

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-500684  
(P2005-500684A)

(43) 公表日 平成17年1月6日(2005.1.6)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テマコード (参考)
H01L 21/3065	H01L 21/302 I01B	5F004
H05H 1/46	H05H 1/46 M	
	H05H 1/46 R	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 43 頁)

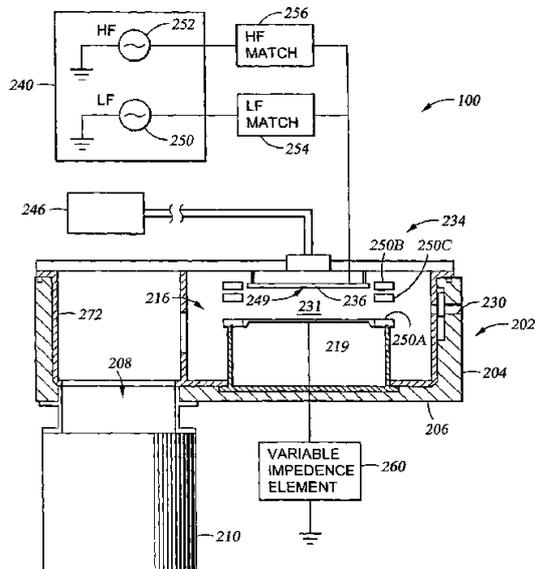
(21) 出願番号	特願2003-522128 (P2003-522128)	(71) 出願人	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド APPLIED MATERIALS, INCORPORATED アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
(86) (22) 出願日	平成14年8月15日 (2002.8.15)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(85) 翻訳文提出日	平成16年2月16日 (2004.2.16)	(74) 代理人	100094318 弁理士 山田 行一
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/026008	(74) 代理人	100104282 弁理士 鈴木 康仁
(87) 国際公開番号	W02003/017318		
(87) 国際公開日	平成15年2月27日 (2003.2.27)		
(31) 優先権主張番号	09/931, 324		
(32) 優先日	平成13年8月16日 (2001.8.16)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(81) 指定国	EP (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), CN, JP, KR, SG		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 調整可能な2つの周波数電圧の分配を備えたプラズマリアクタ

(57) 【要約】

基板を処理する為の装置及び方法が提供される。基板を処理する為の装置は、第1電極を有するチャンバと；前記チャンバ内に配置され第2電極を備える基板支持体と；前記第1電極または第2電極の一方に電氣的に接続された高周波電源と；前記第1電極または第2電極の一方に電氣的に接続された低周波電源と；1以上の前記電極に接続された可変インピーダンス素子と；を備える。可変インピーダンス素子は、第1電極と第2電極との間の自己バイアス電圧の分配を制御する為に同調させることができる。本発明の実施形態は、前記電極の腐食を大幅に減らし、処理の均一性を維持し、高アスペクト比のサブミクロン相互接続特徴部を形成する為にエッチング処理の精度を改善し、さらに、集積回路の生産の時間とコストを減少する高いエッチング速度を提供する。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板を処理する為の装置であって：

内部に第 1 電極が配置されたチャンバと；

前記チャンバ内に配置され、前記チャンバ内に第 2 電極を提供する基板支持体と；

前記第 1 電極又は第 2 電極と電氣的に接続された高周波電源と；

前記第 1 電極又は第 2 電極と電氣的に接続された低周波電源と；

前記基板支持体と電氣的なグラウンドとの間で、前記第 1 電極及び / 又は第 2 電極に接続された一以上の可変インピーダンス素子と；

を備える、装置。

10

## 【請求項 2】

前記第 1 電極は、ガス分配器を備える、請求項 1 記載の装置。

## 【請求項 3】

前記第 1 電極および第 2 電極は、平行板電極を形成する、請求項 1 記載の装置。

## 【請求項 4】

前記チャンバは、エッチング用チャンバとして構成される、請求項 1 記載の装置。

## 【請求項 5】

前記高周波電源は、約 13.56 MHz から約 500 MHz の間で電力を分配するように適合されている、請求項 1 記載の装置。

## 【請求項 6】

前記低周波電源は、約 100 kHz から約 20 MHz の間で電力を分配するように適合されている、請求項 1 記載の装置。

20

## 【請求項 7】

前記可変インピーダンス素子は、少なくとも一つの誘導子と少なくとも一つの可変コンデンサとを備える、請求項 1 記載の装置。

## 【請求項 8】

前記可変インピーダンス素子は、少なくとも一つの誘導子と少なくとも一つのコンデンサとを備える、請求項 1 記載の装置。

## 【請求項 9】

可変インピーダンス素子は、第 1 電極と第 2 電極との間で、自己バイアス電圧の分配を同調させるように適合されている、請求項 1 記載の装置。

30

## 【請求項 10】

前記可変インピーダンス素子は、低周波及び高周波の少なくとも一つから選択された周波数で、少なくとも一つの共振インピーダンスを同調させる、請求項 1 記載の装置。

## 【請求項 11】

前記可変インピーダンス素子は、低周波で第 1 共振インピーダンス、高周波で第 2 共振インピーダンスを同調させるように適合されている、請求項 1 記載の装置。

## 【請求項 12】

高周波電力と低周波電力は、一つの電極に分配され、少なくとも一つの可変インピーダンス素子が他の電極に接続されている、請求項 11 記載の装置。

40

## 【請求項 13】

前記高周波及び低周波電力は、対向する電極に分配され、可変インピーダンス素子が、各電極に接続されている、請求項 11 記載の装置。

## 【請求項 14】

第 1 電極と、第 2 電極を形成する基板とを有する処理チャンバに電力を分配する為の装置であって：

前記第 1 電極に電氣的に接続された高周波電源と；

前記第 1 電極に電氣的に接続された低周波電源と；

前記基板支持体と電氣的グラウンドとの間に接続された可変インピーダンス素子と；

を有する装置。

50

## 【請求項 15】

前記高周波電源は、約 13.56 MHz と約 500 MHz との間で電力を分配するように適合されている、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 16】

前記低周波電源は、約 100 kHz と約 4 MHz との間で電力を分配するように適合されている、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 17】

前記可変インピーダンス素子は、少なくとも一つの誘導子と少なくとも一つのコンデンサとを備える、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 18】

前記可変インピーダンス素子は、少なくとも一つの誘導子と少なくとも一つの可変コンデンサとを備える、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 19】

前記可変インピーダンス素子は、前記第 1 電極と前記基板支持体との間の自己バイアス電圧の分配を同調させるように適合されている、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 20】

前記可変インピーダンス素子は、低周波及び高周波の少なくとも一つから選択された周波数で少なくとも一つの共振インピーダンスを同調させるように適合されている、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 21】

前記可変インピーダンス素子は、低周波で第 1 共振インピーダンス、高周波で第 2 共振インピーダンスを同調させるように適合されている、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 22】

前記第 1 電極は、ガス分配器を備える、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 23】

前記第 1 電極と前記基板支持体は、平行板電極を形成するように配置されている、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 24】

前記チャンバは、エッチング用チャンバとして構成されている、請求項 14 記載の装置。

## 【請求項 25】

第 1 電極と、第 2 電極を形成する基板支持体とを有する処理チャンバに電力を分配する方法であって：

前記電極の一つに電氣的に接続された高周波電源から高周波電力を分配するステップと；  
前記電極の一つに電氣的に接続された低周波電源から低周波電力を分配するステップと；  
一以上の電極と電氣的グラウンドに 1 以上の可変インピーダンスを接続するステップと；  
を備える、前記方法。

## 【請求項 26】

前記高周波電力は、約 13.56 MHz から約 500 MHz の間にある、請求項 25 記載の方法。

## 【請求項 27】

前記低周波電力は、約 100 kHz から約 20 MHz の間にある、請求項 25 記載の方法。

## 【請求項 28】

前記 1 以上の可変インピーダンス素子を同調させ、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間で自己バイアス電圧の分配を制御するステップを更に備える、請求項 25 記載の方法。

## 【請求項 29】

低周波及び高周波の少なくとも一つから選択された周波数で、少なくとも一つの共振インピーダンスを提供する為に前記 1 以上の可変インピーダンス素子を同調させるステップを更に備える、請求項 25 記載の方法。

## 【請求項 30】

10

20

30

40

50

低周波数で第 1 共振インピーダンス、高い周波数で第 2 共振インピーダンスを提供する為に前記 1 以上の可変インピーダンス素子を同調させるステップを更に備える、請求項 2 5 記載の方法。

【請求項 3 1】

前記第 1 電極から処理ガスを分配するステップを更に備える、請求項 2 5 記載の方法。

【請求項 3 2】

前記第 1 電極と前記基板支持体は、平行板電極を形成するように配置されている、請求項 2 5 記載の方法。

【請求項 3 3】

前記処理チャンバは、エッチング処理を実行するように構成されている、請求項 2 5 記載の方法。 10

【発明の詳細な説明】

【発明の内容】

【0001】

技術分野

本発明は、一般的に基板処理用チャンバに関する。より具体的には、本発明は、電力を処理用チャンバに分配する為の方法および装置に関する。

【0002】

背景技術

プラズマエッチング及び反応性イオンエッチング (RIE) は、半導体デバイスの製造における基板のような一定のワークピースを高精度にエッチングする際に重要な処理になってきた。プラズマエッチングと反応性イオンエッチングの差異は、一般的に同一設備内で実行可能であるが、この差異は、通常、使用される、異なる圧力範囲から生じ、更に、処理チャンバ内の励起された反応種の平均自由行程の必然的な差異から生じる。2つの処理は、本願では集合的に、プラズマエッチングと呼ぶ。プラズマエッチングは、「ドライエッチング」技術であり、従来のウェットエッチングに対し多くの利点を有するが、ウェットエッチングにおいて、ワークピースは一般的に液体のエッチャント材料の容器内に浸される。幾つかの利点には、低コスト、汚染問題の減少、危険化学物質との接触の減少、高い寸法制御、高い均一性、改善されたエッチングの選択性、高い処理のフレキシビリティを含む。 30

【0003】

集積密度が増加すると、デバイスの特徴部の大きさは 0.25 ミクロン以下に減少し、デバイスの特徴部のアスペクト比 (すなわち、特徴部の高さとの幅の比) は 10 : 1 以上に増加する。エッチング処理の改善された精度は、高いアスペクト比を有する、これらの小さなデバイス特徴部を形成するのに必要である。さらに、高いエッチング速度は、スループットを高め、集積回路を生産するコストを減少する為に望まれる。

【0004】

プラズマエッチング用チャンバの一つのタイプは、平行板電極を利用し、板電極間に処理ガスのプラズマを発生させて維持する。通常、平行板のプラズマエッチング用チャンバは、頂部電極と底部電極を含む。底部電極は、通常、基板ホルダーとして機能し、基板 (又はウエハ) は、その底部電極上に配置される。エッチング処理は、プラズマに晒される基板の表面上で実行される。 40

【0005】

通常、一以上の電極が、電源に接続される。特定の平行板リアクタにおいて、これらの電極は、高周波電源に接続される。上部電極に接続される電源は、通常、下部電極に接続される電源より、高い周波数で操作される。この構成は、基板上に配置された材料に対する損傷を避けると考えられている。

【0006】

他の平行板リアクタは、下部電極に接続された 2つの電源を持つ。電源は、それぞれ、異なる周波数で操作され、処理される基板上に結果として生じるエッチング特性を制御する 50

。

【0007】

また、他の平行板リアクタは、3つの電極を含む。第1電極は、基板を支持するように適合され、低周波AC電源に接続されている。第2電極は、第1電極と平行な関係にあり、グラウンドに接続されている。第1電極と第2電極との間に配置された第3電極（すなわち、チャンパ本体）は、高周波AC電源により電力が供給される。

【0008】

他の従来の装置は、単一電力が供給された電極のリアクタを提供する。高周波電源と低周波電源は、単一電極に結合され、処理の柔軟性、制御、残留物の除去を高めるように作用する。単一電極リアクタは、複数段階の受動フィルタネットワークを含む。ネットワークは、電極に両方の電源を結合させる機能と、高周波電源から低周波電源を隔離する機能と、リアクタにより表された非線形負荷において2つの周波数の混合により生み出された望ましくない周波数を減衰する機能と、を実行するように意図されている。

10

【0009】

デュアル周波数平行板リアクタの、より詳細な説明は：Tegal社に譲渡され1984年8月7日に発行された「プラズマリアクタ装置および方法」という発明の名称の米国特許第4,464,223；テキサスインスルメンツ社に譲渡され1996年4月30日に発行された「半導体材料におけるクリーントレンチをエッチングする方法および装置」という発明の名称の米国特許第5,512,130号；Tegal社に譲渡され1986年4月1日に発行された「プラズマリアクタ装置」という発明の名称の米国特許第4,579,618号；1993年12月21日に発行され「プラズマ処理の為の装置」という発明の名称の米国特許第5,272,417号；で見つけることができる。

20

【0010】

平行板プラズマエッチングチャンパにおいて通常遭遇する一つの問題は、チャンパ内のプラズマに晒される頂部電極の表面からの材料も、エッチング処理中にエッチされる点である。頂部電極はエッチング処理により浸食されるので、頂部電極の材料特性は、変化し、チャンパ内の処理パラメータの変動を引き起こし、それが、基板の不整合、不均一処理を生じる。さらに、頂部電極は、短い有用寿命を持ち、頻繁に交換される必要があり、半導体デバイスの製造に付随したコストを増加させる可能性がある。

【0011】

そのため、頂部電極の浸食を大幅に減らし、処理均一性を維持できる平行板プラズマエッチングシステムが必要である。プラズマエッチングシステムが、高アスペクト比のサブクォータ・ミクロンの相互接続特徴部を形成する為のエッチング処理の精度を改善することが望ましいであろう。プラズマエッチングシステムが、集積回路の時間とコストを減少させる高いエッチング速度を提供することが更に望ましいであろう。

30

【0012】

発明の開示内容

本発明は、一般的に、大幅に頂部電極の浸食を減らし、処理均一性を維持することができる平行板プラズマエッチングシステムを提供する。プラズマエッチングシステムは、高いアスペクト比のサブクォータ・ミクロンの相互接続特徴部を形成する為のエッチング処理の精度を改善する。プラズマエッチングシステムは、また、集積回路の生産時間とコストを減らす高いエッチング速度を提供する。

40

【0013】

一態様において、本発明は、電極を有するチャンパと、上記チャンパ内に配置された基板支持体と、上記電極に電氣的に接続された高周波電源と、上記電極に電氣的に接続された低周波電源と、上記基板支持体と上記電氣的グラウンドとの間に接続された可変インピーダンス素子と、を備える基板を処理する為の装置を提供する。

【0014】

一実施形態において、電極は、ガス分配器を備え、電極と基板支持体は平行板電極を形成する。高周波電源は、約13.56MHzと約500MHzとの間の周波数で電力を分配

50

するように適合され、低周波電源は、約100kHzと約20MHzとの間の周波数で電力を分配するように適合されている。可変インピーダンス素子は、電極と基板支持体との間の自己バイアス電圧の分配に同調するように適合され、低周波及び高周波の少なくとも一つから選択された周波数で少なくとも一つの共振インピーダンスを同調させるように適合されている。

#### 【0015】

他の態様において、本発明は、第1電極と、第2電極を形成する基板支持体を有する処理チャンバに電力を分配する方法であって、第1電極に電氣的に接続された高周波電源から高周波電力を分配するステップと、第1電極に電氣的に接続された低周波電源から低周波電力を分配するステップと、基板支持体と電氣的グラウンドとの間に可変インピーダンス素子を接続するステップと、を備える。一実施形態において、上記方法は、第1電極と基板支持体との間で自己バイアス電圧の分配を制御する為に可変インピーダンス素子を同調するステップを更に備える。可変インピーダンス素子は、低周波数で第1共振インピーダンス、高周波数で第2共振インピーダンスを提供するように同調されてもよい。

10

#### 【0016】

上述した本発明の特徴、利点、目的が達成され、詳細に理解可能な方法、簡単に上で要約された、本発明のより具体的な説明は、添付図面内で例示された実施形態を参照して備えられている。

#### 【0017】

しかし、添付図面は、この発明の単なる典型的な実施形態を例示し、よって、本発明は他にも同様に効果的な実施形態を認めることができ、その範囲を限定するように考慮されるものではない。

20

#### 【0018】

##### 発明を実行する為の最良の実施形態

図1は、本発明の平行板処理システム100の一実施形態の概略図である。処理システム100は、処理システム用プラットフォームに取り付けられ、特定処理(例えば、エッチング処理)を実行するように構成された多目的用チャンバを備えてもよい。本発明は、特定の構成について説明されているが、本発明は様々な構成及び設計において適用可能であることが分かる。さらに、当該システムは、簡略化された概略的表示であり、処理システム100の一部であってもよい幾つかの態様が示されていないことが分かる。例えば、アクチュエータ、バルブ、密閉アセンブリ等、は示されていない。当業者は、これら及び他の態様が処理システム100へと組み込まれてもよいことを容易に認識するであろう。

30

#### 【0019】

処理チャンバ100は、キャビティ231を画成するチャンバ本体202を一般的に含み、少なくとも、その一部は処理領域である。チャンバ本体202は、チャンバ壁204とチャンバ底206を含む。チャンバ壁204は、チャンバ底206の縁部から、実質的に直角に延びている。開口230は、チャンバ壁204に形成され、処理システム100内外へのチャンバの移送を容易にするように機能する。図示されていないが、スリットバルブは、開口230を選択的に密閉する為に備えられてもよい。チャンバ底206は、チャンバからガスを排気する為に出口208を含む。排気システム210は、チャンバ底206の出口208に取り付けられている。排気システム210は、スロットルバルブと真空ポンプのような構成要素を含んでもよい。いったん、開口230が密閉されると、排気システム210は、キャビティ231内に真空を引いて維持する為に動作されてもよい。

40

#### 【0020】

板電極236は、チャンバ本体202の上端部に配置される。一実施形態において、板電極236は、保護被膜249を含み、保護被膜249は、チャンバ内のプラズマに起因する板電極236の材料の浸食を防止あるいは減少させる。保護被膜は、石英、サファイヤ、アルミナ、SiC、SiN、Siのような材料を備えてもよい。板電極を有するチャンバが説明されているが、誘導性、容量性、誘導性及び容量性プラズマ源の組合せを有する他のチャンバ設計も同様に利用可能である。

50

## 【0021】

一実施形態において、板電極236は、ガス分配システムのシャワーヘッドである。このような構成において、板電極236は、リッドアセンブリの一部でもよく、リッドアセンブリは、ガスをキャビティ231内に分配するのに適合されている。したがって、図1は、板電極236に結合されたガス源246を示す。ガス源246は、チャンバ内の基板を処理する為に利用される前駆体ガスまたは処理ガスを含む。ガス源246は、1以上の液体前駆体と、この液体前駆体をガス状態に気化させる為に1以上の蒸発器とを含む、1以上の液体アンプルを含んでもよい。

## 【0022】

板電極236は、電源240に接続され、電源246は、板電極にRF電力を供給し、チャンバ内にプラズマを発生させ維持する。電源240は、低周波数用RF電源250と、高周波数用RF電源252とを含む。低周波数用RF電源250は、低周波整合回路網254を介して電極236に接続され、基板でイオンアシストエッチングを高める。高周波数用RF電源252は、高周波整合回路網256を介して板電極236に接続され、処理ガスとプラズマ密度の解離を高める。各々の整合回路網254、256は、1以上のコンデンサ、誘導子、他の回路構成要素を含んでもよい。低周波数用RF電源250は、RF電力を約20MHz以下の周波数で板電極236に分配し、高周波数用RF電源252は、RF電力を約13.56MHz以上の周波数で板電極236に分配してもよい。一実施形態において、低周波数用RF電源250は、RF電力を約100kHz及び20MHz間の周波数で板電極236に分配し、高周波数用RF電源252は、RF電力を約13.56MHz及び約500MHz間の周波数で板電極236に分配してもよい。好ましくは、高周波数と低周波数は、動作中に重複しない。すなわち、低周波数用RF電源250は、常に、高周波数用RF電源252の周波数以下で操作される。

## 【0023】

板電極236は、平行板電極プラズマリアクタの頂部電極として機能する一方、基板支持体216は下部電極として機能する。基板支持体216は、キャビティ231内に配置され、ウエハを支持するのに適した構造（例えば、静電チャック又は真空チャック）であれば何でもよい。基板支持体216は、基板支持面を画成する支持板219を含み、基板支持面は、上部に支持される基板の形に合致するように全体的に形成されている。例示的に、基板支持面は、ほぼ円形になっており、実質的に円形の基板を支持する。一実施形態において、基板支持面は、基板温度制御システム（例えば、抵抗加熱コイル及び/又は加熱又は冷却流体システムに接続された流体通路）と熱的に接続されている。

## 【0024】

システム100は、ライナ又はリングであって、様々な機能の為に構成されたものを含んでもよい。例示的に、処理システム100は、3つの制限リング250A-Cを含んでもよい。一実施形態において、各リングは、ニッケル、アルミニウム、他の金属、他の合金であって、プラズマ処理に適合するもので形成されてもよく、また、電気メッキ処理されたアルミニウム面を含んでもよい。リング250は、単一個の構成または複数個の構成でもよい。

## 【0025】

第1リング250Aは、支持板219の周りに配置されている。第2リング250Bは、頂部電極の周りに配置されている。第3リング250Cは、第1リング250Aと第2リング250Bとの間に配置されている。操作において、リングは、板電極236と基板支持体216間、基板上方の領域内にプラズマを制限するように作用する。リングは、チャンバ内でプラズマを横方向に制限し、チャンバの壁に対する損失を最小にする。

## 【0026】

調整可能な頂部電極と底部電極間の電圧分配を提供するため、可変インピーダンス素子260が、基板支持体216と電氣的グラウンド又はグラウンド接続部との間に接続されている。可変インピーダンス素子260は、1以上のコンデンサ、誘導子、他の回路構成要素を有してもよい。可変インピーダンス素子260の一実施形態は、図2を参照して、以

下に説明される。

【0027】

図2は、可変インピーダンス素子260の一実施例の概略図である。図2に示されるように、可変インピーダンス素子260は、誘導子LとコンデンサC2の直列結合と並列に接続されたコンデンサC1を含む。一実施形態において、コンデンサC1とC2は、可変インピーダンス素子260の共振周波数と共振インピーダンスを変えるように同調可能な可変コンデンサを備えてもよい。コンデンサC1と並列になっている浮遊容量Cstrayは、可変インピーダンス素子260の共振周波数と共振インピーダンスを決定するときに含まれてもよい。

【0028】

可変インピーダンス素子260は、板電極236と基板支持体216との間の自己バイアス電圧分配を、低周波数及び高周波数の一方または両方で変えるために変更可能である。高周波数(すなわち、高周波電源が作動する時の周波数)における低い共振インピーダンスは、高周波プラズマを発生させ、これは、両方の電極のプラズマシース間と等しいか、頂部電極で僅かに高められる。低周波数(すなわち、低周波電源が作動する時の周波数)における高い共振インピーダンスは、たとえ、基板支持体が電源と直接的に接続されていなくても電源により電力が与えられていなくても、底部電極(すなわち、基板支持体)にて、より多くの自己バイアスを提供する。底部電極において増加された自己バイアスは、底部電極に向かうイオンの加速を高め、これが、改良されたエッチング効果を、基板支持体上に配置された基板上に与える。さらに、底部電極上で増加された自己バイアスは、頂部電極または頂部電極の保護被膜の浸食を著しく減らす。

10

20

【0029】

プラズマエッチング処理を実行するため、基板は処理チャンバ内に移送され、基板支持体216上に位置決めされる。基板支持体216は、頂部電極と基板支持面との間の所望の処理間隔で処理位置に移動されてもよい。処理/前駆体ガスは、ガス分配器を通過してチャンバ内に導入され、プラズマが発生され所定時間維持され、基板上のエッチング処理を終了する。プラズマエッチング処理は、1以上の不活性ガス(例えば、Ar、He)と共に、反応性ガス(例えば、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Cl、HBr、SF<sub>6</sub>、CF<sub>y</sub>、C<sub>x</sub>F<sub>y</sub>、C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>F<sub>z</sub>、NF<sub>3</sub>)と他のエッチング用前駆体を利用して実行されてもよい。その後、基板は、処理チャンバの外に移送される。

30

【0030】

以下の表は、本発明の一実施形態に係るチャンバ内で実行されるエッチング処理の為のチャンバ操作条件の例を提示する。

処理パラメータ	パラメータ値
頂部電極と底部電極間の距離	約0.5cmから約10cm
チャンバ圧	約20mTから約1T
電力密度	約1W/cmから約20W/cm
低周波電源の周波数	20MHz以下
高周波電源の周波数	13.56MHz以上

図3は、チャンバ構成と電力分配システムの他の実施形態を例示する概略横断面図である。この実施形態において、高低周波電力は、高周波整合256と低周波整合254を介して基板支持部材216に、それぞれ分配される。可変インピーダンス素子260は、シャワーヘッドアセンブリのような板電極236に接続され、板電極236用RFグラウンドパスインピーダンスを制御することにより、処理領域231に分配されたRF電力を調整する。可変インピーダンスが調整されるので、それに応じて、処理領域231を横切る電圧降下も変わる。例えば、可変インピーダンスがインピーダンス値を下げるように調整されると、可変インピーダンス素子260を通る電流は増加し、処理領域231を横切る電圧降下を増加させ、それによって、送信されるRFエネルギーを増やす。可変インピーダンス素子が高いインピーダンス値に調整されると、処理領域231を横切る電圧降下は減少し、それによって、より少ないRFエネルギーを向かわせる。一態様において、RF電

40

50

力発生器 250、252 とチャンバ 202 との間で高周波整合 256 と低周波整合 254 に悪影響を与えることなく、所望のプラズマ密度を確立するために、可変インピーダンスは、低周波整合 254 と高周波整合 256 と組み合わせ調整可能である。一態様において、可変インピーダンス素子 260 のインピーダンスの同調は、シースインピーダンスと可変インピーダンス素子 260 が実質的に直列共振にあり、高周波信号または低周波信号のいずれか一方に対し実質的に低インピーダンスパスを提供するように調整されてもよい。あるいは、可変インピーダンス素子 260 は、この電極を通してグラウンドに流れる RF 電流の量を変更する為に、どちらかの RF 信号に対し共振を越えるか共振未満で同調可能である。

#### 【0031】

図 4 は、チャンバ構成及び電力分配システムの他の実施形態を例示する概略横断面図である。この実施形態において、高周波電力は、高周波発生器 252 からシャワーヘッドのような板電極 236 に分配され、低周波電力は、低周波発生器 250 から基板支持部材 216 に分配される。上部可変インピーダンス素子 260 B は、上部電極 236 に接続され、下部可変インピーダンス素子 260 C は、基板支持部材 216 に接続されている。この実施形態において、下部可変インピーダンス素子 260 C は、高周波発生器 252 から処理領域 231 に分配された高周波 RF 構成要素の為にグラウンドリターンパスを提供し、低周波発生器 250 の為に高インピーダンスパスを提供する。さらに、上部可変インピーダンス素子 260 B は、低周波発生器 250 から処理領域 231 に分配された低周波 RF 構成要素の為にグラウンドリターンパスを提供し、高周波発生器 252 の為に高インピーダンスパスを提供する。そのため、分配された低周波 RF 電力に対する分配された高周波 RF 電力の比は、独立して調整可能であり、所望の処理パラメータに整合可能である。一態様において、低周波用可変インピーダンス素子 260 C のインピーダンスの同調は、シースインピーダンスと可変インピーダンス素子 260 C が実質的に直列共振にあり、低周波 RF 信号に対し実質的に低インピーダンスパスを提供するように調整されてもよい。一態様において、高周波用可変インピーダンス素子 260 B のインピーダンスの同調は、シースインピーダンスと高周波用可変インピーダンス素子 260 C が実質的に直列共振にあり、高周波 RF 信号に対し実質的に低インピーダンスパスを提供するように調整されてもよい。あるいは、可変インピーダンス素子 260 B、260 C は、この電極を通して流れるこれらの周波数で電流を減少させる為に、更に / 又は、この周波数に対する自己バイアスを変更する為に、共振を越えるか共振未満で同調可能である。

#### 【0032】

図 5 に例示された他の実施形態において、隔離された壁電極 265 が備えられ、壁同調素子 265 に接続されている。板電極 236 は、チャンバ壁 204 に隣接し、絶縁体（セラミクス、ポリマー、ガラス等であって板電極 236 に印加される RF 電力に耐えるように適合されたもの）から選択された絶縁材 262 を用いてチャンバ壁 204 から平行に間隔を開けて配置されている。絶縁材 262 は、板電極 236 をチャンバ壁 204 から電氣的に絶縁し、プラズマを板電極 236 の下方へと、実質的に板電極 236 と適合するように導く。アルミニウム、ニッケル、タングステン等であって RF エネルギーを受けるのに適合されたものから構成された壁電極 265 は、絶縁材 262 により電氣的に壁 204 及び板電極 236 から隔離されている。壁電極 265 は、チャンバ壁 204 に隣接し、処理領域 231 の周りに内壁を形成するチャンバ壁 204 から垂直方向に間隔を開けて配置されている。壁可変インピーダンス素子 260 A は、壁電極 265 に結合され、板電極 236 からチャンバ壁 204 に近い RF エネルギーの為に、調整可能なグラウンドリターンパスを提供する。壁可変インピーダンス素子 260 A は、支持部材 216 に関する RF 用の交互のグラウンドパスを提供することにより、支持部材 216 に対する RF エネルギーを増減するのに適合されている。一態様において、壁可変インピーダンス素子 260 A は、壁電極 265 と協力してプラズマの制限及び制御を提供する。プラズマを制限する為に、壁可変インピーダンス 260 A を用いるのに十分に高い数値まで板電極 236 と壁電極 265 との間の有効インピーダンスを増加し、有効にグラウンドに対する RF パスを最小にし

10

20

30

40

50

、それによって、板電極 2 3 6 と支持部材 2 1 6 との間のプラズマを拘束する。そのため、壁付近のプラズマは最小になり、壁 2 0 4 に対するプラズマ損傷の危険性を減らす。

【 0 0 3 3 】

他の態様において、板電極 2 3 6 と壁インピーダンスは、グラウンドインピーダンスに対する R F パスを有効に減少するのに十分に低い数値まで調整し、板電極 2 3 6 と支持部材 2 1 6 との間で R F 電力の一部を分流し、それにより、プラズマ密度を減らす。さらに、壁電極 2 6 5 と板電極 2 3 6 及び / 又は支持部材 2 1 6 との間の間隔は、R F エネルギーの多少の制限及び制御を考慮に入れる為に調整されてもよい。したがって、得られるプラズマの制限及び制御が多くなればなる程、壁電極は板電極及び / 又は支持体 2 1 6 の近くに置かれる。

10

【 0 0 3 4 】

図 6 に例示される他の実施形態において、低周波整合回路網 2 5 4 は、板電極 2 3 6 に結合され、高周波整合回路網 2 5 6 は、支持部材 2 1 6 に結合されている。上部可変インピーダンス素子 2 6 0 B は、板電極 2 3 6 に結合されている。下部可変インピーダンス素子 2 6 0 C は、支持部材に結合され、それぞれ、高周波 R F 電源 2 5 2 と低周波 R F 電源 2 5 0 に対し可変 R F パスを提供する。各可変インピーダンス素子 2 6 0 B - C は、高周波インピーダンスパス又は低周波インピーダンスパスの各々に対し電圧及び電流を調整することが必要なとき、適切な R F リターンパスを提供するように調整されてもよい。上部可変インピーダンス素子 2 6 0 B は、高周波発生器 2 5 2 の高周波 R F 構成要素の為にグラウンドリターンパスを提供し、低周波発生器 2 5 0 の為に高インピーダンスパスを提供するように適合されている。下部可変インピーダンス素子 2 6 0 C は、低周波発生器 2 5 0 の低周波 R F 構成要素の為にグラウンドリターンパスを提供し、高周波発生器 2 5 2 の為に高インピーダンスパスを提供するように適合されている。上部インピーダンス素子 2 6 0 B 及び下部インピーダンス素子 2 6 0 C は、各 R F 発生器 2 5 0 、 2 5 2 から処理領域 2 3 1 に分配されたエネルギー量を釣り合わせるように別個に調整されてもよい。下部可変インピーダンス素子 2 6 0 C のインピーダンスを増加することにより、処理領域を横切る電圧降下を減少させ、低周波整合 2 5 4 に関する全チャンパインピーダンスを増加させ、それによって、処理領域 2 3 1 に分配される低周波 R F 電流及び電力を減少させる。さらに、上部可変インピーダンス素子 2 6 0 B のインピーダンスを増加することにより、処理領域 2 3 1 を横切る電圧降下を減少させ、高周波整合 2 5 6 に関する全チャンパインピーダンスを増加させ、それによって、処理領域 2 3 1 に分配される高周波 R F 電流及び電力を減少させる。例えば、上部可変インピーダンス素子 2 6 0 B のインピーダンスは、基板支持部材 2 1 6 に、より高い周波数の R F 電力が印加し得るように調整されてもよく、下部可変インピーダンス素子 2 6 0 C のインピーダンスは、板電極 2 3 6 に分配される低周波電力を減少する為に増加されてもよい。そのため、分配された低周波 R F 電力に対する分配された高周波 R F 電力の比は、独立して調整可能であり、所望の処理パラメータに整合可能である。一態様において、上部可変インピーダンス素子 2 6 0 B のインピーダンスの同調は、シースインピーダンスと上部可変インピーダンス素子 2 6 0 B が実質的に直列共振にあり、高周波 R F 信号に対し実質的に低いインピーダンスパスを提供するように調整されてもよい。一態様において、下部可変インピーダンス素子 2 6 0 C のインピーダンスの同調は、シースインピーダンスと下部可変インピーダンス素子 2 6 0 C が実質的に直列共振にあり、低周波 R F 信号に対し実質的に低インピーダンスパスを提供するように調整されてもよい。あるいは、可変インピーダンス素子 2 6 0 B 、 2 6 0 C は、必要なときにチャンパに R F 電力を反射する為に共振以上又は以下に同調可能である。

20

30

40

【 0 0 3 5 】

図 7 に例示されているような他の実施形態において、低周波 R F 電源 2 5 0 、低周波整合回路網 2 5 4 、高周波電源 2 5 2 、高周波整合回路網 2 5 6 は、単一装置へと組み合わせられ、結合及び接続損失を最小にする。高周波 / 低周波発生器 / 整合の組合せは、板電極に接続される。壁電極 2 6 5 と壁同調素子 2 6 0 A は、プラズマを制限しチャンパの壁 2 0 4 を通るグラウンドに対するプラズマの損失を最小にする為に提供されている。基板同調

50

素子 260C は、基板支持体 216 に接続されている。

【0036】

上記は、本発明の一定の実施形態に向けられているが、他の、更なる本発明の実施形態は、本発明の基本的範囲を逸脱することなく案出されてもよく、その範囲は添付請求項により決定される。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】図1は、本発明の態様による処理チャンバの概略的横断面図である。

【図2】図2は、本発明の可変インピーダンス素子の、一例の概略図である。

【図3】図3は、本発明の態様による他の処理チャンバの概略横断面図である。

【図4】図4は、本発明の態様による他の処理チャンバであって、高周波及び低周波RF電力の為に代わってグラウンド戻しを含む、概略横断面図である。

【図5】チャンバ整合を備えた低周波及び高周波電源の組合せを含む本発明の態様による処理チャンバの、他の実施形態の概略横断面図である。

【図6】本発明の態様による処理チャンバの、他の実施形態の概略横断面図である。

【図7】本発明の態様による処理チャンバの、他の実施形態の概略横断面図である。

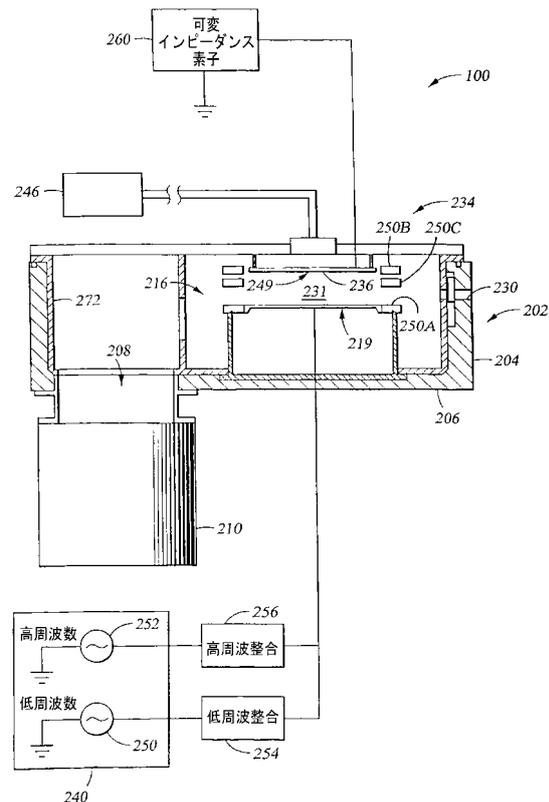
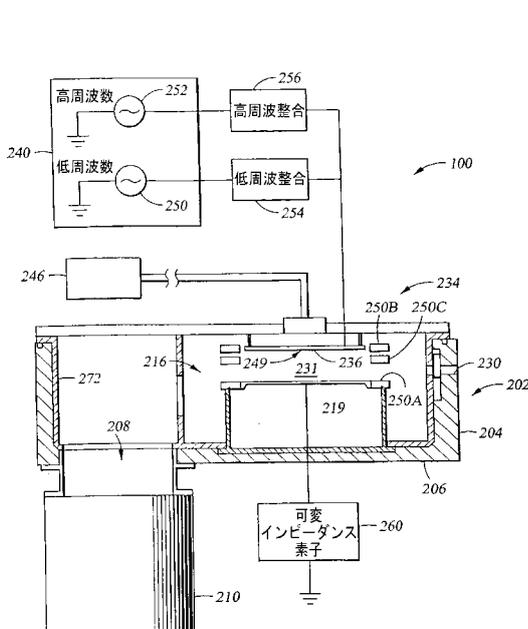
【符号の説明】

【0038】

100 ... 平行板処理システム、202 ... チャンバ、204 ... チャンバ壁、206 ... チャンバ底、208 ... 出口、210 ... 排気システム、216 ... 基板支持体、219 ... 支持板、230 ... 開口、231 ... キャビティ、処理領域、236 ... 板電極、240 ... 電源、246 ... ガス源、249 ... 保護被膜、250 ... 低周波用RF電源、250A ... 第1リング、250B ... 第2リング、250C ... 第3リング、252 ... 高周波用RF電源、254 ... 整合回路、256 ... 整合回路、260 ... 可変インピーダンス素子、260A、260B、260C ... 可変インピーダンス素子、262 ... 絶縁材、265 ... 壁同調素子。

【図1】

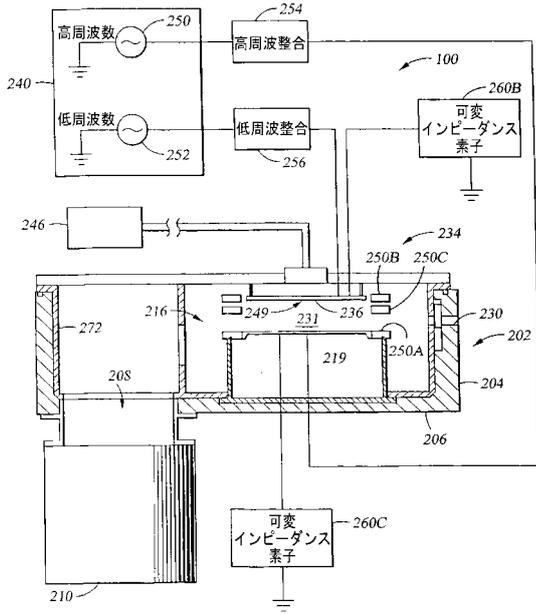
【図3】



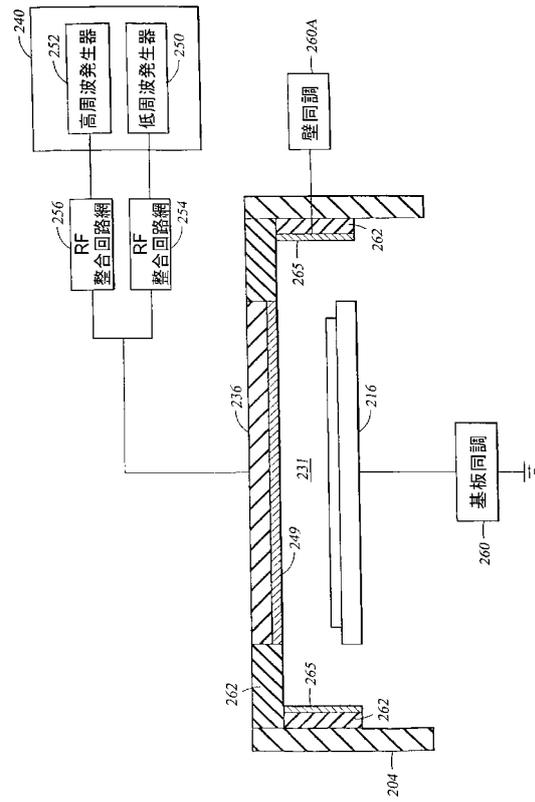
10

20

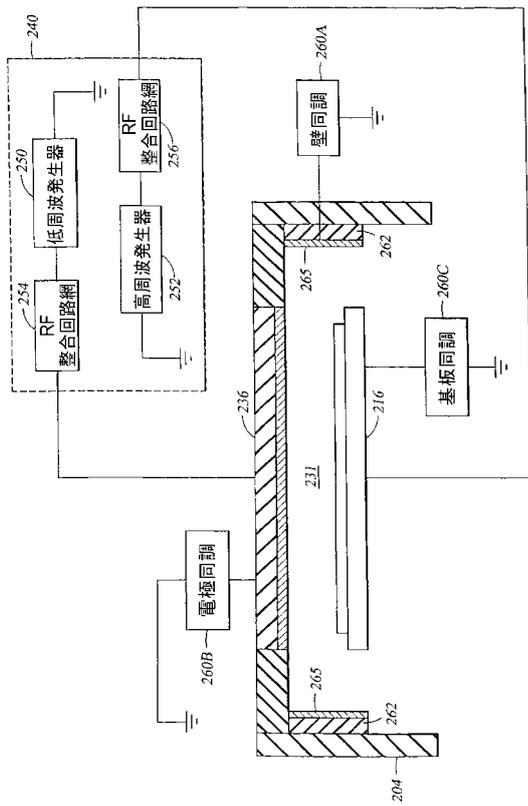
【 図 4 】



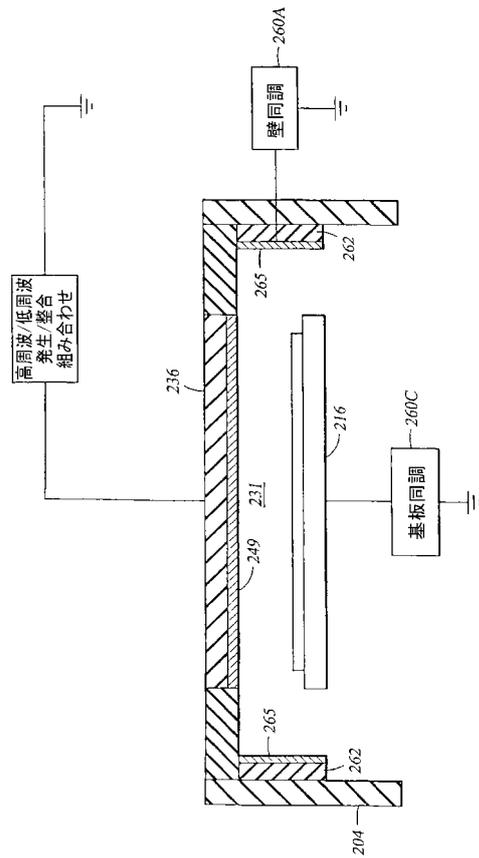
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
27 February 2003 (27.02.2003)

PCT

(10) International Publication Number  
WO 03/017318 A1

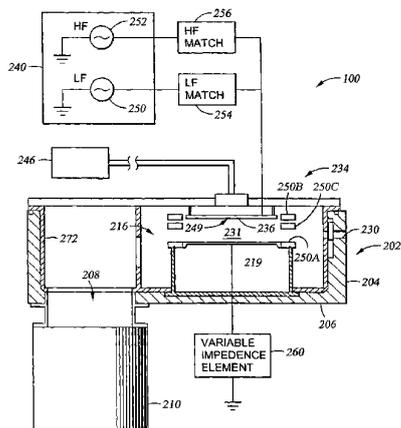
- (51) International Patent Classification: **H01J 37/32** San Jose, CA 95123 (US); **TODOROV, Valentin**; #202, 3300 Walecott Common, Fremont, CA 94538 (US).
- (21) International Application Number: PCT/US02/26008 **MOGHADAM, Farhad**; 15440 Via Colina Drive, Saratoga, CA 95070 (US).
- (22) International Filing Date: 15 August 2002 (15.08.2002)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: 09/931,324 16 August 2001 (16.08.2001) US
- (71) Applicant: **APPLIED MATERIALS, INC.** [US/US]; 3050 Bowers Avenue, Santa Clara, CA 95052 (US).
- (72) Inventors: **BARNES, Michael, S.**; 12215 Santa Teresa Drive, San Ramon, CA 94583 (US). **HOLLAND, John**; 1565 Calaveras Avenue, San Jose, CA 95126 (US). **PATERSON, Alexander**; #7207, 1035 Coleman Road,
- (74) Agents: **PATTERSON, B., Todd** et al.; Moser, Patterson & Sheridan, L.L.P., Suite 1500, 3040 Post Oak Boulevard, Houston, TX 77056 (US).
- (81) Designated States (national): CN, JP, KR, SG.
- (84) Designated States (regional): European patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

Published:  
— with international search report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: PLASMA REACTOR WITH ADJUSTABLE DUAL-FREQUENCY VOLTAGE DIVISION

WO 03/017318 A1



(57) Abstract: Apparatus and method for processing a substrate are provided. The apparatus for processing a substrate comprises: a chamber having a first electrode; a substrate support disposed in the chamber and providing a second electrode; a high frequency power source electrically connected to either the first or the second electrode; a low frequency power source electrically connected to either the first or the second electrode; and a variable impedance element connected to one or more of the electrodes. The variable impedance element may be tuned to control a self bias voltage division between the first electrode and the second electrode. Embodiments of the invention substantially reduce erosion of the electrodes, maintain process uniformity, improve precision of the etch process for forming high aspect ratio sub-quarter-micron interconnect features, and provide an increased etch rate which reduces time and costs of production of integrated circuits.

WO 03/017318

PCT/US02/26008

1

PLASMA REACTOR WITH ADJUSTABLE DUAL FREQUENCY VOLTAGE DIVISION

**Technical Field**

The present invention generally relates to a substrate processing chamber. More particularly, the invention relates to a method and apparatus for delivering power to a processing chamber.

**Background Art**

Plasma etching and reactive ion etching (RIE) have become important processes in precision etching of certain workpieces such as substrates in the fabrication of semiconductor devices. The differences between plasma etching and reactive ion etching, which generally can be carried out in the same equipment, typically result from different pressure ranges employed and from the consequential differences in mean free path of excited reactant species in a processing chamber. The two processes are collectively referred to herein as plasma etching. Plasma etching is a "dry etching" technique and has a number of advantages over conventional wet etching in which the workpiece is generally immersed in a container of liquid etchant material. Some of the advantages include lower cost, reduced pollution problems, reduced contact with dangerous chemicals, increased dimensional control, increased uniformity, improved etch selectivity, and increased process flexibility.

As integrated circuit densities increase, device feature sizes decrease below 0.25 micron while the aspect ratio (i.e., ratio of feature height to feature width) of the device features increase above 10:1. Improved precision of the etch process is required to form these small device features having high aspect ratios. Additionally, an increased etch rate is desired to improve throughput and reduce costs for producing integrated circuits.

WO 03/017318

PCT/US02/26008

2

One type of plasma etch chamber utilizes two parallel plate electrodes to generate and maintain a plasma of the process gases between the plate electrodes. Typically, a parallel plate plasma etch chamber includes a top electrode and a bottom electrode. The bottom electrode typically serves as a substrate holder, and a substrate (or wafer) is disposed on the bottom electrode. The etch process is performed on a surface of the substrate that is exposed to the plasma.

Typically, one or more of the electrodes are connected to a power source. In a particular parallel plate reactor, those electrodes are connected to high frequency power sources. The power source connected to the upper electrode is typically operated at a higher frequency than the power source connected to the lower electrode. This configuration is believed to avoid damage to materials disposed on a substrate.

Another parallel plate reactor has two power sources connected to a lower electrode. The power sources are each operated at different frequencies in order to control the etching characteristics resulting on a substrate being processed.

Yet another parallel plate reactor includes three electrodes. A first electrode is adapted to support a substrate and is connected to a low frequency AC power source. A second electrode is disposed in parallel relationship with the first electrode and is connected to ground. A third electrode (i.e., the chamber body) disposed between the first and second electrode is powered by a high frequency AC power source.

Another conventional apparatus provides a single powered electrode reactor. High and low frequency power supplies are coupled to the single electrode in an effort to increase process flexibility, control and residue removal. The single electrode reactor includes a multistage passive filter network. The network is intended to perform the functions of coupling both power supplies to the electrode, isolating the low frequency power supply from the high frequency power

WO 03/017318

PCT/US02/26008

3

supply and attenuating the undesired frequencies produced by mixing of the two frequencies in the nonlinear load represented by the reactor.

A more detailed description of dual frequency parallel plate reactors can be found in U.S. Patent No. 4,464,223, entitled "Plasma Reactor Apparatus and Method," assigned to Tegal Corp., and issued August 7, 1984; U.S. Patent No. 5,512,130, entitled "Method and Apparatus of Etching a Clean Trench in a Semiconductor Material," assigned to Texas Instruments, Inc., issued April 30, 1996; Patent No. 4,579,618, entitled "Plasma Reactor Apparatus," assigned to Tegal Corp., issued April 1, 1986; and U.S. Patent No. 5,272,417, entitled "Device for Plasma Process," issued December 21, 1993.

One problem typically experienced in a parallel plate plasma etch chamber is that material from the surfaces of the top electrode exposed to the plasma in the chamber is also etched during the etch process. As the top electrode is eroded by the etch process, the material property of the top electrode changes and causes variations of the processing parameters in the chamber, which results in inconsistent or non-uniform processing of substrates. Furthermore, the top electrode may have a short useful life and may need to be replaced frequently, which increases the costs associated with production of the semiconductor devices.

Therefore, there is a need for a parallel plate plasma etch system that can substantially reduce erosion of the top electrode and maintain process uniformity. It would be desirable for the plasma etch system to improve precision of the etch process for forming high aspect ratio sub-quarter-micron interconnect features. It would be further desirable for the plasma etch system to provide an increased etch rate which reduces time and costs of production of integrated circuits.

WO 03/017318

PCT/US02/26008

4

**Disclosure of the Invention**

The present invention generally provides a parallel plate plasma etch system that can substantially reduce erosion of a top electrode and maintain process uniformity. The plasma etch system improves precision of the etch process for forming high aspect ratio sub-quarter-micron interconnect features. The plasma etch system also provides an increased etch rate which reduces time and costs of production of integrated circuits.

In one aspect, the invention provides an apparatus for processing a substrate comprising a chamber having an electrode, a substrate support disposed in the chamber, a high frequency power source electrically connected to the electrode, a low frequency power source electrically connected to the electrode, and a variable impedance element connected between the substrate support and an electrical ground.

In one embodiment, the electrode comprises a gas distributor, and the electrode and the substrate support form parallel plate electrodes. The high frequency power source is adapted to deliver power at a frequency between about 13.56 MHz and about 500 MHz while the low frequency power source is adapted to deliver power at a frequency between about 100 kHz and about 20MHz. The variable impedance element is adapted to tune a self bias voltage division between the electrode and the substrate support and is adapted to tune at least one resonant impedance at a frequency selected from at least one of the low frequency and the high frequency.

In another aspect, the invention provides a method for delivering power to a process chamber having a first electrode and a substrate support forming a second electrode comprising delivering a high frequency power from a high frequency power source electrically connected to the first electrode, delivering a low frequency power source from a low frequency power source electrically connected to the first electrode, and connecting a variable impedance element between the substrate support and an electrical ground. In one embodiment, the method further comprises tuning the variable

WO 03/017318

PCT/US02/26008

5

impedance element to control a self bias voltage division between the first electrode and the substrate support. The variable impedance element may be tuned to provide a first resonant impedance at the low frequency and a second resonant impedance at the high frequency.

**Brief Description of Drawings**

So that the manner in which the above recited features, advantages and objects of the present invention are attained and can be understood in detail, a more particular description of the invention, briefly summarized above, may be had by reference to the embodiments thereof which are illustrated in the appended drawings.

It is to be noted, however, that the appended drawings illustrate only typical embodiments of this invention and are therefore not to be considered limiting of its scope, for the invention may admit to other equally effective embodiments.

Figure 1 is a schematic cross sectional view of a processing chamber according to aspects of the invention.

Figure 2 is a schematic diagram of one example of a variable impedance element of the invention.

Figure 3 is a schematic cross sectional view of another processing chamber according to aspects of the invention.

Figure 4 is a schematic cross sectional view of another processing chamber according to aspects of the invention and including alternate ground returns for the high frequency and low frequency RF power.

Figure 5 is a schematic cross sectional view of another embodiment of a processing chamber according to aspects of the invention including a combined low and high frequency power source with chamber matching.

Figure 6 is a schematic cross sectional view of another embodiment of a processing chamber according to aspects of the invention.

Figure 7 is a schematic cross sectional view of another embodiment of a processing chamber according to aspects of the invention.

**Best Mode for Carrying Out the Invention**

Figure 1 is a schematic diagram of one embodiment of a parallel plate processing system 100 of the invention. The processing system 100 may be attached to a processing system platform and may comprise a multi-purpose chamber configured to perform a specific process, such as an etch process. Although the invention is described with respect to a particular configuration, it is understood that the invention is applicable in a variety of configurations and designs. Further, it is understood that the system is a simplified schematic representation and some aspects that may be part of the processing system 100 are not shown. For example, actuators, valves, sealing assemblies and the like are not shown. Persons skilled in the art will readily recognize that these and other aspects may be incorporated into the processing system 100.

The process chamber 100 generally includes a chamber body 202 defining a cavity 231 at least part of which is a processing region. The chamber body 202 includes a chamber wall 204 and a chamber bottom 206. The chamber wall 204 extends substantially perpendicularly from the edge of the chamber bottom 206. An opening 230 is formed in the chamber wall 204 and serves to facilitate substrate transfers into and out of the processing system 100. Although not shown, a slit valve may be provided to selectively seal the opening 230. The chamber bottom 206 includes an outlet 208 for exhausting gases from the chamber. An exhaust system 210 is attached to the outlet 208 of the chamber bottom 206. The exhaust system 210 may include components such as a throttle valve and a vacuum pump. Once the opening 230 is sealed, exhaust system 210 may be operated to draw and maintain a vacuum within the cavity 231.

A plate electrode 236 is disposed at an upper end of the chamber body 202. In one embodiment, the plate electrode 236 includes a protective coating 249 which prevents or reduces erosion of the material of the plate electrode 236 caused by the plasma in the chamber. The protective coating may

WO 03/017318

PCT/US02/26008

7

comprise a material such as quartz, sapphire, alumina, SiC, SiN, and Si. Although the chamber is described having a plate electrode, other chamber designs having inductive, capacitive, or a combination of inductive and capacitive plasma sources may also be utilized.

In one embodiment, the plate electrode 236 is a showerhead of a gas distribution system. In such a configuration, the plate electrode 236 may be part of a lid assembly that is adapted to distribute gases into the cavity 231. Accordingly, Figure 1 shows a gas source 246 coupled to the plate electrode 236. The gas source 246 contains the precursor or process gases to be utilized for processing the substrate in the chamber. The gas source 246 may include one or more liquid ampoules containing one or more liquid precursors and one or more vaporizers for vaporizing the liquid precursors to a gaseous state.

The plate electrode 236 is connected to a power source 240 which supplies RF power to the plate electrode for generating and maintaining a plasma in the chamber. The power source 240 includes a low frequency RF power source 250 and a high frequency RF power source 252. The low frequency RF power source 250 is connected to the plate electrode 236 through a low frequency match network 254 and enhances ion assisted etching at the substrate. The high frequency RF power source 252 is connected to the plate electrode 236 through a high frequency match network 256 and enhances dissociation of the process gases and plasma density. Each of the match networks 254, 256 may include one or more capacitors, inductors and other circuit components. The low frequency RF power source 250 may deliver RF power to the plate electrode 236 at a frequency at or below about 20MHz while the high frequency RF power source 252 may deliver RF power to the plate electrode 236 at a frequency at or above 13.56MHz. In one embodiment, the low frequency RF power source 250 delivers RF power to the plate electrode 236 at a frequency between about 100kHz and about 20MHz while the high frequency RF power source 252 delivers RF power to the plate

WO 03/017318

PCT/US02/26008

8

electrode 236 at a frequency between about 13.56 MHz and about 500 MHz. Preferably, the high and low frequencies do not overlap during operation. That is, the low frequency RF power source 250 is always operated a frequency below the frequency of the high frequency RF power source 252.

While the plate electrode 236 acts as a top electrode of a parallel plate electrode plasma reactor, a substrate support 216 acts as a lower electrode. The substrate support 216 is disposed in the cavity 231 and may be any structure suitable for supporting a wafer, such as an electrostatic chuck or a vacuum chuck. The substrate support 216 includes a support plate 219 defining a substrate supporting surface that is generally shaped to match the shape of a substrate supported thereon. Illustratively, the substrate supporting surface is generally circular to support a substantially circular substrate. In one embodiment, the substrate supporting surface is thermally connected to a substrate temperature control system, such as a resistive heating coil and/or fluid passages connected to a heating or cooling fluid system.

The system 100 may include liners or rings that are configured for various functions. Illustratively, the process system 100 may include three confinement rings 250A-C. In one embodiment, each ring is made of nickel, aluminum, or other metals or metal alloys appropriate for plasma processing, and may also include an anodized aluminum surface. The rings 250 may be a single piece construction or a multi-piece construction.

A first ring 250A is disposed about the support plate 219. A second ring 250B is disposed around the upper electrode. A third ring 250C is disposed between the first and second rings 250A-B. In operation, the rings act to confine the plasma in the region above the substrate between the plate electrode 236 and the substrate support 216. The rings confine the plasma laterally in the chamber and minimize losses to the walls of the chamber.

To provide an adjustable voltage division between the top electrode and the bottom electrode, a variable impedance

element 260 is connected between the substrate support 216 and an electrical ground or a ground connection. The variable impedance element 260 may include one or more capacitors, inductors and other circuit components. One embodiment of the variable impedance element 260 is described below with reference to Figure 2.

Figure 2 is a schematic diagram of one example of a variable impedance element 260. As shown in Figure 2, the variable impedance element 260 includes a capacitor C1 connected in parallel to a series combination of an inductor L and a capacitor C2. In one embodiment, the capacitors C1 and C2 may comprise variable capacitors which can be tuned to change the resonant frequency and the resonant impedance of the variable impedance element 260. A stray capacitance  $C_{stray}$ , which is parallel to capacitor C1, may be included in determining the resonant frequency and the resonant impedance of the variable impedance element 260.

The variable impedance element 260 can be tuned to change the self bias voltage division between the plate electrode 236 and the substrate support 216, at either or both of the low and high frequencies. A low resonant impedance at the high frequency (i.e., the frequency at which the high frequency power source is operating) provides high frequency plasma generation that is either equal between the plasma sheaths of both electrodes or slightly enhanced at the upper electrode. A high resonant impedance at the low frequency (i.e., the frequency at which the low frequency power source is operating) provides more self bias at the bottom electrode (i.e., substrate support), even though the substrate support is not directly connected to or powered by the power source. The increased self bias at the bottom electrode enhances the ion acceleration toward the bottom electrode, which provides improved etching results on a substrate disposed on the substrate support. Additionally, the increased self bias on the bottom electrode significantly reduces erosion of the top electrode or the protective covering on the top electrode.

WO 03/017318

PCT/US02/26008

10

To perform a plasma etch process, a substrate is transferred into the process chamber and positioned on the substrate support 216. The substrate support 216 may be moved into a processing position with a desired processing distance between the top electrode and the substrate support surface. The process/precursor gases are introduced into the chamber through the gas distributor, and a plasma is generated and maintained for a desired duration to complete the etch process on the substrate. Plasma etch processes may be performed utilizing reactive gases, such as  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $Cl$ ,  $HBr$ ,  $SF_6$ ,  $CF_4$ ,  $C_2F_4$ ,  $C_3F_8$ ,  $NF_3$ , and other etch precursors, with one or more inert gases, such as  $Ar$ ,  $He$ , etc. The substrate is then transferred out of the process chamber.

The following table presents examples of chamber operating conditions for an etch process performed in one embodiment of a chamber of the invention.

Processing Parameter	Parameter Value
Distance between top electrode and bottom electrode	About 0.5 cm to about 10 cm
Chamber Pressure	About 20 mT to about 1 Torr
Power Density	About 1 W/cm to about 20 W/cm
Frequency of Low Frequency Power Source	$\leq 20$ MHz
Frequency of High Frequency Power Source	$\geq 13.56$ MHz

Figure 3 is a schematic cross sectional view illustrating another embodiment of a chamber configuration and power delivery system. In this embodiment, the high and low frequency power are delivered to the substrate support member 216 through the HF match 256 and LF match 254, respectively. The variable impedance element 260 is connected to the plate electrode 236, such as a showerhead assembly, to adjust the RF power delivered to the processing region 231 by controlling the RF ground path impedance for the plate electrode 236. As

WO 03/017318

PCT/US02/26008

11

the variable impedance is adjusted, the voltage drop across the processing region 231 changes accordingly. For example, as the variable impedance is adjusted to lower the impedance value, the current through the variable impedance element(s) 260 increases, increasing the voltage drop across the processing region 231, thereby increasing the RF energy transmitted. As the variable impedance element is adjusted to a higher impedance value, the voltage drop across the processing region 231 decreases, thereby departing less RF energy. In one aspect, the variable impedance can be adjusted in combination with the LF match 254 and HF match 256 to establish a desired plasma density without adversely affecting the HF 256 and LF 254 match between the RF power generators 250, 252 and the chamber 202. In one aspect, the tuning impedance of variable impedance element(s) 260 may be adjusted so that the sheath impedance and the variable impedance element(s) 260 are substantially in series resonance providing a substantially low impedance path for either the high or low frequency RF signals. Alternatively, the variable impedance element(s) 260 can be tuned above or below resonance for either RF signal to change the amount of RF current flowing through this electrode to ground.

Figure 4 is a schematic cross sectional view illustrating another embodiment of a chamber configuration and power delivery system. In this embodiment, the high frequency power is delivered from the HF generator 252 to the plate electrode 236, such as a showerhead, and the low frequency power is delivered from the LF generator 250 to the substrate support member 216. An upper variable impedance element 260B is connected to the upper electrode 236 and a lower variable impedance element 260C is connected to the substrate support member 216. In this embodiment, the lower variable impedance element 260C provides a ground return path for the high frequency RF components from the HF generator 252 delivered to the processing region 231 and provides a high impedance path for the LF generator 250. In addition, the upper variable impedance element 260B provides a ground return path for the

WO 03/017318

PCT/US02/26008

12

low frequency RF components from the LF generator 250 delivered to the processing region 231 and provides a high impedance path for the HF generator 252. Thus, the ratio of the delivered high frequency RF power to the delivered low frequency RF power may be independently adjusted and matched to the desired process parameters. In one aspect, the tuning impedance of the low frequency variable impedance element 260C may be adjusted so that the sheath impedance and the lower variable impedance element 260C are substantially in series resonance providing a substantially low impedance path for the low frequency RF signals. In another aspect, the tuning impedance of the high frequency variable impedance element 260B may be adjusted so that the sheath impedance and the high frequency variable impedance element 260C are substantially in series resonance providing a substantially low impedance path for the high frequency RF signals. Alternatively, the variable impedance element(s) 260B, 260C can be tuned above or below resonance to decrease the RF current at these frequencies from flowing through this electrode and/or change the self bias to this frequency.

In another embodiment illustrated in Figure 5, an isolated wall electrode 265 is provided and is connected to a wall tuning element 260A. The plate electrode 236 is adjacent to and horizontally spaced from the chamber wall 204 using an insulating material 262 selected from insulators such as ceramics, polymers, glass, and the like adapted to withstand the RF power applied to the plate electrode 236. The insulating material 262 electrically insulates the plate electrode 236 from the chamber wall 204 to allow the plasma to be directed under, and in substantial conformity with, the plate electrode 236. A wall electrode 265 composed of conductors such as aluminum, nickel, tungsten, and the like adapted to receive RF energy, is electrically isolated from the wall 204 and plate electrode 236 by the insulating material 262. The wall electrode 265 is adjacent to and vertically spaced from the chamber wall 204 forming an internal wall about processing region 231. A wall variable

WO 03/017318

PCT/US02/26008

13

impedance element 260A is coupled to the wall electrode 265, providing an adjustable ground return path for RF energy proximate the chamber wall 204 from the plate electrode 236. The wall variable impedance element 260A is adapted to increase or decrease the RF energy to the support member 216 by providing an alternate ground path for the RF with respect to the support member 216. In one aspect, the wall variable impedance element 260A, in cooperation with the wall electrode 265, provides plasma confinement and control. To confine the plasma, the effective impedance between the plate electrode 236 and the wall electrode 265 is increased to a value great enough using the wall variable impedance 260A, to effectively minimize the RF path to ground, thereby constraining the plasma between the plate electrode 236 and the support member 216. Thus, the plasma adjacent to the wall is minimized, reducing the risk of plasma damage to the wall 204.

In another aspect, the plate electrode 236 and the wall impedance is adjusted to a value low enough to effectively decrease the RF path to ground impedance, shunting some of the RF power away between the plate electrode 236 and the support member 216, thereby decreasing the plasma density. Additionally, the spacing between the wall electrode 265 and the plate electrode 236 and/or support member 216 may be adjusted to allow for more or less confinement and control of the RF energy. Accordingly, the more confinement and control of the plasma which is realized, the closer the wall electrode 265 is placed to the plate electrode and/or the support 216.

In another embodiment as illustrated in Figure 6, the LF matching network 254 is coupled to the plate electrode 236 and the high frequency match 256 is coupled to the support member 216. An upper variable impedance element 260B is coupled to the plate electrode 236. A lower variable impedance element 260C is coupled to the support member to provide variable RF paths for the high frequency RF power source 252 and the low frequency RF power source 250, respectively. Each variable impedance element 260B-C may be adjusted to provide the proper RF return path as needed to adjust the voltage and current for

each high or low frequency impedance path. The upper variable impedance element 260B is adapted to provide a ground return path for the high frequency RF components of the HF generator 252 and provide a high impedance path for the LF generator 250. The lower variable impedance element 260C is adapted to provide a ground return path for the low frequency RF components of the LF generator 250 and provide a high impedance path for the HF generator 252. The upper and lower impedance elements 260B, 260C may be separately adjusted to balance the amount of energy delivered from each RF generator 250, 252 to the processing region 231. Increasing the impedance of the lower variable impedance element 260C decreases the voltage drop across the processing region, increases the overall chamber impedance with respect to the LF match 254, and thereby lowers the low frequency RF current and power delivered to the processing region 231. In addition, increasing the impedance of the upper variable impedance element 260B decreases the voltage drop across the processing region 231, increases the overall chamber impedance with respect to the HF match 256, and thereby lowers the high frequency RF current and power delivered to the processing region 231. For example, the impedance of the upper variable impedance element 260B may be adjusted to allow more high frequency RF power to be applied to the substrate support member 216 while the impedance of the lower variable impedance element 260C may be increased to decrease the low frequency power delivered to the plate electrode 236. Thus, the ratio of the delivered high frequency RF power to the delivered low frequency RF power may be independently adjusted and matched to the desired process parameters. In one aspect, the tuning impedance of the upper variable impedance element 260B may be adjusted so that the sheath impedance and the upper variable impedance element 260B are substantially in series resonance providing a substantially low impedance path for the high frequency RF signals. In another aspect, the tuning impedance of the lower variable impedance element 260C may be adjusted so that the sheath impedance and the lower variable impedance

WO 03/017318

PCT/US02/26008

15

element 260C are substantially in series resonance providing a substantially low impedance path for the low frequency RF signals. Alternatively, the variable impedance elements 260B, 260C can be tuned above or below resonance to reflect RF power back to the chamber as needed.

In another embodiment, as illustrated by Figure 7, the low frequency RF power source 250, low frequency matching network 254, high frequency RF power source 252, and high frequency matching network 256, are combined into a single apparatus to minimize coupling and connection losses. The HF/LF Generator/Match combination is connected to the plate electrode. A wall electrode 265 and a wall tuning element 260A are provided to confine the plasma and minimize losses of the plasma to ground through the walls 204 of the chamber. Substrate tuning element 260C is connected to substrate support 216.

While the foregoing is directed to certain embodiments of the invention, other and further embodiments of the invention may be devised without departing from the basic scope thereof, and the scope thereof is determined by the claims that follow.

WO 03/017318

PCT/US02/26008

16

**WHAT IS CLAIMED IS:**

1. An apparatus for processing a substrate, comprising:
  - a chamber having a first electrode disposed therein;
  - a substrate support disposed in the chamber and providing a second electrode in the chamber;
  - a high frequency power source electrically connected to either the first or second electrode;
  - a low frequency power source electrically connected to either the first or second electrode; and
  - one or more variable impedance elements connected to the first and/or second electrode between the substrate support and an electrical ground.
2. The apparatus of claim 1, wherein the first electrode comprises a gas distributor.
3. The apparatus of claim 1, wherein the first electrode and the second electrode form parallel plate electrodes.
4. The apparatus of claim 1, wherein the chamber is configured as an etch chamber.
5. The apparatus of claim 1, wherein the high frequency power source is adapted to deliver power between about 13.56 MHz and about 500 MHz.
6. The apparatus of claim 1, wherein the low frequency power source is adapted to deliver power between about 100 kHz and about 20 MHz.
7. The apparatus of claim 1, wherein the variable impedance elements comprise at least one inductor and at least one capacitor.

WO 03/017318

PCT/US02/26008

17

8. The apparatus of claim 1, wherein the variable impedance elements comprise at least one inductor and at least one variable capacitor.

9. The apparatus of claim 1, wherein the variable impedance elements are adapted to tune a self bias voltage division between the first and second electrodes.

10. The apparatus of claim 1, wherein the variable impedance elements are adapted to tune at least one resonant impedance at a frequency selected from at least one of the low frequency and the high frequency.

11. The apparatus of claim 1, wherein the variable impedance elements are adapted to tune a first resonant impedance at the low frequency and a second resonant impedance at the high frequency.

12. The apparatus of claim 11 wherein the high frequency power and the low frequency power are delivered to one electrode and at least one variable impedance element is connected to the other electrode.

13. The apparatus of claim 11 wherein the high and low frequency power are delivered to opposite electrodes and a variable impedance element is connected to each electrode.

14. An apparatus for delivering power to a process chamber having a first electrode and a substrate support forming a second electrode, comprising:

a high frequency power source electrically connected to the first electrode;

a low frequency power source electrically connected to the first electrode; and

a variable impedance element connected between the substrate support and an electrical ground.

WO 03/017318

PCT/US02/26008

18

15. The apparatus of claim 14, wherein the high frequency power source is adapted to deliver power between about 13.56 MHz and about 500 MHz.

16. The apparatus of claim 14, wherein the low frequency power source is adapted to deliver power between about 100 kHz and about 4 MHz.

17. The apparatus of claim 14, wherein the variable impedance element comprises at least one inductor and at least one capacitor.

18. The apparatus of claim 14, wherein the variable impedance element comprises at least one inductor and at least one variable capacitor.

19. The apparatus of claim 14, wherein the variable impedance element is adapted to tune a self bias voltage division between the first electrode and the substrate support.

20. The apparatus of claim 14, wherein the variable impedance element is adapted to tune at least one resonant impedance at a frequency selected from at least one of the low frequency and the high frequency.

21. The apparatus of claim 14, wherein the variable impedance element is adapted to tune a first resonant impedance at the low frequency and a second resonant impedance at the high frequency.

22. The apparatus of claim 14, wherein the first electrode comprises a gas distributor.

23. The apparatus of claim 14, wherein the first electrode and the substrate support are disposed to form parallel plate electrodes.

WO 03/017318

PCT/US02/26008

19

24. The apparatus of claim 14, wherein the chamber is configured as an etch chamber.

25. A method for delivering power to a process chamber having a first electrode and a substrate support forming a second electrode, comprising:

delivering a high frequency power from a high frequency power source electrically connected to one of the electrodes;

delivering a low frequency power source from a low frequency power source electrically connected to one of the electrodes; and

connecting one or more variable impedance elements to one or more of the electrodes and an electrical ground.

26. The method of claim 25, wherein the high frequency power is between about 13.56 MHz and about 500 MHz.

27. The method of claim 25, wherein the low frequency power is between about 100 kHz and about 20 MHz.

28. The method of claim 25, further comprising:

tuning the one or more variable impedance elements to control a self bias voltage division between the first electrode and the second electrode.

29. The method of claim 25, further comprising:

tuning the one or more variable impedance elements to provide at least one resonant impedance at a frequency selected from at least one of the low frequency and the high frequency.

30. The method of claim 25, further comprising:

tuning the one or more variable impedance elements to provide a first resonant impedance at the low frequency and a second resonant impedance at the high frequency.

WO 03/017318

PCT/US02/26008

20

31. The method of claim 25, further comprising:  
distributing a processing gas from the first electrode.
32. The method of claim 25, wherein the first electrode and the substrate support are disposed to form parallel plate electrodes.
33. The method of claim 25, wherein the process chamber is configured to perform an etch process.

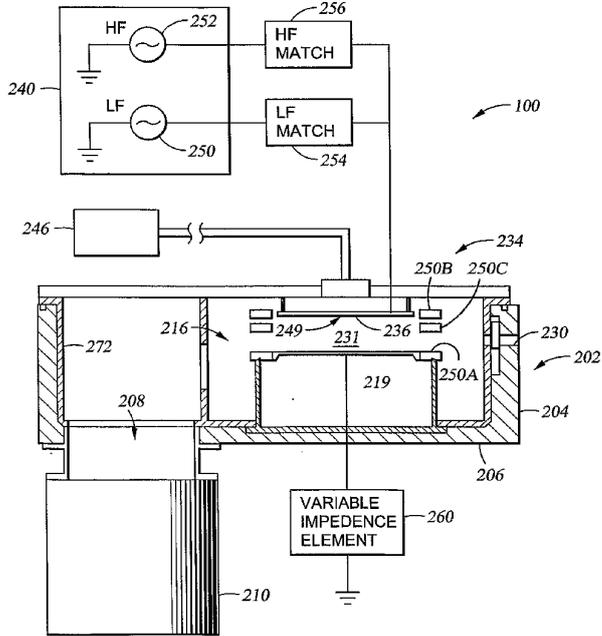


Fig. 1

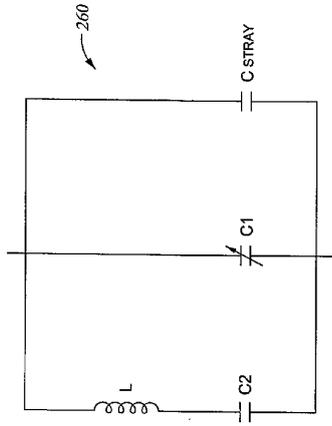


Fig. 2

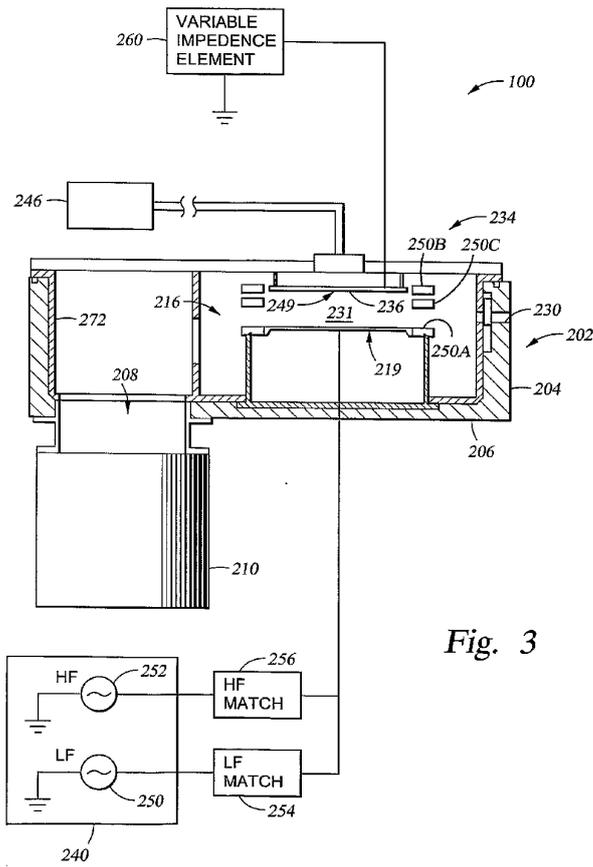
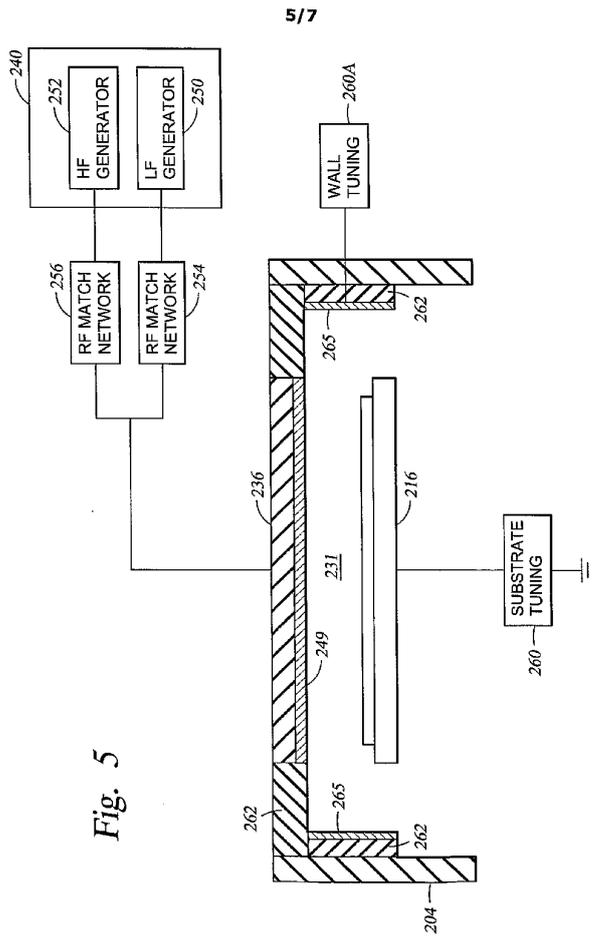


Fig. 3



WO 03/017318

PCT/US02/26008



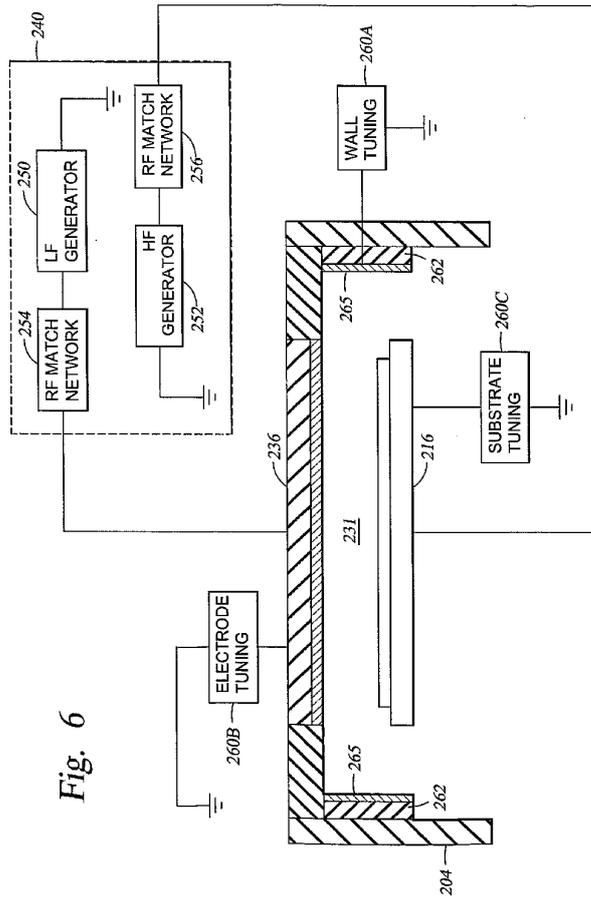
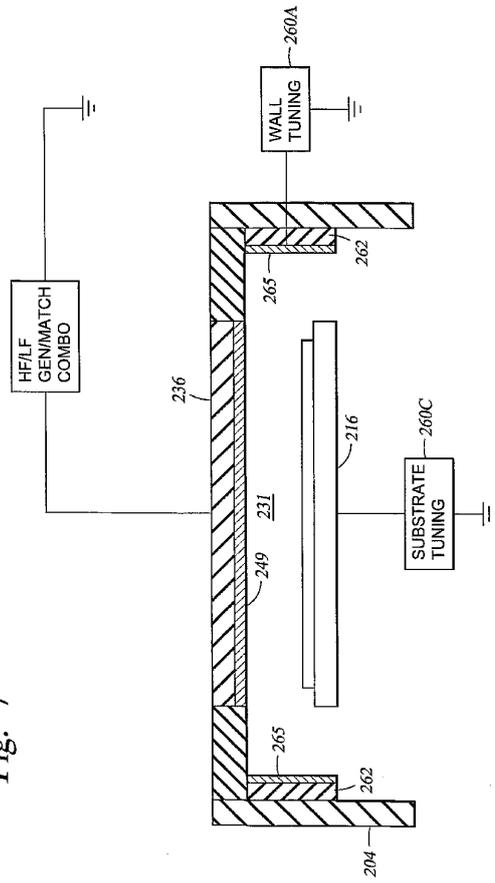


Fig. 6

7/7

Fig. 7



## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Original Application No. PCT/US 02/26008
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01J37/32		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H01J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 464 223 A (GORIN GEORGES J) 7 August 1984 (1984-08-07) cited in the application abstract column 3, line 17-63 figure 2	1-33
A	US 5 272 417 A (OHMI TADAHIRO) 21 December 1993 (1993-12-21) cited in the application abstract column 7, line 7-17 figures 1A-C	1-33
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claims) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel) or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *Z* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 21 October 2002		Date of mailing of the international search report 30/10/2002
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 6818 Patentlaan 2 NL - 2200 HV The Hague Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3019		Authorized officer Winkelman, A

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International Application No  
PCT/US 02/26008

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4464223	A	07-08-1984	DE 3479769 D1 19-10-1989
			EP 0139835 A2 08-05-1985
			JP 2047055 C 25-04-1996
			JP 4069416 B 06-11-1992
			JP 60079726 A 07-05-1985
US 5272417	A	21-12-1993	JP 2298024 A 10-12-1990
			WO 9013909 A1 15-11-1990

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

---

フロントページの続き

- (72)発明者 バーンズ, マイケル, エス.  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ラモン, サンタ テレサ ドライブ 1 2 2 1  
5
- (72)発明者 ホーランド, ジョン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, カラヴェラス アヴェニュー 1 5 6 5
- (72)発明者 パターソン, アレキサンダー  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, コールマン ロード 1 0 3 5 ナンバ  
ー 7 2 0 7
- (72)発明者 トドロフ, ヴァレンティン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, フリーモント, ウォルコット コモン 3 3 0 0 ナ  
ンバー 2 0 2
- (72)発明者 モグハダム, ファルハド  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サラトガ, ヴィア コリーナ ドライブ 1 5 4 4 0
- Fターム(参考) 5F004 AA05 BA04 BB11 CA03 CA08