

(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7月28日(28.07.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/117359 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 43/12 (2006.01) H01L 21/8246 (2006.01)
C23C 14/58 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
H01F 10/16 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
H01F 10/26 (2006.01) H01L 43/10 (2006.01)
H01F 41/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/050265
- (22) 国際出願日: 2016年1月6日(06.01.2016)
- (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 2015-008528 2015年1月20日(20.01.2015) 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: 北田 亨(KITADA Toru); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロ

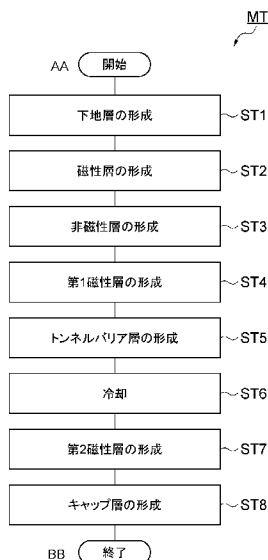
ン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 中村 貴人 (NAKAMURA Kanto); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 五味 淳(GOMI Atsushi); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 古川 真司(FURUKAWA Shinji); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 鈴木 祐介(SUZUKI Yusuke); 97006 オレゴン州ビーバートン20175番 エヌダブリュ アンバーグレンコート スイート 140 トーキョー エレクトロン アメリカ インコーポレーテッド内 Oregon (US).

- (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).

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR FORMING PERPENDICULAR MAGNETIZATION TYPE MAGNETIC TUNNEL JUNCTION ELEMENT AND APPARATUS FOR PRODUCING PERPENDICULAR MAGNETIZATION TYPE MAGNETIC TUNNEL JUNCTION ELEMENT

(54) 発明の名称: 垂直磁化型磁気トンネル接合素子を形成する方法、及び垂直磁化型磁気トンネル接合素子の製造装置



ST1 Formation of base layer
ST2 Formation of magnetic layer
ST3 Formation of non-magnetic layer
ST4 Formation of first magnetic layer
ST5 Formation of tunnel barrier layer
ST6 Cooling
ST7 Formation of second magnetic layer
ST8 Formation of cap layer
AA Start
BB End

(57) Abstract: Provided is a method for forming a perpendicular magnetization type magnetic tunnel junction element. This method comprises: a step for forming a tunnel barrier layer on a first magnetic layer of a body to be processed; a step for cooling the body to be processed, on which the tunnel barrier layer has been formed; and a step for forming a second magnetic layer on the tunnel barrier layer after the cooling step.

(57) 要約: 垂直磁化型磁気トンネル接合素子を形成する方法が提供される。この方法は、被処理体の第1磁性層上にトンネルバリア層を形成する工程と、トンネルバリア層が形成された被処理体を冷却する工程と、冷却する工程の後に、トンネルバリア層上に第2磁性層を形成する工程と、を含む。

WO 2016/117359 A1



(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,

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：

垂直磁化型磁気トンネル接合素子を形成する方法、及び垂直磁化型磁気トンネル接合素子の製造装置

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、垂直磁化型磁気トンネル接合素子を形成する方法、及び垂直磁化型磁気トンネル接合素子の製造装置に関するものである。

背景技術

[0002] MRAM (M a g n e t o r e s i s t i v e R a n d o m A c c e s s M e m o r y) 等のTMR (T u n n e l M a g n e t o - R e s i s t a n c e) 効果を利用する電子デバイスにおいて、磁気トンネル接合 (MTJ : M a g n e t i c T u n n e l J u n c t i o n) 素子が用いられている。

[0003] MTJ素子は、二つの磁性層、及び、これら二つの磁性層間に設けられたトンネルバリア層を有している。このようなMTJ素子の製造では、第1磁性層上にトンネルバリア層が形成され、次いで、トンネルバリア層上に第2磁性層が形成される。MTJ素子におけるこれらの層の形成には、一般的にはスパッタリング装置といった成膜装置が用いられる。なお、このようなMTJ素子の製造に関しては、例えば、特開平8-129722号公報、特開2002-151760号公報に記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平8-129722号公報

特許文献2：特開2002-151760号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、MTJ素子の一種として、垂直磁化型MTJ素子がある。垂直磁化型MTJ素子では、垂直磁気異方性エネルギーが熱エネルギーよりも低くなると、磁性体の磁化方向の揺らぎ、即ち、熱擾乱が生じ、記憶素子としての機能を維持することができなくなる。

[0006] したがって、垂直磁化型MTJ素子の垂直磁気異方性エネルギーを向上させることが要求されている。

課題を解決するための手段

[0007] 一態様においては、垂直磁化型磁気トンネル接合素子を形成する方法が提供される。この方法は、（a）被処理体の第1磁性層上にトンネルバリア層を形成する工程と、（b）トンネルバリア層が形成された被処理体を冷却する工程と、（c）冷却する工程の後に、トンネルバリア層上に第2磁性層を形成する工程と、を含む。

[0008] 上記方法によれば、トンネルバリア層の形成後、且つ、第2磁性層の形成直前の工程において被処理体が冷却されるので、垂直磁化異方性エネルギーが向上される。これは、第2磁性層の形成の直前に被処理体が冷却されているので、第2磁性層の形成時に下地のトンネルバリア層が低温の状態に維持され、第2磁性層を構成する原子がトンネルバリア層に付着した際の原子移動度が低下することによってピーニング効果が低減され、その結果、第2磁性層の膜応力が引張応力側にシフトして、面内方向の異方性エネルギーが低下することによるものと推測される。

[0009] 一実施形態では、冷却する工程において、被処理体が200ケルビン以下の温度に冷却され得る。この実施形態によれば、作成される垂直磁化型磁気トンネル接合素子のMR比が向上される。

[0010] 一実施形態では、トンネルバリア層は酸化マグネシウムから構成される。この実施形態におけるトンネルバリア層を形成する工程は、第1磁性層上にマグネシウム層を成膜する工程と、マグネシウム層を酸素雰囲気中で酸化させる工程と、を含む。この実施形態では、トンネルバリア層の形成時に被処理体が加熱される。したがって、トンネルバリア層の形成後、且つ、第2磁

性層の形成直前に実行される冷却が、より効果的なものとなる。

- [0011] 一実施形態では、第1磁性層及び第2磁性層は、コバルト、鉄、及びホウ素を含んでいてもよい。
- [0012] 別の態様では、垂直磁化型磁気トンネル接合素子を形成するための製造装置が提供される。この製造装置は、搬送装置、第1～第4のモジュール、及び制御部を備える。搬送装置は、被処理体を搬送するよう構成されている、第1モジュールは、第1磁性層を形成するよう構成されている。第2モジュールは、トンネルバリア層を形成するよう構成されている。第3モジュールは、被処理体を冷却するよう構成されている。第4モジュールは、第2磁性層を形成するよう構成されている。制御部は、第1モジュール、第2モジュール、第3モジュール、及び第4モジュールを制御するよう構成されている。制御部は、(a)被処理体を第1モジュールに搬送し、(b)第1モジュールにおいて被処理体上に第1磁性層を形成し、(c)第1モジュールから第2モジュールに被処理体を搬送し、(d)第2モジュールにおいて第1磁性層上にトンネルバリア層を形成し、(e)第2モジュールから第3モジュールに被処理体を搬送し、(f)第3モジュールにおいて被処理体を冷却し、(g)第3モジュールから第4モジュールに被処理体を搬送し、(h)第4モジュールにおいてトンネルバリア層上に第2磁性層を形成するよう、搬送装置、第1モジュール、第2モジュール、第3モジュール、及び第4モジュールを制御する。この製造装置によれば、高い垂直磁気異方性エネルギーを有する垂直磁化型MTJ素子を提供することが可能となる。
- [0013] 一実施形態では、第3モジュールは、200ケルビン以下の温度に被処理体を冷却するよう構成され得る。
- [0014] 一実施形態では、第2モジュールは、マグネシウムをスパッタリングしてマグネシウム層を形成するよう構成された成膜装置と、マグネシウム層が形成された被処理体を酸素雰囲気中で酸化させるよう構成された酸化処理装置と、を備え得る。

発明の効果

[0015] 以上説明したように、垂直磁化型MTJ素子の垂直磁気異方性エネルギーを向上させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]一実施形態に係る垂直磁化型磁気トンネル接合素子を形成する方法を示す流れ図である。

[図2]図1に示す方法によって作成される垂直磁化型磁気トンネル接合素子を示す断面図である。

[図3]図1に示す方法の実施に利用することができる製造装置を示す図である。

[図4]図1に示す方法の実施の途中で作成される被処理体を示す断面図である。

[図5]図1に示す方法の工程ST4を説明するための図である。

[図6]図1に示す方法の工程ST5の一実施形態を示す流れ図である。

[図7]図1に示す方法の工程ST5を説明するための図である。

[図8]図1に示す方法の工程ST5を説明するための図である。

[図9]図1に示す方法の工程ST6を説明するための図である。

[図10]図1に示す方法の工程ST7を説明するための図である。

[図11]実験例1及び比較実験例1で作成したMTJ素子の規格化MR比を示すグラフである。

[図12]実験例1及び比較実験例1で作成したMTJ素子の磁化曲線を示すグラフである。

[図13]実験例2及び比較実験例2で作成した素子の磁性層ML2の垂直磁気異方性エネルギーを示すグラフである。

[図14]実験例3、比較実験例3、及び比較実験例4で作成したMTJ素子の規格化MR比を示すグラフである。

[図15]実験例4で作成した複数個のMTJ素子の規格化MR比を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0017] 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。

[0018] 図1は、一実施形態に係る垂直磁化型磁気トンネル接合素子を形成する方法を示す流れ図である。図1に示す方法MTは、基本的に、第1磁性層を形成する工程ST4、トンネルバリア層を形成する工程ST5、被処理体を冷却する工程ST6、及び、第2磁性層を形成する工程ST7を含んでいる。

[0019] 図2は、図1に示す方法によって作成される垂直磁化型磁気トンネル接合素子(MTJ素子)を示す断面図である。図2に示す、MTJ素子MDは、所謂トップフリー型のMTJ素子である。なお、別の実施形態では、MTJ素子は、所謂ボトムフリー型のMTJ素子であってもよい。図2に示すトップフリー型のMTJ素子は、基板SB、下地層UL、磁性層ML、非磁性層AML、磁性層ML1、トンネルバリア層TL、磁性層ML2、及びキャップ層CLを有している。磁性層ML1は一実施形態の第1磁性層であり、磁性層ML2は一実施形態の第2磁性層である。

[0020] 基板SBは、例えば、Si基板である。下地層ULは、基板SB上に設けられている。一実施形態では、下地層ULは、例えば、白金(Pt)、又はタンタル(Ta)から構成され得る。

[0021] 磁性層ML1は、下地層UL等を介して基板SBの上に設けられている。磁性層ML1は、強磁性材料から構成される。磁性層ML1は、コバルト(Co)、Co及び鉄(Fe)、又は、Co、Fe、及びホウ素(B)から構成され得る。一例では、磁性層ML1は、CoFeBから構成され得る。また、磁性層ML2は、トンネルバリア層TLを介して磁性層ML1上に設けられている。即ち、磁性層ML1と磁性層ML2の間にトンネルバリア層TLが設けられている。トンネルバリア層TLは、アルミニウム(Al)、チタン(Ti)、マグネシウム(Mg)、又は亜鉛(Zn)といった金属の酸化物から構成される。一例では、トンネルバリア層TLは、酸化マグネシウムから構成され得る。また、磁性層ML2は、記憶層であり、磁性層ML1と同様の強磁性材料から構成される。キャップ層CLは、磁性層ML2上に

設けられている。キャップ層CLは、例えば、Taから構成され得る。

[0022] 図2に示すトップフリー型のMTJ素子MDでは、磁性層ML、非磁性層AML、及び磁性層ML1は、固定層を構成している。磁性層MLは、下地層UL上に設けられており、非磁性層AMLは、磁性層ML上に設けられている。磁性層ML1は、非磁性層AML上に設けられている。磁性層MLは、磁性層ML1の磁化方向を固定するための層である。

[0023] 第1例では、磁性層MLは、人工格子膜であり、非磁性層AMLを介して、磁性層ML1と強磁性結合を形成する。この第1例では、磁性層MLは、例えば、複数のCo膜と複数のPt膜との交互の繰り返し、複数のCo膜と複数のパラジウム(Pd)膜との交互の繰り返し、又は、複数のCo膜と複数のニッケル(Ni)膜との交互の繰り返しから構成され得る。また、非磁性層AMLは、例えば、ルテニウム(Ru)から構成され得る。

[0024] 第2例では、磁性層MLは、磁性層ML1と強磁性結合を形成する合金から構成される。この例では、磁性層MLは、Fe及びPtを含む合金、又は、Co及びPtを含む合金から構成され得る。また、非磁性層AMLは、例えば、Ruから構成され得る。

[0025] 第3例では、固定層は積層フェリ構造を有し、磁性層MLは、非磁性層AMLを介して磁性層ML1と反強磁性結合を形成する。

[0026] 再び図1を参照する。方法MTは、図2に示すMTJ素子MDを形成する実施形態では、下地層ULを形成する工程ST1、磁性層MLを形成する工程ST2、非磁性層AMLを形成する工程ST3、及びキャップ層CLを形成する工程ST8を更に含み得る。

[0027] 図3は、図1に示す方法MTの実施に利用することができる製造装置を示す図である。図3に示す製造装置10は、台12a~12d、収容容器14a~14d、ローダモジュール16、ロードロックチャンバ18、搬送装置20、モジュール22a~22n、モジュール24、モジュール26、モジュール28、モジュール30、及びモジュール32を備えている。

[0028] 収容容器14a~14dは、その内部に被処理体（以下、「ウエハ」とい

う)を収容する容器であり、台12a~12d上にそれぞれ配置されている。ローダモジュール16は、大気圧環境の内部空間を提供するチャンバ内に、搬送ロボットを有している。ローダモジュール16の搬送ロボットは、収容容器14a~14dの何れかに収容されているウエハを、ロードロックチャンバ18に搬送する。

[0029] ロードロックチャンバ18は、予備減圧室を提供している。ローダモジュール16からロードロックチャンバ18にウエハが搬入されると、ロードロックチャンバ18の予備減圧室が減圧される。

[0030] 搬送装置20は、減圧可能な内部空間を提供するチャンバと、当該チャンバ内に設けられた搬送ロボットを有している。搬送装置20の搬送ロボットは、ロードロックチャンバ18内からウエハを取り出して、方法MTを実施するために、当該ウエハを、モジュール22a~22n、モジュール24、モジュール26、モジュール28、モジュール30、及びモジュール32に順に搬送する。

[0031] モジュール22a~22nは、下地層ULの形成のためのモジュール、磁性層MLの形成のための一以上のモジュール、非磁性層の形成のためのモジュールを含んでおり、何れもスパッタリング装置といった成膜装置であり得る。

[0032] モジュール24は、磁性層ML1を形成するように構成された第1モジュールである。具体的には、モジュール24は、スパッタリング装置といった成膜装置であり得る。

[0033] モジュール26は、トンネルバリア層TLを形成するように構成された第2モジュールである。一実施形態では、モジュール26は、成膜装置26Aと酸化処理装置26Bを有し得る。成膜装置26Aは、上述した金属、即ち、Al、Ti、Mg、Zn等の金属の膜をウエハ上に成膜する装置であり、例えば、スパッタリング装置である。一例では、成膜装置26Aは、マグネシウムから構成されたターゲットを用いてマグネシウム層を形成するスパッタリング装置として構成される。酸化処理装置26Bは、成膜装置26Aに

よって成膜された膜中の金属を酸化させるように構成された装置である。具体的には、酸化処理装置 26B は、ウエハを酸素雰囲気中で加熱するよう構成されている。より具体的な一例では、酸化処理装置 26B は、ウエハに対して加熱された酸素を供給するように構成されている。

[0034] なお、モジュール 26 は、トンネルバリア層 TL を構成する金属酸化物をスパッタリングするよう構成された単一の成膜装置であってもよい。或いは、モジュール 26 は、トンネルバリア層 TL を構成する金属を成膜する機能と、成膜された金属の膜を酸化させる機能を有する単一の成膜装置であってもよい。

[0035] モジュール 28 は、ウエハを冷却するよう構成された第 3 モジュールである。一例では、モジュール 28 は、減圧可能な処理容器、及び、当該処理容器内に設けられたステージを有し得る。モジュール 28 は、ステージ上に載置されたウエハを 200 ケルビン以下の温度、より好ましくは、150 ケルビン以下の温度に冷却し得る。このため、例えば、モジュール 28 は、ステージに結合された冷却ヘッドを含む冷凍機を更に有し得る。このような冷凍機としては、ギフォードマクマホンサイクル（G. M. サイクル）による冷凍機を用いることができる。

[0036] モジュール 30 は、磁性層 ML2 を形成するように構成された第 4 モジュールである。モジュール 30 は、スパッタリング装置といった成膜装置であり得る。また、モジュール 32 は、キャップ層 CL を形成するように構成されており、例えば、スパッタリング装置であり得る。

[0037] 製造装置 10 は、制御部 40 を更に備えている。制御部 40 は、プロセッサ、記憶部、入力装置、表示装置等を備えるコンピュータであることができる。制御部 40 は、製造装置 10 の各部を制御する。具体的には、制御部 40 は、方法 MT を実施するために、製造装置 10 の各部を制御するためのプログラムを記憶部に記憶しており、当該プログラムをプロセッサが実行することにより、方法 MT を実施することが可能である。

[0038] 以下、再び図 1 を参照し、方法 MT について詳細に説明する。なお、以下

の説明では、方法MTが製造装置10を用いて実施され、図2に示すMTJ素子MDが製造される例を説明する。

[0039] 方法MTでは、まず、收容容器14a～14dの何れかから、ロードモジュール16の搬送ロボットによって、基板SBを有するウエハが取り出される。そして、ロードモジュール16の搬送ロボットによって、ウエハがロードロックチャンバ18に搬送される。次いで、ロードロックチャンバ18に收容されたウエハが、搬送装置20の搬送ロボットによって、モジュール22a～22nのうちの下地層ULの形成用のモジュールに搬送される。なお、このようなウエハの搬送に関連する製造装置10の各部の動作は、制御部40によって制御される。

[0040] 次いで、方法MTでは、工程ST1が実行される。工程ST1では、ウエハの基板SB上に下地層ULが形成される。このため、工程ST1では、モジュール22a～22nのうちの下地層ULの形成用のモジュールが制御部40によって制御される。例えば、当該モジュールは、下地層ULを構成する材料を基板SB上に堆積させるよう、制御される。

[0041] 次いで、方法MTでは、ウエハが、搬送装置20によって、下地層ULの形成用のモジュールから磁性層MLの形成用のモジュールに搬送される。このようなウエハの搬送における搬送装置20の動作は、制御部40によって制御される。

[0042] 続く工程ST2では、下地層UL上に磁性層MLが形成される。このため、工程ST2では、モジュール22a～22nのうち磁性層MLの形成用の一以上のモジュールが、制御部40によって制御される。例えば、当該一以上のモジュールが、磁性層MLを構成する材料を下地層UL上に堆積させるよう、制御される。なお、磁性層MLが、上述した人工格子膜のように、複数の膜から構成されている場合には、磁性層MLの形成に、複数のモジュールが利用される。この場合の工程ST2では、制御部40は、当該複数のモジュールにウエハが順次搬送されて、これら複数のモジュールにおいて順次に膜が形成されるよう、搬送装置20及び当該複数のモジュールを制御する

。

[0043] 次いで、方法MTでは、ウエハが、搬送装置20によって、磁性層MLの形成用のモジュールから非磁性層AMLの形成用のモジュールに搬送される。このようなウエハの搬送における搬送装置20の動作は、制御部40によって制御される。

[0044] 続く工程ST3では、磁性層ML上に非磁性層AMLが形成される。このため、工程ST3では、モジュール22a～22nのうち非磁性層AMLの形成用のモジュールが制御部40によって制御される。例えば、当該モジュールが、非磁性層AMLを構成する材料を磁性層ML上に堆積させるよう、制御される。これにより、図4に示すように、基板SB上に、下地層UL、磁性層ML、及び非磁性層AMLが順に形成されたウエハW1が作成される。

[0045] 次いで、方法MTでは、ウエハW1が、搬送装置20によって、非磁性層AMLの形成用のモジュールからモジュール24に搬送される。このようなウエハW1の搬送における搬送装置20の動作は、制御部40によって制御される。

[0046] 続く工程ST4では、非磁性層AML上に磁性層ML1が形成される。このため、工程ST4では、モジュール24が制御部40によって制御される。例えば、図5の(a)に示すように、モジュール24は、処理容器24c内に收容されてステージ24s上に載置されたウエハW1に対して、磁性層ML1を構成する材料を堆積させるよう、制御される。モジュール24がスパッタリング装置である場合には、ターゲット24tから磁性層ML1を構成する材料をウエハW1に向けて放出するよう、モジュール24が制御される。この工程ST4の実行により、図5の(b)に示すウエハW2が作成される。

[0047] 次いで、方法MTでは、ウエハW2が、搬送装置20によって、モジュール24からモジュール26に搬送される。一実施形態では、ウエハW2が、搬送装置20によって、モジュール24からモジュール26の成膜装置26

Aに搬送される。このようなウエハW2の搬送における搬送装置20の動作は、制御部40によって制御される。

[0048] 続く工程ST5では、磁性層ML1上にトンネルバリア層TLが形成される。このため、工程ST5では、制御部40によって、モジュール26が制御される。図6は、図1に示す方法の工程ST5の一実施形態を示す流れ図である。一実施形態の工程ST5では、まず、工程ST51が実行される。工程ST51では、磁性層ML1上に金属膜MTLが形成される。このため、工程ST51では、図7の(a)に示すように、モジュール26の成膜装置26Aが、処理容器26Ac内に收容されてステージ26As上に載置されたウエハW2に対して、トンネルバリア層TLを構成する金属を堆積させるよう、制御部40によって制御される。成膜装置26Aがスパッタリング装置である場合には、ターゲット26Atからトンネルバリア層TLを構成する金属をウエハW2に向けて放出するよう、成膜装置26Aが制御される。この工程ST51の実行により、図7の(b)に示す、ウエハW3が作成される。即ち、磁性層ML1上に金属膜MTLを有するウエハW3が作成される。

[0049] 一実施形態では、次いで、ウエハW3が搬送装置20によって、成膜装置26Aから酸化処理装置26Bに搬送される。このようなウエハW3の搬送における搬送装置20の動作は、制御部40によって制御される。なお、モジュール26が、上述したように単一の成膜装置である場合には、この搬送は不要である。

[0050] 一実施形態では、次いで、工程ST52が実行され、金属膜MTLが酸化される。このため、図8の(a)に示すように、酸化処理装置26Bが、処理容器26Bc内に收容されてステージ26Bs上に載置されたウエハW3の金属膜MTLを酸化させるよう、制御部40によって制御される。この制御により、ウエハW3が酸素雰囲気中で加熱される。例えば、酸化処理装置26Bは、ガス供給部26Bpから加熱された酸素をウエハW3に対して供給するよう、制御される。これにより、図8の(b)に示すように、トンネ

ルバリア層TLを有するウエハW4が作成される。なお、必要により、工程ST51と工程ST52とを繰り返すことでトンネルバリア層TLを有するウエハW4を作成してもよい。また、工程52では、ステージ26BsによりウエハW3を加熱しながら酸素をウエハW3に供給してもよく、ステージ26BsによるウエハW3の加熱と加熱された酸素の供給とを併用してもよい。

[0051] 次いで、方法MTでは、ウエハW4が、搬送装置20によって、モジュール26、一実施形態では酸化処理装置26Bからモジュール28に搬送される。このようなウエハW4の搬送における搬送装置20の動作は、制御部40によって制御される。

[0052] 続く工程ST6では、ウエハW4が冷却される。このため、工程ST6では、制御部40によって、モジュール28が制御される。具体的には、図9に示すように、モジュール28が、処理容器28c内に収容されてステージ28s上に載置されたウエハW4を冷却するよう、制御される。例えば、工程ST6では、ウエハW4を冷却するために、ステージ28sに結合された冷凍機28aが制御される。この工程ST6では、ウエハW4は、200ケルビン以下の温度、より好適には150ケルビン以下の温度に冷却される。

[0053] 次いで、方法MTでは、直前に冷却されたウエハW4が、搬送装置20によって、モジュール28からモジュール30に搬送される。このようなウエハW4の搬送における搬送装置20の動作は、制御部40によって制御される。

[0054] 続く工程ST7では、トンネルバリア層TL上に磁性層ML2が形成される。このため、工程ST7では、モジュール30が制御部40によって制御される。例えば、図10の(a)に示すように、モジュール30は、処理容器30c内に収容されてステージ30s上に載置されたウエハW4に対して、磁性層ML2を構成する材料を堆積させるよう、制御される。モジュール30がスパッタリング装置である場合には、ターゲット30tから磁性層ML2を構成する材料をウエハW4に向けて放出するよう、モジュール30が

制御される。この工程ST7の実行により、図10の(b)に示すウエハW5が作成される。

[0055] 次いで、方法MTでは、ウエハW5が、搬送装置20によって、モジュール30からモジュール32に搬送される。このようなウエハW5の搬送における搬送装置20の動作は、制御部40によって制御される。

[0056] 続く工程ST8では、磁性層ML2上にキャップ層CLが形成される。このため、工程ST8では、モジュール32が制御部40によって制御される。例えば、モジュール32は、キャップ層CLを構成する材料を堆積させるよう、制御される。この工程ST8の結果、図2に示すMTJ素子MDが作成される。

[0057] なお、工程ST8の実行によって作成されたウエハは、再び収容容器14a～14dの何れかに戻される。一実施形態では、しかる後に、ウエハが加熱処理されてもよい。この加熱処理は、MTJ素子MDの各層の結晶化のための加熱処理であり、製造装置10と共に提供される専用の加熱装置において実施され得る。

[0058] 以上説明した方法MTによれば、トンネルバリア層TLの形成（工程ST5）の後、且つ、磁性層ML2の形成（工程ST7）の直前の工程ST6においてウエハW4が冷却される。これにより、磁性層ML2の垂直磁化異方性エネルギーが向上される。これは、磁性層ML2の形成の直前にウエハが冷却されているので、磁性層ML2の形成時に下地のトンネルバリア層TLが低温の状態に維持され、磁性層ML2を構成する原子がトンネルバリア層TLに付着した際の原子移動度が低下することによってピーニング効果が低減され、その結果、磁性層ML2の膜応力が引張応力側にシフトして、面内方向の異方性エネルギーが低下することによるものと推測される。

[0059] また、方法MTによれば、MTJ素子MDのMR比（磁気抵抗比）を向上させることが可能となる。特に、工程ST6においてウエハW4が200ケルビン以下の温度、より好適には150ケルビン以下の温度に冷却されることにより、高いMR比が得られる。なお、上述した方法MTでは、トンネル

バリア層TLの形成のための工程ST5において、ウエハが酸素雰囲気中で加熱されるので、工程ST5より前にウエハを冷却するのではなく、工程ST5の後、且つ工程ST7の直前にウエハW4を冷却することにより、工程ST6の冷却の効果がより効果的なものとなる。

[0060] 以下、種々の実験例について説明するが、本発明はこれらの実験例によって限定されるものではない。

[0061] (実験例1)

[0062] 実験例1では、方法MTにより図2に示すMTJ素子を作成した。実験例1では、工程ST6におけるウエハW4の冷却温度を100ケルビンに設定した。また、実験例1では、工程ST8の実行後に異なる複数種の温度で加熱処理した複数個のMTJ素子を作成した。また、比較実験例1において、工程ST6の冷却を実行しなかった点を除き、実験例1と同様の方法でMTJ素子を作成した。以下、実験例1及び比較実験例1で作成したMTJ素子の構成を示す。

<MTJ素子の構成>

下地層UL：3nm厚のPt層

磁性層ML：0.45nm厚のCo膜と0.3nm厚のPt膜の交互の繰り返し

非磁性層AML：0.8nm厚のRu層

磁性層ML1：1.0nm厚のCoFeB層

トンネルバリア層：素子抵抗値RAが約 $10\Omega\mu\text{m}^2$ になるよう設定した酸化マグネシウム層

磁性層ML2：1.6nm厚のCoFeB層、0.3nm厚のタングステン層、及び0.6nm厚のCoFeB層の積層

キャップ層：5nm厚のTa層及び10nm厚のRu層

[0063] 図11に、実験例1及び比較実験例1のMTJ素子に対して求めた規格化MR比のグラフを示す。図11において、横軸は、MTJ素子の加熱処理温度を示しており、縦軸は、規格化MR比を示している。なお、規格化MR比

とは、磁化方向が反平行の時と平行の時のトンネル抵抗の変化率であるMR比を規格化したものである。図11に示すように、実験例1で作成したMTJ素子のMR比は、比較実験例1で作成したMTJ素子のMR比よりも大きくなっている。したがって、方法MT、即ち、磁性層ML2の形成直前にウエハW4の冷却を行う方法によれば、MTJ素子のMR比を向上させることが可能であることが確認された。

[0064] また、実験例1で作成したMTJ素子のうち400℃で1時間の加熱処理を付したMTJ素子の磁化曲線と、比較実験例1で作成したMTJ素子のうち400℃で1時間の加熱処理を付したMTJ素子の磁化曲線とを求めた。その結果を図12に示す。図12に示すように、比較実験例1で作成したMTJ素子のヒステリシスループの磁化曲線は大きく傾いているが、実験例1で作成したMTJ素子のヒステリシスループの磁化曲線は傾きが少なく、略垂直になっている。ここで、ヒステリシスループの磁化曲線の傾きが小さく、垂直に近いほど、垂直磁気異方性エネルギーは高い。したがって、図12から明らかなように、方法Mによれば、MTJ素子の垂直磁気異方性エネルギーを向上させることが可能であることが確認された。

[0065] (実験例2)

[0066] 実験例2では、方法MTの工程ST1、工程ST5～工程ST8を実行することにより、下地層ULの直上にトンネルバリア層TLを有する素子を作成した。実験例2では、工程ST6における冷却温度を100ケルビンに設定した。また、実験例2では、厚さが異なる磁性層ML2を有する複数種の素子を作成した。また、比較実験例2において、工程ST6の冷却を実行しなかった点を除き、実験例2と同様の方法で素子を作成した。以下、実験例2及び比較実験例2で作成した素子の構成を示す。

<素子の構成>

下地層UL：3nm厚のTa層

トンネルバリア層：実験例1のトンネルバリア層と同様のトンネルバリア層

磁性層ML2：CoFeB層

キャップ層：50nm厚のTa層

[0067] 図13に、実験例2及び比較実験例2で作成した素子の磁性層ML2の垂直磁気異方性エネルギーのグラフを示す。図13において、横軸は磁性層ML2の厚さを示しており、縦軸は、垂直磁気異方性エネルギー $K_{eff} \cdot t$ を示している。ここで、 K_{eff} は磁性層の垂直磁気異方性エネルギーの密度であり、 t は磁性層の膜厚である。なお、垂直磁気異方性エネルギー $K_{eff} \cdot t$ は、VSM（振動試料型磁力計）により求めた。

[0068] 図13に示すように、実験例2で作成した素子の磁性層ML2の垂直磁気異方性エネルギーは、比較実験例2で作成した素子の磁性層ML2の垂直磁気異方性エネルギーよりも高くなっている。したがって、工程ST6の冷却によって、垂直磁気異方性エネルギーを向上させることが可能であることが確認された。

[0069] （実験例3）

[0070] 実験例3では、実験例1と同様の方法で同様の構成のMTJ素子を作成した。また、比較実験例3において、工程ST6の冷却を実行しなかった点を除き、実験例3と同様の方法でMTJ素子を作成した。さらに、比較実験例4において、工程ST3と工程ST4との間に、ウエハを100ケルビンに冷却するが、工程ST6を実行しなかった点を除き、実験例3と同様の方法でMTJ素子を作成した。なお、実験例3では、異なる複数の素子抵抗RAを有するMTJ素子を作成した。

[0071] 図14に、実験例3、比較実験例3、及び比較実験例4で作成したMTJ素子の規格化MR比のグラフを示す。図14において、横軸はRA（ $\Omega \mu m^2$ ）を示しており、縦軸は規格化MR比を示している。図14に示すように、同じRAを有するMTJ素子同士で比較すると、実験例3で作成したMTJ素子のMR比は、比較実験例3及び比較実験例4で作成したMTJ素子のMR比よりも高くなっている。したがって、トンネルバリア層TLの形成後、且つ、磁性層ML2の形成直前に、ウエハW4を冷却することが有効であることが確認された。

[0072] (実験例4)

[0073] 実験例4では、実験例1と同様の方法で同様の構成のMTJ素子を作成した。但し、実験例4では、工程ST6における冷却温度として複数種の冷却温度を設定して、複数個のMTJ素子を作成した。

[0074] 図15に、実験例4で作成した複数個のMTJ素子の規格化MR比のグラフを示す。図15において、横軸は工程ST6の冷却温度を示しており、縦軸は規格化MR比を示している。図15のグラフから、工程ST6の冷却温度が、200ケルビン以下であれば、作成されるMTJ素子のMR比が高くなることが推測される。また、工程ST6の冷却温度が、150ケルビン以下であれば、作成されるMTJ素子のMR比が更に高くなることが確認された。

[0075] 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、上述したように、MTJ素子は、ボトムフリー型のMTJ素子であってもよい。ボトムフリー型のMTJ素子では、基板SB上に、下地層UL、磁性層ML1（第1磁性層）、トンネルバリア層TL、磁性層ML2（第2磁性層）、非磁性層AML、磁性層ML、及びキャップ層CLが順に積層される。したがって、ボトムフリー型のMTJ素子を作成する場合には、工程ST1、工程ST4、工程ST5、工程ST6、工程ST7、工程ST3、工程ST2、工程ST8の順に各工程が実行される。

符号の説明

[0076] 10…製造装置、12a～12d…台、14a～14d…収容容器、16…ロードモジュール、18…ロードロックチャンバ、20…搬送装置、22a～22n…モジュール、24…モジュール（第1モジュール）、26…モジュール（第2モジュール）、26A…成膜装置、26B…酸化処理装置、28…モジュール（第3モジュール）、30…モジュール（第4モジュール）、32…モジュール、40…制御部、MD…MTJ素子、SB…基板、UL…下地層、ML…磁性層、AML…非磁性層、ML1…磁性層（第1磁性

層)、T L…トンネルバリア層、M L 2…磁性層（第2磁性層）、C L…キャップ層。

請求の範囲

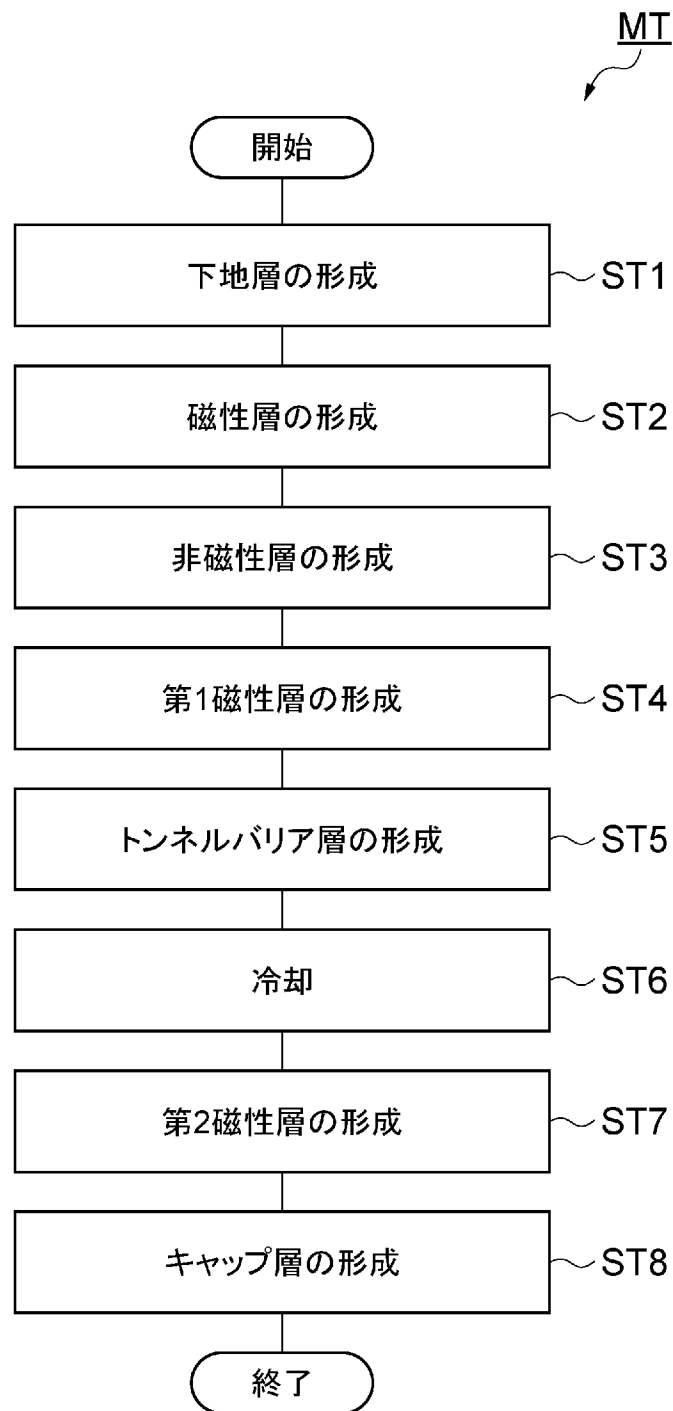
- [請求項1] 垂直磁化型磁気トンネル接合素子を形成する方法であって、
被処理体の第1磁性層上にトンネルバリア層を形成する工程と、
前記トンネルバリア層が形成された前記被処理体を冷却する工程と、
、
前記冷却する工程の後に、前記トンネルバリア層上に第2磁性層を形成する工程と、
を含む方法。
- [請求項2] 前記冷却する工程において、前記被処理体が200ケルビン以下の温度に冷却される、
請求項1に記載の方法。
- [請求項3] 前記トンネルバリア層は酸化マグネシウムから構成され、
前記トンネルバリア層を形成する工程は、
前記第1磁性層上にマグネシウム層を成膜する工程と、
前記マグネシウム層を酸素雰囲気中で酸化させる工程と、
を含む、請求項1又は2に記載の方法。
- [請求項4] 前記第1磁性層及び前記第2磁性層は、コバルト、鉄、及びホウ素を含む、請求項1～3の何れか一項に記載の方法。
- [請求項5] 垂直磁化型磁気トンネル接合素子の製造装置であって、
被処理体を搬送するよう構成された搬送装置と、
第1磁性層を形成するよう構成された第1モジュールと、
トンネルバリア層を形成するよう構成された第2モジュールと、
被処理体を冷却するよう構成された第3モジュールと、
第2磁性層を形成するよう構成された第4モジュールと、
前記搬送装置、前記第1モジュール、前記第2モジュール、前記第3モジュール、及び前記第4モジュールを制御するよう構成された制御部と、
を備え、

前記制御部は、
被処理体を前記第 1 モジュールに搬送し、
前記第 1 モジュールにおいて前記被処理体上に第 1 磁性層を形成し、
前記第 1 モジュールから第 2 モジュールに前記被処理体を搬送し、
前記第 2 モジュールにおいて前記第 1 磁性層上にトンネルバリア層を形成し、
前記第 2 モジュールから第 3 モジュールに前記被処理体を搬送し、
前記第 3 モジュールにおいて前記被処理体を冷却し、
前記第 3 モジュールから前記第 4 モジュールに前記被処理体を搬送し、
前記第 4 モジュールにおいて前記トンネルバリア層上に第 2 磁性層を形成するよう、
前記搬送装置、前記第 1 モジュール、前記第 2 モジュール、前記第 3 モジュール、及び前記第 4 モジュールを制御する、
製造装置。

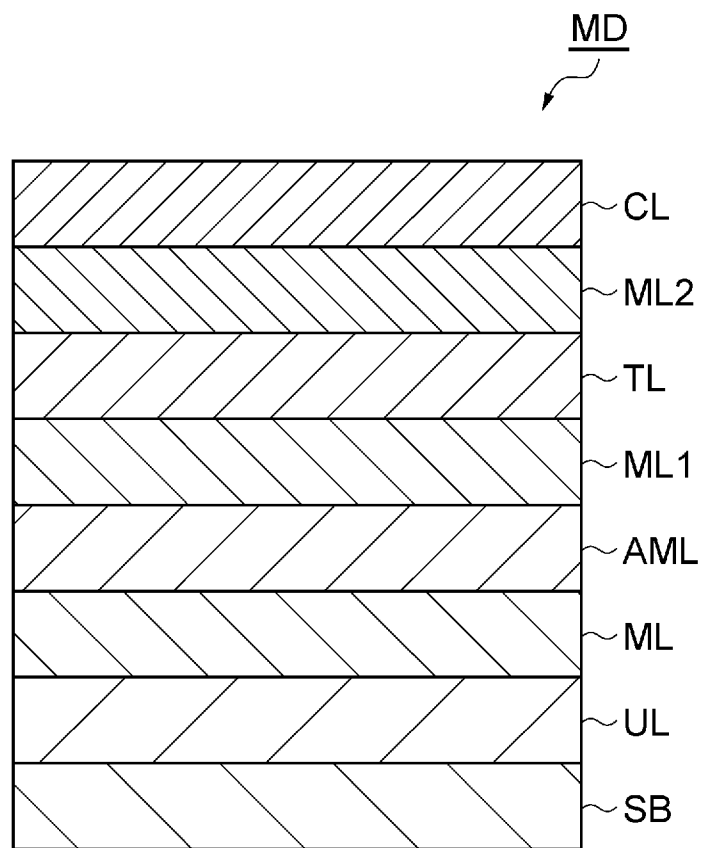
[請求項6] 前記第 3 モジュールは、200 ケルビン以下の温度に被処理体を冷却するよう構成されている、請求項 5 に記載の製造装置。

[請求項7] 前記第 2 モジュールは、
マグネシウムをスパッタリングしてマグネシウム層を形成するよう構成された成膜装置と、
前記マグネシウム層が形成された被処理体を酸素雰囲気中で酸化させるよう構成された酸化処理装置と、
を含む、請求項 5 又は 6 に記載の製造装置。

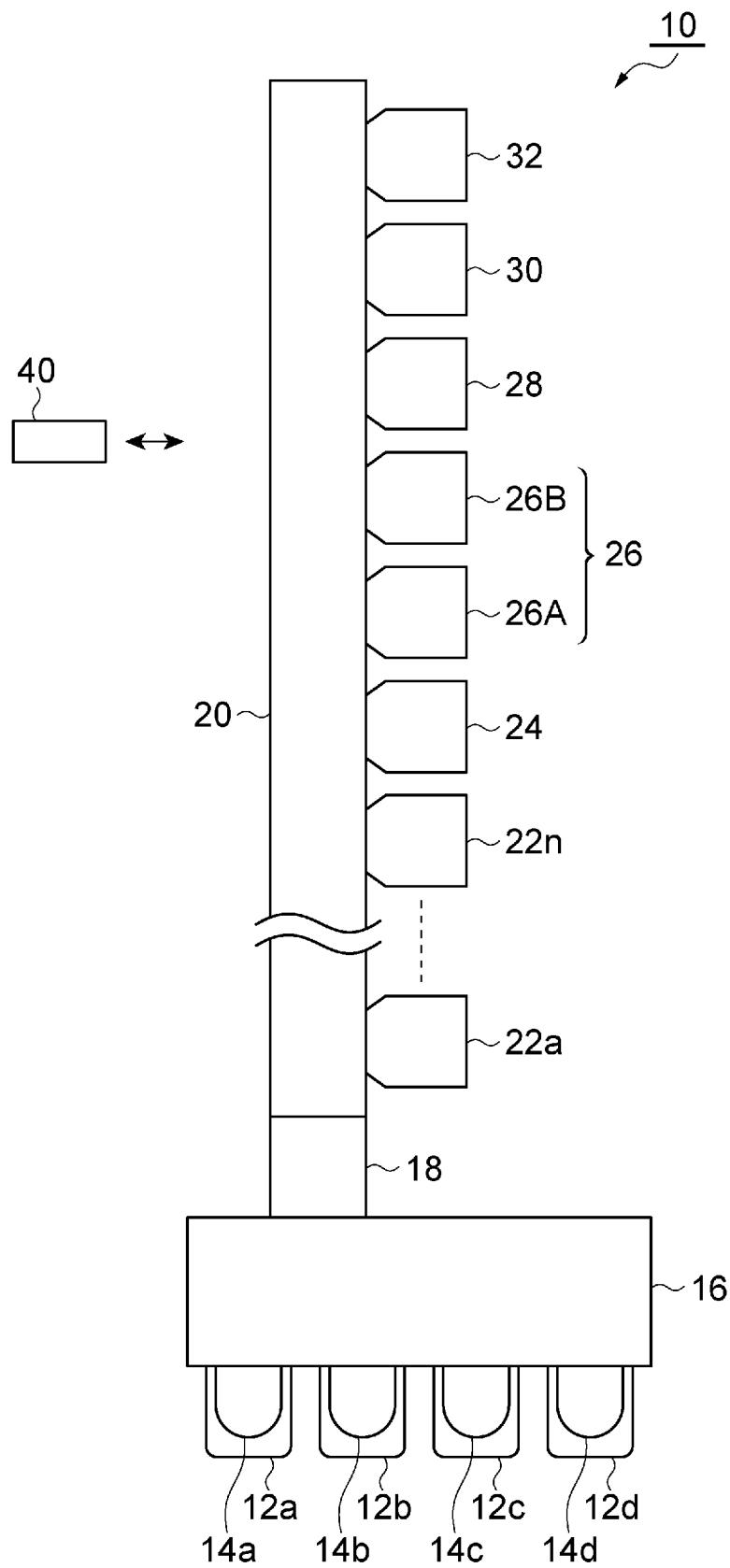
[図1]



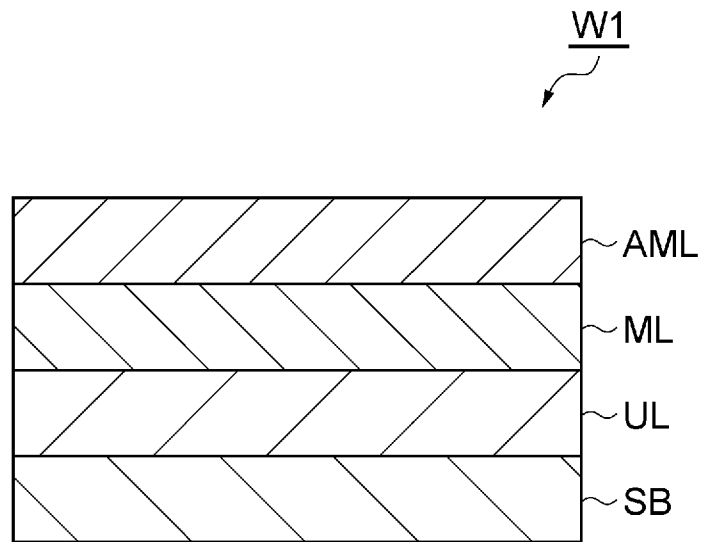
[図2]



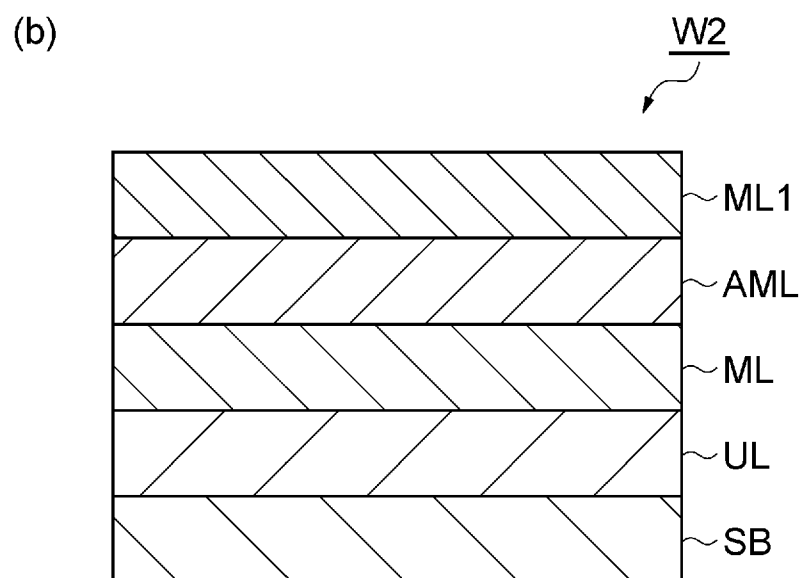
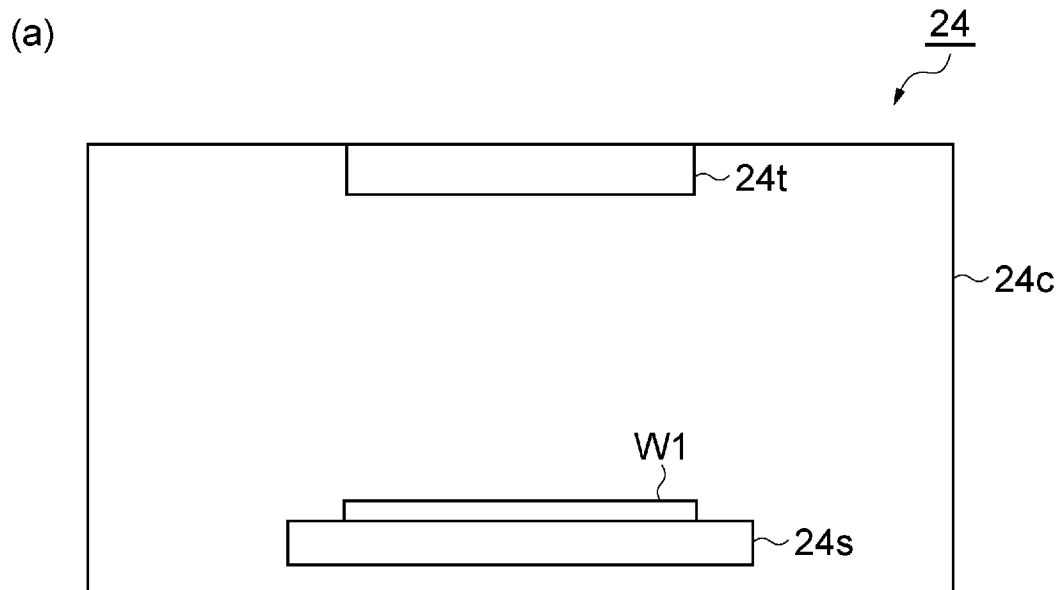
[図3]



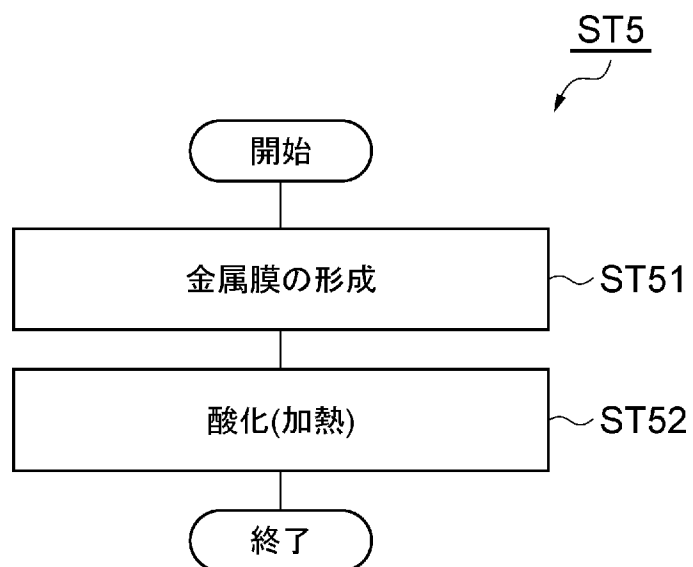
[図4]



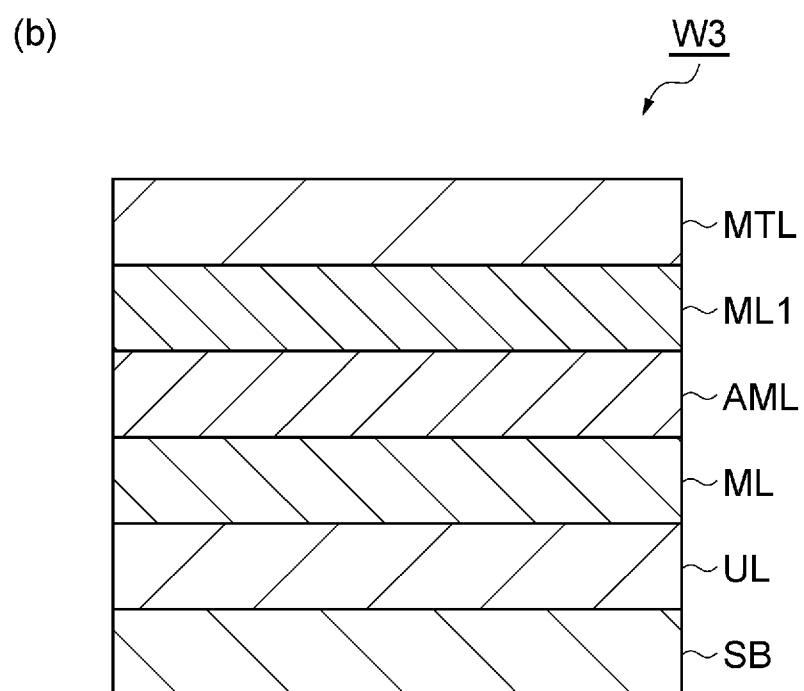
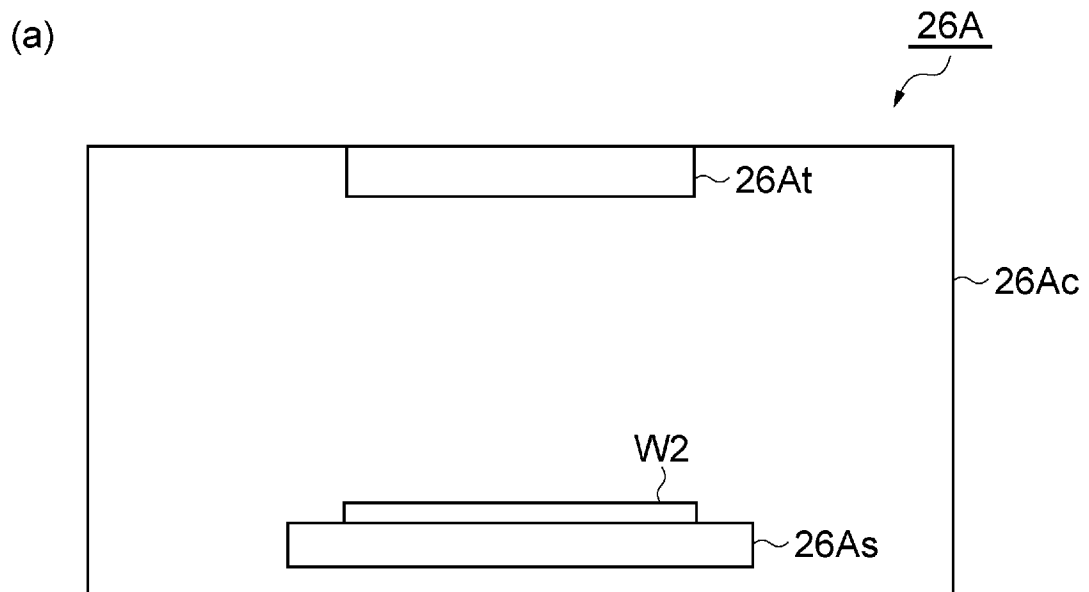
[図5]



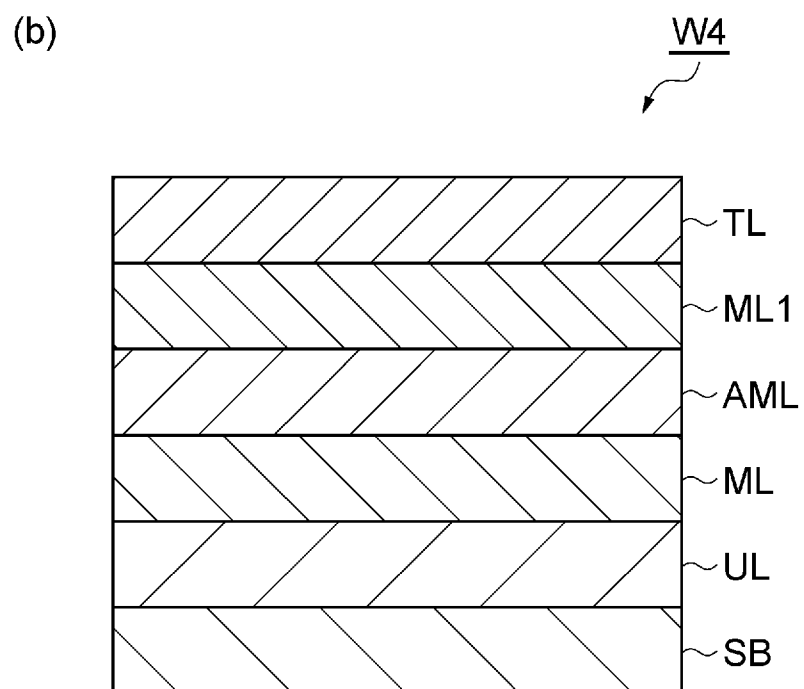
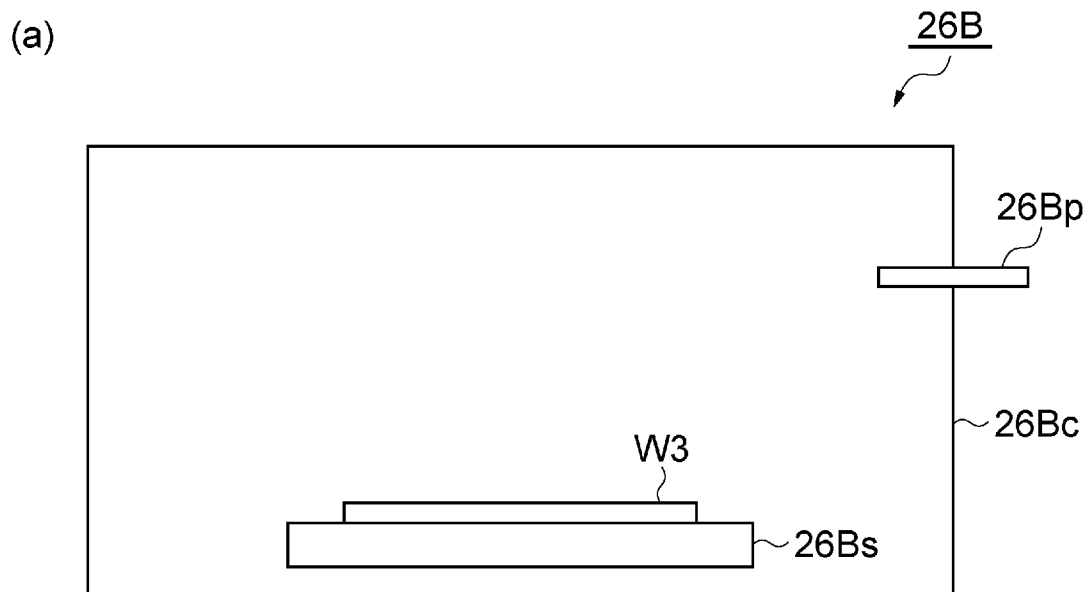
[図6]



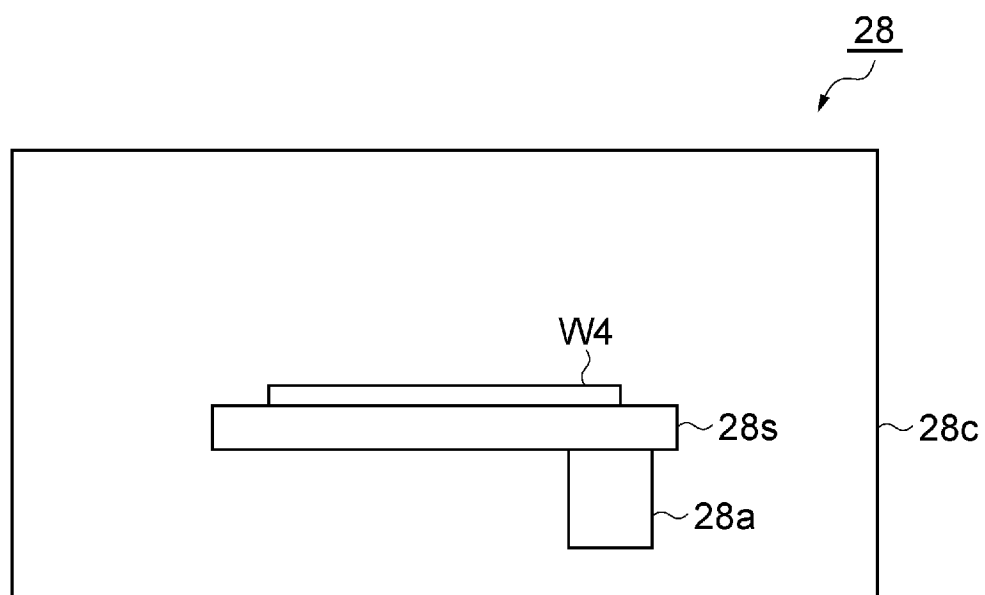
[図7]



[図8]

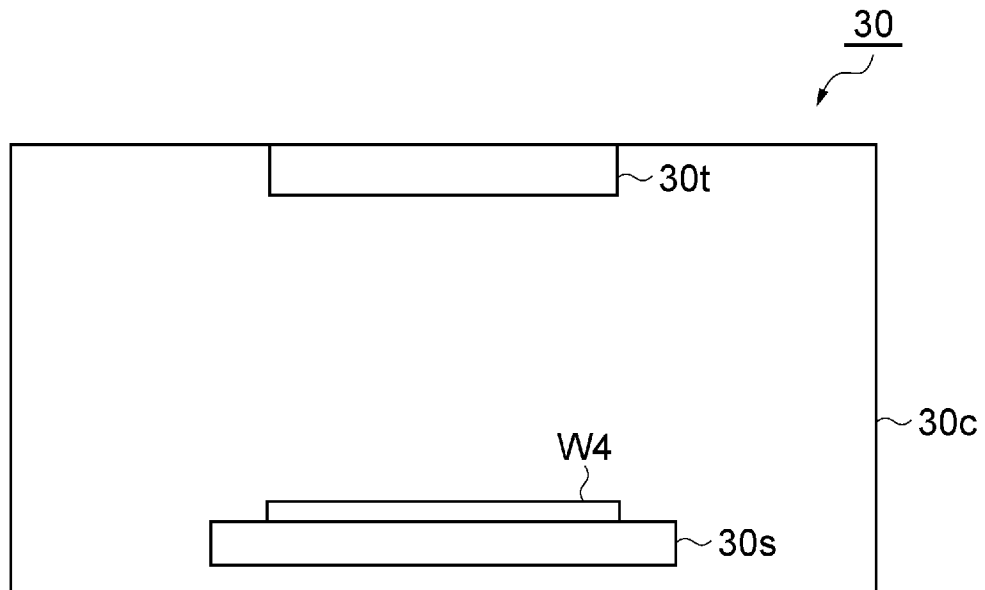


[図9]

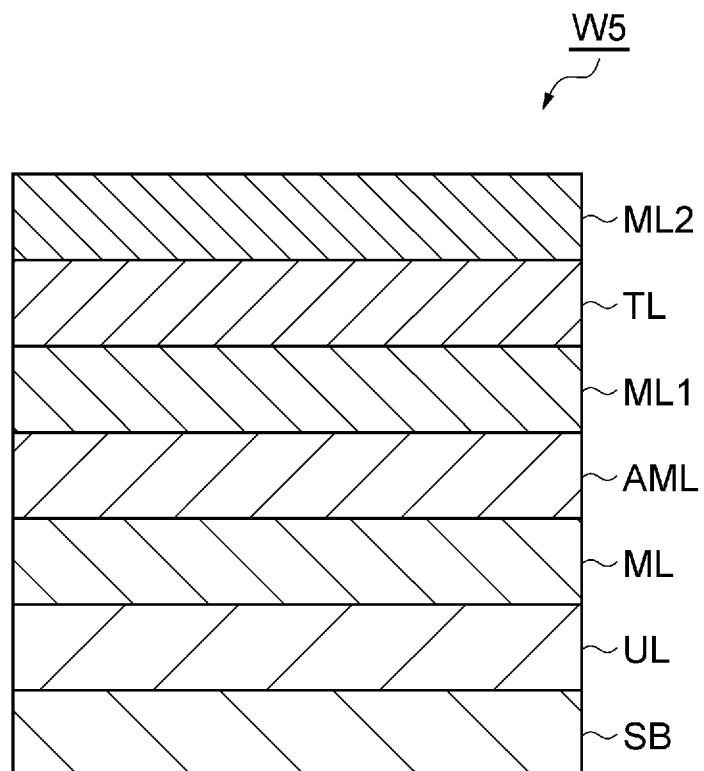


[図10]

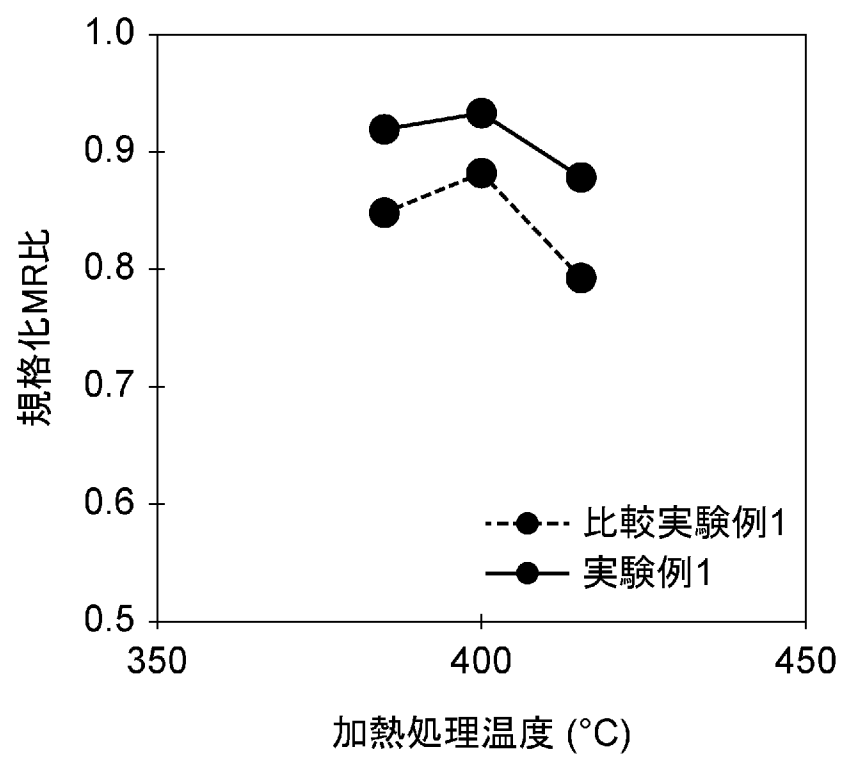
(a)



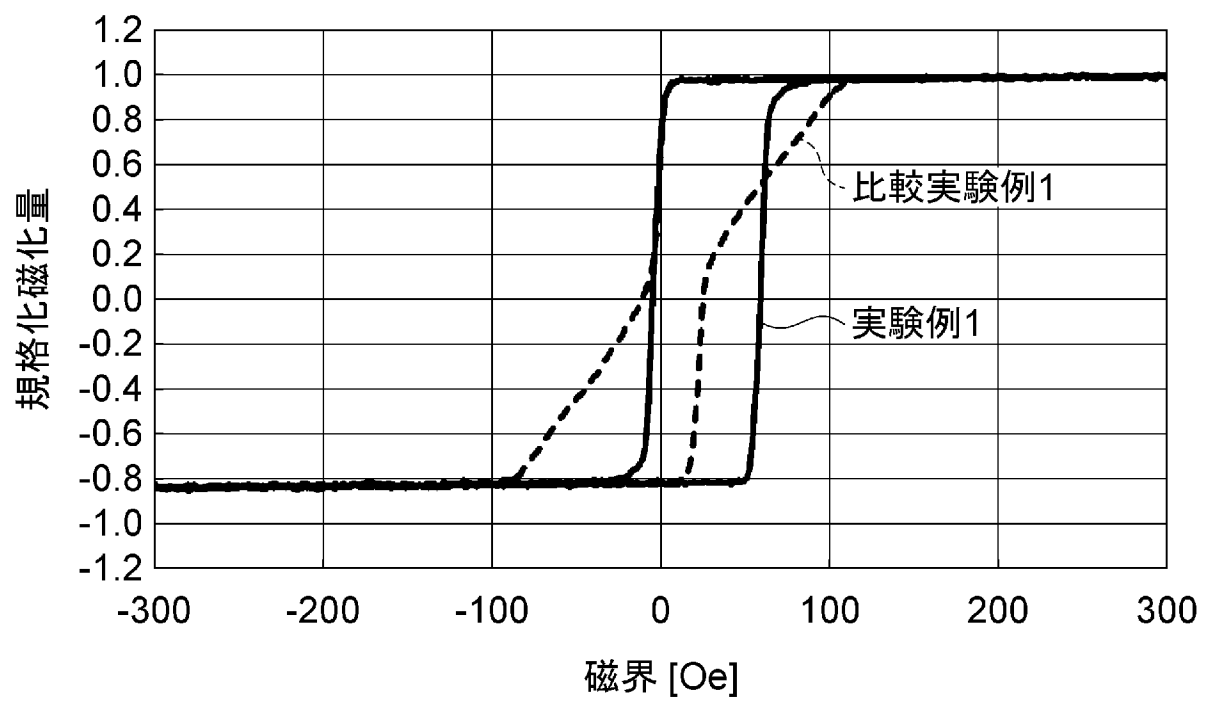
(b)



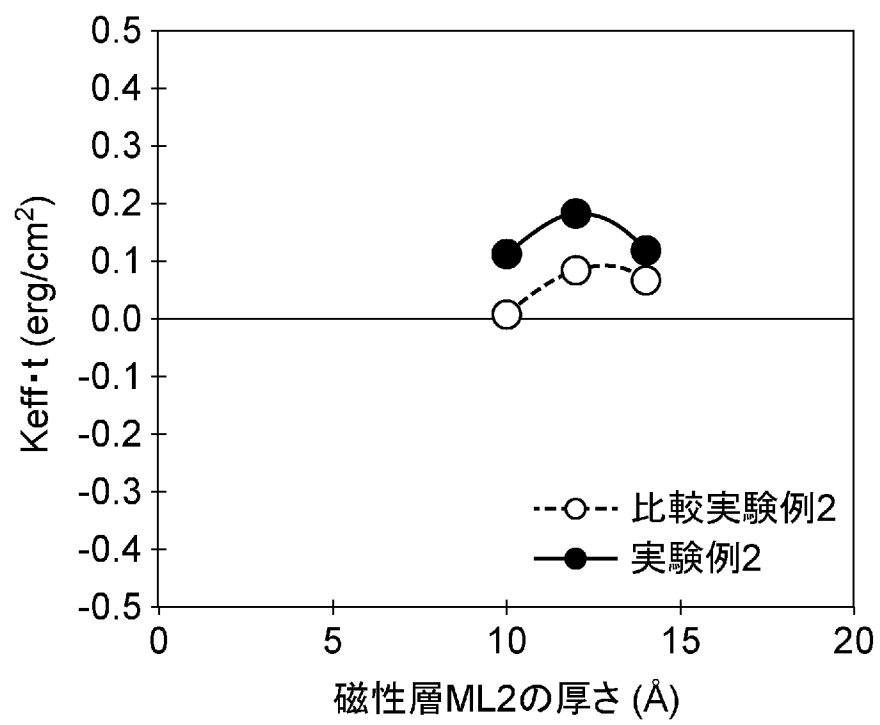
[図11]



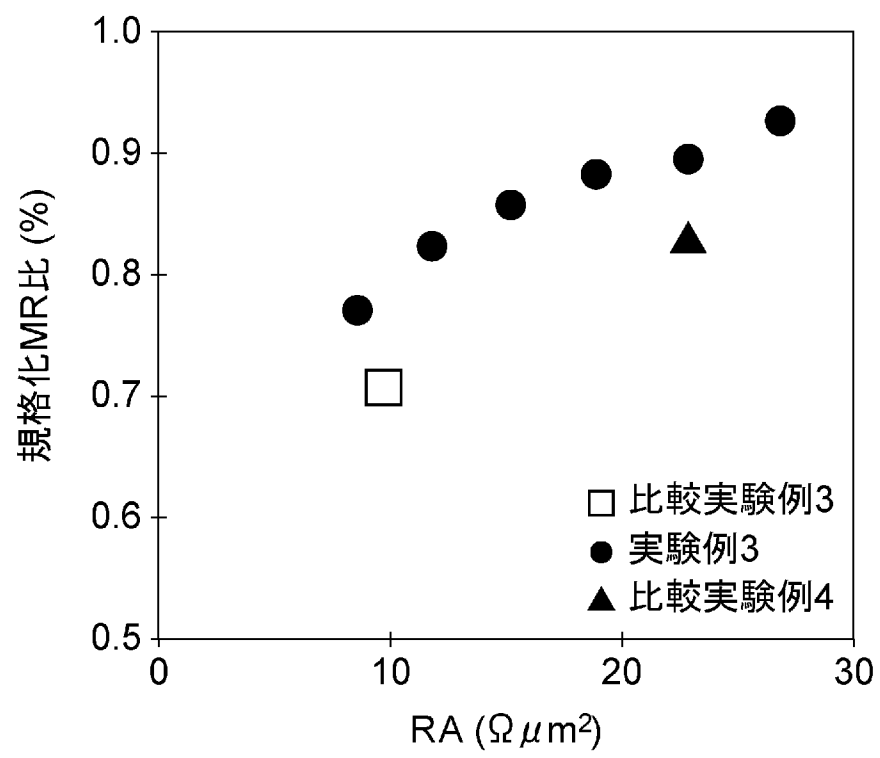
[図12]



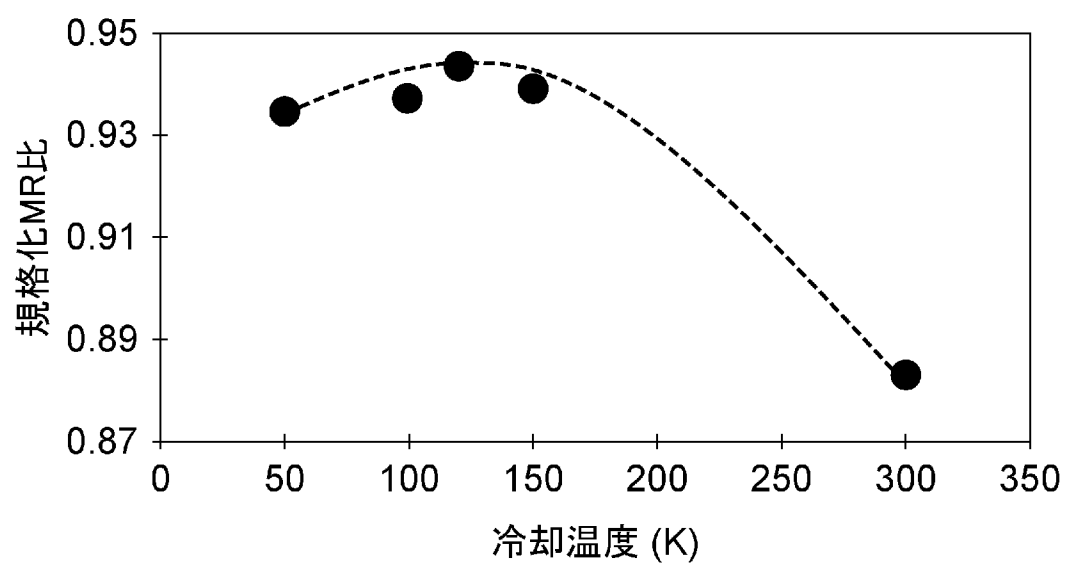
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050265

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L43/12(2006.01)i, C23C14/58(2006.01)i, H01F10/16(2006.01)i, H01F10/26(2006.01)i, H01F41/18(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i, H01L43/10(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, C23C14/58, H01F10/16, H01F10/26, H01F41/18, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08, H01L43/10

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 2013-251416 A (Tokyo Electron Ltd.), 12 December 2013 (12.12.2013), paragraphs [0014] to [0096]; fig. 1 to 29 & WO 2013/179574 A1	1-7
Y	WO 2011/081203 A1 (Canon Anelva Corp.), 07 July 2011 (07.07.2011), paragraphs [0012], [0017] to [0049]; fig. 1 to 3 & EP 2521194 A1 paragraphs [0016] to [0049]; fig. 1 to 3 & JP 5502900 B & US 2012/0288963 A1 & CN 102687297 A & KR 10-2012-0096054 A & TW 201145631 A	1-7

☒ 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
09 March 2016 (09.03.16)

Date of mailing of the international search report
22 March 2016 (22.03.16)

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/JP2016/050265

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 2009-81315 A (Toshiba Corp.), 16 April 2009 (16.04.2009), paragraphs [0003], [0045] to [0069]; fig. 7, 8 & US 2009/0080239 A1 paragraphs [0006], [0074] to [0098]; fig. 7, 8 & CN 101399313 A & KR 10-2009-0031993 A	1-7
Y	JP 2011-54238 A (Hitachi Global Storage Technologies Netherlands B.V.), 17 March 2011 (17.03.2011), paragraphs [0014] to [0043]; fig. 2 (Family: none)	2-4, 6, 7
A	JP 2006-286669 A (TDK Corp.), 19 October 2006 (19.10.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
P, X	WO 2015/072140 A1 (Canon Anelva Corp.), 21 May 2015 (21.05.2015), paragraphs [0011] to [0067]; fig. 1 to 10 & WO 2015/072086 A1 & WO 2015/072139 A1 & TW 201528568 A & TW 201531579 A & TW 201532179 A	1-7
P, X	WO 2015/072139 A1 (Canon Anelva Corp.), 21 May 2015 (21.05.2015), paragraphs [0011] to [0077]; fig. 1 to 15 & WO 2015/072086 A1 & WO 2015/072140 A1 & TW 201528568 A & TW 201531579 A & TW 201532179 A	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L43/12(2006.01)i, C23C14/58(2006.01)i, H01F10/16(2006.01)i, H01F10/26(2006.01)i, H01F41/18(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i, H01L43/10(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. H01L43/12, C23C14/58, H01F10/16, H01F10/26, H01F41/18, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08, H01L43/10

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 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
Y	JP 2013-251416 A (東京エレクトロン株式会社) 2013.12.12, 段落 0014-0096, 図 1-29 & WO 2013/179574 A1	1-7
Y	WO 2011/081203 A1 (キヤノンアネルバ株式会社) 2011.07.07, 段落 0012, 0017-0049, 図 1-3 & EP 2521194 A1; 段落 0016-0049, 図 1-3 & JP 5502900 B & US 2012/0288963 A1 & CN 102687297 A & KR 10-2012-0096054 A & TW 201145631 A	1-7

☒ 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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

09.03.2016

国際調査報告の発送日

22.03.2016

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)

上田 智志

5 F

3664

電話番号 03-3581-1101 内線 3514

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
Y	JP 2009-81315 A (株式会社東芝) 2009. 04. 16, 段落 0003, 0045-0069, 図 7, 8 & US 2009/0080239 A1; 段落 0006, 0074-0098, 図 7, 8 & CN 101399313 A & KR 10-2009-0031993 A	1-7
Y	JP 2011-54238 A (ヒタチグローバルストレージテクノロジーズネザ ーランドビービー) 2011. 03. 17, 段落 0014-0043, 図 2 (ファミリーなし)	2-4, 6, 7
A	JP 2006-286669 A (TDK株式会社) 2006. 10. 19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7
P, X	WO 2015/072140 A1 (キヤノンアネルバ株式会社) 2015. 05. 21, 段落 0011-0067, 図 1-10 & WO 2015/072086 A1 & WO 2015/072139 A1 & TW 201528568 A & TW 201531579 A & TW 201532179 A	1-7
P, X	WO 2015/072139 A1 (キヤノンアネルバ株式会社) 2015. 05. 21, 段落 0011-0077, 図 1-15 & WO 2015/072086 A1 & WO 2015/072140 A1 & TW 201528568 A & TW 201531579 A & TW 201532179 A	1-7