

(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2010-281876

(P2010-281876A)

(43) 公開日 平成22年12月16日 (2010. 12. 16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G 0 2 B 1/11 (2006.01)</b>	G O 2 B 1/10 A	2 H 0 8 7
<b>G 0 2 B 13/00 (2006.01)</b>	G O 2 B 13/00	2 K 0 0 9
<b>G 0 2 B 25/00 (2006.01)</b>	G O 2 B 25/00 Z	

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2009-132941 (P2009-132941)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成21年6月2日 (2009. 6. 2)		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	中井 武彦
			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)	2H087 KA02 KA03 KA14 KA16 KA18
			KA19 LA01 LA12 NA18
			2K009 AA01 CC21 DD01

(54) 【発明の名称】 光学素子及びそれを有する光学系

(57) 【要約】

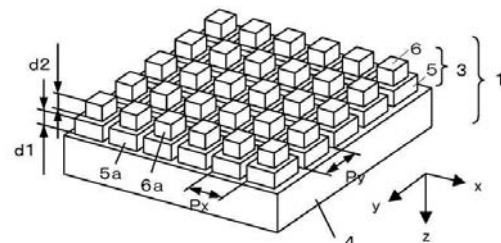
【課題】 微細凹凸形状の格子の高さを高くせずに、成形などの製造で高性能の反射防止構造が容易に得られる構造より成る光学素子を得ること。

【解決手段】 透明基板と該透明基板の入射媒質の界面に凸形状又は凹形状の複数の格子を配列した、反射防止機能を有する反射防止構造が形成された光学素子に於いて、該複数の格子は平均間隔が、使用波長のうち任意の波長以下で配列されており、該反射防止構造は、格子の配列面内における格子の充填率が異なる少なくとも2層が積層されて構成されており、該積層された充填率の異なる複数の層の中で任意の2つの層1、層2における格子の充填率を $FF1$ 、 $FF2$ とするとき

$$0.36 \leq FF1 - FF2 \leq 0.56$$

なる条件を満足すること。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

透明基板と該透明基板の入射媒質の界面に凸形状又は凹形状の複数の格子を配列した、反射防止機能を有する反射防止構造が形成された光学素子に於いて、該複数の格子は平均間隔が、使用波長域内の任意の波長以下で配列されており、該反射防止構造は、格子の配列面内における格子の充填率が異なる第 1 の層、第 2 の層が積層された構成を含み、該第 1 の層、第 2 の層における格子の充填率を各々  $FF1$ 、 $FF2$  とするとき

$$0.36 \leq FF1 - FF2 \leq 0.56$$

なる条件を満足することを特徴とする光学素子。

## 【請求項 2】

前記充填率の異なる複数の層は、入射媒質から、前記透明基板に向かって、充填率が徐々に高くなってい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 及び第 2 の層は、見かけの屈折率を各々  $n1e$ 、 $n2e$ 、層厚を  $d1$ 、 $d2$ 、使用波長の中心波長を  $\lambda_0$  とするとき

$$0.8 \leq \lambda_0 / 4 \leq n1e \cdot d1 \leq 1.1 \cdot \lambda_0 / 4$$

$$0.8 \leq \lambda_0 / 4 \leq n2e \cdot d2 \leq 1.1 \cdot \lambda_0 / 4$$

なる条件のうち、少なくとも 1 つを満足することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光学素子。

## 【請求項 4】

前記反射防止構造は、前記複数の格子の格子構造が反転した形状が形成された金型を用いて成形転写することで形成されたものであることを特徴とする請求項 1、2 又は 3 に記載の光学素子。

## 【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 項のいずれか 1 項に記載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】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は光学素子及びそれを有する光学系に関し、例えば、デジタルカメラ、ビデオカメラ、TVカメラ、観察系等の光学機器の光学系に用いられる光学素子として好適なものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、ガラス、プラスチックなどの透光性媒質を用いた光学素子において、表面反射による光を減少させるために、透明基板の光入出射面に反射防止膜を設けている。例えば、可視光に対する反射防止膜としては、薄膜の誘電体膜を複数層重ねた多層膜のものが知られている。この多層膜は、透明基板の表面に真空蒸着等により、金属酸化物等の薄膜を成膜して形成されている。また、光学素子に用いる反射防止構造として、透明基板の表面に可視光の波長以下のピッチの微細凹凸形状の複数の格子を有する領域（微細凹凸構造）を形成することで反射防止効果を得る構成が知られている。（非特許文献 1 参照）。使用波長より十分小さな周期構造（周期間隔）を有する微細凹凸形状の格子を用いた場合、格子により回折は生じず、微細凹凸形状の格子は、特定の屈折率を有する薄膜のような光学作用をする。

## 【0003】

例えば、基板の媒質の屈折率  $n2 = 1.58$  と入射媒質である空気（ $n1 = 1$ ）の界面に、円柱形状の格子が媒質と空気の体積比率 50% で形成されたとする。この場合、この微細凹凸形状の格子は、媒質と空気の間での屈折率  $ne = 1.29$  の薄膜のように振る舞う。そして格子の高さを  $d$  とするとき  $ne \times d$  が波長の  $1/4$  となるように設定すれば、この格子形状は反射防止膜として機能する。このような、微細凹凸形状の格子を表面に持つ光学素子の製法として、成形用の金型の表面に微細凹凸構造を形成し、その型でプラス

10

20

30

40

50

チック樹脂などを成形するものが知られている（特許文献 2 参照）。この製法では、光学素子の成形と同時に反射防止構造を形成することが可能となるため、通常の薄膜の反射防止膜と異なり、反射防止処理を施す追加の工程がなくなり製作が容易となる。また、上記成形用の金型に微細凹凸構造を形成する製法としては、以下のものが挙げられる。

【 0 0 0 4 】

1 つめは、金型の表面に微細凹凸のレジストパターンを形成した後、反応性イオンエッチングなどの異方性エッチングを施し、レジストパターンを除去して、微細凹凸形状を作製する方法である（特許文献 1 参照）。或いは、陽極酸化ポーラスアルミナとエッチングを繰り返すことで、擬似円錐形状を型に形成する方法なども知られている（特許文献 3 参照）。その他に、前述したような周期構造の格子ではなく、ランダムな形状の格子を有する反射防止構造として、ナノ微粒子を型に吹き付けることで微細凹凸構造を形成する製法も提案されている（特許文献 4 参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 2 7 2 5 0 5 号公報（図 1）

【特許文献 2】特開昭 6 2 - 9 6 9 0 2 号公報（第 2 頁）

【特許文献 3】特開 2 0 0 5 - 1 5 6 6 9 5 号公報

【特許文献 4】特開 2 0 0 2 - 2 8 6 9 0 6 号公報

【非特許文献 1】：Applied Optics, Vol. 25, No. 24, pp 4562 - 4567, (1986)

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

微細凹凸構造は高性能な反射防止効果が比較的容易に得られる。しかしながら、より高性能な反射防止特性を得ようとする、格子の形状が金型で成形するのが困難な形状となってくる。例えば格子の形状として錐形状を例に説明する。微細凹凸形状の格子の周期 P については、可視光での応用を考えると、透過反射において特定の入射角まで微細凹凸構造による回折光が発生しないようにする必要があり、具体的には 200 nm 以下より細かいことが望ましい。

30

【 0 0 0 7 】

一方、微細凹凸形状の格子の高さは、等価とみなされる屈折率がより滑らかに変化するほうが高性能となるため、波長の 1 / 5 以上で高いほど望ましい。従来の多層薄膜による反射防止膜と同等以上の特性を得るためには、格子の高さは 300 nm 以上が望ましい。このように微細凹凸構造の形状は、格子の周期 P はより細かく、格子の高さ d はより高いほうが、高性能な反射防止特性を得るためには望ましい。しかしながら、この形状は、錐形状が尖っている形状であることを意味している。これは、金型による成形において、転写性と離型性が困難となる。微細凹凸構造を用いて、より高性能な反射防止特性を得ようとする、格子の形状が成形困難な形状となってしまう、理想的な微細凹凸形状の格子を得ることが難しい。

40

【 0 0 0 8 】

本発明は、微細凹凸形状の格子の高さを高くせずに、成形などの製造で高性能の反射防止構造が容易に得られる構造より成る光学素子の提供を目的とする。さらに、このような光学素子を用いることで、不要な回折光やフレア光の発生が少ない良好な光学性能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】

【 0 0 0 9 】

本発明の光学素子は、透明基板と該透明基板の入射媒質の界面に凸形状又は凹形状の複数の格子を配列した、反射防止機能を有する反射防止構造が形成された光学素子に於いて、該複数の格子は平均間隔が、使用波長域内の任意の波長以下で配列されており、該反射

50

防止構造は、格子の配列面内における格子の充填率が互いに異なる 2 層が積層された構成を含み、該 2 層における格子の充填率を各々  $FF1$ 、 $FF2$  とするとき

$$0.36 \leq FF1 - FF2 \leq 0.56$$

なる条件を満足することを特徴としている。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、微細凹凸形状の格子の高さを高くせずに、成形などの製造で高性能の反射防止構造が容易に得られる構造より成る光学素子が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図 1】実施例 1 における反射防止構造を有する光学素子の拡大斜視図

【図 2】図 1 の反射防止構造の拡大断面図

【図 3】実施例 1 における微細凹凸構造の形状パラメータと微細凹凸構造での反射率

【図 4】実施例 1 における微細凹凸構造の他の形状パラメータと微細凹凸構造での反射率

【図 5】実施例 1 における微細凹凸構造の他の形状パラメータと微細凹凸構造での反射率

【図 6】実施例 1 における微細凹凸構造の他の形状パラメータと微細凹凸構造での反射率

【図 7】実施例 1 における微細凹凸構造の他の形状パラメータと微細凹凸構造での反射率

【図 8】本発明の微細凹凸構造を構成する 2 つの異なる充填率を有する層の関係図

【図 9】実施例 2 における樹脂材料を用いた時の微細凹凸構造の形状パラメータと微細凹凸構造での反射率

【図 10】実施例 3 における高屈折率材料を用いた時の微細凹凸構造の形状パラメータと微細凹凸構造での反射率

【図 11】実施例 4 における反射防止構造を有する光学素子の拡大斜視図

【図 12】図 11 の反射防止構造の拡大断面図

【図 13】実施例 5 の微細凹凸構造がランダムに配列された素子の上面図

【図 14】本発明の微細凹凸構造の他の形状を示す断面図

【図 15】実施例 7 における 3 層構造の時の微細凹凸構造の形状パラメータと微細凹凸構造での反射率

【図 16】本発明の光学素子を搭載した撮影光学系

【図 17】本発明の光学素子を搭載した観察光学系

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明の光学素子は、透明基板の入射媒質（光入射側）の界面に凸形状又は凹形状の複数の格子を配列した、反射防止機能を有する反射防止構造が形成されている。複数の格子は平均間隔が、使用波長域内の（例えば可視光の波長  $400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$ ）任意の波長以下で配列されている。反射防止構造は、格子の配列面内における格子の充填率が異なる第 1 の層、第 2 の層が積層された構成を含む。ただし積層する層の数は 2 層に限られず、3 層以上あってもよい。光学素子の反射防止構造は、複数の格子の格子構造が反転した形状が形成された金型を用いて成形転写することで形成されている。

【0013】

図 1 は本発明の微細凹凸構造の凸部又は凹部の複数の格子より成る反射防止構造を有する光学素子の実施例 1 の要部斜視図である。図 2 (a)、(b)、(c) は、図 1 の光学素子の構成の説明図である。このうち図 2 (a) は、図 1 の  $xz$  断面の説明図、図 2 (b) は、図 1 の  $yz$  断面の説明図、図 2 (c) は、図 1 の  $xy$  断面の説明図を表わしている。光学素子 1 は、第 1 の微細凹凸形状の複数の格子 5 a より成る層（第 1 の層）5 と、第 2 の微細凹凸形状の複数の格子より成る層（第 2 の層）6 からなる微細凹凸領域（反射防止構造体）（反射防止構造）3 が基板（透明基板）4 の上に形成されている。反射防止構造 3 は入射媒質 2 と接している。媒質 2 は、空気である。この光学素子 1 は、レンズや平行平板などの透過基板（基板）4 の表面に反射防止性能（反射防止構造）3 を付加した構成より成っている。

## 【 0 0 1 4 】

微細凹凸形状の格子 5 a、6 a の平均間隔（周期  $P_x$ 、 $P_y$ ）は、使用波長の任意の波長以下で配列している。ここで使用波長とは例えば可視光の波長 400 nm ~ 波長 700 nm の範囲内の波長である。格子 5 a、6 a の周期  $P_x$ 、 $P_y$  は入射光が、透過及び反射する際に、不要な回折光が発生しないように決定されている。第 1 の微細凹凸形状の層（第 1 の層）5 は、微細な四角柱の格子（微細部）（微細凹凸形状）5 a が 2 次元（図中  $x$ 、 $y$  方向）に直交配列された構成となっている。第 1 の層 5 は、第 1 の媒質 7 と第 2 の媒質 8 から構成され、四角柱の格子 5 a を構成する材質を第 1 の媒質 7 としている。図 1 の構成では、第 2 の媒質 8 は空気となっている。

## 【 0 0 1 5 】

図 2 に示すように四角柱の格子 5 a は、 $x$  方向に幅  $a_x$ 、 $y$  方向に幅  $a_y$  からなり、第 1 の層 5 の格子 5 a の高さは、 $d_1$  である。ここで、第 1 の層 5 の体積に対して、第 1 の媒質 7 からなる四角柱の格子 5 a の全体の体積が占める割合を、第 1 の層 5 における充填率  $FF_1$  と定義する。同様に、第 2 の微細凹凸形状の層（第 2 の層）6 は、第 3 の媒質 9 と第 4 の媒質 10 から構成され、四角柱の格子 6 a を構成する材質を第 3 の媒質 9 としている。図 1 の構成では、第 4 の媒質 10 は空気となっている。四角柱の格子 6 a は、 $x$  方向に幅  $b_x$ 、 $y$  方向に幅  $b_y$  からなり、第 2 の層 6 の格子 6 a の高さは、 $d_2$  である。ここで、第 2 の層 6 の体積に対して、第 3 の媒質 9 からなる四角柱の格子 6 a の全体の体積が占める割合を、第 2 の層 6 における充填率  $FF_2$  と定義する。第 2 の層 6 を構成する四角柱の格子 6 a の周期と配列は、第 1 の層 5 を構成する四角柱の格子 5 a の周期と配列と同じにしている。

## 【 0 0 1 6 】

このように構成すると、第 2 の層 6 を構成する四角柱の格子 6 a を、第 1 の層 5 を構成する四角柱の格子 5 a の界面にだけ形成することが可能となる。1 つの媒質の表面にだけ、微細構造を形成するのは、比較的容易に製造できる。尚、格子 5 a、6 a の形状は四角柱の他、多角柱、円柱でも良い。そして、本実施例の反射防止構造 3 は、層 1 としての第 1 の層 5 の充填率  $FF_1$  と、層 2 としての第 2 の層 6 の充填率  $FF_2$  の差  $FF_1 - FF_2$  を特定の範囲に設定することを特徴としている。後で詳細に説明するが、充填率の差  $FF_1 - FF_2$  を

$$0.36 \leq FF_1 - FF_2 \leq 0.56 \quad (1)$$

の範囲に設定するのがよい。さらに、高性能にするためには、充填率の差  $FF_1 - FF_2$  を

$$0.40 \leq FF_1 - FF_2 \leq 0.48 \quad (1a)$$

の範囲に設定するのがよい。これによれば、第 1 の層 5 と第 2 の層 6 の境界面で発生する反射光を有効に利用でき、微細凹凸領域（反射防止構造）3 の高さが比較的低い構成で、高性能な反射防止性能を得ることができる。以上が、光学素子の基本的な形態である。この他、本発明の光学素子はプラスチック樹脂や紫外線硬化樹脂からなり、充填率の異なる複数の層があるときは、入射媒質から、透明基板 4 に向かって、充填率が徐々に高くなっている。そして微細凹凸構造は平面上又は曲面上に形成されている。

## 【 0 0 1 7 】

## [ 実施例 1 ]

本発明の実施例 1 の具体的な構成を説明する。前述したように、図 1 が本発明の光学素子の基本構成である。実施例 1 の光学素子はガラス基板（透明基板）（基板）4 の上に反射防止構造 3 を形成している。実施例 1 では、基板 4 と、第 1 の媒質 7 と第 3 の媒質 9 を同一の媒質で構成している。また、入射媒質 2 と、第 3 の媒質 8、第 4 の媒質 10 を同一の媒質で構成している。さらに、入射媒質 2 を空気としている。このような構成にすると、金型を用いた成形により、簡易に反射防止構造 3 を製造できる。

## 【 0 0 1 8 】

図 3 (A) に、実施例 1 の構成パラメータを示す。基板 4 として、株式会社 OHARA 製のガラスモールド用光学ガラスである L-BAL42（屈折率  $n_d = 1.58313$ 、

10

20

30

40

50

アッペ数  $d = 59.4$  ) を用いた。表中、第 1 層が第 1 の微細凹凸形状の第 1 の層 5 を、第 2 層が第 2 の微細凹凸形状の第 2 の層 6 を表わしている。微細凹凸形状の格子の周期は、第 1 層、第 2 層で等しく、且つ x 方向、y 方向でも等しい直交配列となっている。そして、その周期  $P_x$ 、 $P_y$  は、不要な回折光が発生しないように  $140 \text{ nm}$  とした。

【0019】

また、第 1 層 5 の格子 5 a においては、x 方向の幅  $a_x$  が  $119 \text{ nm}$ 、y 方向の幅  $a_y$  が  $119 \text{ nm}$  となる正方形の四角柱とした。この形状における前述した充填率  $FF1$  は、

$$\begin{aligned} FF1 &= a_x * a_y / (P_x * P_y) \\ &= 119 * 119 / (140 * 140) \\ &= 0.72 \end{aligned}$$

10

となる。そして、第 1 の層 5 の格子 5 a の高さ  $d_1$  は、 $87 \text{ nm}$  とした。第 2 層 6 の格子 6 a は、x 方向の幅  $b_x$  が  $71 \text{ nm}$ 、y 方向の幅  $b_y$  が  $71 \text{ nm}$  となる正方形の四角柱とした。この場合の充填率  $FF2$  は、同様にして求めると、 $FF2 = 0.26$  となる。そして、第 2 の層 6 の格子 6 a の高さ  $d_2$  は、 $110 \text{ nm}$  である。

【0020】

2 つの充填率の差は、

$$FF1 - FF2 = 0.72 - 0.26 = 0.46$$

となり、本発明の構成を満たしている。また、微細凹凸領域 3 の高さは

$$d_1 + d_2 = 87 + 110 = 197 \text{ nm}$$

と  $200 \text{ nm}$  未満の薄い高さとなっている。この構成の、可視光の波長域  $400 \text{ nm}$  から  $700 \text{ nm}$  の反射率を図 3 (B) に示す。この特性は、微細凹凸領域 3 が形成されている面に入射媒質側から垂直に入射した際の特性である。可視域全域で  $0.05\%$  以下の高性能な反射防止性能が得られていることがわかる。

20

【0021】

従来の錐形状の反射防止構造は、微細凹凸部の高さが  $200 \text{ nm}$  程度で、反射防止効果はあるが、高性能な反射防止特性は得られていなかった。従って、本実施例の構成のように、充填率の異なる層を最適に積層した構造は、微細凹凸領域 3 を高くせずに、高性能な反射防止特性を得る構成である。そして、微細凹凸領域 3 の高さが低いほど、製造は容易になる。特に、金型を用いた成形により微細凹凸形状の格子を作成する場合には、転写性と離型性の観点から望ましい。また、成形による製法では、型からの離型を容易にするため、前述の充填率の異なる層は、入射媒質から基板側に向かって、徐々に充填率が高い層が積層されていることが好ましい。

30

【0022】

本実施例において金型は陽極酸化と孔径拡大処理を繰り返すことで、金型の表面に微細凹凸構造を付与している。ここで、図 3 (B) の反射防止性能の算出には、以下の手法を利用できる。ひとつは、RCWA (厳密結合波解析) などのベクトル解析によって、微細構造における波動光学的な観点から反射・透過率を厳密に算出する手法である。もうひとつは、微細凹凸領域を、均質な屈折率層に近似して計算する手法である。この方法は、有効屈折率法と呼ばれ、微細凹凸構造の周期が、使用波長より十分小さい領域では有効な手法である。

40

【0023】

上記、実施例を有効屈折率法で計算すると、可視域の中止波長  $\lambda_0 = 550 \text{ nm}$  で、第 1 の層 5 の第 1 の媒質 7 は有効屈折率  $n_{1e} = 1.398$ 、第 2 の層 6 の第 3 の媒質 9 は有効屈折率  $n_{2e} = 1.135$  となった。また光学膜厚は、それぞれ、

$$n_{1e} * d_1 = 1.398 * 87 = 121.6 \text{ nm}$$

である。また、

$$n_{2e} * d_2 = 1.135 * 110 = 124.9 \text{ nm}$$

となった。 $\lambda_0 / 4 = 137.5 \text{ nm}$  に対して、第 1 層 5 の光学膜厚は  $0.88$  倍、第 2 層 6 の光学膜厚は  $0.91$  倍の値となっている。

【0024】

50

次に、上記実施例と同じ材料で、第1の層5の充填率 $FF_1$ を0.5とした場合の、形状パラメータを図4(A)に、その時の反射率特性を図4(B)に示す。上述した実施例1に比べて、反射防止特性は悪化しているが、可視域全域(波長400nm~波長700nm)で0.5%以下の良好な特性は得られている。この例での充填率の差は、 $FF_1 - FF_2 = 0.40$ である。また、光学膜厚は、

$$n_1 e \cdot d_1 = 1.267 \cdot 98 = 124.2 \text{ nm}$$

$$n_2 e \cdot d_2 = 1.051 \cdot 116 = 121.9 \text{ nm}$$

となった。 $0/4 = 137.5 \text{ nm}$ に対して、第1層5の光学樹脂は0.90倍、第2層6の光学膜厚は0.88倍の値となっている。

【0025】

次に、前述の実施例と同じ材料で、第1の層5の充填率 $FF_1$ を0.9とした場合の、形状パラメータを図5(A)に、その時の反射率特性を図5(B)に示す。この場合も、可視域全域で0.5%以下の良好な特性は得られている。この例での充填率の差は、 $FF_1 - FF_2 = 0.47$ である。また、光学膜厚は、

$$n_1 e \cdot d_1 = 1.515 \cdot 83 = 125.7 \text{ nm}$$

$$n_2 e \cdot d_2 = 1.219 \cdot 102 = 124.3 \text{ nm}$$

となった。 $0/4 = 137.5 \text{ nm}$ に対して、第1層5の光学膜厚は0.91倍、第2層6の光学膜厚は0.90倍の値となっている。

【0026】

次に、前述の実施例と同じ材料で、第1の層5の充填率 $FF_1$ を0.72と、図3の構成と同じ充填率にし、本実施例の特徴である充填率の差が満足すべき範囲を調べた。反射率の特性が可視域全域で0.5%以下となる特性を良好な範囲とし、充填率の差が最小となる場合と、最大となる場合を求めた。

【0027】

図6(A)は、充填率の差が最小となる構成で、このときの充填率の差は、 $FF_1 - FF_2 = 0.36$ であった。また、反射率の特性は図6(B)に示すように、可視域全域で0.5%以下の特性となっている。この例での光学膜厚は、

$$n_1 e \cdot d_1 = 1.398 \cdot 79 = 110.4 \text{ nm}$$

$$n_2 e \cdot d_2 = 1.188 \cdot 93 = 110.5 \text{ nm}$$

となった。 $0/4 = 137.5 \text{ nm}$ に対して、第1層5の光学膜厚は0.80倍、第2層6の光学膜厚は0.80倍の値となっている。この例は、微細凹凸領域3の高さが172nmとかなり薄い構成である。

【0028】

図7(A)は、充填率の差が最大となる構成で、このときの充填率の差は、 $FF_1 - FF_2 = 0.56$ であった。また、反射率の特性は図7(B)に示すように、可視域全域で0.5%以下の特性となっている。この例での光学膜厚は、

$$n_1 e \cdot d_1 = 1.398 \cdot 89 = 124.4 \text{ nm}$$

$$n_2 e \cdot d_2 = 1.082 \cdot 116 = 125.5 \text{ nm}$$

となった。 $0/4 = 137.5 \text{ nm}$ に対して、第1層5の光学膜厚は0.90倍、第2層6の光学膜厚は0.91倍の値となっている。

【0029】

続いて、図8に、上述したように反射率の特性が可視域全域で0.5%以下となる場合の、充填率差の範囲をプロットした。横軸を第1の層5の充填率にとった時のグラフとしている。図中の実線は、前述の図3、図4、図5で示したように、各充填率で最良の反射防止性能が得られるときの充填率差の関係を表わしている。また、グラフ中の丸線と角線で囲まれた領域が、良好な反射防止性能を実現する範囲である。

【0030】

以上説明した特性から、充填率 $FF_1$ と、充填率 $FF_2$ の差 $FF_1 - FF_2$ が第1の層5の充填率を大きく変化させた場合でも、相関が高いことがわかる。そこで、第1の層5の充填率 $FF_1$ と、第2の層6の充填率 $FF_2$ の差 $FF_1 - FF_2$ を特定の範囲に設定す

10

20

30

40

50

るのが、高性能な反射防止特性をえる上で重要であることがわかる。具体的には、 $FF_1 - FF_2$ を条件式(1)の如く設定すればよい。さらに、より高性能にするためには、 $FF_1 - FF_2$ を条件式(1a)の如く設定すればよい。

#### 【0031】

また、光学膜厚に関しては、第1の層5、第2の層6ともに、使用中心波長の $1/4$ の厚みに対し、 $0.8$ 倍以上 $0.91$ 倍以下の範囲となっている。前述した反射防止性能は、光学素子に垂直に入射する時の光学膜厚である。例えば、入射角が $35^\circ$ の場合、光学膜厚は、 $\cos 35^\circ = 0.82$ だけ薄くなる。そのため、実際の膜厚は $1/\cos 35^\circ = 1.22$ だけ厚くする必要がある。従って、本実施例の反射防止構造を斜入射の光束に対して使用することも考慮すると、見かけの屈折率 $n_{1e}$ 、 $n_{2e}$ と微細凹凸(格子5、6)の厚み $d_1$ 、 $d_2$ の積は、使用波長の中心波長を $\lambda_0$ とするとき以下の範囲に設定するのが好ましい。

#### 【0032】

$$0.8 \leq \frac{\lambda_0}{4} n_{1e} d_1 \leq 1.1 \leq \frac{\lambda_0}{4} n_{2e} d_2 \leq 1.1$$

#### [実施例2]

実施例2の光学素子は、図1の構成で、材質を樹脂にした場合である。この例でも、基板4と、第1の媒質7、第3の媒質9を同一の媒質で構成している。図9(A)に、実施例2の構成パラメータを示す。基板4として、プラスチック樹脂( $n_d = 1.5304$ 、 $d = 56.0$ )を用いた。この構成の、可視波長域 $400\text{ nm}$ から $700\text{ nm}$ の反射率を図9(B)に示す。この場合も、実施例1と同じく可視域全域で $0.05\%$ 以下の高性能な反射防止性能が得られている。この実施例での充填率の $FF_1 - FF_2$ は、 $0.46$ であり、条件式(1)を満足している。

#### 【0033】

#### [実施例3]

実施例3の光学素子は、図1の構成で、材質を高屈折率ガラスにした場合である。この例でも、基板4と、第1の媒質7、第3の媒質9を同一の媒質で構成している。図10(A)に、実施例3の構成パラメータを示す。基板4として、株式会社OHARA製のガラスモールド用光学ガラスであるL-LAH53( $n_d = 1.80610$ 、 $d = 40.9$ )を用いた。この構成の、可視波長域 $400\text{ nm}$ から $700\text{ nm}$ の反射率を図10(B)に示す。この場合は、実施例1に比べて、反射防止特性は若干悪くなっているが、可視域全域で $0.1\%$ 以下の高性能な反射防止性能が得られていることがわかる。この実施例での充填率の $FF_1 - FF_2$ は、 $0.46$ であり、条件式(1)を満足している。

#### 【0034】

#### [実施例4]

上記実施例1~3の反射防止構造3は、いずれも四角柱の微細凹凸構造の格子が2層積層された構造であった。本発明の光学素子は、2つの微細凹凸構造からなる2つの層の充填率の差を特定の範囲に設定することを特徴としており、微細凹凸形状の格子の形に依存しない。例えば、図11、図12に示すような円柱状の微細凹凸構造の格子でも良い。この場合も、円柱状の格子5a、6aの充填率を、条件式(1)を満足する構成となるように設定すればよい。また、格子が2次元周期構造で配列されている場合、微細凹凸形状の格子の配列も、図11、図12に示した $xy$ 方向に周期を持つ配列のほかに、三角配列などの配列としても差しつかえない。また、周期も図11、図12に示したように $xy$ 方向で同じにする必要は無く、光学素子として用いた場合には、光学素子への入射角の変化に応じて、場所毎や、 $xy$ 方向で別々に周期を設定しても良い。

#### 【0035】

#### [実施例5]

図13は本発明の光学素子の実施例5の要部平面図である。微細凹凸形状より成る格子は、図13示すようにランダムに配列しても良い。ランダム配列の場合、各々の微細凹凸形状の格子に対し、隣接する数個の格子の間隔を測定し、その平均間隔が、使用波長以下

10

20

30

40

50

の構造を有していればよい。また、充填率も使用光束を鑑みて、十分ランダムと見なせる領域内で充填率を求めればよい。図 1 3 は、円柱形状の格子をランダムに配列した構造である。また、作成した光学素子については、分光エリブソメトリ法などで、十分に均一であると見なせる評価領域の有効屈折率や層厚を解析すればよい。

#### 【 0 0 3 6 】

次に、一例として、このような円柱形状の格子をランダムに形成した金型に製作する手法について説明する。金型の表面にアルミを成膜した後、陽極酸化処理を行うと、微細な細孔が形成される。陽極酸化時の化成電圧を変えることで平均間隔を調整できる。また、陽極酸化の時間で細孔の深さを制御できる。その後、エッチングなどを行い、孔径を拡大する処理を行えば、所望の形状の孔径が得られる。この処理を 2 回行えば、孔径が異なる 2 層の円柱孔が形成される。

10

#### 【 0 0 3 7 】

次に、この金型を使って光学素子を形成する手法としては、一般的に知られている UV 硬化樹脂を用いた 2 P 成形、ホットプレス成形、樹脂のインジェクション成形などがある。これらの形成手法を行えば、微細凹凸構造からなる反射防止構造を表面にもった光学素子を容易に製造することができる。特に樹脂の成形では、レンズなどの光学素子の表面に反射防止構造を形成した構成では、レンズ形状の成形と一体で反射防止構造を形成できるので製作が容易となる。また、UV 硬化樹脂を用いた成形の場合、ガラス基板の上に UV 硬化樹脂を塗布し、その樹脂表面に反射防止構造を形成することができる。この場合は、基板と微細凹凸形状の層との間に UV 硬化樹脂の層が残存するが、図 1 などの構成の基板 4 を残存した樹脂層と考えれば、高性能な反射防止構造を実現することができる。

20

#### 【 0 0 3 8 】

##### [ 実施例 6 ]

前述の実施例は、構成を明確にするため、異なる充填率からなる微細凹凸形状を有する 2 層構造について説明してきた。実際の微細凹凸形状の格子は、成形などで製作した場合、図 1 4 に示すように各層の境界面で微細凹凸形状のエッジが鈍った形状になる場合がある。このような形状でも、高性能な反射防止性能は実現することは可能である。図 1 4 に示すように第 1 の層 5 と第 2 の層 6 の境界面に形成された、形状が鈍った領域 1 1 は、微細凹凸形状の格子の変化に伴い、充填率が変化している極薄層の集まりと見なすことが出来る。鈍った領域が広い場合には、微細凹凸形状の格子が錐形状に近づいていくので好ましくない。そのため、鈍った領域は、第 1 の層 5 や第 2 の層 6 の高さの 1 / 5 以下あるいは、使用波長の 1 / 2 0 以下の高さであるのが望ましい。

30

#### 【 0 0 3 9 】

##### [ 実施例 7 ]

上記実施例の反射防止構造は、充填率の異なる 2 つの層を積層した構造となっていた。しかしながら、本発明の光学素子は、2 層に限定するものではなく、3 層以上の層構造を有する場合でも有効である。図 1 5 ( A ) に 3 層構造より成る反射防止構造の場合の形状パラメータを示す。材料は実施例 1 と同じ株式会社 O H A R A 製の L - B A L 4 2 とした。図 1 5 ( B ) に、その時の反射率特性を示す。この場合も、可視域全域で 0 . 1 % 以下の良好な特性は得られている。この例での充填率の差は、 $FF1 - FF2 = 0 . 45$ 、 $FF2 - FF3 = 0 . 20$ である。

40

#### 【 0 0 4 0 】

第 1 の層と第 2 の層が条件式 ( 1 ) を満足していることがわかる。いずれかの層で条件式 ( 1 ) の構成を満たしていれば、良好な反射防止性能を得ることができる。また、光学膜厚は、

$$n1e * d1 = 1 . 455 * 83 = 120 . 8 \text{ nm}$$

$$n2e * d2 = 1 . 188 * 78 = 92 . 7 \text{ nm}$$

$$n3e * d2 = 1 . 082 * 65 = 70 . 3 \text{ nm}$$

となった。  $0 / 4 = 137 . 5 \text{ nm}$  に対して、第 1 層の光学膜厚は 0 . 88 倍、第 2 層の光学膜厚は 0 . 67 倍、第 3 層の光学膜厚は 0 . 51 倍の値となっている。

50

## 【 0 0 4 1 】

## [ 実施例 8 ]

図 1 6 は、本発明の実施例 8 の光学素子を用いた撮影光学系（光学系）のレンズ断面図である。図中、1 2 は撮影レンズで、内部に絞り 1 4 と前述の光学素子 1 を持つ。図では、最終レンズの第 1 レンズ面に反射防止構造が形成されている。1 3 は結像面であるフィルムまたは CCD である。光学素子 1 は、図では、レンズ機能の素子であり、レンズ面の反射を抑制し、フレア光の発生を低減させている。本実施例において反射防止構造を有する光学素子を最終レンズに設けているが、これに限定するものではなく、他のレンズでも良く、又複数使用しても良い。また、本実施例では、カメラの撮影レンズの場合を示したが、これに限定するものではない。ビデオカメラの撮影レンズ、事務機のイメージスキャナや、デジタル複写機のリーダーレンズ、走査光学系、プロジェクター、レーザ光学系など広い波長域で使用する光学系に本発明の光学素子を使用しても、同様の反射防止効果が得られる。

10

## 【 0 0 4 2 】

## [ 実施例 9 ]

図 1 7 は、本発明の実施例 9 の光学素子を用いた双眼鏡等の観察光学系のレンズ断面図である。図 1 7 中、1 5 は対物レンズ、1 6 は像を成立させるためのプリズム、1 7 は接眼レンズ、1 8 は評価面（瞳面）である。1 は前述の本発明の光学素子である。図 1 7 では接眼レンズ 1 7 の 1 つのレンズを、本発明の反射防止構造を有する光学素子 1 としたが、これに限定するものではなく、他のレンズでも良く、又本発明の光学素子を複数使用しても良い。

20

## 【 0 0 4 3 】

また図 1 7 の観察光学系では接眼レンズ 1 7 に本発明の光学素子 1 を使用した場合を示したが、これに限定するものではなく、プリズム 1 6 の表面や対物レンズ 1 5 内の位置にも設けることができ、この場合も同様の効果が得られる。また本実施例は双眼鏡の場合を示したが、これに限定するものではない。本発明の光学素子は地上望遠鏡や天体観測用望遠鏡等の観察光学系にも適用して同様の効果が得られる。この他レンズシャッターカメラやビデオカメラなどの光学式のファインダー（光学系）にも適用して同様の効果が得られる。

## 【 0 0 4 4 】

30

以上のように各実施例によれば、微細凹凸構造の格子の高さをあまり高くしないで高性能な反射防止性能を得ることができる。従って、本発明の手段を用いれば、成形などの製造上の難易度を上げることなく、高性能の反射防止構造を有する光学素子を実現できる。さらに、光学系に各実施例の光学素子を用いれば、不要な回折光やフレア光の発生の少ない良好な光学性能を有する光学系が得られる。

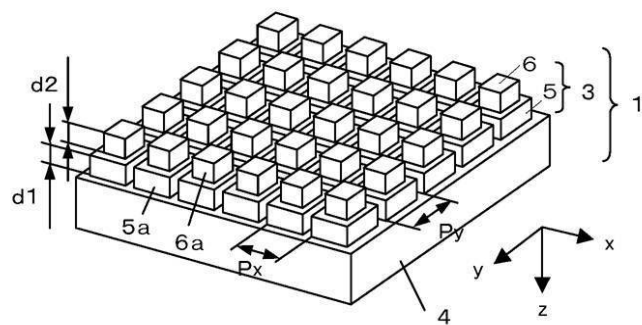
## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 4 5 】

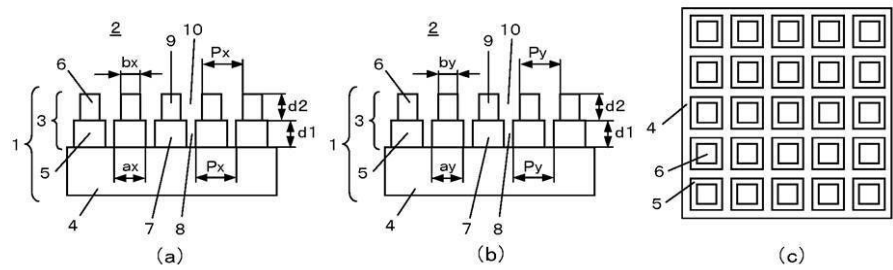
1 光学素子、2 入射媒質、3 微細凹凸領域、4 射出媒質である基板、5 第 1 の充填率を有する微細凹凸形状の層、6 第 2 の充填率を有する微細凹凸形状の層、7 第 1 の媒質、8 第 2 の媒質、9 第 3 の媒質、1 0 第 4 の媒質

40

【 図 1 】



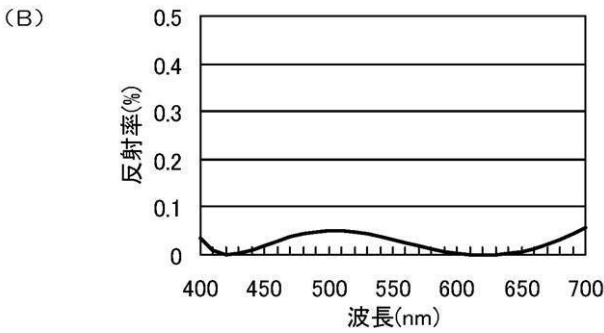
【 図 2 】



【 図 3 】

(A)

	材質	周期(nm)	格子幅(nm)	充填率	格子高さ(nm)
入射媒質	Air				
第2層	L-BAL42	$P_x=140$	$b_x=71$	0.26	110
		$P_y=140$	$b_y=71$		
第1層	L-BAL42	$P_x=140$	$a_x=119$	0.72	87
		$P_y=140$	$a_y=119$		
基板	L-BAL42				

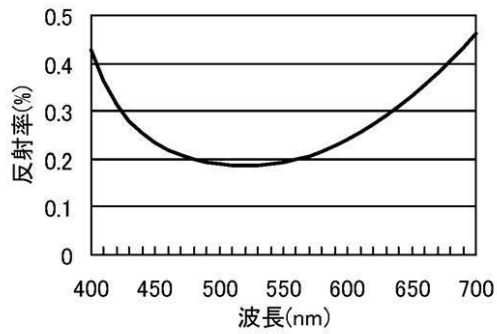


【図 4】

(A)

	材質	周期(nm)	格子幅(nm)	充填率	格子高さ(nm)
入射媒質	Air				
第2層	L-BAL42	$P_x=140$	$b_x=44$	0.10	116
		$P_y=140$	$b_y=44$		
第1層	L-BAL42	$P_x=140$	$a_x=99$	0.50	98
		$P_y=140$	$a_y=99$		
基板	L-BAL42				

(B)

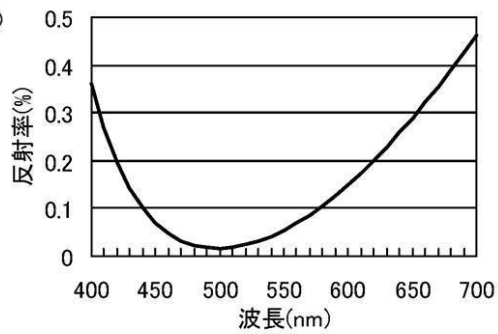


【図 5】

(A)

	材質	周期(nm)	格子幅(nm)	充填率	格子高さ(nm)
入射媒質	Air				
第2層	L-BAL42	$P_x=140$	$b_x=90$	0.42	102
		$P_y=140$	$b_y=90$		
第1層	L-BAL42	$P_x=140$	$a_x=133$	0.90	83
		$P_y=140$	$a_y=133$		
基板	L-BAL42				

(B)

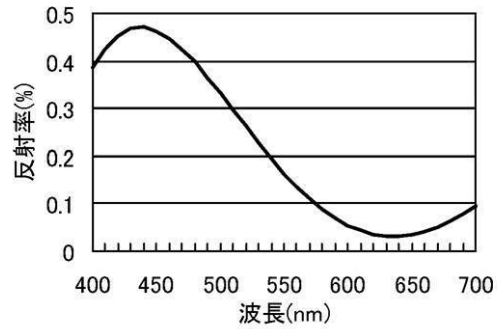


【図 6】

(A)

	材質	周期(nm)	格子幅(nm)	充填率	格子高さ(nm)
入射媒質	Air				
第2層	L-BAL42	$P_x=140$	$b_x=84$	0.36	93
		$P_y=140$	$b_y=84$		
第1層	L-BAL42	$P_x=140$	$a_x=119$	0.72	79
		$P_y=140$	$a_y=119$		
基板	L-BAL42				

(B)

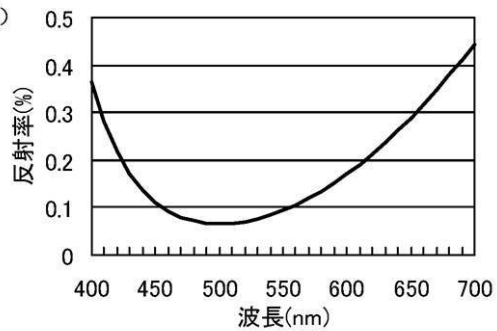


【図 7】

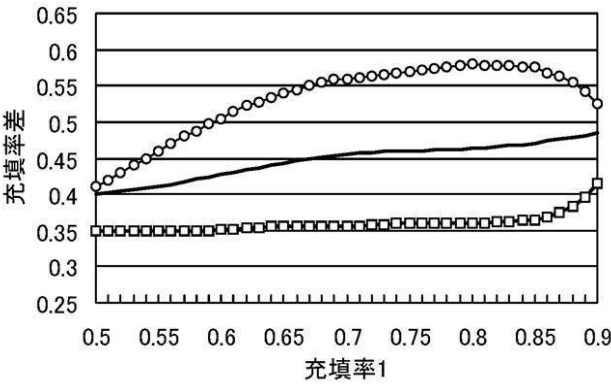
(A)

	材質	周期(nm)	格子幅(nm)	充填率	格子高さ(nm)
入射媒質	Air				
第2層	L-BAL42	$P_x=140$	$b_x=56$	0.16	116
		$P_y=140$	$b_y=56$		
第1層	L-BAL42	$P_x=140$	$a_x=119$	0.72	89
		$P_y=140$	$a_y=119$		
基板	L-BAL42				

(B)



【 図 8 】

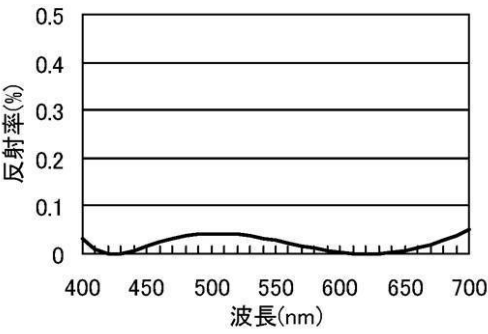


【 図 9 】

(A)

	材質	周期(nm)	格子幅(nm)	充填率	格子高さ(nm)
入射媒質	Air				
第2層	樹脂A	Px=140	bx=71	0.26	112
		Py=140	by=71		
第1層	樹脂A	Px=140	ax=119	0.72	92
		Py=140	ay=119		
基板	樹脂A				

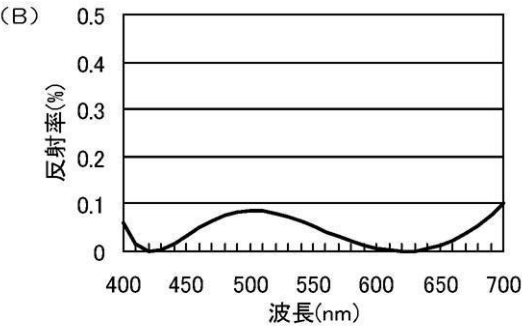
(B)



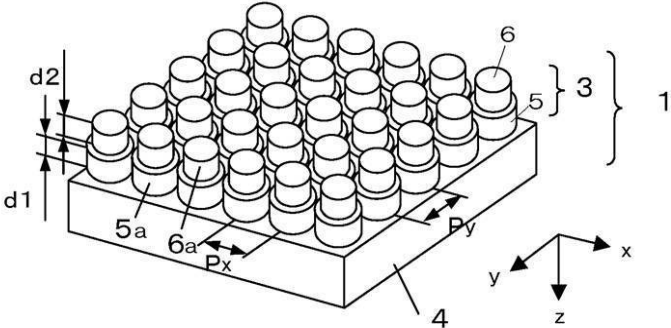
【 図 1 0 】

(A)

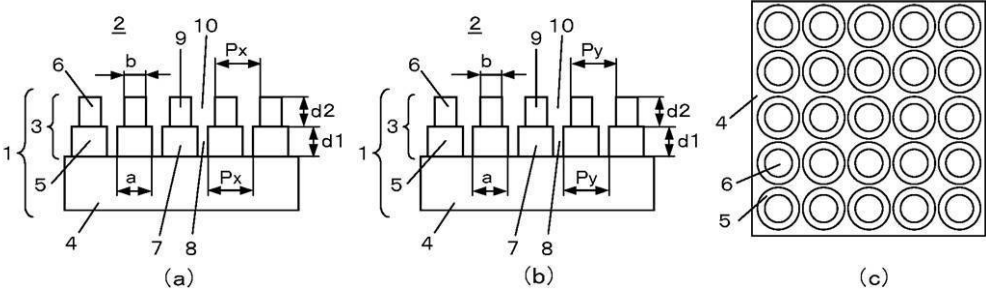
	材質	周期(nm)	格子幅(nm)	充填率	格子高さ(nm)
入射媒質	Air				
第2層	L-LAH53	$P_x=140$	$b_x=72$	0. 27	107
		$P_y=140$	$b_y=72$		
第1層	L-LAH53	$P_x=140$	$a_x=120$	0. 73	81
		$P_y=140$	$a_y=120$		
基板	L-LAH53				



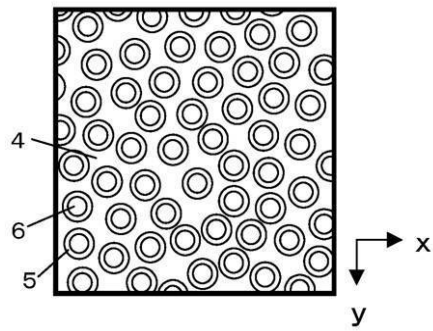
【 図 1 1 】



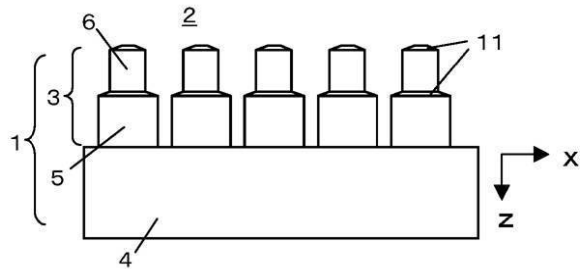
【 図 1 2 】



【図 1 3】



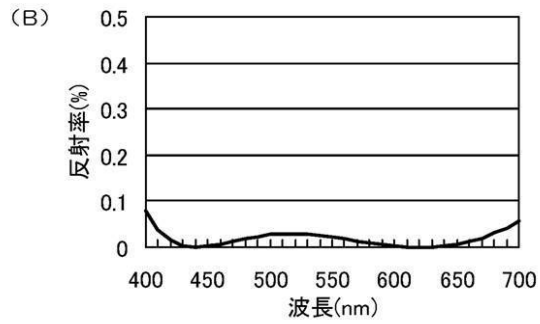
【図 1 4】



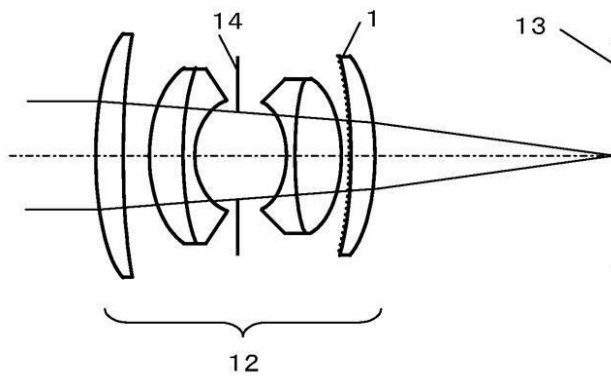
【図 1 5】

(A)

	材質	周期(nm)	格子幅(nm)	充填率	格子高さ(nm)
入射媒質	Air				
第3層	L-BAL42	$P_x=140$	$c_x=56$	0.16	65
		$P_y=140$	$c_y=56$		
第2層	L-BAL42	$P_x=140$	$b_x=84$	0.36	78
		$P_y=140$	$b_y=84$		
第1層	L-BAL42	$P_x=140$	$a_x=126$	0.81	83
		$P_y=140$	$a_y=126$		
基板	L-BAL42				



【図 16】



【図 17】

