成される、
請求項 8 に記載のバイアス供給源。

【請求項 11】

前記タイミングパラメータ推定器は、
負のピーク電流値から上昇後、前記電流波形が閾値に交差する第 2 の交差時間を決定す
ることと、
最大パルス幅が前記第 2 の交差時間であることを決定することと、
前記パルス幅制御信号が前記最小パルス幅と前記最大パルス幅との間にあるように制御
することと
を行うように構成される、請求項 3 に記載のバイアス供給源。

【請求項 12】

前記バイアス供給源は、単一電源を有する、請求項 11 に記載のバイアス供給源。

【請求項 13】

前記スイッチネットワークは、2つのスイッチを備える、請求項 1 に記載のバイアス供
給源。

【請求項 14】

前記電流波形は、時間 t_0 において、正のピーク電流値まで上昇し、前記正のピーク電
流値から降下し、第 1 の閾値電流交差時間において、第 1 の閾値電流値に交差し、前記第
1 の閾値電流交差時間から時間 t_2 までの不感時間の間、比較的平坦プロファイルを有
し、時間 t_2 において、負のピーク電流値まで降下し始め、前記負のピーク電流値から上
昇し、第 2 の閾値電流交差時間において、第 2 の閾値電流値に交差し、
前記タイミングパラメータ推定器は、前記スイッチネットワークの第 1 のスイッチを制
御するための最小の第 1 のパルス幅が前記第 1 の閾値電流交差時間であることを決定し、
前記第 1 のスイッチを制御するための第 1 のパルス幅制御信号が少なくとも前記最小の第
1 のパルス幅 + 所定の許容範囲であるように制御するように構成される、
請求項 13 に記載のバイアス供給源。

【請求項 15】

前記タイミングパラメータ推定器は、前記時間 t_2 が前記第 1 のパルス幅 + 前記不感時間であるように制御する、請求項 14 に記載のバイアス供給源。

【請求項 16】

前記タイミングパラメータ推定器は、

前記スイッチネットワークの第 2 のスイッチを制御するための最小パルス幅が前記第 2 の閾値電流交差時間 - 前記時間 t_2 であることを決定することと、

前記第 2 のスイッチを制御するための第 2 のパルス幅制御信号が前記最小パルス幅 + 前記所定の許容範囲であるように制御することと

を行うように構成される、請求項 15 に記載のバイアス供給源。

【請求項 17】

前記タイミングパラメータ推定器は、

前記補償電流が直接利用可能である場合、前記第 1 の閾値電流値が前記補償電流の第 1 の負のパーセンテージであることを決定し、前記第 2 の閾値電流値が前記補償電流の第 2 の負のパーセンテージであることを決定することと、

前記補償電流が直接利用可能ではない場合、前記補償電流が前記サイクルの終了までの前記第 2 の交差時間からの前記電流波形の負の平均値であることを決定し、前記第 1 の閾値電流値が前記決定された補償電流の第 1 の負のパーセンテージであることを決定し、前記第 2 の閾値電流値が前記決定された補償電流の第 2 の負のパーセンテージであることを決定することと

を行うように構成される、請求項 16 に記載のバイアス供給源。

【請求項 18】

前記バイアス供給源は、単一電力供給源または 2 つの電力供給源のいずれかを有する、請求項 17 に記載のバイアス供給源。

【請求項 19】

周期的電圧を印加するための方法であって、

出力ノードにおいて、バイアス供給源の帰還ノードに対して、非対称周期的電圧波形を印加し、対応する電流波形を提供することと、

前記非対称周期的電圧波形および前記電流波形の完全サイクルのデジタル表現を受信し、正のピーク電流値から降下後、前記電流波形が閾値電流値に交差する第 1 の交差時間に基づいて、パルス幅制御信号を発生させることと、

ゲート駆動信号を、前記パルス幅制御信号に応答して、スイッチネットワークの少なくとも 1 つのスイッチに提供し、前記バイアス供給源の前記帰還ノードに対する前記出力ノードへの前記非対称周期的電圧波形および前記電流波形の印加を制御することと

を含む、方法。

【請求項 20】

最小パルス幅が、前記電流波形が前記閾値電流値に交差する前記第 1 の交差時間であることを決定することをさらに含む、請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

負のピーク電流値から上昇後、前記電流波形が閾値に交差する第 2 の交差時間を決定することと、

最大パルス幅が前記第 1 の交差時間と前記第 2 の交差時間との間の中間であることを決定することと、

前記パルス幅制御信号が前記最小パルス幅と前記最大パルス幅との間にあるように制御することと

をさらに含む、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

最大パルス幅が、正のピーク電圧値から降下後、前記電圧波形が閾値電圧値に交差する電圧閾値交差時間であることを決定することと、

前記パルス幅制御信号が前記最小パルス幅と前記最大パルス幅との間にあるように制御することと

10

20

30

40

50

をさらに含む、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 23】

負のピーク電流値から上昇後、前記電流波形が閾値に交差する第 2 の交差時間を決定することと、

最大パルス幅が前記第 2 の交差時間であることを決定することと、

前記パルス幅制御信号が前記最小パルス幅と前記最大パルス幅との間にあるように制御することと

をさらに含む、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 24】

前記電流波形は、時間 t_0 において、正のピーク電流値まで上昇し、前記正のピーク電流値から降下し、第 1 の閾値電流交差時間において、第 1 の閾値電流値に交差し、前記第 1 の閾値電流交差時間から時間 t_2 までの不感時間の間、比較的に平坦プロファイルを有し、時間 t_2 において、負のピーク電流値まで降下し始め、前記負のピーク電流値から上昇し、第 2 の閾値電流交差時間において、第 2 の閾値電流値に交差し、

前記スイッチネットワークの第 1 のスイッチを制御するための最小の第 1 のパルス幅が前記第 1 の閾値電流交差時間であることを決定し、前記第 1 のスイッチを制御するための第 1 のパルス幅制御信号が少なくとも前記最小の第 1 のパルス幅 + 所定の許容範囲であるように制御すること

をさらに含む、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 25】

前記スイッチネットワークの第 2 のスイッチを制御するための最小パルスが前記第 2 の閾値電流交差時間 - 前記時間 t_2 であることを決定することと、

前記第 2 のスイッチを制御するための第 2 のパルス幅が前記最小パルス幅 + 前記所定の許容範囲であるように制御することと

をさらに含む、請求項 24 に記載の方法。

【請求項 26】

周期的電圧を印加するためのバイアス供給源であって、

出力ノードと、

帰還ノードと、

前記出力ノードおよび前記帰還ノードに結合されるスイッチネットワークおよび少なくとも 1 つの電力供給源であって、前記スイッチネットワークおよび前記少なくとも 1 つの電力供給源は、組み合わせて、前記出力ノードにおいて、前記帰還ノードに対して、非対称周期的電圧波形および対応する電流波形を印加するように構成される、スイッチネットワークおよび少なくとも 1 つの電力供給源と、

プロセッサおよび不揮発性メモリであって、前記不揮発性メモリは、非一過性プロセッサ実行可能命令を備え、前記命令は、

前記非対称周期的電圧波形および前記電流波形の完全サイクルのデジタル表現を受信することと、

正のピーク電流値から降下後、前記電流波形が閾値電流値に交差する第 1 の交差時間に基づいて、パルス幅制御信号を発生させることと

を行うための命令を備える、プロセッサおよび不揮発性メモリと、

ゲート駆動信号ジェネレータであって、前記ゲート駆動信号ジェネレータは、前記パルス幅制御信号に応答して、ゲート駆動信号を前記スイッチネットワークの少なくとも 1 つのスイッチに提供し、前記帰還ノードに対する前記出力ノードへの前記非対称周期的電圧波形および前記電流波形の印加を制御するように構成される、ゲート駆動信号ジェネレータと

を備える、バイアス供給源。

【請求項 27】

前記命令は、最小パルス幅が、前記電流波形が前記閾値電流値に交差する前記第 1 の交差時間であることを決定するための命令を備える、請求項 26 に記載のバイアス供給源。

10

20

30

40

50

【請求項 28】

前記命令は、

負のピーク電流値から上昇後、前記電流波形が閾値に交差する第2の交差時間を決定することと、

最大パルス幅が前記第1の交差時間と前記第2の交差時間との間の中間であることを決定することと、

前記パルス幅制御信号が前記最小パルス幅と前記最大パルス幅との間にあるように制御することと

を行うための命令を備える、請求項27に記載のバイアス供給源。

【請求項 29】

前記命令は、

最大パルス幅が、正のピーク電圧値から降下後、前記電圧波形が閾値電圧値に交差する電圧閾値交差時間であることを決定することと、

前記パルス幅制御信号が前記最小パルス幅と前記最大パルス幅との間にあるように制御することと

を行うための命令を備える、請求項27に記載のバイアス供給源。

【請求項 30】

前記命令は、

負のピーク電流値から上昇後、前記電流波形が閾値に交差する第2の交差時間を決定することと、

最大パルス幅が前記第2の交差時間であることを決定することと、

前記パルス幅制御信号が前記最小パルス幅と前記最大パルス幅との間にあるように制御することと

を行うための命令を備える、請求項27に記載のバイアス供給源。

【請求項 31】

前記電流波形は、時間 t_0 において、正のピーク電流値まで上昇し、前記正のピーク電流値から降下し、第1の閾値電流交差時間において、第1の閾値電流値に交差し、前記第1の閾値電流交差時間から時間 t_2 までの不感時間の間、比較的に平坦プロファイルを有し、時間 t_2 において、負のピーク電流値まで降下し始め、前記負のピーク電流値から上昇し、第2の閾値電流交差時間において、第2の閾値電流値に交差し、前記命令は、

前記スイッチネットワークの第1のスイッチを制御するための最小の第1のパルス幅が前記第1の閾値電流交差時間であることを決定し、前記第1のスイッチを制御するための第1のパルス幅制御信号が少なくとも前記最小の第1のパルス幅＋所定の許容範囲であるように制御すること

を行うための命令を備える、請求項27に記載のバイアス供給源。

【請求項 32】

前記命令は、

前記スイッチネットワークの第2のスイッチを制御するための最小パルスが前記第2の閾値電流交差時間－前記時間 t_2 であることを決定することと、

前記第2のスイッチを制御するための第2のパルス幅が前記最小パルス幅＋前記所定の許容範囲であるように制御することと

を行うための命令を備える、請求項31に記載のバイアス供給源。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、電力供給源に関し、より具体的には、プラズマ処理のための電圧を印加するための電力供給源に関する。

【背景技術】

【0002】

多くのタイプの半導体デバイスは、プラズマベースのエッチング技法を使用して、加工

10

20

30

40

50

される。それが、エッチングされる、導体である場合、接地に対する負の電圧が、基板導体の表面を横断して、正に荷電されるイオンを導体に向かって誘引する、実質的に均一の負の電圧を生成し、結果として、導体に影響を及ぼす、正のイオンは、実質的に同一エネルギーを有するように、伝導性基板に印加され得る。

【0003】

しかしながら、基板が、誘電体である場合、不変電圧は、電圧を基板の表面を横断してかけるために効果的ではない。しかし、交流電流（AC）電圧（例えば、高周波数ACまたは無線周波数（RF））が、AC場が電圧を基板の表面上に誘発するように、伝導性プレート（またはチャック）に印加され得る。印加される波形の負の部分の間、基板の表面は、負に荷電され、これは、ACサイクルの負の部分の間、イオンを負に荷電される表面に向かって誘引させる。また、イオンが、基板の表面に衝突すると、衝撃が、材料を基板の表面から取り除き、エッチングをもたらす。

10

【0004】

多くの事例では、細い（または具体的に調整可能な）イオンエネルギー分布を有することが望ましいが、正弦波波形を基板に印加することは、イオンエネルギーの広分布を誘発し、これは、所望のエッチングプロファイルを行うためのプラズマプロセスの能力を限定する。細い（または具体的に調整可能な）イオンエネルギー分布を達成するための公知の技法は、高価で、非効率的で、制御することが困難であって、および／またはプラズマ密度に悪影響を及ぼし得る。結果として、これらの公知の技法の多くは、商業的に採用されていない。故に、システムおよび方法が、現在の技術の欠点に対処し、他の新しいおよび革新的特徴を提供するために必要とされる。

20

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

ある側面は、周期的電圧を印加するためのバイアス供給源として特性評価され得る。バイアス供給源は、出力ノードおよび帰還ノードに結合される、スイッチネットワークおよび少なくとも1つの電力供給源を備える。スイッチネットワークおよび少なくとも1つの電力供給源は、組み合わせで、出力ノードにおいて、帰還ノードに対して、非対称周期的電圧波形および対応する電流波形を印加するように構成される。タイミングパラメータ推定器が、非対称周期的電圧波形および電流波形の完全サイクルのデジタル表現を受信し、正のピーク電流値から降下後、電流波形が閾値電流値に交差する、第1の交差時間に基づいて、パルス幅制御信号を発生させるように構成される。ゲート駆動信号ジェネレータが、タイミングパラメータ推定器から受信される、パルス幅制御信号に応答して、ゲート駆動信号をスイッチネットワークの少なくとも1つのスイッチに提供し、帰還ノードに対する出力ノードへの非対称周期的電圧波形および電流波形の印加を制御するように構成される。

30

【0006】

さらに別の側面は、周期的電圧を印加するための方法として特性評価され得る。本方法は、出力ノードにおいて、バイアス供給源の帰還ノードに対して、非対称周期的電圧波形を印加し、対応する電流波形を提供するステップを含む。非対称周期的電圧波形および電流波形のデジタル表現が、受信され、パルス幅制御信号が、正のピーク電流値から降下後、電流波形が閾値電流値に交差する、第1の交差時間に基づいて、発生される。ゲート駆動信号が、パルス幅制御信号に応答して、スイッチネットワークの少なくとも1つのスイッチに提供され、非対称周期的電圧波形の印加を制御する。

40

【0007】

本明細書に開示される別の側面は、出力ノードと、帰還ノードと、出力ノードにおいて、帰還ノードに対して、非対称周期的電圧波形および対応する電流波形を印加するための手段とを備える、周期的電圧を印加するためのバイアス供給源である。バイアス供給源はまた、プロセッサと、不揮発性メモリとを備え、不揮発性メモリは、非一過性プロセッサ実行可能命令を備え、命令は、非対称周期的電圧波形および電流波形の完全サイクルのデ

50

デジタル表現を受信し、正のピーク電流値から降下後、電流波形が閾値電流値に交差する、第1の交差時間に基づいて、パルス幅制御信号を発生させるための命令を備える。加えて、バイアス供給源は、タイミングパラメータ推定器から受信される、パルス幅制御信号に応答して、ゲート駆動信号をスイッチネットワークの少なくとも1つのスイッチに提供し、帰還ノードに対する出力ノードへの非対称周期的電圧波形および電流波形の印加を制御するように構成される、ゲート駆動信号ジェネレータを備える。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、その中で本明細書に開示されるバイアス供給源が利用され得る、例示的プラズマ処理環境を描写する、ブロック図である。

10

【0009】

【図2】図2は、例示的バイアス供給源を描写する、概略図である。

【0010】

【図3】図3は、プラズマ処理チャンバの側面を電氣的に表す、概略図である。

【0011】

【図4】図4は、バイアス供給源のサンプリング、リードバック、および制御の側面を描写する、ブロック図である。

【0012】

【図5】図5は、2つの電力供給源を伴う、バイアス供給源のための制御システムを描写する、ブロック図である。

20

【0013】

【図6】図6は、1つの電力供給源を伴う、バイアス供給源のための制御システムを描写する、ブロック図である。

【0014】

【図7A】図7Aは、1電力供給源構成を有する、バイアス供給源内に実装され得る、1スイッチネットワークの実施例を描写する、概略図である。

【0015】

【図7B】図7Bは、1電力供給源構成を有する、バイアス供給源内に実装され得る、1スイッチネットワークの別の実施例を描写する、概略図である。

【0016】

30

【図8】図8は、2電力供給源構成を有する、バイアス供給源内に実装され得る、1スイッチネットワークの実施例を描写する、概略図である。

【0017】

【図9】図9は、単一スイッチを備える、バイアス供給源の側面を図示する、グラフおよびタイミング図を描写する。

【0018】

【図10】図10は、1つのスイッチを有する、バイアス供給源の実装と関連付けられる、非対称周期的出力電圧および電流波形の1つのサイクルの完全なデジタル表現を描写する。

【0019】

40

【図11】図11は、1スイッチネットワークと、1つまたは2つの電力供給源のいずれかとを有する、バイアス供給源と併せて実施され得る、ゲート駆動パルス幅およびリセット時間を設定するための方法を描写する、フローチャートである。

【0020】

【図12】図12は、1スイッチネットワークと、1つまたは2つの電力供給源のいずれかとを有する、バイアス供給源と併せて実施され得る、ゲート駆動パルス幅およびリセット時間を設定するための別の方法を描写する、フローチャートである。

【0021】

【図13】図13は、1スイッチネットワークと、1つの電力供給源とを有する、バイアス供給源と併せて実施され得る、ゲート駆動パルス幅およびリセット時間を設定するため

50

の方法を描写する、フローチャートである。

【0022】

【図14】図14は、1スイッチネットワークを有する、バイアス供給源と併せて、閾値電流値を算出するための方法を描写する、フローチャートである。

【0023】

【図15】図15は、1スイッチ1電力供給源構成を有する、バイアス供給源と併せて、閾値電圧値を算出するための方法を描写する、フローチャートである。

【0024】

【図16】図16は、1スイッチ2電力供給源構成を有する、バイアス供給源と併せて、閾値電圧値を算出するための方法を描写する、フローチャートである。

10

【0025】

【図17】図17は、1電力供給源構成を有する、バイアス供給源内に実装され得る、2スイッチネットワークの実施例を描写する、概略図である。

【0026】

【図18】図18は、2電力供給源構成を有する、バイアス供給源内に実装され得る、2スイッチネットワークの実施例を描写する、概略図である。

【0027】

【図19】図19は、2つのスイッチを備える、バイアス供給源の側面を図示する、グラフおよびタイミング図を描写する。

【0028】

【図20】図20は、2つのスイッチを有する、バイアス供給源の実装と関連付けられる、非対称周期的出力電圧および電流波形の1つのサイクルの完全なデジタル表現を描写する。

20

【0029】

【図21】図21は、2スイッチネットワークを有する、バイアス供給源と併せて実施され得る、ゲート駆動パルス幅およびリセット時間を設定するための方法を描写する、フローチャートである。

【0030】

【図22】図22は、2スイッチネットワークを有する、バイアス供給源と併せて、閾値電流値を算出するための方法を描写する、フローチャートである。

30

【0031】

【図23】図23は、本明細書に開示される制御側面を実装するために利用され得る、コンポーネントを描写する、ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0032】

詳細な説明

単語「exemplary（例示的）」は、本明細書では、「ある実施例、事例、または例証としての役割を果たす」を意味するために使用される。「例示的」であるものとして本明細書に説明される任意の実施形態は、必ずしも他の実施形態より好ましいまたは有利であるものとして解釈されるべきではない。

40

【0033】

予備注記：以下の図内のフローチャートおよびブロック図は、種々の実施形態による、システム、方法、およびコンピュータプログラム製品の可能性として考えられる実装のアーキテクチャ、機能性、および動作を図示する。この点において、これらのフローチャートまたはブロック図内のいくつかのブロックは、コードのモジュール、区画、または部分を表し得、これは、規定された論理機能を実装するための1つまたはそれを上回る実行可能命令を備える。また、いくつかの代替実装では、ブロック内に注記される機能が、図に注記される順序外で生じ得ることに留意されたい。例えば、連続して示される2つのブロックは、実際には、実質的に並行して実行されてもよい、またはブロックは、時として、関わる機能性に応じて、逆の順序で実行されてもよい。また、ブロック図および／または

50

フローチャート図内の各ブロックおよびブロック図および／またはフローチャート図内のブロックの組み合わせは、規定された機能または作用を実施する、特殊目的ハードウェアベースのシステム、または特殊目的ハードウェアおよびコンピュータ命令の組み合わせによって実装されることができるとに留意されたい。

【0034】

本開示の目的のために、ソースジェネレータは、そのエネルギーが、主に、プラズマを発生および持続させることを対象とするものである一方、「バイアス供給源」は、そのエネルギーが、主に、イオンおよび電子をプラズマから誘引するための表面電位を発生させることを対象とするものである。

【0035】

本明細書に説明されるものは、周期的電圧関数をプラズマ処理チャンバ内の基板支持体を印加するために使用され得る、バイアス供給源の制御側面である。最初に、図1を参照すると、示されるものは、例示的プラズマ処理環境（例えば、堆積またはエッチングシステム）であって、その中でバイアス供給源が、利用されてもよい。プラズマ処理環境は、直接および間接的に、プラズマ処理チャンバ101に結合される、機器の多くの部品を含んでもよく、その中にプラズマ102およびワークピース103（例えば、ウエハ）および電極104（基板支持体内に埋設され得る）を含有する、体積が、含有される。機器は、真空取扱およびガス送達機器（図示せず）と、1つまたはそれを上回るバイアス供給源108と、1つまたはそれを上回るソースジェネレータ112と、1つまたはそれを上回るソース整合ネットワーク113とを含んでもよい。多くの用途では、単一ソースジェネレータ112からの電力は、1つまたは複数のソース電極105に接続される。ソースジェネレータ112は、より高い周波数RFジェネレータであってもよい（例えば、13.56MHz〜120MHz）。電極105は、全体的に、誘導結合プラズマ（ICP）源、別のRF周波数でバイアスされる二次上部電極を有する、二周波数容量結合プラズマ源（CCP）、ヘリコンプラズマ源、マイクロ波プラズマ源、マグネトロン、またはプラズマエネルギーのある他の独立して動作される源を用いて実装され得るものを表す。

【0036】

図1に描写されるシステムの変形例では、ソースジェネレータ112およびソース整合ネットワーク113は、遠隔プラズマ源によって置換される、またはそれを用いて増強されてもよい。本システムの他の変形例は、単一バイアス供給源108のみを含んでもよい。図1に描写されるプラズマ処理環境の多くの他の変形例が、利用されてもよいことを認識されたい。実施例として、限定ではないが、2020年7月7日に発行された、米国特許第10,707,055号、および2020年10月20日に発行された、米国特許第10,811,227号（その両方とも、参照することによってそれらの全体として組み込まれる）は、種々のタイプのシステム設計を開示する。

【0037】

また、以下の開示は、概して、プラズマベースのウエハ処理を指すが、実装は、プラズマチャンバ内の任意の基板処理を含むことができることを認識されたい。いくつかの事例では、基板以外の物体も、本明細書に開示される、システム、方法、および装置を使用して、処理されることができると。換言すると、本開示は、低大気圧プラズマ処理チャンバ内の任意の物体のプラズマ処理にも適用され、物理的または化学的手段によって、表面変化、表面下変化、堆積、または除去に影響を及ぼす。

【0038】

図2を参照すると、示されるものは、図1を参照して説明される、バイアス供給源108を実装するために利用され得る、例示的バイアス供給源208である。バイアス供給源208は、概して、周期的電圧関数を印加するためにさらに本明細書に説明される、バイアス供給源の多くの変形例を表す。したがって、バイアス供給源208の言及は、概して、本明細書でさらに説明される、バイアス供給源のいずれかを指す。示されるように、バイアス供給源208は、出力210（出力ノード210とも称される）と、帰還ノード212と、スイッチネットワーク220と、出力ノード210と帰還ノード212との間に

10

20

30

40

50

結合される、インダクタンス 214 および第 1 の電力供給源 216（本明細書には、 V_{supply} とも称される）の直列組み合わせとを含む。また、示されるものは、随意的第 2 の電力供給源 218（本明細書には、 V_{rail} とも称される）である。一般に、バイアス供給源 208 は、非対称周期的電圧関数 V_{out} を出力ノード 210 と帰還ノード 212 との間に印加するように機能する。出力ノード 210 を通して負荷に送達される、電流は、負荷と共通であり得る、帰還ノード 212 を通して、バイアス供給源 208 に帰還される。

【0039】

明確および簡略化するために、図 2 に描写されないが、バイアス供給源 208 は、コントローラに結合される、および／またはスイッチネットワーク 220 に結合される、コントローラを含んでもよい。スイッチネットワークの 220 変形例（および第 2 の電力供給源 218 の有無別の変形例）も、さらに本明細書に開示されるが、最初に、プラズマ負荷の側面を理解することが有用である。

10

【0040】

図 3 を簡単に参照すると、示されるものは、プラズマ処理チャンバ 101 内の例示的プラズマ負荷の側面を電氣的に描写する、概略図である。示されるように、プラズマ処理チャンバ 101 は、プラズマ処理チャンバ 101 への入力 310（入力ノード 310 とも称される）と、ワークピース 103（ウエハ基板 103 とも称される）の表面におけるシース電圧 V_s を表すノードとの間に位置付けられる、チャック静電容量 C_{ch} （チャックおよびワークピース 103 の静電容量を含む）によって表され得る。したがって、シース電圧 V_s の言及は、本明細書には、ウエハまたは基板の表面における電圧とも称される。加えて、帰還ノード 312（接地への接続であり得る）が、描写される。処理チャンバ内のプラズマ 102 は、シース静電容量 C_s 、ダイオード、および電流源の並列組み合わせによって表される。ダイオードは、直流電流（DC）電圧降下がワークピース 103 とプラズマ 102 との間に現れるように、印加される AC 場の整流をもたらす、プラズマシースの非線形ダイオード様性質を表す。

20

【0041】

次に図 4 を参照すると、示されるものは、計測、リードバック、および制御の一般的側面を描写する、ブロック図である。示されるものは、バイアス供給源 208、計測区分 620、およびデジタル制御区分 622 である。一般に、計測区分 620 は、電力関連パラメータ値を示す、信号を受信し、電力関連パラメータ値のデジタル表現をデジタル制御区分 622 に提供する。例えば、電力関連パラメータは、出力ノード 210 に提供される出力電流 i_{out} および出力ノード 210 と帰還ノード 212 との間の電圧 V_{out} であってもよい。要求されないが、帰還ノードは、接地接続であってもよい。

30

【0042】

計測区分 620 は、1 つまたはそれを上回るバイアス供給源信号線 624 から信号を受信してもよい。バイアス供給源信号線 624 は、バイアス供給源 208 内の補償電流 I_{comp} 、温度、および他のパラメータ等のバイアス供給源パラメータを示す、信号を伝達し得る。電流信号線 626 は、電流変換器から、出力ノード 210 に提供される、電流を示す、アナログ信号を提供してもよく、電圧線 628 は、バイアス供給源の出力における電圧 V_{out} を示す、アナログ信号を提供してもよい。電力関連信号を受信することに応じて、計測区分 620 は、電力関連信号をサンプリングおよびデジタル化する。例えば、計測区分 620 は、非対称周期的電圧波形 V_{out} 、出力電流波形 i_{out} 、および／または補償電流 I_{comp} の完全なデジタル表現を提供してもよい。

40

【0043】

計測区分 620 の多くの変形例の側面は、完全な電圧および電流波形が、捕捉されることであって、これは、バイアス供給源の出力の向上された可視性を提供し、本明細書でさらに開示される、改良された制御側面を可能にする。

【0044】

要求されないが、計測区分 620 は、部分的に、フィールドプログラマブルゲートアレ

50

イによって、実現されてもよく、デジタル制御区分 6 2 2 は、（デジタル制御区分 6 2 2 の機能をもたらすために）非一過性媒体内に記憶されたコードを実行する、1 つまたはそれを上回るプロセッサによって、実現されてもよい。ハードウェア、ソフトウェア、およびファームウェアの他の組み合わせが、計測区分 6 2 0 およびデジタル制御区分 6 2 2 を実現するために使用されてもよい。

【0045】

示されるように、非対称周期的電圧波形 V_{out} 、出力電流波形 i_{out} 、および／または i_{comp} のデジタル表現は、データ報告コンポーネント 6 3 1 に提供されてもよく、これは、ユーザインターフェース（例えば、タッチ画面ディスプレイ）であってもよい。加えて、非対称周期的電圧波形 V_{out} 、出力電流 i_{out} 、および／または補償電流 i_{comp} のデジタル表現は、データ処理モジュール 6 3 0 に提供され、これはさらに、非対称周期的電圧波形 V_{out} 、出力電流波形 i_{out} 、および／または補償電流 i_{comp} のデジタル表現を処理し、シース電圧 V_s 、および E_{ion} 、 V_{step} 、 ΔE_{ion} 、出力電圧傾き（例えば、非対称周期的電圧波形の第 3 の部分の傾き）、および／または傾き逸脱係数 K_s 等の 1 つまたはそれを上回る他のパラメータ値のうちの 1 つまたはそれを上回るもののリードバックを提供してもよい。

10

【0046】

傾き逸脱係数 K_s は、以下のように計算され得る。

【化 1】

$$K_s = \frac{C_{chuck}}{C_{chuck} + C_{stray1}} \times \frac{Slope_w}{Slope}$$

20

式中、傾き w は、ウエハ／シース電圧の $t_3 \sim t_4$ の傾きである。

【0047】

または代替として、傾き逸脱係数は、以下の方程式を充足するように計算され得る。

【化 2】

$$(1 - K_s) \left(1 + \frac{C_{stray1}}{C_{chuck}} \right) \cdot Slope + \frac{I_o}{C_{chuck}} = 0$$

30

【0048】

傾き逸脱係数 K_s は、イオン電流 I_{ion} に対する補償電流 I_{comp} のレベルの便宜的表現を提供する。例えば、 K_s が、ゼロに等しいとき、補償電流は、完全補償を提供し、 $K_s > 0$ であるとき、 I_{comp} は、イオン電流を過大補償し、 $K_s < 0$ であるとき、補償電流 I_{comp} は、イオン電流 I_{ion} を過小補償する。

【0049】

示されるように、リードバック値（例えば、リードバック 1 およびリードバック 2 として描写される）もまた、フィードバック制御の一部として使用されてもよい。第 1 の比較器 6 3 8 は、第 1 の設定点である、設定点 1 と、第 1 のリードバック値である、リードバック 1 との間の差異を計算し、第 1 の誤差信号である、誤差 1 を生じてもよい。第 2 の比較器 6 4 0 は、第 2 の設定点である、設定点 2 と、第 2 のリードバック値である、リードバック 2 との間の差異を計算し、第 2 の誤差信号である、誤差 2 を生じてもよい。誤差信号（誤差 1 および誤差 2）は、1 つまたはそれを上回る補償器 6 3 2 にフィードされてもよく、1 つまたはそれを上回る補償器 6 3 2 は、本明細書にさらに説明されるように、制御信号（ $Ctrl_knob1$ および $Ctrl_knob2$ ）をバイアス供給源 2 0 8 に提供してもよい。

40

【0050】

また、デジタル制御区分 6 2 2 内に示されるものは、タイミングパラメータ推定器 6 3 4 であって、これは、出力電圧波形 V_{out} および出力電流波形 i_{out} のデジタル表現

50

を受信し、パルス幅制御信号を生じてよい。ある側面によると、タイミングパラメータ推定器 634 は、バイアス供給源のスイッチを通して、ゼロ電流が存在するときに検出し、パルス幅を設定し、切替関連損失を低減させるために、その時間または後に、スイッチを開（オフ）にさせ、したがって、スイッチに関するオン時間もまた、制御される。タイミングパラメータ推定器 634 はまた、`treset`（図 4 および 5 に示される）を決定してもよく、`treset` に関する値は、データ報告コンポーネント 631 を介して、報告され、データ処理モジュール 630 に提供されてもよい。タイミングパラメータ推定器 634 は、非一過性媒体内に記憶されたコードを実行する、1 つまたはそれを上回るプロセッサ、および／またはハードウェア、ソフトウェア、およびファームウェアの他の組み合わせによって、実現されてもよい。

10

【0051】

デジタル制御区分 622 はまた、（1 供給源構成において）タイミングパラメータ推定器 634 からのパルス幅制御信号 637 に応答して、および／または 1 つまたはそれを上回る補償器 632 によって出力された制御信号 639 に応答して、（スイッチ S1 および S2 がオンおよびオフである時間を制御するために）ゲート駆動信号をバイアス供給源 208 のスイッチ S1 および S2 に提供するように構成される、ゲート駆動信号ジェネレータ 636 を備える。多くのタイプのスイッチが、電気ゲート駆動信号によって制御されるが、また、光学制御信号が使用されてもよいことも検討される。例えば、ゲート駆動信号ジェネレータ 636 は、光学信号を提供してもよい。

20

【0052】

次に図 5 を参照すると、示されるものは、図 2 のバイアス供給源 208 のための制御システムを描写する、ブロック図であって、バイアス供給源 208 は、2 供給源構成において、第 1 の電力供給源（`Vsupply`）216 と、第 2 の電力供給源（`Vrail`）218 とを含む。スイッチネットワーク 220 は、下記に説明されるであろうように、1 つまたは 2 つのスイッチを含む、様々な異なるトポロジを備えてもよい。

【0053】

図 4 および 5 に示されるように、制御システムは、2 つの制御「ノブ」を備え、`Vsupply` および `Vrail` の DC 電圧を制御してもよい。本アプローチは、補償電流 `Icomp` を制御し（イオンエネルギーの分布の幅を制御するために）、`Vrail` を制御し、望ましいイオンエネルギー eV を達成する、以前のアプローチと対照的である。図 5 に描写される、アプローチでは、第 1 の電力供給源 216（`Vsupply`）の電圧および第 2 の電力供給源（`Vrail`）の電圧は、一般的関係に基づいて、制御されてもよい。

30

40

50

【化 3】

$$\begin{bmatrix} \Delta E_{ion} \\ E_{ion} + \Delta E_{ion} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{rail} \\ V_{supply} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{I_{ion}}{C_{ch} + C_{sh}} t_{ev}$$

$$\approx \begin{bmatrix} K_{11} & 0 \\ 0 & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{rail} \\ V_{supply} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{I_{ion}}{C_{ch} + C_{sh}} t_{ev}$$

但し、

$$K_{11} = -\frac{C_{ch}}{C_{ch} + C_{sh}} \frac{2}{1 + K}$$

10

$$K = \frac{1 - K_c}{1 + K_c \frac{V_{step}}{V_{ramp}}}, \text{ 但し、 } V_{ramp} = v_{out}(t_3) - v_{out}(t_4);$$

$$K_c = \frac{C_{str} + \frac{C_{ch} C_{sh}}{C_{ch} + C_{sh}}}{C_{str} + C_{ch}}, \text{ 但し、 } C_{str} = C_{str0} + C_{str1};$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{C_{ch}}{C_{ch} + C_{sh}} \frac{2K}{1 + K} \frac{T_{sw}}{t_{ramp}}; \text{ および } *$$

20

$$K_{22} = \frac{C_{ch}}{C_{ch} + C_{sh}} \frac{2T_{sw}}{t_{ramp}}, \text{ 但し、 } T_{sw} \text{ は、切替周期 } (t_4 \sim t_0) \text{ である。}$$

【0054】

本制御アプローチでは、第1の設定点は、イオンエネルギー設定点である、 E_{ion_set} であり得、第2の設定点は、イオンエネルギーの拡散（分布とも称される）である、 ΔE_{ion_set} （ E_{ion_set} および ΔE_{ion_set} の両方が、図5に示される）に関するものであり得る。データ処理モジュール630は、計測区分620から受信される、出力電流波形 i_{out} および電圧波形 V_{out} のデジタル表現に基づいて、 E_{ion} および ΔE_{ion} を計算してもよい。示されるように、第1の比較器638は、第1の設定点、 E_{ion_set} と E_{ion} の計算された値との間の差異に基づいて、第1の誤差信号である、誤差1を生じてもよく、第2の比較器640は、第2の設定点、 ΔE_{ion_set} と ΔE_{ion} の計算された値との間の差異に基づいて、第2の誤差信号である、誤差2を生じてもよい。

30

【0055】

代替として、第1の設定点（イオンエネルギーを設定するため）は、 V_{step} 設定点であってもよく、第2の設定点（イオンエネルギーの拡散を設定するため）は、傾き設定点（非対称周期的電圧波形の第4の部分（ t_3 と t_4 との間の時間）の傾きを設定するため）であってもよい、または第2の設定点は、傾き逸脱係数設定点（傾き逸脱係数 K_s を設定するため）であってもよい。データ処理モジュール630は、計測区分620から受信される、 i_{out} および V_{out} のデジタル表現に基づいて、 V_{step} および傾きまたは傾き逸脱係数 K_s を計算してもよい。本代替では、第1の比較器638は、第1の設定点（例えば、 V_{step} 設定点）と V_{step} の計算された値との間の差異に基づいて、第1の誤差信号である、誤差1を生じてもよく、第2の比較器640は、第2の設定点（傾き設定点または傾き逸脱係数設定点のいずれか）と傾きの計算された値または傾き逸脱係数 K_s の計算された値との間の差異に基づいて、第2の誤差信号である、誤差2を生じてもよい。

40

【0056】

50

制御システムは、2つの補償器、すなわち、第1の補償器1132Aと、第2の補償器1132Bとを備えてもよい。第1の補償器1132Aは、第1の誤差信号である、誤差1を受信し、信号 V_{supply_set} を生じ、第1の電力供給源216を制御してもよい。第2の補償器1132Bは、第2の誤差信号である、誤差2を受信し、信号 V_{rail_set} を生じ、第2の電力供給源218を制御してもよい。いくつかの変形例では、ゲート駆動信号ジェネレータ636は、バイアス供給源208の第1のスイッチ（および2スイッチバイアス供給源内の第2のスイッチ）に関する固定切替時間を用いて、設定されてもよい。他の変形例では、タイミングパラメータ推定器634は、ゲート駆動信号ジェネレータ636が、バイアス供給源208のスイッチを開（オフ）にし（したがって、バイアス供給源208のスイッチのオン時間を制御し）、ゼロ電流切替を提供し得るように、パルス幅信号を提供してもよい。補償器1132A、1132Bはそれぞれ、比例・積分・微分（PID）コントローラによって実現されてもよく、いくつかの変形例では、第1の補償器1132Aの帯域幅は、第2の補償器1132Bの帯域幅と異なるように設定され、これは、補償器1132A、1132Bのそれぞれと関連付けられる制御ループが結合解除されることを可能にする。例えば、各制御ループのサンプリングレートは、異なる帯域幅をもたらすための異なる率に設定されてもよい。

10

20

30

40

50

【0057】

次に図6を参照すると、示されるものは、図2のバイアス供給源208のための制御システムを描写する、ブロック図であって、バイアス供給源208は、1供給源構成において、第1の電力供給源216（ V_{supply} ）のみを含む。スイッチネットワーク220は、下記に説明されるであろうように、1つまたは2つのスイッチを含む、様々な異なるトポロジを備えてもよい。1供給源構成のための図6の制御システムは、（図6の制御システムは、1供給源構成であるため、図5におけるような第2の電力供給源218を制御するための信号 V_{rail_set} を提供するのではなく）第2の補償器1132Bがバイアス供給源208の切替の周波数を制御するための周波数設定信号 f_{sw_set} を提供することを除き、事実上、2供給源構成のための図5の制御システムと同一である。別のオプションとして、図6において一般化されるように、1つのMIMO補償器632が、複数の入力（概して、図6において、誤差1および誤差2として示される）および複数の出力と併用されることができ、図6における $Ctrl_knob1$ および $Ctrl_knob2$ は、それぞれ、 V_{supply_set} および V_{rail_set} であってもよい。

【0058】

次に図7A、7B、および8を参照すると、示されるものは、バイアス供給源208（図2）のスイッチネットワーク220内に実装され得る、1スイッチ構成を有する、スイッチネットワークの実施例である。図7Aおよび7Bは、1供給源構成内に実装され得る、1スイッチ構成を描写し、すなわち、バイアス供給源208は、第1の電力供給源216のみを含み、図6のもの等の関連付けられる1供給源制御システムによって制御される。図8は、2供給源構成内に実装され得る、1スイッチ構成を描写し、すなわち、バイアス供給源208は、第1の電力供給源216と、第2の電力供給源218とを含み、図5のもの等の関連付けられる2供給源制御システムによって制御される。

【0059】

多くの実装では、本明細書に開示されるスイッチは、金属酸化物半導体電界効果トランジスタ（MOSFET）等の電界効果スイッチによって実現され、いくつかの実装では、スイッチは、炭化ケイ素金属酸化物半導体電界効果トランジスタ（SiC MOSFET）または窒化ガリウム金属酸化物半導体電界効果トランジスタ（GaN MOSFET）によって実現される。別の実施例として、スイッチは、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT）によって実現され得る。これらの実装では、ゲート駆動信号ジェネレータ636は、タイミングパラメータ推定器634および／または1つまたはそれを上回る補償器632からの信号に応答して、電気駆動信号をスイッチに印加するように構成される、当技術分野において公知の電気ドライバを備えてもよい。また、駆動信号は、光学線を

介して送信され、光学切替信号を伝達してもよいことも検討される。また、スイッチは、光学信号および／または電気駆動信号に変換される光学信号に応答して、切り替わってもよい。

【0060】

ここに描写される、スイッチはそれぞれ、概して、それぞれ、閉におよび開にし、電流経路を接続および接続解除することが可能である、1つまたはそれを上回るスイッチを表すことを認識されたい。例えば、スイッチはそれぞれ、直列に配列される、複数のスイッチによって実現され得る（向上された電圧能力のため）、並列に配列される、複数のスイッチによって実現され得る（向上された電流能力のため）、またはスイッチはそれぞれ、直列－並列組み合わせに配列される、複数のスイッチから成ってもよい（向上された電圧および／または電流能力のため）。これらの変形例では、当業者は、各スイッチが、同期して、対応する駆動信号によって駆動されてもよいことを認識するであろう。

10

【0061】

また、本明細書に描写される、ダイオードのいずれかは、複数のダイオードによって実現され得ることを認識されたい。例えば、任意のダイオードは、複数の直列に接続されるダイオードによって実現され得る（電圧能力を向上させるため）、並列に配列される、複数のダイオードによって実現され得る（電流能力を向上させるため）、または直列－並列組み合わせに配列される、複数のダイオードから成ってもよい（向上された電圧および／または電流能力のため）。

【0062】

ここで図7Aを参照すると、示されるものは、単一スイッチS1を有する、切替区分220の実施例であって、その中でバイアス供給源208が、第1の電力供給源216のみを含み、図6のもの等の関連付けられる1供給源制御システムによって制御される、1供給源構成と併せて、展開され得る、スイッチネットワーク1820Bを描写する、概略図である。図7Aに示されるように、第1のインダクタL1は、ノード1870と出力ノード210との間に結合される。スイッチS1は、ノード1870と帰還ノード212との間に結合される。ダイオードD1は、ノード1870と帰還ノード212との間のスイッチS1と並列に結合される。

20

【0063】

ここで図7Bを参照すると、示されるものは、単一スイッチS1を有する、切替区分220の別の実施例であって、その中でバイアス供給源208が、第1の電力供給源216のみを含み、図6のもの等の関連付けられる1つの供給源制御システムによって制御される、1供給源構成と併せて展開され得る、スイッチネットワーク1820Cを描写する、概略図である。図7Bに示されるように、スイッチネットワーク1820Cは、帰還ノード212とノード1872との間の第1の電流経路（電流iS1のため）を備える。第1の電流経路は、スイッチS1、ダイオードD1、およびインダクタL1の直列組み合わせを備える。加えて、スイッチネットワーク1820Cは、（ノード1872と帰還ノード212との間の）第2の電流経路（電流iD2のため）を備え、これは、第2のダイオードD2と、誘導要素L2とを備える。示されるように、ダイオードD2のカソードは、帰還ノード212に結合され、第3のインダクタL3は、ノード1872と出力ノード210との間に位置付けられる。

30

【0064】

ここで図8を参照すると、示されるものは、単一スイッチS1を有する、切替区分220の実施例であって、その中でバイアス供給源208が、第1の電力供給源216と、第2の電力供給源218とを含み、図5のもの等の関連付けられる2供給源制御システムによって制御される、2供給源構成と併せて展開され得る、スイッチネットワーク1420Bを描写する、概略図である。図8に示されるように、スイッチネットワーク1420Bは、ノード1050と出力ノード210との間の第1の電流経路（電流iS1のため）を備える。第1の電流経路は、スイッチS1、ダイオードD1、およびインダクタL1の直列組み合わせを備える。スイッチネットワーク1420Bはまた、出力ノード210と帰

40

50

還ノード212との間の第2の電流経路（電流 i_{D2} のため）を備え、これは、第2のダイオード $D2$ と、インダクタ $L2$ とを備える。

【0065】

また、スイッチ $S1$ 、ダイオード $D1$ 、およびインダクタ $L1$ は、直列に配列されるため、その中にスイッチ $S1$ 、ダイオード $D1$ 、およびインダクタ $L1$ が、位置付けられる、順序は、変化され得ることを認識されたい。加えて、図7Bおよび8における、その中に $L2$ および $D2$ が配列される、順序は、入れ替えられてもよい。

【0066】

ここで図9を参照すると、示されるものは、図7A、7B、および8の切替ネットワーク等の単一スイッチを有する切替ネットワークを備える、バイアス供給源の側面を図示する、グラフおよびタイミング図である。図9に示されるように、スイッチ $S1$ は、出力電流波形 i_{out} 、非対称周期的出力電圧波形 V_{out} 、およびシース電圧波形 V_s を生じるために、閉（オン）にされ、次いで、ゲート駆動パルス幅信号の持続時間にわたって、開（オフ）にされる。

【0067】

図9の非対称周期的電流および電圧波形の完全サイクルは、時間 $t_0 \sim t_4$ に延在する。非対称周期的出力電圧波形 V_{out} の第1の部分は、スイッチ $S1$ が閉（オン）にされるとき、時間 t_0 において、第1の負の電圧から、時間 t_1 （ $t_1 = t_2$ ）における、正のピーク電圧レベルまで、上昇する。出力電圧波形 V_{out} の第2の部分は、正のピーク電圧レベルから、量 V_{step} だけ、時間 t_3 における、第3の（負の）電圧レベルまで、降下する。下記に解説されるであろうように、スイッチ $S1$ は、時間 t_3 またはその前に、開（オフ）にされる。時間 $t_3 \sim t_4$ の間、非対称周期的電圧 V_{out} の第3の（負の傾斜）部分は、スイッチ $S1$ が、再び、時間 t_4 において、閉（オン）にされるまで、一定かつ負に、漸減する。

【0068】

出力電流波形 i_{out} の第1の部分は、スイッチ $S1$ が閉（オン）にされるとき、時間 t_0 において、閾値電流値から、正のピーク電流値まで、上昇する。出力電流波形 i_{out} の第2の部分は、正のピーク電流値から降下し、時間 t_1 （ $t_1 = t_2$ ）において、閾値電流値の第1の交差を作成し、反対方向において、負のピーク電流値に到達する。正のピーク電流値および負のピーク電流値の絶対値は、異なり得ることを認識されたい。下記で解説されるであろうように、スイッチ $S1$ は、閾値電流値の第1の交差の時間またはその後、開（オフ）にされる。出力電流波形 i_{out} の第3の部分は、次いで、負のピーク電流値から上昇し、再び、時間 t_3 において、閾値電流値に到達する。時間 $t_3 \sim t_4$ において、出力電流波形 i_{out} の第4の部分は、平坦になり、最終的に、 $-I_0$ に到達する。

【0069】

電圧波形 V_{out} は、イオンを誘引し、ワークピースの表面に衝突し、ワークピース103のエッチングを可能にするために、概して、負である、シース電圧波形 V_s を生じる。時間 $t_0 \sim t_1$ （ $t_1 = t_2$ ）の間、非対称周期的電圧波形 V_{out} の第1の部分は、シース電圧 V_s を正の電圧に接近させ、ワークピースの表面上に蓄積する、正の電荷を反撥する一方、ワークピースの表面は、負の電圧に保持される。時間 $t_2 \sim t_3$ の間、非対称周期的電圧波形 V_{out} の第2の部分は、量 V_{step} だけ、降下し、シース電圧 V_s を所望の負の電圧（または電圧の範囲）にならせ、所望のイオンエネルギーを達成する、イオン束を達成させる。 V_{step} は、任意のエネルギーレベルにおけるイオン E_{ion} を生じる、 t_3 におけるシース電圧に対応する。非対称周期的電圧波形の第3の部分の間、シース電圧は、 t_4 において、 $-(E_{ion} + \Delta E_{ion})$ のエネルギーレベルにおけるイオンが生じられるように、より負になり得る。

【0070】

また、図9に示されるものは、時間 t_{reset} （ t_0 と t_3 との間の時間）および t_{ramp} （ t_3 と t_4 との間の時間）である。示されるように、 t_{reset} は、非対称周期

的電圧波形 V_{out} の第 1 および第 2 の部分の両方を含む、時間を網羅し、 t_{ramp} は、電圧波形 V_{out} の第 3 の傾斜部分を含む。

【0071】

また、図 9 に示されるものは、図 2 に参照される、補償電流 I_{comp} の実施例である。補償電流 I_{comp} は、非対称周期的電圧関数 V_{out} の印加全体を通して提供されてもよく、 I_{out} は、非対称周期的電圧波形 V_{out} の第 3 の部分の間 (t_{ramp} の間)、 I_{comp} に等しい場合とそうではない場合がある。補償電流 I_{comp} は、プラズマチャンバ 101 内のイオン電流を補償し得る。補償電流 I_{comp} を伴わない場合、シース電圧 V_s は、非対称周期的電圧の第 3 の部分の間、徐々に変化し、より正になり得、これは、イオンエネルギーのより広い分布を生成し、これは、望ましくあり得ない。しかしながら、いくつかの変形例では、補償電流 I_{comp} は、意図的に、プラズマチャンバ 101 内のイオン電流を過大補償または過小補償し、イオンエネルギーのより広い分布を生成するように設定されてもよい。図 9 に描写される動作モードでは、補償電流 I_{comp} は、電圧波形 V_{out} の第 3 の (負の傾斜) 部分に対応して、負に傾斜する、シース電圧 V_s を提供する。

10

【0072】

非対称周期的電圧波形 V_{out} の基本周期 ($t_0 \sim t_4$) は、イオンエネルギーの拡散を調節するように調節されてもよい。図 9 に示されるように、完全電流サイクルは、非対称周期的電圧波形 V_{out} の第 1 および第 2 の部分の間、時間 t_0 と t_3 との間で生じる。また、完全電流サイクル間の時間は、 t_3 および t_4 との間の時間 t_{ramp} である。本開示の側面は、出力電流 I_{out} を調節し、イオン電流 I_{ion} を補償するための方法の問題に対処する。本開示の別の側面は、プラズマチャンバ内のイオンエネルギーのレベルおよびイオンエネルギーの分布を調節するための方法の問題に対処する。

20

【0073】

1 スイッチネットワークを有する、バイアス供給源を制御するために、タイミングパラメータ推定器 634 が、出力電流 i_{out} が逆転する (閾値電流値に交差する) ときを検出してもよく、パルス幅信号をゲート駆動信号ジェネレータ 636 に対して発生させ、時間 t_0 において、スイッチ S_1 を閉 (オン) にし、次いで、電流が閾値電流値に交差する、時間またはその後、開 (オフ) にしてもよい。特に、スイッチ S_1 は、ゲート駆動パルス幅の持続時間にわたって、閉 (オン) にされたままであって、パルス幅信号が終了すると、開 (オフ) になる。いったん電流が、方向を逆転させると、電流は、もはやスイッチ S_1 を通して流動せず、スイッチ S_1 は、その後、開 (オフ) にされ、損失を低減させてもよい。スイッチ S_1 は、閾値に交差することに応じて、直ちに開 (オフ) にされる必要はないが、電圧出力波形 V_{out} が、時間 t_{ramp} の間、下向き傾斜プロファイルをとるように、リセット時間 t_{reset} 前に、開 (オフ) にされなければならない。したがって、最小パルス幅と最大パルス幅との間に、パルス幅がその中で降下し得る、範囲が存在する。下記に説明される、図 10-16 は、ゲートパルス幅およびリセット時間 t_{reset} の算出に対処する。

30

【0074】

ここで図 10 を参照すると、示されるものは、1 つのスイッチを有する、バイアス供給源 208 の実装と関連付けられる、非対称周期的出力電圧および出力電流波形 V_{out} および i_{out} の 1 つのサイクルの完全なデジタル表現を描写する、グラフである。図 10 は、タイミングパラメータ推定器 634 によって、ゲート駆動信号ジェネレータ 636 に提供される、ゲート駆動パルス幅を計算し、データ処理モジュール 630 に提供される、リセット時間 t_{reset} を計算するために使用される、種々のタイミングパラメータを図示する。図 10 の説明では、時間 $t_0 \sim t_4$ は、図 9 のタイミング図の時間 $t_0 \sim t_4$ に対応する。

40

【0075】

タイミングパラメータ推定器 634 は、非対称周期的電圧波形 V_{out} 、出力電流波形 i_{out} 、および／または補償電流 I_{comp} の完全なデジタル表現を、計測区分 620

50

から受信する。これらの波形から、タイミングパラメータ推定器 634 は、スイッチ S1 が、最小限の損失を伴う、適切な時間において、開（オフ）にされるように、ゲート駆動信号ジェネレータ 636 に提供される、ゲート駆動パルス幅を正確に算出することができる。タイミングパラメータ推定器 634 はまた、データ処理モジュール 630 に提供される、リセット時間 t_{reset} を算出する。リセット時間 t_{reset} は、それまでにスイッチ S1 が開（オフ）にされなければならない、時間である、電圧波形 V_{out} の傾斜（第 3 の）部分の開始点を見出すために使用される。

【0076】

図 10 に示されるように、出力電圧波形 V_{out} は、第 1 の部分の間、スイッチ S1 が閉（オン）にされるとき、時間 t_0 における、開始時の負の電圧から、時間 t_1 において、正のピーク電圧値まで上昇し、次いで、第 2 の部分の間、時間 t_3 において、中間の（第 3 の）負の電圧まで降下し、次いで、一定かつ徐々に、第 3 の部分の間、時間 t_4 において、終了時の負の電圧まで傾斜する。時間 t_4 は、サイクルの終了および新しいサイクルの開始であるため、終了時の負の電圧は、開始時の負の電圧にほぼ等しくあるべきである。時間 t_1 と t_2 との間で降下する間、電圧は、電圧閾値交差時間 $t_{v-cross}$ において、閾値電圧値 $V_{threshold}$ に交差する。閾値電圧値 $V_{threshold}$ は、典型的には、ゼロボルトまたはほぼゼロボルトにある。

【0077】

出力電流波形 i_{out} は、スイッチ S1 が閉（オン）にされるとき、時間 t_0 から開始して、第 1 の部分の間、閾値電流値 $i_{threshold}$ から正のピーク電流値まで上昇する。出力電流波形 i_{out} の第 2 の部分は、正のピーク電流値から負のピーク電流値まで降下する。第 2 の部分の間、出力電流波形 i_{out} は、最初として、第 1 の閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ において、閾値電流値 $i_{threshold}$ に交差する。本時間において、スイッチ S1 を開（オフ）にするための窓が、開始する。出力電流波形 i_{out} の第 3 の部分は、負のピーク電流値から上昇し、2 回目として、閾値電流交差時間 $t_{i-cross2}$ において、閾値電流値 $i_{threshold}$ に交差する。本時間において、スイッチ S1 を開（オフ）にするための窓が、終了する。出力電流波形 i_{out} の第 4 の部分は、次いで、若干負の補償電流値 $-I_{comp}$ まで徐々に平坦になる。

【0078】

ここで図 11 を参照すると、示されるものは、ゲート駆動パルス幅およびリセット時間 t_{reset} を設定するために、1 つのスイッチを有する、バイアス供給源 208 の実装と関連付けられる、タイミングパラメータ推定器 634 によって実施される、方法 1100 を描写する、フローチャートである。方法 1100 は、図 7B の 1 スwitch 1 供給源構成または図 8 の 1 スwitch 2 供給源構成のいずれかと併せて、実施されてもよい。図 11 の方法 1100 は、出力電流波形 i_{out} を使用して、最大ゲート駆動パルス幅を設定する。電圧波形 V_{out} を使用して、最大ゲート駆動パルス幅を設定する、代替方法 1200 は、図 12 を参照して議論される。

【0079】

ステップ 1102 では、タイミングパラメータ推定器 634 が、デフォルト閾値電流値 $i_{threshold}$ 、デフォルトゲート駆動パルス幅、およびデフォルトリセット時間 t_{reset} をロードする。ステップ 1104 では、タイミングパラメータ推定器 634 が、1 つの基本サイクルの出力電流波形 i_{out} を捕捉する。一実施例では、例えば、推定器 634 は、図 10 に描写されるように、計測区分 620 によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の完全なデジタル表現の 1 つのサイクルを捕捉する。ステップ 1106 では、タイミングパラメータ推定器 634 は、第 1 の閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ および第 2 の閾値電流交差時間 $t_{i-cross2}$ に関して、出力電流波形 i_{out} を検索する。

【0080】

ステップ 1108 では、閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ および $t_{i-cross2}$ が、ステップ 1106 において、見出されない場合、本方法は、ステップ 1110 に進み、

ゲート駆動パルス幅をデフォルトパルス幅値または以前に算出されたパルス幅として設定し、リセット時間 t_{reset} をデフォルトリセット時間または以前に算出されたリセット時間として設定する。ステップ 1112 では、閾値電流値 $i_{threshold}$ が、図 14 を参照して説明されるように算出され、閾値電流値 $i_{threshold}$ が、ステップ 1114 において、本算出された値で更新される。方法 1100 は、次いで、ステップ 1104 にループバックし、計測区分 620 によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0081】

ステップ 1108 では、閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ および $t_{i-cross2}$ が、ステップ 1106 において、見出される場合、本方法は、ステップ 1116 に進む。ステップ 1116 では、リセット時間が、第 2 の閾値電流交差時間 ($t_{reset} = t_{i-cross2}$) であるように設定される。換言すると、リセット時間 t_{reset} は、出力電流波形 i_{out} が、その正のピーク電流値まで上昇し、その負のピーク電流値まで降下し（最初として、閾値電流値 $i_{threshold}$ に交差する）、次いで、再び、上昇し、2 回目として、閾値電流値 $i_{threshold}$ に到達するまでにかかる、総時間であるように設定される。

【0082】

上記に記載のように、パルス幅は、最大パルス幅と最小パルス幅との間の範囲内に設定されてもよい。また、ステップ 1116 では、最小パルス幅は、第 1 の閾値電流交差時間 ($t_{pulse_min} = t_{i-cross1}$) であるように設定される。換言すると、最小パルス幅 t_{pulse_min} は、時間 t_0 から、出力電流波形 i_{out} が、その正のピーク電流値まで上昇し、次いで、降下し、最初として、閾値電流値 $i_{threshold}$ に到達するまでにかかる、総時間であるように設定される。ステップ 1118 では、最大パルス幅 t_{pulse_max} は、で出力電流波形 i_{out} が閾値電流値 $i_{threshold}$ に交差する、第 1 の時間と、出力電流波形 i_{out} が閾値電流値 $i_{threshold}$ に交差する、第 2 の時間との間の中間、すなわち、 $t_{pulse_max} = 0.5 (t_{i-cross1} + t_{i-cross2})$ であるように設定される。

【0083】

ステップ 1120 は、現在のパルス幅が、設計選択肢値である、事前に定義された許容範囲を伴って、最小パルス幅 t_{pulse_min} と最大パルス幅 t_{pulse_max} との間の範囲内であるかどうかを決定する。現在のパルス幅が、本範囲内にある場合、現在のパルス幅は、パルス幅として保たれ（ステップ 1122）、方法 1100 は、次いで、ステップ 1104 にループバックし、計測区分 620 によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0084】

ステップ 1120 では、現在のパルス幅が、事前に定義された許容範囲を伴って、最小パルス幅 t_{pulse_min} と最大パルス幅 t_{pulse_max} との間の範囲内でない場合、パルス幅は、ステップ 1124 において再計算される。パルス幅は、最小パルス幅 t_{pulse_min} と最大パルス幅 t_{pulse_max} との間のいずれかの場所であるように設定される。一実施例では、パルス幅は、 $pulse_width = t_{pulse_min} + w_0 (t_{pulse_max} - t_{pulse_min})$ として算出され、式中、 w_0 は、0 と 1 との間の設計選択肢値である。パルス幅が、ステップ 1124 において、再計算された後、方法 1100 は、ステップ 1104 にループバックし、計測区分 620 によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0085】

ここで図 12 を参照すると、示されるものは、ゲート駆動パルス幅およびリセット時間 t_{reset} を設定するために、1 つのスイッチを有する、バイアス供給源 208 の実装と関連付けられる、タイミングパラメータ推定器 634 によって実施され得る、代替方法 1200 を描写する、フローチャートである。方法 1200 は、これは、出力電流波形 i

10

20

30

40

50

outを使用して、最大ゲート駆動パルス幅を設定する、図11の方法1100と対照的に、電圧波形V_{out}を使用して、最大ゲート駆動パルス幅を設定する。方法1100のように、方法1200は、図7Bの1スイッチ1供給源構成または図8の1スイッチ2供給源構成のいずれかと併せて、実施されてもよい。

【0086】

ここで図12を参照すると、ステップ1202において、タイミングパラメータ推定器634が、デフォルトゲート駆動パルス幅およびデフォルトリセット時間t_{reset}をロードする。ステップ1204では、タイミングパラメータ推定器634が、1つの基本サイクルの出力電流波形i_{out}および電圧波形V_{out}を捕捉する。一実施例では、例えば、推定器634は、図10に描写されるように、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形i_{out}および非対称周期的電圧波形V_{out}の完全なデジタル表現の1つのサイクルを捕捉する。ステップ1206では、タイミングパラメータ推定器634が、第1の閾値電流交差時間t_{i-cross1}および第2の閾値電流交差時間t_{i-cross2}に関して、出力電流波形i_{out}を検索する。

10

【0087】

ステップ1208では、閾値電流交差時間t_{i-cross1}およびt_{i-cross2}が、ステップ1206において、見出されない場合、本方法は、ステップ1210に進み、ゲート駆動パルス幅をデフォルトパルス幅または以前に算出されたパルス幅として設定し、リセット時間t_{reset}をデフォルトリセット時間または以前に算出されたリセット時間として設定する。ステップ1212では、閾値電流値i_{threshold}が、図14を参照して説明されるように算出され、閾値電流値i_{threshold}は、ステップ1214において、本算出された値で更新される。方法1200は、次いで、ステップ1204にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流および電圧波形i_{out}およびV_{out}の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

20

【0088】

ステップ1208では、閾値電流交差時間t_{i-cross1}およびt_{i-cross2}が、ステップ1206において、見出される場合、本方法は、ステップ1216に進む。ステップ1216では、リセット時間は、第2の閾値電流交差時間（t_{reset}=t_{i-cross2}）であるように設定される。換言すると、リセット時間t_{reset}は、出力電流波形i_{out}が、その正のピーク電流値まで上昇し、その負のピーク電流値まで降下し（最初として、閾値電流i_{threshold}に交差する）、次いで、再び、上昇し、2回目として、閾値電流値i_{threshold}に到達するまでにかかる、総時間であるように設定される。また、ステップ1216では、最小パルス幅は、第1の閾値電流交差時間（t_{pulse_min}=t_{i-cross1}）であるように設定される。換言すると、最小パルス幅t_{pulse_min}は、出力電流波形i_{out}が、その正のピーク電流値まで上昇し、次いで、降下し、最初として、閾値電流値i_{threshold}に到達するまでにかかる、総時間であるように設定される。

30

【0089】

ステップ1218では、閾値電圧値V_{threshold}（図10参照）が、算出される。図7Bの1スイッチ1供給源構成を使用するとき、閾値電圧値V_{threshold}は、図15に示されるように、算出される。図8の1スイッチ2供給源構成を使用するとき、閾値電圧値V_{threshold}は、図16に示されるように、算出される。

40

【0090】

ステップ1220では、閾値電圧値V_{threshold}が、算出された後、タイミングパラメータ推定器634は、電圧閾値交差時間t_{v-cross}に関して、電圧波形V_{out}を検索し、ステップ1222において、最大パルス幅は、電圧閾値交差時間t_{v-cross}（t_{pulse_max}=t_{v-cross}）であるように設定される。換言すると、最大パルス幅は、電圧波形V_{out}が、その正のピーク電圧値まで上昇し、次いで、降下し、閾値電圧値V_{threshold}に到達するまでにかかる、総時間であるように設定される。

50

【0091】

ステップ1224は、現在のパルス幅が、設計選択肢値である、事前に定義された許容範囲を伴って、最小パルス幅 t_{pulse_min} と最大パルス幅 t_{pulse_max} との間の範囲内にあるかどうかを決定する。現在のパルス幅が、本範囲内にある場合、現在のパルス幅は、パルス幅として保たれ（ステップ1226）、方法1200は、ステップ1204にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流および電圧波形 i_{out} および V_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0092】

ステップ1224では、現在のパルス幅が、事前に定義された許容範囲を伴って、最小パルス幅 t_{pulse_min} と最大パルス幅 t_{pulse_max} との間の範囲内にない場合、パルス幅は、ステップ1228において、再計算される。パルス幅は、最小パルス幅 t_{pulse_min} と最大パルス幅 t_{pulse_max} との間のいずれかの場所であるように設定される。一実施例では、パルス幅は、 $pulse_width = t_{pulse_min} + w_0(t_{pulse_max} - t_{pulse_min})$ として算出され、式中、 w_0 は、0と1との間の設計選択肢値である。パルス幅が、ステップ1228において、再計算された後、方法1200は、ステップ1204にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流および電圧波形 i_{out} および V_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0093】

図13は、ゲート駆動パルス幅およびリセット時間 t_{reset} を設定するために、1つのスイッチと、1つの供給源とを有する、バイアス供給源208の実装と関連付けられる、タイミングパラメータ推定器634によって実施される、方法1300を描写する、フローチャートである。方法1300は、例えば、図7Aの1スイッチ1供給源構成と併せて、実施されてもよい。

【0094】

ここで図13を参照すると、ステップ1302において、タイミングパラメータ推定器634が、デフォルト閾値電流値 $i_{threshold}$ 、デフォルトゲート駆動パルス幅、およびデフォルトリセット時間 t_{reset} をロードする。ステップ1304では、タイミングパラメータ推定器634が、1つの基本サイクルの出力電流波形 i_{out} を捕捉する。一実施例では、例えば、推定器634は、図10に描写されるように、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の完全なデジタル表現の1つのサイクルを捕捉する。ステップ1306では、タイミングパラメータ推定器634が、第1の閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ および第2の閾値電流交差時間 $t_{i-cross2}$ に関して、出力電流波形 i_{out} を検索する。

【0095】

ステップ1308では、閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ および $t_{i-cross2}$ が、ステップ1306において、見出されない場合、本方法は、ステップ1310に進み、ゲート駆動パルス幅をデフォルトパルス幅または以前に算出されたパルス幅として設定し、リセット時間 t_{reset} をデフォルトリセット時間または以前に算出されたリセット時間として設定する。次いで、ステップ1312において、閾値電流値 $i_{threshold}$ が、図14を参照して説明されるように算出され、閾値電流 $i_{threshold}$ は、ステップ1314において、本算出で更新される。方法1300は、次いで、ステップ1304にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0096】

ステップ1308では、閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ および $t_{i-cross2}$ が、ステップ1306において、見出される場合、本方法は、ステップ1316に進む。ステップ1316では、リセット時間は、第2の閾値電流交差時間（ $t_{reset} = t_{i-cross2}$ ）であるように設定される。換言すると、リセット時間 t_{reset} は、出力電

10

20

30

40

50

流波形 i_{out} が、その正のピーク電流値まで上昇し、その負のピーク電流値まで降下し（最初として、閾値電流 $i_{threshold}$ に交差する）、次いで、再び、上昇し、2 回目として、閾値電流 $i_{threshold}$ に到達するまでにかかる、総時間であるように設定される。

【0097】

また、ステップ 1316 では、最小パルス幅が、第 1 の閾値電流交差時間 ($t_{pulse_min} = t_{i-cross1}$) であるように設定される。換言すると、最小パルス幅 t_{pulse_min} は、出力電流波形 i_{out} が、その正のピーク電流値まで上昇し、次いで、降下し、最初として、閾値電流値 $i_{threshold}$ に到達するまでにかかる、総時間であるように設定される。ステップ 1318 では、最大パルス幅は、第 2 の閾値電流交差時間 ($t_{pulse_max} = t_{i-cross2}$) であるように設定される。換言すると、最大パルス幅 t_{pulse_max} は、リセット時間 t_{reset} と同一であるように設定される。

10

【0098】

ステップ 1320 は、現在のパルス幅が、事前に定義された許容範囲を伴って、最小パルス幅 t_{pulse_min} と最大パルス幅 t_{pulse_max} との間の範囲内にあるかどうかを決定する。現在のパルス幅が、本範囲内にある場合、現在のパルス幅は、パルス幅として保たれ（ステップ 1322）、方法 1300 は、次いで、ステップ 1304 にループバックし、計測区分 620 によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

20

【0099】

ステップ 1320 では、現在のパルス幅が、設計選択肢値である、事前に定義された許容範囲を伴って、最小パルス幅 t_{pulse_min} と最大パルス幅 t_{pulse_max} との間の範囲内でない場合、パルス幅は、ステップ 1324 において、再計算される。パルス幅は、最小パルス幅と最大パルス幅との間のいずれかの場所であるように設定される。一実施例では、パルス幅は、 $pulse_width = t_{pulse_min} + w_0 (t_{pulse_max} - t_{pulse_min})$ として算出され、式中、 w_0 は、0 と 1 との間の設計選択肢値である。パルス幅が、ステップ 1324 において、再計算された後、方法 1300 は、ステップ 1304 にループバックし、計測区分 620 によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

30

【0100】

要するに、図 11-13 は、1 スイッチ構成において、ゲート駆動パルス幅およびリセット時間 t_{reset} を算出するための 3 つの異なる方法を描写し、これらの方法は、主に、最大ゲート駆動パルス幅が算出される方法において異なる。図 7B の 1 スイッチ 1 供給源構成または図 8 の 1 スイッチ 2 供給源構成が、使用されるとき、最大ゲート駆動パルス幅は、出力電流波形 i_{out} 、すなわち、 $t_{pulse_max} = 0.5 (t_{i-cross1} + t_{i-cross2})$ を使用することによって、または出力電圧波形 V_{out} 、すなわち、 $t_{pulse_max} = t_{v-cross}$ を使用することによって、算出されてもよい。図 7A の 1 スイッチ 1 供給源構成が、使用されるとき、最大ゲート駆動パルス幅は、出力電流波形 i_{out} 、すなわち、 $t_{pulse_max} = t_{i-cross2} = t_{reset}$ を使用することによって、算出される。

40

【0101】

ここで図 14 を参照すると、示されるものは、図 11 のステップ 1112、図 12 のステップ 1212、および図 13 のステップ 1312 において、閾値電流値 $i_{threshold}$ を算出するための方法 1400 を描写する、フローチャートである。したがって、図 14 は、図 7A、7B、および 8 の 1 スイッチ構成と併用される方法のいずれかにおいて、閾値電流 $i_{threshold}$ を算出するために使用される。

【0102】

方法 1400 のステップ 1402 は、補償電流値 I_{comp} が、直接、利用可能である

50

かどうかを決定する。補償電流 I_{comp} は、バイアス供給源 208 (図 2) のインダクタ 214 および電力供給源 216 を通して流動する、電流であって、例えば、補償電流値を測定するように構成される、センサが存在する場合、直接、利用可能ではない場合がある。補償電流値 I_{comp} が、直接、利用可能である場合、閾値電流値 $i_{threshold}$ は、ステップ 1406 において、0 と補償電流 I_{comp} の負の値との間のいずれかの場所であるように設定される。換言すると、 $i_{threshold} = w_1 * I_{comp}$ であって、式中、 w_1 は、0 と -1 との間の設計者選択肢値である。

【0103】

補償電流値 I_{comp} が、直接、利用可能ではない場合、ステップ 1404 において、0 とリセット時間 t_{reset} ($t_{reset} = t_{i-cross2}$) から周期 (t_4) の終了までの出力電流波形 i_{out} の負の平均値との間のいずれかの場所であるように算出される。換言すると、 $I_{comp} = -k * (t_{reset}$ から周期の終了までの i_{out} の平均) であって、式中、 k は、0 と 1 との間の設計者選択肢値である。補償電流値 I_{comp} が、ステップ 1404 において、算出された後、ステップ 1406 において、上記に説明されるように、閾値電流値 $i_{threshold}$ を算出するために使用される。

【0104】

ここで図 15 を参照すると、示されるものは、図 7A および 7B に描写されるもの等の 1 スイッチ 1 供給源構成を有する、バイアス供給源を使用するとき、図 12 のステップ 1218 において閾値電圧値 $V_{threshold}$ を算出するための方法 1500 を描写する、フローチャートである。ステップ 1502 は、出力電圧波形 V_{out} データが DC-結合または AC-結合されるかどうかを決定する。出力電圧波形 V_{out} データが、AC-結合される場合、閾値電圧値 $V_{threshold}$ は、ステップ 1504 において、 V_{supply} (第 1 の電力供給源電圧 216) に等しいように設定される。出力電圧波形 V_{out} データが、DC-結合される場合、閾値電圧値 $V_{threshold}$ は、ステップ 1506 において、ゼロであるように設定される。

【0105】

ここで図 16 を参照すると、示されるものは、図 8 のもの等の 1 スイッチ 2 供給源構成を有する、バイアス供給源を使用するとき、図 12 のステップ 1218 において閾値電圧値 $V_{threshold}$ を算出するための方法 1600 を描写する、フローチャートである。ステップ 1602 は、出力電圧波形 V_{out} データが DC-結合または AC-結合されるかどうかを決定する。出力電圧波形 V_{out} データが、AC-結合される場合、閾値電圧値 $V_{threshold}$ は、ステップ 1604 において、 V_{supply} (第 1 の電力供給源電圧 216) および V_{rail} (第 2 の電力供給源電圧 218) の和に等しいように設定される。出力電圧波形 V_{out} データが、DC-結合される場合、閾値電圧値 $V_{threshold}$ は、ステップ 1606 において、 V_{rail} (第 2 の電力供給源電圧 218) であるように設定される。

【0106】

次に図 17 および 18 を参照すると、示されるものは、バイアス供給源 208 (図 2) のスイッチネットワーク 220 内に実装され得る、2 スイッチ構成を有する、スイッチネットワークの実施例である。図 17 は、1 供給源構成内に実装され得る、2 スイッチ構成を描写する、すなわち、バイアス供給源 208 は、第 1 の電力供給源 216 のみを含み、図 6 のもの等の関連付けられる 1 供給源制御システムによって制御される。図 18 は、2 供給源構成内に実装され得る、2 スイッチ構成を描写し、すなわち、バイアス供給源 208 は、第 1 の電力供給源 216 と、第 2 の電力供給源 218 とを含み、図 5 のもの等の関連付けられる 2 供給源制御システムによって制御される。

【0107】

ここで図 17 を参照すると、示されるものは、2 つのスイッチ S_1 および S_2 を有する、スイッチネットワーク 220 の実施例であって、その中でバイアス供給源 208 が、第 1 の電力供給源 216 のみを含み、図 6 のもの等の関連付けられる 1 供給源制御システムによって制御される、1 供給源構成と併せて展開され得る、スイッチネットワーク 182

0 Aを描写する、概略図である。図17に描写される変形例では、第1のスイッチS1および第1のダイオードD1の直列組み合わせが、バイアス供給源208の帰還ノード212とノード1862との間に配列される。加えて、第2のスイッチS2および第2のダイオードD2の直列組み合わせが、バイアス供給源208のノード1862と帰還ノード212との間に配列される。図17に示されるように、第1のダイオードD1が、第1のスイッチS1とノード1862との間に配列され、そのアノードは、第1のスイッチS1に結合され、そのカソードは、ノード1862に結合される。第2のダイオードD2は、第2のスイッチS2とノード1862との間に配列され、そのカソードは、第2のスイッチS2に結合され、そのアノードは、ノード1862に結合される。本配列では、第1のダイオードD1のカソードは、ノード1862において、第2のダイオードD2のアノードに結合される。

10

【0108】

ここで図18を参照すると、示されるものは、2つのスイッチS1およびS2を有する、スイッチネットワーク220の実施例であって、その中でバイアス供給源208が、第1の電力供給源216と、第2の電力供給源218とを含み、図5のもの等の関連付けられる2供給源制御システムによって制御される、2供給源構成と併せて展開され得る、スイッチネットワーク1420Aを描写する、概略図である。スイッチネットワーク1420Aは、ノード1050、帰還ノード212、および出力ノード210において、バイアス供給源208に結合する。また、スイッチネットワーク1420A内に参照のために示されるものは、ノード1460である。描写されるように、スイッチネットワーク1420Aは、ノード1050とノード1460との間の第1のダイオードD1と直列に配列される、第1のスイッチS1を備える。ダイオードD1のカソードは、ノード1460に結合され、ダイオードD1のアノードは、スイッチS1に結合される。スイッチネットワーク1420Aはまた、帰還ノード212とノード1460との間の第2のダイオードD2と直列に配列される、第2のスイッチS2を備える。ダイオードD2のアノードは、ノード1460に結合され、ダイオードD2のカソードは、スイッチS2に結合される。加えて、インダクタL1が、ノード1460と出力ノード210との間に位置付けられる。

20

【0109】

図17および18では、スイッチS1およびダイオードD1は、直列に配列されるため、スイッチS1およびダイオードD1の順序は、入れ替えられてもよいことを認識されたい。同様に、スイッチS2およびダイオードD2は、直列に配列されるため、スイッチS2およびダイオードD2の順序は、入れ替えられてもよい。

30

【0110】

ここで図19を参照すると、示されるものは、図17および18の切替ネットワーク等、2つのスイッチS1およびS2を有する、切替ネットワークを備える、バイアス供給源の側面を図示する、グラフおよびタイミング図である。スイッチS1およびS2は、図19に描写される、非対称周期的電圧および電流波形 V_{out} および i_{out} を生成するように動作される。動作時、第1のダイオードD1は、第1のスイッチS1が閉（オン）にされると伝導し、第2のダイオードD2は、第2のスイッチD2が閉（オン）にされると、伝導する。

40

【0111】

図19を参照すると、出力電流波形 i_{out} は、時間 t_0 において（スイッチS1が、閉にされると）、第1の閾値電流値（ I_0 に等しい場合とそうではない場合がある）から正のピーク電流値まで、上昇する。出力電流波形 i_{out} は、次いで、正のピーク電流値から降下し、第1の閾値電流レベルに到達し、平坦となる。スイッチS1が開（オフ）にされた後、時間 t_2 において、スイッチS2は、閉（オン）にされ、出力電流波形 i_{out} は、負のピーク電流値まで降下する。出力電流波形 i_{out} は、次いで、負のピーク電流値から上昇し、第2の閾値電流値（ I_0 に等しい場合とそうではない場合がある）に到達する。出力電流波形 i_{out} は、次いで、時間 t_4 において、サイクルが終了し、S1が再び、閉（オン）にされるまで、若干負の補償電流 $-I_0$ に徐々に平坦となる。

50

【0112】

描写されるように、本明細書に開示されるバイアス供給源208は、非対称周期的電圧波形 V_{out} を、時間 $t_0 \sim t_4$ において、出力ノード210と帰還ノード212との間に印加するように動作する。示されるように、非対称周期的電圧波形 V_{out} は、時間 t_0 から、第1の負の電圧値を伴って、時間 t_0 において開始する、 t_1 までの第1の部分を含み、時間 t_1 において、正のピーク電圧値まで上昇する。 $t_1 \sim t_3$ の第2の部分の間、電圧波形 V_{out} は、 $t_1 \sim t_2$ の不感時間の間、遷移傾斜部分を有し、次いで、時間 t_2 において、量 V_{step} だけ、時間 t_3 における第3の（負の）電圧値まで、降下する。電圧波形 V_{out} の第3の部分（時間 $t_3 \sim t_4$ ）は、第3の電圧レベルと第4の負の電圧レベル（時間 t_4 において）との間の電圧傾斜を含む。

10

【0113】

図19に示されるように、非対称周期的電圧波形は、時間 t_2 と t_3 との間の電圧ステップ V_{step} を備え、 V_{step} は、任意のエネルギーレベルにおけるイオン- E_{ion} を生じる、 t_3 におけるシース電圧に対応する。非対称周期的電圧波形の第3の部分の間、シース電圧は、時間 t_4 において、 $-(E_{ion} + \Delta E_{ion})$ のエネルギーレベルにおけるイオンが、生じられるように、より負になり得る。

【0114】

また、図19に示されるものは、時間 t_{reset} （時間 $t_0 \sim t_3$ ）および t_{ramp} （時間 t_3 および t_4 ）である。示されるように、 t_{reset} は、非対称周期的電圧波形 V_{out} の第1および第2の部分の両方を含む、時間を網羅し、 t_{ramp} は、 V_{out} 波形の第3の部分を含む。また、図19に示されるものは、図2に参照される、補償電流 I_{comp} である。補償電流 I_{comp} は、非対称周期的電圧関数の印加全体を通して提供されてもよく、 i_{out} は、非対称周期的電圧波形の第3の部分の間（ t_{ramp} の間）、 I_{comp} に等しくない場合とそうではない場合がある。

20

【0115】

非対称周期的電圧波形の基本周期（ $t_0 \sim t_4$ ）は、イオンエネルギーの拡散を調節するように調節されてもよい。図19に示されるように、完全電流サイクルは、非対称周期的電圧波形の第1の部分と第2の部分の間の時間 t_0 と t_3 との間で生じる。完全電流サイクル間の時間は、 t_3 と t_4 との間の時間 t_{ramp} である。

【0116】

図19に示されるように、スイッチS1およびS2は、調節可能不感時間を用いて、制御されてもよく、これは、 $t_1 \sim t_2$ （スイッチS1が閉位置から開にされた後と、スイッチS2が閉にされる前との間）の時間である。電圧波形 V_{out} の第1の部分は、傾斜プロファイルにおいて、非対称周期的電圧波形の第2の部分に遷移し得る（時間 t_1 と t_2 との間の不感時間の間）。

30

【0117】

不感時間の制御は、リセット時間 t_{reset} の制御を可能にし、リセット時間 t_{reset} と傾斜時間 t_{ramp} の比は、平均電力を調節する。 t_{reset} の制御は、基本切替周波数が制御される（例えば、プラズマ処理チャンバ101内のプラズマ密度に影響を及ぼす、レベルを下回ったままである）ことを可能にする。

40

【0118】

本明細書に開示されるバイアス供給源208を用いて達成され得る、制御の別の側面は、イオン電流補償である。より具体的には、不感時間の長さ、 t_{ramp} の長さ、および／または周期的電圧関数の周期（ $t_0 \sim t_4$ ）が、イオン電流補償のレベルを制御するために制御されてもよい。図19では、 t_{ramp} 、不感時間、および／または I_o のレベル f は、イオン電流 I_{ion} が $I_o = I_{ion} - (CCh + Cstr1) * \text{傾き}$ および $I_{comp} = I_{ion} - (CCh + Cstr0 + Cstr1) * \text{傾き}$ （傾きは、 $t_3 \sim t_4$ の出力電圧 V_{out} の傾きである）となる点に補償されるように、制御されてもよい（所望に応じて）。

【0119】

50

図 19 に示されるように、イオン電流を過大補償するとき、シース電圧 V_s （およびワークピース 103 の表面における電圧）は、時間 t_3 と t_4 との間（ t_{ramp} 時間枠の間）でますます負にある。時間 t_3 と t_4 との間のシース電圧の範囲に起因して、あるイオンエネルギーの分布が存在する。しかしながら、イオン電流は、シース電圧 V_s （およびワークピース 103 の表面における電圧）が時間 t_3 と t_4 との間（ t_{ramp} 時間枠の間）であまり負にならないように、過小補償されてもよいことを認識されたい。また、シース電圧 V_s が時間 t_3 と t_4 との間で実質的に一定であるように、時間 t_3 と t_4 との間のバイアス出力電圧 V_{out} の傾きを調節することも可能性として考えられ、これは、イオンエネルギーの非常に狭い分布をもたらす。

【0120】

不感時間および t_{ramp} の両方を調節することによって、周期的電圧波形の周波数は、所望に応じて、固定されてもよいが、また、不感時間、 t_{ramp} 、および周期的電圧波形の周波数を変動させることも可能性として考えられる。また、不感時間は、 t_{ramp} を短縮または延長させながら、短縮されてもよいことも検討される。

【0121】

2 スイッチネットワークを有する、バイアス供給源を制御するために、2 つのゲート駆動パルス幅信号、すなわち、第 1 のスイッチ S_1 を閉（オン）および開（オフ）にするための第 1 のパルス幅信号と、第 2 のスイッチ S_2 を開（オン）および閉（オフ）にするための第 2 のパルス幅信号とが、要求される。タイミングパラメータ推定器 634 は、出力電流 i_{out} が、最初および 2 回目として、逆転する（閾値電流値に交差する）ときを検出して、個別のパルス幅信号をゲート駆動信号ジェネレータ 636 に対して発生させ、これらの時間またはその後、スイッチ S_1 および S_2 を開（オフ）にしてもよい。いったん電流が、方向を逆転させると、電流は、もはや、能動スイッチを通して流動せず、安全に開（オフ）にされ得る。第 2 のスイッチ S_2 は、電圧出力波形 V_{out} が、時間 t_{ramp} の間、下向き傾斜プロファイルをとるように、リセット時間 t_{reset} 前に、開（オフ）にされなければならない。したがって、単一スイッチ構成におけるように、パルス幅がその中で降下し得る、パルス幅の範囲が存在する。加えて、2 スイッチ構成では、そこで第 2 のスイッチ S_2 が閉（オン）にされる、時間 t_2 が、算出されなければならない。第 1 のスイッチ S_1 が閉（オン）にされるときに関する算出の必要性は、自動的に、時間 t_0 において、閉（オン）になる（1 スイッチ構成におけるように）ため、存在しない。下記に説明される、図 20 - 22 は、第 1 および第 2 のスイッチのためのゲートパルス幅、リセット時間 t_{reset} 、および第 2 のスイッチのための閉（オン）時間の算出に対処する。

【0122】

図 20 は、2 つのスイッチを有する、バイアス供給源 208 の実装と関連付けられる、タイミング図であって、ゲート駆動パルス幅 t_{pulse1} および t_{pulse2} 、第 2 のスイッチをオンにするための時間 t_2 、およびリセット時間 t_{reset} の計算において、タイミングパラメータ推定器 634 によって使用される、種々のタイミングパラメータを図示する。図 20 は、非対称周期的出力電圧波形 V_{out} の 1 つのサイクルの完全なデジタル表現と、非対称周期的電流波形 i_{out} の 1 つのサイクルの完全なデジタル表現とを描写する。タイミングパラメータ推定器 634 は、電圧および電流波形のこれらの表現を、例えば、計測区分 620 から受信してもよい。図 20 の以下の説明では、時間 $t_0 \sim t_4$ は、図 19 のタイミング図に示されるようなものである。

【0123】

図 20 を参照すると、出力電流波形 i_{out} は、時間 t_0 において（スイッチ S_1 が閉にされるとき）、第 1 の閾値電流値 $i_{threshold1}$ から正のピーク電流値まで、上昇する。出力電流波形 i_{out} は、次いで、正のピーク電流値から降下し、第 1 の閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ において、第 1 の閾値電流 $i_{threshold1}$ に交差する。スイッチ S_1 が開（オフ）にされた後、時間 t_2 では、スイッチ S_2 は、閉（オン）にされ、出力電流波形 i_{out} は、負のピーク電流値まで降下する。出力電流波形 i_{out}

10

20

30

40

50

は、次いで、負のピーク電流値から上昇し、第2の閾値電流交差時間 $t_{i-cross2}$ において、第2の閾値電流 $i_{threshold2}$ に交差する。出力電流波形 i_{out} は、次いで、若干負の補償電流 $-I_{comp}$ まで、徐々に平坦になる。

【0124】

図20の非対称周期的電圧波形 V_{out} は、時間 t_0 から、第1の負の電圧値を伴って、時間 t_0 から開始する、 t_1 までの第1の部分を含み、時間 t_1 において、正のピーク電圧値まで上昇する。 $t_2 \sim t_3$ の第2の部分の間、電圧波形 V_{out} は、 $t_1 \sim t_2$ の不感時間の間、遷移傾斜部分を有し、次いで、時間 t_2 において、量 V_{step} だけ、時間 t_3 における第3の（負の）電圧値まで降下する。電圧波形 V_{out} の第3の部分（時間 $t_3 \sim t_4$ ）は、一定かつ負に、第3の電圧レベルと第4の負の電圧レベル（時間 t_4 において）との間で傾斜する。

10

【0125】

図21は、ゲート駆動パルス幅 t_{pulse1} および t_{pulse2} 、第2のスイッチ S_2 を閉（オン）にするための時間 t_2 、およびリセット時間 t_{reset} を算出するために、2つのスイッチを有する、バイアス供給源208の実装と併せて、タイミングパラメータ推定器634によって実施される、方法2100を描写する、フローチャートである。方法2100は、図17の構成等の2スイッチ単一供給源構成と併せて、または図18に示されるもの等の2スイッチ2供給源構成と併せて、実施されてもよい。

【0126】

ここで図21を参照すると、ステップ2102において、タイミングパラメータ推定器634が、デフォルト第1および第2の閾値電流値 $i_{threshold1}$ および $i_{threshold2}$ 、デフォルトゲート駆動パルス幅 t_{pulse1} および t_{pulse2} 、およびデフォルトリセット時間 t_{reset} をロードする。ステップ2104では、タイミングパラメータ推定器634が、1つの基本サイクルの出力電流波形 i_{out} を捕捉する。一実施例では、例えば、推定器634は、図20に描写されるように、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の完全なデジタル表現の1つのサイクルを捕捉する。ステップ2106では、第1および第2の閾値電流値 $i_{threshold1}$ および $i_{threshold2}$ が、図22に示されるように、算出される。

20

【0127】

ステップ2106における閾値電流値の算出に続いて、方法2100は、第2のゲート駆動パルスの開始のための第1のパルス幅 t_{pulse1} および時間 t_2 を算出するためのステップ2108-2126と、第2のパルス幅 t_{pulse2} を算出するためのステップ2128-2140とを用いて進められる。第2のスイッチ S_2 をオンにするための第1のパルス幅および時間を算出するためのステップ2108-2126が、最初に説明される。

30

【0128】

ステップ2108では、タイミングパラメータ推定器634が、出力電流 i_{out} 波形が第1の閾値電流値 $i_{threshold1}$ に交差する、時間 $t_{i-cross1}$ に関して、時間 t_0 - 時間 t_2 の出力電流 i_{out} 波形を検索する。ステップ2110では、第1の閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ が、見出されない場合、本方法は、ステップ2112に進み、第1のゲート駆動パルス幅 t_{pulse1} をデフォルトパルス幅または以前に算出されたパルス幅として設定し、第2のパルスの開始（スイッチ2の閉）のための時間 t_2 をデフォルトまたは以前に算出された時間 t_2 として設定する。方法2100は、次いで、ステップ2104にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

40

【0129】

ステップ2110では、第1の閾値電流交差時間 $t_{i-cross1}$ が、見出される場合、本方法は、ステップ2114に進む。ステップ2114では、最小の第1のパルス幅は、第1の閾値電流交差時間（ $t_{pulse1_min} = t_{i-cross1}$ ）に等しいように設定される。換言すると、第1のパルスの最小幅（それらの間、 S_1 が閉またはオンにさ

50

れる、時間)は、 t_0 から、出力電流波形 i_{out} が、その正のピーク電流まで上昇し、次いで、そこで、最初として、第1の閾値電流値 $i_{threshold}$ に交差する、点まで降下するまでにかかる、総時間であるように設定される。

【0130】

ステップ2116では、現在の第1のパルス幅 t_{pulse1} が、最小の第1のパルス幅 t_{pulse1_min} + 許容範囲 (設計選択枝値) を上回る場合、第1のパルス幅 t_{pulse1} および時間 t_2 は、ステップ2118において、それらの現在の値に保たれる。方法2100は、次いで、ステップ2104にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。ステップ2116では、現在の第1のパルス幅 t_{pulse1} が、許容範囲を伴って、最小パルス幅 t_{pulse1_min} を下回る場合、第1のパルス幅 t_{pulse1} は、ステップ2120において、最小の第1のパルス幅 t_{pulse1_min} + 許容範囲 ($t_{pulse1} = t_{pulse1_min} + \text{許容範囲}$) に設定される。

【0131】

ステップ2122では、時間 t_2 (S2を閉(オン)するための第2のパルスの開始のための時間)が、第1のパルス幅 t_{pulse1} + 許容範囲を上回る場合、 t_2 は、ステップ2124において、同一に保たれる。方法2100は、次いで、ステップ2104にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0132】

ステップ2126では、時間 t_2 が、許容範囲を伴って、第1のパルス幅 t_{pulse1} を下回る場合、時間 t_2 は、第1のパルス幅 + 不感時間 ($t_1 \sim t_2$ の時間)、すなわち、 $t_2 = t_{pulse1} + \text{不感時間}$ に等しいように設定される。方法2100は、次いで、ステップ2104にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0133】

第2のパルス幅 t_{pulse2} を算出するためのステップ2128-2140が、ここで説明される。ステップ2128では、ステップ2106における、第1および第2の閾値電流値 $i_{threshold1}$ および $i_{threshold2}$ の算出に続いて、タイミングパラメータ推定器634が、出力電流 i_{out} 波形が第2の閾値電流値 $i_{threshold2}$ に交差する、時間 $t_{i-cross2}$ に関して、時間 t_2 から開始して、出力電流 i_{out} 波形を検索する。ステップ2130では、第2の閾値電流交差時間 $t_{i-cross2}$ が、見出されない場合、本方法は、ステップ2132に進み、第2のゲート駆動パルス幅 t_{pulse2} をデフォルト第2のパルス幅または以前に算出された第2のパルス幅として設定し、リセット時間 t_{reset} をデフォルトリセット時間または以前に算出されたリセット時間として設定する。方法2100は、次いで、ステップ2104にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0134】

ステップ2130では、第2の閾値電流交差時間 $t_{i-cross2}$ が、見出される場合、本方法は、ステップ2134に進む。ステップ2134では、最小の第2のパルス幅は、第2の閾値電流交差時間 - 時間 t_2 ($t_{pulse2_min} = t_{i-cross2} - t_2$) に等しいように設定される。換言すると、第2のパルスの最小幅 (それらの間、S2が閉またはオンにされる、時間) は、 t_2 から、出力電流波形 i_{out} が、その負のピーク電流値まで降下し、次いで、そこで第2の閾値電流値 $i_{threshold2}$ に交差する、点まで上昇するまでにかかる、総時間であるように設定される。加えて、リセット時間は、第2の閾値電流交差時間 ($t_{reset} = t_{i-cross2}$) に等しいように設定される。

【0135】

ステップ2136では、現在の第2のパルス幅 t_{pulse2} が、許容範囲を伴って、

最小の第2のパルス幅 t_{pulse2_min} を上回る場合、第2のパルス幅 t_{pulse2} は、ステップ2138において、その電流値に保たれる。方法2100は、次いで、ステップ2104にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

【0136】

ステップ2136では、現在の第2のパルス幅 t_{pulse2} が、許容範囲を伴って、最小の第2のパルス幅 t_{pulse2_min} を下回る場合、第2のパルス幅は、ステップ2140において、最小の第2のパルス幅 $t_{pulse2_min} + \text{許容範囲}$ ($t_{pulse2} = t_{pulse2_min} + \text{許容範囲}$) に設定される。方法2100は、次いで、ステップ2104にループバックし、計測区分620によって提供される、非対称周期的電流波形 i_{out} の次のサイクルを捕捉し、本方法は、そこから繰り返される。

10

【0137】

図22は、図21のステップ2106において、第1および第2の閾値電流値 $i_{threshold1}$ および $i_{threshold2}$ を算出するための、すなわち、図17および18の2スイッチ構成と併せて、第1および第2の閾値電流値を算出するための方法2200を描写する、フローチャートである。

【0138】

ステップ2202は、補償電流 I_{comp} が、直接感知されること等によって、直接、利用可能であるかどうかを決定する。補償電流 I_{comp} は、バイアス供給源208（図2）のインダクタ214および電力供給源216を通して流動する、電流である。補償電流 I_{comp} が、直接、利用可能である場合、第1の閾値電流 $i_{threshold1}$ は、ステップ2206において、0と補償電流 I_{comp} の負の値との間のいずれかの場所であるように設定される。換言すると、 $i_{threshold1} = w_1 * I_{comp}$ であって、式中、 w_1 は、0と-1との間の設計選択肢値である。同様に、第2の閾値電流 $i_{threshold2}$ は、0と補償電流 I_{comp} の負の値との間のいずれかの場所であるように設定される。換言すると、 $i_{threshold2} = w_2 * I_{comp}$ であって、式中、 w_2 は、0と-1との間の設計選択肢値である。

20

【0139】

補償電流 I_{comp} が、直接、利用可能ではない場合、ステップ2204において、0と、リセット時間 t_{reset} ($t_{reset} = t_{i-cross2}$) から周期 (t_4) の終了までの出力電流波形 i_{out} の負の平均値との間のいずれかの場所であるように算出される。換言すると、 $I_{comp} = -k * (t_{reset} \text{ から周期の終了までの } i_{out} \text{ の平均})$ であって、式中、 k は、0と1との間の設計選択肢値である。補償電流 I_{comp} が、ステップ2204において、算出された後、ステップ2206において、上記に説明されるように、閾値電流 $i_{threshold}$ を算出するために使用される。

30

【0140】

本明細書に開示される実施形態に関連して説明される本方法は、直接、ハードウェア内に、非一過性有形プロセッサ可読記憶媒体内にエンコーディングされたプロセッサ実行可能コード内に、またはその2つの組み合わせ内に、具現化されてもよい。図23を参照すると、例えば、示されるものは、本明細書に開示される制御側面を実現するために利用され得る、物理的コンポーネントを描写する、ブロック図である。示されるように、ディスプレイ2312および不揮発性メモリ2320が、バス2322に結合され、これはまた、ランダムアクセスメモリ（「RAM」）2324、処理部分（N個の処理コンポーネントを含む）2326、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）2327、およびN個の送受信機を含む、送受信機コンポーネント2328に結合される。図23に描写されるコンポーネントは、物理的コンポーネントを表すが、図23は、詳細されるハードウェア図であることを意図しておらず、したがって、図23に描写されるコンポーネントの多くは、一般的構造体によって実現される、または付加的物理的コンポーネント間に分散されてもよい。さらに、他の既存の、および未開発の物理的コンポーネントおよびアーキテクチャもまた、図23を参照して説明される機能コンポーネントを実装するために

40

50

利用され得ることが検討される。

【0141】

本ディスプレイ2312は、概して、ユーザのためにユーザインターフェースを提供するように動作し、いくつかの実装では、ディスプレイが、タッチ画面ディスプレイによって実現される。一般に、不揮発性メモリ2320は、データおよびプロセッサ実行可能コード（本明細書に説明される方法をもたらすステップと関連付けられる、実行可能コードを含む）を記憶する（例えば、永続的に記憶する）ように機能する、非一過性メモリである。いくつかの実施形態では、例えば、不揮発性メモリ2320は、ブートルoaderコード、オペレーティングシステムコード、ファイルシステムコード、および非一過性プロセッサ実行可能コードを含み、バイアス供給源のスイッチネットワークを制御する方法の実行を促進する。いくつかの実装では、タイミングパラメータ推定器634は、プロセッサが、不揮発性メモリ2330内のプロセッサ実行可能コードとして記憶され得る、命令を実行することによって、実現されてもよい（少なくとも部分的に）。

10

【0142】

多くの実装では、不揮発性メモリ2320は、フラッシュメモリ（例えば、NANDまたはONENANDメモリ）によって実現されるが、他のメモリタイプも同様に、利用されてもよいことが検討される。コードを不揮発性メモリ2320から実行することが可能性として考えられ得るが、不揮発性メモリ内の実行可能コードは、典型的には、RAM2324の中にロードされ、処理部分2326内のN個の処理コンポーネントのうちの1つまたはそれを上回るものによって実行される。

20

【0143】

N個の処理コンポーネントは、RAM2324と関連して、概して、不揮発性メモリ2320内に記憶される命令を実行し、本明細書に開示されるアルゴリズムおよび機能の実行を可能にするように動作する。いくつかのアルゴリズムが、本明細書に開示されるが、これらのアルゴリズムのうちのいくつかは、フローチャート内で表されないことを認識されたい。本明細書に説明される方法をもたらすためのプロセッサ実行可能コードは、不揮発性メモリ2320内に永続的に記憶され、RAM2324と関連するN個の処理コンポーネントによって実行されてもよい。当業者が理解するであろうように、処理部分2326は、ビデオプロセッサ、デジタル信号プロセッサ（DSP）、マイクロコントローラ、グラフィック処理ユニット（GPU）、または他のハードウェア処理コンポーネントまたはハードウェアおよびソフトウェア処理コンポーネントの組み合わせ（例えば、デジタル論理処理部分を含む、FPGAまたはFPGA）を含んでもよい。

30

【0144】

加えて、または代替として、非一過性FPGA構成命令は、不揮発性メモリ2320内に永続的に記憶され、アクセスされ（例えば、ブートアップの間）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）を構成し、本明細書に開示されるアルゴリズムを実装してもよい。

【0145】

入力コンポーネント2330は、信号（例えば、開示されるバイアス供給源の出力において取得される電流および電圧を示す、信号）を受信してもよい。加えて、入力コンポーネント2330は、プラズマ処理チャンバ101内の環境および／またはソースジェネレータと単一スイッチバイアス供給源との間の同期された制御の1つまたはそれを上回る側面を示す、バイアス供給源108とソースジェネレータ112との間の位相情報および／または同期信号を受信してもよい。入力コンポーネントにおいて受信される、信号は、例えば、同期信号、種々のジェネレータおよび電力供給源ユニットに対する電力制御信号、またはユーザインターフェースからの制御信号から含んでもよい。当業者は、限定ではないが、指向性結合器および電圧電流（VI）センサ等、様々なタイプのセンサのいずれかが、電圧および電流等の電力パラメータをサンプリングするために使用されてもよく、電力パラメータを示す、信号が、アナログドメイン内で発生され、デジタルドメインに変換されてもよいことを容易に理解するであろう。

40

50

【0146】

当業者が、本開示に照らして、理解するであろうように、出力コンポーネントは、1つまたはそれを上回るアナログまたはデジタル信号を提供し、（少なくとも部分的に）スイッチS1およびS2の開閉をもたらすように動作してもよい。出力コンポーネントはまた、本明細書に説明される、電圧源を制御してもよい。

【0147】

描写される送受信機コンポーネント2328は、無線または有線ネットワークを介して外部デバイスと通信するために使用され得る、N個の送受信機チェーンを含む。N個の送受信機チェーンはそれぞれ、特定の通信スキーム（例えば、Wifi、イーサネット（登録商標）、Profibus等）と関連付けられる、送受信機を表し得る。

【0148】

当業者によって理解されるであろうように、本開示の側面は、システム、方法、またはコンピュータプログラム製品として具現化されてもよい。故に、本開示の側面は、完全にハードウェア実施形態、完全にソフトウェア実施形態（ファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロコード等を含む）、または全て、概して、本明細書では、「回路」、「モジュール」、または「システム」と称され得る、ソフトウェアおよびハードウェア側面を組み合わせる、実施形態の形態をとってもよい。さらに、本開示の側面は、その上に具現化される、コンピュータ可読プログラムコードを有する、1つまたはそれを上回るコンピュータ可読媒体内で具現化される、コンピュータプログラム製品の形態をとってもよい。

【0149】

本明細書で使用されるように、「A、B、またはCのうちの少なくとも1つ」または「A、B、およびCのうちの少なくとも1つ」の列挙は、「A、B、CのいずれかまたはA、B、およびCの任意の組み合わせ」を意味することを意図する。開示される実施形態の前述の説明は、いかなる当業者も、本開示を作製または使用することを可能にするために提供される。これらの実施形態に対する種々の修正は、当業者に容易に明白になり、本明細書に定義される一般的原理は、本開示の精神または範囲から逸脱することなく、他の実施形態にも適用され得る。したがって、本開示は、本明細書に示される実施形態に限定されることを意図しておらず、本明細書に開示される原理および新規の特徴に一貫した、最も幅広い範囲と調和されるべきである。

【図面】

【図1】

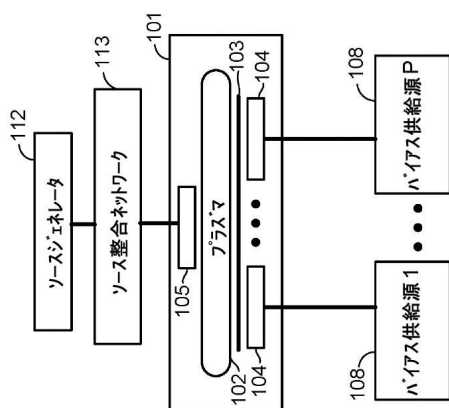


FIG. 1

【図2】

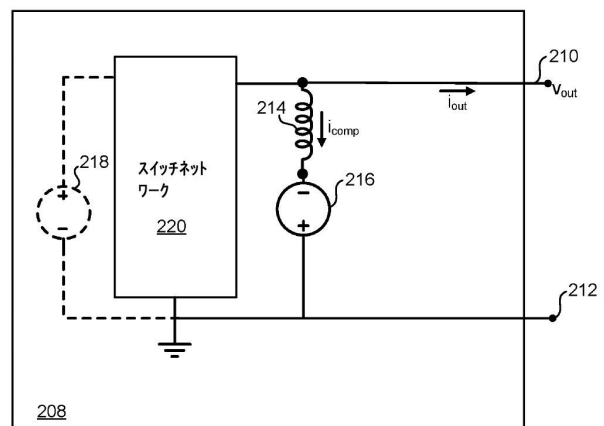


FIG. 2

10

20

30

40

50

【図 3】

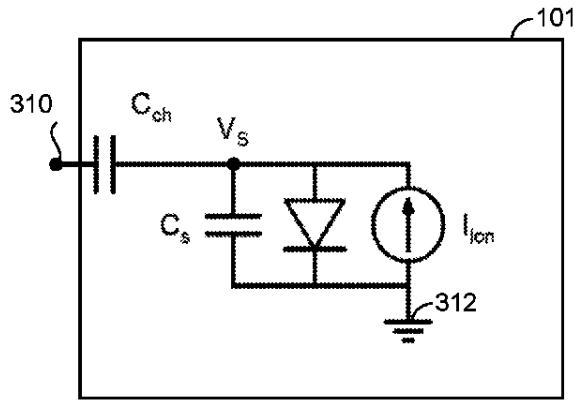


FIG. 3

【図 4】

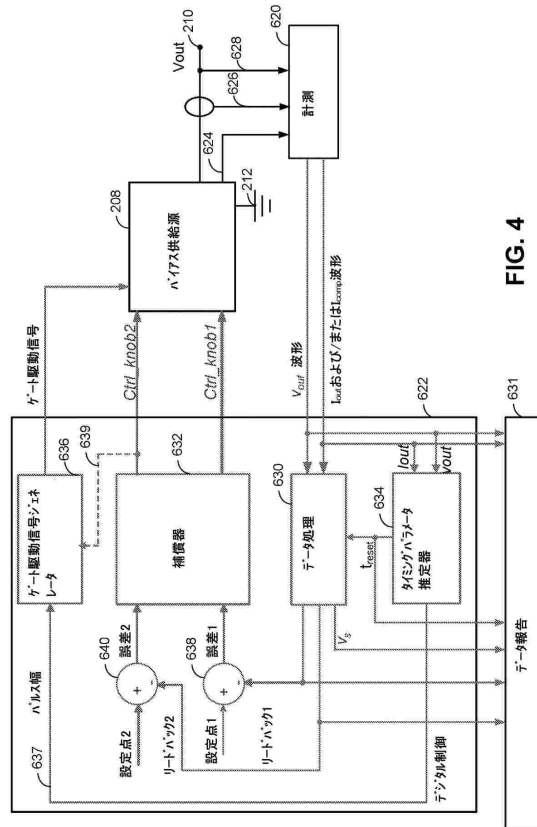


FIG. 4

【図 5】

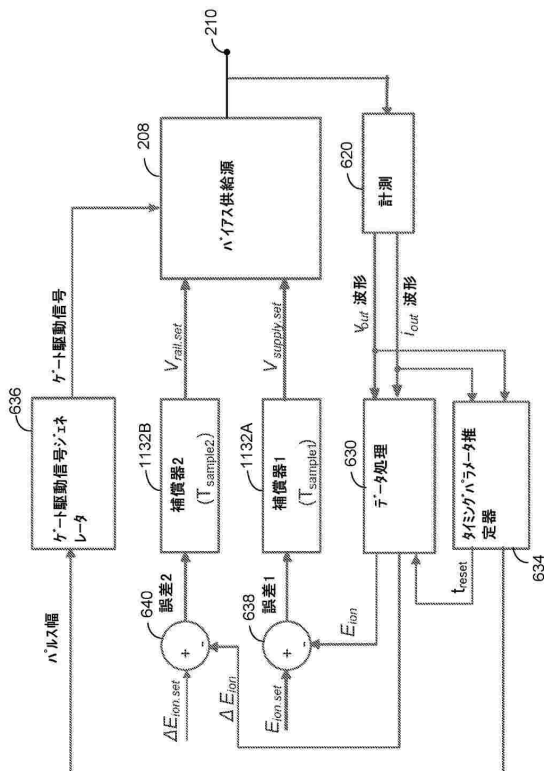


FIG. 5

【図 6】

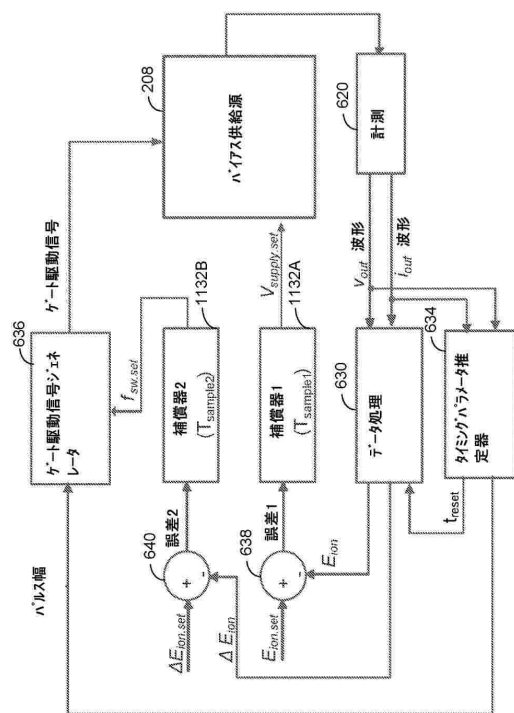


FIG. 6

10

20

30

40

50

【図 7 A】

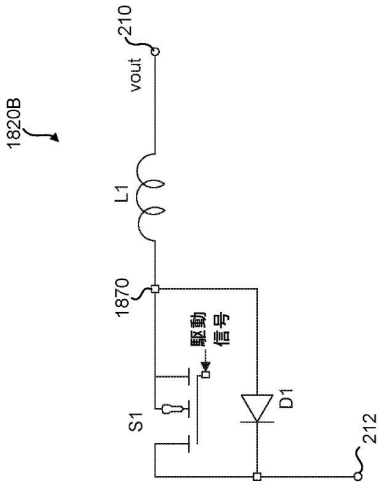


FIG. 7A

【図 7 B】

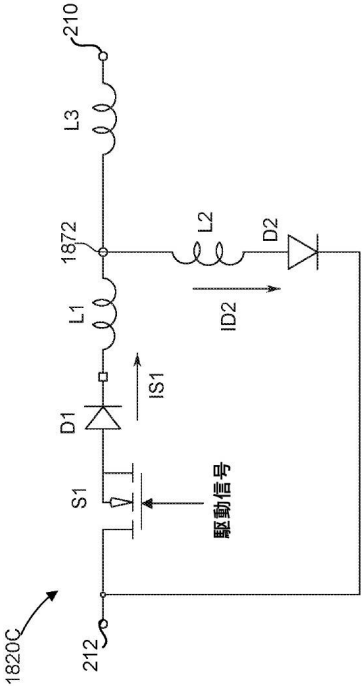


FIG. 7B

【図 8】

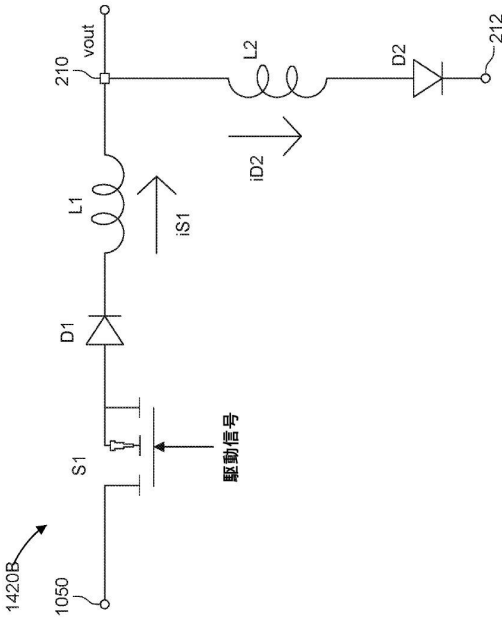


FIG. 8

【図 9】

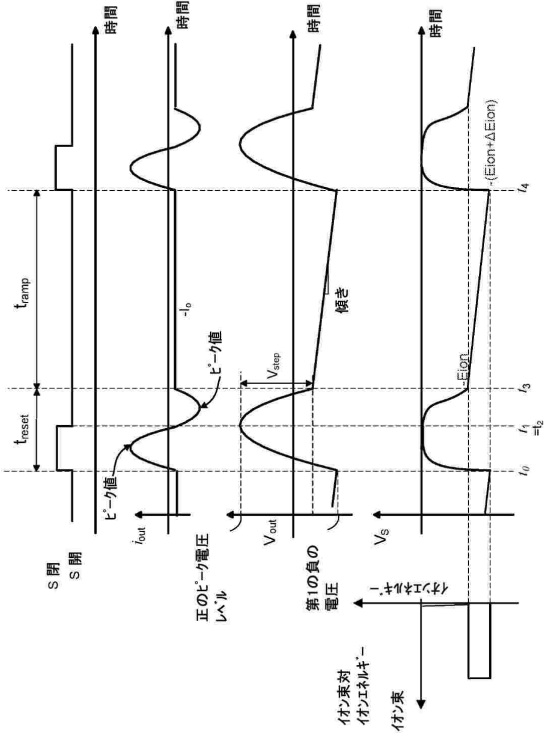


FIG. 9

10

20

30

40

50

【図 10】

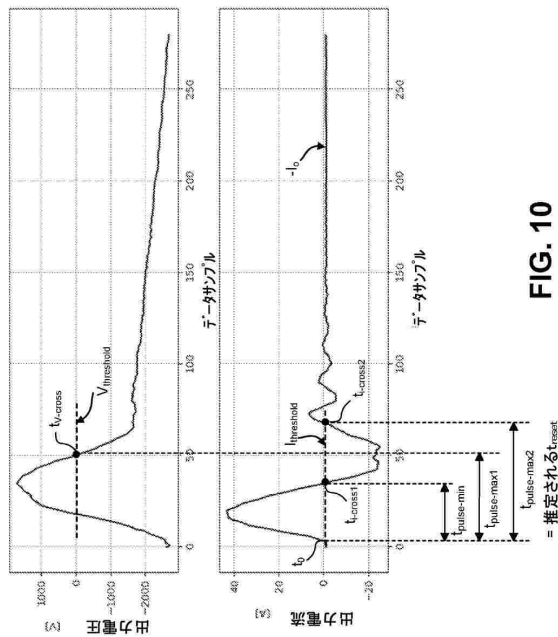


FIG. 10

【図 11】

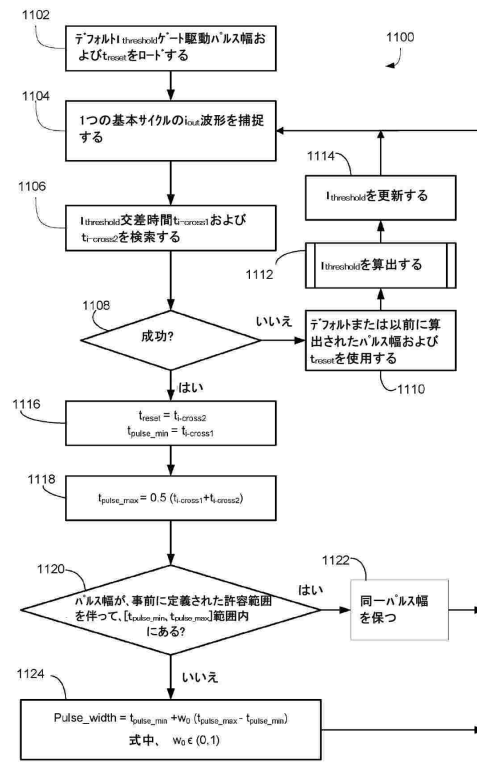


FIG. 11

【図 12】

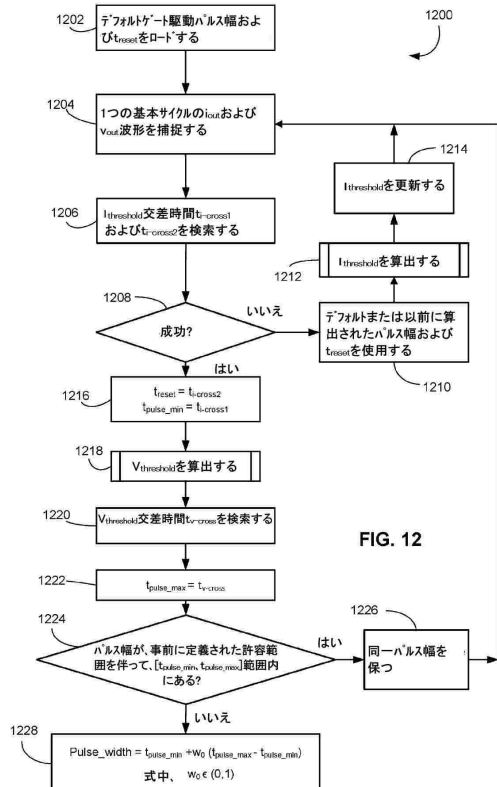


FIG. 12

【図 13】

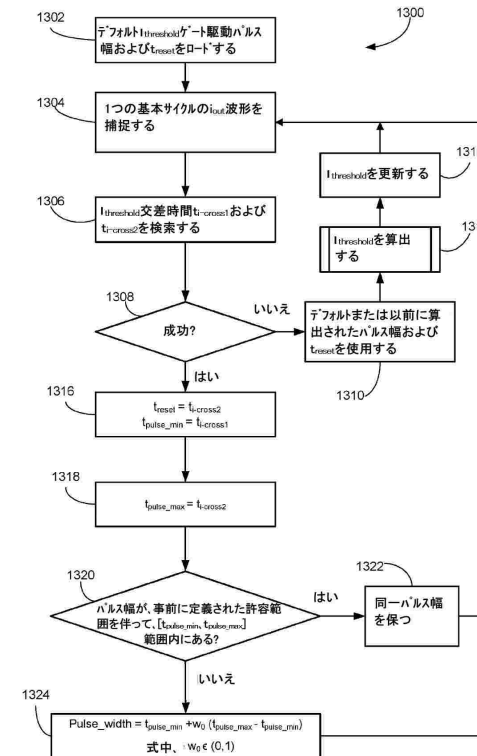


FIG. 13

【図 1 4】

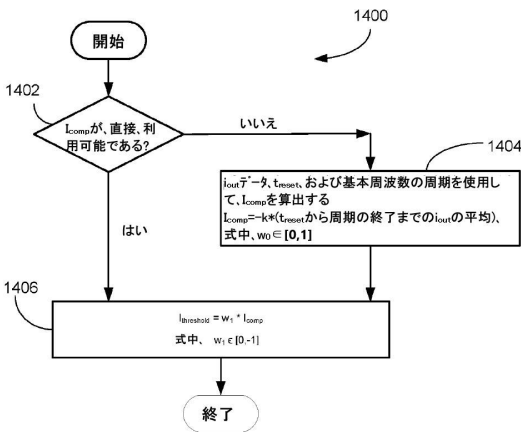


FIG. 14

【図 1 5】

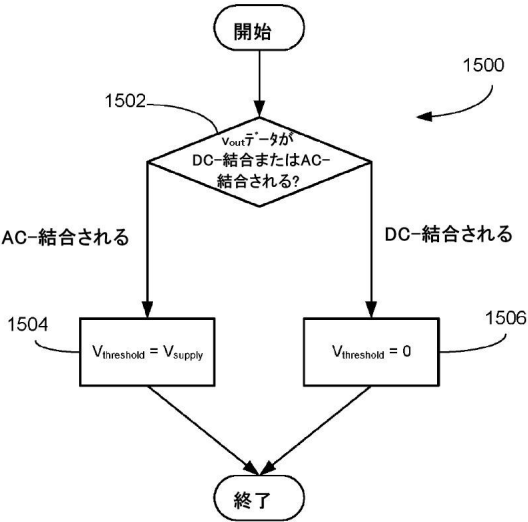


FIG. 15

【図 1 6】

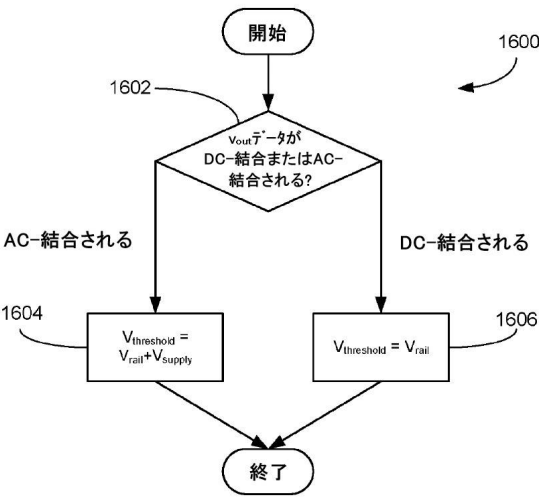


FIG. 16

【図 1 7】

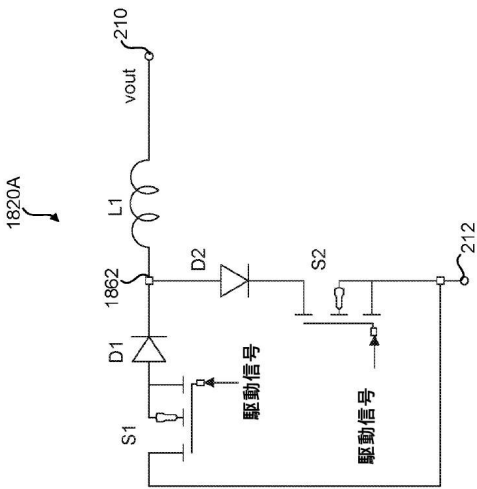


FIG. 17

【図 18】

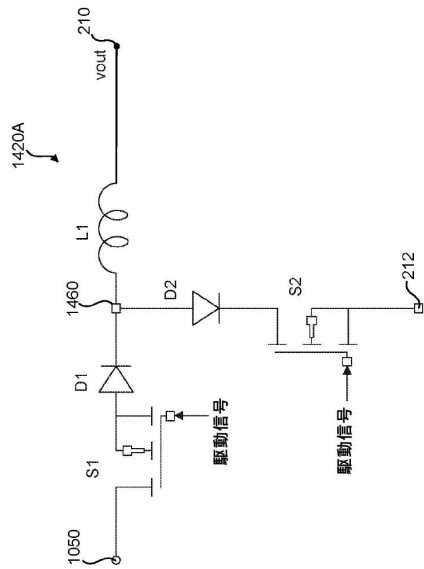


FIG. 18

【図 19】

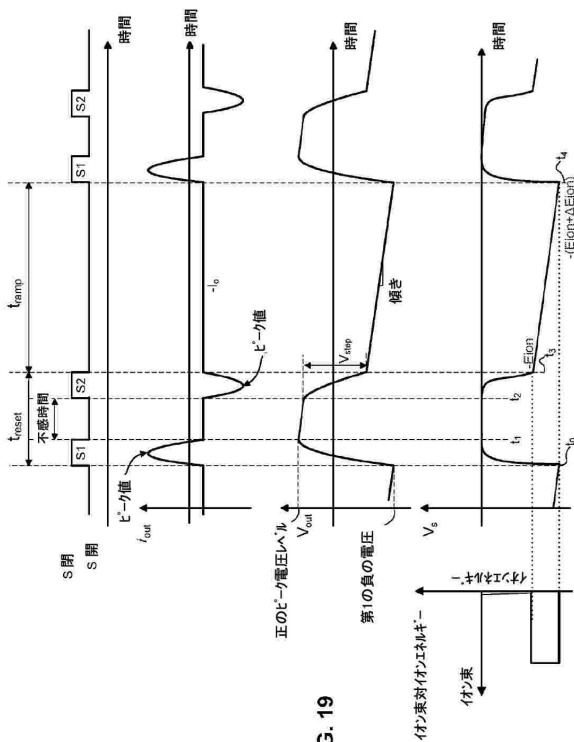


FIG. 19

【図 20】

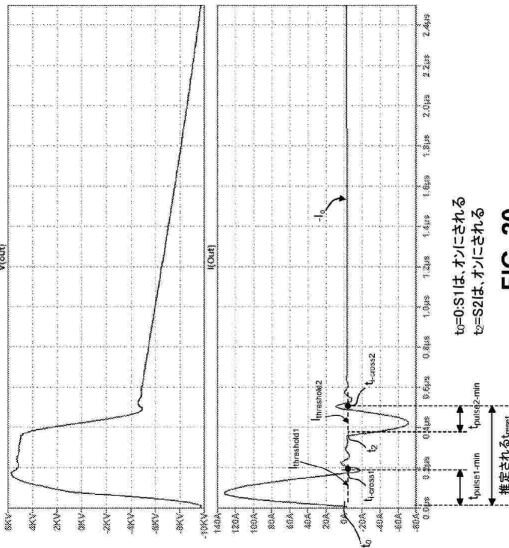


FIG. 20

【図 21】

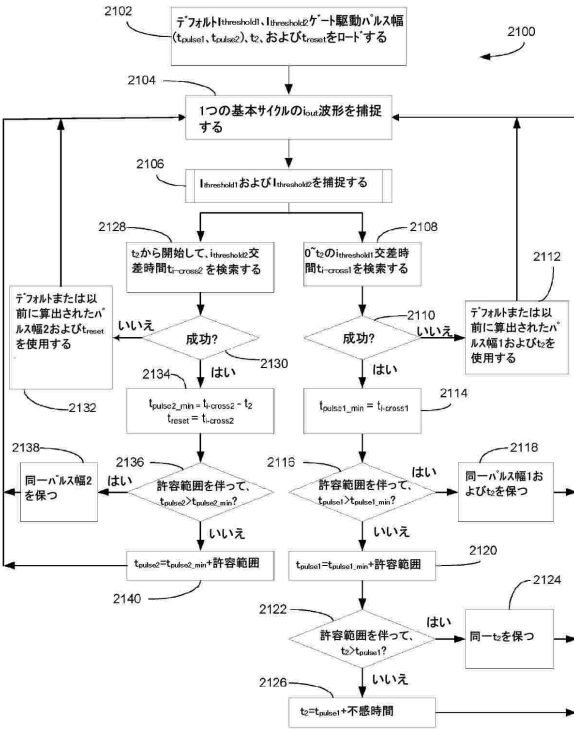


FIG. 21

【図 2 2】

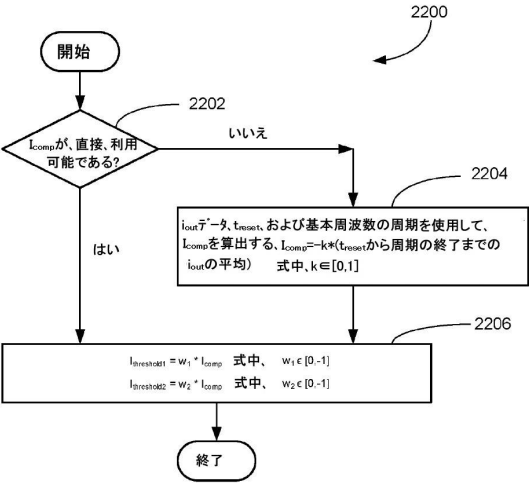


FIG. 22

【図 2 3】

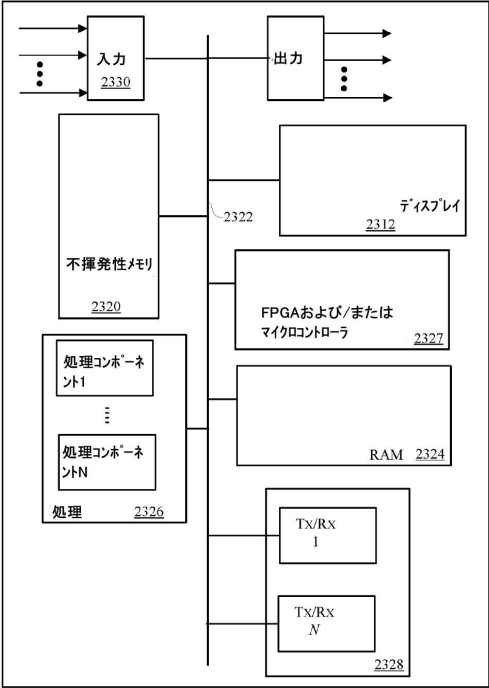


FIG. 23

10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2022/053709

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01J37/32 H03K3/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01J H03K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2021/351007 A1 (CARTER DANIEL [US]) 11 November 2021 (2021-11-11) figures 1, 2, 12, 14, 21, 51, 58 paragraph [0004] - paragraph [0008] paragraph [0098] - paragraph [0112] paragraph [0254] paragraph [0264] - paragraph [0266] paragraph [0272] paragraph [0294] - paragraph [0295] -----	1-32
A	US 2011/259851 A1 (BROUX VICTOR [US] ET AL) 27 October 2011 (2011-10-27) figures 1-16 paragraph [0037] - paragraph [0093] ----- -/-	1-32

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 March 2023

Date of mailing of the international search report

04/04/2023

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hochstrasser, M

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2022/053709

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2021/013006 A1 (NGUYEN HIEN MINH [US] ET AL) 14 January 2021 (2021-01-14) figures 2, 8-14, 16A-16F paragraph [0005] - paragraph [0006] paragraph [0044] paragraph [0052] - paragraph [0058] paragraph [0061]; claim 67 -----	1-32
A	US 10 811 229 B2 (ADVANCED ENERGY IND INC [US]) 20 October 2020 (2020-10-20) figures 6, 7 column 5, line 20 - column 5, line 37 -----	1-32
A	US 2019/157043 A1 (SHAW DENIS [US] ET AL) 23 May 2019 (2019-05-23) figures 6-9, 10A-10C, 11A-11C paragraph [0047] - paragraph [0057] -----	1-32

1

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

page 2 of 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2022/053709

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2021351007 A1	11-11-2021	EP 4150657 A1	22-03-2023
		KR 20230020420 A	10-02-2023
		TW 202147753 A	16-12-2021
		US 2021351007 A1	11-11-2021
		WO 2021231035 A1	18-11-2021
US 2011259851 A1	27-10-2011	CN 103155717 A	12-06-2013
		CN 107574416 A	12-01-2018
		EP 2612544 A1	10-07-2013
		JP 5899217 B2	06-04-2016
		JP 6181792 B2	16-08-2017
		JP 2013538457 A	10-10-2013
		JP 2016149560 A	18-08-2016
		KR 20130108315 A	02-10-2013
		US 2011259851 A1	27-10-2011
		US 2015144596 A1	28-05-2015
		WO 2012030500 A1	08-03-2012
US 2021013006 A1	14-01-2021	CN 114222958 A	22-03-2022
		JP 2022541004 A	21-09-2022
		KR 20220031713 A	11-03-2022
		TW 202109611 A	01-03-2021
		US 2021013006 A1	14-01-2021
US 10811229 B2	20-10-2020	WO 2021011450 A1	21-01-2021
		CN 111788654 A	16-10-2020
		EP 3711082 A1	23-09-2020
		JP 2021503702 A	12-02-2021
		KR 20200100643 A	26-08-2020
		TW 201923820 A	16-06-2019
		US 2019157041 A1	23-05-2019
		US 2019157042 A1	23-05-2019
		US 2019172685 A1	06-06-2019
		US 2021074513 A1	11-03-2021
		WO 2019099937 A1	23-05-2019
US 2019157043 A1	23-05-2019	CN 111788655 A	16-10-2020
		EP 3711081 A1	23-09-2020
		JP 2021503701 A	12-02-2021
		KR 20200100642 A	26-08-2020
		TW 201933422 A	16-08-2019
		TW 202218487 A	01-05-2022
		US 2019157043 A1	23-05-2019
		US 2021005428 A1	07-01-2021
		US 2022285131 A1	08-09-2022
		WO 2019099925 A1	23-05-2019

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,
ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,C
O,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,I
R,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX
,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,
SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

弁護士 山本 健策

(72)発明者 シン, マニーシュ クマール

アメリカ合衆国 コロラド 80525, フォート コリンズ, グースベリー レーン 2409,
307

(72)発明者 グエン, ヒエン ミン

アメリカ合衆国 コロラド 80503, ロングモント, サンフラワー サークル 3646

F ターム (参考) 2G084 AA02 AA03 AA05 AA07 CC12 CC33 DD02 DD15 DD38 DD55

HH02 HH06 HH15 HH20 HH21 HH30 HH56

5F004 BA09 BA20 BB12 BB13 BB14 CA03 CA06