

(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  
2016 年 11 月 24 日(24.11.2016)



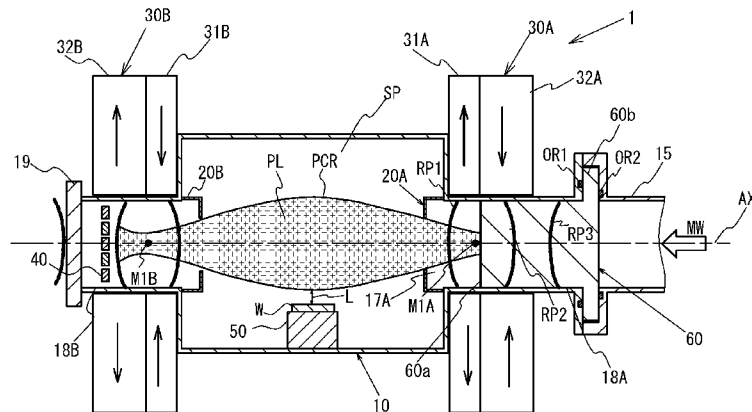
(10) 国際公開番号

WO 2016/186143 A1

- (51) 国際特許分類:  
H05H 1/46 (2006.01) H01L 21/8238 (2006.01)  
C23C 16/511 (2006.01) H01L 27/092 (2006.01)  
H01L 21/31 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/064790
- (22) 国際出願日: 2016 年 5 月 18 日(18.05.2016)
- (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 2015-102929 2015 年 5 月 20 日(20.05.2015) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学(TOHOKE 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: 後藤哲也(GOTO, Tetsuya); 〒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: 藤本健司(FUJIMOTO, Kenji); 〒2790023 千葉県浦安市高洲 6-1-4-905 Chiba (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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))

(54) Title: PLASMA PROCESSING DEVICE, PLASMA PROCESSING METHOD, AND SEMICONDUCTOR PRODUCTION METHOD

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置、プラズマ処理方法および半導体製造方法



(57) Abstract: [Problem] To provide a plasma processing device using a plasma trapped in a mirror magnetic field in a semiconductor production process to allow a high quality thin film to be formed at low temperatures and with low damage, and capable of exciting more efficiently the plasma to be trapped. [Solution] The plasma processing device comprises a plasma generation space SP delimited in such a manner that, from among a plurality of resonance points RP1-RP3 in a mirror magnetic field formed on a microwave supplying side, only the resonance point RP1 formed between two maximum magnetic field portions of the mirror magnetic field is used for plasma excitation, while the other resonance points RP2, RP3 do not contribute to the plasma excitation.

(57) 要約: 【課題】ミラー磁場に閉じ込めたプラズマを半導体製造プロセスに利用して低温・低ダメージで高品質な薄膜の形成を可能としつつ閉じ込めるべきプラズマをより効率良く励起可能なプラズマ処理装置を提供する。【解決手段】マイクロ波の供給側に形成されるミラー磁場の複数の共鳴点 RP1~RP3 のうち、ミラー磁場の 2 つの最大磁場部間に形成される共鳴点 RP1 のみがプラズマ励起に利用され、他の共鳴点 RP2, RP3 がプラズマ励起に寄与しないように、プラズマ生成空間 SP が画定されている。

WO 2016/186143 A1

## 明 細 書

発明の名称：

プラズマ処理装置、プラズマ処理方法および半導体製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、プラズマ処理装置、プラズマ処理方法および半導体製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] 半導体製造におけるプラズマによる薄膜形成プロセスは、プラズマにより反応性に富む様々な活性種を容易に発生させることが出来るため、それら活性種を利用し、基板温度を上げることなく、高品質な薄膜の形成が可能である（例えば、特許文献 1 参照）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特公平 6－9 1 0 1 3 号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、プラズマで発生したイオンは、プラズマ電位で加速されてウエハ等の基板に衝突し、ダメージを与える可能性がある。また、処理チャンバの内壁へイオンが照射され、チャンバの内壁材料がスパッタされると、処理すべき基板が汚染される可能性もある。プラズマによる基板へのダメージを低減させるために、プラズマから基板を遠ざけると、遠ざける距離に応じて成膜に寄与する活性種が失活する確率が高くなり、高品質な薄膜の形成が困難となる。

本発明者は、国際特許出願 P C T / J P 2 0 1 4 / 0 0 1 8 2 1 において、マイクロ波励起高密度プラズマ技術を基本とし、新規な磁場閉じ込め機能を追加することで、低温・低ダメージで成膜可能な技術を既に提案している。この技術の発展としてプラズマをさらにより一層安定的に効率良く生成可

能なマイクロ波励起高密度プラズマ技術が求められている。

[0005] 本発明の目的は、ミラー磁場に閉じ込めたプラズマを半導体製造プロセスに利用して低温・低ダメージで高品質な薄膜の形成を可能としつつ閉じ込め領域に閉じ込めるプラズマをより効率良く生成可能なプラズマ処理装置、プラズマ処理方法およびこれを用いた半導体製造方法を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0006] 本発明のプラズマ処理装置は、ミラー磁場を形成するミラー磁場形成機構と、前記ミラー磁場の一端側から他端側に向けてマイクロ波を供給するマイクロ波供給機構と、を有し、前記ミラー磁場と前記マイクロ波とによる電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成するとともに、前記ミラー磁場により所定の閉じ込め領域に当該プラズマを閉じ込めるプラズマ処理装置であって、

前記マイクロ波の供給側に形成される複数の共鳴点のうち、前記ミラー磁場の2つの最大磁場部間に形成される共鳴点がプラズマの生成に利用され、他の共鳴点がプラズマの生成に寄与しないか実質的に寄与しないように、プラズマ生成空間が画定されていることを特徴とする。

[0007] 本発明のプラズマ処理方法は、ミラー磁場を形成するとともに、前記ミラー磁場の一端側から他端側に向けてマイクロ波を供給し、前記ミラー磁場と前記マイクロ波とによる電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成するとともに、前記ミラー磁場により所定の閉じ込め領域に当該プラズマを閉じ込めるプラズマ処理方法であって、

前記マイクロ波の供給側に形成される複数の共鳴点のうち、前記ミラー磁場の2つの最大磁場部間に形成される共鳴点のみを実質的にプラズマの生成に利用する、ことを特徴とする。

[0008] 本発明の半導体製造方法は、上記のプラズマ処理方法を半導体製造プロセスに用いたことを特徴としている。

尚、ミラー磁場とは、高温プラズマを閉じ込める(プラズマの閉じ込め)ための磁場配位の1つである。磁束線(または磁力線)が漏斗状に収束している領

域をミラーまたは磁気鏡といい、磁場はここで強くなる。荷電粒子がミラーに近づくと、らせん運動のピッチ角が増し、 $90^\circ$  に達するとミラーから遠ざかる。このように荷電粒子がミラーで斥力をうける現象を磁気鏡効果またはミラー効果という。ミラー磁場は、図に示すように両端で磁場を強くした紡錘形の磁場配位で、ミラー効果によって中にプラズマを閉じ込めるものである。

又、本発明で扱うプラズマは、大部分が中性粒子でその一部が電離している弱電離プラズマである。プラズマ中には、イオン、電子のほか励起状態の原子、分子あるいは分子の解離によって生じた中性活性種Mなどが存在している。

次に、本発明におけるプラズマの説明で使用する主な技術用語の定義を以下にしておく。

「プラズマ生成用ガス」：プラズマを生成するのに使用されるガス。

「プロセスガス」：半導体の製造プロセスに使用されるガス。

「プラズマガス」：様々な反応を起こして、電子、イオン、ラジカル、励起種などの様々な反応生成物が生成される。それらの様々な反応生成物の生成・消滅を繰り返しながら、時間とともにプラズマ特性を変化させる。

「化学種」：物質がもつ固有の物理・化学的性質によって他の物質と識別される物質種。イオン、原子、分子、原子団（基とほぼ同じ）、元素、化合物、活性種（ラジカル）、励起種、前駆体（プリカーサー；precursor）、中間体、等を一括して言う語。

「原子団」（atomic group）：化合物の分子内で、一つの化学単位を作っている原子の集団。「基」と同義に使われることもあるが、一般にはさらに広く、化学反応の際にまとまって行動するような分子ではない原子集団すべてをいう語。

「イオン」：電子の過剰あるいは欠損により電荷を帯びた原子、または原子団。

「活性種」（active species）：反応性の高い反応中間体のことをいい、反

応性の高い状態にある原子・分子やイオンなどをいう。フリーラジカルまたは遊離基ともいう。

「励起種」：分子が、高速な電子の衝突により、形態は変わらず内部のエネルギー状態が変化（高くなる：励起状態）したもの。

「前駆体」（プリカーサー；precursor）：ある化学物質について、その物質が生成する前の段階の物質のことを指す。「前駆物質」ともいう。

「中間体」：原料物質から化学反応を利用して目的の物質を生成する際に、その工程の途中で生成される化学物質。

「ラジカル」(radical)：不対電子をもつ原子や分子、あるいはイオンのことを指す。フリーラジカルまたは遊離基（ゆうりき）ということもある。

また、C2, C3, CH2 など、不対電子を持たないがいわゆる オクテット則を満たさず、活性で短寿命の中間化学種一般の総称として「ラジカル（フリーラジカル）」と使う場合もある。

## 発明の効果

[0009] 本発明者は、マイクロ波の供給側に形成されるミラー磁場の複数の共鳴点のうち、ミラー磁場の2つの最大磁場部間に形成される共鳴点のみをプラズマの生成に励起に利用し、他の共鳴点においてプラズマが発生しないようにすることで、安定的かつ効率良くプラズマを生成することができることを見出した。なお、共鳴点とは、マイクロ波周波数に比例する、電子サイクロトロン共鳴する磁場強度のポイント（位置）である。これにより、ミラー磁場に閉じ込めたプラズマを利用して低温・低ダメージで高品質な薄膜の形成を可能としつつ、プラズマをより効率良く生成可能となる。その結果、プラズマCVD (Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition:以後、「PCVD」と記すこともある)、プラズマを使用する原子層堆積 (Plasma-enhanced Atomic Layer Deposition:以後、「PALD」と記すこともある) 反応性スパッタ等への応用で本発明の優位点が大いに発揮される。

## 図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明のプラズマ処理装置の一実施形態に係る成膜装置の概略を示す断面図。

[図2A]永久磁石機構30Aの正面図。

[図2B]図2AのIIB-IIB線に沿った断面図。

[図3]電位調整用分割リングの構成を示す平面図。

[図4]ミラー磁場およびミラー磁場に形成される共鳴点を説明する概略図。

[図5]ミラー磁場の軸線上の磁場強度の分布の一例を示すグラフ。

[図6]本発明のプラズマ処理装置が適用される、典型的なシリコンCMOSトランジスタの構造の一例を示す断面図。

[図7A]本発明のプラズマ処理装置の他の実施形態の概略を示す断面図。

[図7B]本発明のプラズマ処理装置のさらに他の実施形態の概略を示す断面図。

[図8]本発明のプラズマ処理装置のさらに他の実施形態の概略を示す断面図。

[図9]本発明を具現化するプラズマ処理装置の主要部を示す断面図。

[図10]図9に示す装置で使した永久磁石機構を示す斜視図。

[図11]図9に示す装置での成膜の実施例での磁場強度を示すグラフ。

### 発明を実施するための形態

[0011] 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。

[0012] 図1は、電子サイクロトロン共鳴 (Electron Cyclotron Resonance : 以後、「ECR」と記すこともある) によるプラズマ生成を用いた成膜装置1を示している。成膜装置1は、具体的には、PCVD装置である。

処理チャンバ10は、アルミニウム合金、ステンレス等の導電性材料で形成され、基準電位に接続されている。処理チャンバ10には、図示しないが、各種ガスを供給する供給装置が接続されている。処理チャンバ10の底部には、ウエハWを保持するステージ50が設けられている。また、処理チャンバ10には、図示しないが、処理チャンバ10内の雰囲気気を排気するため

の排気口が設けられ、この排気口に処理チャンバ10の外部に設置された図示しない真空ポンプなどの排気装置が接続される。この排気装置により、処理チャンバ10内は減圧される。

[0013] 処理チャンバ10の一方の側壁からは、筒状或いは方形状の中空柱状部18Aが軸線AXの方向に沿って突出しており、他方の側壁からは、筒状或いは方形状の中空柱状部18Bが軸線AXの方向に沿って突出している。中空柱状部18A、18Bの中心軸線は、水平方向に延びる軸線AXと一致している。中空柱状部18Aの外周には、第1の永久磁石機構30Aが配置され、中空柱状部18Bの外周には、第2の永久磁石機構30Bが配置されている。第1および第2の永久磁石機構30A、30Bの中心軸線は、軸線AXと一致している。第1および第2の永久磁石機構30A、30Bは、同じ構造を有し、協働してミラー磁場を形成する機構を構成している。

図2A、2Bに示すように、第1の永久磁石機構30Aは、環状に形成された2つの永久磁石31A、32Aからなる。永久磁石31A、32Aは、放射状に着磁され、かつ互いに異なる向きに着磁されている。永久磁石31A、32Aは、例えば、磁力の強いネオジウム(Nd)磁石(Neodymium magnet)で形成されるのが好ましい。ネオジウム磁石の他、フェライト磁石、サマリウムコバルト磁石、プラセオジウム磁石、ネオジウム・鉄・ボロン磁石、サマリウム窒素鉄磁石、強磁性窒化鉄、白金磁石、セリウム・コバルト磁石なども装置の設計次第で使うことが出来る。

第2の永久磁石機構30Bの永久磁石31B、32Bは、軸線AX上で、永久磁石30Aと永久磁石30Bの中点を通り、軸線AXに垂直な平面において対称な寸法を持つ構造をしているが、着磁方向は逆向きとなっている。

永久磁石31A、32A、31B、32Bの形状は、図2A、Bに示す様に円環状であるのが磁力効果の点で最善であるが、これに限定されるものではない。形成される磁力線が、軸線AXに垂直な面内で、実質的に同心円か、若しくは実質的に同心円に近ければ、方形形状であっても良い。方形形状の場合、六角以上の多角形状であることが望ましい。より望ましくは、八角

以上であるのが好ましい。

[0014] 図1において、中空柱状部18Bの外側端部はプレート19により密閉されている。中空柱状部18Aの外側端部には、導波管15が接続され、中空柱状部18Aと導波管15との間には、減圧内空間を形成するために、酸化アルミニウム、石英等の誘電体材料で形成されたマイクロ波MWを透過する部材（マイクロ波透過部材）である入射窓60が設けられている。入射窓60の先端面60aは、処理チャンバ10の内壁面とともにプラズマPLが生成可能なプラズマ形成空間SPを画定している。入射窓60の後端部には、フランジ60bが形成され、フランジ60bと中空柱状部18Bおよび導波管15との間には、リングOR1、OR2でシールされている。

[0015] 中空柱状部18Aおよび18Bの処理チャンバ10側の端部には、円形の開口をもつ処理チャンバ10内でのプラズマPLの存在領域を画定するためのリミッター部材20A、20Bが設置されている。中空柱状部18B内には、軸線AXを中心軸にもつ、電位調整用分割リング40が設けられている。電位調整用分割リング40は、図3に示すように、円盤状の電極41、この外側に同心に配置されたリング状の電極42および43からなる。

[0016] 図4に示すように、永久磁石機構30A、30Bによりミラー磁場MMFが形成される。永久磁石を用いてミラー磁場MMFを形成するとともにマイクロ波MWを供給すると、永久磁石機構30Aの近くには、軸線AXの方向において3か所に共鳴点RP1～RP3が形成される。共鳴点は、ECRを起こす磁場強度のポイントであり、マイクロ波周波数に比例する。たとえば、マイクロ波周波数が6GHzの場合には、図5に示すように、共鳴点RP1～RP3の磁場強度は2071ガウスとなる。マイクロ波周波数が2.45GHzの場合、共鳴点RP1～RP3の磁場強度は875ガウスとなる。

プラズマPLは、共鳴点を含むその付近で生成される。上記した共鳴点RP1～RP3が減圧雰囲気にあるプラズマ生成空間SP内にあると、すべての共鳴点RP1～RP3付近でプラズマPLが生成される。生成されたプラズマPL中の荷電粒子（ここでは電子）は、ミラー磁場MMFの磁力線MF

Lに拘束されるが、磁力線MFLの方向には自由に運動できる。磁力線MFLに沿って運動するプラズマPLを構成する電子は、いわゆる磁気ミラー効果により2つの最大磁場部M1A, M1Bの間でバウンス運動をすることで、2つの最大磁場部M1A, M1Bの間に閉じ込められる。

[0017] ここで、本発明者は、共鳴点RP1～RP3のうち、共鳴点RP1のみ、すなわち、図5に示すミラー磁場の2つの最大磁場部M1A, M1B間に形成される共鳴点RP1のみをプラズマの生成に利用し、他の共鳴点RP2およびRP3はプラズマの生成に寄与しないようにすることで、2つの最大磁場部M1A, M1B間に形成される閉じ込め領域に閉じ込めるプラズマをより効率良く生成可能であることを見出した。なお、共鳴点RP2およびRP3がプラズマ生成に寄与しないとは、実質的に寄与しないという意味も含む。即ち、共鳴点RP2およびRP3がプラズマを生成するのにわずかでも寄与したとしても全体としてはほとんど無視できる程度の場合も含む。

具体的には、図1に示すように、共鳴点RP1のみをプラズマ生成空間SP内に配置し、他の共鳴点RP2およびRP3を入射窓60中に位置させる。共鳴点RP2およびRP3は、入射窓60中にあるので、共鳴点RP2およびRP3ではプラズマ形成がされないので無駄なプラズマを形成することはない。

[0018] そして、図1に示すように、閉じ込め領域PCRから中性のラジカルが処理すべきウエハWに選択的に到達するように、ウエハWを閉じ込め領域PCRに対向させて配置する。ウエハWの表面と閉じ込め領域PCRの外延（最大外周位置）との距離Lが、プラズマPL中の荷電粒子が閉じ込め領域PCRに閉じ込められた状態で、閉じ込め領域PCRから中性のラジカルのみが活性を失うことなく処理すべきウエハWに到達するように設定される。これにより、プラズマからのウエハWへのイオン照射を大幅に減らしつつ、ウエハWへの中性の活性種の照射を最大化することが可能となる。

[0019] リミッター部材20A, 20Bの役割について説明する。上記した閉じ込め領域PCRの外延の位置が不確定であると、ウエハWに荷電粒子が入射す

る可能性がある。荷電粒子は磁力線に拘束されることから、プラズマの存在空間（閉じ込め領域PCR）の外延は、リミッター部材20A、20Bの開口の縁部の位置で画定される。すなわち、リミッター部材20A、20Bを設置することで、閉じ込め領域PCRの外延をより精密にコントロールすることができる。リミッター部材20A、20Bの形成材料は、特に限定されないが、プラズマ生成室17Aで生成されたプラズマがリミッター部材20A、20Bに衝突し、リミッター部材20A、20Bの形成材料がスパッタされ、このスパッタされた材料がウエハWに付着する可能性もある。このため、リミッター部材20A、20Bは、スパッタされない材料で形成するか、スパッタされたとしても、処理すべき基体であるウエハW、または成膜する薄膜の特性に影響を与えない材料（A）で形成するのが望ましい。また、リミッター部材20A、20Bの表面を例えば、前記材料（A）コーティングしてもよい。

同様に、中空柱状部18A、18Bの内壁面もプラズマが衝突して中空柱状部18A、18Bの形成材料がスパッタされ、このスパッタされた材料がウエハWまたは成膜される薄膜に付着する可能性もある。このため、中空柱状部18A、18Bの形成材料またはコーティング材料を前記材料（A）で形成するのが望ましい。

[0020] 電位調整用分割リング40の役割について説明する。ミラー磁場でプラズマを閉じ込めると、軸線AXを中心とする径方向（軸線AXに直交する方向）に電位勾配が形成され、閉じ込め領域PCRに閉じ込められたプラズマPLが径方向に拡散しやすくなることが知られている。このため、例えば、電位調整用分割リング40の中心部に位置する電極41をマイナスの電位に、電極42を基準電位に、最外周に配置された電極43をプラスの電位に接続する。これにより、閉じ込め領域PCRに閉じ込められたプラズマPLに生じる径方向の電位勾配と逆向きの電位勾配を与え、閉じ込め領域PCRに閉じ込められたプラズマPLの電位分布を平坦化する。これにより、プラズマPLが径方向に拡散することを抑制できて、ウエハWの荷電粒子によるダメ

ージの発生をより一層抑制できる。

[0021] 適用例 1

本実施形態の装置を図 6 に示す典型的なシリコン CMOS トランジスタにおける、シリコン窒化膜のサイドウォール形成工程に適用した。図 6 において、510 は W/TiN 電極、520 はシリコン窒化膜サイドウォール、530 はシリサイド、540 はソースドレインエクステンション層、および、550 はポリシリコンゲートを示している。

シランガス、アンモニアガスを流してプラズマを生成し、基板温度 400°C にて形成し、ソースドレインのコンタクト電極形成プロセスにセルフアラインコンタクト工程に用いるシリコン窒化膜を形成した。得られたシリコン窒化膜は従来法に比べ格段に優れた膜品質を有していた。

[0022] ここで、上記工程におけるシリコン窒化膜において、その高品質化が要請される理由について説明する。

デバイス寸法の微細化の要請からコンタクト電極構造にセルフアラインコンタクトを導入するためにゲート電極側壁のゲートスペーサーに高品質なシリコン窒化膜を導入することが必須となる。このシリコン窒化膜はデバイスの高性能化に伴い、その高品質化・低温成膜化が強く要求されている。デバイスの微細化・高性能化を行うためには、シリサイドや High-k/メタルゲート技術等の様々な技術が導入されており、高温にしてしまうとどうしても特性が劣化してしまうからである。前述したセルフアラインコンタクトプロセスでは、コンタクトホール形成の際のシリコン酸化膜系の絶縁膜エッチングの際のストッピング膜に使われている。このシリコン窒化膜の形成温度を下げると、結合の弱い品質の悪い膜になってしまい、ストッパーの役割を果たせなくなり、微細加工が不可能となってしまう。

また、成膜後のプロセス工程で多用されるフッ酸洗浄等のウェット洗浄工程でエッチングされないようにしなくてはならない。故に、シリコン窒化膜の成膜温度の低減と高品質薄膜形成の両立が必須である。これを実現するには、成膜材料ガスを活性化させるプラズマを用いた PCVD を用いることが

有効である。

現在では、大口径ウェーハプロセスにおいてもP C V D技術、もしくはP A L D技術が用いられており、膜質向上の研究開発が続いている。本実施形態に係るプラズマC V D装置は、上記のような要求に応え、プロセスマージンを広げ、歩留まりの向上にも貢献するものである。

[0023] さらに、本実施形態に係る装置の他の観点からのメリットについて説明する。

近年、電子機器の高機能化と消費者のニーズの多様化に対応した多品種少量生産プロセスの半導体デバイス生産システム（ミニマルファブシステム）が提案され、低コスト装置から構成される革新的デバイス製造プロセスとして大いに期待されている。現在まで、半導体I Cの基本技術となるシリコンC M O S回路を作製するためのミニマルファブ装置及びプロセスが開発されている。ミニマルファブ装置においても、高品質な薄膜形成が可能なプラズマC V D装置の実現が強く求められる。

本実施形態では、拡散しやすいプラズマを磁場により狭い領域に閉じ込めるため、装置の小型化に適している。加えて、また、高い磁場強度のミラー磁場を形成するために永久磁石を用いるため、電磁石等を用いる場合と比較して装置の小型化が容易である。このことから、本実施形態によれば、ミニマルファブシステムにおけるC M O S回路のさらなる微細化・高性能化に必須となる、ミニマル化されたシリコン窒化膜形成用プラズマC V D装置を実現することができる。

[0024] 本実施形態に係る装置は、高品質シリコン窒化膜形成のみならず、酸化物形成にも適用可能であり、今後のさらなるシリコンデバイスの高性能化に必須であるH i g h - k（高誘電率）ゲート絶縁膜形成、メタルゲート形成や、C M O Sイメージセンサ分野で要求される高容量密度キャパシタ形成、さらにはG a Nパワーデバイスの高品質パッシベーション膜形成等、その応用範囲は非常に広いと考えられる。

[0025] 変形例

図 7 A に変形例を示す。図 7 A において、共鳴点 R P 1 のみがプラズマ生成空間 S P 内に配置され、中間の共鳴点 R P 2 は誘電体からなる透過窓 1 6 0 に位置し、最も外側の共鳴点 R P 3 を大気側に位置するようにした。また、外側の永久磁石 3 2 A の内径を、内側の永久磁石 3 1 の内径よりも拡大させて、リング O R 1, O R 2 を設けるフランジの場所を確保した。共鳴点 R P 3 は、大気中にあるので、強いマイクロ波に晒されたとしても、プラズマは励起されない。また、共鳴点 R P 3 を大気中に配置することで、誘電体からなる透過窓 1 6 0 を小型化できる。

[0026] 図 7 B に他の変形例を示す。図 7 B において、共鳴点 R P 1 のみがプラズマ生成空間 S P 内に配置され、中間の共鳴点 R P 2 は誘電体からなる透過窓 2 6 0 に位置し、最も外側の共鳴点 R P 3 を大気側に位置するようにした。また、リングを用いてシールする代わりに、ロウ付け 3 0 0 によりシールする構成としている。この構成によれば、リング O R 1, O R 2 を設けるフランジの場所が不要になるとともに、誘電体からなる透過窓 2 6 0 をさらに小型化できる。

ミラー磁場形成機構としてこれまでの説明では、永久磁石を使用することで本発明の適用がミニマルハブなど用の超小型のプラズマ処理装置に最適であること中心に述べてきたが、本発明の趣旨からすれば、これまでの記載に限定されるものではない。以下にその好適な例の一つを説明する。

[0027] 図 8 に、さらに他の変形例を示す。

図 8 において、ミラー磁場形成機構は、軸線 A X 上において離隔して配置された電流コイル 1 3 0 A, 1 3 0 B で構成される。第 1 および第 2 の電流コイル 1 3 0 A, 1 3 0 B を用いた場合、電流コイル 1 3 0 A の近くに 2 つの共鳴点 R P 1, R P 2 が形成される。共鳴点 R P 1 のみをプラズマ生成空間 S P 内に配置し、他の共鳴点 R P 2 を入射窓 6 0 上に位置させる。共鳴点 R P 2 は、減圧雰囲気下にないので、共鳴点 R P 2 付近で無駄なプラズマが形成されず、閉じ込め領域 P C R に閉じ込めるプラズマ P L をより効率良く生成可能となる。

本発明の適用が大型装置の場合は、この例のようにミラー磁場形成機構を電流コイルで構成することが出来る。

[0028] 適用例 2

図 9 乃至図 11 を参照しながら高品質の窒化シリコン膜を作成した例を説明する。

図 9、10 は、本適用例で作成された超小型の P C V D 装置の主要部を説明するための図である。

図 9 は、プラズマ処理部の断面図である。P C V D 装置 900 は、基本的には図 1 に示す装置 1 と同様の機構を有する。

ミラー磁場形成機構 300 A は、永久磁石 310 A、320 A を備えている。

ミラー磁場形成機構 300 B は、永久磁石 310 B、320 B を備えている。

ミラー磁場形成機構 300 A は、図 10 に模式的に示すように、その構成要素である永久磁石（320 A 1 乃至 320 A 8）は、台柱状の形状をしており、取り付け部材 901 A に嵌合付設されている。8 個の永久磁石（320 A 1 乃至 320 A 8）が取り付け部材 901 A に取り付けられて形成される中空部の断面は八角形をしている。

永久磁石 310 A、320 A は、放射状に着磁され、かつ互いに異なる向きに着磁されている。

以上の点は、ミラー磁場形成機構 300 B も同様である。

ミラー磁場形成機構 300 A、300 B は、同形状、同寸法に設計されている。

[0029] 図 11 に、以下の成膜時の磁場強度を示す。横軸は、軸上の位置であり、「0」の位置は、中心位置線 C L の位置である。縦軸は、各位置での磁場強度を示す。

図中の P R 1 は、E C R の位置で、軸上中心から 29 mm であった。その磁場強度は、2090 ガウスであった。最大磁場強度は、4340 ガウス、最

小磁場強度は、850 Gaussであった。ミラー比は、5.1であった。

チャンバ内のプラズマ形成空間を所定の真空度に減圧した状態で、チャンバ内に設置したステージ500に、ハーフィンチのシリコンウエハ（直径12.5mm）を設置した。

ステージ500に設置されたウエハはステージ500に設けたヒーター（不図示）により、300℃に加熱保温された。

プラズマ形成空間を含むチャンバ内の空間に、Ar : 2sccm (cc/分)、SiH<sub>4</sub> : 0.2sccm、N<sub>2</sub> : 4sccm、H<sub>2</sub> : 1sccmの条件で各ガスを流し、前記空間の圧力を8mTorrに維持した。

5.8GHz、30Wのマイクロ波を投入し、プラズマを形成して上記ウエハ上にSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜を3分間で30nm厚に形成した。

[0030] 上記のようにして成膜したSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜の品質を、0.5%のフッ酸のエッチングレートで評価した。

エッチングレートは、従来技術の減圧CVDで710℃で成膜した膜、及び従来技術のマイクロ波励起高密度プラズマによるプラズマCVDで400℃で成膜した膜、および上記の本発明技術により形成した膜について評価した。

エッチングレートは、減圧CVDの膜では0.4nm/min、従来技術のプラズマCVDの膜では0.4nm/min、本発明の膜では0.3nm/minであった。

本発明の膜は、一番低温（300℃）で形成したにもかかわらず、一番エッチングレートが小さく高品質な膜であることが示された。

[0031] 以上、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。

## 符号の説明

[0032] 1 成膜装置

10 処理チャンバ  
15 導波管  
16 入射窓  
17A, 170A プラズマ生成室  
18A, 18B 中空柱状部  
20A, 20B、200A, 200B リミッター部材  
30A, 30B、300A, 300B 永久磁石機構（ミラー磁場形成機構）  
31A, 31B, 32A, 32B, 310A, 310B, 320A, 320B 永久磁石  
40 電位調整用分割リング  
41, 42, 43 電極  
50、500 ステージ  
130A, 130B 電流コイル（ミラー磁場形成機構）  
510 W/TiN電極  
520 シリコン窒化膜サイドウォール  
530 シリサイド  
540 ソースドレインエクステンション層  
550 ポリシリコンゲート  
900 PCVD装置  
901A, 901B 取り付け部材  
M1A, M1B 最大磁場部  
M2 中間部  
RP1～RP3 共鳴点  
PCR 閉じ込め領域  
MFL 磁力線  
MMF ミラー磁場  
PL プラズマ

W ウエハ（基体）

## 請求の範囲

[請求項1] ミラー磁場を形成するミラー磁場形成機構と、前記ミラー磁場の一端側から他端側に向けてマイクロ波を供給するマイクロ波供給機構と、を有し、前記ミラー磁場と前記マイクロ波とによる電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成するとともに、前記ミラー磁場により所定の閉じ込め領域に当該プラズマを閉じ込めるプラズマ処理装置であって、

前記マイクロ波の供給側に形成される複数の共鳴点のうち、前記ミラー磁場の2つの最大磁場部間に形成される共鳴点がプラズマ形成に利用され、他の共鳴点がプラズマ形成に寄与しないか実質的に寄与しないように、プラズマ生成空間が画定されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

[請求項2] 処理室と、

前記処理室内へ前記マイクロ波を導く導波路に設けられた、誘電体からなるマイクロ波透過部材と、を有し、

前記マイクロ波透過部材の先端面および前記処理室の内壁面は、前記プラズマ生成空間を画定し、

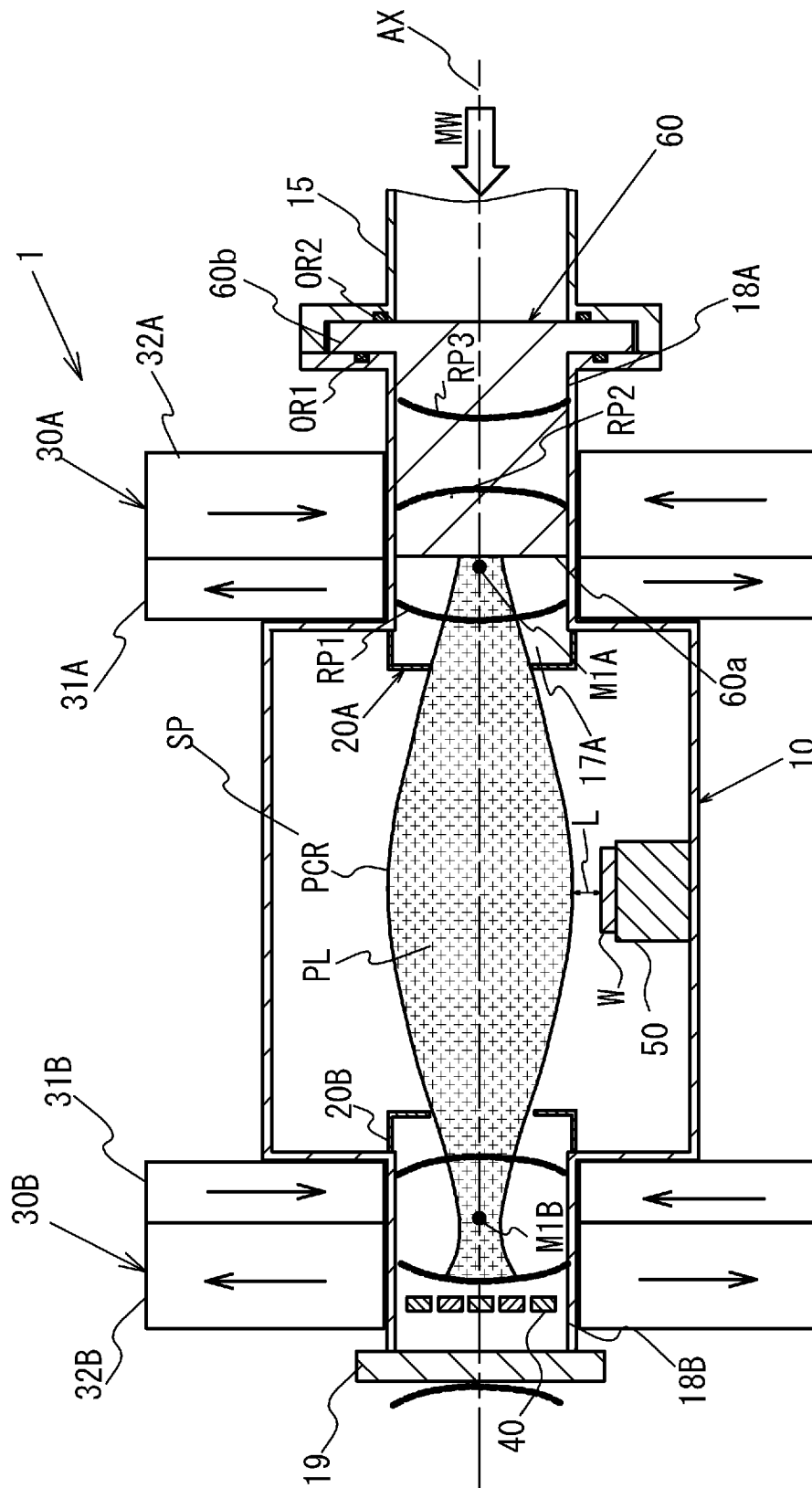
前記複数の共鳴点のうち、前記プラズマ形成に利用される共鳴点のみが前記プラズマ生成空間内に配置され、他の共鳴点は、前記マイクロ波透過部材上または大気側に位置する、ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

[請求項3] 前記ミラー磁場形成機構は、前記所定軸線において離隔して配置された第1および第2の永久磁石機構を有し、

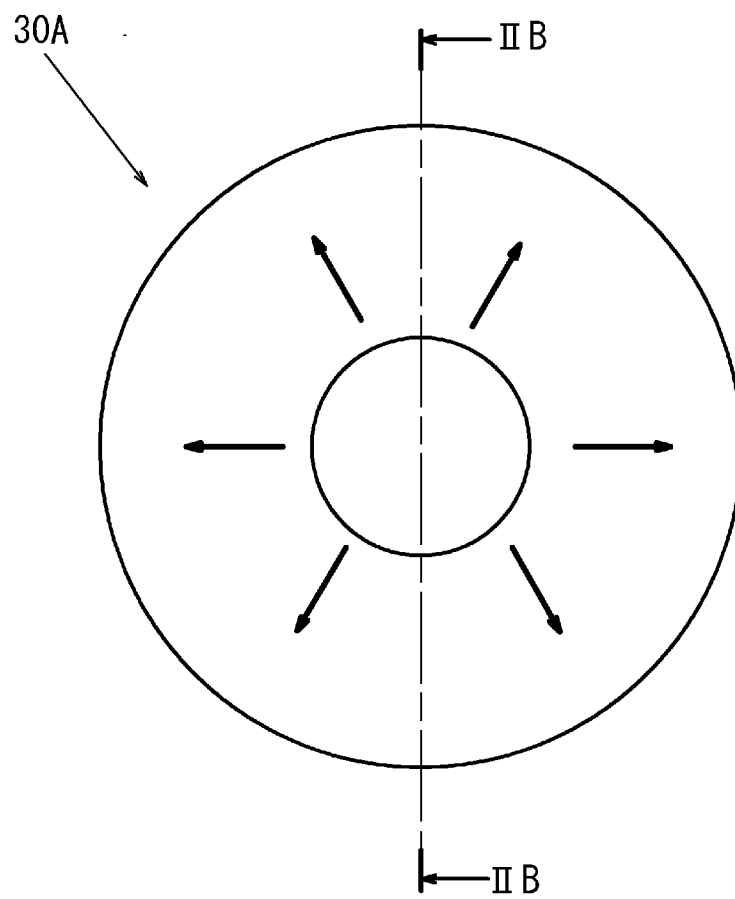
前記第1および第2の永久磁石機構は、放射状に着磁され、かつ互いに異なる向きに着磁された環状の第1および第2の永久磁石を含み、当該第1および第2の永久磁石機構は、前記ミラー磁場に3つの共鳴点をそれぞれ形成する、請求項1又は2に記載のプラズマ処理装置。

- [請求項4] 前記ミラー磁場形成機構は、前記所定軸線上において離隔して配置された第1および第2の電流コイルを有し、当該第1および第2の電流コイルは、前記ミラー磁場に2つの共鳴点をそれぞれ形成する、請求項1又は2に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項5] 前記閉じ込め領域から活性化した中性のラジカルが処理すべき基体に選択的に到達するように、前記所定軸線を横切る方向において前記基体を前記閉じ込め領域に対向させて配置する保持機構を有する、請求項1ないし4のいずれかに記載のプラズマ処理装置。
- [請求項6] 前記所定軸線を横切る方向の電位勾配を平坦化するための電位調整用部材をさらに備える、ことを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載のプラズマ処理装置。
- [請求項7] ミラー磁場を形成するとともに、前記ミラー磁場の一端側から他端側に向けてマイクロ波を供給し、前記ミラー磁場と前記マイクロ波とによる電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成するとともに、前記ミラー磁場により所定の閉じ込め領域に当該プラズマを閉じ込めるプラズマ処理方法であって、  
前記マイクロ波の供給側に形成される複数の共鳴点のうち、前記ミラー磁場の2つの最大磁場部間に形成される共鳴点のみを実質的にプラズマ形成に利用する、ことを特徴とするプラズマ処理方法。
- [請求項8] 請求項7に記載のプラズマ処理方法を半導体製造プロセスに用いた半導体製造方法。

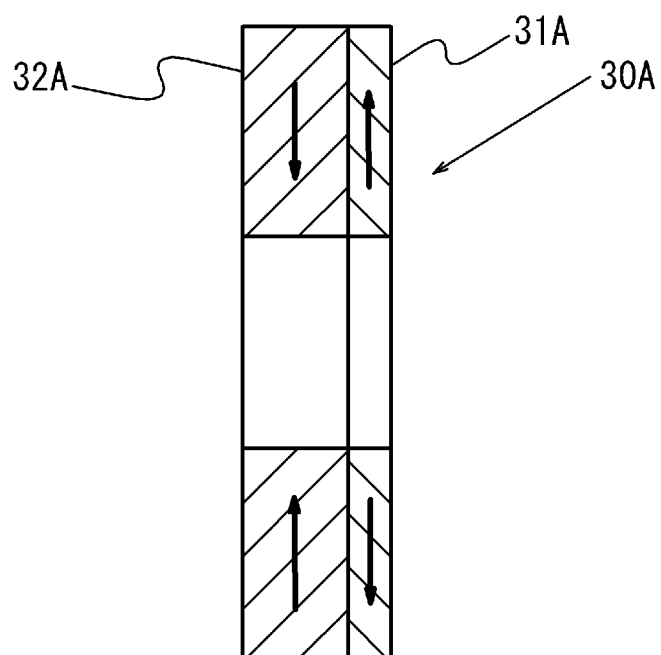
[図1]



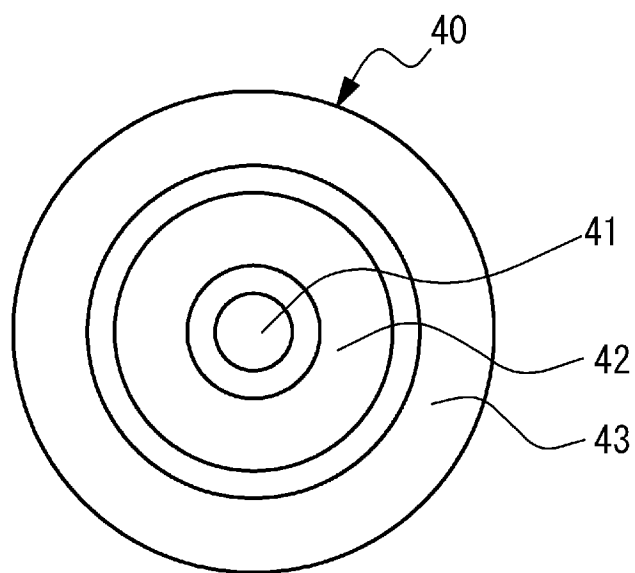
[図2A]



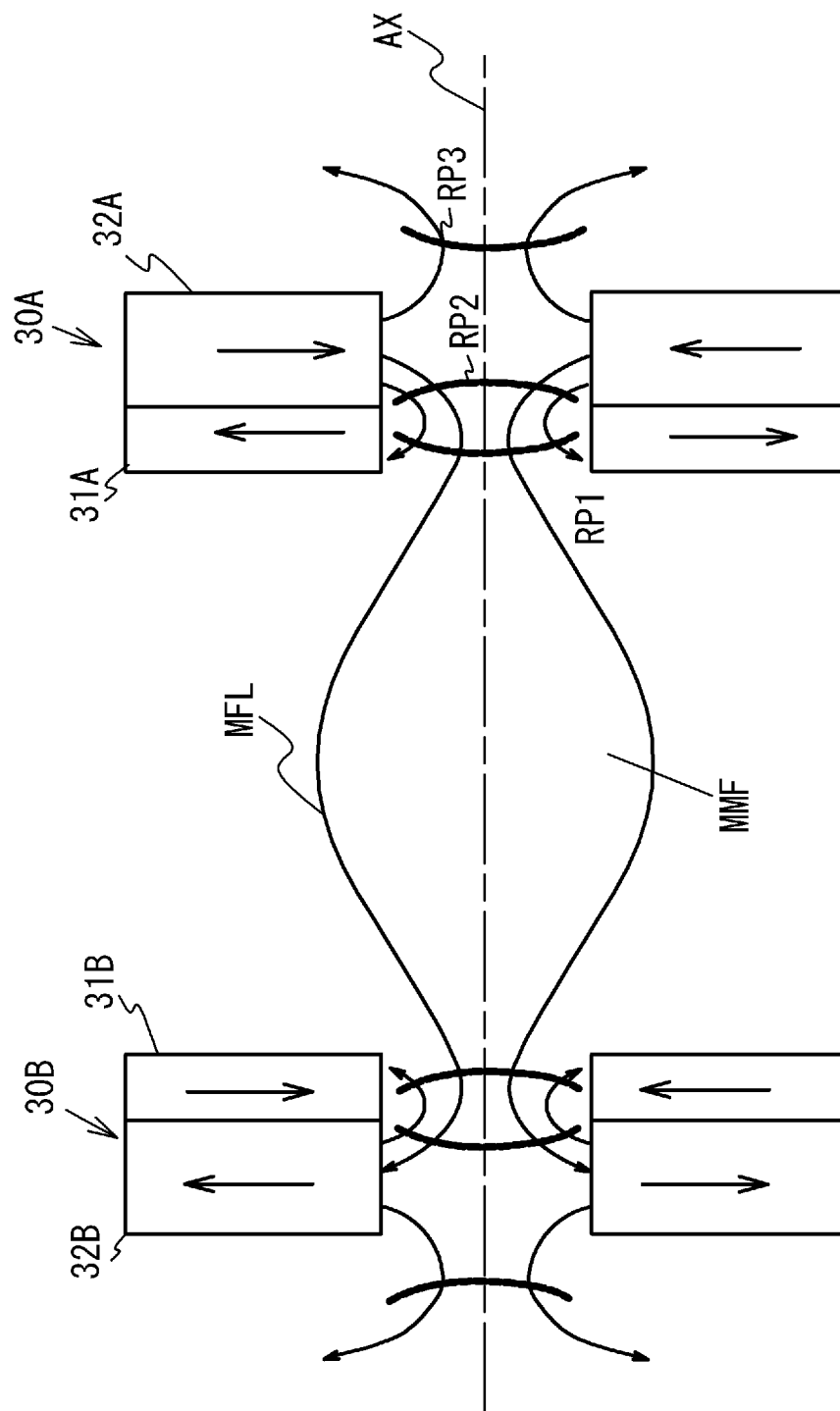
[図2B]



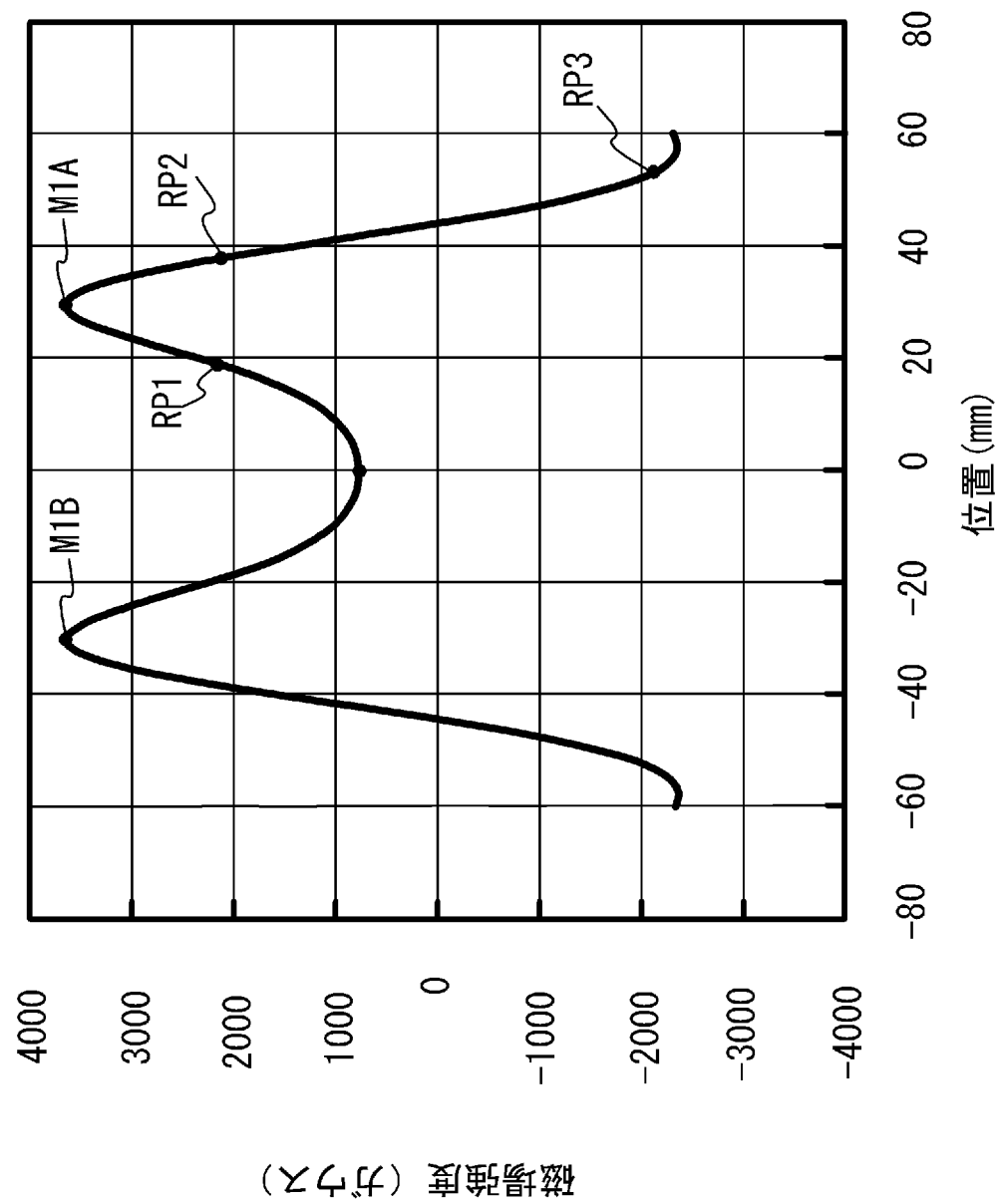
[図3]



[図4]



[図5]

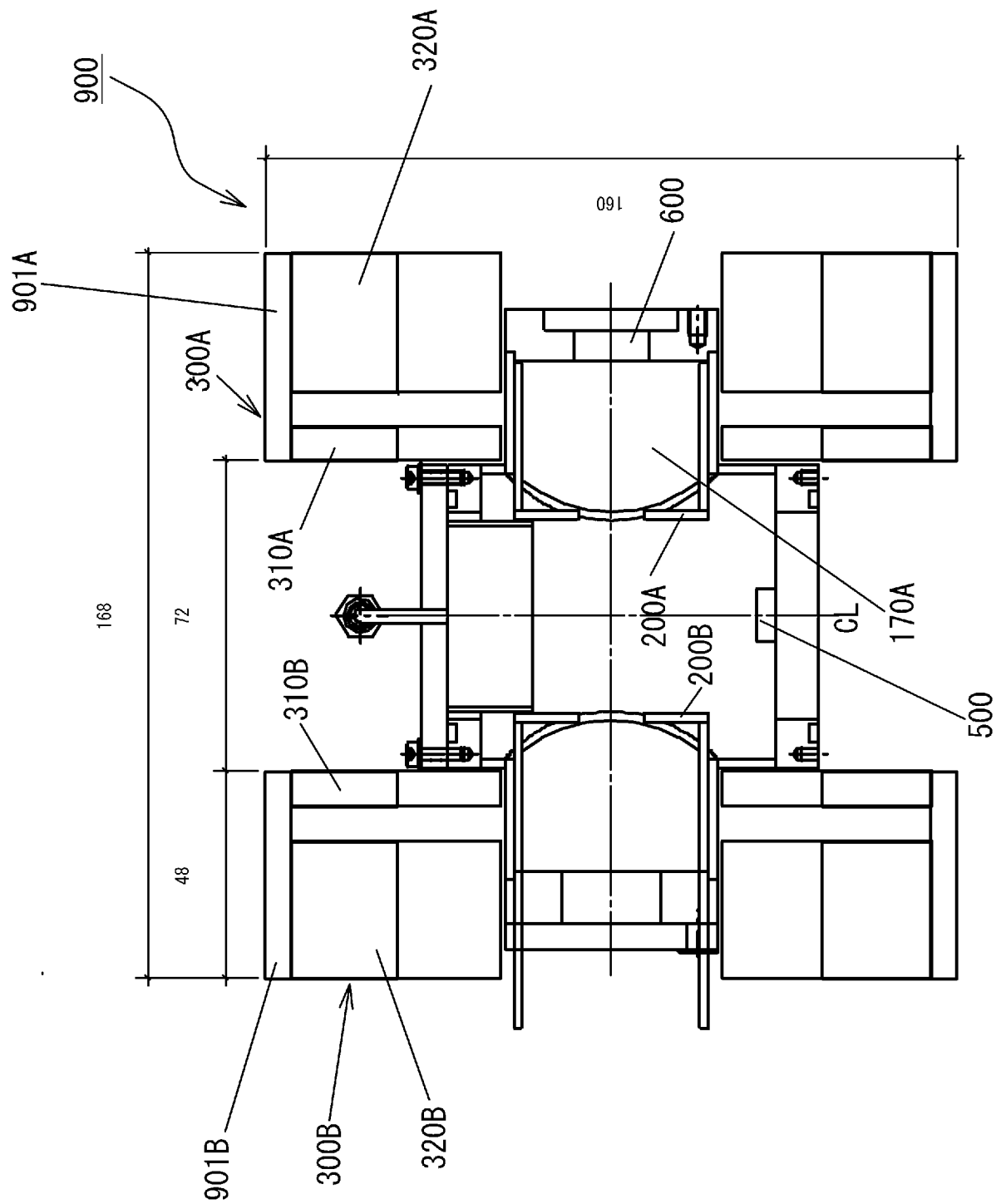




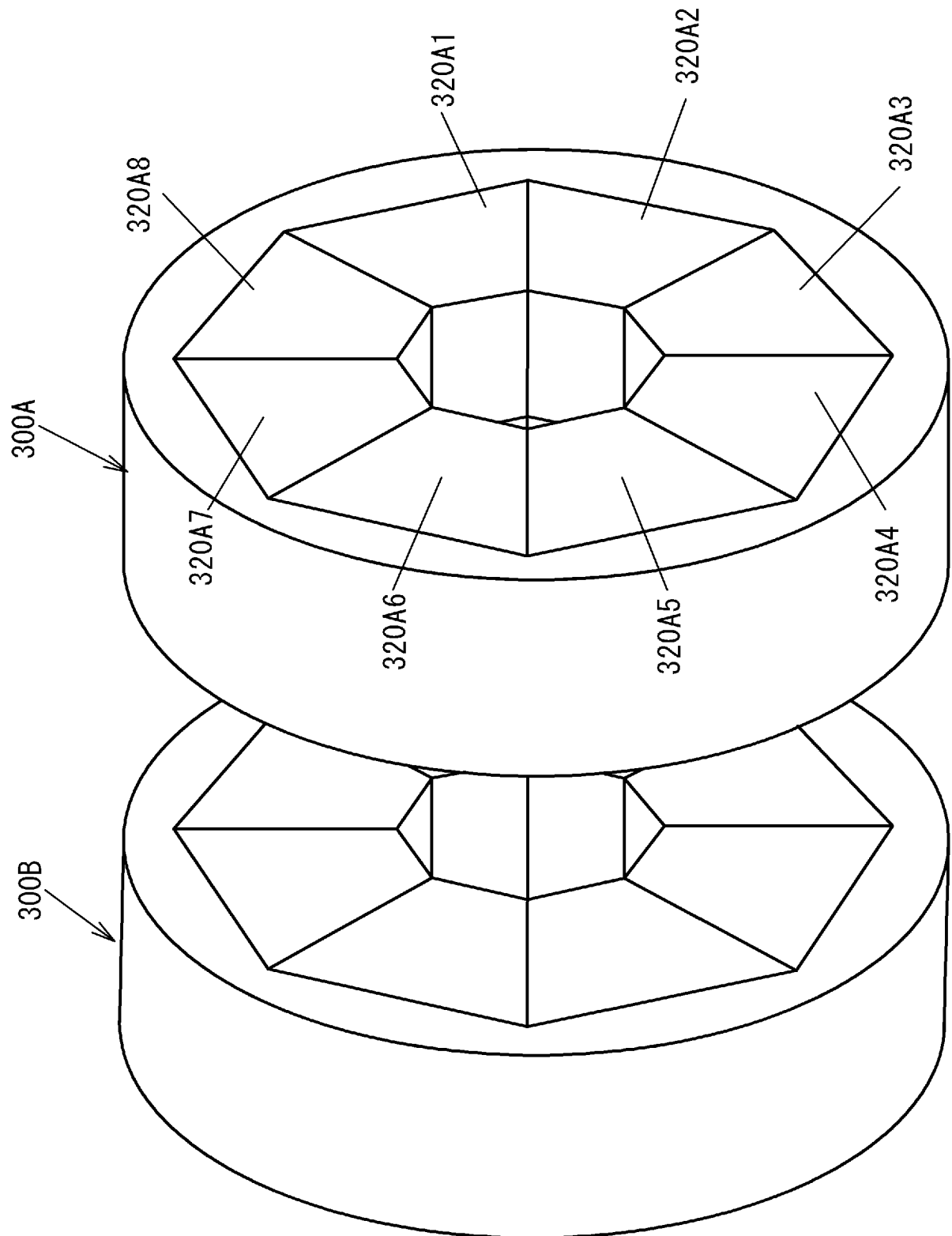




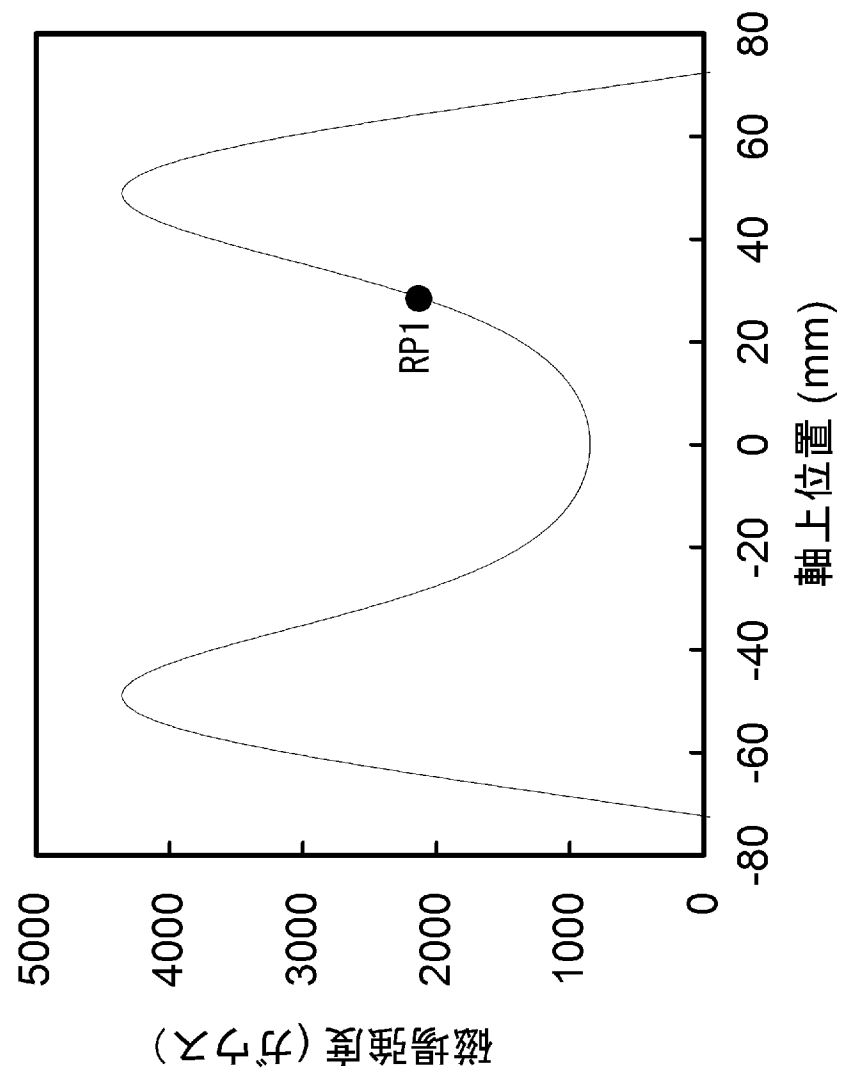
[図9]



[図10]



[図11]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/064790

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05H1/46(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/8238(2006.01)i, H01L27/092(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H05H1/46, C23C16/511, H01L21/31, H01L21/8238, H01L27/092

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 | 1996-2016 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2016 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2016 |

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 1-238020 A (Hitachi, Ltd.),<br>22 September 1989 (22.09.1989),<br>page 4, upper left column, line 12 to upper<br>right column, line 2; fig. 3<br>(Family: none) | 1-8                   |
| Y         | JP 2000-277492 A (Hitachi, Ltd.),<br>06 October 2000 (06.10.2000),<br>paragraphs [0019] to [0038]; fig. 1 to 4<br>(Family: none)                                   | 1-8                   |
| Y         | JP 2000-174009 A (Hitachi, Ltd.),<br>23 June 2000 (23.06.2000),<br>paragraphs [0007] to [0031]; fig. 1 to 7<br>(Family: none)                                      | 1-8                   |

☒ 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  
12 July 2016 (12.07.16)

Date of mailing of the international search report  
19 July 2016 (19.07.16)

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/JP2016/064790

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 63-213344 A (Hitachi, Ltd.),<br>06 September 1988 (06.09.1988),<br>page 4, lower left column, line 19 to page 5,<br>lower left column, line 2; fig. 1 to 2<br>& US 4876983 A<br>6th row, line 16 to 7th row, line 38; fig. 7 to<br>8<br>& US 5433788 A & EP 275965 A2<br>& DE 3853890 C & DE 3853890 D<br>& KR 10-1996-0015609 B       | 1-8                   |
| Y         | JP 2006-49020 A (Japan Atomic Energy Research<br>Institute),<br>16 February 2006 (16.02.2006),<br>paragraphs [0026] to [0034]; fig. 1 to 4<br>(Family: none)                                                                                                                                                                              | 3, 6                  |
| Y         | Masaaki INUTAKE, "Comparison of density and<br>magnetic field fluctuation radial direction<br>distribution by microwave reflectometer and<br>probe measurement", Heisei 7 Nen ~ 8 Nendo<br>Kagaku Kenkyuhi Hojokin (Kiban Kenkyu (B)(2))<br>Kenkyu Seika Hokokusho, Japan Society for the<br>Promotion of Science, 1997.03, pages 1 to 73 | 6                     |

## 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, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/8238(2006.01)i, H01L27/092(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, C23C16/511, H01L21/31, H01L21/8238, H01L27/092

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 | 1971-2016年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2016年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2016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<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y               | JP 1-238020 A (株式会社日立製作所)<br>1989.09.22, 第4頁左上欄第12行目-右上欄第2行目および第3<br>図<br>(ファミリーなし) | 1-8            |
| Y               | JP 2000-277492 A (株式会社日立製作所)<br>2000.10.06, 第【0019】-【0038】段落および第1-4図<br>(ファミリーなし)   | 1-8            |

☑ 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

12.07.2016

国際調査報告の発送日

19.07.2016

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)

藤本 加代子

電話番号 03-3581-1101 内線 3273

21

4458

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                                                                     |                |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| Y                     | JP 2000-174009 A (株式会社日立製作所)<br>2000.06.23, 第【0007】－【0031】段落および第1－7図<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                   | 1－8            |
| Y                     | JP 63-213344 A (株式会社日立製作所)<br>1988.09.06, 第4頁左下欄第19行目－第5頁左下欄第2行目およ<br>び第1－2図<br>& US 4876983 A, 第6列第16行目－第7列第38行目および第7<br>－8図 & US 5433788 A & EP 275965 A2 & DE 3853890 C & DE 3853890<br>D & KR 10-1996-0015609 B | 1－8            |
| Y                     | JP 2006-49020 A (日本原子力研究所)<br>2006.02.16, 第【0026】－【0034】段落および第1－4図<br>(ファミリーなし)                                                                                                                                     | 3、6            |
| Y                     | 犬竹 正明, マイクロ波反射計とプローブ計測による密度および磁<br>場揺動径方向分布の比較,<br>平成7年～8年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))研究成<br>果報告書, 独立行政法人 日本学術振興会, 1997.03, 第1－73頁                                                                                         | 6              |