

(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1月28日(28.01.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/013418 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/12 (2006.01) *H01L 27/105* (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01) *H01L 43/08* (2006.01)
H01L 21/8246 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/069861
- (22) 国際出願日: 2015年7月10日(10.07.2015)
- (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 2014-151914 2014年7月25日(25.07.2014) JP
- (71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社(TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 佐藤 淳(SATO Jun); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 西村 栄一(NISHIMURA Eiichi); 〒9813629 宮城県黒川郡大和

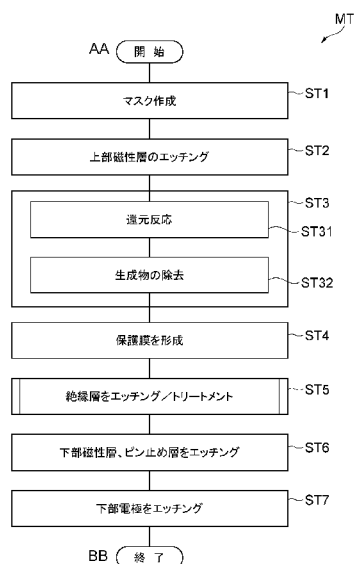
町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP).

- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 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, 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR PROCESSING OBJECT TO BE PROCESSED

(54) 発明の名称: 被処理体を処理する方法



AA Start
ST1 Mask formation
ST2 Etching of upper magnetic layer
ST31 Reduction reaction
ST32 Removal of product
ST4 Formation of protective film
ST5 Etching/treatment of insulating layer
ST6 Etching of lower magnetic layer and pinned layer
ST7 Etching of lower electrode
BB End

(57) Abstract: According to one embodiment of the present invention, a first processing gas is supplied into a processing chamber of a plasma processing apparatus and a plasma of the first processing gas is generated, thereby etching an upper magnetic layer by means of the plasma of the first processing gas. Subsequently, a deposit formed by the etching of the upper magnetic layer is removed. The removal of the deposit comprises: a step for causing a reduction reaction of the deposit by means of a plasma of a second processing gas that contains an H₂ gas; and a step for removing a product, which is produced during the step for causing a reduction reaction, with use of a third processing gas that contains hexafluoroacetylacetone.

(57) 要約: 一実施形態の方法では、プラズマ処理装置の処理容器内に第1の処理ガスを供給し、該第1の処理ガスのプラズマを発生させて、該第1の処理ガスのプラズマにより上部磁性層をエッチングする。次いで、上部磁性層のエッチングによって発生した堆積物を除去する。堆積物の除去は、H₂ガスを含む第2の処理ガスのプラズマによって堆積物に還元反応を生じさせる工程と、還元反応を生じさせる工程により生成された生成物を、ヘキサフルオロアセチルアセトンを含む第3の処理ガスを用いて除去する工程と、を含む。

WO 2016/013418 A1



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))

明 細 書

発明の名称：被処理体进行处理する方法

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、被処理体进行处理する方法に関するものである。

背景技術

[0002] 磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM: Magnetic random access memory) 素子は、磁性トンネル接合 (MTJ: Magnetic Tunnel junction) を有するメモリであり、二つの磁性層、及び当該磁性層の間に設けられた絶縁層を有している。磁性層は、Co及び／又はFeといった金属から構成されている。

[0003] 磁気ランダムアクセスメモリの製造においては、被処理体の二つの磁性層及び絶縁膜にマスクのパターンを転写するためのエッチングが行われる。このエッチングでは、気化されにくい反応生成物が生成され、当該反応生成物が被処理体上に堆積する。この反応生成物は、MRAM素子のリーク電流といった種々の問題をもたらし得るもので、除去される必要がある。

[0004] 下記の特許文献1には、反応生成物を除去する方法が記載されている。特許文献1に記載された方法では、まず、二つの磁性層、即ち、下部磁性層と上部磁性層のうち上部磁性層が、ハロゲン元素を含む処理ガスのプラズマによりエッチングされる。次いで、被処理体表面に保護膜が形成される。次いで、絶縁層がエッチングされる。その後、PF₃ガスを含む処理ガスにより、反応生成物が除去される。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2014-49466号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、上部磁性層のエッチングによっても、反応生成物、即ち堆積物

が被処理体上に形成される。しかしながら、特許文献 1 に記載された方法は、絶縁層のエッチングによって形成された反応生成物の除去のみを行うものであり、上部磁性層のエッチングによって形成される堆積物の除去を行うものではない。しかしながら、上部磁性層のエッチングによって形成される堆積物も除去される必要がある。

課題を解決するための手段

[0007] 一態様においては、被処理体进行处理する方法が提供される。被処理体は、下部磁性層、該下部磁性層上に設けられた絶縁層、該絶縁層上に設けられた上部磁性層、及び該上部磁性層上に設けられたマスクを有する。この方法は、(a) 上部磁性層をエッチングする工程であり、プラズマ処理装置の処理容器内に第 1 の処理ガスを供給し、該第 1 の処理ガスのプラズマを発生させて、該第 1 の処理ガスのプラズマにより上部磁性層をエッチングする、該工程（以下、「工程 a」という）と、(b) 工程 a によって被処理体上に形成された堆積物を除去する工程（以下、「工程 b」という）と、を含む。工程 b は、(b 1) H_2 ガスを含む第 2 の処理ガスのプラズマによって堆積物に還元反応を生じさせる工程と、(b 2) 還元反応を生じさせる前記工程により生成された生成物を、ヘキサフルオロアセチルアセトンを含む第 3 の処理ガスを用いて除去する工程と、を含む。一実施形態では、上部磁性層は、C o F e B を含み得る。

[0008] 工程 a の上部磁性層のエッチングによって形成される堆積物は、金属酸化物を含有し得る。この金属酸化物は上部磁性層に含まれる金属と酸素との反応によって形成される。酸素は、被処理体に含まれる層、又はプラズマ処理装置の各種パーツから発生するものと考えられる。一態様に係る方法は、 H_2 ガスを含む第 2 の処理ガスのプラズマにより堆積物に還元反応を生じさせている。この還元反応により堆積物から得られる生成物は、ヘキサフルオロアセチルアセトンを含む第 3 の処理ガスによって除去可能なものとなる。したがって、この方法によれば、上部磁性層のエッチングによって形成される堆積物を除去することが可能となる。

- [0009] 一実施形態では、工程 a と工程 b とが交互に繰り返されてもよい。この実施形態によれば、工程 a と工程 b との繰り返しにより、多量の堆積物の発生を防止して、工程 a のエッチングによって発生する堆積物を除去することが可能である。
- [0010] 一実施形態では、第 2 の処理ガスは、更に N_2 ガスを含み得る。この実施形態では、第 2 の処理ガスに N_2 ガスが含まれているので、第 2 の処理ガスのプラズマを安定して発生させることが可能である。
- [0011] 一実施形態では、第 3 の処理ガスは、 H_2O を含み得る。この実施形態によれば、還元反応によって得られる生成物とヘキサフルオロアセチルアセトンとの反応を促進させることが可能である。
- [0012] 一実施形態の方法は、絶縁層をエッチングする工程を更に含み得る。絶縁層をエッチングする工程は、プラズマ処理装置の処理容器内に第 4 の処理ガスを供給し、該第 4 の処理ガスのプラズマを発生させて、該第 4 の処理ガスのプラズマにより絶縁層をエッチングする。

発明の効果

- [0013] 以上説明したように、磁性層のエッチングによって形成される堆積物を除去することが可能となる。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]一実施形態に係る被処理体を処理する方法の流れ図である。
- [図2]図 1 に示す方法が適用される被処理体の一例、及び、図 1 に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。
- [図3]図 1 に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。
- 。
- [図4]図 1 に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。
- 。
- [図5]図 1 に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。
- 。
- [図6]図 6 は図 1 に示す工程 S T 5 の詳細を示す流れ図である。

[図7]図1に示す方法の実施に用いることができる一実施形態の処理システムを概略的に示す図である。

[図8]図7に示すプロセスモジュールPM1として用いることが可能なプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

[図9]図7に示すプロセスモジュールPM2として用いることが可能なプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

[図10]図7に示すプロセスモジュールPM4として用いることが可能なプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、図面を参照して種々の実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附することとする。

[0016] 図1は、一実施形態に係る被処理体を処理する方法の流れ図である。図1に示す方法MTは、磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM: Magnetic random access memory)素子の製造において用いられる方法であり、少なくとも、上部磁性層をエッチングする工程ST2、及び、堆積物を除去する工程ST3を含んでいる。また、一実施形態では、方法MTは、工程ST2及び工程ST3に加えて、工程ST1、ST4～ST7を含んでいる。

[0017] 図2は、図1に示す方法が適用される被処理体の一例、及び、図1に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。図2の(a)に示すように、方法MTが適用される被処理体(以下、「ウエハW」という)は、基板SB、下部電極層LE、ピン止め層PL、下部磁性層LM、絶縁層IL、上部磁性層UM、上部電極層UE、及び、マスク層MLを有している。

[0018] 下部電極層LEは、電気伝導性を有する電極材料から構成された層であり、基板SB上に設けられている。下部電極層LEの厚さは、例えば約5nmである。ピン止め層PLは、下部電極層LEと下部磁性層LMの間に設けられている。MRAM素子におけるピン止め層PLは、反強磁性体によるピン

止め効果により下部磁性層LMの磁化の方向を固定するための層として機能する。ピン止め層PLは、例えば、IrMn（イリジウムマンガン）、PtMn（プラチナマンガン）等の反強磁性体材料から構成されており、その厚さは、例えば約7 nmである。

[0019] 下部磁性層LMは、強磁性体を含む層であり、ピン止め層PL上に設けられている。下部磁性層LMは、所謂ピンド層として機能する層である。即ち、MRAM素子において、下部磁性層LMの磁化の方向は、ピン止め層PLによるピン止め効果により、外部磁界の影響を受けず、一定に保持される。下部磁性層LMは、例えばCoFeBから構成されており、その厚さは、例えば約2.5 nmである。

[0020] 絶縁層ILは、下部磁性層LMと上部磁性層UMとの間に設けられている。MRAM素子における絶縁層ILは、磁性トンネル接合（MTJ：Magnetic Tunnel junction）を構成する。MRAM素子の磁性トンネル接合（MTJ）では、下部磁性層LMと上部磁性層UMとの間に絶縁層ILが介在することにより、下部磁性層LMと上部磁性層UMとの間に、トンネル磁気抵抗効果（TMR：Tunnel magnetoresistance）が生じる。即ち、下部磁性層LMと上部磁性層UMとの間には、下部磁性層LMの磁化方向と上部磁性層UMの磁化方向との相対関係（平行又は反平行）に応じた電気抵抗が生じる。この絶縁層ILは、Al₂O₃又はMgOから構成されており、その厚さは、例えば1.3 nmである。

[0021] 上部磁性層UMは、強磁性体を含む層であり、絶縁層IL上に設けられている。MRAM素子における上部磁性層UMは、所謂フリー層として機能する層である。即ち、MRAM素子において、上部磁性層UMの磁化の向きは、磁気情報である外部磁場に追従する。上部磁性層UMは、例えばCoFeBから構成されており、その厚さは、例えば約2.5 nmである。

[0022] 上部電極層UEは、電気伝導性を有する電極材料から構成される層である。上部電極層UEは、例えば、Taから構成され得る。マスク層MLは、上

部電極層UE及び上部磁性層UMをエッチングするためのマスクの元となる層である。マスク層MLは、例えば、アモルファスカーボンを含む第1層及びSiO₂を含む第2層から構成され得る。第2層は、上部電極層UE上に設けられ、第1層は第2層上に設けられる。

[0023] 再び図1を参照し、方法MTの各工程について説明する。以下、図1に加え、図3～図5を適宜参照する。図3～図5は、図1に示す方法の各工程の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。図1に示すように、方法MTでは、まず、工程ST1が実行される。工程ST1では、図2の(b)に示すように、マスク層MLからマスクMKが作成される。マスクMKは、第1層上にパターニングされたマスクを設けて、マスク層MLの第1層及び第2層を順にエッチングすることにより作成することができる。第1層はO₂ガスを含む処理ガスのプラズマによりエッチングすることができ、第2層はフルオロカーボンガスを含む処理ガスのプラズマによりエッチングすることができる。

[0024] 続く工程ST2では、上部磁性層UMがエッチングされる。一実施形態の工程ST2では、上部電極層UEと上部磁性層UMとが一括してエッチングされる。この工程ST2では、プラズマ処理装置の処理容器内に、処理ガスA（第1の処理ガス）が供給される。この処理ガスAは、ハロゲン元素を含み得る。また、処理ガスAは、希ガスを更に含み得る。例えば、処理ガスAは、SF₆ガス及びArガスを含む。そして、工程ST2では、当該処理ガスAのプラズマが生成される。工程ST2では、処理ガスAのプラズマにウエハWが晒される。これにより、図2の(c)に示すように、上部電極層UE及び上部磁性層UMがエッチングされ、当該上部電極層UE及び上部磁性層UMにマスクMKのパターンが転写される。

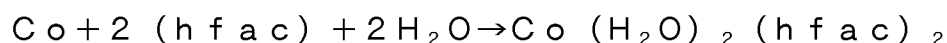
[0025] 工程ST2によって上部磁性層UMがエッチングされると、図2の(c)に示すように、堆積物DPがウエハW上に形成される。具体的には、上部電極層UEの側面、上部磁性層UMの側面、及び、絶縁層ILの表面に堆積物DPが形成される。堆積物DPは、上部磁性層UMに含まれるCo及びFe

の酸化物を含む。堆積物D P中のC o及びF eの酸化物は、マスクM Kに含まれるS i O₂、又は、プラズマ処理装置の各種パーツから発生する酸素によるC o及びF eの酸化に由来するものと考えられる。

[0026] 上記堆積物D Pを除去するため、方法M Tでは、次いで、工程S T 3が実行される。この工程S T 3は、工程S T 3 1及び工程S T 3 2を含んでいる。工程S T 3 1では、堆積物に還元反応を生じさせる処理が行われる。工程S T 3 1では、プラズマ処理装置の処理容器内に、H₂ガスを含む処理ガスB（第2の処理ガス）が供給される。そして、この処理ガスBのプラズマが生成される。工程S T 3 1では、処理ガスBのプラズマにウエハWが晒される。これにより、図3の（a）に示すように、堆積物D Pの還元反応が生じ、当該堆積物D Pから生成物R Pが生成される。具体的には、堆積物D P中のC o及びF eの酸化物から酸素が取りさられ、C o及びF eを含む生成物R Pが得られる。

[0027] 一実施形態では、工程S T 3 1で用いられる処理ガスは、H₂ガスに加えてN₂ガスを含んでいてもよい。この実施形態では、第2の処理ガスのプラズマを安定して発生させることが可能である。

[0028] 続く工程S T 3 2では、生成物R Pを除去するために、ウエハWを収容している処理容器内に、ヘキサフルオロアセチルアセトンを含む処理ガスC（第3の処理ガス）が供給される。ここで、ヘキサフルオロアセチルアセトンは、1, 1, 1, 5, 5, 5-ヘキサフルオロアセチルアセトン（以下、「h f a c H」と称する）である。一実施形態では、処理ガスCは、H₂O及び／又はO₂ガスを含んでいてもよい。この工程S 3 2では、生成物R Pに含まれているC o及びF eが、h f a cによって錯化する。「h f a c」とは、h f a c Hから水素（H）が離脱して当該h f a c Hが一価の陰イオンとなることにより生成されるヘキサフルオロアセチルアセトナート配位子である。例えば、下記の反応式で表されるように生成物R P中のC oから、C oの錯体が形成される。



- [0029] 工程ST32では、このように生成された錯体が除去される。これによって、図3の(b)に示すように、生成物RPが除去される。なお、処理ガスCにH₂Oが含まれている場合には、生成物RPとhfacとの反応を促進させることが可能である。即ち、H₂Oは、上記反応式の反応を促進させ、Coとhafcの錯体を生成し易くする目的で処理ガスCに添加される。
- [0030] 一実施形態では、工程ST31と工程ST32が交互に繰り返されてもよい。この実施形態によれば、工程ST31において上部磁性層UMが部分的にエッチングされ、当該工程ST31によって発生する比較的少量の堆積物DPが工程ST32において除去される。このように工程ST31及び工程ST32を交互に繰り返すことにより、多量の堆積物DPの発生を防止して、工程ST31のエッチングによって発生する堆積物DPを除去することが可能となる。
- [0031] 次いで、方法MTでは、工程ST4が実行される。工程ST4では、ウエハWが成膜装置に搬送される。そして、図4の(a)に示すように、ウエハWの表面に保護膜PFが形成される。この保護膜PFは、例えばSiN又はSiO₂から構成される。なお、図4の(a)においては、マスクMKが省略されている。マスクMKは、工程ST4の後の工程の実行中に消失してもよく、或いは、工程ST4の実行前に除去されてもよい。
- [0032] 次いで、方法MTでは、工程ST5が実行される。図6は、図1に示す工程ST5の詳細を示す流れ図である。図6に示すように、工程ST5は、工程ST51及び工程ST52を含んでいる。工程ST51では、プラズマ処理装置の処理容器内に処理ガスD（第4の処理ガス）が供給され、当該処理ガスDのプラズマが生成される。このプラズマにウエハWが晒されることにより、上部電極層UE、上部磁性層UM、及び保護膜PFによって覆われていない領域において、絶縁層ILがエッチングされる。
- [0033] 工程ST51に用いられる処理ガスDは、プラズマ源によって発生したプラズマによって解離しラジカルを生成する分解性のガスである。このラジカルは、還元反応、酸化反応、塩化反応、又はフッ化反応を起こすラジカルで

あってもよい。処理ガスDは、水素元素、酸素元素、塩素元素又はフッ素元素を含有するガスであってもよい。具体的には、処理ガスDは、Ar、N₂、O₂、H₂、He、BCl₃、Cl₂、CF₄、NF₃、CH₄又はSF₆等を含み得る。より具体的な一例では、処理ガスDは、O₂ガス、Arガス、H₂ガス、Cl₂ガス、及び、NF₃ガスを含有し得る。

[0034] この処理ガスのプラズマによって絶縁層ILがエッチングされると、図4の(b)に示すように、反応生成物RP2が発生する。反応生成物RP2には、上部電極層UE、保護膜PF、及び絶縁層ILに含まれる金属、当該金属の酸化物、塩化物、窒化物、ハロゲン化物、又は、CやSiを含有する化合物等が含まれる可能性がある。この反応生成物RP2は、図4の(b)に示すように、エッチングによって形成された形状の側面、及び／又は下部磁性層LMの表面に付着する。このように形成される反応生成物RP2は、後続のエッチングによって形成される形状の垂直性を低下させる。また、反応生成物RP2は導電性物質を含むので、当該反応生成物RP2が残されていると、MRAM素子にリーク電流をもたらす要因となり得る。

[0035] このため、続く工程ST52では、PF₃を含むエッチングガスを用いたトリートメント処理が行われる。工程ST52では、工程ST51と同じプラズマ処理装置の処理容器内に処理ガスEが供給される。この処理ガスEは、プラズマに晒すことなく反応生成物と反応させるための反応性のガスである。この処理ガスEは、例えば反応生成物との反応が載置台110の温度に依存するガスを含んでいてもよい。具体的には、処理ガスEとしては、HF、Cl₂、HCl、H₂O、PF₃、F₂、ClF₃、COF₂、シクロペンタジエン又はAmidinato等が用いられる。

[0036] また、処理ガスEは、電子供与性ガスを含み得る。電子供与性ガスとは、一般的には、電気陰性度又はイオン化ポテンシャルが大きく異なる原子で構成されるガス、或いは、孤立電子対を持つ原子を含むガスである。電子供与性ガスは、他の化合物に電子を与えやすい性質を有する。例えば、電子供与性ガスは、金属化合物等と配位子として結合し蒸発する性質を有する。電子

供与性ガスとしては、 SF_6 、 PH_3 、 PF_3 、 PCl_3 、 PBr_3 、 PI_3 、 CF_4 、 AsH_3 、 SbH_3 、 SO_3 、 SO_2 、 H_2S 、 SeH_2 、 TeH_2 、 Cl_3F 、 H_2O 、 H_2O_2 等、又はカルボニル基を含有するガスが挙げられる。より具体的な一例として、処理ガスEは、 PF_3 ガスを含み得る。

[0037] この処理ガスEにウエハWが晒されると、例えば、処理ガスEに含まれる PF_3 と反応生成物RP2に含まれる金属との化合物が形成される。かかる化合物は比較的低い温度で気化する。したがって、当該化合物は容易に排気され得る。かかる工程ST52により、図4の(c)に示すように、反応生成物RP2が除去される。

[0038] なお、工程ST51及び工程ST52の何れか一方又は双方に用いられる処理ガスに PF_3 ガスが含まれていてもよい。また、工程ST51及び工程ST52が交互に繰り返されもよい。

[0039] 続く工程ST6では、下部磁性層LM及びピン止め層PLがエッチングされる。工程ST6では、プラズマ処理装置の処理容器内に CH_4 を含む処理ガスが供給される。この処理ガスFは、 He 、 N_2 、 Ar 等の不活性ガス、及び／又は、カルボニル基を含有するガス、 H_2 等、メタン以外のガスを含み得る。そして、処理ガスFのプラズマが生成され、当該プラズマにウエハWが晒される。これにより、図5の(a)に示すように、上部電極層UE、上部磁性層UM、及び保護膜PFによって覆われていない領域において、下部磁性層LM及びピン止め層PLがエッチングされる。

[0040] 続く工程ST7では、下部電極層LEがエッチングされる。この工程ST7では、プラズマ処理装置の処理容器内に処理ガスGが供給される。この処理ガスGは、 He 、 N_2 、 Ar 等の不活性ガス、及び／又は、カルボニル基を含有するガス、 CH_4 、 H_2 等を含み得る。そして、この処理ガスGのプラズマが生成され、当該プラズマにウエハWが晒される。これにより、図5の(b)に示すように上部電極層UE及び上部磁性層UMによって覆われていない領域において、下部電極層LEがエッチングされ、MRAM素子が形成される。

[0041] この方法MTによれば、 H_2 ガスを含む処理ガスBのプラズマにより堆積物DPに還元反応を生じさせている。この還元反応により堆積物DPから得られる生成物RPは、ヘキサフルオロアセチルアセトンを含む処理ガスCによって除去可能なものとなる。したがって、この方法によれば、図3の(b)に示すように、上部磁性層UMのエッチングによって形成される堆積物DPを除去することが可能となる。なお、工程ST31において用いられる処理ガスが H_2 ガスを含まない場合には、還元反応が生じないので、工程ST32において処理ガスCにウエハを晒しても図2の(c)に示す状態から変化が実質的に生じず、堆積物DPが除去されない。

[0042] 以下、方法MTの実施に用いることが可能な処理システムPSについて説明する。図7は、図1に示す方法の実施に用いることができる一実施形態の処理システムを概略的に示す図である。図7に示す処理システムPSは、基板載置台22a～22d、收容容器24a～24d、ローダモジュールLDM、ロードロックチャンバLL1、ロードロックチャンバLL2、プロセスモジュールPM1、プロセスモジュールPM2、プロセスモジュールPM3、プロセスモジュールPM4、及び、トランスファーチャンバTCを備えている。

[0043] 基板載置台22a～22dは、ローダモジュールLDMの一縁に沿って配列されている。これら基板載置台22a～22dの上には、收容容器24a～24dがそれぞれ載置されている。收容容器24a～24d内には、ウエハWが收容されている。

[0044] ロータモジュールLDM内には、搬送ロボットRb1が設けられている。搬送ロボットRb1は、收容容器24a～24dの何れかに收容されているウエハWを取り出して、当該ウエハWを、ロードロックチャンバLL1又はロードロックチャンバLL2に搬送する。

[0045] ロードロックチャンバLL1及びロードロックチャンバLL2は、ローダモジュールLDMの別の一縁に沿って設けられており、予備減圧室を構成している。ロードロックチャンバLL1及びロードロックチャンバLL2は、

トランスファーチャンバTCにゲートバルブを介してそれぞれ接続されている。

[0046] トランスファーチャンバTCは、減圧可能なチャンバであり、当該チャンバ内には別の搬送ロボットRb2が設けられている。トランスファーチャンバTCには、プロセスモジュールPM1～PM4が対応のゲートバルブを介してそれぞれ接続されている。搬送ロボットRb2は、ロードロックチャンバLL1及びロードロックチャンバLL2の何れかとプロセスモジュールPM1～PM4のうち何れかとの間で、又は、プロセスモジュールPM1～PM4のうち任意の二つのプロセスモジュールの間で、ウエハWを搬送する。

[0047] 処理システムPSのプロセスモジュールPM1は、プラズマエッチングに用いることができるプラズマ処理装置であり、プロセスモジュールPM2は、プラズマエッチング及び工程ST3の実行に用いることができるプラズマ処理装置である。プロセスモジュールPM3は、工程ST4の実行に用いることができる成膜装置である。この成膜装置としては、CVD (Chemical Vapor Deposition) 装置やRLSA (Radial Line Slot Antenna) 装置が用いられ得る。また、プロセスモジュールPM4は、プラズマエッチング及び工程ST5の実行に用いることができるプラズマ処理装置である。以下、プロセスモジュールPM1、プロセスモジュールPM2、及びプロセスモジュールPM4の例について詳細に説明する。

[0048] 図8は、図7に示すプロセスモジュールPM1として用いることが可能なプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図7に示すプラズマ処理装置10は、処理容器12を備えている。処理容器12は、略円筒形状を有しており、その内部空間として処理空間S10を提供している。

[0049] プラズマ処理装置10は、処理容器12内に、略円板形状のベース14を備えている。ベース14は、処理空間S10内の下方側の領域に設けられている。ベース14は、例えばアルミニウム製であり、下部電極を構成している。ベース14は、後述する静電チャック50の熱を吸熱して、静電チャック

ク５０を冷却する機能を有する。

[0050] 具体的に、ベース１４の内部には、冷媒流路１５が形成されており、冷媒流路１５には、冷媒入口配管及び冷媒出口配管が接続されている。冷媒流路１５には、チラーユニットから冷媒入口配管を介して冷媒が供給される。冷媒流路１５に供給された冷媒は、冷媒出口配管を介してチラーユニットに戻されるようになっている。かかる構成により、ベース１４及び静電チャック５０の温度が調整されるようになっている。

[0051] プラズマ処理装置１０は、筒状保持部１６及び筒状支持部１７を更に備えている。筒状保持部１６は、ベース１４の側面及び底面の縁部に接して、ベース１４を保持している。筒状支持部１７は、処理容器１２の底部から垂直方向に延在しており、筒状保持部１６を介してベース１４を支持している。プラズマ処理装置１０は、この筒状保持部１６の上面に載置されるフォーカスリング１８を更に備えている。フォーカスリング１８は、例えば、シリコン又は石英から構成され得る。

[0052] 処理容器１２の側壁と筒状支持部１７との間には、排気路２０が形成されている。排気路２０の入口又はその途中には、バッフル板２２が取り付けられている。また、排気路２０の下方には、排気口２４が連続している。排気口２４は、処理容器１２の底部に嵌め込まれた排気管２８によって提供されている。この排気管２８には、排気装置２６が接続されている。排気装置２６は、真空ポンプを有しており、処理容器１２内の処理空間Ｓ１０を所望の真空度まで減圧することができる。処理容器１２の側壁には、ウエハＷの搬入及び搬出のための開口が設けられている。処理容器１２の側壁には、当該開口を開閉するためのゲートバルブ３０が取り付けられている。

[0053] ベース１４には、プラズマ生成用の高周波電源３２が整合器３４を介して電氣的に接続されている。高周波電源３２は、主としてイオン引き込みを目的とする高周波電力、即ち、高周波バイアス電力を下部電極、即ち、ベース１４に供給する。この高周波バイアス電力の周波数は、例えば、４００ＫＨｚである。

- [0054] プラズマ処理装置 10 は、更に、シャワーヘッド 38 を備えている。シャワーヘッド 38 は、処理空間 S10 の上方に設けられている。シャワーヘッド 38 は、電極板 40 及び電極支持体 42 を含んでいる。
- [0055] 電極板 40 は、略円板形状を有する導電性の板であり、上部電極を構成している。電極板 40 には、高周波電源 35 が整合器 36 を介して電氣的に接続されている。高周波電源 35 は、主としてプラズマの生成を目的とする高周波電力を電極板 40 に供給する。この高周波電力の周波数は、例えば、60 MHz である。プラズマ処理装置 10 では、高周波電源 35 によって電極板 40 に高周波電力が与えられると、ベース 14 と電極板 40 との間に高周波電界が形成される。なお、高周波電源 35 は、整合器 36 を介してベース 14 に電氣的に接続されていてもよい。
- [0056] 電極板 40 には、複数のガス通気孔 40h が形成されている。電極板 40 は、電極支持体 42 によって着脱可能に支持されている。電極支持体 42 の内部には、バッファ室 42a が設けられている。プラズマ処理装置 10 は、ガス供給源 44 を更に備え、バッファ室 42a のガス導入口 25 にはガス供給導管 46 を介してガス供給源 44 が接続されている。ガス供給源 44 は、処理空間 S10 に処理ガスを供給する。
- [0057] 電極支持体 42 には、複数のガス通気孔 40h にそれぞれ連続する複数の孔が形成されており、当該複数の孔はバッファ室 42a に連通している。したがって、ガス供給源 44 から供給されるガスは、バッファ室 42a 及びガス通気孔 40h を経由して、処理空間 S10 に供給される。なお、ラジカル分布を制御するために、ウエハ W の中心領域に対する処理ガスの流量と、ウエハ W の周囲領域における処理ガスの流量とが制御されてもよい。
- [0058] 一実施形態においては、処理容器 12 の天井部に、環状又は同心状に延在する磁場形成機構 48 が設けられている。この磁場形成機構 48 は、処理空間 S10 における高周波放電の開始（プラズマ着火）を容易にして、放電を安定に維持するよう機能する。
- [0059] 一実施形態においては、ベース 14 上に静電チャック 50 が設けられてい

る。静電チャック５０は、電極５２、並びに、一对の絶縁膜５４ a 及び５４ b を含んでいる。絶縁膜５４ a 及び５４ b は、セラミック等の絶縁体により形成される膜である。電極５２は、導電膜であり、絶縁膜５４ a と絶縁膜５４ b の間に設けられている。この電極５２には、スイッチＳＷを介して直流電源５６が接続されている。直流電源５６から電極５２に直流電圧が与えられると、クーロン力が発生し、当該クーロン力によってウエハＷが静電チャック５０上に吸着され保持される。一実施形態では、静電チャック５０の内部に加熱素子であるヒータが埋め込まれ、ウエハＷを所定温度に加熱できるようになっている。ヒータは、配線を介してヒータ電源に接続される。これらベース１４及び静電チャック５０は、載置台７０を構成している。

[0060] 一実施形態においては、プラズマ処理装置１０は、ガス供給ライン５８及び６０、並びに、伝熱ガス供給源６２及び６４を更に備えている。伝熱ガス供給源６２は、ガス供給ライン５８に接続されている。このガス供給ライン５８は、静電チャック５０の上面まで延びて、当該上面の中央部分において開口している。伝熱ガス供給源６２は、例えばＨｅガスといった伝熱ガスを、静電チャック５０の上面とウエハＷとの間に供給する。また、伝熱ガス供給源６４は、ガス供給ライン６０に接続されている。ガス供給ライン６０は、静電チャック５０の上面まで延びて、当該上面の周縁領域において開口している。伝熱ガス供給源６４は、例えばＨｅガスといった伝熱ガスを、静電チャック５０の上面とウエハＷとの間に供給する。

[0061] 一実施形態では、プラズマ処理装置１０は、制御部６６を更に備えている。この制御部６６は、排気装置２６、スイッチＳＷ、高周波電源３２、整合器３４、高周波電源３５、整合器３６、ガス供給源４４、並びに、伝熱ガス供給源６２及び６４に接続されている。制御部６６は、排気装置２６、スイッチＳＷ、高周波電源３２、整合器３４、高周波電源３５、整合器３６、ガス供給源４４、並びに、伝熱ガス供給源６２及び６４のそれぞれに制御信号を送出する。制御部６６からの制御信号により、排気装置２６による排気、スイッチＳＷの開閉、高周波電源３２からの電力供給、整合器３４のインピ

ーダンス調整、高周波電源 35 からの電力供給、整合器 36 のインピーダンス調整、ガス供給源 44 による処理ガスの供給、伝熱ガス供給源 62 及び 64 それぞれによる伝熱ガスの供給が制御される。

[0062] このプラズマ処理装置 10 では、ガス供給源 44 から処理空間 S10 に処理ガスが供給される。また、電極板 40 とベース 14 との間において高周波電界が形成される。この高周波電界によって、処理空間 S10 においてプラズマが生成される。そして、処理ガスに含まれる元素のラジカル等により、ウエハ W の処理が行われる。

[0063] 以下、プロセスモジュール PM2 として用いることが可能なプラズマ処理装置 100A について説明する。図 9 は、図 7 に示すプロセスモジュール PM2 として用いることが可能なプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図 9 に示すプラズマ処理装置 100A は、処理容器 192 を備えている。処理容器 192 は、例えば円筒形状を有しており、アルミニウムといった金属から構成されている。処理容器 192 は、その内部空間として空間 S100 を提供している。空間 S100 は、空間 S101 及び空間 S102 を含んでいる。空間 S101 は、空間 S102 よりも上方の空間である。

[0064] 処理容器 192 の底部には、ウエハ W を載置するための載置台 110 が設けられている。載置台 110 は、アルミニウムといった金属製のベース上に静電チャックを有し得る。載置台 110 は、ヒータ及び／又は冷媒流路といった温度調整機構等を有していてもよい。

[0065] 処理容器 192 の天井部には、誘電体 194 が設けられている。誘電体 194 は、板状であり、例えば石英ガラスやセラミック等から構成されている。誘電体 194 は、載置台 110 に対向するように設けられている。誘電体 194 は、例えば、処理容器 192 の天井部に形成された開口を塞ぐように気密に取り付けられている。

[0066] 処理容器 192 には、処理ガスを導入する第 1 ガス供給部 120A が接続されている。第 1 ガス供給部 120A は、プラズマ源によって励起される処理ガスを上述した空間 S101 に供給する。空間 S101 を画成する処理容

器 1 9 2 の側壁部には、ガス導入口 1 2 1 が形成されており、ガス導入口 1 2 1 にはガス供給配管 1 2 3 A を介してガス供給源 1 2 2 A が接続されている。ガス供給配管 1 2 3 A の途中には処理ガスの流量を制御する流量制御器、例えばマスフローコントローラ 1 2 4 A 及び開閉バルブ 1 2 6 A が介在している。この第 1 ガス供給部 1 2 0 A によれば、ガス供給源 1 2 2 A からの処理ガスは、マスフローコントローラ 1 2 4 A により所定の流量に制御されて、ガス導入口 1 2 1 から処理容器 1 9 2 内の空間 S 1 0 1 に導入される。

[0067] また、処理容器 1 9 2 には、導入する第 2 ガス供給部 1 2 0 B が接続されている。第 2 ガス供給部 1 2 0 B は、プラズマ源による励起を抑制すべき処理ガスを上述した空間 S 1 0 2 に供給する。空間 S 1 0 2 を画成する処理容器 1 9 2 の側壁部には、ガス供給ヘッド 2 4 0 が設けられている。ガス供給ヘッド 2 4 0 には、ガス供給配管 1 2 3 B を介してガス供給源 1 2 2 B が接続されている。ガス供給ヘッド 2 4 0 は、複数のガス穴 2 4 0 h を提供している。これらの複数のガス穴 2 4 0 h は、下方向、即ち、載置台 1 1 0 に向かう方向にむけて開口していてもよい。このように、下方向に処理ガスが流通することで、処理ガスをウエハ W に対して適切に供給することができる。なお、複数のガス穴 2 4 0 h は、上方向、即ち空間 S 1 0 1 に向かう方向に開口していてもよい。

[0068] ガス供給配管 1 2 3 B の途中には、処理ガスの流量を制御する流量制御器、例えばマスフローコントローラ 1 2 4 B、及び開閉バルブ 1 2 6 B が介在している。この第 2 ガス供給部 1 2 0 B によれば、ガス供給源 1 2 2 B からの処理ガスは、マスフローコントローラ 1 2 4 B により所定の流量に制御されて、ガス供給ヘッド 2 4 0 から処理容器 1 9 2 内の空間 S 1 0 2 に導入される。

[0069] 処理容器 1 9 2 の底部には、処理容器 1 9 2 内のガスを排気するための排気部 1 3 0 が排気管 1 3 2 を介して接続されている。排気部 1 3 0 は、例えば真空ポンプにより構成され、処理容器 1 9 2 内の空間の圧力を所定の圧力まで減圧し得るようになっている。

- [0070] 処理容器 192 の側壁部には、ウエハ搬出入口 134 が形成されている。
また、処理容器 192 の側壁部には、ウエハ搬出入口 134 を開閉するためのゲートバルブ 136 が設けられている。
- [0071] 処理容器 192 の天井部の上方には、アンテナ 140 及びシールド部材 160 が設けられている。アンテナ 140 は、平面状の高周波アンテナであり、誘電体 194 の上側面（外側面）の上方に設けられている。シールド部材 160 は、アンテナ 140 を覆っている。アンテナ 140 は、内側アンテナ素子 142 A 及び外側アンテナ素子 142 B を有している。内側アンテナ素子 142 A は、誘電体 194 の中央部の上方に配置されている。外側アンテナ素子 142 B は、内側アンテナ素子 142 A を囲むように当該内側アンテナ素子 142 A の外側に配置されている。内側アンテナ素子 142 A 及び外側アンテナ素子 142 B の各々は、例えば銅、アルミニウム、ステンレスといった導体で構成されており、渦巻きコイル状に形成されている。
- [0072] 内側アンテナ素子 142 A 及び外側アンテナ素子 142 B の各々は、複数の挟持体 144 によって挟持されており、一体となっている。複数の挟持体 144 の各々は、例えば棒状に形成されている。複数の挟持体 144 は、内側アンテナ素子 142 A の中央付近から外側アンテナ素子 142 B の外側に張り出すように放射線状に配置されている。
- [0073] シールド部材 160 は、内側シールド壁 162 A 及び外側シールド壁 162 B を含んでいる。内側シールド壁 162 A は、略筒形状を有しており、内側アンテナ素子 142 A を囲むように、内側アンテナ素子 142 A と外側アンテナ素子 142 B の間に設けられている。外側シールド壁 162 B は、略筒形状を有しており、外側アンテナ素子 142 B を囲むように設けられている。これにより、誘電体 194 の上側面は、内側シールド壁 162 A の内側の中央部（中央ゾーン）と、内側シールド壁 162 A と外側シールド壁 162 B の間の周縁部（周縁ゾーン）に分けられる。
- [0074] 内側アンテナ素子 142 A 上には、内側シールド壁 162 A の開口を塞ぐように、円板状の内側シールド板 164 A が設けられている。外側アンテナ

素子 1 4 2 B 上には、内側シールド壁 1 6 2 A と外側シールド壁 1 6 2 B の間の開口を塞ぐように、環状板形状の外側シールド板 1 6 4 B が設けられている。

[0075] なお、シールド部材 1 6 0 の形状は、円筒状に限られるものではない。例えば、処理容器 1 9 2 の形状が角筒状であれば、シールド部材 1 6 0 の形状は角筒状といった他の形状になっていてもよい。

[0076] 内側アンテナ素子 1 4 2 A 及び外側アンテナ素子 1 4 2 B にはそれぞれ、高周波電源 1 5 0 A 及び高周波電源 1 5 0 B が接続されている。これにより、内側アンテナ素子 1 4 2 A 及び外側アンテナ素子 1 4 2 B には同じ周波数又は異なる周波数の高周波電力が供給される。例えば内側アンテナ素子 1 4 2 A に高周波電源 1 5 0 A から所定の周波数（例えば 4 0 M H z）の高周波電力を所定のパワーで供給すると、処理容器 1 9 2 内に形成された誘導磁界によって、処理容器 1 9 2 内に導入された処理ガスが励起され、ウエハ W 上の中央部にドーナツ型のプラズマが生成される。

[0077] また、外側アンテナ素子 1 4 2 B に高周波電源 1 5 0 B から所定の周波数（例えば 6 0 M H z）の高周波電力を所定のパワーで供給すると、処理容器 1 9 2 内に形成された誘導磁界によって、処理容器 1 9 2 内に導入された処理ガスが励起され、ウエハ上の周縁部に別のドーナツ型のプラズマが生成される。

[0078] これらのプラズマによって、処理ガスからラジカルが生成される。高周波電源 1 5 0 A 及び高周波電源 1 5 0 B から出力される高周波は、上述した周波数に限られるものではない。例えば 1 3. 5 6 M H z、2 7 M H z、4 0 M H z、6 0 M H z など様々な周波数の高周波電力が供給されてもよい。但し、高周波電源 1 5 0 A 及び高周波電源 1 5 0 B から出力される高周波電力に応じて内側アンテナ素子 1 4 2 A 及び外側アンテナ素子 1 4 2 B の電氣的長さは調整され得る。また、内側シールド板 1 6 4 A の高さ方向位置及び外側シールド板 1 6 4 B の高さ方向位置はそれぞれ、アクチュエータ 1 6 8 A 及びアクチュエータ 1 6 8 B によって調整できるようになっている。

- [0079] プラズマ処理装置 100A は、制御部 200 を更に備えている。この制御部 200 によってプラズマ処理装置 100A の各部が制御されるようになっている。また、制御部 200 には、オペレータがプラズマ処理装置 100A 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 100A 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操作部 210 が接続されている。
- [0080] さらに、制御部 200 には、プラズマ処理装置 100A で実行される各種処理を制御部 200 の制御にて実現するためのプログラムやプログラムを実行するために必要なレシピデータ等が記憶された記憶部 220 が接続されている。
- [0081] 記憶部 220 には、例えばウエハ W のプロセス処理を実行させるための複数のプロセス処理レシピの他、処理容器 192 内のクリーニング処理など必要な処理を行うためのレシピ等が記憶されている。これらのレシピは、プラズマ処理装置 100A の各部を制御する制御パラメータ、設定パラメータ等の複数のパラメータ値をまとめたものである。例えばプロセス処理レシピは、例えば処理ガスの流量、処理容器 192 内の圧力、内側アンテナ素子 142A 及び外側アンテナ素子 142B に供給する高周波電力の周波数やパワーなどのパラメータ値を含む。
- [0082] 以下、プロセスモジュール PM4 として用いることが可能なプラズマ処理装置 100B について説明する。図 10 は、図 7 に示すプロセスモジュール PM4 として用いることが可能なプラズマ処理装置を概略的に示す図である。
- [0083] プラズマ処理装置 100B は、仕切板 230 を備えている点において、プラズマ処理装置 100A とは異なっている。仕切板 230 は、処理容器 192 の内部に設けられている。仕切板 230 は、空間 S101 と空間 S102 との間に介在して、空間 S101 と空間 S102 を区画している。プラズマ処理装置 100B では、空間 S101 は、プラズマ源によってプラズマが生成される空間である。空間 S102 は、ウエハ W が配置される空間である。

仕切板 230 は、少なくとも二つの板状部材、即ち、板状部材 230A 及び板状部材 230C を有している。板状部材 230A 及び板状部材 230C は、空間 S101 から空間 S102 に向かう方向において順に配列されている。板状部材 230A と板状部材 230C との間には、両者の間隔を所定の間隔に維持するスペーサー 230B が配置されている。

[0084] 板状部材 230A 及び板状部材 230C には、これらの配列方向に貫通する複数のスリットが形成されている。なお、スリットは貫通孔であってもよい。板状部材 230A に形成された各スリットは、上記配列方向からみて、板状部材 230C に形成された各スリットと重ならないように配置されている。板状部材 230A、230C の材料としては、例えば石英ガラスが用いられる。スペーサー 230B の材料としては、例えばアルミニウム Al が用いられる。このように構成された仕切板 230 は、イオン及び真空紫外光の透過を抑制する、所謂イオントラップとして機能する。なお、排気部 130 による空間 S100 の減圧が行われている状態では、空間 S101 で生成されたラジカルは、空間 S101 と空間 S102 との間の圧力差によって、空間 S101 から仕切板 230 を透過して空間 S102 に移動することができる。

[0085] 以下、プロセスモジュール PM1、プロセスモジュール PM2、プロセスモジュール PM4 として、プラズマ処理装置 10、プラズマ処理装置 100A、プラズマ処理装置 100B をそれぞれ備える処理システム PS において方法 MT を実施する場合の当該処理システム PS の運用に関して、種々の実施形態を説明する。

[0086] 一実施形態では、工程 ST1 及び工程 ST2 がプラズマ処理装置 10 を用いて順に実行される。工程 ST1 では、図 2 の (a) に示すウエハ W を収容したプラズマ処理装置 10 の処理容器 12 内に、上述したマスク層 ML のエッチング用の処理ガスが供給され、当該処理ガスのプラズマが生成される。また、工程 ST2 では、プラズマ処理装置 10 の処理容器 12 内に処理ガス A が供給され、当該処理ガス A のプラズマが生成される。

- [0087] 次いで、ウエハWは、プラズマ処理装置100Aに搬送される。そして、プラズマ処理装置100Aを用いて工程ST3が実行される。なお、一実施形態では、工程ST3においてウエハWが配置される空間の圧力は、工程ST2においてウエハWが配置される空間の圧力よりも高い圧力に設定される。例えば、工程ST3においてウエハWが配置される空間の圧力は、1 Torr (133.3 Pa) 以上の圧力に設定される。例えば、工程ST31では、ウエハWが配置される空間の圧力は、5 Torr (666.6 Pa) に設定され、工程ST32では、ウエハWが配置される空間の圧力は、40 Torr (5333 Pa) に設定される。また、工程ST3ではウエハWの温度は、工程ST2におけるウエハWの温度よりも高い温度に設定される。例えば、工程ST3の工程ST31では、ウエハWの温度は200℃といった温度に設定される。このため、一実施形態では、工程ST2の実行後、工程ST3の実行のために、ウエハWは、プラズマ処理装置100Aに搬送される。
- [0088] 工程ST3の実行前に、プラズマ処理装置100Aでは、載置台110の温度が上述したような高温、例えば200℃に設定される。また、プラズマ処理装置100Aの処理容器192内にはArガスといった不活性ガスが供給される。次いで、工程ST3の工程ST31では、プラズマ処理装置100Aの処理容器192内に、処理ガスBが第1ガス供給部120Aから供給され、当該処理ガスBのプラズマが生成される。処理ガスBは、例えば、150 sccmのH₂ガス、300 sccmのArガス、及びN₂ガスを含み得る。N₂ガスの流量は、任意に設定され得る。また、工程ST31では、高周波電源150A及び高周波電源150Bによってアンテナ140のアンテナ素子に供給される電力は、例えば1000Wに設定され得る。
- [0089] 次いで、Arガスといった不活性ガスによって、プラズマ処理装置100Aの処理容器192内のガスを置換した後に、工程ST32が実行される。工程ST32では、プラズマ処理装置100Aの処理容器192内に、処理ガスCが第2ガス供給部120Bから供給される。なお、工程ST32にお

いて処理ガスCは励起されず、したがって、工程ST32ではプラズマは生成されない。この処理ガスCは、例えば、280 sccmのh f a c H、100 sccmのH₂O、及び30 sccmのO₂ガスを含み得る。

[0090] これら工程ST31及び工程ST32が一回ずつ、或いは交互に複数回繰り返された後、ウエハWはプロセスモジュールPM3に搬送される。プロセスモジュールPM3では、工程ST4が実行される。これにより、ウエハW上に保護膜PFが形成される。

[0091] 次いで、ウエハWは、プラズマ処理装置100Bに搬送される。そして、プラズマ処理装置100Bを用いて工程ST5が実行される。工程ST5の工程ST51では、プラズマ処理装置100Bの処理容器192内に、処理ガスDが第1ガス供給部120Aから供給され、当該処理ガスDのプラズマが生成される。次いで、工程ST52が実行される。工程ST52では、プラズマ処理装置100Bの処理容器192内に、処理ガスEが第2ガス供給部120Bから供給される。

[0092] 次いで、ウエハWは、プラズマ処理装置10に搬送される。そして、プラズマ処理装置10を用いて工程ST6及び工程ST7が順に実行される。工程ST6においては、プラズマ処理装置10の処理容器12内に処理ガスFが供給され、当該処理ガスFのプラズマが生成される。また、工程ST7では、プラズマ処理装置10の処理容器12内に処理ガスGが供給され、当該処理ガスGのプラズマが生成される。これにより、方法MTの実施が完了し、MRAM素子が製造される。

[0093] 別の実施形態では、工程ST2、工程ST31、及び工程ST32がプラズマ処理装置100Aを用いて実行されてもよい。更に別の実施形態では、工程ST6及び工程ST7の少なくとも一方がプラズマ処理装置100Aを用いて実行されてもよい。

[0094] 以上、種々の実施形態について説明してきたが、上述した実施形態に限定されることなく種々の変形態様を構成可能である。例えば、上述したプラズマ処理装置100Aは、仕切板230を有していないが、例えば、プラズマ

処理装置 100B よりも少数の板状部材を含む仕切板を有していてもよい。
この場合には、ウエハWに供給されるイオンの量を減少させることが可能となる。

[0095] また、上述した実施形態では、上部磁性層のエッチングによって生じた堆積物の除去のために工程ST3を実行しているが、下部磁性層のエッチングによって生じる耐性物の除去のために工程ST3を実行してもよい。

符号の説明

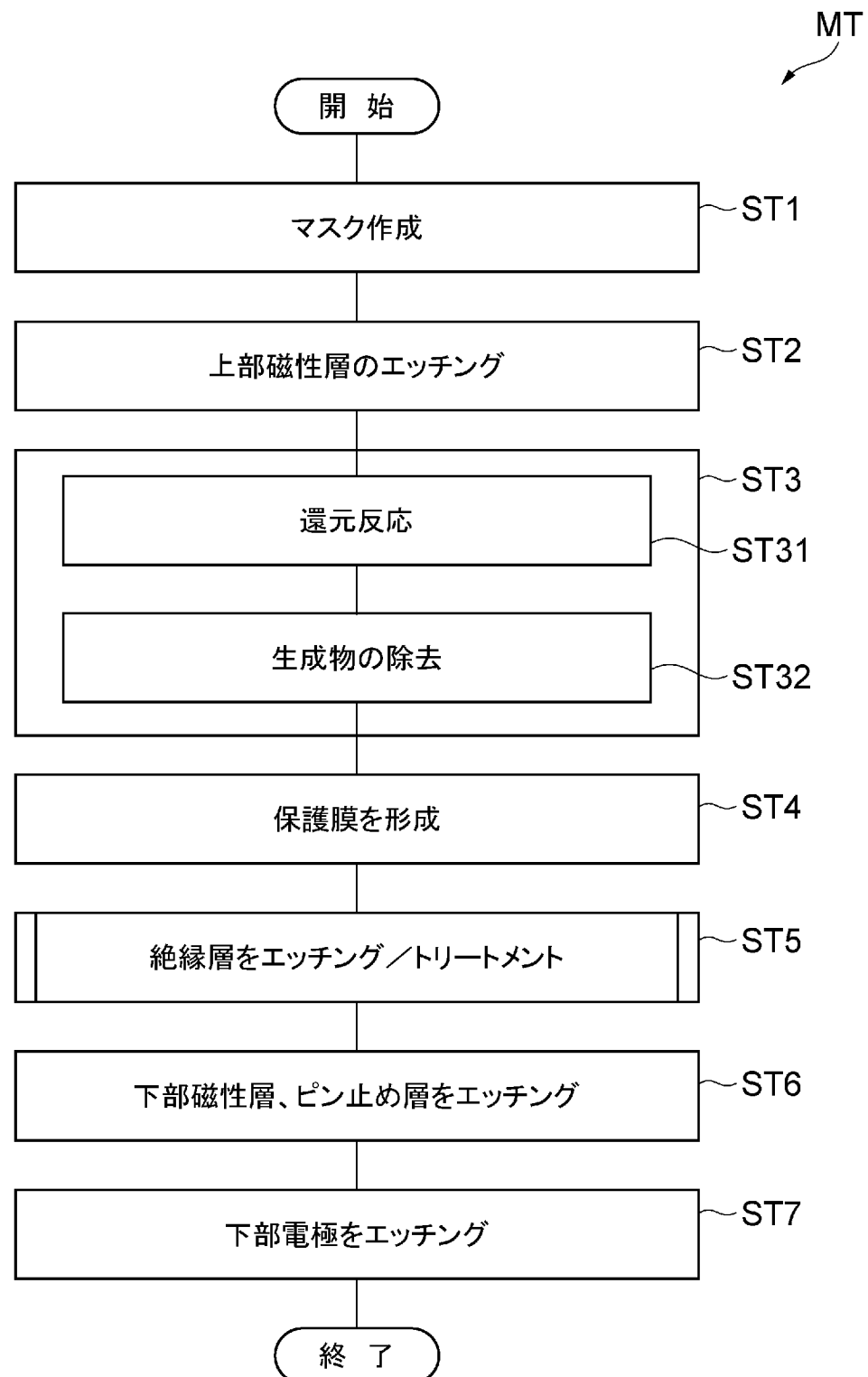
[0096] PS…処理システム、LDM…ロードモジュール、LL1…ロードロックチャンバ、LL2…ロードロックチャンバ、TC…トランスファーチャンバ、PM1…プロセスモジュール、PM2…プロセスモジュール、PM3…プロセスモジュール、PM4…プロセスモジュール、10…プラズマ処理装置、12…処理容器、70…載置台、14…ベース、50…静電チャック、26…排気装置、32…高周波電源、35…高周波電源、38…シャワーヘッド、44…ガス供給源、66…制御部、100A…プラズマ処理装置、100B…プラズマ処理装置、192…処理容器、110…載置台、120A…第1ガス供給部、120B…第2ガス供給部、130…排気部、140…アンテナ、142A…内側アンテナ素子、142B…外側アンテナ素子、150A…高周波電源、150B…高周波電源、194…誘電体、200…制御部、230…仕切板、W…ウエハ、SB…基板、LE…下部電極層、PL…ピン止め層、LM…下部磁性層、IL…絶縁層、UM…上部磁性層、UE…上部電極層、ML…マスク層、MK…マスク、DP…堆積物、RP…生成物、PF…保護膜、RP2…反応生成物。

請求の範囲

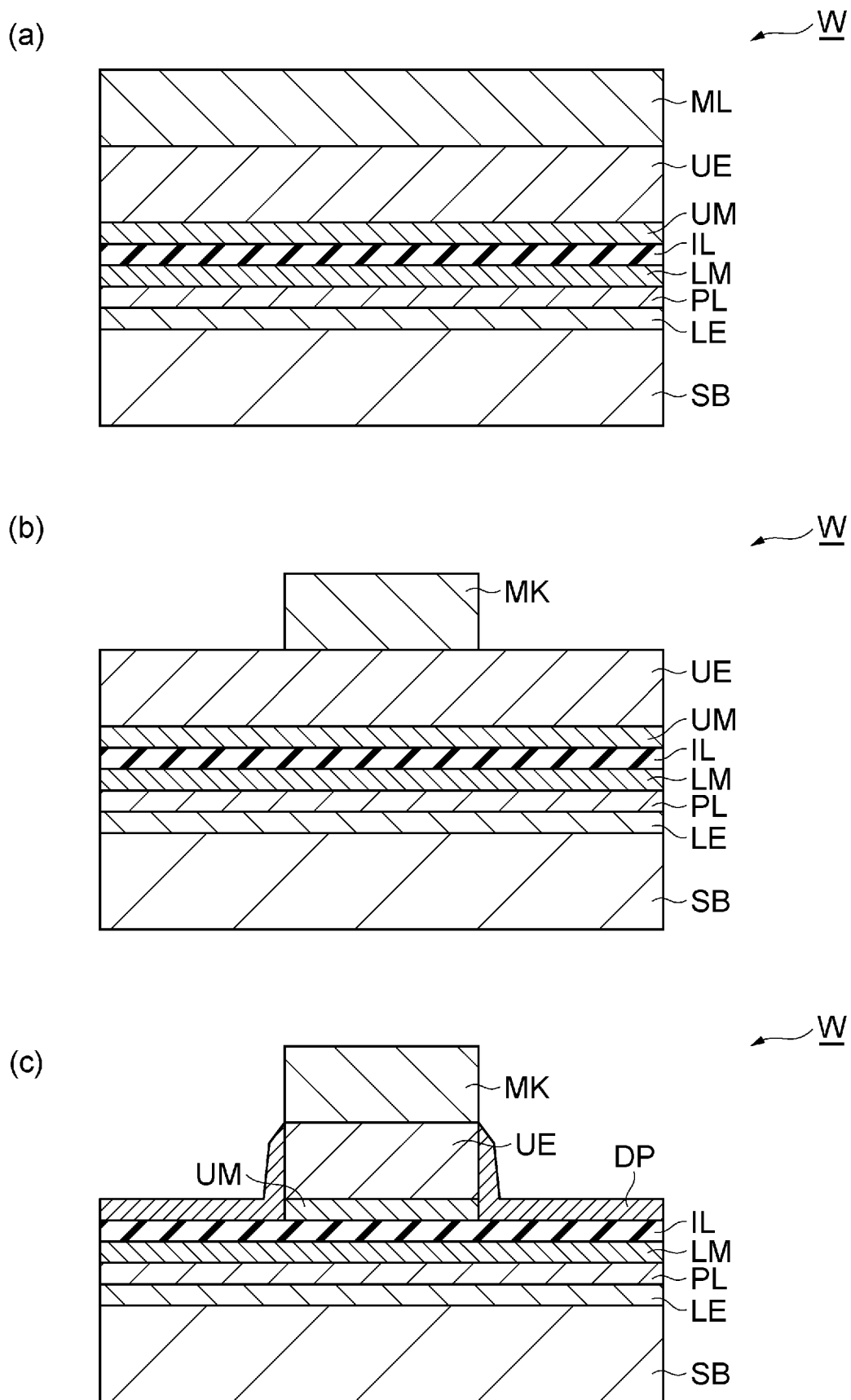
- [請求項1] 被処理体进行处理する方法であって、該被処理体は、下部磁性層、該下部磁性層上に設けられた絶縁層、該絶縁層上に設けられた上部磁性層、及び該上部磁性層上に設けられたマスクを有し、該方法は、
- 前記上部磁性層をエッチングする工程であり、プラズマ処理装置の処理容器内に第1の処理ガスを供給し、該第1の処理ガスのプラズマを発生させて、該第1の処理ガスのプラズマにより前記上部磁性層をエッチングする、該工程と、
- 前記上部磁性層をエッチングする前記工程によって前記被処理体上に形成された堆積物を除去する工程と、
- を含み、
- 前記堆積物を除去する工程は、
- H_2 ガスを含む第2の処理ガスのプラズマによって前記堆積物に還元反応を生じさせる工程と、
- 還元する前記工程により生成された生成物を、ヘキサフルオロアセチルアセトンを含む第3の処理ガスを用いて除去する工程と、
- を含む、方法。
- [請求項2] 前記上部磁性層をエッチングする前記工程と前記堆積物を除去する工程とが交互に繰り返される、請求項1に記載の方法。
- [請求項3] 前記第2の処理ガスは、更に N_2 ガスを含む、請求項1又は2に記載の方法。
- [請求項4] 前記第3の処理ガスは、 H_2O を含む、請求項1～3の何れか一項に記載の方法。
- [請求項5] 前記上部磁性層は、 $CoFeB$ を含む、請求項1～4の何れか一項に記載の方法。
- [請求項6] 前記絶縁層をエッチングする工程であり、プラズマ処理装置の処理容器内に第4の処理ガスを供給し、該第4の処理ガスのプラズマを発生させて、該第4の処理ガスのプラズマにより前記絶縁層をエッチン

グする該工程を更に含む、請求項 1 ～ 5 の何れか一項に記載の方法。

[図1]

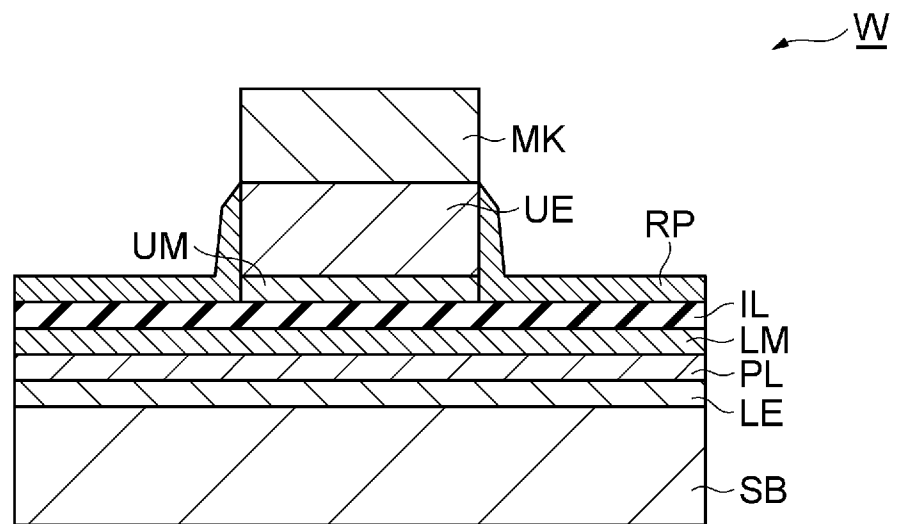


[図2]

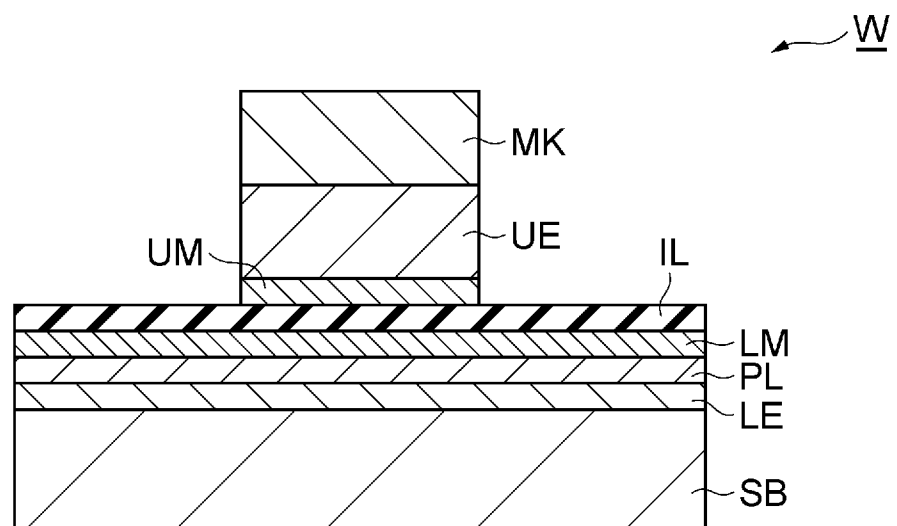


[図3]

(a)

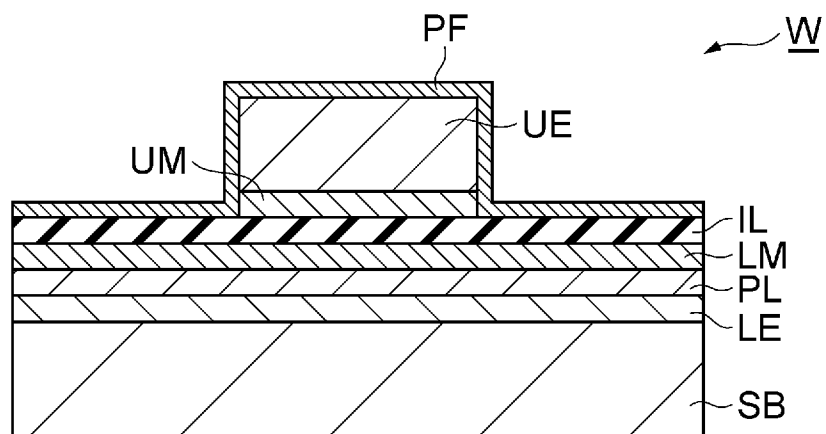


(b)

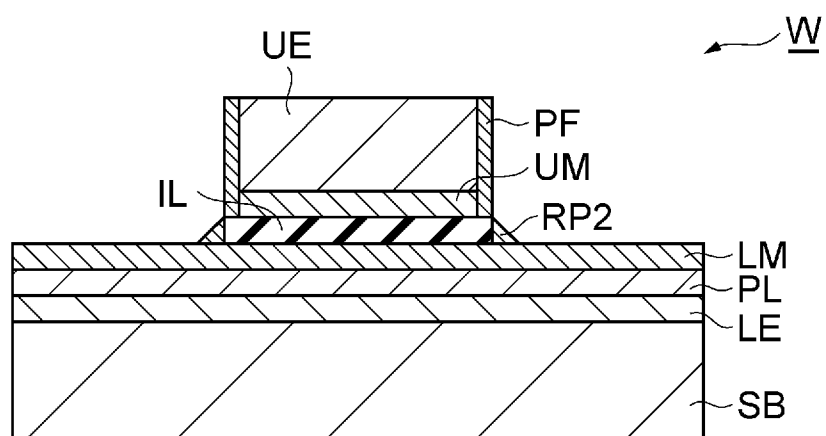


[図4]

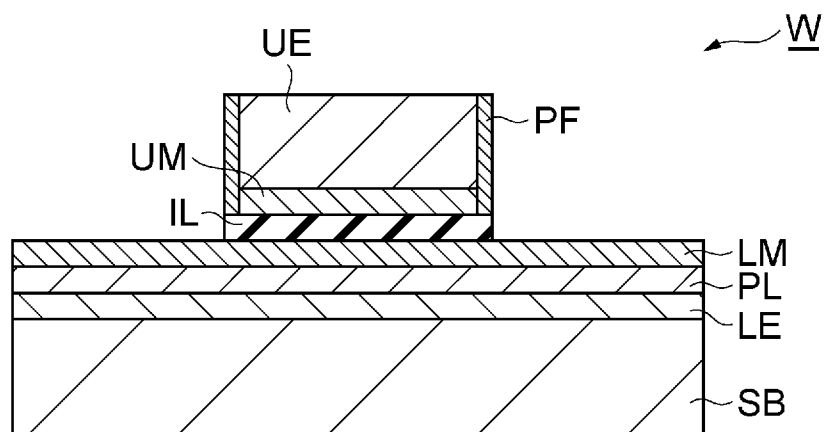
(a)



(b)

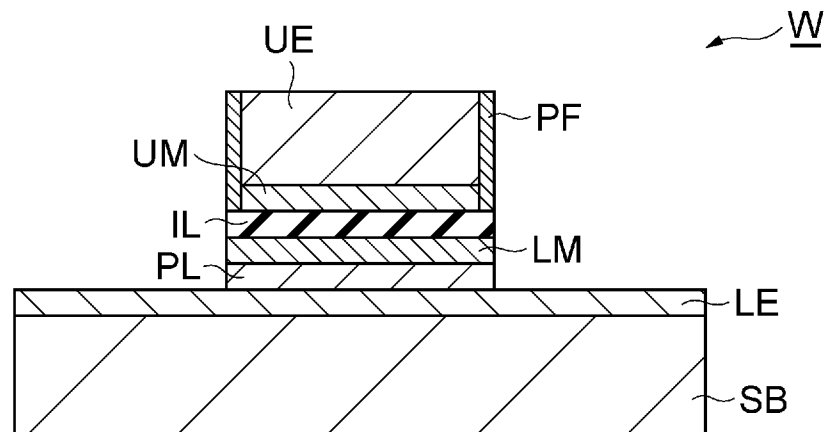


(c)

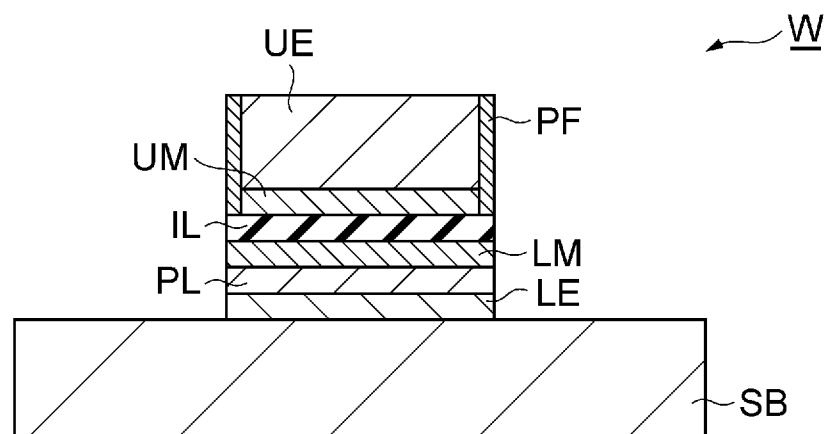


[図5]

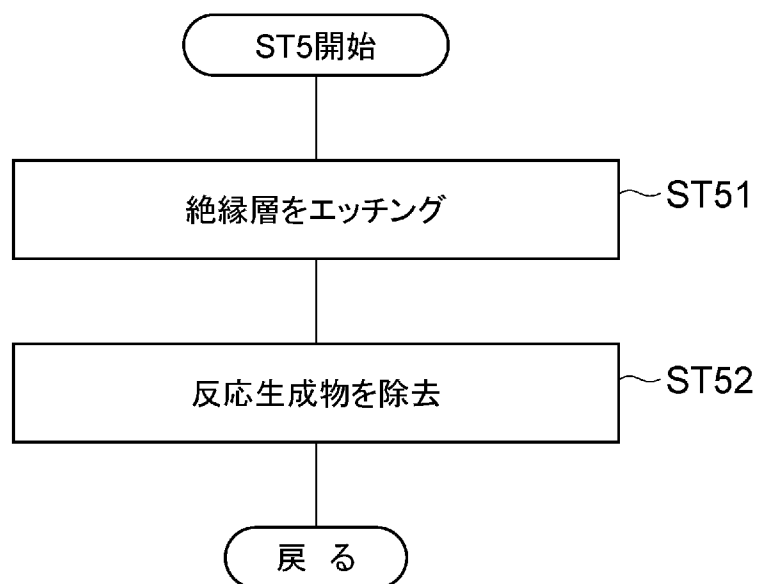
(a)



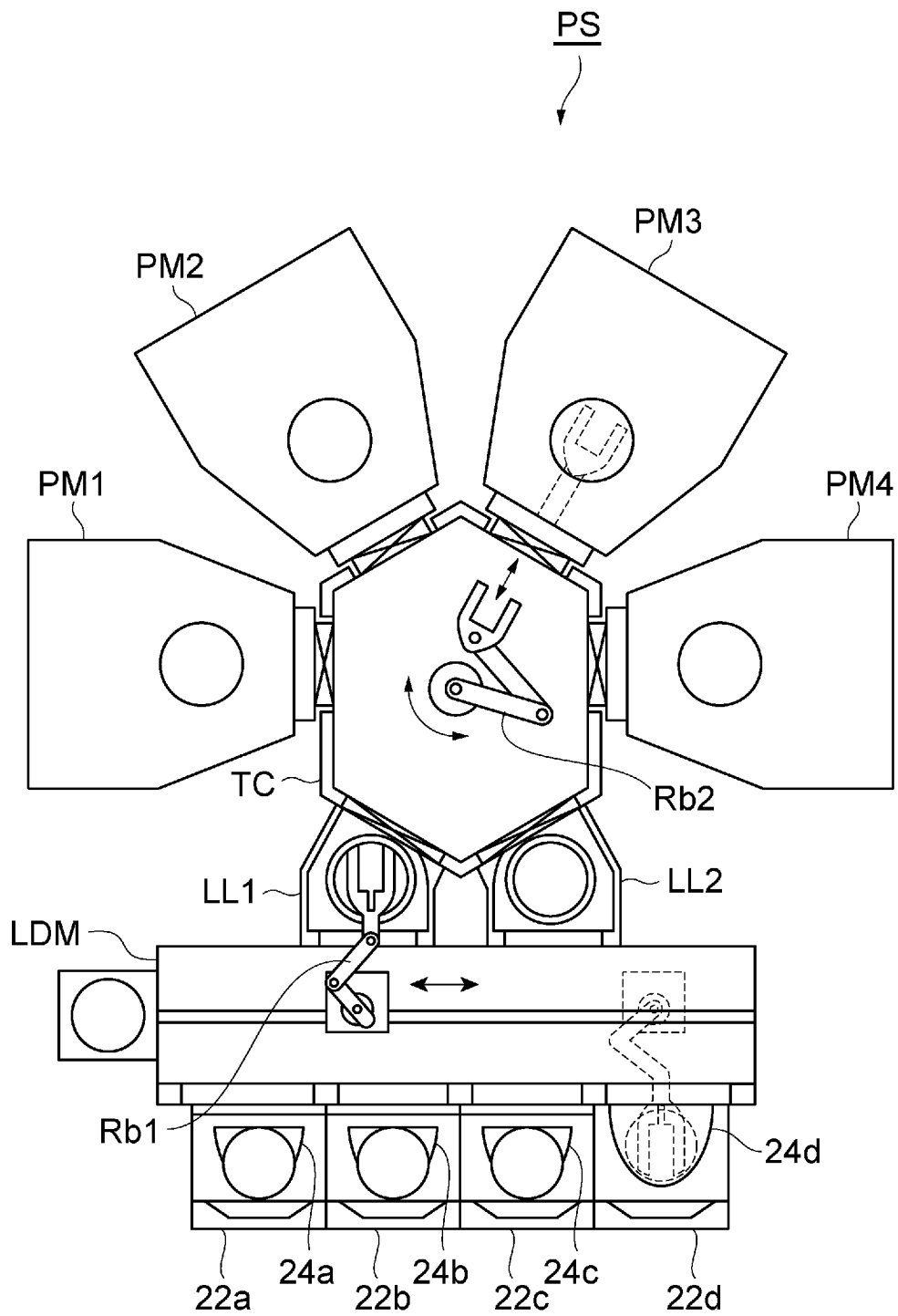
(b)

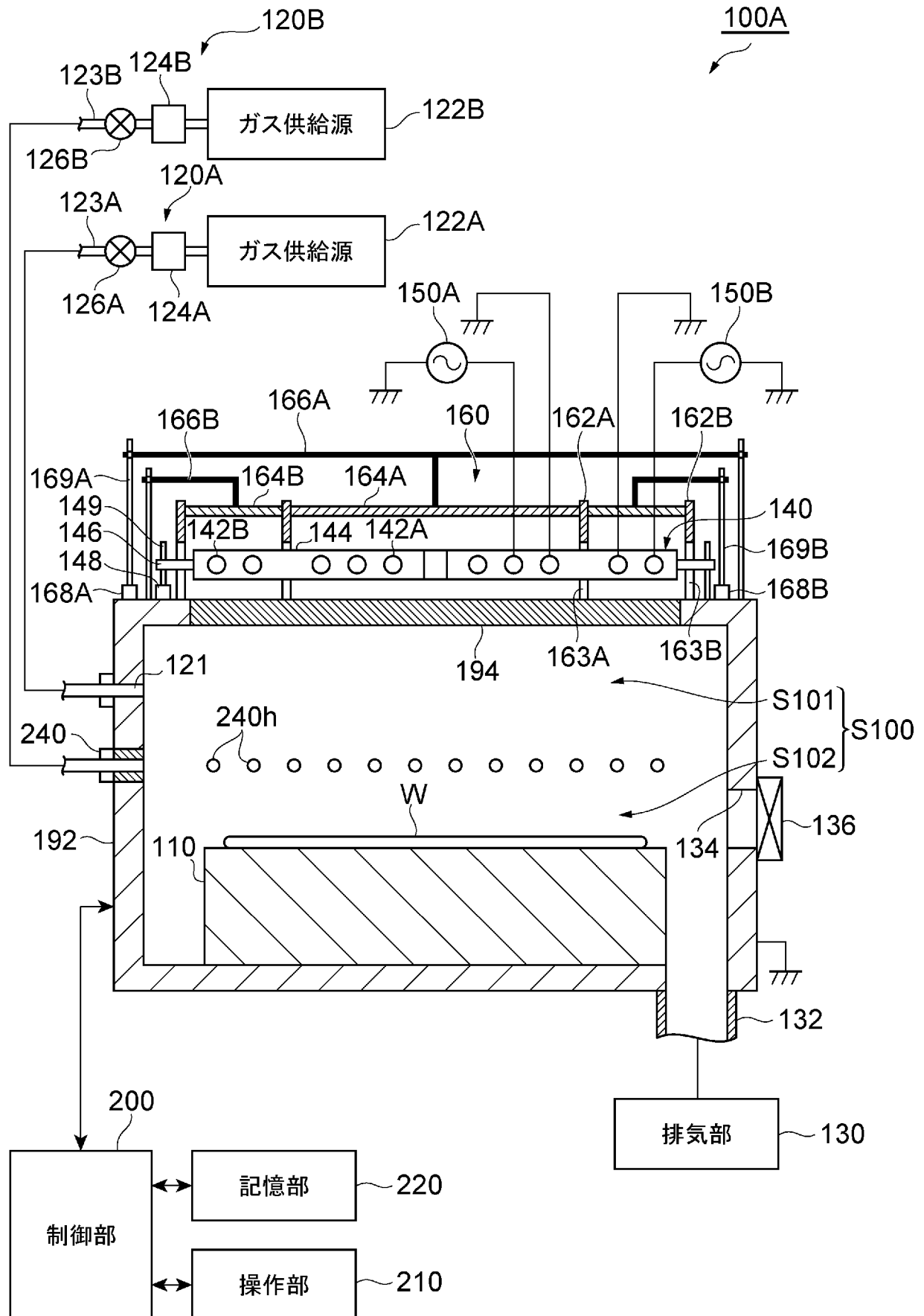


[図6]

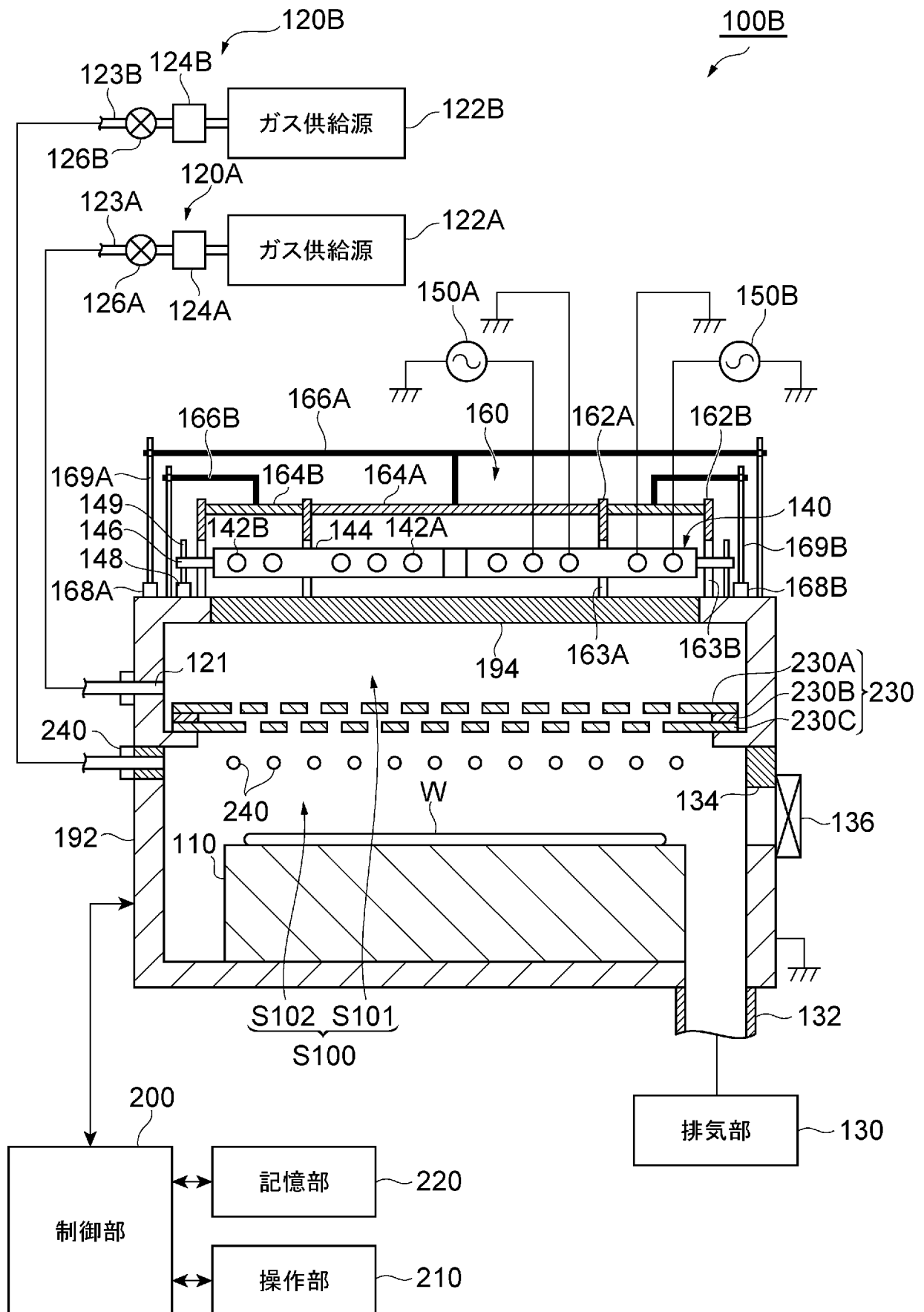


[図7]





[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/069861

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L43/12(2006.01)i, H01L21/3065(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i,
H01L27/105(2006.01)i, H01L43/08(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)

H01L43/12, H01L21/3065, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
A	JP 2014-112664 A (Tokyo Electron Ltd.), 19 June 2014 (19.06.2014), entire text; all drawings & US 2014/0120635 A1 & KR 10-2014-0056051 A	1-6
A	JP 2014-103155 A (Tokyo Electron Ltd.), 05 June 2014 (05.06.2014), entire text; all drawings & US 2014/0141532 A1 & KR 10-2014-0063453 A & TW 201426884 A	1-6
A	JP 2001-351898 A (NEC Corp.), 21 December 2001 (21.12.2001), entire text; all drawings & US 2001/0055884 A1 & EP 1164633 A2 & TW 582072 B	1-6

☒ 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
30 September 2015 (30.09.15)

Date of mailing of the international search report
13 October 2015 (13.10.15)

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/JP2015/069861

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-014679 A (Canon Anelva Corp.), 20 January 2011 (20.01.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L43/12(2006.01)i, H01L21/3065(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L43/12, H01L21/3065, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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
A	JP 2014-112664 A（東京エレクトロン株式会社）2014.06.19, 全文及び全図面 & US 2014/0120635 A1 & KR 10-2014-0056051 A	1-6
A	JP 2014-103155 A（東京エレクトロン株式会社）2014.06.05, 全文及び全図面 & US 2014/0141532 A1 & KR 10-2014-0063453 A & TW 201426884 A	1-6
A	JP 2001-351898 A（日本電気株式会社）2001.12.21, 全文及び全図面 & US 2001/0055884 A1 & EP 1164633 A2 & TW 582072 B	1-6

☒ 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

3 0 . 0 9 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 3 . 1 0 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

境 周一

5 F

3 6 5 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 1 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-014679 A (キヤノンアネルバ株式会社) 2011.01.20, 全文 及び全図面 (ファミリーなし)	1-6