

(43) 国際公開日
2006 年 4 月 13 日 (13.04.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/038672 A1

- (51) 国際特許分類:
H05H 1/46 (2006.01) H01L 21/31 (2006.01)
C23C 16/511 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/018545
- (22) 国際出願日: 2005 年 10 月 6 日 (06.10.2005)
- (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2004-294997 2004 年 10 月 7 日 (07.10.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED)
[JP/JP]; 〒1078481 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田 才 忠 (TIAN,

Caizhong) [CN/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1-8 東京エレクトロン株式会社内 Hyogo (JP). 野沢 俊久 (NOZAWA, Toshihisa) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1-8 東京エレクトロン株式会社内 Hyogo (JP).

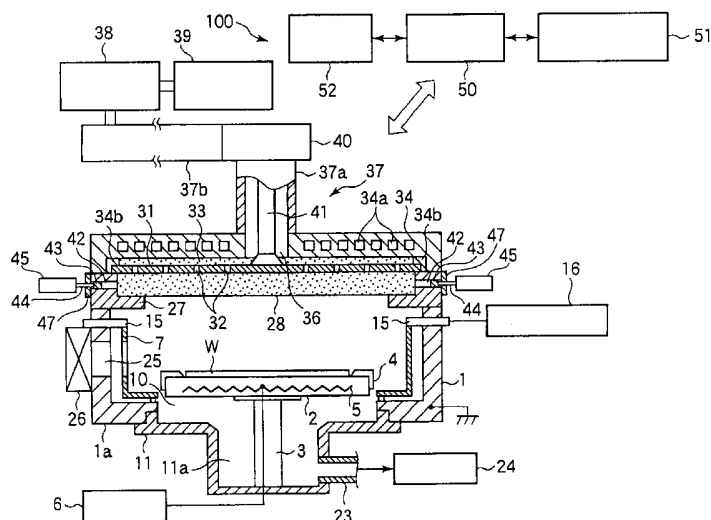
(74) 代理人: 吉武 賢次, 外(YOSHITAKE, Kenji et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 富士ビル 3 2 3 号 協和特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: MICROWAVE PLASMA PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称: マイクロ波プラズマ処理装置



(57) Abstract: A microwave plasma processing apparatus which easily ensures uniformity and stability of plasma in response to changes of process conditions and the like. The microwave plasma processing apparatus (100) generates plasma of a process gas in a chamber by microwave and performs plasma processing to a work to be processed by using the plasma. On a plate (27) composed of a conductor covering the outer circumference of a microwave transmitting board (28), two or more holes (42) for propagating microwave from an edge part to an inner part of the microwave transmitting board (28) are formed. Volume adjusting mechanisms (43, 45) adjust the volume of the holes to adjust impedance of each unit when the microwave transmitting board (28) is divided by unit to which each of the holes (42) belongs, and electric field distribution of the microwave transmitting board (28) is controlled.

(57) 要約: プロセス条件等の変化に対応してプラズマの均一性と安定性を容易に確保することができるマイクロ波プラズマ処理装置を提供すること。マイクロ波によって前記チャンパー内に処理ガスのプラズマを形成し、そのプラズマにより被処理体にプラズマ処理を施すマイクロ波プラズマ処理装置 100 であって、マ

[続葉有]



WO 2006/038672 A1



(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, LS, MW, MZ, NA, 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 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

マイクロ波透過板28の外周を覆う導電体からなるプレート27に、マイクロ波透過板28の端部からその内部に向かってマイクロ波が伝搬される2以上の孔42を形成し、体積調節機構43、45により孔の体積を調節してマイクロ波透過板28を孔42の各々が属するユニット毎に分割した場合における各ユニットのインピーダンスを調節し、マイクロ波透過板28の電界分布を制御する。

明 細 書

マイクロ波プラズマ処理装置

技術分野

- [0001] 本発明は、被処理体にマイクロ波プラズマによる処理を施すマイクロ波プラズマ装置に関する。

背景技術

- [0002] プラズマ処理は、半導体デバイスの製造に不可欠な技術であるが、近時、LSIの高集積化、高速化の要請からLSIを構成する半導体素子のデザインルールが益々微細化され、また、半導体ウエハが大型化されており、それにともなって、プラズマ処理装置においてもこのような微細化および大型化に対応するものが求められている。
- [0003] ところが、従来から多用されてきた平行平板型や誘導結合型のプラズマ処理装置では、電子温度が高いため微細素子にプラズマダメージを生じてしまい、また、プラズマ密度の高い領域が限定されるため、大型の半導体ウエハを均一かつ高速にプラズマ処理することは困難である。
- [0004] そこで、高密度で低電子温度のプラズマを均一に形成することができるRLSA (Radial Line Slot Antenna) マイクロ波プラズマ処理装置が注目されている(例えば特許文献1)。
- [0005] RLSAマイクロ波プラズマ処理装置は、チャンバーの上部に所定のパターンで多数のスロットが形成された平面アンテナ(Radial Line Slot Antenna)を設け、マイクロ波発生源から導かれたマイクロ波を、平面アンテナのスロットを通過させるとともに、その下に設けられた誘電体からなるマイクロ波透過板を介して真空中に保持されたチャンバー内に放射し、このマイクロ波電界によりチャンバー内に導入されたガスをプラズマ化し、このように形成されたプラズマにより半導体ウエハ等の被処理体を処理するものである。
- [0006] このRLSAマイクロ波プラズマ処理装置では、アンテナ直下の広い領域に亘って高いプラズマ密度を実現でき、短時間で均一なプラズマ処理を行うことが可能である。また、低電子温度プラズマが形成されるため、素子へのダメージ小さい。

[0007] このRLSAマイクロ波プラズマ処理装置においては、同じ平面アンテナを用いてもプロセス条件が変わるとプラズマ分布およびプラズマの安定性も変化する。そのため、プロセス条件が変わると、そのたび毎にプラズマの均一性と安定性を得るために、平面アンテナのプラズマ透過孔のパターンおよびプラズマ透過窓の最適化を行う必要があり、極めて煩雑であった。

特許文献1:特開2000-294550号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0008] 本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、プロセス条件等の変化に対応してプラズマの均一性と安定性を容易に確保することができるマイクロ波プラズマ処理装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するために、本発明の第1の観点では、被処理体が収容されるチャンバーと、マイクロ波を発生させるマイクロ波発生源と、マイクロ波発生源で発生されたマイクロ波を前記チャンバーに向けて導く導波手段と、前記導波手段に導かれたマイクロ波を前記チャンバーに向けて放射する複数のマイクロ波放射孔を有する導体からなる平面アンテナと、前記チャンバーの天壁を構成し、前記平面アンテナのマイクロ波放射孔を通過したマイクロ波を透過する、誘電体からなるマイクロ波透過板と、前記マイクロ波透過板の外周を覆う導電体からなるプレートと、前記マイクロ波透過板の端部から前記プレートの内部に向かって設けられた、前記マイクロ波透過板からマイクロ波が伝搬される2以上の孔と、これら孔の体積を調節する体積調節機構と、前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段とを有し、マイクロ波によって前記チャンバー内に処理ガスのプラズマを形成し、そのプラズマにより被処理体にプラズマ処理を施すマイクロ波プラズマ処理装置であって、前記体積調節機構により前記各孔の体積を調節することにより、前記マイクロ波透過板を前記2以上の孔の各々が属するユニット毎に分割した場合における各ユニットのインピーダンスを調節し、前記マイクロ波透過板の電界分布を制御することを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置を提供する。

- [0010] また、本発明の第2の観点では、被処理体が収容されるチャンバーと、マイクロ波を発生させるマイクロ波発生源と、マイクロ波発生源で発生されたマイクロ波を前記チャンバーに向けて導く導波手段と、前記導波手段に導かれたマイクロ波を前記チャンバーに向けて放射する複数のマイクロ波放射孔を有する導体からなる平面アンテナと、前記チャンバーの天壁を構成し、前記平面アンテナのマイクロ波放射孔を通過したマイクロ波を透過する、誘電体からなるマイクロ波透過板と、前記マイクロ波透過板の外周を覆う導電体からなるプレートと、前記マイクロ波透過板の端部から前記プレートの内部に向かって設けられた、前記マイクロ波透過板からマイクロ波が伝搬される2以上の孔と、これら孔の体積を調節する体積調節機構と、前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、を有し、マイクロ波によって前記チャンバー内に処理ガスのプラズマを形成し、そのプラズマにより被処理体にプラズマ処理を施すマイクロ波プラズマ処理装置であって、前記体積調節機構により前記各孔の体積を調節することにより、前記マイクロ波透過板を前記2以上の孔の各々が属するユニット毎に分割した場合における各ユニットのインピーダンスを調節し、各ユニットが共振条件を満たすようにすることを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置を提供する。
- [0011] 上記第2の観点において、前記マイクロ波透過板の全体が共振条件を満たすようにすることが好ましい。
- [0012] 上記第1および第2の観点において、前記体積調節機構は、前記孔内に密着して設けられ、前記構内を移動可能な体積調節板と、前記体積調節板を移動させるアクチュエータを有するものを用いることができる。また、プロセス条件に応じて、各体積調節機構を制御して各ユニットのインピーダンスを制御するコントローラをさらに有してもよい。
- [0013] 前記導波手段としては、前記マイクロ波発生源から発生したマイクロ波をTEモードで伝搬する矩形導波管と、TEモードをTEMモードに変換するモード変換器と、TEMモードに変換されたマイクロ波を前記平面アンテナに向けて伝搬する同軸導波管とを有するものを採用することができる。
- [0014] また、前記平面アンテナに形成された複数マイクロ波透過孔としては、長溝状をなし、

隣接するマイクロ波放射孔同士が交差するように配置され、これら複数のマイクロ波透過孔が同心円状に配置されるものを好適に用いることができる。

- [0015] さらに、前記平面アンテナを覆うように設けられた蓋体をさらに具備することができ、その場合には、前記蓋体には冷媒流路が設けられており、この冷媒流路に冷媒を流通させることにより、前記平面アンテナ、前記マイクロ波透過板を冷却することが好ましい。

発明の効果

- [0016] 本発明によれば、マイクロ波透過板の端部から前記プレート内部に向かって、平面アンテナから前記マイクロ波透過板に到達したマイクロ波が伝搬される2以上の孔を設け、さらに、これら孔の体積を調節する体積調節機構を設け、体積調節機構により前記各孔の体積を調節することにより、前記マイクロ波透過板を前記2以上の孔の各々が属するユニット毎に分割した場合における各ユニットのインピーダンスを調節し、マイクロ波透過板の電界分布を制御するので、プロセス条件等が変化した場合に、平面アンテナのプラズマ透過孔のパターンおよびプラズマ透過板の最適化を行うことなく簡単な操作でマイクロ波透過板の電界分布を制御しての均一性および安定性の高いプラズマを得ることが可能となる。
- [0017] 具体的には、マイクロ波透過板を前記2以上の孔の各々が属するユニット毎に分割した場合における各ユニットのインピーダンスを調節し、各ユニットが共振条件を満たすようにすることにより、マイクロ波透過板の電界分布を均一にすることができ、均一性および安定性の高いプラズマ処理が実現される。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]本発明の一実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置を模式的に示す断面図。
- [図2]本発明の一実施形態に係るマイクロ波プラズマ装置に用いられる平面アンテナの構造を示す図。
- [図3]本発明の一実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置の主要部を説明するための図。
- [図4]上部プレートの形成された孔の形状を示す模式図。

[図5]本発明のマイクロ波透過板の電界分布制御を説明するためのモデル図。

[図6]マイクロ波透過板のユニットが2個の場合の等価共振回路を示す図。

[図7]本発明の装置と従来の装置とでプラズマの電子密度分布の均一性を比較して示すグラフ。

[図8]本発明に係るマイクロ波プラズマ処理装置において、マイクロ波透過板表面でのマイクロ波電界強度をシミュレーションした結果を示す図。

[図9]従来のマイクロ波プラズマ処理装置において、マイクロ波透過板表面でのマイクロ波電界強度をシミュレーションした結果を示す図。

[図10]上部プレートに形成する孔の他の例を示す図。

発明を実施するための最良の形態

[0019] 以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態について具体的に説明する。

図1は、本発明の一実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置を模式的に示す断面図である。

[0020] このマイクロ波プラズマ処理装置100は、所定のパターンで多数のスロットが形成された平面アンテナ(Radial Line Slot Antenna)を利用してマイクロ波発生源から導かれたマイクロ波をチャンバー内に放射し、プラズマを形成するRLSAマイクロ波プラズマ処理装置として構成されている。

[0021] このマイクロ波プラズマ処理装置100は、気密に構成されかつ接地された略円筒状のチャンバー1を有している。チャンバー1の底壁1aの略中央部には円形の開口部10が形成されており、底壁1aにはこの開口部10と連通し、下方に向けて突出する排気室11が設けられている。チャンバー1内には被処理基板であるウエハWを水平に支持するためのAlN等のセラミックスからなるサセプタ2が設けられている。このサセプタ2は、排気室11の底部中央から上方に延びる円筒状のAlN等のセラミックスからなる支持部材3により支持されている。サセプタ2の外縁部にはウエハWをガイドするためのガイドリング4が設けられている。また、サセプタ2には抵抗加熱型のヒータ5が埋め込まれており、このヒータ5はヒータ電源6から給電されることによりサセプタ2を加熱して、その熱で被処理体であるウエハWを加熱する。チャンバー1の内周には、石英からなる円筒状のライナー7が設けられている。

- [0022] サセプタ2には、ウエハWを支持して昇降させるためのウエハ支持ピン(図示せず)がサセプタ2の表面に対して突没可能に設けられている。
- [0023] チャンバー1の側壁には環状をなすガス導入部材15が設けられており、このガス導入部材15には処理ガス供給系16が接続されている。ガス導入部材はシャワー状に配置してもよい。この処理ガス供給系16から所定の処理ガスがガス導入部材15を介してチャンバー1内に導入される。処理ガスとしては、プラズマ処理の種類に応じて適宜のものが用いられる。プラズマ処理としては、例えばエッチング処理や酸化処理等を挙げることができる。
- [0024] 上記排気室11の側面には排気管23が接続されており、この排気管23には高速真空ポンプを含む排気装置24が接続されている。そしてこの排気装置24を作動させることによりチャンバー1内のガスが、排気室11の空間11a内へ均一に排出され、排気管23を介して排気される。これによりチャンバー1内は所定の真空度、例えば0.133 Paまで高速に減圧することが可能となっている。
- [0025] チャンバー1の側壁には、プラズマ処理装置100に隣接する搬送室(図示せず)との間でウエハWの搬入出を行うための搬入出口25と、この搬入出口25を開閉するゲートバルブ26とが設けられている。
- [0026] チャンバー1の上部は開口部となっており、この開口部の周縁部に沿って、リング状をなす上部プレート27が図示しないシール部材を介して気密に設けられており、この上部プレート27の内側に誘電体、例えば石英や Al_2O_3 等のセラミックスからなり、マイクロ波を透過するマイクロ波透過板28が設けられている。上部プレート27は金属等の導電体、例えばアルミニウムで構成されており、接地されている。また、上部プレート27は、断面L字状となっており、マイクロ波透過板28を支持するとともにその外周を覆うようになっている。マイクロ波透過板28は上部プレート27に対し図示しないシール部材を介して気密に設けられている。したがって、チャンバー1内は気密に保持される。
- [0027] マイクロ波透過板28の上方には、サセプタ2と対向するように、円板状の平面アンテナ31が設けられている。この平面アンテナ31は上部プレート27の上端に係止されている。平面アンテナ31は、導体、例えば表面が金メッキされた銅板またはアルミニ

ウム板からなり、多数のマイクロ波放射孔(スロット)32が所定のパターンで貫通して形成された構成となっている。すなわち、平面アンテナ31はRLSAアンテナを構成している。このマイクロ波放射孔32は、例えば図2に示すように長溝状をなし、隣接するマイクロ波放射孔32同士が交差するように、典型的には図示のように直交するように(「T」字状に)配置され、これら複数のマイクロ波透過孔32が同心円状に配置されている。マイクロ波透過孔32の長さや配列間隔は、マイクロ波マイクロ波の波長等に応じて決定される。なお、図2において、同心円状に形成された隣接するマイクロ波透過孔32同士の間隔を Δr で示している。また、マイクロ波放射孔32は、円形状、円弧状等の他の形状であってもよい。さらに、マイクロ波放射孔32の配置形態は特に限定されず同心円状の他、例えば、螺旋状、放射状に配置することもできる。

[0028] この平面アンテナ部材31の上面には、真空よりも大きい誘電率を有する誘電体からなる遅波材33が設けられている。この遅波材33は、マイクロ波の波長を真空中における波長よりも短くしてプラズマを調整する機能を有している。

[0029] 平面アンテナ31とマイクロ波透過板28との間が密着した状態となっており、また、遅波板33と平面アンテナ31との間も密着されている。また、遅波板33、平面アンテナ31、マイクロ波透過板28、およびプラズマで形成される等価回路が共振条件を満たすようにマイクロ波透過板28、遅波材33の厚みおよび平面アンテナのマイクロ波反射率が調整されており、これによりマイクロ波の反射が極小化される。また、遅波板33とマイクロ波透過板28を同じ材質としてマイクロ波の界面反射を防止している。このようにマイクロ波の反射を極小化し、かつマイクロ波の界面反射が防止されることにより、プラズマの安定性を高くしつつマイクロ波パワーの効率を高く維持することができる。

[0030] チャンバー1の上面には、これら平面アンテナ部材31および遅波材33を覆うように、例えばアルミニウムやステンレス鋼等の金属材料からなるシールド蓋体34が設けられている。チャンバー1の上面に位置する上部プレート27とシールド蓋体34とは図示しないシール部材によりシールされている。

[0031] シールド蓋体34には、冷却水流路34aが形成されており、そこに冷却水を通流させることにより、平面アンテナ31、マイクロ波透過板28、遅波材33、シールド蓋体34

を冷却するようになっている。なお、シールド蓋体34は接地されている。

- [0032] 前記平面アンテナ31および遅波板33の外周部は、シールド蓋体34の内側に設けられた押さえ部材34bで押さえられるようになっている。
- [0033] シールド蓋体34の上壁の中央には開口部36が形成されており、この開口部には導波管37が接続されている。この導波管37の端部には、マッチング回路38を介してマイクロ波発生装置39が接続されている。これにより、マイクロ波発生装置39で発生した例えば周波数2.45GHzのマイクロ波が導波管37を介して上記平面アンテナ部材31へ伝搬されるようになっている。なお、マイクロ波の周波数としては、8.35GHz、1.98GHz等を用いることもできる。
- [0034] 導波管37は、上記シールド蓋体34の開口部36から上方へ延出する断面円形状の同軸導波管37aと、この同軸導波管37aの上端部に接続された水平方向に延びる断面矩形状の矩形導波管37bとを有している。矩形導波管37bの同軸導波管37aとの接続部側の端部にはモード変換器40が設けられている。同軸導波管37aの中心には内導体41が延在しており、この内導体41の下端部は平面アンテナ部材31の中心に接続固定されている。
- [0035] 上記上部プレート27には、マイクロ波透過板28の端部から上部プレート27の内部に向かって水平に複数の孔42が形成されている。この例では、図3に示すように、12個の孔42が上部プレート27の内側から外側へ向かって放射状に等間隔に設けられ、上部プレート27の周端部に開口している。この孔42は平面アンテナ31からマイクロ波透過板33に到達したマイクロ波が伝搬されるようになっている。
- [0036] これら孔42の中には、孔42の体積を調節するための体積調節板43が、孔42の長手方向に沿って移動自在に設けられている。この体積調節板43は、孔42の内部に密着して設けられており、少なくともその孔42に接する面は導電体、例えばアルミニウム等の金属で構成されている。さらに、上部プレート27の外周端部に開口している孔42には、金属製の蓋47が設けられている。これにより孔42を囲繞する部分は全て導電体で構成され、伝搬されたマイクロ波が漏洩せずに全て反射するようになっている。各体積調節板43は、ロッド44を介してシリンダ機構等のアクチュエータ45により独立に移動され、これにより各孔42の体積が調節されるようになっている。このように

各孔42の体積が調節されることにより、マイクロ波透過板28が孔42の各々が属するユニット毎に分離されているとした場合に、各ユニット毎にインピーダンスを調節することが可能である。そして、プロセス条件に変更があった場合等にプロセス条件に応じてコントローラ46から各アクチュエータ45に各ユニットのインピーダンスを制御するための指令が出力され、マイクロ波透過板28の電界分布が均一になるように各体積調節板43の位置、すなわち各孔42の体積が制御される。

[0037] なお、体積調節板43は、その孔42に接する面が導電体でありさえすれば、他の部分は誘電体であっても構わない。また、孔42の個数は12個に限らず2個以上であればよい。ただし、多すぎても制御が煩雑になるため、16個以下が好ましい。さらに、孔42の深さは誘電体であるマイクロ波透過板28中におけるマイクロ波1波長分以上あればよい。さらに、アクチュエータ45としては、シリンダ機構に限らずモーターによりボールねじを回転させることにより体積調節板43の位置を調節するボールねじ機構を採用することもできる。

[0038] 孔42の形状は、図4の(a)に示すように断面が円形であっても、(b)に示すように断面が長方形であってもよいが、マイクロ波が孔42内に伝搬できるようにするためには、マイクロ波透過板28内でのマイクロ波の波長を λ_c とし、断面円形の場合に半径を r 、断面長方形の場合に横幅を a 、高さを b とすると、以下の(1)、(2)式が成り立つようにする必要がある。

$$r > \lambda_c / 3.41 \quad \dots\dots (1)$$

$$a > \lambda_c / 2, b > \lambda_c / 8 \quad \dots\dots (2)$$

[0039] プラズマ処理装置100の各構成部は、プロセスコントローラ50に接続されて制御される構成となっている。プロセスコントローラ50には、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、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からなるユーザーインターフェース51が接続されている。

[0040] また、プロセスコントローラ50には、プラズマ処理装置100で実行される各種処理をプロセスコントローラ50の制御にて実現するための制御プログラムや処理条件データ等が記録されたレシピが格納された記憶部52が接続されている。

- [0041] そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース51からの指示等にて任意のレシピを記憶部52から呼び出してプロセスコントローラ50に実行させることで、プロセスコントローラ50の制御下で、プラズマ処理装置100での所望の処理が行われる。
- [0042] このように構成されたプラズマ処理装置100においては、まず、ゲートバルブ26を開にして搬入出口25から被処理体であるウエハWをチャンバー1内に搬入し、サセプタ2上に載置する。
- [0043] そして、処理ガス供給系16からプラズマ処理に応じた所定の処理ガスをガス導入部材15を介してチャンバー1内に導入し、所定の圧力に維持する。
- [0044] 次に、マイクロ波発生装置39からのマイクロ波をマッチング回路38を経て導波管37に導く。マイクロ波は、矩形導波管37b、モード変換器40、および同軸導波管37a、遅波板33を順次通って平面アンテナ部材31に供給され、平面アンテナ部材31からマイクロ波透過板28を経てチャンバー1内におけるウエハWの上方空間に放射される。マイクロ波は、矩形導波管37b内ではTEモードで伝搬し、このTEモードのマイクロ波はモード変換器40でTEMモードに変換されて、同軸導波管37a内を平面アンテナ部材31に向けて伝搬されていく。
- [0045] 平面アンテナ部材31からマイクロ波透過板28を経てチャンバー1に放射されたマイクロ波によりチャンバー1内では導入された処理ガスがプラズマ化し、このプラズマにより酸化処理等の所定の処理が行われる。
- [0046] 本実施形態のマイクロ波プラズマ処理装置100は、略 $10^{12}/\text{cm}^3$ 以上の高プラズマ密度でかつ略1.5eV以下の低電子温度プラズマを実現することができる。このため、低温かつ短時間でプラズマ処理を行うことができ、しかも下地膜へのイオン等のプラズマダメージが小さい等のメリットがある。
- [0047] また、本実施形態においては、マイクロ波透過板28の端部から上部プレート27の内部に向かって、平面アンテナから前記マイクロ波透過板に到達したマイクロ波が伝搬される複数の孔42を設け、さらに、これら孔の体積を調節する体積調節板43およびアクチュエータ45を設け、体積調節板43およびアクチュエータ45により各孔42の体積を調節することにより、マイクロ波透過板28を複数の孔42の各々が属するユニット毎に分割した場合における各ユニットのインピーダンスを調節することができる。こ

れにより、マイクロ波透過板28の電界分布を制御することができるので、プロセス条件等が変化した場合に、平面アンテナ31のプラズマ透過孔32のパターンおよびプラズマ透過板28の最適化を行うことなく簡単な操作でマイクロ波透過板の電界分布を制御してプラズマの均一性および安定性を得ることができる。

- [0048] 具体的なマイクロ波透過板28の電界分布制御を図5のモデルを参照して説明する。まず、マイクロ波透過板28を中心から放射状に複数の孔42の各々が属するユニット28aに分割したとする。この場合に、マイクロ波透過板28の中心からのマイクロ波は、各ユニットにおいてそこに属する孔42に向かって直線的に伝搬され、体積調節板43で反射して元に戻っていく。今、任意の隣接する2つのユニット28a(第iユニットおよび第jユニット)間の結合係数 $k_{i,j}$ を以下の(3)のように定義する。

[数1]

$$k_{i,j} = \frac{X_{m(i,j)}}{\sqrt{X_i X_j}} \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 $X_{m(i,j)}$ は隣接する2つのユニットに共通な部分のリアクタンス、 X_i は第iユニットで $X_{m(i,j)}$ に直列に挿入されるリアクタンスのうち $X_{m(i,j)}$ と同種のリアクタンスで $X_{m(i,j)}$ を含む値である。 X_j も同様である。例えばユニット数が2つと仮定すると、上記(3)式は、以下の(4)式のように書き直すことができる。

[数2]

$$k = \frac{X_m}{\sqrt{X_1 X_2}} \quad \dots\dots (4)$$

一般的にリアクタンスは容量結合であり、この状態を図6に示すような等価共振回路で表すことができる。

- [0049] この場合には結合係数kは以下の(5)式で表すことができる。

[数3]

$$k = \sqrt{\frac{C_a C_b}{(C_a + C_m)(C_b + C_m)}} \quad \dots\dots (5)$$

ここで、図6のP点から見たインピーダンスがゼロになる周波数すなわち、マイクロ波透過板28の全体の共振周波数 f と、各ユニットの周波数 f'_i (f'_1 、 f'_2)とは、以下の(6)式に示すようになる。

[数4]

$$f^2 = \frac{f_1'^2 + f_2'^2 \pm \sqrt{(f_1'^2 - f_2'^2)^2 + 4f_1'^2 f_2'^2 k^2}}{2(1 - k^2)} \quad \dots\dots (6)$$

このとき、各ユニットの周波数 f'_i は、各ユニットの容量を C_i とすると以下の(7)式で表される。

[数5]

$$f'_i = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_i C_i}} \quad (i = 1, 2) \quad \dots\dots (7)$$

[0050] 上記式(6)、(7)から、結合係数 k により、2つの共振周波数が存在することがわかる。特に、結合係数 k が1よりも十分に小さい場合、すなわち0に近い場合には $f = f'_1 = f'_2$ となり、各ユニットの共通共振周波数が生じる。このとき、結合係数 k が0に近いことから、各ユニット間の干渉が実質的に存在せず、各ユニットが無干渉で独立にモード制御が可能となる。

[0051] したがって、各ユニット間の結合係数 k が実質的に存在しないように複数の孔42を形成し、各ユニット毎にアクチュエータ45により体積調節板43を移動させて孔42の体積を調節すれば、各ユニットのインピーダンスを独立に調節して、各ユニット毎に共振条件を満たすようにすることができ、これにより、マイクロ波透過板28の電界分布を均一に制御することができる。一般的に、プラズマ分布と安定性はマイクロ波透過板の電界分布に依存するから、このようにマイクロ波透過板28の電界分布を均一に制御することにより、プラズマの均一性および安定性を高めることができる。したがって、プロセス条件が変化しても、容易に対応することが可能である。

[0052] 図7に本発明の装置を使用してマイクロ波透過板28のインピーダンス調節を行った場合と従来の装置を使用した場合におけるプラズマの電子密度分布を示す。この図に示すように、本実施形態に従ってインピーダンス調節を行うことにより電子密度分

布が均一になることが確認された。

[0053] 次に、上記図5に示したように上部プレートに12個の孔を均等に形成し、孔の径を32.3mmφ、孔の長さを60mmにした場合における、マイクロ波透過板の電磁界シミュレーションを行った。その結果を図8および図9に示す。図8に示すように本発明の装置では、各孔の体積を調節することにより、図9に示す従来の装置よりもマイクロ波透過板の電界分布が均一になることが確認された。

[0054] なお、本発明は上記実施形態に限定されることなく種々変形可能である。たとえば、処理装置の構成は本発明の構成要件を満たす限り上記実施形態に限るものではない。また、上部プレートに形成される孔としてマイクロ波透過板の端部から外側に向かって水平に延び、上部プレートの周端部に開口するものを例にとって説明したが、これに限るものではなく、図10に示すように、上部プレートの上面に開口し、上部プレートの中で90°曲がっているものを採用してもよい。さらに、プラズマ処理を行う被処理体としては、半導体ウエハに限らず、フラットパネルディスプレイ基板等、他のものであってもよい。

産業上の利用可能性

[0055] 本発明は、半導体デバイスの製造工程における酸化処理、成膜処理、エッチング処理等、低電子温度および高密度のプラズマが求められるプラズマ処理に好適である。特に、プラズマ密度の均一性が重視されるエッチング処理に適している。

請求の範囲

- [1] 被処理体が収容されるチャンバーと、
マイクロ波を発生させるマイクロ波発生源と、
マイクロ波発生源で発生されたマイクロ波を前記チャンバーに向けて導く導波手段と、
前記導波手段に導かれたマイクロ波を前記チャンバーに向けて放射する複数のマイクロ波放射孔を有する導体からなる平面アンテナと、
前記チャンバーの天壁を構成し、前記平面アンテナのマイクロ波放射孔を通過したマイクロ波を透過する、誘電体からなるマイクロ波透過板と、
前記マイクロ波透過板の外周を覆う導電体からなるプレートと、
前記マイクロ波透過板の端部から前記プレートの内部に向かって設けられた、前記マイクロ波透過板からマイクロ波が伝搬される2以上の孔と、
これら孔の体積を調節する体積調節機構と、
前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、
を有し、
マイクロ波によって前記チャンバー内に処理ガスのプラズマを形成し、そのプラズマにより被処理体にプラズマ処理を施すマイクロ波プラズマ処理装置であって、
前記体積調節機構により前記各孔の体積を調節することにより、前記マイクロ波透過板を前記2以上の孔の各々が属するユニット毎に分割した場合における各ユニットのインピーダンスを調節し、前記マイクロ波透過板の電界分布を制御することを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置。
- [2] 被処理体が収容されるチャンバーと、
マイクロ波を発生させるマイクロ波発生源と、
マイクロ波発生源で発生されたマイクロ波を前記チャンバーに向けて導く導波手段と、
前記導波手段に導かれたマイクロ波を前記チャンバーに向けて放射する複数のマイクロ波放射孔を有する導体からなる平面アンテナと、
前記チャンバーの天壁を構成し、前記平面アンテナのマイクロ波放射孔を通過した

マイクロ波を透過する、誘電体からなるマイクロ波透過板と、
前記マイクロ波透過板の外周を覆う導電体からなるプレートと、
前記マイクロ波透過板の端部から前記プレートの内部に向かって設けられた、前記マイクロ波透過板からマイクロ波が伝搬される2以上の孔と、
これら孔の体積を調節する体積調節機構と、
前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、
を有し、

マイクロ波によって前記チャンバー内に処理ガスのプラズマを形成し、そのプラズマにより被処理体にプラズマ処理を施すマイクロ波プラズマ処理装置であって、

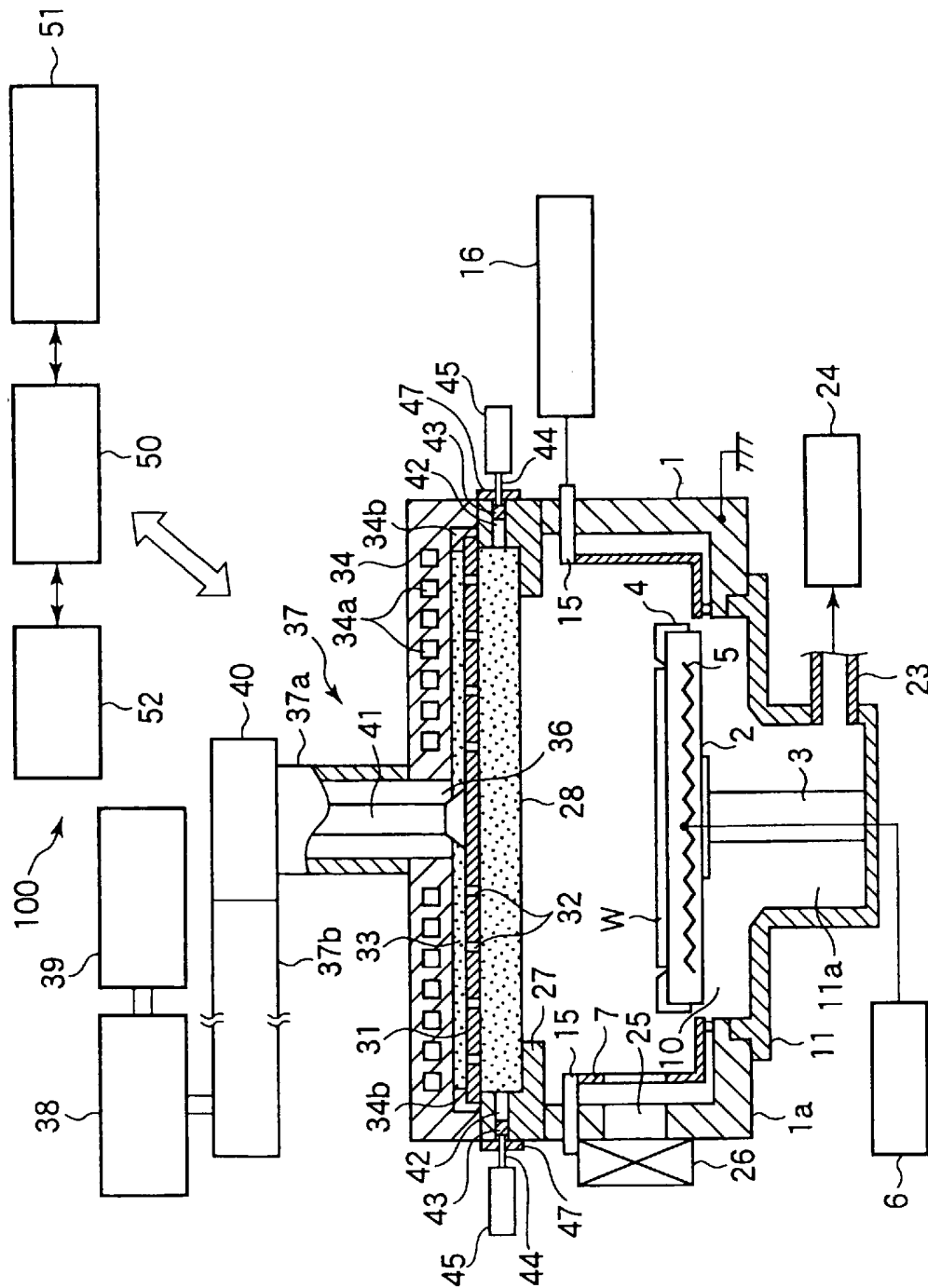
前記体積調節機構により前記各孔の体積を調節することにより、前記マイクロ波透過板を前記2以上の孔の各々が属するユニット毎に分割した場合における各ユニットのインピーダンスを調節し、各ユニットが共振条件を満たすようにすることを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置。

- [3] 前記マイクロ波透過板の全体が共振条件を満たすようにすることを特徴とする請求項2に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。
- [4] 前記体積調節機構は、前記孔内に密着して設けられ、前記孔内を移動可能な体積調節板と、前記体積調節板を移動させるアクチュエータを有することを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。
- [5] プロセス条件に応じて、各体積調節機構を制御して各ユニットのインピーダンスを制御するコントローラをさらに有することを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。
- [6] 前記導波手段は、前記マイクロ波発生源から発生したマイクロ波をTEモードで伝搬する矩形導波管と、TEモードをTEMモードに変換するモード変換器と、TEMモードに変換されたマイクロ波を前記平面アンテナに向けて伝搬する同軸導波管とを有することを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。
- [7] 前記平面アンテナに形成された複数マイクロ波透過孔は、長溝状をなし、隣接するマイクロ波放射孔同士が交差するように配置され、これら複数のマイクロ波透過孔が

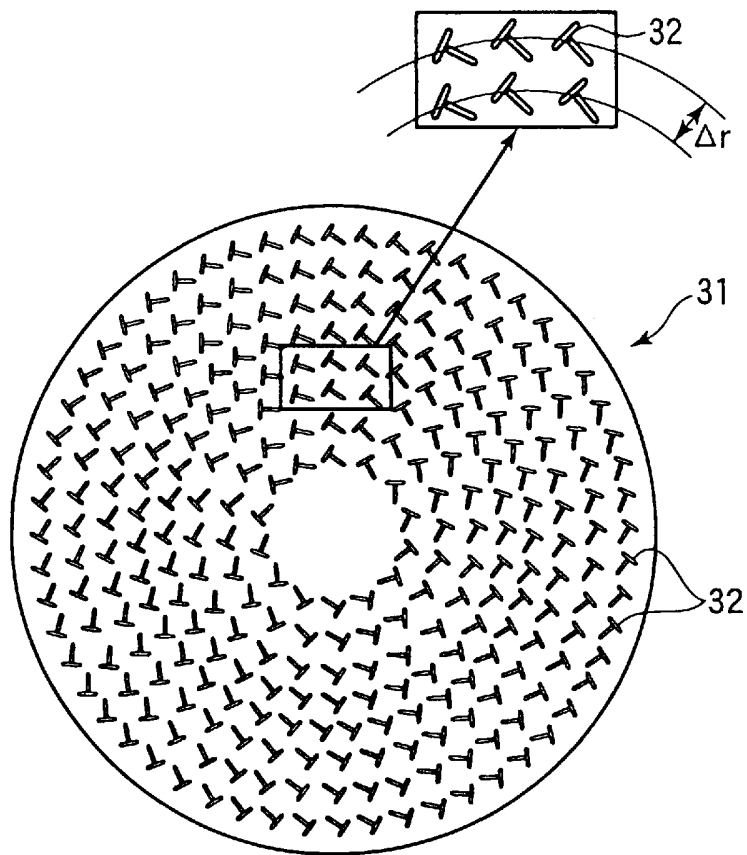
同心円状に配置されていることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

- [8] 前記平面アンテナを覆うように設けられた蓋体をさらに具備することを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。
- [9] 前記蓋体には冷媒流路が設けられており、この冷媒流路に冷媒を通流させることにより、前記平面アンテナ、前記マイクロ波透過板を冷却することを特徴とする請求項8に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

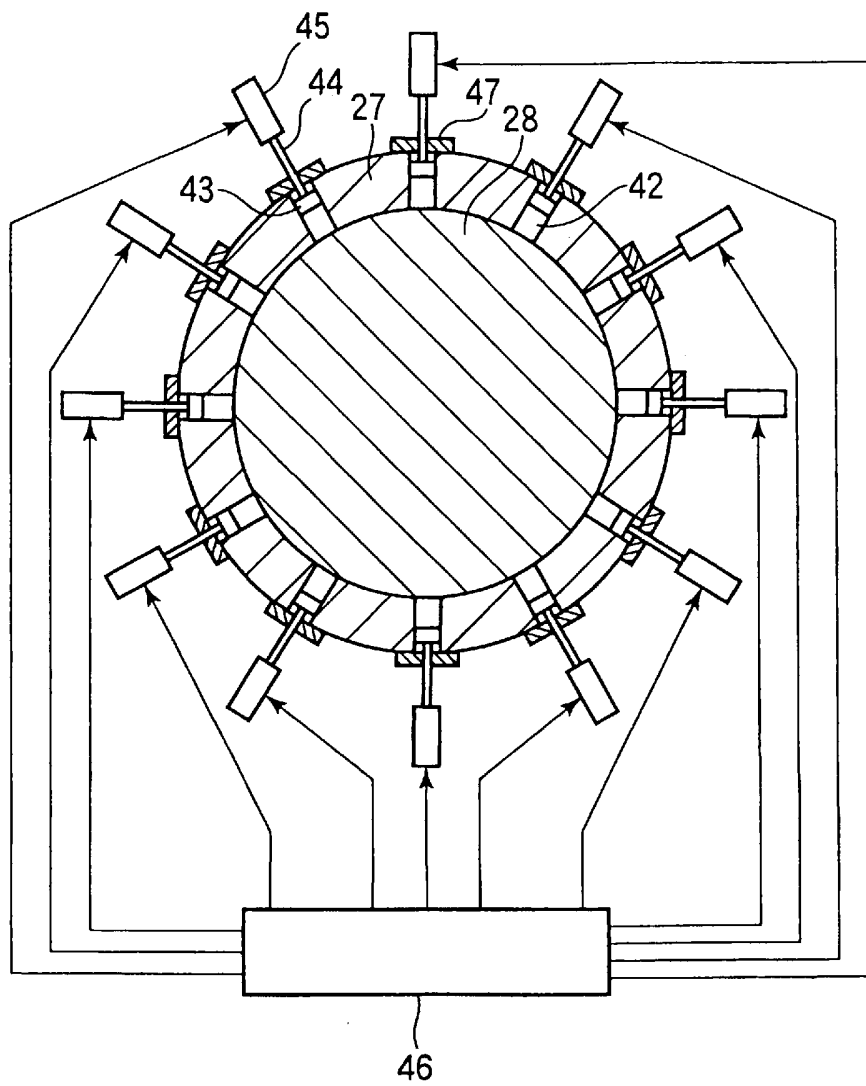
[図1]



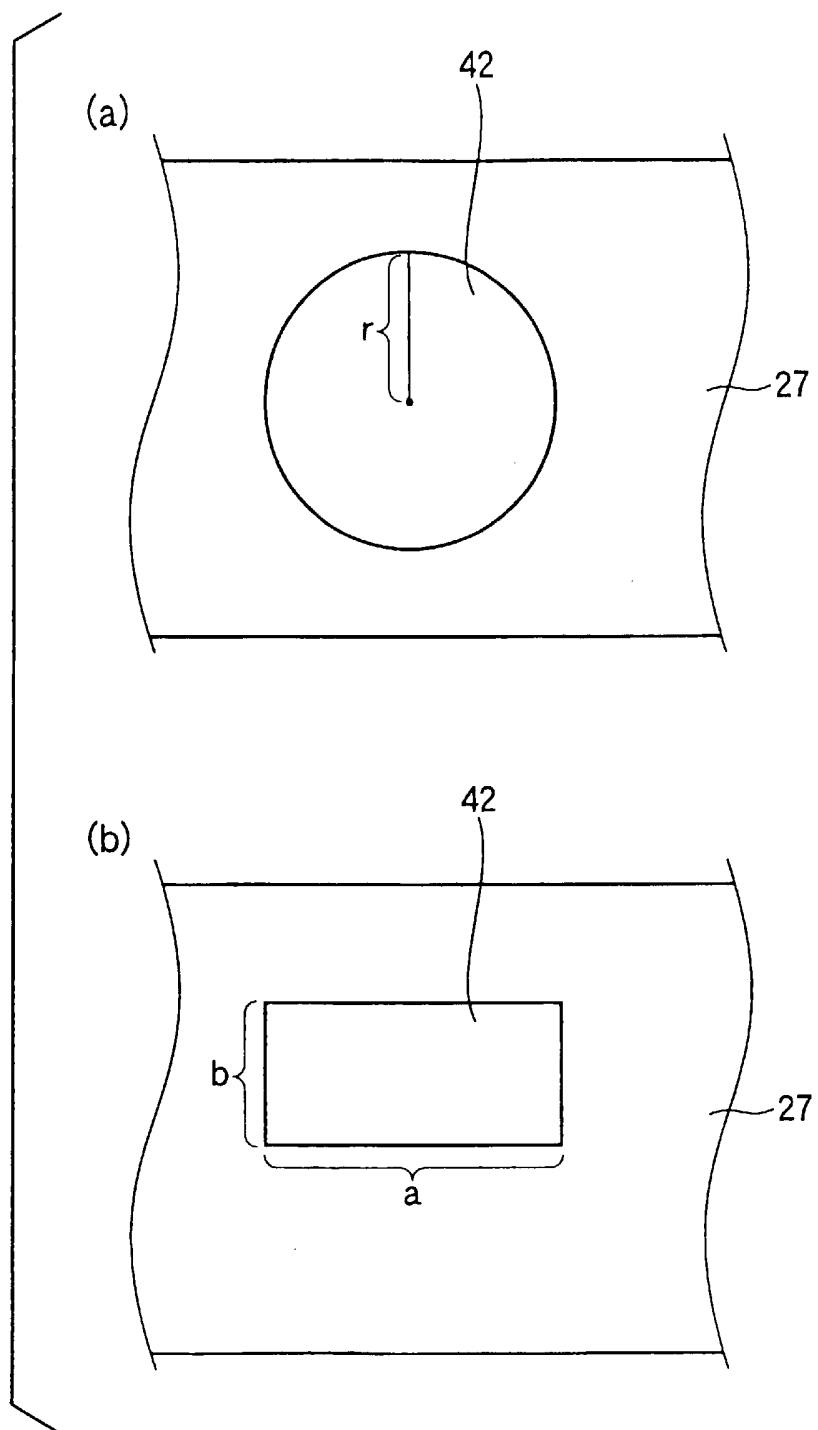
[図2]



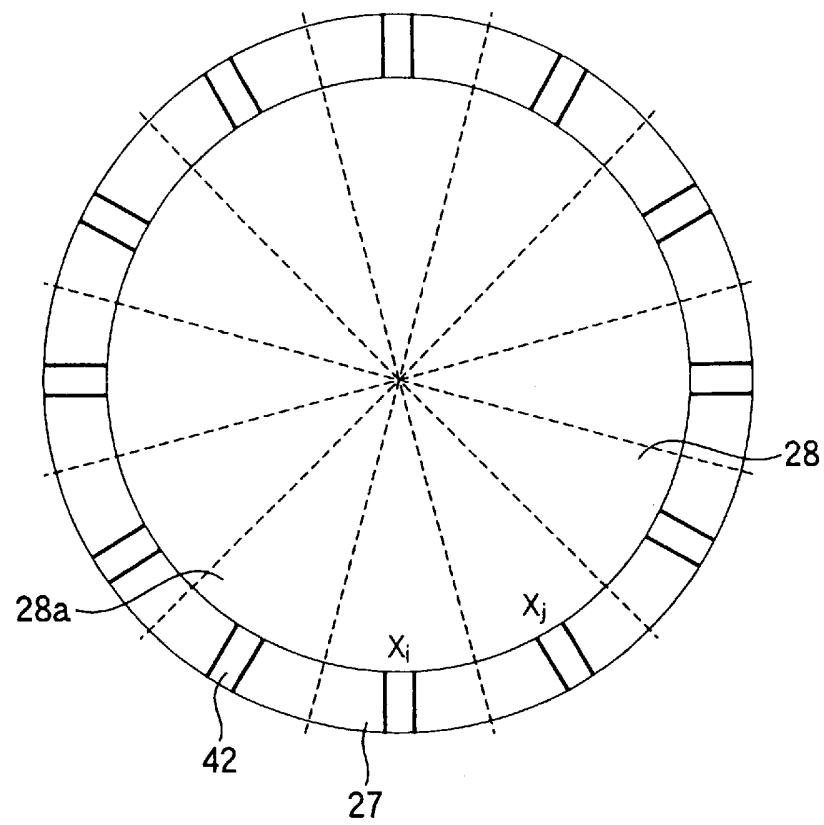
[図3]



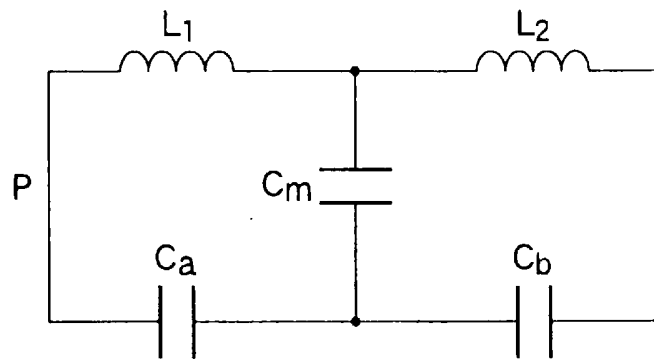
[図4]



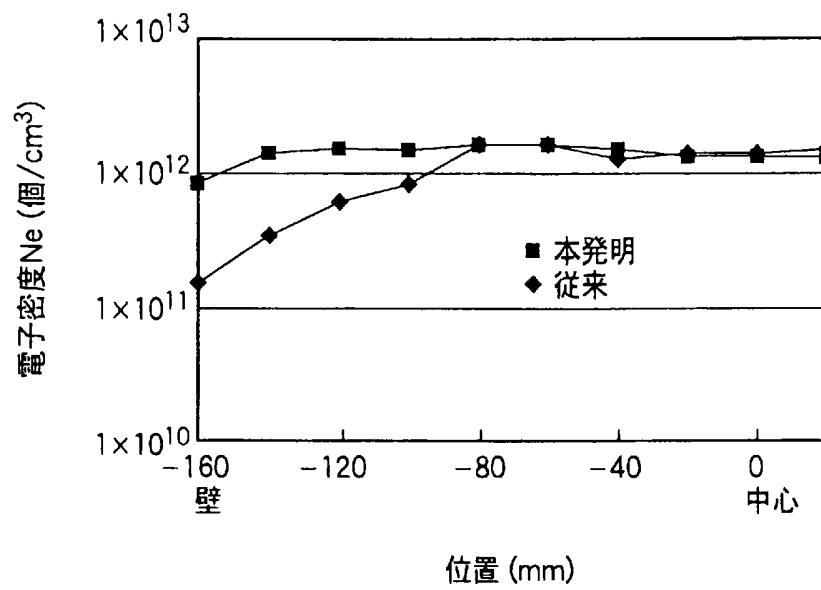
[図5]



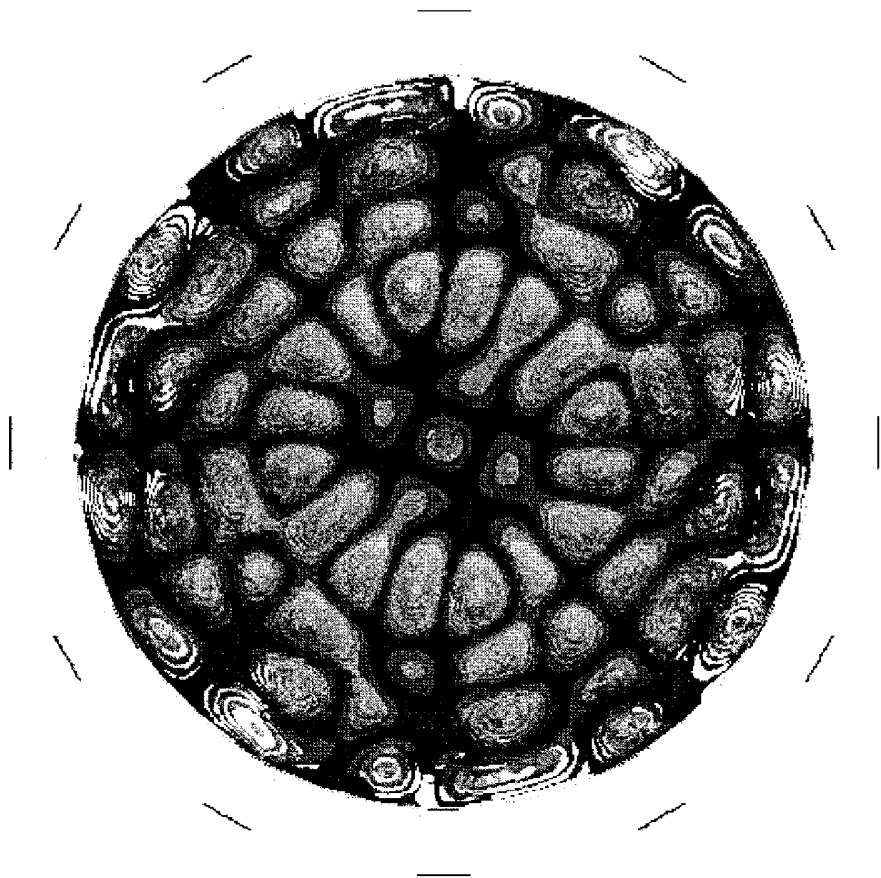
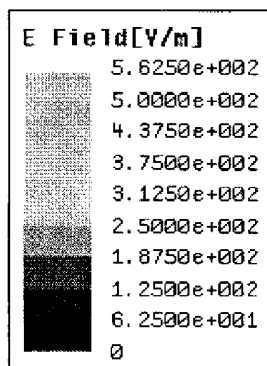
[図6]



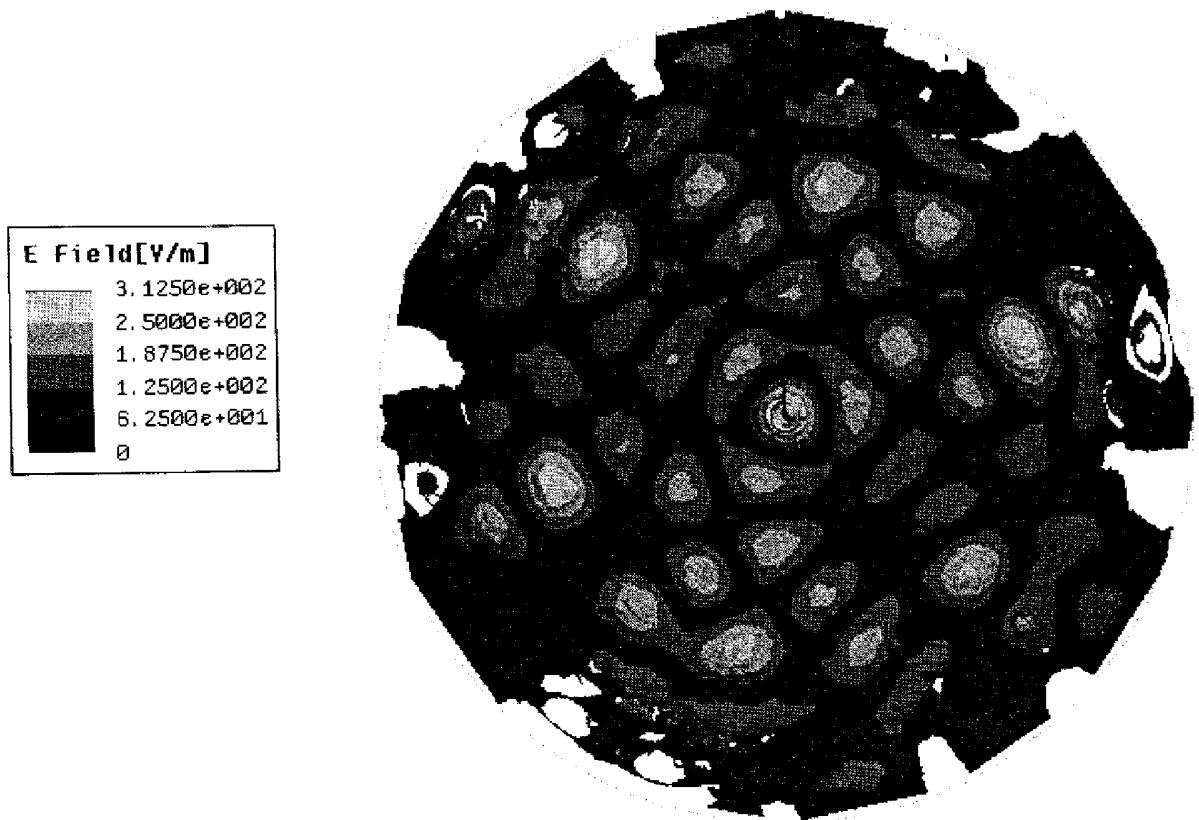
[図7]



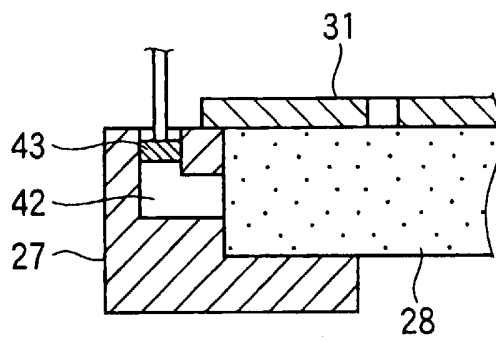
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/018545

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H05H1/46 (2006.01), C23C16/511 (2006.01), H01L21/31 (2006.01)		
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 (2006.01), C23C16/511 (2006.01), H01L21/31 (2006.01)		
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 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005		
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.
Y	JP 2003-264181 A (Tokyo Electron Ltd.), 19 September, 2003 (19.09.03), Par. Nos. [0001], [0018] to [0021], [0032], [0039]; Figs. 1, 3	1-9
Y	JP 2001-320227 A (Sekisui Chemical Co., Ltd.), 16 November, 2001 (16.11.01), Par. Nos. [0056], [0057], [0074], [0081]; Figs. 12, 13(b)	1, 4, 5, 7, 8
Y	JP 2004-266268 A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 24 September, 2004 (24.09.04), Par. Nos. [0018], [0021], [0022], [0047] to [0052]; Fig. 7	2, 3
☒ 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 13 December, 2005 (13.12.05)		Date of mailing of the international search report 27 December, 2005 (27.12.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/018545

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-294550 A (Tokyo Electron Ltd.), 20 October, 2000 (20.10.00), Par. No. [0061]	6
Y	JP 2004-265916 A (Tokyo Electron Ltd.), 24 September, 2004 (24.09.04), Par. No. [0015]	9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2005/018545

JP 2003-264181 A	2003.09.19	WO-03-077302 A1
JP 2001-320227 A	2001.11.16	(Family: none)
JP 2004-266268 A	2004.09.24	WO-2004-073363 A1
JP 2000-294550 A	2000.10.20	US-006470824 B2 US-006399520 B1
JP 2004-265916 A	2004.09.24	WO-2004-070815 A1

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), C23C16/511 (2006.01), H01L21/31 (2006.01)

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 (2006.01), C23C16/511 (2006.01), H01L21/31 (2006.01)

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	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005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 請求の範囲の番号
Y	JP 2003-264181 A (東京エレクトロン株式会社) 2003.9.19 【0001】、【0018】-【0021】、【0032】、【0039】、【図1】、【図3】	1-9
Y	JP 2001-320227 A (積水化学工業株式会社) 2001.11.16 【0056】、【0057】、【0074】、【0081】、【図12】、【図13】(b)	1, 4, 5, 7, 8
Y	JP 2004-266268 A (松下電工株式会社) 2004.9.24 【0018】、【0021】、【0022】、【0047】-【0052】、【図7】	2, 3

☒ 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

13.12.2005

国際調査報告の発送日

27.12.2005

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)

岡崎 輝雄

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

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 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-294550 A (東京エレクトロン株式会社) 2000.10.20 【0061】	6
Y	JP 2004-265916 A (東京エレクトロン株式会社) 2004.9.24 【0015】	9

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号 PCT/JP2005/018545

JP 2003-264181 A	2003. 9. 19	WO-03-077302 A1
JP 2001-320227 A	2001. 11. 16	ファミリーなし
JP 2004-266268 A	2004. 9. 24	WO-2004-073363 A1
JP 2000-294550 A	2000. 10. 20	US-006470824 B2 US-006399520 B1
JP 2004-265916 A	2004. 9. 24	WO-2004-070815 A1