

(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
2011 年 10 月 6 日(06.10.2011)

(10) 国際公開番号
WO 2011/122411 A1

- (51) 国際特許分類:
C23C 14/34 (2006.01) H01L 43/12 (2006.01)
H01L 43/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/056932
- (22) 国際出願日: 2011 年 3 月 23 日(23.03.2011)
- (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 2010-076312 2010 年 3 月 29 日(29.03.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 アルバック (ULVAC, INC.) [JP/JP]; 〒2538543 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2 5 0 0 番地 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 菊地 幸男 (KIKUCHI, Yukio) [JP/JP]; 〒2538543 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2 5 0 0 番地 株式会社 アルバック 内 Kanagawa (JP). 今北 健一 (IMAKI-TA, Kenichi) [JP/JP]; 〒2538543 神奈川県茅ヶ崎市

萩園 2 5 0 0 番地 株式会社 アルバック 内 Kanagawa (JP).

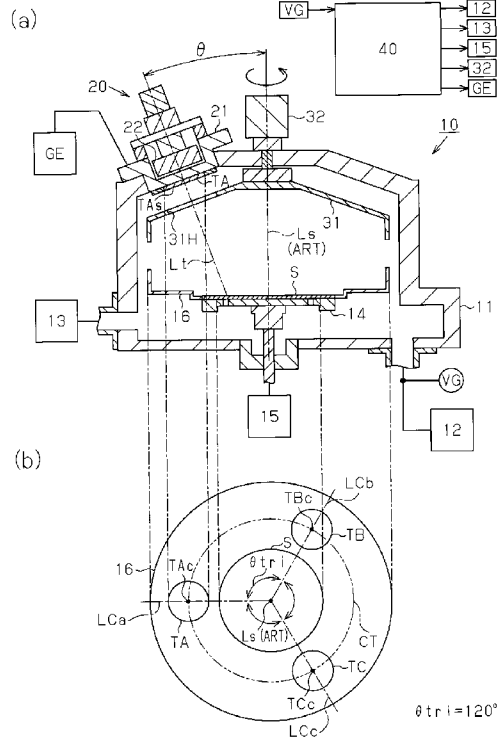
- (74) 代理人: 恩田 博宣, 外(ONDA, Hironori et al.); 〒5008731 岐阜県岐阜市大宮町 2 丁目 1 2 番地の 1 Gift (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

[続葉有]

(54) Title: SPUTTERING DEVICE

(54) 発明の名称: スパッタ装置

(図1)



(57) Abstract: Disclosed is a sputtering device provided with a substrate stage (14), which rotates a substrate (S) having a surface on which a film is to be formed, in a vacuum vessel (11). A target (TA) that has a sputtering surface (TAs) formed from magnesium oxide is provided in a circumferential direction from the substrate (S). When the angle formed by the normal line (Ls) to the substrate and the normal line (Lt) to the target is described as the angle of inclination θ for the target (TA), the target (TA) is disposed such that the angle of inclination θ satisfies $50 + \varphi < \theta < -35 + \varphi$. Here, φ is an angle represented by $\varphi = \arctan(W/H)$; H represents the height from the center of the substrate (S) to the center of the target (TA); and W represents the width from the center of the substrate (S) to the center of the target (TA).

(57) 要約: 被成膜面を有する基板 (S) を回転させる基板ステージ (14) が真空槽 (11) に設けられている。ターゲット (TA) は、酸化マグネシウムからなる被スパッタ面 (TAs) を有しており、基板 (S) の周方向において設けられている。基板法線 (Ls) とターゲット法線 (Lt) とのなす角度をターゲット (TA) の傾斜角度 θ と規定したとき、傾斜角度 θ が $-50 + \varphi < \theta < -35 + \varphi$ を満たすようにターゲット (TA) が配置されている。ここで、 φ は $\varphi = \arctan(W/H)$ で表される角度であり、H は、基板 (S) の中心からターゲット (TA) の中心までの高さを表し、W は、基板 (S) の中心からターゲット (TA) の中心までの幅を表している。



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, 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 : スパッタ装置

技術分野

[0001] 本発明は、基板を回転しつつ基板の回転軸上とは異なる位置に中心点を有するターゲットをスパッタするスパッタ装置に関する。

背景技術

[0002] 従来から、例えば特許文献 1 に記載のように、トンネル磁気抵抗効果を利用したトンネル磁気抵抗素子が知られている。トンネル磁気抵抗素子は一般に、磁化の向きが固定された固定強磁性層と、外部磁場により磁化の向きが自由に変更可能な自由強磁性層と、これら固定強磁性層と自由強磁性層とに挟まれたトンネル障壁層とが積層された構成を有している。そして、自由強磁性層の磁化の向きが固定強磁性層の磁化の向きと平行になる場合にトンネル障壁層における電子の透過確率が高くなる。このため、トンネル磁気抵抗値が相対的に低くなる。他方、自由強磁性層の磁化の向きが固定強磁性層の磁化の向きと反平行になる場合にトンネル障壁層における電子の透過確率が低くなる。このため、トンネル磁気抵抗値が相対的に高くなる。それゆえ、トンネル磁気抵抗値が低い状態とトンネル磁気抵抗値が高い状態とを 1 つのトンネル磁気抵抗素子に選択的に記憶させることができる。すなわち、1 つのトンネル磁気抵抗素子に 1 ビットの情報を記憶させることが可能になる。

[0003] 上記磁気抵抗効果を発現させるためには、2 つの強磁性層に挟まれたトンネル障壁層として数 nm の厚さの薄膜が一般に必要とされている。数 nm の厚さの薄膜を均一に形成するためには、例えば特許文献 2 に記載のような斜入射型のスパッタ装置が広く用いられている。図 9 は、斜入射型のスパッタ装置におけるターゲットと基板との配置を示す模式図である。図 9 に示されるように、斜入射型のスパッタ装置においては、基板 101 の被成膜面 101s に対する法線 L1 とターゲット 102 の被スパッタ面 102s に対する法線 L2 とが所定の角度 θ_t をなすようにターゲット 102 が配置されてい

る。そして基板101の厚さ方向に延びる中心軸Cを回転軸として基板101が回転しつつ、該回転軸上とは異なる位置に中心点を有するターゲット102がスパッタされる。

- [0004] この際、ターゲット102の被スパッタ面102sからスパッタされるスパッタ粒子の個数は、被スパッタ面102sの面内で必ずしも均一ではなく、むしろ被スパッタ面102sの近傍に形成されるプラズマの密度の分布に応じて被スパッタ面102sの面内で偏りが生じる。そのため、基板101の被成膜面101sがターゲット102の被スパッタ面102sに対して相対向して静止した状態でターゲット102がスパッタされるとすれば、被スパッタ面102sの面内におけるスパッタ粒子の放出分布に合わせて膜厚の分布に偏りが生じてしまう。これに対して、上述のように基板101が回転する構成であれば、被スパッタ面102s内におけるスパッタ粒子の分布が基板101の周方向に分散されるので、膜厚の分布が均一になる。それゆえに、斜入射型のスパッタ装置によれば、基板101が回転しない構成と比べて、基板101の被成膜面101sにおいて高い膜厚均一性を得ることが可能となる。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2008-41716号公報
特許文献2：特開2005-340721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、トンネル磁気抵抗素子の出力電圧を評価する指標としては、磁気抵抗比（MR比）が一般に用いられている。ここで、2つの強磁性層の磁化の向きが互いに平行であるときのトンネル磁気抵抗値を R_p とし、2つの強磁性層の磁化の向きが互いに反平行であるときのトンネル磁気抵抗値を R_{ap} とするとき、MR比は、以下の式（A）によって定義される。このMR

比が大きいほどトンネル磁気抵抗素子の出力電力が大きくなるため、微細化や高性能化が求められる上記デバイスには、MR比を高くする技術が望まれている。

$$(R_{ap} - R_p) / R_p \quad \cdots \text{式 (A)}$$

近年では、上記MR比を高くする技術の1つとして、トンネル障壁層に(001)配向の酸化マグネシウム(MgO)膜を用いることが知られている。

[0007] 図10は、上記斜入射型のスパッタ装置において被スパッタ面102sの中心点102cから放出されたスパッタ粒子SPの基板101に対する入射角度を示す模式図である。図10に示されるように、斜入射型のスパッタ装置によってMgO膜が形成されるとき、中心軸C付近の基板101の領域Zcでは、被成膜面101sに対する被スパッタ面102sの相対的な位置が基板101の回転に応じて基板101の周方向に変わる。そのため、領域Zcに到達するスパッタ粒子SPの入射角度 θ_c を構成する角度成分のうち、基板101の周方向に沿う角度成分が基板101の回転に応じて変化するようになる。さらに、基板101の外縁付近の領域Zeにおいては、被成膜面101sに対する被スパッタ面102sの相対的な位置が、基板101の回転に応じて、基板101の周方向の他、基板101の径方向にも大きく異なる。その結果、領域Zeに到達するスパッタ粒子SPの入射角度を構成する角度成分は、上記領域Zcの場合と比較して、さらに大きくばらつくことになる。

[0008] 例えば、上記領域Zeのうち、被スパッタ面102sの中心点102cに最も近い周縁上の点101aにおいて、中心点102cと点101aとを通る直線と、被成膜面101sの法線L1とがなす角度を、最近接入射角度 θ_{ea} とする。また、被スパッタ面102sの中心点102cから最も遠い周縁上の点101bにおいて、中心点102cと点101bとを通る直線と、被成膜面101sの法線L1とがなす角度を、最遠方入射角度 θ_{eb} とする。これら最近接入射角度 θ_{ea} と最遠方入射角度 θ_{eb} との差は、中心点1

02cを頂点とした立体角 θ_s にて近似される。そして、ターゲット102が上述のように配置された条件の下では、基板101の周縁上の各点に到達するスパッタ粒子SPの入射角度に、最近接入射角度 θ_{ea} と最遠方入射角度 θ_{eb} との差に相当するばらつきが基板101の回転に応じて発生する。

[0009] ここで、基板101の被成膜面（表面）101sに対するスパッタ粒子SPの入射角度は、基板101の被成膜面101s上におけるスパッタ粒子SPの配置を決定する一つの要素であるとともに、MgO膜の配向性を決定する重要な要素でもある。そのため、上述のように基板101が1回転する期間内で入射角度が常に異なることになれば、MgO膜の（001）配向のピーク強度が弱められてしまう。特に、基板101周縁付近においてピーク強度の弱められる程度が大きくなる。ひいては、基板101に形成されるトンネル磁気抵抗素子のMR比を高めることに対して大きな妨げになる。

[0010] また、MgO膜の膜特性では、上述した配向性の他、基板の面内における膜厚の均一性も、磁気抵抗素子のMR比を決定する重要な要素である。このため、トンネル障壁層にMgO膜を用いてMR比を向上することが強く求められる場合には、基板の面内におけるMgO膜の配向強度の向上とその面内分布の均一性に加えて、基板面内におけるMgO膜の膜厚分布の均一性を得ることが、MgO膜の膜特性の面内分布を向上する上で切望されている。

[0011] なお、こうした膜特性の面内分布に係る問題は、上記磁気抵抗素子のトンネル障壁層としてMgO膜を用いる場合に限らず、他の素子やデバイスにMgO膜を用いる場合であっても共通して生じるものである。つまり、MgO膜の膜特性の面内分布の向上は、トンネル障壁層以外であっても、MgO膜を利用する素子やデバイスの性能向上に寄与することが大きい。

[0012] 本発明は、上記従来の実情に鑑みてなされたものであり、その目的は、MgO膜の膜特性の面内分布を向上可能なスパッタ装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 以下、上記課題を解決するための手段及びその作用効果について記載する

- 。
- [0014] 本発明の第一の態様は、被成膜面を有する円板状の基板を該基板の周方向に回転させる基板ステージが内部に設けられた真空槽と、酸化マグネシウムからなり前記真空槽の内部に露出する被スパッタ面を有し、前記基板の周方向に設けられたターゲットとを備え、前記基板の被成膜面に対する法線と前記ターゲットの被スパッタ面に対する法線とのなす角度を傾斜角度 θ とし、前記被スパッタ面が前記被成膜面と相対向して前記被スパッタ面に対する法線と前記被成膜面に対する法線とが平行であるときの該ターゲットの傾斜角度 θ を「 0° 」とし、前記被スパッタ面が前記被成膜面の内側に向くときの傾斜角度 θ を正とし、前記被スパッタ面が前記被成膜面の外側に向くときの傾斜角度 θ を負とし、前記基板の中心から前記ターゲットの中心までの高さを H とし、前記基板の中心から前記ターゲットの中心までの幅を W とし、前記高さ H と前記幅 W とによって表される角度 ϕ を $\phi = \arctan(W/H)$ と規定するとき、前記ターゲットの傾斜角度 θ が、 $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ を満たすようにターゲットが配置されていることをその要旨とする。
- [0015] 上記第一の態様によれば、ターゲットの構成材料にかかわらず、基板中心に対するターゲット中心の相対的な位置が、上記角度 ϕ によって規定される。
- 。
- [0016] 一般に被スパッタ面から放出されるスパッタ粒子の放出頻度は、被スパッタ面に対する法線と該被スパッタ面から放出されたスパッタ粒子の進行方向とのなす角度（放出角度）に応じて偏る。この点を考慮して、上記の傾斜角度 θ が、ターゲットの被スパッタ面において相対的に放出頻度が高い放出角度（高放出角度）で規定される方向と被成膜面とのなす角度として規定されている。
- [0017] 本発明者らは、酸化マグネシウムからなるターゲットにおいて相対的に放出頻度が高い放出角度を数値計算や実測等に基づいて約 25° であることを特定した。さらに、本発明者らは、基板の面内において膜特性の良好な分布を得るべく、基板中心に対してターゲット中心を何処に配置するか、また高

放出角度で規定される方向を被成膜面に対してどのように向けるかということに関して鋭意研究を重ねた。そして、上記角度 ϕ と傾斜角度 θ との間において下記式（１）に示される関係が満たされる場合に、基板の面内において膜特性の良好な分布が得られることを見出した。ここで言う良好な分布とは、膜厚分布が基板の面内において $\pm 1\%$ 以下である特に良好な範囲が含まれる。

[0018] $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ …式（１）

なお、上式（１）は、高さ H 及び幅 W の二つのパラメータによって規定されるターゲットの位置と、その位置におけるターゲットの傾斜角度 θ との間の関係を規定したものである。この関係式は、以下に述べる二つの典型的な場合について実際に膜厚分布を検証することによって導き出されている。ちなみに、以下に述べる二つの典型的な場合以外についても上式（１）の関係が満たされる場合には、良好な膜厚分布が得られることが確認された。逆に、上式（１）の関係を満たさない傾斜角度 θ の場合には良好な膜厚分布が得られないことも確認された。なお、上記関係式の導出に至った一つの典型的な例とは、ターゲット高さが比較的小さくかつターゲット幅が比較的大きい場合であって、基板中心に対してターゲット中心が横方向にずれている場合である。また他の典型的な例とは、ターゲット高さが比較的大きくかつターゲット幅が比較的小さい場合であって、基板中心に対してターゲット中心が縦方向にずれている場合である。

[0019] 例えば、上記高さ H を 170 mm 、上記幅 W を 190 mm として、高さ H と幅 W とから求められる角度 ϕ を算出する。そして、異なる傾斜角度 θ において膜特性の分布を実際に評価して、これら得られた膜特性の分布のうち膜特性の分布が良好となるようなターゲット傾斜角度 θ を膜厚分布に基づいて求めた。このとき、膜特性の良好な分布が得られる場合には、高放出角度で規定される方向と被成膜面の法線方向とのなす角度である $(90 - 25) + \theta$ と、この角度と角度 ϕ との差である $(90 - 25) + \theta - \phi$ が、約 15° 以上であることが判明した。

- [0020] また例えば、高さHを210mm、幅Wを130mmとするときには、膜特性の良好な分布が得られる場合として、被成膜面の法線方向と高放出方向とのなす角度である $(90 - 25) + \theta$ と、この角度と角度 ϕ との差である $(90 - 25) + \theta - \phi$ が、約 30° 以下であることが判明した。
- [0021] さらに、これら以外の位置にターゲットを配設した場合において、上述と同様に角度 ϕ が求められるとともに、良好な膜厚分布が得られるターゲットの傾斜角度が求められた。そして各傾斜角度が、 $15^\circ < 65 + \theta - \phi < 30^\circ$ を満たしていること、すなわち上記式(1)を満たしていることが分かった。これらの結果から、良好な膜厚分布を得ることが可能な基板位置とターゲットの傾斜角度 θ との関係として上記式(1)に示される関係が経験則として得られた。
- [0022] 他方、上記高さHと幅Wとにより規定される傾斜角度の範囲外にターゲットを傾斜させることにより、良好な膜厚分布が得られないことも確認された。例えば、高さHを190mm、幅Wを160mmとする場合、良好な膜厚分布が得られるターゲット傾斜角度 θ は、 $-9.9^\circ < \theta < 5.1^\circ$ であった。こうしたターゲットの配置において、上記傾斜角度 θ の至適範囲に含まれない角度である 6° を選択すると、形成されたMgO膜の膜厚分布は約 $\pm 5\%$ であった。結局のところ、あるターゲットの配設位置に対して、該ターゲットの傾斜角度 θ が上述の式(1)を満たさない角度である場合、良好な膜厚分布が得られないことが認められた。それゆえに、この経験式が有効であると言える。
- [0023] このように本発明者らは、上述した観点から酸化マグネシウムの放出頻度を放出角度毎に鋭意研究するなかで、上記傾斜角度 θ が $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ を満たす範囲にあれば、良好な膜厚の均一性が得られることを見出した。上記本発明の第一の態様では、被成膜面に対する法線と被スパッタ面に対する法線とのなす角度 θ が $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ である。これによれば、酸化マグネシウム膜における膜厚の分布に関して均一化を図ることができるようになる。

[0024] 本発明の第二の態様は、被成膜面を有する円板状の基板を該基板の周方向に回転させる基板ステージが内部に設けられた真空槽と、酸化マグネシウムからなり前記真空槽の内部に露出する被スパッタ面を有し、前記基板の周方向に配列された複数のターゲットとを備え、前記被スパッタ面の中心点に最も近い基板周縁上の点を近接点とし、前記被スパッタ面の中心点と該基板の近接点とを通る直線が前記基板の被成膜面となす角度を最近接入射角度とし、前記被スパッタ面の中心点に最も遠い基板周縁上の点を遠方点として、前記被スパッタ面の中心点と該基板の遠方点とを通る直線が前記被成膜面となす角度を最遠方入射角度と規定するとき、前記複数のターゲットの各々の前記最近接入射角度が他のターゲットの前記最遠方入射角度よりも小さくなるように前記複数のターゲットが配置されており、該複数のターゲットが同時にスパッタされることを要旨とする。

[0025] 単一のターゲットにおける被スパッタ面の中心点を基板の回転軸とは異なる位置に配置して基板を回転させつつターゲットをスパッタする場合、基板周縁上の点に堆積するスパッタ粒子の多くは、被スパッタ面の中心点から基板周縁上の点までの距離に応じて下記（Ａ）（Ｂ）のような入射角度を有する。そのため、単一のターゲットを用いて成膜する場合には、基板が１回転することによって、はじめて基板周縁上の全体にわたり下記（Ａ）又は下記（Ｂ）のスパッタ粒子が堆積する。

（Ａ）ターゲットから近い基板上の点に入射角度の小さいスパッタ粒子が堆積する。

（Ｂ）ターゲットから遠い基板上の点に入射角度の大きいスパッタ粒子が堆積する。

[0026] 一方、回転周期の途中で成膜が終了する場合には、基板の最終周回において、上記（Ａ）のスパッタ粒子が堆積しない部分、又は上記（Ｂ）のスパッタ粒子の堆積しない部分が基板周縁上に形成されてしまう。また、スパッタによる成膜処理の実施中においても、基板の回転周期に応じて、基板に対する入射角度の異なる膜堆積が行われることとなり、配向性の向上にとっては

障害となる。それゆえに、スパッタ粒子の配置の規則性、ひいてはスパッタ粒子の堆積によって形成される薄膜の配向性が大きく失われることになる。

[0027] この点、上記第二の態様においては、基板の周方向に複数の酸化マグネシウム (MgO) ターゲットが配置され、且つ、複数のターゲット各々の最近接入射角度が他のターゲットの最遠方入射角度よりも小さい。このような構成であれば、各ターゲットに近い基板周縁上の部分に対し入射角度の小さいスパッタ粒子が同時に堆積し、且つ、各ターゲットから遠い基板周縁上の部分に対し入射角度の大きいスパッタ粒子が同時に堆積する。そのため、基板が1回転する途中であっても、基板周縁上の全体にわたり、上記(A)又は上記(B)のスパッタ粒子が堆積する。それゆえに、回転周期の途中で成膜が終了する場合に、上記(A)のスパッタ粒子が堆積しない部分の面積、又は上記(B)のスパッタ粒子の堆積しない部分の面積を、複数のターゲットの使用によって縮小することが可能である。その結果、所望の配向性が上記(A)のスパッタ粒子によって得られる場合であれ、所望の配向性が上記(B)のスパッタ粒子によって得られる場合であれ、基板周縁上における配向性の強度を高めることが可能である。

[0028] また、単一のターゲットにおける被スパッタ面の中心点を基板の回転軸とは異なる位置に配置して基板を回転させつつターゲットをスパッタする場合、基板の中心点に堆積するスパッタ粒子の入射方向は、基板の周方向の成分が基板の回転角度に応じて異なる。そのため、基板周縁上におけるスパッタ粒子の入射角度と比較すればばらつきが小さいものの、基板の中心点におけるスパッタ粒子の入射角度も、基板が1回転することによって、はじめて同一の入射角度となる。この点、上記第二の態様においては、基板の周方向に複数のターゲットが配置される。このため、基板が1回転する途中であっても、基板の中心点付近では、基板の周方向の角度成分が同一もしくはほとんど同一となる入射方向でスパッタ粒子が到達する。その結果、基板の中心点付近における配向性の強度を高めることも可能である。

[0029] 本発明の第三の態様は、上記第二の態様のスパッタ装置において、前記基

板の被成膜面に対する法線と前記ターゲットの被スパッタ面に対する法線とのなす角度を傾斜角度 θ とし、前記被スパッタ面が前記被成膜面と相対向して前記被スパッタ面に対する法線と前記被成膜面に対する法線とが平行であるときの該ターゲットの傾斜角度 θ を「 0° 」とし、前記被スパッタ面が前記被成膜面の内側に向くときの傾斜角度 θ を正とし、前記被スパッタ面が前記被成膜面の外側に向くときの傾斜角度 θ を負とし、前記基板の中心から前記ターゲットの中心までの高さを H とし、前記基板の中心から前記ターゲットの中心までの幅を W とし、前記高さ H と前記幅 W とによって表される角度 ϕ を $\phi = \arctan(W/H)$ と規定するとき、前記ターゲットの傾斜角度 θ は、 $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ を満たすようにターゲットが配置されていることをその要旨とする。

[0030] 単一のターゲットを用いて成膜する場合には、基板が1回転する毎に、上記（A）のスパッタ粒子と上記（B）のスパッタ粒子とが放出頻度に相当する厚さで基板周縁上の全体にわたり堆積する。その結果、上記（A）の頻度と上記（B）の頻度とがどのような割合であっても、成膜が終了するまでの間、放出頻度の高いスパッタ粒子と放出頻度の低いスパッタ粒子とが、基板周縁上の点に交互に堆積することになる。

[0031] この点、上記第三の態様によれば、上記（A）のスパッタ粒子と上記（B）のスパッタ粒子とが基板周縁上の点に対して互いに異なるターゲットから同時に放出される。この際、近くのターゲットから放出された入射角度の小さいスパッタ粒子は、被成膜面に到達する前に、特に下記（C1）、（C2）の粒子との衝突によって散乱される。

（C1）被スパッタ面からスパッタ粒子を放出させるためのガス

（C2）他のターゲットから放出された入射角度の大きいスパッタ粒子

一方、遠くのターゲットから放出された入射角度の大きいスパッタ粒子は、被成膜面に到達する前に、特に下記（C3）～（C5）の粒子との衝突によって散乱される。

（C3）被スパッタ面からスパッタ粒子を放出させるためのガス

(C 4) 他のターゲットから放出された入射角度の大きいスパッタ粒子

(C 5) 他のターゲットから放出された入射角度の小さいスパッタ粒子

上述のように入射角度の大きいスパッタ粒子は、入射角度の小さいスパッタ粒子と比較して、衝突対象となる粒子（上記（C 3）～（C 5））が多いため、また被成膜面に到達するまでの距離が長いため、散乱されやすくなる。そのゆえに、入射角度の小さいスパッタ粒子は、入射角度の大きいスパッタ粒子と比較して被成膜面に堆積しやすくなる。そこで、放出頻度の高い放出角度で放出されたスパッタ粒子が小さい入射角度で到達するように、被成膜面に対して被スパッタ面を配置する構成とすれば、小さい入射角度を有したスパッタ粒子を、より多く基板周辺上に到達させることが可能になるとともに、小さい入射角度を有したスパッタ粒子による配向性の強度が高くなる。

[0032] 本発明者は、酸化マグネシウムからなるターゲットにおいて相対的に放出頻度が高い放出角度を数値計算や実測等に基づいて約 25° であることを特定するとともに、相対的に放出頻度が高い放出角度で放出された粒子を小さい入射角度で入射させるという観点から上記傾斜角度の範囲を鋭意研究した。そして上記傾斜角度 θ が「 $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ 」であれば、高い強度の（001）配向並びにその基板面内における良好な均一性、及び良好な膜厚の均一性が得られることを見出した。上記第三の態様によれば、被成膜面に対する法線と被スパッタ面に対する法線とのなす角度 θ が「 $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ 」である。これによれば、酸化マグネシウム膜における膜厚の分布に関して均一化が図れるとともに、高い強度の（001）配向が基板面内で均一に得られるようになる。

[0033] 本発明の第四の態様は、上記第一～第三の態様のスパッタ装置において、前記真空槽の内部の圧力が、 10 mPa 以上且つ 130 mPa 以下であることを要旨とする。

[0034] 真空槽の内部の圧力が高くなれば、上記（C 1）～（C 5）のような粒子同士によるスパッタ粒子の散乱が起こりやすくなる。一方、真空槽の内部の

圧力が低くなれば、上記（C1）～（C5）のような粒子同士によるスパッタ粒子の散乱が起こり難くなる。放出頻度の高い放出角度で放出されたスパッタ粒子が小さい入射角度で到達するように、被成膜面に対して被スパッタ面を配置する構成においては、上記（C1）（C2）に由来する散乱が少なく、且つ、上記（C3）～（C5）に由来する散乱が多い程、上述のような効果が顕著なものとなる。

[0035] 本発明者は、上述した観点から成膜圧力と酸化マグネシウム膜の（001）配向の強度とを鋭意研究するなかで、成膜圧力が10mPa以上且つ130mPa以下であれば、より良好な膜特性が得られることを見出した。上記第四の態様では、成膜圧力が10mPa以上且つ130mPa以下であるため、酸化マグネシウム膜の膜特性を、より向上させることが可能である。

[0036] 本発明の第五の態様は、上記第二～第四の態様のスパッタ装置において、前記基板の被成膜面に対する法線と前記ターゲットの被スパッタ面に対する法線とのなす角度である傾斜角度 θ が、前記各ターゲットにおいて互いに同一であることを要旨とする。

[0037] 上記第五の態様によれば、複数のターゲットの各々の傾斜角度 θ が同一であるため、基板が1回転する途中でも、上記（A）のスパッタ粒子が堆積する部分、又は上記（B）のスパッタ粒子の堆積する部分の配向性が基板周縁上において実質的に同じとなる。それゆえに、配向性の強度、及び配向性の面内均一性をより確実に高めることが可能となる。

[0038] 本発明の第六の態様は、上記第二～第五の態様のスパッタ装置において、前記複数のターゲットが前記基板の周方向に等配されていることを要旨とする。

[0039] 上記第六の態様のスパッタ装置によれば、複数のターゲットが基板周縁上に等間隔で配置されるため、同一の入射角度を有するスパッタ粒子が基板周縁上に等間隔で到達するようになる。そのため、基板周縁における配向性の偏りを、より軽減させることが可能であり、ひいては配向性の面内均一性を、より高めることが可能となる。

図面の簡単な説明

- [0040] [図1] (a) は本発明の一実施の形態に係るスパッタ装置の概略構成図、(b) は(a)のスパッタ装置において基板とターゲットとの位置関係を示す平面図。
- [図2] (a) は酸化マグネシウムターゲットの被スパッタ面から放出されるスパッタ粒子の放出角度分布を示す模式図、(b) は金属ターゲットの被スパッタ面から放出されるスパッタ粒子の放出角度分布を示す模式図。
- [図3] 図1のスパッタ装置に設けられるターゲットの被スパッタ面の中心点から放出されたスパッタ粒子が基板に入射する角度を示す模式図。
- [図4] 基板中心からの距離と配向性強度との関係を示すグラフ。
- [図5] 基板中心からの距離と磁気抵抗比の関係を示すグラフ。
- [図6] 基板中心からの距離と配向性強度との関係を示すグラフ。
- [図7] チルト角と膜厚均一性との関係を示すグラフ。
- [図8] チルト角と膜厚均一性との関係を示すグラフ。
- [図9] 従来のスパッタ装置の概略構成図。
- [図10] 従来のスパッタ装置においてターゲットの被スパッタ面の中心点から放出されたスパッタ粒子が基板に入射する角度を示す模式図。

発明を実施するための形態

- [0041] 以下、本発明のスパッタ装置を具現化した第一の実施の形態について、図1～図6を参照して説明する。
- [0042] 図1は、スパッタ装置の概略構成を示している。図1(a)に示されるように、スパッタ装置10は真空槽11を含む。この真空槽11には、クライオポンプ等から構成されて真空槽11の内部空間を排気する排気装置12が連結されている。この排気装置12と真空槽11の間には、真空槽11の内部圧力を検出する圧力検出装置VGが接続されている。排気装置12が稼働すると真空槽11の内部が減圧されるとともに、このときの内部圧力が圧力検出装置VGによって検出される。
- [0043] 真空槽11には、マスフローコントローラ等から構成され、所定流量のア

ルゴン（A r）、クリプトン（K r）、キセノン（X e）等の希ガスを真空槽 1 1 内に供給するガス供給装置 1 3 が連結されている。排気装置 1 2 による定常的な排気処理が実施されているとき、ガス供給装置 1 3 が真空槽 1 1 内に希ガスを供給することで、真空槽 1 1 内が所定の圧力、例えば 1 0 m P a 以上且つ 1 3 0 m P a 以下に調整される。

[0044] 真空槽 1 1 の内部空間における底部側には、円板状の基板 S を保持する基板ステージ 1 4 が配置されている。この基板ステージ 1 4 は、該基板ステージ 1 4 共々基板 S を回転させる基板回転装置 1 5 の出力軸に連結されている。基板回転装置 1 5 は、基板ステージ 1 4 を回転させることによって、基板 S の表面に対する法線 L_s に平行であって基板 S の中心を通る基板回転軸線 A R T を中心として、基板 S をその周方向に回転させる。この状態で基板 S に向けて飛行するスパッタ粒子の到達位置が基板 S の全周に渡り分散されることによって、基板 S 上における堆積物の膜厚均一性が高められる。なお、基板ステージ 1 4 に保持される基板 S は、例えばシリコン（S i）基板、アルチック（A l T i C）基板、あるいはガラス基板から構成されている。基板 S は、該基板 S 上における堆積物の配向性を得るように形成された被成膜面を有する。例えば堆積物が酸化マグネシウム（M g O）膜である場合、該 M g O 膜の（0 0 1）配向を得るために、基板 S の被成膜面は非晶質のコバルト鉄ボロン（C o F e B）によって形成されている。

[0045] 真空槽 1 1 の内部空間には、有底筒状の防着板 1 6 が基板 S の外周に沿って配設されている。防着板 1 6 は、基板ステージ 1 4 の周囲や真空槽 1 1 の底部側に向かって飛行するスパッタ粒子が、基板ステージ 1 4 や真空槽 1 1 に付着することを抑制する。

[0046] 真空槽 1 1 の天部には、真空槽 1 1 の内部空間にプラズマを生成するカソード 2 0 が搭載されている。カソード 2 0 はバックングプレート 2 1 を含み、このバックングプレート 2 1 には例えば 1 3 . 5 6 M H z の高周波電力を出力する高周波電源 G E が電氣的に接続されている。また、バックングプレート 2 1 には、基板 S と対向する第 1 ターゲット T A が電氣的に接続されて

いる。第1ターゲットTAは、例えばMgOを主成分とする被スパッタ面TAsを含み、この被スパッタ面TAsは、真空槽11の内部空間に露出している。第1ターゲットTAは、該第1ターゲットTAの被スパッタ面TAsに対する法線Ltと、基板Sの被成膜面に対する法線Lsとのなす傾斜角度、すなわち、第1ターゲットTAの被スパッタ面TAsと基板Sの被成膜面とのなすチルト角 θ が例えば 22° となるように配置されている。以下では、法線Ltを「ターゲット法線Lt」といい、法線Lsを「基板法線Ls」という。

[0047] なお、ターゲット法線Ltと基板法線Lsとが平行であるときのチルト角 θ を「 0° 」とし、図1に示されるように被スパッタ面TAsが被成膜面の内側に向くときのチルト角 θ を正とし、被スパッタ面TAsが被成膜面の外側に向くときのチルト角 θ を負とする。

[0048] バッキングプレート21を介して第1ターゲットTAの反対側には磁気回路22が配設されている。高周波電源GEからの高周波電力がバッキングプレート21に供給された状態で磁気回路22が駆動されると、第1ターゲットTAの被スパッタ面TAsには磁気回路22によってマグネトロン磁場が形成される。そして、第1ターゲットTAの被スパッタ面TAs近傍のプラズマ生成にマグネトロン磁場が寄与することによってプラズマが高密度化されて、被スパッタ面TAsが希ガスのイオンでスパッタされる。

[0049] 図1(b)に示されるように、本実施の形態におけるスパッタ装置10の真空槽11には、第1ターゲットTAの他に、第2ターゲットTB及び第3ターゲットTCが搭載されている。第2ターゲットTB及び第3ターゲットTCは、第1ターゲットTAと同一の構成材料からなる被スパッタ面を有して該被スパッタ面を真空槽11の内部空間に露出している。また、第2ターゲットTB及び第3ターゲットTCの各々は、第1ターゲットTAの被スパッタ面と同様に、被ターゲット法線Ltと基板法線Lsとの成す角度であるチルト角 θ が例えば 22° となるように配置されている。また、第2ターゲットTB及び第3ターゲットTCの各々は、第1ターゲットTAと同様に、

バッキングプレート、高周波電源、及び磁気回路とともにカソードを構成している。

[0050] 第1ターゲットTA、第2ターゲットTB、及び第3ターゲットTCは、各々の中心TAc、TBc、TCcと基板Sの中心点Pcとの距離が互いに等しく、且つ、基板Sの周方向に沿って等間隔に配置（等配）されている。つまり、第1ターゲットTA、第2ターゲットTB、及び第3ターゲットTCの各々の中心TAc、TBc、TCcは、基板回転軸線ARTと平行な方向から見て、基板Sと同心の仮想円CT上に配置されている。加えて、基板回転軸線ARTと平行な方向から見て、基板Sの中心角を3等分する直線LCa、LCb、LCcのうち、直線LCa上に第1ターゲットTAの中心TAcが、直線LCb上に第2ターゲットTBの中心TBcが、直線LCc上に第3ターゲットTCの中心TCcがそれぞれ位置している。なお、直線LCa、LCb、LCcが他の直線となす角度 θ_{tri} は 120° である。

[0051] ターゲットTA、TB、TCの近傍には、基板Sと対向し該基板Sの上方を覆うドーム状のシャッタ31が基板ステージ14の直上に配置されている。シャッタ31は、該シャッタ31を回転駆動するシャッタ回転装置32の出力軸に連結されている。シャッタ31は、各ターゲットTA、TB、TCの被スパッタ面の略全体を基板Sに対して同時に露出可能にする複数の開口部31Hを有する。シャッタ回転装置32は、基板回転軸線ARTを中心にシャッタ31を回転して各ターゲットTA、TB、TCの被スパッタ面にシャッタ31の各開口部31Hを対向させる。この状態でバッキングプレート21へ高周波電力が供給されると、各ターゲットTA、TB、TCのスパッタが可能となる。バッキングプレート21へ高周波電力を供給せず各ターゲットTA、TB、TCをスパッタしないときには、各ターゲットTA、TB、TCの被スパッタ面がシャッタ31により覆われる。従って、被スパッタ面の汚染が抑制される。

[0052] スパッタ装置10には、排気装置12による減圧処理、ガス供給装置13によるガス供給処理、高周波電源GEによる高周波電力供給処理等の各種処

理を統括する制御装置 40 が設けられている。例えば制御装置 40 は、以下の装置に電氣的に接続されて各種信号を送受信する。

- ・制御装置 40 は、排気装置 12 に接続されて、減圧処理を開始するための開始制御信号や、減圧処理を終了するための終了制御信号を出力する。

- ・制御装置 40 は、圧力検出装置 V G 及びガス供給装置 13 に接続されて、圧力検出装置 V G の出力信号を受信し、真空槽 11 の内部圧力を所定圧力にするための流量制御信号をガス供給装置 13 に供給する。

- ・制御装置 40 は、基板回転装置 15 に接続されて、回転処理を開始するための開始制御信号や回転処理を終了するための終了制御信号を出力する。

- ・制御装置 40 は、シャッタ回転装置 32 に接続されて、各開口部をそれぞれのターゲットに対向させる回転制御信号を出力する。

- ・制御装置 40 は、高周波電源 G E に接続されて、各ターゲットに高周波電力を供給するための電力供給開始制御信号や各ターゲットへの高周波電力の供給を停止するための電力供給停止制御信号を出力する。

[0053] スパッタ装置 10 において成膜処理が開始されると、制御装置 40 からの指令により排気装置 12 が真空槽 11 の内部圧力を所定圧力にまで減圧する。その後、図示しない基板搬送装置により真空槽 11 内に基板 S が搬入される。基板 S が基板ステージ 14 に保持されると、制御装置 40 は、シャッタ回転装置 32 を駆動してシャッタ 31 の各開口部 31 H と各ターゲット T A, T B, T C の被スパッタ面とを対向させる。そして、制御装置 40 は、基板回転装置 15 を駆動して基板回転軸線 A R T を中心に基板 S を回転させる。

[0054] 基板 S の回転が開始されると、制御装置 40 は、ガス供給装置 13 から所定流量の希ガスを真空槽 11 に供給し、該真空槽 11 の内部圧力を所定圧力に調整する。その後、制御装置 40 は、各高周波電源 G E から高周波電力を各ターゲットに供給して、被スパッタ面のスパッタを開始する。

[0055] [放出角度分布]

次に、図 2 を参照して、ターゲット T の被スパッタ面が希ガスであるアル

ゴンによってスパッタされたときに、被スパッタ面の任意の点から放出されるスパッタ粒子の放出角度と放出頻度との関係（放出角度分布）について説明する。図2（a）は、絶縁物であるMgOを主成分とするターゲットTがスパッタされたときの放出角度分布の数値計算の結果を示している。他方、図2（b）は、金属材料であるアルミニウムを構成材料とするターゲットTがスパッタされたときの放出角度分布の数値計算の結果を示している。なお、MgO及びアルミニウム各々の放出角度分布は、所定条件下にて成膜処理を実施したときのターゲットTのスパッタされる形状であるエロージョン形状に基づき、DSMC法（Direct Simulation Monte Carlo）を用いてシミュレーションを実施することにより得られる。図2（a）及び図2（b）共に、放出角度 θ_e 毎の放出頻度をベクトル量で示している。グラフの原点がターゲットの被スパッタ面におけるスパッタガス粒子の衝突点である。縦軸はターゲット法線 L_t と平行な方向を示し、横軸はターゲット法線 L_t と垂直な方向を示している。

[0056] 図2（a）に示されるように、MgOを主成分とするターゲットTでは、被スパッタ面においてスパッタガス粒子が衝突した点から、約 $20^\circ \sim 30^\circ$ の範囲の放出角度 θ_e で放出されるスパッタ粒子が多い。特に、約 25° の放出角度 θ_e で放出されるスパッタ粒子が最も多くなる。一方、この放出角度 θ_e の範囲よりも小さいあるいは大きい放出角度 θ_e ではスパッタ粒子の放出頻度が小さくなる。これに対して、図2（b）に示されるように、アルミニウムを主成分とするターゲットTでは、約 $85^\circ \sim 95^\circ$ の放出角度 θ_e で放出されるスパッタ粒子が多く、特に約 90° の放出角度 θ_e で放出されるスパッタ粒子が最も多くなる。一方、この放出角度 θ_e の範囲よりも小さいあるいは大きい放出角度 θ_e では、スパッタ粒子の放出頻度が小さくなる。

[0057] 図2（a）及び図2（b）に示されるように、ターゲットTの被スパッタ面から放出されるスパッタ粒子の放出頻度は、放出角度 θ_e に応じた偏りを有するものである。しかも、こうした偏りは、ターゲットを形成する材料毎

に異なるものである。また、図2（a）及び図2（b）に示す放出角度 θ_e は、スパッタガスとしてアルゴンガスを用いた際に見られるものである。つまり、他のスパッタガス、例えばヘリウムガスやキセノンガス等を用いた場合には、ターゲットの形成材料が同一であっても、異なる放出角度分布を示す。これは、スパッタされる粒子である例えばMg原子、O原子、あるいはMgO分子と、スパッタする粒子である例えばアルゴンイオン、ヘリウムイオン、キセノンイオンとの質量比に、放出角度分布が依存するためである。

[0058] [ターゲットの配置]

次に、図3を参照して、各ターゲットTA、TB、TCの配置と、各ターゲットTA、TB、TCから放出されたスパッタ粒子が被成膜面に到達する頻度とについて説明する。図3は、第1ターゲットTAの被スパッタ面TAsの中心点（基準点Tc）から放出されたスパッタ粒子SPの放出角度及び入射角度と、該スパッタ粒子SPが被成膜面Ssに到達するまでの過程とを模式的に示している。なお、図3においては、第1ターゲットTA及び第2ターゲットTBの配置と、第1ターゲットTA及び第2ターゲットTBの各々から放出されるスパッタ粒子SPが被成膜面Ssに到達するまでの過程とを例示している。ちなみに、図3に例示されるスパッタ粒子SPの到達過程は、第1ターゲットTAと第2ターゲットTBとの間に限らず、第1ターゲットTAと第3ターゲットTCとの間においても、あるいは第2ターゲットTBと第3ターゲットTCとの間においても成り立つものである。つまり図3に示されるスパッタ粒子間の相互作用は、スパッタ装置10に搭載されるターゲットの個数によらず、複数のターゲットのうちの任意の2つのターゲットの間で成り立つものである。

[0059] まず、各ターゲットTA、TB、TCの配置について以下に説明する。上述のように、各ターゲットTA、TB、TCは、被スパッタ面に対するターゲット法線Ltと、基板Sの被成膜面Ssに対する法線Lsとがチルト角 θ をなすようにスパッタ装置10に配設される。以下、チルト角 θ を説明するために、各ターゲットTA、TB、TCの被スパッタ面の基準点Tcから放

出されるスパッタ粒子SPの放出角度と、スパッタ粒子SPが基板Sの被成膜面S_sに入射するときの入射角度とを以下のように定義する。放出角度及び入射角度の定義は、ターゲット毎に同様に定義されるものであるため、以下では第1ターゲットTAに関する放出角度及び入射角度の定義を示す。

- ・基板Sの外周縁において被スパッタ面TAsに最も近い最近接点Pe1と被スパッタ面TAsの基準点Tcとを結ぶ直線と、被スパッタ面TAsのターゲット法線Ltとがなす角度を最近接放出角度 θ_{en} とする。

- ・基板Sの中心点Pcと被スパッタ面TAsの基準点Tcとを結ぶ直線と、被スパッタ面TAsのターゲット法線Ltとがなす角度を中心放出角度 θ_{ec} とする。

- ・基板Sの外周縁において被スパッタ面TAsから最も遠い最遠方点Pe2と被スパッタ面TAsの基準点Tcとを結ぶ直線と、被スパッタ面TAsのターゲット法線Ltとがなす角度を最遠方放出角度 θ_{ef} とする。

- ・基板Sの最近接点Pe1と被スパッタ面TAsの基準点Tcとを結ぶ直線と、最近接点Pe1を通る被成膜面S_sの法線Le1とがなす角度を最近接入射角度 θ_{in} とする。

- ・基板Sの中心点Pcと被スパッタ面TAsの基準点Tcとを結ぶ直線と、基板Sの中心点Pcを通る被成膜面S_sの法線Lcとがなす角度を中心入射角度 θ_{ic} とする。

- ・基板Sの最遠方点Pe2と被スパッタ面TAsの基準点Tcとを結ぶ直線と、最遠方点Pe2を通る被成膜面S_sの法線Le2とがなす角度を最遠方入射角度 θ_{if} とする。

[0060] 本実施の形態では、3つのターゲットTA, TB, TCの各々の最近接入射角度 θ_{in} が他のターゲットの最遠方入射角度 θ_{if} よりも小さくなるように、3つのターゲットTA, TB, TCのチルト角 θ が規定される。また、被成膜面S_sの法線方向における第1ターゲットTA（基準点Tc）と被成膜面S_sとの距離をターゲット高さHとし、被成膜面S_sの中心点Pcと上記最近接点Pe1との距離を基板Sの半径とする。これらターゲット高さ

H、基板Sの半径、及び上記放出角度分布に基づいて、スパッタ粒子SPが最近接放出角度 θ_{en} で相対的に高い放出頻度で放出されるように、3つのターゲットTA、TB、TCのチルト角 θ が規定されている。なお、図3においては、第1ターゲットTA及び第2ターゲットTBのチルト角 θ が互いに同一であるものとする。

[0061] 例えば、第1ターゲットTAの被スパッタ面TAsがMgOからなる場合、先の図2(a)に示されるように、最も放出頻度が高くなる放出角度を境界として $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ あるいは $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の範囲の最近接放出角度 θ_{en} でスパッタ粒子が放出されるように第1ターゲットTAの配設位置が規定される。他方、第1ターゲットTAの被スパッタ面TAsがアルミニウムからなる場合、先の図2(b)に示されるように、相対的に放出頻度が高くなる $85^{\circ} \sim 95^{\circ}$ の範囲の最近接放出角度 θ_{en} でスパッタ粒子が放出されるように第1ターゲットTAの配設位置が規定される。そして3つのターゲットTA、TB、TCの各々の最近接入射角度 θ_{in} が他のターゲットの最遠方入射角度 θ_{if} よりも小さくなるように、3つのターゲットTA、TB、TCのチルト角 θ が同一もしくは近い値に規定される。なお、本実施の形態では、ターゲットのスパッタガスとして、アルゴンガスが用いられている。つまり、ターゲットの被スパッタ面は、アルゴンガスから生成されたプラズマ中のアルゴンイオンによってスパッタされる。

[0062] ここで、単一のターゲット、仮に上記第1ターゲットTAのみを用いて成膜する場合、基板Sの周縁上の点に堆積するスパッタ粒子SPは、被スパッタ面TAsの基準点Tcから基板Sの周縁上の点までの距離に応じて下記の(A)(B)のような入射角度を有する。そのため、基板Sが1回転することによって、はじめて基板Sの周縁上の全体にわたり(A)及び(B)のスパッタ粒子SPが堆積する。

(A) 第1ターゲットTAから近い基板上の点、例えば最近接点Pe1に入射角度の小さいスパッタ粒子SPが堆積する。

(B) 第1ターゲットTAから遠い基板上の点、例えば最遠方点Pe2に入

射角度の大きいスパッタ粒子が堆積する。

[0063] 一方、基板Sの回転周期の途中で成膜が終了する場合には、基板Sの最終周回において、上記(A)のスパッタ粒子SPが堆積しない部分、又は上記(B)のスパッタ粒子SPの堆積しない部分が基板Sの周縁上に存在してしまう。その結果、スパッタ粒子SPの配置の規則性、ひいてはスパッタ粒子SPの堆積によって形成される薄膜の配向性が基板Sの周縁内で失われることになる。

[0064] また、単一のターゲット、仮に上記第1ターゲットTAのみを用いて成膜する場合、基板の中心点Pcに堆積するスパッタ粒子SPの入射方向において基板Sの周方向の成分が基板Sの回転角度に応じて異なる。そのため、基板Sの周縁上におけるスパッタ粒子SPの入射角度と比較すればばらつきが小さいものの、基板Sの中心点Pcにおけるスパッタ粒子の入射角度も、基板Sが1回転することによって、はじめて同一の入射角度となる。その結果、スパッタ粒子SPの配置の規則性、ひいてはスパッタ粒子SPの堆積によって形成される薄膜の配向性が基板Sの中心点Pcの付近でも失われることになる。

[0065] この点、第一の実施の形態では、各ターゲットの最近接入射角度 θ_{in} が他のターゲットの最遠方入射角度 θ_{if} よりも小さくなるように配置された3つのターゲットTA, TB, TCが同時にスパッタされる。このため、各ターゲットTA, TB, TCに近い基板Sの周縁上の3カ所に対し入射角度の小さいスパッタ粒子が同時に堆積する。また、各ターゲットTA, TB, TCから遠い基板Sの周縁上の3カ所に対し入射角度の大きいスパッタ粒子SPが同時に堆積する。そして基板Sが1回転する前に、基板Sの周縁上の全体にわたり、上記(A)のスパッタ粒子SPと上記(B)のスパッタ粒子SPとが堆積する。それゆえに、回転周期の途中で成膜が終了する場合であっても、上記(A)のスパッタ粒子SPが堆積しない部分、又は上記(B)のスパッタ粒子SPの堆積しない部分が、3つのターゲットTA, TB, TCを使用することによって、縮小される。その結果、所望の配向性を上記(

A) のスパッタ粒子 S P によって得る場合であれ、所望の配向性を上記 (B) のスパッタ粒子 S P によって得る場合であれ、基板 S の周縁上の薄膜に対する配向性を高めるとともに、配向性の均一性を高めることが可能である。しかも、基板 S の周方向に 3 つのターゲット T A, T B, T C が配置されるため、基板 S が 1 回転する途中でも、基板 S の中心点 T c の付近では、基板 S の周方向の角度成分が同一もしくはほとんど同一となる入射方向でスパッタ粒子 S P が到達する。その結果、基板 S の中心点 T c の付近における配向性の強度を高めることも可能である。

[0066] また 3 つのターゲット T A, T B, T C が基板 S の周方向に等配されていることから、同一の入射角度を有するスパッタ粒子 S P が基板 S の周縁上に等間隔で到達するようになる。そのため、基板 S の周縁上の薄膜における配向性の偏りを、より軽減させることが可能であり、ひいては配向性の面内均一性を、より高めることが可能となる。

[0067] [スパッタ粒子の到達過程]

次に、各ターゲット T A, T B, T C から放出されたスパッタ粒子 S P が基板 S の被成膜面 S s に到達するまでの過程について以下に説明する。なお、各ターゲット T A, T B, T C から放出されたスパッタ粒子 S P が被成膜面 S s に到達するまでの過程は、ターゲット毎に同様である。そのため以下では、第 1 ターゲット T A から放出されたスパッタ粒子 S P と第 2 ターゲット T B から放出されたスパッタ粒子との相互作用を例示して、第 1 ターゲット T A から放出されたスパッタ粒子 S P が被成膜面 S s に到達するまでの過程を説明する。

[0068] 第 1 ターゲット T A においては、被スパッタ面 T A s の基準点 T c から最近接点 P e 1、中心点 P c、及び最遠方点 P e 2 の各々までの距離が、以下の関係を満たしている。

(基準点 T c と最遠方点 P e 2 との距離) > (基準点 T c と中心点 P c との距離) > (基準点 T c と最近接点 P e 1 との距離)

他方、第 2 ターゲット T B の基準点 T c から最近接点 P e 1、中心点 P c

、及び最遠方点 P_{e2} の各々までの距離は、以下の関係を満たしている。

(基準点 T_c と最近接点 P_{e1} との距離) > (基準点 T_c と中心点 P_c との距離) > (基準点 T_c と最遠方点 P_{e2} との距離)

ここで、各ターゲット T_A 、 T_B 、 T_C が同時にスパッタされると、最近接点 P_{e1} には、第1ターゲット T_A から最近接放出角度 θ_{en} で放出されたスパッタ粒子 SP が最近接入射角度 θ_{in} で到達する。加えて、第2ターゲット T_B から最遠方放出角度 θ_{ef} で放出されたスパッタ粒子 SP が最遠方入射角度 θ_{if} で到達する。この際、第1ターゲット T_A から放出されたスパッタ粒子 SP は、最近接点 P_{e1} に到達するまでに、下記 (C1) (C2) の粒子と衝突して散乱され、その一部が最近接点 P_{e1} に到達しなくなる。

(C1) スパッタ粒子 SP を放出させるためのアルゴン粒子。

(C2) 第2ターゲット T_B から最遠方放出角度 θ_{ef} で放出されたスパッタ粒子 SP 。

[0069] 他方、第2ターゲット T_B から放出されたスパッタ粒子 SP は、最近接点 P_{e1} に到達するまでに、下記 (C3) ~ (C5) の粒子と衝突して散乱され、その一部が最近接点 P_{e1} に到達しなくなる。

(C3) スパッタ粒子 SP を放出させるためのアルゴン粒子。

(C4) 第1ターゲット T_A から最遠方放出角度 θ_{ef} で放出されたスパッタ粒子 SP 。

(C5) 第1ターゲット T_A から最近接放出角度 θ_{en} で放出されたスパッタ粒子 SP 。

[0070] その結果、最遠方入射角度 θ_{if} で到達するスパッタ粒子 SP は、最近接入射角度 θ_{in} で到達するスパッタ粒子 SP と比較して、多くの種類の粒子と衝突することになる。しかも、最遠方入射角度 θ_{if} で到達するスパッタ粒子 SP は、被成膜面 S_s に到達するまでの距離が長いため、上述のような衝突によってさらに散乱されやすくなる。そのため、最近接入射角度 θ_{in} で到達するスパッタ粒子 SP は、最遠方入射角度 θ_{if} で到達するスパッタ

粒子SPと比較して被成膜面S_sに堆積しやすくなる。つまり最近接点P_{e1}においては、入射角度の小さいスパッタ粒子が、入射角度の大きいスパッタ粒子と比較して被成膜面S_sに堆積しやすくなる。

[0071] また、最遠方点P_{e2}においては、第1ターゲットTAから最遠方放出角度 θ_{ef} で放出されたスパッタ粒子SPが最遠方入射角度 θ_{if} で到達するとともに、第2ターゲットTBから最近接放出角度 θ_{en} で放出されたスパッタ粒子SPが最近接入射角度 θ_{in} で到達する。つまり最遠方点P_{e2}においても、上述した最近接点P_{e1}と同様の理由から、最近接入射角度 θ_{in} のスパッタ粒子SPが堆積しやすくなる。つまり、最遠方点P_{e2}においても、入射角度の小さいスパッタ粒子は、入射角度の大きいスパッタ粒子と比較して被成膜面S_sに堆積しやすくなる。

[0072] そして本実施の形態では、相対的に高い放出頻度で放出されるスパッタ粒子SPが最近接放出角度 θ_{en} で放出されるように、3つのターゲットTA、TB、TCのチルト角 θ が規定されている。このため、相対的に高い放出頻度で放出されたスパッタ粒子SPが最近接入射角度 θ_{in} で到達するようになる。こうした構成であれば、小さい入射角度を有したスパッタ粒子SPを、より多く基板Sの外周縁上に到達させることが可能になる。その結果、小さい入射角度で到達したスパッタ粒子SPの占める割合が基板周縁上の堆積物において成膜期間の全体を通して高くなる。よって、基板周縁上の薄膜における配向性がより高くなる。また、被成膜面S_sの任意の点で成膜期間の全体にわたり入射角度の均一化が図られるため、被成膜面S_s上の薄膜における配向性の面内均一性をさらに向上させることができる。

[0073] なお、本実施の形態では、放出頻度の高い放出角度で放出されたスパッタ粒子SPが被成膜面S_sの広範囲に到達するようにチルト角 θ が規定される。こうした構成であれば、被成膜面S_sにおける膜厚の面内均一性を高めることが可能にもなる。

[0074] [実施例1]

次に、上記スパッタ装置10を用いた実施例について以下に説明する。該

スパッタ装置 10 を用いた以下の条件での成膜処理によって実施例 1 の MgO 膜を得た。そして実施例 1 の MgO 膜に対し、基板 S の面内における各点について、(001) 配向を示す MgO (200) ピーク ($2\theta = 49.7^\circ$) の強度を X 線回折法によって計測した。また、チルト角 θ が 22° に設定された 1 つの MgO ターゲットを備えるスパッタ装置を用い、成膜圧力を 10 mPa、19 mPa、82 mPa、157 mPa に変更するとともに、その他の条件を実施例 1 と同じにして比較例 1 の MgO 膜を得た。そして実施例 1 と同じく、(001) 配向を示す MgO (200) ピークの強度を X 線回折法によって計測した。

- ・成膜カソード数：3
- ・基板 S：シリコン基板（直径：8 インチ）
- ・ターゲット：MgO ターゲット（直径：5 インチ）
- ・ターゲット高さ H：190 mm
- ・法線 Lc の方向から見た基準点 Tc と中心点 Pc との距離 W：175 mm
- ・基板温度：室温
- ・スパッタガス：Ar
- ・チルト角 θ ： 22°
- ・成膜圧力：19 mPa、82 mPa、306 mPa

図 4 は、実施例 1 における各成膜圧力（82 mPa、306 mPa）で成膜した MgO 膜の MgO (200) ピークの強度を基板 S の中心点 Pc からの距離毎に相対的に示すグラフである。なお、低圧（82 mPa）条件で成膜した MgO 膜の基板中心におけるピーク強度を 1.0 としている。図 5 は、比較例 1 における各成膜圧力（10 mPa、82 mPa、157 mPa）で成膜した MgO 膜の MgO (200) ピークの強度を基板 S の中心点 Pc からの距離毎に相対的に示すグラフである。なお、比較例 1 においては、低圧（10 mPa）条件で成膜した MgO 膜の基板中心におけるピーク強度を 1.0 としている。

[0075] 図 4 に示されるように、基板 S の全体にわたり、低圧（82 mPa）条件

で成膜したMgO膜のピーク強度が、高圧（306mPa）条件で成膜したMgO膜のピーク強度よりも高い。一方、図5に示されるように、基板Sの全体にわたり、低圧（10mPa）条件で成膜したMgO膜のピーク強度が、高圧（157mPa）条件で成膜したMgO膜よりも高い。そして、実施例1及び比較例1のいずれにおいても、成膜圧力が高くなるほど、MgO（200）ピークの強度が低くなる一方で、該ピークの強度の分布の均一性が悪くなる傾向が認められた。言い換えれば、成膜圧力が低くなるほど、MgO（200）ピークの強度が高くなるとともに、該ピークの強度の分布が均一になる傾向が認められた。

[0076] ここで、実施例1における成膜圧力が82mPaでのMgO膜のピーク強度分布をPD1とし、比較例1における成膜圧力が同じく82mPaでのMgO膜のピーク強度分布をPD2とし、これらピーク強度分布PD1における基板面内の均一性と、ピーク強度分布PD2における基板面内の均一性とを比較する。なお、上記ピーク強度分布PD1、PD2の各々における面内均一性は、以下の計算方法（Max/Min法）にて行う。すなわち、ピーク強度分布PD（PD1、PD2）は、ピーク強度の最大値をMaxとし、ピーク強度の最小値をMinとして、 $PD = ((Max - Min) / (Max + Min)) \times 100 (\%)$ で表すことができ、PDの値の絶対値が小さいほど、ピーク強度分布が良好であることを示す。

[0077] 実施例1におけるピーク強度の最大値Max1は、基板中心からの距離が0mmのときで1であり、最小値Min1は、基板中心からの距離80mmのときで0.6029（%）である。したがって、ピーク強度分布PD1は、 $((1.0 - 0.6029) / (1.0 + 0.6029)) \times 100 = 24.77 (\%)$ である。比較例1におけるピーク強度の最大値Max2は、基板中心からの距離が0mmのときで0.6364であるとともに、最小値Min2は、基板中心からの距離80mmのときで0.2286（%）である。したがって、ピーク強度分布PD2は、 $((0.6364 - 0.2286) / (0.6364 + 0.2286)) \times 100 = 47.14 (\%)$ であ

る。以上により、実施例 1 におけるピーク強度分布が、比較例 1 におけるピーク強度分布よりも良好であることがわかった。

[0078] 図 6 は、19 mPa の成膜圧力で得た実施例 1 における MgO 膜を有する基板 S の MR 比、及び 14 mPa の成膜圧力で得た比較例 1 における MgO 膜を有する基板 S の MR 比を、それぞれ基板 S の中心点からの距離毎に相対的に示すグラフである。なお、基板 S の中心点 P_c における各々の MR 比を 1.0 として規格化している。

[0079] 以下、上記 Max/Min 法を用いて実施例 1 及び比較例 1 の MR 比の強度分布 (MD) を算出する。実施例 1 における MR 比の最大値は、基板中心からの距離が 65 mm のときの 1.165 であり、同 MR 比の最小値は、基板中心からの距離が 5 mm のときの 1.0 である。したがって、実施例 1 の MR 比強度分布 MD1 は、 $((1.165 - 1.0) / (1.165 + 1.0)) \times 100 = 7.621$ (%) である。他方、比較例 1 における MR 比の最大値は、基板中心からの距離が 5 mm のときの 1.0 であり、最小値は、基板中心からの距離が 90 mm のときの 0.7191 である。したがって、比較例 1 の MR 比強度分布 MD2 は、 $((1.0 - 0.7191) / (1.0 + 0.7191)) \times 100 = 16.33$ (%) である。以上により、ほぼ同一の成膜圧力にて形成した MgO 膜を有する実施例 1 と比較例 1 とでは、実施例 1 における MR 比強度分布 MD1 が、比較例 1 における MR 比強度分布 MD2 よりも良好であることがわかった。

[0080] (第二の実施の形態)

以下、本発明のスパッタ装置を具現化した第二の実施の形態について、図 1 及び図 2 を参照して説明する。

[0081] 第二の実施の形態に係るスパッタ装置は、第一の実施の形態に係るスパッタ装置 10 が有するターゲット TA, TB, TC のチルト角 θ を特に限定したものであって、その他の構成については該スパッタ装置 10 と同一の構成である。すなわち、第二の実施の形態に係るスパッタ装置のチルト角 θ は、次式 (1) で表される範囲に設定されている。

[0082] $-50^\circ + \phi < \theta < -35^\circ + \phi$ …式(1)

上式(1)において、角度 ϕ は、次式、

$$\phi = \arctan(W/H)$$

で表される。ここで、Wは、基板Sの被成膜面の中心点P_cからターゲットTの被スパッタ面の中心点(基準点T_c)までの水平方向の距離を表し、Hは、基板Sの被成膜面の中心点P_cから被スパッタ面の中心点(基準点T_c)までの垂直方向の距離、すなわちターゲット高さを表す。なお、上記角度 ϕ は、被成膜面の中心点P_cと被スパッタ面の中心点(基準点T_c)とを通る直線と被成膜面の中心点P_cを通る法線(即ち基板法線L_s)とが成す角度であり、90°未満の値である。

[0083] 図2にて説明したように、MgOを主成分とするターゲットでは、被スパッタ面においてスパッタガスの粒子が衝突した点から、約20°～30°の放出角度 θ_e で放出されるスパッタ粒子が多く、特に25°近傍の放出角度 θ_e で放出されるスパッタ粒子が最も多くなる。またスパッタ粒子が多く放出される放出角度 θ_e の付近は、単位放出角度あたりにおける放出頻度のばらつきが相対的に小さい範囲でもある。上述した構成であれば、スパッタ粒子の放出量が最大となる放出角度 θ_e が基板Sの被成膜面に向くような角度にチルト角 θ が設定されるため、被成膜面の全体にわたりスパッタ粒子を安定して供給すること、ひいてはMgO膜の膜厚の均一性を向上させることができる。

[0084] [実施例2]

次に、上記スパッタ装置を用いた実施例について以下に説明する。該スパッタ装置を用いた以下の条件での成膜処理によって実施例2のMgO膜を得た。そして実施例2によって形成されたMgO膜の面内における任意の複数の点について膜厚を測定し、その分布を算出した。

- ・成膜カソード数：3
- ・基板S：シリコン基板(直径：8インチ)
- ・ターゲット：MgOターゲット(直径：5インチ)

- ・ターゲット高さH：210mm
- ・法線L_cの方向から見た基準点T_cと中心点P_cとの距離W：190mm
- ・基板温度：室温
- ・スパッタガス：Ar
- ・角度φ：42.13°
- ・チルト角： $-7.87^{\circ} < \theta < 7.13^{\circ}$
- ・成膜圧力：20mPa

[実施例3]

ターゲット高さH、距離W、角度φ、及びチルト角θを以下の条件に変更するとともに、その他の条件を実施例1と同じにして実施例3のMgO膜を得た。そして実施例3によって形成されたMgO膜の面内における任意の複数の点について膜厚を測定し、その分布を算出した。また実施例1と同じく、(001)配向を示すMgO(200)ピークの強度をX線回折法によって計測した。

- ・ターゲット高さH：230mm
- ・法線L_cの方向から見た基準点T_cと中心点P_cとの距離W：190mm
- ・角度φ：39.56°
- ・チルト角θ： $-10.44 < \theta < 4.56$
- ・成膜圧力：20mPa

また実施例2のチルト角θのみを上記式(1)の範囲に含まれない角度である、 $-7.87^{\circ} > \theta$ 、 $7.13^{\circ} < \theta$ に変更して比較例3のMgO膜を得た。また実施例3のチルト角θのみを上記式(1)の範囲に含まれない角度である、 $-10.44 > \theta$ 、 $4.56 < \theta$ に変更して比較例3のMgO膜を得た。そして比較例2及び比較例3によって形成されたMgO膜の面内における任意の複数の点について膜厚を測定し、その分布を算出した。また比較例1と同じく、(001)配向を示すMgO(200)ピークの強度をX線回折法によって計測した。

[0085] 以下、上記実施例2及び比較例2における各チルト角θで成膜したMgO

膜の膜厚分布を図 7 に示すとともに、実施例 3 及び比較例 3 における各チルト角 θ で成膜した MgO 膜の膜厚分布を図 8 に示す。

[0086] 図 7、図 8 に示されるように、チルト角 θ を上記式 (1) で規定される角度として成膜した MgO 膜の膜厚分布の値よりも、同チルト角 θ を式 (1) で規定される角度の範囲外として成膜した MgO 膜の膜厚分布の値が大きくなる。すなわち、上記式 (1) で規定されるチルト角 θ となるターゲットを備えるスパッタ装置によれば、MgO 膜の膜厚分布を良好にすることが可能である。

[0087] また、図 7 に記載の実施例 2 及び図 8 に記載の実施例 3 によるように、3 つのターゲットの各々のチルト角 θ を同一とするとともに、種々のチルト角 θ にて MgO 膜を形成したところ、チルト角 θ が $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ の範囲において、 $\pm 1\%$ 以下を含む良好な膜厚均一性が認められた。加えて、同チルト角 θ の範囲で形成した MgO 膜においては、上記配向性の相対ピーク強度における基板 S の面内分布が実施例 1 と比較して $\pm 10\% \sim \pm 15\%$ 以下に改善されることが認められた。

[0088] ここで、同一の配向性を有した MgO 粒子が積層されることによって MgO 膜が形成された場合であっても、該 MgO 膜の面内において厚さにばらつきがあると、相対的に膜厚が厚い部分においては上記相対ピーク強度が高くなる一方、相対的に膜厚が薄い部分においては相対ピーク強度が低くなる。それゆえに、上述したように MgO 膜の膜厚分布それ自体が向上することによって、配向性を向上することが可能にもなる。つまり、本実施の形態のスパッタ装置によれば、良好な配向性を有する MgO 膜を成膜することが可能にもなる。

[0089] なお、第二の実施の形態に係るスパッタ装置は、3 つのターゲット TA, TB, TC を有するスパッタ装置である。ただし、上記第一の実施形態にて説明したように、ターゲットの個数は MgO 膜の配向性に大きく寄与するものである。従って、膜厚分布を向上させることが特に必要とされる場合、あるいは膜厚分布の向上に伴う配向性の向上によって配向強度が確保される場

合には、上式（１）の関係を満たすように設けられた１つのターゲットを有するスパッタ装置として具現化することもできる。

[0090] 以上説明したように、上記各実施の形態に係るスパッタ装置によれば、以下に列挙する効果が得られるようになる。

[0091] （１）上記各実施の形態では、基板Ｓの周方向に３つのターゲットＴＡ，ＴＢ，ＴＣが、各ターゲットＴＡ，ＴＢ，ＴＣの最近接入射角度 θ_{in} が他の２つのターゲットの最遠方入射角度 θ_{if} よりも小さくなるように配置される。これにより、各ターゲットに近い基板Ｓの周縁上の部分に対し入射角度の小さいスパッタ粒子が同時に堆積し、且つ、各ターゲットから遠い基板Ｓの周縁上の部分に対し入射角度の大きいスパッタ粒子が同時に堆積する。そのため基板Ｓが１回転する途中であっても、基板Ｓの周縁上の全体にわたり、入射角度の小さいスパッタ粒子、又は入射角度の大きいスパッタ粒子が堆積する。それゆえに、回転周期の途中で成膜が終了する場合であっても、入射角度の小さいスパッタ粒子が堆積しない部分の面積、及び入射角度の大きいスパッタ粒子の堆積しない部分の面積を、３つのターゲットＴＡ，ＴＢ，ＴＣの使用によって縮小することが可能である。その結果、所望の配向性を入射角度の小さいスパッタ粒子によって得る場合であれ、所望の配向性を入射角度の大きいスパッタ粒子によって得る場合であれ、基板Ｓの周縁上における配向性の強度を高めることが可能である。

[0092] （２）基板Ｓの周方向に複数のターゲットが配置されるため、基板Ｓが１回転する途中であっても、基板Ｓの中心点付近に到達するスパッタ粒子の入射角度のうち基板Ｓの周方向に沿う角度成分が、複数のターゲットの使用によって均一化される。その結果、基板Ｓの中心点付近における配向性の強度を高めることも可能である。

[0093] （３）上記第二の実施の形態では、３つのターゲットＴＡ，ＴＢ，ＴＣを、チルト角 θ を $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ を満たす角度となるように配設するようにした。これにより、酸化マグネシウム膜における配向性のピーク強度を高めることが可能であるとともに、膜厚の分布において均一化が図れ

るようになる。

[0094] (4) 成膜処理時には、真空槽の内部の圧力を、 10 mPa 以上且つ 130 mPa 以下とするようにした。これにより、成膜圧力が 10 mPa 以上且つ 130 mPa 以下であるため、酸化マグネシウム膜における配向性の分布の均一化が、より高い配向強度の下で図ることができるようになる。

[0095] (5) 基板Sの被成膜面 S_s に対する法線 L_s とターゲットTA, TB, TCの被スパッタ面に対するターゲット法線 L_t とのなす角度であるチルト角 θ が各ターゲットTA, TB, TCにおいて互いに同一とした。これにより、成膜処理の開始時、あるいは成膜処理の終了時に、基板Sの周方向に配置された3つのターゲットTA, TB, TCによって同じ配向性が得られることとなる。それゆえに、配向性の面内均一性をより高めることが可能となる。

[0096] (6) 複数のターゲットTA, TB, TCが基板S周縁上に等間隔で配置されるようにした。これにより、同一の入射角度を有するスパッタ粒子SPが基板S周縁上に等間隔で到達するようになる。そのため、基板Sの周縁における配向性の偏りを、より軽減させることが可能であり、ひいては配向性の面内均一性をより高めることが可能となる。

[0097] なお、上記各実施の形態は、以下のように適宜変更して実施することも可能である。

[0098] ・基板Sの周方向に配置される2以上のターゲットの各々の最近接入射角度が他のターゲットの最遠方入射角度よりも小さくなる構成であれば、2以上のターゲットが基板Sの周方向に等配されていなくともよい。この構成であっても、上記(1)～(5)に準じた効果を得ることが可能である。具体例については8インチ基板に対する膜厚分布及び配向性の改善について述べたが、これ以上のサイズの基板についても同様の議論が成り立つ。

[0099] ・チルト角 θ は厳密に同一でなくともよく、複数あるターゲットの各々から放出されるスパッタ粒子SPの最近接入射角度 θ_{in} が、その他のターゲットの最遠方入射角度 θ_{if} より小さくなるチルト角 θ であればよい。

- [0100] ・成膜処理時の圧力は10mPa以上且つ130mPa以下以外の範囲であってもよく、最近接入射角度 θ_{in} のスパッタ粒子SPが散乱され難く、最遠方入射角度 θ_{if} のスパッタ粒子SPが散乱されやすい圧力範囲であればよい。
- [0101] ・基板Sの直径、ターゲットの直径、ターゲット高さH、及び距離Wは実施例に記載のものに限らない。基板の周方向に配置される2以上のターゲットの各々の最近接入射角度が他のターゲットの最遠方入射角度よりも小さくなる構成であれば、上記チルト角 θ の関係式である式(1)を満たす範囲で他の任意の条件に変更可能である。
- [0102] ・スパッタガスは希ガスに限らず、酸素等を希ガスに混合した混合ガス用いるようにしてもよい。また酸化マグネシウムターゲット(MgO)でなくマグネシウムターゲット(Mg)を利用して前記混合ガスを用い基板に酸化マグネシウムの(001)配向膜を形成してもよい。この場合、マグネシウムターゲットの表面が前記混合ガス(酸素)によって酸化され、表面が酸化マグネシウムとなっており、MgOターゲットと同様の放出角度となるためである。即ち、この場合のマグネシウムターゲットは、その表面は実質的にMgOターゲットとしてスパッタされる。
- [0103] ・配向性のピーク強度を面内にて均一化する上では、2以上のターゲットが基板Sの周方向に配置される構成であれば、ターゲットの個数は任意の数でよい。また上右記MgOからなるターゲットが複数備えられていれば、該ターゲットと異なる構成材料からなる他のターゲットが設けられる構成であってもよい。例えばMgOからなる2以上のターゲットに加えて、1つのMgからなるターゲットが設けられる構成であってもよい。この構成であれば、MgO膜の下地層としてMg膜を形成した後に、真空槽から基板を搬出させることなく、該Mg膜上にMgO膜を形成することが可能である。
- [0104] ・配向性のピーク強度を面内において均一化する上では、チルト角 θ は $-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$ の範囲に含まれる角度でなくともよい。要は、複数あるターゲットの各々から放出されるスパッタ粒子SPの最近接入射角度

θ_{in} が、その他のターゲットの最遠方入射角度 θ_{if} より小さくなるチルト角 θ であればよい。

請求の範囲

[請求項1]

スパッタ装置であって、

被成膜面を有する円板状の基板を該基板の周方向に回転させる基板ステージが内部に設けられた真空槽と、

酸化マグネシウムからなり前記真空槽の内部に露出する被スパッタ面を有し、前記基板の周方向に設けられたターゲットとを備え、

前記基板の被成膜面に対する法線と前記ターゲットの被スパッタ面に対する法線とのなす角度を傾斜角度 θ とし、

前記被スパッタ面が前記被成膜面と相対向して前記被スパッタ面に対する法線と前記被成膜面に対する法線とが平行であるときの前記ターゲットの傾斜角度 θ を「 0° 」とし、

前記被スパッタ面が前記被成膜面の内側に向くときの前記傾斜角度 θ を正とし、

前記被スパッタ面が前記被成膜面の外側に向くときの前記傾斜角度 θ を負とし、

前記基板の中心から前記ターゲットの中心までの高さを H とし、

前記基板の中心から前記ターゲットの中心までの幅を W とし、

前記高さ H と前記幅 W とによって表される角度 ϕ を $\phi = \arctan(W/H)$ と規定するとき、

前記ターゲットの傾斜角度 θ が、

$$-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$$

を満たすようにターゲットが配置されていることを特徴とするスパッタ装置。

[請求項2]

請求項1に記載のスパッタ装置において、

前記真空槽の内部の圧力が、 10 mPa 以上且つ 130 mPa 以下であることを特徴とするスパッタ装置。

[請求項3]

スパッタ装置であって、

被成膜面を有する円板状の基板を該基板の周方向に回転させる基板

ステージが内部に設けられた真空槽と、

酸化マグネシウムからなり前記真空槽の内部に露出する被スパッタ面を有し、前記基板の周方向に配列された複数のターゲットとを備え、

前記被スパッタ面の中心点に最も近い基板周縁上の点を近接点とし、

前記被スパッタ面の中心点と前記基板の近接点とを通る直線が前記基板の被成膜面となす角度を最近接入射角度とし、

前記被スパッタ面の中心点から最も遠い基板周縁上の点を遠方点とし、

前記被スパッタ面の中心点と前記基板の遠方点とを通る直線が前記基板の被成膜面となす角度を最遠方入射角度と規定するとき、

前記複数のターゲットの各々の前記最近接入射角度が他のターゲットの前記最遠方入射角度よりも小さくなるように複数のターゲットが配置されており、該複数のターゲットが同時にスパッタされることを特徴とするスパッタ装置。

[請求項4]

請求項3に記載のスパッタ装置において、

前記基板の被成膜面に対する法線と前記各ターゲットの被スパッタ面に対する法線とのなす角度を傾斜角度 θ とし、

前記被スパッタ面が前記被成膜面と相対向して前記被スパッタ面に対する法線と前記被成膜面に対する法線とが平行であるときの前記各ターゲットの傾斜角度 θ を「 0° 」とし、

前記被スパッタ面が前記被成膜面の内側に向くときの前記傾斜角度 θ を正とし、

前記被スパッタ面が前記被成膜面の外側に向くときの前記傾斜角度 θ を負とし、

前記基板の中心から前記各ターゲットの中心までの高さを H とし、

前記基板の中心から前記各ターゲットの中心までの幅を W とし、

前記高さHと前記幅Wとによって表される角度 ϕ を $\phi = \arctan(W/H)$ と規定するとき、

前記各ターゲットの傾斜角度 θ が、

$$-50 + \phi < \theta < -35 + \phi$$

を満たすようにターゲットが配置されていることを特徴とするスパッタ装置。

[請求項5] 請求項3又は4に記載のスパッタ装置において、

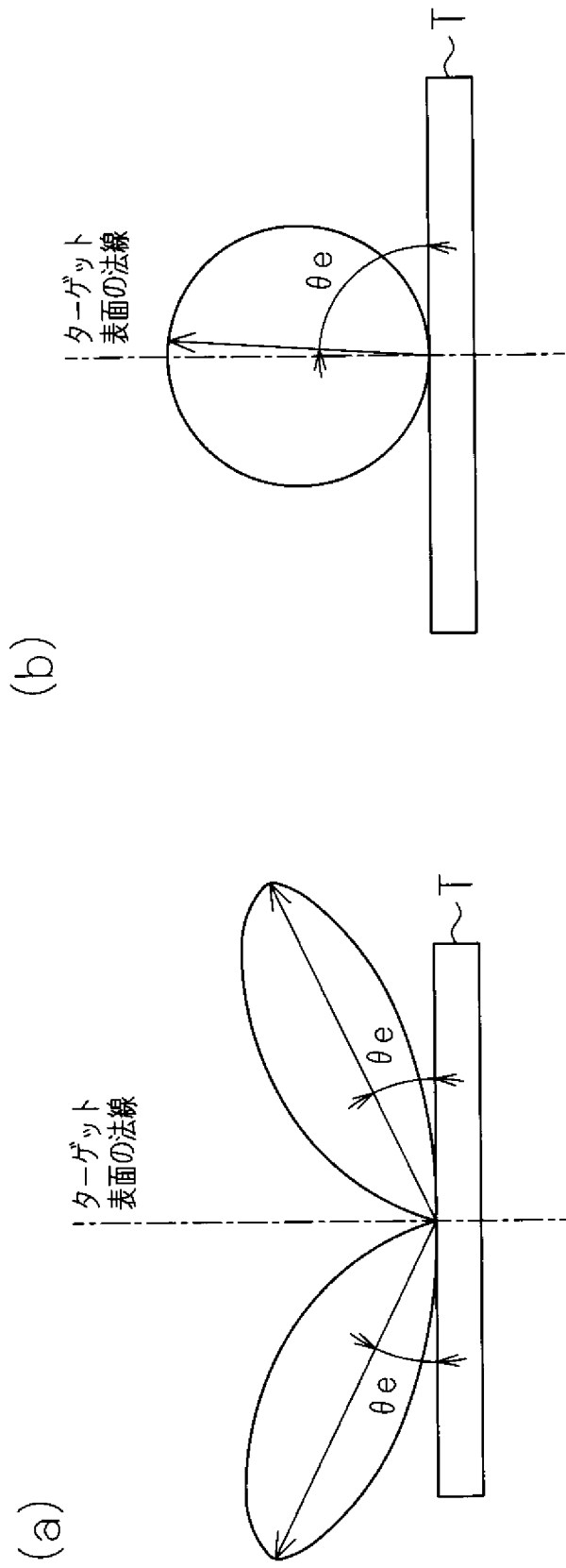
前記真空槽の内部の圧力が、 10 mPa 以上且つ 130 mPa 以下であることを特徴とするスパッタ装置。

[請求項6] 請求項3～5のいずれか一項に記載のスパッタ装置において、

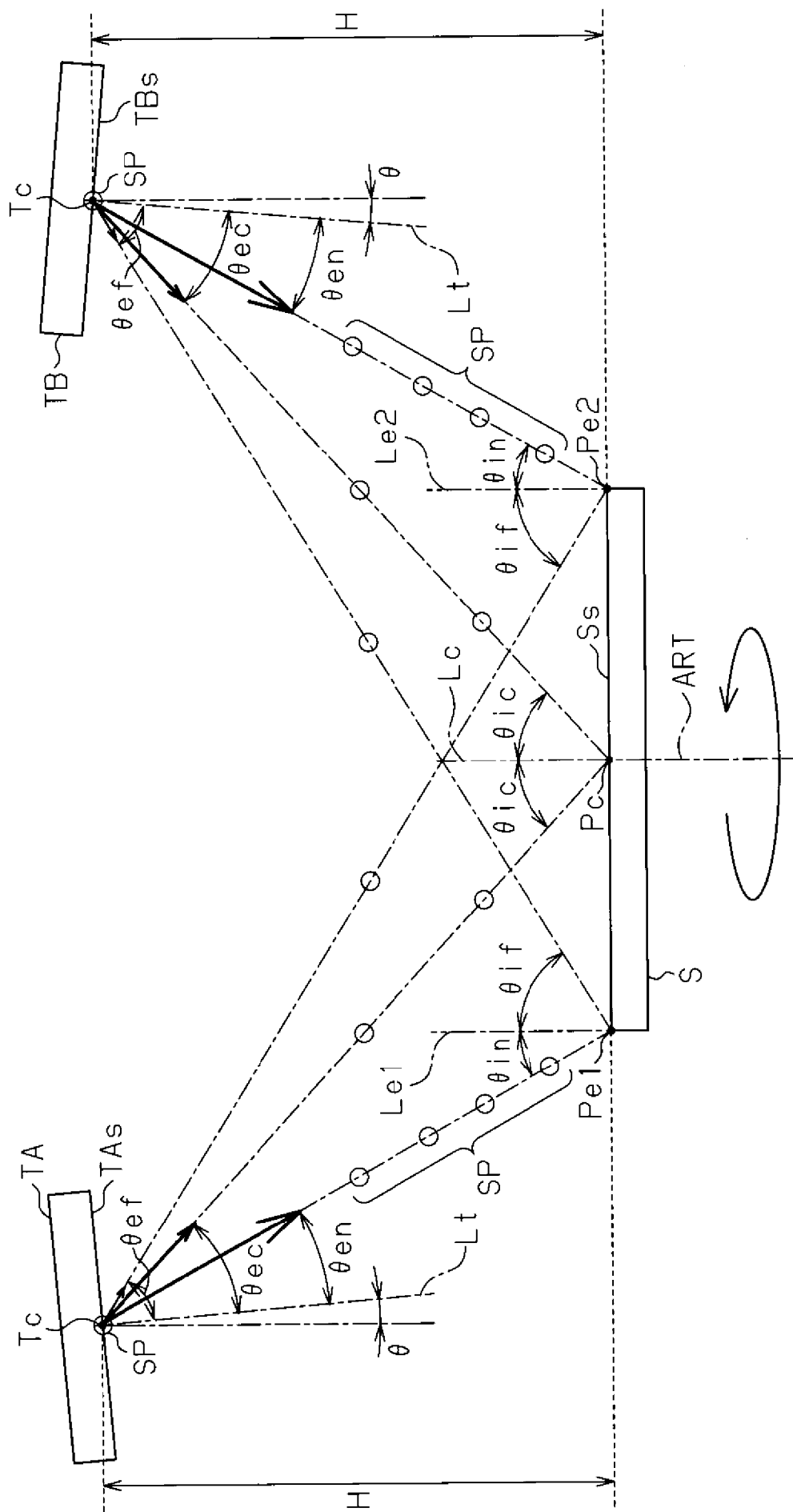
前記基板の被成膜面に対する法線と前記各ターゲットの被スパッタ面に対する法線とのなす角度である傾斜角度が、前記複数のターゲットにおいて互いに同一であることを特徴とするスパッタ装置。

[請求項7] 前記複数のターゲットが前記基板の周方向に等配されていることを特徴とする請求項3～6のいずれか一項に記載のスパッタ装置。

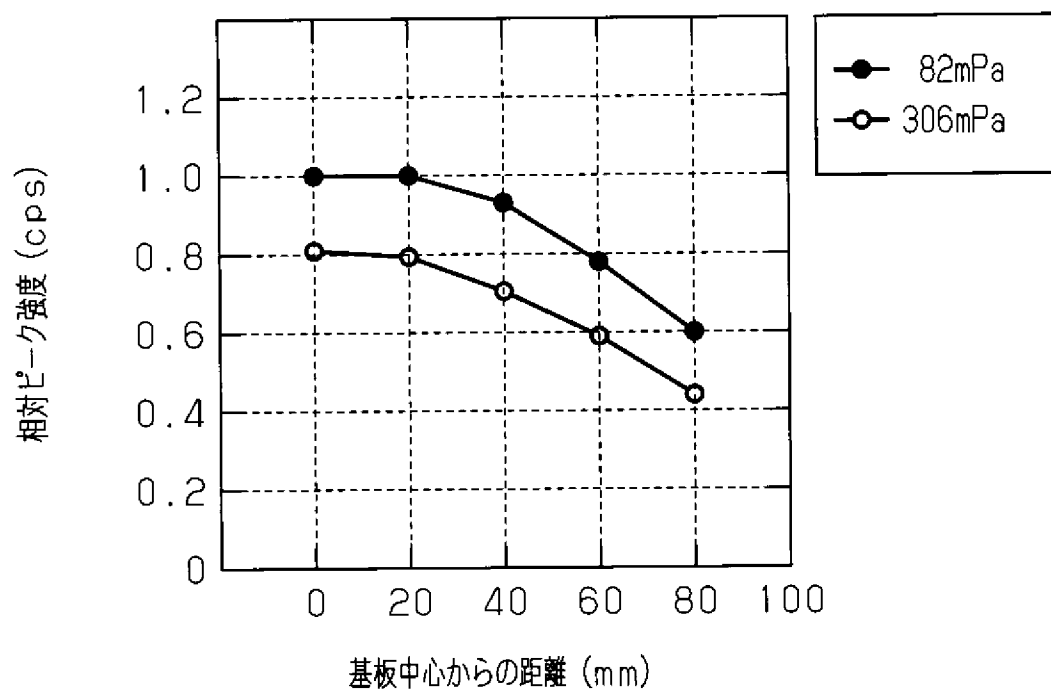
[図2]



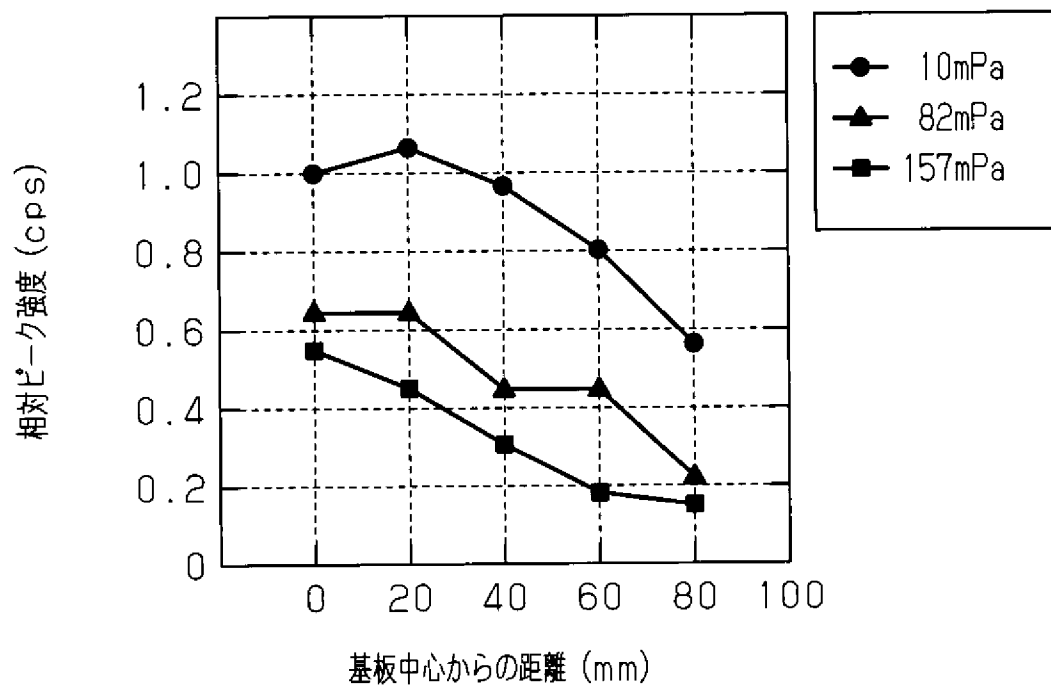
[図3]



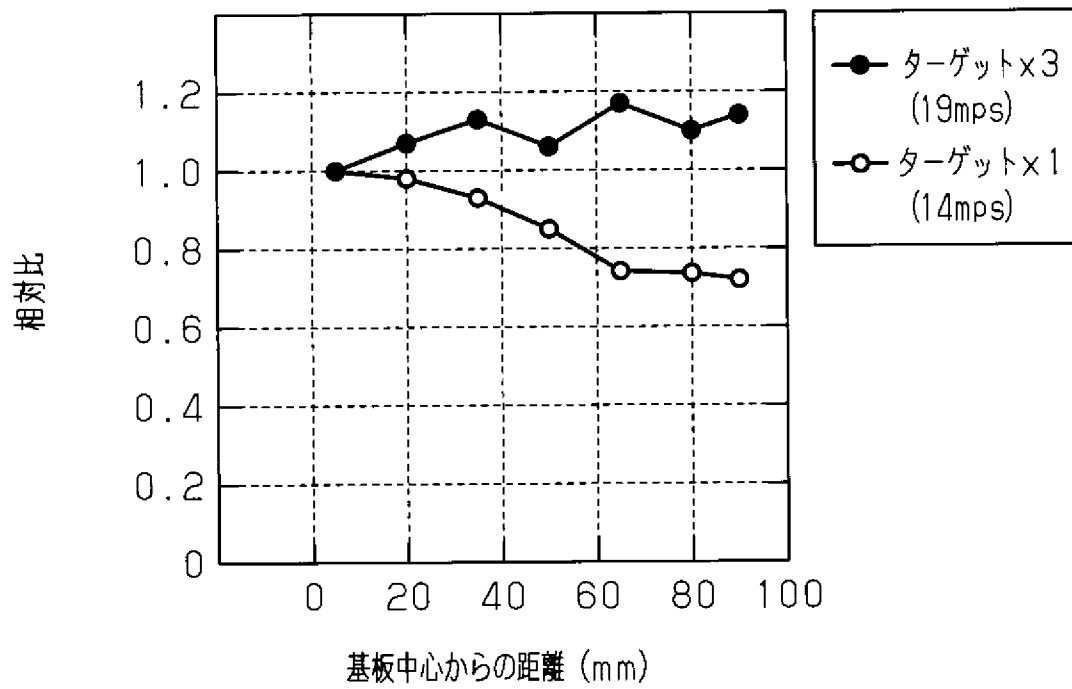
[図4]



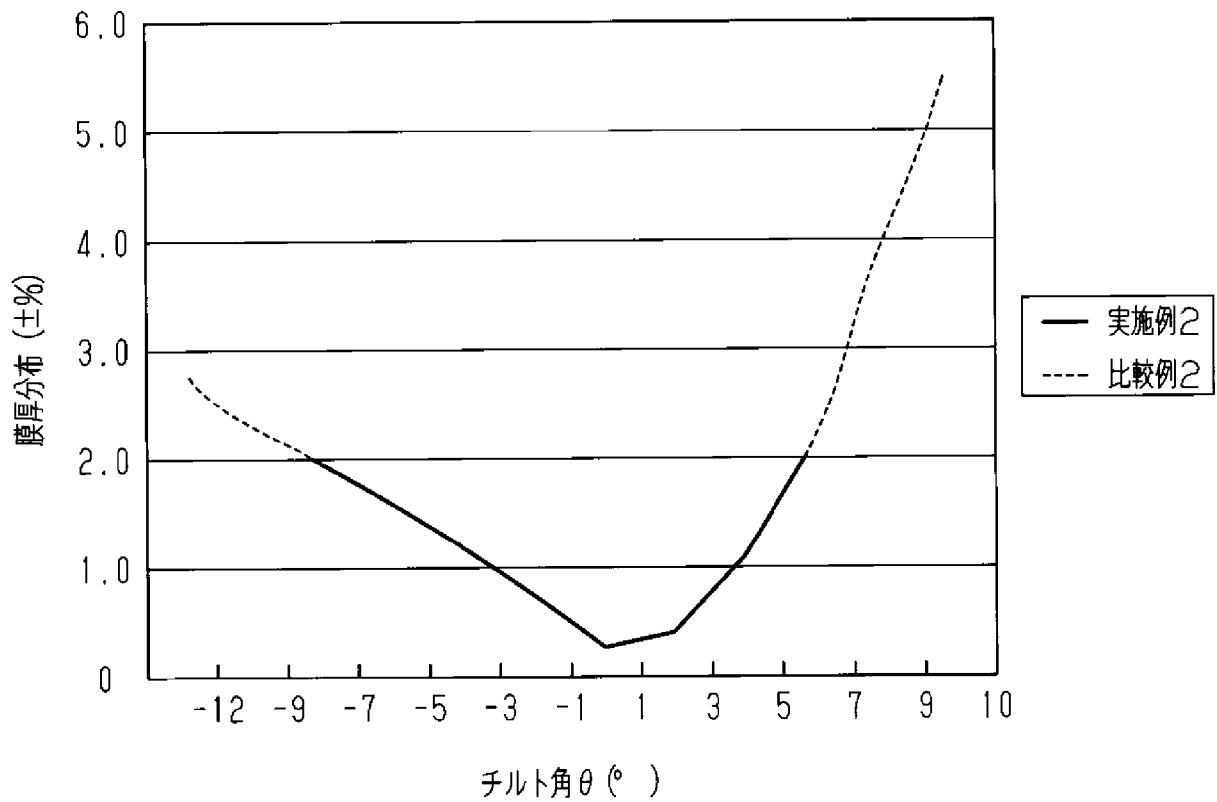
[図5]



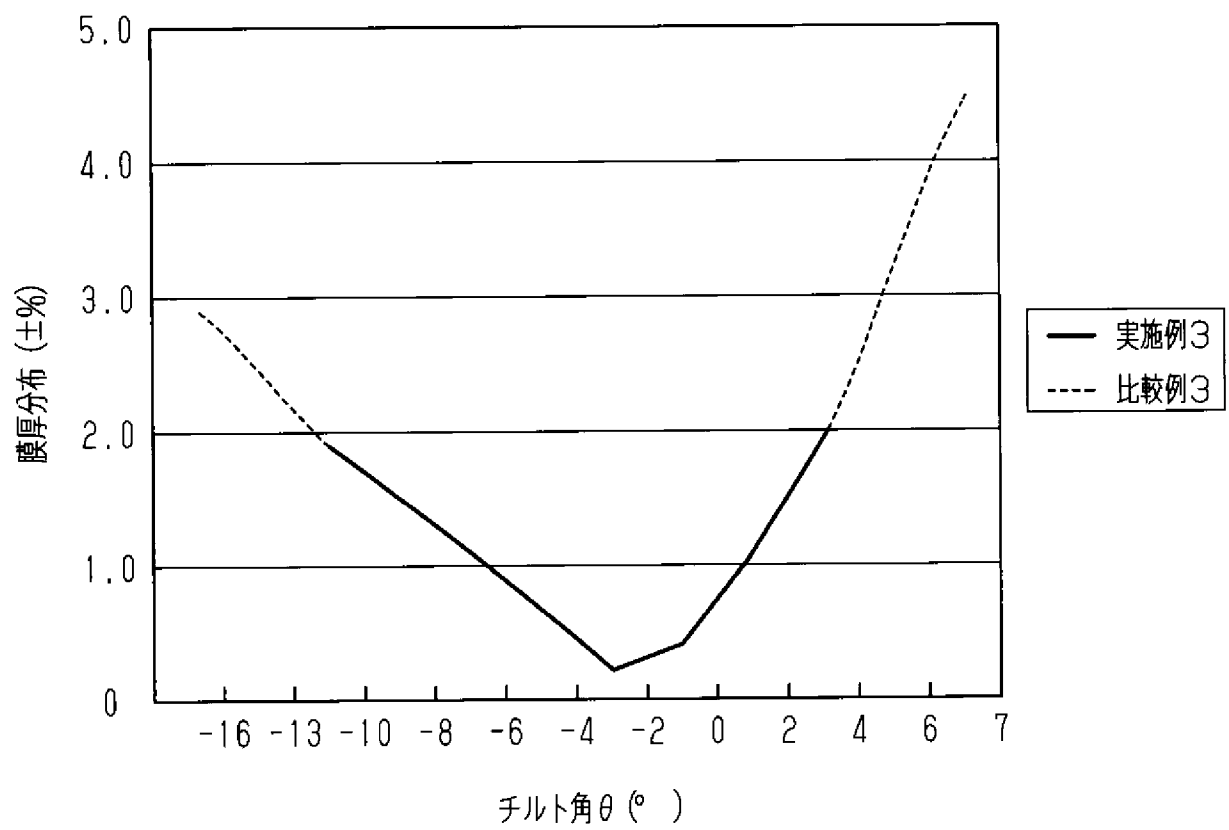
[図6]



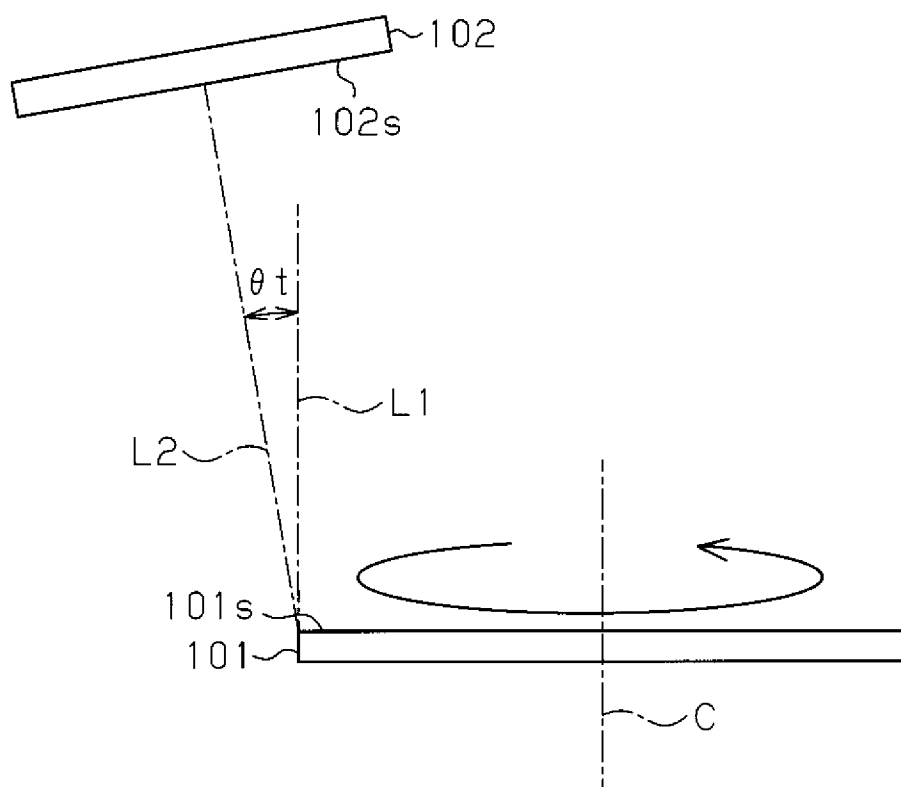
[図7]



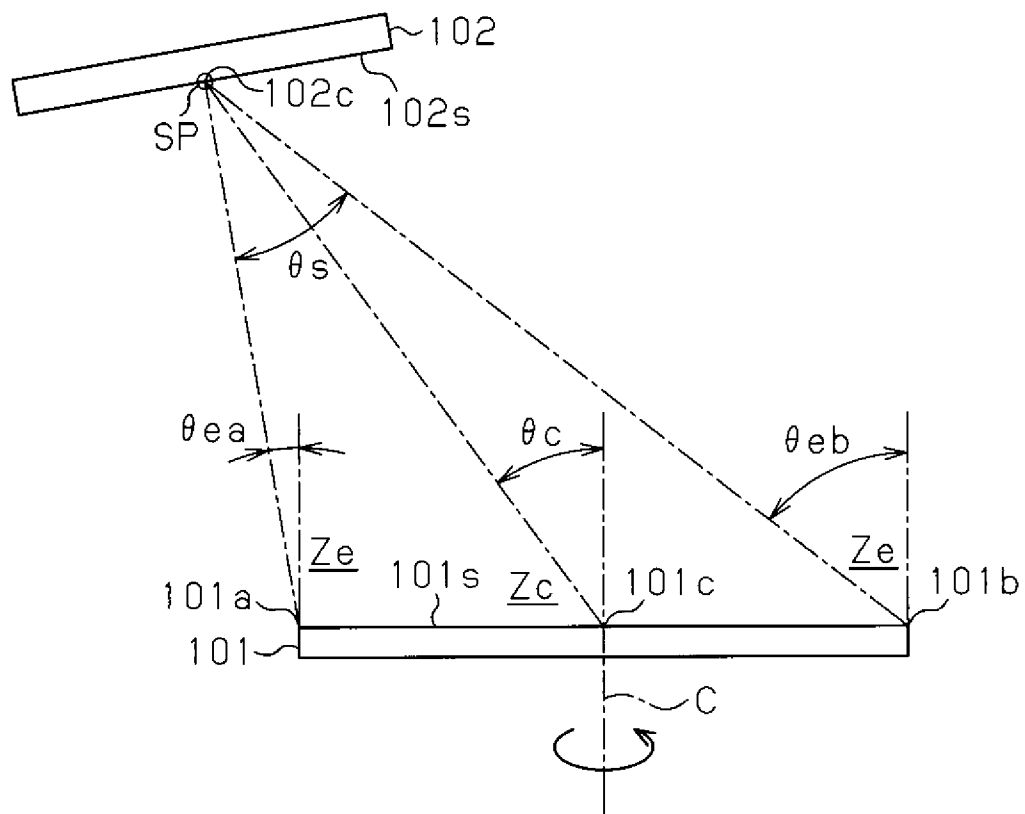
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/056932

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23C14/34(2006.01) i, H01L43/08(2006.01) i, H01L43/12(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)

C23C14/00-14/58, H01L43/08, H01L43/12

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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.
X Y	WO 2009/157341 A1 (Canon Anelva Corp.), 30 December 2009 (30.12.2009), paragraphs [0008], [0039], [0044], [0052]; fig. 6 (Family: none)	1, 2 1-7
Y	JP 2002-090978 A (Hoya Corp.), 27 March 2002 (27.03.2002), claims 1 to 19; paragraphs [0042], [0055]; fig. 8, 9 & US 2002/0086220 A1	1, 2, 4-7
Y	JP 2009-135522 A (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 18 June 2009 (18.06.2009), paragraph [0012]; fig. 1, 2, 5 (Family: none)	1, 2, 4-7



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

15 April, 2011 (15.04.11)

Date of mailing of the international search report

10 May, 2011 (10.05.11)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/056932

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 07-331432 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 19 December 1995 (19.12.1995), paragraph [0024]; fig. 1 (Family: none)	3-7
A	WO 2008/050662 A1 (Ulvac, Inc.), 02 May 2008 (02.05.2008), claims 1 to 8 & EP 2093306 A1	1-7
A	WO 2010/032817 A1 (Ulvac, Inc.), 25 March 2010 (25.03.2010), paragraph [0022] (Family: none)	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/056932

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention in claim 1 does not have a special technical feature, since the invention is described in the following document 1 and does not have novelty. The inventions in claims 1 - 7 are not so linked as to form a single general inventive concept.

Main invention: claims 1, 2

Document 1: WO 2009/157341 A1 (Canon Anelva Corp.), 30 December 2009 (30.12.2009), paragraphs [0008], [0039], [0044], [0052], fig. 6 (Family: none)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. C23C14/34(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i, H01L43/12(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. C23C14/00-14/58, H01L43/08, H01L43/12

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 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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 Y	WO 2009/157341 A1（キヤノンアネルバ株式会社）2009.12.30, 【0008】, 【0039】, 【0044】, 【0052】, 図6（ファミリーなし）	1, 2 1-7
Y	JP 2002-090978 A（ホーヤ株式会社）2002.03.27, 請求項1-19, 【0042】, 【0055】, 図8, 9 & US 2002/0086220 A1	1, 2, 4-7
Y	JP 2009-135522 A（株式会社日立国際電気）2009.06.18, 【0012】, 図1, 2, 5（ファミリーなし）	1, 2, 4-7

☒ 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
「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

1 5 . 0 4 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 0 . 0 5 . 2 0 1 1

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）

4 G

3 4 4 3

末松 佳記

電話番号 03-3581-1101 内線 3416

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 07-331432 A (松下電器産業株式会社) 1995. 12. 19, 【0 0 2 4】, 図 1 (ファミリーなし)	3-7
A	WO 2008/050662 A1 (株式会社アルバック) 2008. 05. 02, 請求項 1 - 8 & EP 2093306 A1	1-7
A	WO 2010/032817 A1 (株式会社アルバック) 2010. 03. 25, 【0 0 2 2】 (ファミリーなし)	1-7

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところこの国際調査機関は認めた。

請求項1に係る発明は、下記の文献1に記載されており、新規性を有さないことから、特別な技術的特徴を有しておらず、請求項1－7に係る発明は、単一の一般的発明概念を形成するように連関していない。

主発明：請求項1，2

文献1：W O 2009/157341 A1（キャノンアネルバ株式会社）2009.12.30，【0008】，【0039】，【0044】，【0052】，図6（ファミリーなし）

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。