

(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
2012 年 6 月 7 日(07.06.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/073449 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/006459
- (22) 国際出願日: 2011 年 11 月 21 日(21.11.2011)
- (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 2010-267321 2010 年 11 月 30 日(30.11.2010) JP
特願 2011-192372 2011 年 9 月 5 日(05.09.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): キヤノンアネルバ株式会社(CANON ANELVA CORPORATION) [JP/JP]; 〒2158550 神奈川県川崎市麻生区栗木 2-5-1 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 池田 真義 (IKEDA, Masayoshi) [JP/JP]; 〒2158550 神奈川県川崎市麻生区栗木 2-5-1 キヤノンアネルバ株式会社内 Kanagawa (JP). 坂本 清尚 (SAKAMOTO, Kiyotaka) [JP/JP]; 〒2158550 神奈川県川崎市麻生区栗木 2-5-1 キヤノンアネルバ株式会社内 Kanagawa (JP). 澤田 明宏

(SAWADA, Akihiro) [JP/JP]; 〒2158550 神奈川県川崎市麻生区栗木 2-5-1 キヤノンアネルバ株式会社内 Kanagawa (JP). 佐護 康実(SAGO, Yasumi) [JP/JP]; 〒2158550 神奈川県川崎市麻生区栗木 2-5-1 キヤノンアネルバ株式会社内 Kanagawa (JP). 長谷川 雅己(HASEGAWA, Masami) [JP/JP]; 〒2158550 神奈川県川崎市麻生区栗木 2-5-1 キヤノンアネルバ株式会社内 Kanagawa (JP). 栗田 資三(KURITA, Motozo) [JP/JP]; 〒2158550 神奈川県川崎市麻生区栗木 2-5-1 キヤノンアネルバ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 岡部 譲, 外(OKABE, Yuzuru et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内 3-2-3 富士ビル 602 号室 Tokyo (JP).

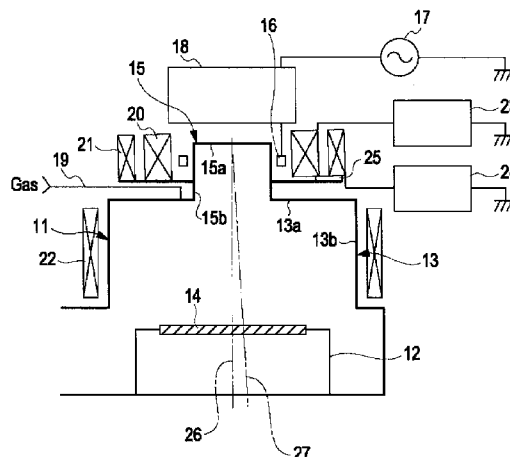
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG,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

[続葉有]

(54) Title: PLASMA PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置

[図1]



(57) Abstract: Provided is a plasma processing device wherein uneven plasma density distribution can be corrected and a substrate can be made uniform. The plasma processing device is configured so that a substrate placed inside a decompression vessel is plasma processed. The decompression vessel is constituted by an electricity supply vessel around the exterior of which a circular antenna is disposed and in which plasma is generated, and a processing vessel which communicates with the interior of the electricity supply vessel and in which a substrate is disposed. Inside the electricity supply vessel, plasma is generated by high-frequency power supplied by the circular antenna. The generated plasma disperses into the processing vessel by way of a magnetic field from a solenoid coil disposed at the outer periphery of the circular antenna. Using an orientation adjustment means that adjusts inclination of this solenoid coil with respect to the processing substrate, the inclination of the magnetic field generated by the solenoid coil is adjusted and substrate processing is performed.

(57) 要約:

[続葉有]



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, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

プラズマ密度分布の偏りを補正し、基板を均一に処理することが可能なプラズマ処理装置を提供する。減圧容器内に配置された基板をプラズマで処理する構成を有し、減圧容器は、外側周囲に環状アンテナが配置され、プラズマが生成される電力供給容器と、電力供給容器内と通じる、基板が配置された処理容器とからなる。電力供給容器内には環状アンテナに供給された高周波電力でプラズマが発生する。発生したプラズマは環状アンテナ外周部に配置されたソレノイドコイルの磁場により処理容器内へ拡散する。このソレノイドコイルの処理基板に対する傾きを調整する傾き調整手段により、ソレノイドコイルにより発生した磁場の傾きを調整し基板処理を行なう。

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置

技術分野

[0001] 本発明はプラズマ処理装置に関し、特に、ドライエッチング装置、プラズマCVD装置、スパッタリング装置、表面改質装置に適したプラズマ処理装置に関するものである。

背景技術

[0002] 基板処理のためのプラズマ処理装置のプラズマ源として、従来、低圧力で高密度なプラズマを生成できる誘導結合型プラズマ（Inductive Coupled Plasma：以下「ICP」という）や、ヘリコン波を励起・伝播させてプラズマを生成するヘリコン波プラズマ（以下「ヘリコン」という）が知られている。ICPは、通常、高周波電力が印加されるアンテナを利用してプラズマを生成する。ヘリコンは、通常、ICPと同様なアンテナを備え、さらに磁気回路と組み合わせてヘリコン波がプラズマ中に伝搬できるように構成される。

[0003] 図15を参照して従来のプラズマ処理装置の構成の一例を説明する（特許文献1参照）。このプラズマ処理装置はICPの装置から構成される。この装置は、内部を減圧状態に保持できる基板処理室101と、基板処理室101内で基板103を支持する基板支持機構102と、基板処理室101内にガスを導入するガス導入機構104と、基板処理室101の内部にプラズマを生成するための環状のアンテナ105と、アンテナ105に高周波電力を供給する高周波電源106と、高周波電源106からアンテナ105に高周波電力を供給する際に整合をとるための整合回路107を備えている。基板処理室101は、石英等の非金属部101aと、アルミニウムやステンレス等からなる金属部101bとから形成される。アンテナ105の周囲には磁場を拡散するためのソレノイドコイル108、109が配置されている。さらに必要に応じて、基板処理室101の周囲には永久磁石110が配置され

る。この永久磁石 110 は、基板処理室 101 の壁面においてプラズマの損失を抑制するために設けられる。以上の構成によって、直流電源 111, 112 によりソレノイドコイル 108, 109 の各々に直流電力を供給することにより基板処理室 101 の内部に磁場が生成され、基板処理室 101 の非金属部 101a で生成されたプラズマを基板処理室の金属部 101b に拡散することができる。なお、図 15 において、基板処理室 101 内を減圧状態に保持するための排気機構、基板 103 を搬送する基板搬送機構、基板温度調整機構、基板処理室 101 の壁面温度調整機構、およびガス導入機構 104 までガスを供給するガス供給機構等の図示は説明の便宜上省略されている。

[0004] 次に上記のプラズマ処理装置を使って基板を処理する手順を説明する。基板処理室 101 の内部に図示しない基板搬送機構により基板 103 を搬送し、基板支持機構 102 の上に基板 103 を固定する。図示しない排気機構により基板処理室 101 の内部は所定の圧力に減圧され、さらに図示しないガス供給機構から供給されるガスはガス導入機構 104 を介して基板処理室 101 に導入され、所定の圧力に保持される。高周波電源 106 から整合回路 107 を介してアンテナ 105 に高周波を印加し、基板処理室 101 の内部にプラズマを生成し、このプラズマで基板 103 を処理する。尚、ヘリコン波を励起する場合には、高周波が印加される間、直流電源 111, 112 によりソレノイドコイル 108, 109 に直流電流を流し、基板処理室 101 の内部に磁場を形成する。このとき、通常、ソレノイドコイル 108, 109 には逆向きの電流が流れることになる。

[0005] 一方、特許文献 2 には、ECR（電子サイクロトロン共鳴）を利用したエッチング装置が開示されている。図 16 は、特許文献 2 に開示された ECR（電子サイクロトロン共鳴）エッチング装置を示す。この装置 310 は、装置本体 311 の上部に設けられたイオン化室 311a に石英窓 313 を通して 2.45 GHz のマイクロ波 314 を供給し、外部磁気コイル 312 を用いて放電を起こすものである。このマイクロ波 314 と外部磁気コイル 31

2による磁界により電子は、サイクロトロン共鳴状態となる。励起された電子は、エッチングガス315を解離させ、高密度のプラズマを発生させる。電離したイオンは、引き出し電極316から発散磁界に沿って装置本体311の下部に設けられたプロセス室311bに入り、良好な指向性（異方性）エッチングを可能にする。一方、支持基板301は、傾斜角度を自由に設定可能な傾斜ステージ317によって斜めに保持された基板ホルダ318に取り付けられ、更に図示しないモータによって回転軸319を中心に回転する。図16に示すECR（電子サイクロトロン共鳴）エッチング装置においては、エッチング時のイオンビーム316aに対して支持基板301を（ $90^\circ - \alpha$ ）だけ傾け、さらに回転軸319を回転させることにより、逆テーパ形状の薄膜が形成される。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開平10-172790号公報

特許文献2：特開2002-18798号公報

発明の概要

[0007] 前述した従来の特許文献1記載のプラズマ処理装置は次のような問題を提起する。ソレノイドコイル108，109の電流値を変化させて発生する磁場の分布を変化させることにより、基板103を処理するプラズマ密度分布を制御することができる。しかし、ソレノイドコイル108，109の電流値を変化させると、磁場の分布は同心円状に変化するのでプラズマ密度分布も同心円状に変化し、もしプラズマ密度分布の中心が処理基板103の中心からずれていると、ソレノイドコイル108，109の電流値を変化させただけでは、このずれを修正することは出来ない。例えばエッチング装置でこのプラズマ密度分布の偏りが生じると、結果としてエッチング速度分布の偏りとなって現れる。

[0008] プラズマ密度分布の中心がずれる理由は、アンテナ105形状や高周波電力の印加方法、容器に対するアンテナ105の取付け精度、ガス導入と排気

系位置によるガス流れなどによるプラズマ生成の不均一性の問題や、ソレノイドコイル１０８、１０９、永久磁石１０６の部品精度、取付け精度によるプラズマ拡散の不均一性の問題によると考えられる。

[0009] 一方、前述した従来の特許文献２記載のＥＣＲ（電子サイクロトロン共鳴）エッチング装置は、基板３０１を傾けることによって、非対称なエッチング分布を改善することはできるが、プラズマ自体の不均一性を残したままとなるので、プラズマ不均一による基板３０１へのチャージアップダメージ等が発生することが予想される。

[0010] 本発明の目的は、上記問題を解決することにより、プラズマ自体の凹凸分布を制御し、かつプラズマ密度分布の偏りを補正し、基板を均一に処理することが可能なプラズマ処理装置を提供することである。

[0011] 本発明に係るプラズマ処理装置は、上記目的を達成するため、次のように構成される。

[0012] 上記目的を達成するために、本発明の第１の態様は、基板をプラズマで処理するプラズマ処理装置であって、内部に前記基板を配置可能な容器と、前記容器内に前記プラズマを発生させるように、前記容器の周囲を取り囲んで設けられているアンテナと、前記容器内に磁場を発生させて前記プラズマを拡散させるように、前記アンテナの周囲を取り囲んで設けられている磁場発生手段と、前記アンテナ及び前記磁場発生手段の少なくとも一方を傾げるための傾き調整手段と、を備える、プラズマ処理装置である。

[0013] 上記第１の態様では、前記傾き調整手段により、磁場発生手段とアンテナの少なくとも一方を傾かせることができる。こうすることで、予め基板処理を行ないプラズマ処理分布の偏りが判っていれば、処理の遅い方向にプラズマの中心が向くように前記磁場発生手段又はアンテナの傾きを変えることで、前記磁場発生手段により発生する磁界の傾き又は前記アンテナにより発生されるプラズマの分布を変える。こうすることでプラズマ密度分布の偏りを補正し、基板を均一に処理することが可能となる。

[0014] 上記目的を達成するために、本発明の第２の態様は、上記第１の態様にお

いて、前記アンテナは第 1 の軸に対して略軸対称であって、前記第 1 の軸を囲むように構成された環状アンテナであり、前記磁場発生手段は第 2 の軸に対して略軸対称であって、前記第 2 の軸を囲むように構成されたソレノイドコイルであり、前記第 1 の軸と前記第 2 の軸とが所定の角度をなすように、前記環状アンテナ及び前記ソレノイドコイルの少なくとも一方が前記傾き調整手段により傾けられることを特徴とするプラズマ処理装置である。

[0015] また、上記目的を達成するために、本発明の第 3 の態様は、上記第 1 の態様において、前記磁場発生手段を支持するベース板をさらに備え、前記傾き調整手段は、前記磁場発生手段と前記ベース板との間に設けられている板状部材であることを特徴とするプラズマ処理装置である。

[0016] 上記第 3 の態様では、前記磁場発生手段と前記ベース板との間に設けられた板状部材の厚さを調整することより、前記磁場発生手段の一方側の高さとは方側の高さとを異ならせることができる。これにより、前記磁場発生手段をアンテナの中心線に対し、所定角度傾かせることができる。

[0017] また、上記目的を達成するために、本発明の第 4 の態様は、上記第 1 の態様において、前記磁場発生手段を支持するベース板をさらに備え、前記傾き調整手段は、前記ベース板に接続されている上下運動が可能な駆動ユニットであり、前記磁場発生手段が、前記駆動ユニットの上下運動により前記ベース板が傾けられることによって傾けられることを特徴とするプラズマ処理装置である。

[0018] 上記第 4 の態様では、前記駆動手段を上下動させることにより、前記磁場発生手段の一方側の高さとは方側の高さとを連続的に変化させることができる。これにより、前記磁場発生手段をアンテナの中心線に対し、所定角度傾かせることができる。

[0019] また、上記目的を達成するために、本発明の第 5 の態様は、上記第 4 の態様において、前記ベース板は、前記容器を取り囲む略環状であり、前記駆動ユニットは、前記ベース板の一端側に設けられる第 1 の駆動ユニットと、前記ベース板の他端側に設けられる第 2 の駆動ユニットと、を有することを特

徴とするプラズマ処理装置である。

[0020] 上記第5の態様では、前記駆動ユニットは、前記ベース板の一端側と他端側とをそれぞれアンテナの中心線に対し、所定角度傾かせることができる。

[0021] また、上記目的を達成するために、本発明の第6の態様は、上記第4の態様において、前記ベース板は、前記容器を取り囲む略環状であり、前記駆動ユニットは、前記ベース板の円周方向に等角度で配置されている第1の駆動ユニットと第2の駆動ユニットと第3の駆動ユニットと、を有することを特徴とするプラズマ処理装置である。

[0022] 上記第6の態様では、前記第1の駆動ユニット、第2の駆動ユニット、第3の駆動ユニットをそれぞれ周期的に上下動させることにより、第1の駆動ユニットに対応する磁場発生手段の高さ位置、第2の駆動ユニットに対応する磁場発生手段の高さ位置、第3の駆動ユニットに対応する磁場発生手段の高さ位置を、一定周期で可変にすることができる。これにより、基板処理中に前記磁場発生手段の傾きを一定周期で変化させる。こうすることで、磁場発生手段中心線がアンテナの中心線の回りを一定の傾き角を保ちつつ旋回移動し、前記磁場発生手段により発生した磁場も基板中心に対してオフセットした位置で旋回移動することが出来る。磁場発生手段中心すなわち磁場中心がアンテナ中心と一致した場合と比較し、磁場発生手段中心すなわち磁場中心をアンテナ中心からオフセットした位置で旋回移動することで大面積の基板に対してより均一な処理が可能となる。また、移動する速度をプラズマ密度分布すなわち基板処理速度分布に合わせて変化させ、処理速度が遅い領域をゆっくりと、処理速度が早い領域を早く移動するようにすることで偏りの補正が可能となる。

[0023] また、上記目的を達成するために、本発明の第7の態様は、上記第2の態様において、前記第1の軸と前記第2の軸とがなす角度が 0° から 5° の範囲であることを特徴とするプラズマ処理装置である。

[0024] 上記第7の態様では、前記磁場発生手段のアンテナに対する傾き角は、前記磁場発生手段の軸対称線である磁場発生手段中心線と、アンテナの軸対称

線であるアンテナ中心線との成す角度で表される。磁場発生手段により発生した磁界の拡散は、容器の形状や発生する磁界の強さにより影響されるが、磁場発生手段を傾けて効果的に基板の処理を行なうには0から5°の範囲が適している。磁場発生手段をより大きく傾けるとアンテナ等の他部品に干渉したりする問題が生じる。

[0025] また、上記目的を達成するために、本発明の第8の態様は、上記第1の態様において、前記磁場発生手段は、同心状に配置された第1のソレノイドコイルと第2のソレノイドコイルとを有し、前記傾き調整手段が、前記第1のソレノイドコイルと前記第2のソレノイドコイルにそれぞれ設けられていることを特徴とするプラズマ処理装置である。

[0026] 上記第8の態様では、前記傾き調整手段を、前記第1のソレノイドコイルと第2のソレノイドコイルにそれぞれ設けることにより、各ソレノイドコイルの傾きを独立して調整可能となり、よりきめ細かく分布補正することが可能となる。

[0027] また、上記目的を達成するために、本発明の第9の態様は、上記第1の態様において、前記容器が、内部に前記プラズマを発生させるための電力供給容器と、前記電力供給容器と内部空間が通じるように接続され、内部に前記基板を配置可能な処理容器と、を備える、プラズマ処理装置である。

[0028] 以上の説明で明らかなように本発明によれば、前記ソレノイドコイルの軸対称線であるコイル中心線と、前記環状アンテナの軸対称線であるアンテナ中心線とが、前記いずれか一方の中心線に対し、相対的に所定角度の傾きをなすような傾き調整手段を、前記ソレノイドコイルに取り付け、これにより前記ソレノイドコイルにより発生した磁場の傾きを調整し基板処理を行なうものとしたため、プラズマ密度分布の偏りを補正し、基板を均一に処理することが可能となった。

また、前記傾き調整手段を上下運動が可能な駆動ユニットにすることにより、前記ソレノイドコイルの環状アンテナに対する傾きが変更可能となり、基板処理中に前記ソレノイドコイルの傾きを変化させることで、前記ソレノ

イドコイルにより発生した磁場の傾きを連続的に変えながら基板処理を行なうものとしたため、プラズマ密度分布の偏りを補正し、基板を均一に処理することが可能となった。

また、前記傾き調整手段を、前記第1のソレノイドコイルと第2のソレノイドコイルにそれぞれ設けることにより、各ソレノイドコイルの傾きを独立して調整可能となり、よりきめ細かく分布補正することが可能となった。

図面の簡単な説明

[0029] [図1]本発明の実施形態に関わる基板処理用プラズマ処理装置の減圧容器の内部構造と、これに関連する部分の構成を示す図である。

[図2A]本発明の実施形態に関わるソレノイドコイルがベース板に取り付けられた状態を示す図である。

[図2B]本発明の実施形態に関わるソレノイドコイルとベース板との間に板状部材を挿入し、ソレノイドコイルを傾けた状態を示す図である。

[図3]本発明の実施形態に関わるソレノイドコイルの傾き状態を説明する図である。

[図4A]ソレノイドコイルの傾き調整前のエッチング分布特性を表す図である。

[図4B]ソレノイドコイルの傾き調整前のソレノイドコイルの状態を示す図である。

[図4C]ソレノイドコイルの傾き調整後のエッチング分布特性を表す図である。

[図4D]ソレノイドコイルの傾き調整後のソレノイドコイルの状態を示す図である。

[図5A]本発明の実施形態に関わる1軸の駆動ユニットの配置図を示した図である。

[図5B]本発明の実施形態に関わる1軸の駆動ユニットを示した図である。

[図6A]本発明の実施形態に関わる1軸の駆動ユニットにより、ソレノイドコイルを傾けた状態を示す図である。

[図6B]本発明の実施形態に関わる1軸の駆動ユニットにより、ソレノイドコイルを傾けた状態を示す図である。

[図7A]本発明の実施形態に関わる1軸の駆動ユニットを駆動させてソレノイドコイルを傾けた状態を示す図である。

[図7B]本発明の実施形態に関わる1軸の駆動ユニットを駆動させてソレノイドコイルを傾けた状態を示す図である。

[図8A]ソレノイドコイルの傾き調整前の磁力線分布特性を表す図である。

[図8B]ソレノイドコイルの傾き調整後の磁力線分布特性を表す図である。

[図9]ソレノイドコイルの傾き調整前後の磁力線分布特性を表す図である。

[図10]ソレノイドコイルの傾き調整前後のエッチングレート特性を表す図である。

[図11A]ソレノイドコイルの傾き調整前後の電流経路特性を表す図である。

[図11B]ソレノイドコイルの傾き調整前後の電流経路特性を表す図である。

[図11C]ソレノイドコイルの傾き調整前の等磁力面を表す図である。

[図11D]ソレノイドコイルの傾き調整後の等磁力面を表す図である。

[図12]本発明の実施形態に関わるソレノイドコイルとベース板との間に板状部材を挿入し、ソレノイドコイルを傾けた状態を示す図である。

[図13]本発明の実施形態に関わるソレノイドコイルの傾き状態を説明する図である。

[図14A]本発明のソレノイドコイルをX-Y方向に移動する為の手段を示す図である。

[図14B]本発明のソレノイドコイルをX-Y方向に移動する為の手段を示す図である。

[図15]従来（特許文献1）のプラズマ処理装置の構成の一例を示す図である。

[図16]従来（特許文献2）のECR（電子サイクロトロン共鳴）エッチング装置を示す。

[図17]本発明の実施形態に関わる整合回路を傾け、それによって環状アンテナ

ナを傾けた状態を示す図である。

[図18]本発明の実施形態に関わる環状アンテナの傾き状態を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0030] 以下に、本発明の好適な実施形態を添付図面に基づいて説明する。

[0031] 図1～図4Dを参照して第1の実施形態を説明する。図1は基板処理用プラズマ処理装置の減圧容器の内部構造と、これに関連する部分の構成を示す図、図2Aはソレノイドコイルがベース板に取り付けられた状態を示す図、図2Bはソレノイドコイルとベース板との間に板状部材を挿入し、ソレノイドコイルを傾けた状態を示す図、図3はソレノイドコイルの傾き状態を説明する図、図4A、図4B、図4C及び図4Dはエッチング分布特性を表す図である。

[0032] 図1において、プラズマ処理装置はICPに係る装置構成とヘリコンに係る装置構成を示す。容器11は、その内部空間を図示しない排気機構によって所定の減圧状態に保持される。以下、容器11を「減圧容器」という。本実施形態による減圧容器11では、その内部空間は2つの空間からなる。1つは基板支持機構12が配置される空間であり、アルミニウムやステンレス等の金属で作られた処理容器13によって形成される。処理容器13の側壁は例えば円筒形に作られる。また基板支持機構12の上には処理される基板（被処理基板）14が配置される。この基板14は例えば $\phi 300\text{ mm}$ の大型の基板である。他の1つはプラズマが生成される空間であり、高周波を内部に導入できる石英等の誘電体で主に作られた電力供給容器15によって形成される。電力供給容器15は、上端壁15aが金属で作られ、その他の側壁部分は誘電体で作られている場合もある。上側に位置する電力供給容器15の側壁15bは例えばほぼ円筒形に作られている。電力供給容器15は、処理容器13の上壁13aに取り付け、固定される。処理容器13の側壁13bの径に対して、電力供給容器15の側壁15bの径は小さくなるように設定される。処理容器13の内部空間と容器15の内部空間は通じている。

従って電力供給容器 1 5 の内部空間で生成されたプラズマは拡散し、下方に移動して、処理容器 1 3 の内部空間に進む。処理容器 1 3 の内部空間に配置された基板 1 4 は、電力供給容器 1 5 の内部空間に対向した位置にある。電力供給容器 1 5 の円筒形側壁の中心軸線と、基板 1 4 の中心を通り基板に対して垂直な基板中心線とは同軸上に位置している。電力供給容器 1 5 から処理容器 1 3 へ拡散したプラズマは基板 1 4 の前面空間に移動することになる。なお、本明細書においては、電力供給容器 1 5 が四角形である場合には、それぞれの対角線を結ぶ交点を中心軸線とする。

[0033] 本実施形態の構成では、電力供給容器 1 5 の下部の周縁部は、処理容器 1 3 の上壁 1 3 a と面一になっている。接続された関係にある処理容器 1 3 と電力供給容器 1 5 の境界部において、電力供給容器 1 5 側の部分で、電力供給容器 1 5 の円筒形側壁 1 5 b から処理容器 1 3 の側に至るに従って径が徐々にラッパ状に拡大する部分が形成される場合もある。

[0034] 上記電力供給容器 1 5 の外側周囲にはアンテナ 1 6 が配置される。アンテナ 1 6 は、一部が開いた環状であって、その一方が高周波電力を供給する際に整合をとるための整合回路 1 8 側に、他方がグランド電位側に接続され、環状部は電力供給容器 1 5 と一定の空間を隔て、且つ処理容器 1 3 の上壁と平行となるように配置されている。アンテナ 1 6 の支持機構は図示されないが、よく知られた機構が用いられる。

[0035] 上記の構成に対して、上記アンテナ 1 6 に高周波電力を供給する高周波電源 1 7 と、高周波電源 1 7 からアンテナ 1 6 に高周波電力を供給する際に整合をとるための整合回路 1 8 と、処理容器 1 3 の内部空間にガスを導入するガス導入機構 1 9 と、アンテナ 1 6 の周囲に配置される同心状のソレノイドコイル 2 0, 2 1 (磁場発生手段) と、処理容器 1 3 の周囲に配置される永久磁石 2 2 が設けられる。ソレノイドコイル 2 0, 2 1 は磁場を拡散するためのもので、直流電源 2 3, 2 4 により直流電力が供給される。永久磁石 2 2 は、処理容器 1 3 の壁面においてプラズマの損失を抑制するために設けられる。なお図 1 において、内部を減圧状態に保持する排気機構、基板搬送機

構、基板温度調整機構、処理容器の壁面温度調整機構、およびガス導入機構までガスを供給するガス供給機構等の図示は、発明の要旨との関係上および説明の便宜上省略されている。アンテナ 16 の中心線 26 は、電力供給容器 15 の円筒形側壁の軸線と、基板 14 の中心を通り基板に対して垂直な基板中心線とは同軸上に位置している。なお、ソレノイドコイル 20, 21 は中心線 27 (コイル中心線 27 ともいう) に対して略軸対称であり、アンテナ 16 は中心線 26 (アンテナ中心線 26 ともいう) に対して略軸対称となるように構成されている。

[0036] 次に本発明の特徴点構成である傾き調整機構について説明する。図 2 A は第 1 のソレノイドコイル 20 と第 2 のソレノイドコイル 21 とがベース板 30 に固定された状態を示す。図 2 A においては、図 1 に示す第 1, 第 2 のソレノイドコイル 20, 21 の中心線とアンテナ 16 との中心線とは機械的に一致している。本発明の第 1 の特徴点は、図 2 B に示すように、第 1, 第 2 のソレノイドコイル 20, 21 の一端側 (図 1 の右側) とベース板 30 との間に、ソレノイドコイルの中心線 27 がアンテナ 16 の中心線 26 に対して、所定角度の傾きをなすような傾き調整手段 (板状部材) 25 を設けた点にある。図 2 B では、傾き調整手段 (板状部材) 25 としてはシムを挿入した例を示す。図 2 B のように、第 1, 第 2 のソレノイドコイル 20, 21 の一端側 (図 2 B の右側) とベース板 30 との間に、シム 25 を挿入することにより、図 1 に示すように、ソレノイドコイル 20, 21 の中心線 27 がアンテナ 16 の中心線 26 に対して、所定角度の傾きをなすようになる。傾き角度としては、 0° から 5° にすることが好ましい。なお、本明細書において、「ソレノイドコイルのアンテナに対する傾き角度」とは、ソレノイドコイル 20, 21 の軸対称線であるコイル中心線 27 と環状アンテナ 16 の軸対称線であるアンテナ中心線 26 との成す角度をいう。

[0037] 上記のプラズマ処理装置では、処理容器 13 内に基板搬送機構により基板 14 を搬送し、基板支持機構 12 上に基板 14 を配置し、基板 14 を固定する。図 1 は、基板 14 が固定された状態を示す。次に、排気機構によって処

理容器 13 および電力供給容器 15 の内部を所要圧力に減圧し、ガス供給系から供給されるガスをガス導入機構 19 を介して処理容器 13 内に導入し、内部を所要圧力に保持する。高周波電源 17 から整合回路 18 を介してアンテナ 16 に高周波を印加し、電力供給容器 15 の内部、および処理容器 13 における電力供給容器 15 側の近傍領域でプラズマを生成する。電力供給容器 15 の内部等で生成されたプラズマはソレノイドコイル 20, 21 により生成された磁場に沿って処理容器 13 の内部空間に拡散する。こうして拡散されたプラズマによって基板 14 が処理される。

[0038] 次にソレノイドコイル 20, 21 の傾き調整について図 3 を用いて説明する。ソレノイドコイル 20, 21 は、図 2 A に示すベース板 30 に固定されて、さらに処理容器 13 に固定されている。図 3 は傾き調整後の状態を示す。ソレノイドコイル 20, 21 は内側 20、外側 21 を独立して傾ける場合、内側 20、外側 21 の 2 つを同時に傾ける場合、内側 20、外側 21 のいずれかを傾ける場合の 3 通りが考えられる。実際に、内側 20、外側 21 のソレノイドコイルをどのように傾けるかは、傾き調整前に基板のエッチング速度分布の結果から判断して行う。図 3 は内側 20、外側 21 の 2 つのコイルを同時に傾けた場合を示している。また、この例ではシムを挿入することで傾きを調整しているがシムに限定したものではない。

[0039] 図 3 において、アンテナ中心線 26 とコイル中心線 27 の成す角度が傾き角となる。当初、ソレノイドコイルの傾き調整を実施しない場合、アンテナ中心線 26 とコイル中心線 27 は重なった位置になっている。即ち、図 2 A に示すように、ソレノイドコイル 20, 21 がベース板に固定された状態においては、アンテナ中心線 26 とコイル中心線 27 とは一致している。しかし、図 2 B に示すように、ソレノイドコイル 20, 21 とベース板 30 の間に、傾けたい方向に傾けたい角度分の厚さのシム 25 を挿入し、傾き角度が大きくなるに従い、アンテナ中心線 26 とコイル中心線 27 は離れていく。ソレノイドコイル 20, 21 により生成される磁場と磁場により拡散されるプラズマもこれと同じ方向に移動していく。

[0040] 次に処理基板の分布を改善する手順についてエッチング装置を例に説明する。まずソレノイドコイル傾き調整前の状態にて基板をエッチングし、エッチング速度分布の状態を確認する。尚、エッチング速度分布の測定は光学式膜厚測定器を用いて行った。次に処理基板 14 のエッチング速度分布の結果から、ソレノイドコイルの傾ける方向と傾き角度量に合わせ、ベース板 30 とソレノイドコイル 20, 21 との間に挿入するシム 25 の位置、厚さ、大きさ、形状を決定する。次に、シム 25 を挿入し、実際にソレノイドコイルの傾き調整を行う。この状態にて再度基板をエッチングし、エッチング速度分布の状態を確認する。補正した結果が十分であれば終了し、不十分であれば再度上記作業を繰り返す。

[0041] 図 4 A にソレノイドコイルの傾き調整前における 300 mm 処理基板のエッチング処理速度の分布を示す。図 4 B は図 4 A に対応するソレノイドコイルの状態を示す。図 4 C にソレノイドコイルの傾き調整後における 300 mm 処理基板のエッチング処理速度の分布を示す。図 4 D は図 4 C に対応するソレノイドコイルの状態を示す。処理基板は表面に酸化膜を形成した 300 mm 径の Si ウェハである。図 4 A 及び図 4 C では、基板表面の所定の 121 点に対し、処理前後の膜厚を測定し、その差(削れ量)からエッチング処理速度を算出して等高線図に表している。エッチング処理速度は(初期膜厚－処理後膜厚)/エッチング時間で、また、エッチング速度分布の値は、各点のエッチング処理速度の標準偏差及び平均値から、以下の数式(1)に示す 3σ% で表している。

$$3\sigma\% = (3 \times \text{標準偏差} / \text{平均値}) \times 100 \quad (1)$$

[0042] 図 4 A ～図 4 D に示す例では、ソレノイド 20, 21 は内側 20 にのみ、即ち第 1 のソレノイドコイル 20 のみに電流を流している。図 4 A 及び図 4 B では、ソレノイドコイル 20, 21 には、シム 25 は挿入されていない。この場合、基板の処理は全体に右上が早く左下が遅い傾向にあり、分布中心は若干左下方向に偏っている傾向を示している。この結果、処理基板全面のエッチング処理速度の分布の値は 11% となっている。即ち、図 4 A では基

板右上の外周部分で極端に処理速度が遅い部分があり、これが全体の分布を悪くしていることが解る。

[0043] 図4 C及び図4 Dは、ソレノイドコイル調整後の分布を表す。図4 Aの結果を踏まえ、分布の中心が少し右上に移動する。図4 C及び図4 Dは、コイル中心線27がこの方向に移動する様に、内側のソレノイドコイル20に対し、図4 Bの右上部に対応する方向にシム25を挿入して傾き調整を行なった結果である。図4 Dは、ソレノイドコイル20にシム25を挿入した状態を示す図である。この例では内側のソレノイドコイル20に3.3mmのシムを入れて調整しているが、外側ソレノイドコイル、内側外側両ソレノイドコイルの調整を行なっても良い。ちなみに3.3mmのシムを入れた場合のコイルの傾きは5°に相当する。調整の結果、処理基板全面のエッチング処理速度の分布の値は7%となっている。この分布結果から明らかなように、ソレノイドコイルの傾きを調整し、磁場の分布を調整することでエッチング処理速度の分布をより均等に改善することができる。

[0044] 図5 A及び図5 Bは第2の実施形態を示す。基本的な構成は第1の実施形態と同様な為省略し、ソレノイドコイルの可変機構について説明する。第2の実施形態において大きく異なる点は、傾き調整手段25として、上下運動が可能な駆動ユニット31としている点である。第2の実施形態においては、図5 Aに示すように、ソレノイドコイル20、21の一端側（図5 Aの右側）と他端側（図5 Aの左側）はベース板30を介して、1軸の上下動可能な駆動ユニット31に連結されている。図5 Bに示すように、ベース板30の一端と駆動ユニット31の駆動棒311の一端には、回転軸312が回転自在に設けられ連結構造となっている。1軸の駆動ユニットとしてはボールネジとサーボモーターを組合せて位置制御を行なうものなどの一般的に良く知られている機構を使用するのが好ましい。図5 Aに示す第2の実施形態においては、駆動ユニット31により、ソレノイドコイル20、21の一端側（図5 Aの右側）と他端側（図5 Aの左側）の高さ位置を上昇、降下させることで、基板14の中心線に26に対し、コイル中心線27を自由に傾ける

ことが可能である。従って、上記第1の実施形態と異なり、実際にソレノイドコイル20、21を傾けても、エッチング分布の改善が不足している場合、駆動ユニット31を上下動させることにより、傾き角度をさらに変更することが可能となり、作業の効率化を図ることが可能となる。また、プラズマの偏りが処理条件により異なるような場合、処理条件に合わせ駆動ユニットを制御し、ソレノイドコイルの傾きを所定角度傾かせることができる。

[0045] 図6Aは1軸の駆動ユニット31の配置図を示した図である。図6Aに示すように、駆動ユニット31は、円板状のベース板30の円周方向に等角度(120°)で配置された第1の駆動ユニット31-aと第2の駆動ユニット31-bと第3の駆動ユニット31-cと、からなる。3つの1軸ユニット31-a、31-b、31-cは、ベース板30の水平面に対して回転自在な連結構造を有している。連結部の連結構造は図5Bと同様である。ソレノイドコイルの傾きを効率よく制御する為には3等配の位置に設置するのがよい。1軸ユニット31-a、31-b、31-cは不図示の制御機器にて同期して動くようにプログラミングされている。図6Bは、第1の駆動ユニット31-cを上昇させ、第2の駆動ユニット31-aと第3の駆動ユニット31-bとを下降させ、ソレノイドコイル20、21を5°右側に傾けた状態を示す。図6Bに示すように、3つの1軸ユニット31-a、31-b、31-cを同期して動かすことにより、第1の駆動ユニット31-aに対応するソレノイドコイルの高さ位置、第2の駆動ユニット31-bに対応するソレノイドコイルの高さ位置、第3の駆動ユニット31-cに対応するソレノイドコイルの高さ位置を、一定周期で可変にすることができる。これにより、基板処理中に前記ソレノイドコイルの傾きを一定周期で変化させることができる。こうすることで、コイル中心線27が基板中心線26の回りを一定の傾き角を保ちつつ巡回移動し、ソレノイドコイルにより発生した磁場も基板中心に対してオフセットした位置で巡回移動することが出来る。ソレノイド中心すなわち磁場中心が基板中心と一致した場合と比較し、ソレノイドコイル中心すなわち磁場中心を基板中心からオフセットした位置で巡回移

動することで大面積の基板に対してより均一な処理が可能となる。また、移動する速度を分布に合わせて変化させ、処理速度が遅い領域をゆっくりと、処理速度が早い領域を早く移動するようにすることで偏りの補正が可能となる。

[0046] 次に図 7 A 及び図 7 B にて 1 軸の駆動ユニット 3 1 を駆動させてソレノイドコイルを傾けた状態を説明する。図 7 A は左側の 1 軸ユニット 3 1 - a が縮状態（下降した状態）、右側の 1 軸ユニット 3 1 - b が伸び状態（上昇した状態）にある。この結果ソレノイドコイルは左に傾いた状態になる。一方、図 7 B は左側の 1 軸ユニット 3 1 - a が伸び状態（上昇した状態）、右側の 1 軸ユニット 3 1 - b が縮状態（下降した状態）にある。この結果ソレノイドコイルは右に傾いた状態になる。左右の 1 軸ユニットを同期して伸縮させるとソレノイドコイルは左から右に傾きが徐々に変化することが出来る。

[0047] 実際には 3 つの 1 軸ユニットを同期して伸縮させる。各 1 軸ユニットを一定周期の間隔で動作させることで、基板中心軸を中心にソレノイドコイル中心が円錐状の一定の軌跡を描く様に移動することになる。この周期動作を、基板処理を行なっている間続けることで、基板中心からソレノイドコイル中心の傾き分オフセットしたプラズマが基板に照射され続けることが可能となる。

[0048] プラズマの密度分布は基板の外周側で急激に低下する傾向がある。本実施形態の様にソレノイドコイルの中心軸すなわち磁場中心を円錐状に移動することで、より大面積の基板を均一にプラズマ処理出来る効果がある。また、移動する速度を分布に合わせて変化させ、処理速度が遅い領域をゆっくりと、処理速度が早い領域を早く移動するようにすることで偏りの補正が可能となる。

[0049] 次に、内側ソレノイドコイル 2 0、外側ソレノイドコイル 2 1 を独立して傾き調整する第 3 の実施形態について説明する。

図 1 2 及び図 1 3 は、内側ソレノイドコイル 2 0、外側ソレノイドコイル 2 1 を独立して傾けた場合を示す図である。内側ソレノイドコイル 2 0、外

側ソレノイドコイル 21 を独立して傾ける場合は、それぞれのソレノイドコイル 20、21 とベース板 30 の間に、傾けたい方向に傾けたい角度分の厚さのシム 25 a、25 b を挿入する。図 12 に示す例はイメージを表したもので、実際に各ソレノイドコイルに挿入するシムの厚さは、コイルの外径にもよるが最大 3 mm、傾き角度は最大 5° 程度である。図 12 に示すように、内側ソレノイドコイル 20、外側ソレノイドコイル 21 にそれぞれシム 25 a、25 b を挿入し、独立して傾きを調整することにより、内側ソレノイドコイル 20、外側ソレノイドコイル 21 を同時に傾ける場合に較べて各ソレノイドコイルの傾きを独立して調整可能となり、よりきめ細かく分布補正することが可能となる。

[0050] 次に、内側ソレノイドコイル 20、外側ソレノイドコイル 21 を X-Y 方向に移動する為の手段について説明する。

尚、本明細書において、X 軸・Y 軸とは、水平面内で互いに直角をなす軸とし、また Z 軸とは、水平面内に対し直角、すなわち垂直方向をなす軸とする。図 14 A 及び図 14 B に示すように、内側ソレノイドコイル 20、外側ソレノイドコイル 21 を X-Y 方向に移動する為の手段として、ベース板 30 の上に第 1 のベース板 32 と第 2 のベース板 33 を軸対称位置になるように配置し、これら各ベース板 32、33 の上に内側ソレノイドコイル 20、外側ソレノイドコイル 21 を乗せる。尚、内側ソレノイドコイル 20、外側ソレノイドコイル 21 を傾ける場合、これら各ベース板 32、33 と各ソレノイドコイルとの間にスペーサを挿入する。なお、図 14 B は図 14 A の断面図である。

[0051] ここで、第 1 のベース板 32 と第 2 のベース板 33 について説明する。第 1 のベース板 32 と第 2 のベース板 33 はそれぞれリング状の第 1 のフランジ部 32 a、第 2 のフランジ部 33 a と、そこから放射状に突き出た 4 箇所の第 1 の凸部 32 b、第 2 の凸部 33 b で構成される。4 箇所の第 1 の凸部 32 b、第 2 の凸部 33 b は、それぞれ 4 等配位置に配置されている。第 1 のベース板 32 と第 2 のベース板 33 は軸対称位置に配置されるが、第 1 の凸

部 3 2 b, 第 2 の凸部 3 3 b は互いに重ならないよう、対称軸に対し 4 5° 回転した位置に配置される。また、第 1 のベース板 3 2 の第 1 の凸部 3 2 b は、第 2 のフランジ部 3 3 a の第 2 の切欠き 3 3 c を貫通して、第 2 のベース板 3 3 の外側まで達している。一方、ベース 3 0 の外周部には、各ベースの第 1 の凸部 3 2 b、第 2 の凸部 3 3 b を横方向に押す為の手段、例えば第 1 の押さえねじ 3 4、第 2 の押さえねじ 3 5 が取付けてある。実際に、内側ソレノイドコイル 2 0 を X 軸方向に移動する場合、4 箇所第 1 の凸部 3 2 b のうち対称位置にある第 1 の凸部 3 2 b の第 1 の押さえねじ 3 4 a の一方を緩め、もう一方を締め付けることで、緩めた側に内側ソレノイドコイル 2 0 を移動する。同様に、内側ソレノイドコイル 2 0 を Y 軸方向に移動する場合、直角方向にある第 1 の凸部の第 1 の押さえねじ 3 4 b の一方を緩め、もう一方の第 1 の押さえねじ 3 4 b を締め付けることで、緩めた側に内側ソレノイドコイル 2 0 を移動する。こうすることで X-Y 方向の任意の位置に内側ソレノイドコイル 2 0 を移動することが出来る。外側のマグネット 2 1 を移動する場合も同様に、4 箇所第 2 の凸部 3 3 b のうち対称位置にある第 2 の凸部の第 2 の押さえねじ 3 5 a の一方を緩め、もう一方の第 2 の押さえねじ 3 5 a を締め付けることで、緩めた側に外側のマグネット 2 1 を移動する。同様に、直角方向にある第 2 の凸部 3 3 b の第 2 の押さえねじ 3 5 b の一方を緩め、もう一方の第 2 の押さえねじ 3 5 b を締め付けることで、緩めた側に外側のマグネット 2 1 を移動する。

[0052] 上記第 1・第 2・第 3 の実施形態では、内側ソレノイドコイル 2 0、外側ソレノイドコイル 2 1 にシム 2 5 を挿入、又は駆動ユニットを用いて、内側ソレノイドコイル 2 0、外側ソレノイドコイル 2 1 を傾け、コイル中心線 2 7 に対するアンテナ中心線 2 6 の傾き角度を調整し、エッチング分布の改善を図っている。しかし、コイル中心線 2 7 に対するアンテナ中心線 2 6 の傾き角度を調整しただけでは、エッチング分布の改善を図ることができない場合が考えられる。具体的には、分布が磁場の傾きではなく磁場の平行シフトによりずれている場合である。上記の場合には、内側ソレノイドコイル 2 0

、外側ソレノイドコイル 21 を X-Y 方向に移動する為の手段を設けることにより、ソレノイドコイルを X-Y 方向に移動することが可能となるため、コイル中心線を平行移動してアンテナ中心線に一致させることにより分布補正が可能となる。

[0053] 次に、ガウスメータで磁場を測定し、この測定結果に基づき、ソレノイドコイルの傾きを調整し、処理基板のエッチング速度分布を改善する手順について、図 8 A から図 11 D を用いて説明する。ガウスメータは磁束密度を測定する装置である。ガウスメータは、フェライト、希土類マグネットの測定は勿論、電磁石、パルス発生磁界、超伝導磁界の測定も可能である。原理はホール素子プローブを定電流で駆動し、磁界によって発生したホール電圧を発信器とアナログスイッチにて検知する。

[0054] 図 8 A 及び図 8 B は、ソレノイドコイルの傾き調整前後の磁力線の分布を示す。なお、図 8 A 及び図 8 B においては、説明の便宜上、内側ソレノイドコイル 20 のみに電流を流し、内側ソレノイドコイル 20 の傾きを調整した場合を示す。図 8 A 及び図 8 B において、15 c は電力供給容器 15 の電力供給容器中心線、20 a は内側ソレノイドコイル 20 により発生する磁力線、25 はスペーサ、36 はガウスメータで測定するための磁場測定面を示す。図 8 A 及び図 8 B において、電力供給容器中心線 15 c とアンテナ中心線 26 とは一致していることを前提とする。内側ソレノイドコイル 20 の傾き調整前においては、図 8 A に示すように、磁力線 20 a は、アンテナ中心線 26、電力供給容器中心線 15 c に対し、左側に傾き、左右対称の分布とはならない。磁力線 20 a が左右対称の分布とならない原因としては、電流経路が X 軸・Z 軸で左右対称とならないためではなく、コイルを形成する配線自体が有限の大きさを持つため完全な円形状コイルを作ることができないためであると考えられる。なお、本明細書において、「電流経路」とは、磁場を作る電流の流れる経路のことをいう。図 11 A は、内側ソレノイドコイル 20 の傾き調整（補正）前後の電流経路分布をガウスメータで測定したものである。図 11 A の横軸・X 軸、縦軸・Z 軸は、図 12 から図 13 に記載の

X軸、Z軸に対応している。図11Aに示すように、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）前の電流経路は、点線でしめすようにX軸・Y軸に対して左右対称な楕円形状ではなく、実線で示すようなX軸・Y軸に対して傾いた楕円形状となる。図11Bは、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）前の電流経路がX軸・Y軸に対して3度傾いた直線になっていることを示している。

[0055] 図8Bは、内側ソレノイドコイル20に厚さ3mmのシム25を挿入し、コイル中心線27をアンテナ中心線26、電力供給容器中心線15cに対し、右側に1度傾けた場合を示す。図8Bに示すように、内側ソレノイドコイル20の傾き調整後の磁力線の分布は、アンテナ中心線26、電力供給容器中心線15cに対し、左右対称となる。図11Aに示すように、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）後の電流経路分布は、X軸、Z軸の中心軸の対し、左右対称の楕円形状となるように分布する。

[0056] 図11C及び図11Dは、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）前後の等磁力面の分布を示す。図11Cに示すように、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）前の等磁力面は、傾けた方向に伸びたタマゴ型となっているのに対し、図11Dに示すように、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）後の等磁力面は、円型となっていることが解る。

[0057] 図9は、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）前後の磁場分布を示す。図9の横軸・X軸、縦軸・Y軸は、図12から図13に記載のX軸、Y軸に対応している。なお、図9において、X軸：0mm、Y軸：0mmはアンテナ中心線26、電力供給容器中心線15cの位置を示す。また、図9において、25aはスペーサを入れた方向を示すための仮想的なスペーサ位置、37は図10に示すエッチングレータのモニタ方向、を示す。図9に示すように、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）前にガウスメータ36で測定した磁場分布は、X軸：0mm、Y軸：0mmを中心点とした場合、非対称の円の形状となる。具体的には、X軸：-50mmからX軸：0mm、Y軸：-50mmからY軸：0mmの部分が、ゆがんだ円弧になって

いることが解る。これに対し、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）後にガウスメータ36で測定した磁場分布は、X軸：0mm、Y軸：0mmを中心点とした場合左右対称な円の形状として分布する。

[0058] 図10は、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）前後のエッチング分布を示す。図10の横軸は、基板の中心（0mm）からの左右の距離（mm）を示す、縦軸は、エッチングレートを示す。また、図10において、□は補正後の各点におけるエッチングレートを、◇は補正前の各点におけるエッチングレートを示す。また、ここで示すエッチングレートは、平均値のエッチングレートで規格化した値である。図10に示すように、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）前においては、エッチングレート分布は、左側に傾いた直線となる。即ち、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）前においては、基板14の中心（0mm）から左側の100mmの位置でのエッチングレート：103と、基板14の中心（0mm）から右側の100mmの位置でのエッチングレート：97とは、大きく異なる。これに対し、図10に示すように、内側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）後においては、エッチングレート分布は、ほぼ水平な直線となる。即ち、内側側ソレノイドコイル20の傾き調整（補正）後においては、基板14の中心（0mm）から左側の100mmの位置でのエッチングレート：100と、基板14の中心（0mm）から右側の100mmの位置でのエッチングレート：100とは、ほぼ同じとなる。即ち、補正前の各点におけるエッチングレート（◇）と補正後の各点におけるエッチングレート（□）を直線近似すると、補正前は、 $y = -0.0221x + 100.09$ で示される直線となり、傾きが大きく、補正後は、 $y = -0.0019x + 99.944$ で示される直線となり、傾きが小さくなり、ほぼ水平であることが判明した。

[0059] 上記のとおり、ガウスメータの磁場測定結果により、ソレノイドコイルの傾き調整を行う場合、光学式膜厚測定器を用いてエッチング速度分布を測定し、その測定結果によりソレノイドコイルの傾き調整を行う場合に較べて磁場測定をするだけで均一性を議論することができるので、エッチングレート

の確認は基本的に1回の確認で済む。したがって、装置の調整で使用する基板が少なく済む。更に、磁場の均一性を改善するので、結果としてプラズマの均一性が改善するその結果、エッチングレート分布が改善する。また、プラズマ不均一で発生するダメージも抑制することができる。

[0060] 前記第1、第2及び第3の実施形態においては、ソレノイドコイルの軸対称線であるコイル中心線27が、環状アンテナの軸対称線であるアンテナ中心線26に対して、所定角度の傾きをなすような傾き調整手段を、ソレノイドコイル20、21に取り付けた例について説明した。しかし、コイル中心線27と、アンテナ中心線26とが、一方の中心線に対し、他方の中心線が相対的に所定角度の傾きをなしていればよい。つまり、環状アンテナ16の軸対称線であるアンテナ中心線26が、ソレノイドコイルの軸対称線であるコイル中心線27に対して、所定角度の傾きをなすような傾き調整手段を環状アンテナ16に取り付け、環状アンテナ16の軸対称線であるアンテナ中心線26をソレノイドコイルの軸対称線であるコイル中心線27に対して、所定角度の傾くようにしてもよい。こうすることでプラズマ密度分布の偏りを補正し、基板を均一に処理することが可能となる。

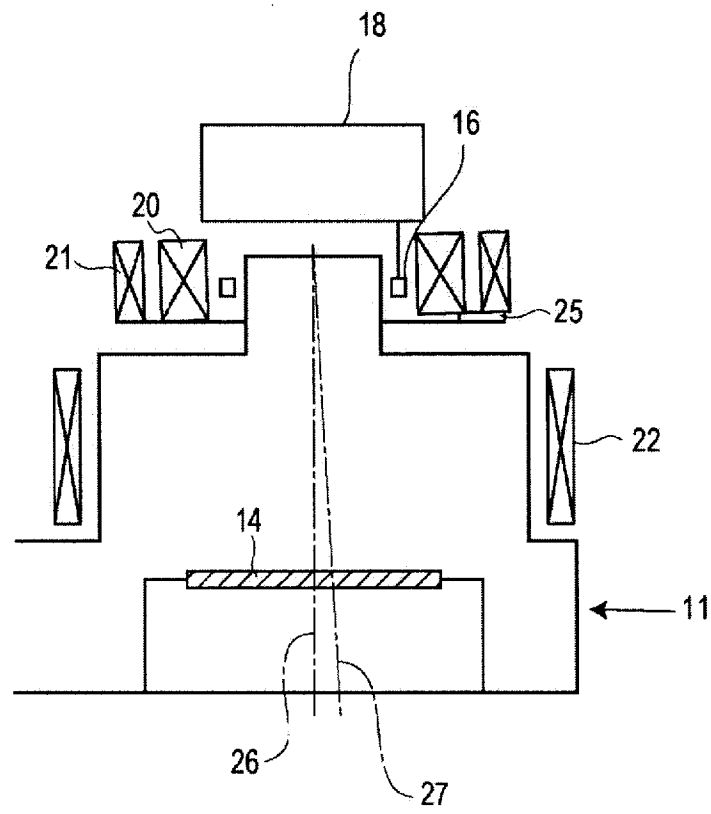
[0061] 図17及び図18に、アンテナ中心線26を傾ける場合の構成を示す。基本的な構成は第1の実施形態と同様であるため説明を省略し、異なる点のみを説明する。図17及び図18の構成においては、第1の実施形態と異なり、傾き調整手段25（例えば、シム）をベース板30と整合回路18との間に挿入し、その結果整合回路18に接続されている環状アンテナ16が傾いている。したがって、アンテナ中心線26がコイル中心線27に対して、所定角度の傾きをなすようになる。なお、この構成では、整合回路18を傾けることによって間接的に環状アンテナ16を傾けているが、環状アンテナ16の傾きを直接調整してもよい。また、アンテナ中心線26とコイル中心線27との両方を傾けてもよい。

請求の範囲

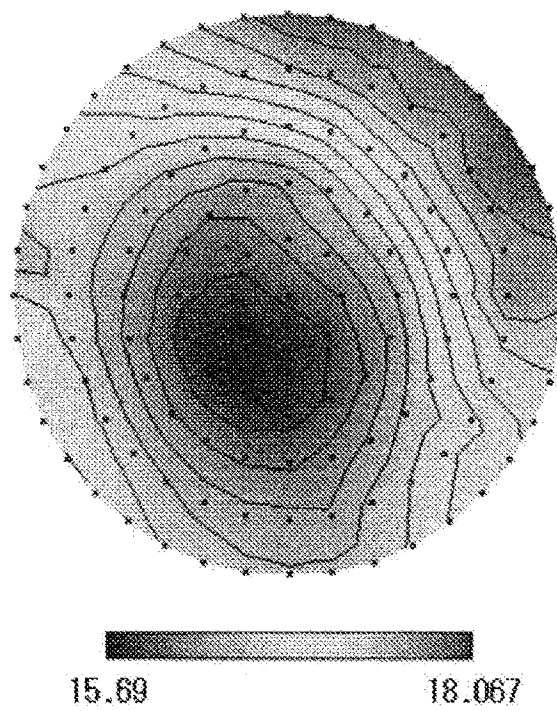
- [請求項1] 基板をプラズマで処理するプラズマ処理装置であって、
 内部に前記基板を配置可能な容器と、
 前記容器内に前記プラズマを発生させるように、前記容器の周囲を取り囲んで設けられているアンテナと、
 前記容器内に磁場を発生させて前記プラズマを拡散させるように、前記アンテナの周囲を取り囲んで設けられている磁場発生手段と、
 前記アンテナ及び前記磁場発生手段の少なくとも一方を傾けるための傾き調整手段と、
 を備える、プラズマ処理装置。
- [請求項2] 前記アンテナは第1の軸に対して略軸対称であって、前記第1の軸を囲むように構成された環状アンテナであり、
 前記磁場発生手段は第2の軸に対して略軸対称であって、前記第2の軸を囲むように構成されたソレノイドコイルであり、
 前記第1の軸と前記第2の軸とが所定の角度をなすように、前記環状アンテナ及び前記ソレノイドコイルの少なくとも一方が前記傾き調整手段により傾けられる
 ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記磁場発生手段を支持するベース板をさらに備え、
 前記傾き調整手段は、前記磁場発生手段と前記ベース板との間に設けられている板状部材である
 ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項4] 前記磁場発生手段を支持するベース板をさらに備え、
 前記傾き調整手段は、前記ベース板に接続されている上下運動が可能な駆動ユニットであり、
 前記磁場発生手段が、前記駆動ユニットの上下運動により前記ベース板が傾けられることによって傾けられる
 ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

- [請求項5] 前記ベース板は、前記容器を取り囲む略環状であり、
 前記駆動ユニットは、前記ベース板の一端側に設けられる第1の駆動ユニットと、前記ベース板の他端側に設けられる第2の駆動ユニットと、を有する
 ことを特徴とする請求項4に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項6] 前記ベース板は、前記容器を取り囲む略環状であり、
 前記駆動ユニットは、前記ベース板の円周方向に等角度で配置されている第1の駆動ユニットと第2の駆動ユニットと第3の駆動ユニットと、を有する
 ことを特徴とする請求項4に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項7] 前記第1の軸と前記第2の軸とがなす角度が 0° から 5° の範囲であることを特徴とする請求項2に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項8] 前記磁場発生手段は、同心状に配置された第1のソレノイドコイルと第2のソレノイドコイルとを有し、
 前記傾き調整手段が、前記第1のソレノイドコイルと前記第2のソレノイドコイルにそれぞれ設けられている
 ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項9] 前記容器が、
 内部に前記プラズマを発生させるための電力供給容器と、
 前記電力供給容器と内部空間が通じるように接続され、内部に前記基板を配置可能な処理容器と、
 を備える、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

[図3]

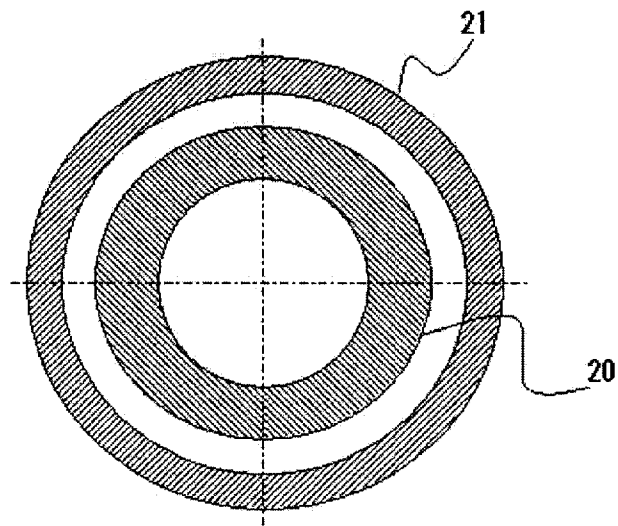


[図4A]



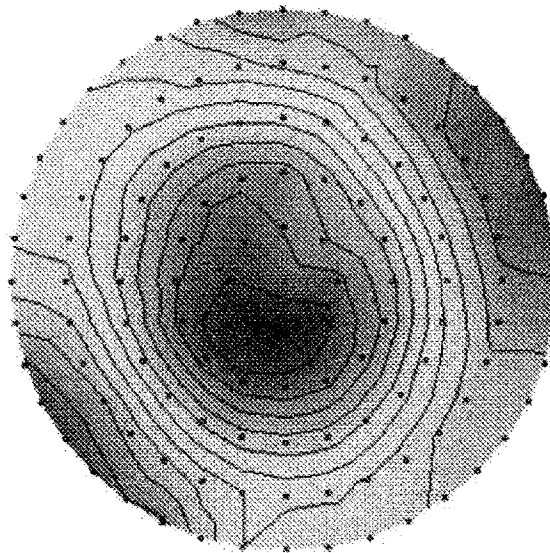
補正前

[図4B]



補正前

[図4C]

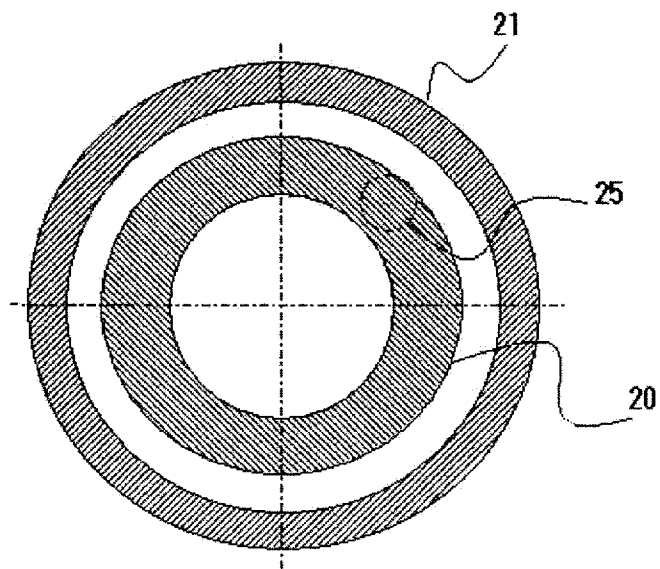


15.89

17.547

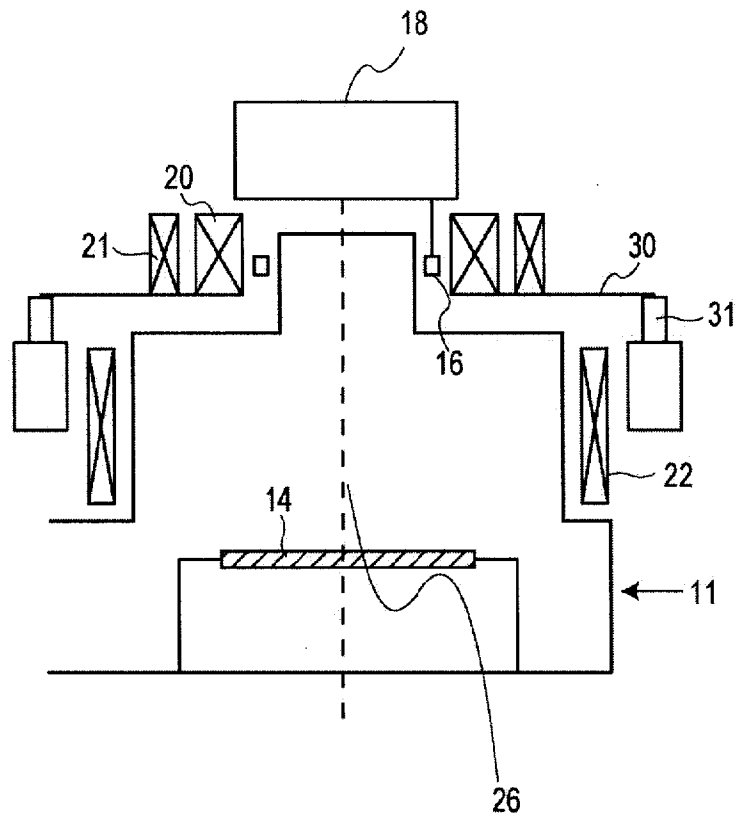
補正後

[図4D]

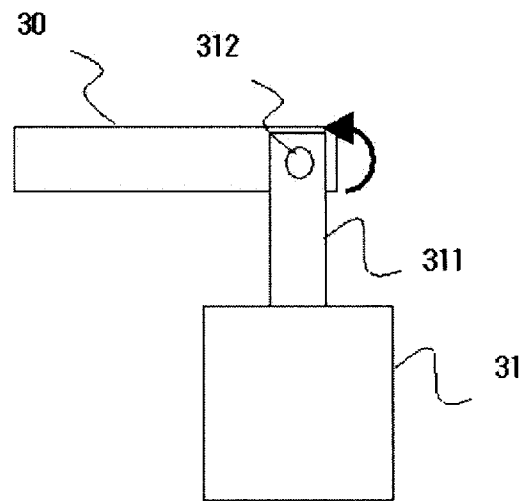


補正後

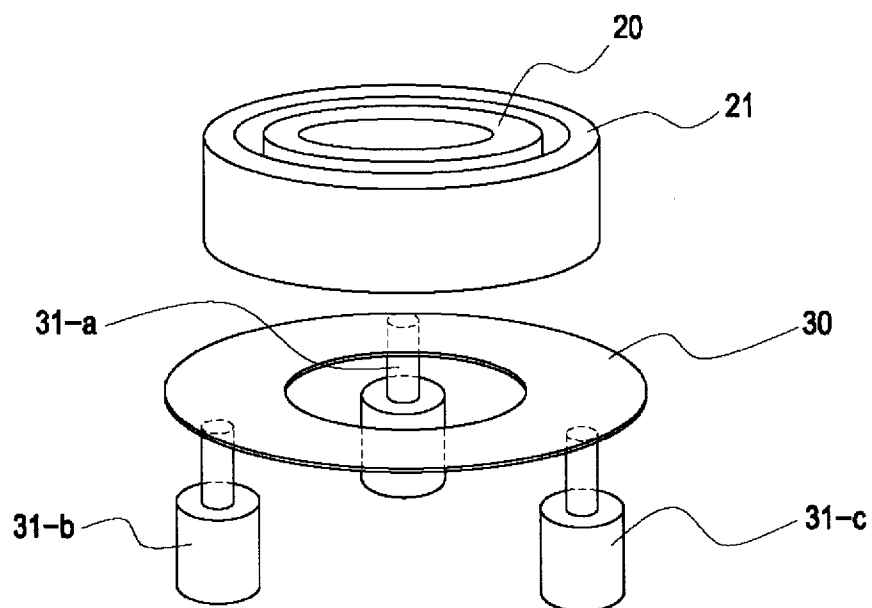
[図5A]



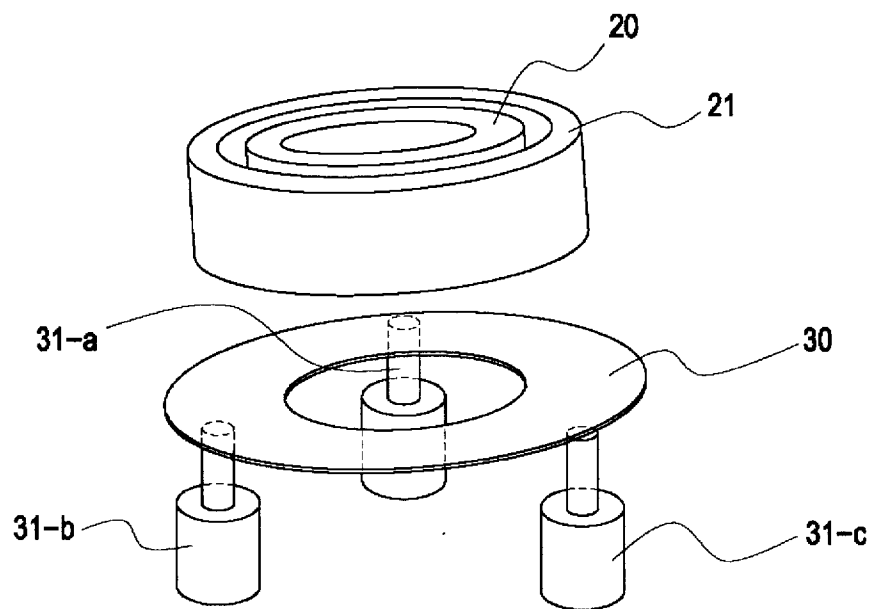
[図5B]



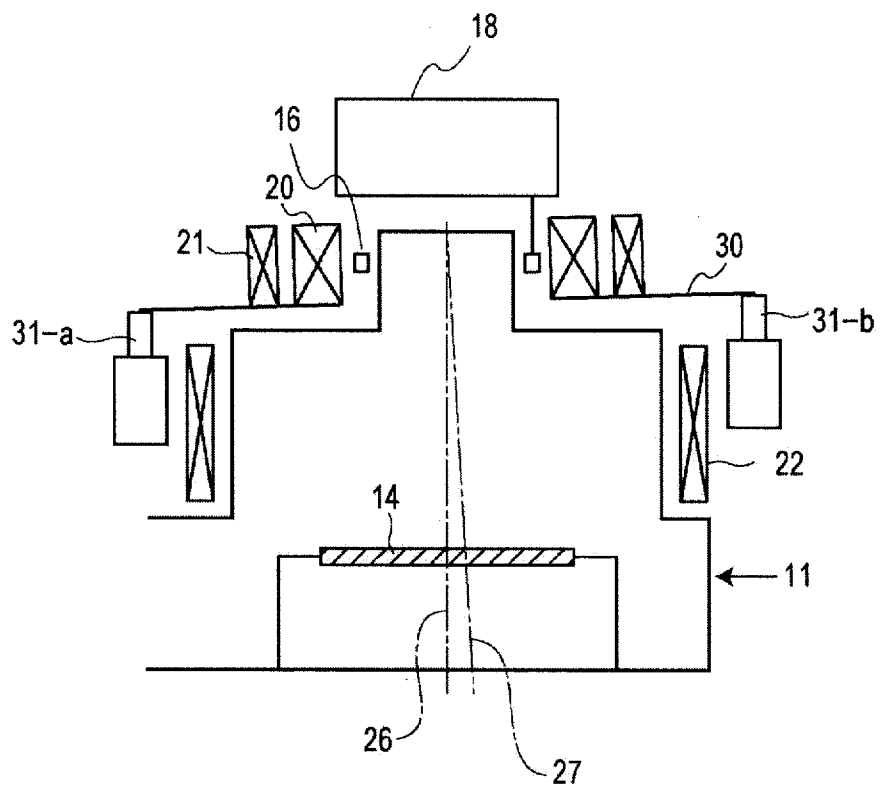
[図6A]



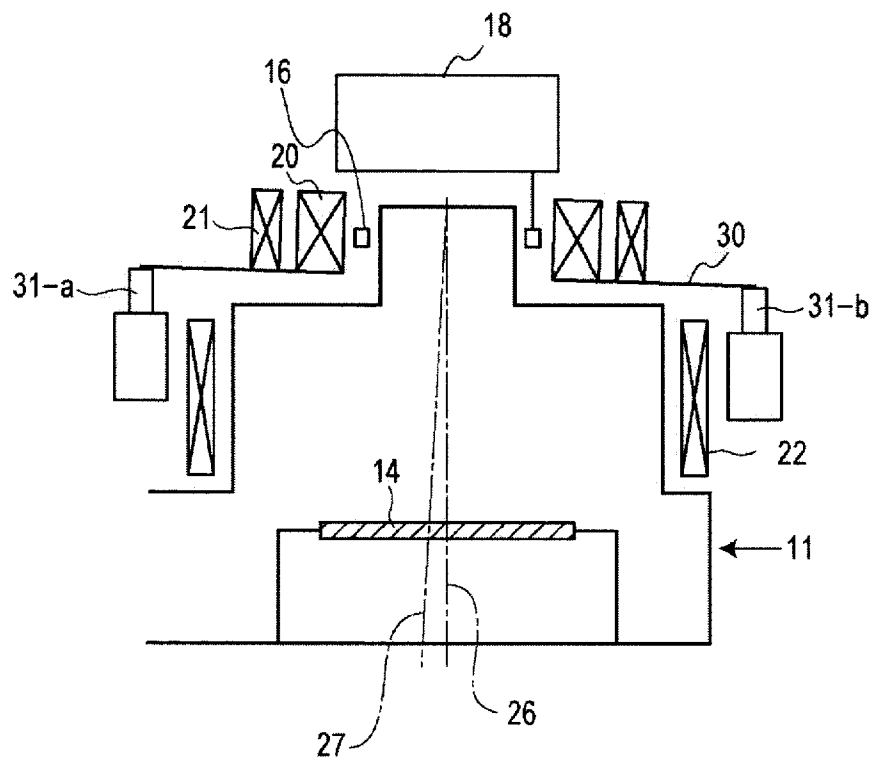
[図6B]



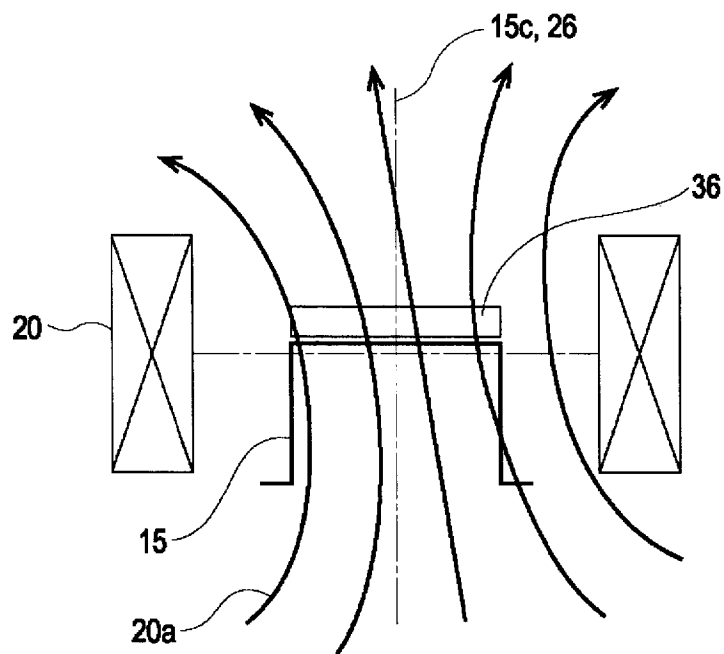
[図7A]



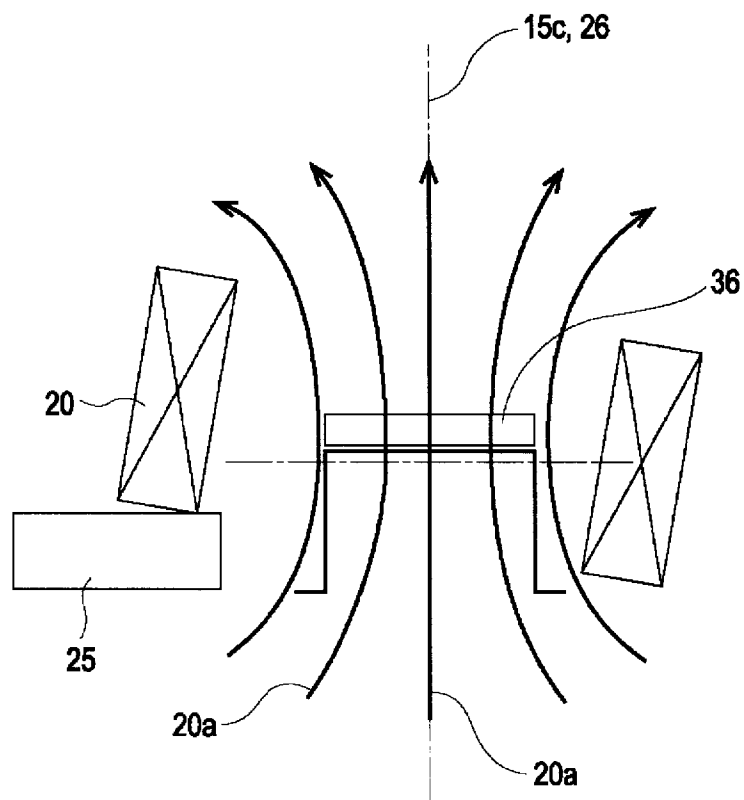
[図7B]



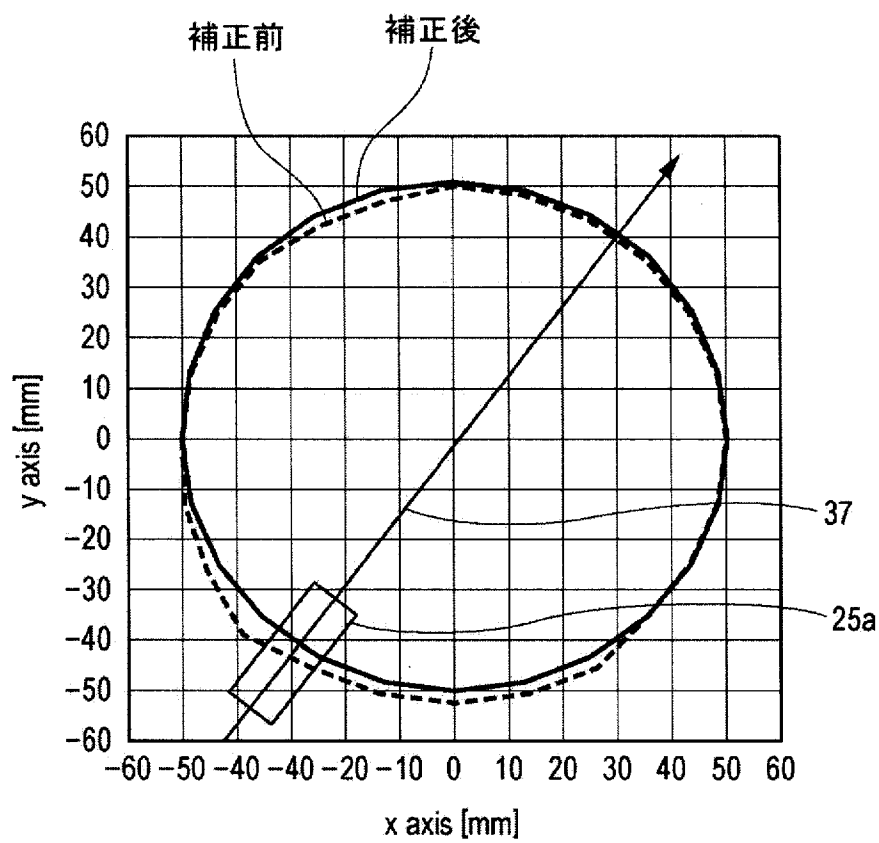
[図8A]



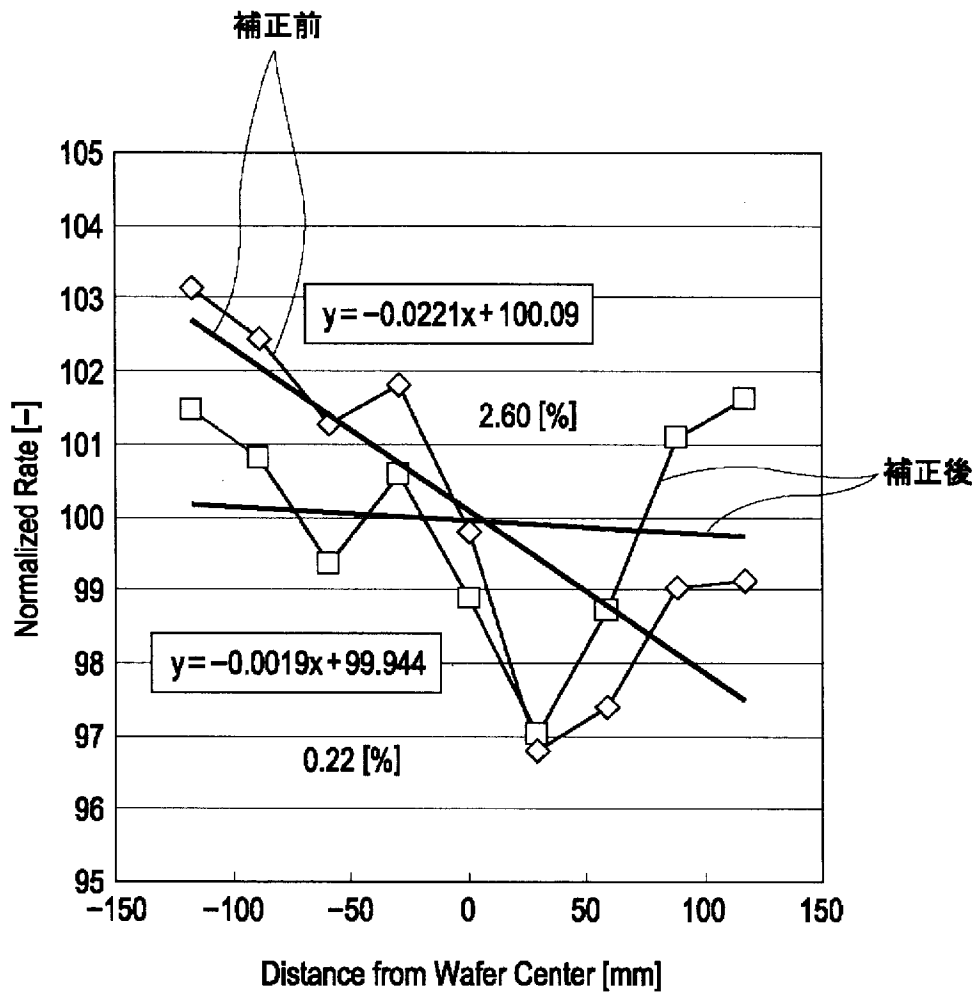
[図8B]



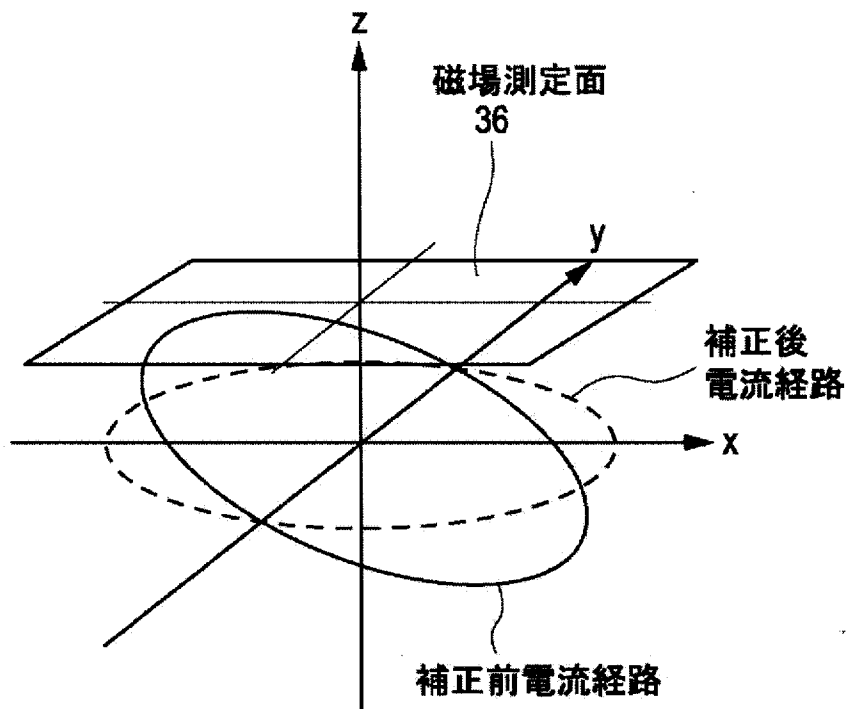
[図9]



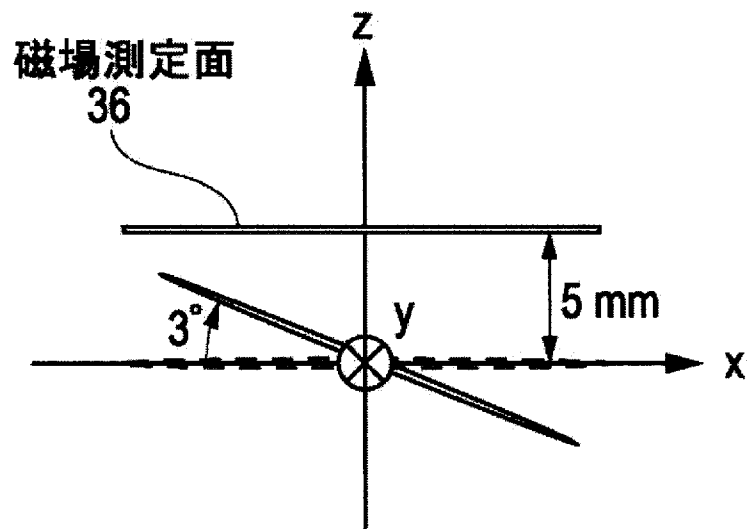
[図10]



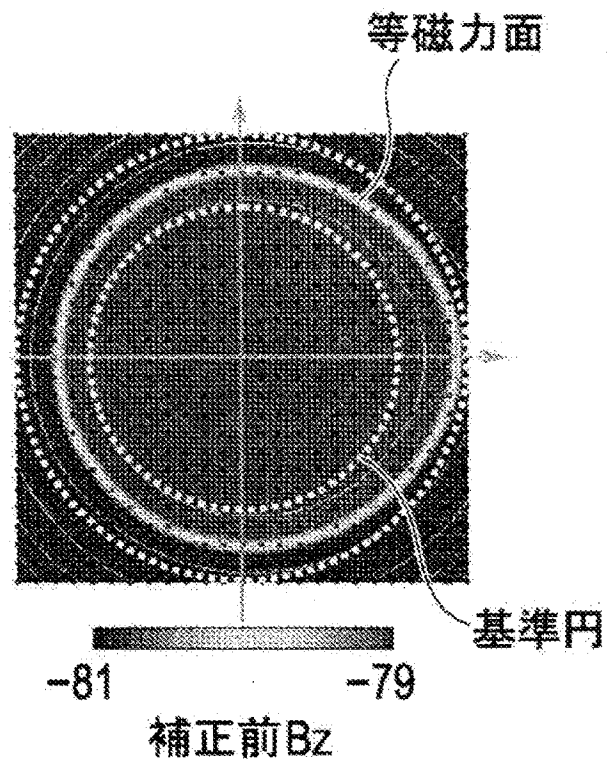
[図11A]



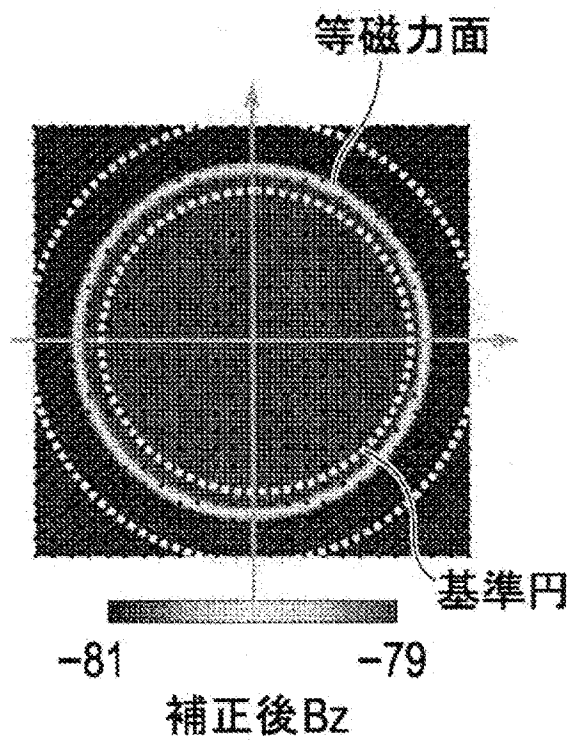
[図11B]



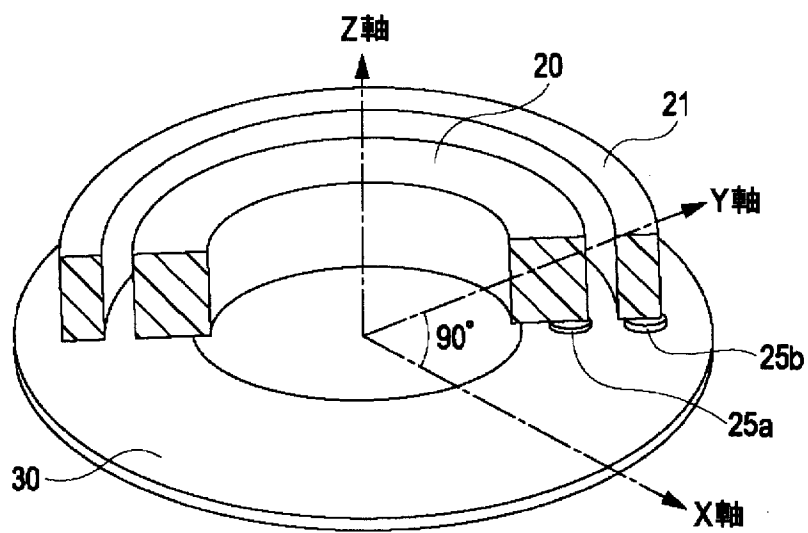
[図11C]



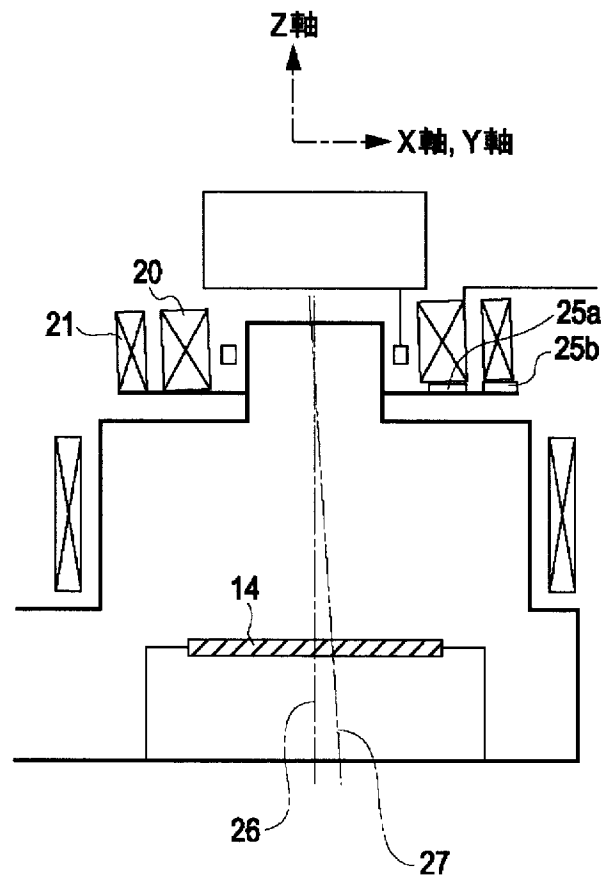
[図11D]



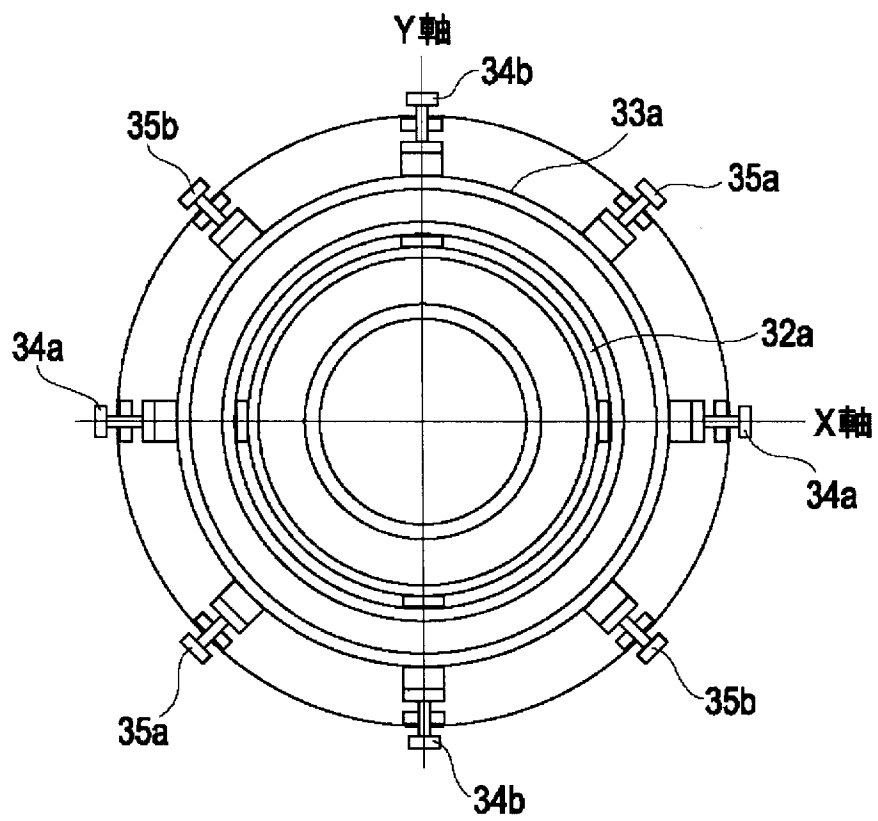
[図12]



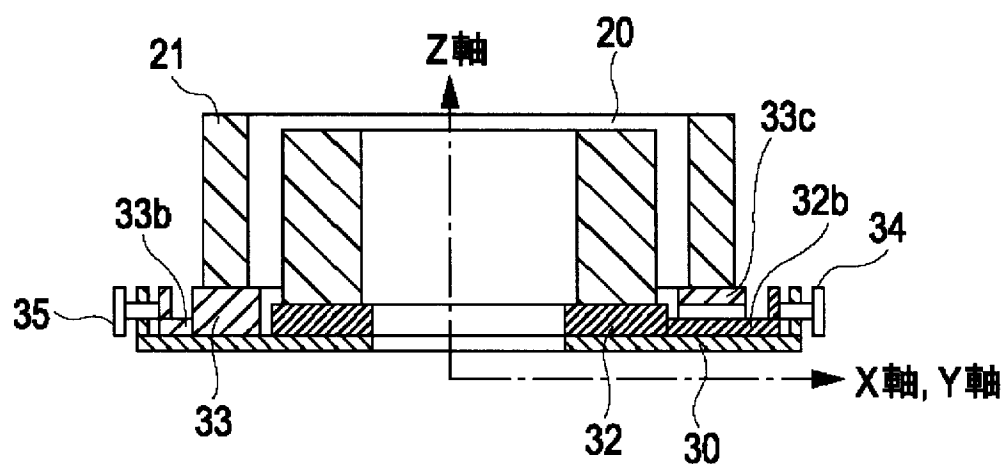
[図13]



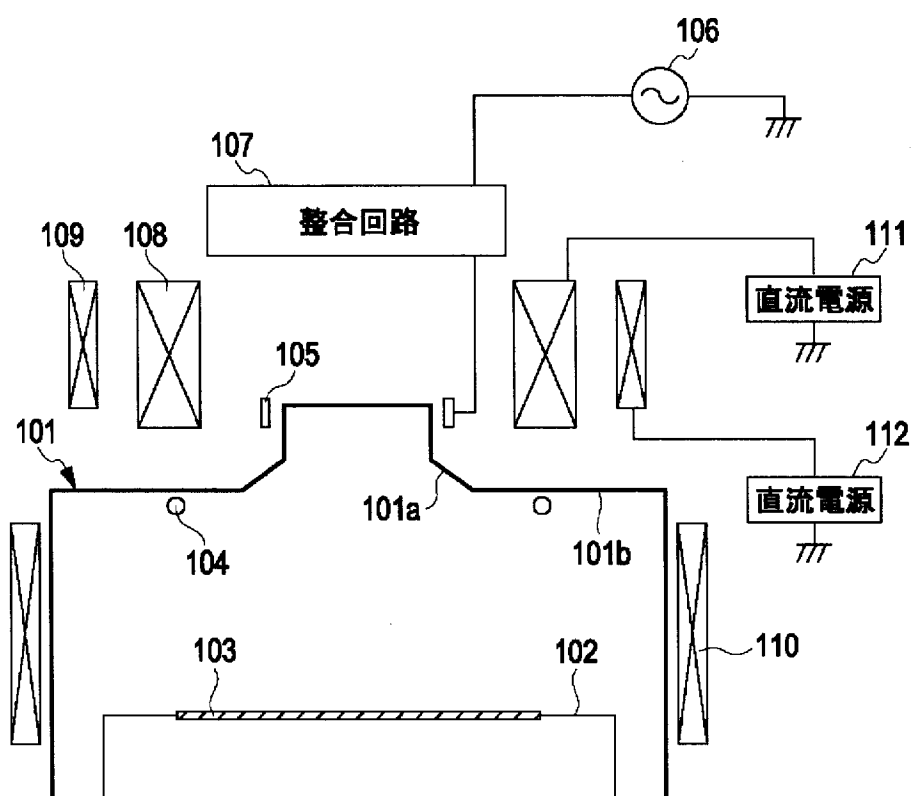
[図14A]



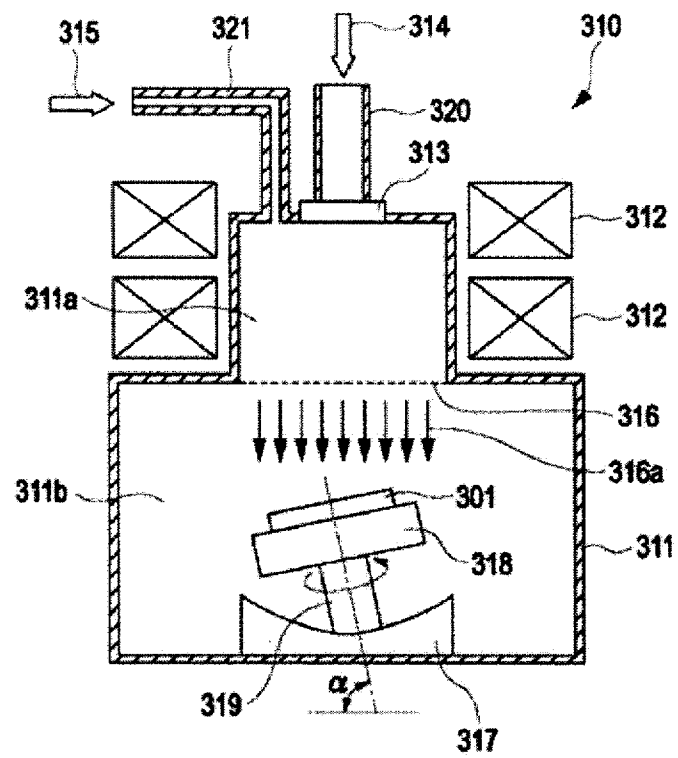
[図14B]



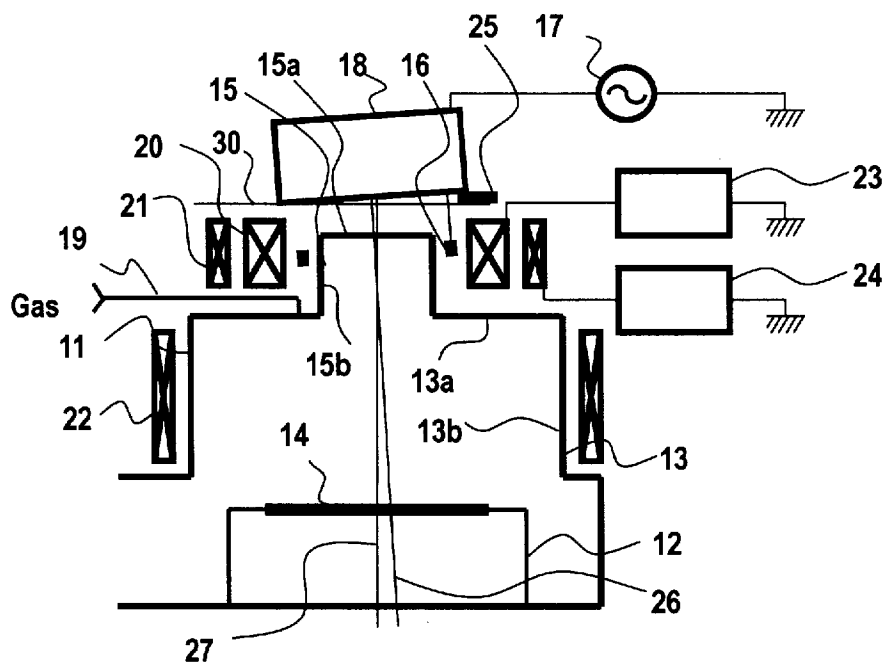
[図15]



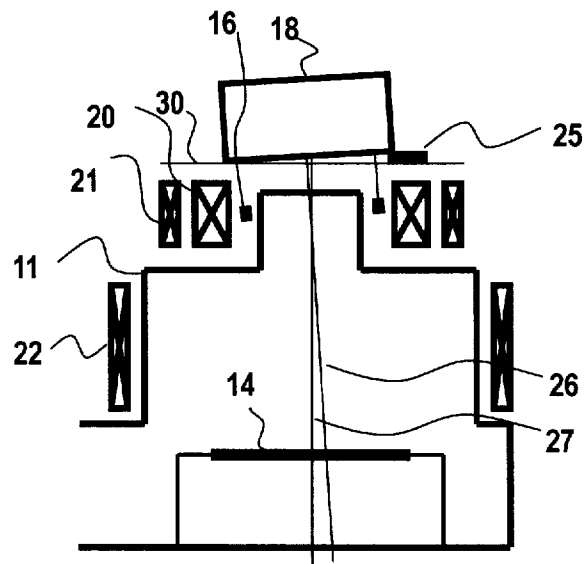
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/006459

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(2006.01)i, H05H1/46(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)

H01L21/3065, H05H1/46

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 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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.
<u>Y</u> A	JP 2009-535852 A (Applied Materials Inc.), 01 October 2009 (01.10.2009), paragraphs [0006] to [0026]; fig. 1 to 5 & US 2007/0257009 A1 & WO 2007/130489 A2 & KR 10-2009-0012289 A	<u>1-7, 9</u> 8
<u>Y</u> A	JP 10-172790 A (Anelva Corp.), 26 June 1998 (26.06.1998), paragraphs [0003], [0004]; fig. 9 (Family: none)	<u>1-7, 9</u> 8
<u>Y</u> A	JP 2004-172243 A (NEC Kansai, Ltd.), 17 June 2004 (17.06.2004), paragraphs [0022] to [0026]; fig. 1, 2 (Family: none)	<u>4-7</u> 8



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

14 February, 2012 (14.02.12)

Date of mailing of the international search report

21 February, 2012 (21.02.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/006459

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-516426 A (Oerlikon USA Inc.), 15 May 2008 (15.05.2008), paragraph [0036]; fig. 6 & US 2006/0070703 A1 & WO 2006/041634 A2 & CN 101048842 A	1-9
A	JP 2000-012294 A (Hitachi, Ltd.), 14 January 2000 (14.01.2000), paragraphs [0017] to [0021]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-9
A	JP 11-340200 A (Hitachi, Ltd.), 10 December 1999 (10.12.1999), paragraphs [0010] to [0013]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-9
A	JP 10-083896 A (Hitachi, Ltd.), 31 March 1998 (31.03.1998), paragraphs [0014] to [0016]; fig. 4 (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. H01L21/3065(2006.01)i, H05H1/46(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. H01L21/3065, H05H1/46

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 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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
<u>Y</u> A	JP 2009-535852 A（アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド）2009.10.01, 【0006】 - 【0026】, 図 1-5 & US 2007/0257009 A1 & WO 2007/130489 A2 & KR 10-2009-0012289 A	<u>1-7, 9</u> 8
<u>Y</u> A	JP 10-172790 A（アネルバ株式会社）1998.06.26, 【0003】【0004】, 図 9（ファミリーなし）	<u>1-7, 9</u> 8

☒ 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

1 4 . 0 2 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 1 . 0 2 . 2 0 1 2

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 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

栗野 正明

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 2 5

4 E

4 6 6 1

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
<u>Y</u> A	JP 2004-172243 A (関西日本電気株式会社) 2004. 06. 17, 【0022】 - 【0026】 , 図 1, 2 (ファミリーなし)	<u>4-7</u> 8
A	JP 2008-516426 A (エリコン ユーエスエイ インコーポレイテッド) 2008. 05. 15, 【0036】 , 図 6 & US 2006/0070703 A1 & W0 2006/041634 A2 & CN 101048842 A	1-9
A	JP 2000-012294 A (株式会社日立製作所) 2000. 01. 14, 【0017】 - 【0021】 , 図 1-5 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 11-340200 A (株式会社日立製作所) 1999. 12. 10, 【0010】-【0013】 , 図 1-3 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 10-083896 A (株式会社日立製作所) 1998. 03. 31, 【0014】-【0016】 , 図 4 (ファミリーなし)	1-9