

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 12 月 31 日(31.12.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/208288 A1

- (51) 国際特許分類:
H05H 1/46 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
C23C 16/509 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/064680
- (22) 国際出願日: 2014 年 6 月 3 日(03.06.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-131425 2013 年 6 月 24 日(24.06.2013) JP
- (71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社(TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP). シャープ株式会社 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 花輪 健一(HANAWA Kenichi); 〒4078511 山梨県韮崎市藤井町北下条 2 3 8 1-1 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 出道 仁彦(DEMICHKI Kimihiko); 〒4078511 山梨県韮崎市藤井町北下条 2 3 8 1-1 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 東川 誠(HIGASHIKAWA Makoto); 〒5458522 大阪府大阪

市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内 Osaka (JP). 栗原 正典(KURIHARA Masanori); 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 渡邊 和浩, 外(WATANABE Kazuhiro et al.); 〒2520231 神奈川県相模原市中央区相模原 2 丁目 1 3 番 2 号 服部相模原ビル 7 0 3 Kanagawa (JP).

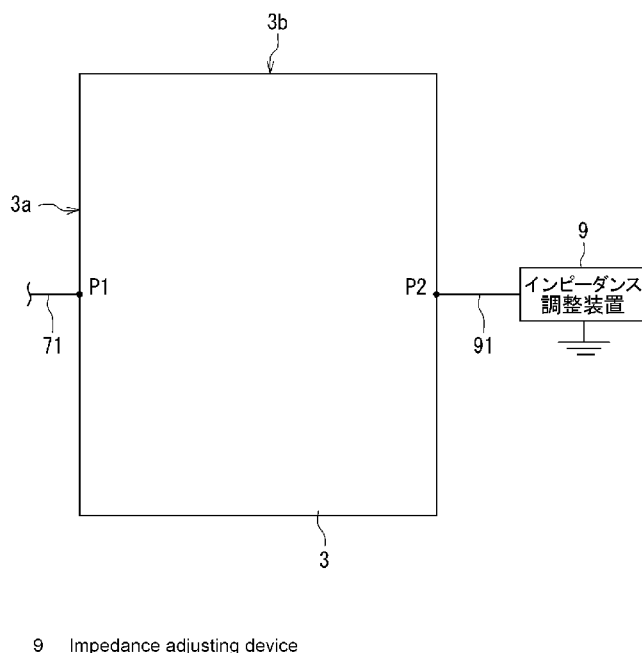
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

[続葉有]

(54) Title: PLASMA PROCESSING DEVICE AND PLASMA PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法



(57) Abstract: A plasma processing device (100) comprises: a processing container (1) housing a rectangular substrate (S) and capable of being vacuumed; an upper electrode (3) and a lower electrode (5) disposed facing each other; a high-frequency power supply (7) for supplying a high-frequency power to the upper electrode (3); and an impedance adjusting device (9) for adjusting the impedance of the upper electrode (3). The upper electrode (3) has a rectangular shape with long sides (3a) and short sides (3b). In the upper electrode (3), a feeding region (P1) to which the high-frequency power is supplied from the high-frequency power supply (7) via a feeder line (71) and a connection region (P2) to which the impedance adjusting device (9) is connected via a wire (91) are formed on mutually opposite sides of a facing surface (37) of the upper electrode (3), said facing surface (37) facing the lower electrode (5). The feeding region (P1) and the connection region (P2) are provided on the respective side portions of the long sides (3a) of the upper electrode (3).

(57) 要約: プラズマ処理装置 (100) は、矩形の基板 (S) を収容する真空引き可能な処理容器 (1) と、互に対向して配置される上部電極 (3) 及び下部電極 (5) と、上部電極 (3) に高周波電力を供給する高周波電源 (7) と、上部電極 (3) のインピーダンスを調整するインピーダンス調整装置 (9) を備えている。上部電極

(3) は、長辺 (3a) と短辺 (3b) とを有する矩形をなしている。上部電極 (3) において、高周波電源 (7) から給電線 (71) を介して高周波電力が供給される給電部位 (P1) と、配線 (91) を介してインピーダンス調整装置 (9) が接続される接続部位 (P2) とは、上部電極 (3) における下部電極 (5) との対向面 (37) を間に挟んで、それぞれ反対側に形成されている。給電部位 (P1) 及び接続部位 (P2) は、いずれも上部電極 (3) の長辺 (3a) の側部に設けられている。

WO 2014/208288 A1



GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

技術分野

[0001] 本発明は、被処理体に対してプラズマ処理を行うプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関する。

背景技術

[0002] 液晶ディスプレイ（LCD）に代表されるフラットパネルディスプレイ（FPD）や太陽電池などの製造過程においては、大型基板に対し、エッチングや成膜等の所定の処理が施される。このような処理に用いるプラズマ処理装置として、平行平板型プラズマ処理装置が知られている。

[0003] 平行平板型のプラズマ処理装置を用いて大型で大面積の基板の処理を行う場合、基板の面内での処理の均一性を確保することが重要になる。例えば、特許文献1（日本国特開平11-243062号公報）では、大面積の基板上に均一な厚みで均質な堆積膜を形成するため、長尺な板状又は棒状の電極の給電点とは反対側に、反射波電力の位相を調整する位相調整回路を接続したプラズマCVD装置が提案されている。そして、特許文献1では、一枚の基板上に、複数の長尺な高周波電極を配置することによって、基板面内での処理の均一化を図っている。

[0004] 大型基板に対する処理効率を高めるため、平行平板電極を多段に積層したバッチ式の平行平板型プラズマ処理装置が検討されている。このような多段バッチ式の平行平板型プラズマ処理装置では、複数のカソードのそれぞれに対してプラズマ励起用の高周波電力を印加する必要がある。しかし、多段バッチ式の平行平板型プラズマ処理装置では、複数組の平行平板電極を処理容器内に積層して配置しなければならないため、カソードへの高周波電力の給電位置が制約される。具体的には、積層された複数のカソードへ高周波電力を供給するために、例えばカソードの片側に偏在して給電部位が設けられることになる。そのため、カソードにおける高周波電力の均一な供給が困難と

なり、大型基板の面内での処理の均一性を確保することが枚葉式のプラズマ処理装置に比べて難しいという問題があった。

発明の概要

[0005] 本発明は、基板面内での処理の均一性を確保できるプラズマ処理装置を提供する。

[0006] 本発明のプラズマ処理装置は、真空引き可能な処理容器と、前記処理容器内において、基板を間に挟んで互いに対向して配置されるカソード電極及びアノード電極と、を備えている。また、本発明のプラズマ処理装置は、前記カソード電極に高周波電力を供給する第1の高周波電源と、前記カソード電極に接続されて該カソード電極のインピーダンスを調整する一つ又は複数のインピーダンス調整装置と、を備えている。本発明のプラズマ処理装置は、前記カソード電極において、前記高周波電力が供給される給電部位と、前記インピーダンス調整装置が接続される接続部位のうち、少なくとも一つの接続部位とが、前記カソード電極における前記アノード電極との対向面を間に挟んで、それぞれ反対側に形成されている。

[0007] 本発明のプラズマ処理装置は、一つの前記カソード電極と一つの前記アノード電極とが対をなして一つのプラズマ処理部を形成していてもよく、前記処理容器内に複数の前記プラズマ処理部が積層されて配置されていてもよい。

[0008] 本発明のプラズマ処理装置において、前記カソード電極は、平面視四角形をなしていてもよく、前記給電部位が、該四角形の一辺をなす前記カソード電極の側部に設けられていてもよい。そして、本発明のプラズマ処理装置は、少なくとも一つの前記接続部位が、前記四角形の一辺とは隣接しない反対側の一辺をなす前記カソード電極の側部に設けられていてもよい。

[0009] 本発明のプラズマ処理装置は、一つの前記カソード電極に対し、複数の前記インピーダンス調整装置が接続されていてもよい。この場合、本発明のプラズマ処理装置において、前記カソード電極は、平面視四角形をなしていてもよく、前記給電部位が、該四角形の一辺をなす前記カソード電極の側部に

設けられていてもよい。そして、本発明のプラズマ処理装置は、前記接続部位が、前記四角形の一辺とは隣接しない反対側の一辺をなす前記カソード電極の側部の複数箇所に設けられていてもよい。この場合、少なくとも2つの前記接続部位は、前記給電部位からの距離が等しくなるように対称な位置に設けられていてもよい。

[0010] 本発明のプラズマ処理装置は、前記インピーダンス調整装置を介して前記カソード電極に高周波電力を供給する第2の高周波電源をさらに備えていてもよい。

[0011] 本発明のプラズマ処理装置において、前記インピーダンス調整装置は、誘導性素子と容量性素子との組み合わせを含むものであってもよい。

[0012] 本発明のプラズマ処理装置は、前記誘導性素子が可変誘導性素子であってもよい。

[0013] 本発明のプラズマ処理装置は、前記容量性素子が可変容量性素子であってもよい。

[0014] 本発明のプラズマ処理方法は、上記いずれかのプラズマ処理装置において、前記カソード電極とアノード電極との間に基板を配置してプラズマ処理を行う。

[0015] 本発明のプラズマ処理装置は、カソード電極において、高周波電力が供給される給電部位と、カソード電極のインピーダンスを調整するインピーダンス調整装置が接続される接続部位とを、カソード電極におけるアノード電極との対向面を間に挟んで、それぞれ反対側に形成した。これにより、本発明のプラズマ処理装置によれば、例えば大型で大面積の基板を処理する場合でも、基板面内での処理の均一性を確保できる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の第1の実施の形態に係るプラズマ処理装置の概略構成例を示す断面図である。

[図2]図1のプラズマ処理装置における上部電極とインピーダンス調整装置との接続状態を示す説明図である。

[図3A]インピーダンス調整装置における誘導性素子と容量性素子との好ましい組み合わせ例を示す図面である。

[図3B]インピーダンス調整装置における誘導性素子と容量性素子との好ましい組み合わせ例を示す図面である。

[図3C]インピーダンス調整装置における誘導性素子と容量性素子との好ましい組み合わせ例を示す図面である。

[図3D]インピーダンス調整装置における誘導性素子と容量性素子との好ましい組み合わせ例を示す図面である。

[図4]上部電極の面内における V_{pp} の大きさと給電部位からの距離との関係を示す特性図である。

[図5]第2の実施の形態における上部電極とインピーダンス調整装置との接続状態を示す説明図である。

[図6]第2の実施の形態の変形例における上部電極とインピーダンス調整装置との接続状態を示す説明図である。

[図7]実験例2における基板上の測定ポイントと、上部電極におけるインピーダンス調整装置の接続位置を説明する図面である。

[図8]実験例2における結晶化度の測定結果を示すグラフである。

[図9]実験例3における基板上の測定ポイントと、上部電極におけるインピーダンス調整装置の接続位置を説明する図面である。

[図10]実験例3における結晶化度の測定結果を示すグラフである。

[図11]第3の実施の形態における上部電極とインピーダンス調整装置との接続状態を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、添付図面を参照しながら本発明の実施の形態に係るプラズマ処理装置について説明する。

[0018] <第1の実施の形態>

図1は、本発明の第1の実施の形態に係るプラズマ処理装置の概略構成例を示す断面図である。図1に示すように、プラズマ処理装置100は、被処

理体である矩形の基板Sを収容する真空引き可能な処理容器1と、処理容器1内において、互いに対向して配置されるカソード電極としての上部電極3及びアノード電極としての下部電極5と、を備えている。また、プラズマ処理装置100は、上部電極3に高周波電力を供給する第1の高周波電源としての高周波電源7と、上部電極3に接続されて該上部電極3のインピーダンスを調整するインピーダンス調整装置9と、プラズマ処理装置100の各構成部を制御する制御部60と、を備えている。プラズマ処理装置100は、複数の基板Sに対して同時に、例えば成膜、エッチングなどを行なうバッチ式の平行平板型プラズマ処理装置として構成されている。なお、基板Sとしては、例えばF P D用のガラス基板や太陽電池用基板などを挙げることができる。F P Dとしては、液晶ディスプレイ（L C D）、エレクトロルミネセンス（Electro Luminescence；E L）ディスプレイ、プラズマディスプレイパネル（P D P）等が例示される。本実施の形態のプラズマ処理装置100は、例えば短辺の長さが1 mを超える大型の基板Sの処理に適している。

[0019] <処理容器>

処理容器1は、真空引き可能な箱型をなしている。この処理容器1は接地されている。処理容器1は、例えば、アルミニウム、アルミニウム合金、ステンレス等の金属が用いられる。処理容器1は、天井部11、角筒状の側壁部13及び底壁部15を備えている。側壁部13には、基板Sの搬入搬出時に開閉される図示しない開口が設けられており、該開口はゲートバルブによって開閉される。また、底壁部15には、排気口15aが形成されている。この排気口15aは、排気管23を介して排気装置21に接続されている。なお、排気口は、底壁部15に限らず、例えば天井部11に設けてもよい。

[0020] <平行平板電極>

上部電極3及び下部電極5は、互いに平行に配置され、対をなして平行平板電極を構成している。上部電極3及び下部電極5は、いずれも、例えば、アルミニウム、アルミニウム合金、ステンレス等の金属によって形成されている。

[0021] 上部電極 3 は、処理容器 1 内にガスを導入するシャワーヘッドとしての機能を有している。すなわち、上部電極 3 は中空状をなし、その内部には、ガス拡散空間 31 が設けられている。また、上部電極 3 の下面には、処理ガスを吐出する複数のガス吐出孔 33 が形成されている。さらに、上部電極 3 の側部には、ガス拡散空間 31 に連通するガス導入部 35 が設けられている。また、上部電極 3 の下面は、下部電極 5 との対向面 37 を形成している。なお、上部電極 3 は、シャワーヘッドとしての機能を有さなくてもよく、例えば、ガス拡散空間 31 やガス吐出孔 33 を有しない平板状の金属プレートでもよい。

[0022] 下部電極 5 は、処理容器 1 の側壁部 13 に絶縁部材や導電部材（いずれも図示省略）によって固定されている。絶縁部材で固定されている場合は、導電部材で下部電極 5 と側壁部 13 との間の導通を図ってもよい。従って、下部電極 5 は接地電位となっている。図 1 では、下部電極 5 と側壁部 13 とが導通状態にあることを導通部 5a によって示している。下部電極 5 の上面、すなわち、上部電極 3 と対向する面は、基板 S を載置する基板載置面となっている。なお、下部電極 5 は、その基板載置面に対して突没可能な複数の基板支持ピン（図示省略）を有しており、この基板支持ピンを利用して外部の搬送装置との間で基板 S の受け渡しを行うことができる。

[0023] <プラズマ処理部>

本実施の形態のプラズマ処理装置 100 では、一つの上部電極 3 と一つの下部電極 5 とが対をなして一つのプラズマ処理部 10 を構成している。処理容器 1 内には、複数のプラズマ処理部 10 が多段に積層されて配置されている。これにより、プラズマ処理装置 100 では、複数枚の基板 S を同時にバッチ処理することが可能になっている。処理容器 1 内におけるプラズマ処理部 10 の数は、例えば 3 ～ 20 の範囲内とすることができる。

[0024] <高周波電源>

上部電極 3 には、給電線 71 が接続されている。この給電線 71 には、整合器 73 を介してプラズマ形成用の高周波電源 7 が接続されている。これに

より、高周波電源 7 から例えば 13.56 MHz の高周波電力が、上部電極 3 に供給される。給電線 71 は、処理容器 1 の側壁部 13 に形成された給電用開口 13a を介して処理容器 1 内に導入されている。なお、給電用開口 13a の周囲は図示しないベローズなどの真空保持手段が設けられている。また、高周波電力の周波数は、例えば、11 MHz、27.12 MHz、40.68 MHz、60 MHz などでもよい。

[0025] 整合器 73 内には、一端側が例えば同軸ケーブルを介して高周波電源 7 に接続された整合回路（図示省略）が設けられており、この整合回路の他端側は給電線 71 を介して上部電極 3 に接続されている。整合回路はプラズマのインピーダンスに合わせて負荷（プラズマ）と高周波電源 7 との間におけるインピーダンス調整（マッチング）を行い、プラズマ処理装置 100 の回路内に発生した反射波を減衰させる役割を果たす。

[0026] <インピーダンス調整装置>

本実施の形態のプラズマ処理装置 100 は、上部電極 3 毎に、上部電極 3 のインピーダンスを調整するインピーダンス調整装置 9 を備えている。各上部電極 3 には、配線 91 を介してインピーダンス調整装置 9 が接続されている。インピーダンス調整装置 9 は接地されている。ただし、インピーダンス調整装置 9 の接地は必須ではなく、アノード電極としての下部電極 5 と電氣的に接続されていればよい。例えば、図 1 に示したように、処理容器 1 の側壁部 13 に下部電極 5 が導通可能に接続され、かつ、処理容器 1 が接地されている場合、下部電極 5 が接地されていることになり、インピーダンス調整装置 9 も接地される。

[0027] 図 2 は、上部電極 3 とインピーダンス調整装置 9 との接続状態を示す説明図である。図 2 では、上部電極 3 の平面図とともに、上部電極 3 に給電線 71 が接続される給電部位 P1 と、上部電極 3 に配線 91 を介してインピーダンス調整装置 9 が接続される接続部位 P2 とを示している。

[0028] 図 2 に示すように、上部電極 3 は、四角形、例えば長辺 3a と短辺 3b とを有する矩形をなしている。上部電極 3 において、高周波電源 7 から給電線

71を介して高周波電力が供給される給電部位P1と、配線91を介してインピーダンス調整装置9が接続される接続部位P2とは、上部電極3における下部電極5との対向面37（図1を参照）を間に挟んで、それぞれ反対側の側部に形成されている。給電部位P1及び接続部位P2は、いずれも上部電極3の長辺3aの側部に設けられている。本実施の形態では、給電部位P1及び接続部位P2は、上部電極3の長辺3aを2等分する中点付近に設けられている。

[0029] インピーダンス調整装置9は、誘導性素子と容量性素子との組み合わせを含むことができる。誘導性素子としては、例えば、ループコイル、ソレノイドコイルや直線状線材などを用いることができる。特に13.56MHz程度の高周波では、ループ状ではない直線状の線材でも誘電性素子として機能する。容量性素子としては、例えば、真空コンデンサ、セラミックコンデンサなどを用いることができる。誘導性素子は固定誘導性素子でもよいし、可変誘導性素子でもよい。また、容量性素子は、固定容量性素子でもよいし、可変容量性素子でもよい。図3A～図3Dは、インピーダンス調整装置9における誘導性素子と容量性素子との好ましい組み合わせを例示している。

[0030] 図3Aは、インピーダンス調整装置9として、インダクタンスを変化させることができる可変コイル93と、キャパシタンスを変化させることができる可変コンデンサ95とを直列接続した回路である。

[0031] 図3Bは、インピーダンス調整装置9として、固定コイル97と、キャパシタンスを変化させることができる可変コンデンサ95とを直列接続した回路である。

[0032] 図3Cは、インピーダンス調整装置9として、インダクタンスを変化させることができる可変コイル93と、固定コンデンサ99とを直列接続した回路である。

[0033] 図3Dは、インピーダンス調整装置9として、固定コイル97と、固定コンデンサ99とを直列接続した回路である。

[0034] なお、可変コイル93におけるインダクタンス及び可変コンデンサ95に

おけるキャパシタンスは、例えばステッピングモータ等の駆動手段を用いて調節可能であり、かつ、制御部 60 によって制御できるように構成されている。また、可変コイル 93 や可変コンデンサ 95 に、例えばダイヤルなどを設け、インダクタンスやキャパシタンスを手動で調整可能に構成してもよい。

[0035] 図 3 A～図 3 D に挙げた例は、いずれも、上部電極 3 とアースとの間で、インピーダンス調整装置 9 として誘導性素子と容量性素子との直列接続回路を設けている。しかし、インピーダンス調整装置 9 としては、上部電極 3 のインピーダンスを調整できる機能を有するものであれば、上記例示の回路構成に限るものではない。例えば、インピーダンス調整装置 9 は、インピーダンスを適切に調整できれば、誘導性素子又は容量性素子のどちらかを一つのみ含む構成でもよい。また、例えば、図 3 A～図 3 D に挙げた組み合わせにおいて、誘導性素子と容量性素子との接続順序を入れ替えて接続することも可能である。さらに、例えば、図 3 A～図 3 D に挙げた誘導性素子と容量性素子との直列接続の組み合わせに対し、他の誘導性素子又は容量性素子を、さらに直列に接続してもよいし、あるいは、並列に接続してもよい。

[0036] なお、本実施の形態のインピーダンス調整装置 9 は、上部電極 3 及び下部電極 5 による平行平板の容量成分、並びに、プラズマの容量成分に対して、それぞれ並列に接続されるため、これらの容量成分と共振しない領域で使用できる誘導性素子及び容量性素子を選択すればよい。

[0037] <排気機構>

プラズマ処理装置 100 は、さらに、処理容器 1 内を減圧排気する排気機構 20 を備えている。排気機構 20 は、例えば、ドライポンプ等の真空ポンプを有する排気装置 21 と、この排気装置 21 と排気口 15 a とを接続する排気管 23 とを備えている。排気装置 21 の真空ポンプを作動させることにより、処理容器 1 の内部空間が所定の真空度まで減圧排気される。

[0038] <ガス供給装置>

プラズマ処理装置 100 は、さらに、処理容器 1 内にガスを供給するガス

供給装置 40 を備えている。ガス供給装置 40 は、ガス供給源 41 と、ガス供給源 41 に接続され、処理容器 1 内に処理ガスを導入する複数の配管 43（1 本のみ図示）と、これら配管 43 に設けられた複数のバルブ 45（2 つのみ図示）と、マスフローコントローラ（MFC）47 とを備えている。複数の配管 43 は、処理容器 1 の側壁部 13 のガス導入部 13b を介して、上部電極 3 の側部に設けられたガス導入部 35 に接続されている。従って、ガス供給源 41 から、配管 43、ガス導入部 13b、及びガス導入部 35 を介して、ガス拡散空間 31 へ処理ガスを供給できるように構成されている。ガス拡散空間 31 に供給されるガスの種類や、これらのガスの流量等は、マスフローコントローラ 47 およびバルブ 45 の開閉によって制御される。なお、ガス供給装置 40 の代りに、プラズマ処理装置 100 の構成には含まれない外部のガス供給装置を使用してもよい

[0039] <制御部>

プラズマ処理装置 100 の各構成部は、それぞれ制御部 60 に接続されて、制御部 60 によって制御される。制御部 60 は、典型的にはコンピュータである。制御部 60 は、CPU を備えたコントローラ 61 と、このコントローラ 61 に接続されたユーザーインターフェース 62 および記憶部 63 とを備えている。

[0040] コントローラ 61 は、プラズマ処理装置 100 において、例えば高周波出力、整合器 73 によるインピーダンス整合、上部電極 3 のインピーダンス調整、処理容器 1 内の圧力、ガス流量等のプロセス条件に関する各構成部（例えば、高周波電源 7、整合器 73、インピーダンス調整装置 9、排気装置 21、ガス供給装置 40 等）を統括して制御する制御手段である。

[0041] ユーザーインターフェース 62 は、工程管理者がプラズマ処理装置 100 を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードやタッチパネル、プラズマ処理装置 100 の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等を有している。

[0042] 記憶部 63 には、プラズマ処理装置 100 で実行される各種処理をコント

ローラ 6 1 の制御によって実現するための制御プログラム（ソフトウェア）や、処理条件データ等が記録されたレシピ等が保存されている。コントローラ 6 1 は、ユーザーインターフェース 6 2 からの指示等、必要に応じて、任意の制御プログラムやレシピを記憶部 6 3 から呼び出して実行する。これにより、コントローラ 6 1 による制御下で、プラズマ処理装置 1 0 0 の処理容器 1 内において所望の処理が行われる。

[0043] 上記の制御プログラムおよびレシピは、例えば、CD-ROM、ハードディスク、フレキシブルディスク、フラッシュメモリ、DVD等のコンピュータ読み取り可能な記憶媒体に格納された状態のものを利用することができる。また、上記のレシピは、他の装置から、例えば専用回線を介して随時伝送させてオンラインで利用することも可能である。

[0044] 次に、図 4 を参照しながら、本実施の形態のプラズマ処理装置 1 0 0 の作用について説明する。図 4 は、上部電極 3 の面内における V_{pp} の大きさと給電部位 P 1 からの距離との関係を示す特性図である。ここで、 V_{pp} は、高周波電源 7 から上部電極 3 に供給される高周波電力の電圧の最大値と最小値（尖頭値；Peak to Peak）を意味する。図 4 の縦軸は V_{pp} の大きさを示し、横軸は高周波電源 7 から高周波電力が給電される給電部位 P 1 を基準として、上部電極 3 の短辺方向における給電部位 P 1 からの距離を示している。図 4 の横軸の P 2 は、図 2 に示したインピーダンス調整装置 9 の接続部位を示し、P 1 から P 2 間の距離は、上部電極 3 の短辺 3 b の長さに相当する（図 2 を参照）。また、図 4 では、上部電極 3 の大きさを二点鎖線で示した。なお、以下の説明では、上部電極 3 の二つの長辺 3 a のうち、給電部位 P 1 が設けられている側を「P 1 側」、開放端もしくはインピーダンス調整装置 9 の接続部位 P 2 が設けられている側を「P 2 側」と表記する。

[0045] 従来技術のプラズマ処理装置では、カソードの側部から高周波電力を印加する場合、給電部位の反対側（P 2 側）は開放端になっていた。そのため、カソード面内の V_{pp} の分布は、図 4 中の曲線 A のように、カソードの短辺方向に、給電側（P 1 側）から開放端側（P 2 側）へ向けて V_{pp} が大きく

なるような分布を示していた。 V_{pp} が図4中の曲線Aのような分布を持つ場合、平行平板電極間において、開放端側（P2側）に比べ、給電側（P1側）のプラズマ密度が小さくなる結果、給電側（P1側）の処理効率が低下する傾向を示した。ここで「処理効率」とは、たとえばプラズマCVDによる成膜処理なら堆積レートや結晶化度、プラズマエッチング処理ならばエッチングレートなどを意味する。

[0046] 一方、本実施の形態のプラズマ処理装置100では、図2に示したように、上部電極3において、給電部位P1とは反対側の接続部位P2にインピーダンス調整装置9を接続し、接地した。ここで、インピーダンス調整装置9として、例えば図3Aに示した可変インダクタンスと可変キャパシタンスとの組み合わせの可変素子を用いことによって、給電部位P1とは反対側（P2側）のインピーダンスを細かく調整することが可能となる。

[0047] 具体的には、インピーダンス調整装置9によって、給電部位P1とは反対側（P2側）のインピーダンスを誘導性インピーダンスに調整することによって、図4中の曲線Bに示したような V_{pp} の分布を作り出すことが可能になる。曲線Bは、曲線Aに比べ、 V_{pp} のばらつきが小さく、上部電極3の短辺方向の V_{pp} 分布が均等化されている。従って、曲線Bのような V_{pp} 分布を作り出すことができれば、平行平板電極間でプラズマ密度を均一化し、基板Sの面内で均等な処理が可能になる。また、インピーダンス調整装置9によって、給電部位P1とは反対側（P2側）のインピーダンスを容量性インピーダンスに調整することによって、図4中の曲線Cに示したような V_{pp} の分布を作り出すことも可能になる。従って、例えば、給電部位P1とは反対側（P2側）のプラズマ密度を給電側（P1側）に比べて大きくしたい場合は、インピーダンス調整装置9によって、容量性インピーダンスが強まるように調整すればよい。ここで、「誘導性インピーダンス」は、誘導性素子と容量性素子による合成のインピーダンスが誘導性に偏っていることを意味する。また、「容量性インピーダンス」は、誘導性素子と容量性素子による合成のインピーダンスが容量性に偏っていることを意味する。図4にお

いて、誘導性インピーダンスが強くなるほど、 V_{pp} の最大値は給電側（P1側）に移動していく傾向を示し、容量性インピーダンスが強くなるほど、 V_{pp} の最大値は給電部位P1とは反対側（P2側）に移動していく傾向を示す。

[0048] 以上のように、インピーダンス調整装置9によって上部電極3のインピーダンスを調整して該電極における V_{pp} 分布を制御することができる。これによって、平行平板電極間に生成するプラズマの密度分布を調整できる。特に、プラズマ処理部10を多段に配置するために、上部電極3への給電部位P1が、下部電極5との対向面37に対して偏った位置である側部に制約されてしまう図1のプラズマ処理装置100において、インピーダンス調整装置9によって V_{pp} を平均化し、平行平板電極間でプラズマ密度を平均化できる意義は大きい。従って、インピーダンス調整装置9によって、基板Sの面内で均一な処理が可能になる。

[0049] また、インピーダンス調整装置9は、上記誘導性素子及び／又は容量性素子の定数を変えることによって、フィルタ回路としても利用できる。その場合、処理容器1内で発生する高調波成分を除去する効果が期待できることから、高調波成分による障害、例えば整合器73（整合回路）、高周波電源7等への負荷や、制御面での悪影響などを低減するという副次的な効果も期待できる。

[0050] なお、インピーダンス調整装置9として、図3Aに示した可変素子の組み合わせ以外に、図3B～図3Dに示した誘導性素子と容量性素子との組み合わせや、他の組み合わせによっても、上部電極3の短辺方向において、図4の曲線B、Cと同様のインピーダンス調整が可能である。

[0051] [処理手順]

次に、プラズマ処理装置100によって基板Sに対してプラズマCVD法による成膜処理を施す際の処理手順について説明する。まず、例えばユーザーインターフェース62から、プラズマ処理装置100において成膜処理を行うように、コントローラ61に指令が入力される。次に、コントローラ6

1 は、この指令を受けて、記憶部 63 またはコンピュータ読み取り可能な記憶媒体に保存されたレシピを読み出す。次に、レシピに基づく条件によって成膜処理が実行されるように、コントローラ 61 からプラズマ処理装置 100 の各エンドデバイス（例えば、高周波電源 7、整合器 73、インピーダンス調整装置 9、排気装置 21、ガス供給装置 40 等）に制御信号が送出される。

[0052] 次に、ゲートバルブ（図示省略）が開状態にされて、外部の搬送装置によって、複数の基板 S が、ゲートバルブおよび側壁部 13 の開口（図示省略）を通して処理容器 1 内に搬入される。それぞれの基板 S は、複数の基板支持ピン（図示省略）を介して下部電極 5 の上に載置される。次に、ゲートバルブが閉状態にされて、排気装置 21 によって、処理容器 1 内が減圧排気される。次に、ガス供給装置 40 によって、所定の流量の処理ガスが上部電極 3 のガス吐出孔 33 から基板 S の上面に向けて噴射される。処理容器 1 の内部空間は、排気量およびガス供給量を調整することによって、所定の圧力に調整される。

[0053] 次に、高周波電源 7 から各上部電極 3 へ高周波電力が供給されることによって、各プラズマ処理部 10 において、平行平板電極をなす上部電極 3 と下部電極 5 との間に処理ガスのプラズマが生成される。生成したプラズマによって、基板 S の表面に所定の薄膜が堆積させられる。このプラズマ処理の間は、インピーダンス調整装置 9 によって、カソードである上部電極 3 におけるインピーダンスを調整することによって、基板 S における面内の成膜処理の均一化を図ることができる。

[0054] コントローラ 61 からプラズマ処理装置 100 の各エンドデバイスに成膜処理を終了させる制御信号が送出されると、高周波電源 7 からの高周波の供給が停止されると共に、処理ガスの供給が停止されて、基板 S に対する成膜処理が終了する。次に、ゲートバルブが開状態にされて、基板支持ピンによって各基板 S の高さ位置を調整した後、外部の搬送装置によって、複数の基板 S が処理容器 1 内から搬出される。

[0055] 以上のように、プラズマ処理装置 100 は、例えば FPD や太陽電池の製造工程において、基板 S に対して成膜処理を行う目的で好ましく利用可能であり、また、成膜処理以外に、例えばエッチング処理などを行う場合にも利用できる。

[0056] [実験例 1]

次に、本発明の効果を確認した第 1 の実験結果について説明する。プラズマ処理装置 100 と同様の構成のプラズマ処理装置を用い、基板 S 上にプラズマ CVD 法によって微結晶シリコン薄膜を形成する成膜実験を行った。この実験では、原料ガスとして SiH_4 及び H_2 を用い、それぞれの流量 $[\text{SiH}_4]$ 、 $[\text{H}_2]$ の比 $R = [\text{H}_2] / [\text{SiH}_4]$ が 50 以上となるような流量で処理容器 1 内に導入した。そして、高周波電源 7 から 11 MHz の高周波電力を上部電極 3 に供給することによって、上部電極 3 と下部電極 5 との間でプラズマを生成させ、基板 S の表面に約 1 μm の厚さの微結晶シリコン薄膜を成膜した。上部電極 3 は、長辺 1500 mm $\times$ 短辺 1160 mm の大きさとした。上部電極 3 と下部電極 5 との間隔（ギャップ）は 13 mm とした。インピーダンス調整装置 9 は、図 2 に示すように、上部電極 3 における給電部位 P1 が設けられた長辺 3a とは反対側の長辺 3a の中点を接続部位 P2 として接続した。インピーダンス調整装置 9 としては、図 3B に示したように、固定コイル 97 と可変コンデンサ 95 とを直列接続したものをを用いた。固定コイル 97 のインダクタンスは 0.925 μH 、可変コンデンサ 95 のキャパシタンスは、63.5 pF から 722.1 pF の範囲内で調整した。

[0057] 実験では、目視での観察およびカソードの電界分布の影響を受けやすい微結晶シリコンの結晶化度を測定した。なお、結晶化度は、ラマン分光光度計によって測定されたアモルファスシリコンピーク I_a (480 cm^{-1}) に対する微結晶シリコンピーク I_c (520 cm^{-1}) の比 I_c / I_a で表した。成膜条件として、インピーダンス調整装置 9 を有しない従来のプラズマ処理装置では、上部電極 3 の給電部位 P1 の周囲に対向する基板 S 上の範囲で結晶化が困難な条件を採用し、可変コンデンサ 95 によってキャパシタンスを

調整して成膜実験を行った。結晶化しない範囲は、反射特性の違いから、目視では白濁として観察される。その結果、キャパシタンスが63.5 pF及び221.0 pFでは、容量性インピーダンスを示す結果が得られた。また、キャパシタンスが385.0 pF～722.1 pFの範囲内では、誘導性インピーダンスを示す結果が得られた。容量性インピーダンスを示す条件では、インピーダンス調整装置9を有しない従来のプラズマ処理装置よりも、結晶化しない範囲がさらに増加した。すなわち、上部電極3の給電部位P1の周囲に対向する基板S上の結晶化しない範囲が、従来装置<63.5 pF<221.0 pFの順に拡大した。

[0058] 一方、誘導性インピーダンスを示す条件では、インピーダンス調整装置9を有しない従来のプラズマ処理装置よりも結晶化しない範囲が減少し、特に432.5 pF～563.7 pFでは、基板Sの全面で良好な結晶化度が得られた。なお、385.0 pFでは接続部位P2近傍に対向する基板S上に若干結晶化しない範囲が生じ、722.1 pFでは給電部位P1近傍に対向する基板S上に若干結晶化しない範囲が生じた。以上の実験結果から、上部電極3の給電部位P1とは反対側の接続部位P2にインピーダンス調整装置9を接続し、可変コンデンサ95によってキャパシタンスを調整することによって、基板Sの面内での成膜処理の効率（結晶化の進行度）をコントロールできること、並びに、基板Sの面内で均一な結晶化度が得られることが確認された。同様の結果は、成膜処理における結晶化度に限らず、例えば成膜処理における堆積レートやエッチング処理におけるエッチングレートについても類推される。

[0059] なお、本実施の形態で使用するインピーダンス調整装置9では、可変コンデンサ95によるキャパシタンスの調整に代えて、可変コイル93によるインダクタンスの調整によっても同様の結果が期待できる。また、キャパシタンスとインダクタンスの両方を変化させることによって、より細かな調整が可能になる。さらに、上記実験結果から、可変素子に代えて、固定素子を用いる場合でも、実験的に適切なキャパシタンスとインダクタンスが得られる

ように設定することで、基板 S の面内での処理の均一化が可能であることが理解される。

[0060] 以上のように、本実施の形態では、カソード電極である上部電極 3 において、高周波電力が供給される給電部位 P 1 と、インピーダンス調整装置 9 が接続される接続部位 P 2 とが、上部電極 3 における下部電極 5 との対向面 3 7 を間に挟んで、それぞれ反対側に形成されている。このような配置で上部電極 3 にインピーダンス調整装置 9 を設けたことによって、上部電極 3 における V_{pp} を適切に制御することができる。従って、本実施の形態のプラズマ処理装置 100 によれば、処理容器 1 内に供給される高周波電力の損失が低減され、電力の利用効率を向上させながら、基板 S の面内における処理の均一性を高めることができる。

[0061] [第 2 の実施の形態]

次に、図 5 及び図 6 を参照しながら、本発明の第 2 の実施の形態のプラズマ処理装置について説明する。図 5 及び図 6 は、第 2 の実施の形態における上部電極 3 とインピーダンス調整装置 9 との接続状態を示す説明図である。本実施の形態では、一つのカソード電極に対し、複数のインピーダンス調整装置 9 が接続されている。ここでは、第 1 の実施の形態との相違点について説明する。

[0062] 図 5 は、上部電極 3 に、2 つのインピーダンス調整装置 9 を接続した態様を示す上部電極 3 の平面図である。図 5 において、2 つのインピーダンス調整装置 9 を区別する場合に、説明の便宜上、紙面に向かって上側のインピーダンス調整装置を 9 A、同下側のインピーダンス調整装置を 9 B と表記する。また、インピーダンス調整装置 9 A の接続部位を P 2 1、インピーダンス調整装置 9 B の接続部位を P 2 2 とする。

[0063] 図 5 に示すように、長辺 3 a と短辺 3 b とを有して矩形をなす上部電極 3 において、高周波電源 7 から給電線 7 1 を介して高周波電力が供給される給電部位 P 1 と、配線 9 1 を介してインピーダンス調整装置 9 A、9 B が接続される接続部位 P 2 1、2 2 とは、上部電極 3 における、下部電極 5 との対

向面 3 7 (図 1 を参照) を間に挟んで、それぞれ反対側に形成されている。給電部位 P 1 と接続部位 P 2 1, P 2 2 は、いずれも上部電極 3 の長辺 3 a の側部に設けられている。本実施の形態では、給電部位 P 1 は、上部電極 3 の長辺 3 a を 2 等分する中点に設けられている。また、インピーダンス調整装置 9 A, 9 B の接続部位 P 2 1, P 2 2 は、給電部位 P 1 との距離が等しくなるように、それぞれ、長辺 3 a の端部 (上部電極 3 の角) の近傍に設けられている。つまり、インピーダンス調整装置 9 A, 9 B の接続部位 P 2 1, P 2 2 は、上部電極 3 の二つの長辺 3 a の中点 m_L , m_L を通る直線 M_1 に対して、線対称に配置されている。このように、上部電極 3 の長辺 3 a 方向に、2 つの接続部位 P 2 1, P 2 2 を給電部位 P 1 に対して対称に配置することによって、上部電極 3 の長辺 3 a 方向における V_{pp} を細かく調整できる。

[0064] 本実施の形態のプラズマ処理装置では、上部電極 3 の一つの長辺 3 a に、2 つのインピーダンス調整装置 9 A, 9 B を接続することによって、上部電極 3 の短辺方向とともに、長辺方向においても V_{pp} の分布を調節することができる。従って、矩形をなす基板 S の面内において、より均一なプラズマ処理が可能になる。なお、上部電極 3 の一つの長辺 3 a の 3 か所以上の箇所にインピーダンス調整装置 9 を接続することも可能である。この場合、上部電極 3 の長辺 3 a の方向において V_{pp} をさらに細かく制御することができるため、基板 S の面内での処理の均一性を一層向上させることが可能になる。

[0065] 本実施の形態では、インピーダンス調整装置 9 A とインピーダンス調整装置 9 B は、同じ回路構成でもよいし、異なる回路構成でもよい。また、インピーダンス調整装置 9 A とインピーダンス調整装置 9 B は、片方 (例えばインピーダンス調整装置 9 A) を誘導性インピーダンスに設定し、もう一方 (例えばインピーダンス調整装置 9 B) を容量性インピーダンスに設定する、というように、上部電極 3 の長辺方向において異なるインピーダンスに設定することができる。

[0066] 図6は、第2の実施の形態の変形例であり、上部電極3に、4つのインピーダンス調整装置9を接続した態様を示す上部電極3の平面図である。本変形例では、長辺3aと短辺3bとを有して矩形をなす上部電極3の4隅の近傍にそれぞれインピーダンス調整装置9を配備している。すなわち、上部電極3において、高周波電源7から給電線71を介して高周波電力が供給される給電部位P1を基準に、該給電部位P1とは反対側の長辺3aに2つ、該給電部位P1と同じ側の長辺3aに2つ、合計4つのインピーダンス調整装置9を接続した。図6では、4つのインピーダンス調整装置9を区別する場合に、説明の便宜上、インピーダンス調整装置9A、9B、9C、9Dと表記する。インピーダンス調整装置9A、9Bは、上部電極3における、下部電極5との対向面37（図1を参照）を間に挟んで、給電部位P1とは反対側の長辺3aの接続部位P21、22において、それぞれ上部電極3に接続されている。また、インピーダンス調整装置9C、9Dは、上部電極3における、給電部位P1と同じ側の長辺3aの接続部位P23、24において、それぞれ上部電極3に接続されている。

[0067] 図6に示す変形例では、接続部位P21とP22は、給電部位P1との距離が等しくなるように配置されている。また、接続部位P23とP24は、給電部位P1との距離が等しくなるように配置されている。つまり、インピーダンス調整装置9A、9Bの接続部位P21、P22は、上部電極3の二つの長辺3aの中点 m_L 、 m_L を通る直線 M_1 に対して、線対称に配置されている。また、インピーダンス調整装置9C、9Dの接続部位P23、P24は、直線 M_1 に対して、線対称に配置されている。さらに、インピーダンス調整装置9A、9Cの接続部位P21、P23は、上部電極3の二つの短辺3bの中点 m_S 、 m_S を通る直線 M_2 に対して、線対称に配置されている。また、インピーダンス調整装置9B、9Dの接続部位P22、P24は、直線 M_2 に対して、線対称に配置されている。このように、矩形の上部電極3において、4つの接続部位P21、P22、P23、P24を対称かつ均等に配置することによって、上部電極3の長辺3aの方向及び短辺3bの方向におけるV

p p の調整が容易になる。

[0068] 本変形例では、図6に例示するように、上部電極3の二つの長辺3aに、それぞれ2つのインピーダンス調整装置9を接続することによって、上部電極3の面内におけるV p pを細かく制御することができるため、基板Sの面内での処理の均一性を一層向上させることが可能になる。なお、上部電極3の一つの長辺3aにおいて、3つ以上のインピーダンス調整装置9を接続してもよい。

[0069] [実験例2]

次に、本発明の効果を確認した第2の実験結果について説明する。図6と同様に、上部電極3に4つのインピーダンス調整装置9を接続した以外は、第1の実施の形態のプラズマ処理装置100と同様の構成のプラズマ処理装置を用い、基板S上にプラズマCVD法によって微結晶シリコン薄膜を形成する成膜実験を行った。この実験では、原料ガスとしてSiH₄及びH₂を用い、それぞれの流量[SiH₄]、[H₂]の比 $R = [H_2] / [SiH_4]$ が50以上となるような流量で処理容器1内に導入した。そして、高周波電源7から11MHzの高周波電力を上部電極3に供給することによって、上部電極3と下部電極5との間でプラズマを生成させ、基板Sの表面に約1μmの厚さの微結晶シリコン薄膜を成膜した。上部電極3は、長辺1500mm×短辺1160mmの大きさとした。上部電極3と下部電極5との間隔（ギャップ）は13mmとした。インピーダンス調整装置9は、図6に示すように、上部電極3における給電部位P1が設けられた長辺3aの両端付近と、給電部位P1とは反対側の長辺3aの両端付近に、合計4つ接続した。インピーダンス調整装置9としては、図3Bに示したように、固定コイル97と可変コンデンサ95とを直列接続したものをを用いた。固定コイル97のインダクタンスは1.1μHに設定し、可変コンデンサ95のキャパシタンスを100pFから900pFの範囲内で調整することによって上部電極3の面内のインピーダンスを調整した。

[0070] 実験では、目視での観察およびカソードの電界分布の影響を受けやすい微

結晶シリコンの結晶化度を測定した。なお、結晶化度は、ラマン分光光度計によって測定された薄膜中のアモルファスシリコンピーク I_a (480 cm^{-1}) に対する微結晶シリコンピーク I_c (520 cm^{-1}) の比 I_c/I_a で表した。成膜条件として、インピーダンス調整装置 9 を有しない従来のプラズマ処理装置では、上部電極 3 の給電部位 P 1 の周囲に対向する基板 S 上の範囲で結晶化が困難な条件を採用し、可変コンデンサ 95 によってキャパシタンスを調整して成膜実験を行った。そして、微結晶シリコン膜の堆積レートと結晶化度を、図 7 に示すように基板 S 上の 21 箇所のポイントで測定した。なお、図 7 中には、基板 S に対向配置される上部電極 3 に接続されたインピーダンス調整装置 9 A, 9 B, 9 C, 9 D の大まかな配置をカッコ書きで示した。

[0071] 実験の結果を図 8 に示した。なお、図 8 には、比較例として、インピーダンス調整装置 9 を有しない従来のプラズマ処理装置において同様の実験を行った場合の結果を併記した。図 8 より、インピーダンス調整装置 9 を有しない比較例のプラズマ処理装置では、給電部位 P 1 の周囲において結晶化度の著しい低下が観察された。また、結晶化しない範囲は、白濁として観察された。それに対し、図 6 と同様に、上部電極 3 の 4 隅にそれぞれインピーダンス調整装置 9 を接続し、インピーダンスの調整を行った実施例のプラズマ処理装置では、給電部位 P 1 の周囲において、微結晶シリコンの結晶化度が顕著に改善し、基板 S の面内で、ほぼ均等な結晶化度が得られた。また、白濁は生じなかった。

[0072] [実験例 3]

次に、4 つのインピーダンス調整装置 9 A, 9 B, 9 C, 9 D において、可変コンデンサ 95 のキャパシタンスを以下の条件 A ~ D に設定した以外は、実験例 2 と同様にして成膜実験を行った。そして、微結晶シリコン膜の堆積レートと結晶化度を、図 9 に示すように基板 S 上の 25 箇所のポイントで測定した。なお、図 9 中には、基板 S に対向配置される上部電極 3 に接続されたインピーダンス調整装置 9 A, 9 B, 9 C, 9 D の大まかな配置をカッ

コ書きで示した。

<条件 A>

4つのインピーダンス調整装置 9 A, 9 B, 9 C, 9 D の全てで可変コンデンサ 9 5 のキャパシタンスを 300 p F に設定した。

<条件 B>

インピーダンス調整装置 9 B, 9 D で可変コンデンサ 9 5 のキャパシタンスを 400 p F に設定し、インピーダンス調整装置 9 A, 9 C で可変コンデンサ 9 5 のキャパシタンスを 300 p F に設定した。

<条件 C>

インピーダンス調整装置 9 B, 9 D で可変コンデンサ 9 5 のキャパシタンスを 300 p F に設定し、インピーダンス調整装置 9 A, 9 C で可変コンデンサ 9 5 のキャパシタンスを 400 p F に設定した。

<条件 D>

4つのインピーダンス調整装置 9 A, 9 B, 9 C, 9 D の全てで可変コンデンサ 9 5 のキャパシタンスを 400 p F に設定した。

- [0073] 実験の結果を図 10 に示した。図 10 より、4つのインピーダンス調整装置 9 を用い、上部電極 3 の長辺 3 a の方向において別々にインピーダンスの調整を行った場合、微結晶シリコンの結晶化度が基板 S の面内で大きく変化した。また、条件 A では、微結晶シリコン膜のほぼ全体が白濁した。条件 B では、可変コンデンサ 9 5 のキャパシタンスを 300 p F に設定したインピーダンス調整装置 9 A, 9 C の接続部位 P 2 1, P 2 3 に対向する側（図 9 の測定ポイント 6, 7, 8 側）で微結晶シリコン膜に白濁が観察された。条件 C では、可変コンデンサ 9 5 のキャパシタンスを 300 p F に設定したインピーダンス調整装置 9 B, 9 D の接続部位 P 2 2, P 2 4 に対向する側（図 9 の測定ポイント 1, 2, 3 側）で微結晶シリコン膜に白濁が観察された。条件 D では、微結晶シリコン膜の全体において白濁は観察されなかった。つまり、4つのインピーダンス調整装置 9 A, 9 B, 9 C, 9 D の全てで可変コンデンサ 9 5 のキャパシタンスを 400 p F に設定した条件 D において

、基板Sの面内での結晶化度の均一性が最も優れていた。

[0074] 以上の実験結果から、上部電極3の長辺3aにおける複数の接続部位にインピーダンス調整装置9を接続し、可変コンデンサ95によってキャパシタンスを調整することによって、基板Sの面内での成膜処理の効率（結晶化の進行度）をコントロールできること、並びに、基板Sの面内で均一な結晶化度が得られることが確認された。同様の結果は、成膜処理における結晶化度に限らず、例えば成膜処理における堆積レートやエッチング処理におけるエッチングレートについても類推される。

[0075] なお、本実施の形態で使用するインピーダンス調整装置9では、可変コンデンサ95によるキャパシタンスの調整に代えて、可変コイル93によるインダクタンスの調整によっても同様の結果が期待できる。また、キャパシタンスとインダクタンスの両方を変化させることによって、より細かな調整が可能になる。さらに、上記実験結果から、可変素子に代えて、固定素子を用いる場合でも、実験的に適切なキャパシタンスとインダクタンスが得られるように設定することで、基板Sの面内での処理の均一化が可能であることが理解される。

[0076] 本実施の形態のプラズマ処理装置における他の構成及び効果は、第1の実施の形態のプラズマ処理装置100と同様であるので説明を省略する。

[0077] [第3の実施の形態]

次に、図11を参照しながら、本発明の第3の実施の形態のプラズマ処理装置について説明する。図11は、第3の実施の形態における上部電極3とインピーダンス調整装置9との接続状態を示す上部電極3の平面図である。ここでは、第1の実施の形態との相違点について説明する。

[0078] 本実施の形態では、インピーダンス調整装置9を介して上部電極3に高周波電力を供給する第2の高周波電源としての高周波電源80を接続し、上部電極3へ両側からの給電を可能にしている。すなわち、本実施の形態のプラズマ処理装置は、第1の実施の形態の構成に加え、さらに、高周波電源80と、該高周波電源80からの高周波電力を給電する給電線81と、インピー

ダンス調整装置 9 と高周波電源 80 との間に介在配置されたリレー回路 83 とを備えている。

[0079] また、本実施の形態では、インピーダンス調整装置 9 として、例えば図 1 に示すように、第 1 の固定コイル 97 A、第 1 の可変コンデンサ 95 A、第 2 の固定コイル 97 B 及び第 2 の可変コンデンサ 95 B を直列に接続したものをを用いる。このような回路構成によって、インピーダンス調整装置 9 に整合回路としての機能を持たせている。これによって、高周波電源 80 から上部電極 3 へ高周波電力を供給する場合のインピーダンス整合が可能になる。

[0080] また、本実施の形態では、リレー回路 83 によって、目的のプロセスに応じて、上部電極 3 への片側給電と、両側給電との切り替えを行うことができる。すなわち、高周波電源 7 からの片側給電を行う場合はリレー回路 83 を閉じ、高周波電源 7 及び高周波電源 80 からの両側給電を行う場合は、リレー回路 83 を開放すればよい。

[0081] 本実施の形態のプラズマ処理装置における他の構成及び効果は、第 1 の実施の形態のプラズマ処理装置 100 と同様であるので説明を省略する。なお、第 2 の実施の形態のプラズマ処理装置においても、複数のインピーダンス調整装置 9 に対し、それぞれリレー回路 83 を介して高周波電源 80 を接続してもよい。

[0082] 以上、本発明の実施の形態を例示の目的で詳細に説明したが、本発明は上記実施の形態に制約されることはなく、種々の変形が可能である。例えば、上記実施の形態のプラズマ処理装置では、上部電極 3 に高周波電力を供給する構成としたが、一对の平行平板電極の下部電極 5 をカソード電極として高周波電力を印加してもよく、その場合には、下部電極 5 にインピーダンス調整装置 9 を接続してもよい。

[0083] また、プラズマ処理装置は、一对の平行平板電極に対し、周波数が異なる複数の高周波電力を供給する構成でもよい。この場合、高周波電力が供給されるそれぞれの電極に、インピーダンス調整装置を接続することが可能であ

り、それぞれの周波数成分に対する効果的なグラウンドとすることができる。
従って、異なる周波数の高周波が、それぞれの整合器（整合回路）や高周波
電源に流入することを防ぎ、高周波電力供給やプラズマの安定性を向上させ
ることができる。

[0084] 本国際出願は、2013年6月24日に出願された日本国特許出願201
3-131425号に基づく優先権を主張するものであり、当該出願の全内
容をここに援用する。

請求の範囲

- [請求項1] 真空引き可能な処理容器と、
前記処理容器内において、基板を間に挟んで互いに対向して配置されるカソード電極及びアノード電極と、
前記カソード電極に高周波電力を供給する第1の高周波電源と、
前記カソード電極に接続されて該カソード電極のインピーダンスを調整する一つ又は複数のインピーダンス調整装置と、
を備え、
前記カソード電極において、前記高周波電力が供給される給電部位と、前記インピーダンス調整装置が接続される接続部位のうち、少なくとも一つの接続部位とが、前記カソード電極における前記アノード電極との対向面を間に挟んで、それぞれ反対側に形成されているプラズマ処理装置。
- [請求項2] 一つの前記カソード電極と一つの前記アノード電極とが対をなして一つのプラズマ処理部を形成しており、前記処理容器内に複数の前記プラズマ処理部が積層されて配置されている請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記カソード電極は、平面視四角形をなしており、
前記給電部位が、該四角形の一辺をなす前記カソード電極の側部に設けられており、
少なくとも一つの前記接続部位が、前記四角形の一辺とは隣接しない反対側の一辺をなす前記カソード電極の側部に設けられている請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項4] 一つの前記カソード電極に対し、複数の前記インピーダンス調整装置が接続されている請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項5] 前記カソード電極は、平面視四角形をなしており、
前記給電部位が、該四角形の一辺をなす前記カソード電極の側部に設けられており、

前記接続部位が、前記四角形の一辺とは隣接しない反対側の一辺をなす前記カソード電極の側部の複数箇所に設けられており、

少なくとも2つの前記接続部位は、前記給電部位からの距離が等しくなるように対称な位置に設けられている請求項4に記載のプラズマ処理装置。

[請求項6] 前記インピーダンス調整装置を介して前記カソード電極に高周波電力を供給する第2の高周波電源をさらに備えている請求項1に記載のプラズマ処理装置。

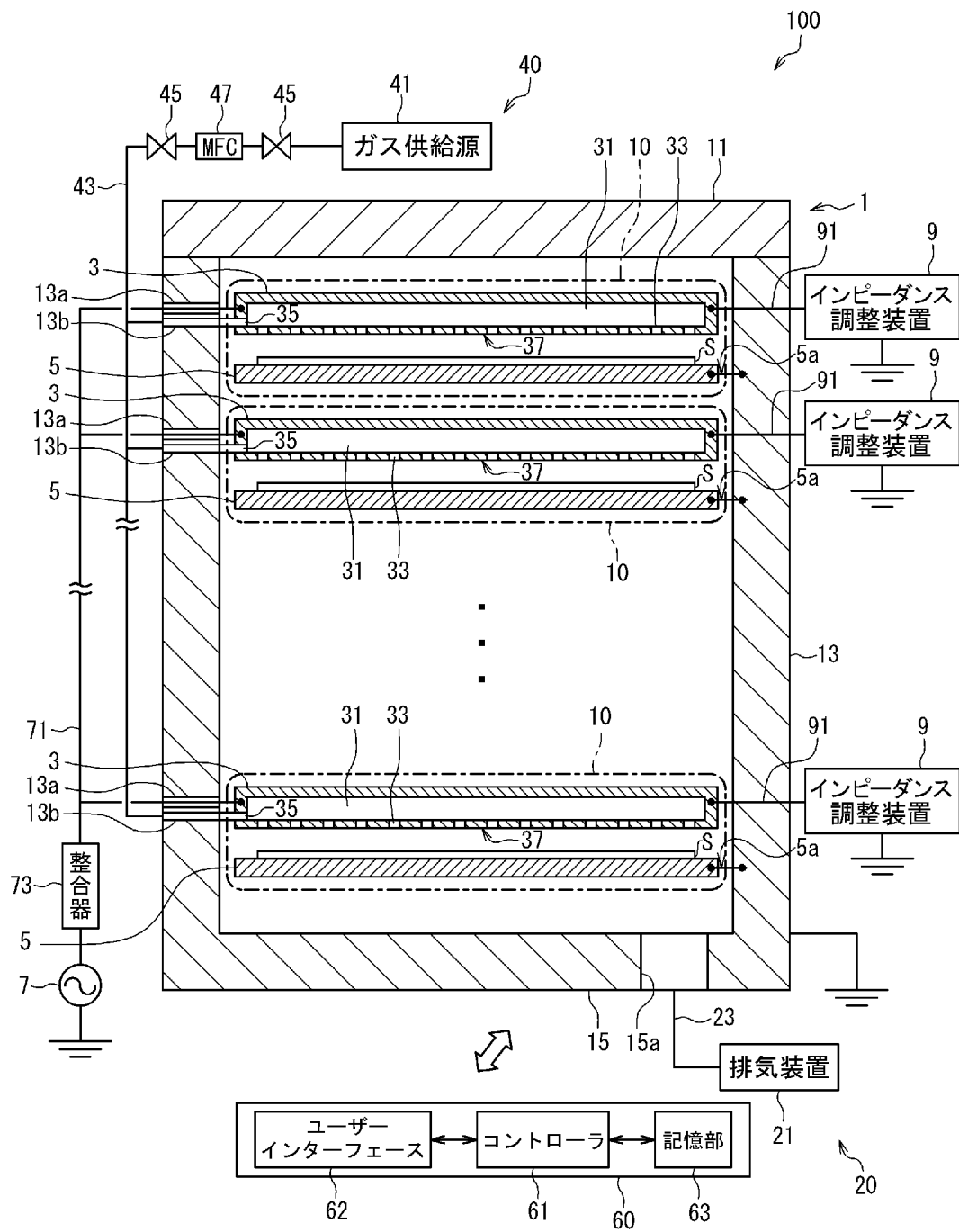
[請求項7] 前記インピーダンス調整装置は、誘導性素子と容量性素子との組み合わせを含むものである請求項1に記載のプラズマ処理装置。

[請求項8] 前記誘導性素子が可変誘導性素子である請求項7に記載のプラズマ処理装置。

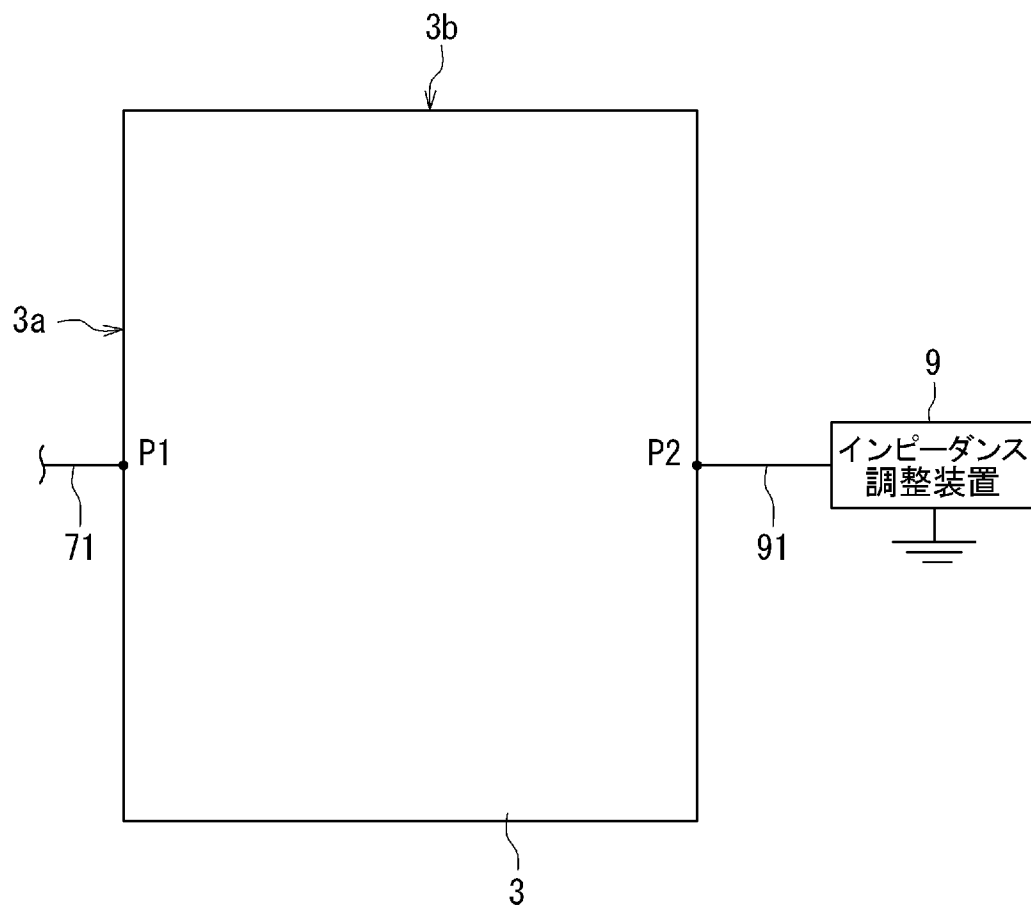
[請求項9] 前記容量性素子が可変容量性素子である請求項7に記載のプラズマ処理装置。

[請求項10] 真空引き可能な処理容器と、前記処理容器内において、基板を間に挟んで互いに対向して配置されるカソード電極及びアノード電極と、前記カソード電極に高周波電力を供給する第1の高周波電源と、前記カソード電極に接続されて該カソード電極のインピーダンスを調整する一つ又は複数のインピーダンス調整装置と、を備え、前記カソード電極において、前記高周波電力が供給される給電部位と、前記インピーダンス調整装置が接続される接続部位のうち、少なくとも一つの接続部位とが、前記カソード電極における前記アノード電極との対向面を間に挟んで、それぞれ反対側に形成されているプラズマ処理装置を用い、前記カソード電極とアノード電極との間に基板を配置してプラズマ処理を行うプラズマ処理方法。

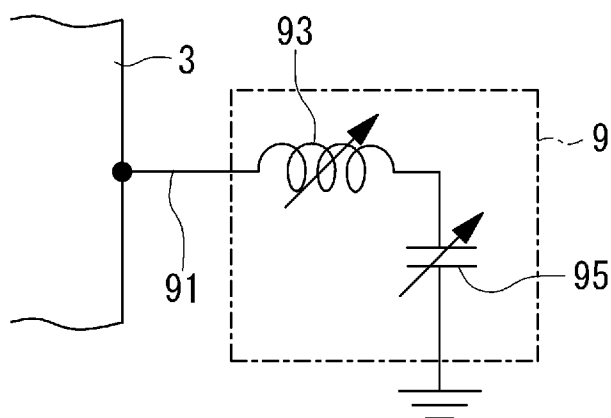
[図1]



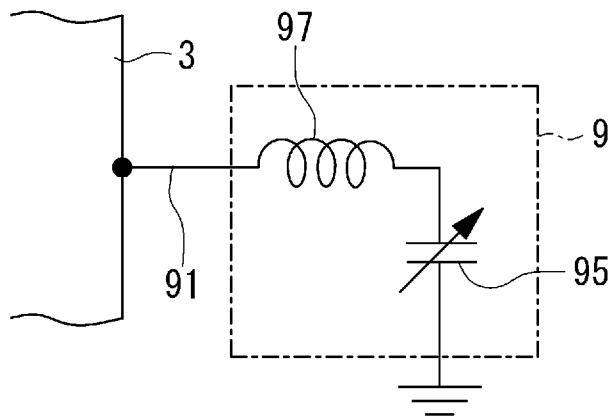
[図2]



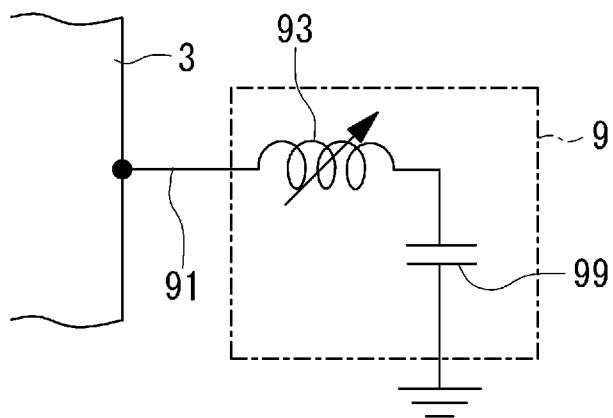
[図3A]



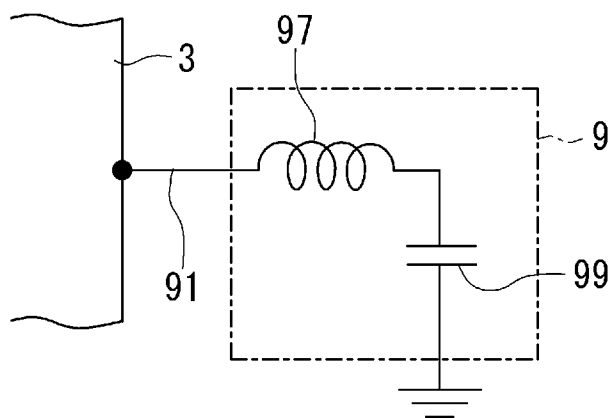
[図3B]



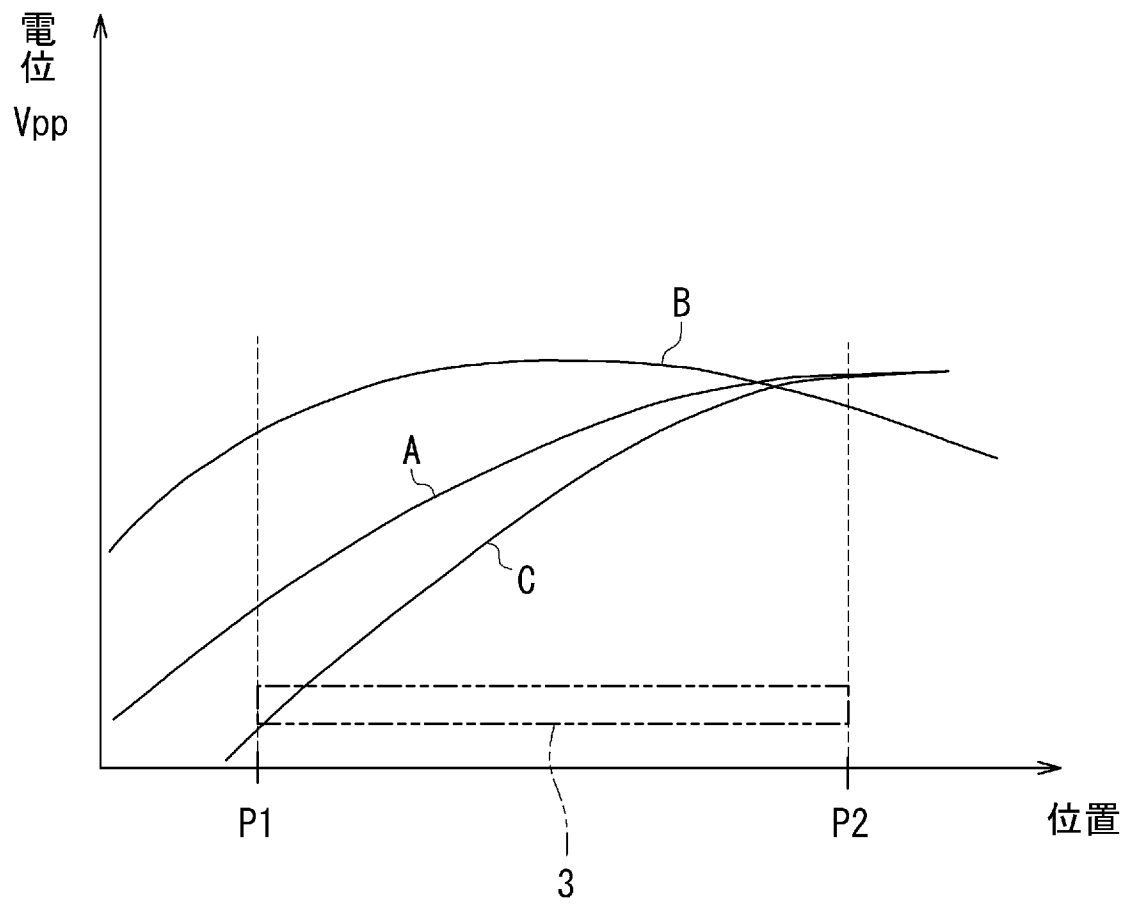
[図3C]



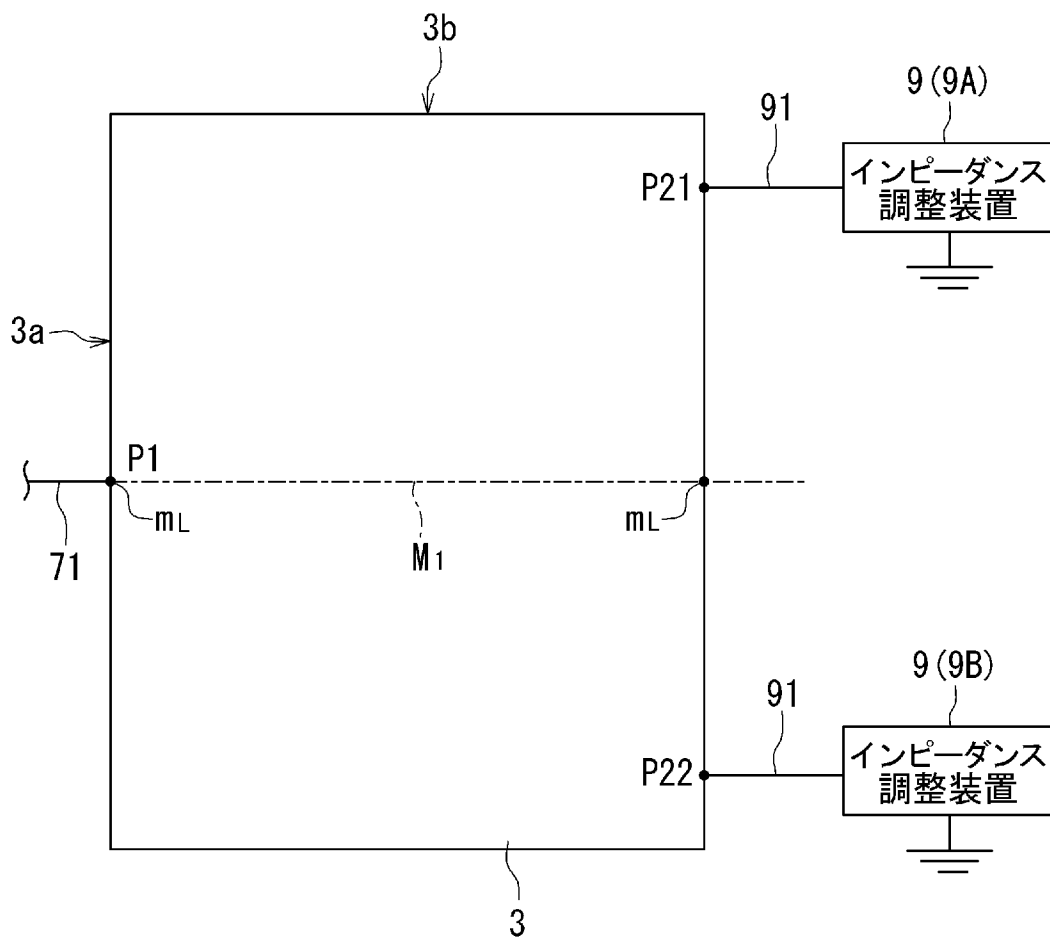
[図3D]



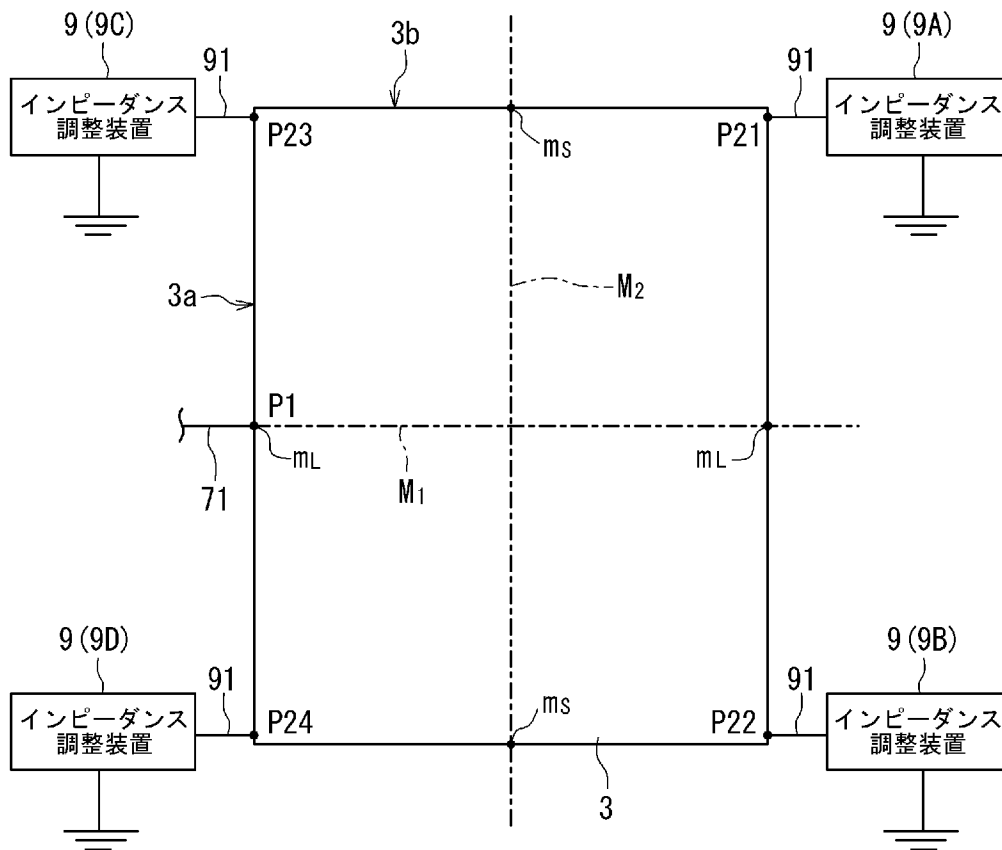
[図4]



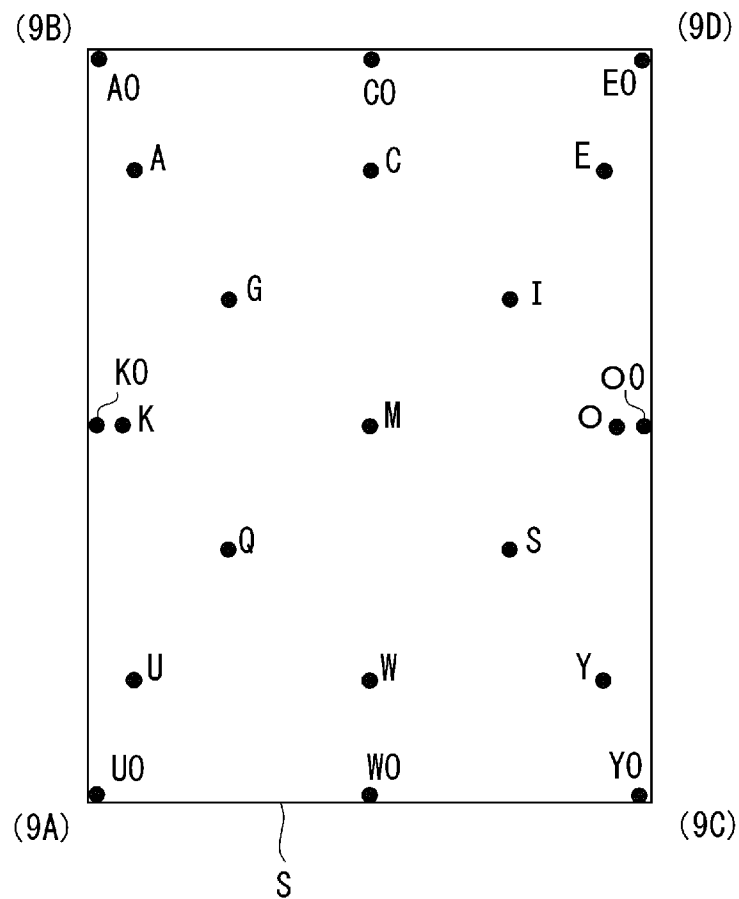
[図5]



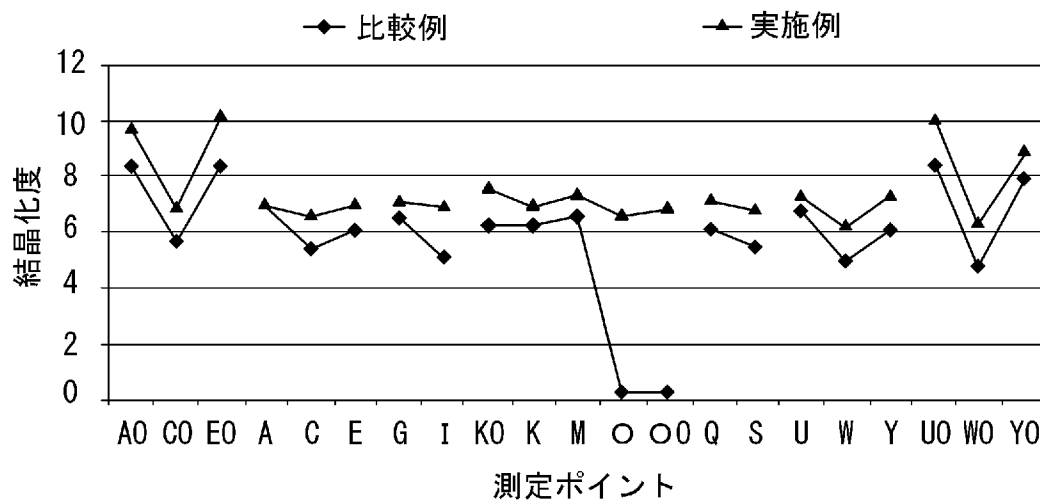
[図6]



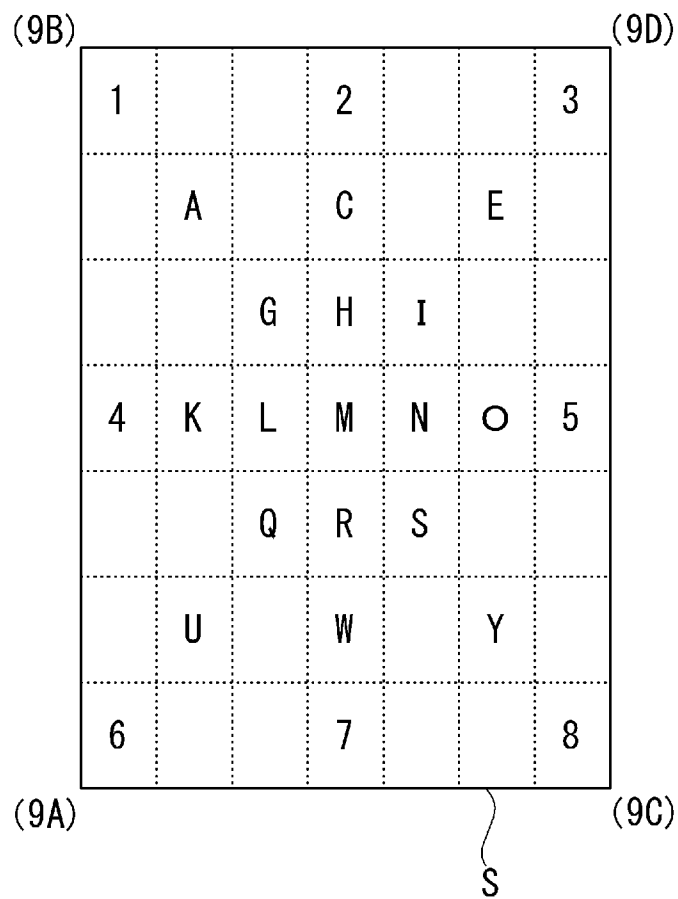
[図7]



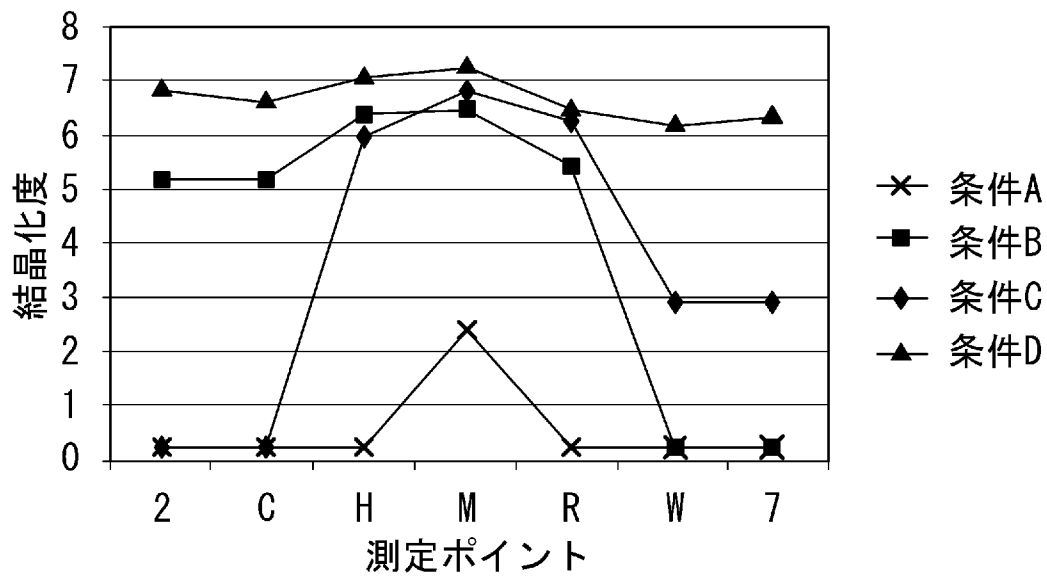
[図8]



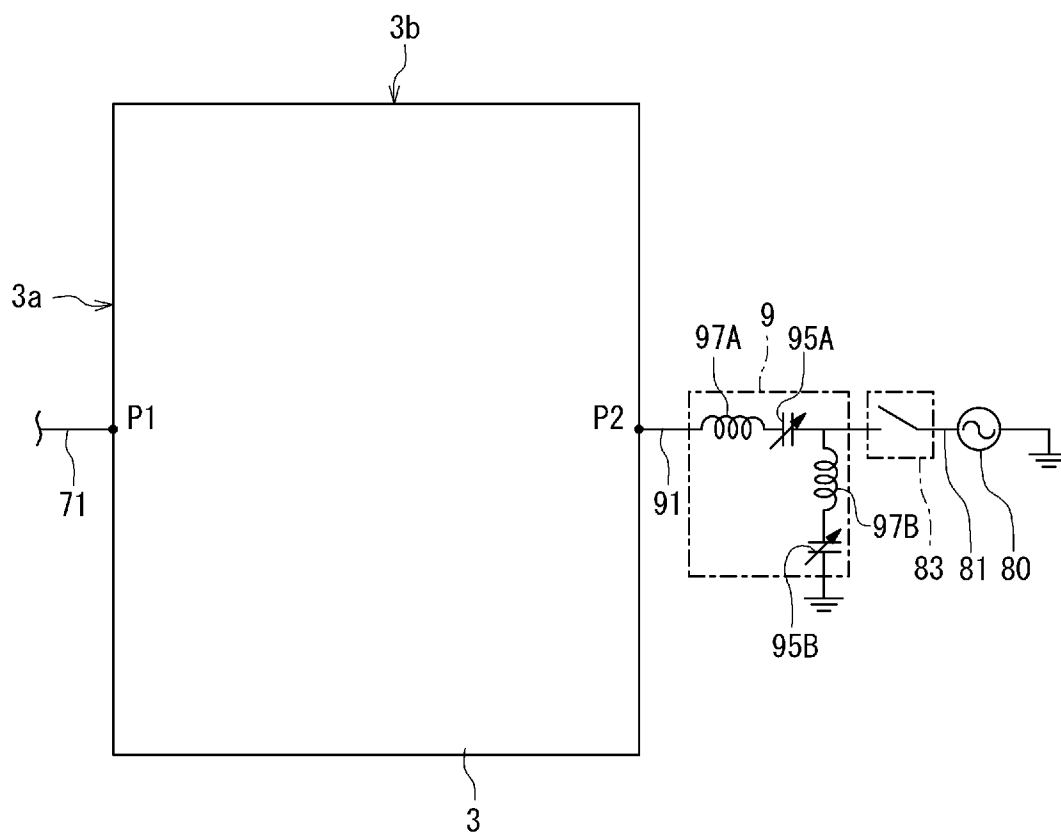
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/064680

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05H1/46(2006.01)i, C23C16/509(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i

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)

H05H1/46, C23C14/00-16/56, C23F1/00-4/04, H01L21/203-21/205, H01L21/302, H01L21/3065, H01L21/31, H01L21/363-21/365, H01L21/461, H01L21/469, H01L21/86

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2013-105543 A (Tokyo Electron Ltd.), 30 May 2013 (30.05.2013), paragraphs [0057] to [0062]; fig. 6 & US 2013/0119863 A1 & EP 2592645 A2 & CN 103107058 A & KR 10-2013-0051896 A & TW 201340790 A	1-4, 7-10 5-6
X A	JP 2010-232347 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 14 October 2010 (14.10.2010), paragraphs [0039], [0042], [0057]; fig. 2 to 3 (Family: none)	1, 3-4, 6-10 2, 5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family 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 application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) 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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
05 August, 2014 (05.08.14)

Date of mailing of the international search report
19 August, 2014 (19.08.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/064680

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Since document 1 (JP 2013-105543 A) describes a plasma treatment device wherein a power supply part to which high-frequency power is supplied and a connection part to which an impedance adjustment device is connected are respectively formed on opposite sides with a facing surface interposed therebetween ([0057] to [0062], fig. 6), claims 1-2, 4, 10 lack novelty in the light of document 1, and have no special technical feature.

Next, the following special technical feature could be found in claim 5.

Accordingly, claims are classified into two inventions each of which has a special technical feature indicated below.

(Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/064680

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

Meanwhile, claims 1-2, 4 and 10 having no special technical feature are classified into Invention 1.

(Invention 1) claims 1-5 and 7-10

"Providing at least two connection parts in symmetrical positions such that the distances thereof from a power supply part become equal".

Claims 1-2, 4 and 10 having no special technical feature are classified into Invention 1.

Claims 3 and 7-9 are classified into Invention 1, since it is efficient to carry out a search on these claims together with claim 1.

(Invention 2) claim 6

"Being provided with a second high-frequency power supply".

Further, there is no same or corresponding special technical feature between Invention 1 and Invention 2.

Incidentally, claim 6 is an invention in the same category that includes all matters specifying the invention of claim 1, but the technical feature of claim 1 is that "a power supply part to which high-frequency power is supplied and a connection part to which an impedance adjustment device is connected are respectively formed on opposite sides with a facing surface interposed therebetween", a technical feature added in claim 6 is "being provided with a second high-frequency power supply", and therefore the technical relationship between both the claims is weak.

Consequently, claim 6 cannot be classified into Invention 1.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05H1/46(2006.01)i, C23C16/509(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05H1/46, C23C14/00-16/56, C23F1/00-4/04, H01L21/203-21/205, H01L21/302, H01L21/3065, H01L21/31, H01L21/363-21/365, H01L21/461, H01L21/469, H01L21/86

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2013-105543 A（東京エレクトロン株式会社）2013.05.30, 【0057】 - 【0062】, 図6 & US 2013/0119863 A1 & EP 2592645 A2 & CN 103107058 A & KR 10-2013-0051896 A & TW 201340790 A	1-4, 7-10 5-6
X A	JP 2010-232347 A（三菱重工業株式会社）2010.10.14, 【0039】, 【0042】, 【0057】, 図2-3（ファミリーなし）	1, 3-4, 6-10 2, 5

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 5 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

島居 祐樹

2 I

4 0 7 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 3

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところこの国際調査機関は認めた。

文献1（JP 2013-105543 A）には、高周波電力が供給される給電部位とインピーダンス調整装置が接続される接続部位が、対向面を間に挟んでそれぞれ反対側に形成されたプラズマ処理装置が記載されており（【0057】－【0062】、図6）、請求項1－2，4，10は、文献1により新規性が欠如しているため、特別な技術的特徴を有しない。次に、請求項5に下記の特別な技術的特徴が発見された。そして、請求の範囲は、各々下記の特別な技術的特徴を有する2の発明に区分される。

なお、特別な技術的特徴を有しない請求項1－2，4，10は、発明1に区分する。

（特別ページへ続く）

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

第 I I I 欄続き

(発明 1) 請求項 1－5, 7－10

「少なくとも 2 つの接続部位を給電部位からの距離が等しくなるように対称な位置に設けること」。

特別な技術的特徴を有しない請求項 1－2, 4, 10 は、発明 1 に区分する。

請求項 3, 7－9 は、請求項 1 とまとめて調査を行うことが効率的であるため、発明 1 に区分する。

(発明 2) 請求項 6

「第 2 の高周波電源を備えていること」。

また、発明 1 及び発明 2 との間には、同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

なお、請求項 6 は、請求項 1 の発明特定事項を全て含む同一カテゴリーの発明であるが、請求項 1 の技術的特徴は「高周波電力が供給される給電部位とインピーダンス調整装置が接続される接続部位が、対向面を間に挟んでそれぞれ反対側に形成されていること」であり、請求項 6 において追加された技術的特徴は「第 2 の高周波電源を備えていること」であるため、両者は技術的関連性が低い。したがって、請求項 6 を発明 1 に区分することはできない。