

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7701708号
(P7701708)

(45)発行日 令和7年7月2日(2025.7.2)

(24)登録日 令和7年6月24日(2025.6.24)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 5/00 (2006.01)

G 0 2 B 5/00 A

C 2 3 C 14/14 (2006.01)

C 2 3 C 14/14 D

請求項の数 8 (全24頁)

(21)出願番号	特願2020-141137(P2020-141137)	(73)特許権者	000219738
(22)出願日	令和2年8月24日(2020.8.24)		東海光学株式会社
(65)公開番号	特開2022-36766(P2022-36766A)		愛知県岡崎市恵田町字下田 5 番地 2 6
(43)公開日	令和4年3月8日(2022.3.8)	(74)代理人	100078721
審査請求日	令和5年6月23日(2023.6.23)		弁理士 石田 喜樹
前置審査		(74)代理人	100124420
			弁理士 園田 清隆
		(72)発明者	西本 圭司
			愛知県岡崎市恵田町字下田 5 番地 2 6
			東海光学株式会社内
		(72)発明者	吉田 拓郎
			愛知県岡崎市恵田町字下田 5 番地 2 6
			東海光学株式会社内
		審査官	吉川 陽吾

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 N Dフィルタ及びN Dフィルタの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
前記基板の 1 以上の面である成膜面の側に配置される光学膜と、
を備えており、
前記光学膜は、T i とN b との混合物から成る光吸収層を、3 層含んでおり、
各前記光吸収層の物理膜厚は、何れも 3 . 2 n m 以上 7 . 6 n m 以下である
ことを特徴とする N D フィルタ。

【請求項 2】

基板と、
前記基板の 1 以上の面である成膜面の側に配置される光学膜と、
を備えており、
前記光学膜は、T i とN b との混合物から成る光吸収層を、4 層含んでおり、
各前記光吸収層の物理膜厚は、何れも 3 . 9 n m 以上 3 9 . 5 n m 以下である
ことを特徴とする N D フィルタ。

【請求項 3】

前記光学膜は、誘電体から成る誘電体層を含んでいる
ことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2に記載の N D フィルタ。

【請求項 4】

前記光吸収層における T i とN b との元素数比は、T i : N b = 1 5 : 8 5 ~ 7 5 : 2

5 の範囲内とされている

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 の何れかに記載の ND フィルタ。

【請求項 5】

基板を置いた成膜室内で Ti と Nb とを同時にスパッタすることで、Ti と Nb との混合物から成る光吸収層を、前記基板に、3 層、各物理膜厚が何れも 3 . 2 nm 以上 7 . 6 nm 以下である状態で形成する

ことを特徴とする ND フィルタの製造方法。

【請求項 6】

基板を置いた成膜室内で Ti と Nb とを同時にスパッタすることで、Ti と Nb との混合物から成る光吸収層を、前記基板に、4 層、各物理膜厚が何れも 3 . 9 nm 以上 3 9 . 5 nm 以下である状態で形成する

ことを特徴とする ND フィルタの製造方法。

【請求項 7】

前記光吸収層における Ti と Nb との元素数比が、Ti のターゲットにおける成膜室内での露出面の面積と、Nb のターゲットにおける成膜室内での露出面の面積との比率によって制御される

ことを特徴とする請求項 5 又は請求項 6 に記載の ND フィルタの製造方法。

【請求項 8】

Ti のターゲットと Nb のターゲットとが結合された Ti + Nb 用ターゲットをターゲットとして、前記光吸収層が形成される

ことを特徴とする請求項 5 から請求項 7 の何れかに記載の ND フィルタの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ND (Neutral Density) フィルタ、及び ND フィルタの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

可視域内で光の透過率の分布が平坦である ND フィルタとして、特許第 4 6 2 3 3 4 9 号公報 (特許文献 1) に記載されたものが知られている。

この ND フィルタ (第 1 の実施の形態 , [0 0 1 5] 以下 , 図 1) は、ハードコート層付き基板の上に光学多層体を有している。光学多層体において、基板側から 1 , 3 層目が Nb 層とされ、2 , 4 層目が SiO₂ 層とされている。Nb 層は、[0 0 2 3] に記載される通り、DC スパッタリング法により形成される。

この第 1 の実施の形態に対し、ハードコート層に代えて密着層としての Si 層を配置した実施例 1 では ([0 0 4 8] 以下 , 図 6)、4 0 0 nm (ナノメートル) 以上 7 0 0 nm 以下の波長域において、透過率分布が平坦であり、反射率が 1 . 9 % 程度となっている。

【0003】

又、同様な ND フィルタとして、特開 2 0 0 4 - 2 9 5 0 1 5 号公報 (特許文献 2) に記載されたものが知られている。

この ND フィルタ (実施の形態 , 図 1 (B)) は、透明基板上に第一の光学フィルムを備えている。第一の光学フィルムにおいて、基板側から 1 , 5 層目が SiO₂ 層とされ、3 層目が Al₂O₃ 層とされ、2 , 4 層目が Ti + TiO_x 層とされている。この第一の光学フィルムの各層は、[0 0 1 6] 以下に記載される通り、真空蒸着により形成される。特に Ti + TiO_x 層は、真空蒸着により、Ti に対する酸素の反応度合、即ち x の値に係る制御が比較的容易である。これに対し、仮に第一の光学フィルムをスパッタリングにより形成することを考えたとしても、スパッタリングでは Ti に対する酸素の反応性が高いため、x の値の制御が困難である。よって、Ti + TiO_x 層を含む第一の光学フィルムの形成に、スパッタリングを用いることはできない。

又、[0 0 1 5] において、この ND フィルタの光吸収膜の金属材料の変更例として、

10

20

30

40

50

Tiに代えて、Cr、Nb、Ni、NiCr、NiFe及びこれらの混合物から選択された金属が挙げられている。しかし、変更例として、TiとNbとの混合物は、挙げられておらず、当該混合物の層の構成及び形成といった具体例は全く示されていない。

【0004】

更に、同様なNDフィルタとして、特許第4981456号公報（特許文献3）に記載されたものが知られている。

このNDフィルタ（NbO_xの実施例，[0045]，図13）の膜は、全11層であり、基板側から数えて奇数層目がSiO₂層とされ、偶数層目がNbO_x層とされている。NbO_x層は、上述のTiO_xの場合と同様に、スパッタリングではなく、蒸着で形成される。このNDフィルタの400nm以上700nm以下の波長域での透過率は平坦であり、反射率分布は最大4～5%となっている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特許第4623349号公報

【文献】特開2004-295015号公報

【文献】特許第4981456号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

20

上述の各NDフィルタでは、可視域の光に対する反射率に低減の余地があり、特に特許文献1に係る1.9%程度を下回る反射率の確保、即ちより優れた反射防止性能の確保が求められている。

又、上述の各NDフィルタにおいて、層の材質を維持したまま、現実的なコストの範囲内で、可視域の透過率分布の平坦性と反射率の低減とを両立することは、困難である。

【0007】

そこで、本発明の主な目的は、可視域等の特定波長域における透過率分布の平坦性と反射防止性能とがより高い水準で両立したNDフィルタ、NDフィルタの製造方法を提供することである。

又、本発明の他の主な目的は、製造コストの低いNDフィルタ、NDフィルタの製造方法を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項1に記載の発明は、NDフィルタにおいて、基板と、前記基板の1以上の面である成膜面の側に配置される光学膜と、を備えており、前記光学膜は、TiとNbとの混合物から成る光吸収層を、3層含んでおり、各前記光吸収層の物理膜厚は、何れも3.2nm以上7.6nm以下であることを特徴とするものである。

請求項2に記載の発明は、NDフィルタにおいて、基板と、前記基板の1以上の面である成膜面の側に配置される光学膜と、を備えており、前記光学膜は、TiとNbとの混合物から成る光吸収層を、4層含んでおり、各前記光吸収層の物理膜厚は、何れも3.9nm以上39.5nm以下であることを特徴とするものである。

40

請求項3に記載の発明は、上記発明において、前記光学膜は、誘電体から成る誘電体層を含んでいることを特徴とするものである。

請求項4に記載の発明は、上記発明において、前記光吸収層におけるTiとNbとの元素数比は、Ti：Nb = 15：85～75：25の範囲内とされていることを特徴とするものである。

【0009】

請求項5に記載の発明は、NDフィルタの製造方法において、基板を置いた成膜室内でTiとNbとを同時にスパッタすることで、TiとNbとの混合物から成る光吸収層を、前記基板に、3層、各物理膜厚が何れも3.2nm以上7.6nm以下である状態で形成す

50

ることを特徴とするものである。

請求項 6 に記載の発明は、ND フィルタの製造方法において、基板を置いた成膜室内で Ti と Nb とを同時にスパッタすることで、Ti と Nb との混合物から成る光吸収層を、前記基板に、4 層、各物理膜厚が何れも 3.9 nm 以上 39.5 nm 以下である状態で形成することを特徴とするものである。

請求項 7 に記載の発明は、上記発明において、前記光吸収層における Ti と Nb との元素数比が、Ti のターゲットにおける成膜室内での露出面の面積と、Nb のターゲットにおける成膜室内での露出面の面積との比率によって制御されることを特徴とするものである。
請求項 8 に記載の発明は、上記発明において、Ti のターゲットと Nb のターゲットとが結合された Ti + Nb 用ターゲットをターゲットとして、前記光吸収層が形成されることを特徴とするものである。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明の主な効果は、可視域等の特定波長域における透過率分布の平坦性と反射防止性能とがより高い水準で両立した ND フィルタ、ND フィルタの製造方法が提供されることである。

又、本発明の他の主な効果は、製造コストの低い ND フィルタ、ND フィルタの製造方法が提供されることである。

【図面の簡単な説明】

【0011】

20

【図 1】本発明に係る ND フィルタの模式的な横断面図である。

【図 2】Ti 単体から成る層である Ti 層、及び Nb 単体から成る層である Nb 層における、光学定数のうちの屈折率の分布（約 300 nm 以上 900 nm 以下の波長域内）がそれぞれ示されたグラフである。

【図 3】Ti 層及び Nb 層における、光学定数のうちの消衰係数の分布（同波長域内）がそれぞれ示されたグラフである。

【図 4】ND フィルタの製造装置の模式的な上面図である。

【図 5】図 2 の動作例のフローチャートである。

【図 6】(A) は、Ti + Nb 用ターゲットに係るドラム側の面の模式図であり、(B) は、別の Ti + Nb 用ターゲットに係るドラム側の面の模式図である。

30

【図 7】各実施例及び各比較例に係る基板の光学定数（屈折率及び消衰係数）が示されるグラフである。

【図 8】実施例 1 における特定波長域及び隣接域（380 nm 以上 750 nm 以下）での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 9】実施例 2 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 10】実施例 3 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 11】実施例 4 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

40

【図 12】比較例 1 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 13】比較例 2 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 14】Ti + Nb 層における Ti の元素比率（Ti 比率，％）を横軸とし、特定波長域（400 nm 以上 700 nm 以下）での透過率の幅 ΔT を縦軸とした平面に、実施例 1 ~ 4 及び比較例 1 ~ 2 についてプロットしたグラフである。

【図 15】実施例 5 における特定波長域及び隣接域（380 nm 以上 750 nm 以下）での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 16】実施例 6 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係る

50

グラフである。

【図 17】実施例 7 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 18】実施例 8 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 19】比較例 3 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 20】比較例 4 における同波長域での透過率並びに表面反射率及び界面反射率に係るグラフである。

【図 21】 $T_i + N_b$ 層における T_i の元素比率 (T_i 比率, %) を横軸とし、特定波長域 (400 nm 以上 700 nm 以下) での透過率の幅 ΔT を縦軸とした平面に、実施例 5 ~ 8 及び比較例 3 ~ 4 についてプロットしたグラフである。

10

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明に係る実施の形態の例が、適宜図面を用いて説明される。

尚、本発明は、以下の例に限定されない。

【0013】

ND フィルタの構成等

本発明に係る ND フィルタは、特定波長域内の光に係る透過率の分布が平坦であるフィルタであり、当該光をほぼ均一に透過するものである。例えば、当該波長域内で透過率 [%] の最大値と最小値の差が好ましくは 15 ポイント以内であり、より好ましくは 10 ポイント以内であり、更に好ましくは 5 ポイント以内である。

20

特定波長域として、例えば可視域あるいは可視域内の波長域が挙げられる。可視域あるいは可視域内の波長域は、例えば何れも 400 nm 以上 700 nm 以下であり、その下限は、380 nm、390 nm、410 nm あるいは 420 nm 等とされても良いし、その上限は、760 nm、あるいは 780 nm、800 nm 等とされても良い。可視域と可視域内の波長域とが一致していなくても良い。

又、特定波長域は、可視域に代えて、あるいは可視域と共に、紫外域あるいは赤外域に属するものとされても良いし、これらの組合せに属するものとされても良い。

以下では、均一に透過する対象としての特定波長域が 400 nm 以上 700 nm 以下であるものとして説明がなされる。尚、この説明により、特定波長域が 400 nm 以上 700 nm 以下に限定されるものではない。

30

【0014】

図 1 に例示されるように、本発明に係る ND フィルタ 1 は、基板 2 と、光学膜 4 とを有する。

光学膜 4 は、基板 2 の成膜面に対し形成される。成膜面は、基板 2 の片面である。尚、成膜面は、基板 2 の両面であっても良い。光学膜 4 が基板 2 の両面に形成される場合、各面の光学膜 4 の構成は、互いに同一でも異なっても良いところ、好ましくは、当該構成は互いに同一とされる。又、一方の面に本発明に係る光学膜 4 が形成され、他方の面に本発明に属さない光学多層膜あるいは光学単層膜が形成されても良い。

40

【0015】

基板 2 は、透明 (半透明を適宜含む) であれば、ポリカーボネイト等の樹脂、あるいはガラスを始めとしていかなる材質であっても良いところ、好ましくはアルカリ元素を含んだガラスであり、より好ましくは強化ガラスであり、例えば化学強化ガラスである。

強化ガラス製の基板 2 は、表面に圧縮応力層が形成されているので、表面にクラックが生じたとしても、圧縮応力によりクラックの成長が抑制され、通常の (強化処理されていない) ガラス製の基板 2 よりも衝撃に強い。

又、基板 2 は、好ましくは巻き取り不能であり、ロール化不能であるものが好ましい。塑性変形を生じない限り巻き取れない程度に柔軟でない基板であれば、光学膜 4 等がより一層安定して形成され、ND フィルタ 1 がより一層頑丈になる。

50

【 0 0 1 6 】

光学膜 4 は、1 あるいは複数の層を含む膜であり、特定波長域の光（特定光）を吸収する光吸収層 1 0 を 1 以上備えていて、特定光の均一な透過（ND）を実現する機能を具備する。

光学膜 4 は、複数の層を含む場合、光学多層膜となる。

尚、光学膜 4 より基板側及び空気側の少なくとも一方において、ハードコート膜、防汚膜、反射防止膜、及び導電膜の少なくとも何れか等といった他の 1 以上の膜が付与されても良い。又、これらハードコート膜、導電性膜等は、光学膜 4 に含まれるものとして扱われても良い。

【 0 0 1 7 】

光吸収層 1 0 は、それぞれ金属である Ti（チタン）と Nb（ニオブ）との混合物製である。即ち、光学膜 4 は、Ti と Nb との混合物（Ti + Nb）から成る層である光吸収層 1 0 を含んでいる。

光吸収層 1 0 における Ti と Nb との比率は、どのようなものであっても良いところ、好ましくは元素数比で Ti : Nb = 1 5 : 8 5（Ti の元素数比率 1 5 % 以上）から 7 5 : 1 5（同 7 5 % 以下）である。

光吸収層 1 0 は、蒸着あるいはスパッタリング等により形成され、好ましくはスパッタリングにより形成される。

尚、光学膜 4 において、Ti + Nb 以外の光吸収層が 1 以上含まれていても良い。

【 0 0 1 8 】

可視光の均一な透過のための吸収については、吸収 [%] が簡易的に「1 0 0 -（透過率 [%] + 反射率 [%]）」で表されることから、可視域における分光透過率分布及び分光反射率分布の少なくとも一方が平坦であることによって把握することができ、反射率が小さい場合には分光透過率分布が平坦であることによって把握することができる。吸収の平坦性については、吸収の最大値と最小値の差で評価され、分光透過率分布の平坦性については、透過率の最大値と最小値の差で評価され、いずれも差が小さいほど平坦性が高い。高い平坦性は、均一な減光をもたらすものとしてニーズが存在する。

又、例えば ND フィルタ 1 付きのカメラの撮像素子で利用する光は、ND フィルタ 1 の透過光であるところ、ND フィルタ 1 における反射光は、撮像素子及び光学系におけるノイズの原因となるから、ND フィルタ 1 の反射率をなるべく低減する要請がある。

尚、ND フィルタ 1 全体として所望の透過率を実現するため、光吸収層 1 0 による可視光の吸収は、光学膜 4 の他の層若しくは他の膜又は基板 2 における吸収、透過率、反射率の分布に応じた分布とされて良い。

【 0 0 1 9 】

図 2 は、Ti 単体から成る層である Ti 層、及び Nb 単体から成る層である Nb 層における、光学定数のうちの屈折率の分布（約 3 0 0 nm 以上 9 0 0 nm 以下の波長域内）がそれぞれ示されたグラフである。

図 3 は、Ti 層及び Nb 層における、光学定数のうちの消衰係数の分布（同波長域内）がそれぞれ示されたグラフである。

Ti + Nb から成る Ti + Nb 層では、元素数比で Ti : Nb = 5 0 : 5 0 の場合、屈折率の分布が、Ti 層の分布と Nb 層の分布を平均化したものとなり、消衰係数の分布も同様になる。そして、元素数比で Ti が Nb に勝った分、屈折率及び消衰係数の各分布は、Ti : Nb = 5 0 : 5 0 の場合から Ti 層の分布に寄った分布となり、元素数比で Ti が Nb に劣った分、屈折率及び消衰係数の各分布は、Ti : Nb = 5 0 : 5 0 の場合から Nb 層の分布に寄った分布となる。

Ti 層では、特定波長域における光学定数の傾向により、透過率が、特定波長域の短波長側で、長波長側より上昇する。

Nb 層では、特定波長域における光学定数の傾向により、透過率が、特定波長域の短波長側で、長波長側より減少する。

Ti + Nb 層では、Ti 層、Nb 層の透過率の増減傾向が、互いに反対の傾向を持つ T

10

20

30

40

50

i 及び Nb の混合により緩和され、透過率分布が平坦に近づくこととなる。本発明の光吸収層 10 は、かような Ti + Nb の性質を利用している。

【0020】

更に、光学膜 4 は、低屈折率材料製の低屈折率層 12 を 1 以上有していても良い。かような低屈折率材料としては、酸化シリコン（特に SiO_2 ）が例示される。又、低屈折率材料として、他の誘電体材料、あるいは金属材料若しくは金属酸化物材料が用いられても良い。好ましくは、低屈折率層 12 は、誘電体製の誘電体層である。

光学膜 4（光学多層膜）における低屈折率層 12 及び光吸収層 10 は、好ましくは交互に配置される。かような光学膜 4 における層の数は、特に限定されない。光吸収層 10 は、殆どの誘電体材料より屈折率が高いことから、主に高屈折率層として取り扱える。光学膜 4 における最も基板側の層（基板に最も近い層）を 1 層目とした場合、1 層目が低屈折率層 12 とされても良いし光吸収層 10 とされても良いところ、好ましくは奇数層目が低屈折率層 12 であり、偶数層目が光吸収層 10 である。1 層目が低屈折率層 12 であれば、2 層目の光吸収層 10 が基板 2 側の面に直接成膜されず、基板 2 側の面は低屈折率層 12 と接触することとなり、光学膜 4 の密着性がより良好になる。

【0021】

又、光学膜 4 は、光吸収層 10 以外の高屈折率層を 1 以上有していても良い。高屈折率層は、高屈折率材料から形成されている。かような高屈折率材料としては、例えば誘電体材料、あるいは金属材料若しくは金属酸化物材料が挙げられ、より具体的な例として、酸化ジルコニウム（特に ZrO_2 ）、酸化チタン（特に TiO_2 ）、酸化タンタル（特に Ta_2O_5 ）、酸化ニオブ（特に Nb_2O_5 ）、窒化ケイ素（特に SiN_x , Si_3N_4 ）、酸化ハフニウム（特に HfO_2 ）の少なくとも何れかが挙げられる。光学膜 4 の作製の容易性（製造装置の簡略化）の観点から、高屈折率材料と光吸収層 10 の材料とに共通する部分が存在すること（例えば Nb_2O_5 と Nb）は、好ましい。同様に、低屈折率材料と高屈折率材料とに共通する部分が存在すること（例えば SiO_2 と SiN_x ）は、好ましい。

尚、光学膜 4 において、複数種類の高屈折率層が含まれていても良く、低屈折率層においても同様である。

【0022】

かような光学膜 4 が配置された基板 2 を含む ND フィルタ 1 は、好適にはカメラ用とされる。

カメラ用 ND フィルタは、カメラのレンズの前等に後付けされるものであっても良いし、カメラの光学系に組み込まれた（カメラに内蔵された）ものであっても良い。

又、カメラ用 ND フィルタは、車載カメラ用であっても良いし、警備カメラ用であっても良いし、医療機器付属のカメラ用であっても良い。

【0023】

このように、本発明の ND フィルタ 1 は、基板 2 と、基板 2 の 1 以上の面である成膜面の側に配置される（基板 2 の成膜面に対し直接配置されても良いし中間膜を介して間接的に配置されても良い）光学膜 4 と、を備えており、光学膜 4 は、Ti と Nb との混合物（Ti + Nb）から成る光吸収層 10 を含んでいる。よって、Ti 及び Nb の各光学特性が平均化された Ti + Nb により光吸収層 10 が形成され、透過率分布の平坦性と反射防止性能とが高い水準で両立した ND フィルタ 1 が提供される。

又、光学膜 4 は、誘電体から成る誘電体層としての低屈折率層 12 を含んでいる。よって、ND フィルタ 1 は、光吸収層 10 と低屈折率層 12 との交互膜となり、透過率分布の平坦性と反射防止性能とが更に高い水準で両立したものとなる。

【0024】

ND フィルタの製造装置等

次いで、上述の ND フィルタ 1 を製造する装置の実施形態が、説明される。

尚、本発明に係る ND フィルタ 1 の製造装置は、以下の形態に限定されない。

【0025】

図 4 は、当該形態に係る製造装置 101 の模式的な上面図である。

製造装置 101 は、ドラム型スパッタ成膜装置（カルーセル型スパッタリング装置）であり、1 以上の基板 2 の片面に光学膜 4 を成膜するものである。

製造装置 101 は、成膜室としての真空室 102 と、その中央部において自身の軸周りで回転可能に配置された円筒状のドラム 104 と、を備えている。ドラム 104 の外周円筒面には、成膜対象としての基板 2 が、成膜面を外側に向けた状態で保持されている。

【0026】

真空室 102 の一面には、第 1 スパッタ源 110 が配置されている。

第 1 スパッタ源 110 は、第 1 ターゲット T1 をセットするスパッタカソード 112 と、一对の防着板 114 と、スパッタガスが適宜流量調整のうえで導入されるスパッタガス導入口 116 と、を備えている。

スパッタカソード 112 は、外部直流電源（図示略）と接続されている。

防着板 114 は、第 1 ターゲット T1 とこれに対向するドラム 104 の部分との間を、他の真空室 102 の内部部分から区切るように配置されている。

スパッタガス導入口 116 は、防着板 114 によって区切られた空間へ向けてスパッタガスを流す。

【0027】

真空室 102 の別の一面には、第 2 スパッタ源 120 が配置されている。

第 2 スパッタ源 120 は、第 1 スパッタ源 110 と同様に、第 2 ターゲット T2 をセットするスパッタカソード 122 と、一对の防着板 124 と、スパッタガス導入口 126 と、を備えている。

【0028】

更に、真空室 102 の他の一面には、ラジカル源 130 が配置されている。

ラジカル源 130 は、ガスをバルブ 132 により流量調整のうえで導入可能なラジカルガス導入口 134 と、加速電圧用電源（図示略）により電圧が印加されることでプラズマを発生可能なガン 136 と、を有する。

ラジカルガス導入口 134 から真空室 102 の内部に導入されたガスは、ガン 136 が発生したプラズマによりラジカル化し、基板 2 に向かってビーム状に照射される。

【0029】

加えて、ラジカル源 130 の両脇には、排気部 140 が設けられている。各排気部 140 では、真空室 102 内の排気が行われる。

尚、第 1 スパッタ源 110、第 2 スパッタ源 120、ラジカル源 130 及び各排気部 140 の少なくとも何れかの配置、及び設置数は、上述のものに限定されない。

【0030】

製造装置 101 の動作例（ND フィルタ 1 の製造方法の例）について、光吸収層 10 が Ti + Nb 層であり、更に SiO₂ 層の低屈折率層 12 が基板 2 から数えて奇数層目に設けられる場合が、主に図 5 に基づいて説明される。

まず、基板 2 がドラム 104 にセットされると共に、第 1 ターゲット T1 として Ti + Nb 用ターゲット T T a 又は Ti + Nb 用ターゲット T T b 等がセットされ、第 2 ターゲット T2 として Si がセットされる（ステップ S1）。

図 6（A）は、Ti + Nb 用ターゲット T T a に係るドラム 104 に対向する面の模式図である。Ti + Nb 用ターゲット T T a は、Ti から成る Ti のターゲットとしての Ti 部 150 a と、Nb から成る Nb のターゲットとしての Nb 部 152 a と、を有する。Ti 部 150 a 及び Nb 部 152 a は、何れもブロック状であり、ドラム 104 の円筒面に対する仮想的な接線方向（接線方向）に並んだ状態で結合されている。Ti 部 150 a 及び Nb 部 152 a の上下方向の大きさ（高さ）は、同じである。そして、Ti + Nb 用ターゲット T T a では、Ti 部 150 a の接線方向の大きさ（幅）は、Nb 部 152 a の幅と同じとされており、Ti 部 150 a の幅 : Nb 部 152 a の幅 = 50 : 50 となっている。これに、Ti 部 150 a の高さ及び Nb 部 152 a の高さが等しいことを加味すると、Ti 部 150 a のドラム 104 対向面の面積 : Nb 部 152 a のドラム 104 対向面の面積 = 50 : 50 となる。Ti 部 150 a のドラム 104 対向面（ドラム 104 側の

10

20

30

40

50

面)は、Tiのターゲットにおける真空室102での露出面であり、Nb部152aのドラム104対向面(ドラム104側の面)は、Nbのターゲットにおける真空室102での露出面である。

図6(B)は、Ti+Nb用ターゲットTTbに係るドラム104に対向する面の模式図である。Ti+Nb用ターゲットTTbは、Tiから成るTi部150bと、Nbから成るNb部152bと、を有する。Ti部150bは、幅を除き、Ti部150aと同様に成り、Nb部152bは、幅を除き、Nb部152aと同様に成る。Ti+Nb用ターゲットTTbでは、Ti部150bの幅:Nb部152bの幅=70:30となっており、Ti部150bのドラム104対向面の面積:Nb部152bのドラム104対向面の面積=70:30となる。Ti部150bのドラム104対向面(ドラム104側の面)は、Tiのターゲットにおける真空室102での露出面であり、Nb部152bのドラム104対向面(ドラム104側の面)は、Nbのターゲットにおける真空室102での露出面である。

10

尚、Ti+Nb用ターゲットTTa, TTbにおける各形状及び各高さの少なくとも一方が、互いに異なっても良い。Ti+Nb用ターゲットTTa, TTb(50:50, 70:30)以外の面積比に係るものが用いられても良い。

【0031】

次に、真空室102の内部が排気される(ステップS2)。

続いて、ドラム104が回転され、ドラム104に保持された基板2が、第1スパッタ源110, 第2スパッタ源120, ラジカル源130の各内側を順次繰り返し高速で通過するようにされる(ステップS3)。

20

次いで、基板2のクリーニングが行われる(ステップS4)。即ち、ラジカル源130のラジカルガス導入口34から酸素(O_2)ガスが導入された状態で、ガン136に高周波電圧が印加されて、ラジカル酸素が生成され、移動している基板2に対して所定時間照射される。かようなラジカル酸素の照射により、基板2表面に有機物等が付着していたとしても、有機物等はラジカル酸素及びプラズマで発生する紫外線によって分解剥離され、基板2の表面がクリーニングされる。かようなクリーニングにより、後に形成する膜の密着性が向上する。

【0032】

続いて、光学膜4が形成される(ステップS5)。動作例の光学膜4において、基板2に接する1層目は SiO_2 層であるため、まず SiO_2 層が、主に第2スパッタ源120及びラジカル源130によるSiの堆積と酸化との繰り返しによって形成される。

30

即ち、ドラム104の回転が維持された状態で、第2スパッタ源120のスパッタガス導入口116から希ガス(ここではArガス)が導入され、スパッタカソード112に直流電圧が印加されることで、第2ターゲットT2表面のSiが、Arによるスパッタにより、基板2の表面上に堆積する。

同時に、ラジカル源130のラジカルガス導入口134から O_2 ガスが導入された状態で、ガン136に高周波電圧が印加されて、ラジカル酸素が生成され、Siの堆積した移動中の基板2に対して照射されて、Siの酸化がなされる。

SiO_2 層の膜厚は、スパッタカソード112への投入電力が一定であり、単位時間当たりの成膜される物理膜厚である成膜レートが一定である場合には、スパッタリングの時間の長短により制御される。よって、所望の膜厚に相当する時間が経過した時点で、スパッタカソード112への電圧印加が停止されて、1層目の SiO_2 層の成膜が完了する。

40

【0033】

次いで、光吸収層10であるTi+Nb層が、主に第1スパッタ源110によるTi及びNbの堆積によって形成される(光吸収層形成ステップ, スパッタリングによるTi+Nb層の形成)。

即ち、ドラム104の回転が維持された状態で、第1スパッタ源110のスパッタガス導入口126から希ガス(ここではArガス)が導入され、スパッタカソード122に直流電圧が印加されることで、第1ターゲットT1表面のTi及びNbが、Arによるスパ

50

ツタにより、基板 2 の表面上に堆積する。ここでは、ラジカル源 130 は、不動作とされる。尚、ドラム 104 の回転は、1 層目の形成後であって 2 層目の形成前等において、一時的に変速されたり一旦停止されたりしても良い。

Ar によるスパッタは、第 1 ターゲット T1 のドラム 104 対向面に、微小でない時間では均等に作用する。よって、第 1 ターゲット T1 として Ti + Nb 用ターゲット TTa が用いられた場合、Ti 部 150a 及び Nb 部 152a の各ドラム 104 対向面の面積比に応じて Ti 及び Nb が出て基板 2 の成膜面に堆積し、即ち光吸収層 10 として元素数比で $Ti : Nb = 50 : 50$ となる Ti + Nb 層が形成される。又、第 1 ターゲット T1 として Ti + Nb 用ターゲット TTb が用いられた場合、同様に光吸収層 10 として元素数比で $Ti : Nb = 70 : 30$ となる Ti + Nb 層が形成される。

10

Ti + Nb 層の膜厚は、SiO₂ 層と同様に時間により制御可能であり、所望の膜厚に相当する時間が経過した時点でスパッタカソード 112 への電圧印加が停止されて、2 層目の Ti + Nb 層の成膜が完了する。

【0034】

そして、同様に SiO₂ 層の成膜と Ti + Nb 層の成膜が適宜繰り返されることにより、光学膜 4 の形成がなされる。SiO₂ 層及び Ti + Nb 層は、基板 2 の成膜面の全体に行き渡る。

光学膜 4 の形成が完了すれば、ドラム 104 が止められ、適宜冷却が行われた後、光学膜 4 付き基板 2、即ち ND フィルタ 1 が取り出される（ステップ S6）。

尚、光学膜 4 の上（外側）に、製造装置 101 あるいは別の装置によって更に防汚膜等が付与されても良い。

20

【0035】

このように、本発明の ND フィルタ 1 の製造方法は、基板 2 を置いた真空室 102 内で Ti と Nb とを同時にスパッタすることで、Ti と Nb との混合物（Ti + Nb）から成る光吸収層 10 を基板 2 に形成するものである。よって、蒸着が困難である Ti + Nb が容易に安定して製造され、特定波長域における透過率分布の平坦性と反射防止性能とがより高い水準で両立した ND フィルタが、製造コストの低い状態で製造される。

又、本発明の ND フィルタ 1 の製造方法において、光吸収層 10 における Ti と Nb との元素数比が、Ti 部 150a、150b 等における真空室 102 内での露出面の面積と、Nb 部 152a、152b 等における真空室 102 内での露出面の面積との比率によって制御される。よって、面積比の調整により、容易に所望の元素比率に係る Ti + Nb が得られ、容易に ND フィルタ 1 の光学特性の微調整が行える。

30

更に、本発明の ND フィルタ 1 の製造方法において、Ti 部 150a、150b 等と Nb 部 152a、152b 等とが結合された Ti + Nb 用ターゲット TTa、TTb 等をターゲットとして、光吸収層 10 が形成される。よって、通常のスパッタリング装置に Ti + Nb 用ターゲット TTa、TTb 等をセットするだけで Ti + Nb 層が形成されることとなり、特定波長域における透過率分布の平坦性と反射防止性能とがより高い水準で両立した ND フィルタが、より一層製造コストの低い状態で製造される。

【実施例】

【0036】

40

次いで、本発明の好適な実施例、及び本発明に属さない比較例が、前段（実施例 1 ~ 4、比較例 1 ~ 2）及び後段（実施例 5 ~ 8、比較例 3 ~ 4）に分けて説明される。

尚、本発明は、以下の実施例に限定されない。又、本発明の捉え方により、下記の実施例が実質的には比較例となったり、下記の比較例が実質的には実施例となったりすることがある。

【0037】

[実施例 1 ~ 4 及び比較例 1 ~ 2]

実施例 1 ~ 4 の構成等

実施例 1 の ND フィルタ 1 は、上述の製造装置 101 により、フラットで透明な白板ガラス製の基板 2（コーニング社製 B270）の片面に、光学膜 4 のみが成膜されることで

50

形成された。この基板 2 の光学定数（屈折率及び消衰係数）が、図 7 に示される。又、光学膜 4 は、次の〔表 1〕に示されるように、基板 2 に最も近い 1 層目が SiO_2 層（低屈折率層 12）とされた状態で、 SiO_2 層が $\text{Ti} + \text{Nb}$ 層（光吸収層 10）と交互に積層された全 7 層の構成を有する。

実施例 1 の光学膜 4 における各層の膜厚は、特定波長域（400 nm 以上 700 nm 以下）において透過率が 25 % 前後となり、且つ特定波長域において表面反射率の最大値が 1 % 以下となり、且つ特定波長域において界面反射率の最大値が 1 % 以下となるように設計された。ここで、表面反射率は、光学膜 4 の空気接触面（最外層の外面）に対し、空気側（外側）から垂直入射（入射角 0° ）する光の反射率であり、界面反射率は、基板 2 と光学膜 4（の 1 層目）との界面に対し、基板 2 側から垂直入射する光の反射率である。これらの設計要素における優先度は、最大表面反射率 1 % 以下及び最大界面反射率 1 % 以下の要素を優位とし、透過率 25 % における平坦性の確保を、当該要素より劣後するようにした。

10

【0038】

より詳しくは、実施例 1 における光学膜 4 の成膜において、真空室 102 の内部は、成膜開始時点で $2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ （パスカル）とされた。

又、ドラム 104 の回転数は、100 rpm（回毎分）とされた。

更に、基板 2 のクリーニングでは、ラジカル源 130 のラジカルガス導入口 134 から酸素（ O_2 ）ガスが 500 sccm（Standard Cubic Centimeter per Minute；毎分 500 ミリリットル）の流量で導入された状態で、ガン 136 に高周波電圧が投入電力 3 kW（キロワット）で印加されて、ラジカル酸素が生成され、移動している基板 2 に対して 30 秒間照射された。

20

製造装置 101 は、室温環境下に置かれ、真空室 102、ドラム 104 及び基板 2 に対する加熱はなされず、ラジカル源 130 等の動作による発熱を加味しても、全工程中における基板 2 の最大温度は 150 であつた。

SiO_2 層の形成時、第 2 スパッタ源 120 のスパッタガス導入口 126 から Ar ガスが 300 sccm で導入され、スパッタカソード 122 に 8 kW の投入電力による直流電圧が印加されることで、第 2 ターゲット T2（純度 99.9 % 以上）の表面の Si が、Ar によるスパッタにより、基板 2 の表面上に堆積した。同時に、ラジカル源 130 のラジカルガス導入口 134 から O_2 ガスが 150 sccm 導入された状態で、ガン 136 に高周波電圧が投入電力 3 kW で印加されて、ラジカル酸素が生成され、Si の堆積した移動中の基板 2 に対して照射されて、Si の酸化がなされた。

30

そして、 $\text{Ti} + \text{Nb}$ 層の形成時、第 1 スパッタ源 110 のスパッタガス導入口 116 から Ar ガスが 300 ccm で導入され、スパッタカソード 112 に 6 kW の投入電力による直流電圧が印加されることで、第 1 ターゲット T1（Ti 及び Nb の各純度 99.9 % 以上）の表面の Ti 及び Nb が、Ar によるスパッタにより、基板 2 の表面上に混合状態で堆積した。ここでは、ラジカル源 130 は、不動作とした。実施例 1 では、第 1 ターゲット T1 として、上述の $\text{Ti} + \text{Nb}$ 用ターゲット T Ta が用いられ、各 $\text{Ti} + \text{Nb}$ 層において、Ti 及び Nb が、元素数比（以下同様）で $\text{Ti} : \text{Nb} = 50 : 50$ となるようにされた。

40

尚、ドラム 104 の回転は、一時的に変速されたり一旦停止されたりしても良い。

【0039】

【表 1】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	197.1
2層目	Ti+Nb	3.3
3層目	SiO ₂	83.6
4層目	Ti+Nb	6.9
5層目	SiO ₂	79.4
6層目	Ti+Nb	6.9
7層目	SiO ₂	76.2

10

【0040】

実施例2のNDフィルタ1は、次の[表2]に示されるように、第1ターゲットT1におけるTi部及びNb部の面積比、及びTi+Nb層の元素数比を除き、実施例1と同様に形成された。実施例2のTi+Nb層は、Ti:Nb=80:20である。

実施例3のNDフィルタ1は、次の[表3]に示されるように、第1ターゲットT1におけるTi部及びNb部の面積比、及びTi+Nb層の元素数比を除き、実施例1と同様に形成された。実施例3のTi+Nb層は、Ti:Nb=20:80である。

実施例4のNDフィルタ1は、次の[表4]に示されるように、第1ターゲットT1におけるTi部及びNb部の面積比、及びTi+Nb層の元素数比を除き、実施例1と同様に形成された。実施例4のTi+Nb層は、Ti:Nb=70:30である。

20

【0041】

【表 2】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	178.9
2層目	Ti+Nb	3.2
3層目	SiO ₂	72.7
4層目	Ti+Nb	6.9
5層目	SiO ₂	72.8
6層目	Ti+Nb	6.1
7層目	SiO ₂	68.9

30

【表 3】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	181.1
2層目	Ti+Nb	3.0
3層目	SiO ₂	81.8
4層目	Ti+Nb	7.6
5層目	SiO ₂	87.8
6層目	Ti+Nb	7.5
7層目	SiO ₂	78.9

40

50

【表 4】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	267.8
2層目	Ti+Nb	3.2
3層目	SiO ₂	79.7
4層目	Ti+Nb	7.4
5層目	SiO ₂	86.6
6層目	Ti+Nb	7.0
7層目	SiO ₂	79.0

10

【 0 0 4 2 】

比較例 1 ～ 2 の構成等

比較例 1 の N D フィルタは、各光吸収層が T i 層とされたことを除き、実施例 1 と同様に形成された。比較例 1 の光学膜の構成は、次の [表 5] に示される。

比較例 2 の N D フィルタは、各光吸収層が N b 層とされたことを除き、実施例 1 と同様に形成された。比較例 2 の光学膜の構成は、次の [表 6] に示される。

【 0 0 4 3 】

【表 5】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	175.1
2層目	Ti	3.1
3層目	SiO ₂	71.0
4層目	Ti	6.7
5層目	SiO ₂	73.5
6層目	Ti	6.0
7層目	SiO ₂	69.4

20

【表 6】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	63.9
2層目	Nb	3.1
3層目	SiO ₂	77.7
4層目	Nb	7.9
5層目	SiO ₂	88.6
6層目	Nb	7.6
7層目	SiO ₂	78.5

30

【 0 0 4 4 】

透過率及び反射率等

図 8 ～ 図 1 3 は、順に、実施例 1 ～ 4 , 比較例 1 ～ 2 における、特定波長域及びその隣接域 (3 8 0 n m 以上 7 5 0 n m 以下) での透過率並びに表面反射率及び界面反射率が示されるグラフである。

これらの図によれば、実施例 1 ～ 4 , 比較例 1 ～ 2 では、何れも、反射率の低減を優先した結果、表面反射率及び界面反射率が特定波長域全域において 1 % 以下となっている。

【 0 0 4 5 】

更に、比較例 1 (T i : N b = 1 0 0 : 0) では、特定波長域 (4 0 0 n m 以上 7 0 0 n m 以下) において、透過率の平坦性が比較的に劣る。比較例 1 における、透過率の平坦

40

50

性に関係する、特定波長域での透過率の最大値は27.082%であり、最小値は24.040%であり、当該最大値と最小値との差(透過率の幅 ΔT)は3.042となっている。 ΔT が小さい程、特定波長域での透過率分布の平坦性が強く(良好に)なる。

又、比較例2($Ti:Nb=0:100$)では、特定波長域での透過率の最大値は26.171%であり、最小値は24.137%であり、 $\Delta T=2.035$ であって、比較例1と同様に、透過率の平坦性が比較的に劣る。

【0046】

これらに対し、実施例1($Ti:Nb=50:50$)では、特定波長域での透過率の最大値は25.395%であり、最小値は24.830%であり、 $\Delta T=0.564$ であって、特定波長域における透過率の平坦性に優れている。

10

又、実施例2($Ti:Nb=80:20$)では、特定波長域での透過率の最大値は26.159%であり、最小値は24.410%であり、 $\Delta T=1.749$ であって、特定波長域における透過率の平坦性に優れている。

更に、実施例3($Ti:Nb=20:80$)では、特定波長域での透過率の最大値は25.677%であり、最小値は24.669%であり、 $\Delta T=0.992$ であって、特定波長域における透過率の平坦性に優れている。

又更に、実施例4($Ti:Nb=70:30$)では、特定波長域での透過率の最大値は25.488%であり、最小値は24.834%であり、 $\Delta T=0.654$ であって、特定波長域における透過率の平坦性に優れている。

【0047】

20

図14は、 $Ti+Nb$ 層における Ti の元素比率(Ti 比率、%)を横軸とし、 ΔT を縦軸とした平面に、実施例1~4及び比較例1~2についてプロットしたグラフである。図14では、各プロットをつなぐ曲線、即ち各プロットから得られる Ti 比率を独立変数とする関数 ΔT も示されている。

特定波長域の光が25%の透過率を基準として透過される($ND4$)実施例1~4及び比較例1~2に係る図14において、次に述べる理由から、 Ti 比率は15%以上75%以下であり、換言すれば、 $Ti+Nb$ 層において、 $Ti:Nb=15:85\sim75:25$ であることが好ましい。即ち、 $ND4$ では、透過率25%、即ち光学濃度 $OD=0.602$ が基準とされているところ、透過率の幅 ΔT が OD において基準の $\pm 1.8\%$ 以内に収まって十分な平坦性が得られる Ti 比率の範囲は、概ね15%以上75%以下である。この点更に詳述すると、基準の OD に対して1.8%下回る OD は、 $0.602 \times (1 - 0.018) = 0.5912$ であり、透過率に換算すると25.633%である。他方、基準の OD に対して1.8%上回る OD は、 $0.602 \times (1 + 0.018) = 0.6128$ であり、透過率に換算すると24.389%である。よって、 OD が基準の $\pm 1.8\%$ 以内に収まる場合の透過率の幅 ΔT は、 $25.633 - 24.389 = 1.244$ である。図14において、 $\Delta T=1.244$ となる部分に、水平な両矢印が記載されている。そして、図14において、その両矢印で示される Ti 比率の範囲で ΔT が1.244以下となり、その範囲の最小値はおよそ15%であり(左側の点線の矢印)、その範囲の最大値はおよそ75%である(右側の点線の矢印)。

30

従って、実施例1~4等の ND フィルタ1において、光吸収層10における Ti と Nb との元素数比が、 $Ti:Nb=15:85\sim75:25$ の範囲内とされると、特定波長域での反射率が1%以下といった高い水準とされながら、 ΔT が基準の光学濃度 OD (約0.6)に照らし十分に小さくされて、特定波長域での透過率の優れた平坦性が確保される。

40

【0048】

[実施例5~8及び比較例3~4]

実施例5~8の構成等

実施例5~8は、光学膜4が全9層とされ、特定波長域での透過率が1%前後とされたことを除き、順に実施例1~4と同様に形成された。但し、実施例5~8における光吸収層10の Ti 比率は、順に80%、40%、20%、70%とされている。

実施例5~8の構成は、順に次の[表7]~[表10]に示される。

50

【 0 0 4 9 】

【 表 7 】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	153.3
2層目	Ti+Nb	3.0
3層目	SiO ₂	80.8
4層目	Ti+Nb	8.1
5層目	SiO ₂	73.7
6層目	Ti+Nb	39.4
7層目	SiO ₂	71.3
8層目	Ti+Nb	12.6
9層目	SiO ₂	75.4

10

【 表 8 】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	148.7
2層目	Ti+Nb	3.9
3層目	SiO ₂	76.2
4層目	Ti+Nb	9.9
5層目	SiO ₂	81.2
6層目	Ti+Nb	39.5
7層目	SiO ₂	73.5
8層目	Ti+Nb	13.0
9層目	SiO ₂	71.8

20

【 表 9 】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	153.3
2層目	Ti+Nb	4.8
3層目	SiO ₂	74.1
4層目	Ti+Nb	12.4
5層目	SiO ₂	86.8
6層目	Ti+Nb	37.4
7層目	SiO ₂	73.3
8層目	Ti+Nb	13.0
9層目	SiO ₂	70.5

30

40

50

【表 1 0】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	150.2
2層目	Ti+Nb	4.3
3層目	SiO ₂	74.8
4層目	Ti+Nb	11.0
5層目	SiO ₂	84.0
6層目	Ti+Nb	38.6
7層目	SiO ₂	73.4
8層目	Ti+Nb	13.0
9層目	SiO ₂	71.1

10

【0 0 5 0】

比較例 3 ~ 4 の構成等

比較例 3 ~ 4 は、光学膜が全 9 層とされ、特定波長域での透過率が 1 % 前後とされたことを除き、順に比較例 1 ~ 2 と同様に形成された。

比較例 3 ~ 4 の構成は、順に次の [表 1 1] ~ [表 1 2] に示される。

【0 0 5 1】

【表 1 1】

20

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	162.7
2層目	Ti	2.9
3層目	SiO ₂	85.2
4層目	Ti	8.2
5層目	SiO ₂	68.3
6層目	Ti	37.8
7層目	SiO ₂	70.6
8層目	Ti	12.1
9層目	SiO ₂	76.0

30

【表 1 2】

層	材料	物理膜厚[nm]
基板	白板ガラス	---
1層目	SiO ₂	175.6
2層目	Nb	5.6
3層目	SiO ₂	75.3
4層目	Nb	14.7
5層目	SiO ₂	89.2
6層目	Nb	36.7
7層目	SiO ₂	74.1
8層目	Nb	12.1
9層目	SiO ₂	73.0

40

【0 0 5 2】

透過率及び反射率等

図 1 5 ~ 図 2 0 は、順に、実施例 5 ~ 8 , 比較例 3 ~ 4 における、特定波長域及びその隣接域 (3 8 0 n m 以上 7 5 0 n m 以下) での透過率並びに表面反射率及び界面反射率が示されるグラフである。

50

これらの図によれば、実施例 5 ~ 8 , 比較例 3 ~ 4 では、何れも、反射率の低減を優先した結果、表面反射率及び界面反射率が特定波長域全域において 1 % 以下となっている。

【 0 0 5 3 】

更に、比較例 3 ($T_i : N_b = 100 : 0$) では、特定波長域での透過率の最大値は 1 . 1 4 7 % であり、最小値は 0 . 9 4 6 % であり、 $\Delta T = 0 . 201$ であって、透過率の平坦性が比較的に劣る。

又、比較例 4 ($T_i : N_b = 0 : 100$) では、特定波長域での透過率の最大値は 1 . 1 3 1 % であり、最小値は 0 . 9 4 7 % であり、 $\Delta T = 0 . 185$ であって、比較例 1 と同様に、透過率の平坦性が比較的に劣る。

【 0 0 5 4 】

これらに対し、実施例 5 ($T_i : N_b = 80 : 20$) では、特定波長域での透過率の最大値は 1 . 1 3 3 % であり、最小値は 0 . 9 5 5 % であり、 $\Delta T = 0 . 178$ であって、特定波長域における透過率の平坦性に優れている。

又、実施例 6 ($T_i : N_b = 40 : 60$) では、特定波長域での透過率の最大値は 1 . 1 1 0 % であり、最小値は 0 . 9 6 8 % であり、 $\Delta T = 0 . 142$ であって、特定波長域における透過率の平坦性に優れている。

更に、実施例 7 ($T_i : N_b = 20 : 80$) では、特定波長域での透過率の最大値は 1 . 1 0 5 % であり、最小値は 0 . 9 6 4 % であり、 $\Delta T = 0 . 141$ であって、特定波長域における透過率の平坦性に優れている。

又更に、実施例 8 ($T_i : N_b = 70 : 30$) では、特定波長域での透過率の最大値は 1 . 1 0 7 % であり、最小値は 0 . 9 6 7 % であり、 $\Delta T = 0 . 140$ であって、特定波長域における透過率の平坦性に優れている。

【 0 0 5 5 】

図 2 1 は、 $T_i + N_b$ 層における T_i の元素比率 (T_i 比率, %) を横軸とし、 ΔT を縦軸とした平面に、実施例 5 ~ 8 及び比較例 3 ~ 4 についてプロットしたグラフである。図 1 4 では、各プロットをつなぐ曲線、即ち各プロットから得られる T_i 比率を独立変数とする関数 ΔT も示されている。

特定波長域の光が 1 % の透過率を基準として透過される ($ND100$) 実施例 5 ~ 8 及び比較例 3 ~ 4 に係る図 2 1 において、次に述べる理由から、 T_i 比率は 15 % 以上 75 % 以下であり、換言すれば、 $T_i + N_b$ 層において、 $T_i : N_b = 15 : 85 \sim 75 : 25$ であることが好ましい。即ち、 $ND100$ では、透過率 1 %、即ち光学濃度 $OD = 2$ が基準とされているところ、透過率の幅 ΔT が OD において基準の $\pm 1 . 8$ % 以内に収まって十分な平坦性が得られる T_i 比率の範囲は、概ね 15 % 以上 75 % 以下である。この点更に詳述すると、基準の OD に対して 1 . 8 % 下回る OD は、 $2 \times (1 - 0 . 018) = 1 . 964$ であり、透過率に換算すると 1 . 0864 % である。他方、基準の OD に対して 1 . 8 % 上回る OD は、 $2 \times (1 + 0 . 018) = 2 . 036$ であり、透過率に換算すると 0 . 9204 % である。よって、 OD が基準の $\pm 1 . 8$ % 以内に収まる場合の透過率の幅 ΔT は、 $1 . 0864 - 0 . 9204 = 0 . 166$ である。図 2 1 において、 $\Delta T = 0 . 166$ となる部分に、水平な両矢印が記載されている。そして、図 2 1 において、その両矢印で示される T_i 比率の範囲で ΔT が 0 . 166 以下となり、その範囲の最小値はおよそ 15 % であり (左側の点線の矢印)、その範囲の最大値はおよそ 75 % である (右側の点線の矢印)。尚、この T_i 比率の範囲は、上述の通り、実施例 1 ~ 4 ($ND4$) の場合と同じである。

従って、実施例 5 ~ 8 等の ND フィルタ 1 において、光吸収層 10 における T_i と N_b との元素数比が、 $T_i : N_b = 15 : 85 \sim 75 : 25$ の範囲内とされると、特定波長域での反射率が 1 % 以下といった高い水準とされながら、 ΔT が基準の光学濃度 $OD (2)$ に照らし十分に小さくされて、特定波長域での透過率の優れた平坦性が確保される。

又、実施例 1 ~ 8 とは異なる基準の OD 値を有する ND フィルタ 1 においても、シミュレーションにより、 T_i 比率の範囲が 15 ~ 75 % となると、 ΔT が基準の $\pm 1 . 8$ % 以内に収まり、透過率分布の平坦性に優れて好ましいことが確認された。

10

20

30

40

50

【符号の説明】

【 0 0 5 6 】

1・・・NDフィルタ、2・・・基板、4・・・光学膜、10・・・光吸収層、12・・・低屈折率層（誘電体層）、101・・・（NDフィルタ1の）製造装置、102・・・真空室（成膜室）、150a, 150b・・・Ti部（Tiのターゲット）、152a, 152b・・・Nb部（Nbのターゲット）、TTa, TTb・・・Ti + Nb用ターゲット。

10

20

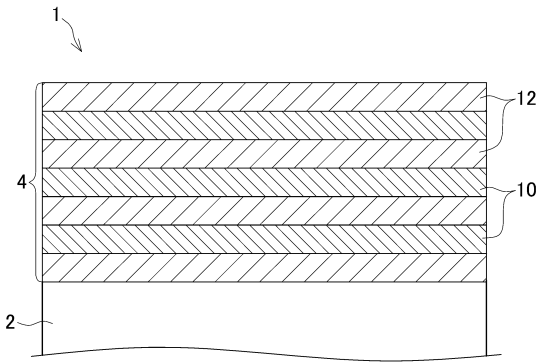
30

40

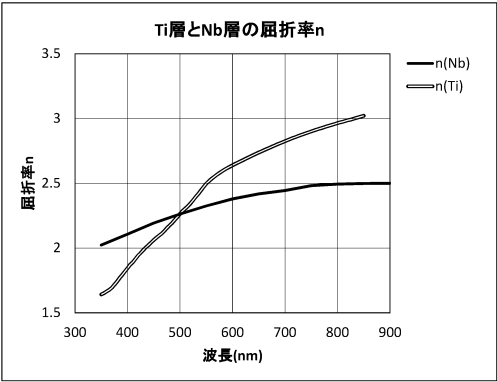
50

【図面】

【図 1】

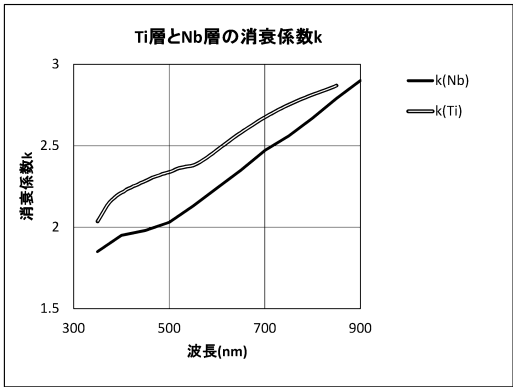


【図 2】

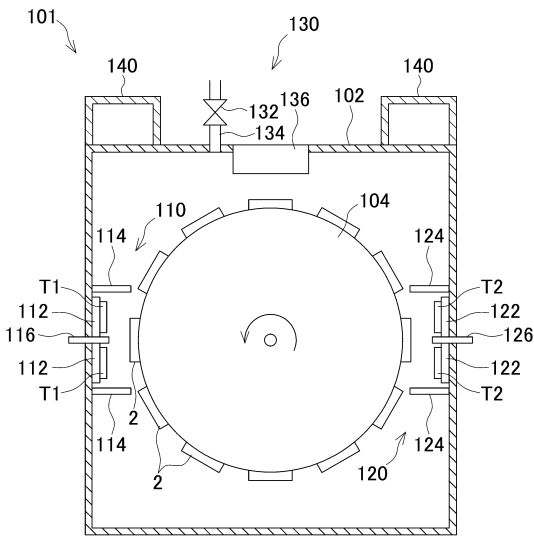


10

【図 3】



【図 4】



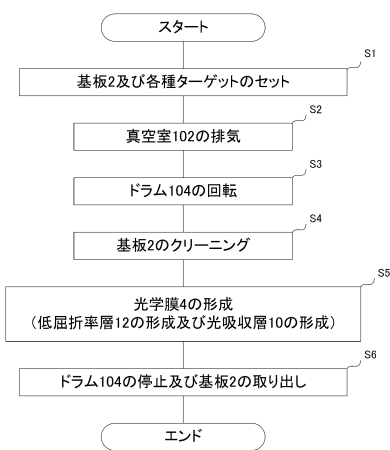
20

30

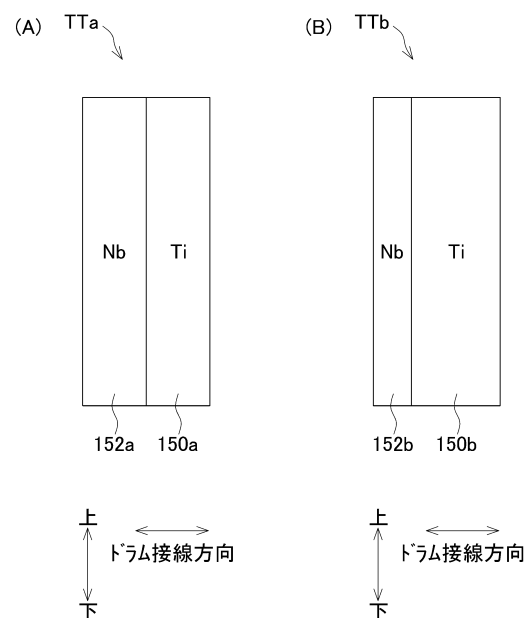
40

50

【 図 5 】



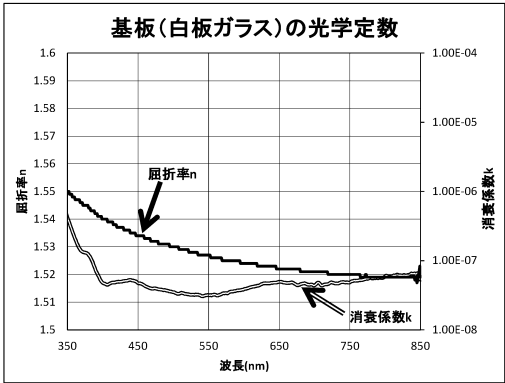
【 図 6 】



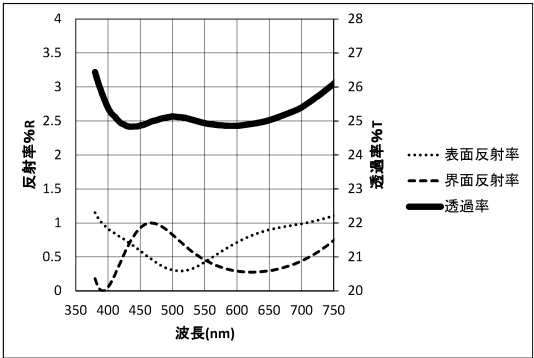
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

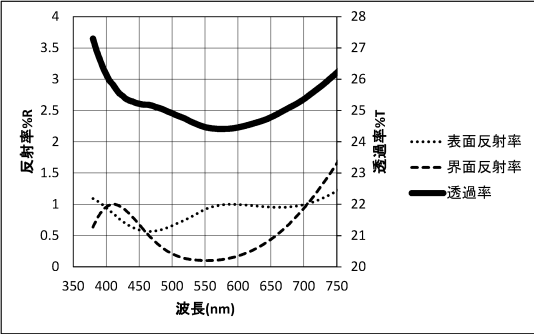


30

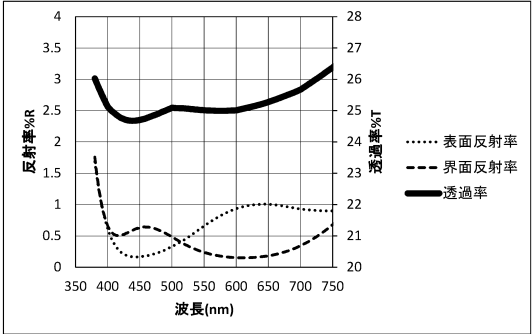
40

50

【図 9】

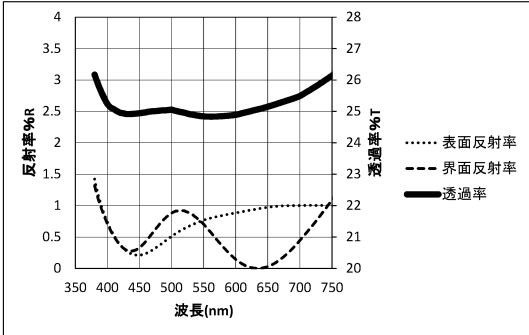


【図 10】

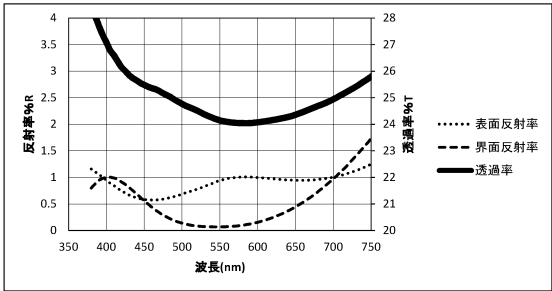


10

【図 11】

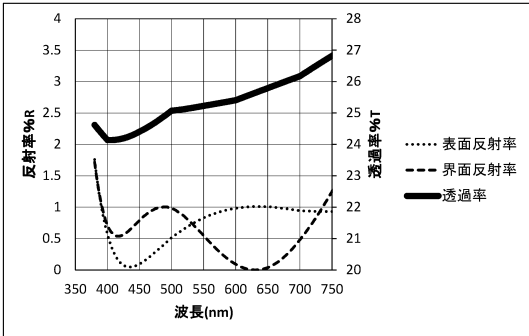


【図 12】

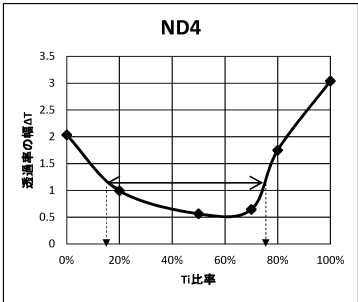


20

【図 13】



【図 14】

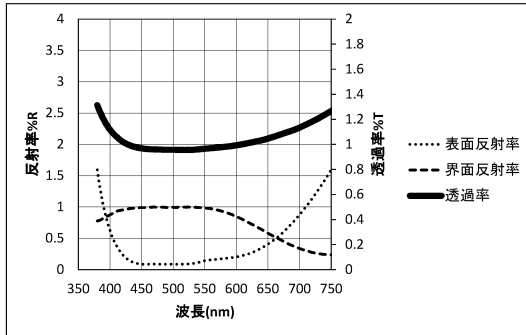


30

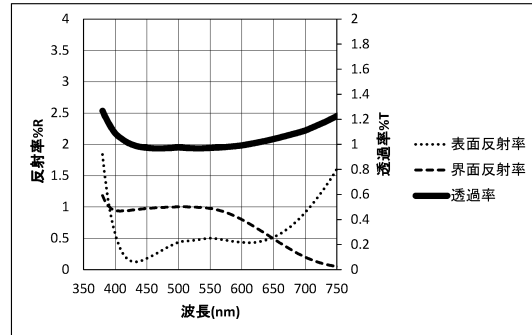
40

50

【 図 1 5 】

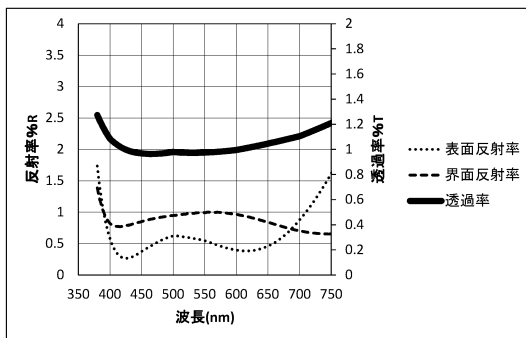


【 図 1 6 】

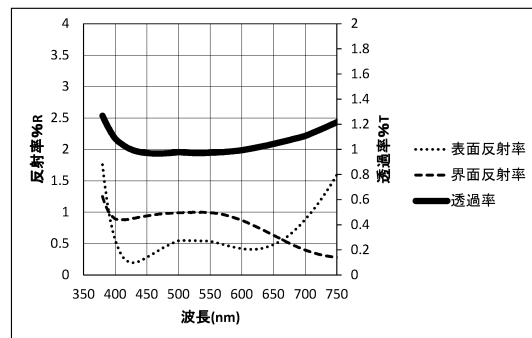


10

【 図 1 7 】

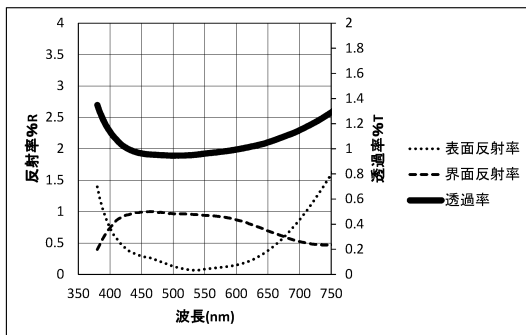


【 図 1 8 】

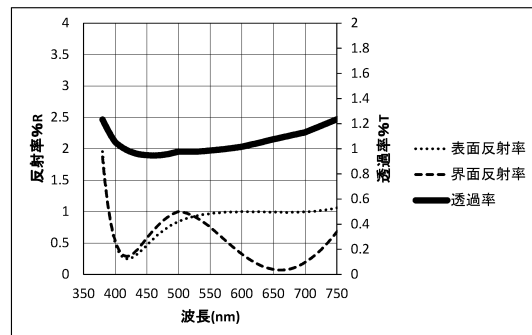


20

【圖 19】



【 図 2 0 】

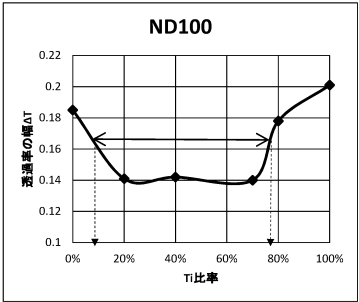


30

40

50

【図 21】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特表 2 0 0 5 - 5 2 6 6 3 5 (J P , A)

特開 2 0 0 3 - 1 8 3 8 2 3 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B 5 / 0 0

C 2 3 C 1 4 / 1 4