

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7510746号  
(P7510746)

(45)発行日 令和6年7月4日(2024.7.4)

(24)登録日 令和6年6月26日(2024.6.26)

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

請求項の数 13 外国語出願 (全22頁)

(21)出願番号	特願2019-77528(P2019-77528)	(73)特許権者	390040660
(22)出願日	平成31年4月16日(2019.4.16)		アプライド マテリアルズ インコーポレ
(65)公開番号	特開2020-9745(P2020-9745A)		イテッド
(43)公開日	令和2年1月16日(2020.1.16)		APPLIED MATERIALS ,
審査請求日	令和4年4月13日(2022.4.13)		INCORPORATED
(31)優先権主張番号	15/958,478		アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0
(32)優先日	平成30年4月20日(2018.4.20)		5 4 , サンタ クララ , パウアーズ ア
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		ヴェニュー 3 0 5 0
前置審査			3 0 5 0 Bowers Avenue
			Santa Clara CA 9 5 0 5 4
			U . S . A .
		(74)代理人	110002077
			園田・小林弁理士法人
		(72)発明者	グエン , ハン
			アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 1
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 遠隔モジュール型高周波源

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

処理チャンバと、  
前記処理チャンバ内で基板を支持するためのチャックと、  
前記処理チャンバの一部を形成している誘電体ウインドウと、  
モジュール型高周波発出源とを備える、処理ツールであって、前記モジュール型高周波発出源が、  
複数の高周波発出モジュールを備え、各高周波発出モジュールが、  
発振モジュールと、  
前記発振モジュールに連結された増幅モジュールと、  
前記増幅モジュールに連結されたアプリケーションタであって、該アプリケーションタが、前記誘電体ウインドウ内に形成されたキャビティの中に設置されており、該アプリケーションタの底面全体が前記誘電体ウインドウの表面によって覆われている、アプリケーションタとを備え、  
前記アプリケーションタが、前記誘電体ウインドウに接触する誘電体共振キャビティと、前記誘電体共振キャビティ内に延在する単極アンテナとを備える、  
処理ツール。

【請求項 2】

前記チャックが横幅を有し、前記誘電体ウインドウが前記チャックの前記横幅全体にわたって連続的に延びている、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 3】

前記誘電体ウインドウが非平面である、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 4】

前記誘電体ウインドウがドーム形状である、請求項 3 に記載の処理ツール。

【請求項 5】

前記誘電体ウインドウが、前記処理チャンバに流体連結された前置チャンバの一部分を形成している、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 6】

前記処理チャンバのプラズマ部分を前記処理チャンバの主たる処理部分から分離させる、第 1 の物理的な仕切りを更に備える、請求項 1 に記載の処理ツール。

【請求項 7】

第 2 の物理的な仕切りを更に備える、請求項 6 に記載の処理ツール。

【請求項 8】

前記第 1 の物理的な仕切り若しくは前記第 2 の物理的な仕切り、又は、前記第 1 の物理的な仕切り及び前記第 2 の物理的な仕切りが、電源に接続される、請求項 7 に記載の処理ツール。

【請求項 9】

前記電源が、RF 電源、パルス化された RF 電源、DC 電源、又はパルス化された DC 電源のうちの一又は複数を含む、請求項 8 に記載の処理ツール。

【請求項 10】

第 1 ガスラインが、前記処理チャンバの前記プラズマ部分へと第 1 ガス又は混合ガスを供給し、第 2 ガスラインが、前記処理チャンバの前記主たる処理部分へと第 2 ガス又は混合ガスを供給する、請求項 6 に記載の処理ツール。

【請求項 11】

主たる処理チャンバと、  
前記主たる処理チャンバ内で基板を支持するためのチャックと、  
前記主たる処理チャンバに流体連結された前置チャンバであって、誘電体ウインドウが前記前置チャンバの一部分を形成している、前置チャンバと、  
モジュール型高周波発出源とを備える、処理ツールであって、前記モジュール型高周波発出源が、

複数の高周波発出モジュールを備え、各高周波発出モジュールが、

発振モジュールと、

前記発振モジュールに連結された増幅モジュールと、

前記増幅モジュールに連結されたアプリケーションゲートであって、該アプリケーションゲートが、前記誘電体ウインドウ内に形成されたキャビティの中に設置されており、該アプリケーションゲートの底面全体が前記誘電体ウインドウの表面によって覆われている、アプリケーションゲートを備え、

前記アプリケーションゲートが、前記誘電体ウインドウに接触する誘電体共振キャビティと、前記誘電体共振キャビティ内に延在する単極アンテナとを備える、

処理ツール。

【請求項 12】

前記誘電体ウインドウが非平面である、請求項 11 に記載の処理ツール。

【請求項 13】

前記誘電体ウインドウが円筒形である、請求項 12 に記載の処理ツール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

実施形態は高周波発出源の分野に関し、ある特定の実施形態では、遠隔プラズマ処理ツールにおいて使用されるモジュール型の高周波発出源に関する。

【背景技術】

【0002】

関連技術についての説明

10

20

30

40

50

高周波放射システムの、プラズマ処理に使用するためのものを含む用途は、数多くの異なるテクノロジー（例えば半導体産業、ディスプレイテクノロジー、微小電気機械システム（MEMS）におけるものなど）の製造において、広範囲に使用されている。現在、単一アンテナによる無線周波数（RF）生成プラズマが、最もよく使用されている。しかし、より高い（マイクロ波周波数を含む）周波数でプラズマが生成される場合、プラズマ密度が高いプラズマ、及び/又は中性励起種の濃度が高いプラズマが、形成される。残念ながら、単一アンテナにより作り出される高周波放射システム（例えば、プラズマを形成するために使用されるもの）は、それらに固有の欠点に悩まされる。

#### 【0003】

典型的な高周波放射システム（例えばマイクロ波プラズマを形成するためのもの）では、単体の大型の高周波又はマイクロ波の放射源（マグネトロンなど）と、マグネトロンから処理チャンバに高周波放射を誘導するための伝送路とが使用される。例えば、半導体産業における典型的な大電力マイクロ波応用では、伝送路は高周波導波管である。高周波源の特定の周波数を搬送するよう設計された導波管の外部では、高周波電力が距離と共に急速に減衰するので、導波管が使用される。高周波放射を処理チャンバに伝送するには、更なる構成要素（例えばチューナ、カプラ、モード変換器など）も必要になる。これらの構成要素により、システムの構築が大型の（すなわち、少なくとも導波管と関連構成要素とを合わせたのと同等の大きさの）ものに制限され、かつ、その設計も大幅に制限される。これにより、プラズマを形成するために使用されうる高周波放射電磁界（radiation field）の形状寸法も制約を受ける。高周波放射電磁界の形状寸法は導波管の形状に類似するからである。したがって、高周波放射電磁界の形状寸法と処理されている基板の形状寸法とを合致させることは困難である。詳細には、プラズマを形成するために、プロセスが基板（例えば、200mmの、300mmの、又はそれを上回る直径の、シリコンウエハ、ディスプレイ産業で使用されるガラス基板、又は、ロールツーロール製造で使用される連続基板など）の全面積に均一に実施される場合には、マイクロ波周波数の高周波放射電磁界を作り出すことは困難である。高周波で生成されたプラズマの一部は、大表面全体に高周波のエネルギーが広がることを可能にするために、スロットラインアンテナを使用しうる。しかし、かかるシステムは、複雑なものであり、特定の形状寸法を必要とし、かつ、プラズマに結合されうる電力密度に制限される。

#### 【0004】

更に、高周波放射システムは、典型的には、非常に均一というわけではなく、かつ/又は空間的にチューニング可能な濃度を有しえないプラズマを生成する。処理される基板のサイズが大きくなり続けるにつれて、エッジ効果に対応することは、ますます困難になっている。加えて、プラズマのチューニングが不可能であることは、入ってくる基板の不均一性に対応して処理レシピを改変し、設計的な補償を行うために不均一性が必要とされる処理システム（例えば、いくつかの処理チャンバにおける、回転するウエハの不均一な半径方向速度に適応するために不均一性が必要とされる処理システム）についてプラズマ密度を調整する能力を制限する。

#### 【発明の概要】

#### 【0005】

本書に記載の実施形態は、処理チャンバと、処理チャンバ内で基板を支持するためのチャックと、処理チャンバの一部を形成している誘電体ウインドウと、モジュール型高周波発出源とを備える、処理ツールを含む。一実施形態では、モジュール型高周波発出源は複数の高周波発出モジュールを備える。一実施形態では、各高周波発出モジュールは、発振モジュールと、増幅モジュールと、アプリケーションとを備える。一実施形態では、増幅モジュールが発振モジュールに連結される。一実施形態では、アプリケーションが増幅モジュールに連結される。一実施形態では、アプリケーションは、誘電体ウインドウの近くに配置される。

#### 【0006】

本書に記載の実施形態は、処理チャンバと、処理チャンバ内で基板を支持するためのチ

10

20

30

40

50

チャックと、処理チャンバの一部分を形成している誘電体ウインドウと、複数の高周波発出モジュールを備えるモジュール型高周波発出源とを備える、処理ツールを含む。一実施形態では、各高周波発出モジュールは、発振モジュールと、増幅モジュールと、アプリケーションとを備える。一実施形態では、発振モジュールは、電圧制御回路と電圧被制御発振器とを備える。一実施形態では、出力される高周波電磁放射を生成するために、電圧制御回路からの出力電圧が、電圧被制御発振器の発振を駆動する。一実施形態では、増幅モジュールが発振モジュールに連結される。一実施形態では、増幅モジュールは、電圧被制御発振器から出力された高周波電磁放射を増幅させる。一実施形態では、アプリケーションが増幅モジュールに連結される。一実施形態では、アプリケーションは、誘電体ウインドウの近くに配置される。

10

**【0007】**

本書に記載の実施形態は、主たる処理チャンバと、主たる処理チャンバ内で基板を支持するためのチャックと、主たる処理チャンバと流体連結されている前置チャンバと、前置チャンバの一部分を形成している誘電体ウインドウと、モジュール型高周波発出源とを備える、処理ツールを含む。一実施形態では、モジュール型高周波発出源は複数の高周波発出モジュールを備える。一実施形態では、各高周波発出モジュールは、発振モジュールと、増幅モジュールと、アプリケーションとを備える。一実施形態では、増幅モジュールが発振モジュールに連結される。一実施形態では、アプリケーションが増幅モジュールに連結される。一実施形態では、アプリケーションは、誘電体ウインドウの近くに配置される。

**【0008】**

上記の要約は、全ての実施形態の網羅的なリストを含むものではない。上記で要約した様々な実施形態の全ての好適な組合せにより実践可能なものだけでなく、以下の「発明を実施するための形態」において開示されている、特に、本出願と共に提出される特許請求の範囲において指摘されている、全てのシステム及び方法が含まれると、想定される。かかる組み合わせは、上記の要約において具体的に列挙されていない特定の利点も有する。

20

**【図面の簡単な説明】****【0009】**

【図1】一実施形態による、モジュール型高周波発出源を含む処理ツールの概略図である。

【図2A】一実施形態による、固体状態の高周波発出モジュールの概略ブロック図である。

【図2B】一実施形態による、インコヒーレントな複数の発振モジュールとフィードバック制御とを含むモジュール型高周波発出源を有する処理ツールの、電子機器の一部分の概略ブロック図である。

30

【図2C】一実施形態による、複数の発振モジュールを含むモジュール型高周波発出源を有する処理ツールの、電子機器の一部分の概略ブロック図である。

【図3】一実施形態による、高周波放射と処理チャンバとを連結するために使用される、アプリケーションの断面図である。

【図4A】一実施形態による、処理チャンバの誘電体ウインドウと接触しているアプリケーションを含む遠隔プラズマ処理ツールの断面図である。

【図4B】一実施形態による、処理チャンバの誘電体ウインドウ内に形成されたキャピティの中に設置されているアプリケーションを含む遠隔プラズマ処理ツールの断面図である。

40

【図4C】一実施形態による、処理チャンバの誘電体ウインドウを通して延在するアプリケーションを含む遠隔プラズマ処理ツールの断面図である。

【図4D】一実施形態による、非平面の誘電体ウインドウを含む遠隔プラズマ処理ツールの断面図である。

【図4E】一実施形態による、プラズマ前置チャンバを含む遠隔プラズマ処理ツールの断面図であり、前置チャンバはこの処理ツールの処理チャンバと流体連結している。

【図4F】一実施形態による、図4Eの前置チャンバの周囲に配置される誘電体ウインドウ及びアプリケーションの断面図である。

【図5A】一実施形態による、物理的な仕切りによって主たる処理領域から分離されている遠隔プラズマ領域を含むプラズマ処理ツールの断面図である。

50

【図5B】一実施形態による、2つの物理的な仕切りによって主たる処理領域から分離されている遠隔プラズマ領域を含むプラズマ処理ツールの断面図である。

【図5C】一実施形態による、2つの物理的な仕切りによって主たる処理領域から分離されている遠隔プラズマ領域を含むプラズマ処理ツールであって、第1ガスラインが遠隔プラズマ領域に供給を行い、第2ガスラインが主たる処理領域に供給を行う、プラズマ処理ツールの断面図である。

【図6A】一実施形態による、高周波放射と処理チャンバとを連結するために使用されうる、アプリケーションのアレイの平面図である。

【図6B】更なる一実施形態による、高周波放射と処理チャンバとを連結するために使用されうる、アプリケーションのアレイの平面図である。

【図6C】一実施形態による、アプリケーションのアレイと、プラズマの状態を検出するための複数のセンサとの平面図である。

【図6D】一実施形態による、多ゾーン処理ツールの2つのゾーン内に形成されている、アプリケーションのアレイの平面図である。

【図7】一実施形態による、モジュール型高周波放射源と併せて使用されうる、例示的なコンピュータシステムのブロック図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本書に記載の実施形態によるデバイスは、遠隔プラズマ処理ツールにおいて使用されるモジュール型高周波発生源を含む。以下の説明では、実施形態の網羅的な理解を提供するために、多数の具体的な詳細事項が明記される。当業者には、これらの具体的な詳細がなくとも実施形態は実践可能であることが、自明となろう。他の事例では、実施形態が不必要に不明瞭にならないように、周知の態様については詳しく説明しない。更に、添付の図面に示す様々な実施形態は例示的な表現であり、必ずしも縮尺どおりには描かれていないことを、理解されたい。

【0011】

実施形態は、高周波発出モジュールのアレイを備えるモジュール型高周波発生源を含む。本書で使用される場合、「高周波 (high-frequency)」電磁放射は、無線周波数 (radio frequency) 放射、超高周波放射、極超高周波放射、及びマイクロ波放射を含む。「高周波」とは、0.1 MHz ~ 300 GHz の周波数のことでありうる。一実施形態によれば、各高周波発出モジュールは、発振モジュールと、増幅モジュールと、アプリケーションとを備える。一実施形態では、アプリケーションは、遠隔プラズマを生成するために、高周波放射を遠隔プラズマ処理ツール内に連結する。複数の高周波発出モジュールを使用することで、アプリケーションが、処理ツールの必要性に合致するように、種々の構成に配置されることが可能になる。一部の実施形態では、アプリケーションは、誘電体ウインドウ上に、誘電体ウインドウ内に、又は誘電体ウインドウを通して、配置されうる。実施形態は、平面の及び非平面の誘電体ウインドウを含む。

【0012】

本書で使用される場合「遠隔プラズマ (remote plasma)」は、プラズマのデバイ長の少なくとも3倍の長さだけ、処理されている基板から離間しているプラズマを表わす。遠隔プラズマが処理されている基板からデバイ長の少なくとも3倍の長さだけ分離されることで、基板の表面において生成されるイオン集団は無視できるが、それでも、プラズマ内に生成されるラジカルが基板に拡散することは可能になる。

【0013】

一実施形態では、遠隔プラズマは、処理されている基板から物理的に分離されうる。例えば、遠隔プラズマは、チャンバの主たる処理空間に流体連結されている前置チャンバ内で生成されうる。更なる実施形態では、遠隔プラズマは、一又は複数の物理的な仕切りによって主たる処理チャンバから分離されている、処理チャンバのプラズマ部分において、生成されうる。

【0014】

10

20

30

40

50

複数の高周波発出モジュールで遠隔プラズマ源を形成することにより、いくつかの利点もたらされる。例えば、遠隔プラズマが空間的にチューニング可能になる。加えて、かかるツールに必要な電位はチャンバ材料のスパッタリング閾値を下回るので、プラズマが非汚染型になる。更に、遠隔高周波プラズマ源は、処理を行うのに十分なラジカルのフラックスを生成する上で、RF遠隔プラズマ源よりも省電力な方式である。

【0015】

一実施形態では、発振モジュール及び増幅モジュールは、全て固体状態電子部品である複数の電気部品を備える。例えば、マグネトロンに代わって固体状態電子機器を使用することで、高周波プラズマ源のサイズ及び複雑性を大幅に低減することが可能になる。詳細には、固体状態部品は、上述のマグネトロンハードウェアよりもずっと小型である。加えて、固体状態部品を使用することで、高周波放射を処理チャンバに伝送するのに必要な、場所を取る導波管をなくすことが可能になる。その代わりに、高周波放射は、同軸配線を用いて伝送される。導波管をなくすことで、大面積のモジュール型高周波発出源を構築することも可能になり、この場合、形成されるプラズマのサイズが導波管のサイズによって制限されなくなる。代わりに、高周波発出モジュールのアレイは、いかなる基板形状にも合致する、思い通りに大きな（かつ思い通りの形状の）プラズマの形成を可能にする、所与のパターンに構築される。更に、アプリケーションの断面形状は、アプリケーションのアレイが、可能な限り密に、ひとまとめにパッキングされるように選ばれうる（すなわち最密アレイ）。

【0016】

高周波発出モジュールのアレイを使用することで、各高周波発出モジュール向けの増幅モジュールの電力設定を個別に変更することによってプラズマ密度を局所的に変更する能力における、より大きなフレキシビリティも提供される。これにより、プラズマ処理中の均一性の最適化（例えば、ウエハエッジ効果に関して行われる調整、入ってくるウエハの不均一性に関して行われる調整など）が可能となり、また、設計的な補償を行うために不均一性が必要とされる処理システム（例えば、いくつかの処理チャンバにおいて回転するウエハの不均一な半径方向速度に適応するために不均一性が必要とされる処理システム）についてプラズマ密度を調整する能力が可能になる。

【0017】

更なる実施形態は、プラズマをモニタする一又は複数のセンサも含みうる。かかる実施形態では、プラズマの密度（又は他の任意のプラズマ特性）を各アプリケーションによって局所的に測定するため、及び、この測定をフィードバックループの一部として使用して各高周波発出モジュールに印加される電力を制御するための、方策もたらされる。したがって、各高周波発出モジュールが個別のフィードバックを有しうる。又は、アレイの中の高周波発出モジュールのサブセットが、制御ゾーンごとにグループ化されてよく、この場合、フィードバックループは、ゾーン内の高周波発出モジュールのサブセットを制御する。

【0018】

高周波発出モジュールを個別に使用することで、プラズマのチューニング可能性が強化されることに加えて、既存のプラズマ源において現在使用可能なものよりも高い、電力密度が提供される。例えば、高周波発出モジュールにより、典型的なRFプラズマ処理システムのおよそ5倍かそれを上回る、電力密度が可能になりうる。例えば、プラズマ化学気相堆積プロセスでの典型的な電力は、およそ3,000Wであり、300mm直径のウエハにおよそ4W/cm<sup>2</sup>の電力密度を提供する。これに対して、実施形態による高周波発出モジュールは、およそ1のアプリケーションパッキング密度でおよそ24W/cm<sup>2</sup>の電力密度を提供するために、300Wの電力増幅器を、4cm直径のアプリケーションと共に使用しうる。1/3のアプリケーションパッキング密度で、かつ1000Wの電力増幅器を使用すると、27W/cm<sup>2</sup>の電力密度が提供される。1のアプリケーションパッキング密度で、かつ1000Wの電力増幅器を使用すると、80W/cm<sup>2</sup>の電力密度が提供される。

【0019】

高周波発出プラズマ（マイクロ波プラズマなど）を作り出すための一般的なアプローチ

10

20

30

40

50

は、単一の発振モジュール、及び、高周波エネルギーとガスとを結合してプラズマを形成するための、単一の電極又はアプリータの使用を伴う。しかし、複数の電極/アプリータ構造体を、この複数の電極/アプリータの各々に電力供給するために分岐している単一の発振モジュールと共に使用することには、欠点がある。詳細には、電磁放射が単一の発振モジュールによって生成されることにより、各アプリータが発出する電磁放射が互いに同じ周波数に、かつ決まった位相になるので、干渉縞が必然的に生じることになる。この干渉縞により、不均一なプラズマをもたらす、局所的な最大値及び最小値が発生する。

#### 【0020】

したがって、実施形態は高周波発出モジュールのアレイを含み、各高周波発出モジュールは専用の発振モジュールを有する。複数の発振モジュールが使用される場合、第1発振モジュールによって生成される電磁放射は、第2発振モジュールによって生成される電磁放射に干渉しないことがある。なぜなら、第1と第2の発振モジュールは、同じ周波数であるわけでもなく、それらの間に制御された位相差があるわけでもないことがあるからである。プラズマが形成される実施形態では、干渉縞は存在しないので、プラズマの均一性が向上する。

#### 【0021】

ここで図1を参照するに、一実施形態による、遠隔プラズマ処理ツール100の断面図が示されている。一部の実施形態では、処理ツール100は、プラズマを利用する任意の種類 of 処理工程に適した処理ツールでありうる。例えば、処理ツール100は、プラズマ化学気相堆積(PECVD)、プラズマ原子層堆積(PEALD)、エッチング及び選択的除去のプロセス、並びにプラズマ洗浄に使用される、処理ツールでありうる。

#### 【0022】

通常、実施形態は、チャンバ178を含む処理ツール100を含む。処理ツール100において、チャンバ178は真空チャンバでありうる。真空チャンバは、チャンバからガスを除去して望ましい減圧を提供するための、ポンプ(図示せず)を含みうる。更なる実施形態は、チャンバ178内に処理ガスを提供するための一又は複数のガスライン170と、チャンバ178から副生成物を除去するための排気ライン172とを含む、チャンバ178を含みうる。図示していないが、処理ツール100は、処理ガスを基板174全体に均一に分配するためのシャワーヘッドを含みうることを、認識されたい。

#### 【0023】

一実施形態では、基板174は、チャック176上に支持されうる。例えば、チャック176は、静電チャックなどの任意の好適なチャックでありうる。このチャックは、処理中に基板174の温度制御を行うための、冷却ライン及び/又はヒータも含みうる。本書に記載の高周波発出モジュールがモジュール型構成であることにより、実施形態は、処理ツール100が任意のサイズの基板174に適應することを可能にする。例えば、基板174は、半導体ウエハ(例えば200mm、300mm、又は450mm以上)でありうる。代替的な実施形態は、半導体ウエハ以外の基板174も含む。例えば、実施形態は、(例えばディスプレイテクノロジー向けの)ガラス基板を処理するよう構成された、処理ツール100を含みうる。

#### 【0024】

一実施形態によれば、処理ツール100は、モジュール型高周波発出源104を含む。モジュール型高周波発出源104は、高周波発出モジュール105のアレイを備えうる。一実施形態では、各高周波発出モジュール105は、発振モジュール106と、増幅モジュール130と、アプリータ142とを含みうる。一実施形態では、発振モジュール106及び増幅モジュール130は、固体状態電気部品である電気部品を備えうる。一実施形態では、複数の発振モジュール106の各々は、別個の増幅モジュール130に通信可能に連結されうる。一部の実施形態では、発振モジュール106と増幅モジュール130との間には1:1の比率がありうる。例えば、各発振モジュール106は、単一の増幅モジュール130に電氣的に連結されうる。一実施形態では、複数の発振モジュール106

10

20

30

40

50

により、インコヒーレントな電磁放射が生成されうる。したがって、チャンバ 178 内で誘起される電磁放射が、望ましくない干渉縞をもたらす状態で相互作用することはない。

【0025】

一実施形態では、各発振モジュール 106 は電磁放射を生成し、この電磁放射が増幅モジュール 130 に伝送される。電磁放射は、増幅モジュール 130 によって処理された後に、アプリケーション 142 に伝送される。一実施形態によれば、アプリケーション 142 のアレイは、チャンバ 178 に連結され、誘電体ウインドウ 150 上に、誘電体ウインドウ 150 内に、又は誘電体ウインドウ 150 を通って配置される。一実施形態では、アプリケーション 142 は各々、チャンバ 178 内に電磁放射を発生させる。一部の実施形態では、アプリケーション 142 は、プラズマ 196 を発生させるために、チャンバ 178 内で電磁放射と処理ガスを結合させる。一実施形態では、プラズマ 196 は遠隔プラズマである。実際には、プラズマ 196 は、プラズマ 196 のデバイ長の少なくとも 3 倍の距離 D だけ、基板 174 から離間していることがある。

【0026】

ここで図 2A を参照するに、一実施形態による、モジュール型高周波発出源 104 の高周波発出モジュール 105 における電子機器の概略ブロック図が示されている。一実施形態では、各発振モジュール 106 は、望ましい周波数の高周波電磁放射を発生させるように電圧被制御発振器 120 に入力電圧を提供するための、電圧制御回路 110 を含む。実施形態は、およそ 1V ~ 10V DC の入力電圧を含みうる。電圧被制御発振器 120 は電子発振器であり、その発振周波数は入力電圧によって制御される。一実施形態によれば、電圧制御回路 110 からの入力電圧により、電圧被制御発振器 120 は望ましい周波数で発振することになる。一実施形態では、高周波電磁放射は、およそ 0.1 MHz ~ 30 MHz の周波数を有しうる。一実施形態では、高周波電磁放射は、およそ 30 MHz ~ 300 MHz の周波数を有しうる。一実施形態では、高周波電磁放射は、およそ 300 MHz ~ 1 GHz の周波数を有しうる。一実施形態では、高周波電磁放射は、およそ 1 GHz ~ 300 GHz の周波数を有しうる。一実施形態では、複数の発振モジュール 106 のうちの一又は複数は、別の周波数で電磁放射を発生しうる。

【0027】

一実施形態によれば、電磁放射は、電圧被制御発振器 120 から増幅モジュール 130 に伝送される。増幅モジュール 130 は、ドライバ/前置増幅器 234 と、主電力増幅器 236 であって、その各々が電力供給源 239 に連結されている主電力増幅器 236 とを含みうる。一実施形態によれば、増幅モジュール 130 はパルスモードで動作しうる。例えば、増幅モジュール 130 は、1% ~ 99% のデューティサイクルを有しうる。より詳細な実施形態では、増幅モジュール 130 は、およそ 15% ~ 50% のデューティサイクルを有しうる。

【0028】

一実施形態では、電磁放射は、増幅モジュール 130 によって処理された後に、アプリケーション 142 に伝送されうる。しかし、出力インピーダンスの不整合により、アプリケーション 142 に伝送される電力の一部が反射されうる。したがって、一部の実施形態は、順方向電力 283 及び反射電力 282 のレベルを感知し、制御回路モジュール 221 にフィードバックすることを可能にする、検出モジュール 281 を含む。検出モジュール 281 は、システム内の一又は複数の別々の場所に配置されうることを、認識されたい。一実施形態では、制御回路モジュール 221 は、反射電力 282 及び順方向電力 283 をインタープリット (interpret) し、かつ、発振モジュール 106 と通信可能に連結されている制御信号 285 のレベル、及び、増幅モジュール 130 と通信可能に連結されている制御信号 286 のレベルを決定する。一実施形態では、制御信号 285 は、増幅モジュール 130 に結合される高周波放射を最適化するよう、発振モジュール 106 を調整する。一実施形態では、制御信号 286 は、アプリケーション 142 に連結される出力電力を最適化するよう、増幅モジュール 130 を調整する。

【0029】

10

20

30

40

50

一実施形態では、発振モジュール106及び増幅モジュール130のフィードバック制御により、反射電力のレベルが順方向電力のおよそ5%を下回ることが可能になりうる。一部の実施形態では、発振モジュール106及び増幅モジュール130のフィードバック制御により、反射電力のレベルが順方向電力のおよそ2%を下回ることにも可能になりうる。したがって、実施形態により、処理チャンバ178内に連結される順方向電力のパーセンテージの増大、及び、プラズマに結合される使用可能電力の増大が、可能になる。更に、フィードバック制御を使用するインピーダンスチューニングは、典型的なスロットプレートアンテナにおけるインピーダンスチューニングよりも優れている。スロットプレートアンテナでは、インピーダンスチューニングは、アプリケーション内に形成された2つの誘電体スラグを移動させることを伴う。これはアプリケーション内の2つの別個の構成要素の機械的運動を伴い、これにより、アプリケーションの複雑性が増大する。更に、この機械的運動は、電圧被制御発振器120によって提供されうる周波数の変化ほどには精密ではないことがある。

10

#### 【0030】

ここで図2Bを参照するに、一実施形態による、高周波発出モジュール105のアレイを有する、モジュール型高周波発出源104の固体状態電子機器の一部分の概略図が示されている。図示している実施形態では、各高周波発出モジュール105は、別個の増幅モジュール130に通信可能に連結されている、1つの発振モジュール106を含む。増幅モジュール130の各々は、別々のアプリケーション142に連結されうる。一実施形態では、制御回路モジュール221は、発振モジュール106及び増幅モジュール130に通信可能に連結されうる。

20

#### 【0031】

図示している実施形態では、発振モジュール106及び増幅モジュール130の各々は、単一の基板290（プリント基板（PCB）など）上に形成される。しかし、発振モジュール106及び増幅モジュール130は、2つ以上の別々の基板290の上にも形成されうることを、認識されたい。図示している実施形態では、4つの高周波発出モジュール105が示されている。しかし、モジュール型高周波発出源104は、2つ以上の高周波発出モジュール105を含みうることを、認識されたい。例えば、モジュール型高周波発出源104は、2つ以上の高周波発出モジュール、5つ以上の高周波発出モジュール、10以上の高周波発出モジュール、又は25以上の高周波発出モジュールを含みうる。

30

#### 【0032】

ここで図2Cを参照するに、一実施形態による、高周波発出モジュール105のアレイを有する、モジュール型高周波発出源104の固体状態電子機器の一部分の概略図が示されている。図2Cは、制御回路が省略されていることを除けば、図2Bに示したシステムと実質的に類似している。詳細には、一部の実施形態では、検出器によって提供されるフィードバック制御、及び制御回路は必要ではないことがある。

#### 【0033】

ここで図3を参照するに、一実施形態による、アプリケーション142の切り欠き図が示されている。一実施形態では、電磁放射は、アプリケーション142を通過して軸方向に延在する単極子357に連結している同軸ケーブル351によって、アプリケーション142に伝送される。電磁放射が高周波放射である一実施形態では、単極子357は、誘電体共振キャビティ353の中央内部に形成されたチャンネル358内に延在していることもある。誘電体共振キャビティ353は、誘電体材料（例えば石英、酸化アルミニウム、酸化チタンなど）でありうる。更なる実施形態は、材料を含まない共振キャビティ353を含むこともある（すなわち、誘電体共振キャビティ353は空気又は真空でありうる）。一実施形態によれば、この誘電体共振器は、誘電体共振器が高周波放射の共振をサポートするように寸法設定される。通常、誘電体共振キャビティ353のサイズは、誘電体共振キャビティ353を形成するのに使用される材料の誘電率、及び高周波放射の周波数に依拠する。例えば、誘電率が高い材料であれば、形成される共振キャビティ353の小型化が可能になる。誘電体共振キャビティ353が円形断面を含む一実施形態では、誘電体共振キャビティ

40

50

353の直径は、およそ1cm~15cmになりうる。一実施形態では、単極子357に対して垂直な平面に沿った誘電体共振キャビティ353の断面は、誘電体共振キャビティ353が共振をサポートするよう寸法設定されている限り、任意の形状でありうる。図示している実施形態では、単極子357に対して垂直な平面に沿った断面は円形であるが、多角形（例えば三角形や長方形など）、対称多角形（例えば正方形、五角形、六角形など）、楕円形等といった、他の形状も使用されうる。

#### 【0034】

一実施形態では、誘電体共振キャビティ353の断面は、単極子357に対して垂直な全ての平面において同じではないことがある。例えば、アプリケーションハウジング355の開放端部に近い底部拡張部の断面は、チャンネル358に近い誘電体共振キャビティの断面よりも広くなる。誘電体共振キャビティ353は、種々の寸法の断面を有することに加えて、種々の形状の断面を有しうる。例えば、誘電体共振キャビティ353のチャンネル358に近い部分が円形形状の断面を有しうる一方で、誘電体共振キャビティ353のアプリケーションハウジング355の開放端部に近い部分は、対称多角形（例えば五角形や六角形など）でありうる。しかし、実施形態は、単極子357に対して垂直な全ての平面において均一な断面を有する誘電体共振キャビティ353も含みうることを、認識されたい。

10

#### 【0035】

一実施形態によれば、アプリケーション142は、インピーダンスチューニングバックショート356も含みうる。バックショート356は、アプリケーションハウジング355の外表面上で摺動する、変位可能型包囲体（displaceable enclosure）でありうる。インピーダンスの調整が行われる必要がある場合、アクチュエータ（図示せず）が、バックショート356の表面と誘電体共振キャビティ353の上面との間の距離Dを変化させるよう、アプリケーションハウジング355の外表面に沿ってバックショート356を摺動させうる。これにより、実施形態は、システム内のインピーダンスを調整するための、1を上回る数の方策を提供する。一実施形態によれば、インピーダンスチューニングバックショート356は、インピーダンス不整合に対応するために、上述したフィードバックプロセスと併せて使用されうる。あるいは、インピーダンス不整合を調整するために、フィードバックプロセス又はインピーダンスチューニングバックショート356が独立的に使用されうる。

20

#### 【0036】

一実施形態によれば、アプリケーション142は、高周波電磁界を処理チャンバ178内に直接連結させる、誘電体アンテナとして機能する。誘電体共振キャビティ353に入っている単極子357の特定の軸方向配置により、TM01モード励起が発生しうる。しかし、種々のアプリケーション構成により、種々のモードの励起が可能になりうる。例えば、図3ではある軸方向配置を図示しているが、単極子357は、それ以外の配向からも誘電体共振キャビティ353に入りうることを、認識されたい。かかる一実施形態では、単極子357は、誘電体共振キャビティ353に横方向に（すなわち、誘電体共振キャビティ353の側壁を通して）入りうる。

30

#### 【0037】

図3に示しているアプリケーション142は本来例示的なものであり、実施形態は説明されている設計に限定されるわけではないことを、認識されたい。例えば、図3のアプリケーション142は、マイクロ波放射を発生することに特に適している。しかし、実施形態は、任意の高周波電磁放射を発生するよう構成されている、任意のアプリケーション設計を含みうる。

40

#### 【0038】

ここで図4Aを参照するに、一実施形態による、アプリケーション142のアレイ140がチャンバ178に連結されている処理ツール400の一部分の断面図が示されている。図示している実施形態では、アプリケーション142からの電磁放射は、誘電体ウインドウ150の近くに配置されることによって、チャンバ178内に連結される。本書で使用される場合「誘電体ウインドウ（dielectric window）」は、モノリス（monolithic）誘電体材料の構成要素、又は誘電体と金属との複合構成要素である構

50

成要素を、表わしうる。例えば、誘電体ウインドウ 150 は、誘電体層と導電層とを含みうる。一実施形態では、導電層は接地されうるか、他の任意の電位に保たれうるか、又はフローティングされ (float ed) うる。

#### 【0039】

一実施形態では、誘電体ウインドウ 150 は、チャンバ 178 と一体化されうる。例えば、誘電体ウインドウ 150 は、チャンバリッド、チャンバ側壁、又は他の任意のチャンバ表面の一部でありうる。アプリケーション 142 が誘電体ウインドウ 150 の近くにあることによって、誘電体共振キャビティ 353 (図 4 A には図示していない) 内で共振する高周波放射が誘電体ウインドウ 150 と連結することが可能になる。高周波放射は次いでチャンバ内の処理ガスと結合して、プラズマが生成されうる。一実施形態では、各アプリケーション 142 の表面 443 は、誘電体ウインドウ 150 に直接接触していることがある。更なる一実施形態では、各アプリケーションの表面 443 は、高周波放射が誘電体ウインドウ 150 に伝送されうる限り、誘電体ウインドウ 150 の表面から離間していてもよい。更なる実施形態では、図 4 B に示しているように、アプリケーション 142 は誘電体ウインドウ 150 内のキャビティの中に設置されうる。更に別の実施形態では、図 4 C に示しているように、各アプリケーション 142 の表面 443 がチャンバ 178 の内部に露出するように、アプリケーション 142 が誘電体ウインドウ 150 を通過していることもある。かかる実施形態では、高周波放射の大部分は、誘電体ウインドウ 150 と連結することなく、チャンバ 178 内に直接伝送されうる。

#### 【0040】

アプリケーション 142 が誘電体ウインドウ 150 を通って形成されない実施形態 (例えば図 4 A 及び図 4 B に示している実施形態) によれば、アプリケーション 142 のアレイ 140 は、チャンバ 178 から誘電体ウインドウ 150 を取り外すことを必要とせずに、(例えば、メンテナンスのため、寸法が異なる基板に適應するようアプリケーションのアレイを再配置するため、又は他の任意の理由のために、) 誘電体ウインドウ 150 から取り外し可能でありうる。したがって、アプリケーション 142 は、チャンバ 178 内の真空を開放することを必要とせずに、処理ツール 100 から取り外されうる。更なる一実施形態によれば、誘電体ウインドウ 150 は、ガス注入プレート又はシャワーヘッドとしても機能しうる。

#### 【0041】

一実施形態では、アプリケーション 142 は、任意の周波数の高周波電磁放射を発生するよう構成されている、任意のアンテナ設計を含みうる。一実施形態では、アプリケーションのアレイ 140 は、1 を上回る数のアプリケーション 142 の設計を含みうる。例えば、アプリケーション 142 のアレイ 140 は、第 1 高周波放射を発生するための第 1 アプリケーションと、第 1 高周波放射とは異なる第 2 高周波放射を発生するための第 2 アプリケーションとを、含みうる。

#### 【0042】

一実施形態によれば、図 4 A から図 4 C の処理ツール 400 は、遠隔プラズマ処理ツールと見なされうる。アプリケーション 142 のアレイ 140 によって誘起されるプラズマ 196 はプラズマ 196 のデバイ長の少なくとも 3 倍の距離 D だけ基板 174 から離間しているので、処理ツール 400 は遠隔プラズマ処理ツールと称されうる。

#### 【0043】

ここで図 4 D を参照するに、一実施形態による、非平面の誘電体ウインドウ 150 を有する処理ツール 400 の断面図が示されている。一実施形態では、非平面の誘電体ウインドウ 150 は、三次元表面を含みうる (例えば、楕円形、円形、三角形、正方形、長方形、五角形、七角形、七辺形などといった、単純に接続された任意の非対称断面又は対称断面を有する、ドーム、円筒、又は円筒形空間など)。かかる一実施形態では、アプリケーション 142 のアレイ 140 は、非平面の誘電体ウインドウ 150 の近くに配置されうる。図示している実施形態では、アプリケーション 142 は、非平面の誘電体ウインドウ 150 内のキャビティの中に設置されている。他の実施形態は、図 4 A の構成と同様に、非平面の誘電体ウインドウ 150 の上面上に置かれたアプリケーション 142 の表面 443 を含みうる。更なる

10

20

30

40

50

る一実施形態は、図 4 C と同様に、アプリケーション 1 4 2 の表面 4 4 3 がチャンバの内部に露出するように誘電体ウインドウ 1 5 0 を貫通している、アプリケーション 1 4 2 を含む。

【 0 0 4 4 】

一実施形態では、図 4 D の処理ツール 4 0 0 は、プラズマ 1 9 6 と基板 1 7 4 との間の間隔 D により、遠隔プラズマツールである。例えば、間隔 D は、プラズマ 1 9 6 のデバイ長の少なくとも 3 倍でありうる。

【 0 0 4 5 】

ここで図 4 E を参照するに、一実施形態による、遠隔プラズマ処理ツール 4 0 0 の断面図が示されている。一実施形態では、遠隔プラズマ処理ツール 4 0 0 は、プラズマ 1 9 6 が誘起される前置チャンバ 4 7 9 を含む。前置チャンバ 4 7 9 は、複数の誘電体ウインドウ 1 5 0 を備える側壁によって画定される。一実施形態による前置チャンバ 4 7 9 の斜視図を図 4 F に示している。図示している実施形態では、複数の誘電体ウインドウ 1 5 0 が、前置チャンバ 4 7 9 の別々の表面上に形成されている。円形の誘電体ウインドウ 1 5 0 が示されており、かつ前置チャンバ 4 7 9 は立方体形状であるが、誘電体ウインドウ 1 5 0 は他の形状であってよく、前置チャンバは任意の三次元形状でありうることを、認識されたい。図示しているように、アプリケーション 1 4 2 は、前置チャンバ 4 7 9 の周りに径方向に配向されて、構成される。一実施形態では、アプリケーション 1 4 2 は、誘電体ウインドウ 1 5 0 の外表面上に置かれるか、誘電体ウインドウ 1 5 0 内のキャビティの中に挿入されるか、又は、誘電体ウインドウ 1 5 0 を通過していることがある。

【 0 0 4 6 】

一実施形態では、前置チャンバ 4 7 9 は、経路 4 7 3 によって、処理チャンバの主たる処理空間 4 7 5 と流体接続される。図示している実施形態では、前置チャンバ 4 7 9 は、主たる処理空間 4 7 5 の上方に配向されている。しかし、前置チャンバ 4 7 9 は他の場所（例えば、主たる処理空間 4 7 5 の側方）にも配置されることを、認識されたい。

【 0 0 4 7 】

ここで図 5 A から図 5 C を参照するに、更なる実施形態による、遠隔プラズマ処理ツール 5 0 0 の断面図が示されている。図 5 A から図 5 C では、処理ツール 5 0 0 は、図 4 C に示している処理ツール 4 0 0 に実質的に類似しているが、更なる特徴が付加されている。しかし、図 5 A から図 5 C に関連して説明する更なる特徴は、図 4 A から図 4 F に関連して説明した処理ツールのいずれにも組み込まれることを、認識されたい。

【 0 0 4 8 】

ここで図 5 A を参照するに、一実施形態による、物理的な仕切り 5 8 8 を含む遠隔プラズマ処理ツール 5 0 0 の断面図が示されている。一実施形態では、物理的な仕切り 5 8 8 は、プラズマ領域 5 8 1 を主たる処理領域 5 8 9 から分離させる。一実施形態では、物理的な仕切り 5 8 8 は、有孔プレート、メッシュ、格子体などでありうる。一実施形態では、物理的な仕切り 5 8 8 は、任意の好適な材料から形成される。例えば、物理的な仕切り 5 8 8 は、金属、絶縁物、半導体、又はそれらの組み合わせを含む。

【 0 0 4 9 】

一実施形態では、物理的な仕切り 5 8 8 は電源に接続される。一実施形態では、物理的な仕切り 5 8 8 は R F 電源に接続される。例えば、物理的な仕切り 5 8 8 は、およそ 0 . 1 M H z ~ 2 0 0 M H z の周波数を有する R F 電源に接続される。一実施形態では、R F 電源はパルス化される。パルス化された R F 電源は、1 0 H z ~ 1 0 0 , 0 0 0 H z のパルス周波数で操作される。一実施形態では、この電源は D C 電源又はパルス化された D C 電源でもありうる。

【 0 0 5 0 】

図示している実施形態では、実質的に平面の物理的な仕切り 5 8 8 が示されている。しかし、物理的な仕切り 5 8 8 は図示している構成に限定されるわけではないことを、認識されたい。例えば、物理的な仕切り 5 8 8 は、処理ツール 5 0 0 の必要性に応じて、ドーム形状、又は、他の任意の平面構成若しくは非平面構成を含む。

【 0 0 5 1 】

10

20

30

40

50

ここで図5Bを参照するに、一実施形態による、第1仕切り588及び第2仕切り587を含む遠隔プラズマ処理ツール500の断面図が示されている。一実施形態では、第1仕切り588及び第2仕切り587は、処理チャンバ178のプラズマ領域581を主たる処理領域589から分離させる。図示している実施形態では、第1仕切り588と第2仕切り587との間に間隙がある。しかし、一部の実施形態では、第1仕切り588と第2仕切り587とは互いに接触していることもある。

#### 【0052】

一実施形態では、物理的な仕切り588及び587は、有孔プレート、メッシュ、格子体などでありうる。一実施形態では、第1の物理的な仕切り588は、第2の物理的な仕切り587とは異なっていることがある。一実施形態では、第1の物理的な仕切り588と第2の物理的な仕切り587とは同じでありうる。一実施形態では、物理的な仕切り588及び587は、任意の好適な材料から形成されうる。例えば、物理的な仕切り588及び587は、金属、絶縁物、半導体、又はそれらの組み合わせを含みうる。

10

#### 【0053】

一実施形態では、第1仕切り588と第2仕切り587の一方又は両方が、電源に接続される。一部の実施形態では、第1仕切り588と第2仕切り587とは、別々の電源に接続されうる。一実施形態では、一又は複数の電源は、RF電源、パルス化されたRF電源、DC電源、又はパルス化されたDC電源を含みうる。一実施形態では、RF電源は、およそ0.1MHz~200MHzの周波数で動作しうる。一実施形態では、RF電源はパルス化されうる。パルス化されたRF電源は、10Hz~100,000Hzのパルス周波数で操作されうる。

20

#### 【0054】

図示している実施形態では、実質的に平面の物理的な仕切り588及び587が示されている。しかし、物理的な仕切り588及び587は、図示している構成に限定されるわけではないことを、認識されたい。例えば、物理的な仕切り588と587の一方又は両方は、処理ツール500の必要性に応じて、ドーム形状、又は、他の任意の平面構成若しくは非平面構成を含みうる。更に、2つの物理的な仕切り588及び587を図示しているが、実施形態は任意の数の物理的な仕切りを含みうることを、認識されたい。

#### 【0055】

ここで図5Cを参照するに、一実施形態による、第1ガスライン583A及び第2ガスライン583Bを有する遠隔プラズマ処理ツール500の断面図が示されている。一実施形態では、第1ガスライン583Aは、処理チャンバ178のプラズマ領域581へと、第1ガス又は混合ガスを供給しうる。一実施形態では、第2ガスライン583Bは、第1仕切り588及び第2仕切り587の下にあってよく、かつ、処理チャンバ178の主たる処理領域589へと、第2ガス又は混合ガスを供給しうる。一実施形態では、第2ガスライン583Bは、物理的な仕切り588及び/又は587の一方又は両方と一体化されうる。

30

#### 【0056】

上述したように、アプリケーション142のアレイ140は、任意に成形された基板174に対応するように配置されうる。図6Aは、円形基板174に合致するパターンに配置されている、アプリケーション142のアレイ140の平面図である。複数のアプリケーション142を基板174の形状にほぼ合致するパターンに形成することによって、プラズマが、基板174の表面全体に対してチューニング可能になる。例えば、基板174の表面全体にわたってプラズマ密度が均一なプラズマが形成されるように、アプリケーション142の各々が制御されうる。あるいは、基板174の表面全体において変動可能なプラズマ密度を提供するよう、アプリケーション142のうちの一又は複数が個別に制御されうる。これにより、基板上にもたらされる不均一性が補正されうる。例えば、基板174の外周に近いアプリケーション142は、基板174の中心に近いアプリケーションとは異なる電力密度を有するよう、制御されうる。更に、(上述したような)インコヒーレントな電磁放射を発生する高周波発出モジュール105を使用することで、定在波(standing waves)

40

50

及び／又は望ましくない干渉縞をなくすことが可能になることを、認識されたい。

【 0 0 5 7 】

図 6 A では、アレイ 1 4 0 のアプリータ 1 4 2 は、基板 1 7 4 の中心から外側に延在している一連の同心リング状に、ひとまとめにパッキングされている。しかし、実施形態はかかる構成に限定されるわけではなく、処理ツール 1 0 0 の必要性に応じて、任意の好適な間隔及び／又はパターンが使用されうる。更に、実施形態により、上述したような、任意の対称断面を有するアプリータ 1 4 2 が可能になる。したがって、アプリータ向けに選ばれる断面形状は、パッキング効率を向上させるよう選ばれうる。

【 0 0 5 8 】

ここで図 6 B を参照するに、一実施形態による、非円形断面を有するアプリータ 1 4 2 のアレイ 1 4 0 の平面図が示されている。図示している実施形態は、六角形の断面を有するアプリータ 1 4 2 を含む。かかるアプリータを使用することで、パッキング効率の向上が可能になりうる。各アプリータ 1 4 2 の周縁が、隣り合ったアプリータ 1 4 2 とほぼ完全に接合しうるからである。したがって、アプリータ 1 4 2 の各々同士の間隔が最小化されうることから、プラズマの均一性がより一層向上しうる。図 6 B は、側壁面を共有している隣り合った複数のアプリータ 1 4 2 を示しているが、実施形態は、隣り合ったアプリータ 1 4 2 同士の間隔を含む、対称的に成形された非円形のアプリータも含みうることを、認識されたい。

【 0 0 5 9 】

ここで図 6 C を参照するに、一実施形態による、アプリータ 1 4 2 のアレイ 1 4 0 の更なる平面図が示されている。図 6 C のアレイ 1 4 0 は、複数のセンサ 6 9 0 も含まれていることを除けば、図 6 A に関連して上述したアレイ 1 4 0 に実質的に類似している。複数のセンサにより、モジュール型高周波源 1 0 4 の各々の更なるフィードバック制御を提供するために使用されうる、プロセスモニタ能力が向上する。一実施形態では、センサ 6 9 0 は、一又は複数の異なるセンサ 6 9 0 のタイプ（例えばプラズマ密度センサ、プラズマ発出センサなど）を含みうる。センサを基板 1 7 4 の表面全体にわたるように配置することで、処理チャンバ 1 7 8 の所与の場所におけるプラズマの特性をモニタすることが可能になる。

【 0 0 6 0 】

一実施形態によれば、全部のアプリータ 1 4 2 が、別個のセンサ 6 9 0 と対にされうる。かかる実施形態では、各センサ 6 9 0 からの出力が、そのセンサ 6 9 0 が対にされているアプリータ 1 4 2 のそれぞれにフィードバック制御を提供するために使用されうる。更なる実施形態は、各センサ 6 9 0 と複数のアプリータ 1 4 2 とを対にすることを含みうる。例えば、各センサ 6 9 0 は、そのセンサ 6 9 0 の近くに配置されている複数のアプリータ 1 4 2 に、フィードバック制御を提供しうる。更に別の実施形態では、複数のセンサ 6 9 0 からのフィードバックが、多入力多出力（M I M O）制御システムの一部として使用されうる。かかる一実施形態では、各アプリータ 1 4 2 は、複数のセンサ 6 9 0 からのフィードバックに基づいて調整されうる。例えば、第 1 アプリータ 1 4 2 の直近にある第 1 センサ 6 9 0 は、第 1 センサ 6 9 0 よりも第 1 アプリータ 1 4 2 から遠くに配置されている第 2 センサ 6 9 0 が第 1 アプリータ 1 4 2 に作用させる制御作動力（control effort）を上回る制御作動力を、第 1 アプリータ 1 4 2 に提供するように、重み付けされうる。

【 0 0 6 1 】

ここで図 6 D を参照するに、一実施形態による、多ゾーン処理ツール 1 0 0 内に配置されたアプリータ 1 4 2 のアレイ 1 4 0 の更なる平面図が示されている。一実施形態では、多ゾーン処理ツール 1 0 0 は任意の数のゾーンを含みうる。例えば、図示している実施形態はゾーン 6 7 5<sub>1</sub> ~ 6 7 5<sub>n</sub> を含む。各ゾーン 6 7 5 は、種々のゾーン 6 7 5 を通って回転する基板 1 7 4 に、別々の処理動作を実施するよう構成されうる。図示しているように、第 1 アレイ 1 4 0<sub>2</sub> はゾーン 6 7 5<sub>2</sub> 内に配置され、第 2 アレイ 1 4 0<sub>n</sub> はゾーン 6 7 5<sub>n</sub> 内に配置されている。しかし、実施形態は、デバイスの必要性に応じて種々のゾー

10

20

30

40

50

ン 6 7 5 のうちの一又は複数にアプリケーション 1 4 2 のアレイ 1 4 0 を有する、多ゾーン処理ツール 1 0 0 を含む。実施形態によって提供される、空間的にチューニング可能なプラズマの密度により、回転する基板 1 7 4 が種々のゾーン 6 7 5 を通過する際の、基板 1 7 4 の不均一な径方向速度に適應することが可能になる。

#### 【 0 0 6 2 】

一実施形態では、発振モジュール 1 0 6 とアプリケーション 1 4 2 との比率は 1 : 1 でありうる（すなわち、全部のアプリケーション 1 4 2 が別個の発振モジュール 1 0 6 に連結される）。更なる実施形態では、発振モジュール 1 0 6 とアプリケーション 1 4 2 との比率は、1 : 2、1 : 3、1 : 4 などでありうる。例えば、アプリケーションの 2 つのアレイ 1 4 0<sub>2</sub> 及び 1 4 0<sub>n</sub> を含む実施形態では、各発振モジュール 1 0 6 が、第 1 アレイ 1 4 0<sub>2</sub> の第 1 アプリケーション 1 4 2、及び第 2 アレイ 1 4 0<sub>n</sub> の第 2 アプリケーション 1 4 2 に連結されうる。

10

#### 【 0 0 6 3 】

ここで図 7 を参照するに、一実施形態による、処理ツール 1 0 0 の例示的なコンピュータシステム 7 6 0 のブロック図が示されている。一実施形態では、コンピュータシステム 7 6 0 は、処理ツール 1 0 0 に連結され、かつ、処理ツール 1 0 0 における処理を制御する。コンピュータシステム 7 6 0 は、ローカルエリアネットワーク（LAN）、イントラネット、エクストラネット、又はインターネットにおいて、他の機械に接続（例えば、他の機械とネットワーク化）されうる。コンピュータシステム 7 6 0 は、クライアント - サーバネットワーク環境においてはサーバ若しくはクライアントマシンの役割で、又は、ピアツーピア（若しくは分散型）ネットワーク環境においてはピアマシンとして、動作しうる。コンピュータシステム 7 6 0 は、パーソナルコンピュータ（PC）、タブレット PC、セットトップボックス（STB）、パーソナルデジタルアシスタント（PDA）、携帯電話、ウェブアプリケーション、サーバ、ネットワークルータ、スイッチ若しくはブリッジでありうるか、又は、任意の機械であって、その機械によって行われるアクションを特定する（連続した又は別様な）命令セットを実行可能な機械でありうる。更に、コンピュータシステム 7 6 0 として単一の機械のみを示しているが、「機械（machine）」という語は、本書に記載の方法のうちの一又は複数の任意のものを実施するために、命令セット（又は複数の命令セット）を個別に又は連携的に実行する機械（コンピュータなど）の任意の集合体を含むとも、解釈すべきである。

20

#### 【 0 0 6 4 】

コンピュータシステム 7 6 0 は、命令が記憶されている非一過性の機械可読媒体を有する、コンピュータプログラム製品又はソフトウェア 7 2 2 を含んでよく、命令は、実施形態によるプロセスを実施するコンピュータシステム 7 6 0（又はその他の電子デバイス）をプログラムするために使用されうる。機械可読媒体は、機械（コンピュータなど）が可読な形態で情報を記憶又は伝送するための、任意の機構を含む。例えば、機械可読（例えばコンピュータ可読）媒体は、機械（コンピュータなど）が可読な記憶媒体（例えば、読み出し専用メモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、磁気ディスク記憶媒体、光記憶媒体、フラッシュメモリデバイスなど）や、機械（コンピュータなど）が可読な伝送媒体（電氣的形態、光學的形態、音響的形態、又はその他の形態の、例えば赤外線信号やデジタル信号といった伝播信号）等を、含む。

30

40

#### 【 0 0 6 5 】

一実施形態では、コンピュータシステム 7 6 0 は、バス 7 3 0 を介して互いに通信する、システムプロセッサ 7 0 2 と、メインメモリ 7 0 4（例えば、読み出し専用メモリ（ROM）、フラッシュメモリ、シンクロナス DRAM（SDRAM）又はランバス DRAM（RDRAM）といったダイナミックランダムアクセスメモリ（DRAM）など）と、スタティックメモリ 7 0 6（例えばフラッシュメモリやスタティックランダムアクセスメモリ（SRAM）など）と、二次メモリ 7 1 8（データ記憶デバイスなど）とを、含む。

#### 【 0 0 6 6 】

システムプロセッサ 7 0 2 は、一又は複数の汎用処理デバイス（例えばマイクロシステムプロセッサや中央処理装置など）のことである。より詳細には、システムプロセッサは

50

、複合命令セット演算（CISC）マイクロシステムプロセッサ、縮小命令セット演算（RISC）マイクロシステムプロセッサ、超長命令語（VLW）マイクロシステムプロセッサ、その他の命令セットを実装するシステムプロセッサ、又は、命令セットの組み合わせを実装するシステムプロセッサでありうる。システムプロセッサ702は、特定用途向け集積回路（ASIC）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、デジタル信号システムプロセッサ（DSP）、ネットワークシステムプロセッサなどといった、一又は複数の特殊用途処理デバイスでもありうる。システムプロセッサ702は、本書に記載の動作を実施するための処理論理726を実行するよう設定される。

#### 【0067】

コンピュータシステム760は、その他のデバイス又は機械と通信するためのシステムネットワークインターフェースデバイス708を、更に含む。コンピュータシステム760は、ビデオディスプレイユニット710（液晶ディスプレイ（LCD）、発光ダイオードディスプレイ（LED）、又は陰極線管（CRT）など）、英数字入力デバイス712（キーボードなど）、カーソル制御デバイス714（マウスなど）、及び信号生成デバイス716（スピーカなど）も含みうる。

10

#### 【0068】

二次メモリ718は、本書に記載の方法又は機能のうちの一又は複数の任意ものを具現化する、一又は複数の命令セット（例えばソフトウェア722）が記憶されている、機械アクセス可能記憶媒体731（又は、より具体的には、コンピュータ可読記憶媒体）を含みうる。ソフトウェア722は、コンピュータシステム760によって実行されている間、完全に又は少なくとも部分的に、メインメモリ704及び/又はシステムプロセッサ702内に常駐していてもよく、メインメモリ704及びシステムプロセッサ702は更に、機械可読記憶媒体を構成する。ソフトウェア722は更に、システムネットワークインターフェースデバイス708を介して、ネットワーク720経由で送信又は受信されうる。

20

#### 【0069】

例示的な一実施形態では、機械アクセス可能記憶媒体731を単一の媒体として示しているが、「機械可読記憶媒体（machine-readable storage medium）」という語は、一又は複数の命令セットを記憶する単一の媒体又は複数の媒体（例えば、集中データベース若しくは分散データベース、並びに/又は、関連のキャッシュ及びサーバ）を含むと、解釈すべきである。「機械可読記憶媒体」という語は、機械によって実行される命令セットを記憶すること又は符号化することが可能であり、かつ、方法のうちの一又は複数の任意のものを機械に実施させる、任意の媒体を含むとも、解釈すべきである。したがって、「機械可読記憶媒体」という語は、固体状態メモリと、光媒体及び磁気媒体とを含むがそれらに限定されるわけではないと、解釈すべきである。

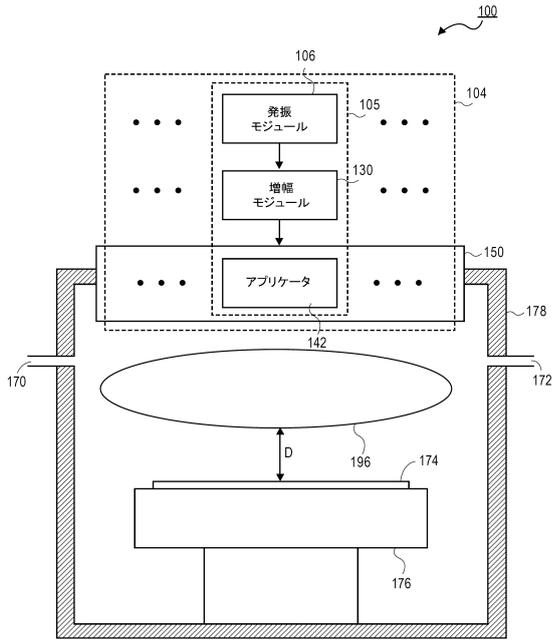
30

#### 【0070】

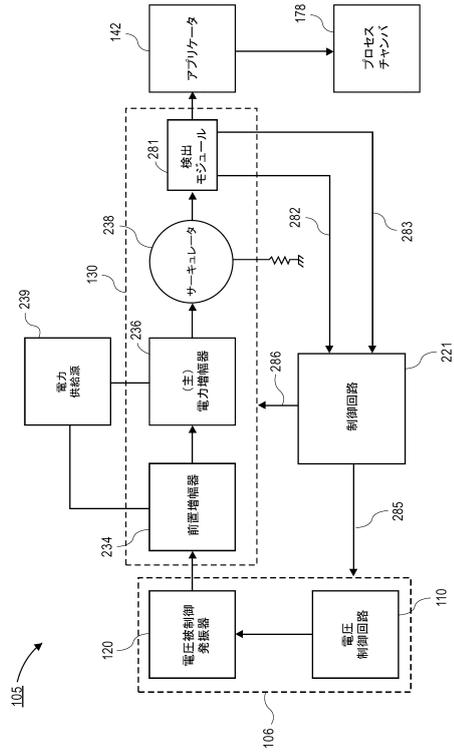
前述の明細書において、特定の例示的な実施形態について説明してきた。以下の特許請求の範囲から逸脱しなければ、かかる実施形態に様々な改変が加えられうることは、自明となろう。したがって、本明細書及び図面は、限定を意味するのではなく、例示を意味すると見なすべきである。

40

【図面】  
【図 1】



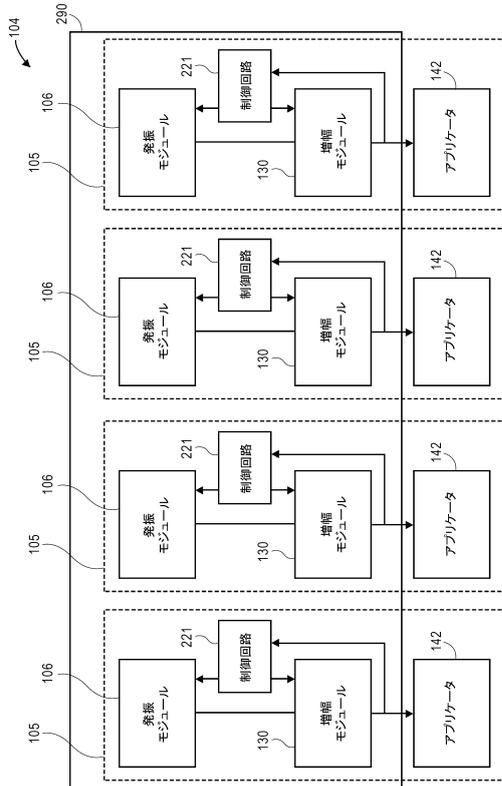
【図 2 A】



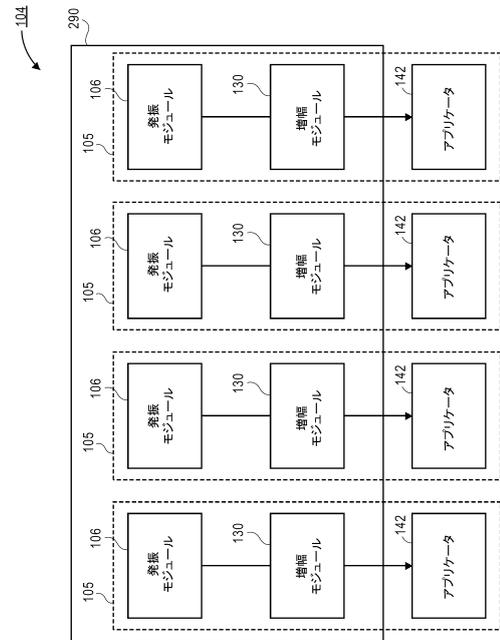
10

20

【図 2 B】



【図 2 C】

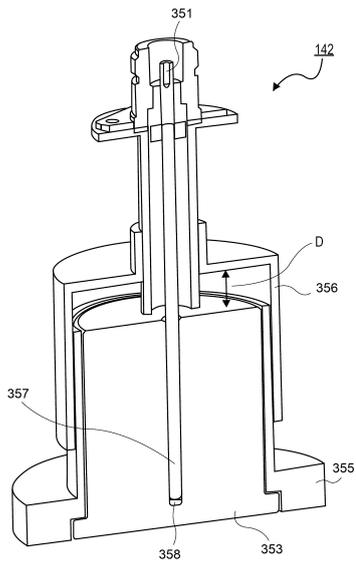


30

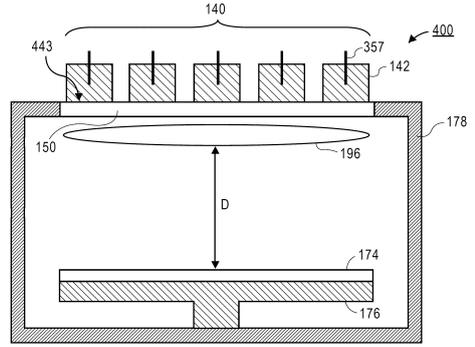
40

50

【 図 3 】

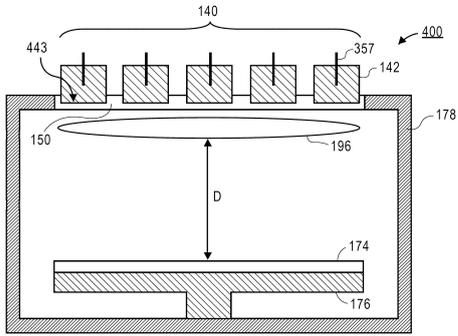


【 図 4 A 】

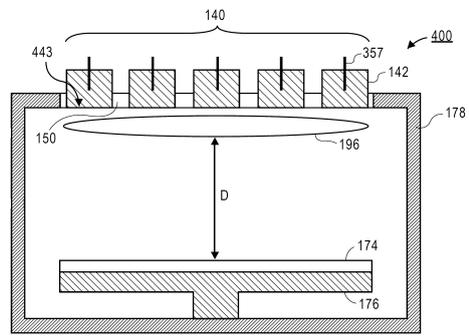


10

【 図 4 B 】



【 図 4 C 】



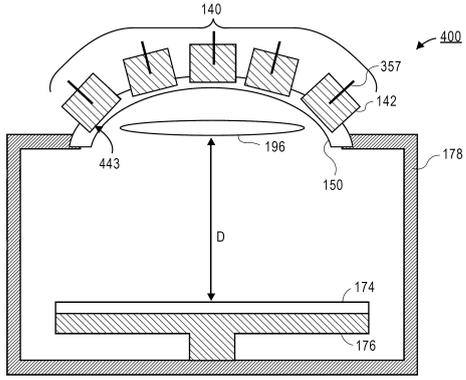
20

30

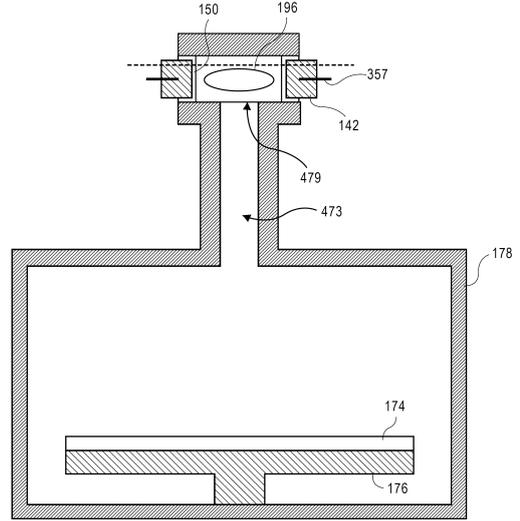
40

50

【 図 4 D 】

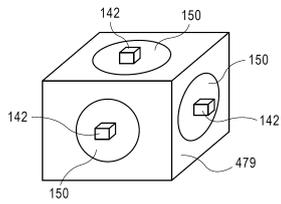


【 図 4 E 】

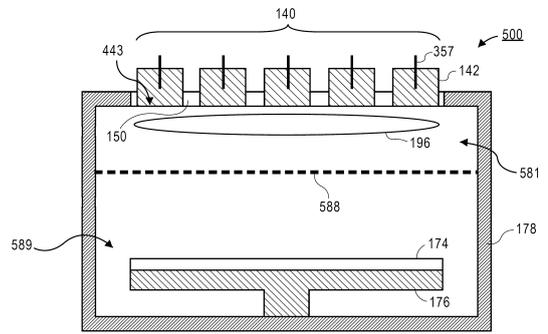


10

【 図 4 F 】



【 図 5 A 】



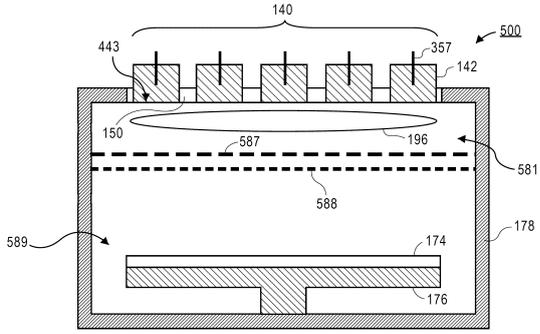
20

30

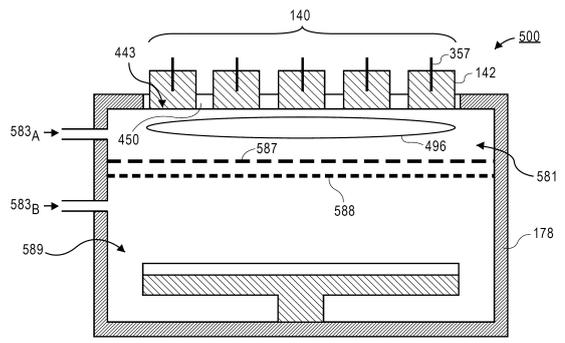
40

50

【図 5 B】

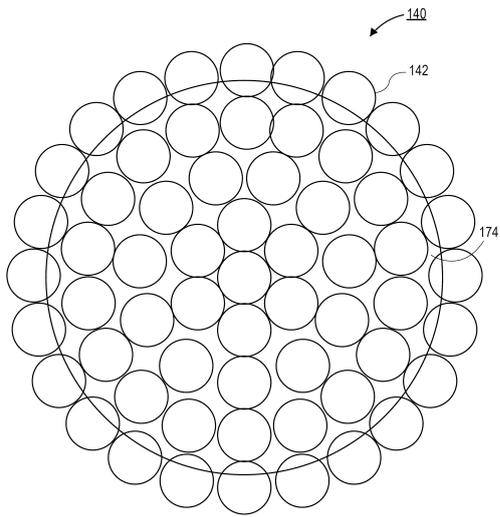


【図 5 C】

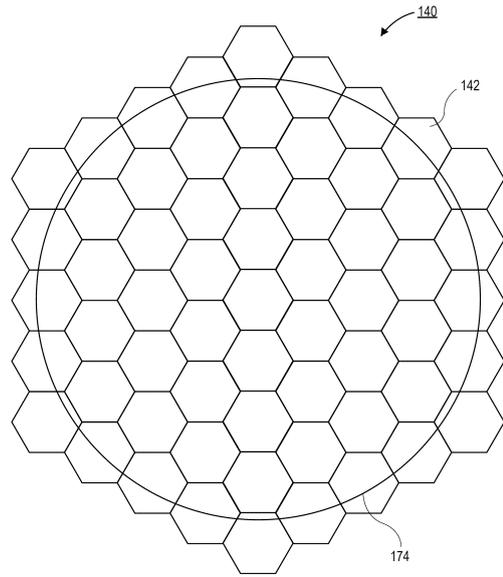


10

【図 6 A】



【図 6 B】



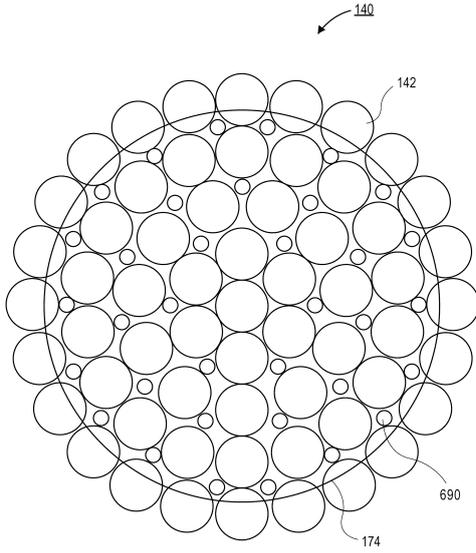
20

30

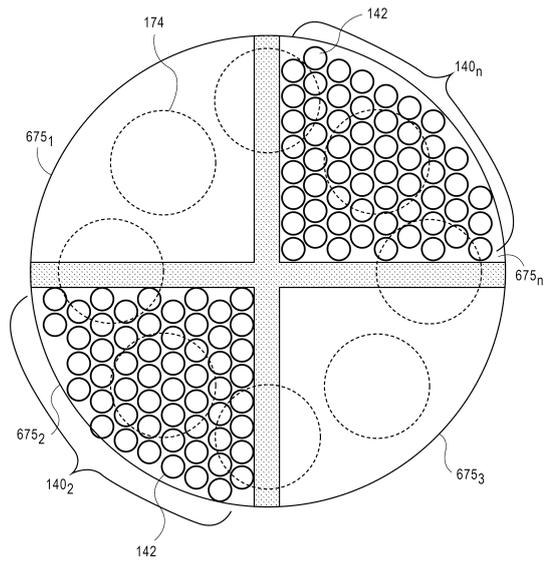
40

50

【図 6 C】

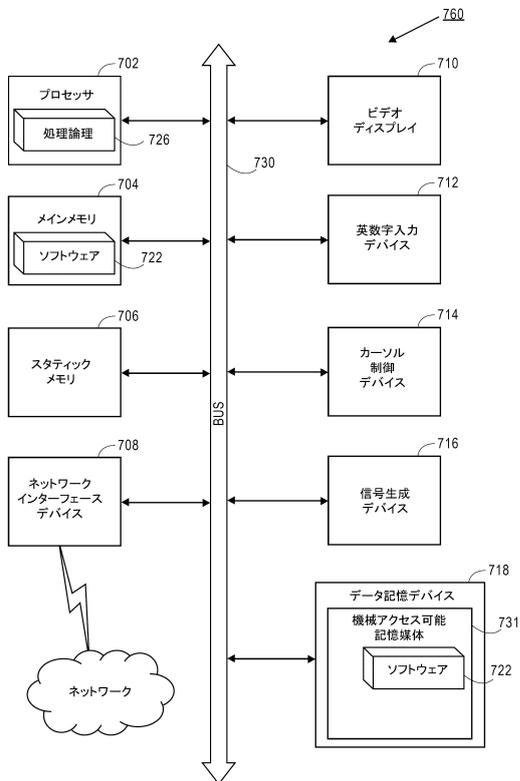


【図 6 D】



10

【図 7】



20

30

40

50

## フロントページの続き

- 48, サン ノゼ, ラモンド コート 3231
- (72)発明者 チョア, タイ チョン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95014, クパチーノ, カーレ デ バルセローナ 19351
- (72)発明者 クラウス, フィリップ アレン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95125, サン ノゼ, ブロードウェイ アヴェニュー 1006
- 審査官 鳥居 祐樹
- (56)参考文献 特開2010-087227(JP,A)  
特表2014-515869(JP,A)  
特開2010-087431(JP,A)  
特開2005-064063(JP,A)  
特開2005-089823(JP,A)  
特開平11-067737(JP,A)  
特開2007-059403(JP,A)  
特開2001-035695(JP,A)  
特開平08-106994(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H05H 1/46  
H01J 37/32  
C23C 16/505  
H01L 21/302