

(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
2018年4月26日(26.04.2018)



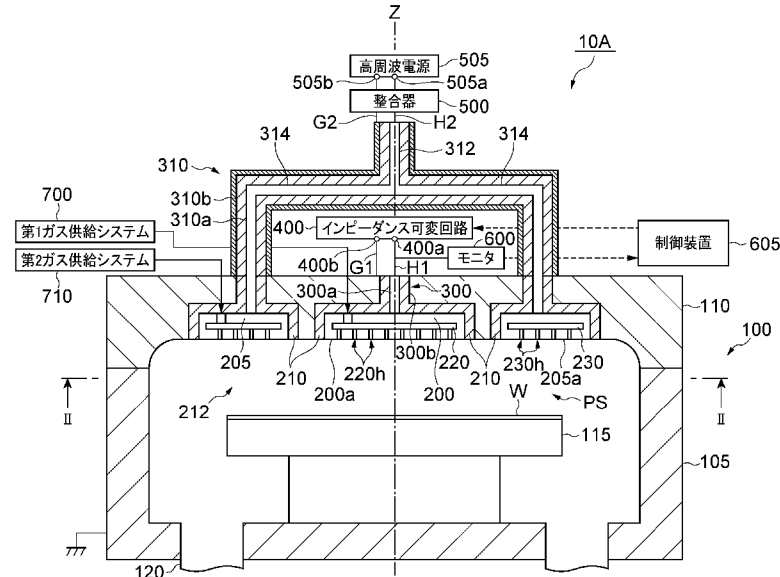
(10) 国際公開番号

WO 2018/074322 A1

- (51) 国際特許分類:
H05H 1/46 (2006.01) H01L 21/31 (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/037016
- (22) 国際出願日: 2017年10月12日(12.10.2017)
- (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 2016-205289 2016年10月19日(19.10.2016) 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). 国立大学法人東北大学(TOHOKU UNIVERSITY)
- [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 平山 昌樹 (HIRAYAMA Masaki); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (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, DJ, DK, DM, DO,

(54) Title: PLASMA PROCESSING APPARATUS AND METHOD FOR CONTROLLING PLASMA PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置及びプラズマ処理装置の制御方法



400 Impedance variable circuit	605 Control device
500 Matching device	700 First gas supply system
505 High frequency power supply	710 Second gas supply system
600 Monitor	

(57) Abstract: A plasma processing apparatus of the present embodiment is provided with: a grounded processing container; a placement stand that supports an object to be processed inside the processing container; a plurality of electrodes disposed so as to face opposite the placement stand of the processing container, said plurality of electrodes being mutually insulated; a high frequency power supply that supplies high frequency power for plasma generation, said high frequency power supply being electrically connected between two different electrodes among the plurality of electrodes, or between

[続葉有]



DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, 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, 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))

one electrode among the plurality of electrodes and the processing container; and an impedance variable circuit that can control impedance, said impedance variable circuit being electrically connected between two different electrodes among the plurality of electrodes, or between one electrode among the plurality of electrodes and the processing container.

(57) 要約: 一実施形態のプラズマ処理装置は、接地された処理容器と、処理容器の内部にて被処理体を支持する載置台と、処理容器の載置台と対面するように配置された複数の電極であり、互いに絶縁された、該複数の電極と、プラズマ生成用の高周波電力を供給する高周波電源であり、複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、複数の電極のうちの1つの電極と処理容器との間に電氣的に接続された、該高周波電源と、インピーダンスを制御可能なインピーダンス可変回路であり、複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、複数の電極のうちの1つの電極と処理容器との間に電氣的に接続された、該インピーダンス可変回路と、を備える。

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置及びプラズマ処理装置の制御方法 技術分野

[0001] 本発明は、プラズマにより被処理体に微細加工を施すプラズマ処理装置及びプラズマ処理装置の制御方法に関する。

背景技術

[0002] 平板ディスプレイ、太陽電池、半導体デバイス等の製造工程では、薄膜の形成及び／又はエッチング等にプラズマが用いられている。プラズマは、例えば、処理容器内にガスを導入し、処理容器内に設けられた電極に数MHz～数100MHzの高周波を印加することによって生成される。生産性を向上させるために、半導体デバイスの製造に用いられるシリコン基板のサイズは年々大きくなる傾向にあり、既に直径300mmのシリコン基板で量産が行われている。

[0003] 薄膜の形成及び／又はエッチング等のプラズマプロセスでは、プロセス時間を短縮して生産性を向上させるために、より高い密度のプラズマを生成することが求められている。また、基板表面に入射するイオンのエネルギーを低く抑えてイオン照射ダメージを低減するとともに、ガス分子の過剰解離を抑制するために、電子温度の低いプラズマを生成することが求められている。一般に、プラズマ励起周波数を高くするとプラズマ密度が増加し電子温度が低下するので、高品質な薄膜を高いスループットで成膜するにはプラズマ励起周波数を高くすることが望ましい。このような観点から、通常の高周波電源の周波数である13.56MHzより高い30～300MHzのVHF（Very High Frequency）帯の高周波をプラズマ処理に用いることが行われている（例えば、特許文献1、2参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平9－312268号公報

特許文献2：特開2009-021256号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、プラズマ励起周波数が高くなると、高周波が印加される電極の表面を伝搬する表面波によって生じる定在波の影響によりプラズマ密度の均一性が悪化してしまうことがある。一般には、高周波が印加される電極のサイズが自由空間の波長の $1/20$ よりも大きくなった場合には、何らかの対策を行わないと均一性の高いプラズマを励起することが困難になる。

[0006] 例えば、直径300mmのシリコン基板上にCVD (Chemical Vapor Deposition) により薄膜を形成する場合、プラズマ励起周波数を13.56MHzに設定すると均一なプラズマが得られるものの、プラズマ密度が低く電子温度が高いために高品質な薄膜を高速に形成することは困難となる。一方、プラズマ励起周波数を約7倍の100MHzに設定すると、膜質と成膜速度が改善するものの、処理の均一性が著しく悪化する。また、たまたまあるプロセス条件で均一なプラズマが実現できたとしても、他のプロセス条件では均一性が悪化してしまう場合もある。100MHz以上の高周波でも直径300mmを超える基板上に均一性の高いプラズマを励起し、かつプラズマ密度の分布を自在に制御する技術が強く望まれる。

[0007] 従来の平行平板型のプラズマ処理装置では、基板の対向面に基板よりも大きな高周波印加電極が設けられている。このようなプラズマ処理装置では、高周波電流は、高周波印加電極とチャンバ壁等の接地間、及び高周波印加電極と基板間にプラズマを介して流れるようになっている。このような構成では、高周波印加電極とプラズマとの間を伝搬する表面波の影響により定在波が発生し、高いプラズマ励起周波数を用いた場合には均一性の高いプラズマを生成することが困難となる。また、プラズマ密度の分布を制御することもできない。

[0008] 上記課題に対して、本発明の目的とするところは、高周波を印加する電極

とインピーダンス可変回路を接続する電極とを設け、電極のインピーダンスを変化させることにより、電極間あるいは電極と接地間の高周波電流の流れを変え、例えばVHF帯の高い励起周波数でプラズマを生成した場合であっても、プラズマの密度分布を制御することができるプラズマ処理装置及びプラズマ処理装置の制御方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0009] 一態様のプラズマ処理装置は、接地された処理容器と、処理容器の内部にて被処理体を支持する載置台と、処理容器の載置台と対面するように配置された複数の電極であり、互いに絶縁された、該複数の電極と、プラズマ生成用の高周波電力を供給する高周波電源であり、複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、複数の電極のうちの1つの電極と処理容器との間に電氣的に接続された、該高周波電源と、インピーダンスを制御可能なインピーダンス可変回路であり、複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、複数の電極のうちの1つの電極と処理容器との間に電氣的に接続された、該インピーダンス可変回路と、を備える。
- [0010] 一実施形態では、複数の電極は、第1の電極及び第2の電極を含み、高周波電源は、第2の電極と処理容器との間に電氣的に接続され、インピーダンス可変回路は、第1の電極と処理容器との間に接続されていてもよい。
- [0011] 一実施形態では、第1の電極は円盤状の中心電極であり、第2の電極は該中心電極の外周を囲むように設けられた環状電極であり、高周波電源は、整合器を介して環状電極及び処理容器に電氣的に接続されていてもよい。
- [0012] 一実施形態では、環状電極及び中心電極は、金属部材から形成され、環状電極と中心電極との間には絶縁体部材が介在していてもよい。
- [0013] 一実施形態では、第1の同軸管を更に備え、第1の同軸管の内部導体の一端はインピーダンス可変回路に接続され、該内部導体の他端は中心電極に接続されていてもよい。
- [0014] 一実施形態では、第1の部分と該第1の部分から分岐した複数の第2の部分とを有する内部導体を含む第2の同軸管を更に備え、第1の部分の端部は

整合器に接続され、複数の第2の部分の端部は中心電極の中心を通る軸線に対して軸対称となる位置で環状電極に接続されていてもよい。

[0015] 一実施形態では、被処理体の外周、中心電極の載置台と対面する面の外周、環状電極の載置台と対面する面の内周、及び環状電極の載置台と対面する面の外周は円形であり、被処理体、中心電極及び環状電極は、環状電極の載置台と対面する面の外径>被処理体の外径>環状電極の載置台と対面する面の内径>中心電極の載置台と対面する面の外径の関係を有していてもよい。

[0016] 一実施形態では、複数の電極は、第1の電極、第2の電極及び第3の電極を含み、高周波電源は、第2の電極と第3の電極との間に電氣的に接続され、インピーダンス可変回路は、第1の電極と第3の電極との間に電氣的に接続されていてもよい。

[0017] 一実施形態では、高周波電源は、第2の電極と第3の電極との間に整合器を介して電氣的に接続され、第3の電極は、整合器及び高周波電源を介して接地されていてもよい。

[0018] 一実施形態では、高周波電源と第3の電極とを接続する高周波伝送路の少なくとも一部にコモンモードチョークが設けられていてもよい。

[0019] 一実施形態では、第1の電極は円盤状の中心電極であり、第2の電極は該中心電極の外周を取り囲むように設けられた環状電極であり、第3の電極は環状電極の外周を取り囲むように設けられた外周電極であってもよい。

[0020] 一実施形態では、中心電極、環状電極及び外周電極は、金属部材から形成され、中心電極と環状電極との間及び環状電極と外周電極との間には絶縁体部材が介在していてもよい。

[0021] 一実施形態では、第1の同軸管を更に備え、第1の同軸管の内部導体の一端はインピーダンス可変回路に接続され、該内部導体の他端は中心電極に接続されていてもよい。

[0022] 一実施形態では、第1の部分と該第1の部分から分岐した複数の第2の部分とを有する内部導体を含む第2の同軸管を更に備え、第1の部分の端部は整合器に接続され、複数の第2の部分の端部は中心電極の中心を通る軸線に

対して軸対称となる位置で環状電極に接続されていてもよい。

[0023] 一実施形態では、複数の電極は、第1の電極及び第2の電極を含み、高周波電源は、第1の電極と第2の電極との間に電氣的に接続され、インピーダンス可変回路は、第2の電極と処理容器との間に電氣的に接続されていてもよい。

[0024] 一実施形態では、高周波電源は、整合器を介して第1の電極及び第2の電極に電氣的に接続され、第2の電極は、整合器及び高周波電源を介して接地されていてもよい。

[0025] 一実施形態では、第1の電極は円盤状の中心電極であり、第2の電極は中心電極の外周を取り囲むように設けられた外周電極であってもよい。

[0026] 一実施形態では、中心電極及び外周電極は、金属部材から形成され、中心電極と外周電極との間には、絶縁体部材が介在していてもよい。

[0027] 一実施形態では、第1の同軸管を更に備え、第1の同軸管の内部導体の一端は整合器に接続され、該内部導体の他端は中心電極に接続されていてもよい。

[0028] 一実施形態では、第1の同軸管の内部導体の一端は、第1の同軸管の外部導体の端部と電氣的に短絡されていてもよい。

[0029] 一実施形態では、一端が第1の同軸管に電氣的に接続され、他端が整合器に電氣的に接続された第2の同軸管を更に備えていてもよい。

[0030] 一実施形態では、被処理体の外周、中心電極の載置台と対面する面の外周、前外周電極の載置台と対面する面の内周、及び外周電極の載置台と対面する面の外周は円形であり、被処理体、中心電極及び外周電極は、外周電極の載置台と対面する面の外径>被処理体の外径>外周電極の載置台と対面する面の内径>中心電極の載置台と対面する面の外径、の関係を有していてもよい。

[0031] 一実施形態では、インピーダンス可変回路は、中心電極の中心を通る軸線に対して軸対称な複数の位置で外周電極に接続されていてもよい。

[0032] 一実施形態では、複数の第2の部分の端部は、環状電極の周方向において

等間隔となる位置で環状電極に接続されていてもよい。

[0033] 一実施形態では、環状電極は、環状電極の周方向に等しい間隔で複数の領域に分割されていてもよい。

[0034] 一態様では、接地された処理容器と、処理容器の内部にて被処理体を支持する載置台と、処理容器の載置台と対面するように配置された複数の電極であり、互いに絶縁された、該複数の電極と、プラズマ生成用の高周波電力を供給する高周波電源であり、複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、複数の電極のうちの1つの電極と処理容器との間に電氣的に接続された、該高周波電源と、インピーダンスを制御可能なインピーダンス可変回路であり、複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、複数の電極のうちの1つの電極と処理容器との間に電氣的に接続された、該インピーダンス可変回路と、複数の電極のうちインピーダンス可変回路に接続する1つの電極の載置台と対面する面における高周波振幅または直流電位を測定するためのモニタと、を備える。一態様に係る制御方法は、モニタによって測定された高周波振幅又は直流電位を取得するステップと、高周波振幅又は直流電位が目標値になるようにインピーダンス可変回路のインピーダンスを制御するステップと、を含む。

発明の効果

[0035] 本発明の一態様及び種々の実施形態によれば、高い励起周波数でプラズマを生成した場合であっても、プラズマの密度分布を制御することができる。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]第1実施形態に係るプラズマ処理装置の縦断面図である。

[図2]図1のⅠ－Ⅰ線に沿った断面の一例である。

[図3]図1のⅠ－Ⅰ線に沿った断面の他例である。

[図4]第1～第6実施形態に係るインピーダンス可変回路の一例である。

[図5]第2実施形態に係るプラズマ処理装置の縦断面図である。

[図6]第3実施形態に係るプラズマ処理装置の縦断面図である。

[図7]第4実施形態に係るプラズマ処理装置の縦断面図である。

[図8]第5実施形態に係るプラズマ処理装置の縦断面図である。

[図9]第6実施形態に係るプラズマ処理装置の縦断面図である。

発明を実施するための形態

[0037] 以下に添付図面を参照しながら、本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0038] <第1実施形態>

[プラズマ処理装置の構成]

まず、本発明の第1実施形態に係るプラズマ処理装置の構成について図1及び図2を参照しながら説明する。図1は本発明の第1実施形態に係るプラズマ処理装置の縦断面図であり、図2は図1のⅠ－Ⅰ線に沿ったプラズマ処理装置の断面図である。

[0039] 図1に示すプラズマ処理装置10Aは、処理容器100、載置台115、上部電極212、インピーダンス可変回路400、及び、高周波電源505を備えている。処理容器100は、シリコン基板等の被処理体（以下、基板Wと称する）をプラズマ処理するための処理空間PSを画成する。処理容器100は、断面が矩形状であり、アルミ合金等の金属から形成され、接地されている。処理容器100は、容器本体105と蓋110とを含んでいる。容器本体105は側壁及び底壁を有している。容器本体105の側壁は筒状体をなしている。蓋110は、容器本体105の上部開口を塞ぐように容器本体105に取り付けられている。蓋110は、容器本体105を介して接地されている。容器本体105と蓋110の間にはOリングが設けられており、処理容器100内の気密性が保たれるようになっている。

[0040] 処理容器100内の下部には、載置台115が配置されている。この載置台115の上面には、基板Wが支持される。また、処理容器100の底壁には、排気口120が形成されている。処理容器100内のガスは、真空ポンプ（不図示）により排気口120から排気される。

[0041] 処理容器100の基板側の面と対向する面（天井面）、即ち処理容器10

0の上部には、載置台115と対面するように上部電極212が設けられている。上部電極212は、複数の電極である中心電極200及び環状電極205を含んでいる。中心電極200は円盤状であり、天井面の中央に位置している。環状電極205は環状であり、中心電極200の外周を取り囲むように設けられている。一実施形態では、中心電極200及び環状電極205は、金属部材から形成されている。中心電極200の外周面及び上面は絶縁体部材210によって覆われている。また、環状電極205の内周面、外周面及び上面は絶縁体部材210によって覆われている。即ち、中心電極200と環状電極205の間には絶縁体部材210が介在しており、絶縁体部材210によって中心電極200及び環状電極205は互いに絶縁されている。絶縁体部材210は、例えばアルミナ又は石英等の誘電体から形成されている。

[0042] また、一実施形態では、中心電極200の内部にはガス拡散室220が形成され、環状電極205の内部にはガス拡散室230が形成されていてもよい。ガス拡散室220からは処理空間PSに連通する複数のガス孔220hが下方に延びており、ガス拡散室230からは処理空間PSに連通する複数のガス孔230hが下方に延びている。ガス拡散室220及びガス拡散室230には、ガス供給管を介して第1ガス供給システム700及び第2ガス供給システム710がそれぞれ接続されている。第1ガス供給システム700及び第2ガス供給システム710は、所定の流量比でガス拡散室220及びガス拡散室230にそれぞれガスを供給する。ガス拡散室220及びガス拡散室230に供給されたガスは、複数のガス孔220h及び複数のガス孔230hを介して処理容器100内にシャワー状に分散されて供給される。

[0043] インピーダンス可変回路400は、インピーダンスを制御可能な電気回路であり、上部電極212の複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、上部電極212の複数の電極のうちの1つの電極と処理容器との間に電氣的に接続されている。図1に示す実施形態では、インピーダンス可変回路400は、第1の接続端子400aと第2の接続端子400bとを有している。

第1の接続端子400aは線H1及び後述する内部導体300aを介して中心電極200に電氣的に接続されており、第2の接続端子400bは線G1を介して処理容器100の蓋110に電氣的に接続されている。即ち、インピーダンス可変回路400は、中心電極200と接地された処理容器100との間に電氣的に接続されている。

[0044] 図4は、インピーダンス可変回路400の構成例を示す回路図である。図4に示すように、インピーダンス可変回路400としては、可変コンデンサのみからなる構成(400A)、可変コンデンサとコイルとを並列接続した構成(400B)、可変コンデンサとコイルと直列接続した構成(400C)が考えられる。

[0045] 一実施形態では、プラズマ処理装置10Aは第1の同軸管300を更に備え得る。第1の同軸管300は、内部導体300a及び外部導体300bから形成されている。内部導体300aは処理容器100の蓋110及び絶縁体部材210を貫通するように延びている。内部導体300aの一端は線H1を介してインピーダンス可変回路400の第1の接続端子400aに接続されている。内部導体300aの他端は中心電極200に接続されている。かかる構成によれば、中心電極200と処理容器100の接地面とに接続されたインピーダンス可変回路400により、中心電極200とグラウンドとの間のインピーダンスを変えることができる。

[0046] 一実施形態では、プラズマ処理装置10Aは第2の同軸管310を更に備え得る。第2の同軸管310は、内部導体310a及び外部導体310bを含んでいる。第2の同軸管310は、長さ方向の途中位置で複数の同軸管に分岐している。本実施形態では、第2の同軸管310は、4本の同軸管に分岐している。なお、第2の同軸管310の分岐数は、4分岐に限られず、例えば、2分岐であってもよく、8分岐であってもよく、他の分岐数であってもよい。第2の同軸管310の内部導体310aは、第1の部分312と当該第1の部分312から分岐した複数の第2の部分314とを含んでいる。内部導体310aの第1の部分312の端部は、整合器500を介して高周

波電源 505 に接続されている。内部導体 310a の複数の第 2 の部分 314 は処理容器の蓋 110 及び絶縁体部材 210 を貫通するように延在し、端部が環状電極 205 に接続されている。また、絶縁体部材 210 は、内部導体 300a と外部導体 300b との間に埋め込まれた誘電体、或いは内部導体 310a と外部導体 310b との間に埋め込まれた誘電体とつながっている。

[0047] 高周波電源 505 は、プラズマ生成用の高周波電力を供給するものであり、上部電極 212 の複数の電極のうち異なる 2 つの電極の間、又は、上部電極 212 の複数の電極のうちの 1 つの電極と処理容器 100 との間に電氣的に接続されている。本実施形態では、高周波電源 505 は、第 1 の給電端子 505a 及び第 2 の給電端子 505b を備えている。第 1 の給電端子 505a は、線 H2 及び第 2 の同軸管 310 の内部導体 310a を介して環状電極 205 に電氣的に接続されている。第 2 の給電端子 505b は、線 G2 及び第 2 の同軸管 310 の外部導体 310b を介して処理容器 100 の蓋 110 に電氣的に接続されている。即ち、高周波電源 505 は、環状電極 205 と接地された処理容器 100 との間に電氣的に接続されている。

[0048] 図 2 に示すように、中心電極 200 と環状電極 205 との間は絶縁体部材 210 で区切られている。第 1 の同軸管 300 の他端は、中心電極 200 の上面の中心位置に接続されている。第 2 の同軸管 310 は、中心電極 200 の中心を通る軸線 Z に対して軸対称な位置に配置されている。一実施形態では、第 2 の同軸管 310 の複数の端部は、環状電極 205 の周方向において等間隔となる位置で環状電極 205 に接続されていてもよい。

[0049] また、別の実施形態では、環状電極 205 は、環状電極 205 の周方向に等しい間隔で分割されていてもよい。図 3 に示す実施形態では、環状電極 205 は、絶縁体部材 210 によって 4 つの領域に分割され、各領域に給電点としての第 2 の同軸管 310 の端部が接続されている。高周波印加電極である環状電極 205 を周方向に分割することにより、環状電極 205 の表面を伝搬する表面波の伝搬距離を短くすることができるので、定在波の発生を抑

制することができる。また、環状電極 205 を周方向に分割することにより熱膨張による歪みを吸収することができ、絶縁体部材 210 の割れを防止することができる。特に、環状電極 205 を周方向に等しい間隔で分割することにより、プラズマの均一性を向上することができると共に、絶縁体部材 210 の割れ防止の効果を高めることができる。

[0050] ここで、基板 W の外周、中心電極 200 のプラズマ露出面である下面 200 a の外周、環状電極 205 のプラズマ露出面である下面 205 a の内周、及び、環状電極 205 の下面 205 a の外周は円形である。これらのサイズは、環状電極 205 の下面 205 a の外径 > 基板 W の外径 > 環状電極 205 の下面 205 a の内径 > 中心電極 200 の下面 200 a の外径、の関係を有していてもよい。なお、中心電極 200 の下面 200 a 及び環状電極 205 の下面 205 a は、載置台 115 と対面する面である。

[0051] [インピーダンス制御]

次に、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 A の制御方法について説明する。本実施形態では、プラズマ処理装置 10 A はモニタ 600 及び制御装置 605 を備え得る。モニタ 600 は、インピーダンス可変回路 400 と中心電極 200 とをつなぐホット側の線 H1 に取り付けられている。モニタ 600 は、中心電極 200 の下面 200 a の高周波振幅または直流電位が測定する。測定された高周波振幅または直流電位は、モニタ 600 から制御装置 605 に送られる。

[0052] 制御装置 605 は、例えば、図示しない CPU、ROM、RAM、I/F (Interface) を有するコンピュータから構成されている。制御装置 605 の RAM には、予め中心電極 200 の下面 200 a の高周波振幅または直流電位の目標値が記憶されている。制御装置 605 は、高周波振幅または直流電位の測定値を取得し、中心電極 200 の下面 200 a の高周波振幅または直流電位が目標値になるようにインピーダンス可変回路 400 のインピーダンスを制御する。インピーダンス可変回路 400 のインピーダンスは、プロセス中においてもフィードバック制御される。

[0053] 本実施形態では、高周波電源 505 から出力された高周波は、基板 W と上部電極 212 間に印加されるのではなく、環状電極 205 と蓋 110（接地）との間に印加され、絶縁体部材 210 から出力される。高周波の一部はプラズマ生成に消費され、高周波の他の一部は反射波となって絶縁体部材 210 に戻る。このように高周波の進行波と反射波とが干渉しあって、電極の下面 200a の表面に沿って電界強度の強弱ができる。

[0054] 本実施形態では、中心電極 200 と蓋 110（接地）との間に接続されたインピーダンス可変回路 400 を用いて中心電極 200 とグラウンドとの間のインピーダンスを変化させることが可能となっている。中心電極 200 とグラウンドとの間のインピーダンスを変化させることで、中心電極 200 と環状電極 205 との間の絶縁体部材 210 から出力される高周波の電界強度や位相を変えることができる。これにより、中心電極 200 の電界強度と環状電極 205 の電界強度との分布の均衡を図り、プラズマ密度の分布を制御することができる。

[0055] インピーダンスの制御について更に具体的に説明する。先ず、中心電極 200 と接地間のリアクタンス X_c が誘導性の場合について考える。中心電極 200 と接地間のインダクタンスを L_c 、中心電極 200 とプラズマとの間に形成されるシースのキャパシタンスを C_s とする。インピーダンス可変回路 400 のインピーダンスを調整して、インダクタンス L_c が下記式（1）、

[数1]

$$L_c = \frac{1}{\omega^2 C_s} \cdots (1)$$

となるようにすると、インダクタンス L_c とキャパシタンス C_s が直列共振した状態になる。ここで、 ω はプラズマ励起角周波数である。このとき、プラズマから中心電極 200 を見たインピーダンスは最小になり、接地面よりも中心電極 200 の方が、高周波電流が流れやすくなる。従って、高周波電流は環状電極 205 と中心電極 200 間のみを流れ、接地面には流れ込まな

い。環状電極 205 の下面 205 a の面積が、中心電極 200 の下面 200 a の面積よりも大きければ、中心電極 200 とプラズマとの間のシースにより高い電圧が印加され、より高い密度のプラズマが励起される。すなわち、基板 W の周辺部よりも中心部の方が、密度が高いプラズマが生成される。

[0056] 中心電極 200 と接地間のリアクタンス X_c を共振状態から正側または負側にずらすと、プラズマから中心電極 200 を見たインピーダンスが大きくなり、高周波電流は接地面にも流れるようになる。中心電極 200 と接地間のリアクタンス X_c を無限大、すなわち中心電極 200 をフローティングにすると、高周波電流は中心電極 200 には流れなくなり、環状電極 205 と接地面間のみを流れるようになる。このとき、中心電極 200 とプラズマとの間のシースには高周波電圧がかからないので、中心電極 200 の前面ではプラズマが励起されない。すなわち、基板の中心部よりも周辺部の方が、密度が高いプラズマが生成される。このように、インピーダンス可変回路 400 のリアクタンスを変えて中心電極と接地間のリアクタンスを変化させることにより、プラズマ密度の分布を制御することができる。

[0057] 以上に説明したように、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10A によれば、基板 W と上部電極との間に電流を流すのではなく、環状電極 205 とグラウンドとの間に高周波電流を流す。また、プラズマ密度の分布の制御をするために、インピーダンス可変回路 400 を設け、中心電極 200 とグラウンドとの間のインピーダンスを制御する。これにより、中心電極 200 と環状電極 205 との間の絶縁体部材 210 から処理容器内に供給される高周波の電界強度や位相を変えることができ、中心電極 200 の電界強度と環状電極 205 の電界強度との分布の均衡を図り、プラズマ密度の分布を制御することができる。

[0058] なお、本実施形態では、処理容器の載置台 115 と対向する面側にて互いに絶縁されて配置された複数の電極の一例として、上部電極 212 が中心電極 200 と環状電極 205 とを含む構成について説明した。しかし、高周波電源 505 は、複数の電極のうちの少なくともいずれか一つの第 1 の電極と

処理容器の接地との間に接続され、高周波を印加すればよい。また、インピーダンス可変回路400は、複数の電極のうちの前記第1の電極とは異なる少なくともいずれか一つの第2の電極と前記処理容器の接地との間に接続され、インピーダンスを制御すればよい。中心電極200は、複数の電極に含まれる第1の電極の一例であり、環状電極205は、複数の電極に含まれる第2の電極の一例である。

[0059] <第2実施形態>

[プラズマ処理装置の構成]

次に、本発明の第2実施形態に係るプラズマ処理装置の構成について図5を参照しながら説明する。第2実施形態に係るプラズマ処理装置10Bは第1実施形態に係るプラズマ処理装置10Aの変形例であり、基本的構成は第1実施形態と同じであるため、以下では、プラズマ処理装置10Aと異なる構成について主に説明する。

[0060] 第2実施形態に係るプラズマ処理装置10Bは、第2の同軸管310に代えて2本の第2の同軸管316を備えている。第2の同軸管316は、内部導体316a及び外部導体316bを含んでいる。図5に示すように、2本の第2の同軸管316の内部導体316aの一端は、環状電極205に接続されている。また、プラズマ処理装置10Bは、整合器500に代えて2出力整合器510を備えている。2出力整合器510は、一对の入力ポート、二対の出力ポートを有している。高周波電源505は、2出力整合器510の一对の入力ポートに接続されている。二対の出力ポートの各々は、第2の同軸管316の内部導体316aの他端及び処理容器100の蓋110に接続されている。2出力整合器510は、分岐と整合器の機能とを合わせもつ。同軸管に分岐構造が存在するとパワーの分配が偏ることがあるのに対して、2出力整合器510ではパワーの分配の偏りを小さくすることができる。また、プラズマ処理装置10Bは、蓋110に電氣的に接続されたシールド125を更に備えている。2出力整合器510と高周波電源505の第2の給電端子505bとの間を接続する線G2は、シールド125を介してグラ

ウンドに接続されている。

[0061] 蓋 110 は、シールド 125 に覆われている。2 出力整合器 510、インピーダンス可変回路 400 及びモニタ 600 は、シールド 125 中に配設されている。高周波電源 505 は、2 出力整合器 510 及び 2 本の第 2 の同軸管 316 を介して環状電極 205 と蓋 110（接地）との間に接続され、環状電極 205 と蓋 110 との間に高周波電力を印加するようになっている。シールド 125 は、高周波がプラズマ処理装置 10B の外部に漏れることを防止する。

[0062] 以上に説明したように、第 2 実施形態に係るプラズマ処理装置 10B では、環状電極 205 とグラウンドとの間に高周波電流が流れる。また、インピーダンス可変回路 400 により中心電極 200 とグラウンドとの間のインピーダンスが制御される。これにより、中心電極 200 と環状電極 205 との間の絶縁体部材 210 から処理容器 100 内に供給される高周波の電界強度や位相を変えることができる。これにより、中心電極 200 の電界強度と環状電極 205 の電界強度との分布の均衡を図り、プラズマ密度の分布を制御することができる。

[0063] <第 3 実施形態>

[プラズマ処理装置の構成]

次に、本発明の第 3 実施形態に係るプラズマ処理装置の構成について図 6 を参照しながら説明する。以下では、プラズマ処理装置 10A と異なる点について主に説明する。第 3 実施形態に係るプラズマ処理装置 10C では、上部電極 212 が、中心電極 200、環状電極 205 及び外周電極 215 の 3 つに分かれている。中心電極 200 及び環状電極 205 の形状及び配置位置は第 1 実施形態とほぼ同じである。外周電極 215 は、環状電極 205 の外周側を取り囲むように設けられている。

[0064] 外周電極 215 は、第 1 及び第 2 実施形態にて蓋 110 が設けられた位置に形成されている。外周電極 215 の外縁部と容器本体 105 との間には絶縁リング 122 が設けられており、処理容器 100 と外周電極 215 とが絶

縁されている。外周電極 215 と接地との間には、外周電極 215 と整合器 500 との間を電氣的に短絡する短絡部 P1 が設けられている。これにより、外周電極 215 は、電氣的及び高周波的にはフローティング状態であるが、伝送路的(直流的)にはグラウンドにつながっている。なお、整合器 500 と高周波電源 505 との間を電氣的に短絡する位置に短絡部を設けてもよい。

[0065] 中心電極 200、環状電極 205 及び外周電極 215 は、金属部材から形成されている。中心電極 200 と環状電極 205 との間、及び、環状電極 205 と外周電極 215 との間にはそれぞれ絶縁体部材 210 が介在しており、中心電極 200、環状電極 205 及び外周電極 215 は互いに絶縁されている。

[0066] プラズマ処理装置 10C では、第 1 の同軸管 300 の内部導体 300a の一端は、線 H1 を介してインピーダンス可変回路 400 に接続されている。第 1 の同軸管の内部導体 300a は、外周電極 215 及び絶縁体部材 210 を貫通するように延び、第 1 の同軸管 300 の他端が中心電極 200 に接続されている。

[0067] 第 2 の同軸管 310 は、長さ方向の途中位置で 2 本の同軸管に分岐している。なお、第 2 の同軸管 310 の分岐数は、2 分岐に限られず、例えば、4 分岐であってもよく、8 分岐であってもよく、他の分岐数であってもよい。第 2 の同軸管 310 の内部導体 310a は、第 1 の部分 312 と当該第 1 の部分 312 から分岐した 2 本の第 2 の部分 314 とを含んでいる。2 本の第 2 の部分 314 は、外周電極 215 及び絶縁体部材 210 を貫通するように延び、環状電極 205 に接続されている。これら 2 本の第 2 の部分 314 は、中心電極 200 の中心を通る軸線 Z に対して軸対称な位置で環状電極 205 に接続されている。また、第 2 の同軸管 310 の上端は、第 3 の同軸管 320 に接続されている。第 3 の同軸管 320 は整合器 500 を介して高周波電源 505 に接続されている。

[0068] 高周波電源 505 は、外周電極 215 と環状電極 205 との間に整合器 5

00を介して接続され、外周電極215と環状電極205との間に高周波を印加する。基板Wに高周波電流が流れてしまうと、基板Wに流れる電流を独立して制御できない。しかしながら、本実施形態では、電極間だけに高周波電流が流れ、基板Wには高周波電流が流れない。これについて説明する。

[0069] プラズマ処理装置100には、コモンモードが生じてグラウンド側に高周波電流が流れることを防止するために、第3の同軸管320の一部の外周近傍に環状のフェライト610が設けられている。フェライト610は、短絡部P1と外周電極215とを接続する高周波伝送路の少なくとも一部に設けられたコモンモードチョークとして機能する。フェライトの透磁率は大きいので、第3の同軸管320を流れるコモンモードの電流に対して大きなインダクタンスとして働く。これにより、コモンモードの電流を抑制することができる。このように第3の同軸管320上にフェライト610を配置することにより、環状電極205に印加した高周波によって基板Wに高周波バイアスが印加されることが防止される。これにより、基板W表面の電位とプラズマ密度の分布とを独立に制御することができる。

[0070] なお、プラズマ処理装置100では、外周電極215は、外周電極215と整合器500とを接続する第3の同軸管320の外部導体320bを介して接地されている。このため、高周波では外部導体320bと接地間のインピーダンスがある程度高くなっている。したがって、必ずしもコモンモードチョークを設ける必要はない。

[0071] 本実施形態にかかるインピーダンス可変回路400は、外周電極215と中心電極200との間に接続され、外周電極215と中心電極200との間のインピーダンスを制御する。本実施形態においても、インピーダンス可変回路400と中心電極200とをつなぐホット側の線H1にモニタ600が接続されている。モニタ600は、中心電極200の下面200aの高周波振幅または直流電位を測定し、測定された高周波振幅または直流電位を制御装置605に送出する。制御装置605は、高周波振幅または直流電位の測定値に基づき、中心電極200のプラズマ露出面の高周波振幅または直流電

位が目標値になるようにインピーダンス可変回路400のインピーダンスをフィードバック制御する。

[0072] 中心電極200、環状電極205及び外周電極215の表面にプラズマを介して流れる高周波電流のバランスは、中心電極200と環状電極205との間、及び、環状電極205と外周電極215との間から放出され、各電極とプラズマとの間を伝搬する表面波の位相差及び強度差で決まる。プラズマ処理装置10Cでは、インピーダンス可変回路400のリアクタンスを変化させることにより、例えば、中心電極200と環状電極205との間にのみ、中心電極200と外周電極215との間にのみ、或いは環状電極205と外周電極215との間にのみに高周波電流を流すこともできるし、これらの電極間に任意の割合で高周波電流を流すこともできる。また、3つの電極に均等に高周波電流を流すこともできる。プラズマ処理装置10Cによれば、このようにしてインピーダンス可変回路400のリアクタンスを変えることにより、基板Wの径方向のプラズマ密度の分布を自在に制御することができる。

[0073] 以上に説明したように、本実施形態に係るプラズマ処理装置10Cによれば、外周電極215と環状電極205との間に高周波を印加し、外周電極215と中心電極200との間のインピーダンスを制御する。これにより、中心電極200の電界強度と環状電極205の電界強度との分布の均衡を図り、プラズマ密度の分布を制御することができる。特に、外周電極215がフローティングになっているため、インピーダンスを可変としても接地側には高周波電流が流れることが防止される。このため、インピーダンスの制御が容易になり、制御の精度を高めることができる。

[0074] なお、本実施形態では、上部電極212が、中心電極200、環状電極205及び外周電極215の3つの電極を含む構成について説明した。しかしながら、中心電極200は第1の電極の一例であり、環状電極205は第2の電極の一例であり、外周電極215は第3の電極の一例に過ぎない。高周波電源505は、第3の電極と第2の電極との間に高周波を印加すればよく

、インピーダンス可変回路４００は、第３の電極と第１の電極との間でインピーダンスを制御すればよい。

[0075] <第４実施形態>

[プラズマ処理装置の構成]

次に、本発明の第４実施形態に係るプラズマ処理装置の構成について図７を参照しながら説明する。第４実施形態に係るプラズマ処理装置１０Ｄは第３実施形態に係るプラズマ処理装置１０Ｃの変形例であり、基本的構成は第３実施形態と同じであるため、プラズマ処理装置１０Ｃと異なる構成について中心に説明する。

[0076] 第４実施形態に係るプラズマ処理装置１０Ｄは、第２の同軸管３１０に代えて２本の第２の同軸管３１６を備えている。図５に示すように、２本の第２の同軸管３１６の内部導体３１６ａの一端は、環状電極２０５に接続されている。また、プラズマ処理装置１０Ｂは、整合器５００に代えて２出力整合器５１０を備えている。２出力整合器５１０は、一对の入力ポート及び二対の出力ポートを有している。高周波電源５０５は、２出力整合器５１０の一对の入力ポートに接続されている。二対の出力ポートの各々は、第２の同軸管３１６の内部導体３１６ａ及び外周電極２１５に接続されている。２出力整合器５１０は、分岐と整合器の機能とを合わせもつ。同軸管に分岐構造を入れるとパワーの分配が偏ることがあるのに対して、２出力整合器５１０ではパワーの分配の偏りを小さくすることができる。２出力整合器５１０と高周波電源５０５との間にはフェライト６１０が設けられている。また、プラズマ処理装置１０Ｄは、容器本体１０５に電氣的に接続されたシールド１２５を更に備えている。２出力整合器５１０と第２の給電端子５０５ｂとの間を接続する線Ｇ２は、シールド１２５を介してグラウンドに接続されている。

[0077] 外周電極２１５は、シールド１２５に覆われている。２出力整合器５１０、インピーダンス可変回路４００及びモニタ６００は、シールド１２５中に配設されている。高周波電源５０５は、２出力整合器５１０及び２本の第２

の同軸管 310 を介して環状電極 205 と外周電極 215 との間に接続され、環状電極 205 と外周電極 215 との間に高周波電力を印加するようになっている。シールド 125 は、高周波がプラズマ処理装置 10D の外部に漏れることを防止する。

[0078] 以上に説明したように、第 4 実施形態に係るプラズマ処理装置 10D によれば、環状電極 205 と外周電極 215 との間に高周波電力を印加し、中心電極 200 と外周電極 215 との間のインピーダンスを制御することにより、電極間の高周波電流の流れを制御してプラズマ密度の分布を制御することができる。

[0079] <第 5 実施形態>

[プラズマ処理装置の構成]

次に、本発明の第 5 実施形態に係るプラズマ処理装置の構成について図 8 を参照しながら説明する。以下では、上述のプラズマ処理装置と異なる点について中心に説明する。第 5 実施形態に係るプラズマ処理装置 10E では、上部電極 212 が、中心電極 200 及び外周電極 215 の 2 つに分かれている。中心電極 200 と外周電極 215 との間は、絶縁体部材 210 を介して絶縁されている。

[0080] プラズマ処理装置 10E は、第 1 の同軸管 300 を備えている。第 1 の同軸管 300 の内部導体 300a の一端は、整合器 500 に接続されている。第 1 の同軸管 300 の内部導体 300a は、外周電極 215 及び絶縁体部材 210 を貫通するように延び、内部導体 300a の他端が中心電極 200 に接続されている。第 1 の同軸管 300 の外部導体 300b は外周電極 215 に接続されている。

[0081] 外周電極 215 の外縁部と容器本体 105 との間には絶縁リング 122 が設けられていて、処理容器 100 と外周電極 215 とが絶縁されている。これにより、外周電極 215 は、電氣的及び高周波的にはフローティング状態であるが、伝送路的（直流的）にはグラウンドにつながっている。絶縁リング 122 の上下には O リング 140、145 が設けられ、絶縁体押さえ 15

0で絶縁リング122、リング140、145を押しつぶすことにより、外周電極215の上部の大気空間から処理容器100内の処理空間PSを封止する。

[0082] プラズマ処理装置10Eでは、基板Wの外周、中心電極200の下面200aの外周、外周電極215の下面215aの内周、及び外周電極215の下面215aの外周は円形であり、これらのサイズは、外周電極215の下面215aの外径>基板Wの外周>外周電極215の下面215aの内径>中心電極200の下面200aの外径、の関係を有する。

[0083] ガスの供給路は、第1ガス供給システム700及び第2ガス供給システム710の2系統になっていて、内側のガス系統と外側のガス系統とで流量比を変えられるようになっている。第1ガス供給システム700は、上部カバー130を貫通するガス供給管705に第1のガスを導入する。導入された第1のガスは、外周電極215の内部に形成され、ガス供給管705に連通するガス通路250aを流れて第1のガス孔250bから処理容器100内に供給される。第2ガス供給システム710は、第2のガスを第1の同軸管の内部導体300a内に形成されたガス通路240aに導入する。第2のガスは、第2のガス孔240bから処理容器内に供給される。

[0084] 冷媒供給システム720は、冷媒供給管725に冷媒を供給する。供給された冷媒は、冷媒供給管725と連通し、外周電極215の内部に形成された環状の冷媒通路250cを流れ、これにより、外周電極215の温度を調整する。

[0085] なお、上述したプラズマ処理装置10A、10B、10C、10Dは冷媒供給システム720を備えていないが、冷媒供給システム720は、プラズマ処理装置10A、10B、10C、10Dにも適用可能である。

[0086] プラズマ処理装置10Eの高周波電源505は、外周電極215と中心電極200との間に整合器500を介して接続され、外周電極215と中心電極200との間に高周波電流を流す。外周電極215と接地された処理容器100との間には、外周電極215と整合器500との間を電氣的に短絡す

る短絡部P 2が設けられている。なお、外周電極215と処理容器100との間に整合器500と高周波電源505との間を電氣的に短絡する短絡部を設けてもよい。

[0087] プラズマ処理装置10Eのインピーダンス可変回路400は、外周電極215と接地された処理容器100との間に接続され、インピーダンスを制御するようになっている。図8では、一つのインピーダンス可変回路400のみが図示されているが、一実施形態では、複数のインピーダンス可変回路400が、中心電極200の中心を通る軸線Zに対して軸対称な位置で外周電極215及び処理容器100に接続されていてもよい。

[0088] プラズマ処理装置10Eでは、外周電極215は、外周電極215と整合器500とを接続する外部導体300bを介して接地されている。このため、高周波では外部導体300bと接地間のインピーダンスがある程度高くなっている。従って、インピーダンス可変回路400のインピーダンスが高ければ、大半の高周波電流は中心電極200と外周電極215との間を流れ、接地面にはほとんど流れない。中心電極200と外周電極215との下面の面積がほぼ等しければ、中心電極200とプラズマとの間のシース及び外周電極215とプラズマとの間のシースには、ほぼ等しい高周波電圧が印加される。

[0089] 例えば、インピーダンス可変回路400を設けずに、外周電極215とグラウンドの間のインピーダンスを無限大にしておくと、外周電極215と中心電極200との間にだけ高周波電流が流れ、グラウンドには流れない。一方、インピーダンス可変回路400のリアクタンスを有限の値にすると、そのリアクタンスに応じて接地面にも高周波電流が流れるようになる。接地面に外周電極215と同じ位相の高周波電流が流れるようにすれば、中心電極200に流れる高周波電流が大きくなるため、中心電極200の下方に高い密度のプラズマが励起される。逆に、接地面に中心電極200と同じ位相の高周波電流が流れるようにすれば、外周電極215に流れる高周波電流が大きくなるため、外周電極215の下方に高い密度のプラズマが励起される。

[0090] 本実施形態においても、制御装置 605 が、モニタ 600 の測定値に基づき、インピーダンス可変回路 400 のリアクタンスを制御することにより、基板 W の径方向のプラズマ密度の分布を自在に制御することができる。また、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10E では、第 3 及び第 4 実施形態に比べて電極数を減らすことができ、かつ分岐を不要とすることができるため構造が単純化することができるという効果も得られる。

[0091] なお、本実施形態では、中心電極 200 と外周電極 215 とを含む構成について説明した。しかしながら、処理容器の載置台と対向する面側にて互いに絶縁されて配置された第 1 の電極及び第 2 の電極のうち、中心電極 200 は第 1 の電極の一例であり、外周電極 215 は第 2 の電極の一例に過ぎない。

[0092] <第 6 実施形態>

[プラズマ処理装置の構成]

次に、本発明の第 6 実施形態に係るプラズマ処理装置の構成について図 9 を参照しながら説明する。第 6 実施形態に係るプラズマ処理装置 10F は第 5 実施形態に係るプラズマ処理装置 10E の変形例であり、基本的構成は第 5 実施形態と同じであるため、プラズマ処理装置 10E と異なる構成について中心に説明する。

[0093] 本実施形態のプラズマ処理装置 10F では、第 1 の同軸管 300 の外部導体 300b と内部導体 300a とを電氣的に短絡する短絡部 P3 が設けられている。中心電極 200 は、内部導体 300a 及び外部導体 300b を介して接地されている。

[0094] また、本実施形態では、一端が第 1 の同軸管 300 に接続され、他端が整合器 500 に接続された第 2 の同軸管 310 を有している。第 2 の同軸管 310 は、内部導体 310a と内部導体 300a とを連結する金属部材 310c により第 1 の同軸管 300 に接続されていて、第 1 の同軸管 300 の途中の側壁からパワーを供給する。

[0095] ガス供給システム 715 は、第 1 の同軸管 300 の内部に形成されたガス

通路 240a にガスを流し、ガス孔 240b から処理容器内に供給する。冷媒供給システム 720 は、内部導体 300a に形成された冷媒通路 240c 及び外部導体 300b に形成された冷媒通路 250c に冷媒を流すことにより、中心電極 200 及び外周電極 215 の温度を調整する。

[0096] 本実施形態では、中心電極 200 が接地されているため、ガス供給システム 715 及び冷媒供給システム 720 の構成を簡単にすることができる。

[0097] なお、上述したプラズマ処理装置 10A、10B、10C、10D は上記冷媒供給システム 720 を備えていないが、冷媒供給システム 720 は、プラズマ処理装置 10A、10B、10C、10D にも適用可能である。

[0098] 以上に説明したように、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10F によれば、インピーダンス可変回路 400 のリアクタンスを可変に制御することにより、基板 W の径方向のプラズマ密度の分布を自在に制御することができる。また、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10F では第 3 及び第 4 実施形態に比べて電極数を減らすことができ、かつ分岐を不要とすることができるため構造が単純化することが可能となる。

[0099] 以上、上記第 1 ～ 第 6 実施形態に係るプラズマ処理装置によれば、高周波を印加する電極とインピーダンス可変回路を接続する電極とを設け、電極のインピーダンスを変化させることにより、電極間あるいは電極と接地間の高周波電流の流れを変えてプラズマ密度の分布を制御することができる。即ち、インピーダンス可変回路が接続する異なる 2 つの電極の間、又は、1 つの電極と処理容器との間のインピーダンスを制御することによって、電極の表面を伝搬する高周波の強度及び位相を変化させることができる。その結果、電極の表面の定在波の分布を変化させることが可能となり、プラズマ密度の分布を制御することが可能となる。

[0100] 以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明ら

かであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

[0101] 例えば、本発明にかかるプラズマ処理装置は、主に半導体製造装置として用いられるが、基板処理装置に用いられてもよい。例えば、半導体の製造工程の他に平板ディスプレイの製造工程や、太陽電池の製造工程に使用することができる。従って、被処理体は、シリコン基板に限られず、ガラス基板であってもよい。

[0102] また、上部電極 212 は、複数の電極を含んでいれば、任意の数の電極を有することができる。さらに、高周波電源 505 は、上部電極 212 の複数の電極のうち異なる 2 つの電極の間、又は、上部電極 212 の複数の電極のうちの 1 つの電極と処理容器 100 との間に電氣的に接続されていればよい。また、インピーダンス可変回路 400 は、上部電極 212 の複数の電極のうち異なる 2 つの電極の間、又は、上部電極 212 の複数の電極のうちの 1 つの電極と処理容器との間に電氣的に接続されていればよい。このような構成を備えていれば、インピーダンス可変回路のインピーダンスを制御することによって、電極の表面を伝搬する高周波の強度及び位相を変化させることができる。その結果、電極の表面の定在波の分布を変化させることが可能となり、プラズマ密度の分布を制御することが可能となる。

符号の説明

[0103] 10A, 10B, 10C, 10D, 10E, 10F…プラズマ処理装置、100…処理容器、115…載置台、200…中心電極、205…環状電極、210…絶縁体部材、212…上部電極、215…外周電極、300…第 1 の同軸管、300a…内部導体、300b…外部導体、310…第 2 の同軸管、310a…内部導体、310b…外部導体、312…第 1 の部分、314…第 2 の部分、316…第 2 の同軸管、316a…内部導体、320…第 3 の同軸管、320b…外部導体、400…インピーダンス可変回路、500…整合器、505…高周波電源、510…2 出力整合器、600…モニタ、605…制御装置、610…フェライト、P1, P2, P3…短絡部、

W…基板、Z…軸線。

請求の範囲

- [請求項1] 接地された処理容器と、
 前記処理容器の内部にて被処理体を支持する載置台と、
 前記処理容器の前記載置台と対面するように配置された複数の電極
 であり、互いに絶縁された、該複数の電極と、
 プラズマ生成用の高周波電力を供給する高周波電源であり、前記複
 数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、前記複数の電極のうち
 の1つの電極と前記処理容器との間に電氣的に接続された、該高周波
 電源と、
 インピーダンスを制御可能なインピーダンス可変回路であり、前記
 複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、前記複数の電極のうち
 の1つの電極と前記処理容器との間に電氣的に接続された、該イン
 ピーダンス可変回路と、を備える、プラズマ処理装置。
- [請求項2] 前記複数の電極は、第1の電極及び第2の電極を含み、
 前記高周波電源は、前記第2の電極と前記処理容器との間に電氣的
 に接続され、
 前記インピーダンス可変回路は、前記第1の電極と前記処理容器と
 の間に接続された、請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記第1の電極は円盤状の中心電極であり、前記第2の電極は該中
 心電極の外周を囲むように設けられた環状電極であり、
 前記高周波電源は、整合器を介して前記環状電極及び前記処理容器
 に電氣的に接続されている、請求項2に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項4] 前記環状電極及び前記中心電極は、金属部材から形成され、前記環
 状電極と前記中心電極との間には絶縁体部材が介在している、請求項
 3に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項5] 第1の同軸管を更に備え、
 前記第1の同軸管の内部導体の一端は前記インピーダンス可変回路
 に接続され、該内部導体の他端は前記中心電極に接続されている、請

求項 3 又は 4 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項6] 第 1 の部分と該第 1 の部分から分岐した複数の第 2 の部分とを有する内部導体を含む第 2 の同軸管を更に備え、

前記第 1 の部分の端部は前記整合器に接続され、前記複数の第 2 の部分の端部は前記中心電極の中心を通る軸線に対して軸対称となる位置で前記環状電極に接続されている、請求項 3～5 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項7] 前記被処理体の外周、前記中心電極の前記載置台と対面する面の外周、前記環状電極の前記載置台と対面する面の内周、及び前記環状電極の前記載置台と対面する面の外周は円形であり、

前記被処理体、前記中心電極及び前記環状電極は、

前記環状電極の前記載置台と対面する面の外径>前記被処理体の外径>前記環状電極の前記載置台と対面する面の内径>前記中心電極の前記載置台と対面する面の外径

の関係を有する、請求項 3～6 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項8] 前記複数の電極は、第 1 の電極、第 2 の電極及び第 3 の電極を含み、

前記高周波電源は、前記第 2 の電極と前記第 3 の電極との間に電氣的に接続され、

前記インピーダンス可変回路は、前記第 1 の電極と前記第 3 の電極との間に電氣的に接続されている、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項9] 前記高周波電源は、前記第 2 の電極と前記第 3 の電極との間に整合器を介して電氣的に接続され、

前記第 3 の電極は、前記整合器及び前記高周波電源を介して接地されている、請求項 8 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項10] 前記高周波電源と前記第 3 の電極とを接続する高周波伝送路の少な

くとも一部にコモンモードチョークが設けられている、請求項 9 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項11] 前記第 1 の電極は円盤状の中心電極であり、
前記第 2 の電極は該中心電極の外周を取り囲むように設けられた環状電極であり、

前記第 3 の電極は前記環状電極の外周を取り囲むように設けられた外周電極である、請求項 9 又は 10 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項12] 前記中心電極、前記環状電極及び前記外周電極は、金属部材から形成され、

前記中心電極と前記環状電極との間及び前記環状電極と前記外周電極との間には絶縁体部材が介在している、請求項 11 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項13] 第 1 の同軸管を更に備え、

前記第 1 の同軸管の内部導体の一端は前記インピーダンス可変回路に接続され、該内部導体の他端は前記中心電極に接続されている、請求項 11 又は 12 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項14] 第 1 の部分と該第 1 の部分から分岐した複数の第 2 の部分とを有する内部導体を含む第 2 の同軸管を更に備え、

前記第 1 の部分の端部は前記整合器に接続され、前記複数の第 2 の部分の端部は前記中心電極の中心を通る軸線に対して軸対称となる位置で前記環状電極に接続されている、請求項 11 ～ 13 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項15] 前記複数の電極は、第 1 の電極及び第 2 の電極を含み、

前記高周波電源は、前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間に電氣的に接続され、

前記インピーダンス可変回路は、前記第 2 の電極と前記処理容器との間に電氣的に接続されている、

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

- [請求項16] 前記高周波電源は、整合器を介して前記第1の電極及び前記第2の電極に電氣的に接続され、
前記第2の電極は、前記整合器及び前記高周波電源を介して接地されている、請求項15に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項17] 前記第1の電極は円盤状の中心電極であり、
前記第2の電極は前記中心電極の外周を取り囲むように設けられた外周電極である、請求項16に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項18] 前記中心電極及び前記外周電極は、金属部材から形成され、
前記中心電極と前記外周電極との間には、絶縁体部材が介在している、請求項17に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項19] 第1の同軸管を更に備え、
前記第1の同軸管の内部導体の一端は前記整合器に接続され、該内部導体の他端は前記中心電極に接続されている、請求項17又は18に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項20] 前記第1の同軸管の内部導体の一端は、前記第1の同軸管の外部導体の端部と電氣的に短絡されている、請求項19に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項21] 一端が前記第1の同軸管に電氣的に接続され、他端が前記整合器に電氣的に接続された第2の同軸管を更に備える、請求項19又は20に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項22] 前記被処理体の外周、前記中心電極の前記載置台と対面する面の外周、前記外周電極の前記載置台と対面する面の内周、及び前記外周電極の前記載置台と対面する面の外周は円形であり、
前記被処理体、前記中心電極及び前記外周電極は、
前記外周電極の前記載置台と対面する面の外径>前記被処理体の外径>前記外周電極の前記載置台と対面する面の内径>前記中心電極の前記載置台と対面する面の外径
の関係を有する、請求項17～21のいずれか一項に記載のプラズ

マ処理装置。

[請求項23] 前記インピーダンス可変回路は、前記中心電極の中心を通る軸線に対して軸対称な複数の位置で前記外周電極に接続されている、請求項17～22のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項24] 前記複数の第2の部分の端部は、前記環状電極の周方向において等間隔となる位置で前記環状電極に接続されている、請求項6又は14に記載のプラズマ処理装置。

[請求項25] 前記環状電極は、前記環状電極の周方向に等しい間隔で複数の領域に分割されている、請求項3～7、11～14のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項26] 接地された処理容器と、
前記処理容器の内部にて被処理体を支持する載置台と、
前記処理容器の前記載置台と対面するように配置された複数の電極であり、互いに絶縁された、該複数の電極と、

プラズマ生成用の高周波電力を供給する高周波電源であり、前記複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、前記複数の電極のうちの1つの電極と前記処理容器との間に電氣的に接続された、該高周波電源と、

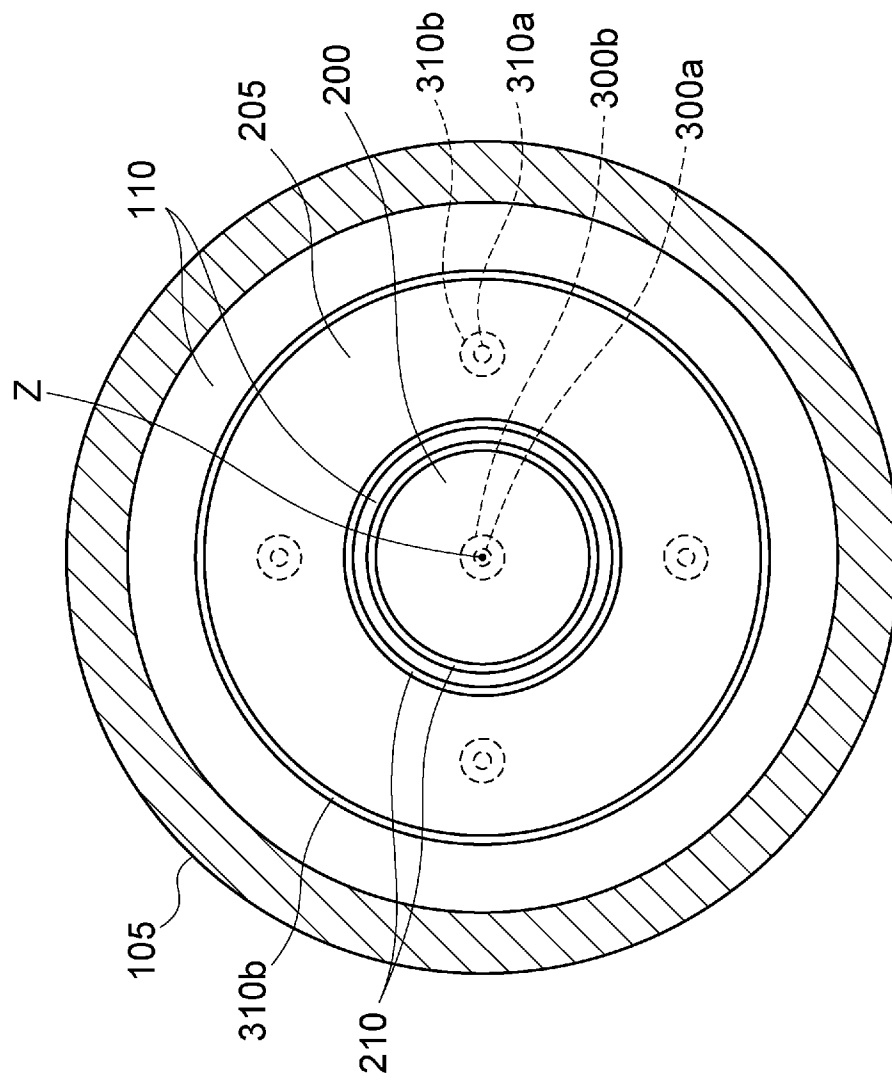
インピーダンスを制御可能なインピーダンス可変回路であり、前記複数の電極のうち異なる2つの電極の間、又は、前記複数の電極のうちの1つの電極と前記処理容器との間に電氣的に接続された、該インピーダンス可変回路と、

前記複数の電極のうち前記インピーダンス可変回路に接続する1つの電極の前記載置台と対面する面における高周波振幅または直流電位を測定するためのモニタと、を備えるプラズマ処理装置の制御方法であって、

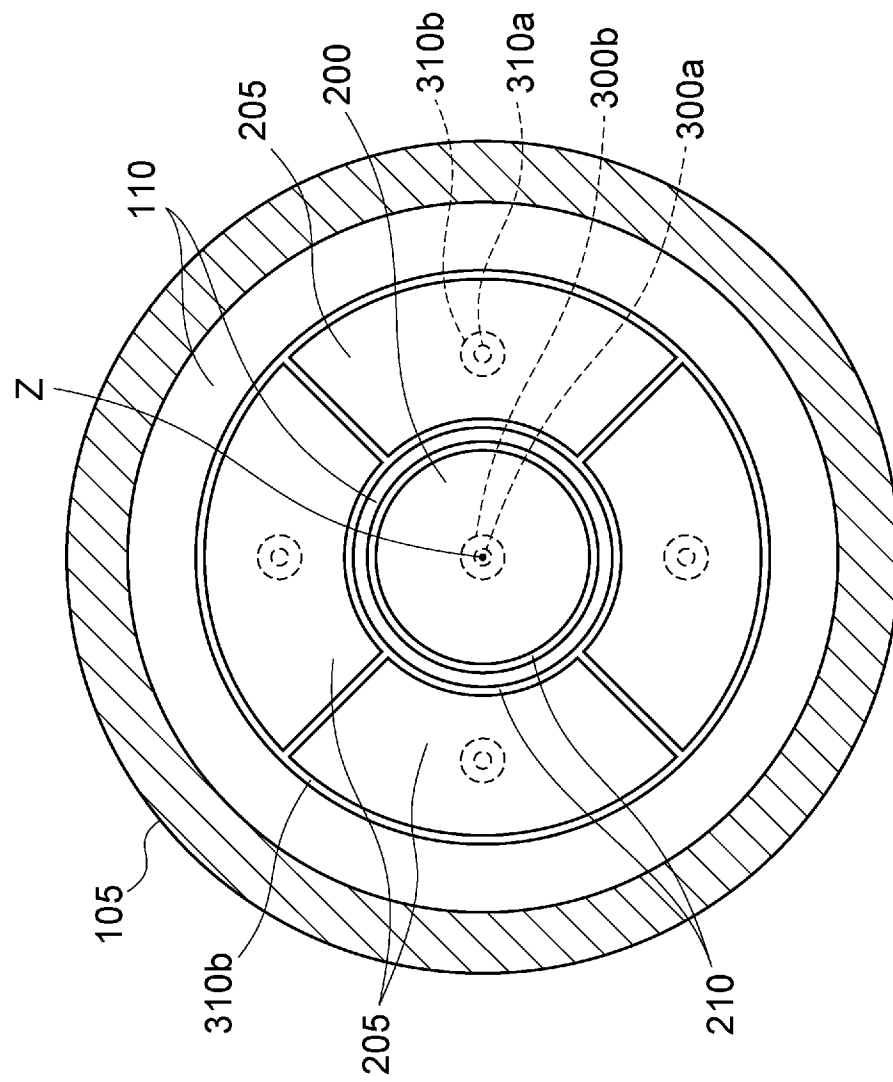
前記モニタによって測定された前記高周波振幅又は直流電位を取得するステップと、

前記高周波振幅又は直流電位が目標値になるように前記インピーダンス可変回路のインピーダンスを制御するステップと、を含む、プラズマ処理装置の制御方法。

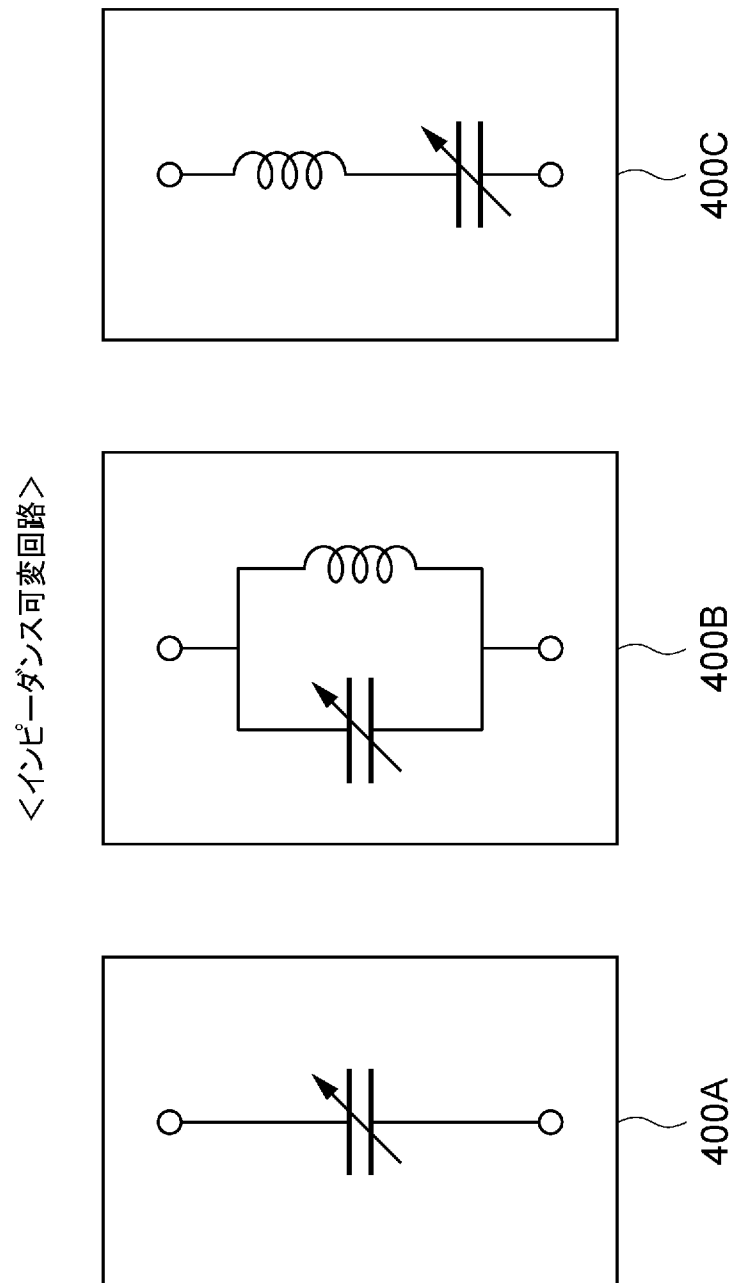
[図2]



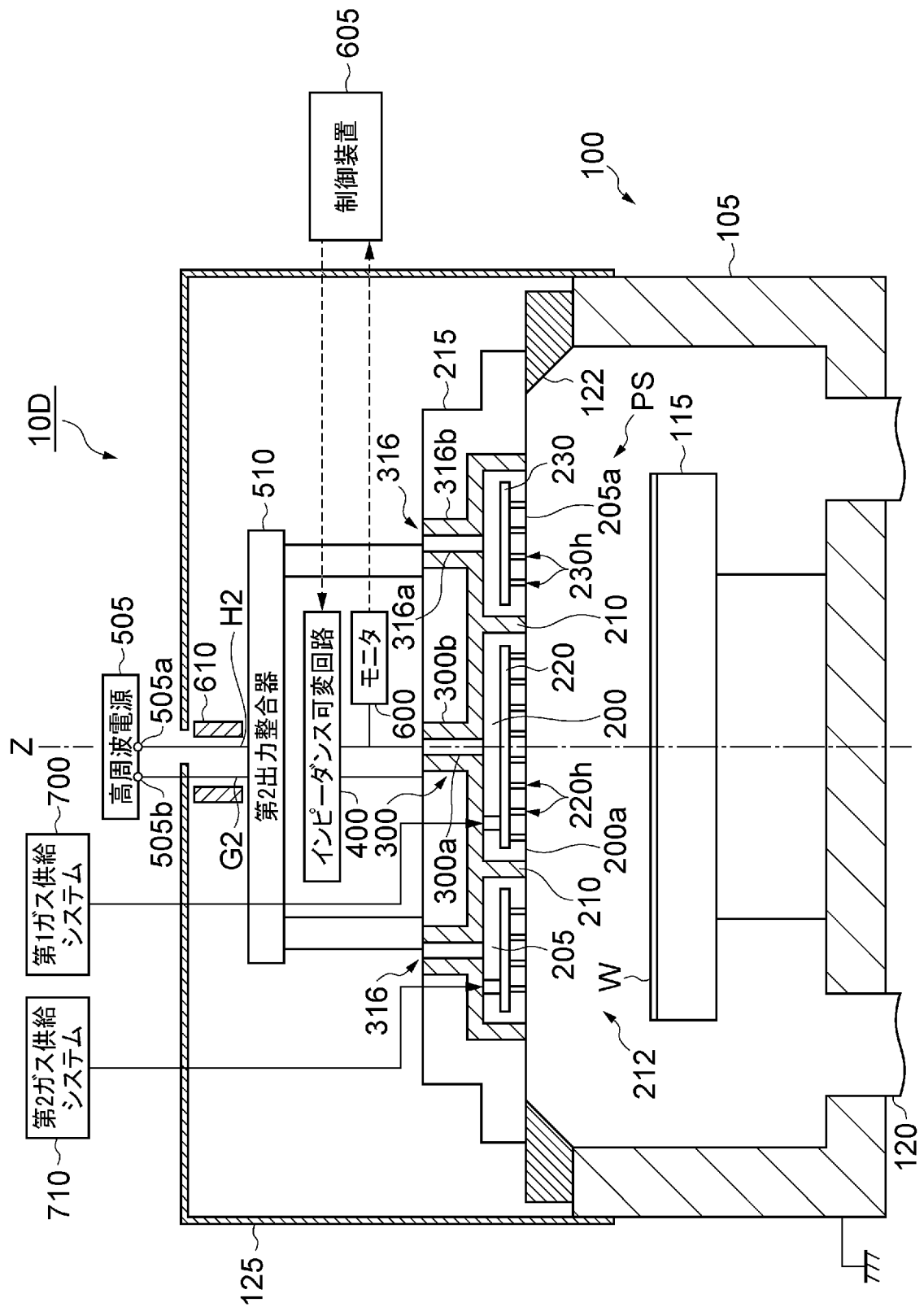
[図3]



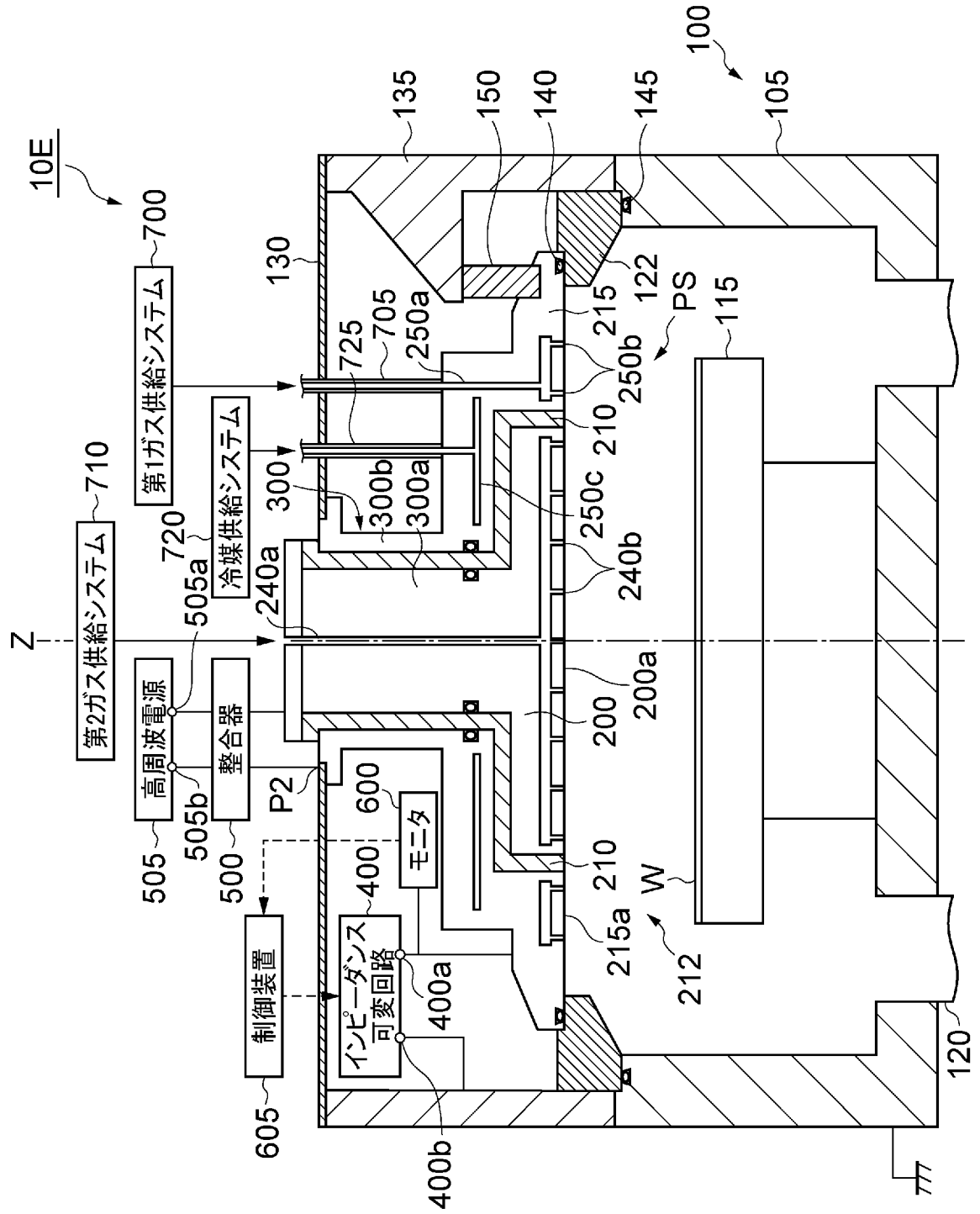
[図4]



[图7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/037016

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H05H1/46 (2006.01) i, H01L21/3065 (2006.01) i, H01L21/31 (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)

Int.Cl. H05H1/46, H01L21/3065, H01L21/31

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2017
Registered utility model specifications of Japan	1996-2017
Published registered utility model applications of Japan	1994-2017

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 Y	JP 2015-26475 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 05 February 2015, fig. 1-3, paragraphs [0021]-[0076] & US 2015/0027637 A1, fig. 1-3, paragraphs [0048]-[0105]	1-4, 15-16, 26 5-10, 24-25
Y	JP 2012-124184 A (MURATA, Masayoshi) 28 June 2012, paragraph [0017] (Family: none)	5-7, 24
Y	JP 10-289881 A (KOKUSAI ELECTRIC CO., LTD.) 27 October 1998, fig. 1-3, paragraphs [0007]-[0020] (Family: none)	8-10, 25

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
26 December 2017

Date of mailing of the international search report
09 January 2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/037016

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2015/190326 A1 (PLUSWARE CORPORATION) 17 December 2015, paragraph [0017] & US 2016/0157331 A1, paragraph [0029]	10
A	JP 2012-22917 A (TOHOKU UNIVERSITY) 02 February 2012, fig. 1 & TW 201230888 A	11-14 17-23

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H05H1/46(2006.01)i, H01L21/3065(2006.01)i, H01L21/31(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（IPC））

Int.Cl. H05H1/46, H01L21/3065, H01L21/31

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 Y	JP 2015-26475 A（東京エレクトロン株式会社） 2015.02.05, 第1-3図、第[0021]-[0076]段落 & US 2015/0027637 A1, 第1-3図、第[0048]-[0105] 段落	1-4, 15-16, 26 5-10, 24-25
Y	JP 2012-124184 A（村田 正義） 2012.06.28, 第[0017]段落（ファミリーなし）	5-7, 24
Y	JP 10-289881 A（国際電気株式会社）	8-10, 25

☒ 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

26.12.2017

国際調査報告の発送日

09.01.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

長谷川 聡一郎

2 G

5552

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

C (続き) . 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
	1998.10.27, 第1-3図、第[0007] - [0020] 段落 (ファミリーなし)	
Y	WO 2015/190326 A1 (プラス・ウェア株式会社) 2015.12.17, 第[0017] 段落 & US 2016/0157331 A1, 第[0029] 段落	10
A	JP 2012-22917 A (国立大学法人東北大学) 2012.02.02, 第1図 & TW 201230888 A	11-14 17-23