

(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
2013 年 7 月 4 日 (04.07.2013)



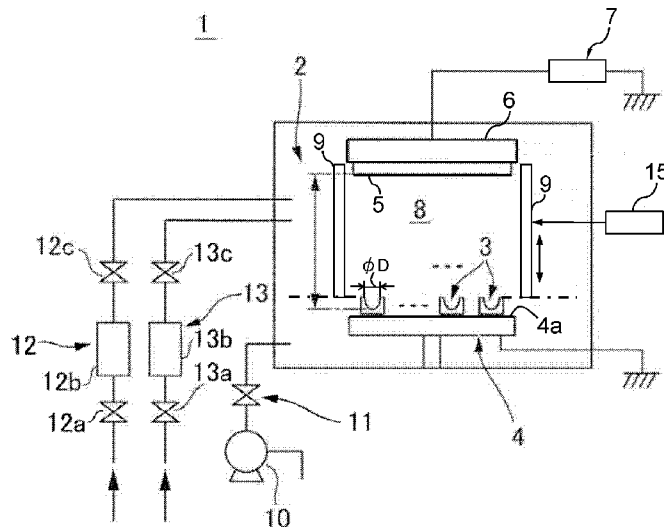
(10) 国際公開番号
WO 2013/100145 A 1

- (51) 国際特許分類 :
C23C 14/34 (2006.01) G02B 3/02 (2006.01)
G02B 1/11 (2006.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP20 12/084 172
- (22) 国際出願日 : 2012 年 12 月 28 日 (28.12.2012)
- (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 2011-290468 2011 年 12 月 30 日 (30.12.2011) JP
- (71) 出願人 : H O Y A 株式会社 (HOYA CORPORATION) [JP/JP]; 〒1618525 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者 : 川岸 秀一郎 (KAWAGISHI, Shuichiro); 〒1618525 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号 H O Y A 株式会社内 Tokyo (JP). 山下 照夫 (YAMASHITA, Teruo); 〒1618525 東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号 H O Y A 株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人 : 特許業務法人ウィルフォート国際特許事務所 (WILLFORT INTERNATIONAL); 〒1010052 東京都千代田区神田小川町三丁目 3 番地 神田小川町トーセイビル 11 7 階 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, 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, ML, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, ML, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL DEVICE, OPTICAL THIN FILM FORMATION DEVICE, AND OPTICAL THIN FILM FORMATION METHOD

(54) 発明の名称 光学素子、光学薄膜形成装置、及び光学薄膜形成方法



(57) Abstract: Prior to formation of an optical thin film (14) on a curved surface (3a) of a material (3) on which the film is to be formed, a predetermined space (8), which is a portion of the space inside a processing chamber (2) and is located between a holder section (4) and a target (5), is surrounded with a shielding section (9). When film formation is performed in said condition through a sputtering process, during which a voltage is applied to the target (5) inside the processing chamber (2) that is in a vacuum state with an active gas and an inert gas supplied thereto, an optical thin film having a substantially uniform optical film thickness is formed on the curved surface.

(57) 要約 被成膜材 (3) の曲面状表面 (3a) に光学薄膜 (14) を形成するに当たり、処理室 (2) 内の空間の一部分であって配置部 (4) とターゲット (5) の間の特定空間 (8) を遮蔽部 9 により取り囲んでおく。この状態で、真空状態であり活性ガス及び不活性ガスが供給された処理室 (2) 内でターゲット (5) に電圧を印加するスパッタ工程による成膜を行うと、曲面状表面上に光学的膜厚が実質的に同じ光学薄膜が形成される。

WO 2013/100145 A1



(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 :

光学素子、光学薄膜形成装置、及び光学薄膜形成方法

技術分野

[0001] 本発明は、曲面基板、光学レンズなどの被成膜材の曲面状表面に光学薄膜が形成された光学素子、その光学薄膜を形成する光学薄膜形成装置、及び光学薄膜形成方法に関する。

背景技術

[0002] 光学薄膜の一種として、例えば、反射防止膜が知られている。デジタルカメラなどに組み込まれる撮像レンズ、液晶プロジェクタなどに組み込まれる投射用レンズ、光学機器のカバーガラス等の表面には、透過光量の損失低減、ゴースト・フレア等の発生を防止するために、多層の反射防止膜が設けられている。反射防止膜は、所期の反射防止特性が得られるように光学的膜厚の膜厚分布が発生しないように成膜する必要がある。レンズ面に反射防止膜を形成する場合には、通常の平面基板などの平坦な表面に成膜する場合と異なり、レンズ面が凸状あるいは凹状の曲面となっているので、レンズ面中心と周辺とで物理膜厚の膜厚分布が発生しやすい。例えば、カメラ用レンズとして用いられる凹メニスカスレンズの凹面に成膜する場合に、その周辺部では成膜されにくく、中心部に比べて物理膜厚が薄くなりやすい。このため、レンズ面中心部と、その周辺とでは、光学的膜厚の分布により反射率に許容範囲を超える差が生じやすい。

[0003] 特許文献 1（特開 2011—84760 号公報）には、スパッタリング法を用いて反射防止膜を凹面レンズ面に形成する成膜方法が提案されている。この成膜方法は、曲率半径の小さな凹面レンズに成膜される反射防止膜等の膜厚分布を改善することを目的とし、ターゲットとの間に配置した膜厚調整用のマスクを介して、スパッタ法によって凹面レンズの凹球面に均一な膜厚の薄膜を成膜する。この成膜方法では、マスクの円形の開口部の開口径およ

び位置を調整することで、レンズ中心部にカゲを生じるのを防ぎ、曲率半径の小さな凹面レンズに成膜される反射防止膜等の膜厚ムラを改善するようにしている（特許文献１：特開２０１１—８４７６０号公報の段落０００８～００１０）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献１：特開２０１１－８４７６０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 近年においては、光学系に要求される光学性能が高くなっており、これに伴って反射防止膜などの光学薄膜にも性能の更なる向上が要求されている。

また、レンズの大口径化、広角化が進み、曲率半径のより小さな凹面レンズ、凸面レンズ、非球面レンズ、自由曲面レンズなどが多用されている。

[0006] 例えば、高性能デジタルカメラレンズには、凹面の最大面角度が４０度以上の凹メニスカス形状の非球面レンズが用いられている。このような最大面角度の大きな凹面レンズ面に形成した反射防止膜において、レンズ中心部と周辺部に膜厚分布があると、それに起因する反射率差により、実写像にゴーストが生じやすい。ゴーストが生じると、カメラレンズ系の性能や光学レンズ設計に大きく影響するので好ましくない。

[0007] ここで上記特許文献１において、凹面レンズに対して反射防止膜を成膜する場合には、膜厚調整用のマスクを設けなければならない、レンズの被成膜面全体に亘って同時に反射防止膜を形成することが難しく、膜厚のバラつきを十分に抑えることが困難であった。

[0008] また、面角度の変化する部分、特に、面角度が大きく変化する面周辺部では、レンズ面への光線角度が大きくなるため、反射光の強度が強くなりやすく、反射した光が撮像面の一部に集中してゴーストとなり、撮像画像の画質が大幅に劣化することがある。そのため、膜厚分布をより均一にする必要が

ある。しかし、従来の成膜方法では、周辺部まで光学的多層膜の光学的膜厚を同じに成膜できないので面角度の変化する部分、特に、面角度が大きくなる面周辺部について、膜厚分布を均一に成膜することは、困難である。

[0009] このように、上記特許文献 1 におけるスパッタリング法を用いてレンズ面などの曲面状表面に成膜する方法では、レンズ面の全体に亘って光学的膜厚が実質的に同じになる光学薄膜を形成することが困難である。また、上記特許文献 1 における成膜方法では、複数枚のレンズに対して成膜を行う場合に、レンズ間において光学的膜厚にバラツキのない光学薄膜を得ることも困難である。

[001 0] 上記の問題は、レンズ以外の例えば、曲面型ミラー（反射型光学素子）、曲面型フィルター、アレー状光学素子（レンズアレー、プリズムアレー）、ファインダー素子、回折型光学素子、フレネルレンズなどの被成膜材についてもあり得る。

[001 1] 本発明の一実施形態の目的は、被成膜材の曲面状表面全域に光学的膜厚が実質的に同じ光学薄膜が形成された光学素子を提供することにある。また、本発明の一実施形態の目的は、被成膜材の曲面状表面全域に光学的膜厚が実質的に同じ光学薄膜を形成可能な光学薄膜形成装置及び光学薄膜形成方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[001 2] 本発明の一実施形態に係る光学素子は、曲面状に形成された曲面状表面と、曲面状表面上に形成された光学薄膜とを備える。曲面状表面は、曲面状表面の中心を含む第 1 の部位と、第 1 の部位から離れた第 2 の部位とを有する。第 1 の部位上の光学薄膜の光学的膜厚と、第 2 の部位上の光学薄膜の光学的膜厚は、実質的に同じである。

[001 3] 本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成装置は、処理室を有し、曲面状表面を有する被成膜材に光学薄膜を処理室において形成する装置である。この装置は、処理室内の空気を排気する排気部と、真空状態に保持された処理室内に活性ガスおよび不活性ガスを供給するガス供給部とを有する。また、こ

の装置は、処理室内に設けられ、被成膜材が配置される配置部と、処理室内において配置部に対向配置されたターゲットとを有する。また、この装置は、ターゲットの粒子が出るようターゲットに電圧を印加する電源と、処理室内に設けられ、処理室内の空間の一部分であってターゲットと配置部との間の空間である特定空間を取り囲むことが可能である遮蔽部とを有する。

[0014] 本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法は、曲面状表面を有する被成膜材に光学薄膜を形成する方法である。この方法は、処理室内の配置部上に被成膜材を配置する配置工程と、被成膜材が処理室内に配置された状態で、処理室内を真空排気する排気工程とを有する。また、この方法は、真空排気した後処理室内に活性ガスおよび不活性ガスを供給するガス供給工程を有する。また、この方法は、活性ガス及び不活性ガスが供給されている処理室内に設けられており配置部に対向配置されているターゲットに電圧を印加することにより、不活性ガスがターゲットに衝突してターゲットからターゲットの粒子を出すスパッタ工程を有する。また、この方法は、処理室内の空間の一部分であってターゲットと配置部との間の空間である特定空間を遮蔽部により取り囲んだ状態で、スパッタ工程により得られるターゲットの粒子、または、活性ガスと反応した粒子が、被成膜材の曲面状表面に堆積する光学薄膜形成工程を有する。

発明の効果

[0015] 本発明の一実施形態に係る光学素子は、曲面状表面全域に光学的膜厚が実質的に同じ光学薄膜を有するので、光学特性が実質的に同じ（均一）であることが期待できる。

[0016] 本発明の一実施形態に係る装置及び方法は、光学的膜厚が実質的に同じ光学薄膜を被成膜材の曲面状表面全域に形成することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1] 本発明の一実施形態に係る反応性スパッタリング装置の概念図である。

[図2] 図1の反応性スパッタリング装置の処理室内のターゲット粒子がレンズに堆積する様子を示す図である。

[図3] 本発明の一実施形態に係る光学レンズの構成例、及び、本発明の一実施形態においてターゲット粒子が光学レンズに堆積した様子を示す図である。

[図4] 本発明の一実施形態に係るレンズ面における反射率の測定部位を示す図である。

[図5] 実施例 1 における反射防止膜の膜構成および反応性スパッタリングによる成膜条件を示す図である。

[図6] 実施例 1 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面を示す断面図、および、レンズ面に形成された反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図7] 実施例 1 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図8] 実施例 2 における反射防止膜の膜構成および反応性スパッタリングによる成膜条件を示す図である。

[図9] 実施例 2 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面を示す断面図、および、レンズ面に形成された反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図10] 実施例 2 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図11] 実施例 3 における反射防止膜の膜構成および反応性スパッタリングによる成膜条件を示す図である。

[図12] 実施例 3 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面を示す断面図、および、レンズ面に形成された反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図13] 実施例 3 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図14] 実施例 4 における反射防止膜の膜構成および反応性スパッタリングによる成膜条件を示す図である。

[図15] 実施例 4 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面を示す断面図、および、レンズ面に形成された反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図16] 実施例 4 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の径方向に並ぶ一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図17] 実施例5における反射防止膜の膜構成および反応性スパッタリングによる成膜条件を示す図である。

[図18] 実施例5における被成膜対象の光学レンズのレンズ面を示す断面図、および、レンズ面に形成された反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図19] 実施例5における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図20] 実施例6における反射防止膜の膜構成および反応性スパッタリングによる成膜条件を示す図である。

[図21] 実施例6における被成膜対象の光学レンズのレンズ面を示す断面図、および、レンズ面に形成された反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図22] 実施例6における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図23] 比較例1における反射防止膜の膜構成および蒸着法による成膜条件を示す図である。

[図24] 比較例1における被成膜対象の光学レンズのレンズ面を示す断面図、および、レンズ面に形成された反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図25] 比較例1における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図26] 比較例2における反射防止膜の膜構成およびスパッタ法による成膜条件を示す図である。

[図27] 比較例2における被成膜対象の光学レンズのレンズ面を示す断面図、および、レンズ面に形成された反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

[図28] 比較例2における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明の実施形態を説明する。なお、以下に説明する実施形態は特許請求の範囲にかかる発明を限定するものではなく、また実施形態の中で説明されている諸要素及びその組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であ

るとは限らない。

[0019] また、以下の説明において、「光学膜厚が実質的に均一または実質的に同じ」とは、光学薄膜におけるある分光特性（以下において、反射防止膜の分光反射率を例に説明する。一般的に「分光反射率」とは、反射率を波長の関数として表したものをいう（非特許文献：光用語辞典P237、発行元：オーム社）。また、本明細書においては、「分光反射率」を「分光反射特性」や「特性曲線」とも表記する。）の所定値において、レンズの中心位置と周辺部とにおける波長差が小さく、具体的には所定値の範囲内になるこという。ここで、光学膜厚は、屈折率 n と物理膜厚 d との積で表される。

[0020] 図1は、本発明の一実施形態に係る反応性スパッタリング装置の概念図であり、図2は、図1の反応性スパッタリング装置の処理室内のターゲット粒子がレンズに堆積する様子を示す図であり、図3は、本発明の一実施形態に係る光学レンズの構成例、及び、本発明の一実施形態においてターゲット粒子が光学レンズに堆積した様子を示す図である。

[0021] 図1～3を参照して説明すると、反応性スパッタリング装置1は所定の真空状態を形成可能な処理室2を備える。処理室2の内部には、成膜対象の光学レンズ3（ワーク）を設置するためのワークホルダー4が配置される。ワークホルダー4のワーク設置面4aに1個あるいは複数個の光学レンズ3が設置される。ワーク設置面4aに対して、一定の距離で、スパッタ用のターゲット5が平行に対向配置されている。ターゲット5の背面には電極、例えばスパッタ電極6が配置されており、このスパッタ電極6には例えば電源7から電圧が印加される。

[0022] ターゲット5とワーク設置面4aとの間の空間である特定空間8は、処理室2内の空間における一部の空間であるが、反応性スパッタリング装置1は、特定空間8の周囲（ここでは、ターゲット5からワークホルダー4に向かう方向に対して垂直な方向の範囲）を取り囲むことができる遮蔽部9を有する。

[0023] 遮蔽部9は、特定空間8の全周又はその大部分を取り囲むことができる。

遮蔽部 9 は、一枚のシートが折られる或いは曲げられる等により構成された筒状部材でも良いし、複数の部材（例えば、円弧状又は平板状の部材）の組合せにより構成された部材であっても良い。遮蔽部 9 の材質は、SUS 製またはセラミック製であることが好ましい。

[0024] 遮蔽部 9 の最下部 9 a（ワーク設置面 4 a 側の端部）の位置は、ワークホルダー 4 に配置された光学レンズ 3 の最も高いターゲット 5 側の面（図 1 では、光学レンズ 3 の上面）と同じ高さ位置か、それよりも低い位置である。このため、特定空間（特に、光学レンズ 3 の上面からターゲット 5 の表面 5 a にかけた空間）8 は、処理室 2 内において特定空間 8 の周囲の空間から遮蔽される。このとき、特定空間 8 は閉空間となっている。このような構成をとることにより、特定空間 8 から周囲へのターゲット原子あるいはその化合物粒子の拡散を抑制することができ、特定空間 8 における導入ガス（Ar ガス及び O_2 ガス）及びそれらガスのイオン（Ar イオンや酸素イオン）を含む物質からなるプラズマのプラズマ濃度（密度）を高めることができ、プラズマの濃度が高まるとプラズマは一樣に分布する。特定空間 8 において、ターゲット原子、化合物粒子の粘性流領域を形成でき、光学レンズ 3 の非球面レンズ面 3 a 全域に、実質的に均一な光学的膜厚の反射防止膜を形成することができる。

[0025] また、反応性スパッタリング装置 1 は、位置変更部 15 を有する。位置変更部 15 は、第 1 の変更と第 2 の変更のうちの少なくとも一方を行う。第 1 の変更は、遮蔽部 9 のワークホルダー 4 に対する相対的な位置を、第 1 の位置（図 1 に示されるように、遮蔽部 9 が特定空間 8 を取り取り囲んで閉空間を形成することのできる位置、言い換えると、光学レンズ 3 に反射防止膜 14 の光学的膜厚の膜厚分布が所望の分布になるように形成できる位置）から第 2 の位置（第 2 の位置とは、例えば、ワークホルダー 4 へ光学レンズ 3 を配置すること、及び、ワークホルダー 4 から光学レンズ 3 を取り出すことのうちの少なくとも一方の作業が可能となる程度に遮蔽部 9 がワークホルダー 4 に対して相対的に離れた位置である。）へと変更することである。第 2 の

変更は、遮蔽部 9 のワークホルダー 4 に対する相対的な位置を、上記第 2 の位置から上記第 1 の位置へと変更することである。本実施形態では、位置変更部 15 は、遮蔽部 9 を、上下に昇降させる等の方法により、上記第 1 の変更と上記第 2 の変更の両方を行うことができる。

[0026] 処理室 2 は、真空ポンプ 10 を備えた排気機構 11 によって真空引き可能となっている。また、処理室 2 には、不活性ガス供給機構 12 から Ar ガスなどの不活性ガスが供給され、活性ガス供給機構 13 から O_2 ガス或いは N_2 ガスなどの活性ガスが供給される。不活性ガス供給機構 12 は、不図示の不活性ガス供給源から、バルブ 12 a、マスフローコントローラー 12 b、及びバルブ 12 c を介して処理室 2 に不活性ガスを供給する。活性ガス供給機構 13 は、不図示の活性ガス供給源からバルブ 13 a、マスフローコントローラー 13 b、及びバルブ 13 c を介して処理室 2 に活性ガスを供給する。

[0027] 被成膜材の一例である光学レンズ 3 は、図 3 に示すように、例えば非球面凹レンズであり、その凹状の非球面レンズ面 3 a が成膜対象の曲面状表面である。この非球面レンズ面 3 a に、例えば多層の反射防止膜 14 が、上述した本発明の反応性スパッタリングによる成膜形成方法によって形成される。非球面レンズ面 3 a は、例えばその最大面角度 θ が 40 度以上の非球面からなる。面角度 θ は、非球面レンズ面 3 a に引いた法線とレンズ光軸 3 A とのなす角である。非球面レンズ面 3 a の外周縁 3 b の外径は、レンズ有効径よりも大きい。非球面レンズ面 3 a の外周縁 3 b には、レンズ光軸 3 A に直交する方向に、一定幅の円環状のランド面 3 c が連続している。ここで、この光学レンズ 3 における球欠長さ Z は、光学レンズ 3 のランド面 3 c の高さ位置から光学レンズ 3 のセンター P の高さ位置までのレンズ光軸 3 A に沿った方向の長さである。

[0028] ここで、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法では、反応性スパッタリングによる成膜が行われる処理室 2 内において、特定空間 8 内を飛散するターゲット粒子（プラズマ放電によってターゲット 5 からスパッタされた粒子、及び、その粒子と活性ガスの化合物である化合物粒子）が粘性流状態

となる粘性流領域内に光学レンズ3の非球面レンズ面3aが位置するように、ワークホルダー4とターゲット5の相対的な位置が設定される。すなわち、光学レンズ3が設置されるワークホルダー4のワーク設置面4aの高さ位置（ターゲット5との距離）が、粘性流領域内に光学レンズ3の非球面レンズ面3aが位置するように設定される。なお、粘性流状態とは、粒子同士の衝突が大半を占め、圧力が高く平均自由行程の短い状態である。例えば、光学レンズ3は、ターゲット粒子の平均自由行程と、遮蔽部9の内側面の距離との比で求められるクヌーセン数が0.01より小さい領域に配置されている。また、ワークホルダー4及びターゲット5は、光学レンズ3をワークホルダー4上に配置した状態において、曲面状表面の面径Dを凹面形状における球欠長さZで除した値を、ターゲット5表面から光学レンズ3の凹面形状の最も遠い位置までの距離Lでさらに除したときの値が0.010～1.0の範囲となるように配置されている。

[0029] 反応性スパッタリング装置1における反応性スパッタリングによる成膜動作においては、図2に示すように、成膜対象の光学レンズ3がワークホルダー4に設置された後に、処理室2内が所定の真空状態に保持され、不活性ガス及び活性ガスが処理室2内に供給される。このように供給された不活性ガスの原子によってターゲット5の表面から粒子（ターゲットオリジナル粒子）16がはじき出される（スパッタされる）。スパッタされたターゲットオリジナル粒子16は、特定空間8に存在するターゲット粒子（他のターゲットオリジナル粒子、及び、化合物粒子の少なくとも一方）16や、ガスの粒子17（Ar粒子、O₂粒子、Arイオン粒子、またはO₂イオン粒子）と繰り返し衝突することとなる。この過程において、ターゲットオリジナル粒子16は、活性ガスによって酸化物などの化合物としての粒子（化合物粒子）になる。また、ガスの粒子17は、持っているエネルギーが大きいため、遮蔽部9に衝突した場合には、遮蔽部9で跳ね返る。そして、この過程で生成された化合物粒子16は、光学レンズ3の非球面レンズ面3aに付着堆積して、光学薄膜14が形成される。

[0030] 図2に示すように、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法では、ターゲット粒子（ターゲットオリジナル粒子及び化合物粒子）の粘性流領域内に光学レンズ3の非球面レンズ面3aが位置するよう、ターゲット5に対するワークホルダー4の相対的な位置が定められている。粘性流領域内においては、光学レンズ3の非球面レンズ面3aの各部に化合物粒子が回り込み、非球面レンズ面3aの中心部から周辺部の全てに対してほぼ均等にその法線方向から粒子が衝突する。

[0031] この結果、図2を用いて説明したように、化合物粒子16がレンズ面3aに堆積すると、各光学レンズ3において、図3に示すように、非球面レンズ面3aの全域に、実質的に均一な光学的膜厚の反射防止膜14が形成される。また、複数の光学レンズ3のレンズ面3aを同時に成膜した場合において、複数の光学レンズ3間において、光学的膜厚のバラツキが実質的になく、複数の光学レンズ3に、実質的に均一な光学的膜厚の反射防止膜14が形成される。これに加えて、レンズ面径外側の平坦なランド面3cにおいても、非球面レンズ面3aと同様に、光学的膜厚が実質的に同じ（均一）反射防止膜14がランド面3cの端部まで形成される。この部分の成膜は光学レンズを使用する際の光学レンズ3自体の光学特性には影響しないが、レンズとして使用した際、ランド面3cへ入射する迷光に起因する影響や光学レンズ3の反射防止膜14の耐候性が改善されるという優れた効果が得られる。また、本実施形態では、物理膜厚と屈折率の積からなる光学的膜厚が実質的に同じ（均一）である反射防止膜14を形成することができる。この反射防止膜14の光学的膜厚は、1つの光学レンズ3及び複数の光学レンズ3間において実質的に同じに形成することができる。

[0032] 光学レンズ3の非球面レンズ面3aをターゲット原子、その化合物粒子の粘性流領域内に配置するためには、ターゲット5に対して非球面レンズ面3aを近接配置する。具体的には、非球面レンズ面3aからターゲット5の表面5aまでの最大距離Lが、0.1mm~200mmの範囲内の値となるように設定することが望ましい。また、非球面レンズ面3aからターゲット5

の表面 5 a までの最大距離 L が、30 mm から 50 mm の範囲内の値となるように設定することが望ましい。図 1 に示す非球面凹レンズの場合には、ターゲット表面 5 a からレンズ面中心位置までの距離が最大距離 L である。

[0033] なお、0.1 mm よりも接近させた位置にも配置できるが、成膜中の基板（レンズ）やターゲットの熱膨張による接触、ターゲット面の面精度（表面粗さ）、成膜装置の機械精度などを考慮すると、0.1 mm 以上の距離とすることが望ましい。

[0034] また、本発明者等の実験によれば、光学レンズ 3 の球面凸レンズ面、球面凹レンズ面、非球面凸レンズ面、非球面凹レンズ面に対して、反射防止膜などの光学薄膜を形成する場合には、表 1 に示す成膜条件に従って反射防止膜の形成を行うことが好ましいことが確認された。

[0035] 具体的には、ターゲット表面 5 a と光学レンズ 3 のレンズ面 3 a の最大距離 L を 0.1 mm ~ 200 mm の範囲内に設定し、表 1 に示す成膜条件に従って本発明による成膜を行って、表 1 に列記の構成の膜材料からなる光学薄膜を形成したところ、光学的膜厚が実質的に同じ（均一な）光学薄膜を形成できることが確認された（後述の実施例 1 ~ 6）。なお、表 1 においては投入パワーとして SiO_2 薄膜、 Nb_2O_5 薄膜を形成する場合の条件（成膜条件）を記載しているが、これら以外の種類の光学薄膜については、 SiO_2 薄膜の場合と同一範囲の投入パワーとすることができる。

[表 1]

光 学 薄 膜 の 屈 折 率 表 記	ターゲット材料	基板加 熱温度	成膜中の圧力 範囲	成膜速度	投入パワー
M	酸化アルミニウム・酸化ジルコニウム・酸化シリコン・アルミニウム・ジルコニウム・シリコンのいずれかを含む材料	無加熱 から 350℃	$1.0 \times 10^{-2}(\text{Pa})$ から $1.0 \times 10^2(\text{Pa})$	0.01 から 2.00nm/sec	SiO ₂ の 場 合： 0.5 k w から 10 k w までの範囲 Nb ₂ O ₅ の 場 合： 0.5 k w から 5 k w までの範囲
H	酸化アルミニウム・酸化ジルコニウム・酸化チタン・酸化ニオブ・酸化タンタル・アルミニウム・ジルコニウム・チタン・ニオブ・タンタルのいずれかを含む材料	までの 範囲	までの範囲	までの範囲	
L	酸化シリコン・シリコンのいずれかを含む材料				

[0036] なお、上記表 1 において、下記の点に注意すべきである。

屈折率表記 (λ = 550 nm)

M = 1.55 ~ 1.80

H = 1.80 ~ 2.60

L = 1.30 ~ 1.55

[0037] 以下に、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法の効果を確認するために本発明者等が行った実施例 1 ~ 6 および比較例の一部を説明する。なお、比較例 1 は真空蒸着法により反射防止膜を形成したものであり、比較例 2 は、スパッタ法により反射防止膜を形成したものである。

[0038] まず、実施例 1 ~ 6、比較例 1 ~ 2 のレンズ形状、基材の硝種名、反射防止膜の層数は次の通りである。なお、硝種「B270」はSCHOTT社製のものであり、それ以外の硝種はHOYA株式会社製のものである。

[0039] < 一覧 >

< < 実施例一覧 > >

(実施例 1) 凹半球レンズ、B 2 7 0、7 層

(実施例 2) 凹半球レンズ、B 2 7 0、7 層

(実施例 3) 凹非球面レンズ、M—T A F 1 0 1、7 層

(実施例 4) 凹非球面レンズ、M—T A F D 3 0 5、7 層

(実施例 5) 凹非球面レンズ、M—T A F D 3 0 5、7 層

(実施例 6) 凹非球面レンズ、M—T A F D 3 0 5、1 層 (S i O₂)

< 比較例一覧 >

(比較例 1) 凹非球面レンズ、M—T A F D 3 0 5、1 層 (S i O₂)

(比較例 2) 凹非球面レンズ、M—T A F D 3 0 5、1 層 (S i O₂)

[0040] 表 2 に、実施例 1～6、比較例 1、2 で使用した膜構成材料、ターゲット材料 (蒸発材料) および適用屈折率を示す。

[表 2]

屈折率表記	光学薄膜構成材料	ターゲット材料	屈折率
M	酸化アルミニウム・酸化ジルコニウム・酸化シリコンのいずれかを含む材料	酸化アルミニウム・酸化ジルコニウム・酸化シリコン・アルミニウム・ジルコニウム・シリコンのいずれかを含む材料	1.55 ～ 1.80
H	酸化アルミニウム・酸化ジルコニウム・酸化チタン・酸化ニオブ・酸化タンタルのいずれかを含む材料	酸化アルミニウム・酸化ジルコニウム・酸化チタン・酸化ニオブ・酸化タンタル・アルミニウム・ジルコニウム・チタン・ニオブ・タンタルのいずれかを含む材料	1.80 ～ 2.60
L	酸化シリコンを含む材料	酸化シリコン・シリコンのいずれかを含む材料	1.30 ～ 1.55

[0041] なお、上記表 2 において、下記の点に注意すべきである。

屈折率は $\lambda=550\text{nm}$ における屈折率である。

[0042] 図 4 は、レンズ面における反射率の測定部位を示す図である。図 4 は、実施例 1～6 および比較例 1、2 において反射率を測定する対象の凹面レンズの上面図と、凹面レンズの断面図とを示している。

[0043] 実施例 1～6 および比較例 1、2 においては、反射率の測定位置は、光学レンズ 3 のレンズ面 3 a のレンズ光軸 3 A 上のセンター (レンズ中心位置)

口と、センターPから離れている複数の位置 (A 1 ~ A 4、B 1 ~ B 4、C 1 ~ C 4) である。具体的には、反射率の測定位置A 1 ~ A 4は、レンズ光軸3 Aを中心とする半径R Aの同一周上に均等な間隔で配置されている。反射率の測定位置B 1 ~ B 4は、レンズ光軸3 Aを中心とする半径R Bの同一周上に均等な間隔で配置されている。反射率の測定位置C 1 ~ C 4は、レンズ光軸3 Aを中心とする半径R Cの同一周上に均等な間隔で配置されている。また、反射率の測定位置A i - C i (i = 1、2、3、4) は、同一の径上に配置されている。

[0044] より具体的には、レンズ面3 aのレンズ光軸3 A上のセンターPと、レンズ面3 aにおける第1の面角度 (例えば、30度) であるレンズ面3 aの同一周 (レンズ光軸3 Aを中心とする半径R Aの円周) 上の複数位置 (A 1 ~ A 4) と、第1の面角度よりも大きい第2の面角度 (例えば、40度) であるレンズ面の同一周 (レンズ光軸3 Aを中心とする半径R Bの円周) 上の複数位置 (B 1 ~ B 4) と、第2の面角度よりも大きい第3の面角度 (例えば、50度) であるレンズ面の同一周 (レンズ光軸3 Aを中心とする半径R Cの円周) 上の複数位置 (C 1 ~ C 4) とを反射率を測定する位置としている。同一周上の各測定位置は、円周方向に90度の角度間隔をもった位置である。また、図4の光学レンズの上面図に示すように、位置A 1、B 1、及びC 1と、位置A 2、B 2、及びC 2と、位置A 3、B 3、及びC 3と、位置A 4、B 4、及びC 4とは、それぞれ、同一の径上に位置している。

[0045] (実施例1)

[0046] 図5に示す条件 (膜構成、成膜条件) で、図6 (a) に示す形状の凹半球レンズの凹半球レンズ面 (面径 $\phi D = 37.6 \text{ mm}$ 、球欠長さ $Z = 13.18 \text{ mm}$) に7層からなる反射防止膜を形成した (図6 (a) に示すレンズの曲率半径Rは20mmである)。形成された反射防止膜の分光反射率を、図4に示す各測定位置で測定した。測定位置は、レンズ中心位置Pと、レンズ光軸を中心とした円周方向に90度の角度間隔をもった4方向の位置とであり、これら円周方向の各測定位置としては、径方向に面角度が30度、40

度、および50度の3箇所の位置を測定位置とした。本例の場合には、面角度が30度の位置は、レンズ光軸を中心とする直径が15.2mmの位置であり、面角度が40度の位置はレンズ光軸を中心とする直径が22.2mmの位置であり、面角度が50度の位置はレンズ光軸を中心とする直径が31.4mmの位置である。

なお、「分光反射率」とは、反射率を波長の関数として表したものをいう（非特許文献：光用語辞典P237、発行者：オーム社）。本明細書においては、「分光反射率」を同じ意味として「分光反射特性」や「特性曲線」とも表記する。

[0047] なお、本明細書においては、基準波長 $\lambda_0 = 550\text{ nm}$ における光学的膜厚係数 k に相当する記号として、 x 、 y を用いる。具体的には、光学的膜厚係数 k を $x_1 \sim x_4$ 及び $y_1 \sim y_3$ を用いて示す。膜構成を示す光学的膜厚係数 x 、 y の数値は、以下の数値範囲を適用可能である。なお、光学的膜厚は、屈折率 n と物理膜厚 d との積で表され、具体的には、 $d = \lambda_0 \cdot k / 4$ と表される。これらは実施例2乃至5の多層（7層）の反射防止膜についても同様である。

$$x_1 = 0.01 \sim 0.50$$

$$x_2 = 0.01 \sim 0.60$$

$$x_3 = 0.01 \sim 0.50$$

$$x_4 = 0.70 \sim 1.30$$

$$y_1 = 0.30 \sim 1.00$$

$$y_2 = 0.80 \sim 1.50$$

$$y_3 = 0.40 \sim 1.00$$

[0048] ここで、反応性スパッタリングによる成膜時には、ターゲット5の表面と凹半球レンズの凹半球レンズ面との間の最大距離 L （図1参照）を、30mm～50mmの範囲内の値に設定した。また、各層の成膜速度を、0.01～2.00nm/secの範囲内となるように制御した。

[0049] 図6（b）には、形成された7層の反射防止膜の各測定位置における分光

反射特性を示している。分光反射特性を表す各曲線（特性曲線）は、反射防止膜を形成した凹半球レンズ面（光学面）に光線が入射角0度で入射したときの分光反射特性を、縦軸に光の反射率（%）、横軸に波長（nm）をとつた場合の測定値である。以下の実施例2～6、比較例1～2に対応する分光反射特性についても同様である。

[0050] 図6（b）に示す特性曲線から分かるように、これらは可視光の各波長帯域において特性に分布は存在する。しかしながら、形成された反射防止膜14がレンズ面の中心部分および周辺部分において生じている程度の光学特性分布ではレンズとして使用したときに実写像にゴーストは生じておらず光学膜的膜厚が実質的に同じ反射防止膜14が形成されていると言える。

[0051] ここで、反射防止膜14の光学特性を評価する指標として、 Δ ス、 Δ ス1、及び Δ ス2を用いる。ここで、 Δ スとは、反射率n%（nは、任意の値）となる場合における、センターPでの波長と、センターP以外の測定位置での波長のうちでセンターPでの波長から最も離れている波長との波長差である。また、 Δ ス1とは、最も短波長側の Δ スを示し、 Δ ス2とは、最も長波長側の Δ スを示す。ここで、 Δ スの値が小さいほど、センターP以外の各測定位置での反射率と、センターPでの反射率とのバラツキが小さいこと、すなわち、センターPとそれ以外の測定位置との光学膜的膜厚の均一の度合いが高い（分布の程度が小さい）ことを意味している。この Δ スを用いることにより、センターPの光学膜的膜厚と、それ以外の測定位置の光学膜的膜厚とが、実質的に同じであるか否かを判定することができる。

[0052] なお、発明者らは、実施例1～6において説明する反射防止膜14を形成し、光学特性（分光反射率）について測定した結果に基づき、波長差 Δ ス1及び Δ ス2の基準値を算出している。実施例1～6において、波長差が基準値以下である場合には、本発明により反射防止膜14を形成したレンズを使用したときにゴーストは生じていないことが確認された。

[0053] 実施例1～6および比較例1～2においては、反射率が、例えば、1.0%としたときの Δ ス1が30nm以下である場合、及び/又は、 Δ ス2が6

0 nm以下である場合には、センターPでの反射率に対するセンターP以外の測定位置での反射率についてのバラツキがない、すなわち、各測定位置での光学的膜厚が実質的に同じ（均一）であるものとして考えている。なお、光学的膜厚が実質的に同じ（均一）であるか否かの判定に用いる基準値は、上記に限られず、光学レンズ3に要求されている性能等に応じて変更するようにしても良い。

[0054] 図6（b）に示す特性曲線から分かるように、実施例1において形成された反射防止膜については、反射率1.0%における Δ ス1は、6 nmであって30 nmより短いので、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表しており、また、反射率1.0%における Δ ス2は、16 nmであって60 nmより短いので、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0055] 図7は、実施例1における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。図7（a）は、センターPと、径方向に並ぶ複数の測定位置（位置A1、B1、C1）とにおける分光反射特性を示し、図7（b）は、センターPと、周方向に並ぶ複数の測定位置（位置C1、C2、C3、C4）とにおける分光反射特性を示す。

[0056] 図7（a）に示すように、実施例1において形成された反射防止膜については、径方向に並ぶ複数の測定位置（位置A1、B1、C1）についての反射率1.0%における Δ ス1は、2 nmであって30 nmより短く、また、 Δ ス2は、14 nmであって60 nmより短いので、センターPと、径方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0057] また、図7（b）に示すように、実施例1において形成された反射防止膜については、周方向に並ぶ複数の測定位置（位置C1、C2、C3、C4）についての反射率1.0%における Δ ス1は、4 nmであって30 nm以下であり、また、 Δ ス2は、14 nmであって60 nm以下であるので、セン

ターPと、周方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0058] (実施例2)

[0059] 図8に示す条件(膜構成、成膜条件)で、図9(a)に示す形状の凹半球レンズの凹半球レンズ面(面径 $\phi D = 18.8\text{ mm}$ 、球欠長さ $Z = 6.59\text{ mm}$)に7層からなる反射防止膜を形成した(図9(a)に示すレンズの曲率半径 R は 10 mm である)。実施例2で使用した凹半球レンズは、実施例1で使用した凹半球レンズ(図6(a)参照)よりも面径が小さい。形成された反射防止膜の分光反射率を、実施例1の場合と同様な各位置において測定した(図4参照)。本例では、面角度が 30° の測定位置は、レンズ光軸を中心とする直径が 7.6 mm の位置であり、面角度が 40° の測定位置はレンズ光軸を中心とする直径が 11.1 mm の位置であり、面角度が 50° の測定位置はレンズ光軸を中心とする直径が 15.7 mm の位置である。

[0060] 本例においても、反応性スパッタリングによる成膜時には、ターゲットの表面と凹半球レンズの凹半球レンズ面との間の最大距離 L (図1参照)を、 $30\text{ mm} \sim 50\text{ mm}$ の範囲内の値に設定した。また、成膜時の投入パワーは SiO_2 膜の場合には 3 kW 、 Nb_2O_5 膜の場合には 2 kW とし、各層の成膜速度を、 $0.01 \sim 2.00\text{ nm/sec}$ の範囲内となるように制御した。

[0061] 図9(b)には、形成された7層の反射防止膜の各測定位置における分光反射特性を示している。これらの特性曲線は可視光の各波長帯域において特性に分布は存在する。しかしながら、形成された反射防止膜14がレンズ面の中心部分および周辺部分において生じている程度の光学特性分布では、レンズとして使用したときに実写像にゴーストは発生せず、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0062] より具体的には、図9(b)に示す特性曲線から分かるように、実施例2において形成された反射防止膜については、反射率 1.0% における ΔS_1 は、 15 nm であって 30 nm より短く、光学的膜厚が極めて均一(実施的に同じ)な膜が形成されていることを表しており、また、反射率 1.0% に

おける Δ ス2は、29 nmであって60 nmより短いので、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0063] 図10は、実施例2における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。図10(a)は、センターPと、径方向に並ぶ複数の測定位置(位置A1、B1、C1)とにおける分光反射特性を示し、図10(b)は、センターPと、周方向に並ぶ複数の測定位置(位置C1、C2、C3、C4)とにおける分光反射特性を示す。

[0064] 図10(a)に示すように、実施例2において形成された反射防止膜については、径方向に並ぶ複数の測定位置(位置A1、B1、C1)についての反射率1.0%における Δ ス1は、11 nmであって30 nmより短く、また、 Δ ス2は、20 nmであって60 nmより短いので、センターPと、径方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0065] また、図10(b)に示すように、実施例2において形成された反射防止膜については、周方向に並ぶ複数の測定位置(位置C1、C2、C3、C4)についての反射率1.0%における Δ ス1は、15 nmであって30 nmより短く、また、 Δ ス2は、29 nmであって60 nmより短いので、センターPと、周方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0066] (実施例3)

[0067] 図11に示す条件(膜構成、成膜条件)で、図12(a)に示す形状の凹非球面レンズの凹非球面レンズ面(面径 $\phi D = 11.315$ mm、球欠長さ $Z = 2.87$ mm、凹R(近軸曲率中心における曲率半径) = 6.97 mm、最大面角度 $\theta = 49.2$ 度)に7層からなる反射防止膜を形成した。実施例3で使用した凹半球レンズは、実施例2で使用した凹半球レンズ(図9(a)参照)よりも面径が小さい。形成された反射防止膜の分光反射率を、実施例1の場合と同様に、レンズ面中心位置および、レンズ光軸回りに90度

間隔の4か所の各周方向の位置において測定した。各周方向の位置では、それぞれ、面角度が28度の測定位置（レンズ光軸を中心とする直径が約6.3 mmの位置）および、面角度が42度の測定位置（レンズ光軸を中心とする直径が約9.5 mmの位置）の2箇所にて測定した。ここで、面角度28度の各測定位置をA1～A4とし、面角度が42度の各測定位置をB1～B4とし、位置A1及びB1、位置A2及びB2、位置A3及びB3、位置A4及びB4のそれぞれを同一の径上の位置であるとする。

[0068] 本例においても、反応性スパッタリングによる成膜時には、ターゲットの表面と凹非球面レンズの凹非球面レンズ面との間の最大距離L（図1参照）を、30 mm～50 mmの範囲内の値に設定した。また、成膜時の投入パワーはSiO₂膜の場合には3 kW、Nb₂O₅膜の場合には2 kWとし、各層の成膜速度を、0.01～2.00 nm/secの範囲内となるように制御した。

[0069] 図12（b）には、形成された7層の反射防止膜の各測定位置における分光反射特性を示してある。これらの特性曲線は可視光の各波長帯域において特性に分布は存在する。しかしながら、形成された反射防止膜がレンズ面の中心部分および周辺部分において生じている程度の光学特性分布では、レンズとして使用したときに実写像にゴーストは発生せず、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0070] より具体的には、図12（b）に示す特性曲線から分かるように、実施例3において形成された反射防止膜については、反射率1.0%におけるΔス1は、12 nmであって30 nmより短く、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表しており、また、反射率1.0%におけるΔス2は、15 nmであって60 nmより短いので、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0071] 図13は、実施例3における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。図13（a）は、センターPと、径方向に並ぶ複数の測定位置（位置A1、B1）とにお

ける分光反射特性を示し、図 13 (b) は、センター P と、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 B 1、B 2、B 3、B 4) における分光反射特性を示す。

[0072] 図 13 (a) に示すように、実施例 3 において形成された反射防止膜については、径方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 A 1、B 1) についての反射率 1.0 % における Δ ス 1 は、11 nm であって 30 nm より短く、また、 Δ ス 2 は、15 nm であって 60 nm より短いので、センター P と、径方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0073] また、図 13 (b) に示すように、実施例 3 において形成された反射防止膜については、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 B 1、B 2、B 3、B 4) についての反射率 1.0 % における Δ ス 1 は、12 nm であって 30 nm より短く、また、 Δ ス 2 は、15 nm であって 60 nm より短いので、センター P と、周方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0074] (実施例 4)

[0075] 図 14 に示す条件 (膜構成、成膜条件) で、図 15 (a) に示す形状の凹非球面レンズの凹非球面レンズ面 (面径 $\phi D = 10.95$ mm、球欠長さ $Z = 2.62$ mm、凹 R (近軸曲率中心における曲率半径) = 7.41 mm、最大面角度 $\theta = 51.7$ 度) に 7 層からなる反射防止膜を形成した。形成された反射防止膜の分光反射率を、実施例 1 の場合と同様に、レンズ面中心位置 P および、レンズ光軸回りに 90 度間隔の 4 か所の各周方向の位置において測定した。各周方向の位置では、面角度が 40 度の位置 (レンズ光軸を中心とする直径が約 9.4 mm の位置) で測定した。ここで、面角度 40 度の各測定位置を位置 B 1 ~ B 4 とする。

[0076] 本例においても、反応性スパッタリングによる成膜時には、ターゲットの表面と凹非球面レンズの凹非球面レンズ面との間の最大距離 L (図 1 参照) を、100 mm ~ 200 mm の範囲内の値に設定した。また、成膜時の投入

パワーは SiO_2 膜の場合には3 kw、 Nb_2O_5 膜の場合には2 kw とし、各層の成膜速度を、0.01~2.00 nm/sec の範囲内となるように制御した。

[0077] 図15 (b) には、形成された7層の反射防止膜の各測定位置における分光反射特性を示してある。レンズ面中心位置と周辺位置の間での可視光の各波長帯域における分光反射率は実用上差支えない程度 (レンズとして使用したときに実写像にゴーストが発生しない程度) のバラツキに抑制されおり、全体として光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることが確認された。

[0078] より具体的には、図15 (b) に示す特性曲線から分かるように、実施例4において形成された反射防止膜については、反射率1.0%における Δ ス1は、23 nmであって30 nmより短いので、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表しており、また、反射率1.0%における Δ ス2は、52 nmであって60 nmより短いので、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0079] 図16は、実施例4における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。図16は、センターPと、径方向に並ぶ測定位置 (位置B1) における分光反射特性を示す。

[0080] 図16に示すように、実施例4において形成された反射防止膜については、径方向の測定位置 (位置B1) についての反射率1.0%における Δ ス1は、22 nmであって30 nmより短く、また、 Δ ス2は、52 nmであって60 nmより短いので、センターPと、径方向の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0081] (実施例5)

[0082] 図17に示す条件 (膜構成、成膜条件) で、図18 (a) に示す形状の凹非面レンズの凹非球面レンズ面 (面径 $\phi D = 9.51$ mm、球欠 $d = 2.65$ mm、凹R (近軸曲率中心における曲率半径) = 4.90 mm、最大面角

度 $\theta = 49.4$ 度) に 7 層からなる反射防止膜を形成した。形成された反射防止膜の分光反射率を、実施例 1 の場合と同様に、レンズ面中心位置および、レンズ光軸回りに 90 度間隔の 4 か所の各周方向の位置において測定した。各周方向の位置では、それぞれ、面角度が 28 度の測定位置 (レンズ光軸を中心とする直径が約 5.0 mm の位置) および、面角度が 42 度の測定位置 (レンズ光軸を中心とする直径が約 7.6 mm の位置) の 2 箇所で測定した。ここで、面角度 28 度の各測定位置を A1 ~ A4 とし、面角度が 42 度の各測定位置を B1 ~ B4 とし、位置 A1 及び B1、位置 A2 及び B2、位置 A3 及び B3、位置 A4 及び B4 のそれぞれを同一の径上の位置であるとする。

[0083] 本例においても、反応性スパッタリングによる成膜時には、ターゲットの表面と凹非球面レンズの凹非球面レンズ面との間の最大距離 L (図 1 参照) を、30 mm ~ 50 mm の範囲内の値に設定した。また、成膜時の投入パワーは SiO_2 膜の場合には 3 kW、 Nb_2O_5 膜の場合には 2 kW とし、各層の成膜速度を、0.01 ~ 2.00 nm/sec の範囲内となるように制御した。

[0084] 図 18 (b) には、形成された 7 層の反射防止膜の各測定位置における分光反射特性を示してある。これらの特性曲線は可視光の各波長帯域において特性に分布は存在する。しかしながら、形成された反射防止膜 14 がレンズ面の中心部分および周辺部分において生じている程度の光学特性分布では、レンズとして使用したときに実写像にゴーストは発生せず、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0085] より具体的には、図 18 (b) に示す特性曲線から分かるように、実施例 5 において形成された反射防止膜については、反射率 1.0 % における Δ ス1 は、10 nm であって 30 nm より短いので、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表しており、また、反射率 1.0 % における Δ ス2 は、11 nm であって 60 nm より短いので、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0086] 図 19 は、実施例 5 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。図 19 (a) は、センター P と、径方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 A 1、B 1) とにおける分光反射特性を示し、図 19 (b) は、センター P と、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 B 1、B 2、B 3、B 4) とにおける分光反射特性を示す。

[0087] 図 19 (a) に示すように、実施例 5 において形成された反射防止膜については、径方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 A 1、B 1) についての反射率 1.0 % における Δ ス 1 は、8 nm であって 30 nm より短く、また、 Δ ス 2 は、11 nm であって 60 nm より短いので、センター P と、径方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0088] また、図 19 (b) に示すように、実施例 5 において形成された反射防止膜については、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 B 1、B 2、B 3、B 4) についての反射率 1.0 % における Δ ス 1 は、10 nm であって 30 nm より短く、また、 Δ ス 2 は、11 nm であって 60 nm より短いので、センター P と、周方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0089] (実施例 6)

[0090] 図 20 に示す条件 (膜構成、成膜条件) で、図 21 (a) に示す形状の凹非球面レンズの凹非球面レンズ面 (面径 $\phi D = 9.51$ mm、球欠長さ $Z = 2.65$ mm、凹 R (近軸曲率中心における曲率半径) = 4.90 mm、最大面角度 $\theta = 49.4$ 度) に 1 層の反射防止膜を形成した。形成された反射防止膜の分光反射率を、実施例 1 の場合と同様に、レンズ面中心位置および、レンズ光軸回りに 90 度間隔の 4 か所の各円周方向の位置において測定した。各円周方向の位置では、それぞれ、面角度が 28 度の測定位置 (レンズ光軸を中心とする直径が約 5.0 mm の位置) および、面角度が 42 度の測定位置 (レンズ光軸を中心とする直径が約 7.6 mm の位置) の 2 箇所を測

定した。ここで、面角度 28 度の各測定位置を A 1 ~ A 4 とし、面角度が 42 度の各測定位置を B 1 ~ B 4 とし、位置 A 1 及び B 1、位置 A 2 及び B 2、位置 A 3 及び B 3、位置 A 4 及び B 4 のそれぞれを同一の径上の位置であるとする。

[0091] なお、上述の実施例 1 と同様に、本実施例においても基準波長 $\lambda_0 = 550 \text{ nm}$ における光学的膜厚係数 k に相当する記号として、膜構成を示す記号 x_1 を用いる。膜構成を示す光学的膜厚係数 x の数値は、以下の数値範囲を適用可能である。光学的膜厚は、屈折率 n と物理膜厚 d との積で表され、具体的には、 $nd = k \times \lambda_0 / 4$ で表される。

$$x_1 = 0.70 \sim 1.30$$

[0092] また、本例においても、反応性スパッタリングによる成膜時には、ターゲットの表面と凹非球面レンズの凹非球面レンズ面との間の最大距離 L (図 1 参照) を、 $30 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$ の範囲内の値に設定した。また、成膜時の投入パワーは 3 kW とし、成膜速度を、 $0.01 \sim 2.00 \text{ nm/sec}$ の範囲内となるように制御した。

[0093] 図 2 1 (b) には、形成された 1 層構成の反射防止膜の各測定位置における分光反射特性を示してある。これらの特性曲線は可視光の各波長帯域において特性に分布は存在する。しかしながら、形成された反射防止膜がレンズ面の中心部分および周辺部分において生じている程度の光学特性分布では、レンズとして使用したときに実写像にゴーストは発生せず、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0094] より具体的には、図 2 1 (b) に示す特性曲線から分かるように、実施例 6 において形成された反射防止膜については、反射率 1.0 % における ΔS_1 は、 12 nm であって 30 nm より短いので、光学的膜厚が実施的に同じ反射防止膜が形成されていることを表しており、また、反射率 1.0 % における ΔS_2 は、 38 nm であって 60 nm より短いので、光学的膜厚が実施的に同じ反射防止膜が形成されていることを表している。

[0095] 図 2 2 は、実施例 6 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の

測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。図 2 2 (a) は、センター P と、径方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 A 1、 B 1) とにおける分光反射特性を示し、図 2 2 (b) は、センター P と、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 B 1、 B 2、 B 3、 B 4) とにおける分光反射特性を示す。

[0096] 図 2 2 (a) に示すように、実施例 6 において形成された反射防止膜については、径方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 A 1、 B 1) についての反射率 1. 0 % における Δ ス 1 は、 2 nm であって 3 0 nm より短く、また、 Δ ス 2 は、 1 6 nm であって 6 0 nm より短いので、センター P と、径方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0097] また、図 2 2 (b) に示すように、実施例 6 において形成された反射防止膜については、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 B 1、 B 2、 B 3、 B 4) についての反射率 1. 0 % における Δ ス 1 は、 1 1 nm であって 3 0 nm より短く、また、 Δ ス 2 は、 3 0 nm であって 6 0 nm より短いので、センター P と、周方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが小さいことを表している。

[0098] (比較例 1)

[0099] 本発明の一実施形態における実施例 1 ~ 6 との比較のために、図 2 3 に示す条件 (膜構成、成膜条件) で、蒸着法により、凹非球面レンズ (M-TAFD305、 SiO₂ シングル) の凹非球面レンズ面 (面径 $\phi D = 10.95$ mm、球欠長さ $Z = 2.62$ mm、凹 R (近軸曲率中心における曲率半径) = 7.41 mm、最大面角度 $\theta = 51.7$ 度) に 1 層からなる反射防止膜を形成した。形成された反射防止膜の分光反射率を、実施例 6 の場合と同様に、レンズ面中心位置および、レンズ光軸回りに 90 度間隔の 4 か所の各円周方向の位置で測定した。各円周方向の測定位置では、それぞれ、面角度が 28 度の測定位置 (レンズ光軸を中心とする直径が約 6.8 mm の位置) および、面角度が 42 度の測定位置 (レンズ光軸を中心とする直径が約 9.6 mm の位置) の 2

箇所測定した。ここで、面角度28度の各測定位置をA1～A4とし、面角度が42度の各測定位置をB1～B4とし、位置A1及びB1、位置A2及びB2、位置A3及びB3、位置A4及びB4のそれぞれを同一の径上の位置であるとする。

[0100] なお、膜構成を示す光学的膜厚係数 x_1 の数値は以下の数値範囲を適用可能である。光学的膜厚 nd は、上述の実施例と同じようにして表せる。

$$x_1 = 0.70 \sim 1.30$$

[0101] 図24(b)には、形成された反射防止膜の各測定位置における分光反射特性を示している。これらの特性曲線から分かるように、レンズ面中心、レンズ面の周辺部およびこれらの間のレンズ面位置において相互に特性が大きく乖離している。

[0102] 比較例1は、実施例6との比較である。実施例6と比較例1とは、基材の構成材料、反射防止膜が1層(SiO_2)から形成される点で共通し、膜の形成方法の点で相違する。

[0103] より具体的には、図24(b)に示す特性曲線から分かるように、比較例1において形成された反射防止膜については、反射率1.0%における ΔS_1 は、108nmであって30nmより大きく、また、反射率1.0%における ΔS_2 は、117nmであって60nmより大きいので、レンズとして使用したときに、ゴーストが生じた。つまり、光学的膜厚が実質的に同じではないことが言える。これに比べて、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法によりレンズ面に反射防止膜を形成した実施例6では、反射防止膜の反射率1.0%における ΔS_1 は、12nmであり、また、反射率1.0%における ΔS_2 は、38nmであって、光学的膜厚が実質的に同じとなる反射防止膜が形成されており、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法により反射防止膜を形成することの優位性を確認できる。

[0104] 図25は、比較例1における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。図25(a)は、センターPと、径方向に並ぶ複数の測定位置(位置A1、B1)とにお

ける分光反射特性を示し、図 2 5 (b) は、センター P と、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 B 1、B 2、B 3、B 4) とにおける分光反射特性を示す。

[01 05] 図 2 5 (a) に示すように、比較例 1 において形成された反射防止膜については、径方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 A 1、B 1) についての反射率 1. 0 % における Δ ス 1 は、7 0 n m であって 3 0 n m より大きく、また、 Δ ス 2 は、7 5 n m であって 6 0 n m より大きく、センター P と、径方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが大きいことを表している。これに比べて、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法によりレンズ面に反射防止膜を形成した実施例 6 では、径方向に並ぶ複数の測定位置についての反射防止膜の反射率 1. 0 % における Δ ス 1 は、2 n m であり、また、反射率 1. 0 % における Δ ス 2 は、1 6 n m であって、光学的膜厚が実質的に同じとなる反射防止膜が形成されており、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法により反射防止膜を形成することの優位性を確認することができる。

[01 06] また、図 2 5 (b) に示すように、比較例 1 において形成された反射防止膜については、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 B 1、B 2、B 3、B 4) についての反射率 1. 0 % における Δ ス 1 は、1 0 8 n m であって 3 0 n m より大きく、また、 Δ ス 2 は、1 1 7 n m であって 6 0 n m より大きいので、センター P と、周方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが大きいことを表している。これに比べて、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法によりレンズ面に反射防止膜を形成した実施例 6 では、周方向に並ぶ複数の測定位置についての反射防止膜の反射率 1. 0 % における Δ ス 1 は、1 1 n m であり、また、反射率 1. 0 % における Δ ス 2 は、3 0 n m であって、光学的膜厚が実質的に同じとなる反射防止膜が形成されており、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法により反射防止膜を形成することの優位性を確認することができる。

[01 07] 以上のように、図 2 5 (b) に示すように、蒸着法では、光学的膜厚が実

質的に同じとなる反射防止膜を形成することができないが、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法によれば、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜を形成することができる。

[01 08] (比較例 2)

[01 09] 図 2 6 に示す条件 (膜構成、成膜条件) で、スパッタ法により、図 2 7 (a) に示す凹非球面レンズ (M-TAFD305、SiO₂シングル) の凹非球面レンズ面 (面径 $\phi D = 8.64 \text{ mm}$ 、球欠長さ $Z = 2.5 \text{ mm}$ 、凹 R (近軸曲率中心における曲率半径) $= 4.92 \text{ mm}$ 、最大面角度 $\theta = 51.8$ 度) に 1 層の反射防止膜を形成した。形成された反射防止膜の分光反射率を、実施例 6 の場合と同様に、レンズ面中心位置および、レンズ光軸回りに 90 度間隔の 4 か所の各円周方向の位置で測定した。各円周方向の測定位置では、それぞれ、面角度が 28 度の測定位置 (レンズ光軸を中心とする直径が約 4.5 mm の位置) および、面角度が 42 度の測定位置 (レンズ光軸を中心とする直径が約 6.6 mm の位置) の 2 箇所を測定した。ここで、面角度 28 度の各測定位置を A₁ ~ A₄ とし、面角度が 42 度の各測定位置を B₁ ~ B₄ とし、位置 A₁ 及び B₁、位置 A₂ 及び B₂、位置 A₃ 及び B₃、位置 A₄ 及び B₄ のそれぞれを同一の径上の位置であるとする。

[01 10] なお、膜構成を示す光学的膜厚係数 x_1 の数値は以下の数値範囲を適用可能である。光学的膜厚 nd は、上述の実施例、比較例 1 と同じようにして表せる。

$$x_1 = 0.70 \sim 1.30$$

[01 11] 図 2 7 (b) には、形成された反射防止膜の各測定位置における分光反射特性を示してある。これらの特性曲線から分かるように、レンズ面中心、レンズ面の周辺部およびこれらの間のレンズ面位置の間で特性が大きく乖離している。

[01 12] より具体的には、図 2 7 (b) に示す特性曲線から分かるように、比較例 2 において形成された反射防止膜については、反射率 1.0 % における ΔS_1 は、存在しない。また、反射率 1.0 % における ΔS_2 も同様に存在しない。

し。つまり、比較例 2 においては、スパッタ法により反射防止膜を形成しているが、図 27 (b) に示す特性曲線からも分かるように、センター口における分光反射特性でさえ、所望の値に形成できていないことを示している。これらのことからわかるように、比較例 2 は、各測定位置において明らかに光学的膜厚が異なっている (実質的に同じにならない) ことを表している。

[01 13] これに比べて、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法によりレンズ面に反射防止膜を形成した実施例 6 では、反射防止膜の反射率 1.0 % における Δ ス 1 は、12 nm であり、また、反射率 1.0 % における Δ ス 2 は、38 nm であって、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されており、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法により反射防止膜を形成することの優位性を確認することができる。

[01 14] 比較例 2 は、実施例 6 との比較である。実施例 6 と比較例 1 とは、基材の構成材料、反射防止膜が 1 層 (SiO_2) から形成される点で共通し、膜の形成方法の点で相違する。

[01 15] 図 28 は、比較例 2 における被成膜対象の光学レンズのレンズ面の一部の測定位置における反射防止膜の分光反射特性を示す図である。図 28 (a) は、センター P と、径方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 A 1、B 1) とにおける分光反射特性を示し、図 28 (b) は、センター P と、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 B 1、B 2、B 3、B 4) とにおける分光反射特性を示す。

[01 16] 図 28 (a) に示すように、比較例 2 において形成された反射防止膜については、径方向に並ぶ複数の測定位置 (位置 A 1、B 1) についての反射率 1.0 % における Δ ス 1 は、図 28 (a) から、明らかに 30 nm より大きく、また、 Δ ス 2 は、図 28 (a) から、明らかに 55 nm より大きく、センター P と、径方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが大きいことを表している。これに比べて、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法によりレンズ面に反射防止膜を形成した実施例 6 では、径方向に並ぶ複数の測定位置についての反射防止膜の反射率 1.0 % に

おける Δ ス1は、2 nmであり、また、反射率1.0%における Δ ス2は、16 nmであって、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されており、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法により反射防止膜を形成することの優位性を確認することができる。

[01 17] また、図28 (b) に示すように、比較例2において形成された反射防止膜については、周方向に並ぶ複数の測定位置 (位置B1、B2、B3、B4) についての反射率1.0%における Δ ス1は、図28 (b) から、明らかに30 nmより大きく、また、 Δ ス2は、図28 (b) から、明らかに60 nmより大きいので、センター口と、周方向に並ぶ複数の測定位置とでは、反射防止膜の光学的膜厚のバラツキが大きいことを表している。これに比べて、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法により同一形状のレンズ面に反射防止膜を形成した実施例6では、周方向に並ぶ複数の測定位置についての反射防止膜の反射率1.0%における Δ ス1は、11 nmであり、また、反射率1.0%における Δ ス2は、30 nmであって、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜が形成されており、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法により反射防止膜を形成することの優位性を確認することができる。

[01 18] なお、比較例2における図27 (b)、図28 (a) 及び図28 (b) においては、センターPの分光反射特性が反射率1.0%と交点を持たないため、 Δ ス1及び Δ ス2については図中に示していない。

[01 19] 以上のように、従来のスパッタ法では、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜を形成することができないが、本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法によれば、光学的膜厚が実質的に同じ反射防止膜を形成することができる。

[01 20] 最後に、本発明の一実施形態を、図等を用いて総括する。

[01 21] 本発明の一実施形態にかかる光学レンズ3は、曲面状に形成された非球面レンズ面3aと、非球面レンズ面3aに形成された反射防止膜14とを備える。非球面レンズ面3aは、非球面レンズ面3aのセンターPを含む第1の

部位と、第 1 の部位から離れた第 2 の部位とを有する。第 1 の部位上の反射防止膜 14 の光学的膜厚と、第 2 の部位上の反射防止膜 14 の光学的膜厚は、実質的に同じである。

[01 22] ここで、第 1 の部位上の反射防止膜 14 の光学的膜厚と、第 2 の部位上の反射防止膜 14 の光学的膜厚が実質的に同じとは、光学的膜厚 (nd) が実質的に同じとは、光の干渉が同じであることを意味し、第 1 の部位上の反射防止膜 14 と第 2 の部位上の反射防止膜 14 における反射率、屈折率、透過率などの光学特性が実質的に同じになることを言う。換言すれば、レンズとして使用したときに、実写像にゴーストが生じない程度の光学特性分布であれば、光学的膜厚が実質的に同じであると言える。また、第 1 の部位上の反射防止膜 14 と、第 2 の部位上の反射防止膜 14 とを入れ替えたとしても、光学特性が実質的に同じであるとも言える。

[01 23] また、第 2 の部位は、例えば、光学レンズ 3 の曲面状表面の面角度が大きくなる部位とすることができ、例えば、面角度が 25 度以上となる部位であっても良く、面角度が 28 度以上、30 度以上、40 度以上、48 度以上、50 度以上のように、任意の面角度の部位としても良い。第 2 の部位は、光学レンズ 3 として、第 1 の部位と実質的に同じであることが好ましい部位とすれば良い。なお、光学レンズ 3 は、いずれの面角度の部位であっても、第 1 の部位の光学薄膜の光学的膜厚と実質的に同じにすることができる。

[01 24] 好ましくは、光学レンズ 3 において、分光反射特性において所定の反射率を満たす、第 1 の部位 (センター P) 上に形成される反射防止膜 14 の最も短波長側の波長と、第 2 の部位上に形成される反射防止膜 14 の最も短波長側の波長との第 1 の波長差 ($\Delta \lambda 1$) は 50 nm 以下である、または、第 1 の部位 (センター P) 上に形成される反射防止膜 14 の最も長波長側の波長と、第 2 の部位上に形成される反射防止膜 14 の最も長波長側の波長との第 2 の波長差 ($\Delta \lambda 2$) は 100 nm 以下である。

[01 25] さらに、好ましくは、光学レンズ 3 において、紫外領域から近赤外領域の分光反射特性において反射率 1.0 % を満たす場合に、第 1 の波長差 ($\Delta \lambda$

1) は 30 nm 以下である、または、第 2 の波長差 ($\Delta \lambda_2$) は 60 nm 以下である。

[0126] また、好ましくは、光学レンズ 3 において、第 2 の部位は複数あり、複数の第 2 の部位は、非球面レンズ 3a の径方向に配置された複数の部位 (例えば、位置 A1 ~ A4 をそれぞれ有する 4 つの部位) を含み、第 2 の部位の各々に対する第 2 の波長差 ($\Delta \lambda_2$) は、60 nm 以下である。

[0127] また、好ましくは、光学レンズ 3 において、第 2 の部位は複数あり、複数の第 2 の部位は、非球面レンズ 3a の周方向に配置された複数の部位 (例えば、位置 A1、B1、C1 をそれぞれ含む 3 つの部位) を含み、第 2 の部位の各々に対する第 2 の波長差 ($\Delta \lambda_2$) は、60 nm 以下である。

[0128] また、好ましくは、光学レンズ 3 において、反射防止膜 14 は、図 20 に示すように、単層膜であり、光学レンズ 3 の表面に、酸化シリコンにより形成される。

[0129] また、好ましくは、光学レンズ 3 において、反射防止膜 14 は、図 5、図 8、図 11、図 14、または図 17 に示すように、多層膜である。

[0130] また、さらに、好ましくは、光学レンズ 3 において、反射防止膜 14 は、図 5、図 8、図 11、図 14、または図 17 に示すように、光学レンズ 3 の表面に、酸化シリコンにより形成される層と、酸化二オプにより形成される層とを交互に積層した多層膜である。

[0131] また、さらに別の他の局面では以下のように捉えることができる。本発明の一実施形態に係る反応性スパッタリング装置 1 は、処理室 2 を有し、非球面レンズ面 3a を有する光学レンズ 3 に反射防止膜 14 を処理室 2 において形成する装置である。反応性スパッタリング装置 1 は、処理室 2 内の空気を排気する排気機構 11 と、真空状態に保持された処理室 2 内に不活性ガスを供給する不活性ガス供給機構 12 と、真空状態に保持された処理室 2 内に活性ガスを供給する活性ガス供給機構 13 とを有する。また、反応性スパッタリング装置 1 は、処理室 2 内に設けられ、光学レンズ 3 が配置されるワークホルダー 4 と、処理室 2 内においてワークホルダー 4 に対向配置されたター

ゲット5とを有する。また、反応性スパッタリング装置1は、ターゲット5の粒子が出るようターゲット5に電圧を印加する電源7と、処理室2内に設けられ、処理室2内の空間の一部分であってターゲット5とワークホルダー4との間の空間である特定空間8を取り囲むことが可能である遮蔽部9とを有する。

[01 32] 好ましくは、反応性スパッタリング装置1において、遮蔽部9の最下部の位置は、ワークホルダー4に配置された光学レンズ3の最も高い位置と同じかそれよりも低い。

[01 33] また、好ましくは、反応性スパッタリング装置1において、非球面レンズ面3aが凹面形状を有する。反応性スパッタリング装置1において、光学レンズ3をワークホルダー4上に配置した状態において、レンズ面表面の面径Dを凹面形状における球欠長さZで除した値を、ターゲット5表面から凹面形状の最も遠い位置までの距離Lでさらに除したときの値が0.010～1.0の範囲となるようにワークホルダー4及びターゲット5が配置されている。つまり、ワークホルダー4及びターゲット5は、 $D/Z/L$ により算出される値の範囲内に配置されている。また、好ましくは、反応性スパッタリング装置1が、第1の変更と第2の変更のうちの少なくとも一方を行う位置変更部15を更に備える。第1の変更は、遮蔽部9のワークホルダー4に対する相対的な位置を、特定空間8を取り囲む第1の位置から、第1の位置よりもワークホルダー4と遮蔽部9とが離れた第2の位置へと変更することである。第2の変更は、相対的な位置を、第2の位置から第1の位置へと変更することである。

[01 34] また、さらに別の他の局面では以下のように捉えることができる。本発明の一実施形態に係る光学薄膜形成方法は、非球面レンズ面3aを有する光学レンズ3に反射防止膜14を形成する反射防止膜形成方法である。反射防止膜形成方法は、処理室2内のワークホルダー4上に光学レンズ3を配置する配置工程と、光学レンズ3が処理室2内に配置された状態で、処理室2内を真空排気する排気工程とを有する。また、反射防止膜形成方法は、真空排気

した後に処理室2内に活性ガスおよび不活性ガスを供給するガス供給工程と、ワークホルダー4に平行な状態に対向配置されたターゲット5に対して電圧を印加することにより、不活性ガスがターゲット5に衝突してターゲット5からターゲット5の粒子を引き出すスパッタ工程とを有する。また反射防止膜形成方法は、特定空間8を遮蔽部9により取り囲んだ状態で、スパッタ工程により得られるターゲットの粒子、または、活性ガスと反応した粒子が、光学レンズ3)の曲面状表面に堆積する光学薄膜形成工程を有する。

[0135] また、好ましくは、反射防止膜形成方法において、光学薄膜形成工程で、光学レンズ3は、特定空間8の中のターゲットの粒子の平均自由行程と、遮蔽部9の内側面の距離との比で求められるクヌーセン数が0.3より小さい領域に配置されている。

[0136] また、好ましくは、反射防止膜形成方法において、光学レンズ3の非球面レンズ面3aが粘性流状態となる粘性流領域内に位置するように、ターゲット5に対してワークホルダー4が配置されている。

[0137] また、別の他の局面では以下のように捉えることができる。本発明の一実施形態にかかる光学レンズ3は、光学薄膜の分光反射率の所定の反射率または光学薄膜の分光透過率の所定の透過率において、第1の部位上の最も短波長側の波長に対して、第2の部位上の最も短波長側の波長差は、 $\pm 50\text{ nm}$ 以下である、または、分光反射率の所定の反射率または分光透過率の所定の透過率において、第1の部位上の最も長波長側の波長に対して、第2の部位上の最も長波長側の波長差は、 $\pm 100\text{ nm}$ 以下である。また、さらに別の他の局面では以下のように捉えることができる。本発明の一実施形態にかかる光学素子(光学レンズ3)は曲面状に形成された曲面状表面と、曲面状表面上に形成された光学薄膜と備え。曲面状表面は、曲面状表面の中心を含む第1の部位と、第1の部位から離れて、同一直線状に並んで設けられる複数の第2の部位とを有し、光学薄膜の分光反射率の所定の反射率または光学薄膜の分光透過率の所定の透過率における最も短波長側の波長において、複数の第2の部位上における最も短波長となる第1の波長と、複数の第2の部位

上における最も長波長となる第2の波長との波長差は、30 nm以下である、または、光学薄膜の分光反射率の所定の反射率または光学薄膜の分光透過率の所定の透過率における最も長波長側の波長において、複数の第2の部位上における最も短波長となる第3の波長と、複数の第2の部位上における最も長波長となる第4の波長との波長差は、60 nm以下である。

[01 38] また、さらに別の他の局面では以下のように捉えることができる。本発明の一実施形態にかかる光学素子（光学レンズ3）は、曲面状に形成された曲面状表面と、曲面状表面上に形成された光学薄膜とを備える。曲面状表面は、曲面状表面の中心を含む第1の部位と、第1の部位から離れて、同一円周状に並んで設けられる複数の第2の部位とを有し、光学薄膜の分光反射率の所定の反射率または光学薄膜の分光透過率の所定の透過率における最も短波長側の波長において、複数の第2の部位上における最も短波長となる第1の波長と、複数の第2の部位上における最も長波長となる第2の波長との波長差は、30 nm以下である、または、光学薄膜の分光反射率の所定の反射率または光学薄膜の分光透過率の所定の透過率における最も長波長側の波長において、複数の第2の部位上における最も短波長となる第3の波長と、複数の第2の部位上における最も長波長となる第4の波長との波長差は、60 nm以下である。

[01 39] 以上、本発明の一実施形態、幾つかの実施例及び比較例を説明したが、これらは、本発明の説明のための例示であって、本発明の範囲をこれらにのみ限定する趣旨ではない。すなわち、本発明は、他の種々の形態でも実施する事が可能である。例えば、曲面状は、自由曲面状であっても良い。被成膜材は、光学素子に限られない。光学素子は、光学レンズ3に限られない。また、被成膜材として、1つの被成膜材に対して1つの凹状レンズ面及びレンズ面の外周にランド面が形成された形態について説明したが、1つの被成膜材に対して複数の凹状レンズ面が形成され、各レンズ面間をランド面により接続した形状の被成膜材を用いてもよい。また、被成膜対象とする面は、凹状表面に限られず、曲面と平面からなる表面や複数の平面から構成される面を

対象とすることもでき、被成膜面が曲面や平面であつても光学的膜厚が実質的に同じ光学薄膜を形成することができる。

[0140] また、粘性流領域内にレンズを配置して反射防止膜を形成する態様について説明したが、これに限られず、中間流領域にレンズを配置して反射防止膜を形成するようにしてもよく、この場合には、クヌーセン数を0.01~0.3の範囲で設定すればよい。

[0141] また、被成膜材が凸状レンズの場合に、遮蔽部の最下部の位置は、配置部上に配置された凸状レンズの少なくともレンズ面の最も低い位置と同じかそれよりも低く配置することができる。また、本発明の一実施形態において、分光反射率を例に説明したが、これに限られない。例えば、反射率と表裏一体の関係にある透過率を指標にして分光透過率についても本発明を適用することができる。

[0142] また、光学薄膜としては、単層及び多層膜とすることができ、多層膜の場合には、5層、10層、数十層、100層以上とすることができる。

[0143] また、レンズ以外の例えば、曲面型ミラー（反射型光学素子）、曲面型フィルター、アレー状光学素子（レンズアレー、プリズムアレー）、ファインダー素子、回折型光学素子、フレネルレンズなどの被成膜材に対しても本発明を用いることができる。

符号の説明

- [0144] 1 反応性スパッタリング装置
2 処理室
3 光学レンズ
3 a レンズ面
3 b 外周縁
3 c ランド面
4 ワークホルダー
4 a ワーク設置面
5 ターゲット

- 5 a ターゲ ッ ト表 面
- 6 スパ ッ タ電 極
- 7 電 源
- 8 空 間
- 9 遮 蔽 部
- 1 1 排 気機 構
- 1 2 不 活 性 ガス 供 給 機 構
- 1 3 活 性 ガス 供 給 機 構
- 1 4 反 射 防 止 膜
- L ターゲ ッ ト表 面 と レンズ 面 の 間 の 最 大 距 離

請求の範囲

[請求項1]

曲面状に形成された曲面状表面と、
前記曲面状表面上に形成された光学薄膜と
を備え、
前記曲面状表面は、
前記曲面状表面の中心を含む第1の部位と、
前記第1の部位から離れた第2の部位と
を有し、
前記第1の部位上の光学薄膜の光学的膜厚と、前記第2の部位上の
光学薄膜の光学的膜厚は、実質的に同じである、
光学素子。

[請求項2]

前記光学薄膜の分光反射率の所定の反射率または前記光学薄膜の分
光透過率の所定の透過率において、前記第1の部位上の最も短波長側
の波長と、前記第2の部位上の最も短波長側の波長との第1の波長差
は、50 nm以下である、
または、

前記光学薄膜の分光反射率の所定の反射率または前記光学薄膜の分
光透過率の所定の透過率において、前記第1の部位上の最も長波長側
の波長と、前記第2の部位上の最も長波長側の波長との第2の波長差
は、100 nm以下である、

請求項1記載の光学素子。

[請求項3]

前記光学薄膜は、反射防止膜であり、
紫外領域から近赤外領域の分光反射特性において分光反射率1.0
%を満たす場合に、
前記第1の波長差は30 nm以下である、または、
前記第2の波長差は60 nm以下である、
請求項2記載の光学素子。

[請求項4]

前記第2の部位は複数あり、

複数の前記第2の部位の各々は、前記曲面状表面の径方向に配置され、

前記複数の第2の部位の各々について、前記第2の波長差は、60 nm以下である、

請求項2または3記載の光学素子。

[請求項5] 前記第2の部位は複数あり、

複数の前記第2の部位の各々は、前記曲面状表面の周方向に配置され、

前記複数の第2の部位の各々について、前記第2の波長差は、60 nm以下である、

請求項2～4のいずれか1項に記載の光学素子。

[請求項6] 前記光学薄膜は、単層膜であり、

前記単層膜は、前記光学素子の表面に、酸化シリコンにより形成される層である、

請求項1～5のいずれか1項に記載の光学素子。

[請求項7] 前記光学薄膜は、多層膜である、

請求項1～5のいずれか1項に記載の光学素子。

[請求項8] 前記光学薄膜は、前記光学素子の表面に、酸化シリコンにより形成される層と、酸化二オブにより形成される層とを交互に積層した多層膜である、

請求項7記載の光学素子。

[請求項9] 処理室を有し、曲面状表面を有する被成膜材に光学薄膜を前記処理室において形成する光学薄膜形成装置において、

前記処理室内の空気を排気する排気部と、

真空状態に保持された前記処理室内に活性ガスおよび不活性ガスを供給するガス供給部と、

前記処理室内に設けられ、前記被成膜材が配置される配置部と、

前記処理室内において前記配置部に対向配置されたターゲットと、

前記ターゲットの粒子が出るよう前記ターゲットに電圧を印加する電源と、

前記処理室内に設けられ、前記処理室内の空間の一部であって前記ターゲットと前記配置部との間の空間である特定空間を取り囲むことが可能である遮蔽部と、

を備え、

光学薄膜形成装置。

[請求項 10] 前記遮蔽部の最下部の位置は、前記配置部に配置された前記被成膜材の最も高い位置と同じかそれよりも低い、
請求項 9 記載の光学薄膜形成装置。

[請求項 11] 前記被成膜材は、光学素子であり、
前記曲面状表面は、凹面形状を有し、
前記光学素子を前記配置部上に配置した状態において、前記曲面状表面の面径を前記凹面形状における球欠長さで除した値を、前記ターゲット表面から前記凹面形状の最も遠い位置までの距離でさらに除したときの値が $0.010 \sim 10$ の範囲となるように前記配置部及び前記ターゲットが配置されている、
請求項 9 または 10 記載の光学薄膜形成装置。

[請求項 12] 第 1 の変更と第 2 の変更のうちの少なくとも一方を行う位置変更部を更に備え、

前記第 1 の変更は、前記遮蔽部の前記配置部に対する相対的な位置を、前記特定空間を取り囲む第 1 の位置から、前記第 1 の位置よりも前記配置部と前記遮蔽部とが離れた第 2 の位置へと変更することであり、

前記第 2 の変更は、前記相対的な位置を、前記第 2 の位置から前記第 1 の位置へと変更することである、

請求項 9 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の光学薄膜形成装置。

[請求項 13] 曲面状表面を有する被成膜材に光学薄膜を形成する光学薄膜形成方

法において、

処理室内の配置部上に前記被成膜材を配置する配置工程と、

前記被成膜材が前記処理室内に配置された状態で、前記処理室内を真空排気する排気工程と、

真空排気した後に前記処理室内に活性ガスおよび不活性ガスを供給するガス供給工程と、

前記配置部に対向配置されたターゲットに電圧を印加することにより、前記不活性ガスが前記ターゲットに衝突して前記ターゲットから前記ターゲットの粒子を出すスパッタ工程と、

前記処理室内の空間の一部分であつて前記ターゲットと前記配置部との間の空間である特定空間を遮蔽部により取り囲んだ状態で、前記スパッタ工程により得られる前記ターゲットの粒子、または、前記活性ガスと反応した前記粒子が、前記被成膜材の前記曲面状表面に堆積する光学薄膜形成工程と

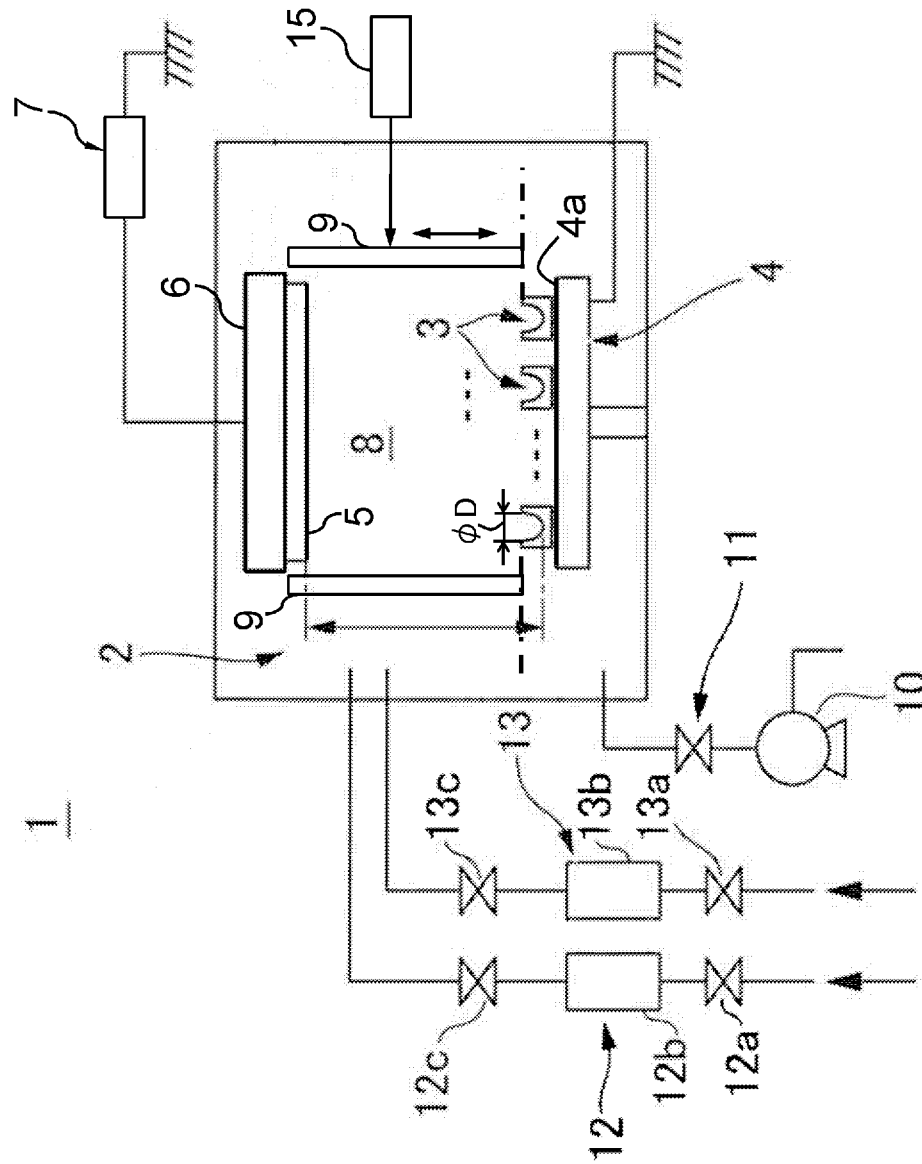
を有する光学薄膜形成方法。

[請求項 14]

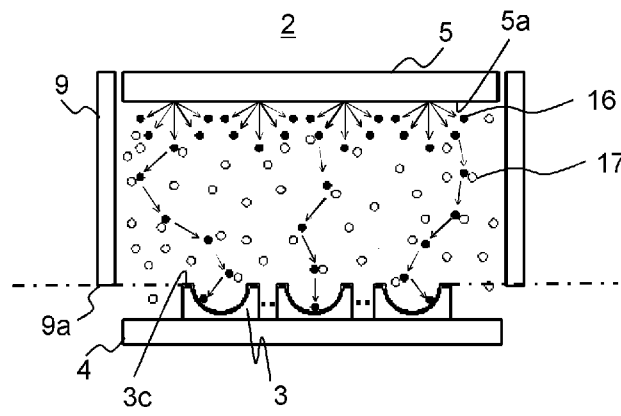
前記光学薄膜形成工程において、前記被成膜材は、前記特定空間の中の前記ターゲットの粒子の平均自由行程と、前記遮蔽部の内側面の距離との比で求められるクヌーセン数が 0.3 より小さい領域に配置されている、

請求項 13 記載の光学薄膜形成方法。

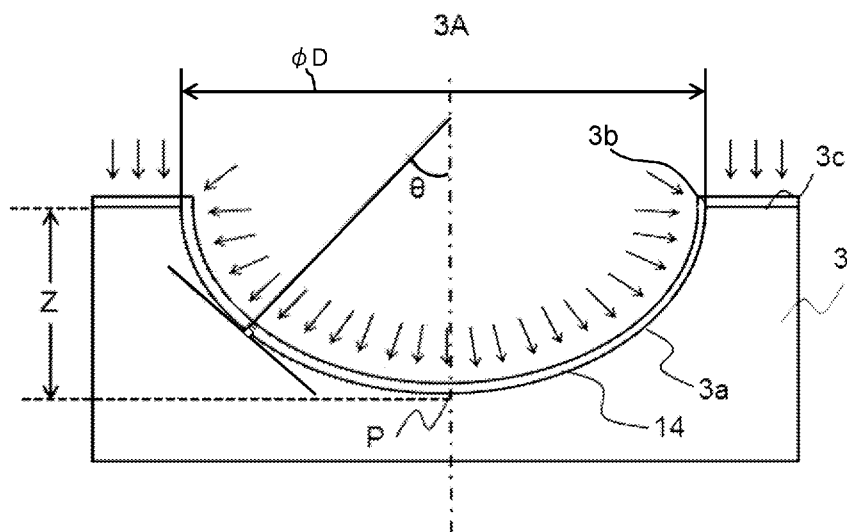
[図1]



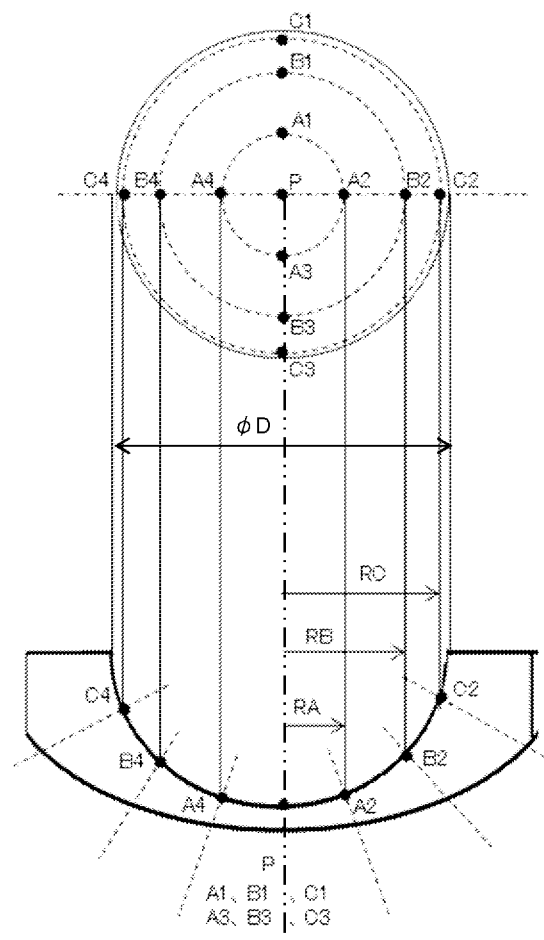
[図2]



[図3]



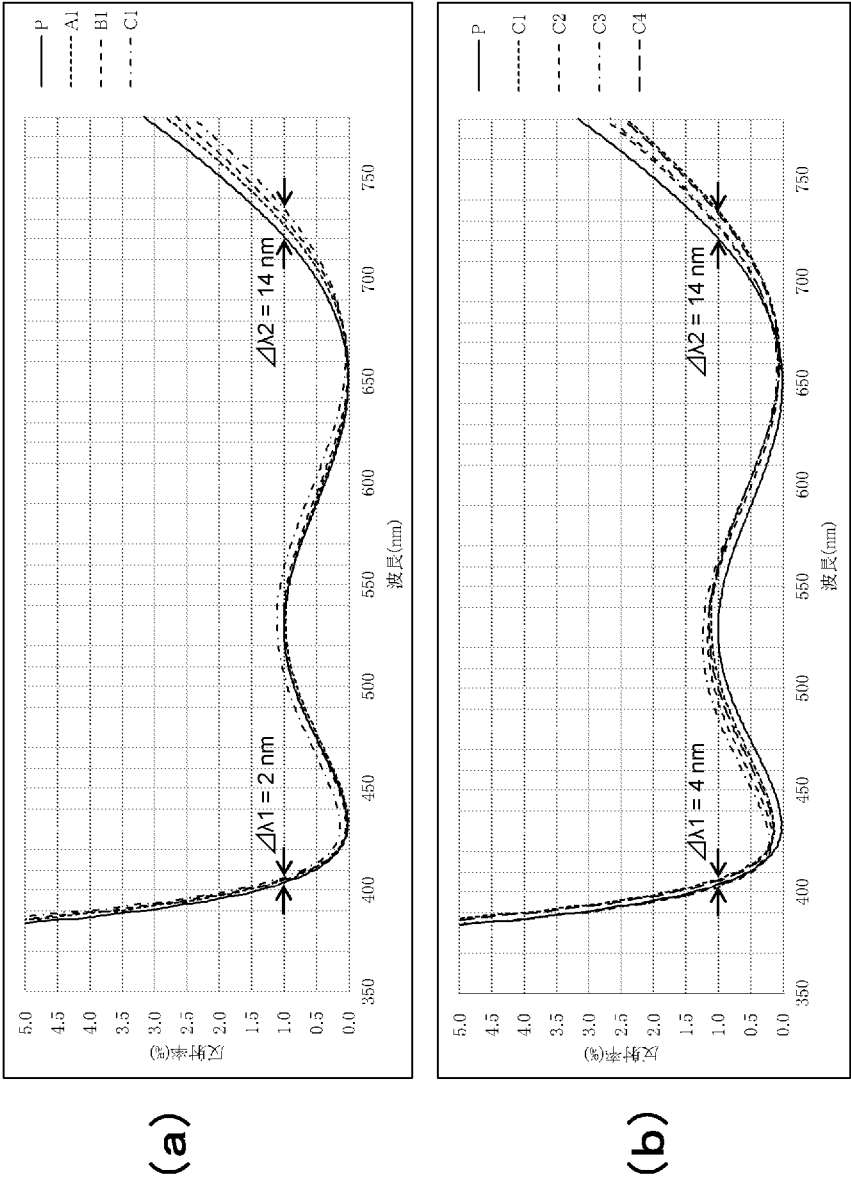
[図4]



[図5]

実施例 1										
基板: B270, 膜構成: Sub/(xL/yH) ³ /xL/Air										
膜構成						成膜条件				
	構成材料	屈折率n	物理膜厚 d(nm)	光学的膜厚係数 k		λ ₀ (nm)	基板加熱温度	成膜中真空度	投入パワー	
基材	B270	—	1.5314	—	—	550	—	—	—	
第1層	SiO ₂	L	1.4638	10.95	x1	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)	SiO ₂ : 3kw Nb ₂ O ₅ : 2kw	
第2層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	11.48	y1	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)		
第3層	SiO ₂	L	1.4638	34.78	x2	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)		
第4層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	61.22	y2	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)		
第5層	SiO ₂	L	1.4638	8.7	x3	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)		
第6層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	40.89	y3	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)		
第7層	SiO ₂	L	1.4638	88.05	x4	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)		
媒質	空気	—	1.0000	—	—	550	—	—		

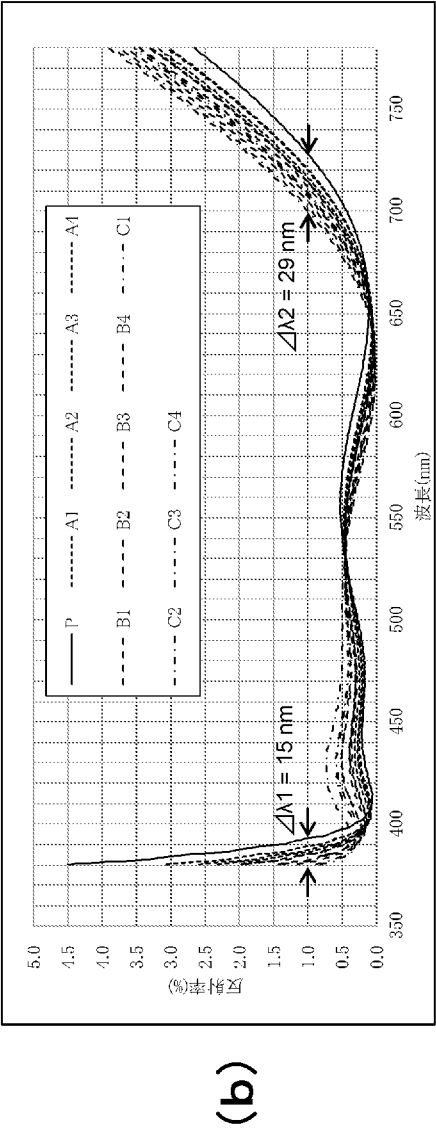
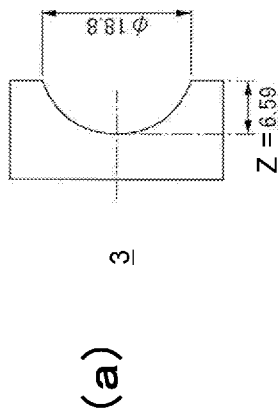
[図7]



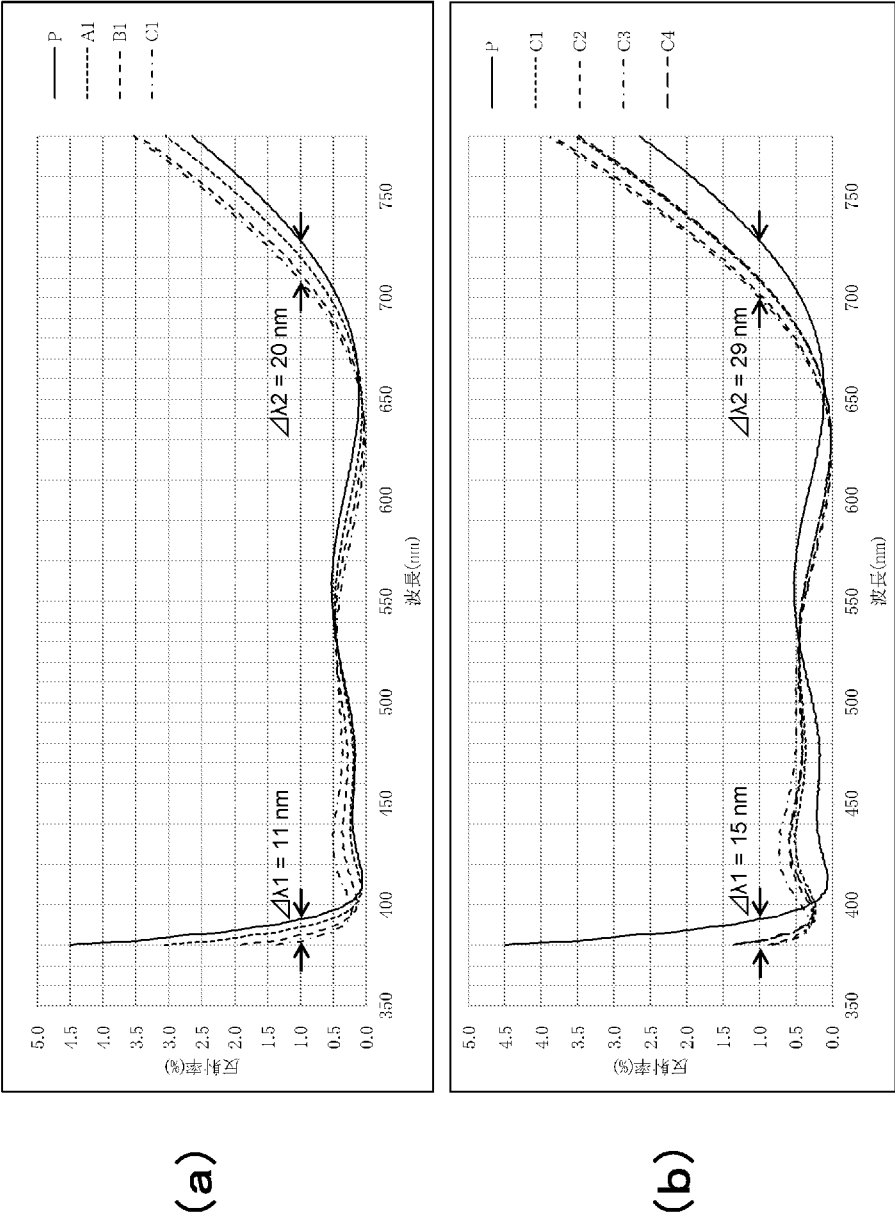
[図8]

実施例2										
基板: B270, 膜構成: Sub(xLyH) ³ /xL/Air										
	膜構成						成膜条件			
	構成材料	屈折率n		物理膜厚 d(nm)	光学的膜厚係数 k		λ _c (nm)	基板加熱 温度	成膜中真空度	
基材	B270	—	1.5314	—	—		550	—	—	
第1層	SiO ₂	L	1.4638	11.63	x1	0.124	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第2層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	14.64	y1	0.247	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第3層	SiO ₂	L	1.4638	31.09	x2	0.331	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第4層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	60.68	y2	1.022	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第5層	SiO ₂	L	1.4638	8.19	x3	0.087	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第6層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	39.43	y3	0.664	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第7層	SiO ₂	L	1.4638	88.75	x4	0.945	550	無加熱	約2.7 × 10 ⁻¹ (Pa)	
媒質	空気	—	1.0000	—	—		550	—	—	

[図9]



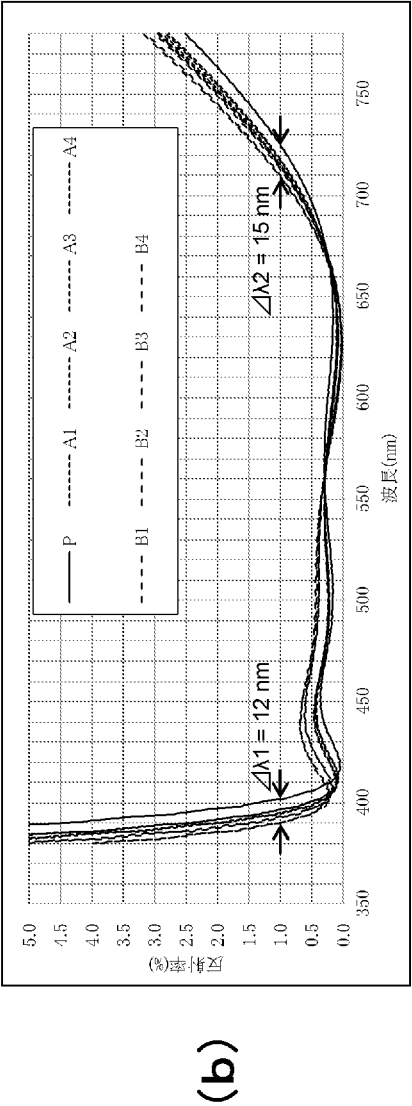
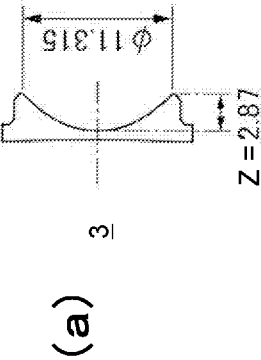
[図10]



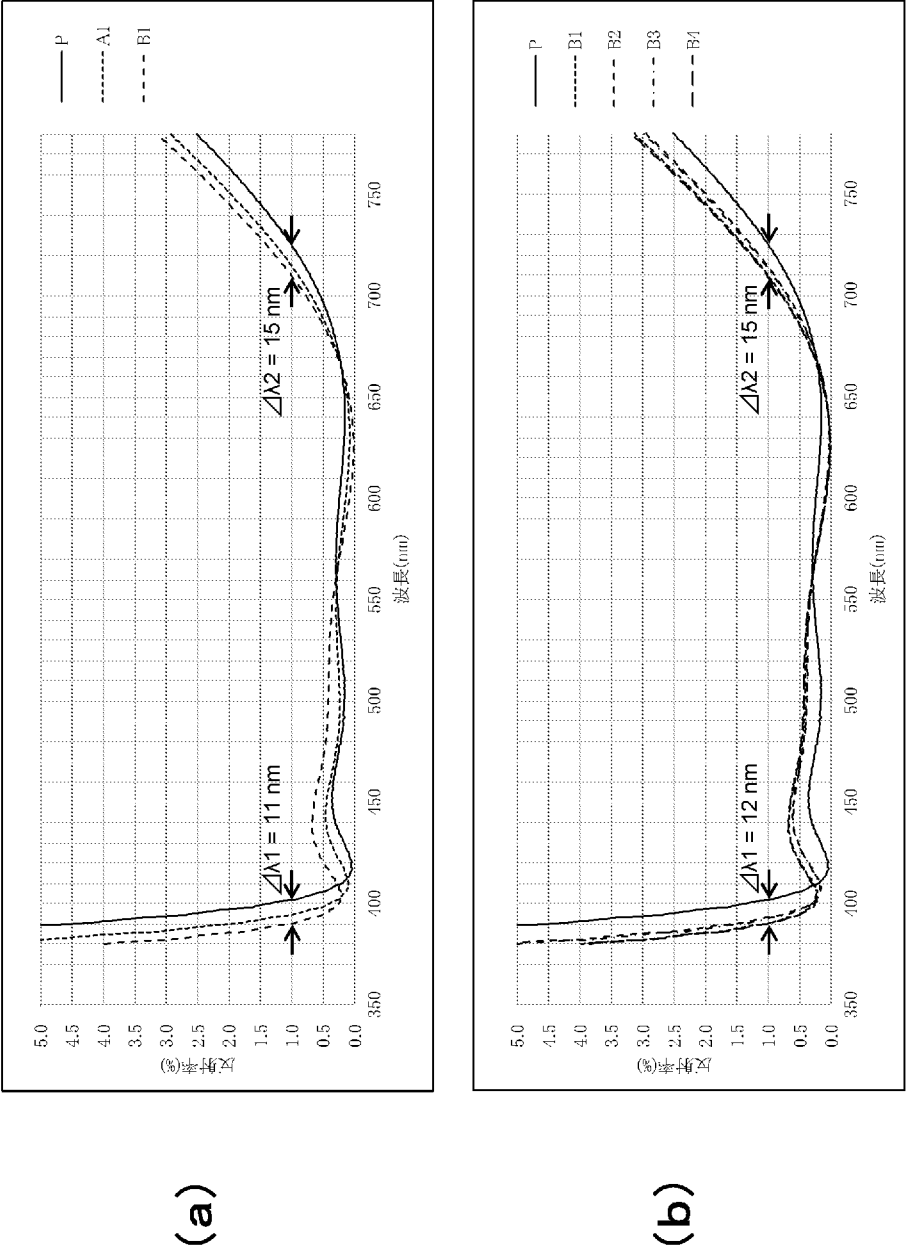
[図11]

実施例3										
基板: M-TAFD305, 膜構成: Sub/(xL/yH) ³ /xL/Air										
	膜構成						成膜条件			
	構成材料	屈折率n		物理膜厚 d(nm)	光学的膜厚係数 k		λ ₀ (nm)	基板加熱 温度	成膜中真空度	
基材	B270	—	1.5314	—	—		550	—	—	
第1層	SiO ₂	L	1.4638	19.9	x1	0.212	550	無加熱	約5.0 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第2層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	22.88	y1	0.385	550	無加熱	約5.0 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第3層	SiO ₂	L	1.4638	28.71	x2	0.306	550	無加熱	約5.0 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第4層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	67.05	y2	1.129	550	無加熱	約5.0 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第5層	SiO ₂	L	1.4638	6.71	x3	0.071	550	無加熱	約5.0 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第6層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	42.56	y3	0.717	550	無加熱	約5.0 × 10 ⁻¹ (Pa)	
第7層	SiO ₂	L	1.4638	90.87	x4	0.967	550	無加熱	約5.0 × 10 ⁻¹ (Pa)	
媒質	空氣	—	1.0000	—	—		550	—	—	

[図12]



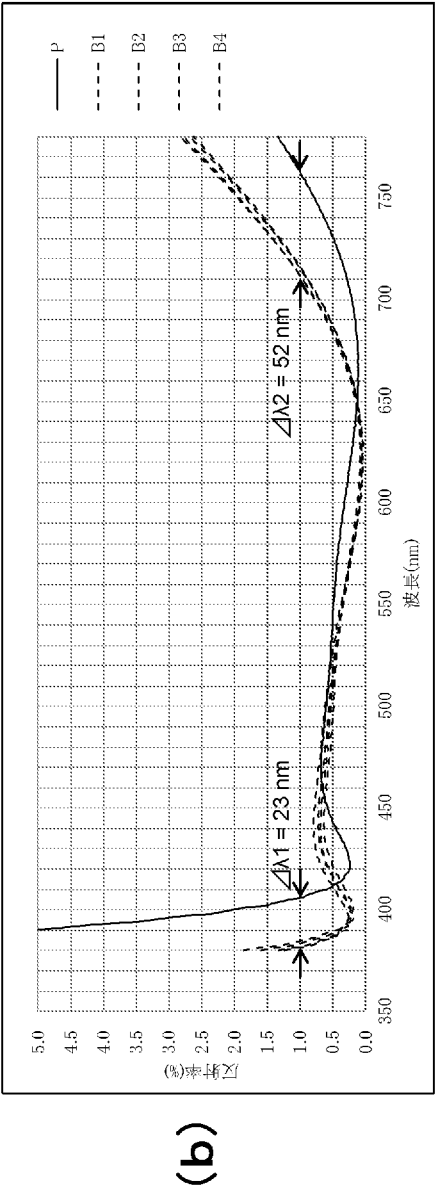
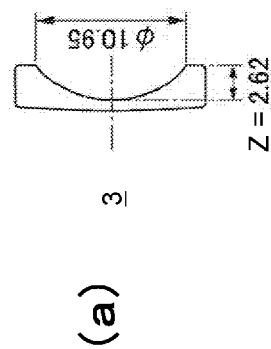
[図13]



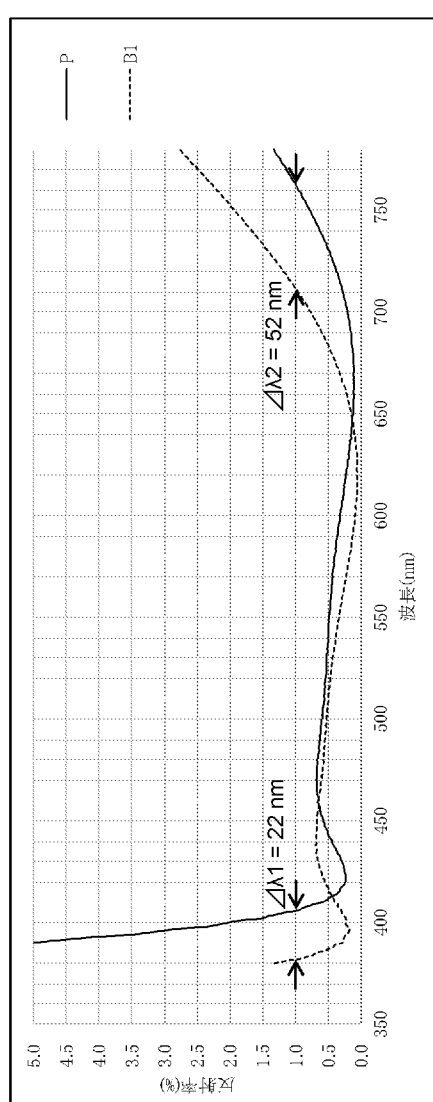
[図14]

実施例4											
基板: M-TAFD305, 膜構成: Sub/(xL-yH) ³ /xL/Air											
膜構成											
	構成材料	屈折率n		物理膜厚 d(nm)	光学的膜厚係数 k				λ _c (nm)	成膜条件	
								基板加熱 温度		成膜中真空度	
基材	M-TAFD305	—	1.5314	—	—			550	—	—	
第1層	SiO ₂	L	1.4638	10.61	x1	0.113		550	無加熱	約3.9×10 ⁻¹ (Pa)	
第2層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	24.93	y1	0.420		550	無加熱	約3.9×10 ⁻¹ (Pa)	
第3層	SiO ₂	L	1.4638	21.84	x2	0.233		550	無加熱	約3.9×10 ⁻¹ (Pa)	
第4層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	74.08	y2	1.248		550	無加熱	約3.9×10 ⁻¹ (Pa)	
第5層	SiO ₂	L	1.4638	9.39	x3	0.100		550	無加熱	約3.9×10 ⁻¹ (Pa)	
第6層	Nb ₂ O ₅	H	2.3162	35.41	y3	0.596		550	無加熱	約3.9×10 ⁻¹ (Pa)	
第7層	SiO ₂	L	1.4638	98.05	x4	1.044		550	無加熱	約3.9×10 ⁻¹ (Pa)	
媒質	空氣	—	1.0000	—	—			550	—	—	

[図15]



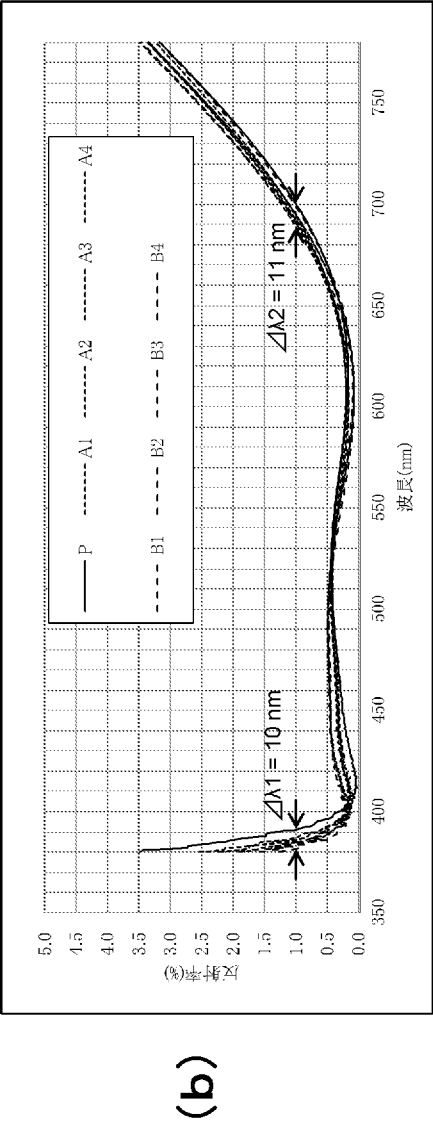
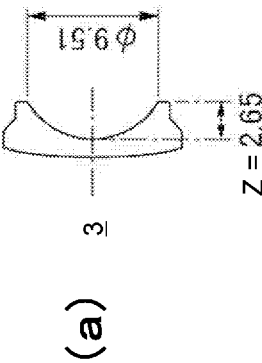
[図16]



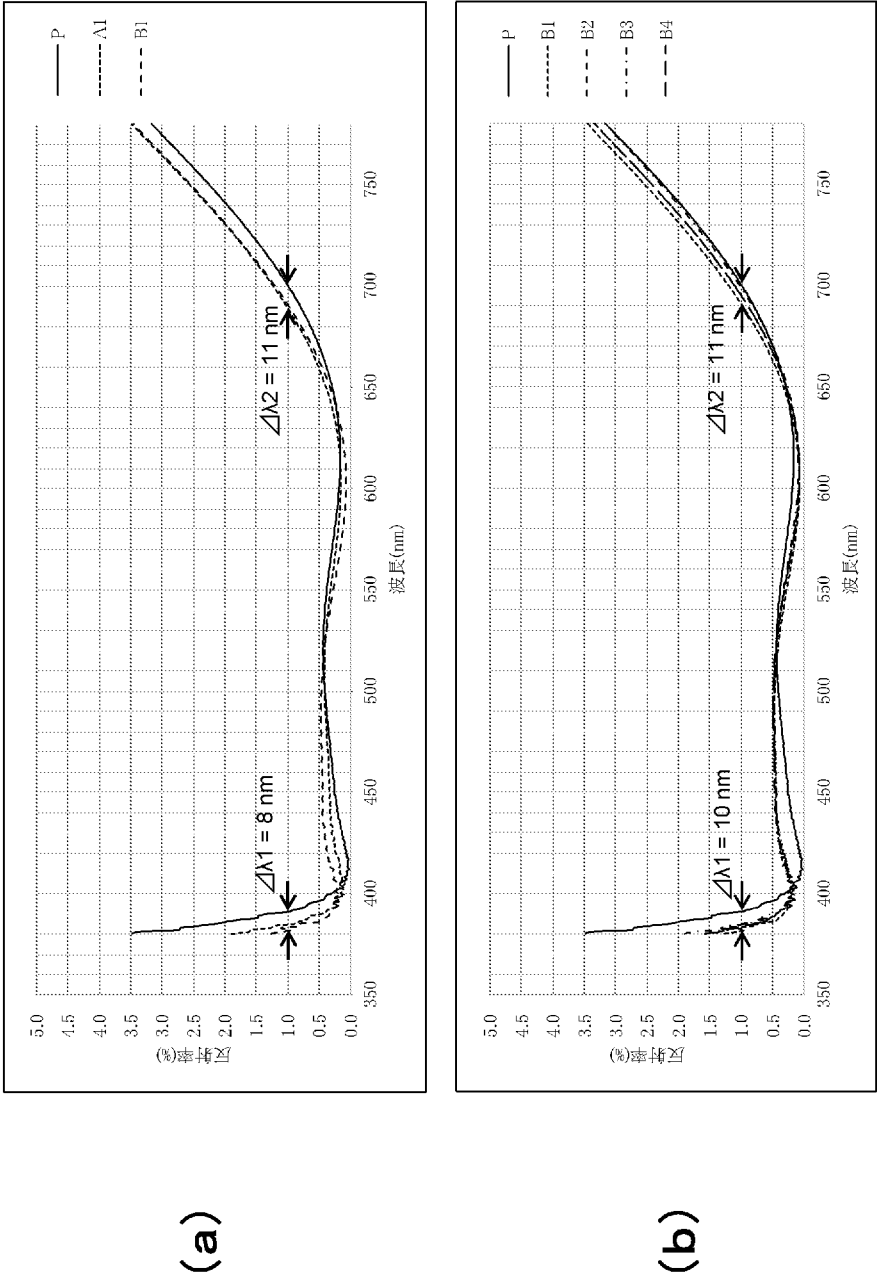
[図17]

実施例5									
基板: M-TAFD305, 膜構成: Sub/(xL/yH) ³ /xL/Air									
	膜構成					成膜条件			
	構成材料	屈折率n	物理膜厚 d(nm)	光学的膜厚係数 k		λ _c (nm)	基板加熱 温度	成膜中真空度	
基材	M-TAFD305	—	—	—		550	—	—	
第1層	SiO ₂	L	10.11	x1	0.108	550	無加熱	約5.0×10 ⁻¹ (Pa)	
第2層	Nb ₂ O ₅	H	23.4	y1	0.394	550	無加熱	約5.0×10 ⁻¹ (Pa)	
第3層	SiO ₂	L	19.29	x2	0.205	550	無加熱	約5.0×10 ⁻¹ (Pa)	
第4層	Nb ₂ O ₅	H	69.36	y2	1.168	550	無加熱	約5.0×10 ⁻¹ (Pa)	
第5層	SiO ₂	L	9.05	x3	0.096	550	無加熱	約5.0×10 ⁻¹ (Pa)	
第6層	Nb ₂ O ₅	H	33.92	y3	0.571	550	無加熱	約5.0×10 ⁻¹ (Pa)	
第7層	SiO ₂	L	90.02	x4	0.958	550	無加熱	約5.0×10 ⁻¹ (Pa)	
媒質	空氣	—	—	—		550	—	—	

[図18]



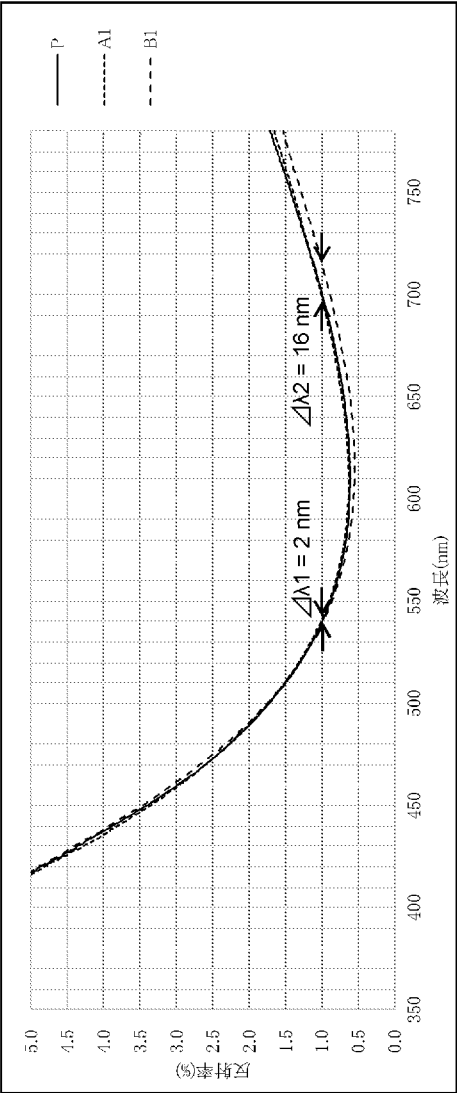
[図19]



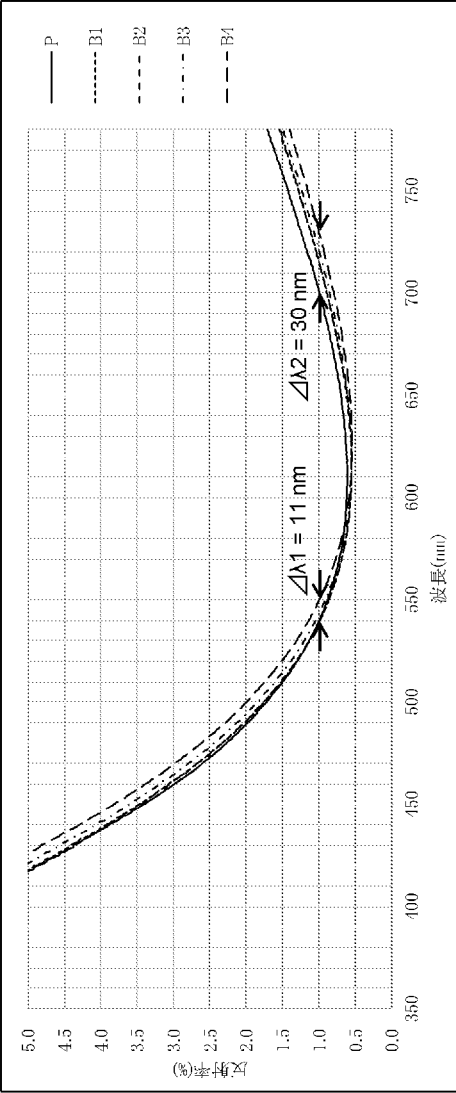
[図20]

実施例6									
基板: M-TAFD305, 膜構成: Sub/(xLyH) ³ /xL/Air									
膜構成									
	構成材料	屈折率n		物理膜厚 d(nm)	光学の膜厚係数 k		λ ₀ (nm)	基板加熱 温度	成膜条件
基材	M-TAFD305	—	1.5314	—	—		550	—	成膜中真空度
第1層	SiO ₂	L	1.4638	104.29	x1	1.110	550	無加熱	約5.0 × 10 ⁻¹ (Pa)
媒質	空気	—	1.0000	—	—		550	—	—

[図22]



(a)

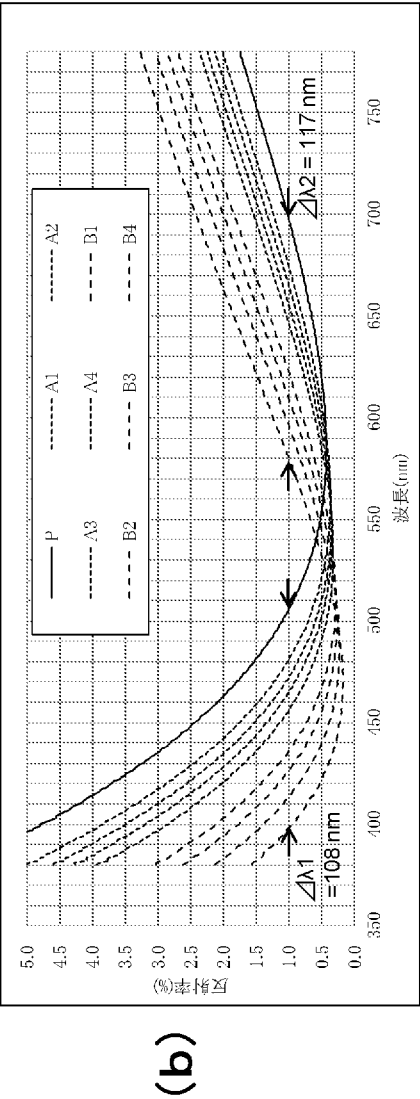
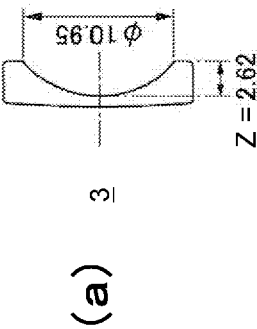


(b)

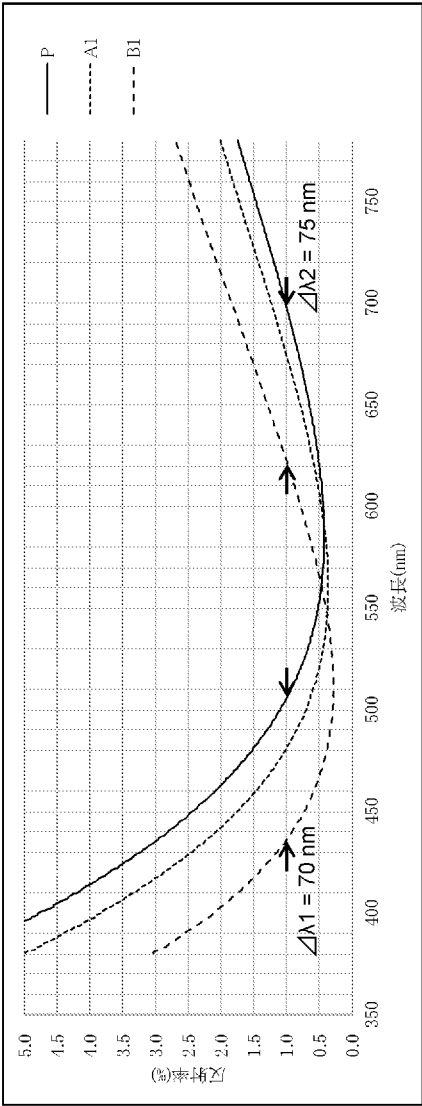
[図23]

比較例 1										
基板: M-TAFD305、膜構成: Sub/x1・L/Air						成膜条件				
	構成材料		屈折率 n		物理膜厚 d (nm)	光学的膜厚係数 k	λ ₀ (nm)	基板加熱温度		成膜中真空度
基材	M-TAFD305		-	1.8559	-	-	550	-		-
第1層	SiO ₂		L	1.4714	98.0350	x1	550	約250℃		約1.5 × 10 ⁻³ Pa
膜質	空氣		-	1.0000	-	-	550	-		-

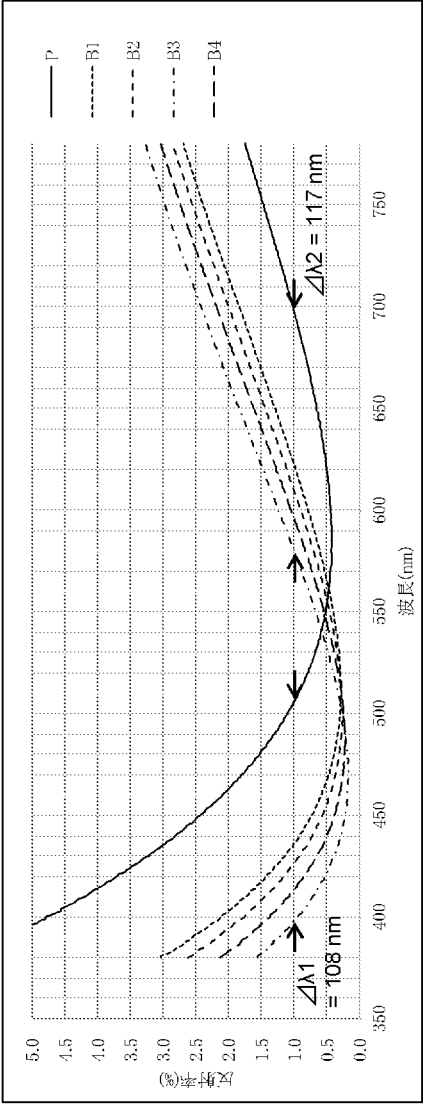
[図24]



[図25]



(a)



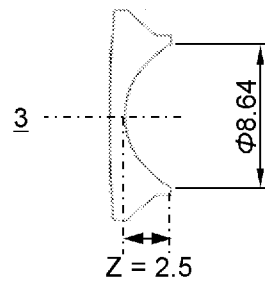
(b)

[図26]

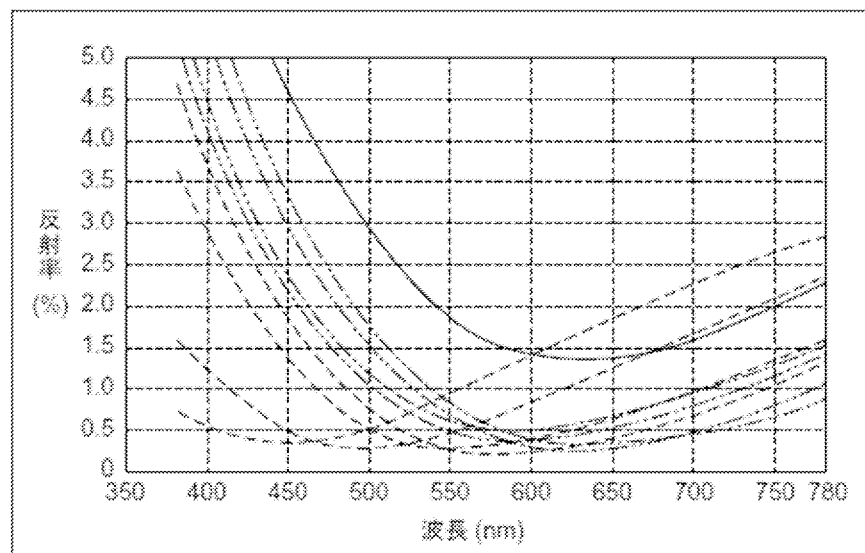
比較例2						
基板:M-TAFD305, 膜構成:Sub/x1L/Air						
膜構成						
	構成材料	屈折率n		物理膜厚 d(nm)	光学的膜厚係数 k	λ_0 (nm)
基材	M-TAFD305	—	1.8559	—	—	550
第1層	SiO ₂	L	1.4638	104.29	x1	550
媒質	空氣	—	1.0000	—	—	550

[図27]

(a)

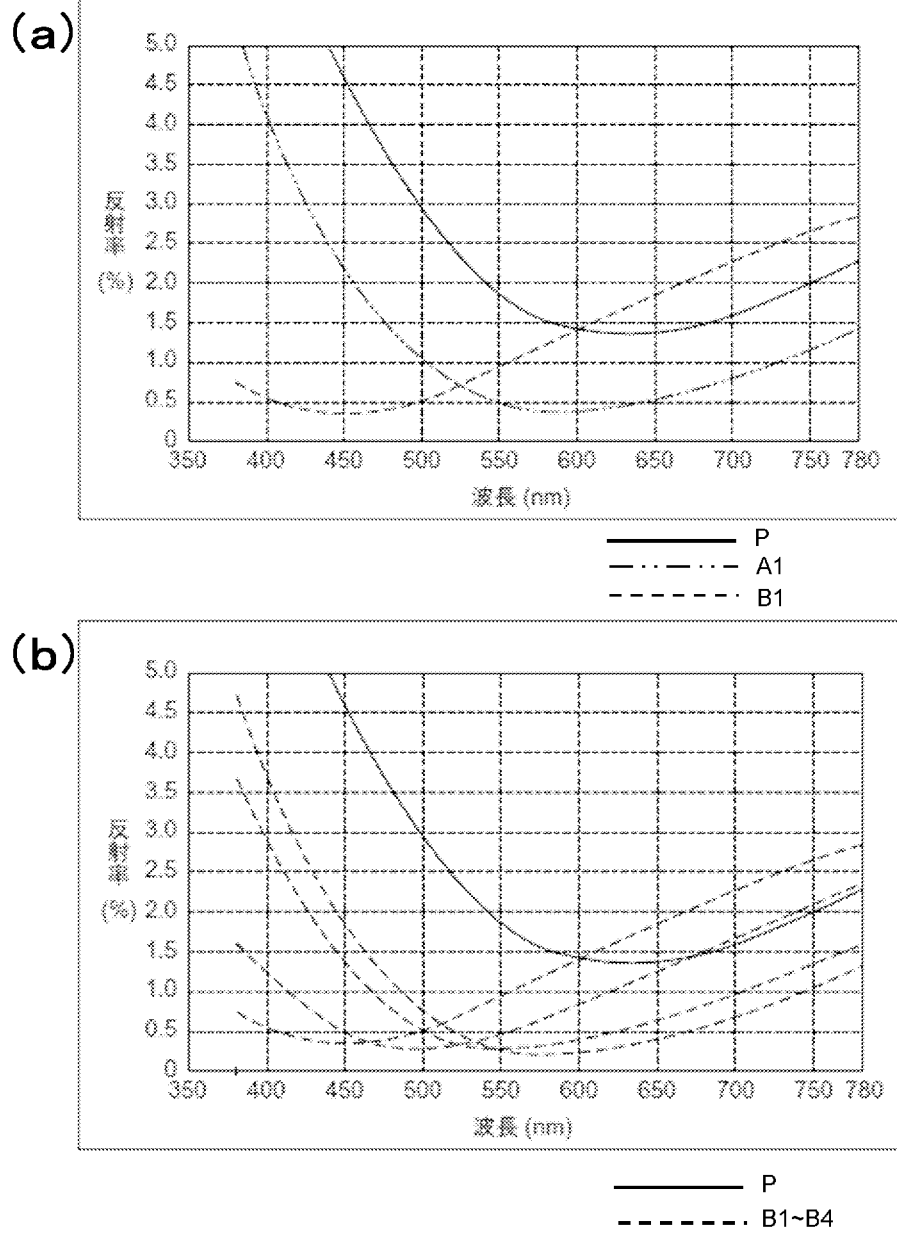


(b)



— P
- - - A1~A4
- - - B1~B4

[図28]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 012 / 084172

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23C1 4/34 (2006.01)i, G02B1 / 11 (2006.01)i, G02B3/02 (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)

C23C14/34, G02B1/11, G02B3/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo	Shinan	Koho	1922-1 996	Jitsuyo	Shinan	Toroku	Koho	1996-2013
Kokai	Jitsuyo	Shinan	1971-2013	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2013

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	JP 2004-35941 A (Koni ca Minol ta Hol dings , Inc.), 05 February 2004 (05.02.2004), paragraph s [0145] to [0151] ; fig . 9 (Fami ly : none)	1- 5 , 7 5, 8
Y	JP 2000-156486 A (Mat sushita El ectri c Indus trial Co ., Ltd .), 06 June 2000 (06.06.2000), paragraph [0026] (Fami ly : none)	6
Y	JP 2009-282219 A (Toppan Printi ng Co ., Ltd .), 03 De cember 2009 (03.12.2009), paragraph s [0009] , [0045] (Fami ly : none)	8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" 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
08 March , 2013 (08.03.13)Date of mailing of the international search report
19 March , 2013 (19.03.13)Name and mailing address of the ISA/
Japan ese Patent Of f i ce

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

C (Continuation).			DOCUMENTS	CONSIDERED	T O B E R E L E V A N T
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages				Relevant to claim No.
Y A	J P 2 0 0 4 - 7 0 3 0 1 A (Koni c a M i n o l t a H o l d i n g s , I n c .) , 0 4 March 2 0 0 4 (0 4 . 0 3 . 2 0 0 4) , paragraph [0 0 7 5] & U S 2 0 0 3 / 0 2 2 8 4 1 3 A I				9 - 1 1 , 1 3 , 1 4 1 2
Y A	J P 2 0 0 2 - 2 4 9 8 7 2 A (Murata Mfg . C o . , L t d .) , 0 6 Septembe r 2 0 0 2 (0 6 . 0 9 . 2 0 0 2) , paragraph s [0 0 3 1] t o [0 0 4 2] (F a m i l y : n o n e)				9 - 1 1 , 1 3 , 1 4 1 2
Y	JP 2 02-642_5 A (Kurt . Barth , 2 February 2 2 (28. 2002), paragraph [5] & US 6423565 B1 & US 2 0 0 5 - 2 9 - 1 & US 2005/015 9_ A1 & EP 1 6 A2				1 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 0 1 2 / 0 8 4 1 7 2

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:
See extra sheet .

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.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2 012/084172

Continuation of Box No. I II of continuation of first sheet (2)

The optical thin film information device which is the invention in claim 9 is not necessarily a device for producing the optical element of the invention in claim 1, and the optical element of the invention in claim 1 is not necessarily produced by means of the optical thin film information device which is the invention in claim 9. Therefore, the invention in claim 1 and the invention in claim 9 do not have the same or corresponding special technical features. Additionally, the following two inventions (groups) are included in the claims -

Invention 1: The invention related to claims 1-8

Invention 2: The invention related to claims 9-14

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 , G02B1/11 (2006. 01) i , G02B3/02 (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. C23C14/34, G02B1/11, G02B3/02

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
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0

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)
8 年

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	JP 2004-35941 A (コニカミノルタホールディングス株式会社) 2004. 02. 05, 【0 1 4 5】—【0 1 5 1】, 図 9】 (ファミリーなし)	1-5 , 7 6 , 8
Y	JP 2000-156486 A (松下電器産業株式会社) 2000. 06. 06, 【0 0 2 6】 (ファミリーなし)	6
Y	JP 2009-282219 A (凸版印刷株式会社) 2009. 12. 03, 【0 0 0 9】, 【0 0 4 5】 (ファミリーなし)	8

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

IA 「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」

IE 「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」

「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)」

IΘ 「口頭による開示、使用、展示等に言及する文献」

IP 「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」

IY 「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」

I& 「同一パテントファミリー文献」

国際調査を完了した日

0 8 . 0 3 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 3 . 2 0 1 3

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)

井海田 隆

電話番号 0 3 — 3 5 8 1 — 1 1 0 1 内線 3 2 7 1

2 0

3 2 1 2

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 A	JP 2004-70301 A (コニカ ミノルタホールディングス株式会社) 2004. 03. 04, 【 0 7 5 】 & US 2003/0228413 AI	9--11 , 13 , 14 12
Y A	JP 2002-249872 A (株式会社村 田製作所) 2002. 09. 06, 【 0 3 1 】 - 【 0 0 4 2 】 (フアミリーなし)	9--11 , 13 , 14 12
Y	JP 2002-64215 A (カート エル. パース) 2002. 02. 28 , 【 0 5 3 】 & US 6423565 BI & US 2003/0129810 AI & US 2005/0158891 AI & EP 1160880 A2	14

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の国際調査機関は認めた。

請求項 9 に係る発明である光学薄膜形成装置は必ずしも請求項 1 に係る発明の光学素子を作成するためのものではないし、請求項 1 に係る発明の光学素子は必ずしも請求項 9 に係る発明である光学薄膜形成装置によって作成されたものではない。よって、請求項 1 に係る発明と請求項 9 に係る発明は、同一の又は対応する特別な技術的特徴を有しない。そして、請求の範囲には以下に示す 2 の発明 (群) が含まれる。

(発明 1) 請求項 1 - 8 に係る発明

(発明 2) 請求項 9 - 14 に係る発明

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ため、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ため、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。