

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) **公開特許公報(A)**

(11)特許出願公開番号

特開2017-9703

(P2017-9703A)

(43) 公開日 平成29年1月12日(2017.1.12)

(51) Int.Cl.
GO2B 5/28

F 1
G O 2 B 5/28

テーマコード (参考)
2H148

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2015-122940 (P2015-122940)
(22) 出願日 平成27年6月18日 (2015. 6. 18)

(71) 出願人 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100110412
弁理士 藤元 亮輔

(74) 代理人 100104628
弁理士 水本 敦也

(74) 代理人 100121614
弁理士 平山 倫也

(72) 発明者 佐野 大介
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内

Fターム(参考) 2H148 GA11 GA35

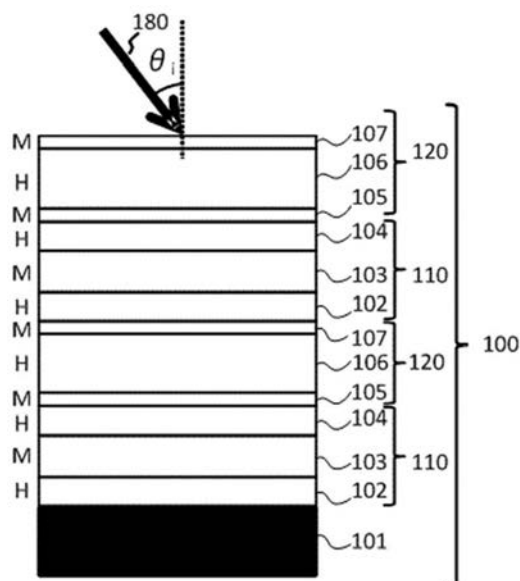
(54) 【発明の名称】 多層膜を用いた光学素子および光学機器

(57) 【要約】

【課題】薄い総膜厚の多層膜を用いてマイナスフィルタと同様な光学性能が得られる光学素子を提供する。

【解決手段】光学素子 1 0 0 は、互いに屈折率が異なる材料によりそれぞれ形成された 2 種類の膜が 3 層以上積層された膜スタックとして互いに膜構成が異なる第 1 の膜スタック 1 1 0 および第 2 の膜スタック 1 2 0 が複数回繰返し積層された多層膜を有する。第 1 および第 2 の膜スタックのそれぞれにおいて、2 種類の膜のうち屈折率が高い方の材料により形成された膜を H 膜とし、屈折率が低い方の材料により形成された膜を M 膜とする。第 1 の膜スタックでは、H 膜および M 膜が H 膜 - M 膜 - H 膜の順で積層され、第 2 の膜スタックでは、H 膜および M 膜が M 膜 - H 膜 - M 膜の順で積層されている。

【選択図】図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに屈折率が異なる材料からなる 2 種類の膜が 3 層以上積層された膜スタックとして、互いに膜構成が異なる第 1 の膜スタックおよび第 2 の膜スタックがそれぞれ複数積層された多層膜を有する光学素子であって、

前記第 1 および第 2 の膜スタックのそれぞれにおいて、前記 2 種類の膜のうち前記屈折率が高い方の材料により形成された膜を H 膜とし、前記屈折率が低い方の材料により形成された膜を M 膜とするとき、

前記第 1 の膜スタックでは、前記 H 膜および前記 M 膜が、H 膜 - M 膜 - H 膜の順で積層され、

前記第 2 の膜スタックでは、前記 H 膜および前記 M 膜が、M 膜 - H 膜 - M 膜の順で積層されていることを特徴とする光学素子。

【請求項 2】

前記第 1 および第 2 の膜スタックのそれぞれの前記 H 膜の材料とそれぞれの前記 M 膜の材料とのうち少なくとも一方が互いに異なることを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 3】

前記第 1 の膜スタックにおける前記 H 膜の屈折率を n_{1H} 、物理膜厚を d_{1H} とし、該 H 膜内の光の伝搬角度を θ_{1H} とし、前記第 1 の膜スタックにおける前記 M 膜の屈折率を n_{1M} 、物理膜厚を d_{1M} とし、該 M 膜内の光の伝搬角度を θ_{1M} とし、

前記第 2 の膜スタックにおける前記 H 膜の屈折率を n_{2H} 、物理膜厚を d_{2H} とし、該 H 膜内の光の伝搬角度を θ_{2H} とし、前記第 2 の膜スタックにおける前記 M 膜の屈折率を n_{2M} 、物理膜厚を d_{2M} とし、該 M 膜内の光の伝搬角度を θ_{2M} とし、

前記多層膜に入射する光の波長域を使用波長域 λ_i とするとき、

【数 5】

$$\frac{2U_{1H}U_{1M}\tan\Delta_{1H}+U_{1M}^2\tan\Delta_{1M}-U_{1H}^2\tan^2\Delta_{1H}\tan\Delta_{1M}}{2U_{1H}U_{1M}\tan\Delta_{1H}+U_{1H}^2\tan\Delta_{1M}-U_{1M}^2\tan^2\Delta_{1H}\tan\Delta_{1M}}>0$$

$$\frac{2U_{2H}U_{2M}\tan\Delta_{2H}+U_{2M}^2\tan\Delta_{2M}-U_{2H}^2\tan^2\Delta_{2H}\tan\Delta_{2M}}{2U_{2H}U_{2M}\tan\Delta_{2H}+U_{2H}^2\tan\Delta_{2M}-U_{2M}^2\tan^2\Delta_{2H}\tan\Delta_{2M}}>0$$

但し、 $U_{1H,1M,2H,2M}=n_{1H,1M,2H,2M}\cos\theta_{1H,1M,2H,2M}$

$$\Delta_{1H,1M,2H,2M}=\frac{2\pi}{\lambda_i}n_{1H,1M,2H,2M}d_{1H,1M,2H,2M}\cos\theta_{1H,1M,2H,2M}$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学素子。

【請求項 4】

前記使用波長域 λ_i における波長 λ_1 に対して、

【数 6】

$$\left| \begin{aligned} & U_{1H}^2 \frac{2U_{1H}U_{1M} \tan \Delta_{1H1} + U_{1M}^2 \tan \Delta_{1M1} - U_{1H}^2 \tan^2 \Delta_{1H} \tan \Delta_{1M1}}{2U_{1H}U_{1M} \tan \Delta_{1H1} + U_{1H}^2 \tan \Delta_{1M1} - U_{1M}^2 \tan^2 \Delta_{1H} \tan \Delta_{1M1}} \\ & - U_{2M}^2 \frac{2U_{2H}U_{2M} \tan \Delta_{2M1} + U_{2M}^2 \tan \Delta_{2H1} - U_{2H}^2 \tan^2 \Delta_{2M1} \tan \Delta_{2H1}}{2U_{2H}U_{2M} \tan \Delta_{2M1} + U_{2H}^2 \tan \Delta_{2H1} - U_{2M}^2 \tan^2 \Delta_{2M1} \tan \Delta_{2H1}} \end{aligned} \right| < 0.05$$

$$\text{但し、} \Delta_{1H1,1M1,2H1,2M1} = \frac{2\pi}{\lambda_1} n_{1H,1M,2H,2M} d_{1H,1M,2H,2M} \cos \theta_{1H,1M,2H,2M}$$

10

なる条件を満足することを特徴とする請求項 3 に記載の光学素子。

【請求項 5】

前記第 1 および第 2 の膜スタックのそれぞれにおいて、同種類の 2 つの膜の物理膜厚の差が 10 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項 6】

前記使用波長域 λ_1 における前記波長 λ_1 とは異なる波長 λ_2 に対して、

【数 7】

20

$$-0.1 < \cos^2 \Delta_{1H2} \cos \Delta_{1M2} - \sin^2 \Delta_{1H2} \cos \Delta_{1M2} - \frac{U_{1H}^2 + U_{1M}^2}{U_{1H}U_{1M}} \cos \Delta_{1H2} \sin \Delta_{1H2} \sin \Delta_{1M2} < 0.1$$

$$-0.1 < \cos^2 \Delta_{2M2} \cos \Delta_{2H2} - \sin^2 \Delta_{2M2} \cos \Delta_{2H2} - \frac{U_{2H}^2 + U_{2M}^2}{U_{2H}U_{2M}} \cos \Delta_{2M2} \sin \Delta_{2M2} \sin \Delta_{2H2} < 0.1$$

$$\text{但し、} \Delta_{1H2,1M2,2H2,2M2} = \frac{2\pi}{\lambda_2} n_{1H,1M,2H,2M} d_{1H,1M,2H,2M} \cos \theta_{1H,1M,2H,2M}$$

30

なる条件の双方を満足することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の光学素子。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の光学素子を有することを特徴とする光学機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多層膜を用いた光学フィルタ等の光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

多層膜は、カメラの撮影光学系において入射光量を増やすための反射防止膜や、入射する偏光の偏光方向によって反射と透過を選択的に行う偏光分離膜等として様々な光学機器に利用されている。

40

【0003】

そして、このような多層膜を用いた光学フィルタの 1 つとして、基本波長帯域の光を透過して、それ以外の波長帯域の一部の波長の光を反射するマイナスフィルタがある。このようなマイナスフィルタは、例えば蛍光顕微鏡においてサンプルへの照射光の光路と該照射光とは波長が異なる読み出し光の光路とを切り替えるために利用されている。特許文献 1 には、マイナスフィルタとして、高屈折率層と低屈折率層との光学膜厚の平均和を入射光の波長と同程度にすることで、一部の波長帯域での反射率を下げる事が可能なマイナスフィルタが開示されている。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2006-23471号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1にて開示されたマイナスフィルタは、多層膜を構成する薄膜ごとの膜厚が非常に厚く、かつ膜の総積層数も100層を超えているため、多層膜の総膜厚が20 μ m程度と非常に厚い。このため、多層膜を実際の光学機器等において使用する際に、応力集中による膜割れが発生する等の問題がある。

10

【0006】

本発明では、比較的薄い総膜厚の多層膜を用いてマイナスフィルタと同様な光学性能が得られる光学素子を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面としての光学素子は、互いに屈折率が異なる材料によりそれぞれ形成された2種類の膜が3層以上積層された膜スタックとして互いに膜構成が異なる第1膜スタックおよび第2の膜スタックがそれぞれ複数回繰り返し積層された多層膜を有する。第1および第2の膜スタックのそれぞれにおいて、2種類の膜のうち屈折率が高い方の材料により形成された膜をH膜とし、屈折率が低い方の材料により形成された膜をM膜とすると、第1の膜スタックではH膜およびM膜がH膜-M膜-H膜の順で積層され、第2の膜スタックではH膜およびM膜がM膜-H膜-M膜の順で積層されていることを特徴とする。

20

【0008】

なお、上記光学素子を有する光学機器も、本発明の他の一側面を構成する。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、多層膜の総膜厚を抑えつつ、マイナスフィルタと同様な良好な光学性能が得られる光学素子を実現することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施例である光学素子の膜構成を示す図。

【図2】実施例の光学素子の等価屈折率を示す図。

【図3】実施例の光学素子の等価物理膜厚を示す図。

【図4】 SiO_2 の式(6),(7)の値を示す図。

【図5】 Ta_2O_5 の屈折率分散を示す図。

【図6】実施例1の光学素子の等価屈折率を示す図。

【図7】実施例1の光学素子の等価物理膜厚を示す図。

【図8】実施例1における式(6),(7)の値を示す図。

40

【図9】実施例1におけるH膜およびM膜の物理膜厚に対する波長550nmの等価屈折率を示す図。

【図10】実施例の光学素子を用いた蛍光顕微鏡を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。

【0012】

まず、後述する具体的な実施例1,2に共通する事項について説明する。実施例の光学素子は、互いに屈折率が異なる材料によりそれぞれ形成された2種類の膜(薄膜)が3層以上積層された膜スタックとして互いに膜構成が異なる第1の膜スタックおよび第2の膜

50

スタックが複数回繰り返し積層された多層膜を有する。

【0013】

図1には、実施例の光学素子に共通する構成を示している。光学素子100は、基板101と、積層された複数の薄膜102～107により形成された多層膜とにより構成されている。薄膜102～107のうち、薄膜102～104は第1の膜スタックとしての薄膜スタック110を構成し、薄膜105～107は第2の膜スタックとしての薄膜スタック120を構成する。

【0014】

また、180は多層膜に対して入射媒質を伝搬して入射する入射光である。実施例において、薄膜とは、光学干渉を利用した膜を意味し、さらに言えば、入射する波長（使用波長）に対して数倍以下の光学膜厚を有する膜を意味する。また、実施例では、使用波長として可視域の波長を用いるが、他の帯域の波長を使用波長としてもよい。

【0015】

また、図1では、図示を簡単にするために、薄膜スタック110、120を1回のみ繰り返し積層した構成を示しているが、実施例は薄膜スタック110、120が複数回繰り返し積層されることを特徴とする。繰り返し回数は、例えば5回以上200回以下であり、薄膜スタック110、120の構成によって異なる。

【0016】

上述したように、各薄膜スタックは互いに屈折率が異なる材料によりそれぞれ形成された2種類の薄膜が3層以上積層されて構成されているが、各薄膜スタックにおいて、上記2種類の薄膜以外の薄膜が外挿される形で含まれていてもよい。

【0017】

2つの薄膜スタック110、120のそれぞれにおいて、上記2種類の薄膜のうち屈折率が高い方の材料により形成された膜をH膜とし、屈折率が低い方の材料により形成された膜をM膜とする。このとき、薄膜スタック（第1の膜スタック）110は、H膜102、M膜103およびH膜104がこの順で、すなわちH膜-M膜-H膜の順で積層されている。また、薄膜スタック（第2の膜スタック）120は、M膜105、H膜106およびM膜107がこの順で、すなわちM膜-H膜-M膜の順で積層されている。

【0018】

2つの薄膜スタック（第1および第2の膜スタック）110、120のそれぞれ、つまりは同じ薄膜スタック内の2つのH膜または2つのM膜の材料は互いに同じであることが望ましい。ただし、異なる薄膜スタック間ではH膜の材料とM膜の材料とのうち少なくとも一方が互いに異なってもよい。つまり、H膜102とH膜104の材料は同じであることが望ましいが、H膜102、104の材料とH膜106の材料は互いに同じであってもよいし、互いに異なってもよい。同様に、M膜105とM膜107の材料は同じであることが望ましいが、M膜103の材料とM膜105、107の材料は互いに同じであってもよいし、互いに異なってもよい。

【0019】

また、実施例では、薄膜スタック110、120のそれぞれにおいて、同種類の2つの薄膜（H膜102、104間やM膜105、107間）の物理膜厚の差が10nm以下であることが望ましい。このような2つの薄膜は等価膜と呼ばれる1つの膜として扱うことができる。等価膜の屈折率 n_T と物理膜厚 d_T は、以下の式（1）～（5）により求めることができる。

【0020】

10

20

30

40

【数 1】

$$U_T^2 = U_1^2 \frac{2U_1U_2 \tan \Delta_1 + U_2^2 \tan \Delta_2 - U_1^2 \tan^2 \Delta_1 \tan \Delta_2}{2U_1U_2 \tan \Delta_1 + U_1^2 \tan \Delta_2 - U_2^2 \tan^2 \Delta_1 \tan \Delta_2} \quad (1)$$

$$\text{但し、} \sin \Delta_T = U_T \left(\frac{2}{U_1} \cos \Delta_1 \sin \Delta_1 \cos \Delta_2 + \frac{U_1^2 \cos^2 \Delta_1 - U_2^2 \sin^2 \Delta_1}{U_1^2 U_2} \sin \Delta_2 \right) \quad (2)$$

$$\cos \Delta_T = \cos^2 \Delta_1 \cos \Delta_2 - \sin^2 \Delta_1 \cos \Delta_2 - \frac{U_1^2 + U_2^2}{U_1 U_2} \cos \Delta_1 \sin \Delta_1 \sin \Delta_2 \quad (3)$$

10

$$U_{T,1,2} = \begin{cases} n_{T,1,2} \cos \theta_{T,1,2} & \text{S偏光の場合} \\ \frac{n_{T,1,2}}{\cos \theta_{T,1,2}} & \text{P偏光の場合} \end{cases} \quad (4)$$

$$\Delta_{T,1,2} = \frac{2\pi}{\lambda_i} n_{T,1,2} d_{T,1,2} \cos \theta_{T,1,2} \quad (5)$$

20

【0021】

上記式(1)～(5)において、 n は屈折率、 d は物理膜厚、 θ は光が膜内を伝搬する角度(伝搬角度)であり、スネルの法則と光の入射角度から求めることができる。入射角は光学素子100の多層膜のうち最表面の薄膜107に入射する際の角度であり、入射光の中心入射角である。式(5)はそれぞれの薄膜の位相膜厚と呼ばれる量である。

【0022】

式(1)～(5)中の変数の下部に記された数字は薄膜を表し、「1」は薄膜スタック110ではH膜102、104を、薄膜スタック120ではM膜105、107を示す。「2」は各薄膜スタックの中間に位置する薄膜であり、薄膜スタック110ではM膜103を、薄膜スタック120ではH膜106を示す。式(4)、(5)によって、それぞれの薄膜の屈折率 n_1 、 n_2 、物理膜厚 d_1 、 d_2 を U_1 、 U_2 、 Δ_1 、 Δ_2 に変換して式(1)～(3)に代入することで U_T および Δ_T を求め、それらから等価屈折率 n_T と等価物理膜厚 d_T とを求めることができる。

30

【実施例1】

【0023】

実施例1の光学素子100について説明する。表1には、薄膜スタック110、120の具体的な膜構成を示す。本実施例では、H膜である j (j は材料を示す)102、 j 104、 j 106をTa₂O₅により形成し、またM膜である j 103、 j 105、 j 107をMgF₂により形成している。そして、薄膜スタック110、120を30回繰り返し積層している。

40

【0024】

【表 1】

#	膜	波長 n	物理膜厚 [nm]	膜構成
j1i	白板	1.530	-----	× 30
j107	SiO ₂	1.472	28.6	
j106	Ta ₂ O ₅	2.209	16.9	
j105	SiO ₂	1.472	28.6	
j104	Ta ₂ O ₅	2.209	12.6	
j103	SiO ₂	1.472	44.3	
j102	Ta ₂ O ₅	2.209	12.6	
j101	白板	1.530	-----	

10

【0025】

図2および図3にはそれぞれ、本実施例における薄膜スタック110、120の入射角0度で入射した入射光の波長ごとの等価屈折率 n_T および等価物理膜厚 d_T を示す。図2および図3では、薄膜スタック110を構成するj102～j104の等価屈折率と等価物理膜厚を実線で示し、薄膜スタック120を構成するj105～j107の等価屈折率と等価物理膜厚を破線で示している。

20

【0026】

なお、本実施例において、H膜であるj102、j104とj106は同じ材料(Ta₂O₅)により形成されているが、互いに異なる材料により形成されてもよい。同様にM膜であるj103とj105、j107は同じ材料(MgF₂)により形成されているが、互いに異なる材料により形成されてもよい。

【0027】

ここで、薄膜スタック110のH膜(j102、j104)の屈折率を n_{1H} 、物理膜厚を d_{1H} とし、該H膜内の光の伝搬角度を θ_{1H} とし、薄膜スタック110のM膜(j103)の屈折率を n_{1M} 、物理膜厚を d_{1M} とし、該M膜内の光の伝搬角度を θ_{1M} とする。また、薄膜スタック120のH膜(j106)の屈折率を n_{2H} 、物理膜厚を d_{2H} とし、該H膜内の光の伝搬角度を θ_{2H} とし、薄膜スタック120のM膜(j105、j107)の屈折率を n_{2M} 、物理膜厚を d_{2M} とし、該M膜内の光の伝搬角度を θ_{2M} とする。さらに、多層膜に入射する光の波長域を使用波長域 λ_i とする。このとき、本実施例の多層膜は、以下の式(6)、(7)に示される条件を満足している。

30

【0028】

【数 2】

$$\frac{2U_{1H}U_{1M}\tan\Delta_{1H}+U_{1M}^2\tan\Delta_{1M}-U_{1H}^2\tan^2\Delta_{1H}\tan\Delta_{1M}}{2U_{1H}U_{1M}\tan\Delta_{1H}+U_{1H}^2\tan\Delta_{1M}-U_{1M}^2\tan^2\Delta_{1H}\tan\Delta_{1M}}>0 \quad (6)$$

$$\frac{2U_{2H}U_{2M}\tan\Delta_{2H}+U_{2M}^2\tan\Delta_{2M}-U_{2H}^2\tan^2\Delta_{2H}\tan\Delta_{2M}}{2U_{2H}U_{2M}\tan\Delta_{2H}+U_{2H}^2\tan\Delta_{2M}-U_{2M}^2\tan^2\Delta_{2H}\tan\Delta_{2M}}>0 \quad (7)$$

$$\text{但し、} U_{1H,1M,2H,2M} = n_{1H,1M,2H,2M} \cos\theta_{1H,1M,2H,2M} \quad (8)$$

$$\Delta_{1H,1M,2H,2M} = \frac{2\pi}{\lambda_i} n_{1H,1M,2H,2M} d_{1H,1M,2H,2M} \cos\theta_{1H,1M,2H,2M} \quad (9)$$

【0029】

使用波長域 λ_i を波長 400 ~ 1000 nm とし、薄膜スタック 110 に関する式 (6) の波長ごとの値と、薄膜スタック 120 に関する式 (7) の波長ごとの値とを図 4 に示す。図 4 において、式 (6) の値は実線で示し、式 (7) の値は一点鎖線で示している。薄膜スタック 110, 120 はそれぞれ、式 (6), (7) に示した条件を満足している。これらの式 (6), (7) に示した条件を満足しない場合には、式 (1) から分かるように、薄膜スタック 110, 120 を等価膜に近似することができなくなる。このような薄膜は、波長ごとに全く異なる性質を持つので、好ましくない。

【0030】

また、本実施例では、光学素子 100 の使用波長域 λ_i におけるいずれかの波長 λ_1 で、以下の式 (10) に示す条件を満足している。

【0031】

【数 3】

$$\left| U_{1H}^2 \frac{2U_{1H}U_{1M}\tan\Delta_{1H1}+U_{1M}^2\tan\Delta_{1M1}-U_{1H}^2\tan^2\Delta_{1H}\tan\Delta_{1M1}}{2U_{1H}U_{1M}\tan\Delta_{1H1}+U_{1H}^2\tan\Delta_{1M1}-U_{1M}^2\tan^2\Delta_{1H}\tan\Delta_{1M1}} - U_{2M}^2 \frac{2U_{2H}U_{2M}\tan\Delta_{2M1}+U_{2M}^2\tan\Delta_{2H1}-U_{2H}^2\tan^2\Delta_{2M1}\tan\Delta_{2H1}}{2U_{2H}U_{2M}\tan\Delta_{2M1}+U_{2H}^2\tan\Delta_{2H1}-U_{2M}^2\tan^2\Delta_{2M1}\tan\Delta_{2H1}} \right| < 0.05 \quad (10)$$

$$\text{但し、} \Delta_{1H1,1M1,2H1,2M1} = \frac{2\pi}{\lambda_1} n_{1H,1M,2H,2M} d_{1H,1M,2H,2M} \cos\theta_{1H,1M,2H,2M} \quad (11)$$

【0032】

式 (10) の条件は、波長 λ_1 での薄膜スタック 110, 120 の式 (1) の値の差を定義している。つまり、薄膜スタック 110 の U_T と薄膜スタック 120 の U_T が互いに近いことを示している。これは、図 2 で求められた屈折率から求めることができ、本実施例における式 (10) の値は、波長 $\lambda_1 = 700$ nm にて 0 である。

【0033】

このように薄膜スタック 110, 120 のそれぞれにより構成される等価膜間の屈折率差を小さくすることが式 (10) の意味である。等価膜に換算したときに、屈折率が同じ領域は膜間の界面での反射が生じない。このため、本実施例の薄膜スタック 110, 120 間の界面では、波長 700 nm での反射が生じない。一方、波長 500 nm では屈折率差が大きくなっており、薄膜スタック 110, 120 間の界面での反射が大きく発生する

。このように、式(10)の条件を満足することで、使用波長域内で反射の有無を、屈折率差から調整することができる。

【0034】

表1に示した光学素子の透過率を図5に示す。前述したように、波長700nmでは反射が少ないために透過率が高く、屈折率差(つまりは反射)が大きい波長500nm付近で透過率が大きく低下する。このように、広い波長帯域で透過率が高く、一部の波長帯域の光を反射する膜(フィルタ)はマイナスフィルタと呼ばれている。

【0035】

また、実施例1では、使用波長域 λ_i における波長 λ_1 とは異なる波長 λ_2 において、以下の式(12)、(13)で示す条件を双方とも満足している。

10

【0036】

【数4】

$$-0.1 < \cos^2 \Delta_{1H2} \cos \Delta_{1M2} - \sin^2 \Delta_{1H2} \cos \Delta_{1M2} - \frac{U_{1H}^2 + U_{1M}^2}{U_{1H} U_{1M}} \cos \Delta_{1H2} \sin \Delta_{1H2} \sin \Delta_{1M2} < 0.1 \quad (12)$$

$$-0.1 < \cos^2 \Delta_{2M2} \cos \Delta_{2H2} - \sin^2 \Delta_{2M2} \cos \Delta_{2H2} - \frac{U_{2H}^2 + U_{2M}^2}{U_{2H} U_{2M}} \cos \Delta_{2M2} \sin \Delta_{2M2} \sin \Delta_{2H2} < 0.1 \quad (13)$$

$$\text{但し、} \Delta_{1H2,1M2,2H2,2M2} = \frac{2\pi}{\lambda_2} n_{1H,1M,2H,2M} d_{1H,1M,2H,2M} \cos \theta_{1H,1M,2H,2M} \quad (14)$$

20

【0037】

本実施例では、式(12)、(13)の値はともに波長500nmで0となっている。

【0038】

前述したように、波長 $\lambda_1 = 700\text{nm}$ では屈折率が近いために薄膜間の界面での反射は発生しない。しかし、反射を生じさせたい波長 $\lambda_2 = 500\text{nm}$ では、反射を増強させるために、薄膜スタック110、120の等価屈折率 n_T と等価物理膜厚 d_T の積である光学膜厚($n_T \times d_T$)は $\lambda/4$ とするのが、効率が良い。

【0039】

式(12)、(13)は薄膜スタック110、120の光学膜厚が $\lambda/4$ 、つまりは位相膜厚が90度の奇数倍となる領域を表している。これを満足することで、波長500nmでの反射を効率的に増やすことができる。

30

【0040】

さらに、本実施例の多層膜の総膜厚は5 μm 程度と非常に薄い。また、本実施例の多層膜は、同じ薄膜j101~j107を繰り返し積層しているため、非常に製造しやすい。

【実施例2】

【0041】

実施例2の光学素子100について説明する。表2には、薄膜スタック110、120の具体的な膜構成を示す。本実施例においても、H膜であるj102、j104、j106を Ta_2O_5 により形成し、M膜であるj103、j105、j107を MgF_2 により形成している。そして、薄膜スタック110、120を40回繰り返し積層している。

40

【0042】

【表 2】

#	膜	波長 n	物理膜厚 [nm]	膜構成
j1i	白板	1.530	-----	× 40
j107	SiO ₂	1.472	50.2	
j106	Ta ₂ O ₅	2.209	11.6	
j105	SiO ₂	1.472	50.2	
j104	Ta ₂ O ₅	2.209	31.3	
j103	SiO ₂	1.472	24.8	
j102	Ta ₂ O ₅	2.209	31.3	
j101	白板	1.530	-----	

【0043】

図6および図7にはそれぞれ、本実施例における薄膜スタック110、120の入射角0度で入射した入射光の波長ごとの等価屈折率 n_T および等価物理膜厚 d_T を示す。図6および図7では、薄膜スタック110を構成するj102~j104の等価屈折率と等価物理膜厚を実線で示し、薄膜スタック120を構成するj105~j107の等価屈折率と等価物理膜厚を破線で示している。

【0044】

なお、本実施例でも、H膜であるj102、j104とj106は同じ材料(Ta₂O₅)により形成されているが、互いに異なる材料により形成されてもよい。同様にM膜であるj103とj105、j107は同じ材料(MgF₂)により形成されているが、互いに異なる材料により形成されてもよい。

【0045】

使用波長域 λ_i を波長400~1000nmとして、薄膜スタック110に関する式(6)の波長ごとの値と、薄膜スタック120に関する式(7)の波長ごとの値とを図8に示す。図8において、式(6)の値は実線で示し、式(7)の値は一点鎖線で示している。薄膜スタック110、120はそれぞれ、式(6)、(7)に示した条件を満足している。

【0046】

また、図6に示すように、薄膜スタック110(j102~j104)と薄膜スタック120(j105~j107)の等価屈折率 n_T は波長500nmで交差している。このため、式(10)の値は波長 $\lambda_1 = 500\text{nm}$ で0となり、式(10)の条件を満足している。図6において、薄膜スタック110(j102~j104)の等価屈折率 n_T は波長400nm近傍で1以下となっている。波長帯域は狭いが、等価膜では実現し得ない特性を実現することができる。

【0047】

本実施例の透過率特性を図9に示す。本実施例は、波長700nmで反射率が高く、それ以外の波長帯域では透過率が高いマイナスフィルタとしての特性を有することが分かる。また、本実施例では、式(12)、(13)の値がともに波長 $\lambda_2 = 700\text{nm}$ で0となっており、式(12)、(13)の条件を双方とも満足している。

【0048】

本実施例の多層膜の総膜厚は8 μm 程度と非常に薄い。また、本実施例の多層膜は、同じ薄膜j101~j107を繰り返し積層しているため、非常に製造しやすい。

【0049】

なお、複数の薄膜を用いる場合には、該複数の薄膜の光学膜厚や屈折率は完全に一致し

なくてもよく、等価な干渉特性を有すればある程度の許容範囲内で差を有していてもよい。具体的には、使用中心波長において、屈折率では ± 0.02 程度、光学膜厚では $1/20$ 以下の範囲が許容範囲である。

【実施例 3】

【0050】

図 10 には、実施例 1, 2 で説明した光学素子 100 を用いた光学機器の例として、蛍光顕微鏡の構成を示している。1701 は被検物（サンプル）であり、1702 は対物レンズである。1704, 1706 は集光レンズであり、1705 は光検出素子である。1707 は発光素子である。そして、1703 は実施例 1, 2 のいずれかで説明したマイナスフィルタ機能を有する光学素子である。

10

【0051】

発光素子 1707 から出射した光は、集光レンズ 1706 により平行光に変換され、光学素子 1703 に入射する。光学素子 1703 は発光素子 1707 から入射した光を反射する機能を有しており、光学素子 1703 からの反射光は対物レンズ 1702 を介してサンプル 1701 に照射される。

【0052】

サンプル 1701 に照射された光によって発生した蛍光は、対物レンズ 1702 を介して平行光に変換され、光学素子 1703 に入射する。蛍光は、発光素子 1707 からの入射光とは波長が異なる光である。ここでは、蛍光の波長が光学素子 1703 の透過波長帯域となるように光学素子 1703 の多層膜の膜構成が設定されている。光学素子 1703 を透過した蛍光は、集光レンズ 1704 を通して光検出素子 1705 に向けて集光され、該光検出素子 1705 により検出される。

20

【0053】

本実施例では、例として光学素子 1703 を入射光に対して 45 度傾けて配置する場合について説明したが、この場合は各薄膜の光学膜厚を 45 度用に設定すればよく、当然ながら他の角度用に用いる場合でもその角度用に光学膜厚を設定すればよい。

【0054】

また、各実施例の光学素子の用途は、蛍光顕微鏡に限らず、入射光の波長によって反射と透過を選択的に行うフィルタ機能が必要な様々な光学機器に用いることができる。

【0055】

以上説明した各実施例は代表的な例にすぎず、本発明の実施に際しては、各実施例に対して種々の変形や変更が可能である。

30

【符号の説明】

【0056】

100 光学素子

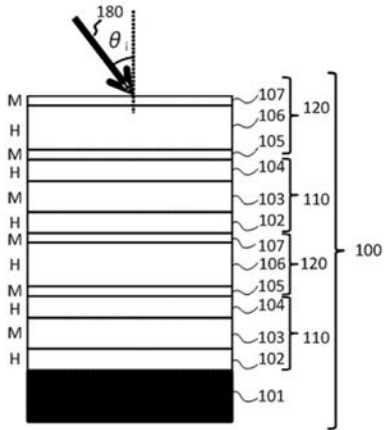
101 基板

102 ~ 107 薄膜

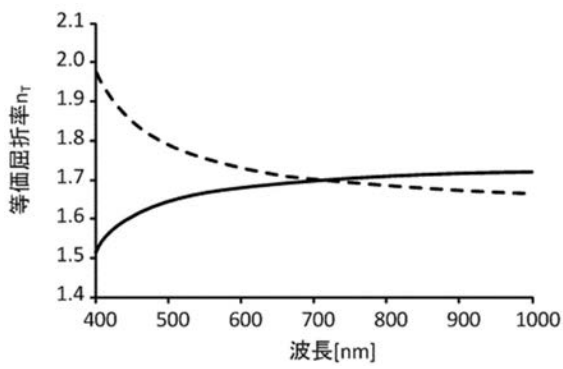
110, 120 薄膜スタック

180 入射光

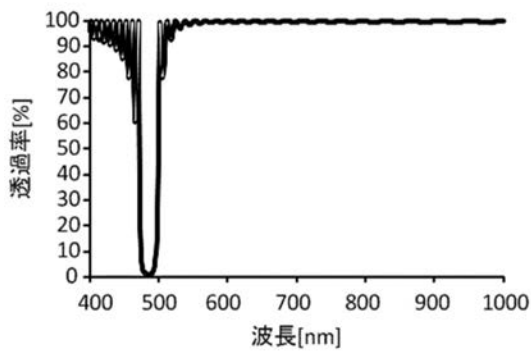
【図 1】



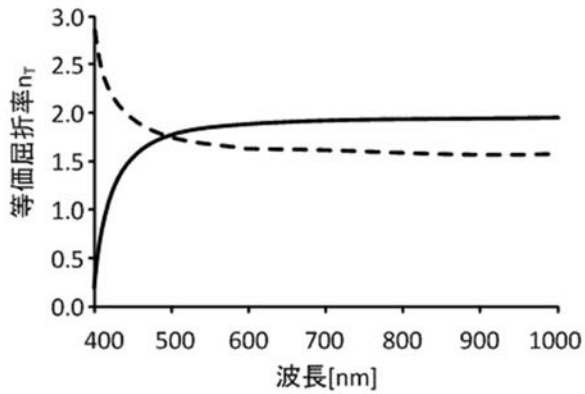
【図 2】



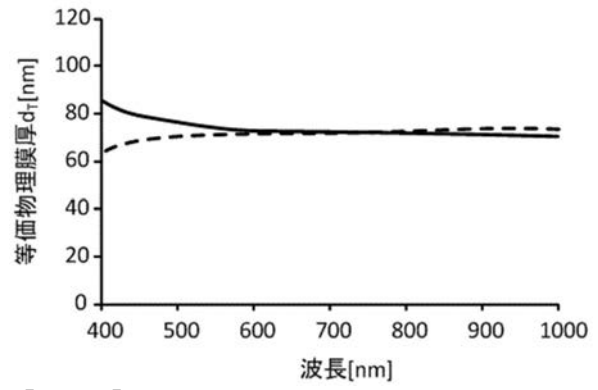
【図 5】



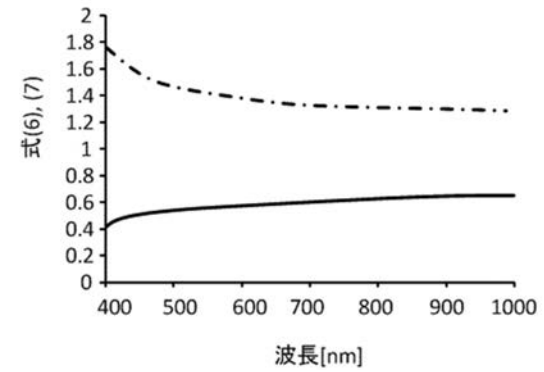
【図 6】



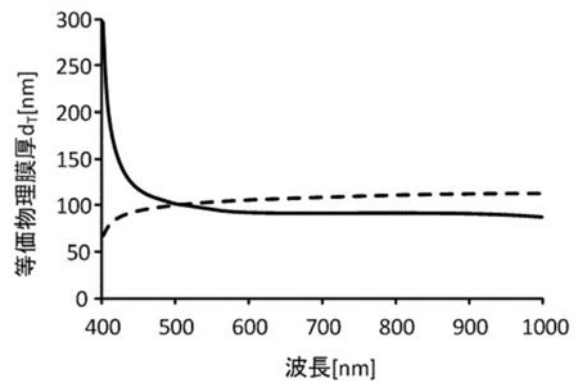
【図 3】



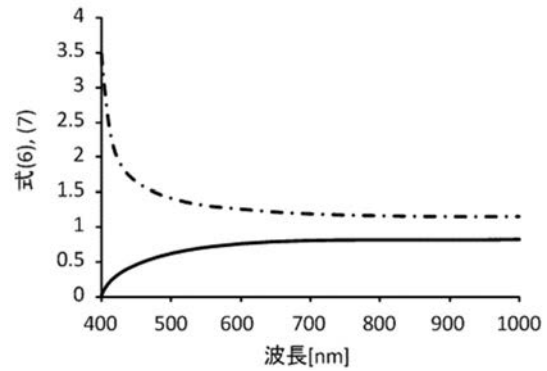
【図 4】



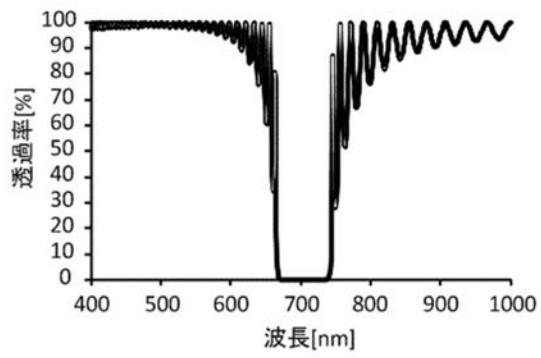
【図 7】



【図 8】



【 図 9 】



【 図 1 0 】

