

(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2005-62526  
(P2005-62526A)

(43) 公開日 平成17年3月10日(2005.3.10)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
GO2B 3/00	GO2B 3/00	Z 2H049
GO2B 1/04	GO2B 1/04	2K009
GO2B 1/11	GO2B 3/02	
GO2B 3/02	GO2B 5/18	
GO2B 5/18	GO2B 1/10	A
審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 17 頁)		

(21) 出願番号	特願2003-293150 (P2003-293150)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成15年8月13日 (2003.8.13)		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	100067541
			弁理士 岸田 正行
		(74) 代理人	100104628
			弁理士 水本 敦也
		(74) 代理人	100108361
			弁理士 小花 弘路
		(72) 発明者	斎藤 博
			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)	2H049 AA03 AA18 AA39 AA43 AA45
			AA60 AA64
			2K009 AA01 AA12 BB02 CC21

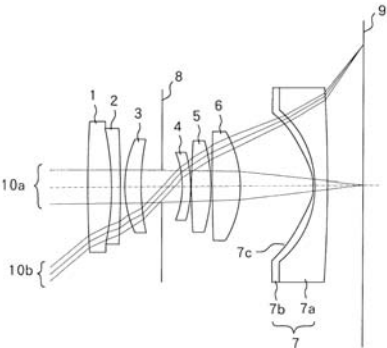
(54) 【発明の名称】 光学素子および光学系

(57) 【要約】

【課題】 レプリカ非球面に反射抑制コートを形成した光学素子は、温度変化等によって安定的な反射抑制効果が得られない。

【解決手段】 ベース部材7aと、該ベース部材上に設けられた、ベース部材とは線膨張係数が異なる樹脂層7bとを有する光学素子において、樹脂層に、入射光の波長よりも小さい周期を持つ微細周期構造を設ける。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ベース部材と、

該ベース部材上に設けられた、前記ベース部材とは線膨張係数が異なる樹脂層とを有し

、  
前記樹脂層は、入射光の波長よりも小さい周期を持つ微細周期構造を有することを特徴とする光学素子。

## 【請求項 2】

前記ベース部材は、ガラスにより形成され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】

前記樹脂層における前記微細周期構造が設けられた面が、非球面であ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】

前記ベース部材における前記樹脂層が設けられた面が、球面であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載の光学素子。

## 【請求項 5】

前記微細周期構造を含む樹脂層は、レプリカ法により前記ベース部材上に形成されたことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載の光学素子。

## 【請求項 6】

前記微細周期構造は、2次元方向に周期を持つことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載の光学素子。

## 【請求項 7】

以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 つに記載の光学素子。

$$20^\circ < \theta < 90^\circ$$

但し、樹脂層における非球面の近似曲率半径を R とし、該 R の曲率中心からこの光学素子の最大有効部を張る角度の全角を  $\theta$  とする。近似曲率半径とは、非球面の中心と有効最大周辺部を含む点とで定義される円の曲率半径とする。

## 【請求項 8】

前記微細周期構造は、この光学素子の中心から周辺に向かって各構造部分のパラメータが連続的にまたは段階的に変化することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 つに記載の光学素子。

## 【請求項 9】

以下の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 から 8 のいずれか 1 つに記載の光学素子。

$$0.01 < |n_{d1} - n_{d2}| < 0.5$$

$$0.5 < |d_1 - d_2| < 40$$

但し、前記樹脂層と前記ベース部材の d 線における屈折率をそれぞれ  $n_{d1}$  ,  $n_{d2}$  とし、アッペ数を  $d_1$  ,  $d_2$  とする。

## 【請求項 10】

前記微細周期構造の周期 P は以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 つに記載の光学素子。

$$100 \text{ nm} < P < 350 \text{ nm}$$

## 【請求項 11】

請求項 1 から 10 のいずれか 1 つ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、微細周期構造を有する光学素子に関するものである。

10

20

30

40

50

## 【背景技術】

## 【0002】

ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ等の撮影光学系や液晶プロジェクタ等の投影光学系には、球面レンズや非球面レンズが用いられている。

## 【0003】

このうち非球面レンズの製法としては、ガラス研削法、ガラスモールド法、プラッチックモールド法、レプリカ法（型成形転写法）等がある。

## 【0004】

但し、ガラス研削非球面レンズの場合は、レンズの硝種、大きさの制限はあまりなく、光学設計上の自由度が高い反面、1つずつの機械加工の時間を要するために非常に高価なものとなる。 10

## 【0005】

また、ガラスモールド非球面の場合は、型で製作できるため比較的安価であるが、使用できるレンズの硝種が限られている。

## 【0006】

また、プラッチックモールド非球面レンズの場合はインジェクション型成形で非常に安価に製作できる一方、光学プラスチック材料は数が限られたものしかなく、かつ屈折率が比較的低いものしかない。

## 【0007】

これらに対し、レプリカ非球面レンズは、ベースの球面ガラスレンズの上に、非球面の樹脂層を形成したものである。従って、ベースレンズの硝種、大きさは研削非球面レンズと同じように制限をあまり受けない。また、非球面である樹脂層は型で製作することができるため、比較的安価である。 20

## 【0008】

レプリカ非球面レンズは、ガラスレンズ上に樹脂の非球面層を形成する構成上、レンズ面反射ゴースト、フレアーを軽減させるために、通常は樹脂の非球面上に反射抑制コートが必要となる。

## 【0009】

レプリカ樹脂材は、それ自体の屈折率が低いことや、コートの成膜時に温度をあまり上げることができないため、密着性を向上させる必要性もあり、通常は反射抑制コートは多層膜の構成となる。 30

## 【0010】

一方、反射抑制機能を得るために、ベース部材上に入射光の波長よりも小さい周期（格子ピッチ）を有する微細周期（格子）構造を形成した光学素子も特許文献1にて提案されている。

【特許文献1】特開2001-183506号公報（段落0016～0020、図3、図4等）

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0011】

しかしながら、レプリカレンズの環境温度が変化した場合、ベースガラスの線膨張係数と樹脂の線膨張係数との差が大きいため、ガラスと樹脂層との境界面に大きな応力が発生する。さらに、樹脂層上に形成された反射抑制コートの材料の線膨張係数も樹脂層の線膨張係数と異なるために、これらの境界面にも応力が発生する。 40

## 【0012】

特に、ガラスレンズが球面であり、樹脂層が非球面である場合は、樹脂層の肉厚差やその変化量が大きくなるために、環境温度が変化した場合に、樹脂の線膨張係数がガラスの線膨張係数よりかなり大きく、また樹脂層のガラスレンズ側の面がガラスレンズに固定されているために、樹脂の表面（非球面）に複雑なかつ大きな応力が発生し、反射抑制コートの膜がはがれたり、クラックが発生したりする問題がある。 50

## 【0013】

また、通常、レプリカ樹脂層は吸水性を有している。このため、環境湿度が変化すると膨潤する。この場合も、環境温度が変化したときと同様に、樹脂層が非球面であると、そこに発生する応力が大きくなり、上記と同様の問題が生じる。

## 【0014】

近似曲率半径  $R$  が深い（小さい）非球面をレプリカ法により製作する場合、製作上はレンズの偏肉比の悪影響をほとんど受けないため、比較的簡単に製作することが可能である。

## 【0015】

しかし、近似曲率半径（非球面の中心と有効最大周辺部を含む点とで定義される円の曲率半径）が深い（小さい）レンズに真空蒸着法で反射抑制コートを形成すると、レンズの中心部と周辺部とでは膜厚が異なってしまう、所望の特性が得られない。特に、前述したようにレプリカレンズは通常、反射抑制膜として多層膜を形成するために、中心と周辺部とでの反射抑制特性が大きく異なってしまう。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0016】

上記の課題を解決するために、本発明では、ベース部材と、該ベース部材上に設けられた、ベース部材とは線膨張係数が異なる樹脂層とを有する光学素子において、上記樹脂層に、入射光の波長よりも小さい周期の微細周期構造（格子構造）を形成している。

## 【発明の効果】

## 【0017】

以上説明したように、本発明によれば、レプリカ非球面上に入射光の波長より小さい周期を持った微細周期構造を設けることにより、温度や湿度の環境特性の変化に強く、安定した、かつ良好な反射抑制効果を得ることができる。

## 【0018】

特に、レプリカ非球面のように、樹脂層の厚みの変化が大きいものや、非球面の曲率中心が小さい場合にも効果的であるため、非球面を用いた光学系の設計の自由度を増加させることができる。したがって、光学系の小型化や高性能化に有効である。

## 【0019】

さらに、微細周期構造を、レプリカ非球面と同時に型成形することにより、ローコスト化にも効果がある。

## 【0020】

また、微細周期構造を2次元方向に周期を持つように形成することで、光の振動方向での透過依存性の少ない反射抑制特性を得ることができる。

## 【0021】

また、 $20^\circ < \theta < 90^\circ$  を満足することにより、画角の広範囲にわたり非球面での歪曲収差等の効果的な補正を行うことができるとともに、微細な格子構造をレプリカ法で容易に形成することができる。

## 【0022】

また、微細格子構造を、レンズの中心から周辺に向かって構造のパラメータが連続的に又は段階的に変化するようにすれば、光線入射角度が不規則に変動する場合でも、最適な反射抑制効果を得ることができる。

## 【0023】

また、 $0.01 < |n_{d1} - n_{d2}| < 0.5$  ,  $0.5 < |d_1 - d_2| < 40$  を満足することにより、レプリカ樹脂層とベース材料との接合面の曲率における光学系の球面収差やコマ収差の補正を効果的に行うことができるとともに、レプリカ樹脂層とベース材料との境界での面反射を抑制することができる。しかも、レプリカ樹脂層とベース材料との接合面での軸上色収差や倍率色収差の補正効果が得られるとともに、非球面光学素子で発生する色の球面収差を抑制することができる。

## 【0024】

10

20

30

40

50

さらに、 $100\text{ nm} < P < 350\text{ nm}$ を満足することにより、格子形状の製作が容易で、フレア成分の発生を抑えることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

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。

【実施例1】

【0026】

図1には、本発明の実施例1である撮影光学系を示す。図1において、1～7は撮影光学系を構成するレンズを表し、8は絞り位置、9は結像面（CCDやCMOSセンサ等の撮像素子又はフィルムの位置）を示す。

10

【0027】

10aは結像面9の中心に結像する光束（中心部光束）を表し、10bは周辺部に結像する光束（周辺部光束）を表している。

【0028】

レンズ1～7のうち、レンズ6が結像面側の面が非球面となっているレンズであり、ガラスモールド法やブラチックモールド法によって作られる。

【0029】

また、レンズ7は被写体側の面が非球面となっているレンズである。このレンズ7は、両面が球面であるガラスレンズ（ベース部材）7aと、このガラスレンズ7aの被写体側の球面上にレプリカ法によって形成された、被写体側の面が非球面7cである比較的薄い樹脂層7bとから構成される非球面レンズであり、いわゆるレプリカ非球面レンズと呼ばれるものである。樹脂層7bは、例えば、紫外線硬化樹脂により形成されている。

20

【0030】

そして、樹脂層7bの非球面（表面）7c上には、図3に示すように2次元方向に周期を持つよう配列された、図4に示すような断面が三角形状（三角柱形状）の微細な、すなわち入射光の波長（本レンズに入射する光の設計上の波長。例えば、可視光領域の波長）よりも小さい周期を持つ微細周期構造（以下、微細格子構造という）が非球面と一体的に形成されている。このように、2次元方向に周期を持つ格子構造とすることにより、光の振動方向での透過依存性の少ない反射抑制特性を得ることができる。

【0031】

30

この微細格子構造は、レプリカ非球面を転写するための型の上に、微細格子構造を形成するための形状を作ることにより、非球面を形成すると同時に形成される。これにより、安定した非球面形状と微細格子構造とを得ることができ、非球面に微細格子構造による反射抑制機能を持たせることができる。また、この方法により、レプリカ非球面レンズをローコスト化することもできる。

【0032】

このような微細格子構造が有する反射抑制原理について説明する。入射光の波長よりも小さい周期を有する微細格子構造は、いわゆる0次格子としての条件を満たす格子ピッチPが選択される。

【0033】

40

微細格子構造8は、SWS（subwave structure）と称され、通常の回折格子よりも格子ピッチが1桁から2桁小さいものであり、回折作用を有さない0次光の使用を対象としている。

【0034】

0次格子とは、周期状の微細格子構造において0次以外の回折光が生じない格子である（Optical Society of America Vol.11, No10/October 1994/J.Opt.Soc.Am.A p2695 参照）。

【0035】

通常、周期性を持つ微細格子構造では、回折の条件式である、

$$P(n_s \cdot \sin \theta_s - n_i \cdot \sin \theta_i) = m \lambda \quad \dots (1)$$

50

但し、P：格子ピッチ

$n_i$ ：入射側の格子構造の媒質の屈折率

$i$ ：入射角度

$m$ ： $m$ 次の回折角度

$n_s$ ：出射側の構造格子の媒質の屈折率

$m$ ：回折次数

$\lambda$ ：使用波長

を満たす回折角度で回折光が発生する。

【0036】

条件式(1)より明らかであるが、回折角度  $m$  は、

$$m = 1 (m = 1)$$

である。

【0037】

上記「Optical Society of America」では、+1次の回折光が発生しない条件として、垂直入射のときは、

$$\theta_1 = 90^\circ \dots (2)$$

であるので、

$$P < \lambda / (n_s + n_i \cdot \sin i) \dots (3)$$

が0次格子の条件であることが示されている。

【0038】

なお、最軸外のときは  $\theta_1$  が90度以上となり、格子ピッチPは更に小さいピッチとなる。入射角度が0度以外のときは格子ピッチPを更に小さくする必要がある。

【0039】

また、非球面樹脂層の近似曲率半径をRとして、Rの曲率中心から見た非球面レンズの最大有効部の全角を  $\theta$  としたとき、下記条件式を満足するとよい。

【0040】

$$20^\circ < \theta < 90^\circ \dots (4)$$

但し、近似曲率半径とは、非球面の中心と有効最大周辺部を含む点とで定義される円の曲率半径である。

【0041】

この条件式(4)の下限を超えると、画角の広範囲にわたり非球面での歪曲収差等の効果的な補正を得ることが難しくなり、上限を超えると面法線に対する微細な格子構造をレブリカ法で形成することが難しくなり、形状精度の劣化のために反射抑制効果も急激に減少する。

【0042】

ここで、微細格子構造は、レンズの中心から周辺に向かって構造のパラメータ(形状や寸法)が連続的に又は段階的に変化するようにしてもよい。

【0043】

前述したように、面に対する光線の入射角度条件が異なる場合、最適な反射抑制特性を得るための、格子のピッチや形状が異なる。このため、希望する中心から周辺への反射抑制特性に合わせて、格子の条件(構造パラメータ)を変化させるとよい。特に、非球面では、中心から周辺において面法線に対して光線入射角度が不規則に変動するために、これに合わせて最適な格子の条件を設定することにより、最適な反射抑制効果を得ることができる。

【0044】

さらに、樹脂層とベース材のd線に対する屈折率をそれぞれ  $n_{d1}$ 、 $n_{d2}$  とし、アッベ数を  $V_{d1}$ 、 $V_{d2}$  としたとき、下記条件式の少なくとも1つを満足するようにするとよい。

【0045】

$$0.01 < |n_{d1} - n_{d2}| < 0.5 \dots (5)$$

10

20

30

40

50

$$0.5 < |d_1 - d_2| < 40 \quad \dots (6)$$

条件式(5)の下限を超えると、レプリカ樹脂層とベース材料(本実施例では、ガラス)との接合面における屈折率差が小さくなるために、接合面の曲率における光学系の球面収差やコマ収差の補正に効果を得ることが困難となる。また、上限を超えると、レプリカ樹脂層とベース材料との境界での面反射が強くなりすぎ、ゴーストの強度が増加するために性能が劣化する。

【0046】

一方、条件式(6)の下限を超えると、レプリカ樹脂層とベース材料との接合面での軸上色収差や倍率色収差の補正効果がほとんど得られなくなり、上限を超えると、非球面レンズで発生する色の球面収差量が大きくなりすぎるために、補正が難しくなってくる。

10

【0047】

さらに、微細格子構造の周期(格子ピッチ)Pは下記条件式を満足するとよい。

【0048】

$$100\text{ nm} < P < 350\text{ nm} \quad \dots (7)$$

この条件は、撮影光学系で使用される可視波長域(概ね400~700nm)での反射抑制効果を得るためのものであり、下限を超えると格子形状の製作難易度が高くなりすぎ、製造誤差による散乱光が増加する。また上限を超えると、可視短波長域での回折光が発生してくるためにフレア成分となり、画像性能に悪影響を与える。

【0049】

前述した「Optical Society of America」の中に記載されているのと同様な、本実施例のレプリカ非球面の表面での中心光線(入射角度0度)に対する反射特性は、図6に破線G1で示すようになる。また、参考に蒸着薄膜での反射特性として、PMMMA(polymethylmethacrylate)基板上に形成された単層コート(MC)の反射特性を実線G2で、PMMMA基板上に形成された多層コート(HC11)の反射特性を実線G3で示している。

20

【0050】

また、レプリカ非球面の表面での周辺光線(入射角度30度)に対する反射特性を図7に破線G11で示す。参考に蒸着薄膜での反射特性として、単層コートの反射特性を実線G12で、多層コートの反射特性を実線G13で示している。

【0051】

この2つのグラフから判るように、レプリカ非球面の表面での可視領域波長における反射特性は低く(単層コートに比べて大幅に低く、波長約0.5μm~0.62μmでは多層コートよりも低い)、透過特性が非常に良好である。

30

【0052】

本実施例のレプリカ非球面レンズ7の数値実施例を以下に示す。

【0053】

格子寸法(寸法の意味は図3に示す。2次元形状は図4に示す。)

$$d=0.60\mu\text{m}, \quad x=0.20\mu\text{m}, \quad y=0.20\mu\text{m}$$

レプリカ非球面レンズ7

	曲率半径	中心厚	n d	d	有効径
r 1	* 非球面	0.05	1.524210	51.39	17.0
r 2	-11.905	1.50	1.80400	46.58	17.1
r 3	-119.861				22.1

40

非球面係数(r 1)

$$R = -7.82189$$

$$k = -1.0033$$

$$B = 1.39577 \text{ E } -4$$

$$C = 2.78432 \text{ E } -6$$

$$D = -4.68159 \text{ E } -8$$

$$E = 2.23446 \text{ E } -10$$

50

$$F = 0$$

但し、非球面形状は次の関係式で定義される。

【0054】

$$X = \frac{h^2 / R}{1 + (1 - (1 + k)(h/R)^2)} + B h^4 + C h^6 + D h^8 + E h^{10} + F h^{12}$$

但し、 $h = (Y^2 + Z^2)$

$$R = -11.68$$

$$= 72.1 \text{ 度}$$

$$|n_{d1} - n_{d2}| = 0.27979$$

$$|d_1 - d_2| = 4.81$$

$$P = 200 \text{ nm}$$

【実施例2】

【0055】

図2に本発明の実施例2である撮影光学系を示す。図2において、11～19は撮影光学系を構成するレンズを表し、20は絞り位置、21は結像面を示す。

【0056】

10aは結像面20の中心に結像する光束（中心光束）を表し、10bは周辺部に結像する光束（周辺光束）を表している。

【0057】

レンズ11～19のうち、レンズ12は結像側の面が非球面である非球面レンズである。この非球面レンズ12は、両面が球面であるガラスレンズ（ベース部材）12aと、このガラスレンズ12aの結像面側の球面上にレプリカ法によって形成された、結像面側が非球面12cである比較的薄い樹脂層12bとから構成されたレプリカ非球面レンズである。樹脂層12bは、例えば、紫外線硬化樹脂により形成されている。

【0058】

そして、樹脂層12bの非球面（表面）12c上には、図3に示すように2次元方向に周期を持つよう配列された、角柱形状（矩形の断面形状）の微細な（入射光の波長よりも小さい周期を持つ）な格子構造が非球面と一体的に形成されている。このように、2次元方向に周期を持つ微細格子構造とすることにより、光の振動方向での透過依存性の少ない反射抑制特性を得ることができる。

【0059】

なお、本実施例でも、条件式（4）～（7）を満たすとよい。

【0060】

本実施例のレプリカ非球面の表面での中心光線（入射角度0度）に対する反射特性は、図6に破線G4で示すグラフのようになる。また、レプリカ非球面の表面での周辺光線（入射角度30度）に対する反射特性を図7に破線G14で示す。

【0061】

この2つのグラフから判るように、レプリカ非球面の表面での可視領域波長における反射特性は低く（単層コートに比べて大幅に低く、波長約0.47μm～0.60μmでは多層コートよりも低い）、透過特性が非常に良好である。

【0062】

本実施例のレプリカ非球面レンズ12の数値実施例を以下に示す。

【0063】

格子寸法（寸法の意味は図3に示す。2次元形状は図5に示す。）

$$d=0.60 \mu\text{m}, \quad x=0.30 \mu\text{m}, \quad y=0.30 \mu\text{m}$$

レプリカ非球面レンズ12

	曲率半径	中心厚	n <sub>d</sub>	d	有効径
r1	-3023.7	1.20	1.72000	50.22	26.1

10

20

30

40

50



50

非球面係数 ( r 3 )

R = 56.149

k = 0.0

B = -4.30753E-6

C = -4.3033E-10

D = -1.17078E-10

E = 4.32811E-13

F = -1.22682E-15

R = 70.01

= 2 4 . 0 度

| n d 1 - n d 2 | = 0.18879

| d 1 - d 2 | = 2.45

P = 150 n m

10

なお、上記各実施例では、カメラの撮影光学系に用いられるレプリカ非球面レンズ（光学素子）に微細周期構造を設けた場合について説明したが、本発明は液晶プロジェクタ等の投射型画像表示装置の投射光学系やこれら以外の光学系に用いられるレプリカ非球面レンズに微細周期構造を設ける場合にも適用することができる。

【 0 0 7 1 】

20

また、本発明は、球面レンズに微細周期構造を設ける場合にも適用することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 2 】

【 図 1 】 本発明の実施例 1 である撮影光学系の構成図。

【 図 2 】 本発明の実施例 2 である撮影光学系の構成図。

【 図 3 】 本発明の各実施例に用いられる微細格子構造の寸法および形状を 3 次元的に示す図。

【 図 4 】 本発明の実施例 1 , 3 に用いられる微細格子構造の断面形状を示す図。

【 図 5 】 本発明の実施例 2 に用いられる微細格子構造の断面形状を示す図。

【 図 6 】 上記実施例 1 , 2 のレプリカ非球面の反射特性（光線入射角度 0 度）を示すグラフ。 30

【 図 7 】 上記実施例 1 , 2 のレプリカ非球面の反射特性（光線入射角度 3 0 度）を示すグラフ。

【 図 8 】 本発明の実施例 3 である撮影光学系の構成図。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 3 】

1 ~ 5 , 1 1 , 1 3 ~ 1 9 , 3 1 , 3 3 ~ 3 9 球面レンズ

6 非球面レンズ

7 , 1 2 , 3 2 レプリカ非球面レンズ

8 , 2 0 , 4 0 開口絞り

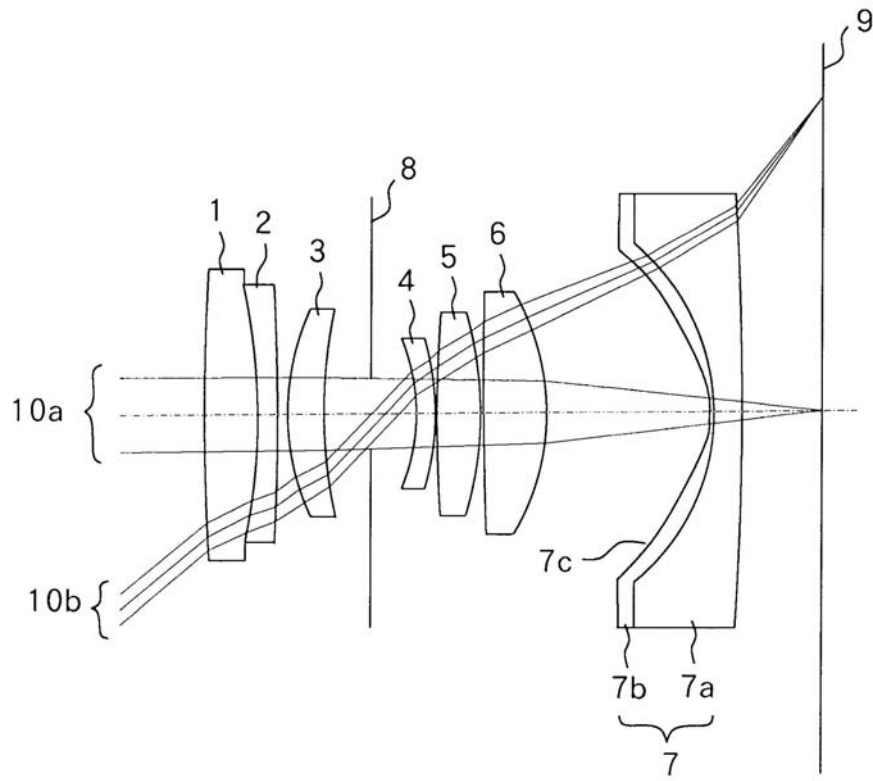
40

9 , 2 1 , 4 1 結像面

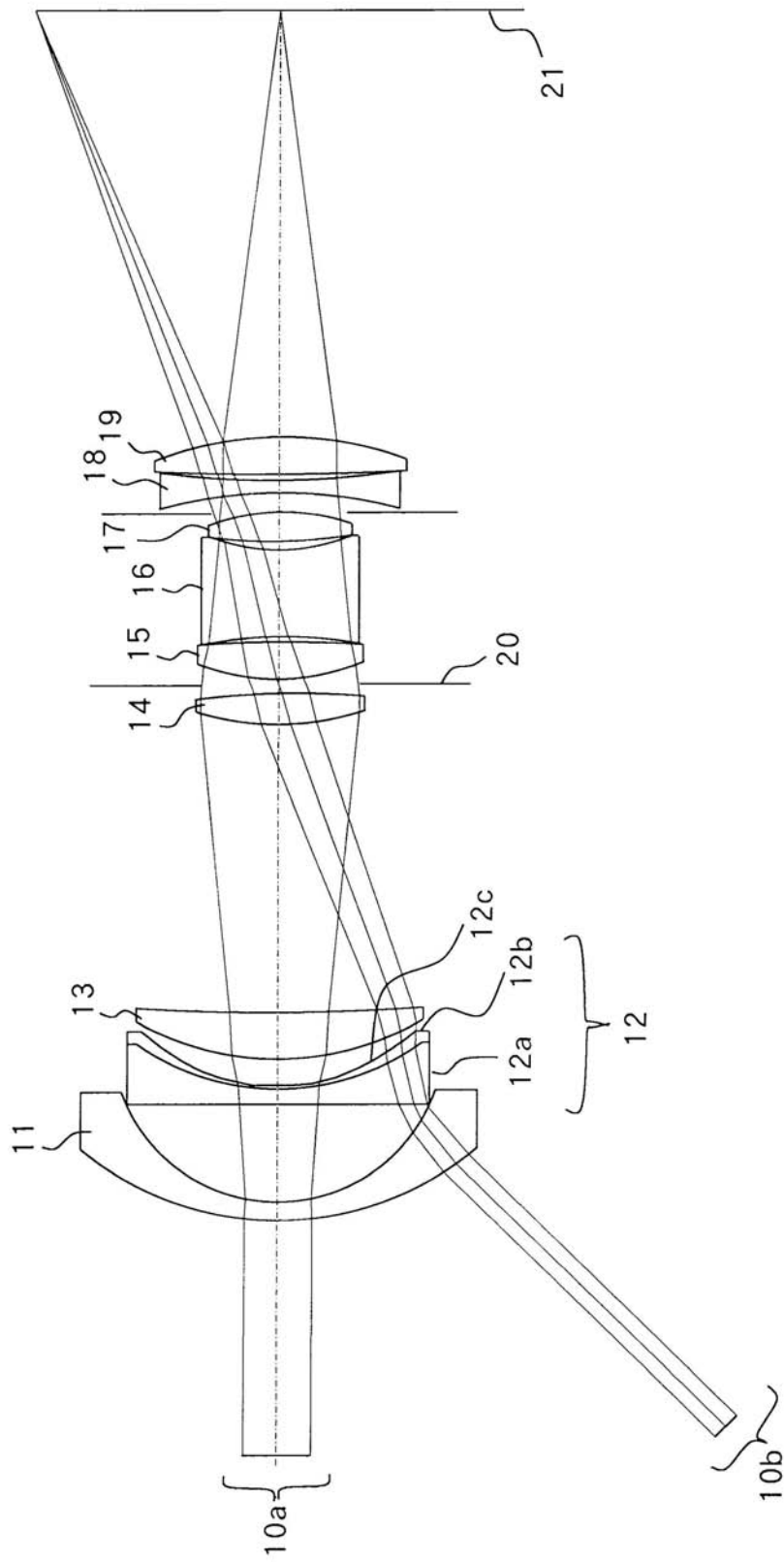
1 0 a 中心光束

1 0 b 周辺光束

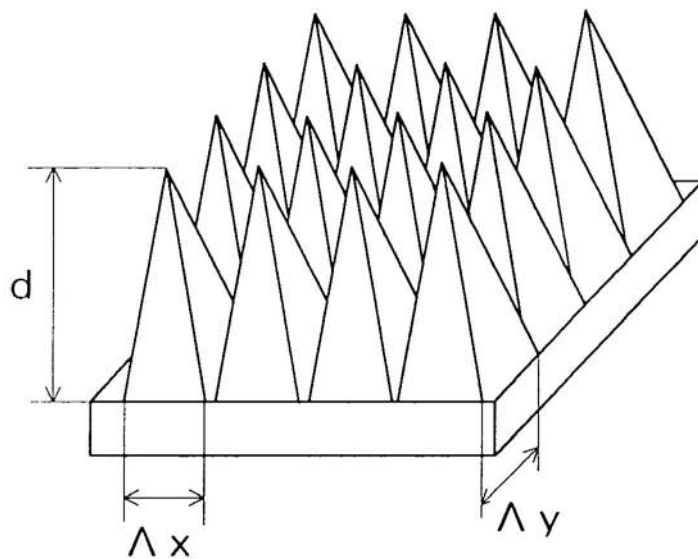
【 図 1 】



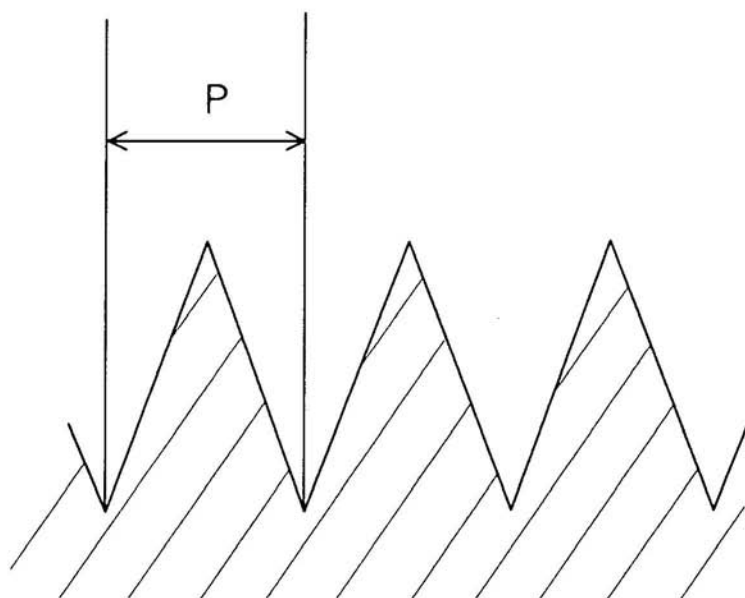
【図 2】



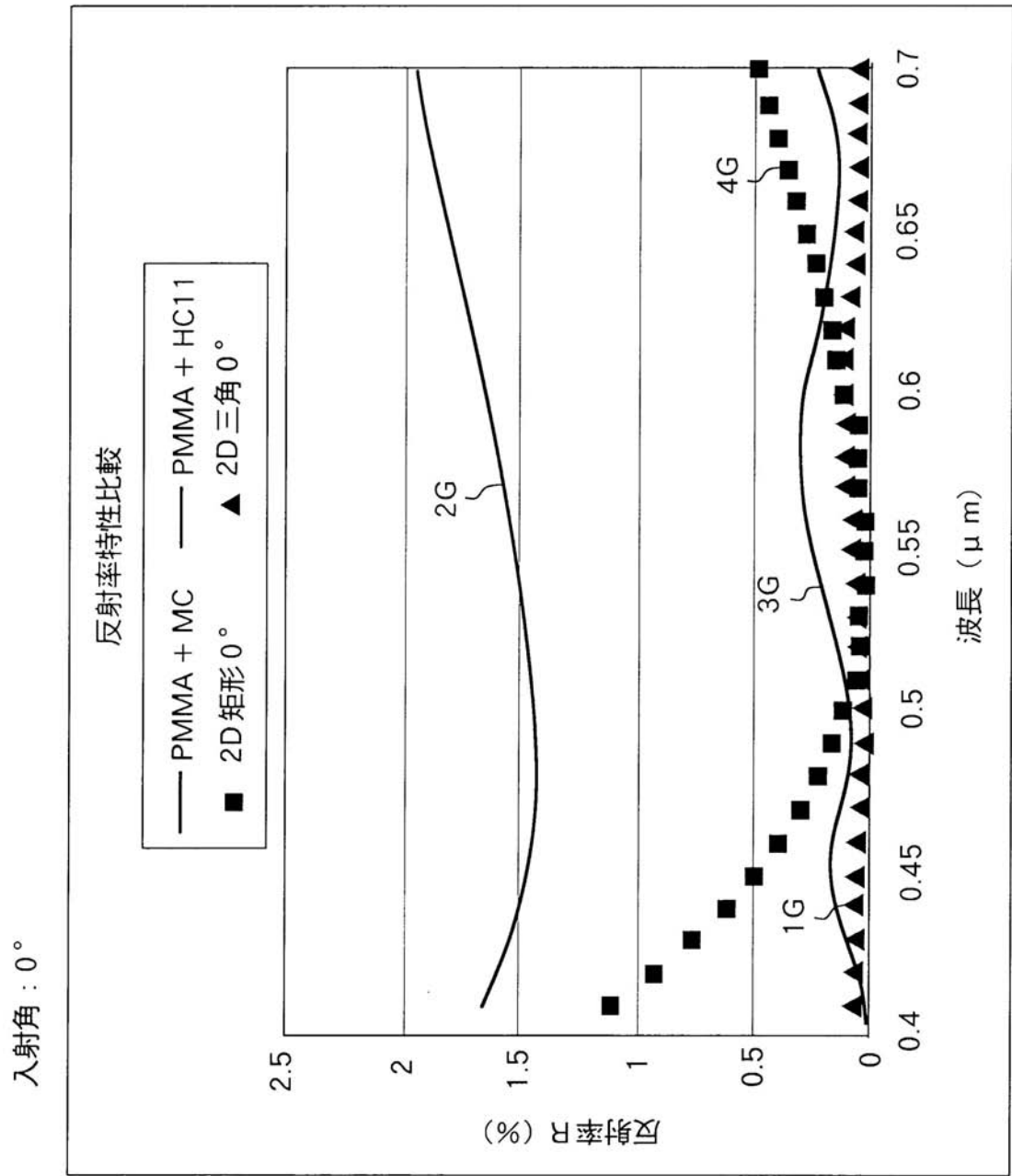
【 図 3 】



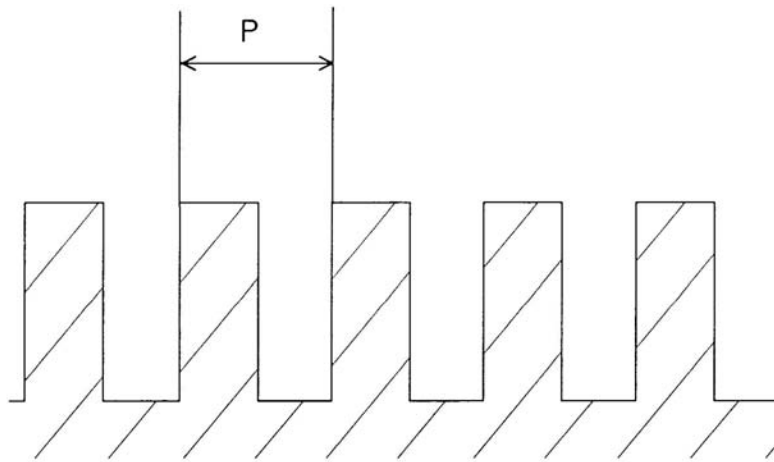
【 図 4 】



【 図 5 】

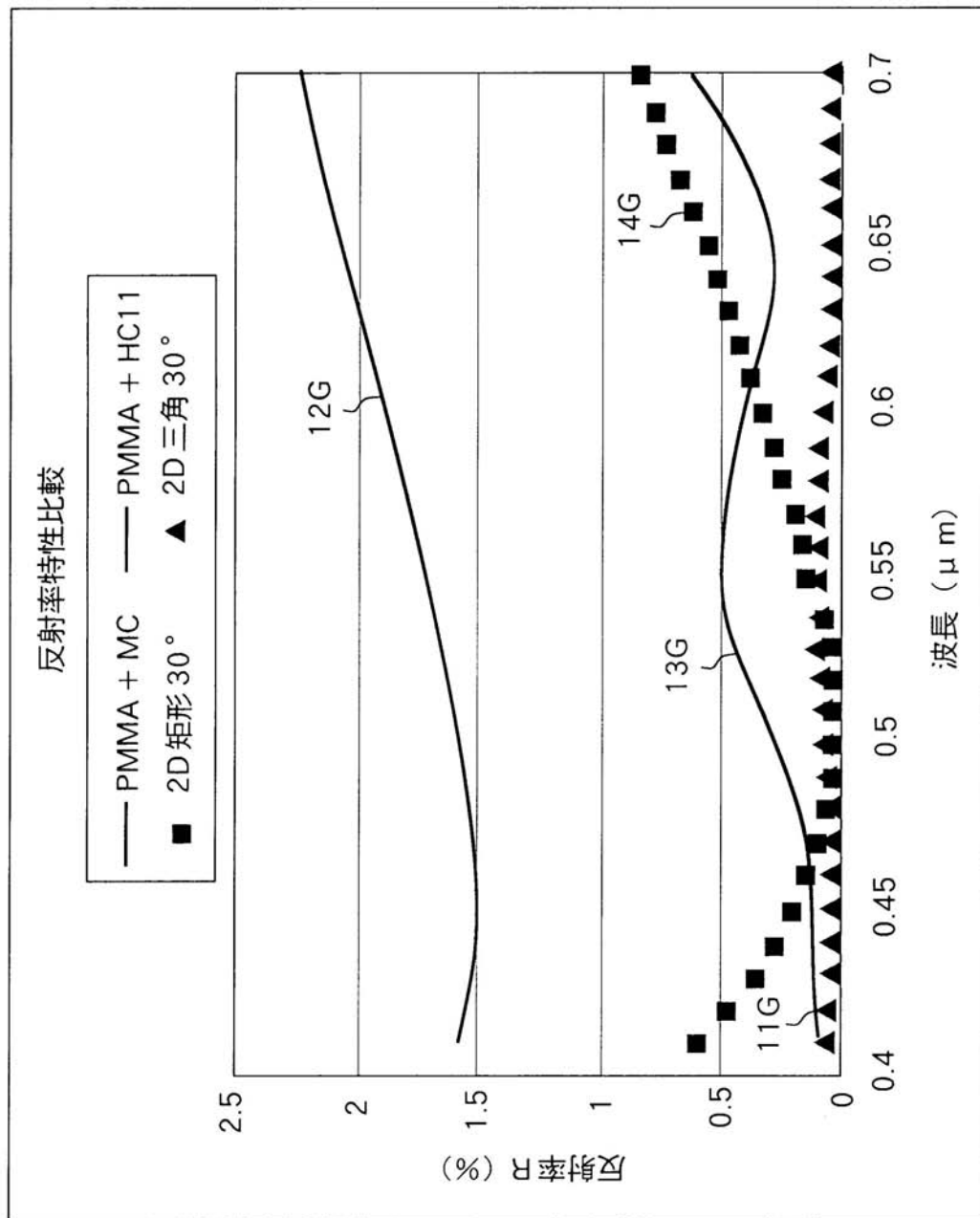


【 図 6 】



【 図 7 】

入射角 : 30°





【図 8】

