

(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2006-171430

(P2006-171430A)

(43) 公開日 平成18年6月29日(2006.6.29)

(51) Int.Cl.

G02B 1/11 (2006.01)

F I

G02B 1/10

A

テーマコード (参考)

2K009

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2004-364527 (P2004-364527)

(22) 出願日 平成16年12月16日 (2004.12.16)

(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 100086818

弁理士 高梨 幸雄

(72) 発明者 奥野 丈晴

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) 2K009 AA12 BB02 CC03 DD02 DD06

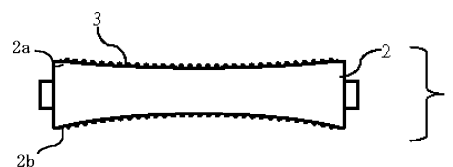
(54) 【発明の名称】 光学素子及びそれを有する光学系

(57) 【要約】

【課題】 光学面上に反射防止機能を有する微細凹凸構造体を光学面全体に容易に設けることができ、良好なる反射防止特性を有した光学素子を得ること。

【解決手段】 光学面上に微細凹凸構造体を具備した光学素子であって、該微細凹凸構造体は金属化合物を含有する材料からなり、該微細凹凸構造体は、平均面粗さを R_a 、表面積比 S_{ratio} の数値範囲を適切に設定したこと。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学面上に微細凹凸構造体を具備した光学素子であって、該微細凹凸構造体は金属化合物を含有する材料からなり、該微細凹凸構造体は、平均面粗さを R_a 、表面積比を S_{ratio} 、 X 、 Y 、 Z を直交座標にとり、

【数 1】

$$R_a \equiv \frac{1}{S_0} \int_{Y_1}^{Y_N} \int_{X_1}^{X_M} |H(X,Y) - H_{ave}| dXdY$$

10

$$S_{ratio} \equiv S / S_0$$

としたとき、

ただし、

$H(X, Y)$: 光学面を $X - Y$ 平面としたときの面内で任意にサンプリングした領域の該微細凹凸部の凹凸形状の Z 方向の値をあらわす関数

X_1 : X 方向のサンプリング開始座標

X_M : X 方向のサンプリング終了座標

Y_1 : Y 方向のサンプリング開始座標

20

Y_N : Y 方向のサンプリング終了座標

H_{ave} : $H(X, Y)$ の平均値

S_0 : 任意にサンプリングした領域が、平面であるとしたときの面積

$$= |(X_M - X_1)(Y_N - Y_1)|$$

λ_{min} : 使用波長領域における最短波長

S : 任意にサンプリングした領域における微細凹凸構造体表面の実際の表面積であるとき

【数 2】

$$R_a \geq \frac{\lambda_{min}}{20} \quad (1)$$

30

$$S_{ratio} \geq \sqrt{\frac{400R_a^2}{\lambda_{min}^2} + 1} \quad (2)$$

を満たすことを特徴とする光学素子。

【請求項 2】

前記光学面は、平面又は曲面又は複数の曲面を配列した曲面アレイであることを特徴とする請求項 1 の光学素子。

40

【請求項 3】

光学面に、金属を含有する溶液を塗布して皮膜を形成する皮膜形成工程と、該皮膜を温水処理又は水蒸気処理により微細凹凸構造体を形成する微細凹凸部形成工程とを有することを特徴とする微細凹凸構造体の製造方法。

【請求項 4】

前記温水処理の温度は 40 以上 100 以下であることを特徴とする請求項 3 に記載の微細凹凸構造体の製造方法。

【請求項 5】

請求項 1 又は 2 の光学素子を有することを特徴とする光学系。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は界面反射光量を抑制する機能を有する光学素子及びそれを有する光学系に関するものであり、例えばカメラやビデオカメラをはじめとする撮像機器、望遠鏡や反眼鏡の観察装置、液晶プロジェクタ、そして電子写真機器の光走査装置等をはじめとする各種の光学機器の光学系に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

従来、レンズなどの光学素子の光学面に光の反射を低減する為の反射防止膜を形成する方法として、真空蒸着法やスパッタリング法や、ディップ法などのウエット方式が広く利用されている。 10

【0003】

また、近年では、光学薄膜を用いずに波長以下の微細周期構造を光学面に形成した反射防止構造体も多く提案されている（特許文献1、2）。

【0004】

特許文献1は、透明基材の表面に、特定の微細周期構造を設けることで、反射率を低減する表示装置の窓材を開示している。微細周期構造の形状は最凸部における周期 P_{MAX} を、可視光の波長帯域の真空中における最小波長 λ_{MIN} 以下とし、水平断面内における透明基材部分の断面積の占有率が、微細周期構造の最凸部から最凹部に行くに従って連続的に漸次増加していき、最凹部において1としている。 20

【0005】

その微細凹凸形状を、ガラス基板上にレジスト層を形成した後、電子線描画法やレーザー干渉法でパターンを露光しエッチングし、ガラス基板を腐蝕させて製作している。

【0006】

特許文献2は、アルミニウム化合物を含む溶液を基体に塗布して、皮膜を形成し、特に熱処理することなく温水に浸漬することで表面に微細凹凸組織を形成する低温形成方法を開示している。そして接触角 150° 以上の優れた超撥水状態とともに、可視域で透過率 90% 以上の高い透明性を示す反射防止膜を実現している。

【特許文献1】特開2003-4916号公報

【特許文献2】特開2001-17907号公報 30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

真空蒸着法やスパッタ法による反射防止膜の形成では、装置が大掛かりで、かつ、成膜時間以外にも真空引きなどで多くの時間を要し、生産タクト（工程）が長くなるという難点があった。

【0008】

また、ディップ法などのウエット方式による反射防止膜の形成方法は、単層では高い反射防止性能が得られず、また、多層にするには塗布工程と乾燥工程とを繰り返す必要があり、結局、真空蒸着法と同様に製造工程が長くなる傾向がある。 40

【0009】

特許文献1の透明基板上に微細凹凸部を設ける方法は、可視域における波長以下の周期構造を形成可能な微細加工装置（電子線描画装置やレーザー干渉露光装置、半導体露光装置、エッチング装置など）を必要とする。一般にこれらの装置は極めて大掛かりな装置となり、非常に複雑な構造となる。

【0010】

又平面上への微細凹凸構造の形成には適しているが、曲面など複雑な形状の上に形成することは非常に困難である。

【0011】

本発明は、光学面上に反射防止機能を有する微細凹凸構造体を光学面全体に容易に設け 50

ることができ、良好なる反射防止特性を有した光学素子及びそれを有する光学系の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の光学素子は、微細凹凸構造体を具備した光学素子であって、該微細凹凸構造体は金属化合物を含有する材料からなり、該微細凹凸構造体は、平均面粗さを R_a 、表面積比 S_{ratio} とすると、後述する条件式(1)、(2)を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば光学面上に反射防止機能を有する微細凹凸構造体を光学面全体に容易に設けることができ、良好なる反射防止特性を有した光学素子を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下、図面を用いて本発明の光学素子及びその製造方法の実施例を説明する。

【0015】

本発明の光学素子は、平面又は曲面（球面、非球面、回転非対称面を含む）又は複数の曲面を配列した曲面群（シリンドリカル面やトーリック面又はそれらの面を配列した面）等の光学面上にアルミニウム化合物等の金属化合物から成る複数の微細凹凸部より成る反射防止機能を有した微細凹凸構造体を形成した構成より成っている。

【0016】

ここで微細凹凸構造体は、光学面の表面に設計波長（例えば波長550nm）と同等以下のピッチで微細凹凸部を形成することで界面反射光量を抑制できるものである。

【0017】

光学素子としては、レンズ、f レンズ、プリズム、平行平板、フライアイインテグレート等である。

【0018】

本発明の光学素子は、結像光学系、観察光学系、撮影光学系、走査光学系等の各種の光学系に用いられる。

【0019】

本発明の光学素子は、可視光領域（波長400nm～700nm）や赤外領域（波長700nm以上）において使用できる。

【0020】

実施例1及び以下の各実施例において、微細凹凸構造体を設ける光学面における平均面粗さ R_a 、表面積比 S_{ratio} は

【0021】

【数3】

$$R_a \geq \frac{\lambda_{min}}{20} \quad (1)$$

$$S_{ratio} \geq \sqrt{\frac{400R_a^2}{\lambda_{min}^2} + 1} \quad (2)$$

【0022】

を満足している。

【0023】

この条件(1)、(2)を満足する微細凹凸構造体を光学面上に設けた光学素子を用いることによって光学表面での光の反射を低減し、光学系中に用いた場合もフレア光やゴースト光など有害光の発生が抑制された良好な光学性能の光学系を実現している。尚、更に

10

20

30

40

50

好ましくは式(1)，(2)を次の如く設定するのが良い。

【0024】

【数4】

$$R_a \geq \frac{\lambda_{\min}}{15} \quad (1a)$$

$$S_{ratio} \geq 1.2 \times \sqrt{\frac{400R_a^2}{\lambda_{\min}^2} + 1} \quad (2a)$$

10

【0025】

ここで平均面粗さ R_a ，表面積比 S_{ratio} は X ， Y ， Z を直交座標とし、
 $H(X, Y)$ ：光学面を $X - Y$ 平面としたときの面内で任意にサンプリングした領域の微細凹凸部の凹凸形状の Z 方向の値（凹凸の高さ）をあらわす関数

X_1 ： X 方向のサンプリング開始座標

X_M ： X 方向のサンプリング終了座標

Y_1 ： Y 方向のサンプリング開始座標

Y_N ： Y 方向のサンプリング終了座標

H_{ave} ： $H(X, Y)$ の平均値

S_0 ：任意にサンプリングした領域が、平面であるとしたときの面積

20

$$= |(X_M - X_1)(Y_N - Y_1)|$$

λ_{\min} ：光学素子の使用波長領域における最短波長

S ：任意にサンプリングした領域における凹凸構造表面の実際の表面積とするとき

【0026】

【数5】

$$R_a \equiv \frac{1}{S_0} \int_{Y_1}^{Y_N} \int_{X_1}^{X_M} |H(X, Y) - H_{ave}| dXdY$$

30

$$S_{ratio} \equiv S / S_0$$

【0027】

で定義されるものである。

【0028】

実際の微細凹凸部の形状において、上記に定義した平均面粗さ R_a 、表面積比 S_{ratio} の真の値を求めることが困難なときには例えば AFM（原子間力顕微鏡）を用いて、測定エリアの高さをある間隔で測定し、得られた測定値から、以下のように定義した平均面粗さ R_a' と表面積比 S'_{ratio} で代用した条件式(1)'(2)'を用いても良い。

40

【0029】

即ち、

$H(m, n)$ ：光学面を $X - Y$ 平面とし、任意の間隔で測定した際の X 方向に m 番目、 Y 方向に n 番目の測定値（高さ）

M ： X 方向の測定数

N ： Y 方向の測定数

MN ：サンプリングした全データの数

H_{ave} ：測定した全 $H(m, n)$ の平均値

【0030】

50

【数 6】

$$= \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N H(m, n)$$

【0 0 3 1】

【数 7】

$$S' \equiv \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} \left[\left\{ s_{m,n} (s_{m,n} - a_{m,n}) (s_{m,n} - b_{m,n}) (s_{m,n} - c_{m,n}) \right\}^{\frac{1}{2}} \right. \\ \left. + \left\{ t_{m,n} (t_{m,n} - d_{m,n}) (t_{m,n} - e_{m,n}) (t_{m,n} - f_{m,n}) \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad 10$$

【0 0 3 2】

ここで、

【0 0 3 3】

【数 8】

20

$$a_{m,n} = \overline{P_{m,n} P_{m,n+1}}$$

$$b_{m,n} = \overline{P_{m,n+1} P_{m+1,n+1}}$$

$$c_{m,n} = \overline{P_{m+1,n+1} P_{m,n}}$$

$$s_{m,n} = \frac{1}{2} (a_{m,n} + b_{m,n} + c_{m,n})$$

30

$$d_{m,n} = \overline{P_{m+1,n+1} P_{m+1,n}}$$

$$e_{m,n} = \overline{P_{m+1,n} P_{m,n}}$$

$$f_{m,n} = \overline{P_{m,n} P_{m+1,n+1}}$$

$$t_{m,n} = \frac{1}{2} (d_{m,n} + e_{m,n} + f_{m,n})$$

40

【0 0 3 4】

$P_{m,n}$: X方向にm番目、Y方向にn番目の測定ポイントの座標
すなわち、X方向の測定間隔を d_x 、Y方向の測定間隔を
 d_y としたとき、

【0 0 3 5】

【数 9】

$$\left(\begin{array}{cc} m-d & n-d \\ & H(m, n) \end{array} \right)$$

【0036】

とし、

【0037】

【数10】

$$R_a' \equiv \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |H(m, n) - H_{ave}|$$

10

$$S_{ratio}' \equiv S / S_0$$

【0038】

とするとき、

【0039】

【数11】

20

$$R_a' \geq \frac{\lambda_{min}}{20} \quad (1)'$$

$$S_{ratio}' \geq \sqrt{\frac{400R_a'^2}{\lambda_{min}^2} + 1} \quad (2)'$$

【0040】

である。

30

【0041】

また、可視光よりも微細な形状を、AFM（原子間力顕微鏡）などで実際に測定する場合、一回で測定する領域は数mm角程度と光学素子の有効面積に比べて極めて小さいのが一般的である。そこで、上記の定義において、微細凹凸部の形状がレンズなど曲面状に形成されている場合も、ベース面が曲率を有することによる $H(m, n)$ の値の変化は無視できる場合がほとんどであるが、無視できない場合は、そのベース面形状による変化分を差し引いて、補正した値で再定義している。

【0042】

微細凹凸構造体の横方向の大きさが光の波長よりも小さい場合、ある高さでの有効屈折率 n_e は、微細凹凸構造体を形成している材料の屈折率を n_1 、その高さでの空間占有率

40

を f_1 としたとき、Lorentz-Lorenzの公式から、以下の関係式

【0043】

【数12】

$$\frac{n_e^2 - 1}{n_e^2 + 2} = f_1 \frac{n_1^2 - 1}{n_1^2 + 2}$$

【0044】

のように求めることができる。

50

【 0 0 4 5 】

従って、微細凹凸構造体の空間占有率が、空気（入射媒質）から基板（射出媒質）に向かって徐々に変化した場合、有効屈折率 n_e も徐々に変化することになる。

【 0 0 4 6 】

屈折率が徐々に変化した場合でも、Fresnelの公式により、その微小変化量に応じた反射光が各高さで発生する。さらに、各高さで発生した反射光は干渉するが、微細凹凸構造体の高さが一定以上の場合、それらが干渉により打ち消しあい、反射光が低減することとなる。従って、微細凹凸構造体は、高さが大きい方が好ましい。

【 0 0 4 7 】

また、光学素子の反射防止構造では入射光の回折・散乱が発生しないことが必要である。微細凹凸構造体で回折・散乱光が発生しないためには、隣り合う山同士の距離 p が、光線の入射角を θ_{inc} としたとき、

【 0 0 4 8 】

【 数 1 3 】

$$p < \frac{\lambda_{min}}{n_1 + \sin \theta_{inc}}$$

20

【 0 0 4 9 】

の式を満たす必要がある。

【 0 0 5 0 】

発明者は、鋭意検討の結果、光の反射率が低く、回折・散乱光の発生しない微細凹凸構造体の条件として、前出の式（１），（２）の関係式を見出した。

【 0 0 5 1 】

すなわち、式（１）の関係式を満たせば、微細凹凸構造体は光学面での光の反射を低減するのに十分な高さを持つこととなり、同時に式（２）を満たせば、その微細凹凸構造体の隣り合う山同士の距離は回折・散乱光が発生しない程度に十分小さなものとなる。

【 0 0 5 2 】

次に本発明の光学素子及びそれを有する光学系及び光学素子の製造方法の各実施例について説明する。

【 実施例 １ 】

【 0 0 5 3 】

図１は、本発明の実施例１の光学素子の正面図である。図１において、光学素子１は両面が凹形状の凹レンズであり、基板２の両面上に反射防止用の微細凹凸構造体３が設けられた構成となっている。

【 0 0 5 4 】

図２は、実施例１の光学素子１を図１中のＡ－Ａ'断面で切断した断面図である。ここで、基板２は、互いに非平行な２面（ともに凹面）２ａ，２ｂの光学面から形成されており、光学面には平均面粗さ R_a が 20 nm 以上、表面積比 S_{ratio} が 1.42 以上のアルミニウム酸化物を主成分とする微細凹凸構造体３からなる反射防止膜を形成している。これにより光学面２ａ，２ｂでの光の反射を低減している。

40

【 0 0 5 5 】

ここで、実施例１の光学素子１の使用波長領域は可視域なので、使用波長領域における最短波長を 400 nm としている。

【 0 0 5 6 】

実施例１では、光学素子として凹レンズの場合を示したが、本実施例の光学素子はこれに限定されるものではなく、レンズ形状は両レンズ面が凸面でもメニスカス形状でも構わない。

50

【実施例 2】

【0057】

図 3 は、本発明の実施例 2 の光学素子の正面図である。同図において、光学素子 1 はプリズムであり、基体 2 の光学面に反射防止構造体 3 が設けられた構造となっている。

【0058】

図 4 は、実施例 2 の光学素子 1 を図 3 中の A - A' 断面で切断した断面図である。ここで、基体 2 は、互いに非平行な 3 面の光学面 2 a, 2 b, 2 c から形成されており、各光学面には平均面粗さ R_a が 20 nm 以上、表面積比 S_{ratio} が 1.42 以上のアルミニウム酸化物を主成分とする微細凹凸構造からなる反射防止構造体 3 を形成している。これにより、光学面での光の反射を低減している。

10

【0059】

ここで、実施例 2 の光学素子の使用波長領域は可視域なので、使用波長領域における最短波長を 400 nm としている。

【0060】

実施例 2 では、プリズムの各光学面のなす角度が、 90° , 45° の場合を示したが、実施例 2 はこれに限定されるものではなく、光学面がどんな角度で構成されたプリズムでも構わない。

【実施例 3】

【0061】

図 5 は、本発明の実施例 3 の光学素子の正面図である。同図において、光学素子 1 はフ

20

ライアイインテグレータであり、基板 2 の光学面に反射防止構造体 3 が設けられた構造となっている。

【0062】

図 6 は、実施例 3 の光学素子 1 を図 5 中の A - A' 断面で切断した断面図である。ここで、基板 2 は、互いに非平行な 2 面（一方が複数の曲面より成る光学面 2 a、他方が平面 2 b）の光学面から形成されており、各光学面には平均面粗さ R_a が 20 nm 以上、表面積比 S_{ratio} が 1.42 以上のアルミニウム酸化物を主成分とする微細凹凸構造からなる反射防止構造体 3 を形成している。

【0063】

これにより、光学面での光の反射を低減している。ここで、実施例 3 の光学素子の使用

30

波長領域は可視域なので、使用波長領域における最短波長を 400 nm としている。

【0064】

実施例 3 では、フライアイインテグレータの非平行な 2 面のうち一方が複数の曲面より成る光学面 2 a、他方が平面の場合を示したが、実施例 3 はこれに限定されるものではなく、一方が複数の曲面より成る光学面で他方も同様の曲面であっても構わない。

【実施例 4】

【0065】

図 7 は、本発明の実施例 4 の光学素子の正面図である。同図において、光学素子 1 は f レンズであり、基板 2 に反射防止構造体 3 が設けられた構造となっている。

【0066】

40

図 8 は、実施例 4 の光学素子 1 を図 7 中の A - A' 断面で切断した断面図である。ここで、基板 2 は、互いに非平行な 2 面の光学面 2 a、2 b から形成されており、各光学面には平均面粗さ R_a が 21 nm 以上、表面積比 S_{ratio} が 1.45 以上のアルミニウム酸化物を主成分とする微細凹凸構造からなる反射防止構造体 3 を形成している。これにより光学面での光の反射を低減している。ここで、実施例 4 の光学素子 1 の使用波長は 405 nm である。

【実施例 5】

【0067】

図 9 は本発明の実施例 5 として、光学素子を観察光学系に用いた要部概略図である。

【0068】

50

図 9 は、双眼鏡の一对の光学系のうち、一方の断面を示している。

【 0 0 6 9 】

図 9 において、4 は観察像を形成する対物レンズ、5 は像を反転させるための像反転手段としてのプリズム（展開して図示）、6 は接眼レンズ、7 は観察像の結像面、8 は瞳面（評価面）である。図 9 において 3 は本発明に関わる反射防止構造体であり、平均面粗さ R_a が 20 nm 以上、表面積比 $S_{r a t i o}$ が 1.42 以上のアルミニウム酸化物を主成分とする微細凹凸構造より成り、各光学面に設けて光の反射を低減している。ここで、実施例 5 の光学系の使用波長領域は可視域なので、使用波長領域における最短波長を 400 nm としている。また、実施例 5 では、対物レンズ 4 の最も物体側の光学面 9 および接眼レンズ 6 の最も評価面側の光学面 10 には微細凹凸構造からなる反射防止構造体 3 を設けていない。これは、反射防止構造体 3 が使用中の接触などにより性能が劣化するので設けなかったが、これに限定されるものではなく、光学面 9, 10 に反射防止構造体 3 を設けてもよい。

10

【 実施例 6 】

【 0 0 7 0 】

図 10 は、本発明の実施例 6 として、光学素子を撮像光学系に用いた要部概略図である。図 10 は、カメラなどの撮影レンズの断面を示している。

【 0 0 7 1 】

図 10 において、7 は結像面であり、フィルム、または CCD, CMOS などの固体撮像素子（光電変換素子）が配置されている。11 は絞りである。図 10 において 3 は本発明に関わる反射防止構造体であり、平均面粗さ R_a が 20 nm 以上、表面積比 $S_{r a t i o}$ が 1.42 以上のアルミニウム酸化物を主成分とする微細凹凸構造より成り、各光学面に設けて光の反射を低減している。ここで、実施例 6 の光学系の使用波長領域は、可視域なので、使用波長領域における最短波長を 400 nm としている。

20

【 0 0 7 2 】

また、実施例 6 では、対物レンズの最も物体側の光学面 9 には微細凹凸構造からなる反射防止構造体 3 を設けていない。これは、反射防止構造体 3 が使用中の接触などにより性能が劣化するので設けなかったが、これに限定されるものではなく、光学面 9 に反射防止構造体 3 を設けてもよい。

【 実施例 7 】

30

【 0 0 7 3 】

図 11 は、本発明の実施例 7 として、光学素子を投影光学系（プロジェクタ）に用いた要部概略図である。

【 0 0 7 4 】

図 11 は、プロジェクタ光学系の断面を示したものである。

【 0 0 7 5 】

図 11 において、12 は光源、13 a, 13 b はフライアイインテグレータ、14 は偏光変換素子、15 はコンデンサーレンズ、16 はミラー、17 はフィールドレンズ、18 a, 18 b, 18 c, 18 d は色分解合成用のプリズム、19 a, 19 b, 19 c は光変調素子、20 は投影レンズである。図 11 において 3 は本発明に関わる反射防止構造体であり、平均面粗さ R_a が 20 nm 以上、表面積比 $S_{r a t i o}$ が 1.42 以上のアルミニウム酸化物を主成分とする微細凹凸構造より成り、各光学面に設けて光の反射を低減している。ここで、実施例 7 の光学系の使用波長領域は、可視域なので、使用波長領域における最短波長を 400 nm としている。

40

【 0 0 7 6 】

また、実施例 7 の反射防止構造体 3 は、主にアルミニウム酸化物から構成されているので、耐熱性も高く、光源 12 に近く高熱に曝させる光学面 13 a の位置に用いても、性能劣化の心配がない。

【 実施例 8 】

【 0 0 7 7 】

50

図 1 2 は、本発明の実施例 8 として、光学素子を走査光学系（レーザービームプリンタ）に用いた要部概略図である。

【0078】

図 1 2 は、走査光学系の断面を示している。

【0079】

図 1 2 において、12 は光源、21 はコリメーターレンズ、11 は開口絞り、22 はシリンドリカルレンズ、23 は光偏向器、24a, 24b は f レンズを構成する光学素子、7 は像面である。図 1 2 において 3 は本発明に関わる反射防止構造体であり、平均面粗さ R_a が 21 nm 以上、表面積比 S_{ratio} が 1.45 以上のアルミニウム酸化物を主成分とする微細凹凸構造より成り、各光学面に設けて光の反射を低減し、高品位な画像形成を実現している。ここで、実施例 8 の光学系の使用波長は 405 nm である。

10

【実施例 9】

【0080】

図 1 3 は本発明の実施例 9 として、反射防止構造体 3 を具備する光学素子（プリズム）の製造方法の概略図である。

【0081】

図 1 3 において 2 は基板であり、例えばプリズムより成っている。

【0082】

基板 2 を中性洗剤、純水リンス、アルコールで順次洗浄し乾燥後、図 1 3 (A) に示したように、支持部材 25 で固定した。

20

【0083】

アルミニウム - secondary - ブトキシド ($Al(OsecBu)_3$) を 2 - プロパノール (IPA) 中に添加し、攪拌後、アセト酢酸エチル (EAcAc) を添加し、約 3 時間室温で攪拌した。さらに 0.01 M 希塩酸 (HCl aq.) を加え、溶液のモル比を

$Al(OsecBu)_3 : IPA : EAcAc : HCl aq. = 1 : 20 : 1 : 1$ の割合とした。これを約 1 時間室温で攪拌し、塗布液 26 を調製した。

【0084】

次いで、支持部材 25 に固定した基板 2 を塗布液 26 に浸漬し、1 mm / sec の速度で引き上げ、基板 2 の光学面に透明な皮膜を形成した（皮膜形成工程）。

30

【0085】

続いて、約 60 ° で 30 分間乾燥後、図 1 3 (B) に示したように約 60 ° の温水 27 に所定時間浸漬し、約 60 ° で再び乾燥し、基板 2 の表面上に反射防止構造体 3 を形成した（微細凹凸部形成工程）。

【0086】

この反射防止構造体 3 の表面形状を AFM 装置（セイコーインスツルメンツ社製 SPA-500 + SPI3800N）に、先鋭な先端形状を有するカンチレバー（同社製 SIF20S）を用いて測定を行ったところ、式 (1) のように定義された平均面粗さ R_a が 22.8 nm、式 (2) のように定義された表面積比 S_{ratio} が 1.996 であった。また、そのプリズムの可視光線の透過率測定を行ったところ、回折・散乱などの不要光の発生はなく、図 1 4 に示したように可視域全域で 99.3 % 以上と極めて優れた透過率であった。

40

【0087】

また、この方法では、製造工程中の処理温度が約 60 ° と低温であるため、光学素子 1 の基板もしくは基体 2 として、樹脂等を用いた場合も変形や変質などの問題が発生することもない。

【0088】

実施例 9 では、光学素子 1 の基板がプリズムの場合について説明したが、これに限定するものではなく、他にも凸レンズ、凹レンズ、メニスカスレンズ、フライアイインテグレータや f レンズなど様々な基板であっても同様の方法で優れた反射防止構造体を形成す

50

ることができる。

【0089】

さらに、実施例9では、被膜の形成および乾燥後、温水に所定時間浸漬したが、これに限定するものではなく、水蒸気中に所定時間さらしても良い。

【実施例10】

【0090】

図15は本発明の実施例10として、反射防止構造体3を具備する光学素子（フライアイインテグレータ）の製造方法の要部概略図である。図15において2は基板であり、例えばフライアイレンズより成っている。

【0091】

基板2を中性洗剤、純水リンス、アルコールで順次洗浄し、乾燥後、図15（A）に示したように、支持部材25で固定した。

【0092】

硝酸アルミニウム9水和物（ $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ）を2-プロパノール（IPA）中に添加し攪拌後、さらにアセト酢酸エチル（EAcAc）を添加し約3時間室温で攪拌した。ここで、溶液のモル比は、

$$Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O : IPA : EAcAc = 1 : 20 : 1$$

の割合とした。これを約1時間室温で攪拌し、塗布液26を調製した。

【0093】

次いで、支持部材25に固定した基板2を塗布液26に浸漬し、 1 mm/sec の速度で引き上げ、基板2の光学面に透明な皮膜を形成した。

【0094】

続いて、約60℃で30分間乾燥後、図15（B）に示したように水蒸気28に所定時間さらし、約60℃で再び乾燥し、基板2の表面上に反射防止構造体3を形成した。

【0095】

この反射防止構造体3の表面形状をAFM装置（セイコーインスツルメンツ社製SPA-500+SPI3800N）に、先鋭な先端形状を有するカンチレバー（同社製SIDF20S）を用いて測定を行ったところ、式（1）のように定義された平均面粗さ R_a が 23.6 nm 、式（2）のように定義された表面積比 S_{ratio} が 1.776 であった。また、そのフライアイインテグレータの可視光線の透過率測定を行ったところ、回折・散乱などの不要光の発生はなく、図16に示したように可視域全域で 98.5% 以上と極めて優れた透過率であった。

【0096】

また、この方法では、製造工程中の処理温度が低温であるため、光学素子1の基板もしくは基体2として、樹脂等を用いた場合も変形や変質などの問題が発生することもない。

【0097】

実施例10では、光学素子1の基板がフライアイインテグレータの場合について説明したが、これに限定するものではなく、他にも凸レンズ、凹レンズ、メニスカスレンズ、プリズムやf レンズなど様々な基板であっても同様の方法で優れた反射防止構造体を形成することができる。

【0098】

さらに、実施例10では、被膜の形成および乾燥後、水蒸気中に所定時間さらしたが、これに限定するものではなく温水に所定時間浸漬しても良い。

【0099】

以上説明したように、実施例1～8によれば、光学素子の表面での光の反射を低減し、光学系中に用いた場合もフレア光やゴースト光など有害光の発生を抑制し良好な光学性能の光学系を実現できる。

【0100】

また、実施例9、10の光学素子の製造方法によれば、ディップ法という大掛かりで高価な装置を必要としない簡便な方法で、電子線描画装置、レーザー干渉露光装置、半導体

10

20

30

40

50

露光装置、エッチング装置などを用いても形成が困難な光学面を有する光学素子上に、容易にして高性能な反射防止構造体を形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0101】

【図1】：本発明の実施例1の正面図

【図2】：本発明の実施例1の断面図

【図3】：本発明の実施例2の正面図

【図4】：本発明の実施例2の断面図

【図5】：本発明の実施例3の正面図

【図6】：本発明の実施例3の断面図

10

【図7】：本発明の実施例4の正面図

【図8】：本発明の実施例4の断面図

【図9】：本発明の実施例5の断面図

【図10】：本発明の実施例6の断面図

【図11】：本発明の実施例7の断面図

【図12】：本発明の実施例8の断面図

【図13】：本発明の実施例9の工程図

【図14】：本発明の実施例9の反射防止構造体の透過率を示す図

【図15】：本発明の実施例10の工程図

【図16】：本発明の実施例10の反射防止構造体の透過率を示す図

20

【符号の説明】

【0102】

1 : 光学素子

2 : 基板, 基体

3 : 反射防止構造体

4 : 対物レンズ

5 : プリズム

6 : 接眼レンズ

7 : 結像面

8 : 瞳面

30

9 : 最も物体側の光学面

10 : 最も評価面（瞳面もしくは結像面）側の光学面

11 : 絞り

12 : 光源

13 : フライアイインテグレータ

14 : 偏光変換素子

15 : コンデンサーレンズ

16 : ミラー

17 : フィールドレンズ

18 : プリズム

40

19 : 光変調素子

20 : 投影レンズ

21 : コリメータレンズ

22 : シリンドリカルレンズ

23 : 光偏向器

24 : f レンズ

25 : 支持部材

26 : 塗布液

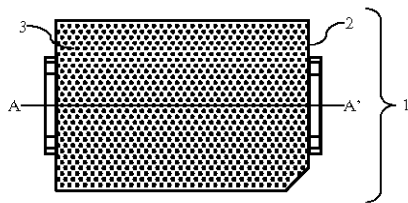
27 : 温水

28 : 水蒸気

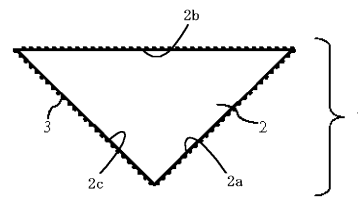
50

2 9 蓋

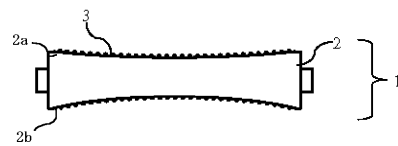
【図 1】



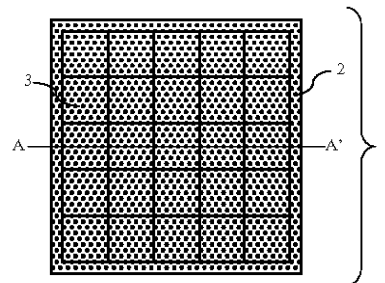
【図 4】



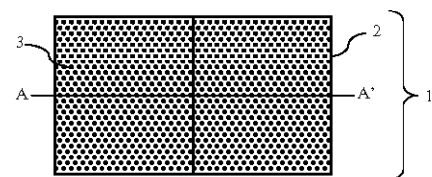
【図 2】



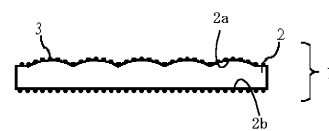
【図 5】



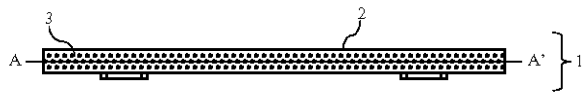
【図 3】



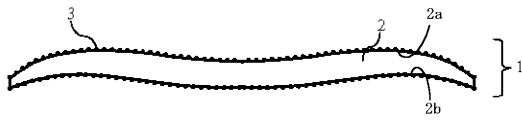
【図 6】



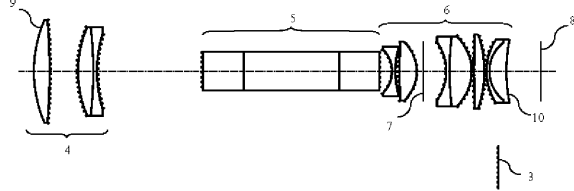
【図 7】



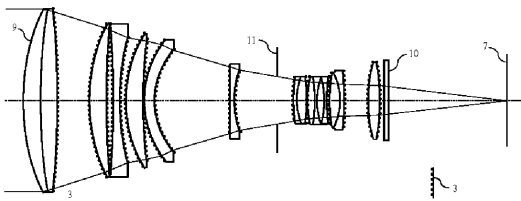
【図 8】



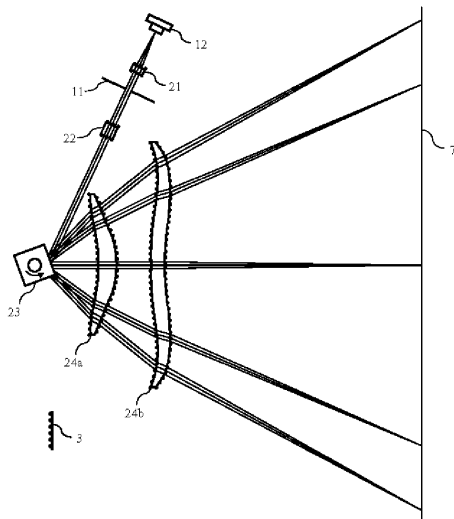
【図 9】



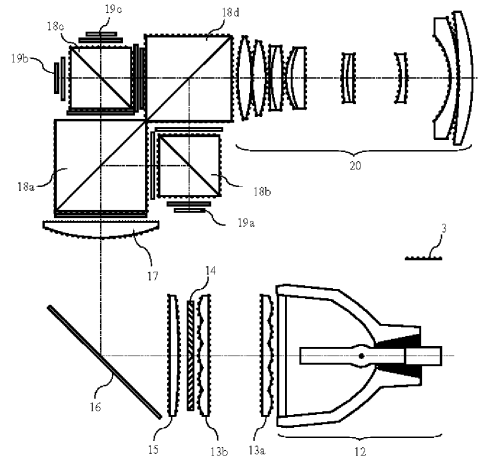
【図 10】



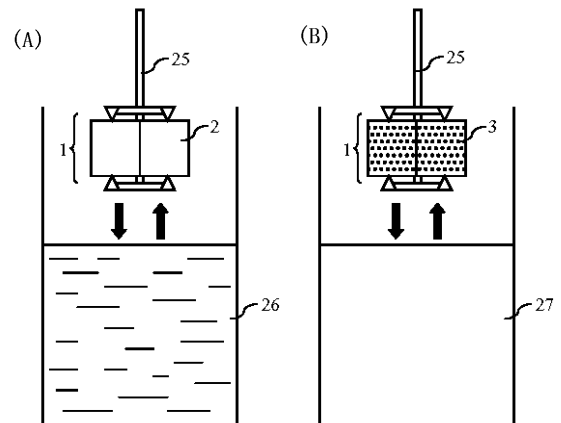
【図 12】



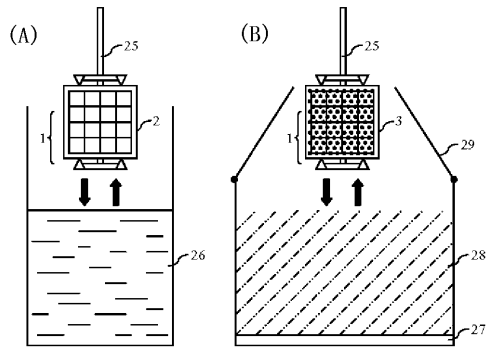
【図 11】



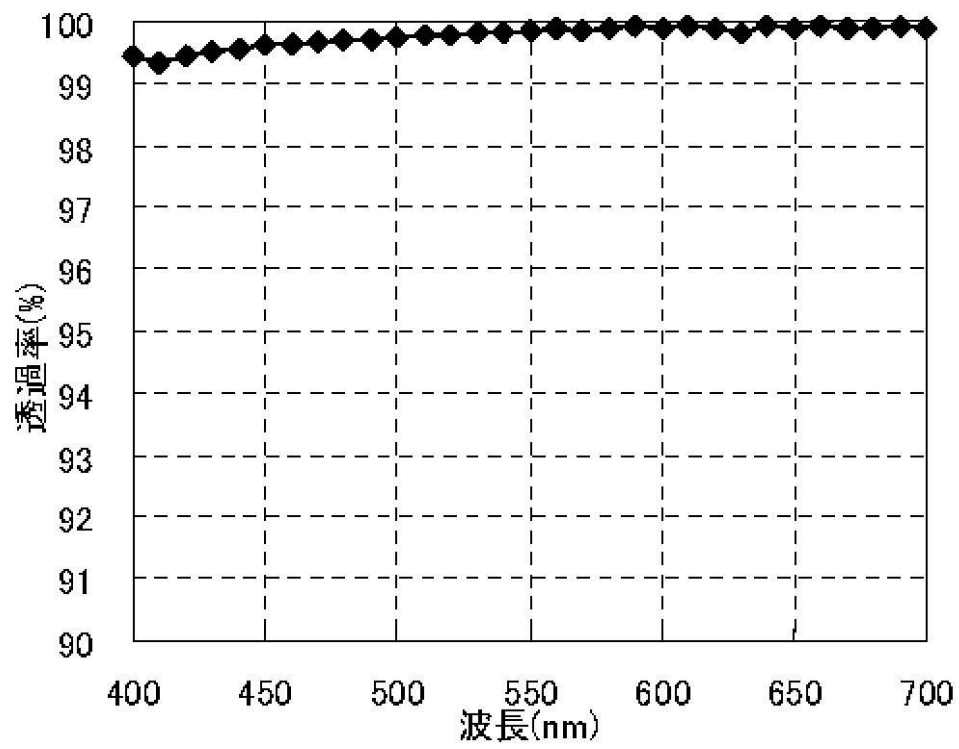
【図 13】



【図 15】



【図 14】



【図 16】

