

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7566873号  
(P7566873)

(45)発行日 令和6年10月15日(2024.10.15)

(24)登録日 令和6年10月4日(2024.10.4)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 1 L 21/31 (2006.01)	H 0 1 L 21/31			C
H 0 1 L 21/3065(2006.01)	H 0 1 L 21/302		1 0 1 B	
C 2 3 C 16/505 (2006.01)	C 2 3 C 16/505			
H 0 5 H 1/46 (2006.01)	H 0 5 H 1/46			R
	H 0 5 H 1/46			M

請求項の数 9 (全27頁)

(21)出願番号	特願2022-506171(P2022-506171)	(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
(86)(22)出願日	令和2年7月30日(2020.7.30)	(74)代理人	110000028 弁理士法人明成国際特許事務所
(65)公表番号	特表2022-542397(P2022-542397 A)	(72)発明者	カブール・サニル 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)公表日	令和4年10月3日(2022.10.3)	審査官	小 高 孔 頌
(86)国際出願番号	PCT/US2020/070333		
(87)国際公開番号	WO2021/022303		
(87)国際公開日	令和3年2月4日(2021.2.4)		
審査請求日	令和5年6月1日(2023.6.1)		
(31)優先権主張番号	62/880,822		
(32)優先日	令和1年7月31日(2019.7.31)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 複数の出力ポートを有する無線周波数電力発生器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

マルチステーション集積回路製造チャンバに結合するのに適合する無線周波数電力を生成する装置であって、

周期信号を生成するように構成された発振器と、

前記発振器から信号を受信するための入力ポートと、変動する振幅の信号を提供するための出力ポートとを各々有する複数の可変利得前置増幅器と、

前記複数の可変利得前置増幅器のうちの1つから信号を受信するための入力ポートと、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションでプラズマを生成するために増幅信号を電極に結合するために構成された出力ポートとを各々有する複数の定利得増幅器と、

複数のセンサであって、前記複数のセンサの各々が、前記複数の定利得増幅器の対応する出力ポートに結合される複数のセンサと

を備え、

前記複数のセンサの各々の出力ポートは、制御モジュールの入力ポートに結合され、前記制御モジュールからの出力信号は、前記複数の可変利得前置増幅器のうちの対応する可変利得前置増幅器の利得を調整するために入力ポートに結合され、

前記複数のセンサのうちの1つまたは複数は、閾値を超える前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに送信される電力、閾値を超える前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションから反

射される電力、閾値を超える前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに結合される電流、および閾値を超える前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに印加される電圧からなる群から選択される範囲外パラメータを検出するように構成され、

前記制御モジュールは、前記複数のセンサのうちの1つまたは複数が、前記範囲外パラメータを検出した場合に、前記範囲外パラメータが前記閾値を超えないように、前記複数の可変利得前置増幅器のうちの対応する可変利得前置増幅器の利得を調整する、装置。

【請求項2】

請求項1に記載の装置であって、

前記発振器によって生成される前記周期信号は、300.0kHzから100.0MHzの間の周波数を含む、装置。

10

【請求項3】

請求項2に記載の装置であって、

前記発振器によって生成される前記周期信号は、400.0kHz、1.0MHz、2.0MHz、13.56MHz、27.12MHz、60.0MHz、および100.0MHzからなる群から選択される周波数を含む、装置。

【請求項4】

請求項1に記載の装置であって、

前記制御モジュールは、前記複数のセンサのうちの1つからの信号の受信から10.0ns以内に前記出力信号を提供するための回路を実装する、装置。

20

【請求項5】

請求項1に記載の装置であって、

前記複数の定利得増幅器の各々は、少なくとも1000Wの出力電力を提供する、装置。

【請求項6】

マルチステーション集積回路製造チャンバであって、

複数のステーションと、

前記マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションに無線周波数電力を結合するように構成された複数の無線周波数電力発生器であって、各無線周波数電力発生器が、

発振器から信号を受信するための入力ポートと、変動する電力振幅の信号を提供するための出力ポートとを有する可変利得前置増幅器と、

30

前記可変利得前置増幅器から信号を受信するための入力ポートと、前記割り当てられたステーションに電力を結合するために構成された出力ポートとを有する定利得増幅器であって、

前記割り当てられたステーションに前記結合された電力が、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションでプラズマを生成するために電極に供給される定利得増幅器と、

前記定利得増幅器の対応する出力ポートに結合されるセンサと

を備える複数の無線周波数電力発生器と

を備え、

40

前記複数の無線周波数電力発生器の各々は、前記割り当てられたステーションに結合された前記電力の閾値を超える範囲外パラメータを検出するように構成されたセンサに結合され、前記範囲外パラメータが、出力電圧振幅、出力電流振幅、前記割り当てられたステーションに送信される電力の振幅、および前記割り当てられたステーションから反射される電力の振幅からなる群のうちの1つに対応し、

前記センサが前記範囲外パラメータを検出した場合に、前記範囲外パラメータが前記閾値を超えないように前記可変利得前置増幅器の利得を調整する、マルチステーション集積回路製造チャンバ。

【請求項7】

請求項6に記載のマルチステーション集積回路製造チャンバであって、

50

前記発振器は、400.0kHz、1.0MHz、2.0MHz、13.56MHz、27.12MHz、60.0MHz、および100.0MHzからなる群から選択される周波数を有する周期信号を生成する、マルチステーション集積回路製造チャンバ。

【請求項8】

請求項7に記載のマルチステーション集積回路製造チャンバであって、

前記定利得増幅器は、少なくとも1000.0Wの出力電力を提供することが可能である、マルチステーション集積回路製造チャンバ。

【請求項9】

請求項6に記載のマルチステーション集積回路製造チャンバであって、

前記範囲外パラメータを検出するように構成された前記センサは、前記範囲外パラメータを検出してから10.0ns以内に前記可変利得前置増幅器に信号を伝達する、マルチステーション集積回路製造チャンバ。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

参照による援用

本出願の一部として、本明細書と同時にPCT出願願書が提出される。この同時出願されたPCT出願願書にて明記され、本出願が利益または優先権を主張する各出願は、参照によりその全体があらゆる目的で本明細書に組み込まれる。

【背景技術】

20

【0002】

集積回路装置の製造は、半導体処理チャンバ内の半導体ウエハの処理を含んでもよい。一般的なプロセスは、堆積を含んでもよく、半導体材料は、レイヤー・バイ・レイヤー方式、ならびに半導体ウエハの特定の領域における材料の除去（例えば、エッチング）などで堆積されてもよい。商業規模の製造では、各ウエハには、製造されている特定の半導体装置の多数のコピーが含まれており、多数のウエハを利用して、必要な量の装置を得てもよい。したがって、半導体処理動作の商業上の実現化は、少なくともある程度、ウエハ内の均一性およびウエハ間のプロセス条件の再現性に依拠する可能性がある。その結果、所与のウエハの各部分、ならびに半導体処理チャンバ内で処理される各ウエハが、確実に同じ処理条件を受けると努力がなされている。処理条件における変化は、堆積速度およびエッチング速度に望ましくないばらつきをもたらす可能性があり、次いで、製造プロセス全体に許容できないばらつきをもたらす場合がある。このようなばらつきは、回路の性能を低下させ、次いで、例えば、集積回路装置を利用する、上位システムの性能に許容できないばらつきを引き起こす場合がある。

30

【0003】

本明細書にて提示された背景技術の説明は、本開示の内容を概ね提示することを目的とする。本背景技術のセクションにて説明される範囲内における、現時点で名前を挙げられている発明者らによる研究、ならびに出願の時点で先行技術として別途みなされ得ない説明の態様は、明示または暗示を問わず、本開示に対抗する先行技術として認められない。

【発明の概要】

40

【0004】

本明細書では、マルチステーション集積回路製造チャンバに結合するのに適した無線周波数電力を生成する方法および装置を提供する。一態様は、マルチステーション集積回路製造チャンバに結合するのに適した無線周波数電力を生成する装置であって、前記装置が、周期信号を生成するように構成された発振器と、前記発振器から信号を受信するための入力ポートと、変動する振幅の信号を提供するための出力ポートとを各々有する複数の可変利得前置増幅器と、前記複数の可変利得前置増幅器のうちの1つから信号を受信するための入力ポートと、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションでプラズマを生成するために増幅信号を電極に結合するために構成された出力ポートとを各々有する複数の定利得増幅器と、複数のセンサであって、前記複数のセンサの

50

各々が、前記複数の定利得増幅器の対応する出力ポートに結合される複数のセンサとを含む装置を含む。

【0005】

いくつかの実施形態では、前記発振器によって生成される前記周期信号は、300.0 kHzから100.0 MHzの間の周波数を含む。

【0006】

いくつかの実施形態では、前記発振器によって生成される前記周期信号は、400.0 kHz、1.0 MHz、2.0 MHz、13.56 MHz、27.12 MHz、60.0 MHz、または100.0 MHzからなる群から選択される周波数を含む。

【0007】

上記いずれかの態様において、前記複数のセンサの各々の出力ポートは、制御モジュールの入力ポートに結合されてもよく、前記制御モジュールからの出力信号は、前記複数の可変利得前置増幅器のうちの対応する可変利得前置増幅器の利得を調整するために入力ポートに結合されてもよい。

【0008】

上記いずれかの態様において、前記複数のセンサのうちの1つまたは複数は、閾値を超える前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに送信される電力、閾値を超える前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションから反射される電力、閾値を超える前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに結合される電流、および閾値を超える前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに印加される電圧からなる群から選択される範囲外パラメータを検出するように構成されてもよい。

【0009】

上記いずれかの態様において、前記制御モジュールは、前記複数のセンサのうちの1つからの信号の受信から10.0 ns以内に前記出力信号を提供するための回路を実装してもよい。

【0010】

上記いずれかの態様において、前記複数の定利得増幅器の各々は、少なくとも約100 Wの出力電力を提供してもよい。

【0011】

別の態様は、マルチステーション集積回路製造チャンバに結合するための無線周波数電力を生成する装置であって、前記装置が、周期信号を生成するように構成された発振器と、前記発振器から信号を受信するための入力ポートと、前記受信された信号に対して定利得を有する信号を提供するための出力ポートとを有する前置増幅器と、前記前置増幅器から信号を受信するための入力ポートと、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションでプラズマを生成するために増幅信号を電極に結合するために構成された出力ポートとを各々有する複数の可変利得増幅器と、複数のセンサであって、前記複数のセンサの各々が、前記複数の可変利得増幅器のうちの対応する1つの出力電力を変化させるために制御信号を提供する複数のセンサとを含む装置を含む。

【0012】

上記いずれかの態様において、前記発振器によって生成される前記周期信号は、300.0 kHzから100.0 MHzの間の周波数を含んでもよい。

【0013】

上記いずれかの態様において、前記発振器によって生成される前記周期信号は、400.0 kHz、1.0 MHz、2.0 MHz、13.56 MHz、27.12 MHz、60.0 MHz、および100.0 MHzからなる群から選択される周波数を含んでもよい。

【0014】

上記いずれかの態様において、前記複数の可変利得増幅器の各々は、少なくとも約100.0 Wの出力電力を提供することが可能であってもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 5 】

上記いずれかの態様において、前記装置は、前記複数のセンサのうちの1つからの信号の受信から10.0ns以内に前記制御信号を提供するための回路を有する制御モジュールをさらに含んでもよい。

## 【 0 0 1 6 】

別の態様は、マルチステーション集積回路製造チャンバであって、複数のステーションと、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションに無線周波数電力を結合するように構成された複数の無線周波数電力発生器であって、各無線周波数電力発生器が、発振器から信号を受信するための入力ポートと、変動する電力振幅の信号を提供するための出力ポートとを有する可変利得前置増幅器と、前記可変利得前置増幅器から信号を受信するための入力ポートと、前記割り当てられたステーションに電力を結合するために構成された出力ポートとを有する定利得増幅器であって、前記割り当てられたステーションに前記結合された電力が、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションでプラズマを生成するために電極に供給される定利得増幅器と、前記定利得増幅器の対応する出力ポートに結合されるセンサを含む複数の無線周波数電力発生器とを含むマルチステーション集積回路製造チャンバを含む。

10

## 【 0 0 1 7 】

上記いずれかの態様において、前記発振器は、400.0kHz、1.0MHz、2.0MHz、13.56MHz、27.12MHz、60.0MHz、および100.0MHzからなる群から選択される周波数を有する周期信号を生成してもよい。

20

## 【 0 0 1 8 】

上記いずれかの態様において、前記定利得増幅器は、少なくとも約1000.0Wの出力電力を提供することが可能であってもよい。

## 【 0 0 1 9 】

上記いずれかの態様において、前記複数の無線周波数電力発生器の各々は、前記割り当てられたステーションに結合された前記電力の範囲外パラメータを検出するように構成されたセンサに結合されてもよく、前記範囲外パラメータが、出力電圧振幅、出力電流振幅、前記割り当てられたステーションに送信される電力の振幅、および前記割り当てられたステーションから反射される電力の振幅からなる群のうちの1つに対応する。

## 【 0 0 2 0 】

上記いずれかの態様において、前記センサは、前記範囲外パラメータを検出するように構成されてもよく、前記範囲外パラメータを検出してから約10.0ns以内に前記可変利得前置増幅器に信号を伝達する。

30

## 【 0 0 2 1 】

別の態様は、制御モジュールであって、前記制御モジュールが、無線周波数電力センサから信号を取得するための1つまたは複数の入力ポートであって、前記信号が、無線周波数電力発生器からの出力信号における範囲外パラメータの検出を示す1つまたは複数の入力ポートと、前記無線周波数電力発生器の増幅器段に信号を提供するための1つまたは複数の出力ポートであって、前記増幅器段への前記信号が、前記無線周波数電力発生器からの前記出力信号のパラメータを変更するように構成される1つまたは複数の出力ポートと、前記無線周波数電力センサから前記信号を取得してから約10ns以内に前記1つまたは複数の出力ポートからの前記信号の生成を開始するためのプロセッサを含む制御モジュールを含む。

40

## 【 0 0 2 2 】

上記いずれかの態様において、前記無線周波数電力発生器は、400.0kHz、1.0MHz、2.0MHz、13.56MHz、27.12MHz、60.0MHz、および100.0MHzからなる群から選択される周波数で動作してもよい。

## 【 0 0 2 3 】

上記いずれかの態様において、前記無線周波数電力発生器からの前記出力信号の前記範囲外パラメータは、電圧波形と電流波形との間の位相角を含んでもよい。

50

## 【 0 0 2 4 】

上記いずれかの態様において、前記範囲外パラメータは、前記無線周波数電力発生器から供給される電力を含んでもよい。

## 【 0 0 2 5 】

上記いずれかの態様において、前記無線周波数電力発生器は、約 1 . 0 k W の電力を提供してもよい。

## 【 0 0 2 6 】

別の態様は、マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションに結合するのに適した無線周波数電力を生成する方法であって、前記方法が、周期信号を生成することと、前記周期信号を複数の可変利得前置増幅器に結合することと、前記複数の可変利得前置増幅器の各々からの出力信号を複数の定利得増幅器のうちの対応する 1 つに結合することと、前記複数の定利得増幅器の各々からの出力信号を前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに結合することを含む方法を含む。

10

## 【 0 0 2 7 】

上記いずれかの態様において、前記方法は、前記複数の定利得増幅器のうちの 1 つからの出力信号において範囲外パラメータを感知することと、前記範囲外パラメータを感知したことに応答して、前記可変利得前置増幅器のうちの、ある可変利得前置増幅器からの前記出力信号の振幅を変更することとをさらに含んでもよい。

## 【 0 0 2 8 】

上記いずれかの態様において、前記範囲外パラメータは、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションから反射される電力に対応してもよい。

20

## 【 0 0 2 9 】

上記いずれかの態様において、前記範囲外パラメータは、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに伝導される電流に対応してもよい。

## 【 0 0 3 0 】

上記いずれかの態様において、前記範囲外パラメータは、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに印加される電圧に対応してもよい。

## 【 0 0 3 1 】

上記いずれかの態様において、前記可変利得前置増幅器からの前記出力信号の前記振幅は、前記範囲外パラメータを感知してから 1 0 . 0 n s 以内に変更されてもよい。

30

## 【 0 0 3 2 】

上記いずれかの態様において、前記周期信号を生成することは、4 0 0 . 0 k H z 、 1 . 0 M H z 、 2 . 0 M H z 、 1 3 . 5 6 M H z 、 2 7 . 1 2 M H z 、 6 0 . 0 M H z 、 および 1 0 0 . 0 M H z からなる群から選択される周波数を有する信号を生成することを含んでもよい。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 3 3 】

【 図 1 A 】 図 1 A は、様々な実施形態による、任意の数のプロセスを利用して半導体基板上またはその上に膜を堆積するための基板処理装置を示す。

40

## 【 0 0 3 4 】

【 図 1 B 】 図 1 B は、マルチステーション処理ツールの一実施形態の概略図を示す。

## 【 0 0 3 5 】

【 図 2 】 図 2 は、一実施形態による、複数の出力ポートを有する無線周波数 ( R F ) 電力発生器の概略図である。

## 【 0 0 3 6 】

【 図 3 】 図 3 は、一実施形態による、複数の出力ポートを有する R F 電力発生器の概略図である。

## 【 0 0 3 7 】

50

【図4】図4は、一実施形態による、複数の出力ポートを有するRF発生器での使用に適した制御モジュールの概略図である。

【0038】

【図5】図5は、一実施形態による、マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションに結合するのに適した無線周波数電力を生成する方法に関するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0039】

特定の実施形態では、複数の出力ポートを有する無線周波数(RF)電力発生器は、プラズマベースのウエハ製造など、様々な半導体製造プロセスで利用されてもよい。例えば、堆積および/またはエッチングプロセスを実行するために個々のプロセスステーションを含んでもよい、マルチステーション集積回路製造チャンバでは、特定の出力ポートは、マルチステーション製造チャンバの対応するステーションに割り当てられるか、もしくはその他の方法で動作するように構成されてもよい。したがって、例えば、マルチステーション製造チャンバの特定のステーション内の堆積速度がマルチステーション製造チャンバの他のステーションと比較して堆積速度の増加または減少を示す場合、RF電力パラメータは、特定のステーションで調整可能である。このような調整は、マルチステーション製造チャンバのすべてのプロセスステーションにわたってより均一な堆積をもたらすように、他のチャンバの堆積速度と比較して堆積速度の補正または均等化をもたらす可能性がある。場合によっては、マルチステーション製造チャンバの個々に割り当てられたステーションに結合されたRF電力にわたるこのような独立した制御により、他のステーションが製造動作を完了している一方で、1つまたは複数のステーションが製造プロセスの実行を継続可能であってもよい。これにより、マルチステーション製造チャンバを通じて製造されたすべてのウエハおよび/またはデバイスの歩留まりの最大化が可能であってもよい。

【0040】

特定の実施形態は、マルチステーション集積回路製造チャンバに結合されるRF電力発生器の他の装置に関する改良を示してもよい。例えば、いくつかの実施形態では、RF電力発生器は、電力結合器に結合された2つ以上の信号増幅器を利用してもよい。単一の出力ポートを通してマルチステーション製造チャンバに結合されてもよい、RF電力結合器からの出力電力は、RF電力分割器に結合されることにより、分割されたRF電力の製造チャンバの入力ポートへの結合が可能であってもよい。その結果、RF電力の結合およびその後の分割の結果として、マルチステーション製造チャンバのステーションは、すべて単一の構成要素として制御されてもよく、この単一の構成要素は、各ステーションに供給されている実質的に同一のRF電力レベルを含んでもよい。マルチステーション製造チャンバのすべてのステーションへの実質的に同一のRF電力レベルの供給に加えて、このようなRF電力の結合および分割は、RF電力発生器によって生成されるRF電力におけるあらゆる異常にマルチステーションチャンバのすべてのステーションが均等に曝露されることを可能にする場合がある。したがって、過電圧状態および/または過電流状態などの異常、ならびに製造プロセスに悪影響を及ぼす可能性のある、電力結合器によって供給されるRF電力における変動は、製造チャンバのすべてのステーションに同様に結合される可能性がある。このような異常電圧、異常電流、および異常総電力のマルチステーション集積回路製造チャンバのすべてのステーションへの結合は、ウエハの歩留まりを低下させるだけでなく、製造された回路要素の予測不可能な結果をもたらす可能性がある。

【0041】

特定の実施形態および実施態様は、様々なプラズマ励起原子層堆積(ALD)プロセス(例えば、ALD1、ALD2)、様々なプラズマ励起化学気相堆積(例えば、CVD1、CVD2、CVD3)プロセスなど、いくつかのウエハ製造プロセスで利用されてもよく、もしくは単一の堆積プロセス中にオンザフライで利用されてもよい。特定の実施形態では、複数の出力ポートを有するRF電力発生器は、300.0kHzから60.0MHzの間の周波数など、任意の信号周波数で利用されてもよく、この任意の信号周波数は、

10

20

30

40

50

400.0kHz、1.0MHz、2.0MHz、13.56MHz、および27.12MHzの周波数を含んでもよい。しかしながら、他の実施形態では、複数の出力ポートを有するRF電力発生器は、任意の信号周波数で動作してもよく、この任意の信号周波数は、50.0kHzから300.0kHzの間などの比較的低い周波数、ならびに60.0MHzから100.0MHzの間の周波数など、より高い信号周波数を実質的に制限なく含んでもよい。

#### 【0042】

本明細書に記載された特定の実施形態が、複数の出力ポートを有し、出力ポートが4ステーション集積回路製造チャンバの4つのプロセスステーションのうちの1つに割り当てられる場合があるRF電力発生器を示すおよび/または記載する場合があるが、特許請求された主題は、任意の数のプロセスステーションを備えるマルチステーション集積回路製造チャンバを含んでもよいことに留意されたい。したがって、実施形態では、複数の出力ポートを有するRF電力発生器の個々の出力ポートは、例えば、2つのプロセスステーションまたは3つのプロセスステーションを有するマルチステーション製造チャンバのプロセスステーションに割り当てられてもよい。他の実施形態では、複数の出力ポートを有するRF電力発生器の個々の出力ポートは、5つのプロセスステーション、6つのプロセスステーション、8つのプロセスステーション、10個のプロセスステーションなど、より多くの数のプロセスステーション、または任意の他の数のプロセスステーションを有するマルチステーション集積回路製造チャンバのプロセスステーションに、実質的に制限なく割り当てられてもよい。

#### 【0043】

半導体装置の製造には一般的に、統合された製造プロセスにおいて、平面または非平面の基板上または基板の上に1つまたは複数の薄膜を堆積することが必要である。統合されたプロセスのいくつかの態様では、固有の基板トポグラフィに合致する薄膜を堆積することが有用な場合がある。このような場合に有用な反応の1つのタイプには、化学気相堆積(CVD)が含まれる。一般的なCVDプロセスでは、反応チャンバのステーション内に導入された気相反応物質は、同時に気相反応を起こす。気相反応の生成物は、基板の表面に堆積する。この種の反応は、プラズマの存在によって促進されるか、もしくは強化される場合があり、その場合、プロセスは、プラズマ励起化学気相堆積(PECVD)反応と呼ばれる場合がある。本明細書で使用されるように、CVDという用語は、特に指摘しない限り、PECVDを含むように意図される。CVDプロセスは、いくつかの文脈であまり適切ではない状態を与える特定の欠点を有する。例えば、CVD気相反応の質量移行の制限は、上面(例えば、ゲートスタックの上面)ではより厚い堆積、凹んだ面(例えば、ゲートスタックの下角)ではより薄い堆積を示す堆積効果をもたらす場合がある。さらに、異なるデバイス密度の領域を有するいくつかの半導体ダイに応じて、基板表面にわたる質量移行効果により、ダイ内およびウエハ内の厚さにばらつきが生じる可能性がある。したがって、後続のエッチングプロセス中に、厚さのばらつきにより、一部の領域がオーバーエッチングされ、他の領域がアンダーエッチングされる可能性があり、これにより、デバイスの性能およびダイの歩留まりが低下する可能性がある。CVDプロセスに関する別の難点は、このようなプロセスがほぼ高アスペクト比のフィーチャにコンフォーマルな膜を堆積できないことである。この問題は、デバイスの寸法の微細化が進むにつれ、ますます問題となる可能性がある。図1Aと図1Bに関連して、ウエハ製造プロセスの特定の態様のこれらの欠点およびその他の欠点を説明する。

#### 【0044】

別の例では、いくつかの堆積プロセスは、複数の膜堆積サイクルを含み、各々が別個の膜厚を生成する。例えば、原子層堆積(ALD)では、堆積された層の厚さは、膜形成化学反応自体の前に、吸着制限層を形成するように、基板表面上に吸着する可能性がある1つまたは複数の膜前駆体反応物質の量によって制限される場合がある。したがって、ALDのフィーチャは、繰り返し、連続的に使用される薄膜層(単一の原子または分子の幅を有する層など)の形成を必要とする。デバイスおよびフィーチャサイズの規模が縮小し続

10

20

30

40

50

け、3次元デバイスおよび構造が集積回路（IC）設計においてより一般的になるにつれ、薄いコンフォーマルな膜（例えば、下層の構造の形状に対して均一な厚さを有する材料の膜）を堆積する能力は、重要性を増し続けている。したがって、ALDが、各堆積サイクルが材料の単一の原子層または分子層を堆積するように動作する膜形成技術であることを鑑み、ALDは、コンフォーマルな膜の堆積に非常に適している可能性がある。ALDを要する一般的なデバイス製造プロセスは、数百または数千に及ぶ可能性がある、複数のALDサイクルを含み、次いで複数のALDサイクルを利用して、実質的に任意の所望の厚さの膜を形成してもよい。さらに、各層が薄く、コンフォーマルであることを鑑み、このようなプロセスから生じる膜は、下層のデバイス構造の形状に合致する可能性がある。特定の実施形態では、ALDサイクルは、以下のステップを含んでもよい。

10

**【0045】**

第1の前駆体に基板表面を曝露すること。

**【0046】**

基板が位置する反応チャンバを浄化すること。

**【0047】**

一般に、プラズマおよび/または第2の前駆体を用いて、基板表面の反応を活性化すること。

**【0048】**

基板が位置する反応チャンバを浄化すること。

**【0049】**

各ALDサイクルの持続時間は一般に、25.0秒未満または10.0秒未満または5.0秒未満であってもよい。ALDサイクルのプラズマ曝露ステップ（または複数のステップ）は、1.0秒以下の持続時間など、短い持続時間であってもよい。

20

**【0050】**

次に図に移ると、図1Aは、様々な実施形態による、任意の数のプロセスを用いて半導体基板上に膜を堆積するための基板処理装置100を示す。図1Aの処理装置100は、内部容積内に単一の基板ホルダ108（例えば、台座）を備えたプロセスチャンバの単一のプロセスステーション102を利用し、このプロセスステーション102は、真空ポンプ118によって真空下に維持されてもよい。プロセスチャンバに流体的に結合されてもよい、シャワーヘッド106およびガス供給システム101は、例えば、膜前駆体、ならびにキャリアガスおよび/またはパージガスおよび/またはプロセスガス、二次反応物質などの供給を可能にしてもよい。プロセスチャンバ内でのプラズマの生成に利用される機器も図1Aに示されている。図1Aに概略的に示されている装置は特に、プラズマ励起CVDを実行するのに適していてもよい。

30

**【0051】**

図1Aでは、ガス供給システム101は、シャワーヘッド106に供給するためにプロセスガスを混合および/または調節するための混合容器104を含む。1つまたは複数の混合容器入口弁120は、混合容器104へのプロセスガスの導入を制御してもよい。特定の反応物質は、気化および後続のプロセスチャンバのプロセスステーション102への供給の前に、液体形状で保存されてもよい。図1Aの実施形態は、混合容器104に供給される液体反応物質を気化するための気化点103を含む。いくつかの実施態様では、気化点103は、加熱された液体注入モジュールを備えてもよい。他のいくつかの実施態様では、気化点103は、加熱された気化器を備えてもよい。さらに他の実施態様では、気化点103は、プロセスステーションから除去されてもよい。いくつかの実施態様では、気化点103の上流の液体流量制御装置（LFC）は、気化およびプロセスステーション102への供給のための液体の質量流量を制御するために設けられてもよい。

40

**【0052】**

シャワーヘッド106は、プロセスステーションで基板112に向かってプロセスガスおよび/または反応物質（例えば、膜前駆体）を分配するように動作してもよく、その流れは、シャワーヘッドから上流の1つまたは複数の弁（例えば、弁120、120A、1

50

05)によって制御される。図1Aに示される実施形態では、基板112は、シャワーヘッド106の下に位置するように示され、かつ台座108上に載置されていることが示される。シャワーヘッド106は、任意の適切な形状を備えてもよく、プロセスガスを基板112に分配するための任意の適切な数および配置のポートを含んでもよい。2つ以上のステーションを備えたいくつかの実施形態では、ガス供給システム101は、シャワーヘッドから上流に弁または他の流量制御構造を含み、これらにより、ガスの流れを切り分けて第1のステーションへのガスの流れを可能にする一方で、第2のステーションへのガスの流れを防ぐように、各ステーションへのプロセスガスおよび/または反応物質の流れを独立して制御できる。さらに、ガス供給システム101は、異なるステーションに供給されるガス組成が異なるように、マルチステーション装置内の各ステーションに供給されるプロセスガスおよび/または反応物質を独立して制御するように構成されてもよく、例えば、ガス組成の分圧が、同時にステーション間で変化してもよい。

10

#### 【0053】

図1Aでは、ボリウム107は、シャワーヘッド106の下に位置するように示されている。いくつかの実施態様では、台座108は、基板112をボリウム107に曝露するために、かつ/もしくはボリウム107のサイズを変化させるために、上昇または下降してもよい。任意に、台座108は、ボリウム107内のプロセス圧力、反応物質濃度などを調節するために、堆積プロセスの一部の間に下降および/または上昇してもよい。シャワーヘッド106および台座108は、プラズマ発生器に電力を供給するために無線周波数電源114および整合ネットワーク116に電気的に結合されるように示されている。したがって、シャワーヘッド106は、無線周波数電力をプロセスステーション102に結合するための電極として機能してもよい。いくつかの実施態様では、プラズマエネルギーは、1つまたは複数のプロセスステーションの圧力、ガス濃度、RF電力発生器などを制御することによって、(例えば、適切な機械読取可能な命令および/または制御論理を有するシステムコントローラを介して)制御される。例えば、無線周波数電源114および整合ネットワーク116は、任意の適切なRF電力レベルで動作されてもよく、ラジカル種の所望の組成を有するプラズマを形成するように動作してもよい。同様に、RF電源114は、任意の適切な周波数、または周波数の群、および電力レベルのRF電力を供給してもよい。

20

#### 【0054】

いくつかの実施態様では、プラズマ点火および維持条件は、入力/出力制御(IOC)命令のシーケンスを介して制御命令を提供可能なシステムコントローラ内の適切なハードウェアおよび/または適切な機械読取可能な命令で制御される。一例では、点火またはプラズマの維持をもたらすための命令は、プロセスレシピのプラズマ活性化レシピの形態で提供される。ある場合には、プロセスレシピは、プロセスに対する少なくとも一部の命令が同時に実行され得るように、順次的に配列されてもよい。いくつかの実施態様では、1つまたは複数のプラズマパラメータを設定するための命令は、プラズマ点火プロセスに先行するレシピに含まれてもよい。例えば、第1のレシピは、不活性ガス(例えば、ヘリウム)および/または反応ガスの流量を設定するための命令と、プラズマ発生器を電力設定点に設定するための命令と、第1のレシピのための時間遅延命令とを含んでもよい。第2の後続のレシピは、プラズマ発生器を有効にするための命令と、第2のレシピのための時間遅延命令とを含んでもよい。第3のレシピは、プラズマ発生器を無効にするための命令と、第3のレシピのための時間遅延命令とを含んでもよい。これらのレシピは、本開示の範囲内で任意の適切な方法でさらに細分化かつ/もしくは繰り返されてもよいことが理解されるであろう。いくつかの堆積プロセスでは、プラズマストライクの持続時間は、3.0秒から15.0秒までなど、数秒の持続時間に相当してもよく、もしくは、例えば、最大30.0秒の持続時間など、より長い持続時間を要してもよい。本明細書に記載される特定の実施態様では、はるかに短いプラズマストライクが、処理サイクル中に適用されてもよい。このようなプラズマストライクの持続時間は、50.0ミリ秒未満程度であってもよく、特定の例では、25.0ミリ秒のプラズマストライクが利用されている。

30

40

50

## 【 0 0 5 5 】

簡略化のために、処理装置 1 0 0 は、低圧環境を維持するためのプロセスチャンバのスタンドアロンステーション ( 1 0 2 ) として、図 1 A に示されている。しかしながら、マルチステーション処理ツールの一実施形態の概略図を示す、図 1 B に示されるように、複数の処理ステーションが、マルチステーション処理ツール環境に含まれてもよいことを理解されたい。処理ツール 1 5 0 は、複数の製造プロセスステーションを含む集積回路製造チャンバ 1 6 5 を採用しており、製造プロセスステーションの各々を使用して、特定の製造プロセスステーションで、図 1 A の台座 1 0 8 などのウエハホルダに保持された基板上で処理動作を実行してもよい。図 1 B の実施形態では、集積回路製造チャンバ 1 6 5 は、4 つのプロセスステーション 1 5 1、1 5 2、1 5 3、および 1 5 4 を有することが示されている。他の同様のマルチステーション処理装置は、実施態様および、例えば、並列ウエハ処理の所望のレベル、サイズ/空間の制約、コストの制約などに応じて、より多くまたはより少ないプロセスステーションを有してもよい。また、基板ハンドラロボット 1 7 5 が図 1 B に示されており、この基板ハンドラロボット 1 7 5 は、システムコントローラ 1 9 0 の制御下で動作してもよく、ウエハカセット ( 図 1 B に示さず ) からの基板をロードポート 1 8 0 から集積回路製造チャンバ 1 6 5 内に移動させ、プロセスステーション 1 5 1、1 5 2、1 5 3、および 1 5 4 のうちの 1 つの上に移動させるように構成される。

10

## 【 0 0 5 6 】

また、図 1 B は、プロセスツール 1 5 0 のプロセス条件およびハードウェア状態を制御するために採用されるシステムコントローラ 1 9 0 の一実施形態を示す。システムコントローラ 1 9 0 は、1 つまたは複数の記憶装置、1 つまたは複数の大容量記憶装置、および 1 つまたは複数のプロセッサを含んでもよい。1 つまたは複数のプロセッサは、中央処理装置、アナログおよび/またはデジタル入力/出力接続、ステッピングモータコントローラボードなどを含んでもよい。いくつかの実施形態では、システムコントローラ 1 9 0 は、プロセスツール 1 5 0 のすべての動作を制御する。システムコントローラ 1 9 0 は、大容量記憶装置に保存されたシステム制御ソフトウェアを実行し、このシステム制御ソフトウェアは、記憶装置にロードされ、システムコントローラのプロセッサで実行されてもよい。システムコントローラ 1 9 0 のプロセッサによって実行されるソフトウェアは、プロセスツール 1 5 0 によって実行される特定のプロセスのタイミング、ガスの混合物、製造チャンバおよび/またはステーションの圧力、製造チャンバおよび/またはステーションの温度、ウエハの温度、基板の台座、チャックおよび/またはサセプタの位置、1 つまたは複数の基板上で実行されるサイクル数、および他のパラメータを制御するための命令を含んでもよい。これらのプログラムされたプロセスは、チャンバ内部の表面上の蓄積量の判定に関するプロセス、サイクル数を含む基板上の膜の堆積に関するプロセス、補償されたサイクル数の判定および取得に関するプロセス、およびチャンバの洗浄に関するプロセスを含む、様々なタイプのプロセスを含んでもよいが、これらに限定されない。システムコントローラ 1 9 0 の 1 つまたは複数のプロセッサによって実行されてもよい、システム制御ソフトウェアは、任意の適切な方法で構成されてもよい。例えば、様々なプロセスツール構成要素サブルーチンまたは制御対象物を記述して、様々なツールプロセスを実行するために必要なプロセスツール構成要素の動作を制御してもよい。

20

30

40

## 【 0 0 5 7 】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 1 9 0 のプロセッサを介して実行するためのソフトウェアは、上述された様々なパラメータを制御するための入力/出力制御 ( I O C ) シーケンス命令を含んでもよい。例えば、基板の堆積および堆積サイクルの各フェーズは、システムコントローラ 1 9 0 による実行のための 1 つまたは複数の命令を含んでもよい。A L D / C F D 堆積プロセスフェーズに関するプロセス条件を設定するための命令は、対応する A L D / C F D 堆積レシピフェーズに含まれてもよい。いくつかの実施形態では、レシピフェーズは、プロセスフェーズのためのすべての命令がそのプロセスフェーズと同時に実行されるように、連続して配列されてもよい。

## 【 0 0 5 8 】

50

システムコントローラ 190 の大容量記憶装置および/またはシステムコントローラ 190 にアクセス可能な記憶装置に保存された他のコンピュータソフトウェアおよび/またはプログラムは、いくつかの実施形態で採用されてもよい。このためのプログラムまたはプログラムのセクションの例には、基板位置決めプログラム、プロセスガス制御プログラム、圧力制御プログラム、ヒータ制御プログラム、およびプラズマ制御プログラムが挙げられる。基板位置決めプログラムは、基板を(図 1A の)台座 108 上に積載するため、かつ基板とプロセスツール 150 の他の部品との間の間隔を制御するために使用されるプロセスツール構成要素のためのプログラムコードを含んでもよい。位置決めプログラムは、基板上に膜を堆積し、チャンバを洗浄するために必要に応じて反応チャンバに基板を適切に出し入れするための命令を含んでもよい。

10

**【0059】**

プロセスガス制御プログラムは、ガス組成および流量を制御するためのコードと、任意にプロセスステーション内の圧力を安定させるために、堆積前に1つまたは複数のプロセスステーションにガスを流すためのコードとを含んでもよい。いくつかの実施形態では、プロセスガス制御プログラムは、反応チャンバ内の基板上に膜を形成する間にガスを導入するための命令を含む。これは、基板のバッチ内の1つまたは複数の基板に対して異なるサイクル数でガスを導入することを含んでもよい。圧力制御プログラムは、例えば、プロセスステーションの排気システムにおけるスロットル弁、プロセスステーション内へのガス流などを調節することによって、プロセスステーション内の圧力を制御するためのコードを含んでもよい。圧力制御プログラムは、バッチの処理中に1つまたは複数の基板上に異なるサイクル数の堆積の間、同じ圧力を維持するための命令を含んでもよい。

20

**【0060】**

ヒータ制御プログラムは、基板を加熱するために使用される加熱ユニット 110 への電流を制御するためのコードを含んでもよい。あるいは、ヒータ制御プログラムは、基板への熱搬送ガス(ヘリウムなど)の供給を制御してもよい。

**【0061】**

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 190 と関連するユーザインターフェースがあってもよい。ユーザインターフェースは、表示画面、装置および/またはプロセス条件のグラフィカルソフトウェア表示、ならびにポインティングデバイス、キーボード、タッチスクリーン、マイクロフォンなどのユーザ入力デバイスを含んでもよい。

30

**【0062】**

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 190 によって調整されるパラメータは、プロセス条件に関連してもよい。非限定的な例としては、プロセスガス組成および流量、温度、圧力、プラズマ条件などが挙げられる。これらのパラメータは、レシピの形態でユーザに提供されてもよく、レシピは、ユーザインターフェースを利用して入力されてもよい。基板のバッチ全体に関するレシピは、バッチを処理する間に厚さの傾向を考慮するために、バッチ内の1つまたは複数の基板に対して補償されたサイクルカウントを含んでもよい。

**【0063】**

プロセスを監視するための信号は、様々なプロセスツールセンサからシステムコントローラ 190 のアナログおよび/またはデジタル入力接続部によって提供されてもよい。プロセスを制御するための信号は、プロセスツール 150 のアナログおよび/またはデジタル出力接続部を通して出力されてもよい。監視可能なプロセスツールセンサの非限定的な例としては、マスフローコントローラ、圧力センサ(マノメータなど)、熱電対などが挙げられる。また、センサは、チャンバの内部の1つまたは複数の表面上の蓄積および/またはチャンバ内の基板上的材料層の厚さを監視および判定するために含まれ、使用されてもよい。適切にプログラムされたフィードバックおよび制御アルゴリズムは、これらのセンサからのデータを使用して、プロセス条件を維持してもよい。

40

**【0064】**

システムコントローラ 190 は、上述した堆積プロセスを実装するためのプログラム命

50

令を提供してもよい。プログラム命令は、DC電力レベル、圧力、温度、基板に対するサイクル数、チャンバ内部の少なくとも1つの表面上の蓄積量など、様々なプロセスパラメータを制御してもよい。命令は、本明細書に記載された様々な実施形態による膜スタックの堆積をその場で動作するようにパラメータを制御してもよい。

#### 【0065】

例えば、システムコントローラは、本明細書に記載された技術を実行するための制御論理を含んでもよい。その制御論理とは、堆積チャンバ内部の少なくとも内部領域上にその時点で蓄積された堆積材料の量を判定することと、(a)にて判定された蓄積された堆積材料の量、またはそこから得られたパラメータを、(i)ターゲット堆積厚を達成するために必要なALDサイクル数と、(ii)蓄積された堆積材料の量を表す変数との間の関係に適用することと、堆積チャンバ内部の内部領域上にその時点で蓄積された堆積材料の量を考慮したターゲット堆積厚を生成するために補償されたALDサイクル数を得るために、基板のバッチ内の1つまたは複数の基板上で補償されたALDサイクル数を実行することなどが挙げられる。また、システムは、チャンバ内の蓄積が蓄積限界に達していることを判定し、その判定に応じて、基板のバッチの処理を停止し、チャンバ内部を洗浄させるための制御論理を含んでもよい。

10

#### 【0066】

図1Bのシステムコントローラ190によって実行される上記特定された機能および/または動作に加えて、コントローラはさらに、無線周波数入力ポート166、167、168、および169を介して集積回路製造チャンバ165にRF電力を伝達してもよい、RF電力発生器205の動作を制御および/または管理してもよい。本明細書にさらに記載されるように、このような動作は、例えば、集積回路製造チャンバ165に供給されるRF電力の上限および下限閾値の決定、集積回路製造チャンバ165に供給されるRF電力の実際の(リアルタイムなどの)レベルの判定、RF電力の活性化/非活性化時間、RF電力のオン/オフ持続時間、動作周波数などに関係してもよい。さらに、システムコントローラ190は、入力ポート166、167、168、および169を介して集積回路製造チャンバ165に供給されるRF電力の一連の正常な動作パラメータを決定してもよい。このようなパラメータは、例えば、反射係数(例えば、散乱パラメータ「 $S_{11}$ 」)に関して入力ポート166~169のうちの1つまたは複数から反射される電力の上限および下限閾値、入力ポート166~169のうちの1つまたは複数に印加される電圧の上限および下限閾値、入力ポート166~169のうちの1つまたは複数を通して伝導される電流の上限および下限閾値、ならびに電圧と入力ポート166~169のうちの1つまたは複数を通して伝導される電流との間の位相角の振幅における上限閾値を含んでもよい。このような閾値は、「範囲外」RF電力パラメータを定義する際に利用されてもよい。例えば、上限閾値よりも大きい反射電力は、範囲外RF電力パラメータを指してもよい。同様に、下限閾値よりも低い値または上限閾値よりも大きい値を有する印加電圧または伝導電流は、範囲外RF電力パラメータを指してもよい。同様に、上限閾値よりも大きい印加電圧と伝導電流との間の位相角は、範囲外RF電力パラメータを指してもよい。さらに、システムコントローラ190は、RF電力発生器205の制御モジュールの設定を提供してもよく、この設定は、10.0ns、15.0ns、20.0nsなどの制御システム応答時間を含んでもよい。

20

30

40

#### 【0067】

特定の実施形態では、集積回路製造チャンバ165は、入力ポート166~169に加えて入力ポート(図1Bでは図示されない追加の入力ポート)を備えてもよい。したがって、集積回路製造チャンバ165は、8つのRF入力ポートを利用してもよい。特定の実施形態では、集積回路製造チャンバ165のプロセスステーション151~154は各々、第1および第2の入力ポートを利用してもよく、第1の入力ポートが第1の周波数を有する信号を伝達してもよく、第2の入力ポートが第2の周波数を有する信号を伝達してもよい。二周波の使用により、強化されたプラズマ特性がもたらされる可能性があり、これにより、特定の制限内の堆積速度および/またはより容易に制御される堆積速度が得られ

50

る可能性がある。二周波は、他の望ましい結果をもたらす可能性があり、特許請求された主題は、この点で限定されない。特定の実施形態では、300.0 kHzから65.0 MHzの間の周波数が利用されてもよい。いくつかの実施態様では、2.0 MHz以下の信号周波数は低周波(LF)を指してもよく、一方で2.0 MHzよりも大きい周波数は高周波(HF)を指してもよい。

#### 【0068】

したがって、システムコントローラ190は、RF電力発生器205内の様々な信号経路の独立した動作を可能にしてもよい。経路間のこのような独立性は、集積回路製造チャンバ165の個々に割り当てられたステーションに結合されるRF電力に独立した制御を可能にしてもよい。したがって、本明細書で前述したように、集積回路製造チャンバ165の特定のステーション内の堆積速度が、集積回路製造チャンバ165の他のプロセスステーションと比較して堆積速度の増加または減少を示す場合、RF電力発生器205内の特定の信号経路のRF電力パラメータは、調整されてもよい。このような調整により、他のチャンバの堆積速度と比較して堆積速度の補正または調整がもたらされてもよく、これにより、集積回路製造チャンバ165のすべてのプロセスステーションにわたって、より一定の堆積速度がもたらされる可能性がある。さらに、また前述したように、RF電力発生器205の独立した信号経路を介して結合されたRF電力へのこのような独立した制御により、他のステーションが製造動作を完了している一方で、集積回路製造チャンバ165の1つまたは複数のステーションが製造プロセスの実行を継続可能であってもよい。これにより、集積回路製造チャンバ165を利用して製造されたすべてのウエハおよび/またはすべてのデバイスの歩留まりの最大化が可能であってもよい。

#### 【0069】

図2は、一実施形態200による複数の出力ポートを有するRF電力発生器の概略図である。図1Bを参照して説明したように、RF電力発生器205は、独立した信号経路を含んでもよく、これにより、マルチステーション製造チャンバの割り当てられたステーションへの結合が可能であってもよい。したがって、RF電力発生器205は、マルチステーション集積回路製造チャンバ165の、入力ポート166、167、168、および169などの対応する数の入力ポートに結合するための4つの出力ポートを含む。特定の実施態様では、RF電力発生器205は、5.0 kW、6.0 kW、または8.0 kWなどの1.0から10.0 kWの範囲内のRF電力を生成可能であってもよい。しかしながら、特定の実施態様では、RF電力発生器205は、500 W、750 Wなどの1.0 kW未満を生成してもよい。他の実施態様では、RF電力発生器205は、12.0 kW、15.0 kW、20.0 kWなどの10.0 kWよりも大きい電力を生成してもよい。さらに、RF電力発生器205が4つの独立した信号経路を備えるように示されているが、他の実施態様では、RF電力発生器は、例えば、1~3の間の独立した信号経路を備えてもよく、あるいは、5つの信号経路、6つの信号経路などの4つよりも多い信号経路を備えてもよい。

#### 【0070】

RF電力発生器205の発振器210は、300.0 kHzから100.0 MHzの間の実質的に固定された周波数を有する信号などの周期信号を提供してもよい。しかしながら、特定の実施態様では、発振器210は、400.0 kHz、1.0 MHz、2.0 MHz、13.56 MHz、27.12 MHz、60.0 MHz、および100.0 MHzの固定周波数など、400.0 kHzから100.0 MHzの間(および含む)の固定周波数を有する周期信号を提供してもよい。発振器210からの出力信号は、前置増幅器232、234、236、および238の入力ポートに結合されてもよく、これらの前置増幅器の各々は、発振器210から受信した信号の振幅を制御可能に増加させるように動作してもよい。図2の実施形態では、前置増幅器232~238の各々の利得パラメータは、制御モジュール275からの信号を介して制御されてもよく、この制御モジュール275により、可変振幅を有する出力信号が生じてもよい。特定の実施態様では、前置増幅器232~238の各々は、発振器210からの信号を、0.0 dBから20.0 dBの間

の量で増幅してもよい。しかしながら、他の実施態様では、制御モジュール 275 は、前置増幅器 232 ~ 238 によって 10.0 dB および 23.0 dB の量などで、異なる値の増幅をもたらすように動作してもよい。

#### 【0071】

前置増幅器 232 の出力ポートからの信号は、電力増幅器 242 の入力ポートに結合され、この電力増幅器 242 は、図 2 の実施形態では、例えば、30.0 dB の利得を適用可能である、定利得増幅器を表してもよい。したがって、特定の実施態様では、前置増幅器 232 からの 1ワットの信号は、増幅器 242 の出力ポートで 1000ワットの信号を供給するように、電力増幅器 242 によって増幅されてもよい。同様の方法で、電力増幅器 244 は、前置増幅器 234 からの信号に同様の（例えば、30.0 dB の）利得を適用してもよい。同様に、電力増幅器 246 は、前置増幅器 236 からの信号に同様の（例えば、30.0 dB の）利得を適用してもよい。同様に、電力増幅器 248 は、前置増幅器 238 からの信号に同様の（例えば、30.0 dB の）利得を適用してもよい。他の実施態様では、電力増幅器 242 ~ 248 は、25.0 dB、20.0 dB などの 30.0 dB 未満の利得など、異なる値の利得を適用してもよく、あるいは、33.0 dB、35.0 dB、または 40.0 dB などの 30.0 dB よりも大きい増幅利得を適用してもよく、特許請求された主題は、この点で限定されないことに留意されたい。

10

#### 【0072】

電力増幅器 242 の出力ポートからの信号は、センサ 252 に結合されてもよく、このセンサ 252 は、入力ポート 166 に供給される電力のパラメータを監視または検出してもよく、集積回路製造チャンバ 165 のプロセスステーションの入力ポートに対応してもよい。さらに、センサ 252 は、集積回路製造チャンバ 165 の入力ポート 166 から反射される電力を測定するように動作してもよい。したがって、入力ポート 166 に送信された、もしくは入力ポート 166 から反射された電力において検出された測定可能な変動にตอบสนองして、センサ 252 は、対応する表示を制御モジュール 275 に提供してもよい。次いで、制御モジュール 275 は、電力増幅器 242 の入力ポートに生成および結合された出力電力において検出された変動を補償するように、前置増幅器 232 に指示してもよい。このような補償は、入力ポート 166 に供給される定電力の維持を補助してもよい。

20

#### 【0073】

いくつかの実施態様では、センサ 252 は、増幅器 242 からの出力信号の電圧の振幅、増幅器 242 からの出力信号によって伝導される電流、ならびに出力信号の電圧と電流との間の位相角など、追加のパラメータを測定してもよい。したがって、入力ポート 166 に供給された信号の電圧または電流における変動にตอบสนองして、もしくは入力ポート 166 に供給された有効電力 ( $V I \cos(\quad)$ ) の低下を示す可能性がある、閾値を超える出力信号の電圧 ( $V$ ) と電流 ( $I$ ) との間の位相角 ( $\quad$ ) に応じて、センサ 252 は、制御モジュール 275 に表示を提供してもよい。次いで、制御モジュール 275 は、電力増幅器 242 の入力ポートに結合される出力電力を増加させるように、前置増幅器 232 に指示してもよく、前置増幅器 232 は、入力ポート 166 に供給される定電力を維持するように動作してもよい。センサ 254、256、および 258 は、対応する電力増幅器 244、246、および 248 からの信号の出力電圧、電流、および位相を監視することによって、センサ 252 と同様の方法で動作してもよい。

30

40

#### 【0074】

特定の実施態様では、制御モジュール 275 は、電力増幅器 242 ~ 248 からの出力信号のパラメータにおいて迅速な調整を可能にする方法で、センサ 252 ~ 258 からの入力信号にตอบสนองしてもよい。電力増幅器 242 ~ 248 からの出力信号のパラメータにおけるこのような迅速な調整により、確実に集積回路製造チャンバ 165 の入力ポート 166 ~ 169 に結合された信号の範囲外パラメータが、プロセスステーション内に長時間異常をもたらさないようにしてもよい。したがって、例えば、チャンバの割り当てられたプロセスステーションの堆積速度を瞬間的に低下させる可能性がある、集積回路製造チャンバ 165 の入力ポート 166 に結合または送信された電力の減少を検出するセンサ 252

50

にตอบสนองして、電力増幅器 242 からの出力信号電力は、ウエハ処理動作上の堆積においてこのような減少のあらゆる影響を最小化するように、迅速に増加されてもよい。特定の実施態様では、制御モジュール 275 は、前置増幅器 232 ~ 238 のうちの 1 つまたは複数の利得パラメータを変更するなどして、10.0 ns 以内に電力増幅器 242 ~ 248 のうちの 1 つまたは複数からの出力信号において検出された範囲外パラメータにตอบสนองしてもよい。しかしながら、他の実施態様では、制御モジュール 275 は、例えば、15.0 ns 以内、20.0 ns 以内、または 25.0 ns 以内など、より長い時間内に電力増幅器からの出力信号において検出された範囲外パラメータにตอบสนองしてもよい。

#### 【0075】

図 3 は、一実施形態 300 による、複数の出力ポートを有する RF 電力発生器の概略図である。図 2 を参照して説明された RF 電力発生器 205 と同様の方法で、RF 電力発生器 305 は、独立した信号経路を含んでもよく、これにより、例えば、集積回路製造チャンバ 165 の割り当てられたステーションへの結合が可能であってもよい。したがって、RF 電力発生器 305 は、集積回路製造チャンバ 165 の、入力ポート 166、167、168、および 169 などの対応する数の入力ポートに結合するための 4 つの出力ポートを含む。特定の実施態様では、RF 電力発生器 305 は、5.0 kW、6.0 kW、または 8.0 kW などの 1.0 から 10.0 kW の範囲内の RF 電力を生成可能であってもよい。しかしながら、特定の実施態様では、RF 電力発生器 305 は、500 W、750 W などの 1.0 kW 未満を生成してもよい。他の実施態様では、RF 電力発生器 305 は、12.0 kW、15.0 kW、20.0 kW などの 10.0 kW よりも大きい電力を生成してもよい。さらに、RF 電力発生器 305 が 4 つの独立した信号経路を備えるように示されているが、他の実施態様では、RF 電力発生器は、例えば、1 ~ 3 の間の独立した信号経路を備えてもよく、あるいは、5 つの信号経路、6 つの信号経路などの 4 つよりも多い信号経路を備えてもよい。

#### 【0076】

RF 電力発生器 305 の発振器 310 は、例えば、300.0 kHz から 100.0 MHz の間の実質的に固定された周波数を有する信号などの周期信号を提供してもよい。しかしながら、特定の実施態様では、発振器 310 は、400.0 kHz、1.0 MHz、2.0 MHz、13.56 MHz、27.12 MHz、60.0 MHz、および 100.0 MHz の固定周波数など、400.0 kHz から 100.0 MHz の間の固定周波数を有する周期信号を提供してもよい。発振器 310 からの出力信号は、前置増幅器 320 の入力ポートに結合されてもよく、この前置増幅器 320 は、発振器 310 から受信した信号に一定の利得を適用するように動作してもよい。図 3 の実施形態では、前置増幅器 320 は、発振器 310 からの信号を、0.0 dB から 20.0 dB の間の量で増幅してもよい。しかしながら、他の実施形態では、制御モジュール 375 は、前置増幅器 232 ~ 238 によって 10.0 dB および 23.0 dB の量などで、異なる値の増幅をもたらすように動作してもよい。

#### 【0077】

前置増幅器 320 の出力ポートからの信号は、分割されて、電力増幅器 342、344、346、および 348 の入力ポートに結合されてもよく、これらの電力増幅器は、図 3 の実施形態では、例えば、20.0 dB および 40.0 dB の利得を適用可能である、可変利得増幅器を表してもよい。したがって、例えば、前置増幅器 320 からの 1 ワットの信号は、電力増幅器の出力ポートで 100.0 W から 10.0 kW の間の振幅など、変動する振幅を有する信号を提供するように、電力増幅器 342、344、346、および 348 の各々によって変更されてもよい。他の実施態様では、電力増幅器 342 ~ 348 は、15.0 dB、20.0 dB などの 20.0 dB 未満の利得など、異なる値の利得を適用してもよく、あるいは、43.0 dB または 45.0 dB などの 40.0 dB よりも大きい増幅利得を適用してもよく、特許請求された主題は、この点で限定されないことに留意されたい。

#### 【0078】

10

20

30

40

50

電力増幅器 3 4 2 ~ 3 4 8 からの出力信号は、センサ 3 5 2、3 5 4、3 5 6、および 3 5 8 の入力ポートに結合されてもよく、これらのセンサは、集積回路製造チャンバ 1 6 5 の入力ポート 1 6 6、1 6 7、1 6 8、および 1 6 9 に供給される、もしくはそこから反射される電力のパラメータを監視または検出するように動作してもよい。図 3 の実施形態では、センサ 3 5 2 は、集積回路製造チャンバ 1 6 5 の入力ポート 1 6 6 に結合された（または送信された）電力、ならびに集積回路製造チャンバ 1 6 5 の入力ポート 1 6 6 から反射される電力を測定してもよい。したがって、入力ポート 1 6 6 に送信された電力において検出された測定可能な変動にตอบสนองして、センサ 3 5 2 は、制御モジュール 3 7 5 に対応する表示を提供してもよい。次いで、制御モジュール 3 7 5 は、対応する電力増幅器によって生成された出力電力を調整することによって、検出された変動を補償するように、電力増幅器 3 4 2、3 4 4、3 4 6、または 3 4 8 に指示してもよい。電力増幅器 3 4 2 ~ 3 4 8 のうちの 1 つまたは複数の出力段において無効回路成分の値の変更を含んでもよい。このような補償は、入力ポート 1 6 6 ~ 1 6 9 に供給される定電力を維持するように作用してもよい。図 2 を参照して説明された方法と同様に、センサ 3 5 2 ~ 3 5 8 は、入力ポート 1 6 6 ~ 1 6 9 に供給される有効電力 ( $V I \cos(\quad)$ ) の低下を示す可能性がある、閾値を超える出力信号の電圧 ( $V$ ) と電流 ( $I$ ) との間の位相角 ( $\quad$ ) をさらに検出してもよい。入力ポート 1 6 6 ~ 1 6 9 に供給される有効電力の低下の検出にตอบสนองして、制御モジュール 2 7 5 は、電力増幅器 3 4 2 ~ 3 4 8 のうちの 1 つまたは複数の出力信号を調整してもよく、この調整は、入力ポート 1 6 6 ~ 1 6 9 に供給される定電力の維持を補助してもよい。

10

20

#### 【 0 0 7 9 】

特定の実施態様では、制御モジュール 3 7 5 は、電力増幅器 3 4 2 ~ 3 4 8 からの出力信号のパラメータにおいて迅速な調整を可能にする方法で、センサ 3 5 2 ~ 3 5 8 からの入力信号にตอบสนองしてもよい。電力増幅器 3 4 2 ~ 3 4 8 からの出力信号のパラメータにおけるこのような迅速な調整により、確実に集積回路製造チャンバ 1 6 5 の入力ポート 1 6 6 ~ 1 6 9 に結合された信号の範囲外パラメータが、チャンバのプロセスステーション内に長時間異常をもたらさないようにしてもよい。したがって、例えば、チャンバの割り当てられたプロセスステーションの堆積速度を瞬間的に低下させる可能性がある、集積回路製造チャンバ 1 6 5 の入力ポート 1 6 6 に結合または送信された電力の減少を検出するセンサ 3 5 2 にตอบสนองして、電力増幅器 3 4 2 からの出力信号電力は、ウエハ処理動作上の堆積においてこのような減少のあらゆる影響を最小化するように、迅速に増加されてもよい。特定の実施態様では、制御モジュール 3 7 5 は、電力増幅器 3 4 2 ~ 3 4 8 のうちの 1 つまたは複数の利得パラメータを変更するなどして、1 0 . 0 n s 以内に電力増幅器 3 4 2 ~ 3 4 8 のうちの 1 つまたは複数からの出力信号において検出された範囲外パラメータにตอบสนองしてもよい。しかしながら、他の実施態様では、制御モジュール 3 7 5 は、1 5 . 0 n s 以内、2 0 . 0 n s 以内、2 5 . 0 n s 以内など、より長い時間内に電力増幅器からの出力信号において検出された範囲外パラメータにตอบสนองしてもよい。

30

#### 【 0 0 8 0 】

図 4 は、一実施形態 4 0 0 による、複数の出力ポートを有する R F 発生器での使用に適した制御モジュールの概略図である。制御モジュール 4 0 5 は、それぞれ、図 2 および図 3 を参照して説明されたように、制御モジュール 2 7 5 または 3 7 5 の特徴の多くを含んでもよく、R F 電力発生器からの出力信号において範囲外パラメータを検出するように動作してもよい。図 4 の実施形態では、制御モジュール 4 0 5 は、4 つのセンサ入力ポート 4 1 0 を含んでもよく、このセンサ入力ポート 4 1 0 は、R F 発生器の増幅器の出力電力パラメータを所定の閾値と比較するために、対応する数のセンサから入力信号を取得するのに適していてもよい。したがって、センサ 1、2、3、および 4 は、図 2 の（それぞれ）センサ 2 5 2、2 5 4、2 5 6、および 2 5 8 に対応してもよく、もしくは図 3 の（それぞれ）センサ 3 5 2、3 5 4、3 5 6、および 3 5 8 に対応してもよい。しかしながら、制御モジュール 4 0 5 は、多種多様な他のタイプの R F 発生器で使用可能であってもよく、特許請求された主題は、任意の特定の R F 発生器で制御モジュール 4 0 5 を使用する

40

50

ことに限定されないことに留意されたい。さらに、他の実施態様では、制御モジュール 405 は、3つのポート以下などのより少ない数のセンサ入力ポートを含んでもよく、あるいは、5つのポート、6つのポートなどのより多い数のセンサ入力ポートを含んでもよい。

#### 【0081】

センサ入力ポート 410 からの信号は、電圧比較器 415、電流比較器 420、反射電力比較器 425、および順方向電力比較器 430 に接続または結合されてもよい。したがって、電圧比較器 415 は、プロセッサ/メモリ 435 と協働して、電圧信号の振幅と位相角の両方の測定が可能であってもよく、RF 発生器の出力信号の電圧が上限閾値を超えた、あるいは下限閾値を下回ったという判定に応じて、プロセッサ/メモリ 435 に表示を提供してもよい。同様に、電流比較器 420 は、プロセッサ/メモリ 435 と協働して、RF 発生器から伝導される電流の振幅と位相角の両方の測定が可能であってもよく、RF 発生器の出力電流が上限閾値を超えた、あるいは下限閾値を下回ったという判定に応じて、プロセッサ/メモリ 435 に表示を提供してもよい。さらに、電圧比較器 415 と電流比較器 420 の両方が、プロセッサ/メモリ 435 と協働して、測定された電圧と測定された電流との間の位相角が閾値を超えたという表示を提供してもよい。さらに、制御モジュール 405 は、反射電力比較器 425 を含んでもよく、この反射電力比較器 425 は、マルチステーション製造チャンバの入力ポートから反射される電力の値が閾値を超えたか否かを判定するように動作してもよい。制御モジュール 405 は、順方向電力比較器 430 をさらに含んでもよく、この順方向電力比較器 430 は、マルチステーション製造チャンバの入力ポートに供給または送信された電力の値が上限閾値を超えたか、あるいは下限閾値を下回ったか否かを判定するように動作してもよい。

#### 【0082】

RF 電力発生器からの出力信号における 1 つまたは複数の範囲外パラメータの検出に応じて、プロセッサ/メモリ 435 は、RF 電力発生器の増幅器段に信号を提供してもよい。プロセッサ/メモリ 435 からの信号は、出力信号ポート 440 を通って伝達されてもよく、RF 電力発生器からの出力信号のパラメータを変更するように作用してもよい。特定の実施態様では、プロセッサ/メモリ 435 は、任意のセンサ入力ポート 410 から信号を取得してから約 10.0 ns 以内に出力信号ポート 440 のうちの 1 つまたは複数からの信号の生成を開始してもよい。特定の実施態様では、制御モジュール 405 は、図 2 の前置増幅器 232、234、236、および 238 のうちの 1 つまたは複数などの RF 電力発生器の前置増幅器段に出力信号を伝達してもよい。特定の他の実施態様では、制御モジュールは、図 3 の電力増幅器 342、344、346、および 348 のうちの 1 つまたは複数などの RF 電力発生器の増幅器段に出力信号を伝達してもよい。

#### 【0083】

図 5 は、一実施形態による、マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションに結合するのに適した無線周波数電力を生成する方法 500 に関するフローチャートである。特許請求された主題の実施形態は、方法 500 に記載された動作に加えて、方法 500 に記載された動作よりも少ない動作、または方法 500 に記載された動作とは異なる順序で実行される動作を含んでもよい。さらに、図 1B、図 2、および図 3 の装置は、図 5 の方法を実行するのに適していてもよいが、特許請求された主題は、代替のシステムおよび/または装置を利用して図 5 の方法を実行することを含むように意図される。

#### 【0084】

図 5 の方法は、510 で開始してもよく、510 では、周期信号が図 2 の発振器 210 または図 3 の発振器 310 などの適切な周波数発生器によって生成されてもよい。特定の実施態様では、510 で利用される周波数発生器は、300.0 kHz から 100.0 MHz の間の周波数を有する信号を生成してもよい。特定の実施態様では、510 で使用される周波数発生器は、400.0 kHz、1.0 MHz、2.0 MHz、13.56 MHz、27.12 MHz、60.0 MHz、および 100.0 MHz の周波数を生成してもよい。図 5 の方法は、520 で継続してもよく、520 は、周期信号を複数の可変利得前

置増幅器に結合することを含んでもよい。特定の実施態様では、複数の可変利得前置増幅器は、前置増幅器 2 3 2、2 3 4、2 3 6、および 2 3 8 などの 4 つの前置増幅器を含んでもよい。方法は、5 3 0 で継続してもよく、5 3 0 は、複数の可変利得前置増幅器の各々からの出力信号を複数の定利得増幅器のうちの対応する 1 つに結合することを含んでもよい。特定の実施態様では、4 つの定利得前置増幅器が利用されてもよい。

#### 【0085】

5 4 0 において、複数の定利得増幅器の各々からの出力信号は、マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションに結合される。したがって、いくつかの実施態様では、マルチステーション集積回路製造チャンバの各ステーションは、割り当てられたもしくは専用の信号経路から RF 電力の供給を提供される。したがって、複数の定利得増幅器のうちの 1 つからの出力信号において 1 つまたは複数の範囲外パラメータを感知したことに応答して、可変利得前置増幅器、または定利得増幅器からの出力信号の振幅は、調整されてもよい。このような調整を急速に（例えば、約 10 . 0 n s 以内に）行うことにより、出力信号における 1 つまたは複数の範囲外パラメータを通常の動作パラメータの範囲内に収めてもよい。

10

#### 【0086】

図 1 B に戻って参照すると、システムコントローラ 1 9 0 は、システムの一部を備えてもよく、このシステムの一部は、図 1 A / 1 B の装置の一部を形成してもよい。このようなシステムは、1 つまたは複数の処理ツール、1 つまたは複数のチャンバ、1 つまたは複数の処理のためのプラットフォーム、および / または特定の処理構成要素（ウエハ台座、ガス流システムなど）を含む、半導体処理装置を備えることができる。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、および処理後の動作を制御するための電子機器と統合されてもよい。電子機器は、「コントローラ」と呼ばれる場合があり、1 つまたは複数のシステムの様々な構成要素またはサブパーツを制御してもよい。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、本明細書に開示されたプロセスのいずれかを制御するようにプログラムされてもよい。そのようなプロセスとして、基板上で実行されるサイクル数、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、無線周波数（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、ツールへのウエハの搬入および搬出、ならびに特定のシステムに接続または連動した他の搬送ツールおよび / またはロードロックが挙げられる。

20

30

#### 【0087】

広義には、コントローラは、命令を受け取り、命令を発し、動作を制御し、洗浄動作を可能にし、エンドポイント測定を可能にするなどの様々な集積回路、論理、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てもよい。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）、特定用途向け集積回路（ASIC）として定義されるチップ、および / またはプログラム命令（例えば、ソフトウェア）を実行する 1 つまたは複数のマイクロプロセッサ、またはマイクロコントローラを含んでもよい。プログラム命令は、様々な個別設定（またはプログラムファイル）の形式でコントローラに伝達される命令であって、半導体ウエハ上またはシステムに対する特定のプロセスを実行するための動作パラメータを定義してもよい。いくつかの実施形態では、動作パラメータは、プロセスエンジニアによって定義されるレシピの一部であって、ウエハの 1 つまたは複数の層、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 / またはダイの製造中に 1 つまたは複数の処理ステップを達成してもよい。

40

#### 【0088】

いくつかの実施態様では、コントローラは、システムと一体化しているか、システムに結合しているか、そうでない場合はシステムにネットワーク接続されているか、またはそれらの組み合わせであるコンピュータの一部であってもコンピュータに結合していてもよい。例えば、コントローラは、「クラウド」内であってもよく、もしくはファブホストコ

50

ンピュータシステムのすべてまたは一部であってもよく、これにより、ウエハ処理のリモートアクセスが可能となる。コンピュータは、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状況を監視し、過去の製造動作の履歴を調査し、複数の製造動作から傾向または性能基準を調査し、現在の処理のパラメータを変更し、現在の処理に続く処理ステップを設定する、もしくは新しいプロセスを開始してもよい。いくつかの例では、リモートコンピュータ（例えば、サーバ）は、ネットワークを通じてプロセスレシピをシステムに提供でき、このようなネットワークは、ローカルネットワークまたはインターネットを含んでもよい。リモートコンピュータは、パラメータおよび/または設定のエントリ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含んでもよく、このパラメータおよび/または設定は、その後リモートコンピュータからシステムに通信される。いくつかの例では、コントローラは、命令をデータの形式で受信し、このデータは、1つまたは複数の動作中に実行される処理ステップの各々に対するパラメータを特定する。パラメータは、実行されるプロセスのタイプおよびコントローラが連動または制御するように構成されるツールのタイプに特有のものであってよい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、互いにネットワーク接続され、本明細書に記載されるプロセスおよび制御などの共通の目的に向けて協働する1つまたは複数の個別のコントローラを備えることなどによって、分散されてもよい。このような目的のための分散型コントローラの一例としては、（プラットフォームレベルでもしくはリモートコンピュータの一部としてなど）遠隔配置され、チャンバ上のプロセスを制御するように結合する1つまたは複数の集積回路と通信するチャンバ上の1つまたは複数の集積回路が挙げられるであろう。

10

20

**【0089】**

前述の詳細な説明では、提示された実施形態または実施態様の完全な理解を提供するために、多数の特定の詳細が記載されている。開示された実施形態または実施態様は、これらの特定の詳細の一部またはすべてがなくても実施されてもよい。他の例では、周知のプロセス動作は、開示された実施形態または実施態様を不必要に不明瞭にしないように、詳細に説明されていない。開示された実施形態または実施態様は、特定の実施形態または実施態様と関連して説明されているが、このような説明は、開示された実施形態または実施態様を限定するように意図されないことが理解されるであろう。

**【0090】**

前述の詳細な説明は、開示された態様を説明する目的で、特定の実施形態または実施態様に向けられている。しかしながら、本明細書の教示は、多数の異なる方法で適用および実装され得る。前述の詳細な説明では、添付の図面を参照されたい。開示された実施形態または実施態様は、当業者が実施形態または実施態様を実施できるように十分に詳細に説明されているが、これらの例は限定しておらず、他の実施形態または実施態様が使用されてもよく、それらの精神および範囲から逸脱することなく開示された実施形態または実施態様に変更がなされてもよいことを理解されたい。さらに、本明細書では、接続詞「または」は、別途明記されていない限り、適切な場合には包括的な意味で意図されており、例えば、「A、B、またはC」という表現は、「A」、「B」、「C」、「AとB」、「BとC」、「AとC」、および「A、B、およびC」の可能性を含むように意図されることを理解されたい。

30

40

**【0091】**

本願では、「半導体ウエハ」、「ウエハ」、「基板」、「ウエハ基板」、および「部分的に製造される集積回路」という用語は、互換的に使用される。当業者であれば、「部分的に製造される集積回路」という用語が、集積回路製造の多くのステージのいずれかの間のシリコンウエハを指すことが可能であると理解するであろう。半導体装置産業に使用されるウエハまたは基板は通常、200mm、または300mm、または450mmの直径を含む。前述の詳細な説明は、実施形態または実施態様が、ウエハ上、もしくはウエハの形成または製造に関連するプロセスに関連して実装されることを想定する。しかしながら、特許請求された主題は、このように限定されない。ワークピースは、様々な形状、サイ

50

ズ、および材料であってもよい。半導体ウエハに加えて、特許請求された主題を利用して  
もよい他のワークピースは、プリント回路基板、またはプリント回路基板の製造などの様  
々な物品を含んでもよい。

【 0 0 9 2 】

本開示の文脈により、明白に他の方法が要求されない限り、本明細書および特許請求の  
範囲全体を通して、「備える」、「備えている」などの用語は、排他的または網羅的意味  
とは対照的に、包括的意味で解釈されるべきであり、すなわち、「含んでいるが、限定さ  
れない」という意味で解釈されるべきである。また、単数または複数の数字を使用する用  
語は通常、複数または単数の数字をそれぞれ含む。「または」という用語が2つ以上の項  
目のリストに関連して使用されるとき、その用語は、リスト内のいずれかの項目、リスト  
内のすべての項目、およびリスト内の項目の任意の組み合わせの用語のすべての解釈を含  
む。「実施態様」という用語は、本明細書に記載される技術および方法の実施態様、なら  
びに本明細書に記載される構造を具現化するかつ／もしくはは技術および／または方法を組  
み込む物理的物体を指す。本開示は、以下の形態により実現されてもよい。

[ 形態 1 ]

マルチステーション集積回路製造チャンバに結合するのに適合する無線周波数電力を生  
成する装置であって、

周期信号を生成するように構成された発振器と、

前記発振器から信号を受信するための入力ポートと、変動する振幅の信号を提供するた  
めの出力ポートとを各々有する複数の可変利得前置増幅器と、

前記複数の可変利得前置増幅器のうちの1つから信号を受信するための入力ポートと、  
前記マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションでプラズマ  
を生成するために増幅信号を電極に結合するために構成された出力ポートとを各々有する  
複数の定利得増幅器と、

複数のセンサであって、前記複数のセンサの各々が、前記複数の定利得増幅器の対応す  
る出力ポートに結合される複数のセンサと

を備える、装置。

[ 形態 2 ]

形態 1 に記載の装置であって、

前記発振器によって生成される前記周期信号は、300.0 kHz から 100.0 MHz  
z の間の周波数を含む、装置。

[ 形態 3 ]

形態 2 に記載の装置であって、

前記発振器によって生成される前記周期信号は、400.0 kHz、1.0 MHz、2.  
.0 MHz、13.56 MHz、27.12 MHz、60.0 MHz、および 100.0  
MHz からなる群から選択される周波数を含む、装置。

[ 形態 4 ]

形態 1 に記載の装置であって、

前記複数のセンサの各々の出力ポートは、制御モジュールの入力ポートに結合され、前  
記制御モジュールからの出力信号は、前記複数の可変利得前置増幅器のうちの対応する可  
変利得前置増幅器の利得を調整するために入力ポートに結合される、装置。

[ 形態 5 ]

形態 4 に記載の装置であって、

前記複数のセンサのうちの1つまたは複数は、閾値を超える前記マルチステーション集  
積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに送信される電力、閾値を超える  
前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションから反  
射される電力、閾値を超える前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当  
てられたステーションに結合される電流、および閾値を超える前記マルチステーション集  
積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションに印加される電圧からなる群から  
選択される範囲外パラメータを検出するように構成される、装置。

10

20

30

40

50

## 〔形態 6〕

形態 4 に記載の装置であって、  
前記制御モジュールは、前記複数のセンサのうちの 1 つからの信号の受信から  $10.0$  ns 以内に前記出力信号を提供するための回路を実装する、装置。

## 〔形態 7〕

形態 1 に記載の装置であって、  
前記複数の定利得増幅器の各々は、少なくとも  $1000$  W の出力電力を提供する、装置。

## 〔形態 8〕

マルチステーション集積回路製造チャンバに結合するための無線周波数電力を生成する装置であって、

周期信号を生成するように構成された発振器と、  
前記発振器から信号を受信するための入力ポートと、前記受信された信号に対して定利得を有する信号を提供するための出力ポートとを有する前置増幅器と、

前記前置増幅器から信号を受信するための入力ポートと、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションでプラズマを生成するために増幅信号を電極に結合するために構成された出力ポートとを各々有する複数の可変利得増幅器と、

複数のセンサであって、前記複数のセンサの各々が、前記複数の可変利得増幅器のうちの対応する 1 つの出力電力を変化させるために制御信号を提供する複数のセンサとを備える、装置。

## 〔形態 9〕

形態 8 に記載の装置であって、  
前記発振器によって生成される前記周期信号は、 $300.0$  kHz から  $100.0$  MHz の間の周波数を含む、装置。

## 〔形態 10〕

形態 9 に記載の装置であって、  
前記発振器によって生成される前記周期信号は、 $400.0$  kHz、 $1.0$  MHz、 $2.0$  MHz、 $13.56$  MHz、 $27.12$  MHz、 $60.0$  MHz、および  $100.0$  MHz からなる群から選択される周波数を含む、装置。

## 〔形態 11〕

形態 8 に記載の装置であって、  
前記複数の可変利得増幅器の各々は、少なくとも約  $1000.0$  W の出力電力を提供することが可能である、装置。

## 〔形態 12〕

形態 8 に記載の装置であって、  
前記複数のセンサのうちの 1 つからの信号の受信から  $10.0$  ns 以内に前記制御信号を提供するための回路を有する制御モジュールをさらに備える、装置。

## 〔形態 13〕

マルチステーション集積回路製造チャンバであって、  
複数のステーションと、

前記マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションに無線周波数電力を結合するように構成された複数の無線周波数電力発生器であって、各無線周波数電力発生器が、

発振器から信号を受信するための入力ポートと、変動する電力振幅の信号を提供するための出力ポートとを有する可変利得前置増幅器と、

前記可変利得前置増幅器から信号を受信するための入力ポートと、前記割り当てられたステーションに電力を結合するために構成された出力ポートとを有する定利得増幅器であって、

前記割り当てられたステーションに前記結合された電力が、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当てられたステーションでプラズマを生成するために電極に供給される定利得増幅器と、

10

20

30

40

50

前記定利得増幅器の対応する出力ポートに結合されるセンサと  
を備える複数の無線周波数電力発生器と  
を備える、マルチステーション集積回路製造チャンバ。

[形態14]

形態13に記載のマルチステーション集積回路製造チャンバであって、  
前記発振器は、400.0kHz、1.0MHz、2.0MHz、13.56MHz、  
27.12MHz、60.0MHz、および100.0MHzからなる群から選択される  
周波数を有する周期信号を生成する、マルチステーション集積回路製造チャンバ。

[形態15]

形態14に記載のマルチステーション集積回路製造チャンバであって、  
前記定利得増幅器は、少なくとも1000.0Wの出力電力を提供することが可能であ  
る、マルチステーション集積回路製造チャンバ。

10

[形態16]

形態13に記載のマルチステーション集積回路製造チャンバであって、  
前記複数の無線周波数電力発生器の各々は、前記割り当てられたステーションに結合さ  
れた前記電力の範囲外パラメータを検出するように構成されたセンサに結合され、前記範  
囲外パラメータが、出力電圧振幅、出力電流振幅、前記割り当てられたステーションに送  
信される電力の振幅、および前記割り当てられたステーションから反射される電力の振幅  
からなる群のうちの1つに対応する、マルチステーション集積回路製造チャンバ。

[形態17]

形態16に記載のマルチステーション集積回路製造チャンバであって、  
前記範囲外パラメータを検出するように構成された前記センサは、前記範囲外パラメー  
タを検出してから10.0ns以内に前記可変利得前置増幅器に信号を伝達する、マルチ  
ステーション集積回路製造チャンバ。

20

[形態18]

制御モジュールであって、  
無線周波数電力センサから信号を取得するための1つまたは複数の入力ポートであって  
、前記信号が、無線周波数電力発生器からの出力信号における範囲外パラメータの検出を  
示す1つまたは複数の入力ポートと、

前記無線周波数電力発生器の増幅器段に信号を提供するための1つまたは複数の出力ポ  
ートであって、前記増幅器段への前記信号が、前記無線周波数電力発生器からの前記出力  
信号のパラメータを変更するように構成される1つまたは複数の出力ポートと、  
前記無線周波数電力センサから前記信号を取得してから約10ns以内に前記1つまた  
は複数の出力ポートからの前記信号の生成を開始するためのプロセッサと  
を備える、制御モジュール。

30

[形態19]

形態18に記載の制御モジュールであって、  
前記無線周波数電力発生器は、400.0kHz、1.0MHz、2.0MHz、13  
.56MHz、27.12MHz、60.0MHz、および100.0MHzからなる群  
から選択される周波数で動作する、制御モジュール。

40

[形態20]

形態18に記載の制御モジュールであって、  
前記無線周波数電力発生器からの前記出力信号の前記範囲外パラメータは、電圧波形と  
電流波形との間の位相角を含む、制御モジュール。

[形態21]

形態18に記載の制御モジュールであって、  
前記範囲外パラメータは、前記無線周波数電力発生器から供給される電力を含む、制御  
モジュール。

[形態22]

形態18に記載の制御モジュールであって、

50

前記無線周波数電力発生器は、約 1 . 0 k W の電力を提供する、制御モジュール。

[ 形態 2 3 ]

マルチステーション集積回路製造チャンバの割り当てられたステーションに結合するの  
に適した無線周波数電力を生成する方法であって、

周期信号を生成することと、

前記周期信号を複数の可変利得前置増幅器に結合することと、

前記複数の可変利得前置増幅器の各々からの出力信号を複数の定利得増幅器のうちの対  
応する 1 つに結合することと、

前記複数の定利得増幅器の各々からの出力信号を前記マルチステーション集積回路製造  
チャンバの前記割り当てられたステーションに結合することと

を含む、方法。

[ 形態 2 4 ]

形態 2 3 に記載の方法であって、

前記複数の定利得増幅器のうちの 1 つからの出力信号において範囲外パラメータを感知  
することと、

前記範囲外パラメータを感知したことに応答して、前記可変利得前置増幅器のうちの、  
ある可変利得前置増幅器からの前記出力信号の振幅を変更することと

をさらに含む、方法。

[ 形態 2 5 ]

形態 2 4 に記載の方法であって、

前記範囲外パラメータは、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当  
てられたステーションから反射される電力に対応する、方法。

[ 形態 2 6 ]

形態 2 4 に記載の方法であって、

前記範囲外パラメータは、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当  
てられたステーションに伝導される電流に対応する、方法。

[ 形態 2 7 ]

形態 2 4 に記載の方法であって、

前記範囲外パラメータは、前記マルチステーション集積回路製造チャンバの前記割り当  
てられたステーションに印加される電圧に対応する、方法。

[ 形態 2 8 ]

形態 2 4 に記載の方法であって、

前記可変利得前置増幅器からの前記出力信号の前記振幅は、前記範囲外パラメータを感  
知してから 1 0 . 0 n s 以内に変更される、方法。

[ 形態 2 9 ]

形態 2 3 に記載の方法であって、

前記周期信号を生成することは、4 0 0 . 0 k H z、1 . 0 M H z、2 . 0 M H z、1  
3 . 5 6 M H z、2 7 . 1 2 M H z、6 0 . 0 M H z、および 1 0 0 . 0 M H z からなる  
群から選択される周波数を有する信号を生成することを含む、方法。

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1 A】

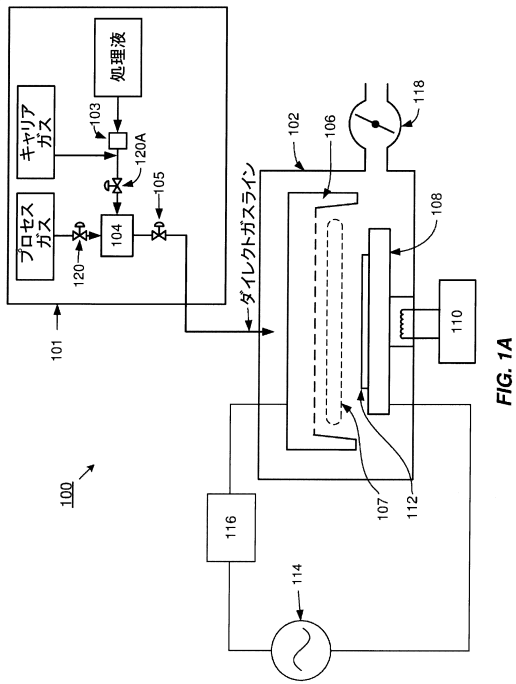


FIG. 1A

【図 1 B】

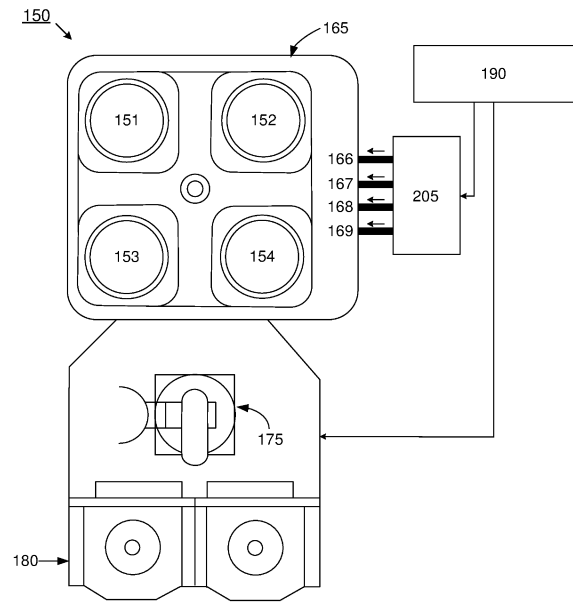


FIG. 1B

【図 2】

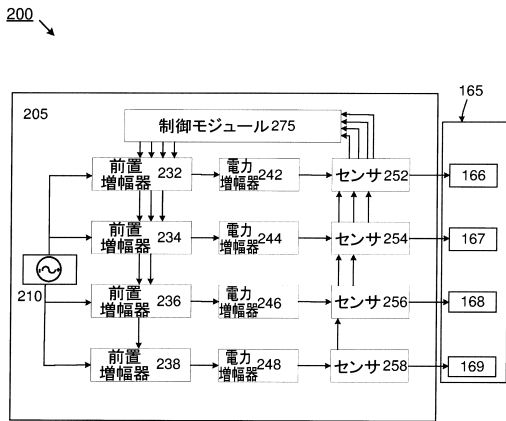


FIG. 2

【図 3】

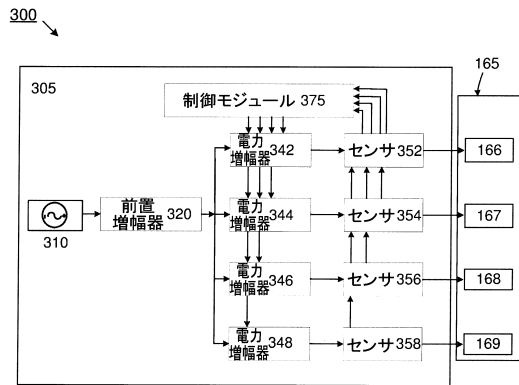


FIG. 3

10

20

30

40

50

【 図 4 】

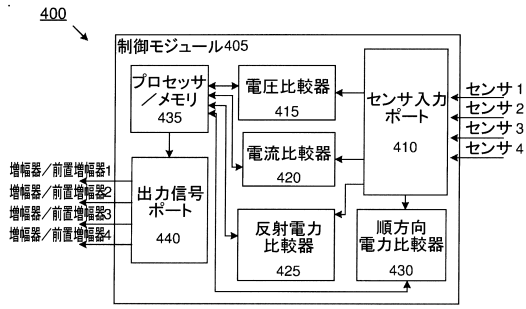


FIG. 4

【 図 5 】

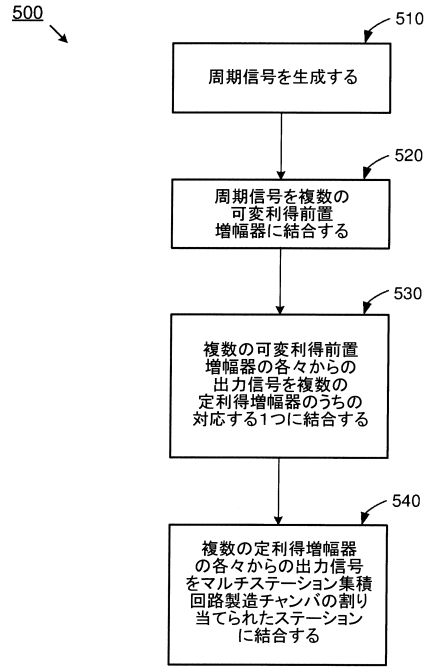


FIG. 5

10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2019-071270(JP,A)  
特開平11-233294(JP,A)  
米国特許出願公開第2015/0348854(US,A1)  
米国特許出願公開第2019/0108979(US,A1)  
米国特許第05499384(US,A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01L 21/31  
H01L 21/3065  
C23C 16/505  
H05H 1/46