

(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  
2024年6月20日(20.06.2024)

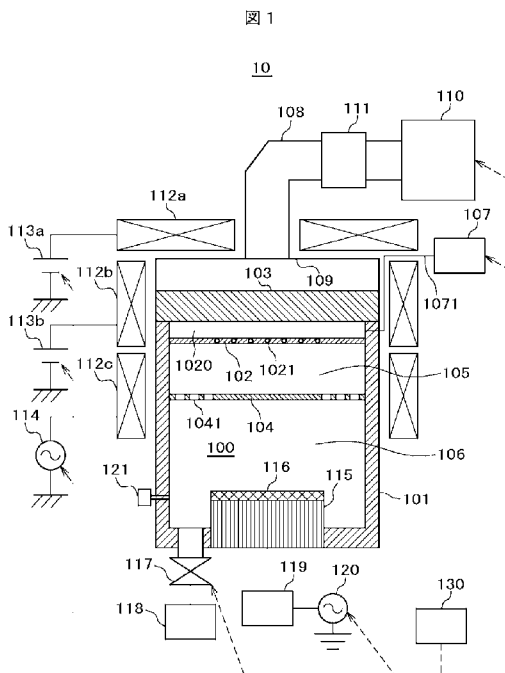


(10) 国際公開番号  
**WO 2024/127535 A1**

- (51) 国際特許分類:  
**H01L 21/3065** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/045949
- (22) 国際出願日: 2022年12月13日(13.12.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社日立ハイテク  
**(HITACHI HIGH-TECH CORPORATION)** [JP/JP]; 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中谷 侑亮 (NAKATANI Yusuke); 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株式会社日立ハイテク内 Tokyo (JP). 園田靖(SONODA Yasushi); 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株式会社日立ハイテク内 Tokyo (JP). 田中基裕(TANAKA Motohiro); 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株式会社日立ハイテク内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: ポレール弁理士法人(POLAIRE I.P.C.); 〒1030021 東京都中央区日本橋本石町三丁目3番5号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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,

(54) Title: PLASMA PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: プラズマ処理方法



(57) Abstract: In order to enable uniform etching processing, regardless of pattern density, by independently controlling the etching shapes of a sparse pattern section and a dense pattern section within the same wafer, this plasma processing method is characterized by: comprising a first step for performing reactive ion etching using a gas that forms a taper shape, and a second step for performing radical etching; the first etching and the second etching being alternately repeated a prescribed number of times; and the time taken for the first step being shorter than the time taken for the second step.

(57) 要約: 同一ウェハ内のパターンの疎な部分と密な部分とのエッチング形状を独立制御してパターンの疎密に依らず均質なエッチング処理を行うことを可能にするために、テーパ形状となるガスを用いて Reactive Ion Etching を行う第一の工程と、ラジカルエッチングを行う第二の工程とを有し、第一の工程と第二の工程を所定回交互に繰り返し、第一の工程の時間が第二の工程の時間より短いことを特徴とするプラズマ処理方法とした。

WO 2024/127535 A1

DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,  
IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

## 明 細 書

発明の名称： プラズマ処理方法

### 技術分野

[0001] 本発明はプラズマ処理方法に関する。

### 背景技術

[0002] 近年、半導体デバイスの複雑化や立体化の進化により、同一ウェハ内にパターンの疎な部分と密な部分が混在し、それらを均質にエッチングすることへの要求が強くなっている。

[0003] 従来のRIE (Reactive Ion Etching: 反応性イオンエッチング) ではパターンの密な部分に対して垂直形状を得るためのエッチングを行うと、疎な部分では被エッチング面積が大きいことにより生じる反応生成物が多いことから、エッチングが阻害される効果が大きくなり、テーパ形状となることが多い。パターンの疎密に依らず均質なエッチングを達成するには、疎密部分のエッチング形状の独立制御が必要である。

[0004] 特許文献1では、半導体基板に溝を形成するエッチング工程において、エッチング開始直後にエッチングレートの高い条件でエッチングを行う第1工程と、その後、エッチングレートが低い条件でエッチングを行う第2工程とを行う技術が提案されている。

[0005] また、特許文献2では、イオンを主体とする異方性エッチングにより基体のエッチング面に荒れが形成されるエッチング工程と、前記工程に引き続いて、前記基体に対して非堆積性のガスのラジカルを主体とする等方性エッチングにより前記工程により形成された荒れを除去する工程とを連続して複数回繰り返す技術が提案されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0006] 特許文献1：特開2015-153804号公報

特許文献2：特開平3-93224号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0007] 同一ウェハ内のパターンの疎な部分と密な部分を均質にエッチングするためには、疎密部分のエッチング形状の独立制御が必要である。
- [0008] しかし、特許文献1に記載の技術は、疎密パターンのエッチング量のばらつきを抑えるという課題は同じであるが、解決手段が本件発明とは異なる。
- [0009] また、特許文献2に記載の技術は、エッチング後のパターンの垂直性と平滑性を両立するために、イオン性のエッチングとラジカル性のエッチングを繰り返すものであり、パターンの疎密部分のエッチング形状を独立に制御しようというものではない。
- [0010] 本発明は、上記した従来技術の課題を解決して、同一ウェハ内のパターンの疎な部分と密な部分を均質にエッチング処理を施すことを可能にするプラズマ処理方法を提供するものである。

### 課題を解決するための手段

- [0011] 上記した課題を解決するために、本発明では、テーパ形状となるガスを用いて `Reactive Ion Etching` を行う第一の工程と、ラジカルエッチングを行う第二の工程とを有し、第一の工程と第二の工程を所定回交互に繰り返し、第一の工程の時間が第二の工程の時間より短いことを特徴とするプラズマ処理方法とした。

### 発明の効果

- [0012] 本発明によれば、同一ウェハ内のパターンの疎な部分と密な部分のエッチング形状を独立制御でき、疎密部分を均質にエッチングすることができるようになった。

### 図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本発明の実施例1に係るプラズマエッチング装置の概略を示す縦断面図である。
- [図2]本発明の実施例1に係るプラズマエッチング装置の遮蔽板を示す平面図

である。

[図3A]本発明の実施例1に係る直流コイル電流電源により中心となるECR領域を設定する電流を示す図である。

[図3B]本発明の実施例1に係る直流コイル電流電源により中心となるECR領域を設定する電流を示す図である。

[図4A]図3AのECR領域を初期設定位置としてECR領域をイオン遮蔽板に対して上下させる交流コイル電流電源の電流を示す図である。

[図4B]図3BのECR領域を初期設定位置としてECR領域をイオン遮蔽板に対して上下させる交流コイル電流電源の電流を示す図である。

[図5]本発明の実施例1に係るRIE時間比率の制御により疎密部分のエッチング形状を独立制御可能なことを示すエッチング形状の概略図である。

[図6]本発明の実施例1に係るRIE時間比率の制御により疎密部分のテーパ角を揃えることが可能なことを示すグラフである。

[図7]本発明の実施例1に係るプラズマエッチング方法の処理の流れを示すフロー図である。

[図8]本発明の実施例1の変形例に係るプラズマエッチング装置の概略を示す縦断面図である。

[図9A]本発明の実施例1の変形例に係る直流コイル電流電源により可変周波数電磁波発生用電源の中心周波数に対応するECR領域を設定する電流を示す図である。

[図9B]本発明の実施例1の変形例に係る直流コイル電流電源により可変周波数電磁波発生用電源の中心周波数に対応するECR領域を設定する電流を示す図である。

[図10A]図9Aで設定された中心周波数のECR領域を中心として可変周波数電磁波発生用電源の周波数を変えることでECR領域をイオン遮蔽板に対して上下させる交流コイル電流電源の電流を示す図である。

[図10B]図9Bで設定された中心周波数のECR領域を中心として可変周波数電磁波発生用電源の周波数を変えることでECR領域をイオン遮蔽板に対し

て上下させる交流コイル電流電源の電流を示す図である。

[図11]本発明の実施例2に係るプラズマエッチング装置の概略を示す縦断面図である。

[図12]本発明の実施例2に係るプラズマエッチング方法の処理の流れを示すフロー図である。

### 発明を実施するための形態

[0014] 本発明は、R I Eではテーパ形状にエッチングされ、同ガス系でイオンを遮蔽したラジカルエッチングにおいてもエッチングが進行するようなガス系を備えたプラズマ処理装置を用いて、R I Eによる処理とラジカルエッチングによる処理を制御しながら繰り返し実行することにより、同一ウェハ内のパターンの疎密部分を均質にエッチングできるようにしたものである。

[0015] また本発明は、R I Eではテーパ形状にエッチングされ、同ガス系でイオンを遮蔽したラジカルエッチングにおいてもエッチングが進行するようなガス系を備えたプラズマ処理装置を用いて、所望のエッチング形状が得られるようR I E時間比率（R I Eとラジカルエッチングの合計処理時間に対するR I Eの処理時間の比率）を制御し、かつ、R I Eとラジカルエッチングを所定の回数繰り返すことにより、同一ウェハ内のパターンの疎な部分と密な部分のエッチング形状を独立制御することを可能にし、疎密部分を均質にエッチングできるようにしたものである。

[0016] 以下に、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。本実施の形態を説明するための全図において同一機能を有するものは同一の符号を付すようにし、その繰り返しの説明は原則として省略する。

[0017] ただし、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。本発明の思想ないし趣旨から逸脱しない範囲で、その具体的構成を変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。

### 実施例 1

[0018] 図1は本実施例に係るプラズマ処理装置の全体構成の概略を示す縦断面図である。図1に示すプラズマ処理装置10は、真空容器101の内部に形成

された処理室100を有する。真空容器101の上部には、真空容器101内の処理室100にエッチングガスを導入するためのシャワープレート102と、処理室100の上部を気密に封止するための誘電体窓103と、イオン遮蔽板104を設置し、処理室100を構成する。

[0019] シャワープレート102と誘電体窓103との間の領域1020には、ガス供給管1071を通じガス供給装置107が接続され、プラズマエッチング処理を行うためのガスが供給される。シャワープレート102には、領域1020に供給されたガスを処理室100の側に通すための小径の穴1021が複数形成されている。また、真空容器101には圧力調整弁117を介し真空排気装置118が接続され、処理室100の圧力を制御している。処理室100の圧力は、圧力計121で計測される。

[0020] プラズマを生成するための電力を処理室100に伝送するため、誘電体窓103の上方には電磁波を放射する導波管108（またはアンテナ）が設けられる。導波管108（またはアンテナ）には電磁波発生用電源（高周波電源とも言う）110から発振させた電磁波が電磁波整合器111を通して伝送される。電磁波発生用電源110から出力される高周波電流の周波数は、この実施例1では、一定の周波数とされている。導波管108から伝播してきた電磁波によって処理室100内に特定のモードの定在波を形成させるために空洞共振器109が配置されている。電磁波の周波数は特に限定されないが、本実施例では2.45GHzのマイクロ波とした。

[0021] 処理室100の外周部には、磁場発生コイル112a、112bおよび112cが設けてあり、その電流を制御するため磁場発生コイル112aおよび112bには直流コイル電流電源113aおよび113bが接続され、磁場発生コイル112cには交流コイル電流電源114が接続されている。磁場発生コイル112aおよび112bは直流コイル電流電源113aおよび113bから出力される直流電流により駆動され、磁場発生コイル112cは交流コイル電流電源114から出力される交流電流により駆動される。

[0022] 磁場発生コイル112、直流コイル電流電源113aおよび113b、お

よび交流コイル電流電源 114 は、磁場形成機構とすることができる。磁場発生コイル 112 a および 112 b は第1コイルと、磁場発生コイル 112 c は第2コイルと、言うことができる。

[0023] 電磁波発生用電源 110 より発振された電力は、磁場発生コイル 112 により形成された磁場との電子サイクロトロン共鳴 (ECR: Electron Cyclotron Resonance) により、処理室 100 内にプラズマを生成する。

[0024] またイオン遮蔽板 104 に対向した処理室 100 下部には、試料(半導体基板) 116 の載置台(試料台とも言う)をかねる基板電極 115 が設置されている。基板電極 115 には高周波整合器 119 を介して、高周波電源 120 が接続される。基板電極 115 に接続された高周波電源 120 から高周波電力を供給することにより、一般的にセルフバイアスとよばれる負の電圧が基板電極 115 上に発生し、セルフバイアスによってプラズマ中のイオンが加速されて基板電極 115 に載置された試料 116 に垂直に入射されることにより、試料 116 がエッチング処理される。

[0025] イオン遮蔽板 104 は処理室 100 の内部空間を上下の領域に分割している。ここで、この明細書では、処理室 100 の内部空間においてイオン遮蔽板 104 より上側のシャワープレート 102 との間の領域を第1領域またはラジカル領域 105 と呼び、イオン遮蔽板 104 より下側の基板電極 115 が設置されている側の領域を第2領域またはRIE (Reactive Ion Etching)領域 106 と呼ぶこととする。磁場発生コイル 112 a および 112 b はイオン遮蔽板 104 よりも上側に配置されている。磁場発生コイル 112 c は、磁場発生コイル 112 a および 112 b の下側に配置され、かつ、イオン遮蔽板 104 の近傍に配置されている。

[0026] また、図2に示すように、イオン遮蔽板 104 には、同じ孔径の貫通孔 1041 が外周部に一様に配置されている。本実施形態で「一様」とは、径の差が等しい同心円(半径ゼロである場合を含む)を複数描いたときに、それぞれの同心円の円周上に中心点を有する貫通孔 1041 が周方向に等しいピ

ッチで配置されていることをいう。

[0027] ラジカル領域105にプラズマを生成させた場合、プラズマ中で発生したイオンはイオン遮蔽板104によりラジカル領域105に閉じ込められる。一方、プラズマ中で発生したラジカルはラジカル領域105の内部で拡散し、その一部がイオン遮蔽板104の貫通孔1041を通過してR1E領域106に到達する。

[0028] 2. 45GHzの電磁波とECRを起こしてプラズマを生成するには、0.0875T（テスラ）の磁束密度の磁場が必要である。処理室100内の磁束密度が0.0875Tとなっている領域をECR領域の位置ということとする。その強い磁場を発生させるため、磁場発生コイル112は100～1000mHの自己インダクタンスを持ったものが使われ、直流コイル電流電源113aおよび113b、および交流コイル電流電源114は10～60A程度の電流を供給できるようになっている。複数の直流コイル電流電源113a、113bおよび交流コイル電流電源114からそれぞれに接続された磁場発生コイル112a乃至112cへ供給する電流値を制御することによって、処理室100内のECR領域の位置を精密に制御し、試料116に対するプラズマ生成位置を移動させる事ができる。

[0029] また磁場発生コイル112aおよび112bはイオン遮蔽板104よりも上側に位置するため、これら磁場発生コイル112aおよび112bによって作られる磁場強度は、磁場発生コイル112aおよび112bに近いラジカル領域105の方がR1E領域106よりも強くなる様にしている。これは、プラズマが生成されているECR領域まで電磁波を伝搬させたい場合、電磁波の入射方向からECR領域に向かって磁場が弱くなる様に設定した方が良いためである。ECR領域からみて導波管108の方向、つまりR1E領域106から見てラジカル領域105の方向に磁場が強くなる様にするためである。

[0030] 前述のように、処理室100は、シャワープレート102と試料116の載置台である基板電極115との間にイオン遮蔽板104を備えており、イ

オン遮蔽板 104 より上側のラジカル領域 105 とイオン遮蔽板 104 より下側の R I E 領域 106 の 2 つの領域に分かれている。

[0031] ラジカル領域 105 内に E C R 領域の位置を設定してプラズマを生成した場合、試料 116 とプラズマとの間にイオン遮蔽板 104 があるため、ラジカル領域 105 内のほぼ中央の領域で発生したプラズマ中のイオンは、E C R 領域の磁場に拘束されて拡散せずにイオン遮蔽板 104 の中央部付近で遮られてラジカル領域 105 の内部に閉じ込められる。その結果、R I E 領域 106 の側に有る試料 116 にはプラズマからのイオンは到達しない。一方、ラジカル領域 105 内で発生したラジカルは E C R 領域の磁場による拘束を受けることなくラジカル領域 105 内で拡散し、その一部がイオン遮蔽板 104 の周辺に形成された多数の貫通孔 1041 を通ることで、ラジカルが R I E 領域 106 の側に供給され、試料 116 はラジカルエッチング（等方性エッチング）によりプラズマ処理される。

[0032] 一方、R I E 領域 106 内に E C R 領域の位置を設定してプラズマを生成した場合、E C R 領域で発生したプラズマと試料 116 との間に遮るものはないため、プラズマからのイオンとラジカルの両方が試料 116 に供給され、試料 116 は R I E（異方性エッチング）によりプラズマ処理される。

[0033] ガス供給装置 107、圧力調整弁 117、電磁波発生用電源 110、直流コイル電流電源 113 a および 113 b、交流コイル電流電源 114 および高周波電源 120 には制御部 130 が接続されており、プラズマ処理装置 100 をプロセス条件にあわせて制御している。複数のプラズマ処理ステップからなるプロセス条件の場合、各処理ステップにあわせて順に各装置パラメータを制御部 130 が制御することで試料 116 のエッチング処理を行う。また、制御部 130 には、圧力計 121 で計測された処理室 100 の内部の圧力に関する情報が送られ、複数のプラズマ処理ステップからなるプロセス条件の制御に用いられる。

[0034] 本実施例においてはイオン遮蔽板 104 の上側のラジカル領域 105 に E C R 領域の位置を持ってきた場合はラジカルが主に試料 116 に供給され、

イオン遮蔽板104の下側のR | E領域106にECR領域の位置を持ってきた場合はラジカルとイオンがとも試料116に供給されることを利用し、ECR領域の位置をこの2つの領域間で周期的に設定することで、試料116に供給されるイオンとラジカルの量を制御した反応性イオンエッチングを行う。

[0035] 通常のR | Eでは、100%の時間をR | E領域106に相当する領域でプラズマを生成している。それに対し、本実施例のようにR | E領域106でのプラズマ生成とラジカル領域105でのプラズマ生成とを切り替えて行う事で、試料116に対してイオンとラジカルがともに供給されている時間に加えてラジカルが主に供給されている時間を作ることが出来る。周期的にR | E領域106とラジカル領域105とでプラズマを生成する領域を切り替えることで、全体としては試料116に供給されるイオンの量を下げ、ラジカルの量を上げたR | Eを行うことが出来る。

[0036] また、イオンはR | E領域106でプラズマを生成している時間に主に供給されるため、試料116に供給されるイオン量は、ECR領域の位置をイオン遮蔽板104を挟んでラジカル領域105とR | E領域106との間で周期的に切り替えている1周期の時間に対するR | E領域106に設定している時間の割合に比例することになる。

[0037] ECRの領域を切り替える1周期の時間におけるECR領域の位置をR | E領域106に設定している時間の割合を増加させると、試料116に入射するイオンの比率が上昇し、ECR領域の位置をラジカル領域105に設定している時間の割合を増加させると試料116に入射するラジカルの比率が上昇する。これにより、ECRの領域を切り替える1周期のうちのR | E領域106にECR領域の位置を設定している時間とラジカル領域105にECR領域の位置を設定している時間との比率を変えることによって、試料116に入射するイオンとラジカルの量を変えることが出来る。

[0038] ラジカル領域105とR | E領域106との間で周期的にECR領域の位置を変化させる制御、およびラジカル領域105とR | E領域106とにE

ECR領域の位置を設定している時間の比を変化させるには、直流コイル電流電源（直流電源とも言う）113a、113bから出力されて磁場発生コイル112aおよび112bに印加される直流電流によって、ECR領域の中心となる位置を設定し、交流コイル電流電源（交流電源とも言う）114から出力されて磁場発生コイル112cに印加される交流電流によってECR領域の位置を上下させる事により行う。

[0039] 図1のプラズマ処理装置10では、直流コイル電流電源113aおよび113bと交流コイル電流電源114の2種類のコイル電流電源に対して、最もイオン遮蔽板104に近い磁場発生コイル112cのみ交流コイル電流電源114と接続し、磁場発生コイル112cよりもイオン遮蔽板104から遠い磁場発生コイル112aおよび112bを直流コイル電流電源113aおよび113bと接続している。

[0040] これは、コイルによって発生する磁場はそのコイルに近いほど強くなるため、イオン遮蔽板104付近の磁場強度には最も近い磁場発生コイル112cの電流の効果が大きいという特性を利用するものである。この特性に基づいてイオン遮蔽板104に対してECR領域を上下させたい場合には、イオン遮蔽板104付近の磁場強度を変化させるために、イオン遮蔽板104にもっとも近い磁場発生コイル112cの電流を変化させれば良い。

[0041] 図3A、図3Bに、交流コイル電流電源114からの出力はゼロの状態、直流コイル電流電源113a、113bによりECR領域の位置を設定する例を示す。なお、ここで、ECR領域の位置は、ECR領域の中心となる位置と見なすことも可能である。

[0042] 磁場発生コイル112aおよび112bによって作られる磁場はラジカル領域105からRIE領域106に向かって弱くなり、またECR領域の磁場強度よりも強い磁場を真空容器101（または、処理室100）の上部に作るため、電流が大きいほどECR領域は真空容器101（または、処理室100）の下方に移動する。

[0043] そのため図3Aのように、直流コイル電流電源113aおよび113bの

電流が小さい場合 ( $I_{aL}$ 、 $I_{bL}$ ) に作られる ECR 領域の位置 200 は、イオン遮蔽板 104 より上側のラジカル領域 105 にある。

[0044] 一方、図 3 B のように、直流コイル電流電源 113 a および 113 b の電流が大きい場合 ( $I_{aH} > I_{aL}$ 、 $I_{bH} > I_{bL}$ ) に作られる ECR 領域の位置 200 は、イオン遮蔽板 104 より下側の RIE 領域 106 にある。

[0045] 図 4 A、図 4 B に磁場発生コイル 112 a に電流  $I_{aL}$  を流し、磁場発生コイル 112 b に電流  $I_{bL}$  を流して初期設定した ECR 領域の位置 200 に対して、磁場発生コイル 112 c に交流電流  $I_{cac}$  を流すことによって ECR 領域を上下させる例を示す。

[0046] 図 4 A、図 4 B において、ECR 領域の位置 200 の上限 U と下限 L およびイオン遮蔽板 104 の位置とそれら位置に対応する各電流値 ( $I_U$  (上限 U に対応)、 $I_L$  (下限 L に対応)、 $I_P$  (イオン遮蔽板 104 の位置に対応)) とを示す。

[0047] 交流コイル電流電源 114 を調整することにより、磁場発生コイル 112 c に流れる交流電流  $I_{cac}$  が正の時に ECR 領域の位置は真空容器 101 (または、処理室 100) の内部においてイオン遮蔽板 104 の下方に移動し、負の時にイオン遮蔽板 104 の上方に移動させることができる。

[0048] 図 4 A に示すように、直流コイル電流電源 113 a により磁場発生コイル 112 a に比較的弱い電流  $I_{aL}$  を流し、直流コイル電流電源 113 b により磁場発生コイル 112 b に比較的弱い電流  $I_{bL}$  を流した状態で磁場発生コイル 112 c に交流電流  $I_{cac}$  を流すことによって ECR 領域の位置 200 を変化させた場合、交流電流  $I_{cac}$  の 1 周期に期間において、ECR 領域の位置 200 がラジカル領域 105 にある時間が RIE 領域 106 にある時間より長くなる。

[0049] 一方、図 4 B に示すように、直流コイル電流電源 113 a により磁場発生コイル 112 a に比較的強い電流  $I_{aH}$  ( $I_{aH} > I_{aL}$ ) を流し、直流コイル電流電源 113 b により磁場発生コイル 112 b に比較的強い電流  $I_{bH}$  ( $I_{bH} > I_{bL}$ ) を流した状態で磁場発生コイル 112 c に交流電流  $I_{ca}$

cを流すことによってECR領域の位置200を変化させた場合、交流電流I<sub>cac</sub>の1周期に期間において、ECR領域の位置200がRIE領域106にある時間がラジカル領域105にある時間より長くなる。ラジカル領域105にある時間がRIE領域106にある時間より長くなる。

[0050] したがって、制御部130で制御して、直流コイル電流電源113aにより磁場発生コイル112aに流す電流と直流コイル電流電源113bにより磁場発生コイル112bに流す電流とを、磁場発生コイル112cに流れる交流電流I<sub>cac</sub>の周期に同期させて1周期の間にI<sub>aL</sub>とI<sub>aH</sub>との間、I<sub>bL</sub>とI<sub>bH</sub>との間でそれぞれ切替えることで、それぞれの直流電流を切り替えない場合と比べてECR領域の位置200を周期的にラジカル領域105とRIE領域106との間で効率よく(比較的短時間で)移動させることができる。

[0051] すなわち、制御部130で直流コイル電流電源113aと113b及び交流電源114を制御することにより、マイクロ波と磁場との相互作用により生じたECR領域の位置200を周期的に変化させることができ、交流コイル電流電源114により磁場発生コイル112cに流れる交流電流I<sub>cac</sub>の一周期の間に、ECR領域の位置200を、イオン遮蔽板104の上方のラジカル領域105からイオン遮蔽板104の下方のRIE領域106との間で移動させることができる。

[0052] 本実施例では、制御部130を用いてプラズマ生成領域がイオン遮蔽板104とシャワープレート102との間のラジカル領域105に位置するように磁場を調整し、ラジカルのみによる表面反応を主体とした等方性エッチングで試料116をエッチングするラジカルエッチングの期間と、プラズマ生成領域がイオン遮蔽板104と試料116の間のRIE領域106に位置するように磁場を調整し、イオンとラジカルの両方を用いた異方性エッチングで試料116を垂直方向にエッチングするRIEの期間とを所定の回数繰り返す。

[0053] なおこの時、処理室100内にはプラズマ生成のためにNF<sub>3</sub>/HBrの混

合ガスを導入する。この混合ガスを用いた場合、試料 1 1 6 の表面に形成されたパターンが R I E ではテーパ形状にエッチングされ、同ガス系でイオンを遮蔽したラジカルエッチングにおいてもエッチングが進行することが特徴である。

[0054] 図 5 は、本実施例に係る R I E 時間比率の制御により疎密部分のエッチング形状を独立制御可能なことを示すエッチング形状の概略図である。

[0055] 図 5 の ( a ) に示すように、パターンの密な部分 5 3 2 のエッチング形状は R I E 時間比率を 2 5 % から 1 0 0 % まで変化させてもほとんど変化しないが、図 5 の ( b ) に示すように、パターンの疎な部分 5 3 3 のエッチング形状は R I E 時間比率を 2 5 % から 1 0 0 % まで変化させることで大きく変化する。

[0056] これより、R I E 時間比率を制御することにより、パターンが疎な部分とパターンが密な部分とのエッチング形状を独立に制御することが可能であることが分かる。

[0057] 図 6 は、本実施例に係る R I E 時間比率の制御により疎密部分のテーパ角を揃えることが可能なことを示すグラフである。6 0 1 は、図 5 のパターンの密な部分 5 3 2 蜜パターンのテーパ角の R I E 時間比率依存性を示し、6 0 2 は、図 5 のパターンの疎な部分 5 3 3 に対応する疎パターンのテーパ角の R I E 時間比率依存性を示す。

[0058] 図 5 の概略図からテーパ角を計測し、グラフに表したものが図 6 である。パターンの密な部分のテーパ角 6 0 1 は R I E 時間比率を変化させてもほとんど変化しないが、パターンの疎な部分のテーパ角 6 0 2 は R I E 時間比率を下げることで 9 0 度、すなわち垂直な形状に近づき、パターンの密な部分のテーパ角 6 0 1 に近づくことが分かる。

[0059] 図 6 より、パターンの疎な部分と密な部分のエッチング後のテーパ角を揃えるため、R I E 時間比率は 5 0 % 未満とすることが望ましいことがわかる。すなわち、制御部 1 3 0 で電磁波発生用電源 1 1 0、直流コイル電流電源 1 1 3 a および 1 1 3 b、交流コイル電流電源 1 1 4 を制御して、所望のエ

ッチング形状が得られるようR I E時間比率（R I Eとラジカルエッチングの合計処理時間に対するR I Eの処理時間の比率）をR I Eがラジカルエッチングよりも短く、50%未満となるよう制御することが望ましい。

[0060] つぎに、プラズマ処理装置10を用いたプラズマ処理方法について、図7のフロー図を用いて説明する。

[0061] まず、半導体基板の表面にGAA（Gate All Around）構造を形成するため、試料としての試料116を処理室100内の基板電極115に載置する工程を実施する（S701）。

[0062] 次に、圧力調整弁117および真空排気装置118により、処理室100の圧力を制御する工程を実施する（S702）。

[0063] 次に、処理室100のシャワープレート102と誘電体窓103との間の領域に、プラズマエッチング処理を行うための複数のガスを混合させて生成したエッチングガスを、ガス供給装置107からガス供給管1071を通して供給する工程を実施する（S703）。

[0064] 次に、電磁波発生用電源110、直流コイル電流電源113aおよび113b、交流コイル電流電源114を動作させて、図3Aに示されるように、ECR領域の位置200をイオン遮蔽板104に対して上側のラジカル領域105に設定してラジカル領域105内に第1の所定の時間プラズマを生成する（S704）。この状態でラジカル領域105で発生したラジカルは、イオン遮蔽板104の周辺に形成された多数の貫通孔1041を通過してR I E領域106の側に供給され、試料116はラジカルエッチング（等方性エッチング）によりプラズマ処理される。

[0065] 次に、電磁波発生用電源110、直流コイル電流電源113aおよび113b、交流コイル電流電源114を動作させて、図3Bに示されるように、ECR領域の位置200をイオン遮蔽板104に対して下側のR I E領域106に設定してR I E領域106内に第2の所定の時間プラズマを生成する（S705）。ECR領域で発生したプラズマと試料116との間に遮るものはないため、プラズマからのイオンとラジカルの両方が試料116に供給

され、試料 116 は R I E（異方性エッチング）によりプラズマ処理される。

[0066] この S 7 0 4 のステップの処理と S 7 0 5 のステップの処理とを交互に所定の回数繰り返す（S 7 0 6）。

[0067] S 7 0 4 のステップの処理と S 7 0 5 のステップの処理とを交互に所定の回数繰り返した後（S 7 0 6 で Y e s）、電磁波発生用電源 110、直流コイル電流電源 113 a および 113 b、交流コイル電流電源 114 の動作を停止してガス供給装置 107 からのエッチングガスの供給を停止する（S 7 0 7）。

[0068] 次に基板電極 115 に載置されている試料 116 を取り出して（S 7 0 8）、一連の処理を終了する。

[0069] なお、S 7 0 4 のラジカルエッチング（等方性エッチング）の工程と、S 7 0 5 の R I E（異方性エッチング）の工程において、制御部 130 で制御して、電磁波発生用電源 110 から供給する高周波電力をそれぞれのプロセスに適した値に切替えるようにしてもよい。

[0070] 本実施例によれば、以下のような効果を得ることができる。

[0071] 1) 一台のプラズマ処理装置 10 で、イオンとラジカルを供給する異方性エッチング加工とラジカルのみを供給する等方性エッチング加工の両方を実現できる。

[0072] 2) イオンとラジカルを供給する異方性エッチング加工において、イオンとラジカルの密度の比をより直接的に制御できる技術を提供できる。

[0073] 3) ラジカルとイオンを供給し加工を行う異方性エッチングにおいて、試料（半導体基板）の表面に供給されるラジカル密度を高精度に制御できるので、高精度なプラズマエッチング技術が提供できる。

[0074] 4) 同一ウェハ内のパターンの疎な部分と密な部分のエッチング形状を独立制御でき、パターンの粗密な部分を均一にエッチングすることができる。

[0075] 本実施例では 3 つの磁場発生コイル 112 a、112 b および 112 c と

したが、この数に限定されるものでは無い。複数の磁場発生コイルがある場合に、イオン遮蔽板 104 に近いものから順に交流のコイル電流電源を接続し、残りの磁場発生コイルには直流のコイル電流電源を接続すればよい。

[0076] 一般に、プラズマ処理室内の磁場を高周波の電源を用いて変えた場合、プラズマ中に高周波の誘導電流が流れ、その誘導電流によりプラズマの生成が維持された誘導結合プラズマが生成される恐れがある。その場合、ECR によるプラズマの生成とは異なるプラズマが生成されるため、ECR 領域位置の制御を通じたプラズマ生成位置の制御は出来なくなる。そのため、交流コイル電流電源の周波数は誘導結合プラズマが生成しない様、1 kHz 以下の周波数を用いるのが良い。

[0077] また、図 4 A、図 4 B において交流コイル電流電源 114 の出力は正弦波を図示しているが、正弦波に限定されるものでは無い。正弦波以外にも方形波など周期的に変化する波形を出力できる交流電源であれば良い。

[0078] [変形例]

図 8 は実施例 1 の変形例に係るプラズマ処理装置 11 の全体構成の概略を示す縦断面図である。実施例 1 では、磁場発生コイル 112 a 乃至 112 c に印加する電流を変化させることで ECR 領域位置の制御を制御したが、本変形例では、電磁波発生用電源の周波数を切り替えることで ECR 領域位置の制御を制御するようにした。

[0079] 実施例 1 で説明したプラズマ処理装置 10 と同じ構成については、同じ部品番号を付す。本変形例は、実施例 1 で説明した電磁波発生用電源（高周波電源）110 を、可変周波数電磁波発生用電源（可変周波数高周波電源とも言う）301 と置き換え、実施例 1 の制御部 130 を制御部 230 に置き換え、実施例 1 の交流コイル電流電源 114 を直流コイル電流電源 113 c に置き換えて構成したものである。

[0080] 可変周波数電磁波発生用電源 301 から発振させた電磁波は電磁波整合器 111 を通して伝送され、導波管 108 から伝播してきた電磁波によって処理室 100 の空洞共振器 109 内に特定のモードの定在波が形成される。

- [0081] 本変形例において可変周波数電磁波発生用電源301より発振される可変周波数の電磁波の周波数範囲は特に限定されないが、本変形例では1.80GHzから2.45GHzのマイクロ波とした。処理室100の外周部には、磁場発生コイル112a、112bおよび112cが設けてあり、その電流を制御するため磁場発生コイル112a、112bおよび112cには直流コイル電流電源113a、113bおよび113cがそれぞれ接続されている。磁場発生コイル112a、112bおよび112cと直流コイル電流電源113a、113bおよび113cは、磁場形成機構とすることができる。
- [0082] 可変周波数電磁波発生用電源301より発振された電力は、磁場発生コイル112a、112bおよび112cにより形成された磁場との電子サイクロトロン共鳴（ECR: Electron Cyclotron Resonance）により、処理室100内にプラズマを生成する。
- [0083] 1.80GHzから2.45GHzの電磁波とECRを起こしてプラズマを生成するには、0.0643Tから0.0875Tの磁場が必要である。処理室100内の各周波数に対応した共鳴を起こす磁場強度になっている領域をECR領域とする。その強い磁場を発生させるため、磁場発生コイル112a、112bおよび112cは100~1000mHの自己インダクタンスを持ったものが使われ、直流コイル電流電源113a、113bおよび113cは10~60A程度の電流を供給できるようになっている。
- [0084] 制御部230で複数の直流コイル電流電源113a乃至113cからそれぞれに接続された磁場発生コイル112a、112bおよび112cへ供給する電流値を制御することによって、処理室100内のECR領域の位置を精密に制御し、試料116に対するプラズマ生成位置を移動させる事ができる。
- [0085] また磁場発生コイル112aおよび112bはイオン遮蔽板104よりも上に位置するため、これら磁場発生コイル112aおよび112bによって作られる磁場強度は、磁場発生コイル112aおよび112bに近いラジカ

ル領域105の方がR1E領域106よりも強くなる様にしている。

[0086] これは、プラズマが生成されているECR領域まで電磁波を伝搬させたい場合、電磁波の入射方向からECR領域に向かって磁場が弱くなる様に設定した方が良いためである。ECR領域からみて導波管108の方向、つまりR1E領域106から見てラジカル領域105の方向に磁場が強くなる様にするためである。

[0087] 実施例1においても説明したように、処理室100は、シャワープレート102と試料116との間にイオン遮蔽板104を備えており、イオン遮蔽板104より上のラジカル領域105とイオン遮蔽板104より下のR1E領域106の2つに分かれている。

[0088] ラジカル領域105内にECR領域の位置200を設定してプラズマを生成した場合、試料116とプラズマとの間にイオン遮蔽板104があるため、イオン遮蔽板104の効果により試料116にはプラズマからのイオンは到達せずラジカルのみが供給され、試料116はラジカルエッチングによりプラズマ処理される。

[0089] R1E領域106内にECR領域の位置200を設定してプラズマを生成した場合、プラズマと試料116との間に遮るものはないためプラズマからのイオンとラジカルの両方がともに試料116に供給され、試料116はR1Eによりプラズマ処理される。

[0090] ガス供給装置107、圧力調整弁117、可変周波数電磁波発生用電源301、直流コイル電流電源113および高周波電源120には制御部230が接続されており、プラズマ処理装置をプロセス条件にあわせて制御している。複数のプラズマ処理ステップからなるプロセス条件の場合、各処理ステップにあわせて順に各装置パラメータを制御部230が制御することで試料116のエッチング処理を行う。

[0091] 本変形例ではイオン遮蔽板104の上側にECR領域の位置を持ってきた場合はラジカルのみが試料116に供給され、イオン遮蔽板104の下側にECR領域の位置を持ってきた場合はラジカルとイオンの両方がともに試料

116に供給されることを利用し、ECR領域の位置をこの2つの領域（105、106）間で周期的に設定することで、イオンとラジカルの密度比を制御した反応性イオンエッチングを行う。

[0092] 通常のRIEでは、100%の時間をRIE領域106でプラズマを生成している。それに対し、RIE領域106でのプラズマ生成に加え、ラジカル領域105でのプラズマ生成を行う事で、イオンとラジカルがともに試料116に供給されている時間に加えてラジカルのみが試料116に供給されている時間を作ることが出来る。

[0093] 周期的にRIE領域106とラジカル領域105とでプラズマを生成する領域を切り替えることで、全体としてはイオン密度を下げ、ラジカル密度比を上げたRIEを行うことが出来る。また、RIE領域106でプラズマを生成している時間のみイオンが試料116に供給されるため、試料116に供給されるイオン量はECR領域の位置を周期的に切り替えている1周期のうちRIE領域106に設定している時間の割合に比例することになる。

[0094] ECR領域の位置をRIE領域106に設定している時間を増加させるとイオンの比率が上昇し、ECR領域の位置をラジカル領域105に設定している時間を増加させるとラジカルの比率が上昇するため、1周期のうちのRIE領域106にECR領域の位置を設定している時間とラジカル領域にECR領域の位置を設定している時間との比率によってイオンとラジカルの密度の比を変えることが出来る。

[0095] 周期的なECR領域の位置の制御およびラジカル領域105とRIE領域106とにECR領域の位置を設定している時間の比を変化させるには、直流コイル電流電源113a、113bおよび113cから出力される電流によって、可変周波数電磁波発生用電源301の周波数範囲の中心の周波数、たとえば1.80GHzから2.45GHzの場合は中心周波数2.13GHzに対応するECR領域の位置を設定し、その磁場に対して可変周波数電磁波発生用電源301の出力周波数を変えることによってECR領域の位置を上下させる事により行う。

- [0096] 図9A、図9Bに直流コイル電流電源113a、113bおよび113cにより中心周波数に対応するECR領域の位置200を設定する例を示す。なお、ここで、ECR領域の位置は、ECR領域の中心となる位置と見なすことも可能である。
- [0097] 磁場発生コイル112a、112bおよび112cによって作られる磁場はラジカル領域105からRIE領域106に向かって弱くなり、またECR領域の磁場強度よりも強い磁場を真空容器101の上部に作るため、電流が大きいほどECR領域は真空容器101の下方に移動する。
- [0098] そのため図9Aの直流コイル電流電源113a、113bおよび113cの各電流が小さい場合 ( $I_{aL}$ 、 $I_{bL}$ 、 $I_{cL}$ ) に作られるECR領域の位置200はイオン遮蔽板104より上側のラジカル領域105にあり、図9Bの直流コイル電流電源113a、113bおよび113cの電流が大きい場合 ( $I_{aH} > I_{aL}$ 、 $I_{bH} > I_{bL}$ 、 $I_{cH} > I_{cL}$ ) に作られるECR領域の位置200はイオン遮蔽板104より下側のRIE領域106にある。
- [0099] 図10A、図10Bに磁場発生コイル112a、112bおよび112cで設定した中心周波数のECR領域の位置200に対して可変周波数電磁波発生用電源301の周波数によってECR領域の位置を上下させた例を示す。
- [0100] 図10Aには、ECR領域の位置200の上限Uと下限Lおよびイオン遮蔽板104の位置とそれに対応する各周波数 ( $f_U$ 、 $f_L$ 、 $f_P$ ) とを示す。周波数が中心周波数  $f_c$  よりも低い場合に共鳴に必要な磁場強度も弱くなるため、周波数が低くなった場合にECR領域の位置は真空容器101の下方に移動し、中心周波数よりも高くなった場合に上方に移動する。図10Aに示すように直流コイル電流電源113a、113bおよび113cによって中心周波数  $f_c$  に対応するECR領域の位置200がラジカル領域105に設定されている場合は、ECR領域の位置がラジカル領域105にある時間がRIE領域106にある時間より長くなる。

- [0101] 図10Bに示すように直流コイル電流電源113a、113bおよび113cによって中心周波数 $f_c$ に対応するECR領域の位置がRIE領域106に設定されている場合はRIE領域106にある時間がラジカル領域105にある時間より長くなる。
- [0102] 可変周波数電磁波発生用電源301の周波数を周期的に変化させることで、磁場強度は変化させずに周期的にECR領域の位置をラジカル領域105とRIE領域106とを移動させることができる。つまり、制御部230で可変周波数電磁波発生用電源301を制御することにより、マイクロ波と磁場との相互作用により生じたECR領域の位置200を周期的に変化させることができる。これにより、一周の間、ECR領域の位置200は、イオン遮蔽板104の上側からイオン遮蔽板104の下側またはイオン遮蔽板104の下側からイオン遮蔽板104の上側へ移動させることができる。
- [0103] 本変形例によるプラズマ処理装置11を用いたプラズマ処理方法は、実施例1において図7を用いて説明した処理の流れと同じであるので、その詳細な説明は省略する。ただし、本変形例における、S704のラジカル領域に第1の所定の時間プラズマを生成する工程と、S705のRIE領域に第2の所定の時間プラズマを生成する工程とにおいて、可変周波数電磁波発生用電源301の周波数を周期的に変化させることでECR領域を変化させている点の実施例1の場合と異なる。
- [0104] 本変形例によれば、イオンとラジカルを供給する異方性エッチング加工において、イオンとラジカルとの密度比をより直接的に制御できる技術を提供できる。
- [0105] また、実施例1で説明した構成と上記に説明した変形例で説明した構成とを組み合わせるものとして、変形例で説明したプラズマ処理装置11において、直流コイル電流電源113cを実施例1で説明した交流コイル電流電源114へ変更した構成としてもよい。この場合、異方性エッチング加工において、イオンとラジカルとの密度比が所望となるように、可変周波数電磁波発生用電源301の周波数と交流コイル電流電源114の周波数とを設置する

必要がある。

[0106] また、変形例で説明したプラズマ処理装置 11 において、可変周波数電磁波発生用電源 301 と実施例 1 の電磁波発生用電源 110 との両方を設ける構成としてもよい。この場合、等方性エッチングを行うときには、図 9 A に示した構成で、可変周波数電磁波発生用電源 301 に替えて電磁波発生用電源 110 を動作させる。また、異方性エッチングを行うときには、図 9 B に示した構成で、可変周波数電磁波発生用電源 301 に替えて電磁波発生用電源 110 を動作させる。一方、イオンとラジカルとの密度比を高精度に制御した異方性エッチングを行う場合は、図 10 A、図 10 B に示すように、可変周波数電磁波発生用電源 301 を動作させる。

[0107] これにより、一台のプラズマ処理装置で、イオンとラジカルを供給する異方性エッチング加工とラジカルのみを供給する等方性エッチング加工の両方を実現できる。

## 実施例 2

[0108] 本発明の第 2 の実施例を、図 11 及び図 12 を用いて説明する。

実施例 1 においては、図 7 の処理フロー図に示したように、ECR 領域を切り替えることで試料の表面に形成されたパターンの疎密部分のエッチング形状を独立制御可能にしたが、本実施例においては、これに加えて、ECR 領域の切り替えに応じて混合ガスの混合比も切替える構成とした。

[0109] 図 11 に示した本実施例に係るプラズマ処理装置 20 の構成は、実施例 1 において図 1 を用いて説明したプラズマ処理装置 10 の構成に対して、ガス供給装置 107 の構成と制御部 130 が異なる。その他の構成は実施例 1 の場合と同じであるので、同じ番号を振って、その詳細な説明は省略する。

[0110] 図 11 に示したプラズマ処理装置 20 の構成においては、ガス供給装置 1107 と 1108 とを備え、ガス供給装置 1107 と 1108 とから供給されるガスの混合比を制御装置 1130 で調整することにより、ガス供給管 1171 から、ステップに応じて混合比が調整された混合ガスをシャワープレート 102 と誘電体窓 103 との間の領域 1020 に供給するようにした。

- [0111] エッチング処理中に、ECR領域をイオン遮蔽板104の上のラジカル領域と、イオン遮蔽板104よりも下のRIE領域106とに切替えて、ラジカル反応を主体としたエッチング処理とイオンとラジカルを用いたエッチング処理と交互に実行することは、実施例1又は実施例1の変形例の場合と同様である。
- [0112] 本実施例においては、ラジカル反応を主体としたエッチング処理とイオンとラジカルを用いたエッチング処理とにおいて、処理室100に供給する混合ガスを構成する複数のガス（ $\text{NF}_3$ /HBrなど）の混合比を切り替えるようにした点が、実施例1と異なる。
- [0113] すなわち、本実施例においては、制御装置1130でガス供給装置1107と1108とを制御して、ラジカル反応を主体としたエッチング処理の工程に対して、イオンとラジカルを用いたエッチング処理の工程における $\text{NF}_3$ ガスに対するHBrガスの混合比を切り替えるようにした。
- [0114] 本実施例に係るエッチング処理の流れを、図12を用いて説明する。  
まず、半導体基板の表面にGAA構造を形成するため、試料としての試料116を処理室100内の基板電極115に載置する工程を実施する（S1201）。
- [0115] 次に、圧力調整弁117を介して真空排気装置118により処理室100の内部を排気して、処理室100の圧力を制御する工程を実施する（S1202）。
- [0116] 次に、処理室100のシャワープレート102と誘電体窓103との間の領域に、ガス供給装置1107と1108から供給するプラズマエッチング処理を行うためのエッチングガスを、ラジカルエッチング処理に適した第1の混合比に調整した状態で、ガス供給管1171から供給する工程を実施する（S1203）。
- [0117] 次に、電磁波発生用電源110、直流コイル電流電源113、交流コイル電流電源114を動作させて、図3Aに示されるように、ECR領域の位置200をイオン遮蔽板104に対して上のラジカル領域105に設定してラ

ジカル領域105内に第1の所定の時間プラズマを生成する(S1204)。この状態でラジカル領域105で発生したラジカルは、イオン遮蔽板104の周辺に形成された多数の貫通孔1041を通過してRIE領域106の側に供給され、試料116はラジカルエッチング(等方性エッチング)によりプラズマ処理される。

[0118] 次に、処理室100のシャワープレート102と誘電体窓103との間の領域に、ガス供給装置1107と1108から供給するプラズマエッチング処理を行うためのエッチングガスを、RIE(異方性エッチング)に適した第2の混合比に調整した状態で、ガス供給管1171から供給する工程を実施する(S1205)。

[0119] 次に、電磁波発生用電源110、直流コイル電流電源113、交流コイル電流電源114を動作させて、図3Bに示されるように、ECR領域の位置200をイオン遮蔽板104に対して下のRIE領域106に設定してRIE領域106内に第2の所定の時間プラズマを生成する(S1206)。ECR領域で発生したプラズマと試料116との間に遮るものはないため、プラズマからのイオンとラジカルの両方が試料116に供給され、試料116はRIE(異方性エッチング)によりプラズマ処理される。

[0120] このS1203のステップからS1206のステップの処理までを所定の回数繰り返す(S1207)。

[0121] S1203のステップからS1206のステップまでの処理を所定の回数繰り返した後(S1207でYes)、電磁波発生用電源110、直流コイル電流電源113、交流コイル電流電源114の動作を停止してガス供給装置1107及び1108からのエッチングガスの供給を停止する(S1208)。

[0122] 次に基板電極115に載置されている試料116を取り出して(S1209)、一連の処理を終了する。

[0123] なお、S1204のラジカルエッチング(等方性エッチング)の工程と、S1206のRIE(異方性エッチング)の工程において、制御装置113

0で制御して、電磁波発生用電源110から供給する高周波電力をそれぞれのプロセスに適した値に切替えるようにしてもよい。

[0124] 本実施例によれば、実施例1で説明した効果に加えて、同一ウェハ内のパターンの疎な部分と密な部分のエッチング形状を独立に効率よく制御でき、パターンの粗密な部分を均一にエッチングすることができる。

[0125] なお、本実施例においても、実施例1の変形例で説明したような構成を適用することが可能である。

[0126] 上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、本発明は、上記した実施例に限定されるものではなく、種々変更可能であることはいうまでもない。

### 符号の説明

- [0127] 10、11、20：プラズマ処理装置
- 100：処理室
  - 101：真空容器
  - 102：シャワープレート
  - 103：誘電体窓
  - 104：イオン遮蔽板
  - 1041：貫通孔
  - 105：ラジカル領域
  - 106：RIE領域
  - 107、1107、1108：ガス供給装置
  - 108：導波管
  - 109：空洞共振器
  - 110：電磁波発生用電源
  - 111：電磁波整合器
  - 112a、112b、112c：磁場発生コイル
  - 113a、113b、113c：直流コイル電流電源
  - 114：交流コイル電流電源

- 1 1 5 : 基板電極
- 1 1 6 : 試料
- 1 1 7 : 圧力調整弁
- 1 1 8 : 真空排気装置
- 1 1 9 : 高周波整合器
- 1 2 0 : 高周波電源
- 1 3 0、2 3 0 : 制御部
- 2 0 0 : E C R領域の位置
- 3 0 1 : 可変周波数電磁波発生用電源
- 1 0 7 1、1 1 7 1 : ガス供給管。

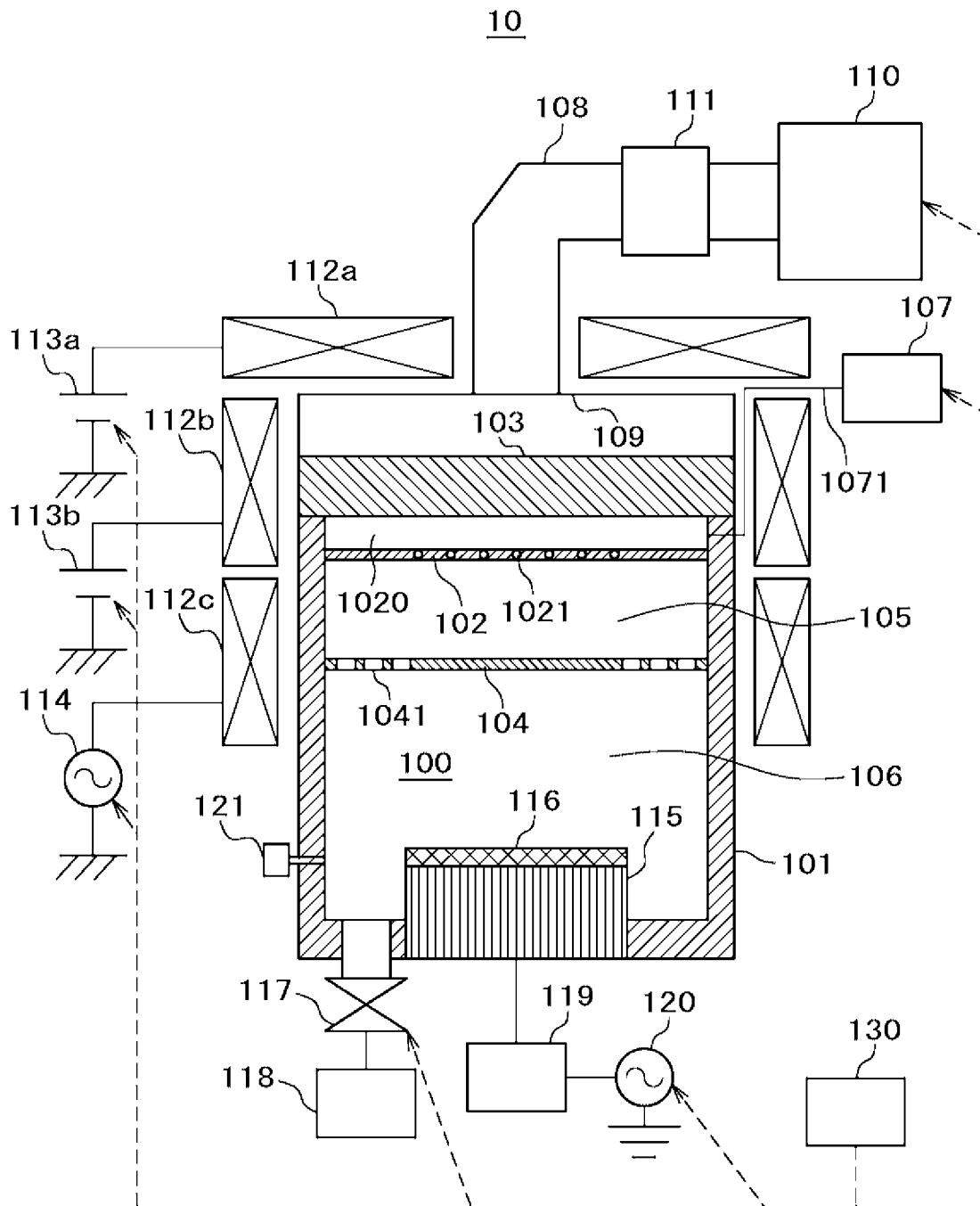
## 請求の範囲

- [請求項1]        テーパー形状となるガスを用いて `Reactive Ion Etching` を行う第一の工程と、  
ラジカルエッチングを行う第二の工程とを有し、  
前記第一の工程と前記第二の工程を所定回交互に繰り返し、  
前記第一の工程の時間が前記第二の工程の時間より短いことを特徴とするプラズマ処理方法。
- [請求項2]        請求項1に記載のプラズマ処理方法において、  
前記ガスは、 $\text{NF}_3$ ガスと $\text{HBr}$ ガスの混合ガスであることを特徴とするプラズマ処理方法。
- [請求項3]        請求項1に記載のプラズマ処理方法において、  
前記第二の工程は、前記ガスと同じガスを用いてプラズマを生成することを特徴とするプラズマ処理方法。
- [請求項4]        請求項1に記載のプラズマ処理方法において、  
前記第二の工程の時間に対する前記第一の工程の時間の割合は、50%未満であることを特徴とするプラズマ処理方法。
- [請求項5]        請求項1に記載のプラズマ処理方法において、  
マイクロ波と磁場との相互作用により生じた電子サイクロトロン共鳴の領域の位置を試料台へ載置された試料へのイオンの入射を遮蔽する遮蔽板の上方と下方とに周期的に変化させるように前記磁場を発生させる電源を制御することにより前記第一の工程と前記第二の工程を交互に繰り返すことを特徴とするプラズマ処理方法。
- [請求項6]        請求項5に記載のプラズマ処理方法において、  
前記ガスは、 $\text{NF}_3$ ガスと $\text{HBr}$ ガスの混合ガスであることを特徴とするプラズマ処理方法。
- [請求項7]        請求項6に記載のプラズマ処理方法において、  
前記第二の工程の時間に対する前記第一の工程の時間の割合は、50%未満であることを特徴とするプラズマ処理方法。

[請求項8]           請求項1に記載のプラズマ処理方法において、  
前記ガスは混合ガスであり、  
前記第一の工程における前記混合ガスを構成するガスの流量の割合と  
前記第二の工程における前記混合ガスを構成するガスの流量の割合は  
異なっていることを特徴とするプラズマ処理方法。

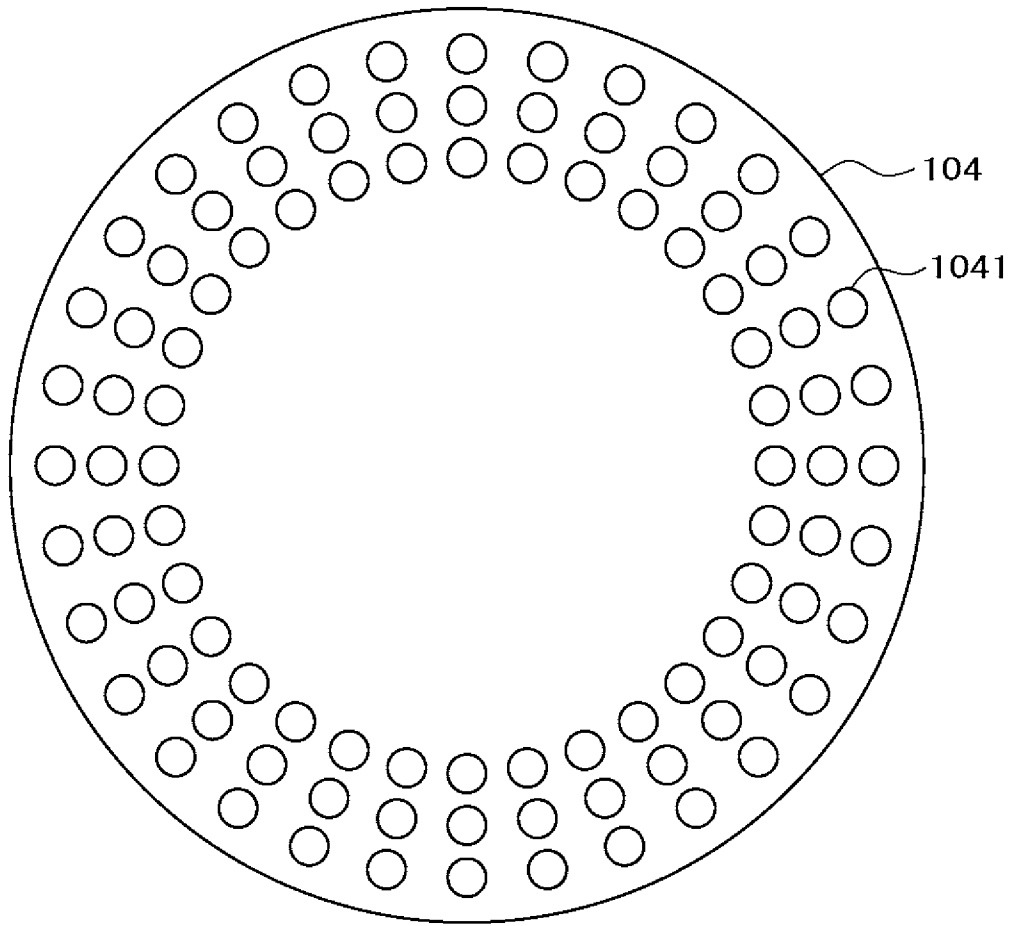
[図1]

図 1



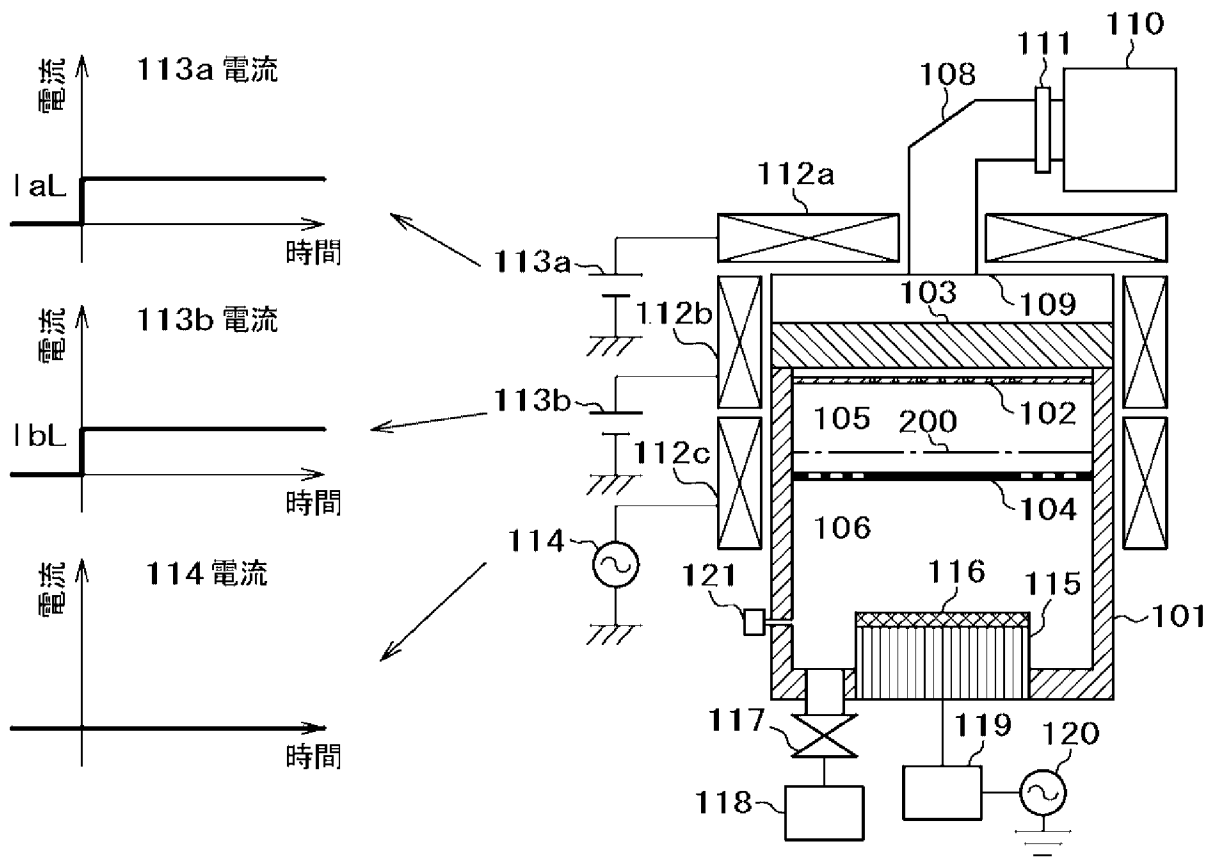
[図2]

図 2



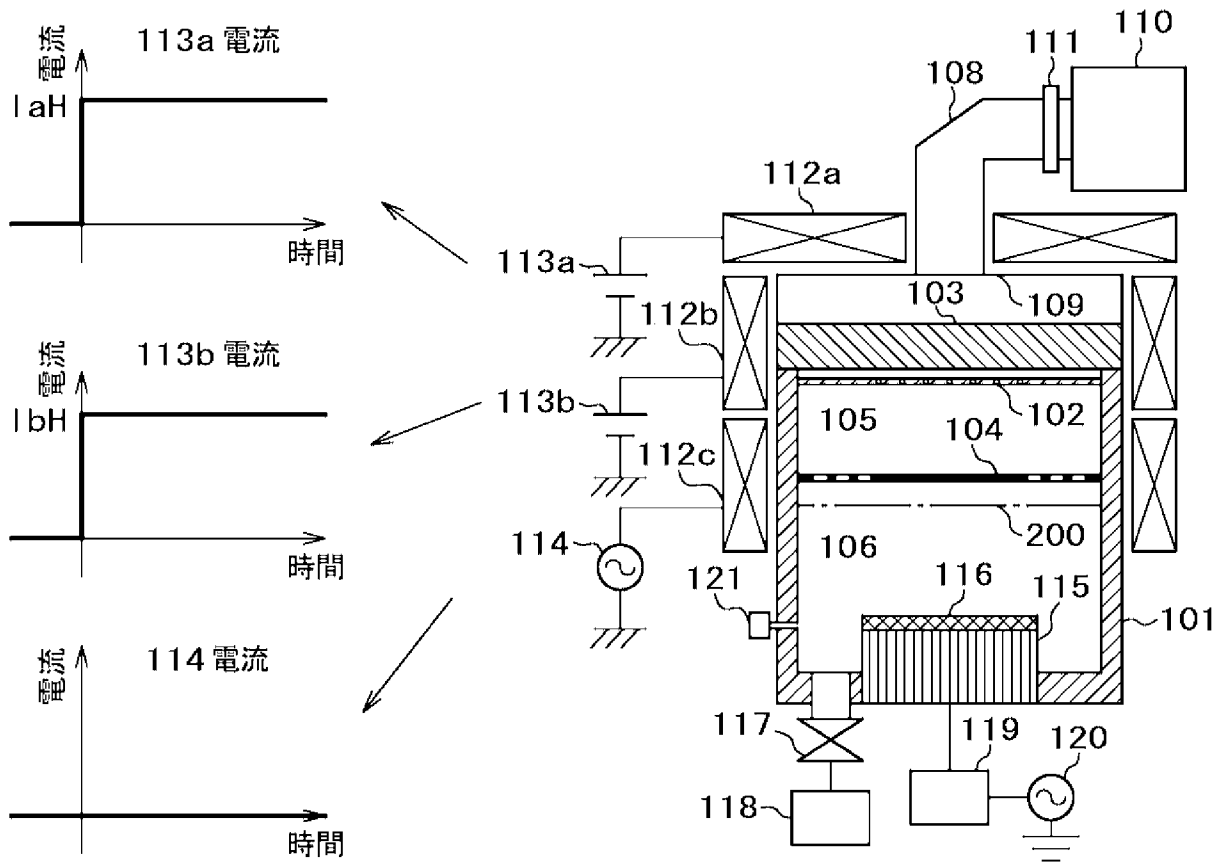
[図3A]

図3A



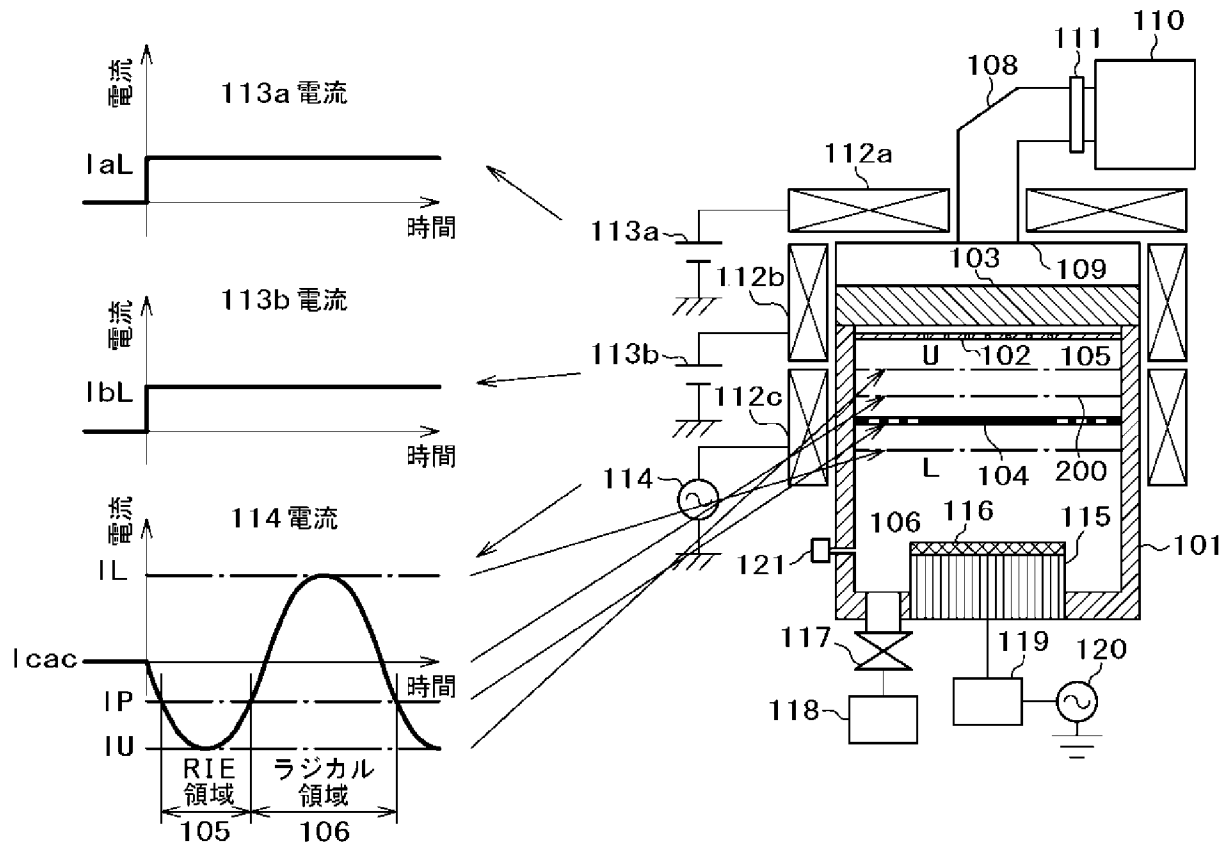
[図3B]

図 3 B



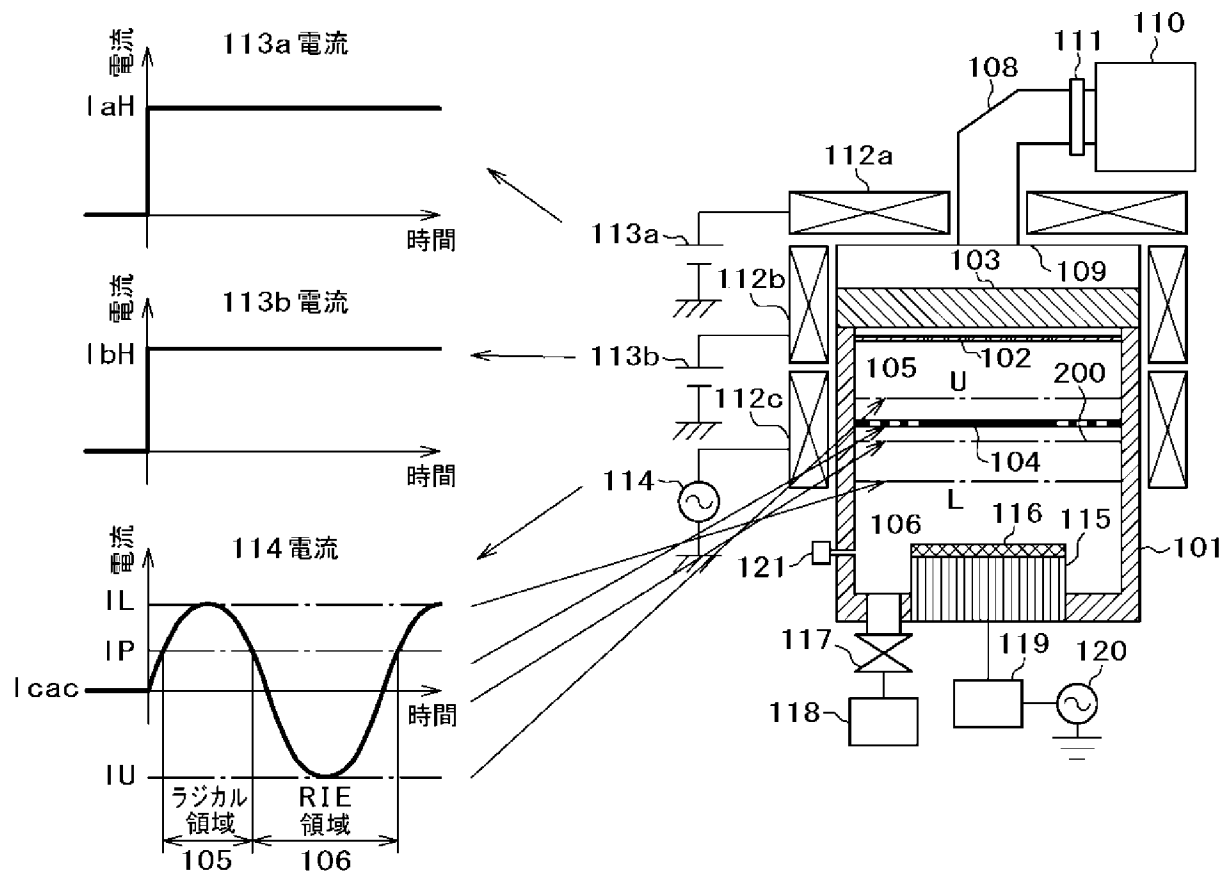
[図4A]

図 4 A



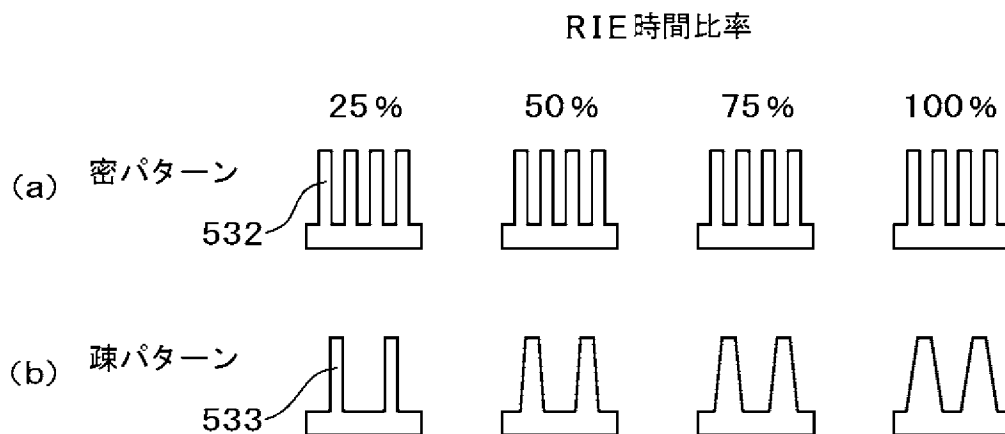
[図4B]

図 4 B



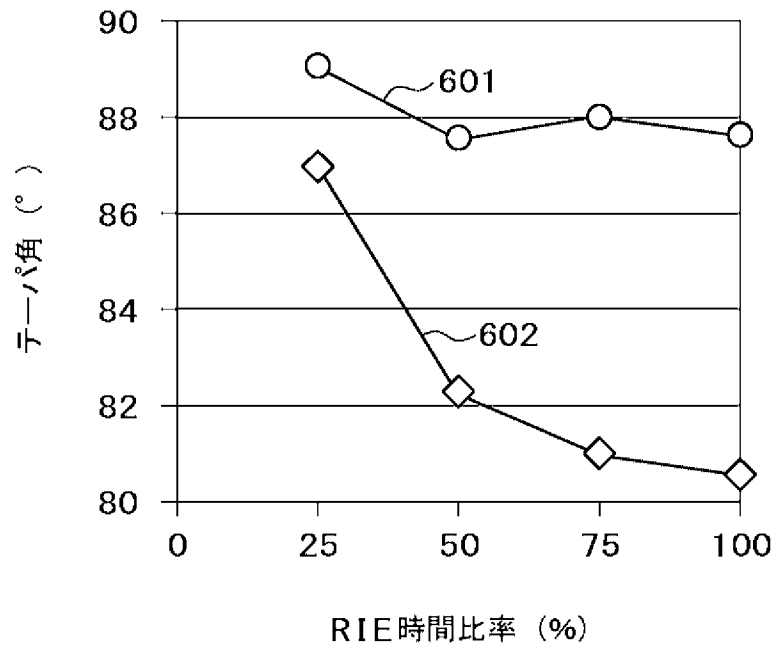
[図5]

図 5



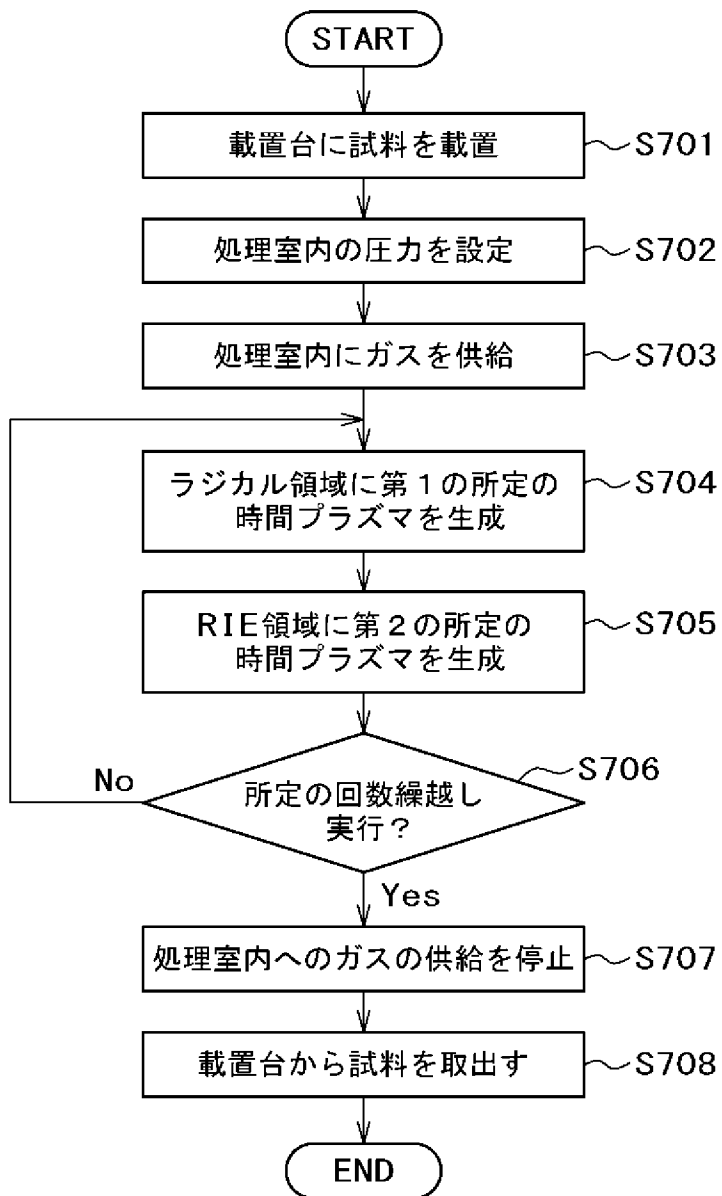
[図6]

図 6



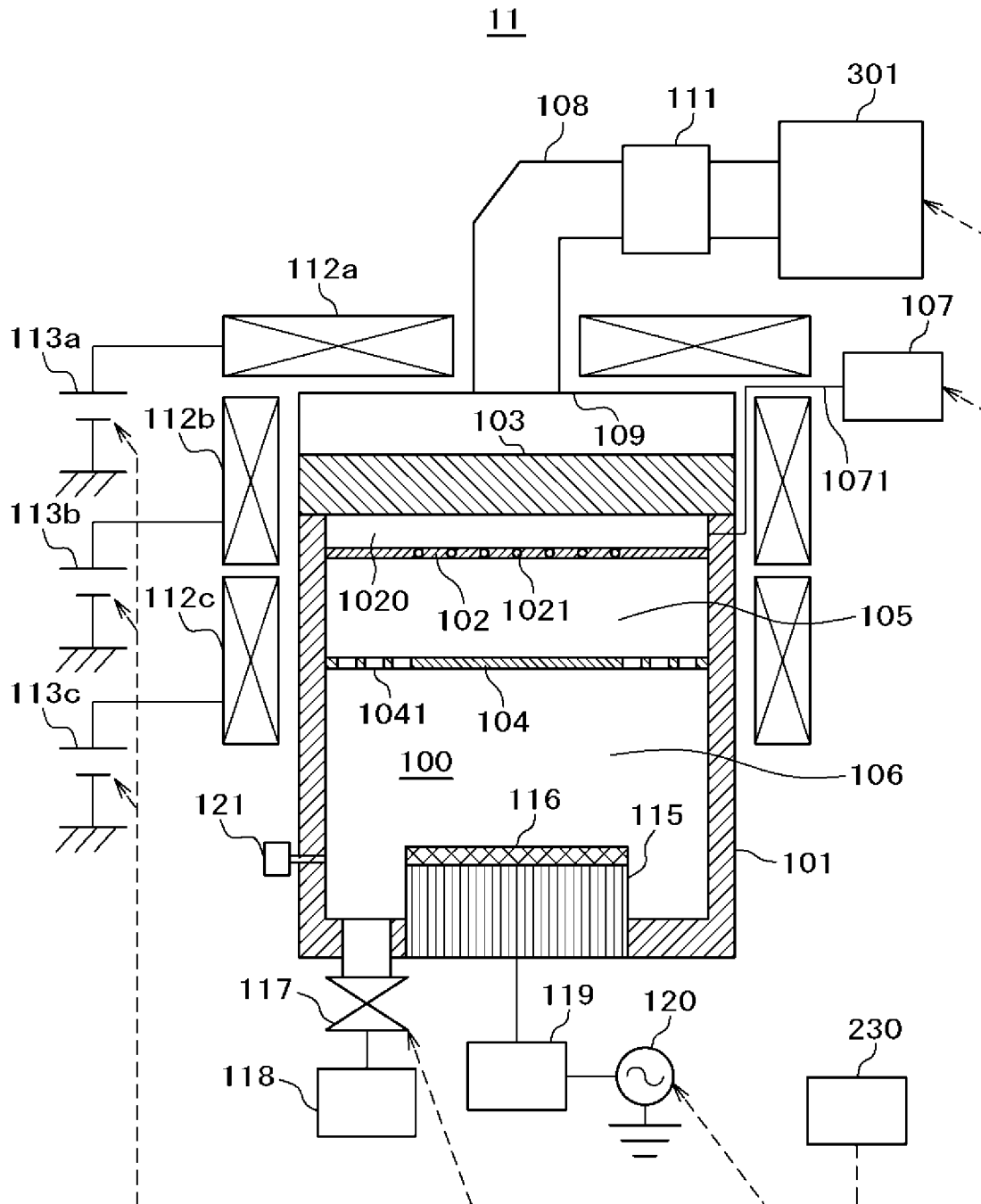
[図7]

図 7



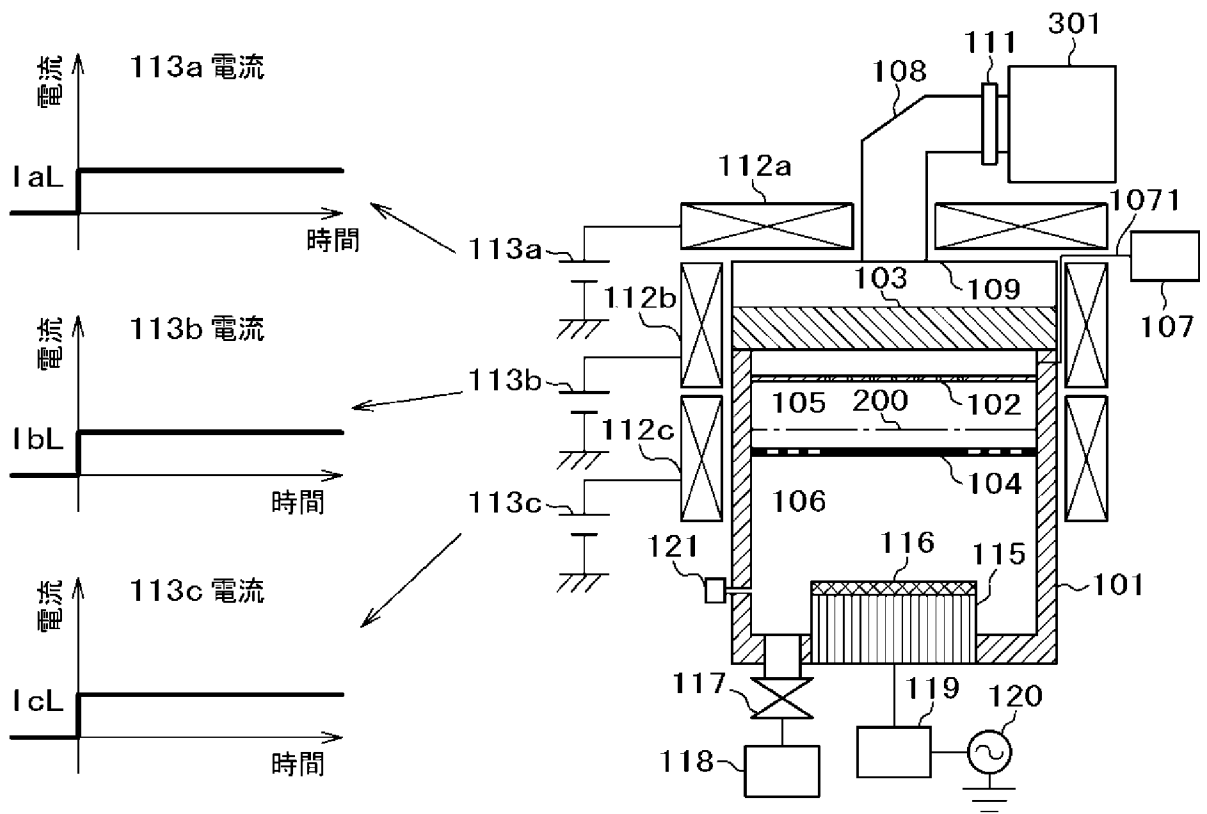
[図8]

図 8



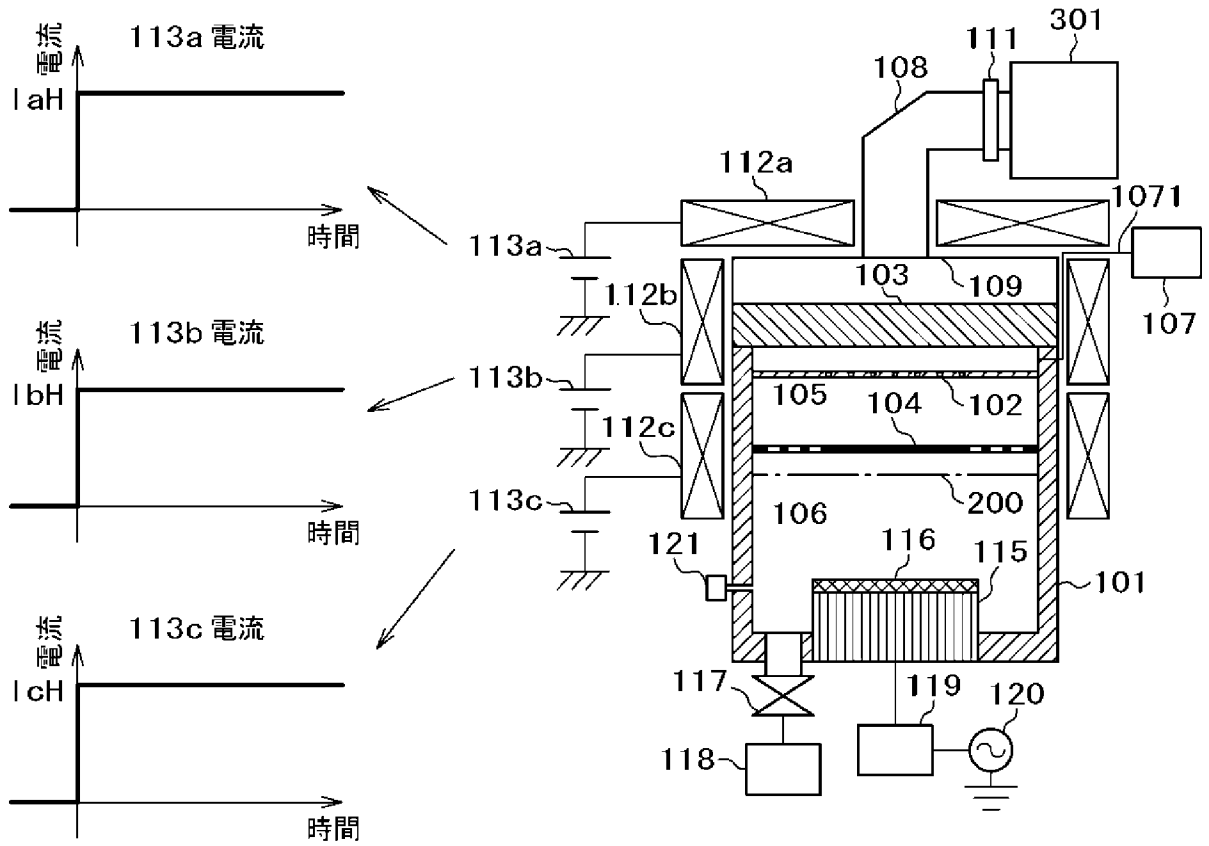
[図9A]

図9A



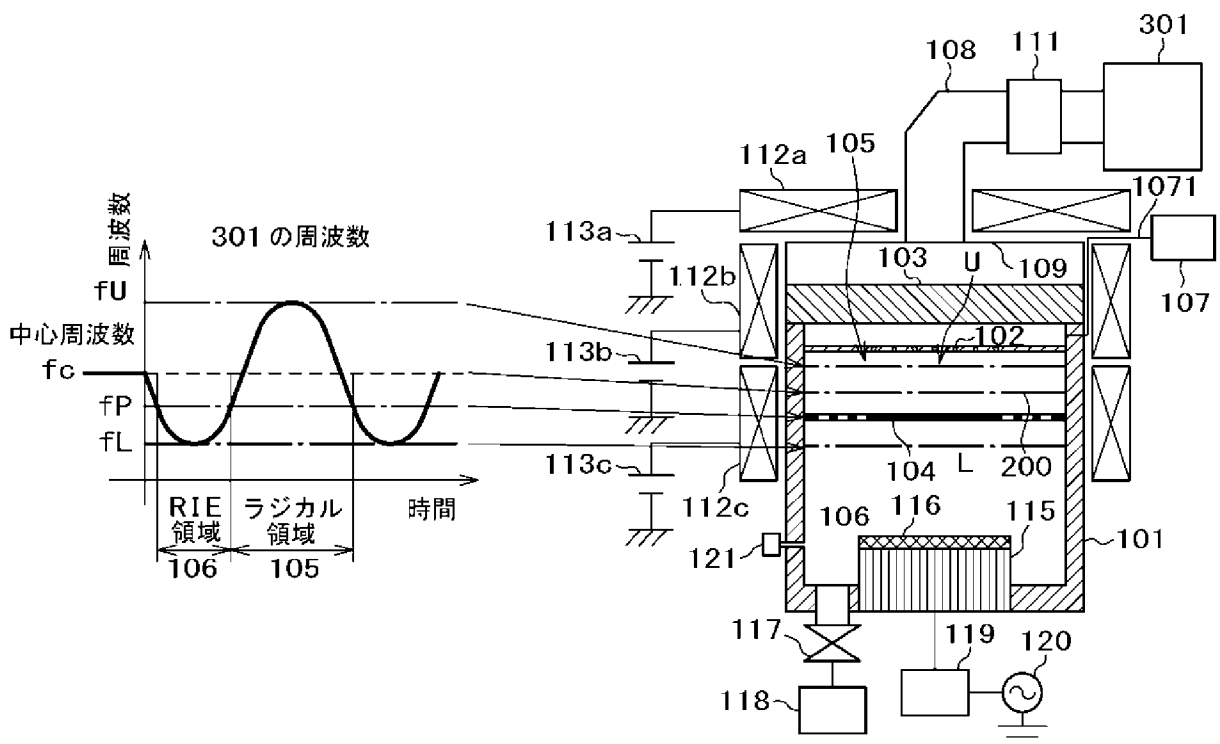
[図9B]

図 9 B



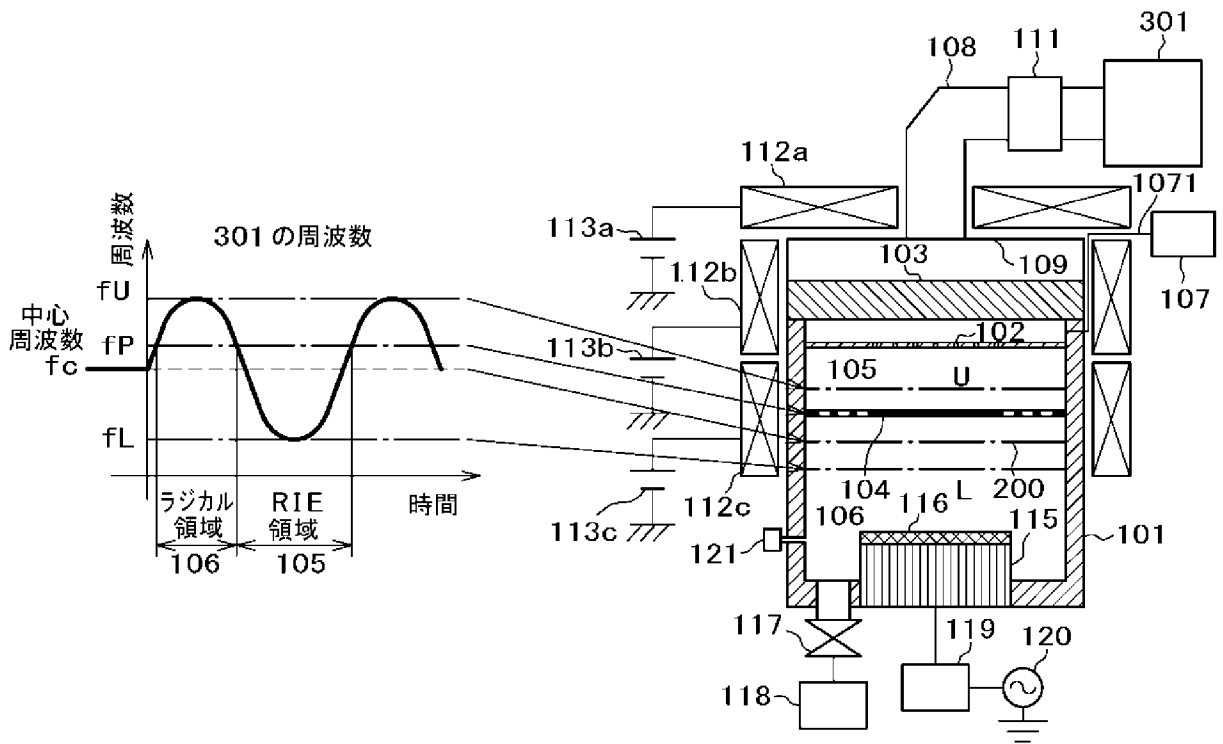
[図10A]

図 10 A



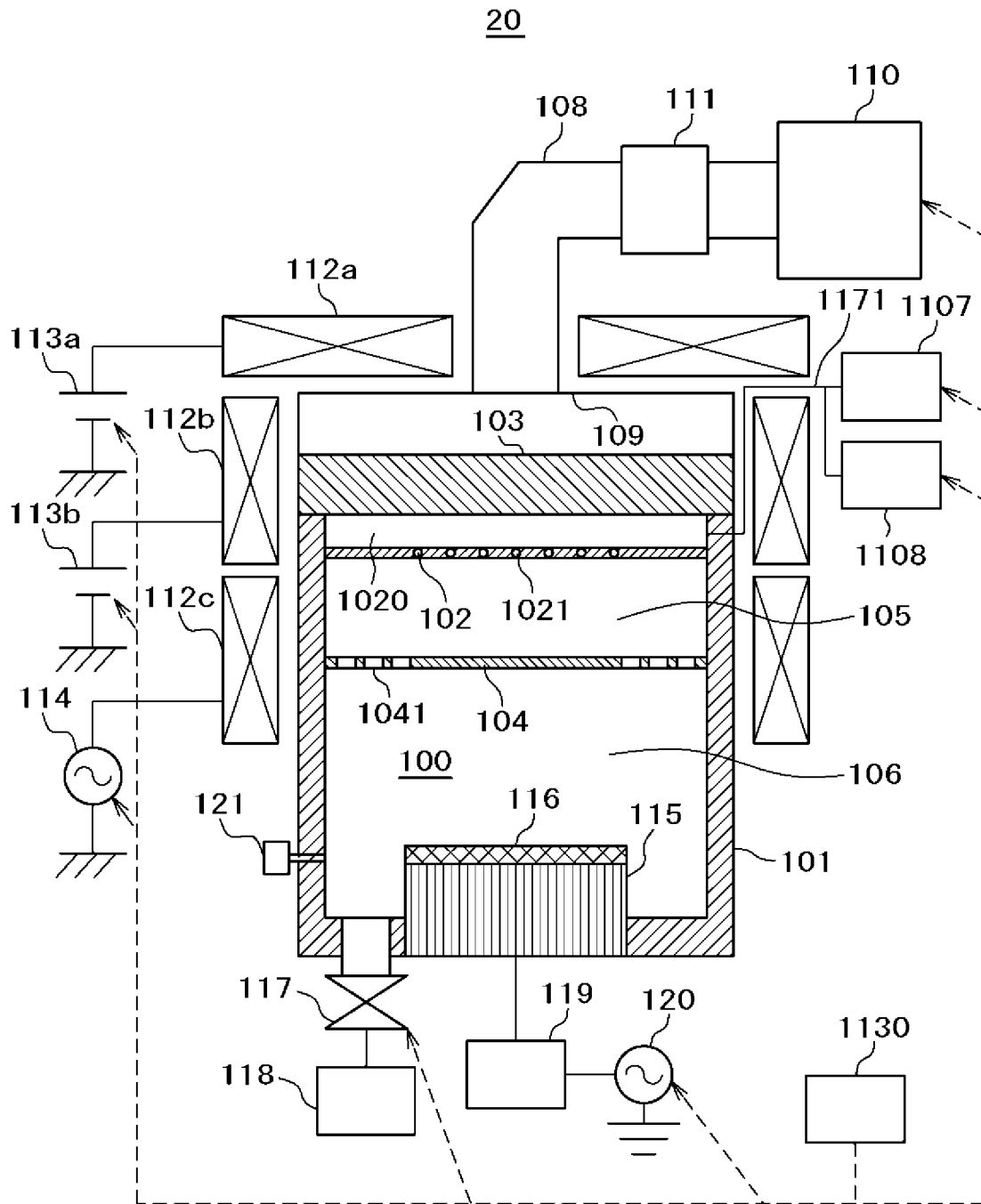
[図10B]

図10B



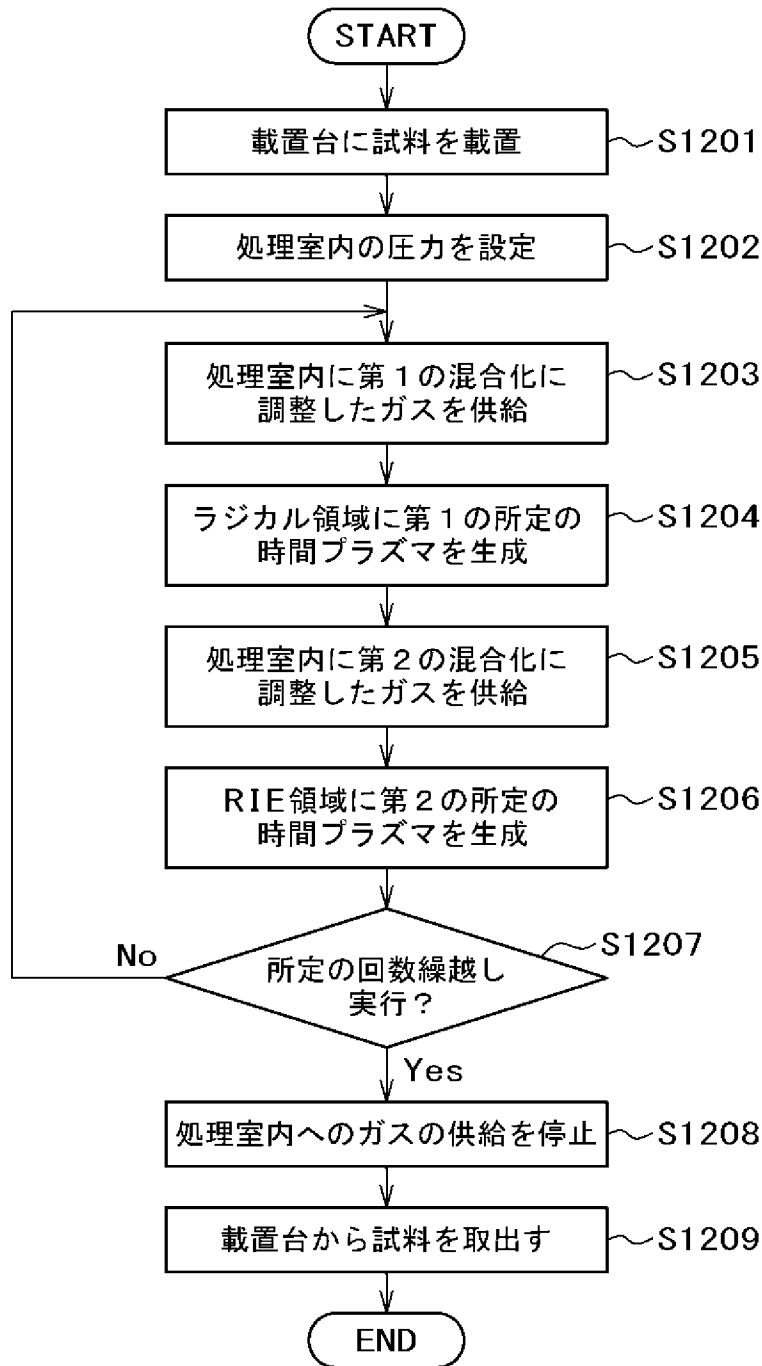
[図11]

図 11



[図12]

図 1 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/045949

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>H01L 21/3065</i> (2006.01)i FI: H01L21/302 105A		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L21/3065; H01L21/302; H01L21/461; H05H1/00-1/54		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2014-229751 A (HITACHI HIGH TECH CORP) 08 December 2014 (2014-12-08) paragraphs [0035], [0038]-[0039], [0044]-[0051], [0066], fig. 1, 3-4, 6	1-4, 8
Y	paragraphs [0035], [0038]-[0039], [0044]-[0051], [0066], [0078], fig. 1, 3-4, 6	5-7
Y	JP 2019-176184 A (HITACHI HIGH TECH CORP) 10 October 2019 (2019-10-10) paragraphs [0023]-[0029], [0037]-[0040], [0064]-[0065], fig. 1	5-7
Y	JP 5-136089 A (HITACHI LTD) 01 June 1993 (1993-06-01) paragraphs [0002]-[0003], [0011], fig. 1	5-7
A	JP 8-250485 A (MOTOROLA, INC.) 27 September 1996 (1996-09-27)	1-8
A	JP 4-137532 A (TOSHIBA CORP) 12 May 1992 (1992-05-12)	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>13 February 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>28 February 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2022/045949**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2014-229751	A	08 December 2014	(Family: none)	
JP	2019-176184	A	10 October 2019	US 2018/0047595 A1	
				paragraphs [0046]-[0052],	
				[0060]-[0063], [0087]-[0088],	
				fig. 1	
				WO 2016/190036 A1	
				TW 201642713 A	
				KR 10-2017-0101952 A	
JP	5-136089	A	01 June 1993	(Family: none)	
JP	8-250485	A	27 September 1996	US 5651858 A	
				SG 40837 A	
				TW 297919 B	
				KR 10-1996-0035858 A	
JP	4-137532	A	12 May 1992	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 21/3065(2006.01)i FI: H01L21/302 105A		
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）） H01L21/3065; H01L21/302; H01L21/461; H05H1/00-1/54 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2014-229751 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 08.12.2014 (2014-12-08) 段落[0035], [0038]-[0039], [0044]-[0051], [0066], 図1, 3-4, 6	1-4, 8
Y	段落[0035], [0038]-[0039], [0044]-[0051], [0066], [0078], 図1, 3-4, 6	5-7
Y	JP 2019-176184 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 10.10.2019 (2019-10-10) 段落[0023]-[0029], [0037]-[0040], [0064]-[0065], 図1	5-7
Y	JP 5-136089 A (株式会社日立製作所) 01.06.1993 (1993-06-01) 段落[0002]-[0003], [0011], 図1	5-7
A	JP 8-250485 A (モトローラ・インコーポレイテッド) 27.09.1996 (1996-09-27)	1-8
A	JP 4-137532 A (株式会社東芝) 12.05.1992 (1992-05-12)	1-8
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的な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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日	
13.02.2023	28.02.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  宇多川 勉 50 2591  電話番号 03-3581-1101 内線 3516	

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/JP2022/045949

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2014-229751 A	08.12.2014	(ファミリーなし)	
JP 2019-176184 A	10.10.2019	US 2018/0047595 A1 段落[0046]-[0052], [0060]- [0063], [0087]-[0088], 図1 WO 2016/190036 A1 TW 201642713 A KR 10-2017-0101952 A	
JP 5-136089 A	01.06.1993	(ファミリーなし)	
JP 8-250485 A	27.09.1996	US 5651858 A SG 40837 A TW 297919 B KR 10-1996-0035858 A	
JP 4-137532 A	12.05.1992	(ファミリーなし)	