

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4728405号
(P4728405)

(45) 発行日 平成23年7月20日(2011.7.20)

(24) 登録日 平成23年4月22日(2011.4.22)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 I O 1 B
HO 1 L 21/31 (2006.01)	HO 1 L 21/31 C
C 2 3 C 16/505 (2006.01)	C 2 3 C 16/505
C 2 3 C 14/34 (2006.01)	C 2 3 C 14/34 T
HO 5 H 1/46 (2006.01)	HO 5 H 1/46 M

請求項の数 4 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2008-552171 (P2008-552171)
 (86) (22) 出願日 平成20年7月4日(2008.7.4)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2008/062198
 (87) 国際公開番号 W02009/005148
 (87) 国際公開日 平成21年1月8日(2009.1.8)
 審査請求日 平成20年11月20日(2008.11.20)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-176287 (P2007-176287)
 (32) 優先日 平成19年7月4日(2007.7.4)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000227294
 キヤノンアネルバ株式会社
 神奈川県川崎市麻生区栗木2-5-1
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康德
 (74) 代理人 100112508
 弁理士 高柳 司郎
 (74) 代理人 100115071
 弁理士 大塚 康弘
 (74) 代理人 100116894
 弁理士 木村 秀二
 (74) 代理人 100130409
 弁理士 下山 治
 (74) 代理人 100134175
 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

処理が施される基板が収容され、真空排気が可能な真空容器と、
 該真空容器内に互いに対向して配置された上部電極および下部電極と、
 前記上部電極に第1の整合回路を介して第1の高周波電力を供給する第1の高周波電力
 供給手段と、
 前記下部電極に第2の整合回路を介して第2の高周波電力を供給する第2の高周波電力
 供給手段と、
 前記下部電極とグラウンドとの間に接続された共振回路と、
 前記真空容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、
 を備え、前記上部電極と前記下部電極との間に前記処理ガスのプラズマを生成して前記
 基板の表面に処理を施す表面処理装置において、
 前記電極の位相位置を調整する電極位相位置調整手段を備え、
 前記電極位相位置調整手段は、可変キャパシタまたは可変インダクタで構成され、前記
 上部電極と前記第1の整合回路との間と、前記下部電極と前記共振回路との間との少なく
 とも一方に接続されていることを特徴とする表面処理装置。

【請求項2】

前記電極位相位置調整手段は、前記電極で電圧が最大となり電流が最小となる位相位置
 、または、前記電極で電圧が最小となり電流が最大となる位相位置に前記電極が配置され
 るように各々の前記電極の位相位置を調整することを特徴とする請求項1に記載の表面処

理装置。

【請求項 3】

処理が施される基板が収容され、真空排気が可能な真空容器と、
該真空容器内に互に対向して配置された上部電極および下部電極と、
前記上部電極に第 1 の整合回路を介して第 1 の高周波電力を供給する第 1 の高周波電力供給手段と、

前記下部電極に第 2 の整合回路を介して第 2 の高周波電力を供給する第 2 の高周波電力供給手段と、

前記下部電極とグラウンドとの間に接続された共振回路と、

前記真空容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、

を備え、前記上部電極と前記下部電極との間に前記処理ガスのプラズマを生成して前記基板の表面に処理を施す表面処理装置において、

前記上部電極は、短絡端とみなされる位相位置から前記第 1 の高周波電力の $\pm 1/20$ 波長分ずらした位置に配置され、

前記下部電極は、短絡端とみなされる位相位置から前記第 2 の高周波電力の $\pm 1/20$ 波長分ずらした位置に配置されていることを特徴とする表面処理装置。

10

【請求項 4】

前記共振回路は電圧測定器と電流測定器とを含んでいることを特徴とする請求項 1 または 3 に記載の表面処理装置。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体基板等の表面処理を行う表面処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、半導体装置等の製造プロセスにおいては、エッチング、スパッタリング、プラズマ CVD、アッシング等のプラズマ処理を利用した表面処理装置が用いられている。この種の表面処理装置は、真空容器内にプラズマを発生させ、被処理基板あるいはウェハの表面に所定の処理を行うように構成されている。

【0003】

30

特に高周波プラズマを利用した表面処理装置では、整合回路を介して電極に高周波が印加され、放電が始まる。従来の装置では整合回路でインピーダンスの整合を行い、電源からの入射電力に対する反射波を最小にしている。しかし、このインピーダンスの整合は高周波電源から見たものであり、負荷であるプラズマから見た整合ではない。このため、整合回路での整合では、電極を含む伝送系内で共振を起こさせることはできない。しかし、電極を含む高周波回路が共振状態になれば、電極へ効率よくパワーを供給でき、プラズマ密度を向上させたり、放電開始圧力を下げたりすることが可能である。

【0004】

ここで、スパッタリング装置を例に挙げて従来技術について説明する。特許文献 1 には、平行平板の上下の電極に異なる周波数の高周波電力を印加する、いわゆる 2 周波方式の容量結合形のスパッタリング装置が開示されている。この装置の回路構成と動作について、図 8 を参照して説明する。

40

【0005】

図 8 にて、符号 1001 は真空容器、符号 1002 はターゲット、符号 1003 は上部電極、符号 1004 はウェハ、符号 1005 は下部電極、符号 200 はプラズマを磁化するための磁石をそれぞれ示している。ターゲット 1002 とウェハ 1004 との間にプラズマが形成される。上部電極 1003 には整合回路を介して 13.56 MHz の RF 電源が接続され、下部電極 1005 には整合回路を介して 100 MHz の RF 電源が接続されている。下部電極 1005 と整合回路との間には C_5 、L、 C_5 で構成される共振回路 104b が接続されており、この中の L、 C_5 で構成される直列共振回路の共振周波数 f_0 が、

50

ターゲット 1002 に印加される周波数 13.56MHz に等しくなっている。

【0006】

すなわち、

【0007】

【数1】

$$f_0 = 1 / [2\pi\sqrt{LC_s}] = 13.56\text{MHz}$$

【0008】

とすることにより、下部電極（サセプタ）1005 に 13.56MHz の高周波が印加されること防止することができ、ウェハに損傷を与えずに絶縁性薄膜のバイアスパッタリングを行うことを可能にしている。

10

【特許文献1】特開昭63-50025号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上記従来技術には次のような問題が認められる。

【0010】

上述した従来の装置では、共振回路が下部電極を接地させるように構成されているため、電極を含む回路での共振が発生しない。より広範囲で共振が起れば回路に流れる電流値が増え、電極間での電位差も大きくなる。

20

【0011】

また、このような共振が発生したとき、分布常数回路上での電極位置により同じ共振でも共振の節では電流最大/電圧最小となり、共振の腹では電圧最大/電流最小となり、中間位置では電圧と電流の比が変わる。実際の装置では、装置一台毎に電極の位置や誘電物質の誘電率の差などが完全に同一にならず、いわゆる機差と言うものが生じて一台毎にプラズマ状態が変わる。また、装置を稼働させていると次第に処理室の壁に膜が付着し、これによって回路状態が変化して、ロット毎にプラズマ状態が変化する。

【0012】

また、例えば誘導結合型のプラズマ発生装置においては、コイルに電流を流すとコイルのインピーダンスにより電圧が発生する。そのため、誘導結合だけではなく容量結合も生じ、誘導結合の効率が低下するだけでなく、電極を覆う絶縁物やSi板等がエッチングされる。

30

【0013】

そこで本発明は、電極を含む線路上で共振を発生させることが可能な表面処理装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記目的を達成するため、本発明の表面処理装置は、処理が施される基板が収容され、真空排気が可能な真空容器と、

該真空容器内に互いに対向して配置された上部電極および下部電極と、

40

前記上部電極に第1の整合回路を介して第1の高周波電力を供給する第1の高周波電力供給手段と、

前記下部電極に第2の整合回路を介して第2の高周波電力を供給する第2の高周波電力供給手段と、

前記下部電極とグラウンドとの間に接続された共振回路と、

前記真空容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、

を備え、前記上部電極と前記下部電極との間に前記処理ガスのプラズマを生成して前記基板の表面に処理を施す表面処理装置において、

前記電極の位相位置を調整する電極位相位置調整手段を備え、

前記電極位相位置調整手段は、可変キャパシタまたは可変インダクタで構成され、前記

50

上部電極と前記第1の整合回路との間と、前記下部電極と前記共振回路との間との少なくとも一方に接続されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、電極を含む線路上で共振を発生させることが可能な表面処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の一実施形態に係る表面処理装置を示す図である。

【図2】共振状態を説明するための簡略化された回路図である。

【図3】端部での電気線の実効長さを説明する図である。

【図4】電気線の実効長さをインピーダンスで説明した図である。

【図5】電極部分での電流の流れを示す図である。

【図6】電極部分での電流の流れを示す図である。

【図7】電極部分での電流最大と電圧最大モードを示す図である。

【図8】従来技術によるスパッタリング装置の断面図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明の成膜装置の実施形態について詳細に説明する。ただし、この実施形態に記載されている構成要素はあくまで例示であり、本発明の技術的範囲は、請求の範囲によって確定されるのであって、以下の個別の実施形態によって限定されるわけではない。

【0018】

次に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【0019】

図1は本発明の一実施形態に係る表面処理装置を示す図である。図1に示す実施形態に係る表面処理装置はエッチング装置である。

【0020】

図1において、符号1は真空容器、符号3は上部電極、符号8は上部電極導入棒、符号5は下部電極、符号9は下部電極導入棒、符号4は真空容器1内に收容された処理が施されるウェハ（基板）を示している。符号6はウェハ吸着用の静電チャック、符号7は下部電極シールドを示している。さらに、符号50はキャパシタやインダクタ等よりなる電気長調整部、符号51はp-p電流検出器、符号52はp-p電圧検出器を示している。上部電極3と下部電極5は、真空容器内に互いに対向して配置されている。上部電極3はアース電位の外壁から絶縁材料10によって絶縁され、下部電極5はアース電位の外壁から絶縁材料11によって絶縁されている。また、上部電極3は整合装置17内の第1の整合回路を介してVHF帯（好ましくは60MHz）の高周波電源16（第1の高周波電力供給手段）に接続されている。下部電極5は整合装置19内の第2の整合回路を介してMF帯からHF帯（好ましくは1.6MHz）の高周波電源18（第2の高周波電力供給手段）に接続されている。図には示していないが、この真空容器1には排気機構や処理ガス供給機構が設置され、基板搬送機構も具備されている。

【0021】

このエッチング装置を動作させるには、真空排気機構を用いて真空容器1を所定の圧力まで減圧した後、ガス供給機構（不図示）を経由して上部電極3の下面から処理ガスを真空容器内に供給して所定の圧力にする。その後、上部電極3にVHF帯（好ましくは60MHz）の第1の高周波電力を、下部電極5にMF帯からHF帯（好ましくは1.6MHz）の第2の高周波電力をそれぞれ印加する。

【0022】

そうすると、上部電極3に印加されるVHF帯の高周波電力によって比較的高密度のプラズマ及びエッチャントが生成される。そして、イオン衝撃エネルギーが、下部電極5に印加されるMF帯からHF帯の高周波電力によってプラズマ密度とは独立に制御されて、目

10

20

30

40

50

的とするエッチング処理が実行される。このプラズマ密度をより高くするために、次の操作を行う。

【0023】

投入パワーが定常運転の60%に達してプラズマ密度が一定状態になると、下部電極5のIpp検出器(電流測定器)61とVpp検出器(電圧測定器)62とが示す電流電圧を用いて共振ピークが実現されるように可変キャパシタ63を調整する。そして、下部電極5の下方空間での共振を実現する。このように共振させると両電極間のプラズマ電子密度が上昇し、反応ガスの解離が進み、解離ラジカルが高密度となり、高い選択性と、ボーイングの無いエッチング形状と、均一な面内分布とが得られる。

【0024】

次に、図2を参照して、本実施形態の要部であるマッチングの調整および共振の調整を説明する。図2では、下部電極5の高周波電源18と整合装置19とは省略されている。高周波電源16は整合装置17を介して上部電極3に繋がっている。整合装置17は、位相と振幅を測定するインピーダンス測定器21と、プラズマの発生を検知するプラズマ発生測定器28と、整合回路を構成する可変キャパシタ22, 23と、コイル27とを有している。可変キャパシタ22, 23の制御はモーターユニット24, 25が行う。整合制御器26は、プラズマ発生測定器28からの信号とインピーダンス測定器21からの信号とを受け取り、キャパシタ22, 23が目的の値を取るようモーターユニット24, 25に指令信号を送る。

【0025】

下部電極5は、電気長調整部70と共振調整部60を介してグラウンドに接地されている。共振調整部60は、共振回路を構成する可変インダクタ67及び可変キャパシタ63と、可変キャパシタ63を駆動するモーターユニット64に指令信号を送る共振制御器65とを有している。共振調整部60は、さらに、peak-to-peak電流の値を検出して共振制御器65に送るp-p電流検出器61と、peak-to-peak電圧値を検出して共振制御器65に信号を送るp-p電圧検出器62とを有している。

【0026】

整合装置17と共振調整部60は次のように動作する。高周波電源16より両電極3, 5の間に高周波電力を供給すると、プラズマが発生する。プラズマの発生を感知したプラズマ発生測定器28は整合制御器26に信号を送る。また、インピーダンス測定器21は検知した電流/電圧の位相差と、測定された電圧と電流から得られるインピーダンスの値を整合制御器26に送る。整合制御器26はインピーダンスの値が高周波電源16の値と同じになるように、また電流/電圧位相差がゼロになるように、モーターユニット25, 24に信号を送る。モーターユニット25, 24はこの信号の値に応じて回転し、可変キャパシタ23, 22の値を調整する。

【0027】

一方、共振調整部60は、パワーが定常状態の60%に達した付近で共振回路の制御を開始する。p-p電流検出器61は検知したpeak-to-peak電流値を共振制御器65に送り、p-p電圧検出器62は検知したpeak-to-peak電圧値を共振制御器65に送る。共振制御器65はこの電圧×電流の値が最大になるように可変キャパシタ63のキャパシタンス値の変化する方向と値を決め、モーターユニット64に信号を送り、モーターユニット64は指示に従って可変キャパシタ63を変化させる。本実施形態では共振調整部60には位相測定器は備えられていない。しかしながら、位相測定器により電流電圧の位相差を検出し共振制御器に値を送れば、可変キャパシタ63をどの方向にどれくらい変化させれば良いか容易に計算できるので、位相測定器を備えていることが好ましい。また、可変キャパシタではなく可変インダクタ67を調整して共振させてもよい。

【0028】

このようにして共振を実現した後、次の手順で電極の共振位置を調整する。電極5, 3の共振状態での位相位置を調整するには、上部電極3の上部に設けられた電気長調整部5

10

20

30

40

50

0 と下部電極の下に設けられた電気長調整部 70 を使って、上下電極の位相位置を変える。なお、電気長調整部 50, 70 は、それぞれ電極位相位置調整手段を構成している。このように上下電極の位相位置が変わると、上下電極での電圧と電流の比が変わり、プラズマを望ましい状態に変化させることができる。

【0029】

図3は、電極の位相位置調整を示す図である。一端がショートされ電極が中心部付近にある分布常数回路では1/2波長の整数倍の長さが無いと上手く共振しない。さらに電極付近が電流ピークになるには、1波長の中心付近に電極が位置する必要がある。可変キャパシタは短絡の回路端を短くする(実効長さを長くする)効果があるため、キャパシタの大きさを変化させ共振回路の実効長さを変えることができる。図3の30bを参照すると、可変キャパシタ位置Bから可変キャパシタ位置Cまでの「実際の電送線長さ」が1波長の共振回路長さより長い。この場合でも、キャパシタの値を適当に変更することにより、見かけの共振回路長さを1波長分と同じである共振端部E, Dまでの「見かけの電送線長さ」にすることができる。

10

【0030】

さらに、このような可変キャパシタを用いると、上下のキャパシタ値のバランスを調整することで、図3の30aに示す電極位置Aを電流ピーク位置に配置することができる。キャパシタでなくインダクタを変えても同様の調整ができる。なお、共振回路の一方をオープン、他方をショートにすれば、半波長で共振を起こさせることができる。

【0031】

本実施形態では、下部電極に共振調整部60と電気長調整部70とを設けたが、どちらか一方を省略してもよい。例えば電気長調整部70を省略した場合、残された共振調整部60は共振と電気長調整の両方の役割を果たす。こうすれば装置が簡便化してコストが低下し、さらに共振調整と電気長調整を同じ所で行うため、調整がすばやくできるようになる。

20

【0032】

共振の実効線路長さの調整及び電極位置の調整方法の基礎となる考えを、式を用いて説明する。

【0033】

Lは両線単位長さ当りのインダクタンス、Cは両線間の単位長さ当りの静電容量、Rは両線の単位長さ当りの往復導線抵抗、Sは両線間の単位長さ当りの漏洩コンダクタンスとする。左端電源側より測ってyなる距離にある導線上の点において、 E_y を両線間の電位差、 I_y を導線上の電流とすると、次の式が得られる。

30

【0034】

$$\begin{aligned} -dE_y/dy &= (R + j\omega L) \cdot I_y = Z \cdot I_y \\ -dI_y/dy &= (S + j\omega C) \cdot E_y = Y \cdot E_y \end{aligned}$$

この式を解くと、次の式が得られる。

【0035】

【数2】

$$E_y = K_1 \sinh \gamma y + K_2 \cosh \gamma y \quad \gamma = \sqrt{YZ}$$

40

$$I_y = -(1/Z_0)(K_1 \cosh \gamma y + K_2 \sinh \gamma y)$$

【0036】

送電端すなわちy=0における電位および電流を各々 E_0 および I_0 とすれば、次の式(1)が得られる。

【0037】

【数3】

$$\begin{bmatrix} E_y \\ I_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma y & -Z_\omega \sinh \gamma y \\ -(1/Z_\omega) \sinh \gamma y & \cosh \gamma y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_s \\ I_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

【0038】

次に、受電端すなわち $y = 1$ における電圧および電流を E_r および I_r とすると、次の式 (2) が得られる。

【0039】

【数4】

$$\begin{bmatrix} E_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma \ell & -Z_\omega \sinh \gamma \ell \\ -(1/Z_\omega) \sinh \gamma \ell & \cosh \gamma \ell \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_r \\ I_r \end{bmatrix} \quad (2) \quad 10$$

【0040】

受電端短絡の場合、 $E_r = 0$ となる。従って、式 (2) より以下の式が得られる。

【0041】

【数5】

$$I_s = (\cos \beta \ell / j Z_\omega \cdot \sin \beta \ell) E_s$$

【0042】

ただし、無損失として $R = 0$ 、 $S = 0$ で、

20

【0043】

【数6】

$$Z_\omega = \sqrt{Z/Y} = \sqrt{L/C} \quad , \quad \alpha = 0, \quad \beta = \omega \sqrt{LC}$$

【0044】

これを式 (2) に代入すると、次の式 (3) が得られる。

【0045】

【数7】

$$\begin{cases} E_y = (\sin \beta (\ell - y) / \sin \beta \ell) E_s \\ I_y = -j (\cos \beta (\ell - y) / Z_\omega \cdot \sin \beta \ell) E_s \end{cases} \quad (3) \quad 30$$

【0046】

y 点を右から見た impedance である式 (3) について $1 - y = x$ を用いると、送電端インピーダンス Z_x は次の純リアクタンスを得る。

【0047】

【数8】

$$Z = j Z_\omega \tan \beta x = j Z_\omega \tan (2 \pi x / \lambda)$$

【0048】

これより、 $x = \lambda / 2$ なる長さであればこの系は直列共振になる。

40

【0049】

この系を L で終端させた場合、 $E_r = j \omega L \cdot I_r$ との関係に基づき、導線は無損失とし、 l を x と考えて送電端の impedance: Z_x を求めると、

【0050】

【数9】

$$\begin{aligned} Z_x &= j Z_\omega (\omega L \cos \beta x + Z_\omega \sin \beta x) / (Z_\omega \cos \beta x - \omega L \sin \beta x) \\ &= j Z_\omega \tan (\beta x + \phi) = j Z_\omega \tan (\beta (x + x_L)) \end{aligned}$$

【0051】

ここで、

50

【 0 0 5 2 】

【 数 1 0 】

$$\phi = \tan^{-1} \omega L / Z_{\omega} \quad x_L = \phi / \beta \quad (4)$$

【 0 0 5 3 】

これは、 x_L だけ長い短絡共振線と同一の特性を持ち、短絡共振線を x_L だけ伸ばしたことと同等であることを意味している。

【 0 0 5 4 】

また、この系をCで終端させた場合、 $E_r = I_r / j$ Cとの関係に基づき、導線は無損失とし、 l を x と考えて送電端の impedance : Z_x を求めると、

【 0 0 5 5 】

【 数 1 1 】

$$\begin{aligned} Z_x &= j Z_{\omega} (\cos \beta x / \omega C + Z_{\omega} \sin \beta x) / (Z_{\omega} \cos \beta x - \sin \beta x / \omega C) \\ &= j Z_{\omega} \tan (\beta x - \theta) = j Z_{\omega} \tan (\beta (x - x_c)) \end{aligned}$$

【 0 0 5 6 】

【 数 1 2 】

$$\theta = \tan^{-1} l / Z_{\omega} \omega C \quad x_c = \theta / \beta \quad (5)$$

【 0 0 5 7 】

これは、 x_L だけ短い短絡共振線と同一の特性を持ち、短絡共振線を x_L だけ短縮したことと同等であることを意味している。

【 0 0 5 8 】

この線路長さの変更は、式(4)や式(5)で示されている。これを図示すると図4のようになる。 L や C で終端した場合の実効距離の変化は終端するキャパシタンスやインダクタンスの大きさと線路の特性インピーダンスと電源周波数で決まる。このため、例えば下部電極5側の可変キャパシタ73を変化させた場合、実効線路長さが変化して電極の位相位置が変わるが、線路長さが変わるため共振しなくなる。この線路長さの変化をキャンセルして共振を維持するには、上部電極3側の可変キャパシタ53を反対方向に同量だけ変化させればよい。しかし、実際には線路の特性インピーダンスが場所により違っているため、これを考慮して式を満たすように変化させる必要がある。おおよその変化の目安はこのように計算できるが、実際にはプラズマ状態の変化など計算できないものがある。このため、計算値により大まかな調整を行うにしても、細部の調整には共振を満たすように電流電圧状態をモニターして、それに応じて回路状態を調整しながら電極位置を目的の電流電圧の状態にさせていく必要がある。

【 0 0 5 9 】

実際の調整では次のように行うが、整合回路や共振回路の調整と似た点が多く考え方のみ示す。 I_{pp} 検出器71と V_{pp} 検出器72の位相距離の差、及び上部下部電極3、5までの位相距離を予め計算し、さらに測定によってその位相距離を確かめておく。そして I_{pp} 検出器71や V_{pp} 検出器72で測定した値から上下電極3、5での V_{pp} (電圧)と I_{pp} (電流)の比が予め設定した望ましい値になるように可変キャパシタ73や可変インダクタ77を変化させる。この変化に応じて上部電極側の可変キャパシタ53や可変インダクタ77を変え、必要であれば共振調整部60も変える。

【 0 0 6 0 】

次に、図5、図6と図1を用いて、装置構造上注意すべき点と上部電極3側、下部電極5側どちらに共振回路用の共振調整部や電気長調整部を設けてもかまわないことを説明する。図において符号8は上部電極導電棒を示しており、この表面を高周波の導電電流8aが流れる。さらにこの導電電流8aは上部電極3の表面を上部電極外部電流3aとして流れ、さらに上部電極プラズマ側電流12bとなって上部電極3の表面を流れる。この電流は行き場が無いいため電荷が電極表面に溜まり、この電荷に誘起された電界に従い上部シ-

10

20

30

40

50

ス12には変位電流、イオン電流、電子電流の合計を示す上部シース電流12aが流れる。プラズマ15は同電位であり、この上部シース電流12aに応じた導電電流であるプラズマ電流15aが流れ、電極の反対側の下部電極シース13に電界を発生させ、この電界に応じた変位電流とイオン電流と電子電流の合計である下部シース電流13aが流れる。この電流及び電圧により、下部電極5の表面には下部電極プラズマ側電流13bが流れ、さらにこれが下部電極外部電流5a及び導入棒電流9aとなって流れ出す。電流保存則より、上部シース電流12aと下部シース電流13aの電流値は同じになっている。この一定の電流値は、例えば電極の一方がアースされている対称電界においても保たれる。従って、上部電極側に共振回路を設けても、下部電極側に共振回路を設けても上下電極が共振回路内に含まれるように設定すればどちらに共振回路を設けてもかまわない。

10

【0061】

しかし、実際にはこのような電流ではなく、図6に示すように一部の電流は電極以外に逃げる。すなわち、上部電極外部電流3aの一部は外導線の役割を果たす上部電極シールド7aからアースへ電流7c1, 7b1として逃げ、上部電極外部電流3aの値は下部電極外部電流5aの値より大きい。また下部電極でも下部電極外部電流5aの一部は、下部電極シールド7へ逃げるので、下部電極導入棒9の表面を流れる導入棒電流9aはさらに小さくなる。しかし、共振状態になれば、共振線路のインピーダンスはゼロに近づくので、この寄生容量に逃げる電流量は減る。

【0062】

しかし、寄生容量に逃げる電流、すなわち皮相電力は、その分電極にかかる電流や電圧の大きさを小さくする。このため、上部電極シールド7aや下部電極シールド7の寄生容量が小さくなるように電極とシールドのギャップを広げ、対向する面積を小さくするなどして容量を下げるのが好ましい。

20

【0063】

共振状態が実現されれば、電極でのインピーダンスは下がり共振端部で電力は反射される。一方、整合回路により共振部に電流が反射されること無く流れ込むため、電流が共振部に溜まり、共振部におかれた上下電極の間のプラズマで効率良くパワーが消費される。

【0064】

次に、電流最大と電圧最大モードの状態について説明する。

【0065】

図7の70aは電流最大モードを示している。電流最大モードでは、本来は電極とシールドとの間の電位差を示すA1や、シールド付近の薄いプラズマと電極との間の電位差A3はほとんど無視できる値であるはずである。また、電流が溜まらなければ電極間の電圧A2も小さいはずである。しかし、実際にはプラズマと上部電極間、プラズマと下部電極間には余り電流が流れず、ほとんどが変位電流となり、電荷が電極やプラズマの表面に蓄積し、大きな電圧が生まれる。

30

【0066】

一方、プラズマ内では変位電流はほとんど流れず大きな伝導電流が流れ、効率良くイオン化が起こる。また、電流の一部は実電流としてプラズマに流れ込むが、残りの電流は電極の外周から内周に流れ込むため、電極長さの位相差分だけ電極周辺と電極中心で電位差が生じる。電極中心が電流最大・電圧最小になっている場合、外周ほど電極電位とプラズマ電位の差が大きくなり電極中心より電極外周で大きなプラズマ生成密度が得られ、拡散により失われるプラズマを補う。このためより均一なプラズマ密度が得られやすい。しかし、波として伝わる電流が電極中心に集中する現象もありプラズマ密度は中心部が濃くなる。このように均一なプラズマが得られない時は後で述べるように電圧の割合を増やせば良い。

40

【0067】

ここで、電極間の電位差A2が大きくなるとシールドと電極との電位差A1やシールドとシールド付近のプラズマとの電位差A3が変化すること、及びそれに伴う影響を考える

50

【 0 0 6 8 】

電極中心が電圧ゼロの位相位置にある場合、上部電極での電圧と下部電極での電圧は絶対値が同じで符号が逆になる。プラズマは電極より低い電位にならず、プラズマ電位は電極間電位差の半分の大きさ、即ちゼロと peak 電位との間を変動することになる。この時、プラズマと同電位の電極ではプラズマ生成は起らないが、プラズマと逆電位の電極では peak - to - peak 電位と同じ電位が生まれ、プラズマが大量に発生する。

【 0 0 6 9 】

一方、外周部プラズマと電極との電位差は電極部分のシースで消費され、外周部プラズマの発生には寄与しない。また、上部電極 3、下部電極 5 の電位差が大きくなると、上下電極と外導線を構成するシールド 7、7a との電位差も大きくなるが、シールドと電極との間には絶縁物があるため、シールドと電極との間の電位差 A1 が大きくなってもプラズマは発生しない。

10

【 0 0 7 0 】

しかし、電極間電位差の半分の大きさで変動する外周部プラズマとシールド間の電位差 A3 が問題になる。シールドが完全に接地されていればシールドの電位はゼロである。すでに考察したように外周部プラズマの電位は電極での peak - to - peak 電位の半分の値で変動し、シールドと外周部プラズマの電位差は電極とプラズマの電位差の半分になり、電極部ほどではないにしてもプラズマが発生する。ただし、プラズマが十分減衰してプラズマがシールド部で消滅していればこのような電位差は生まれませんが、本実施形態の手法だけでは外周部でのプラズマ減衰を十分に行えず、プラズマの発生を抑制できない。

20

【 0 0 7 1 】

図 7 の 70b は電圧最大モードを示している。この場合、電極電圧は大きく振れるが、この電圧は電極とシールドとの間の電圧 B1 や B3 にかかり、Peak - to - peak 電位の半分で変動する外周部プラズマとシールドとの間にプラズマが発生する。これに対し、B2 で示される電圧はほとんどゼロであるはずである。しかし、実際にはプラズマは接触している部分の電位より高くなることはできないので、peak - to - peak 電位の半分の電位差がプラズマと電極との間にかかることになる。実際には外導線（シールド）は内導線（電極）と 180° 位相のずれた電流と電圧が流れているので、この考察では不十分であるが、定性的には同じになる。

30

【 0 0 7 2 】

内導線（電極）と外導線（シールド）を十分離せば、電流最大モードでの内導線での電圧の上昇が外導線に与える影響は少ない。問題は電流最大モードで電極間に生じた電圧が電圧に応じた電流を生むことである。これは、次のように考えれば良い。電極の近くに電極とインピーダンスの絶対値が同じで極性が逆のインダクタを繋ぐと、インダクタで生まれる電圧は、電極で生まれる電圧と相互にキャンセルされる。このようにするのが望ましいが、これがなくても、図 2 の電気長調整部 70 は同様の働きをし、電極で発生した電圧をキャンセルして他に及ばない働きをさせることができる。

【 0 0 7 3 】

以上を纏めると次のようになる。電流最大モードでは電極でのプラズマは peak - to - peak 電位に基づき発生し、周辺では peak - to - peak 電位の半分で生成される。一方、電圧最大モードでは電極部でも周辺部でも peak - to - peak 電位の半分でプラズマが生成される。このように電圧の割合を増やしていくと、電流最大モードに比べて外周部のプラズマ密度が上昇し、中心部でプラズマ密度が下がる。こうして、プラズマ密度の均一化を共振状態での電流と電圧との比、即ち共振回路上での電極の位置を変化させることにより変えることができる。

40

【 0 0 7 4 】

電流最大モードで分布が取れない場合、電極を短絡端とみなされる位相位置である電流最大モードでの位相位置から $\pm 1/20$ 波長分ずらせば電流 / 電圧比は 3 / 1 程度になり最初エッチングの面内分布が $\pm 15\%$ だったのが $\pm 4\%$ に改善する。

50

【0075】

上部電極3の電源周波数に対して、下部電極5をアースに落ちるように設定しておく場合、すなわち下部電極5が外導体の役割を担う場合には、今までの説明とは逆に上部電極3では電圧最大モードにする必要がある。しかし、この場合には共振状態では上部電極が開放端になっているため、電圧最大は自動的に達成できる。実際には、完全な外導体になることは無く、キャパシタの要素が多少とも入る。このため電圧最大に調整する余地が生じる。今までの説明でこの実現は可能であるが、詳しい説明は省く。

【0076】

電圧最大モードで分布が取れない場合、電極を短絡端とみなされる位相位置である電圧最大モードとなる位相位置から $\pm 1/20$ 波長分ずらせば電流/電圧比は $1/3$ 程度になり最初エッチングの面内分布が $\pm 10\%$ だったのが $\pm 4\%$ に改善する。

10

【0077】

以上説明したように、本実施形態では可変キャパシタや可変インダクタを設けて位相位置を調整したが、計算又は実験により電極の位相位置が最適になるよう装置の電気回路長さを設定して、共振させても良い。この場合、図1を例に取れば、共振を起こさせる電気長調整部50, 70は不用になり、当該部分でのキャパシタやインダクタを省略するか、固定のキャパシタやインダクタを用いることが可能になる。また、望ましい共振位相位置に電極を持ってくるため、電極棒の長さを望ましい値になるように設計することもできる。

【0078】

また、説明を簡単にするため、整合回路からアースまでの間で共振が起るとしたが、整合回路から電極や電気長調整部を経て整合回路に戻る全経路での回路長さを考え、そこでの共振を考慮することがより好ましい。

20

【0079】

以上説明したように、本実施形態によれば、共振状態において電極が共振における位相のどの位置を占めるかを決定でき、例えば電流値を大きくしたり電圧値を大きくしたりすることができる。また、位相位置を選べることで、プラズマ処理の再現性を高めるだけでなく、高いプラズマ密度等のプラズマ状態を決めることができる。

【0080】

このように、本実施形態によれば、プラズマ状態を精度良く制御できる、使いよく信頼性の高いプラズマ表面処理装置を提供することができる。

30

【0081】

上述した手法を低いガス圧での放電開始や維持に使えることは勿論である。電極間の電圧が高くなるため、放電が開始しにくい低気圧においても容易に放電開始できる。このため、例えばエッチング処理する場合にイオンの斜め入射量が減り、アスペクト比が高いコンタクトホールにおいてもポーイングの無い望ましいエッチング形状が得られるという効果がある。また、プラズマ密度が増すため、高速でしかもアスペクト比の高いコンタクトホールなどを高い選択比でエッチングできる。

【0082】

本実施形態ではプラズマ装置一般を例にとって説明した。しかし、本実施形態はプラズマを利用するエッチング装置、スパッタリング、プラズマCVD、アッシング、表面酸化、窒化や表面の酸化物等の化合物を取り除く表面改質装置等にも適用できることは明らかである。

40

【0083】

以上、本発明の好ましい実施形態を添付図面の参照により説明したが、本発明はかかる実施形態に限定されるものではなく、請求の範囲の記載から把握される技術的範囲において種々な形態に変更可能である。

【0084】

本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、本発明の範囲を公にするために

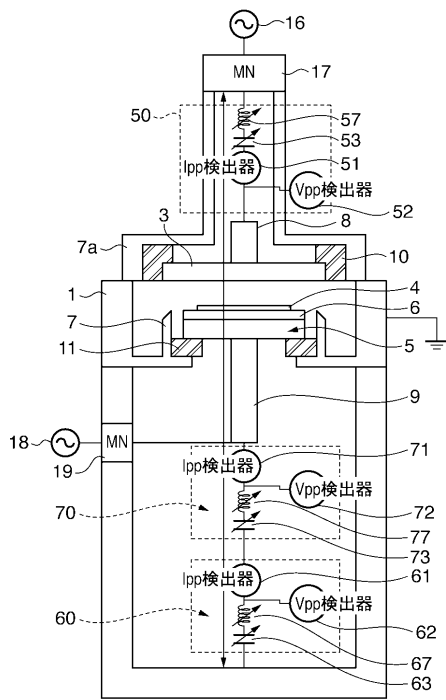
50

、以下の請求項を添付する。

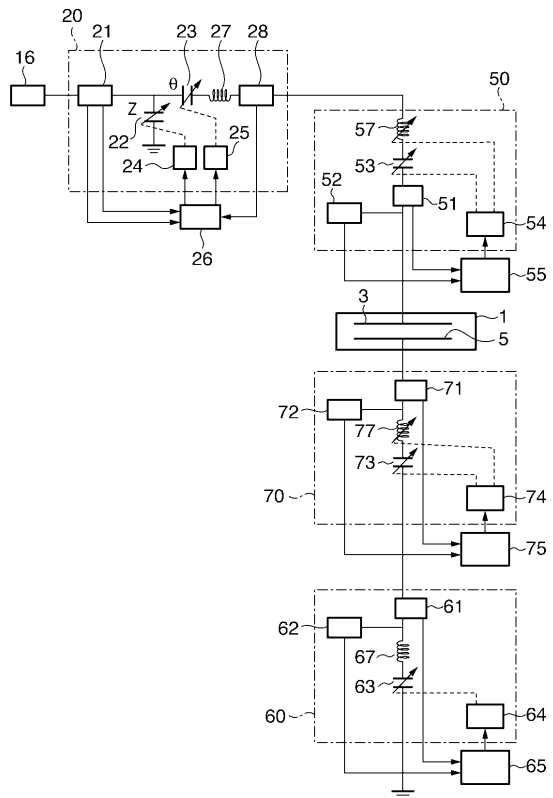
【0085】

本願は、2007年7月4日提出の日本国特許出願特願2007-176287を基礎として優先権を主張するものであり、その記載内容の全てを、ここに援用する。

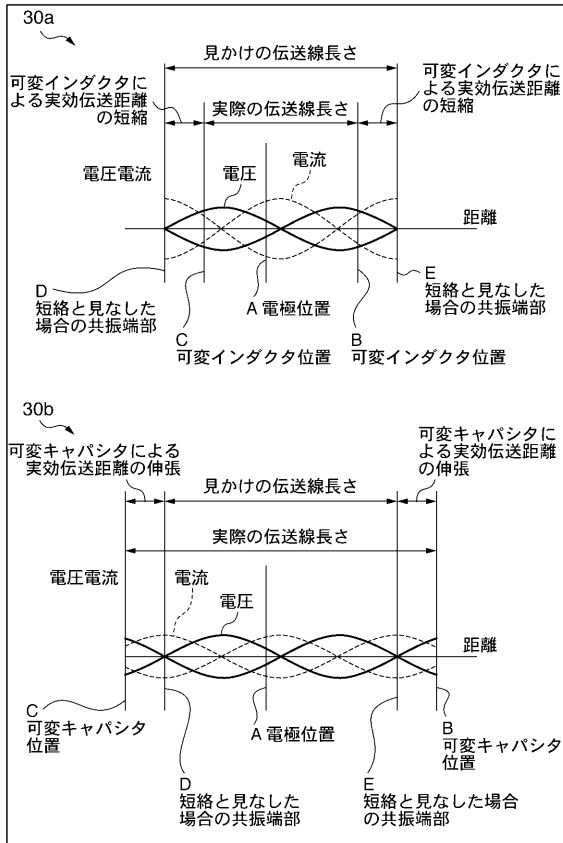
【図1】



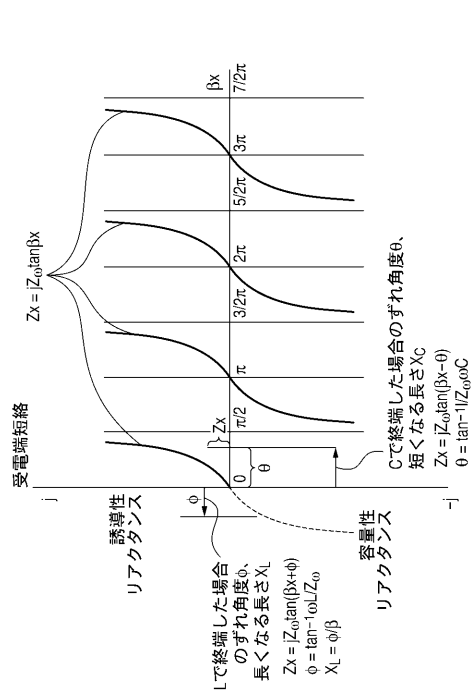
【図2】



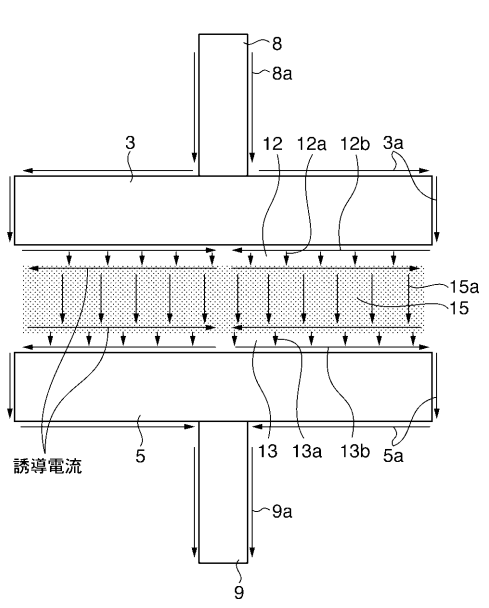
【図3】



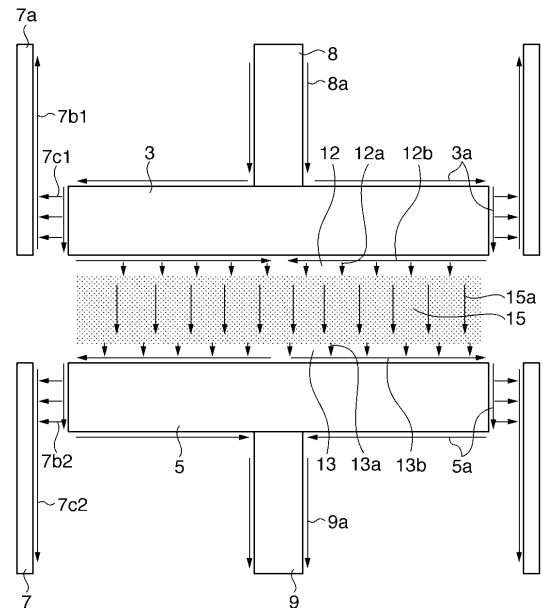
【図4】



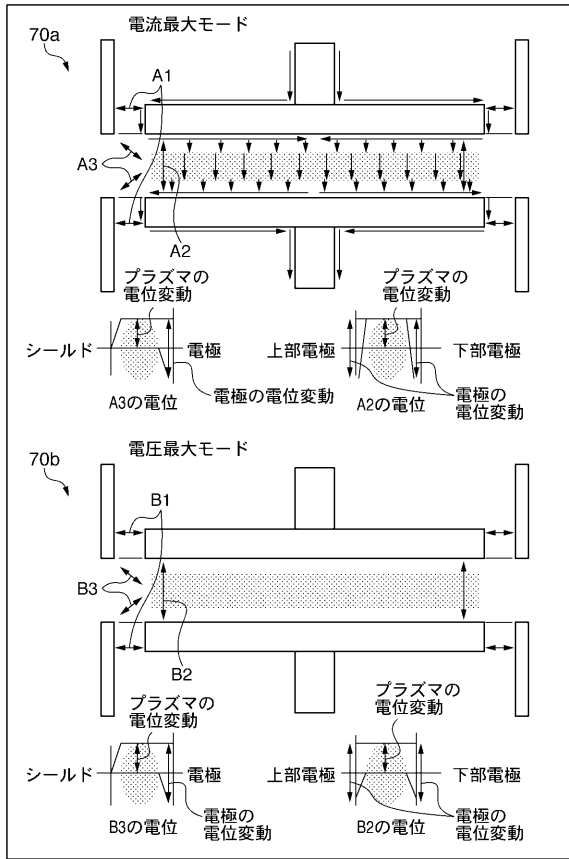
【図5】



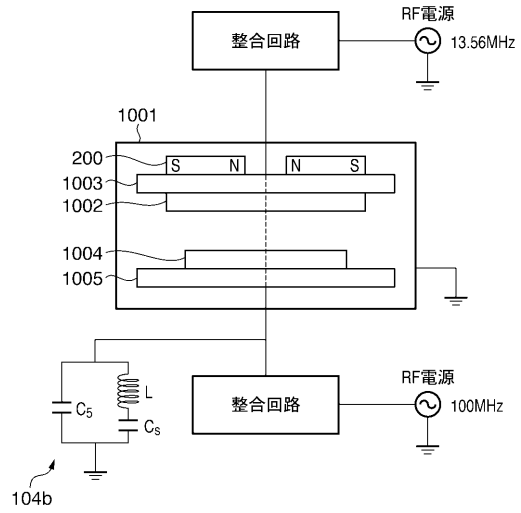
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 5 H 1/46 R

(72)発明者 香村 由紀
〒215-8550 神奈川県川崎市麻生区栗木2-5-1 キヤノンアネルパ株式会社内

(72)発明者 新野 靖
〒215-8550 神奈川県川崎市麻生区栗木2-5-1 キヤノンアネルパ株式会社内

審査官 宮崎 園子

(56)参考文献 特開平11-185998(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065