

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7195810号
(P7195810)

(45)発行日 令和4年12月26日(2022.12.26)

(24)登録日 令和4年12月16日(2022.12.16)

(51)国際特許分類	F I
H 0 5 H 1/46 (2006.01)	H 0 5 H 1/46 R
H 0 1 L 21/3065(2006.01)	H 0 5 H 1/46 M
C 2 3 C 14/54 (2006.01)	H 0 1 L 21/302 1 0 5 Z
C 2 3 C 16/505(2006.01)	C 2 3 C 14/54 B
	C 2 3 C 16/505
請求項の数 44 外国語出願 (全35頁)	

(21)出願番号	特願2018-152806(P2018-152806)	(73)特許権者	592010081 ラム リサーチ コーポレーション L A M R E S E A R C H C O R P O R A T I O N アメリカ合衆国, カリフォルニア 9 4 5 3 8 , フレモント, クッシング パー クウェイ 4 6 5 0
(22)出願日	平成30年8月15日(2018.8.15)	(74)代理人	110000028 弁理士法人明成国際特許事務所
(65)公開番号	特開2019-53978(P2019-53978A)	(72)発明者	アレクセイ・マラクタノフ アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パー クウェイ, 4 6 5 0
(43)公開日	平成31年4月4日(2019.4.4)	(72)発明者	リン・ジャオ アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4
審査請求日	令和3年8月11日(2021.8.11)		最終頁に続く
(31)優先権主張番号	15/703,280		
(32)優先日	平成29年9月13日(2017.9.13)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 イオンの方向性を増大させるためのマルチレジームプラズマウエハ処理

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるための方法であって、第1状態、第2状態、および、第3状態を有するデジタルパルス信号を受信し、前記デジタルパルス信号が前記第3状態から前記第1状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第3状態から前記第1状態へ遷移していると判定した場合に、前記第1状態中の電力レベルを有するkHzRF信号を生成するように、キロヘルツ(kHz)高周波(RF)発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第3状態から前記第1状態へ遷移していると判定した場合に、前記第1状態中の電力レベルを有するMHzRF信号を生成するように、メガヘルツ(MHz)RF発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第1状態から前記第2状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第1状態から前記第2状態へ遷移していると判定した場合に、前記第2状態中の電力レベルを有する前記kHzRF信号を生成するように、前記kHzRF発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第1状態から前記第2状態へ遷移していると判定した場合に、前記第2状態中の電力レベルを有する前記MHzRF信号を生成するように、前記MHzRF発生器を制御し、前記第2状態中の前記MHzRF信号の前記電力レベルは、

10

20

前記第 1 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 3 状態中の電力レベルを有する前記 kHz RF 信号を生成するように、前記 kHz RF 発生器を制御し、前記第 2 状態中に前記スタック層の前記底部に向かう前記プラズマの前記イオンの前記方向性を増大させるために、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも高く、

10

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 3 状態中の電力レベルを有する前記 MHz RF 信号を生成するように、前記 MHz RF 発生器を制御すること、
を備える、方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、前記スタック層の前記底部への前記プラズマの前記イオンの前記方向性の増大を容易にするために、前記第 2 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、0 である、方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の方法であって、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、方法。

20

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法であって、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルと同じである、方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、方法。

30

【請求項 7】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、クロック信号を受信することを備え、前記第 1 状態は前記クロック信号の第 1 期間中に起き、前記第 2 状態は前記クロック信号の第 2 期間中に起き、前記第 3 状態は前記クロック信号の第 3 期間中に起き、前記第 3 期間は、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 1 期間よりも長く、前記第 2 期間は、前記マスク層の前記損失の低減を容易にするために、前記第 1 期間よりも短く、前記第 2 期間は、前記イオンの前記方向性の増大を容易にする、方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、前記 kHz RF 発生器は、400 kHz RF 発生器であり、前記 MHz RF 発生器は、60 MHz RF 発生器である、方法。

40

【請求項 9】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、繰り返すクロックサイクルを有するクロック信号を受信し、前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態は、前記クロックサイクル中に起き、前記クロックサイクルの繰り返しと共に繰り返す、方法。

【請求項 10】

スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるためのシステムであって、

kHz RF 信号を生成するよう構成されたキロヘルツ高周波 (RF) 発生器と、

50

M H z R F 信号を生成するよう構成されたメガヘルツ (M H z) R F 発生器と、
前記 k H z R F 発生器および前記 M H z R F 発生器に接続されているインピーダンス整合回路網であって、前記 k H z R F 信号および前記 M H z R F 信号を受信して、変調された R F 信号を生成するよう構成されている、インピーダンス整合回路網と、

前記インピーダンス整合回路網に接続されているプラズマチャンバであって、前記変調された R F 信号を受信するよう構成されている、プラズマチャンバと、
を備え、

前記 k H z R F 発生器は、

第 1 状態、第 2 状態、および、第 3 状態を有するデジタルパルス信号を受信し、

前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移しているか否かを判定し、

10

前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 1 状態中の電力レベルを有する前記 k H z R F 信号を生成するように、前記 k H z R F 発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 2 状態中の電力レベルを有する前記 k H z R F 信号を生成するように、前記 k H z R F 発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移しているか否かを判定し、

20

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 3 状態中の電力レベルを有する前記 k H z R F 信号を生成するように、前記 k H z R F 発生器を制御するよう構成されており、

前記第 2 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルよりも高く、

前記 M H z R F 発生器は、

第 1 状態、第 2 状態、および、第 3 状態を有する前記デジタルパルス信号を受信し、

前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移しているか否かを判定し、

30

前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 1 状態中の電力レベルを有する前記 M H z R F 信号を生成するように、前記 M H z R F 発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 2 状態中の電力レベルを有する前記 M H z R F 信号を生成するように、前記 M H z R F 発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移しているか否かを判定し、

40

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 3 状態中の電力レベルを有する前記 M H z R F 信号を生成するように、前記 M H z R F 発生器を制御するよう構成されている、システム。

【請求項 1 1】

請求項 1 0 に記載のシステムであって、前記第 2 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルは、0 である、システム。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載のシステムであって、前記第 3 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルよりも高い、システ

50

ム。

【請求項 13】

請求項 10 に記載のシステムであって、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、システム。

【請求項 14】

請求項 10 に記載のシステムであって、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルと同じである、システム。

【請求項 15】

請求項 10 に記載のシステムであって、前記第 1 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、システム。

10

【請求項 16】

請求項 10 に記載のシステムであって、前記 kHz RF 発生器および前記 MHz RF 発生器の各々は、クロック信号を受信するよう構成されており、前記第 1 状態は前記クロック信号の第 1 期間中に起き、前記第 2 状態は前記クロック信号の第 2 期間中に起き、前記第 3 状態は前記クロック信号の第 3 期間中に起き、前記第 3 期間は前記第 1 期間よりも長く、前記第 1 期間は前記第 2 期間よりも長い、システム。

【請求項 17】

請求項 10 に記載のシステムであって、前記 kHz RF 発生器は、400 kHz RF 発生器であり、前記 MHz RF 発生器は、60 MHz RF 発生器である、システム。

20

【請求項 18】

請求項 10 に記載のシステムであって、前記 kHz RF 発生器および前記 MHz RF 発生器の各々は、繰り返すクロックサイクルを有するクロック信号を受信するよう構成されており、前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態は、前記クロックサイクル中に起き、前記クロックサイクルの繰り返しと共に繰り返す、システム。

【請求項 19】

スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるための方法であって、第 1 状態中の電力レベル、第 2 状態中の電力レベル、および、第 3 状態中の電力レベルを有するキロヘルツ (kHz) 高周波 (RF) 信号を生成するように、kHz RF 発生器を制御し、

30

前記第 1 状態中の電力レベル、前記第 2 状態中の電力レベル、および、前記第 3 状態中の電力レベルを有するメガヘルツ (MHz) RF 信号を生成するように、MHz RF 発生器を制御し、

前記第 1 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、

前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中に 0 から所定の範囲内にあり、

前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高く、

40

前記スタック層の前記底部に向かう前記プラズマの前記イオンの前記方向性を増大させるために、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも高いこと、

を備える、方法。

【請求項 20】

請求項 19 に記載の方法であって、さらに、クロック信号を受信することを備え、前記第 1 状態は前記クロック信号の第 1 期間中に起き、前記第 2 状態は前記クロック信号の第

50

2 期間中に起き、前記第 3 状態は前記クロック信号の第 3 期間中に起き、前記第 2 期間は前記第 1 期間に連続的であり、前記第 3 期間は前記第 2 期間に連続的であり、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 期間は前記第 1 期間よりも長く、前記マスク層の前記損失の低減を容易にするために、前記第 2 期間は前記第 1 期間よりも短く、前記第 2 期間は、前記イオンの前記方向性の増大を容易にする、方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 9 に記載の方法であって、前記第 2 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、第 2 状態中の 2 状態の R F 信号の電力レベルよりも高く、前記 2 状態の R F 信号は、第 1 状態および前記第 2 状態を有する、方法。

【請求項 2 2】

請求項 1 9 に記載の方法であって、前記 k H z R F 信号は、前記 M H z R F 信号が前記第 1 状態中の前記電力レベルから前記第 2 状態中の前記電力レベルへ遷移すると同時に、前記第 1 状態中の前記電力レベルから前記第 2 状態中の前記電力レベルへ遷移し、前記 k H z R F 信号は、前記 M H z R F 信号が前記第 2 状態中の前記電力レベルから前記第 3 状態中の前記電力レベルへ遷移すると同時に、前記第 2 状態中の前記電力レベルから前記第 3 状態中の前記電力レベルへ遷移する、方法。

【請求項 2 3】

請求項 1 9 に記載の方法であって、基板の前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルと同じである、方法。

【請求項 2 4】

請求項 1 9 に記載の方法であって、前記第 2 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態および前記第 3 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルよりも高い、方法。

【請求項 2 5】

請求項 1 9 に記載の方法であって、前記 k H z R F 発生器および前記 M H z R F 発生器は、インピーダンス整合回路網を介してプラズマチャンバの電極に接続されている、方法。

【請求項 2 6】

請求項 1 9 に記載の方法であって、前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態は、クロック信号と同期して繰り返す、方法。

【請求項 2 7】

請求項 1 9 に記載の方法であって、前記 k H z R F 発生器は、400 k H z R F 発生器であり、前記 M H z R F 発生器は、60 M H z R F 発生器である、方法。

【請求項 2 8】

スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるためのシステムであって、

第 1 状態中の電力レベル、第 2 状態中の電力レベル、および、第 3 状態中の電力レベルを有するキロヘルツ高周波 (R F) 信号を生成するよう構成されている k H z R F 発生器と、

前記第 1 状態中の電力レベル、前記第 2 状態中の電力レベル、および、前記第 3 状態中の電力レベルを有するメガヘルツ (M H z) R F 信号を生成するよう構成されている M H z R F 発生器と、

前記 k H z R F 発生器および前記 M H z R F 発生器に接続されているインピーダンス整合回路網であって、前記 k H z R F 信号および前記 M H z R F 信号を受信して、変調された R F 信号を生成するよう構成されている、インピーダンス整合回路網と、

前記インピーダンス整合回路網に接続されているプラズマチャンバであって、前記変調された R F 信号を受信するよう構成されている、プラズマチャンバと、
を備え、

前記 M H z R F 発生器の前記電力レベルは、前記第 2 状態中に 0 から所定の範囲内 にあり、

10

20

30

40

50

前記第 3 状態中の前記 MHz RF 発生器の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 MHz RF 発生器の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 発生器の前記電力レベルよりも高く、前記スタック層の前記底部に向かう前記プラズマの前記イオンの前記方向性を増大させるために、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、システム。

【請求項 29】

請求項 28 に記載のシステムであって、前記第 1 状態はクロック信号の第 1 期間中に起き、前記第 2 状態は前記クロック信号の第 2 期間中に起き、前記第 3 状態は前記クロック信号の第 3 期間中に起き、前記第 2 期間は前記第 1 期間に連続的であり、前記第 3 期間は前記第 2 期間に連続的であり、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 期間は前記第 1 期間よりも長く、前記マスク層の前記損失の低減を容易にするために、前記第 2 期間は前記第 1 期間よりも短く、前記第 2 期間は、前記イオンの前記方向性の増大を容易にする、システム。

10

【請求項 30】

請求項 28 に記載のシステムであって、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、第 2 状態中の 2 状態の RF 信号の電力レベルよりも高く、前記 2 状態の RF 信号は、第 1 状態および前記第 2 状態を有する、システム。

20

【請求項 31】

請求項 28 に記載のシステムであって、前記 kHz RF 信号は、前記 MHz RF 信号が前記第 1 状態中の前記電力レベルから前記第 2 状態中の前記電力レベルへ遷移すると同時に、前記第 1 状態中の前記電力レベルから前記第 2 状態中の前記電力レベルへ遷移し、前記 kHz RF 信号は、前記 MHz RF 信号が前記第 2 状態中の前記電力レベルから前記第 3 状態中の前記電力レベルへ遷移すると同時に、前記第 2 状態中の前記電力レベルから前記第 3 状態中の前記電力レベルへ遷移する、システム。

【請求項 32】

請求項 28 に記載のシステムであって、基板の前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルと同じである、システム。

30

【請求項 33】

請求項 28 に記載のシステムであって、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態および前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、システム。

【請求項 34】

請求項 28 に記載のシステムであって、前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態は、クロック信号と同期して繰り返す、システム。

【請求項 35】

請求項 28 に記載のシステムであって、前記 kHz RF 発生器は、400 kHz RF 発生器であり、前記 MHz RF 発生器は、60 MHz RF 発生器である、システム。

40

【請求項 36】

スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるためのコントローラシステムであって、

プロセッサであって、

第 1 状態中の電力レベル、第 2 状態中の電力レベル、および、第 3 状態中の電力レベルを有するキロヘルツ (kHz) 高周波 (RF) 信号を生成するように、kHz RF 発生器を制御し、

前記第 1 状態中の電力レベル、前記第 2 状態中の電力レベル、および、前記第 3 状態中の電力レベルを有するメガヘルツ (MHz) RF 信号を生成するように、MHz RF 発

50

生器を制御するよう構成されているプロセッサと、

前記第 1 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、

前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中に 0 から所定の範囲内にあり、

前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高く、

前記スタック層の前記底部に向かう前記プラズマの前記イオンの前記方向性を増大させるために、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも高く、

前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 発生器の前記電力レベルを格納し、前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態中の前記 MHz RF 発生器の前記電力レベルを格納するための前記プロセッサに接続されているメモリデバイスと、

を備える、コントローラシステム。

【請求項 37】

請求項 36 に記載のコントローラシステムであって、前記プロセッサはクロック信号を受信するよう構成され、前記第 1 状態は前記クロック信号の第 1 期間中に起き、前記第 2 状態は前記クロック信号の第 2 期間中に起き、前記第 3 状態は前記クロック信号の第 3 期間中に起き、前記第 2 期間は前記第 1 期間に連続的であり、前記第 3 期間は前記第 2 期間に連続的であり、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 期間は前記第 1 期間よりも長く、前記マスク層の前記損失の低減を容易にするために、前記第 2 期間は前記第 1 期間よりも短く、前記第 2 期間は、前記イオンの前記方向性の増大を容易にする、コントローラシステム。

【請求項 38】

請求項 36 に記載のコントローラシステムであって、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、第 2 状態中の 2 状態の RF 信号の電力レベルよりも高く、前記 2 状態の RF 信号は、第 1 状態および前記第 2 状態を有する、コントローラシステム。

【請求項 39】

請求項 36 に記載のコントローラシステムであって、前記 kHz RF 信号は、前記 MHz RF 信号が前記第 1 状態中の前記電力レベルから前記第 2 状態中の前記電力レベルへ遷移すると同時に、前記第 1 状態中の前記電力レベルから前記第 2 状態中の前記電力レベルへ遷移し、前記 kHz RF 信号は、前記 MHz RF 信号が前記第 2 状態中の前記電力レベルから前記第 3 状態中の前記電力レベルへ遷移すると同時に、前記第 2 状態中の前記電力レベルから前記第 3 状態中の前記電力レベルへ遷移する、コントローラシステム。

【請求項 40】

請求項 36 に記載のコントローラシステムであって、基板の前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルと同じである、コントローラシステム。

【請求項 41】

請求項 36 に記載のコントローラシステムであって、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態および前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、コントローラシステム。

【請求項 42】

請求項 36 に記載のコントローラシステムであって、前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態は、クロック信号と同期して繰り返す、コントローラシステム。

【請求項 43】

請求項 36 に記載のコントローラシステムであって、前記 kHz RF 発生器は、400

10

20

30

40

50

k H z R F 発生器であり、前記 M H z R F 発生器は、60 M H z R F 発生器である、コントローラシステム。

【請求項 44】

請求項 36 に記載のコントローラシステムであって、前記 k H z R F 発生器および前記 M H z R F 発生器は、インピーダンス整合回路網を介してプラズマチャンバの電極に接続されている、コントローラシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本実施形態は、イオンの方向性を増大させるためのマルチレジームプラズマウエハ処理に関する。

10

【背景技術】

【0002】

一部のプラズマ処理システムでは、高周波 (R F) 信号が、プラズマチャンバ内の電極に供給される。 R F 信号は、プラズマチャンバ内でプラズマを生成するために用いられる。プラズマは、様々な操作、例えば、下側電極上に設置された基板の洗浄、基板のエッチングなどに用いられる。プラズマを用いた基板処理中、 R F 信号は、2つの状態の間で遷移する。

【0003】

本開示に記載の実施形態は、このような背景の下生まれたものである。

20

【発明の概要】

【0004】

本開示の実施形態は、イオンの方向性を増大させるためのマルチレジームプラズマウエハ処理のためのシステム、装置、方法、および、コンピュータプログラムを提供する。本実施形態は、処理、装置、システム、デバイス、または、コンピュータ読み取り可能な媒体に記録された方法など、種々の形態で実施できることを理解されたい。以下に、いくつかの実施形態を記載する。

【0005】

いくつかの実施形態において、マルチプラズマレジームスキームが記載されている。マルチプラズマレジームスキームでは、状態 S 1 中に、高密度および高イオンエネルギーを有するプラズマが、プラズマチャンバ内で生成または維持される。例えば、状態 S 1 中に、x キロヘルツ (k H z) 高周波 (R F) 発生器が、15000ワットの電力レベルを有する電力を供給し、y メガヘルツ (M H z) R F 発生器が、5000ワットの電力レベルを有する電力を供給する。さらに、状態 S 2 中に、x k H z R F 発生器は、低周波数電力 (3000ワット ~ 15000ワットの範囲の電力レベルを有する電力など) を供給する。y M H z R F 発生器は、状態 S 2 中に、全く電力を供給しないか、または、最少量の電力を供給する。例示すると、y M H z R F 発生器は、状態 S 2 中にオフにされる。状態 S 2 は、狭いイオン角度分布 (I A D) を有する高密度イオン束を生成する。より方向性の高い高エネルギーイオン束が、状態 S 2 中に、デバイスのコンタクトホールのエッチングプロファイルを改善し、クリティカルディメンション (C D) (マスクネックなど) を大きくし、イオン角度分布のプロファイルの垂直方向性を増大させ、エッチングされるウエハのスタック層の底面へのイオン束を増やす。底面へのイオン束の量が増えることで、エッチング速度が速くなる。状態 S 2 は、高エネルギーイオン束を有するので、スタック層の上部に蒸着されたマスクの損失を加速させる。状態 S 3 中に、ポリマが、スタック層に蒸着され、マスクの損失の速度が、状態 S 2 と比べて低減される。

30

40

【0006】

いくつかの実施形態において、スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるための方法が記載されている。方法は、デジタルパルス信号を受信することを備える。デジタルパルス信号は、第 1 状態、第 2 状態、および、第 3 状態を有する。方法は、さらに、デジタルパルス信号が第 3 状態から第 1 状態へ遷移しているか否かを判定し

50

、デジタルパルス信号が第3状態から第1状態へ遷移していると判定した場合に、第1状態中の電力レベルを有するkHz RF信号を生成するように、kHz RF発生器を制御することを備える。方法は、デジタルパルス信号が第3状態から第1状態へ遷移していると判定した場合に、第1状態中の電力レベルを有するMHz RF信号を生成するように、MHz RF発生器を制御すること備える。方法は、さらに、デジタルパルス信号が第1状態から第2状態へ遷移しているか否かを判定し、デジタルパルス信号が第1状態から第2状態へ遷移していると判定した場合に、第2状態中の電力レベルを有するkHz RF信号を生成するように、kHz RF発生器を制御すること、を備える。方法は、デジタルパルス信号が第1状態から第2状態へ遷移していると判定した場合に、第2状態中の電力レベルを有するMHz RF信号を生成するように、MHz RF発生器を制御することを備える。第2状態中のMHz RF信号の電力レベルは、第1状態中のMHz RF信号の電力レベルよりも低い。方法は、さらに、デジタルパルス信号が第2状態から第3状態へ遷移しているか否かを判定し、デジタルパルス信号が第2状態から第3状態へ遷移していると判定した場合に、第3状態中の電力レベルを有するkHz RF信号を生成するように、kHz RF発生器を制御することを備える。スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるために、第2状態中のkHz RF信号の電力レベルは、第1状態中のkHz RF信号の電力レベルよりも低く、第2状態中のkHz RF信号の電力レベルは、第3状態中のkHz RF信号の電力レベルよりも高い。方法は、デジタルパルス信号が第2状態から第3状態へ遷移していると判定した場合に、第3状態中の電力レベルを有するMHz RF信号を生成するように、MHz RF発生器を制御することを備える。

10

20

【0007】

イオンの方向性を増大させるための本明細書に記載のマルチレジームプラズマウエハ処理のいくつかの利点は、マスクの形状を制御するため、IADを制御することによってコンタクトエッチングプロファイルを制御するため、および、エッチング速度またはスループットを増大させるために、x kHz RF発生器の状態S2が利用されることを含む。例えば、x kHz RF発生器の状態S2中、2状態のRF発生器の低状態中の電力レベルに比べて、kHz RF発生器によって供給される電力レベルが増大する。電力レベルの増大は、エッチング速度またはスループットを増大させると同時に、スタック層内に形成された底面に入射するイオンの垂直方向性を増大させる。

【0008】

添付の図面を参照して行う以下の詳細な説明から、別の態様が明らかになる。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

実施形態は、添付の図面に関連して行う以下の説明を参照することによって最も良好に理解できる。

【0010】

【図1】複数状態のプラズマ処理を実行してイオンの方向性を増大させるためのプラズマツールの一実施形態を示すブロック図。

【0011】

【図2】キロヘルツ(kHz) RF発生器(図1)によって生成された高周波(RF)信号の3つの状態S1~S3を説明すると共に、メガヘルツ(MHz) RF発生器によって生成されたRF信号の3つの状態S1~S3を説明するためのグラフの一実施形態を示す図。

40

【0012】

【図3】クロック信号、パルス信号、kHz RF発生器によって生成されるRF信号、および、MHz RF発生器によって生成されるRF信号の間の同期を説明するための複数のグラフを示す図。

【0013】

【図4A】プラズマチャンバ内で形成されたプラズマのイオンのエネルギー分布を電子ボルト(eV)で示したグラフ。

50

【 0 0 1 4 】

【 図 4 B 】 プラズマチャンバ内で形成されたプラズマのイオンのエネルギー分布を示したグラフ。

【 0 0 1 5 】

【 図 5 A 】 図 1 を参照して本明細書に記載した方法が適用されない場合の基板の一実施形態を示す図。

【 0 0 1 6 】

【 図 5 B 】 図 1 を参照して本明細書に記載した方法が適用された場合の基板の一実施形態を示す図。

【 0 0 1 7 】

【 図 6 】 4 0 0 k H z R F 発生器を図 1 のプラズマツール 1 0 0 で用いた場合に、5 0 k H z R F 発生器、1 0 0 k H z R F 発生器、2 M H z R F 発生器、または、2 7 M H z R F 発生器を用いた場合と比べて、イオン角度分布 (I A D) が最も狭いことを説明するためのグラフの一実施形態を示す図。

【 0 0 1 8 】

【 図 7 】 4 0 0 k H z R F 発生器をプラズマツールで用いた場合に、5 0 k H z R F 発生器、1 0 0 k H z R F 発生器、2 M H z R F 発生器、または、2 7 M H z R F 発生器が 4 0 0 k H z R F 発生器の代わりに用いられた場合と比べて、同じ量の正規化されたイオン束のイオンが高アスペクト比の達成を容易にすることを説明するためのグラフの一実施形態を示す図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 9 】

以下の実施形態は、複数状態のプラズマ処理を実行してイオンの方向性を増大させるためのシステムおよび方法を記載する。本実施形態は、これらの具体的な詳細事項の一部またはすべてがなくとも実施可能であることが明らかである。また、本実施形態が不必要に不明瞭となることを避けるため、周知の処理動作の詳細な説明は省略した。

【 0 0 2 0 】

図 1 は、複数状態のプラズマ処理を実行してイオンの方向性を増大させるためのプラズマツール 1 0 0 の一実施形態を示すブロック図である。プラズマツール 1 0 0 は、x キロヘルツ (k H z) の高周波 (R F) 発生器、y メガヘルツ (M H z) R F 発生器、ホストコンピュータ 1 0 4 、インピーダンス整合回路網 (I M N) 1 0 6 、および、プラズマチャンバ 1 0 8 を備える。x k H z R F 発生器は、4 0 0 k H z の動作周波数を有する 4 0 0 キロヘルツ (k H z) R F 発生器である。例えば、x k H z R F 発生器は、3 8 0 k H z ~ 4 2 0 k H z の範囲の周波数で動作する。別の例として、x k H z R F 発生器は、3 7 0 k H z ~ 4 3 0 k H z の範囲の周波数で動作する。y M H z R F 発生器の例は、2 M H z 、1 3 . 5 6 M H z 、2 7 M H z 、または、6 0 M H z R F 発生器を含む。ホストコンピュータ 1 0 4 の例は、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、スマートフォン、または、タブレットなどを含む。

【 0 0 2 1 】

x k H z R F 発生器は、デジタル信号プロセッサ (D S P) 1 1 0 、電力コントローラ P W R S 1 x 、別の電力コントローラ P W R S 2 x 、さらに別の電力コントローラ P W R S 3 x 、自動周波数調整器 (A F T) A F T S 1 x 、別の自動周波数調整器 A F T S 2 x 、さらに別の自動周波数調整器 A F T S 3 x 、R F 電源 P s x 、および、ドライバシステム 1 2 0 を備える。本明細書で用いられる R F 電源の例は、R F オシレータを含む。例を挙げると、R F 電源は、高周波の振動信号 (正弦波など) を生成する電子回路である。別の例として、R F 電源は、水晶振動子の近くまたはその上の電極に電圧が印加された時に所定の周波数で変形される水晶振動子を有する水晶発振器である。本明細書で用いられるプロセッサは、特定用途向け集積回路 (A S I C) 、プログラム可能論理デバイス (P L D) 、中央処理装置 (C P U) 、マイクロプロセッサ、または、マイクロコントローラである。本明細書で用いられるコントローラは、特定用途向け集積回路 (A S I C) 、プロ

10

20

30

40

50

グラム可能論理デバイス（PLD）、中央処理装置（CPU）、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、または、プロセッサである。本明細書で用いられるドライバシステムの例は、1または複数のトランジスタを含む。

【0022】

プラズマチャンバ108は、チャック126と、チャック126に対向する上側電極128とを備える。上側電極128は、接地電位に接続される。プラズマチャンバ108は、さらに、他の構成要素（図示せず）、すなわち、上側電極128を取り囲む上側電極延長部、チャック126を取り囲む下側誘電体リング、下側誘電体リングを取り囲む下側電極延長部、上側プラズマ排除区域（PEZ）リング、下側PEZリングなど、を備える。上側電極128は、下側電極を備えたチャック126の反対側に向かい合って配置される。例えば、チャック126は、下側電極の上部に取り付けられたセラミック層と、下側電極の底部に取り付けられた設備プレートとを備える。下側電極は、金属（例えば、陽極酸化アルミニウム、アルミニウム合金など）で形成される。また、上側電極128も、金属（例えば、アルミニウム、アルミニウム合金など）で形成される。

10

【0023】

基板130（例えば、半導体ウエハ）が、チャック126の上面に支持される。集積回路（例えば、特定用途向け集積回路（ASIC）、プログラム可能論理デバイス（PLD）など）が、基板130上に製造され、それらの集積回路は、様々なデバイス、例えば、携帯電話、タブレット、スマートフォン、コンピュータ、ラップトップ、ネットワーク装置などで利用される。

20

【0024】

上側電極128は、中央ガス供給部（図示せず）に接続された1または複数の孔を備える。中央ガス供給部は、ガス供給源（図示せず）から1または複数の処理ガスを受け入れる。1または複数の処理ガスの例としては、酸素含有ガス（ O_2 など）が挙げられる。1または複数の処理ガスの他の例は、フッ素含有ガス、例えば、テトラフルオロメタン（ CF_4 ）、六フッ化硫黄（ SF_6 ）、ヘキサフルオロエタン（ C_2F_6 ）などを含む。

【0025】

DSP110は、電力コントローラPWS1x、PWS2x、および、PWS3xと、自動周波数調整器AFTS1x、AFTS2x、および、AFTS3xとに接続されている。さらに、電力コントローラPWS1x、PWS2x、および、PWS3x、ならびに、自動周波数調整器AFTS1x、AFTS2x、および、AFTS3xは、ドライバシステム120に接続されている。ドライバシステム120は、RF電源Psxに接続されている。RF電源Psxは、xkHz RF発生器の出力122を介して、IMN106の入力に接続されたRFケーブル124に接続されている。

30

【0026】

IMN106の出力は、RF伝送線路125を介してチャック126の下側電極に接続されている。RF伝送線路125は、絶縁体によって取り囲まれた金属ロッドを備えており、絶縁体は、シースによってさらに囲まれている。金属ロッドは、RFストラップを介してシリンダに接続されており、シリンダは、チャック126に接続されている。

【0027】

yMHz RF発生器は、DSP132、電力コントローラPWS1y、別の電力コントローラPWS2y、さらに別の電力コントローラPWS3y、自動周波数調整器（AFT）AFTS1y、および、別の自動周波数調整器AFTS2yを備える。yMHzのRF発生器は、さらに、別の自動周波数調整器AFTS3y、RF電源Psy、および、ドライバシステム134を備える。DSP132は、電力コントローラPWS1y、PWS2y、および、PWS3yと、自動周波数調整器AFTS1y、AFTS2y、および、AFTS3yとに接続されている。さらに、電力コントローラPWS1y、PWS2y、および、PWS3y、ならびに、自動周波数調整器AFTS1y、AFTS2y、および、AFTS3yは、ドライバシステム134に接続されている。ドライバシステム134は、RF電源Psyに接続されている。RF電源Psyは、yMHz

40

50

R F 発生器の出力 1 3 6 を介して、I M N 1 0 6 の別の入力に接続された R F ケーブル 1 3 8 に接続されている。R F ケーブル 1 3 8 が接続されている I M N 1 0 6 の他の入力には、R F ケーブル 1 2 4 が接続されている I M N 1 0 6 の入力とは異なる。

【 0 0 2 8 】

I M N 1 0 6 は、I M N 1 0 6 の出力に接続された負荷のインピーダンスを I M N 1 0 6 の入力に接続されたソースのインピーダンスと整合するために、電気回路構成要素、例えば、インダクタ、キャパシタ、抵抗器、または、それらの 2 以上の組みあわせを備える。例えば、I M N 1 0 6 は、I M N 1 0 6 の出力に接続されたプラズマチャンバ 1 0 8 および R F 伝送線路 1 2 5 のインピーダンスを、I M N 1 0 6 の入力に接続された x k H z R F 発生器、R F ケーブル 1 2 4、y M H z R F 発生器、および、R F ケーブル 1 3 8 のインピーダンスと整合する。一実施形態において、I M N 1 0 6 の電気回路構成要素の内の 1 または複数は、I M N 1 0 6 の出力に接続された負荷のインピーダンスと、I M N 1 0 6 の入力に接続されたソースのインピーダンスとの整合を容易にするように調整される。I M N 1 0 6 は、ソースに向かう方向（負荷からソースに向かう方向など）に R F 電力が反射される可能性を低減する。

10

【 0 0 2 9 】

ホストコンピュータ 1 0 4 は、プロセッサ 1 4 2 およびメモリデバイス 1 4 4 を備える。プロセッサ 1 4 2 は、メモリデバイス 1 4 4 に接続されている。メモリデバイスの例としては、ランダムアクセスメモリ（R A M）およびリードオンリーメモリ（R O M）が挙げられる。例を挙げると、メモリデバイスは、フラッシュメモリ、ハードディスク、または、ストレージデバイスなどである。メモリデバイスは、コンピュータ読み取り可能な媒体の一例である。プロセッサ 1 4 2 は、ケーブル 1 4 6 を介して D S P 1 1 0 に接続されると共に、ケーブル 1 4 8 を介して D S P 1 3 2 に接続されている。ケーブル 1 4 6 またはケーブル 1 4 8 の例は、シリアルにデータを転送するために用いられるケーブル、パラレルにデータを転送するために用いられるケーブル、および、ユニバーサルシリアルバス（U S B）プロトコルを適用することによってデータを転送するために用いられるケーブルを含む。

20

【 0 0 3 0 】

プロセッサ 1 4 2 の制御回路は、パルス信号 1 5 0（例えば、3 つの状態 S 1 ~ S 3 に対する 3 つのデューティサイクルを有するトランジスタ - トランジスタロジック（T T L）信号、デジタルパルス信号、矩形波、パルス信号など）を生成するために用いられる。プロセッサ 1 4 2 の制御回路の例は、T T L 回路を含む。

30

【 0 0 3 1 】

パルス信号 1 5 0 は、状態 S 1、S 2、および、S 3 を備える。例えば、パルス信号 1 5 0 の状態 S 1 は、クロック信号 1 5 2 のクロックサイクルの一部の間にロジックレベル「1」を有し、クロックサイクルの別の部分の間にロジックレベル「0」を有する。別の例として、パルス信号 1 5 0 の状態 S 2 は、クロックサイクルの一部の間にロジックレベル「1」を有し、クロックサイクルの別の部分の間にロジックレベル「0」を有する。さらに別の例として、パルス信号 1 5 0 の状態 S 3 は、クロックサイクルの一部の間にロジックレベル「1」を有し、クロックサイクルの別の部分の間にロジックレベル「0」を有する。様々な実施形態において、状態 S 1、S 2、および、S 3 は、パルス信号 1 5 0 のクロックサイクル中に一回実行され、複数のクロックサイクルで反復する。例えば、クロックサイクルは、状態 S 1 ~ S 3 を備え、クロック信号 1 5 2 の別のクロックサイクルは、状態 S 1 ~ S 3 を備える。説明すると、クロックサイクルの期間の一部の間に、状態 S 1 が実行され、クロックサイクルの別の期間の間に、状態 S 2 が実行され、クロックサイクルの残りの部分の間に状態 S 3 が実行される。

40

【 0 0 3 2 】

いくつかの実施形態において、状態 S 1 ~ S 3 の各々は、1 / 3 のデューティサイクルを有する。いくつかの実施形態において、状態 S 1 ~ S 3 の各々は、状態 S 1 ~ S 3 の残りのいずれのデューティサイクルとも異なるデューティサイクルを有する。例えば、状態

50

S 1 が a % のデューティサイクルを有し、状態 S 2 が b % のデューティサイクルを有し、状態 S 3 が $(100 - a - b)$ % のデューティサイクルを有し、ここで、a および b は整数であり、a は b とは異なる数値である。

【 0 0 3 3 】

様々な実施形態において、プロセッサ 1 4 2 の制御回路の代わりに、クロックソース（例えば、水晶発振器など）が、アナログクロック信号を生成するために用いられ、アナログクロック信号は、アナログデジタル変換器によってパルス信号 1 5 0 と同様のデジタル信号に変換される。例えば、水晶発振器は、水晶発振器の近くの電極に電圧を印加することによって、電界内で振動するように形成されている。説明すると、水晶発振器は、クロック信号 1 5 2 のクロックサイクルの第 1 部分の間に第 1 周波数で振動し、クロック信号 1 5 2 のクロックサイクルの第 2 部分の間に第 2 周波数で振動し、クロック信号 1 5 2 のクロックサイクルの残り部分の間に第 3 周波数で振動する。第 3 周波数は第 2 周波数と異なり、第 2 周波数は第 1 周波数と異なる。いくつかの実施形態において、第 1 周波数は、第 2 周波数と同じであるが、第 3 周波数とは異なる。様々な実施形態において、第 1 周波数は、第 3 周波数と同じであるが、第 2 周波数とは異なる。様々な実施形態において、プロセッサ 1 4 2 の代わりに、デジタルクロックソースが、パルス信号 1 5 0 を生成する。

【 0 0 3 4 】

プロセッサ 1 4 2 は、メモリデバイス 1 4 4 からのレシピにアクセスする。レシピの例は、状態 S 1 中に x k H z R F 発生器に適用される電力設定点、状態 S 2 中に x k H z R F 発生器に適用される電力設定点、状態 S 3 中に x k H z R F 発生器に適用される電力設定点、状態 S 1 中に x k H z R F 発生器に適用される周波数設定点、状態 S 2 中に x k H z R F 発生器に適用される周波数設定点、状態 S 3 中に x k H z R F 発生器に適用される周波数設定点、状態 S 1 中に y M H z R F 発生器に適用される電力設定点、状態 S 2 中に y M H z R F 発生器に適用される電力設定点、状態 S 3 中に y M H z R F 発生器に適用される電力設定点、状態 S 1 中に y M H z R F 発生器に適用される周波数設定点、状態 S 2 中に y M H z R F 発生器に適用される周波数設定点、状態 S 3 中に y M H z R F 発生器に適用される周波数設定点、1 または複数の処理ガスの化学、上側電極 1 2 8 とチャック 1 2 6 との間のギャップ、もしくは、これらの組みあわせを含む。

【 0 0 3 5 】

プロセッサ 1 4 2 は、ケーブル 1 4 6 を介して D S P 1 1 0 にパルス信号 1 5 0 と共に命令を送信する。ケーブル 1 4 6 を介して D S P 1 1 0 に送信される命令は、パルス信号 1 5 0 に関する情報、状態 S 1 中に x k H z R F 発生器に適用される電力設定点、状態 S 2 中に x k H z R F 発生器に適用される電力設定点、状態 S 3 中に x k H z R F 発生器に適用される電力設定点、状態 S 1 中に x k H z R F 発生器に適用される周波数設定点、状態 S 2 中に x k H z R F 発生器に適用される周波数設定点、および、状態 S 3 中に x k H z R F 発生器に適用される周波数設定点、を有する。パルス信号 1 5 0 に関する情報は、x k H z R F 発生器によって生成される R F 信号が、クロックサイクルの遷移時間 t_{s1} に状態 S 1 から状態 S 2 に遷移し、クロックサイクルの遷移時間 t_{s2} に状態 S 2 から状態 S 3 に遷移し、クロックサイクルの遷移時間 t_{s3} に状態 S 3 から状態 S 1 に遷移することを、D S P 1 1 0 に示す。D S P 1 1 0 は、状態 S 1 のための電力設定点がパルス信号 1 5 0 の状態 S 1 中に適用され、状態 S 2 のための電力設定点がパルス信号 1 5 0 の状態 S 2 中に適用され、状態 S 3 のための電力設定点がパルス信号 1 5 0 の状態 S 3 中に適用され、状態 S 1 のための周波数設定点がパルス信号 1 5 0 の状態 S 1 中に適用され、状態 S 2 のための周波数設定点がパルス信号 1 5 0 の状態 S 2 中に適用され、状態 S 3 のための周波数設定点がパルス信号 1 5 0 の状態 S 3 中に適用されることを、命令から決定する。さらに、D S P 1 1 0 は、x k H z R F 発生器によって生成される R F 信号が、クロックサイクルの遷移時間 t_{s1} に状態 S 1 から状態 S 2 に遷移し、クロックサイクルの遷移時間 t_{s2} に状態 S 2 から状態 S 3 に遷移し、クロックサイクルの遷移時間 t_{s3} に状態 S 3 から状態 S 1 に遷移することを、命令およびパルス信号 1 5 0 から決定する。遷移時間 $t_{s1} \sim t_{s3}$ は、クロック信号 1 5 2 の各クロックサイクルで繰り返す。

【 0 0 3 6 】

クロック信号 1 5 2 のクロックサイクルの遷移時間 t_{s3} に、DSP 1 1 0 は、状態 S 1 のための電力設定点を電力コントローラ P W R S 1 x に送信する。同様に、クロック信号 1 5 2 のクロックサイクルの遷移時間 t_{s1} に、DSP 1 1 0 は、状態 S 2 のための電力設定点を電力コントローラ P W R S 2 x に送信する。また、クロック信号 1 5 2 のクロックサイクルの遷移時間 t_{s2} に、DSP 1 1 0 は、状態 S 3 のための電力設定点を電力コントローラ P W R S 3 x に送信する。さらに、クロックサイクルの遷移時間 t_{s3} に、DSP 1 1 0 は、状態 S 1 のための周波数設定点を自動周波数調整器 A F T S 1 x に送信する。また、クロックサイクルの遷移時間 t_{s1} に、DSP 1 1 0 は、状態 S 2 のための周波数設定点を自動周波数調整器 A F T S 2 x に送信する。さらに、クロックサイクルの遷移時間 t_{s2} に、DSP 1 1 0 は、状態 S 3 のための周波数設定点を自動周波数調整器 A F T S 3 x に送信する。

10

【 0 0 3 7 】

状態 S 1 のための電力設定点を受信すると、電力コントローラ P W R S 1 x は、状態 S 1 のための電力設定点に対応する（例えば、一対一の関係を有する、対応付けられた、つながりのある、など）電流量を決定する。状態 S 1 中にドライバシステム 1 2 0 によって生成される電流量に基づいて、電力コントローラ P W R S 1 x は、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム 1 2 0 に送信する。状態 S 1 中に、コマンド信号の受信に回答して、ドライバシステム 1 2 0 は、その電流量を有する電流信号を生成して、RF 電源 P s x に送信する。RF 電源 P s x は、電流信号の受信後に、状態 S 1 のための電力設定点を有する RF 信号を生成し、出力 1 2 2 および RF ケーブル 1 2 4 を介して RF 信号を I M N 1 0 6 の入力にその RF 信号を供給する。状態 S 1 のための電力設定点は、状態 S 1 中に RF 電源 P s x によって維持される。

20

【 0 0 3 8 】

同様に、状態 S 2 のための電力設定点を受信すると、電力コントローラ P W R S 2 x は、状態 S 2 のための電力設定点に対応する（例えば、一対一の関係を有する、対応付けられた、つながりのある、など）電流量を決定する。状態 S 2 中にドライバシステム 1 2 0 によって生成される電流量に基づいて、電力コントローラ P W R S 2 x は、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム 1 2 0 に送信する。状態 S 2 中に、コマンド信号の受信に回答して、ドライバシステム 1 2 0 は、その電流量を有する電流信号を生成して、RF 電源 P s x に送信する。RF 電源 P s x は、電流信号の受信後に、状態 S 2 のための電力設定点を有する RF 信号を生成し、出力 1 2 2 および RF ケーブル 1 2 4 を介して RF 信号を I M N 1 0 6 の入力にその RF 信号を供給する。状態 S 2 のための電力設定点は、状態 S 2 中に RF 電源 P s x によって維持される。

30

【 0 0 3 9 】

さらに、状態 S 3 のための電力設定点を受信すると、電力コントローラ P W R S 3 x は、状態 S 3 のための電力設定点に対応する（例えば、一対一の関係を有する、対応付けられた、つながりのある、など）電流量を決定する。状態 S 3 中にドライバシステム 1 2 0 によって生成される電流量に基づいて、電力コントローラ P W R S 3 x は、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム 1 2 0 に送信する。状態 S 3 中に、コマンド信号の受信に回答して、ドライバシステム 1 2 0 は、その電流量を有する電流信号を生成して、RF 電源 P s x に送信する。RF 電源 P s x は、電流信号の受信後に、状態 S 3 のための電力設定点を有する RF 信号を生成し、出力 1 2 2 および RF ケーブル 1 2 4 を介して RF 信号を I M N 1 0 6 の入力にその RF 信号を供給する。状態 S 3 のための電力設定点は、状態 S 3 中に RF 電源 P s x によって維持される。

40

【 0 0 4 0 】

さらに、状態 S 1 のための周波数設定点を受信すると、自動周波数調整器 A F T S 1 x は、状態 S 1 のための周波数設定点に対応する（例えば、一対一の関係を有する、対応付けられた、つながりのある、など）電流量を決定する。状態 S 1 中にドライバシステム 1 2 0 によって生成される電流量に基づいて、自動周波数調整器 A F T S 1 x は、コマンド

50

信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム 120 に送信する。状態 S1 中に、コマンド信号の受信に回答して、ドライバシステム 120 は、その電流量を有する電流信号を生成して、RF 電源 P_sx に送信する。RF 電源 P_sx は、電流信号の受信後に、状態 S1 のための周波数設定点を有する RF 信号を生成し、出力 122 および RF ケーブル 124 を介して RF 信号を IMN106 の入力にその RF 信号を供給する。状態 S1 のための周波数設定点は、状態 S1 中に RF 電源 P_sx によって維持される。状態 S1 のための電力設定点および状態 S1 のための周波数設定点を有する RF 信号は、状態 S1 中に生成される RF 信号である。

【0041】

同様に、状態 S2 のための周波数設定点を受信すると、自動周波数調整器 AFTS2x は、状態 S2 のための周波数設定点に対応する電流量を決定する。状態 S2 中にドライバシステム 120 によって生成される電流量に基づいて、自動周波数調整器 AFTS2x は、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム 120 に送信する。状態 S2 中に、コマンド信号の受信に回答して、ドライバシステム 120 は、その電流量を有する電流信号を生成して、RF 電源 P_sx に送信する。RF 電源 P_sx は、電流信号の受信後に、状態 S2 のための周波数設定点を有する RF 信号を生成し、出力 122 および RF ケーブル 124 を介して RF 信号を IMN106 の入力にその RF 信号を供給する。状態 S2 のための周波数設定点は、状態 S2 中に RF 電源 P_sx によって維持される。状態 S2 のための電力設定点および状態 S2 のための周波数設定点を有する RF 信号は、状態 S2 中に生成される RF 信号である。

【0042】

さらに、状態 S3 のための周波数設定点を受信すると、自動周波数調整器 AFTS3x は、状態 S3 のための周波数設定点に対応する電流量を決定する。状態 S3 中にドライバシステム 120 によって生成される電流量に基づいて、自動周波数調整器 AFTS3x は、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム 120 に送信する。状態 S3 中に、コマンド信号の受信に回答して、ドライバシステム 120 は、その電流量を有する電流信号を生成して、RF 電源 P_sx に送信する。RF 電源 P_sx は、電流信号の受信後に、状態 S3 のための周波数設定点を有する RF 信号を生成し、出力 122 および RF ケーブル 124 を介して RF 信号を IMN106 の入力にその RF 信号を供給する。状態 S3 のための周波数設定点は、状態 S3 中に RF 電源 P_sx によって維持される。状態 S3 のための電力設定点および状態 S3 のための周波数設定点を有する RF 信号は、状態 S3 中に生成される RF 信号である。

【0043】

プロセッサ 142 は、ケーブル 148 を介して DSP132 にパルス信号 150 と共に命令を送信する。ケーブル 148 を介して DSP132 に送信される命令は、パルス信号 150 に関する情報、状態 S1 中に y MHz RF 発生器に適用される電力設定点、状態 S2 中に y MHz RF 発生器に適用される電力設定点、状態 S3 中に y MHz RF 発生器に適用される電力設定点、状態 S1 中に y MHz RF 発生器に適用される周波数設定点、状態 S2 中に y MHz RF 発生器に適用される周波数設定点、および、状態 S3 中に y MHz RF 発生器に適用される周波数設定点、を有する。パルス信号 150 に関する情報は、y MHz RF 発生器によって生成される RF 信号が、クロック信号 152 のクロックサイクルの遷移時間 t_{s1} に状態 S1 から状態 S2 に遷移し、クロックサイクルの遷移時間 t_{s2} に状態 S2 から状態 S3 に遷移し、クロックサイクルの遷移時間 t_{s3} に状態 S3 から状態 S1 に遷移することを、DSP132 に示す。DSP132 は、命令を構文解析して、状態 S1 のための電力設定点がパルス信号 150 の状態 S1 中に適用され、状態 S2 のための電力設定点がパルス信号 150 の状態 S2 中に適用され、状態 S3 のための電力設定点がパルス信号 150 の状態 S3 中に適用され、状態 S1 のための周波数設定点がパルス信号 150 の状態 S1 中に適用され、状態 S2 のための周波数設定点がパルス信号 150 の状態 S2 中に適用され、状態 S3 のための周波数設定点がパルス信号 150 の状態 S3 中に適用されることを、命令から決定する。さらに、DSP132 は、y MHz RF

発生器によって生成されるRF信号が、クロックサイクルの遷移時間 t_{s1} に状態S1から状態S2に遷移し、クロックサイクルの遷移時間 t_{s2} に状態S2から状態S3に遷移し、クロックサイクルの遷移時間 t_{s3} に状態S3から状態S1に遷移することを、命令から決定する。

【0044】

クロック信号152のクロックサイクルの遷移時間 t_{s3} に、DSP132は、状態S1のための電力設定点を電力コントローラPWR S1yに送信する。同様に、クロック信号152のクロックサイクルの遷移時間 t_{s1} に、DSP132は、状態S2のための電力設定点を電力コントローラPWR S2yに送信する。また、クロック信号152のクロックサイクルの遷移時間 t_{s2} に、DSP132は、状態S3のための電力設定点を電力コントローラPWR S3yに送信する。さらに、クロックサイクルの遷移時間 t_{s3} に、DSP132は、状態S1のための周波数設定点を自動周波数調整器AF T S1yに送信する。また、クロックサイクルの遷移時間 t_{s1} に、DSP132は、状態S2のための周波数設定点を自動周波数調整器AF T S2yに送信する。さらに、クロックサイクルの遷移時間 t_{s2} に、DSP132は、状態S3のための周波数設定点を自動周波数調整器AF T S3yに送信する。

10

【0045】

状態S1のための電力設定点を受信すると、電力コントローラPWR S1yは、状態S1のための電力設定点に対応する（例えば、一対一の関係を有する、対応付けられた、つながりのある、など）電流量を決定する。状態S1中にドライバシステム134によって生成される電流量に基づいて、電力コントローラPWR S1yは、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム134に送信する。状態S1中に、コマンド信号の受信に応答して、ドライバシステム134は、その電流量を有する電流信号を生成して、RF電源Psyに送信する。RF電源Psyは、電流信号の受信後に、状態S1のための電力設定点を有するRF信号を生成し、出力136およびRFケーブル138を介してRF信号をIMN106の他の入力にそのRF信号を供給する。状態S1のための電力設定点は、状態S1中にRF電源Psyによって維持される。

20

【0046】

同様に、状態S2のための電力設定点を受信すると、電力コントローラPWR S2yは、状態S2のための電力設定点に対応する（例えば、一対一の関係を有する、対応付けられた、つながりのある、など）電流量を決定する。状態S2中にドライバシステム134によって生成される電流量に基づいて、電力コントローラPWR S2yは、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム134に送信する。状態S2中に、コマンド信号の受信に応答して、ドライバシステム134は、その電流量を有する電流信号を生成して、RF電源Psyに送信する。RF電源Psyは、電流信号の受信後に、状態S2のための電力設定点を有するRF信号を生成し、出力136およびRFケーブル138を介してRF信号をIMN106の他の入力にそのRF信号を供給する。状態S2のための電力設定点は、状態S2中にRF電源Psyによって維持される。

30

【0047】

さらに、状態S3のための電力設定点を受信すると、電力コントローラPWR S3yは、状態S3のための電力設定点に対応する（例えば、一対一の関係を有する、対応付けられた、つながりのある、など）電流量を決定する。状態S3中にドライバシステム134によって生成される電流量に基づいて、電力コントローラPWR S3yは、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム134に送信する。状態S3中に、コマンド信号の受信に応答して、ドライバシステム134は、その電流量を有する電流信号を生成して、RF電源Psyに送信する。RF電源Psyは、電流信号の受信後に、状態S3のための電力設定点を有するRF信号を生成し、出力136およびRFケーブル138を介してRF信号をIMN106の他の入力にそのRF信号を供給する。状態S3のための電力設定点は、状態S3中にRF電源Psyによって維持される。

40

【0048】

50

さらに、状態 S 1 のための周波数設定点を受信すると、自動周波数調整器 A F T S 1 y は、状態 S 1 のための周波数設定点に対応する（例えば、一对一の関係を有する、対応付けられた、つながりのある、など）電流量を決定する。状態 S 1 中にドライバシステム 1 3 4 によって生成される電流量に基づいて、自動周波数調整器 A F T S 1 y は、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム 1 3 4 に送信する。状態 S 1 中に、コマンド信号の受信に回答して、ドライバシステム 1 3 4 は、その電流量を有する電流信号を生成して、R F 電源 P s y に送信する。R F 電源 P s y は、電流信号の受信後に、状態 S 1 のための周波数設定点を有する R F 信号を生成し、出力 1 3 6 および R F ケーブル 1 3 8 を介して R F 信号を I M N 1 0 6 の他の入力にその R F 信号を供給する。状態 S 1 のための周波数設定点は、状態 S 1 中に R F 電源 P s y によって維持される。状態 S 1 のための電力設定点および状態 S 1 のための周波数設定点を有する R F 信号は、状態 S 1 中に y M H z の R F 発生器によって生成される R F 信号である。

10

【 0 0 4 9 】

同様に、状態 S 2 のための周波数設定点を受信すると、自動周波数調整器 A F T S 2 y は、状態 S 2 のための周波数設定点に対応する電流量を決定する。状態 S 2 中にドライバシステム 1 3 4 によって生成される電流量に基づいて、自動周波数調整器 A F T S 2 y は、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム 1 3 4 に送信する。状態 S 2 中に、コマンド信号の受信に回答して、ドライバシステム 1 3 4 は、その電流量を有する電流信号を生成して、R F 電源 P s y に送信する。R F 電源 P s y は、電流信号の受信後に、状態 S 2 のための周波数設定点を有する R F 信号を生成し、出力 1 3 6 および R F ケーブル 1 3 8 を介して R F 信号を I M N 1 0 6 の他の入力にその R F 信号を供給する。状態 S 2 のための周波数設定点は、状態 S 2 中に R F 電源 P s y によって維持される。状態 S 2 のための電力設定点および状態 S 2 のための周波数設定点を有する R F 信号は、状態 S 2 中に y M H z の R F 発生器によって生成される R F 信号である。

20

【 0 0 5 0 】

さらに、状態 S 3 のための周波数設定点を受信すると、自動周波数調整器 A F T S 3 y は、状態 S 3 のための周波数設定点に対応する電流量を決定する。状態 S 3 中にドライバシステム 1 3 4 によって生成される電流量に基づいて、自動周波数調整器 A F T S 3 y は、コマンド信号を生成し、そのコマンド信号をドライバシステム 1 3 4 に送信する。状態 S 3 中に、コマンド信号の受信に回答して、ドライバシステム 1 3 4 は、その電流量を有する電流信号を生成して、R F 電源 P s y に送信する。R F 電源 P s y は、電流信号の受信後に、状態 S 3 のための周波数設定点を有する R F 信号を生成し、出力 1 3 6 および R F ケーブル 1 3 8 を介して R F 信号を I M N 1 0 6 の他の入力にその R F 信号を供給する。状態 S 3 のための周波数設定点は、状態 S 3 中に R F 電源 P s y によって維持される。状態 S 3 のための電力設定点および状態 S 3 のための周波数設定点を有する R F 信号は、状態 S 3 中に y M H z の R F 発生器によって生成される R F 信号である。

30

【 0 0 5 1 】

I M N 1 0 6 の入力は、入力において、x k H z の R F 発生器によって生成された R F 信号を出力 1 2 2 から R F ケーブル 1 2 4 を介して受信し、他の入力において、y M H z R F 発生器によって生成された R F 信号を出力 1 3 6 から R F ケーブル 1 3 8 を介して受信し、I M N 1 0 6 の出力に接続された負荷のインピーダンスを、I M N 1 0 6 の入力に接続されたソースのインピーダンスと整合して、変調された R F 信号を I M N 1 0 6 の出力で生成する。変調された R F 信号は、R F 伝送線路 1 2 5 を介してチャック 1 2 6 の下側電極に送信される。1 または複数の処理ガスが上側電極 1 2 8 とチャック 1 2 6 との間に供給され、変調された R F 信号がチャック 1 2 6 の下側電極に供給されると、1 または複数の処理ガスがプラズマチャンバ 1 0 8 内でプラズマを生成するために点火されるか、または、プラズマがプラズマチャンバ 1 0 8 内で維持される。プラズマは、基板 1 3 0 の処理（例えば、エッチング、材料の蒸着、洗浄、スパッタリングなど）を行うために用いられる。

40

【 0 0 5 2 】

50

いくつかの実施形態において、調整器およびコントローラという用語は、本明細書では交換可能に用いられる。

【0053】

様々な実施形態において、電力コントローラ P W R S 1 x、P W R S 2 x、および、P W R S 3 x、ならびに、自動周波数調整器 A F T S 1 x、A F T S 2 x、および、A F T S 3 x は、D S P 1 1 0 によって実行されるコンピュータプログラムのモジュール（例えば、一部など）である。

【0054】

いくつかの実施形態において、電力コントローラ P W R S 1 x、P W R S 2 x、および P W R S 3 x、ならびに、自動周波数調整器 A F T S 1 x、A F T S 2 x、および、A F T S 3 x は、D S P 1 1 0 の集積回路に接続された別個の集積回路である。例えば、電力コントローラ P W R S 1 x は、x k H z の R F 発生器の第 1 集積回路であり、電力コントローラ P W R S 2 x は、x k H z の R F 発生器の第 2 集積回路であり、電力コントローラ P W R S 3 x は、x k H z の R F 発生器の第 3 集積回路であり、自動周波数調整器 A F T S 1 x は、x k H z の R F 発生器の第 4 集積回路であり、自動周波数調整器 A F T S 2 x は、x k H z の R F 発生器の第 5 集積回路であり、自動周波数調整器 A F T S 3 x は、x k H z の R F 発生器の第 6 集積回路であり、D S P 1 1 0 は、x k H z の R F 発生器の第 7 集積回路である。x k H z R F 発生器の第 1 ~ 第 6 集積回路の各々は、x k H z の R F 発生器の第 7 集積回路に接続されている。

【0055】

いくつかの実施形態において、電力コントローラ P W R S 1 y、P W R S 2 y、および、P W R S 3 y、ならびに、自動周波数調整器 A F T S 1 y、A F T S 2 y、および、A F T S 3 y は、D S P 1 3 2 によって実行されるコンピュータプログラムのモジュール（例えば、一部など）である。

【0056】

様々な実施形態において、電力コントローラ P W R S 1 y、P W R S 2 y、および、P W R S 3 y、ならびに、自動周波数調整器 A F T S 1 y、A F T S 2 y、および、A F T S 3 y は、D S P 1 3 2 の集積回路に接続された別個の集積回路である。例えば、電力コントローラ P W R S 1 y は、y M H z の R F 発生器の第 1 集積回路であり、電力コントローラ P W R S 2 y は、y M H z の R F 発生器の第 2 集積回路であり、電力コントローラ P W R S 3 y は、y M H z の R F 発生器の第 3 集積回路であり、自動周波数調整器 A F T S 1 y は、y M H z の R F 発生器の第 4 集積回路であり、自動周波数調整器 A F T S 2 y は、y M H z の R F 発生器の第 5 集積回路であり、自動周波数調整器 A F T S 3 y は、y M H z の R F 発生器の第 6 集積回路であり、D S P 1 3 2 は、y M H z の R F 発生器の第 7 集積回路である。y M H z R F 発生器の第 1 ~ 第 6 集積回路の各々は、y M H z の R F 発生器の第 7 集積回路に接続されている。

【0057】

いくつかの実施形態において、R F 信号の状態 S 1 の一例は、状態 S 1 のための電力設定点および状態 S 1 のための周波数設定点を含む。状態 S 1 のための電力設定点は、動作電力設定点であり、これは、状態 S 1 中の R F 信号の電力量の電力レベル（エンベロープまたはゼロからピークまでの振幅など）である。状態 S 1 のための周波数設定点は、動作周波数設定点であり、これは、状態 S 1 中の R F 信号の周波数値の周波数レベル（エンベロープまたはゼロからピークまでの振幅など）である。同様に、R F 信号の状態 S 2 の一例は、状態 S 2 のための電力設定点および状態 S 2 のための周波数設定点を含む。状態 S 2 のための電力設定点は、動作電力設定点であり、これは、状態 S 2 中の R F 信号の電力量の電力レベル（エンベロープまたはゼロからピークまでの振幅など）である。状態 S 2 のための周波数設定点は、動作周波数設定点であり、これは、状態 S 2 中の R F 信号の周波数値の周波数レベル（エンベロープまたはゼロからピークまでの振幅など）である。さらに、R F 信号の状態 S 3 の一例は、状態 S 3 のための電力設定点および状態 S 3 のための周波数設定点を含む。状態 S 3 のための電力設定点は、動作電力設定点であり、これは

10

20

30

40

50

、状態 S 3 中の R F 信号の電力量の電力レベル（エンベロープまたはゼロからピークまでの振幅など）である。状態 S 3 のための周波数設定点は、動作周波数設定点であり、これは、状態 S 3 中の R F 信号の周波数値の周波数レベル（エンベロープまたはゼロからピークまでの振幅など）である。

【 0 0 5 8 】

様々な実施形態において、3つの R F 発生器が、I M N 1 0 6 に接続される。例えば、さらなる R F 発生器が、I M N 1 0 6 のさらに別の入力への別の R F ケーブル（図示せず）を介して I M N 1 0 6 に接続される。さらなる R F 発生器は、 x k H z R F 発生器および y M H z R F 発生器に加えて追加される。さらに別の入力は、R F ケーブル 1 2 4 が接続されている I M N 1 0 6 の入力とも、R F ケーブル 1 3 8 が接続されている I M N 1 0 6 の他の入力とも同じではない。さらなる R F 発生器は、さらなる R F 発生器が y M H z R F 発生器の周波数とは異なる動作周波数（例えば、2 M H z、2 7 M H z、6 0 M H z など）を有する以外は、 y M H z R F 発生器と同じ構造および機能を有する。例えば、 y M H z R F 発生器は、1 3 . 5 6 M H z の動作周波数を有し、さらなる R F 発生器は、2 M H z、または 2 7 M H z、または 6 0 M H z の動作周波数を有する。I M N 1 0 6 は、 x k H z の R F 発生器、 y M H z R F 発生器、および、さらなる R F 発生器から受信した R F 信号を組みあわせ、I M N 1 0 6 の出力に接続された負荷のインピーダンスを、ソース（例えば、 x k H z R F 発生器、 y M H z R F 発生器、さらなる R F 発生器、R F ケーブル 1 2 4、R F ケーブル 1 4 8、および、その他の R F ケーブルなど）のインピーダンスと整合して、変調された R F 信号を I M N 1 0 6 の出力で生成する。

【 0 0 5 9 】

一実施形態において、インピーダンス整合回路およびインピーダンス整合回路網という用語は、本明細書では交換可能に用いられる。

【 0 0 6 0 】

いくつかの実施形態において、R F 伝送線路 1 2 5 は、上側電極 1 2 8 に接続され、チャック 1 2 6 の下側電極は、接地電位に接続される。

【 0 0 6 1 】

様々な実施形態において、クロック信号 1 5 2 は、プロセッサ 1 4 2 またはクロックソース（上で例を挙げた）によって生成される。いくつかの実施形態において、クロック信号 1 5 2 は、プロセッサ 1 4 2 から、ケーブル 1 4 6 を介して D S P 1 1 0 へ、そして、ケーブル 1 4 8 を介して D S P 1 3 2 へ供給される。

【 0 0 6 2 】

いくつかの実施形態において、パルス信号 1 5 0 がプロセッサ 1 4 2 から x k H z および y M H z R F 発生器へ送信される代わりに、パルス信号 1 5 0 は、マスタ R F 発生器からスレーブ R F 発生器（ y M H z R F 発生器など）へ送信される。マスタ R F 発生器の一例は、 x k H z R F 発生器である。例示すると、 x k H z R F 発生器のデジタル信号プロセッサ D S P 1 1 0 は、プロセッサ 1 4 2 からパルス信号 1 5 0 を受信し、ケーブル（パラレル転送ケーブル、シリアル転送ケーブル、または、U S B ケーブルなど）を介して、パルス信号 1 5 0 を y M H z R F 発生器のデジタル信号プロセッサ D S P 1 3 2 へ送信する。

【 0 0 6 3 】

図 2 は、 x k H z R F 発生器（図 1）によって生成された R F 信号（R F 信号 2 0 2 など）の 3 つの状態 S 1 ~ S 3 を説明すると共に、 y M H z R F 発生器によって生成された R F 信号（R F 信号 2 0 4 など）の 3 つの状態 S 1 ~ S 3 を説明するグラフ 2 0 0 の一実施形態の図である。R F 信号 2 0 2 は、時間 t に対する x k H z R F 発生器の出力 1 2 2 での供給電力のプロットであり、R F 信号 2 0 4 は、時間 t に対する y M H z R F 発生器の出力 1 3 6 での供給電力のプロットである。

【 0 0 6 4 】

x k H z の R F 発生器によって生成される R F 信号は、3 つの状態 S 1 ~ S 3 のための 3 つの電力設定点の間を行き来することによって、3 つの状態 S 1 ~ S 3 の間を行き来す

る。x kHzのRF発生器によって生成されるRF信号の状態に対する電力設定点の一例は、状態に対する電力量のエンベロープである。x kHzのRF発生器によって生成されるRF信号の状態に対する電力設定点の別の例は、状態に対する電力量のゼロからピークまでの値である。

【0065】

状態S1中にx kHz RF発生器によって生成されるRF信号の電力設定点は、電力レベルPL4を有することに注意されたい。さらに、状態S2中にx kHzのRF発生器によって生成されるRF信号の電力設定点は、電力レベルPL3を有しており、これは、電力レベルPL4よりも低く、状態S1中のRF信号204の電力レベルPL2よりも高い。例えば、状態S2中にx kHzのRF発生器によって生成されるRF信号の電力レベルPL3の全電力量は、状態S1中にx kHzのRF発生器によって生成されるRF信号の電力レベルPL4の全電力量よりも低い。

10

【0066】

さらに、状態S3中にx kHzのRF発生器によって生成されるRF信号の電力設定点は、電力レベルPL1を有しており、これは、RF信号202の電力レベルPL3よりも低く、RF信号204の電力レベルPL2よりも低い。例えば、状態S3中にx kHzのRF発生器によって生成されるRF信号の電力レベルPL1の全電力量は、状態S2中にx kHzのRF発生器によって生成されるRF信号の電力レベルPL3の全電力量よりも低い。一例として、状態S1中のRF信号202の送出電力の電力レベルは、15000ワット(W)~19000ワットの間の範囲にあり、状態S2中のRF信号202の送出電力の電力レベルは、8000ワット~12000ワットの間の範囲にあり、状態S3中のRF信号202の送出電力の電力レベルは、200ワット~400ワットの間の範囲にある。別の例として、状態S1中のRF信号202の送出電力の電力レベルは17000ワット(W)であり、状態S2中のRF信号202の送出電力の電力レベルは10000ワットであり、状態S3中のRF信号202の送出電力の電力レベルは300ワットである。

20

【0067】

y MHzのRF発生器によって生成されるRF信号204は、3つの状態S1~S3のための3つの電力設定点の間を行き来することによって、3つの状態S1~S3の間を行き来する。y MHzのRF発生器によって生成されるRF信号の状態に対する電力設定点の一例は、状態に対する電力量のエンベロープである。y MHzのRF発生器によって生成されるRF信号の状態に対する電力設定点の別の例は、状態に対する電力量のゼロからピークまでの値である。

30

【0068】

RF信号204の各状態は、RF信号202の各状態と同調される。例えば、RF信号202が状態S1を有する期間中、RF信号204は状態S1を有する。RF信号202が状態S2を有する期間中、RF信号204は状態S2を有する。また、RF信号202が状態S3を有する期間中、RF信号204は状態S3を有する。さらに別の例として、RF信号202が状態S1から状態S2へ遷移する時、RF信号204は状態S1から状態S2へ遷移する。別の例として、RF信号202が状態S2から状態S3へ遷移する時、RF信号204は状態S2から状態S3へ遷移する。さらに別の例として、RF信号202が状態S3から状態S1へ遷移する時、RF信号204は状態S3から状態S1へ遷移する。また別の例として、RF信号202が状態S1から状態S2へ遷移する期間中、RF信号204は状態S1から状態S2へ遷移する。別の例として、RF信号202が状態S2から状態S3へ遷移する期間中、RF信号204は状態S2から状態S3へ遷移する。さらに別の例として、RF信号202が状態S3から状態S1へ遷移する期間中、RF信号204は状態S3から状態S1へ遷移する。

40

【0069】

状態S1中にy MHz RF発生器によって生成されるRF信号の電力設定点は、電力レベルPL2を有し、この電力レベルは、電力レベルPL3よりも低く、電力レベルPL4

50

よりも低いことに注意されたい。さらに、状態 S 2 中に y MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の電力設定点は、電力レベル 0 を有しており、この電力レベルは、電力レベル PL 2 よりも低い。例えば、状態 S 2 中に y MHz の RF 発生器によって生成される RF 信号の電力レベル 0 の全電力量は、状態 S 1 中に y MHz の RF 発生器によって生成される RF 信号の電力レベル PL 2 の全電力量よりも低い。y MHz RF 発生器の電力レベル 0 は、プラズマチャンバ 108 内のプラズマのイオンが基板 130 のスタック層の底部に向かう垂直方向性を増大させる助けとなる。

【0070】

さらに、状態 S 3 中に y MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の電力設定点は、電力レベル PL 1 を有しており、この電力レベルは、電力レベル PL 2 よりも低いが、電力レベル 0 よりも高い。例えば、状態 S 3 中に y MHz の RF 発生器によって生成される RF 信号の電力レベル PL 1 の全電力量は、状態 S 1 中に y MHz の RF 発生器によって生成される RF 信号の電力レベル PL 2 の全電力量よりも低く、状態 S 2 中に y MHz RF 発生器によって生成される RF 信号のゼロ電力レベルの全電力量よりも高い。一例として、状態 S 1 中の RF 信号 204 の送出電力の電力レベルは、4000 ワット ~ 6000 ワットの間の範囲にあり、状態 S 2 中の RF 信号 204 の送出電力の電力レベルは、0 ワット ~ 1000 ワットの間の範囲にあり、状態 S 3 中の RF 信号 204 の送出電力の電力レベルは、200 ワット ~ 400 ワットの間の範囲にある。別の例として、状態 S 1 中の RF 信号 204 の送出電力の電力レベルは 5000 ワットであり、状態 S 2 中の RF 信号 204 の送出電力の電力レベルは 0 ワットであり、状態 S 3 中の RF 信号 204 の送出電力の電力レベルは 300 ワットである。状態 S 3 中に x kHz の RF 発生器および y MHz RF 発生器が同じ電力レベル PL 1 を有することは、スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にする。

【0071】

x kHz RF 発生器および y MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の状態 S 2 のデューティサイクルは、RF 信号の状態 S 3 のデューティサイクルよりも低いことに注意されたい。さらに、x kHz RF 発生器および y MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の状態 S 1 のデューティサイクルは、RF 信号の状態 S 3 のデューティサイクルよりも低い。一例として、RF 信号 202 および 204 の各々の状態 S 1 のデューティサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルの a % であり、RF 信号 202 および 204 の各々の状態 S 2 のデューティサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルの b % であり、RF 信号 202 および 204 の各々の状態 S 3 のデューティサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルの $(100 - a - b)$ % であり、ここで、a は整数であり、b は整数である。一例として、a および b の各々は 50 以下の値を有し、b は a 未満である。例示すると、RF 信号 202 および 204 の各々の状態 S 1 のデューティサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルの 20 % ~ 30 % の間の範囲であり、RF 信号 202 および 204 の各々の状態 S 2 のデューティサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルの 5 % ~ 15 % の間の範囲であり、RF 信号 202 および 204 の各々の状態 S 3 のデューティサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルの 75 % ~ 55 % の間の範囲である。別の例として、RF 信号 202 および 204 の各々の状態 S 1 のデューティサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルの 25 % であり、RF 信号 202 および 204 の各々の状態 S 2 のデューティサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルの 10 % であり、RF 信号 202 および 204 の各々の状態 S 3 のデューティサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルの 65 % である。説明すると、状態のデューティサイクルは、その状態が維持されるクロック信号 152 のクロックサイクルの期間であり、パーセンテージで測定される。一実施形態において、x kHz RF および y MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の状態 S 2 のデューティサイクルは、RF 信号の状態 S 1 のデューティサイクルよりも低い。

【0072】

RF 発生器によって生成される RF 信号は、RF 発生器によって供給される RF 信号と

同じであることに注意されたい。例えば、 x kHz RF 発生器によって生成される RF 信号は、 x kHz RF 発生器によって供給される RF 信号と同じである。別の例として、 y MHz RF 発生器によって生成される RF 信号は、 y MHz RF 発生器によって供給される RF 信号と同じである。

【0073】

いくつかの実施形態において、 y MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の状態 S 2 中の電力レベル 0 の代わりに、電力レベルは、電力レベル 0 から所定の範囲内（5 ~ 10 パーセントの間など）にある。例えば、RF 信号 202 の電力レベルは、電力レベル PL 1 より低い、0 より高い。

【0074】

いくつかの実施形態において、送出電力の量は、RF 発生器によって生成および供給される電力の量と同じである。例えば、RF 発生器に向かって反射される電力がゼロまたは最小である場合、RF 発生器によって送出される電力は、RF 発生器による供給に向けて RF 発生器によって生成された電力と同じである。送出電力は、RF 発生器によって供給された電力と、RF 発生器に向かって反射された電力との間の差である。電力は、RF 伝送線路 125、IMN 106、および、RF 発生器を IMN 106 に接続する RF ケーブルを介して、プラズマチャンバ 108 から RF 発生器へ反射される。

【0075】

図 3 は、クロック信号 152、パルス信号 150、 x kHz RF 発生器によって生成される RF 信号、および、 z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の間の同期を説明するための複数のグラフ 300、302、および、200 の図である。グラフ 300 は、時間 t に対してクロック信号 152 のロジックレベルをプロットしている。同様に、グラフ 302 は、時間 t に対してパルス信号 150 のロジックレベルをプロットしている。

【0076】

期間 t_1 は、 x kHz RF 発生器および z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の状態 S 1 が維持されるクロック信号 152 のクロックサイクル中の期間である。同様に、期間 t_2 は、 x kHz RF 発生器および z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の状態 S 2 が維持されるクロック信号 152 のクロックサイクル中の期間である。また、期間 t_3 は、 x kHz RF 発生器および z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号の状態 S 3 が維持されるクロック信号 152 のクロックサイクル中の期間である。例えば、期間 t_1 は、クロックサイクルの一部を占め、期間 t_2 は、クロックサイクルの別の一部を占め、期間 t_3 は、クロックサイクルの残りの部分を占める。期間 t_1 は期間 t_2 よりも長く、期間 t_3 は期間 t_2 よりも長い。期間 t_3 は、期間 t_2 よりも長く、スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にする。期間 t_2 は、プラズマのイオンがスタック層の底部に向かう垂直方向性を高めるために存在する。さらに、期間 t_2 は、マスク層の損失が、期間 t_1 中に起きるマスク層の損失に比べて低減されるように存在する。クロック信号 152 のクロックサイクルは、期間 t_1 ~ t_3 で構成されており、クロック信号 152 の複数のクロックサイクルを生成するように繰り返す。

【0077】

期間 t_1 中に、パルス信号 150 は、ロジックレベル 1 からロジックレベル 0 へパルスする。ロジックレベル 1 は、高ロジックレベルの一例であり、ロジックレベル 0 は、低ロジックレベルの一例である。期間 t_1 中、 x kHz RF 発生器および z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号は、状態 S 1 を維持するように制御される。

【0078】

パルス信号 150 がロジックレベル 0 からロジックレベル 1 へ遷移するクロックサイクルの遷移時間 t_{s1} では、 x kHz RF 発生器および z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号は、状態 S 1 から状態 S 2 へ遷移するように制御される。遷移時間 t_{s1} は、期間 t_1 の後に起きる。

【0079】

期間 t_2 は、遷移時間 t_{s1} の後に起きる。期間 t_2 中に、パルス信号 150 は、ロジ

10

20

30

40

50

ックレベル 1 からロジックレベル 0 へパルスする。さらに、期間 t_2 中、 x kHz RF 発生器および z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号は、状態 S_2 を維持するように制御される。

【0080】

パルス信号 150 がロジックレベル 0 からロジックレベル 1 へ遷移するクロックサイクルの遷移時間 t_{s2} では、 x kHz RF 発生器および z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号は、状態 S_2 から状態 S_3 へ遷移するように制御される。遷移時間 t_{s2} は、期間 t_2 の後に起きる。

【0081】

期間 t_3 は、遷移時間 t_{s2} の後に起きる。期間 t_3 中に、パルス信号 150 は、ロジックレベル 1 からロジックレベル 0 へパルスする。さらに、期間 t_3 中、 x kHz RF 発生器および z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号は、状態 S_3 を維持するように制御される。

10

【0082】

パルス信号 150 がロジックレベル 0 からロジックレベル 1 へ遷移するクロックサイクルの遷移時間 t_{s3} では、 x kHz RF 発生器および z MHz RF 発生器によって生成される RF 信号は、状態 S_3 から状態 S_1 へ遷移するように制御される。遷移時間 t_{s3} は、期間 t_3 の後に起きる。期間 t_1 は、遷移時間 t_{s3} の後、クロック信号 152 の続きのクロックサイクル中に繰り返す。クロック信号 152 の続きのクロックサイクル中の期間 t_1 の後には、クロック信号 152 の続きのクロックサイクルの期間 t_2 および t_3 が再び続く。クロック信号 152 の続きのクロックサイクルは、クロック信号 152 のクロックサイクルに連続的に続くまたは順次続くなど、連続的である。遷移時間 $t_{s1} \sim t_{s3}$ および期間 $t_1 \sim t_3$ は、続きのクロックサイクル中に繰り返す。さらに、遷移時間 $t_{s1} \sim t_{s3}$ および期間 $t_1 \sim t_3$ は、続きのサイクルの後に繰り返すクロック信号 152 の次のサイクル中に繰り返す。

20

【0083】

RF 信号 202 および 204 の状態 $S_1 \sim S_3$ は、クロック信号 152 の各サイクルと同期して繰り返す。例えば、RF 信号 202 の状態 $S_1 \sim S_3$ は、クロック信号 152 のクロックサイクル中に起こり、状態 $S_1 \sim S_3$ は、クロック信号 152 の続きのクロックサイクル中に繰り返す。別の例として、RF 信号 204 の状態 $S_1 \sim S_3$ は、クロック信号 152 のクロックサイクル中に起こり、状態 $S_1 \sim S_3$ は、クロック信号 152 の続きのクロックサイクル中に繰り返す。

30

【0084】

様々な実施形態において、RF 信号 202 および 204 の状態 S_1 および S_2 は、クロック信号 152 のクロックサイクルの半分の期間が終わる前に起き、状態 S_3 は、クロックサイクルの後半の間に起きる。例えば、RF 信号 202 および 204 の状態 S_1 および S_2 は、時間 t_{c1} の前に起き、RF 信号 202 および 204 の状態 S_3 は、時間 t_{c1} の後に起きる。例示すると、遷移時間 t_{s2} は、時間 t_{c1} の前に起き、遷移時間 t_{s3} は、時間 t_{c1} の前に起きる。時間 t_{c1} は、クロック信号 152 のクロックサイクルの半分の発生時間である。例えば、クロックサイクルは、時間 t_{c1} の前にはロジックレベル 1 であり、時間 t_{c1} の後にはロジックレベル 0 である。

40

【0085】

いくつかの実施形態において、RF 信号 202 および 204 の状態 S_1 は、クロック信号 152 のクロックサイクルの半分の期間が終わる前に起き、RF 信号 202 および 204 の状態 S_2 は、クロックサイクルの前半からクロックサイクルの後半へのクロック信号 152 の遷移中に起き、RF 信号 202 および 204 の状態 S_3 は、クロックタイムの後半の間に起きる。例えば、RF 信号 202 および 204 の状態 S_1 は、時間 t_{c1} の前に起き、状態 S_2 は、クロックサイクルの前半からクロックサイクルの後半へのクロック信号 152 の遷移中に起き、状態 S_3 は、時間 t_{c1} の後であるが遷移時間 t_{s3} の前に起きる。

50

【 0 0 8 6 】

いくつかの実施形態において、RF信号202および204の状態S1は、クロック信号152のクロックサイクルの半分の期間の間に起き、RF信号202および204の状態S2およびS3は、クロックサイクルの残り半分の期間の間に起きる。例えば、RF信号202および204の状態S1は、時間 t_{c1} の前に起き、RF信号202および204の状態S2およびS3は、時間 t_{c1} の後であるが遷移時間 t_{s3} の前に起きる。

【 0 0 8 7 】

いくつかの実施形態において、期間 t_1 および t_2 は等しく、期間 t_3 は、期間 t_1 および t_2 の各々より長い。

【 0 0 8 8 】

図4Aおよび図4Bは、2MHz RF発生器の代わりにxkHz RF発生器を用いる利点を示すための図である。図4Aは、プラズマチャンバ108内で上側電極128とチャック126との間に形成されたプラズマのイオン（正電荷イオンI1、I2、I3、I4、および、I5ならびに中性種N1、N2、N3、N4、および、N5など）のエネルギー分布を電子ボルト（eV）で示すプロット402Aを有する。このプラズマは、2MHz RF発生器が400kHz RF発生器の代わりに用いられ、図1を参照して説明した方法が適用されない場合に形成される。エネルギー分布は、角度シータ（測定単位は度）に対してプロットされている。角度シータは、停止層（基板層など）の上部に形成されたスタック層410A内に形成されたチャンネル404Aにわたって測定される。本明細書で用いるスタック層は、1または複数の酸化層、バリア層、シード層、1または複数の金属層、または、それらの組みあわせを含む。チャンネル404Aは、イオンがスタック層410Aに入射した時に形成される。2MHz RF発生器がxkHz RF発生器の代わりに用いられる場合、プラズマのイオンのほとんどが、チャンネル404Aの底面408Aに入射しないことに注意されたい。エネルギー分布は、チャンネル404Aにおいて広いので、イオンのほとんどが、スタック層410Aの上部に加工されたマスク層406Aをエッチングする。

【 0 0 8 9 】

図4Bは、プラズマチャンバ108内で上側電極128とチャック126との間に形成されたプラズマのイオンのエネルギー分布を電子ボルトで示すプロット402Bを有する。このプラズマは、図1に示したようにxkHz RF発生器が用いられた時に形成される。エネルギー分布は、角度シータ（測定単位は度）に対してプロットされている。角度シータは、停止層の上部に形成されたスタック層410B内に形成されたチャンネル404Bにわたって測定される。チャンネル404Bは、イオンがスタック層410Bに入射した時に形成される。xkHz RF発生器がプラズマツール100で示したように用いられた場合、プラズマのイオンのほとんどが、チャンネル404Bの底面408Bに入射し、チャンネル404Bをエッチングするエッチング速度が、チャンネル404Aをエッチングするエッチング速度に比べて増大することに注意されたい。エネルギー分布は、チャンネル404Bにおいて狭いので、イオンのほとんどが、スタック層410Bの上部に形成されたマスク層406Bをエッチングする代わりにスタック層410Bをエッチングする。停止層、スタック層410B、および、マスク層406Bの組みあわせは、図1の基板130の一例である。

【 0 0 9 0 】

プロット402Bおよび402Aから示されるように、図1に示したようにxkHz RF発生器が用いられた場合のイオンのイオンエネルギーの角度分布は、xkHz RF発生器の代わりに2MHz RF発生器が用いられ、図1を用いて説明した方法が適用されなかった場合のイオンエネルギーの角度分布と比べて狭い。

【 0 0 9 1 】

図5Aは、図1を参照して本明細書に記載した方法が適用されない場合の基板502Aの一実施形態を示す図である。図1を参照して本明細書に記載した方法を適用しない場合のベースラインプロファイル（BL）が適用される。基板502Aは、停止層504Aを備える。スタック層506Aが停止層504Aの上部に重ねられ、マスク層508Aがスタック層506Aの上部に重ねられている。ベースラインプロファイルが適用された場合

10

20

30

40

50

、クリティカルディメンション（マスク層 508A の部分 A と部分 B との間の水平距離など）が、プラズマツール 100 を用いて示した方法を適用した場合と比べて小さい。結果として、スタック層 506A の部分 A とスタック層 506A の部分 B との間に形成されたチャンネル 512A の底面 510A に到達できるイオンの数が少なくなる。

【0092】

図 5B は、図 1 を参照して本明細書に記載した方法が適用された場合の基板 502B の一実施形態を示す図である。基板 502B は、基板 130（図 1）の一例である。基板 502B は、停止層 504A を備える。スタック層 506B が停止層 504A の上部に重ねられ、マスク層 508B がスタック層 506B の上部に重ねられている。図 1 を参照して本明細書に記載した方法が適用された場合、クリティカルディメンション（マスク層 508B の部分 A と部分 B との間の水平距離など）が、ベースラインプロファイルを適用した場合と比べて大きい。結果として、スタック層 506B の部分 A とスタック層 506B の部分 B との間に形成されたチャンネル 512B の底面 510B に到達できるイオンの数が多くなる。イオンの垂直方向性は、図 1 のプラズマツール 100 を用いて説明した方法を適用した場合に増大する。マスク層 508B が状態 S2 中にマスク層 508A に比べて高い比率でエッチングされることで、垂直方向性が高くなり、チャンネル 512B をエッチングするエッチング速度がチャンネル 512A をエッチングするエッチング速度に比べて増大する。状態 S2 中のマスク層 508B の損失は、状態 S3 中に回復される。

10

【0093】

図 6 は、400kHz RF 発生器をプラズマツール 100 で用いた場合に、50kHz RF 発生器、100kHz RF 発生器、2MHz RF 発生器、または、27MHz RF 発生器を 400kHz RF 発生器の代わりに用いた場合と比べて、イオン角度分布（IAD）が最も狭いことを説明するためのグラフ 600 の一実施形態を示す図である。グラフ 600 は、図 5B のチャンネル 512B にわたって角度に対する IAD をプロットしている。プラズマツール 100 を用いて説明した方法を適用するために、400kHz RF 発生器がプラズマツール 100 で示したように用いられた場合、イオンがチャンネル 512B 内のより狭い範囲の角度に広がるように、イオンの垂直収束（垂直方向性など）が増大する。垂直方向性の増大は、50kHz RF 発生器、100kHz RF 発生器、2MHz RF 発生器、または、27MHz RF 発生器が 400kHz RF 発生器の代わりに用いられた場合に比べて、基板 130 をエッチングするエッチング速度を増大させる。

20

30

【0094】

図 7 は、400kHz RF 発生器をプラズマツール 100 で用いた場合に、50kHz RF 発生器、100kHz RF 発生器、2MHz RF 発生器、または、27MHz RF 発生器が 400kHz RF 発生器の代わりに用いられた場合と比べて、同じ量の正規化されたイオン束のイオンが高アスペクト比の達成を容易にすることを説明するためのグラフ 700 の一実施形態を示す図である。そのアスペクト比は、50kHz RF 発生器、100kHz RF 発生器、2MHz RF 発生器、または、27MHz RF 発生器が 400kHz RF 発生器の代わりに用いられた場合に達成されるアスペクト比と比べて高い。

【0095】

アスペクト比は、チャンネルのクリティカルディメンションに対するチャンネルの深さの比である。例えば、プラズマツール 100 で 400kHz RF 発生器を用いて達成されるアスペクト比は、マスク層 508B のネック領域でのマスク層 508B の部分 A および B の間の水平距離に対するチャンネル 512B の深さの比である。ネック領域は、マスク層 508B の残りの領域に比べてマスク層 508B の上面の近くに位置する。さらに、ネック領域は、マスク層 508B の残りの領域に比べてスタック層 506B から離れて位置する。例示すると、ネック領域は、バルジ（突出部）がマスク層 508B の部分 A および B に形成される位置にある。

40

【0096】

本明細書に記載の実施形態は、ハンドヘルドハードウェアユニット、マイクロプロセッサシステム、マイクロプロセッサベースまたはプログラム可能な家電、ミニコンピュータ

50

、メインフレームコンピュータなど、様々なコンピュータシステム構成で実施されてもよい。実施形態は、ネットワークを通して接続された遠隔処理ハードウェアユニットによってタスクが実行される分散コンピューティング環境で実施されてもよい。

【0097】

一部の実施形態において、コントローラは、システムの一部であり、システムは、上述の例の一部であってよい。かかるシステムは、1または複数の処理ツール、1または複数のチャンバ、処理のための1または複数のプラットフォーム、および/または、特定の処理構成要素（ウエハペDESTAL、ガスフローシステムなど）など、半導体処理装置を備える。これらのシステムは、半導体ウエハまたは基板の処理前、処理中、および、処理後に、システムの動作を制御するための電子機器と一体化される。電子機器は、「コントローラ」と呼ばれてもよく、1または複数のシステムの様々な構成要素または副部品を制御しうる。コントローラは、処理要件および/またはシステムのタイプに応じて、処理ガスの供給、温度設定（例えば、加熱および/または冷却）、圧力設定、真空設定、電力設定、RF発生器設定、RF整合回路設定、周波数設定、流量設定、流体供給設定、位置および動作設定、ならびに、ツールおよび他の移動ツールおよび/またはシステムと接続または結合されたロードロックの内外へのウエハ移動など、本明細書に開示の処理のいずれを制御するようプログラムされる。

10

【0098】

概して、様々な実施形態において、コントローラは、命令を受信する、命令を発行する、動作を制御する、洗浄動作を可能にする、エンドポイント測定を可能にすることなどを行う様々な集積回路、ロジック、メモリ、および/または、ソフトウェアを有する電子機器として定義される。集積回路は、プログラム命令を格納するファームウェアの形態のチップ、デジタル信号プロセッサ（DSP）、ASICとして定義されるチップ、PLD、および/または、1または複数のマイクロプロセッサ、もしくは、プログラム命令（例えば、ソフトウェア）を実行するマイクロコントローラを含む。プログラム命令は、様々な個々の設定（またはプログラムファイル）の形態でコントローラに伝えられて、半導体ウエハに対するまたは半導体ウエハのための特定の処理を実行するためのもしくはシステムへのパラメータ、因子、変数などを定義する命令である。プログラム命令は、一部の実施形態において、ウエハの1または複数の層、材料、金属、酸化物、シリコン、二酸化シリコン、表面、回路、および/または、ダイの加工中に1または複数の処理工程を達成するために処理エンジニアによって定義されるレシピの一部である。

20

30

【0099】

コントローラは、一部の実施形態において、コンピュータの一部であるか、または、コンピュータに接続されており、かかるコンピュータは、システムと一体化されるか、システムに接続されるか、その他の方法でシステムとネットワーク化されるか、または、それらの組み合わせでシステムに結合されている。例えば、コントローラは、「クラウド」内にあるか、もしくは、ウエハ処理のリモートアクセスを可能にするファブホストコンピュータシステムの全部または一部である。コンピュータは、現在の処理のパラメータを変更する、現在の処理に従って処理工程を設定する、または、新たな処理を開始するために、システムへのリモートアクセスを可能にして、製造動作の現在の進捗を監視する、過去の製造動作の履歴を調べる、もしくは、複数の製造動作からの傾向または性能指標を調べる。

40

【0100】

一部の実施形態では、リモートコンピュータ（例えば、サーバ）が、ネットワーク（ローカルネットワークまたはインターネットを含む）を介してシステムに処理レシピを提供する。リモートコンピュータは、パラメータおよび/または設定の入力またはプログラミングを可能にするユーザインターフェースを備え、パラメータおよび/または設定は、リモートコンピュータからシステムに通信される。いくつかの例において、コントローラは、データの形式で命令を受信し、命令は、1または複数の動作中に実行される処理工程の各々のためのパラメータ、因子、および/または、変数を指定する。パラメータ、因子、および/または、変数は、実行される処理のタイプならびにコントローラがインターフェ

50

ース接続するまたは制御するよう構成されたツールのタイプに固有であることを理解されたい。したがって、上述のように、コントローラは、ネットワーク化されて共通の目的（本明細書に記載の処理および制御など）に向けて動作する1または複数の別個のコントローラを備えることなどによって分散される。かかる目的のための分散コントローラの一例は、チャンバでの処理を制御するために協働するリモートに配置された（プラットフォームレベルにある、または、リモートコンピュータの一部として配置されるなど）1または複数の集積回路と通信するチャンバ上の1または複数の集積回路を含む。

【0101】

限定はしないが、様々な実施形態において、方法が適用されるシステムの例は、プラズマエッチングチャンバまたはモジュール、蒸着チャンバまたはモジュール、スピンリンスチャンバまたはモジュール、金属メッキチャンバまたはモジュール、洗浄チャンバまたはモジュール、ベベルエッジエッチングチャンバまたはモジュール、物理蒸着（PVD）チャンバまたはモジュール、化学蒸着（CVD）チャンバまたはモジュール、原子層蒸着（ALD）チャンバまたはモジュール、原子層エッチング（ALE）チャンバまたはモジュール、イオン注入チャンバまたはモジュール、トラックチャンバまたはモジュール、ならびに、半導体ウエハの加工および/または製造に関連するかまたは利用されうる任意のその他の半導体処理システムを含む。

10

【0102】

一部の実施形態において、上述の動作は、いくつかのタイプのプラズマチャンバ、例えば、誘導結合プラズマ（ICP）リアクタ、トランス結合プラズマチャンバ、導体ツール、誘電体ツールを備えるプラズマチャンバ、電子サイクロトロン共鳴（ECR）リアクタを備えるプラズマチャンバなど、に適用されることにも注意されたい。例えば、1または複数のRF発生器が、ICPリアクタ内のインダクタに接続される。インダクタの形状の例は、ソレノイド、ドーム形コイル、平坦形コイルなどを含む。

20

【0103】

上述のように、ツールによって実行される1または複数の処理工程に応じて、ホストコンピュータは、他のツール回路またはモジュール、他のツール構成要素、クラスタツール、他のツールインターフェース、隣接するツール、近くのツール、工場の至る所に配置されるツール、メインコンピュータ、別のコントローラ、もしくは、半導体製造工場内のツール位置および/またはロードポートに向かってまたはそこからウエハのコンテナを運ぶ材料輸送に用いられるツール、の内の1または複数と通信する。

30

【0104】

上述の実施形態を念頭に置いて、実施形態の一部は、コンピュータシステムに格納されたデータを含め、コンピュータによって実行される様々な動作を用いることを理解されたい。これらの動作は、物理量を物理的に扱う動作である。本実施形態の一部を形成する本明細書で説明した動作はいずれも、有用な機械動作である。

【0105】

実施形態の一部は、さらに、これらの動作を実行するためのハードウェアユニットまたは装置に関する。装置は、専用コンピュータ向けに特別に構成される。専用コンピュータとして規定された場合、コンピュータは、特定の目的に含まれない他の処理、プログラム実行、または、ルーチンを実行しつつ、特定の目的のために動作することができる。

40

【0106】

一部の実施形態において、動作は、コンピュータメモリ、キャッシュに格納されたまたはコンピュータネットワークを介して取得された1または複数のコンピュータプログラムによって選択的にアクティベートまたは構成されたコンピュータで処理されてもよい。データがコンピュータネットワークを介して取得されると、そのデータは、コンピュータネットワーク（例えば、コンピューティングリソースのクラウド）上の他のコンピュータによって処理されてもよい。

【0107】

1または複数実施形態は、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体上にコンピュータ

50

読み取り可能なコードとして製造されてもよい。非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体は、データを格納する任意のデータ記憶ハードウェアユニット（例えば、メモリデバイスなど）であり、データは、その後、コンピュータシステムによって読み出される。非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体の例としては、ハードドライブ、ネットワーク接続ストレージ（NAS）、ROM、RAM、コンパクトディスク-ROM（CD-ROM）、CD-レコーダブル（CD-R）、CD-リライタブル（CD-RW）、磁気テープ、および、その他の光学式および非光学式のデータ記憶ハードウェアユニットが挙げられる。一部の実施形態において、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体は、コンピュータ読み取り可能なコードが分散的に格納および実行されるように、ネットワーク接続されたコンピュータシステム上に分散されたコンピュータ読み取り可能なタンジブル媒体を含む。

10

【0108】

上述の方法動作は、特定の順序で提示されているが、様々な実施形態において、その他のハウスキーピング処理が動作の合間に実行される、もしくは、方法動作が、若干異なる時間に行われる、様々な間隔で方法動作が起きることを許容するシステムに方法動作が分散される、または、上述したのと異なる順序で実行されるように調整されることを理解されたい。

【0109】

さらに、一実施形態において、本開示に記載された様々な実施形態に記載された範囲を逸脱することなしに、本明細書に記載の任意の実施形態の1または複数の特徴が、任意の他の実施形態の1または複数の特徴と組み合わせられることに注意されたい。

20

【0110】

理解を深めるために、本実施形態について、ある程度詳しく説明したが、添付の特許請求の範囲内でいくらかの変更および変形を行ってもよいことは明らかである。したがって、本実施形態は、例示的なものであって、限定的なものではないとみなされ、実施形態は、本明細書に示した詳細に限定されない。

適用例1：スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるための方法であって、

第1状態、第2状態、および、第3状態を有するデジタルパルス信号を受信し、
前記デジタルパルス信号が前記第3状態から前記第1状態へ遷移しているか否かを判定し、

30

前記デジタルパルス信号が前記第3状態から前記第1状態へ遷移していると判定した場合に、前記第1状態中の電力レベルを有するkHz RF信号を生成するように、キロヘルツ(kHz)高周波(RF)発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第3状態から前記第1状態へ遷移していると判定した場合に、前記第1状態中の電力レベルを有するMHz RF信号を生成するように、メガヘルツ(MHz)RF発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第1状態から前記第2状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第1状態から前記第2状態へ遷移していると判定した場合に、前記第2状態中の電力レベルを有する前記kHz RF信号を生成するように、前記kHz RF発生器を制御し、

40

前記デジタルパルス信号が前記第1状態から前記第2状態へ遷移していると判定した場合に、前記第2状態中の電力レベルを有する前記MHz RF信号を生成するように、前記MHz RF発生器を制御し、前記第2状態中の前記MHz RF信号の前記電力レベルは、前記第1状態中の前記MHz RF信号の前記電力レベルよりも低く、

前記デジタルパルス信号が前記第2状態から前記第3状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第2状態から前記第3状態へ遷移していると判定した場合に、前記第3状態中の電力レベルを有する前記kHz RF信号を生成するように、前記kHz RF発生器を制御し、前記第2状態中に前記スタック層の前記底部に向かう前記プ

50

ラズマの前記イオンの前記方向性を増大させるために、前記第 2 状態中の前記 $kH z R F$ 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 $kH z R F$ 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 $kH z R F$ 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 $kH z R F$ 信号の前記電力レベルよりも高く、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 3 状態中の電力レベルを有する前記 $MH z R F$ 信号を生成するように、前記 $MH z R F$ 発生器を制御すること、
を備える、方法。

適用例 2：適用例 1 に記載の方法であって、前記スタック層の前記底部への前記プラズマの前記イオンの前記方向性の増大を容易にするために、前記第 2 状態中の前記 $MH z R F$ 信号の前記電力レベルは、0 である、方法。

10

適用例 3：適用例 2 に記載の方法であって、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 状態中の前記 $MH z R F$ 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 $MH z R F$ 信号の前記電力レベルよりも高い、方法。

適用例 4：適用例 1 に記載の方法であって、前記第 2 状態中の前記 $kH z R F$ 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 $MH z R F$ 信号の前記電力レベルよりも高い、方法。

適用例 5：適用例 1 に記載の方法であって、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 状態中の前記 $kH z R F$ 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 $MH z R F$ 信号の前記電力レベルと同じである、方法。

20

適用例 6：適用例 1 に記載の方法であって、前記第 1 状態中の前記 $kH z R F$ 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 $MH z R F$ 信号の前記電力レベルよりも高い、方法。

適用例 7：適用例 1 に記載の方法であって、さらに、クロック信号を受信することを備え、前記第 1 状態は前記クロック信号の第 1 期間中に起き、前記第 2 状態は前記クロック信号の第 2 期間中に起き、前記第 3 状態は前記クロック信号の第 3 期間中に起き、前記第 3 期間は、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 1 期間よりも長く、前記第 2 期間は、前記マスク層の前記損失の低減を容易にするために、前記第 1 期間よりも短く、前記第 2 期間は、前記イオンの前記方向性の増大を容易にする、方法。

30

適用例 8：適用例 1 に記載の方法であって、前記 $kH z R F$ 発生器は、 $400 kH z R F$ 発生器であり、前記 $MH z R F$ 発生器は、 $60 MH z R F$ 発生器である、方法。

適用例 9：適用例 1 に記載の方法であって、さらに、繰り返すクロックサイクルを有するクロック信号を受信し、前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態は、前記クロックサイクル中に起き、前記クロックサイクルの繰り返しと共に繰り返す、方法。

適用例 10：スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるためのシステムであって、

$kH z R F$ 信号を生成するよう構成されたキロヘルツ高周波 ($R F$) 発生器と、
 $MH z R F$ 信号を生成するよう構成されたメガヘルツ ($MH z$) $R F$ 発生器と、

前記 $kH z R F$ 発生器および前記 $MH z R F$ 発生器に接続されているインピーダンス整合回路網であって、前記 $kH z R F$ 信号および前記 $MH z R F$ 信号を受信して、変調された $R F$ 信号を生成するよう構成されている、インピーダンス整合回路網と、

40

前記インピーダンス整合回路網に接続されているプラズマチャンバであって、前記変調された $R F$ 信号を受信するよう構成されている、プラズマチャンバと、
を備え、

前記 $kH z R F$ 発生器は、
第 1 状態、第 2 状態、および、第 3 状態を有するデジタルパルス信号を受信し、
前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移していると判定した場

50

合に、前記第 1 状態中の電力レベルを有する前記 k H z R F 信号を生成するように、前記 k H z R F 発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 2 状態中の電力レベルを有する前記 k H z R F 信号を生成するように、前記 k H z R F 発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 3 状態中の電力レベルを有する前記 k H z R F 信号を生成するように、前記 k H z R F 発生器を制御するよう構成されており、

前記第 2 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルよりも高く、

前記 M H z R F 発生器は、

第 1 状態、第 2 状態、および、第 3 状態を有する前記デジタルパルス信号を受信し、前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 1 状態中の電力レベルを有する前記 M H z R F 信号を生成するように、前記 M H z R F 発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 2 状態中の電力レベルを有する前記 M H z R F 信号を生成するように、前記 M H z R F 発生器を制御し、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移しているか否かを判定し、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 3 状態中の電力レベルを有する前記 M H z R F 信号を生成するように、前記 M H z R F 発生器を制御するよう構成されている、システム。

適用例 1 1：適用例 1 0 に記載のシステムであって、前記第 2 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルは、0 である、システム。

適用例 1 2：適用例 1 1 に記載のシステムであって、前記第 3 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルよりも高い、システム。

適用例 1 3：適用例 1 0 に記載のシステムであって、前記第 2 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルよりも高い、システム。

適用例 1 4：適用例 1 0 に記載のシステムであって、前記第 3 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルと同じである、システム。

適用例 1 5：適用例 1 0 に記載のシステムであって、前記第 1 状態中の前記 k H z R F 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 M H z R F 信号の前記電力レベルよりも高い、システム。

適用例 1 6：適用例 1 0 に記載のシステムであって、前記 k H z R F 発生器および前記 M H z R F 発生器の各々は、クロック信号を受信するよう構成されており、前記第 1 状態は前記クロック信号の第 1 期間中に起き、前記第 2 状態は前記クロック信号の第 2 期間中に起き、前記第 3 状態は前記クロック信号の第 3 期間中に起き、前記第 3 期間は前記第 1

10

20

30

40

50

期間よりも長く、前記第 1 期間は前記第 2 期間よりも長い、システム。

適用例 17：適用例 10 に記載のシステムであって、前記 kHz RF 発生器は、400 kHz RF 発生器であり、前記 MHz RF 発生器は、60 MHz RF 発生器である、システム。

適用例 18：適用例 10 に記載のシステムであって、前記 kHz RF 発生器および前記 MHz RF 発生器の各々は、繰り返すクロックサイクルを有するクロック信号を受信するよう構成されており、前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態は、前記クロックサイクル中に起き、前記クロックサイクルの繰り返しと共に繰り返す、システム。

適用例 19：スタック層の底部に向かうプラズマのイオンの方向性を増大させるための複数の動作をコンピュータに実行させるプログラムを格納した非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記動作は、

第 1 状態、第 2 状態、および、第 3 状態を有するデジタルパルス信号を受信する動作と、前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移しているか否かを判定する動作と、

前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 1 状態中の電力レベルを有する kHz RF 信号を生成するように、キロヘルツ (kHz) 高周波 (RF) 発生器を制御する動作と、

前記デジタルパルス信号が前記第 3 状態から前記第 1 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 1 状態中の電力レベルを有する MHz RF 信号を生成するように、メガヘルツ (MHz) RF 発生器を制御する動作と、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移しているか否かを判定する動作と、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 2 状態中の電力レベルを有する前記 kHz RF 信号を生成するように、前記 kHz RF 発生器を制御する動作と、

前記デジタルパルス信号が前記第 1 状態から前記第 2 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 2 状態中の電力レベルを有する前記 MHz RF 信号を生成するように、前記 MHz RF 発生器を制御する動作と、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移しているか否かを判定する動作と、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 3 状態中の電力レベルを有する前記 kHz RF 信号を生成するように、前記 kHz RF 発生器を制御する動作と、前記スタック層の前記底部に向かう前記プラズマの前記イオンの前記方向性を増大させるために、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 1 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも低く、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルよりも高く、

前記デジタルパルス信号が前記第 2 状態から前記第 3 状態へ遷移していると判定した場合に、前記第 3 状態中の電力レベルを有する前記 MHz RF 信号を生成するように、前記 MHz RF 発生器を制御する動作と、

を含む、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体。

適用例 20：適用例 19 に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記第 2 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、0 である、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体。

適用例 21：適用例 20 に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体。

適用例 22：適用例 21 に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 3 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 3 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力

10

20

30

40

50

レベルと同じである、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体。

適用例 2 3 : 適用例 1 9 に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記第 2 状態中の前記 kHz RF 信号の前記電力レベルは、前記第 2 状態中の前記 MHz RF 信号の前記電力レベルよりも高い、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体。

適用例 2 4 : 適用例 1 9 に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記動作は、さらに、クロック信号を受信する動作を含み、前記第 1 状態は前記クロック信号の第 1 期間中に起き、前記第 2 状態は前記クロック信号の第 2 期間中に起き、前記第 3 状態は前記クロック信号の第 3 期間中に起き、前記第 3 期間は、前記スタック層の上部のマスク層の損失の低減を容易にするために、前記第 1 期間よりも長く、前記第 1 期間は、前記第 2 期間よりも長い、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体。

10

適用例 2 5 : 適用例 1 9 に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記 kHz RF 発生器は、400 kHz RF 発生器であり、前記 MHz RF 発生器は、60 MHz RF 発生器である、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体。

適用例 2 6 : 適用例 1 9 に記載の非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体であって、前記動作は、さらに、繰り返すクロックサイクルを有するクロック信号を受信する動作を含み、前記第 1 状態、前記第 2 状態、および、前記第 3 状態は、前記クロックサイクル中に起き、前記クロックサイクルの繰り返しと共に繰り返す、非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体。

【図面】

【図 1】

【図 2】

20

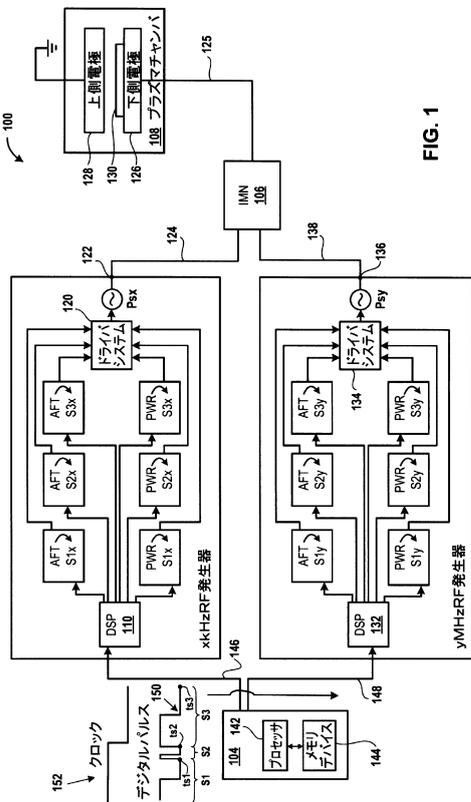


FIG. 1

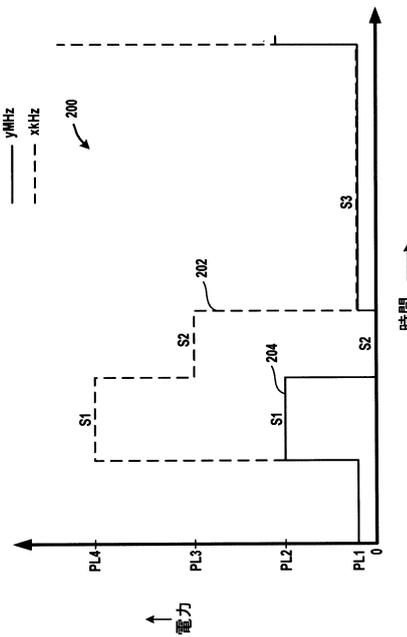


FIG. 2

30

40

50

【図 3】

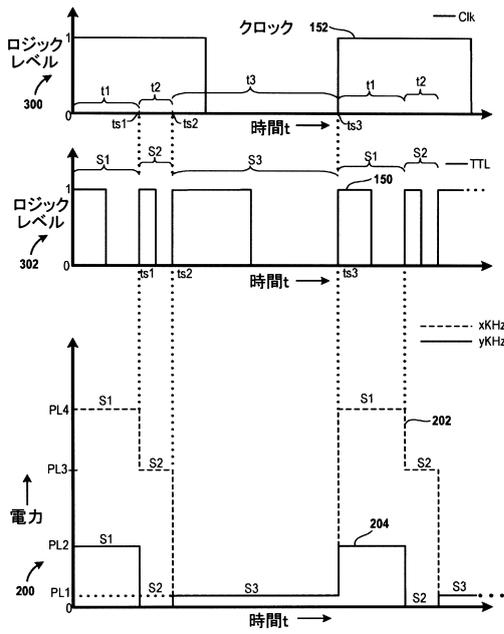


FIG. 3

【図 4 A】

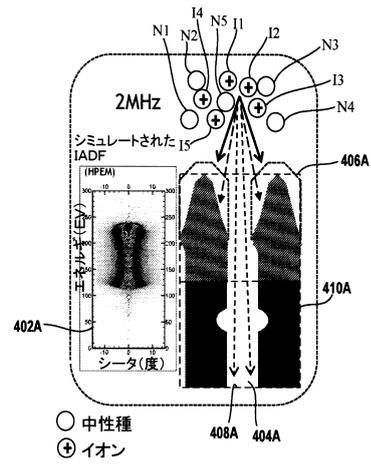


FIG. 4A

10

20

【図 4 B】

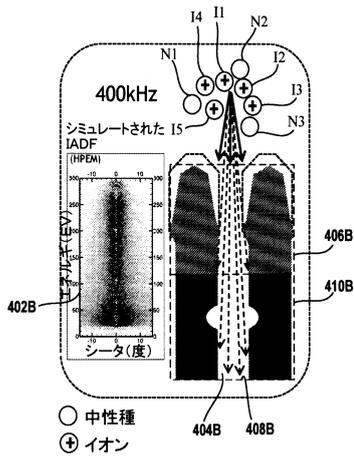


FIG. 4B

【図 5 A】

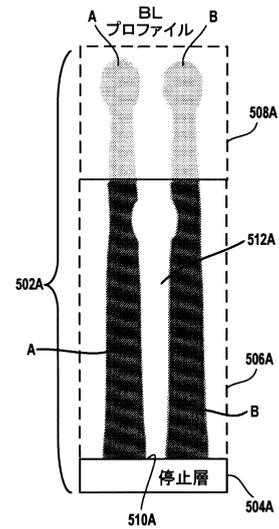


FIG. 5A

30

40

50

【 図 5 B 】

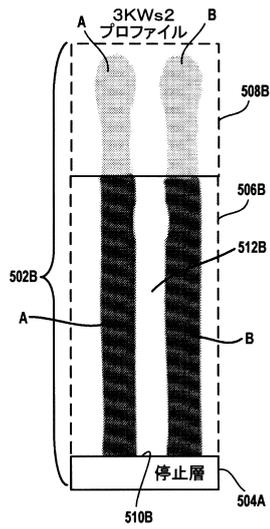


FIG. 5B

【 図 6 】

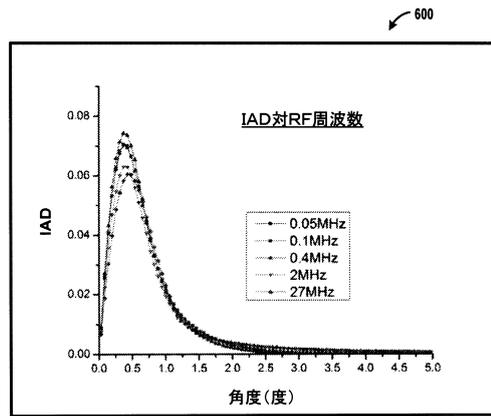


FIG. 6

10

【 図 7 】

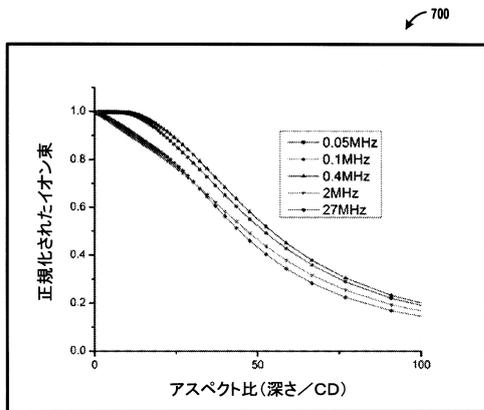


FIG. 7

20

30

40

50

フロントページの続き

- 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0
- (72)発明者 フェリックス・コザケビッチ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0
- (72)発明者 ケニス・ルチェッシ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0
- (72)発明者 ジーガン・チェン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0
- (72)発明者 ジョン・パトリック・ホランド
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5 0
- 審査官 藤本 加代子
- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 2 0 7 0 9 9 (U S , A 1)
特開 2 0 1 3 - 1 9 1 5 5 4 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 2 4 0 0 4 2 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 2 3 8 9 6 0 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 0 6 9 5 4 2 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
- H 0 5 H 1 / 0 0 - 1 / 5 4
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5
C 2 3 C 1 4 / 5 4
C 2 3 C 1 6 / 5 0 - 1 6 / 5 1 7