

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4527432号  
(P4527432)

(45) 発行日 平成22年8月18日(2010.8.18)

(24) 登録日 平成22年6月11日(2010.6.11)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006.01)  
C 2 3 C 16/509 (2006.01)  
HO 1 L 21/205 (2006.01)  
HO 5 H 1/46 (2006.01)

HO 1 L 21/302 I O 1 B  
HO 1 L 21/302 I O 1 G  
C 2 3 C 16/509  
HO 1 L 21/205  
HO 5 H 1/46 M

請求項の数 13 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2004-114247 (P2004-114247)  
(22) 出願日 平成16年4月8日(2004.4.8)  
(65) 公開番号 特開2005-302878 (P2005-302878A)  
(43) 公開日 平成17年10月27日(2005.10.27)  
審査請求日 平成19年4月2日(2007.4.2)

(73) 特許権者 000219967  
東京エレクトロン株式会社  
東京都港区赤坂五丁目3番1号  
(73) 特許権者 000002060  
信越化学工業株式会社  
東京都千代田区大手町二丁目6番1号  
(74) 代理人 100086564  
弁理士 佐々木 聖孝  
(72) 発明者 岩崎 征英  
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放  
送センター 東京エレクトロン株式会社内  
(72) 発明者 宮田 浩二  
福井県武生市北府2丁目1番5号 信越化  
学工業株式会社磁性材料研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

減圧可能なチャンバ内に処理ガスを流し込むとともに高周波電界を形成して前記処理ガスのプラズマを生成し、前記チャンバ内の所定位置にほぼ水平に配置された被処理基板に前記プラズマの下で所望のプラズマ処理を施すプラズマ処理方法であって、

前記チャンバ内のプラズマ生成空間のうちの前記基板の外周端よりも半径方向外側の周辺プラズマ領域にそれぞれの磁極面を向けて、前記周辺プラズマ領域の上方に、第1のN極および第1のS極が所定の間隔を置いて交互に環状に配置されるとともに、第2のN極および第2のS極が前記第1のN極および前記第1のS極よりも半径方向内側に所定の間隔を置いて交互に環状に配置され、

前記第1のN極、前記第1のS極、前記第2のN極および前記第2のS極によって、前記周辺プラズマ領域内に磁場が形成され、

前記第1のN極から出た磁力線の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして円周方向隣の前記第1のS極に達し、

前記第1のN極から出た磁力線の他の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして半径方向隣の前記第2のS極に達し、

前記第2のN極から出た磁力線の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして円周方向隣の前記第2のS極に達し、

前記第2のN極から出た磁力線の他の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして半径方向隣の前記第1のS極に達し、

10

20

前記チャンバ内のプラズマ生成空間のうち前記基板の外周端よりも半径方向内側の主プラズマ領域では実質的に無磁場状態とする、

プラズマ処理方法。

【請求項 2】

前記チャンバ内に上部電極と下部電極とを所望のギャップを隔てて平行に配置され、  
前記上部電極と前記下部電極と前記チャンバの側壁とで囲まれる空間内に前記プラズマ生成空間が設定され、

前記下部電極の上に前記基板が載置され、前記上部電極と前記下部電極との間に前記処理ガスを供給されるとともに前記上部電極または前記下部電極に高周波が印加され、前記プラズマ生成空間内で前記処理ガスの高周波放電によるプラズマが生成される、

請求項 1 に記載のプラズマ処理方法。

10

【請求項 3】

前記第 1 の N 極と前記第 1 の S 極とを足し合わせた磁極数が、前記第 2 の N 極と前記第 2 の S 極とを足し合わせた磁極数に等しい、請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4】

前記磁力線で互いに結ばれる前記第 1 の N 極および前記第 2 の S 極の各組は、前記チャンバの半径方向に並んで配置され、

前記磁力線で互いに結ばれる前記第 2 の N 極および前記第 1 の S 極の各組は、前記チャンバの半径方向に並んで配置される、

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のプラズマ処理方法。

20

【請求項 5】

減圧可能なチャンバと、

前記チャンバ内で被処理基板をほぼ水平に載置する下部電極と、

前記下部電極の上方および周囲に設定されたプラズマ生成空間に処理ガスを供給する処理ガス供給部と、

前記プラズマ生成空間に高周波電界を形成する高周波電界形成機構と、

前記チャンバ内のプラズマ生成空間のうち前記基板の外周端よりも半径方向外側の周辺プラズマ領域内に磁場を形成する磁場形成機構と

を有し、

30

前記磁場形成機構が、第 1 の N 極、第 1 の S 極、第 2 の N 極および第 2 の S 極を複数備え、前記周辺プラズマ領域にそれぞれの磁極面を向けさせて、前記周辺プラズマ領域の上方に、第 1 の N 極および第 1 の S 極を所定の間隔を置いて交互に環状に配置するとともに、第 2 の N 極および第 2 の S 極を前記第 1 の N 極および前記第 1 の S 極よりも半径方向内側にて所定の間隔を置いて交互に環状に配置し、

前記第 1 の N 極から出た磁力線の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方で U ターンして円周方向隣の前記第 1 の S 極に達し、

前記第 1 の N 極から出た磁力線の他の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方で U ターンして半径方向隣の前記第 2 の S 極に達し、

前記第 2 の N 極から出た磁力線の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方で U ターンして円周方向隣の前記第 2 の S 極に達し、

40

前記第 2 の N 極から出た磁力線の他の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方で U ターンして半径方向隣の前記第 1 の S 極に達し、

前記磁場形成機構が、前記チャンバ内のプラズマ生成空間のうち前記基板の外周端よりも半径方向内側の主プラズマ領域では実質的に無磁場状態とする、

プラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記チャンバ内に前記下部電極と所望のギャップを隔てて平行に上部電極が配置され、前記上部電極と前記下部電極と前記チャンバの側壁とで囲まれる空間内に前記プラズマ生成空間が設定され、前記処理ガス供給部により前記上部電極と前記下部電極との間に前記

50

処理ガスが供給されるとともに、前記高周波形成機構により前記上部電極または前記下部電極に高周波が印加され、前記プラズマ生成空間内で前記処理ガスの高周波放電によるプラズマが生成される、請求項5に記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】

前記第1のN極と前記第1のS極とを足し合わせた磁極数が、前記第2のN極と前記第2のS極とを足し合わせた磁極数に等しい、請求項5または請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】

前記磁力線で互いに結ばれる前記第1のN極および前記第2のS極の各組は、前記チャンバの半径方向に並んで配置され、

前記磁力線で互いに結ばれる前記第2のN極および前記第1のS極の各組は、前記チャンバの半径方向に並んで配置される、

請求項5～7のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】

前記磁場形成機構が、前記上部電極の周囲で、前記チャンバの天井の壁の中に設けられる、請求項5～8のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】

前記第1のN極、前記第1のS極、前記第2のN極および前記第2のS極がそれぞれ磁石で構成される、請求項5～9のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】

前記周辺プラズマ領域側から見て各磁石の背面に接触または近接するヨークを設ける、請求項10に記載のプラズマ処理装置。

【請求項12】

前記ヨークが、全ての前記磁石にまたがって連続的に延在する、請求項11に記載のプラズマ処理装置。

【請求項13】

前記周辺プラズマ領域の上方で前記第1のN極、前記第1のS極、前記第2のN極および前記第2のS極の全部を一体に円周方向に回転運動させる磁極回転部を有する、請求項5～12のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被処理基板にプラズマ処理を施す技術に係わり、特に高周波放電を利用してプラズマを生成する枚葉式のプラズマ処理方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスやFPD(Flat Panel Display)の製造プロセスにおけるエッチング、堆積、酸化、スパッタリング等の処理では、処理ガスに比較的低温で良好な反応を行わせるためにプラズマが多く利用されている。一般に、プラズマ処理装置においてプラズマを生成する方式は、グロー放電または高周波放電を利用するものと、マイクロ波を利用するものとに大別される。

【0003】

一般に、高周波放電を利用する枚葉式のプラズマ処理装置では、減圧可能なチャンバ内に電極を兼ねた載置台またはサセプタを設置して、このサセプタの上に被処理基板(半導体ウエハ、ガラス基板等)を載置する。そして、チャンバの室内を所定の真空度まで減圧してから処理ガスを導入し、室内のガス圧力が設定値になった時点で電極に高周波を印加する。そうすると、処理ガスが放電を開始し、ガスプラズマが発生する。このプラズマの下で基板の表面または被処理面に膜の微細加工処理(ドライエッチング等)や成膜処理(化学的気相成長等)等が施される。

【0004】

10

20

30

40

50

高周波放電方式のプラズマ処理装置では、ガス圧力が低いと、ガス分子の密度が低い  
ため、放電の開始（プラズマの着火）や維持が難しくなる。特に、平行平板型のプラズマ  
処理装置では、その傾向が顕著なだけでなく、電極間隔を狭くしても、あるいは電極間に  
印加するRF電圧を低くしても、電子が電界から得るエネルギーひいてはガス分子または原  
子を電離させるエネルギーが少なくなると、放電が不安定になる傾向がある。しかしなが  
ら、プラズマプロセッシングの中には、低ガス圧、狭電極間隔あるいは低RF印加電圧を  
望ましい処理条件とするものもある。たとえば、異方性エッチングでは、良好な垂直エッ  
チング形状を得るには低ガス圧が有利とされており、低圧領域での安定した放電開始特性  
および放電維持特性が求められている。

【0005】

従来より、放電に適した特別の高圧条件の下で放電を開始し（たとえば特許文献1参照）  
、あるいは異種ガス条件または高RF印加条件の下で放電を開始し、放電が安定化して  
から本来の処理条件に切り換える方法（イグニッションプラズマ方式）が知られている。ま  
た、マイクロ波やUV光でプラズマ生成をアシストする方法も効果があることが知られて  
いる。

【特許文献1】特開2003-124198号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、イグニッションプラズマ方式は、本来の処理条件とは異なる条件を一定時  
間用いるため、プロセスへの影響やスループットの低下を招く不利点がある。また、マイ  
クロ波やUV光を用いる方法も、やはりプロセスへの影響が懸念されるだけでなく、装置  
が煩雑化したり装置コストが増大するという難点がある。結局、従来は、低圧プラズマの  
アプリケーションには、ECR (Electron Cyclotron Resonance) 等のマイクロ波方式を用  
いるほかなかった。

【0007】

本発明は、上記のような従来技術の問題点に鑑みてなされたもので、簡易かつ低コスト  
で高周波放電の開始を容易にし放電を安定に維持するプラズマ処理方法およびプラズマ  
処理装置を提供することを目的とする。

【0008】

本発明の別の目的は、被処理基板上のプラズマを効果的に高密度に閉じ込めてプラズマ  
処理の反応速度や面内均一性を向上させるプラズマ処理方法およびプラズマ処理装置を提  
供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記の目的を達成するために、本発明のプラズマ処理方法は、減圧可能なチャンバ内に  
処理ガスを流し込むとともに高周波電界を形成して前記処理ガスのプラズマを生成し、前  
記チャンバ内の所定位置にほぼ水平に配置された被処理基板に前記プラズマの下で所望の  
プラズマ処理を施すプラズマ処理方法であって、前記チャンバ内のプラズマ生成空間のう  
ちの前記基板の外周端よりも半径方向外側の周辺プラズマ領域にそれぞれの磁極面を向け  
て、前記周辺プラズマ領域の上方に、第1のN極および第1のS極が所定の間隔を置いて  
交互に環状に配置されるとともに、第2のN極および第2のS極が前記第1のN極および  
第1のS極よりも半径方向内側に所定の間隔を置いて交互に環状に配置され、前記第1  
のN極、前記第1のS極、前記第2のN極および前記第2のS極によって、前記周辺プラ  
ズマ領域内に磁場が形成され、前記第1のN極から出た磁力線の一部が前記周辺プラズ  
マ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして円周方向隣の前記第1のS極に達  
し、前記第1のN極から出た磁力線の他の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその  
中またはその下方でUターンして半径方向隣の前記第2のS極に達し、前記第2のN極か  
ら出た磁力線の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUター  
ンして円周方向隣の前記第2のS極に達し、前記第2のN極から出た磁力線の他の一部が

10

20

30

40

50

前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして半径方向隣の前記第1のS極に達し、前記チャンパ内のプラズマ生成空間のうち前記基板の外周端よりも半径方向内側の主プラズマ領域では実質的に無磁場状態とする。

【0010】

また、本発明のプラズマ処理装置は、減圧可能なチャンパと、前記チャンパ内で被処理基板をほぼ水平に載置する下部電極と、前記下部電極の上方および周囲に設定されたプラズマ生成空間に処理ガスを供給する処理ガス供給部と、前記プラズマ生成空間に高周波電界を形成する高周波電界形成機構と、前記チャンパ内のプラズマ生成空間のうち前記基板の外周端よりも半径方向外側の周辺プラズマ領域内に磁場を形成する磁場形成機構とを有し、前記磁場形成機構が、第1のN極、第1のS極、第2のN極および第2のS極を複数備え、前記周辺プラズマ領域にそれぞれの磁極面を向けさせて、前記周辺プラズマ領域の上方に、第1のN極および第1のS極を所定の間隔を置いて交互に環状に配置するとともに、第2のN極および第2のS極を前記第1のN極および前記第1のS極よりも半径方向内側にて所定の間隔を置いて交互に環状に配置し、前記第1のN極から出た磁力線の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして円周方向隣の前記第1のS極に達し、前記第1のN極から出た磁力線の他の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして半径方向隣の前記第2のS極に達し、前記第2のN極から出た磁力線の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして円周方向隣の前記第2のS極に達し、前記第2のN極から出た磁力線の他の一部が前記周辺プラズマ領域に降りてからその中またはその下方でUターンして半径方向隣の前記第1のS極に達し、前記チャンパ内のプラズマ生成空間のうち前記基板の外周端よりも半径方向内側の主プラズマ領域では実質的に無磁場状態とする。

【0011】

本発明では、磁場形成機構により、プラズマ生成空間のうち基板の外周端よりも半径方向外側の周辺プラズマ領域内に略鉛直方向の面内でU字状に伸びる複数系統の磁力線からなる磁場が形成される。これにより、高周波電界形成機構がプラズマ生成空間に高周波電界を形成すると、磁場の存在する周辺プラズマ領域内で最初に処理ガスが放電を開始し、そこから一瞬にプラズマ生成空間全体に放電が拡大して、放電ないしプラズマ生成が確立される。その後も、周辺プラズマ領域内で磁界が高周波放電をアシストするため、処理ガスの供給と高周波の印加が維持される限り、プラズマ生成空間全体で放電ないしプラズマ生成も安定に維持される。このように、周辺プラズマ領域内で磁場が高周波放電の開始のトリガとなり放電維持をアシストすることにより、たとえば低ガス圧力の条件下でも放電開始を容易にし放電を安定に維持することができる。一方で、磁場形成機構は周辺プラズマ領域より半径方向内側の主プラズマ領域を実質的に無磁場状態とすることができるので、電極上の基板に磁界が作用してダメージやストレスを与える可能性を回避または低減することができる。

【0012】

また、本発明では、磁場形成機構により、周辺プラズマ領域内に、主プラズマ領域の周囲をカーテンのように取り囲む鉛直型の磁場が形成される。これにより、主プラズマ領域内のプラズマを外に逃がさずに内側に効果的かつ効率的に閉じ込めることが可能であり、主プラズマ領域内でプラズマの高密度化および均一化をはかり、ひいてはプラズマ処理の反応速度や面内均一性の向上をはかることができる。

【0013】

また、本発明では、第1のN極、第1のS極、第2のN極および第2のS極の全部がチャンパの側壁よりも半径方向内側に位置する。このことにより、その内側配置の始点または終点に該当する磁極部材のサイズや設置数を必要最小限に抑えて周辺プラズマ領域内に高密度の磁場を形成することができる。

【0014】

本発明の好適な一態様による平行平板型のプラズマ処理装置においては、前記チャンパ内に前記下部電極と所望のギャップを隔てて平行に上部電極が配置され、前記上部電極と

10

20

30

40

50

前記下部電極と前記チャンバの側壁とで囲まれる空間内に前記プラズマ生成空間が設定され、前記処理ガス供給部により前記上部電極と前記下部電極との間に前記処理ガスが供給されるとともに、前記高周波形成機構により前記上部電極または前記下部電極に高周波が印加され、前記プラズマ生成空間内で前記処理ガスの高周波放電によるプラズマが生成される。この場合、好適な一態様として、磁場形成機構が、上部電極の周囲でチャンバの天井の壁の中に設けられる。

【0015】

本発明の好適な一態様によれば、上記平行平板型のプラズマ処理装置において、前記磁場形成機構が、前記上部電極の周囲で、前記チャンバの天井の壁の中に設けられる。

【0016】

本発明の好適な一態様においては、第1のN極と第1のS極とを足し合わせた磁極数（外側環状磁極列の総磁極数）と、第2のN極と第2のS極とを足し合わせた磁極数（内側環状磁極列の総磁極数）とが等しい。

【0017】

本発明の好適な一態様においては、磁力線で互いに結ばれる第1のN極および第2のS極の各組は、チャンバの半径方向に並んで配置される。また、磁力線で互いに結ばれる第2のN極および第1のS極の各組も、チャンバの半径方向に並んで配置される。

【0018】

本発明の好適な一態様によれば、第1のN極、第1のS極、第2のN極および第2のS極がそれぞれ磁石で構成される。この場合、周辺プラズマ領域側から見て各磁石の背面に接触または近接するようなヨークを設けるのが好ましい。隣接する磁石の間で背面側の磁極同士が該ヨークを介して磁氣的に結合される。このような背面側の磁気回路を形成するうえで、該ヨークは全ての磁石にまたがって環状に連続的に延在するのが望ましい。

【0019】

また、本発明の好適な一態様によれば、周辺プラズマ領域の上方で第1のN極、第1のS極、第2のN極および第2のS極の全部を一体に円周方向に回転させる磁極回転部が設けられる。このような磁場の回転により、外側磁石リングおよび内側磁石リングの磁極の極数が少なくても、磁場強度分布を円周方向で均一化することができる。

【発明の効果】

【0020】

本発明のプラズマ処理方法またはプラズマ処理装置によれば、上記のような構成と作用により、簡易かつ低コストで高周波放電の開始を容易にし放電を安定に維持することができる。さらには、被処理基板上のプラズマを効果的に高密度に閉じ込めてプラズマ処理の反応速度や面内均一性を向上させることもできる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、添付図を参照して本発明の好適な実施の形態を説明する。

【0022】

図1に、本発明の一実施形態によるプラズマ処理装置の構成を示す。このプラズマ処理装置は、平行平板型のプラズマエッチング装置として構成されており、たとえばアルミニウムまたはステンレス鋼等の金属製の円筒型チャンバ（処理容器）10を有している。チャンバ10は保安接地されている。

【0023】

チャンバ10内には、被処理基板としてたとえば半導体ウエハWを載置する円板状の下部電極またはサセプタ12が設けられている。このサセプタ12は、たとえばアルミニウムからなり、絶縁性の筒状保持部14を介してチャンバ10の底から垂直上方に延びる筒状支持部16に支持されている。筒状保持部14の上面には、サセプタ12の上面を環状に囲むたとえば石英からなるフォーカスリング18が配置されている。

【0024】

チャンバ10の側壁と筒状支持部16の間には排気路20が形成され、この排気路2

10

20

30

40

50

0の入口または途中で環状のバッフル板22が取り付けられるとともに底部に排気口24が設けられている。この排気口24に排気管26を介して排気装置28が接続されている。排気装置28は、真空ポンプを有しており、チャンバ10内の処理空間を所定の真空度まで減圧することができる。チャンバ10の側壁には、半導体ウエハWの搬入出口を開閉するゲートバルブ30が取り付けられている。

#### 【0025】

サセプタ12には、プラズマ生成用の高周波電源32が整合器34および給電棒36を介して電氣的に接続されている。この高周波電源32は、所望の高周波数たとえば60MHzの高周波を下部電極つまりサセプタ12に印加する。サセプタ12と平行に向かい合っ

10

#### 【0026】

ここで、プラズマ生成空間PSは、サセプタ12およびシャワーヘッド38の外周端より半径方向内側の空間に限定されるものではなく、それよりも半径方向外側の空間に広がってチャンバ10の内壁または側壁まで延在するものである。本発明では、プラズマ生成空間PSのうち、サセプタ12上に載置されている基板Wの外周端より半径方向内側の領域PS<sub>A</sub>を「主プラズマ領域」と称し、「主プラズマ領域」の外側つまり基板Wの外周端より半径方向外側の領域PS<sub>B</sub>を「周辺プラズマ領域」と称する。

#### 【0027】

サセプタ12の上面には半導体ウエハWを静電吸着力で保持するための静電チャック40が設けられている。この静電チャック40は導電膜からなる電極40aを一对の絶縁膜40b, 40cの間に挟み込んだものであり、電極40aには直流電源42がスイッチ43を介して電氣的に接続されている。直流電源42からの直流電圧により、クーロン力で半導体ウエハWをチャック上に吸着保持できるようになっている。

20

#### 【0028】

サセプタ12の内部には、たとえば円周方向に延在する冷媒室44が設けられている。この冷媒室44には、チラーユニット46より配管48, 50を介して所定温度の冷媒たとえば冷却水が循環供給される。冷媒の温度によって静電チャック40上の半導体ウエハWの処理温度が制御される。さらに、伝熱ガス供給部52からの伝熱ガスたとえばHeガスが、ガス供給ライン54を介して静電チャック40の上面と半導体ウエハWの裏面との間に供給される。

30

#### 【0029】

天井部のシャワーヘッド38は、多数のガス通気孔56aを有する下面の電極板56と、この電極板56を着脱可能に支持する電極支持体58とを有する。電極支持体58の内部にバッファ室60が設けられ、このバッファ室60のガス導入口60aには処理ガス供給部62からのガス供給配管64が接続されている。

#### 【0030】

チャンバ10の天井部において、周辺プラズマ領域PS<sub>B</sub>の上方(好ましくはシャワーヘッド38の周囲)には、環状または同心状に延在する磁場形成機構66が設けられている。この磁場形成機構66は、チャンバ10内のプラズマ生成空間PSにおける高周波放電の開始(プラズマの着火)を容易にし放電を安定に維持するために機能する。磁場形成機構66の詳細な構成と作用は後に詳述する。

40

#### 【0031】

制御部68は、このプラズマエッチング装置内の各部たとえば排気装置28、高周波電源32、静電チャック用のスイッチ43、チラーユニット46、伝熱ガス供給部52および処理ガス供給部62等の動作を制御するもので、ホストコンピュータ(図示せず)等とも接続されている。

#### 【0032】

このプラズマエッチング装置において、エッチングを行なうには、先ずゲートバルブ3

50

0を開状態にして加工対象の半導体ウエハWをチャンバ10内に搬入して、サセプタ12の上に載置する。次いで、直流電源42より直流電圧を静電チャック40の電極40aに印加して、半導体ウエハWを静電チャック40上に固定する。そして、処理ガス供給部62よりエッチングガス(一般に混合ガス)を所定の流量および流量比でチャンバ10内に導入し、排気装置28によりチャンバ10内の圧力を設定値にしたうえで、高周波電源32より所定のパワーで高周波をサセプタ12に供給する。シャワーヘッド38より吐出されたエッチングガスはプラズマ生成空間PS内で放電してプラズマ化し、このプラズマで生成されるラジカルやイオンによって半導体ウエハWの主面がエッチングされる。

#### 【0033】

このプラズマエッチング装置では、チャンバ天井部の磁場形成機構66が、プラズマ生成空間PSのうち周辺プラズマ領域PS<sub>B</sub>に実質的な磁場を形成する。このことにより、高周波電源32からの高周波がサセプタ12に印加されると、磁場の存在する周辺プラズマ領域PS<sub>B</sub>内で最初にエッチングガスが放電を開始し、そこから一瞬にプラズマ生成空間PS全体に放電が拡大して、グロー放電ないしプラズマ生成が確立される。その後も、周辺プラズマ領域PS<sub>B</sub>内で磁界が高周波放電をアシストまたは維持するため、エッチングガスの供給と高周波の印加が維持される限り、プラズマ生成空間PS全体で放電ないしプラズマ生成も安定に維持される。

#### 【0034】

ここで、磁場が高周波放電の開始や維持に良く作用するのは、高周波電界の下でドリフト運動する電荷(主に電子)が磁場によって力(ローレンツ力)を受けることで、力の方向に加速度を生じて、ガス分子や原子を電離させるエネルギーを増すためである。なお、周辺プラズマ領域PS<sub>B</sub>では、主としてチャンバ10の内壁(天井部および側壁)と下部電極12との間で高周波電界が形成される。

#### 【0035】

このように、周辺プラズマ領域PS<sub>B</sub>内で磁場が高周波放電の開始のトリガとなり放電維持をアシストすることにより、低ガス圧力(たとえば10mTorr以下)、挟電極間隔、低RF印加電圧の条件下でも放電開始を容易にし放電を安定に維持することができる。一例として、エッチングガスとしてHBrを単ガスとして用いるポリシリコンのエッチングにおいて、従来はガス圧力を5mtorr以下にすると放電開始(プラズマ着火)が困難であったが、この実施形態によればガス圧力を5mtorr以下にしても確実に放電を開始し、安定に放電を維持できることが確認されている。

#### 【0036】

一方で、磁場形成機構66は、主プラズマ領域PS<sub>A</sub>を実質的に無磁場状態とすることができる。このことにより、サセプタ12上の半導体ウエハWに磁界が作用してウエハ上のデバイスにダメージやストレスを与える可能性を回避または低減することができる。ここで、ウエハ上のデバイスにダメージやストレスを与えないような無磁場状態は、磁界強度の面で好ましくは地磁気レベル(たとえば0.5G)以下の状態であるが、5G程度でもプロセスに支障ない(実質的な無磁場状態といえる)場合がある。

#### 【0037】

図2~図4に磁場形成機構66の要部の構成を示す。図3は、図2(平面図)の中の一部(点線で囲んだ部分A)を模式的に斜視図で示す。

#### 【0038】

図2および図3に示すように、磁場形成機構66は、円周上に一定の間隔でN個のセグメント磁石Mを磁極の向きを交互に反転させて配置してなる外側磁石リング66Mと、その内側で円周上に一定の間隔でN個のセグメント磁石mを磁極の向きを交互に反転させて配置してなる内側磁石リング66mとを有している。図示の例は、N=18である。

#### 【0039】

外側磁石リング66Mにおいて、各セグメント磁石Mは直方体の形状を有する永久磁石たとえば希土類磁石(サマリウムコバルト磁石、ネオジウム磁石等)からなり、奇数番目の各セグメント磁石M<sub>o</sub>はN極の面を下方に向けて配置され、偶数番目の各セグメント磁石

10

20

30

40

50

$M_E$ はS極の面を下方に向けて配置される。奇数番目の各セグメント磁石 $M_O$ の下面(N極)から出た磁力線の一部 $B_M$ は、略鉛直方向の面内で、直下の周辺プラズマ領域 $PS_B$ に降りてから放物線を描くように上方へUターンして円周方向隣の偶数番目のセグメント磁石 $M_E$ の下面(S極)に達する。

【0040】

一方、内側磁石リング66mにおいては、各セグメント磁石 $m$ は直方体の形状を有する永久磁石たとえば希土類磁石(サマリウムコバルト磁石、ネオジム磁石等)からなり、奇数番目の各セグメント磁石 $m_O$ はS極の面を下方に向けて配置され、偶数番目の各セグメント磁石 $m_E$ はN極の面を下方に向けて配置される。偶数番目の各セグメント磁石 $m_E$ の下面(N極)から出た磁力線の一部 $B_m$ は、略鉛直方向の面内で、直下の周辺プラズマ領域 $PS_B$ に降りてから放物線を描くように上方へUターンして円周方向隣の奇数番目のセグメント磁石 $m_O$ の下面(S極)に達する。

10

【0041】

外側磁石リング66Mと内側磁石リング66mの間では、外側磁石リング66Mにおける奇数番目の各セグメント磁石 $M_O$ の下面(N極)から出た磁力線の一部 $B_C$ が、略鉛直方向の面内で、直下の周辺プラズマ領域 $PS_B$ に降りてから放物線を描くように上方へUターンして内側磁石リング66mにおける半径方向隣の奇数番目のセグメント磁石 $m_O$ の下面(S極)に達する。また、内側磁石リング66mにおける偶数番目の各セグメント磁石 $m_E$ の下面(N極)から出た磁力線の一部 $B_C$ が、略鉛直方向の面内で、直下の周辺プラズマ領域 $PS_B$ に降りてから放物線を描くように上方へUターンして外側磁石リング66Mにおける半径方向隣の偶数番目のセグメント磁石 $M_E$ の下面(S極)に達する。

20

【0042】

図4に示すように、外側磁石リング66Mおよび内側磁石リング66mの上にはヨーク70が設けられている。このヨーク70を介して、円周方向または半径方向で隣り合うセグメント磁石 $M_O$ 、 $M_E$ 、 $m_O$ 、 $m_E$ の背面(上面)側の磁極が磁氣的に結合される。詳細には、外側磁石リング66Mにおける偶数番目の各セグメント磁石 $M_E$ の背面(N極)から出た磁力線は、ヨーク70の中を通過して円周方向隣の奇数番目のセグメント磁石 $M_O$ の背面(S極)または半径方向隣の内側磁石リング66mにおける偶数番目のセグメント磁石 $m_E$ の背面(S極)に達する。また、内側磁石リング66mにおける奇数番目の各セグメント磁石 $m_O$ の背面(N極)から出た磁力線は、ヨーク70の中を通過して円周方向隣の偶数番目のセグメント磁石 $m_E$ の背面(S極)または半径方向隣の外側磁石リング66Mにおける奇数番目のセグメント磁石 $M_O$ の背面(S極)に達する。

30

【0043】

このように、この磁場形成機構66においては、外側磁石リング66Mにより、周辺プラズマ領域 $PS_B$ 内でこのリング66Mの径に対応する円周に沿って磁力線 $B_M$ が略鉛直方向の面内で延びる外側のマルチポール磁場が形成される。さらに、内側の磁石リング66mにより、周辺プラズマ領域 $PS_B$ 内でこのリング66mの径に対応する円周に沿って磁力線 $B_m$ が略鉛直方向の面内で延びる内側のマルチポール磁場が形成される。そして、外側磁石リング66Mと内側の磁石リング66mとにより、外側マルチポール磁場と内側マルチポール磁場との間で半径方向に磁力線 $B_C$ が略鉛直方向の面内で延びるマルチポールの磁場が形成される。

40

【0044】

このような磁力線ループ構造により、周辺プラズマ領域 $PS_B$ 内の磁束密度を高められると同時に、主プラズマ領域 $PS_A$ 側への磁力線の流入を効果的に防止することができる。かかる磁力線ループ構造の作用効果を一層高めるために、外側セグメント磁石 $M$ と内側セグメント磁石 $m$ との間では、相対的に、基板 $G$ から遠い前者 $M$ の磁気量(磁極強度)を大きくし、基板 $G$ に近い後者 $m$ の磁気量(磁極強度)を小さくするのが好ましい。本発明の作用効果において、上記3種類の鉛直型磁場 $B_M$ 、 $B_m$ 、 $B_C$ の中で外側円周方向の $B_M$ と半径方向の $B_C$ が重要であり、内側円周方向の $B_m$ はそれほど重要ではなく無視できるほど小さくても構わない。

50

## 【 0 0 4 5 】

また、この実施形態においては、磁場形成機構 6 6 の各部（特に磁石リング 6 6 M , 6 6 m）が周辺プラズマ領域  $PS_B$  の上方つまりチャンバ 1 0 の側壁よりも半径方向内側に配置されている点も重要である。このような磁極配置構造によれば、チャンバ 1 0 の側壁の外に磁場形成機構を配置する構成と比較して、チャンバ中心に対する半径距離および周回距離が格段に短いため、周辺プラズマ領域  $PS_B$  内に好適なプロファイルの磁場を形成するための磁石または磁極の個数および磁気量（サイズまたは体積に比例）を大幅に少なくすることが可能であり、磁場形成機構 6 6 の装備に伴なう装置サイズおよびコストの増大を必要最小限に抑えることができる。

## 【 0 0 4 6 】

ここで、周辺プラズマ領域  $PS_B$  内に形成される磁場の好適なプロファイルとは、主プラズマ領域  $PS_A$  に磁気的な影響を及ぼすことなく、できるだけ主プラズマ領域  $PS_A$  に近い位置で強い磁場が得られるようなプロファイルである。この実施形態では、外側磁石リング 6 6 M および内側磁石リング 6 6 m における磁石 M , m の磁気量、個数（極数）N 等を適宜選択することで所望の磁場プロファイルを得ることができる。

## 【 0 0 4 7 】

図 5 A および図 5 B に、一実施例によるプラズマ生成空間 P S 内の磁界強度分布を示す。この実施例では、被処理基板 W として 3 0 0 mm 口径の半導体ウエハを想定し、チャンバ 1 0 の内径を約 2 6 0 mm、電極間隔（ギャップ）を 2 5 mm に設定し、極数 N をパラメータ（N = 2 6 , 2 8 , 3 0 , 3 2）にしている。図 5 A は、上部電極 3 8 の下面の高さ位置（電極ギャップトップ位置：Z = 2 5 mm）における径方向の磁場強度分布（円周方向の平均値）を示す。図 5 B は、サセプタ 1 2 上に載置される半導体ウエハ W の上面の高さ位置（電極ギャップボトム位置：Z = 0 mm）における径方向の磁場強度分布（円周方向の平均値）を示す。

## 【 0 0 4 8 】

図 5 A および図 5 B に示すように、周辺プラズマ領域  $PS_B$ （ $R > 1 5 0$  mm）内では、ピーク値が 8 0 G ~ 8 0 0 G であり、高周波放電の開始をトリガし放電維持をアシストするのに十分な磁場強度が得られる。

## 【 0 0 4 9 】

一方で、図 5 A に示すように、電極ギャップトップ位置（Z = 2 5 mm）では、磁極の極数 N を変えても径方向の各位置で磁場強度は殆ど変わらないことがわかる。しかし、図 5 B に示すように、電極ギャップボトム位置（Z = 0 mm）では、極数 N を増やすほど、径方向の各位置で磁場強度が減少し、特にウエハエッジ（ $R = 1 5 0$  mm）付近で磁場強度を限りなく零に近づけられることがわかる。この実施例では、N = 3 0（極）以上になると、ウエハエッジ（ $R = 1 5 0$  mm）位置の磁場強度を地磁気レベル（0 . 5 G）以下に減衰させられることが確認されている。

## 【 0 0 5 0 】

なお、この実施形態の磁場形成機構 6 6 において内側磁石リング 6 6 m を省いて外側磁石リング 6 6 M だけの構成にした場合は、概念的に図 5 A および図 5 B で点線（参考例）で示すように主プラズマ領域  $PS_A$ （ $R = 1 5 0$  mm）にも実質的な磁場が及ぶようになる。これは、外側磁石リング 6 6 M の下面 N 極の磁石 M より出た磁力線の一部が、上方へ U ターンせずに半径方向内側へ発散して主プラズマ領域  $PS_A$  に入るためである。この実施形態のように、外側磁石リング 6 6 M に内側磁石リング 6 6 m を組み合わせることで、主プラズマ領域  $PS_A$  で実質的な無磁場状態を効率よく確実に形成することができる。

## 【 0 0 5 1 】

なお、図 5 A および図 5 B の磁場強度分布は電極間ギャップトップ位置（Z = 2 5 mm）および電極間ギャップボトム位置（Z = 0 mm）におけるものであるが、電極間の中間部（ $0 \text{ mm} < Z < 2 5 \text{ mm}$ ）では図 5 A、図 5 B の中間の磁場強度分布が得られることが容易に理解されよう。

## 【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

50

本発明の別の観点として、この実施形態では、磁場形成機構 66 により主プラズマ領域  $PS_A$  の周囲をカーテンのように取り囲む鉛直方向に延びる磁場（プラズマの拡散方向に直交する磁場） $B$  を形成することができる。このようなカーテン型の鉛直磁場  $B$  によれば、図 6 に模式的に示すように、主プラズマ領域  $PS_A$  内のプラズマ  $PR$  を外に逃がさずに内側に効果的かつ効率的に閉じ込めることが可能であり、主プラズマ領域  $PS_A$  内のプラズマ  $PR$  を高密度化および均一化し、ひいては半導体ウエハ  $W$  上のプラズマエッチング特性を向上させることができる。

【0053】

たとえば、周辺プラズマ領域  $PS_B$  に磁場を形成しない場合、酸化膜系プロセス（たとえばシリコン酸化膜のエッチング）では図 6 の一点鎖線  $ER_A$  のようにウエハ中心側に対してウエハエッジ側で相対的にエッチング速度が落ち込む傾向があり、ポリ系プロセス（たとえばポリシリコンのエッチング）では図 6 の点線  $ER_B$  のようにウエハエッジ側に対してウエハ中心側で相対的にエッチング速度が落ち込む傾向がある。この実施形態のように磁場形成機構 66 により周辺プラズマ領域  $PS_B$  にカーテン型の鉛直磁場  $B$  を形成することで、酸化膜系プロセスではウエハ中心側のエッチング速度に対してウエハエッジ側のエッチング速度を相対的に大幅アップさせて実線  $ER_S$  のように面内均一性を向上させ、ポリ系プロセスではウエハエッジ側のエッチング速度に対してウエハ中心側のエッチング速度を相対的に大幅アップさせて実線  $ER_S$  のように面内均一性を向上させることができる。

【0054】

図 7 に、この実施形態における磁場形成機構 66 の一変形例を示す。この変形例は、磁場形成機構 66 において、外側磁石リング 66M および内側磁石リング 66m をチャンバ 10 の中心（半導体ウエハ  $W$  の中心  $O$ ）を通る鉛直線  $G$  の回りに一定速度で回転運動させる構成としている。図示の例では、ガイド 72 に沿って回転可能に構成されたリング形の内歯車 74 にヨーク 70 を介して外側磁石リング 66M および内側磁石リング 66m を取り付け、内歯車 74 に外歯車 76 を介して電気モータ 78 の回転駆動軸を接続している。このような回転磁場機構により、外側磁石リング 66M および内側磁石リング 66m における磁極の極数  $N$  が少なくても、磁場強度分布を円周方向で均一化することができる。特に、鉛直磁場の作用で磁場形成機構 66 直下のチャンバ天井部に堆積膜が付着する場合は、そのような磁場強度分布の均一化により、堆積膜の付着具合や膜厚を円周方向で均一化することができる。

【0055】

上記の実施形態では、外側磁石リング 66M において奇数番目の各セグメント磁石  $M_O$  は  $N$  極を下に向け、偶数番目の各セグメント磁石  $M_E$  は  $S$  極を下に向ける配置構成とし、内側磁石リング 66m において奇数番目の各セグメント磁石  $m_O$  は  $S$  極を下に向け、偶数番目の各セグメント磁石  $m_E$  は  $N$  極を下に向ける配置構成とした。しかし、各磁石  $M_O$ 、 $M_E$ 、 $m_O$ 、 $m_E$  の磁極の向きをそれぞれ反転させ、 $M_O$  は  $S$  極を、 $M_E$  は  $N$  極を、 $m_O$  は  $N$  極を、 $m_E$  は  $S$  極をそれぞれ下に向ける配置構成も可能である。

【0056】

上記実施形態における平行平板型のプラズマエッチング装置（図 1）は、プラズマ生成用の 1 つの高周波電力をサセプタ 12 に印加する方式であった。しかし、図示省略するが、本発明は上部電極 38 側にプラズマ生成用の高周波電力を印加する方式や、上部電極 38 とサセプタ 12 とに周波数の異なる第 1 および第 2 の高周波電力をそれぞれ印加する方式（上下高周波印加タイプ）や、サセプタ 12 に周波数の異なる第 1 および第 2 の高周波電力を重畳して印加する方式（下部 2 周波重畳印加タイプ）などにも適用可能であり、広義には減圧可能な処理容器内に少なくとも 1 つの電極を有するプラズマ処理装置に適用可能である。また、本発明とイグニッションプラズマ方式を併用することももちろん可能である。

【0057】

また、本発明の適用可能なプラズマ源は平行平板型に限るものではなく、他の任意の高

10

20

30

40

50

周波放電方式たとえばヘリコン波プラズマ方式のものであってもよい。さらに、本発明は、プラズマCVD、プラズマ酸化、プラズマ窒化、スパッタリングなどの他のプラズマ処理装置にも適用可能である。また、本発明における被処理基板は半導体ウエハに限るものではなく、フラットパネルディスプレイ用の各種基板や、フォトマスク、CD基板、プリント基板等も可能である。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】本発明の一実施形態におけるプラズマエッチング装置の構成を示す断面図である。

【図2】実施形態における磁場形成機構の要部の構成を示す平面図である。

10

【図3】実施形態における磁場形成機構の要部の構成を示す斜視図である。

【図4】実施形態における磁場形成機構の要部の構成を示す断面図である。

【図5A】一実施例におけるプラズマ生成空間内の磁界強度分布を示すグラフ図である。

【図5B】一実施例におけるプラズマ生成空間内の磁界強度分布を示すグラフ図である。

【図6】実施形態における磁場形成機構の一作用を模式的に示す略断面図である。

【図7】実施形態における磁場形成機構の一変形例の構成を示す断面図である。

【符号の説明】

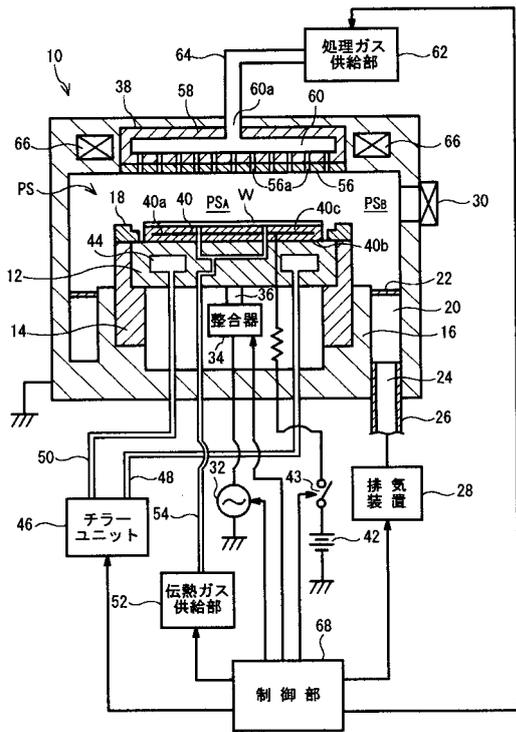
【0059】

- 10 チャンバ
- 12 サセプタ(下部電極)
- 20 排気路
- 28 排気装置
- 32 高周波電源
- 38 シャワーヘッド(上部電極)
- 62 処理ガス供給部
- 66 磁場形成機構
- 66M 外側磁石リング
- 66m 内側磁石リング
- 70 ヨーク
- 78 電気モータ

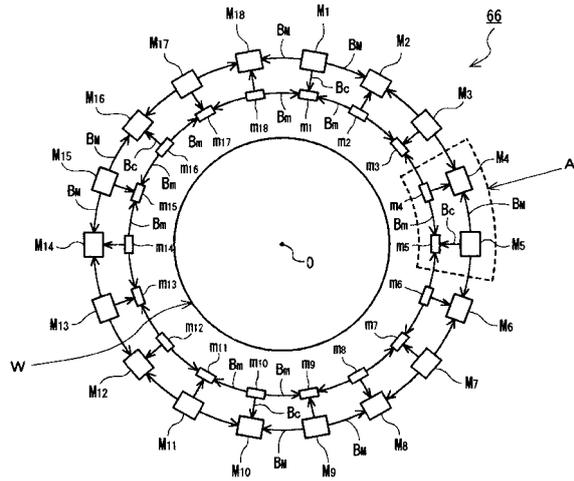
20

30

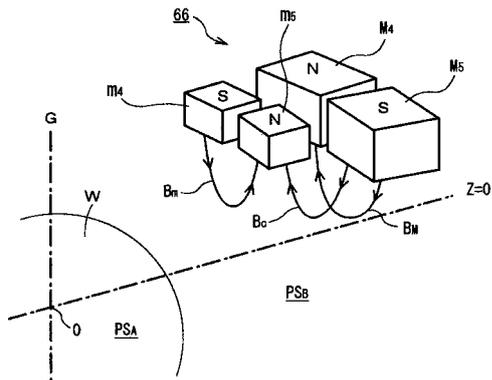
【図1】



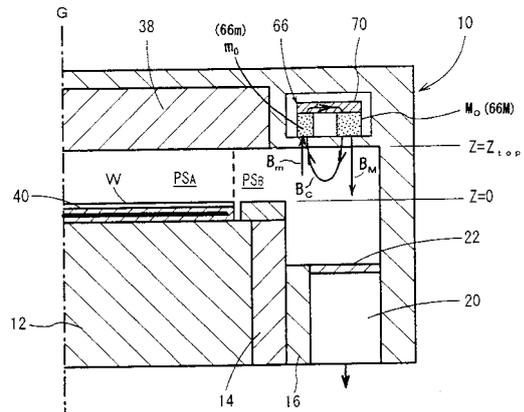
【図2】



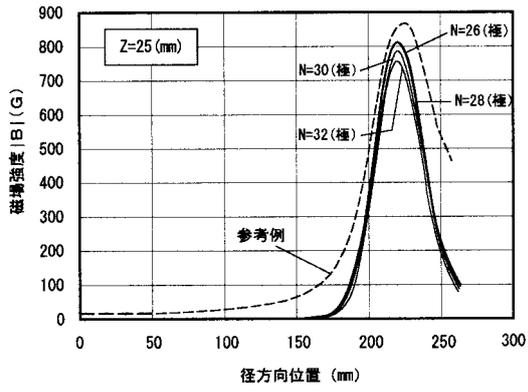
【図3】



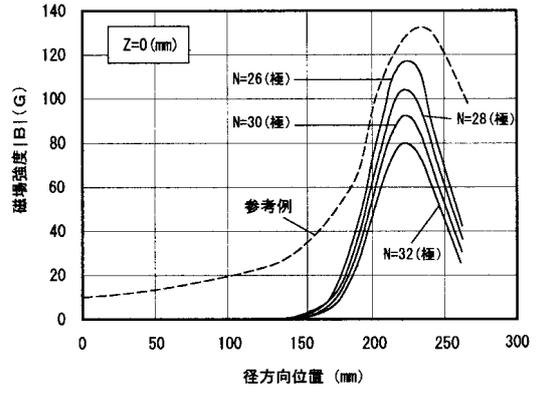
【図4】



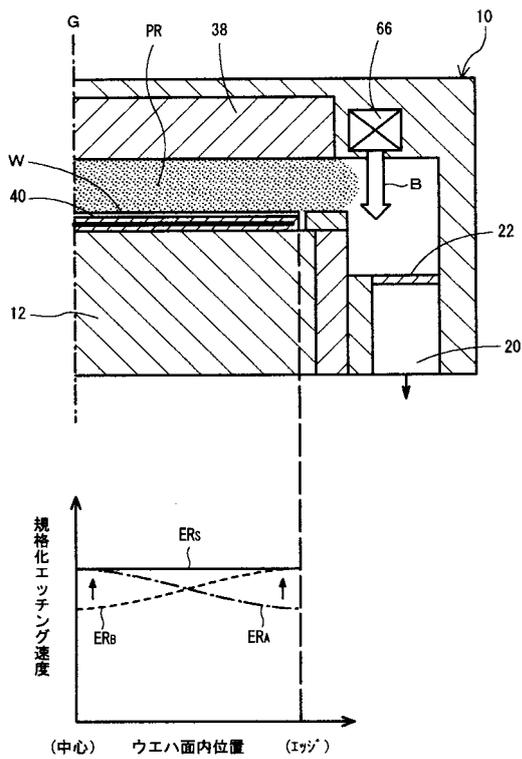
【図5A】



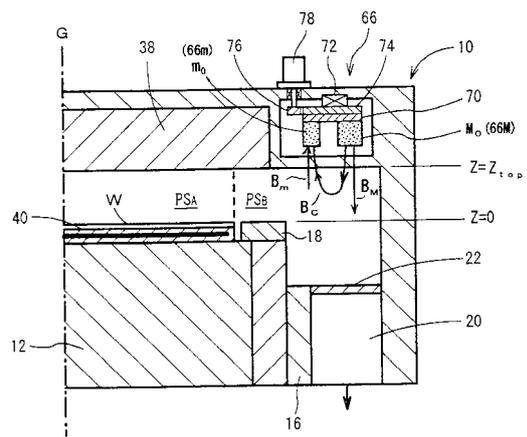
【図5B】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

審査官 関根 崇

- (56)参考文献 特開2000-323463(JP,A)  
特開平10-163173(JP,A)  
特開平08-311668(JP,A)  
特開2005-302875(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065  
C23C 16/509  
H01L 21/205  
H05H 1/46