

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5898955号
(P5898955)

(45) 発行日 平成28年4月6日 (2016.4.6)

(24) 登録日 平成28年3月11日 (2016.3.11)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006.01)

HO 5 H 1/46 (2006.01)

HO 1 L 21/683 (2006.01)

HO 1 L 21/302

HO 5 H 1/46

HO 1 L 21/68

IO 1 G

A

R

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2011-520089 (P2011-520089)	(73) 特許権者	390040660
(86) (22) 出願日	平成21年7月13日 (2009.7.13)		アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2011-529273 (P2011-529273A)		APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
(43) 公表日	平成23年12月1日 (2011.12.1)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/050403		
(87) 国際公開番号	W02010/011521	(74) 代理人	100101502
(87) 国際公開日	平成22年1月28日 (2010.1.28)		弁理士 安齋 嘉章
審査請求日	平成24年7月13日 (2012.7.13)	(72) 発明者	コリンズ ケネス エス
(31) 優先権主張番号	12/178,032		アメリカ合衆国 カルフォルニア州 95120 サン ノゼ グレンビュー ドライブ 7214
(32) 優先日	平成20年7月23日 (2008.7.23)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プロセスキットリングへの制御されたRF電力配分を有するプラズマリアクタ用ワークピースサポート

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマリアクタチャンバで使用されるRFバイアスワークピースサポートシステムであって、

ワークピースを支持するためのワークピースサポート面を有するパックと、
前記パックに埋設されたワークピース電極とを含み、前記ワークピース電極は、前記ワークピースサポート面の下にあり、及び前記ワークピースサポート面に向かい合っており、

前記システムは、前記パックの下にある金属板を含むカソードと、
前記ワークピースサポート面の周辺エッジを囲む環状プロセスキットカラーと、
前記プロセスキットカラーの下にあり、前記プロセスキットカラーに接続された上端を有する外側円筒導体を含むプロセスキット電極要素と、
前記カソードに接続された上端を有する中間円筒導体を含むカソード給電要素と、
前記中間円筒導体と同軸である内側導体を含み、前記ワークピース電極に接続された上端を有するワークピース電極給電要素と、
前記ワークピース電極給電要素の底端に結合された第1静電チャック電圧供給源と、
前記プロセスキット電極要素及び前記カソード給電要素に結合されたRFプラズマバイアス電源と、

可変リアクタンスを有するリアクタンス要素を含む可変RFインピーダンス要素とを更に含み、前記可変RFインピーダンス要素は、前記RFプラズマバイアス電源と、 (a)

前記カソード給電要素、(b)前記プロセスキット電極要素のうちの1つとの間に結合され、

前記システムは、前記可変RFインピーダンス要素の制御入力に接続されたシステムコントローラを更に含み、これによって、前記可変RFインピーダンス要素の前記リアクタンス要素の前記可変リアクタンスを制御し、前記外側円筒導体、前記中間円筒導体、及び前記内側導体は、同軸導体アセンブリ内に構成されるシステム。

【請求項2】

前記金属板は、前記ワークピースサポート面の下にある中心部及び前記プロセスキットカラーの下にある外側部を含み、

前記プロセスキット電極要素は前記金属板の前記外側部を含み、前記金属板はRF駆動カソードを含む請求項1記載のシステム。

10

【請求項3】

前記バック及び前記金属板を囲む環状絶縁体層を更に含み、

前記プロセスキット電極要素は、前記絶縁体層の中に配置され、前記環状絶縁体層を通して軸方向に延び、前記プロセスキット電極要素は、前記プロセスキットカラーの下にあり及び接触する請求項1記載のシステム。

【請求項4】

前記可変RFインピーダンス要素は、前記RFプラズマバイアス電源と前記カソード給電要素の間に接続される請求項1記載のシステム。

【請求項5】

20

前記RFプラズマバイアス電源と前記プロセスキット電極要素の間に接続された第2可変RFインピーダンス要素を更に含み、前記システムコントローラは、前記第2可変RFインピーダンス要素の制御入力に接続され、これによって、前記第2可変RFインピーダンス要素のインピーダンスを制御する請求項4記載のシステム。

【請求項6】

入力端子及び接地端子を含むカソード接地可変インピーダンス要素を更に含み、前記入力端子は前記カソード給電要素に及び前記プロセスキット電極要素に結合され、前記接地端子はRF接地電位に接続される請求項1記載のシステム。

【請求項7】

前記プロセスキット電極要素に結合した第2静電チャック電圧供給源を更に含み、

30

前記システムコントローラは、前記第1及び第2静電チャック電圧供給源に結合し、これによって、前記ワークピースサポート面の上でワークピースに及び前記プロセスキットカラーに印加されたクランピング力を別々に制御する請求項1記載のシステム。

【請求項8】

前記プロセスキット電極要素内に流体クーラント流路を更に含む請求項3記載のシステム。

【請求項9】

前記プロセスキット電極要素に結合した第2静電チャック電圧供給源を更に含み、

前記システムコントローラは、前記第1及び第2静電チャック電圧供給源の夫々の出力電圧を別々に制御するために接続されている請求項8記載のシステム。

40

【請求項10】

前記バックは前記ワークピースサポート面の反対側に底面を含み、

前記システムは、

前記バックの対称軸に沿って前記バックの前記底面から軸方向に延び、前記金属板を通して、同軸導体アセンブリの底端で終端を迎える細長い中心絶縁体を更に含み、

前記環状カソード給電要素は、前記金属板の底面から前記中心絶縁体を囲み、前記中心絶縁体の底端で終端を迎え、

前記ワークピース電極給電要素は、前記中心絶縁体を通して及び前記バックを通して延び、前記ワークピース電極給電要素は、前記第1静電チャック電圧供給源と前記ワークピース電極の間に電流経路を提供するために、前記ワークピース電極に接続する上端と、前

50

記中心絶縁体の底端を通して延びる底端とを有する請求項1記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【背景】

【0001】

半導体ウェハなどのワークピースのプラズマ処理において、均一性の要求は、ワークピースエッジの5mm又は3mm以内にまで広げられ、最近では、エッジの2mm又は1mm以内にさえ広げられている。ワークピースは典型的には静電チャック（ESC）を含むワークピースサポートに静電的にクランプ（固定）され、静電チャックは、RFバイアス電力、電圧又は電流を、ワークピースを介してプラズマに結合する、及び／又は、異なる電極からプラズマに結合されたRF電流の接地帰還（グラウンドリターン）経路を提供するなどの様々な機能を実行するために使用される。また、ESCは、通常ワークピースを加熱又は冷却するために、又はワークピースの温度を制御するためにも使用される。エッチングプロセスにおいて、ESCは通常、プラズマからESCを覆い保護するために、ワークピースよりもサイズが小さい。さもなければ、プラズマは、ESCを破損又は浸食する可能性があり、ESCからスパッタリング又はエッチングされた材料によってワークピース又はチャンバを汚染する可能性がある。ワークピースエッジは、通常平坦ではなく、その代わりに傾斜又は丸みを含んでおり、特にワークピースエッジにおいて、ワークピースサポートとワークピース間の事実上の接触を防いでいる。これは、ワークピース全域に亘ってエッジまで一様な処理を広げる際にいくつかの困難をもたらす。完全に導電性のワークピースを用いた場合でさえ、ワークピース全域に亘る電場がワークピースのエッジ領域近傍では残りの部分の上の電場と比較して変化するので、バイアスを掛けた又はバイアスを掛けていないワークピースの上に形成されるプラズマシース、又はプラズマシース電場は、有限の電極寸法のため均一とはならない。ワークピース又はウェハは完全な導体ではないので、エッジ近傍では更なる電場の変化がいくらか発生するかもしれない。その結果、プラズマイオンフラックス及びイオンエネルギー又はイオン角エネルギー分布は、ワークピースエッジでワークピースの残り部分と比べて異なるかもしれない。ワークピースエッジへのプラズマのラジカルフラックスさえも、ワークピースの残りの部分へのラジカルフラックスと異なるかもしれない。プラズマエッチングプロセスにおいて、このようなエッジ効果は、例えば、ウェハエッジ近傍における高アスペクト比の開口部のエッチングプロファイルが傾く又はねじれるように現れる可能性のある不均一な処理結果をウェハエッジで発生させる。クリティカルディメンジョン（CD）バイアス、エッチング速度、スパッタリング、堆積速度、エッチングの選択性、エッチングのマイクロローディング等が含まれる他のプラズマプロセスパラメータは、ウェハエッジで鋭く異なるかもしれない。

【0002】

エッジ効果を減少させる従来の方法は、（1）導体、半導体、又は誘電体の周辺要素（例えば、ワークピースが円形の半導体ウェハである場合は、リング又はカラー）、又は（2）ワークピースエッジをワークピースの残りの部分と異なる温度に制御可能なエッジ温度帯、又は（3）異なるガス混合物又は異なるガス混合比をエッジ領域に導入可能にするエッジガス導入帯、又は（4）ワークピースエッジから副生成物を除去する速度を低下させるか、又はワークピースエッジ近傍のプラズマ種の再結合率を増加させるワークピースエッジ近傍のプラズマ遮蔽リング、又は（5）例えば、エッジ近傍のプラズマ種を増加させる又は減少させるために（堆積を引き起こすためにある種を減少させる、周辺要素のエッチングを引き起こすためにある種を減少させる、又は副生成物種を形成するために周辺要素をエッチングすることによってある種を増加させる等）、局所的プラズマ条件を変えるために選択された温度に温度制御するエッジ周辺要素が含まれてもよい。方法（2）、（3）、（4）、（5）は、不均一なシース電場の問題に直接的には対処しないので、エッジ処理を変えるために他の技術を用いる。方法（1）は直接的に問題に対処するが、異なるプラズマ条件が選択されるとき、ワークピースエッジの上でシース電場の制御ができないので、せいぜい広範囲のプラズマ条件に対して妥協することである。必要なのは、（このように、例えば、異なるプラズマ条件が選択されるとき、チャンバ条件が変化すると

10

20

30

40

50

き、又は異なるワークピース構造が処理されるときに制御可能なCDの均一性（クリティカルディメンジョン）、形状（傾斜）、エッチング速度（又は選択性）などのワークピースの構造パラメータを制御するために）、イオンエネルギー、イオン角エネルギー分布、又はイオン密度又はフラックス（束）などのワークピースエッジのプラズマシース条件を制御するための方法である。

【概要】

【0003】

プラズマリアクタチャンバで使用するRFバイアスワークピースサポートシステムが提供される。誘電性バックは、ワークピースを支持するワークピースサポート面を有する。ワークピース電極はバック内に埋設されている。ワークピース電極は、ワークピースサポート面の下に、一般にワークピースサポート面と平行にある。金属板は、誘電性バックの下にある。環状プロセスキットカラーは、ワークピースサポート面の周辺エッジを囲んでいる。プロセスキット電極要素は、プロセスキットカラーの下にある。RFプラズマバイアス電源は、ワークピース電極に、及びプロセスキット電極要素に結合している。ワークピースとプロセスキットカラーの間におけるRFバイアス電力分岐の制御は、RFプラズマ電源と、（a）ワークピース電極、（b）プロセスキット電極のうちの1つとの間に結合される可変RFインピーダンス要素によって行われる。可変RFインピーダンス要素は、可変リアクタンスを有するリアクタンス要素を含む。システムコントローラは、それによって可変RFインピーダンス要素のリアクタンス要素の可変リアクタンスを制御するために、可変RFインピーダンス要素の制御入力に接続される。

【図面の簡単な説明】

【0004】

本発明の例示的实施形態を実現し詳細に理解することができるように、上記に簡単に要約した本発明のより具体的な説明を、添付図面に示される実施形態を参照して行う。本発明を不明瞭にしないために、既知のプロセスに関しては本明細書内では議論しないことを理解すべきである。

【0005】

【図1A】第1実施形態に係るワークピースサポート台を含むプラズマリアクタを示す図である。

【図1B】ウェハサポート台に関してある詳細を示す図1Aの部分拡大図である。

【図2】第2実施形態に係るワークピースサポート台を示す図である。

【図3】第3実施形態に係るワークピースサポート台を示す図である。

【図4】第4実施形態に係るワークピースサポート台を示す図である。

【図5】プロセスキットカラーを熱的に制御する構成が含まれる図1Bの実施形態の修正形態を示す図である。

【図6】図1～図4の実施形態において、プロセスキットとワークピース間のRF電力を配分するために使用される可変インピーダンス要素のうちの1つとして使用可能な回路の単純化した概略図である。

【0006】

理解を促進するために、図面に共通する同一の要素を示す際には可能な限り同一の参照番号を使用している。一実施形態の要素及び構成を更なる説明なしに他の実施形態に有益に組み込んでもよいと理解される。しかしながら、添付図面は本発明の例示的な実施形態を示しているに過ぎず、従って、この範囲を制限されていると解釈されるべきではなく、本発明は他の等しく有効な実施形態を含み得ることに留意すべきである。

【詳細な説明】

【0007】

本発明の実施形態は、RFバイアス電力がワークピースに及びワークピースを囲むプロセスキットカラーに別々に結合される静電チャックを含む。システムコントローラによって制御される少なくとも1つの可変インピーダンス要素は、ワークピースとプロセスキットカラー間のRFバイアス電力の配分を調整し、それによって、例えば、プラズマ条件の

変動下での最適な電場均一性のために、ワークピースの末端エッジでプラズマシース電場の動的調整を可能にする。

【0008】

図1A及び1Bを参照して、プラズマリアクタは、円筒の側壁102によって画定されるチャンバ100と、天井104と、周囲のエッジが側壁102と交わる床106とを有する。天井104は、プロセスガス供給源108からプロセスガスを受け入れるガス配分プレートであってもよい。側壁102及び床106は、金属で形成され、接地していてもよい。真空ポンプ132は、床106内のポートを通してチャンバ100を排気する。プラズマRFソース電力（プラズマRF電源電力）は、夫々のRFインピーダンス整合要素118、120を通して、夫々のRFソース電力ジェネレータ（RF電源電力発電機）114、116に接続される夫々の内側及び外側コイルアンテナ110、112から、チャンバ100内へ誘導結合してもよい。天井又はガス配分プレート104は、コイルアンテナ110、112から、天井104を通して、チャンバ100内へRF電力の誘導結合を可能にするために、非導電材料で形成されていてもよい。

10

【0009】

その代わりに又はそれに加えて、VHFジェネレータ122及びインピーダンス整合器124からのRFプラズマソース電力は、オーバーヘッド電極126からチャンバ100内へ容量結合されてもよい。一実施形態では、オーバーヘッド電極126は、天井ガス配分プレート104から分離していてもよい。

20

【0010】

一実施形態では、RF電力は、コイルアンテナ110、112から、ガス配分プレート104を通して、及びオーバーヘッド電極126を通して、チャンバ100内へ誘導結合してもよい。この実施形態では、オーバーヘッド電極126が外側リング導体128及び外側リング導体128から放射状に内側へ延びる複数の導電フィンガー130を有するファラデーシールドの形状であってもよいのと同時に、ガス配分プレートは誘電体又は半導体材料で形成されていてもよい。ファラデーシールド126は、以下で説明されるウェハサポート台に結合されたRF電力のための接地帰還を提供するために、グラウンド（地面）に接続されてもよい。ファラデーシールド126は、RFフィルタを通して選択された周波数に対して接地されてもよい。

30

【0011】

コイルアンテナ110、112が無いときは、天井ガス配分プレート104は、完全に金属で形成され、インピーダンス整合器124を通してVHFジェネレータ122と結合したオーバーヘッド電極126として機能させてもよい。

【0012】

ワークピースサポート台200は、半導体ウェハ、マスク、フォトマスク、ディスプレイパネル、ソーラーパネル要素等のワークピース204を保持するためにチャンバ100の内部に提供される。台200は、ワークピース204を静電的にクランプ又はチャッキングする静電チャック（ESC）であってもよく、ワークピース204を支持するための上面202aを有する誘電体の上層又はバック202を含む。導電グリッド206は、バック202の中に、バック上面202aから短い距離（例えば、0.25mm～2mm）の中に埋設されている。グリッド206は、以下で説明されるように直流チャッキング電圧を印加するESC電極として機能する。バック202は、RFプラズマバイアス電力を印加するかもしれない金属板又はカソード208上に支持される。バック202は、絶縁材料（例えば、 $10^{12} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ を超える抵抗率を有する）又は半導体材料（例えば、 $10^8 \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ と $10^{12} \text{ Ohm} \cdot \text{cm}$ の間の抵抗率を有する）で形成してもよい。

40

【0013】

様々な構成が、熱制御に対して提供される。熱伝導性ガス（例えば、ヘリウム）の供給によって、ワークピース204とバック202の間の熱伝導性を制御するように、チャンネル203のアレイがバック上面202aに形成されている。ワークピース204がバック

50

上面 202a の上にクランプされているときはいつも、これらのチャネルは完全に閉じている。カソード 208 は、液体クーラントが循環するかもしれない内部流体流路 210 を含む。電気ヒーター 211 は、パック 202 の中に埋設されていてもよい。ヒーター 211 は、別々に制御される内側及び外側ヒーター 211a 及び 211b の間に夫々分離していてもよい。

【0014】

プロセスキットリングアセンブリ 212 は、パック 202 のエッジを囲み、パック 202 の環状ショルダー 202b 内にあるプロセスキットスペーシング 216 上に重なるプロセスキットカラー 214 を含んでもよい。カラー 214 のショルダー 214a は、小さな半径のギャップ 218 を残して、ウェハ 204 のエッジを囲んでいる。環状プロセスキット絶縁体 220 は、リングアセンブリ 212、パック 202、及びカソード 208 を囲んでいる。環状絶縁体 220 の底端から延びるディスク形のカソード絶縁体 221 は、カソード 208 の下にある。任意の接地ハウジング 222 は、環状絶縁体 220 を囲む外側環状部分 222a と、カソード絶縁体 221 の下にあるディスク形状部分 222b とを有する。任意の環状接地バッフル 224 は、接地ハウジング 222 の環状部分 222a からチャンバ側壁 102 まで延びている。

10

【0015】

RF バイアス電力ジェネレータ 230、232 は、RF バイアスインプीडダンス整合回路 234 を通して、RF バイアス電力をカソード 208 に印加する。ジェネレータ 230 は、HF 周波数（例えば、27MHz 未満）又は VHF 周波数（例えば、27MHz を上回る）を有していてもよく、一方、ジェネレータ 232 は、MF 又は LF 周波数（例えば、4MHz 未満）を有していてもよい。インピーダンス整合回路 234 は、チャンバ床 106 を通って、カソード 208 から延びる同軸導体アセンブリ 240 によって、カソード 208 に接続してもよい。同軸導体アセンブリ 240 は、中心絶縁体 242 と、中心絶縁体 242 を囲む中空円筒カソード給電導体 244 と、カソード給電導体 244 を囲み、ディスク形のカソード絶縁体 221 と合わさった中空円筒カソード給電絶縁体 246 とを有する。円筒カソード給電絶縁体 246 は、カソード接地ハウジング 222 から延びる環状カソード接地帰還導体 248 に囲まれてもよい。

20

【0016】

ユーティリティは、同軸給電アセンブリ 240 を通って延びる様々な導体及びコンジットによって台 200 内へ結合される。グリッド給電導体 250 は、中心絶縁体 242 を通ってグリッド 206 へ延びる。ESC 電圧供給源 252 は、グリッド給電導体 250 を通って、直流電圧をグリッド 206 に供給する。RF 絶縁フィルタ 254 は、グリッド給電導体の RF 電圧に高インピーダンスを与え、RF 電力が直流電源に達するのを防ぐ。ヒーター供給導体ペア 256-1、256-2 は、中心絶縁体 242 を通って、内側及び外側ヒーター 211a、211b へと延びる。独立した交流電源 258-1、258-2 は、夫々のヒーター供給導体ペア 256-1、256-2 を通って、ヒーター 211a、211b に結合されている。ガス供給コンジット 260-1、260-2 は、中心絶縁体 242 を通って、パック面 202a 内にあるチャネル 203 のアレイの入力および出力端（図示せず）へと延びている。熱伝導性ガス（例えば、ヘリウム）の供給源 262 は、ガス供給コンジット 260-1、260-2 に結合されている。クーラント供給コンジット 264-1、264-2 は、円筒カソード給電導体 244 を通って、カソード 208 内のクーラントチャネル 210 の入力及び出力ポート（図示せず）へと延びている。液体クーラントの供給源 266 は、クーラントチャネル 210 を通って、液体クーラントの再循環のために、クーラント供給コンジット 264-1、264-2 に結合される。クーラントは、外部熱交換器によって、冷却又は加熱されてもよい。

30

40

【0017】

カソード 208 は、任意のカソードバイアス可変 RF インピーダンス要素 270 を通って、カソード RF 給電導体 244 を介して、バイアス RF インピーダンス整合回路 234 の出力に結合される。グリッド給電導体 250 は、ESC 電圧供給源 252 に結合される

50

のに加えて、グリッドバイアス可変RFインピーダンス要素272を通して、バイアスRFインピーダンス整合回路234の出力に結合される。一実施形態では、カソードRF給電導体244及びグリッド給電導体250は、任意のカソード接地可変インピーダンス要素274を通して、RFグラウンドに結合されている。一実施形態では、カソード接地可変インピーダンス要素274は、VHF電力ジェネレータの周波数に非常に狭い通過帯域の中心を有し、RFバイアス電力ジェネレータ230、232の周波数を遮断するバンドパスフィルタである。この構成によって台200は、バイアス電力をグラウンドに短絡させることなしに、チャンバ100内へ容量結合されるVHF電力用RF接地帰還電極として機能することができる。

【0018】

システムコントローラ280は、インピーダンス要素270、272、274の可変インピーダンスと、ガス供給源262の圧力と、クーラント供給源266の流体温度及び流速と、交流ヒーター電源258-1、258-2の出力電流と、ESC電源252の直流出力電圧とを制御する。

【0019】

図1A及び1Bに図示された実施形態では、グリッド206に印加されたいかなるRFバイアス電力も、ウェハ204に容量結合し、プロセスキットカラー214にはそれと比較してほとんど又は全く容量結合しないように、全グリッド206は、ウェハ204の下にあり、そのいずれもプロセスキットカラー214の下には無い。カソードに印加されたRFバイアス電力の一部が、プロセスキットカラー214に容量結合するように、カソード208の環状周辺部208aは、プロセスキットカラー214の下へと延びる。この構造は、プロセスキットカラー214のRFバイアス電力（又は電圧又は電流）が、ウェハ204のRFバイアス電力（又は電流又は電圧）に対して、異なる量のRFバイアス電力をグリッド206及びカソード208に印加することによって調整してもよい。

【0020】

カソード及びグリッド可変RFインピーダンス要素270、272は、カソード208とグリッド206の間のRFバイアス電力（又は電流又は電圧）の配分を決定する。この目的のために、2つの可変インピーダンス要素270、272の1つだけが必要である。

（しかしながら、それらの両方の組み合わせは、調節範囲を広げる。）例えば、カソード可変インピーダンス要素270を整合回路234からカソード給電導体244まで直接的に接続することによって取り替えるなら、グリッド可変インピーダンス要素272のインピーダンスは、それ自体で、カソード208とグリッド206間のRF電力の配分を決定する。これは、ウェハ204とプロセスキットカラー214間のRFバイアス電力の配分を変える。この理由は、前記段落で説明したように、カソード208の外側環208aが、直接プロセスキットカラー214の下にあり、RFバイアス電力をプロセスキットカラー214へ容量結合し、一方、グリッド206は、ウェハ204の下にあり、プロセスキットカラー214の下には無く、そのRFバイアス電力のほとんどすべてをプロセスキットカラー214ではなくウェハ204へ容量結合することにある。グリッド可変インピーダンス要素272は、カソードに印加されたRF電力の割合を増加させる又は減少させるとき、プロセスキットカラーに結合したRF電力は、ウェハ204に結合した電力に対して夫々増加する又は減少する。RF電力のこの配分を操作する方法を、ここで説明する。

【0021】

バック202の厚さT及びカソード208からプロセスキットカラー214までの距離Dは、ウェハ204の中心部の上においてプラズマに結合したバイアス電力密度に対して、プロセスキットカラーの上においてプラズマに結合したバイアス電力密度（又は電圧又は電流）を「過剰補償する」ために選択される。これは、プロセスキットカラー214とカソード208間の単位面積当たりのキャパシタンスを、ウェハ204とカソード208間の単位面積当たりのキャパシタンスよりも大きくなるように設計することによって行われる。もしもプロセスキットカラー214が、カソード208とカラー214間のRF結

10

20

30

40

50

合領域よりも大きなプラズマ領域に結合しているか、又はもしもカラー２１４が、追加キャパシタンスによって（例えば、半径外側方向へ）接地されるならば、プロセスキットカラー２１４とカソード２０８間の単位面積当たりのキャパシタンスは、ウェハ２０４とカソード２０８間の単位面積当たりのキャパシタンスに対して、所望の過剰補償を実現するために、更に大きくする必要があるかもしれない。

【００２２】

カラー２１４の厚さは、この消耗要素のコストを低く保つために「小さく」選択可能であり、通常、約１～４mmである。ESCパック２０２の熱抵抗は、そのコストと同様に、厚さに応じて増加する。そのため、パック２０２の総厚さは、窒化アルミニウムなどの高熱伝導性材料に対しては通常約２５mm未満、又は、酸化アルミニウム又は酸化イットリウムなどの低熱伝導性材料に対しては約１０mm未満である。例えば、もしも総ESCパック厚さが７mmに選択されるならば、石英、シリコン又は炭化珪素でできた厚さ２mmのプロセスキットカラー（２１４）が選択される。もしも半導体材料（SiC又はSiなど）が選択されるならば、カラー２１４はカソードベース２０８の領域さえも超えて、台電極の実効面積を広げるかもしれない。いくつかの場合、リアクタがSi含有材料をエッチングするのに使用されるとき、スペーサ２１６は石英などの材料であってもよいが、カラー２１４はSi又はSiCであってもよい。カソード２０８の直径を超えて電極実効面積を広げる他に、エッチングの副生成物は、エッチングされるウェハからのそのような副生成物により類似したものであるかもしれない。その結果、ウェハエッジにおける局所的な副生成物の変化を最小化することによって、エッジに対するエッチング均一性を促進するかもしれない。カソード直径を超えて広がる電極実効面積は、高誘電率材料又は半導体よりも少ないかもしれないが、石英などのより低い誘電率をもつ他の材料をカラー材料に使用してもよい。酸化イットリウムなどの高誘電率材料は、例えば、スペーサ２１６に対して又はカラー２１４に対して使用してもよい。

【００２３】

RFグリッドバイアス可変インピーダンス要素２７２は、システムコントローラ２８０を通して選択可能なレシピ（方法）である。真空可変コンデンサがグリッド可変RFインピーダンス要素２７２の主要な要素として使用される場合は、最小静電容量値が低いことによって、カソード２０８からグリッド２０６までのRF電流の最小値はそれる。この場合、プロセスキットカラー２１４は、（上述のように）まだRFバイアス電力の配分に対して過剰補償されている。RFグリッドバイアス可変インピーダンス要素２７２は、カソード２０８とウェハ２０４間の台構造の比較的低いキャパシタンスをいくつかの電流が迂回できるように、より高いキャパシタンス値を選択してもよい。これは、プロセスキットカラー２１４を通してプラズマに結合したRF電力の過剰補償を減少させる。プロセスキットカラー２１４とカソード２０８間の単位面積当たりの実効キャパシタンスが、ウェハ２０４とカソード２０８間の単位面積当たりの実効キャパシタンスよりも小さくなる（可変インピーダンス要素の選択されたキャパシタンスと並列に配置され、同じ領域に負荷が掛かる）ように、グリッド可変インピーダンス要素２７２は、十分高いキャパシタンス値を選択してもよい。このような場合には、プロセスキット電力結合は補償不足となるだろう。

【００２４】

RFグリッドバイアス可変インピーダンス要素２７２の異なるキャパシタンス値の選択は、カソードベースの電圧及びRFバイアスマッチ２３４に提供されるカソード伝送路の駆動ポイント入力インピーダンスを実質的に変化させると同時に、バイアスRFインピーダンス整合回路２３４は、その内部要素（例えば、直列要素）のうちの１つのリアクタンスを変えることによって補償され、プラズマに結合した実質的に一定の電力を提供する。従って、グリッド可変インピーダンス要素２７２のキャパシタンスの変化は、プロセスキットカラー２１４に隣接するプラズマ領域対ウェハ２０４に隣接するプラズマ領域間の電力密度（又は電圧分布又は電流密度）の配分を変えるが、２つの領域上の正味の電力は実質的に一定のままである。

【0025】

ウェハとプロセスキット領域間の相対的なバイアスRF電力密度（又は電圧密度又は電流密度）の調整又は配分（例えば、上述の過剰補償又は補償不足）は、特定の要求を満たすように、ウェハ構造又はフィーチャーCD、プロファイル角度（傾斜）、又はエッチング速度、又はエッチングの選択性を調整するために使用してもよい。また、それは、誘導結合又は容量結合したプラズマソース電力及び直流磁気遮蔽効果等から生じるプラズマパラメータ（イオンエネルギー、イオン角エネルギー分布、又はイオン密度又はフラックス等）の不均一性を補償するために使用してもよい。特に、ウェハ最端のエッジ領域では、ウェハ表面におけるRF電場ラインの傾斜は、ウェハエッジでエッチングプロファイルが先細りになる及びエッチングプロファイルがねじれることを示すような、エッチングプロファイル結果の低下を避けるために変更又は修正可能である。

10

【0026】

関連するアプローチでは、プロセスキットカラー214の材料は、ウェハエッジ近くでプラズマの化学種含有量に影響するように選択される。例えば、カラーの材料は、ウェハエッジ近くでプロセス性能を改善するために、あるターゲット種を消費するようにプラズマと反応するかもしれない。又は、カラーの材料は、プロセス性能を改善するために、ウェハエッジ近くで所望の種をより多く生成するようにプラズマと反応するかもしれない。コントローラ280は、カラー214のプラズマへの参与率を制御するために、異なるプロセスレシピ又は同じプロセスレシピの異なるフェーズに必要とされるような異なる参与率を得るために、プロセスキットカラー214のRFバイアス電力を変えてもよい。

20

【0027】

逆のアプローチでは、カラー214の参与率は、カラーの温度を調整することによって制御される。カラー214へのRFバイアス電力の配分は、ある特定のプロセス条件セットに対して、ワークピースエッジでプラズマバイアスシース電場をより均一にする（すなわち、ワークピースの主要部分の上のシース電場と同じにする）ために、コントローラ280によって選択される。これは、ウェハエッジでの不均一性を除去又は最小化し、これによって、ウェハエッジまで及びそれを超えてウェハ表面全域に亘って、イオン速度角度分布（又は他のプラズマ性能パラメータ）のより良好な均一性を得ることができる。コントローラ280は、例えば、バイアスRF電力レベルや、ソースRF電力レベルや、直流磁場レベルや、プロセスガス組成における変化などの異なるプロセス状態が起こるので、カラー214に結合されたRFバイアス電力を調整することによって、電場の均一性を保つのに使用してもよい。

30

【0028】

また、プロセスキットカラー214に結合されたRFバイアス電力のコントローラ280による調整又は配分は、プロセスキットカラー214の洗浄又は表面調節（コンディショニング）のために、プロセスキットカラーとのプラズマ反応を増進させる又は減退させるのに使用してもよい。

【0029】

図2は、円筒プロセスキット電極290が、カソード給電絶縁体246と、ディスク形カソード絶縁体221と、円筒プロセスキット絶縁体220とを通過して軸方向上方へと延びる、図1A及び図1Bの実施形態の修正形態を示す。プロセスキット電極290は、プロセスキットカラー214にRF電気カップリングを提供する。図2の実施形態には任意に含んでもよいが、図2の実行形態では、任意のプロセスキットリング216は削除されている。図2の実施形態では、バイアスRF整合器234の出力は、グリッド給電導体250に接続されていない。その代わりに、バイアスRF整合器の出力は、グリッド可変RFインピーダンス要素272を通過してカソード給電導体244に結合されるのみならず、プロセスキット電極290の底端に結合されている。コントローラ280によって操作される任意のプロセスキット可変インピーダンス要素273は、バイアスRF整合器234の出力とプロセスキット電極290間に挿入されてもよい。図2の2つの可変インピーダンス要素272、273のうちの1つだけが必要とされる。可変インピーダンス要素27

40

50

2、273のどちらか1つが存在することで、コントローラ280が（電極290を通して）プロセスキットと（カソード208を通して）ウェハの間でRFバイアス電力の配分を制御することができる。この配分は、図1A及び1Bの実施形態を参照して上述と同様に動作する。

【0030】

この仕様において上述したように、カラー214の選択された材料の参与率は、カラー214の温度を制御することによって独立して制御されると同時に、プロセスキットカラー214へのRF電力の配分は、ウェハエッジまで及びそれを超えたウェハ表面全域に亘って電場の均一性を最適化するのに使用してもよい。プロセスキットカラー214の独立温度制御は、プロセスキット電極290の中に1組の別々の内部クーラント流路292を提供することによって実現してもよい。プロセスキット電極290を通して軸方向に延びる1組のクーラントコンジット294は、内部クーラント流路292をプロセスキットクーラント供給源296に結合する。プロセスキットカラー214は、プロセスキットESC電圧供給源298からプロセスキット電極290に直流チャッキング電圧を印加することによって、静電的に適所にクランプされてもよい。任意のRF絶縁フィルタ299は、RF電流がESC電源298に達するのを防ぐ。プロセスキットカラー温度の精密制御は、システムコントローラ280の制御の下で、プロセスキットESC電源298の出力電圧を変えることによって実現してもよい。プロセスキットカラー214と冷却電極290の間のESCクランプ（締め付け）力を変えることによって、それらの間の熱伝導率は変わり、プロセスキットカラー214の温度の精密制御のために、コントローラ280によって正確に制御されるかもしれない。その代わりに、又はそれに追加して、プロセスキットカラー214の熱制御は、カラー214の下にあるプロセスキット電極290の上面290a内にガスチャネル310を提供することによって促進されるかもしれない。プロセスキット電極290を通して延びるガスコンジット312は、ガス供給源314から供給される熱伝導性ガス（例えば、ヘリウム）の供給を提供する。ガス供給源314のガス圧力は、システムコントローラ280によって制御される。チャネル310内の圧力は、電極からカラーへの熱伝導率に影響し、従って、カラー214の温度に影響する。温度センサ320は、プロセスキット絶縁体220の上面に提供され、プロセスキットカラー214に接触してもよい。温度センサ320の出力は、システムコントローラ280の入力に結合されてもよく、それによってシステムコントローラ280は、プロセスキットカラー214の急速で正確なクローズドループ温度制御を提供できる。そのようなクローズドループ温度制御は、例えば、ある特定のプロセスレシピの異なる段階間に必要な異なるターゲット温度に、カラー214を動かすことができる。

【0031】

図3は、カソード又は金属板208が、RFバイアス電力によって駆動されるのではなく接地されている図1A及び図1Bの実施形態の別の修正形態を示す。その代わりに、RFバイアス電力は、プロセスキット212の下にあり、パック202の内部に埋設されているプロセスキットグリッド350に印加される。プロセスキットグリッド350は、ウェハグリッド206のレベルの下にあるパック202内のレベルに配置される。プロセスキットグリッド350—又は少なくともその外側環状部分—は、プロセスキットカラー214の下にあり、従って、RF電力をカラー214に容量結合可能である。ウェハグリッド206は、完全にウェハ204の下にあるので、ウェハグリッド206に印加した実質的にすべてのRF電力は、ウェハ204に容量結合する。2つのグリッド206、350は、互いに電氣的に絶縁されており、従って、ウェハ204及びプロセスキットカラー214に結合するRF電力の異なるレベルを調整する方法を提供する。

【0032】

プロセスキットグリッドRF給電導体352は、その先端がプロセスキットグリッド350に接触するように、中心絶縁体242を通して、及びパック202を通して延びている。プロセスキットグリッドRF給電導体352の底端は、バイアスRF整合回路234の出力に結合している。任意のプロセスキット可変インピーダンス要素271は、バイア

ス R F 整合回路 2 3 4 の出力と給電導体 3 5 2 の間に挿入されてもよい。図 3 の 2 つの可変インピーダンス要素 2 7 1、2 7 2 のうちの 1 つだけが、2 つのグリッド 2 0 6、3 5 0 間の R F バイアス電力を配分するのに必要であるが、それらの両方の組み合わせは、より広範囲の調整を提供する。

【0033】

図 3 の実施形態は、プロセスキットカラー 2 1 4 の温度を制御するための同種の要素を更に含んでもよい。特に、熱伝導性ガスが、プロセスキットカラー 2 1 4 の下を循環してもよく、プロセスキットカラー 2 1 4 は、カラー 2 1 4 の温度制御のために、カラーとパックの界面での熱伝導率を変える又は制御するために可変な力によって、パック 2 0 2 に静電的にクランプされてもよい。パック 2 0 2 のショルダー 2 0 2 b は、プロセスキットカラー 2 1 4 が位置する外側環状パック表面 2 0 2 c を画定する。チャンネル 3 1 1 は、熱伝導性ガス（例えば、ヘリウム）の循環のために、外側環状パック表面 2 0 2 c 内に形成される。カラー 2 1 4 がパックの外側環状表面 2 0 2 c にクランプされるとき、チャンネル 3 1 1 は完全に閉じられる。カラー 2 1 4 は、出力が図 3 の実施形態でプロセスキットグリッド給電導体 3 5 2 に結合される E S C 電圧供給源 2 9 8 によって、パックの外側環状表面 2 0 2 c に静電的にクランプ又はチャッキングされる。任意の絶縁フィルタ 2 9 9 は、E S C 電圧供給源 2 9 8 とグリッド給電導体 3 5 2 の間に挿入されてもよい。カラー 2 1 4 の温度の精密制御は、カラー 2 1 4 の静電クランプ力を変えることによって、カラーからパックへの熱伝導率を変える E S C 電源 2 9 8 の出力電圧を変えるシステムコントローラ 2 8 0 によって実現してもよい。

【0034】

図 3 の実施形態は、図 4 に示されるように、金属板 2 0 8 がカソード接地ハウジング 2 2 2 に接地するように、カソード絶縁体 2 2 1 を削除することによって修正されてもよい。

【0035】

図 3 を参照してカラー 2 1 4 を熱的に制御する上述した構成は、図 1 B の実施形態に組み込まれてもよく、図 3 を参照して上述した方法で操作してもよい。図 1 B の実施形態のそのような増進が図 5 に示されている。図 5 の実施形態は、図 3 を参照して上述したある熱的制御構成が追加されていることを除いて図 1 B のものと同じである。図 5 では、プロセスキットスペーシング 2 1 6 は削除されているので（他の実行形態では、それを保有していてもよいが）、パック 2 0 2 は、図 5 に示されるように、プロセスキットカラー 2 1 4 の下へ延びることができる。パック 2 0 2 のショルダー 2 0 2 b は、カラー 2 1 4 の底面の下にあり及び接触している環状パック表面 2 0 2 c を画定する。ガスフローチャンネル 3 1 1 は、環状パック表面 2 0 2 c 内に形成され、熱伝導性ガス（例えば、ヘリウム）の独立した供給源 3 1 4 と結合している。外側加熱要素 2 1 1 b は、図 5 に示されるように、カラー 2 1 4 の直下に位置している。プロセスキットカラー 2 1 4 に隣接する温度センサ 3 2 0 は、システムコントローラ 2 8 0 と結合している。任意に、第 2 導電グリッド 3 5 0 が、カラー 2 1 4 の下のパック 2 0 2 に埋設され、環状パック表面 2 0 2 c 上にカラー 2 1 4 を静電的にクランプ又はチャッキングするために使用されてもよい。図 5 の実施形態では、第 2 導電グリッド 3 5 0 は、R F 絶縁フィルタ 2 9 9 を通って、E S C チャッキング電圧供給源 2 9 8 に結合される。電源 2 9 8 の電圧は、カラー 2 1 4 のクランプ力を変えるために、その結果、カラーの温度を変えるために、システムコントローラ 2 8 0 によって制御される。

【0036】

図 1 ～ 5 の実施形態を参照して上述した可変インピーダンス要素 2 7 0、2 7 1、2 7 2、2 7 3 は、プロセスキットとワークピース間の R F バイアス電力を配分するために使用される。どんな適当な可変リアクタンス回路が、夫々の可変インピーダンス要素 2 7 0、2 7 1、2 7 2、2 7 3 を実現するのに使用されてもよいが、図 6 は可変インピーダンス要素 2 7 0、2 7 1、2 7 2、2 7 3 のうちの 1 つの実行形態の一例の簡素化された概略図である。図 6 の可変インピーダンス要素は、バイアス R F インピーダンス整合回路 2

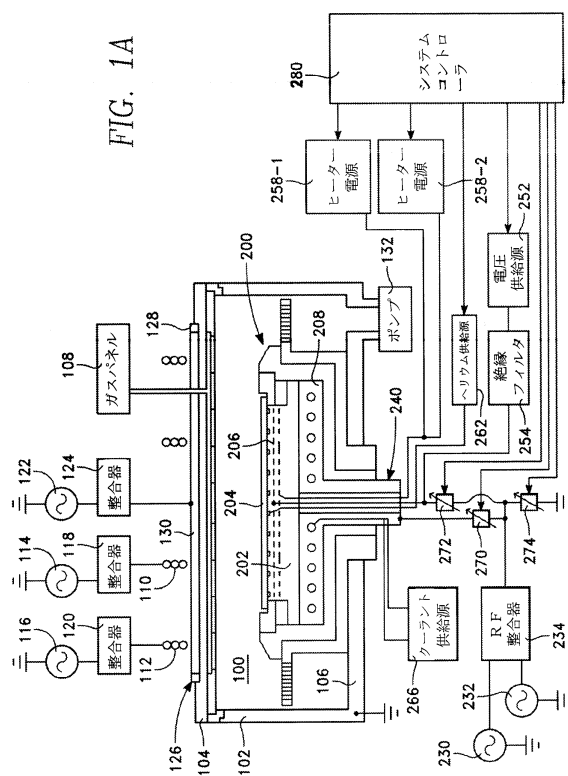
34の出力及び出力端子502と結合される入力端子500を含む。直列可変コンデンサ504が、入力及び出力端子500、502の間に接続される。任意に、入力並列コンデンサ506が、入力端子500とRFグラウンドの間に接続され、出力並列コンデンサ508が、出力端子502とRFグラウンドの間に接続される。コンデンサ504、506、508のすべて又はいずれかは、可変コンデンサであってもよい。代替実施形態では、コンデンサ504、506、508のいずれも、可変であるかもしれない適当なインダクタに取り替えてもよい。

【 0 0 3 7 】

上記は本発明の実施形態を対象としているが、本発明の他の及び更なる実施形態は本発明の基本的範囲を逸脱することなく創作することができ、その範囲は以下の特許請求の範囲に基づいて定められる。

10

【図 1 A】



【図 1 B】

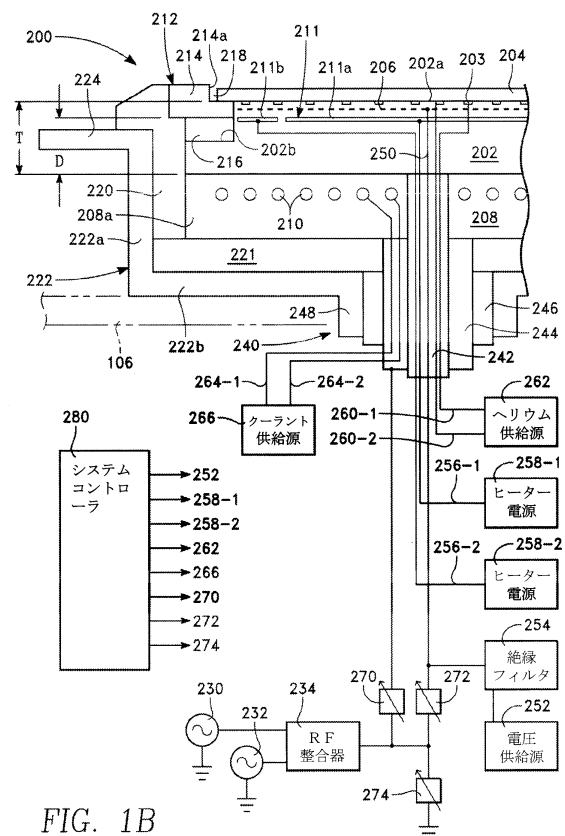


FIG. 1B

【図 2】

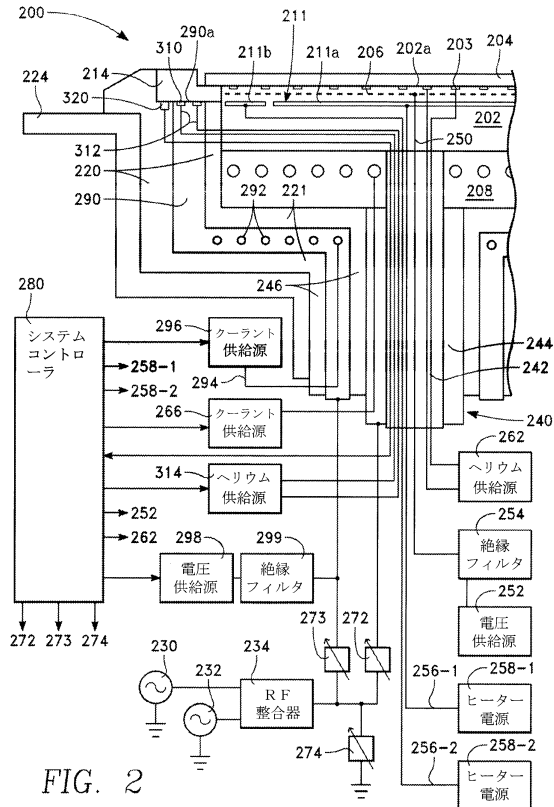


FIG. 2

【図 3】

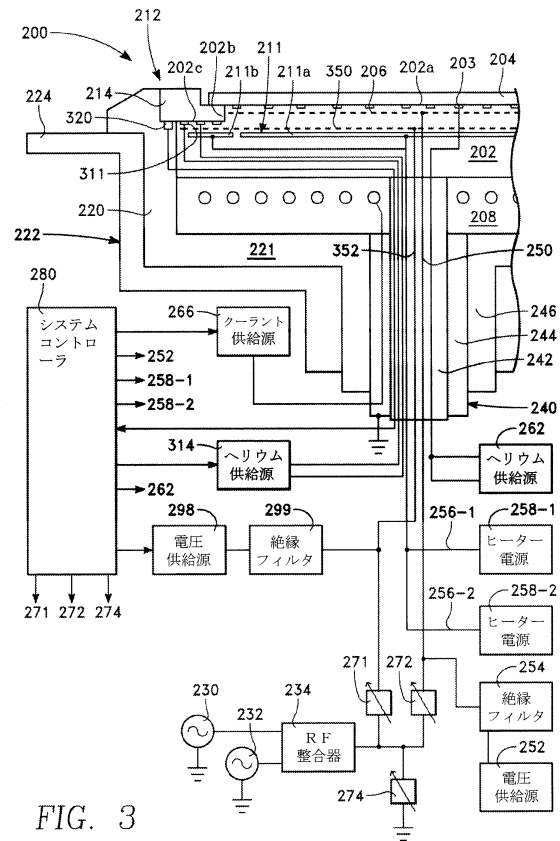


FIG. 3

【図 4】

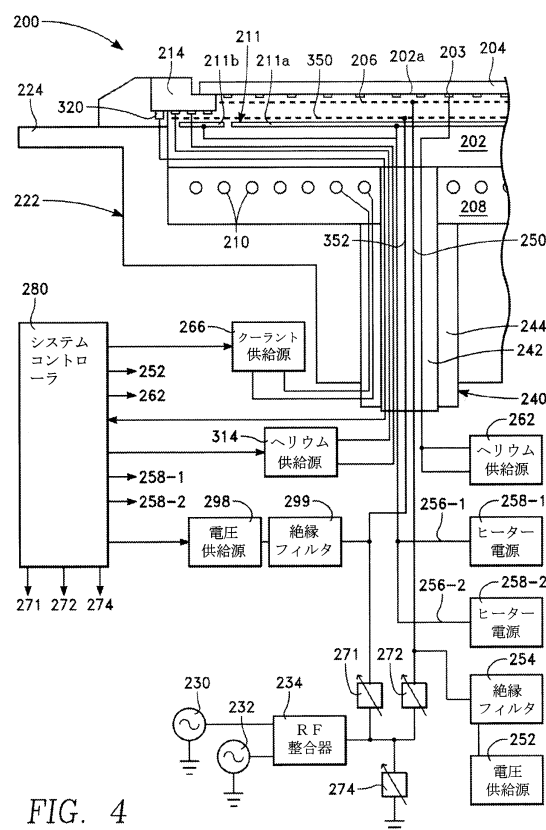


FIG. 4

【図 5】

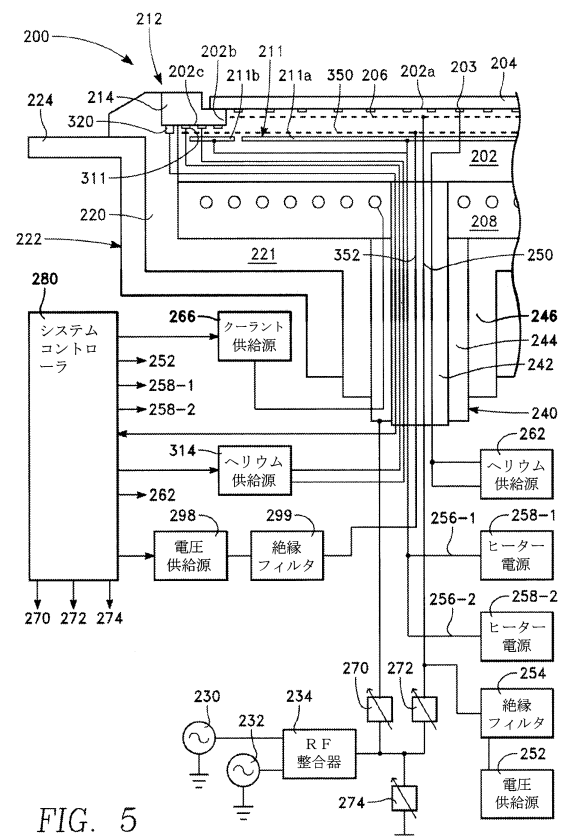


FIG. 5

【図 6】

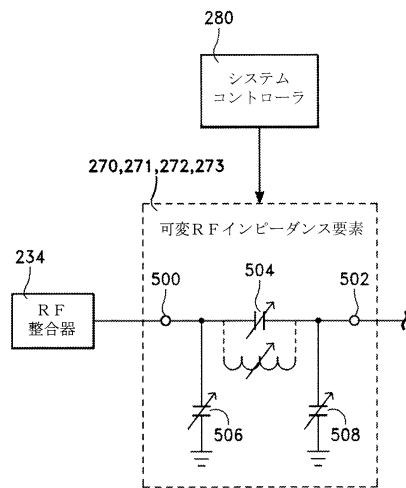


FIG. 6

フロントページの続き

- (72)発明者 ブッフバーガー ダグラス エー ジュニア
アメリカ合衆国 カルフォルニア州 94550 リバモア ビンテージ レーン 2076
- (72)発明者 ラマスワミィ カーティク
アメリカ合衆国 カルフォルニア州 95124 サン ノゼ タウニーゲート ウェイ 1646
- (72)発明者 ラウフ シャヒド
アメリカ合衆国 カルフォルニア州 94566 プレザントン コート パドレ 6167
- (72)発明者 埴 広二
アメリカ合衆国 カルフォルニア州 94086 サニーベール スプルース ドライブ 696
- (72)発明者 サン ジェニファー ワイ
アメリカ合衆国 カルフォルニア州 94041 マウンテン ビュー オーク ヘブン プレース 106
- (72)発明者 ヌグエン アンドリュー
アメリカ合衆国 カルフォルニア州 95132 サン ノゼ ホステッター ロード 3148
- (72)発明者 リル トステン ビー
アメリカ合衆国 カルフォルニア州 95051 サンタ クララ ムイル アベニュー 88
- (72)発明者 シェン メイファ
アメリカ合衆国 カルフォルニア州 94539 フリモント ペリー コモン 694

審査官 溝本 安展

- (56)参考文献 特開2004-022822 (JP, A)
特開2007-266342 (JP, A)
特開2004-342984 (JP, A)
特開2008-053496 (JP, A)
特開平11-144894 (JP, A)
特開2008-117982 (JP, A)
特開平08-167643 (JP, A)
特開2008-153315 (JP, A)
特開2007-273915 (JP, A)
特開2003-258074 (JP, A)
特開2009-231692 (JP, A)
特開2009-187673 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
H01L 21/683
H05H 1/46