

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2011/052188 A1

PCT

(43) 国際公開日
2011年5月5日(05.05.2011)

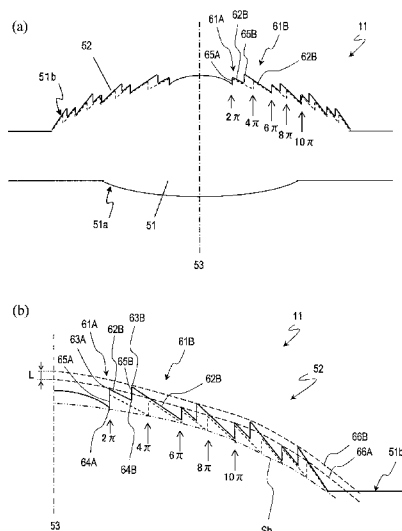
- (51) 国際特許分類:
G02B 3/08 (2006.01) G02B 13/00 (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01) G02B 13/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/006324
- (22) 国際出願日: 2010年10月26日(26.10.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-252254 2009年11月2日(02.11.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 安藤 貴真 (ANDO, Takamasa), 西脇 青児 (NISHIWAKI, Seiji), 是永 継博 (KORENAGA, Tsuguhiro).
- (74) 代理人: 奥田 誠司 (OKUDA, Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目8番16号 大
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: DIFFRACTION GRATING LENS AND IMAGING DEVICE USING SAME

(54) 発明の名称: 回折格子レンズおよびそれを用いた撮像装置

[図1]



$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - 1} \quad (1)$$

(57) Abstract: Disclosed is a diffraction grating lens comprising a lens base (51) having a surface (51b) obtained by providing a diffraction grating (52) to the base shape of the lens base. The diffraction grating (52) has multiple ring zones (61A, 61b) and multiple first diffraction steps (65A) and second diffraction steps (65B) positioned between the ring zones. The lens base comprises a first material with a refractive index $n_1(\lambda)$ at working wavelength λ , and the first diffraction steps (65A) and the second diffraction steps (65B) all have substantially the same height d , which fulfills equation 1, below, wherein m is the diffraction order. A first plane (66A) which delimits the positions of the tips (63A) of the first diffraction steps (65A) and a second plane (66B) which delimits the positions of the tips (63B) of the second diffraction steps (65B) are located at different positions on the optical axis (53).

(57) 要約: 本発明の回折格子レンズは、ベース形状に回折格子52が設けられてできる表面51bを有するレンズ基体51を備える。回折格子52は、複数の輪帯61A、61bおよび複数の輪帯間にそれぞれ位置する複数の第1の回折段差65Aおよび第2の回折段差65Bを有し、レンズ基体は、使用波長 λ において屈折率 $n_1(\lambda)$ である第1の材料からなり、第1の回折段差65Aおよび第2の回折段差65Bのそれぞれは、実質的に同じ高さ d を有する。高さ d は、 m を回折次数として、下記式(1)を満足する。第1の回折段差65Aの先端63Aが位置する第1の面66Aおよび第2の回折段差65Bの先端63Bが位置する第2の面66Bは光軸53上において、互いに異なる位置にある。

WO 2011/052188 A1

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：回折格子レンズおよびそれを用いた撮像装置

技術分野

[0001] 本発明は、回折現象を利用して光の集光または発散を行う回折光学レンズ（回折光学素子）およびそれを用いた撮像装置に関する。

背景技術

[0002] レンズ基体に回折格子が設けられ、回折現象を利用して光の集光または発散を行う回折光学素子は回折格子レンズと呼ばれている。回折格子レンズは、像面湾曲や色収差（波長による結像点のずれ）等のレンズの収差を補正するのに優れていることが広く知られている。これは、回折格子が、光学材料によって生じる分散性とは逆の分散性（逆分散性）を有していたり、光学材料の分散の直線性から逸脱した分散性（異常分散性）を有していたりするためである。このため、通常の光学素子と組み合わせることにより、回折格子レンズは大きな色収差補正能力を発揮する。

[0003] また、回折格子を撮像用光学系に用いた場合、非球面レンズのみによって構成される撮像用光学系に比べ、少ないレンズ枚数で同一性能を得ることができる。したがって、撮像用光学系の製造コストを低減させることができるとともに、光学長を短くすることができ、低背化を実現できるという利点がある。

[0004] 図18(a)から(c)を参照しながら、従来の回折格子レンズの形状を設計する方法説明する。回折格子レンズは、主に位相関数法または高屈折率法によって設計される。ここでは、位相関数法を用いた設計方法を説明する。高屈折率法によって設計する場合も、最終的に得られる結果は同じである。

[0005] 回折格子レンズの形状は、回折格子が設けられるレンズ基体のベース形状と、回折格子の形状とから形成される。図18(a)は、レンズ基体の表面形状が非球面形状S bである場合の一例を示しており、図18(b)は、回

折格子の形状 S p 1 の一例を示している。図 18 (b) に示す回折格子の形状 S p 1 は、位相関数により決定される。位相関数は、下記式 (5) で示される。

[数1]

$$\phi(r) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \psi(r)$$

$$\psi(r) = a_1 r + a_2 r^2 + a_3 r^3 + a_4 r^4 + a_5 r^5 + a_6 r^6 + \dots + a_i r^i \quad (5)$$

$$(r^2 = x^2 + y^2)$$

ここで、 $\phi(r)$ は位相関数、 $\Psi(r)$ は光路差関数 ($z = \Psi(r)$)、 r は光軸からの半径方向の距離、 λ_0 は設計波長、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 、 a_6 、 \dots 、 a_i は係数である。

[0006] 1 次の回折光を利用した回折格子の場合、図 18 (b) に示すように、位相関数 $\phi(r)$ において基準点 (中心) からの位相が $2n\pi$ (n は 1 以上の自然数) になるごとに位相差関数の曲線を分断する。この $2n\pi$ ごとに分断された位相差関数の曲線による形状 S p 1 を図 18 (a) の非球面形状 S b に足し合わせることによって、図 18 (c) に示す回折格子面の形状 S b p 1 が決定される。位相差関数から光路差関数への変換は式 (5) の関係を用いる。

[0007] 図 18 (c) に示す回折格子面の形状 S b p 1 が実際のレンズ基体に設けられる場合、輪帯の段差高さ d が下記式 (1) を満たせば回折効果が得られる。

[数2]

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - 1} \quad (1)$$

ここで、 m は設計次数 (1 次の回折光の場合は $m = 1$) であり、 λ は使用波長であり、 d は回折格子の段差高さであり、 $n_1(\lambda)$ は使用波長 λ における

レンズ基体を構成するレンズ材料の屈折率である。レンズ材料の屈折率は波長依存性があり、波長の関数である。式(1)を満たすような回折格子であれば、輪帯の根元と先端とで、位相関数上において位相差が 2π となり、使用波長 λ の光に対して、光路差が波長の整数倍となる。このため、使用波長の光に対する1次回折光の回折効率(以下、「1次回折効率」という。)を、ほぼ100%にすることができる。波長 λ が変化すれば、式(1)に従って、回折効率が100%となる d の値も変化する。逆に、 d の値が固定されれば、式(1)を満たす波長 λ 以外の波長では回折効率が100%とならない。

[0008] しかし、回折格子レンズを一般的な撮像用途に用いる場合、広い波長帯域(例えば、波長400nm~700nm程度の可視光域等)の光を回折する必要がある。その結果、図19に示すように、レンズ基体171に回折格子172が設けられた回折格子レンズに可視光線173が入射する場合、使用波長 λ として決定した波長の光による1次回折光175以外に不要な次数の回折光176(以下、「不要次数回折光」とも言う。)が発生する。例えば、段差高さ d を決定する波長を緑の波長(例えば540nm)とした場合、緑波長における1次回折効率は100%となり、緑波長の不要次数回折光176は発生しないが、赤波長(例えば640nm)や青波長(例えば440nm)では1次回折効率が100%とはならず、赤の0次回折光や青の2次回折光が発生する。これら赤の0次回折光や青の2次回折光が不要次数回折光176であり、フレアやゴーストとなって像面上に広がって画像を劣化させたり、MTF(Modulation Transfer Function: 変調伝達関数)特性を低下させたりする。

[0009] 特許文献1は、図20に示すように、回折格子172が形成されたレンズ基体171の表面上に、レンズ基体とは異なる屈折率および屈折率分散(refractive index dispersion)を有する光学材料からなる光学調整膜181を設けることを開示している。特許文献1は、回折格子172が形成された基体171の屈折率と、回折格子172を覆うように形成された光学調整膜1

81の屈折率とを特定の条件に設定することにより、回折効率の波長依存性を低減し、不要次数回折光を低減し、不要次数回折光によるフレアを抑制することができる」と開示している。

[0010] また、特許文献2は、図19の一般的な回折格子レンズを用いたカメラでの撮影において、不要次数回折光176の2次元点像分布から最小二乗法によるフィッティングで不要次数回折光176の絶対量を求め、除去する方法を開示している。

[0011] 特許文献3は、1コマ目の撮影で飽和している画素が存在する場合、その画素が飽和しないように2コマ目の撮影を行い、そのときの露光時間の調整値から不要次数回折光176の絶対量を求め、不要次数回折光176を除去する方法を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特開平09—127321号公報

特許文献2：特開2005—167485号公報

特許文献3：特開2000—333076号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] 本願発明者は、回折格子レンズの回折格子面上の輪帯ピッチを小さくしていく、あるいは非常に光強度が高い被写体を撮影すると、上述した不要次数回折光176とは異なる縞状フレア光が発生することを見出した。このような縞状フレア光が回折格子レンズにおいて発生することは知られていない。また、本願発明者によれば、特定の条件下では、縞状フレア光が、撮影された画像の品質を大きく低下させる可能性があることが分かった。

[0014] 本発明は、このような課題を解決するためになされたものであり、その目的は、縞状フレア光発生を抑制することのできる回折格子レンズおよびそれを用いた撮像装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明の回折格子レンズは、ベース形状に回折格子が設けられてできる表面を有するレンズ基体を備え、前記回折格子は、前記レンズ基体のレンズ直径内の領域において複数の輪帯および前記複数の輪帯間にそれぞれ位置する複数の回折段差を有し、前記レンズ基体は、使用波長 λ において屈折率 $n_1(\lambda)$ である第1の材料からなり、前記複数の回折段差のそれぞれは、実質的に同じ高さ d を有し、前記高さ d は、 m を回折次数として、下記式(1)を満足し、

[数3]

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - 1} \quad (1)$$

前記複数の回折段差は、複数の第1の回折段差および前記複数の第1の回折段差の少なくとも1つに隣接する少なくとも1つの第2の回折段差を含み、前記複数の第1の回折段差の先端は、前記ベース形状を前記回折格子の光軸方向に平行移動させた第1の面上に位置しており、前記少なくとも1つの第2の回折段差の先端は、前記ベース形状を前記光軸方向に平行移動させた第2の面上に位置しており、前記第1の面および前記第2の面は前記光軸上において、互いに異なる位置にある。

[0016] また、本発明の回折格子レンズは、ベース形状に回折格子が設けられてできる表面を有するレンズ基体と、前記レンズ基体の表面を覆うように設けられた光学調整膜とを備え、前記回折格子は、前記レンズ基体のレンズ直径内の領域において複数の輪帯および前記複数の輪帯間にそれぞれ位置する複数の回折段差を有し、前記レンズ基体は、使用波長 λ において屈折率 $n_1(\lambda)$ である第1の材料からなり、前記光学調整膜は、前記使用波長 λ において屈折率 $n_2(\lambda)$ である第2の材料からなり、前記複数の回折段差のそれぞれは、実質的に同じ高さ d を有し、前記高さ d は、 m を回折次数として、下記式(2)を満足し、

[数4]

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - n_2(\lambda)} \quad (2)$$

前記複数の回折段差は、複数の第1の回折段差および前記複数の第1の回折段差の少なくとも1つに隣接する少なくとも1つの第2の回折段差を含み、前記複数の第1の回折段差の先端は、前記ベース形状を前記回折格子の光軸方向に平行移動させた第1の面上に位置しており、前記少なくとも1つの第2の回折段差の先端は、前記ベース形状を前記光軸方向に平行移動させた第2の面上に位置しており、前記第1の面および前記第2の面は前記光軸上において、互いに異なる位置にある。

[0017] ある好ましい実施形態において、前記複数の回折段差は、複数の第2の回折段差を含み、各第1の回折段差および各第2の回折段差は交互に配置されている。

[0018] ある好ましい実施形態において、前記第1の面と前記第2の面と前記光軸上における間隔Lは、下記式(3)を満たす。

[数5]

$$0.4d \leq L \leq 0.9d \quad (3)$$

[0019] ある好ましい実施形態において、前記第1の面と前記第2の面と前記光軸上における間隔Lは、下記式(4)を満たす。

[数6]

$$0.4d \leq L \leq 0.6d \quad (4)$$

[0020] ある好ましい実施形態において、前記第1の面と前記第2の面と前記光軸

上における間隔Lは、 $L = 0.5d$ を満たす。

[0021] ある好ましい実施形態において、前記複数の回折段差は、複数の第2の回折段差を含み、前記複数の第1の回折段差および前記複数の第2の回折段差は、それぞれ、 i 個（ i は2以上の整数）および j 個（ j は2以上の整数）ずつ連続的に配置され、かつ、 i 個の前記第1の回折段差および j 個の前記第2の回折段差が交互に配置されている。

[0022] ある好ましい実施形態において、前記使用波長 λ は可視光域の波長であり、可視光域の全域の波長に対して式（2）を実質的に満足する。

[0023] 本発明の回折格子レンズは、ベース形状に回折格子が設けられてできる表面を有するレンズ基体を備え、前記回折格子は、複数の輪帯および前記複数の輪帯間にそれぞれ位置する複数の回折段差を有し、前記レンズ基体は、使用波長 λ において屈折率 $n_1(\lambda)$ である第1の材料からなり、前記複数の回折段差のそれぞれは、 m を回折次数として、下記式（1）で示される高さ d を有し、

[数7]

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - 1} \quad (1)$$

前記複数の輪帯は、互いに隣接する第1、第2および第3の輪帯を含み、前記第2の輪帯は前記第1および第3の輪帯に挟まれており、前記第1の輪帯および第2の輪帯の幅は略同一であり、前記第2の輪帯の幅は前記第1の輪帯の幅よりも狭い。

[0024] 本発明の撮像装置は、上記いずれかに記載の回折格子レンズと、撮像素子とを備える。

発明の効果

[0025] 本発明によれば、複数の第1の回折段差の先端は、ベース形状を回折格子の光軸方向に平行移動させた第1の面上に位置しており、少なくとも1つの第2の回折段差の先端は、ベース形状を前記光軸方向に平行移動させた第2

の面上に位置しており、第1の面および前記第2の面は前記光軸上において、互いに異なる位置にある。これにより、輪帯幅が異なる2種類の輪帯が回折格子に含まれるようになり、輪帯幅が異なる2種類の輪帯によって生じる縞状フレアが互いに干渉し合い、縞状フレアの発生が抑制される。

[0026] また、本発明の回折格子レンズを含む撮像装置を用いて、強い光源を撮影する場合にも、縞状フレア光が少ない画像を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1] (a) は、本発明による回折格子レンズの第1の実施形態の断面図であり、(b) は回折格子近傍を拡大して示す断面図である。

[図2] (a) から (c) は、本発明による回折格子レンズの回折格子面形状の導出方法を示す図であって、(a) はベース形状を示す図であり、(b) は位相差関数を示す図であり、(c) は回折格子の表面形状を示す図である。

[図3] 図1に示す回折格子レンズにおいて縞状フレアが抑制される理由を説明するための図である。

[図4] 図2(c)に示す回折格子とは異なる位置に回折段差を設けた回折格子の表面形状を示す図である。

[図5] (a) から (c) は、第1の実施形態における輪帯の位置を示す模式図である。

[図6] (a) および (b) は、本発明による回折格子レンズの第2の実施形態の断面図である。

[図7] 本発明による撮像装置の実施形態の断面図である。

[図8] (a) および (b) は、本発明による積層型光学系の実施形態の断面図および平面図であり、(c) および (d) は、本発明による積層型光学系の他の実施形態の断面図および平面図である。

[図9A] (a) から (e) は、実施例1の回折段差の位置を示す模式図である。

。

[図9B] (f) から (j) は、実施例1の回折段差の位置を示す模式図である。

。

[図10A] (a) から (f) は、実施例 1 の回折格子レンズに画角 60 度方向から波長 538 nm の平面波を入射させたときの焦点面上における 2 次元像図である。

[図10B] (g) から (j) は、実施例 1 の回折格子レンズに画角 60 度方向から波長 538 nm の平面波を入射させたときの焦点面上における 2 次元像図である。

[図11] 実施例 1 の回折段差の位置のシフト量と縞状フレア最大強度比率との関係を示す図である。

[図12] 実施例 2 の回折段差の位置を示す模式図である。

[図13] (a) から (e) は、実施例 2 の回折格子レンズに画角 60 度方向から波長 538 nm の平面波を入射させたときの焦点面上における 2 次元像図である。

[図14] 実施例 2 の回折段差の位置のシフト量と縞状フレア最大強度比率との関係を示す図である。

[図15] 実施例 3 の回折段差の位置を示す模式図である。

[図16] (a) から (e) は、実施例 3 の回折格子レンズに画角 60 度方向から波長 538 nm の平面波を入射させたときの焦点面上における 2 次元像図である。

[図17] 実施例 3 の回折段差の位置のシフト量と縞状フレア最大強度比率との関係を示す図である。

[図18] (a) から (c) は、従来の回折格子レンズの回折格子面形状の導出方法を示す図であって、(a) はベース形状を示す図であり、(b) は位相差関数を示す図であり、(c) は回折格子の表面形状を示す図である。

[図19] 従来の回折格子レンズにおいて、不要回折光が発生する様子を表す図である。

[図20] レンズ基体に光学調整膜が設けられた従来の回折格子レンズを示す断面図である。

[図21] 光軸方向から見た回折格子の輪帯を示す図である。

[図22] 輪帯を通過した光線束が集光される撮像素子上に縞状フレアが発生する様子を表す模式図である。

[図23] (a) は従来の回折格子レンズを備えた撮像装置を用いて撮影された画像の一例であり、(b) は(a) に示す画像の一部を拡大した画像の一例であり、縞状フレアが発生している様子を示している。

発明を実施するための形態

[0028] まず、本願発明者が明らかにした回折格子レンズによって生じる縞状フレア光について説明する。

[0029] 図21に示すように、回折格子172が設けられた回折格子レンズにおいて、輪帯21のそれぞれは、同心円状に配置される回折段差に挟まれている。このため、隣り合った2つの輪帯21を透過する光の波面間に設けられた回折段差によって分断される。輪帯21のそれぞれを透過する光は、輪帯21のピッチ Λ の幅を有するスリットを通過する光と見なすことができる。輪帯21のピッチ Λ が小さくなると、回折格子レンズを透過するレンズは、同心円状に配置された非常に狭いスリットを通過する光と見なすことができ、回折段差近傍で、光の波面の回り込みが見られるようになる。図22は、回折格子172が設けられたレンズ基体171に光が入射し、出射光が回折格子172によって回折する様子を模式的に示している。

[0030] 一般に、非常に狭く遮光されたスリットを通過した光は、無限遠の観測点において回折縞を形成する。これをフラウンホーファー回折という。この回折現象は正の焦点距離を有するレンズ系を含むことによって、有限距離（焦点面）でも発生する。

[0031] 本願発明者は、輪帯21のピッチ Λ が小さくなると、各輪帯21を透過した光が互いに干渉し、図22に示すような、蝶が羽を広げたような形の縞状フレア191が発生することを実レンズによる画像評価で確認した。

[0032] また、この縞状のフレアは、従来より知られている不要次数回折光を発生させる入射光よりもさらに多量の光が撮像用光学系に入射したときにより顕著に現れること、また、不要次数回折光は特定の波長に対しては発生しない

が、縞状フレア光は設計波長を含め使用波長帯域全域で発生することが分かった。

[0033] 縞状フレアは、画像上で、不要次数回折光よりも大きく広がって画質を劣化させる。特に、夜間などの真っ暗な背景にライトなどの明るい被写体を写し出す場合などコントラスト比が大きい過激な環境下では、縞状フレア光 191 は特に目立ち、問題となる。また、縞状フレア光 191 は縞状に明暗がはっきりとして発生するため、不要次数回折光 176 よりも目立ち問題となる。

[0034] 図 23 (a) は従来の回折格子レンズを備えた撮像装置を用いて撮影された画像の一例を示している。図 23 (a) に示す画像は、蛍光灯が点灯している室内様子を示す画像である。図 23 (b) は図 23 (a) に示す画像のうち、蛍光灯近傍の拡大画像である。図 23 (b) に示すように、蛍光灯の下部近傍に明るい光が縞状フレアである。

[0035] 本願発明者はこの課題を解決するために、新規な構造を備えた回折光学素子およびそれを用いた撮像装置を想到した。以下、図面を参照しながら、本発明による回折格子レンズの実施形態を説明する。

[0036] (第 1 の実施形態)

図 1 (a) は、本発明による回折格子レンズの第 1 の実施形態を示す断面図である。第 1 の実施形態の回折格子レンズ 11 はレンズ基体 51 を備える。レンズ基体 51 は第 1 の表面 51 a および第 2 の表面 51 b を有し、第 2 の表面 51 b に回折格子 52 が設けられている。

[0037] 本実施形態では、回折格子 52 は第 2 の表面 51 b に設けられているが、第 1 の表面 51 a に設けられていてもよく、第 1 の表面 51 a および第 2 の表面 51 b の両方に設けられていてもよい。

[0038] また、本実施形態では、第 1 の表面 51 a および第 2 の表面 51 b のベース形状は非球面形状であるが、ベース形状は球面や、平板形状であってもよい。第 1 の表面 51 a および第 2 の表面 51 b の両方のベース形状が同一であってもよいし、異なってもよい。また、第 1 の表面 51 a および第 2

の表面 5 1 b のベース形状はそれぞれ凸型非球面形状であるが、凹型非球面形状であってもよい。さらに、第 1 の表面 5 1 a および第 2 の表面 5 1 b のベース形状のうち一方が、凸型であり、他方が凹型であってもよい。

[0039] 本願明細書において、「ベース形状」とは、回折格子 5 2 の形状が付与される前のレンズ基体 5 1 の表面の設計上の形状を言う。回折格子 5 2 などの構造物が表面に付与されていなければ、レンズ基体 5 1 の表面がベース形状を有している。本実施形態では第 1 の表面 5 1 a には回折格子が設けられていないため、第 1 の表面 5 1 a のベース形状は第 1 の表面 5 1 a が有する表面形状であり、非球面形状である。

[0040] 一方、第 2 の表面 5 1 b は、ベース形状に回折格子 5 2 が設けられることによって構成されている。第 2 の表面 5 1 b には回折格子 5 2 が設けられているため、回折格子 5 2 が設けられた状態では、レンズ基体 5 1 の第 2 の表面 5 1 b は非球面形状ではない。しかし、回折格子 5 2 は以下に説明するように所定の条件に基づく形状を有するため、回折格子 5 2 が設けられた第 2 の表面 5 1 b の形状から回折格子 5 2 の形状を差し引くことによって、第 2 の表面 5 1 b のベース形状を特定することができる。

[0041] 回折格子 5 2 は、複数の輪帯 6 1 A、6 1 B と複数の回折段差 6 5 A、6 5 B とを有し、輪帯 6 1 A、6 1 B の間にそれぞれ 1 つの回折段差 6 5 A、6 5 B が設けられている。輪帯 6 1 A、6 1 B は、回折段差 6 5 A、6 5 B によって挟まれたリング状の凸部である。本実施形態では、輪帯 6 1 A、6 1 B は、第 1 の表面 5 1 a のベース形状および第 2 の表面 5 1 b のベース形状である非球面の光軸 5 3 を中心とし、同心円状に配置されている。つまり、回折格子 5 2 の光軸は非球面の光軸 5 3 と一致する。輪帯 6 1 A、6 1 B は同心円状に配置されている必要はない。しかし、撮像用途の光学系において、収差特性を良好にするためには、輪帯 6 1 A、6 1 B の輪帯形状が光軸 5 3 に対し回転対称であることが望ましい。

[0042] 図 1 (a) に示すように、従来とは異なり、回折格子 5 2 の回折段差 6 5 A、6 5 B のうち、回折段差 6 5 B は、位相関数における基準点からの位相

差が $2nm\pi$ 以外の位置に設けられ、回折段差 $65A$ は従来と同様、位相関数における基準点からの位相差が $2nm\pi$ の位置に設けられている。ここで n は正の整数であり、 m は回折次数である。回折次数自体は、0 および正または負の整数で定義されるが、回折次数が 0 であれば回折は生じない。このため、本発明では、 m は正または負の整数である。

[0043] 図 2 (a) から (c) を参照して回折格子 5 2 の構造および回折格子 5 2 を有する第 2 の表面 5 1 b の形状の設計方法を説明する。

[0044] 上述したように、回折格子レンズ 1 1 の第 2 の表面 5 1 b の形状は、回折格子が設けられるレンズ基体 5 1 のベース形状と、ベース形状に設けられる回折格子 5 2 そのもの形状とから構成される。図 2 (a) は、第 2 の表面 5 1 b におけるベース形状が非球面形状 S_b である場合の一例を示しており、図 2 (b) は、回折格子 5 2 の形状 S_p の一例を示している。図 2 (b) に示す回折格子の形状 S_p は、位相関数により決定される。位相関数は、前述の式 (5) で示される。

[数8]

$$\begin{aligned}\phi(r) &= \frac{2\pi}{\lambda_0} \psi(r) \\ \psi(r) &= a_1 r + a_2 r^2 + a_3 r^3 + a_4 r^4 + a_5 r^5 + a_6 r^6 + \dots + a_i r^i \\ (r^2 &= x^2 + y^2)\end{aligned}\quad (5)$$

ここで、 $\phi(r)$ は位相関数、 $\Psi(r)$ は光路差関数 ($z = \Psi(r)$)、 r は光軸からの半径方向の距離、 λ_0 は設計波長、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 、 a_6 、 \dots 、 a_i は係数である。

[0045] 1 次の回折光を利用する場合、つまり $m = 1$ の場合、図 2 (b) に示すように、位相関数 $\phi(r)$ において基準点 (中心) からの位相差が $2n\pi$ になる位置、および、 $2n\pi$ 以外の位置において、位相関数の曲線の形状 S_p を分断し、分断された曲線を $2n\pi$ だけマイナス方向へシフトさせる。つまり、これらの位置に回折段差を設ける。その結果、図 2 (b) に示すように

、回折格子 5 2 の形状 S_{p2} は、分断された曲線部分 s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 、 $s_5 \dots$ によって構成される。図 2 (b) において破線で示す曲線部分 s_a は従来の回折格子であれば、基準点からの位相差が 2π と 4π の間であるため、曲線部分 s_1 に接続される。しかし、本実施形態では、 $2n\pi$ 以外の位置で分断する結果、 $s_{a'}$ として曲線部分 s_2 に接続されている。この分断された位相差関数の曲線による形状 S_{p2} を図 2 (a) の非球面形状 S_b に足し合わせることによって、図 2 (c) に示す回折格子面の形状 S_{bp2} が決定される。なお、位相差関数から光路差関数への変換は式 (5) の関係を用いる。また、位相関数は、式 (5) において定数項を含むものであってもよい。この場合、基準点が 0 ではなくなり、回折段差の位置は図 2 (b) において、全体的に一定量 r 方向にシフトすることになる。

[0046] 図 2 (c) に示す回折格子面の形状 S_{bp2} が実際のレンズ基体に設けられる場合、輪帯の回折段差の高さ d が下記式 (1) を満たせば回折効果が得られる。

[数9]

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - 1} \quad (1)$$

ここで、 m は設計次数 (1 次の回折光の場合は $m=1$) であり、 λ は使用波長であり、 d は回折格子の段差高さであり、 $n_1(\lambda)$ は使用波長 λ におけるレンズ基体を構成するレンズ材料の屈折率である。レンズ材料の屈折率は波長依存性があり、波長の関数である。

[0047] 回折格子レンズ 1 1 を撮像等に用いる場合、レンズ直径内の領域には同一または同一波長領域の使用波長の光が入射し、同一の回折次数で光を回折させるものとして回折格子 5 2 が設計される。このため、レンズ直径内の領域の回折段差 6 5 A、6 5 B のそれぞれの段差高 d さは、式 (1) に従い、実質的に同じ値に設計される。実質的に同じ値とは、例えば、回折段差 6 5 A、6 5 B のそれぞれの段差高 d が以下の式 (1') を満たしていることを言

う。

[数10]

$$0.9d \leq \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - 1} \leq 1.1d \quad (1')$$

ここで、レンズ直径とは、回折格子レンズ 11 において、所定の集光または発散機能が付与された部分を光軸に垂直な面に投影して得られる円形領域（レンズ領域）の直径を言う。

[0048] なお、使用波長 λ は、設計波長 λ_0 と一般的には一致するが、異なってもよい。位相差関数で用いる設計波長は、例えば、収差を低減するために可視光域の真ん中（540 nm など）に決定する。これに対し、回折段差の高さ d に用いる使用波長 λ は、例えば回折効率を重視して決定される。このため、回折効率が可視光域全体において、中心波長に対して非対称な分布をする場合、使用波長 λ を可視光域の真ん中から少しずらす場合がある。この場合には、使用波長 λ は設計波長 λ_0 と異なる。

[0049] 図 2 (c) に示す回折格子面の形状 S_{p2} は、レンズ基体 51 の第 2 の表面 51b の実際の形状である。ただし、 z 方向、つまり、光路差はレンズ基体 51 とこれに接する媒体との屈折率差および使用する光の波長に依存する。図 2 (b) に示す位相差関数の曲線による形状 S_{p2} は、基準点からの位相差が $2n\pi$ になる位置、および、 $2n\pi$ 以外の位置において、分断されているため、図 2 (b) の位相差関数の値を光路長に換算し、図 2 (a) に示すレンズ基体の表面形状 S_b に足し合わせる。このようにすれば、分断された位置、つまり、回折段差は、設計波長 λ_0 におけるベース形状からの光路差が波長の整数倍（位相差数上の $2m\pi$ ）になる位置、および、整数倍（位相差数上の $2n\pi$ ）以外の位置に設けられることになる。具体的には、波長の整数倍（位相差数上の $2n\pi$ 、 $n=1, 3, 5, \dots$ ）になる位置に設けられた回折段差 65A と整数倍（位相差数上の $2n\pi$ 、 $n=2, 4, 6, \dots$ ）以外の位置に設けられた回折段差 65B とが存在する（図 2 は、 $m=$

1の場合を示している。) 。回折段差65Aおよび回折段差65Bは光軸53から外側にむかって交互に配置されている。回折段差65Aおよび回折段差65Bの高さはいずれも設計波長 λ_0 における位相差 2π に相当する値dである。この構成により、回折格子52には2種類の輪帯61Aおよび輪帯61Bが含まれる。その結果、隣接する輪帯61Aと輪帯61Bとでは、輪帯61Aの輪帯面62Aおよび輪帯幅が相対的に短く、輪帯61Bの輪帯面62Bおよび輪帯幅が相対的に長い。このように、輪帯幅あるいは、輪帯面の幅が異なる2種類の輪帯61Aと輪帯61Bとが回折格子52に含まれることによって、縞状フレアを抑制することができる。詳細は後述する。

[0050] 図1(b)は、回折格子52が設けられたレンズ基体の表面51bを拡大して示す断面図である。前述のように、位相関数上の基準点からの位相差が $2n$ になる位置と $2n\pi$ 以外となる位置で位相関数の曲面を分断し、回折段差を設ける設計方法により、表面51bは、以下に示す構成を有すると言える。図1(b)に示すように、表面51bにおいて、各輪帯61Aの先端63Aは、ベース形状Sbを回折格子52の光軸方向に平行移動させた第1の面66A上に位置する。同様に、各輪帯61Bの先端63Bは、ベース形状Sbを回折格子52の光軸方向に平行移動させた第1の面とは異なる第2の面上に位置する。回折段差65Bが $2n\pi$ 以外の位置であって、かつ、隣接する回折段差65B同士の位相差が $2n\pi$ である場合、各輪帯61Bの先端63Bは、ベース形状Sbを回折格子52の光軸方向に平行移動させた第1の面66Aとは異なる同一の第2の面66B上に位置する。第1の面66Aと第2の面66Bの回折格子52の光軸上における間隔Lは、回折段差65Aおよび回折段差65Bの高さd以下の値となる。

[0051] つまり、すべての輪帯の先端が、ベース形状Sbを回折格子52の光軸方向に平行移動させた1つの面上にない場合、位相関数上の基準点からの位相差が $2n\pi$ 以外の位置に少なくとも1つの回折段差が設けられており、これにより、その回折段差を挟んだ隣接する2つの輪帯の幅が異なっている。

[0052] 輪帯61Aの根元64Aおよび輪帯61Bの根元64Bについても同様で

ある。各輪帯 6 1 A の根元 6 4 A は、ベース形状 S b を光軸方向に平行移動させた曲面上に位置し、各輪帯 6 1 B の根元 6 4 B は、ベース形状 S b を光軸方向に平行移動させた曲面上に位置する。ただし、根元 6 4 A が位置する曲面は根元 6 4 B が位置する曲面と異なっている。

[0053] 従来の回折格子レンズでは、基準点からの位相差が $2n\pi$ になる位置で位相関数を分断することで回折段差を設けていたため、各輪帯の先端は、すべてベース形状を光軸方向に平行移動させた 1 つの曲面上に位置する。同様に各輪帯の根元も、すべてベース形状を光軸方向に平行移動させた 1 つの曲面上に位置する。このため、上述した回折格子の構造は本発明に特有であると言える。

[0054] また、図 1 8 (b)、(c) に示すように、従来の回折格子レンズでは、回折格子の外周側ほど輪帯の幅が狭くなるものの、連続して隣接する 3 つ程度の輪帯間では、輪帯の幅はほぼ同一である。これに対し、本実施形態の回折格子レンズ 1 1 では、輪帯 6 1 A とこれを挟む 2 つの輪帯 6 1 B に注目した場合、輪帯 6 1 A を挟むように隣接した 2 つ輪帯 6 1 B の幅は、同一であり、2 つ輪帯 6 1 B に挟まれた輪帯 6 1 A の幅は、2 つ輪帯 6 1 B の幅よりも狭くなっている。ここで同一とは、2 つの輪帯の幅が一致する場合のみならず、2 つの幅が一致しない場合でも長い方の輪帯の幅が短い方の輪帯の幅の 1.05 倍以内である場合も含む。

[0055] 図 3 は、回折格子 5 2 が設けられた回折格子レンズ 1 1 において、縞状フレアが低減される理由を説明するためのグラフである。図 3 に示すように、輪帯幅が狭い輪帯 1 によるフラウンホーファー回折の光（回折縞）では、径方向における波の間隔が相対的に広くなっており、輪帯幅が広い輪帯 2 によるフラウンホーファー回折の光では、径方向における波の間隔が相対的に狭くなっている。中心付近の振幅強度は、輪帯幅が反映されるため、輪帯 1 によるフラウンホーファー回折の光の強度が弱くなり、輪帯 2 によるフラウンホーファー回折の光の強度が強くなる。輪帯 1 および輪帯 2 によるフラウンホーファー回折の光を足し合わせたものが本実施形態の回折格子によるフラ

ウンホーファー回折の光である。図3から分かるように、輪帯1および輪帯2によるフラウンホーファー回折の光の径方向における波の間隔が異なるため、中心付近以外の位置では、波が打ち消し合い、従来の回折格子によるフラウンホーファー回折の光に比べ、光の振幅が小さくなっている。つまり、縞状フレアが低減されている。

[0056] この効果は、上述の説明から分かるように、位相関数上の基準点からの位相差が $2n\pi$ になる位置、および、 $2n\pi$ 以外の位置に回折段差が設けられ、隣接する輪帯61Aと輪帯61Bとの幅が異なることによって生じる。したがって、位相差が $2n\pi$ 以外であれば、回折段差65Bは任意の位置に設けることができる。

[0057] 好ましくは、位相関数上の基準点からの位相差が $2n\pi$ 以外のところに設ける回折段差65Bの位置は $\pi/5$ 以上の偏差つまり $2n\pi$ の位置から $\pm 10\%$ 以上シフトしている。シフト量が $\pm 10\%$ 以内であれば、2種類のフラウンホーファー回折の光の干渉の効果が十分ではないからである。より好ましくは、シフト量は、 $-40\% \sim -90\%$ の範囲であり、さらに好ましくは、 $-40\% \sim -60\%$ の範囲である。

[0058] 図2(b)に示すように、位相関数上において、 $2n\pi$ 以外の位置に設けた回折段差の $2n\pi$ の位置からのシフト量 δ は、 $2n\pi$ の位置に設けた回折段差の先端と $2n\pi$ 以外の位置に設ける回折段差の先端とのシフト量 δ' と一致する。このため、上述した回折段差65Bの $2n\pi$ の位置からの好ましいシフト量は、図1(b)を参照して説明した、輪帯61Aの先端63Aが位置する第1の面66Aと、輪帯61Bの先端63Bが位置する第2の面66Bとの回折格子52の光軸上における間隔Lの回折段差dからのシフト量で表すことができる。輪帯61Aの先端63Aが位置する第1の面66Aと、輪帯61Bの先端63Bが位置する第2の面66Bとの回折格子52の光軸上における間隔Lを用いる場合、間隔Lが $0.4d \leq L \leq 0.9d$ を満たすことが好ましく、 $0.4d \leq L \leq 0.6d$ を満たすことがより好ましい。これらの範囲が好ましい理由は以下の実施例において説明する。

- [0059] また、位相関数上の基準点からの位相差が $2n\pi$ の位置に設ける回折段差 65A の位置は $2n\pi$ の位置から $\pm 10\%$ より小さいシフト量であることが好ましい。シフト量が $\pm 10\%$ 以上である場合、回折格子 52 の特性が大きく変わってしまうためである。回折格子 52 の設計どおりの特性を発揮させるためには、加工可能なかぎりシフト量は小さい方が好ましい。
- [0060] 本実施形態では、回折格子レンズ 11 は回折格子 52 の 1 次の回折光を利用しているが、2 次以上の回折を利用してもよい。この場合、 m を利用する回折光の次数として、回折段差 65A および 65B は、位相関数上の基準点からの位相差が $2nm\pi$ になる位置、および、 $2nm\pi$ 以外の位置に設けられる。
- [0061] 回折段差 65B は回折格子 52 に 1 箇所以上設けられていれば、輪帯幅の異なる輪帯 61A および 61B が形成されるため、上述した本発明の効果をj得ることができる。ただし、回折段差 65B は回折格子レンズ 11 のレンズ直径内の領域に設けられていることが好ましい。この領域外に設けられた段差は、回折段差 65B として機能しない。例えば、回折格子レンズを保持するためのレンズコバをレンズ基体の回折格子の外周に設ける場合がある。このコバによる段差が、位相関数上の基準点からの位相差が $2nm\pi$ 以外の位置であったとしても、回折段差 65B としては機能しない。つまり、回折段差 65B は回折格子 52 の外周端以外の領域に設けられていることが好ましい。仮に、レンズコバによる段差が、位相関数上の基準点からの位相差が $2nm\pi$ 以外の位置にある場合には、回折格子レンズ 11 のレンズ直径内の領域に少なくとも他の回折段差 65B が設けられていることが好ましい。
- [0062] また、位相関数上の基準点からの位相差が $2n\pi$ 以外の位置であれば、回折段差 65B を設ける位置は任意である。図 2 (c) では、回折段差 65B は、 3π 、 7π 、 11π ・・・の位置に設けられていた。しかし、例えば、図 4 に示すように、回折段差 65B を、 5π 、 9π 、 13π ・・・の位置に設けた回折格子面の形状 S_{bp2} をレンズ基体 51 の表面 51b に設けてもよい。

[0063] 上述したように、本発明によれば、回折段差 6 5 A および 6 5 B を、位相関数上の基準点からの位相差が $2nm\pi$ になる位置、および、 $2nm\pi$ 以外の位置に設け、輪帯 6 1 A の先端 6 3 A が位置する第 1 の面 6 6 A と、輪帯 6 1 B の先端 6 3 B が位置する第 2 の面 6 6 B とが、回折格子 5 2 の光軸上において互いに異なる位置にあるため、輪帯 6 1 A の幅と輪帯 6 1 B の幅を異ならせ、縞状フレアを低減、あるいは、目立たなくすることができる。詳細な検討の結果、回折段差 6 5 B の位置によって縞状フレアの低減効果が異なることが分かった。

[0064] 図 5 (a) から (c) は、本発明の特徴を理解しやすくするために、半径位置に対する位相差が線形的に変化すると仮定した位相関数による模式的な回折格子 5 2 の表面形状を示した図である。図 5 (a) から (c) において、破線は回折段差がすべて $2nm\pi$ の位置に設けられている場合の回折格子 5 2 の表面形状を示している。

[0065] 詳細な検討によれば、主要な集光位置から離れた位置に発生した縞状フレア光を低減させるためには、図 5 (a) のように、回折段差 6 5 A を位相関数上の基準点からの位相差が $2nm\pi$ の位置に設け、回折段差 6 5 B を、位相差が $(2n-1)m\pi$ の位置に設けることが好ましい (図 5 (a) は $m=1$ の場合)。このように構成することによって、2 つの輪帯幅の異なる輪帯により発生するフラウンホーファー回折の回折縞が互いに干渉し合い、効果的に縞状フレア光を低減することができる。この構成については、以下の実施例 1 において詳細において説明する。この場合、回折段差 6 5 A および回折段差 6 5 B は交互に配置される。

[0066] また、ある特定位置に発生し、目立つ縞状フレア光を広範囲に分散させて目立ちにくくするためには、図 5 (b) や (c) のように、回折段差 6 5 A および 6 5 B を、それぞれ i 個および j 個ずつ連続的に配置し、かつ、 i 個の回折段差 6 5 A および j 個の回折段差 6 5 B を交互に配置することが好ましい。図 5 (b) は、 $i=j=3$ の場合の回折格子 5 2 の表面形状を示し、図 5 (c) は、 $i=j=4$ の場合の回折格子 5 2 の表面形状を示している。

このような構成にすることによって、さまざまな縞間隔の縞状フレア光が発生し、縞の明暗のコントラストが小さくなるため、縞状フレアを目立たなくすることができる。この構成については、実施例 2、3 において詳細に説明する。

[0067] 連続する回折段差 6 5 A および 6 5 B の個数 i 、 j に特に制限はなく、また、回折段差 6 5 A の個数 i と回折段差 6 5 B の個数 j とは異なっていてもよい。 i および j は好ましくは 2 個以上であり、レンズ直径内の輪帯本数の $1/2$ 以下である。効果的に縞状フレアを抑制するためには、 i 、 j は等しいことが好ましい。

[0068] このように縞状フレアを効果的に抑制するためには、回折段差 6 5 A の分布密度および回折段差 6 5 B の分布密度が概ね等しいことが好ましい。具体的には、回折格子 5 2 は、複数の回折段差 6 5 A および複数の回折段差 6 5 B を含み、回折段差 6 5 A および回折段差 6 5 B を交互に配置するか、 i (2 以上の整数) 個および j (2 以上の整数) 個ずつ連続的に配置し、かつ、 i 個の回折段差 6 5 A および j 個の回折段差 6 5 B を交互に配置することが好ましい。

[0069] このように本実施形態の回折格子レンズによれば、回折段差が、位相関数上の基準点からの位相差が、 $2n\pi$ になる位置、および、 $2n\pi$ 以外の位置に設けられる。これにより、位相差が $2n\pi$ になる位置の回折段差の先端は、ベース形状を回折格子の光軸方向に平行移動させた第 1 の面上に位置し、位相差が $2n\pi$ 以外になる位置の回折段差の先端は、ベース形状を光軸方向に平行移動させた第 2 の面上に位置しており、第 1 の面および前記第 2 の面は光軸上において互いに異なる位置にある。これにより、輪帯幅が異なる 2 種類の輪帯が回折格子に含まれ、輪帯幅が異なる 2 種類の輪帯によって生じる縞状フレアが互いに干渉し合い、縞状フレアの発生が抑制される。

[0070] 本実施形態では、回折格子 5 2 に $2nm\pi$ 以外の位置に設ける回折段差 6 5 B は、レンズ基体 5 1 の第 2 の表面 5 1 b の全面に設けられている。しかし、回折段差 6 5 B は、上述したように、回折格子の外周端を除く少なくと

も1箇所に設けられていればよく、第2の表面51bの外周近傍だけ、あるいは、中央部分だけなど、部分的に形成してもよい。特に、レンズ周辺部は輪帯のピッチが細かくなりやすいため、縞状フレア光が強く発生しやすい。このため、レンズ周辺部のみに回折段差65Bを設けても、縞状フレアを十分に抑制し得る。

[0071] (第2の実施形態)

図6(a)は、本発明による回折格子レンズの第2の実施形態を示す断面図である。図6(a)に示す回折格子レンズ12は、レンズ基体51と、レンズ基体51に設けられた回折格子52と、回折格子52を覆うようにレンズ基体51に設けられた光学調整膜54とを備える。レンズ基体51は第1の表面51aおよび第2の表面51bを有し、第2の表面51bに回折格子52が設けられている。好ましくは、回折格子52の回折段差を完全に埋めるように光学調整膜54が設けられている。

[0072] 回折格子52が設けられたレンズ基体51は、第1の実施形態の回折格子レンズ11と同様の構造を備えている。

[0073] レンズ基体51は第1の実施形態と同様、使用波長 λ において屈折率 $n_1(\lambda)$ である第1の材料からなる。また、光学調整膜54は、使用波長 λ において屈折率 $n_2(\lambda)$ である第2の材料からなる。

[0074] 回折格子52の回折段差65A、65Bの高さを d とし、 m を回折次数としたとき、レンズ直径内の領域の回折段差65A、65Bのそれぞれは下記(2)で示す実質的に同じ高さ d を有している。

[数11]

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - n_2(\lambda)} \quad (2)$$

[0075] 好ましくは、使用波長 λ は可視光域の波長であり、可視光域の全域の波長 λ に対して式(2)を実質的に満足する。実質的に満足するとは、例えば以下の式(2')の関係を満たすことを言う。

[数12]

$$0.9d \leq \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - n_2(\lambda)} \leq 1.1d \quad (2')$$

- [0076] この場合、可視光域の任意の波長 λ の光が式(2)を実質的に満足することにより、不要次数回折光が発生しなくなり、回折効率の波長依存性が非常に小さくなり、また、高い回折効率を得られる。
- [0077] 可視光域の任意の波長 λ の光が式(2)を実質的に満足するためには、可視光域の任意の波長 λ あるいは使用する光の波長帯域内において d がほぼ一定となるような波長依存性を持つ屈折率 $n_1(\lambda)$ の第1の材料と屈折率 $n_2(\lambda)$ の第2の材料とを組み合わせればよい。一般的には、屈折率が高く、波長分散の低い材料と屈折率が低く波長分散の高い材料とが組み合わせられる。
- [0078] より具体的には、第1の材料における屈折率の波長依存性と逆の傾向を示す屈折率の波長依存性を有する材料を第2の材料として選択すればよい。例えば、回折光学レンズ12を使用する光の波長範囲において、第2の材料の屈折率は第1の材料の屈折率より小さく、かつ、第2の材料の屈折率の波長分散性は第1の材料の屈折率の波長分散性より大きい。つまり、第2の材料は第1の材料よりも低屈折率高分散材料であることが好ましい。
- [0079] 屈折率の波長分散性は、例えば、アッペ数によって表される。アッペ数が大きいほど屈折率の波長分散性は小さい。したがって、第2の材料の屈折率は第1の材料の屈折率より小さく、かつ、第2の材料のアッペ数は第1の材料のアッペ数よりも小さいことが好ましい。
- [0080] 好ましい第1の材料および第2の材料の組み合わせの例を以下の表1に示す。表1において、屈折率(n_d)は d 線での屈折率を示し、アッペ数(ν_d)は、 d 線でのアッペ数である。なお、表1において第1の材料をレンズ基体51の材料、第2の材料を光学調整膜54の材料としてもよいし、第2の材料をレンズ基体51の材料、第1の材料を光学調整膜54の材料としてもよく、どちらの場合も式(2)を実質的に満足することにより、不要次数

回折光が発生しなくなり、可視光域の全域において高い回折効率を得られる。

[0081] [表1]

第 1 の材料		第 2 の材料	
屈折率 (n d)	アッベ数 (ν d)	屈折率 (n d)	アッベ数 (ν d)
1. 6 8 0	6 5	1. 5 2 4 7	3 5
1. 6 2 3	4 0	1. 5 8 5	2 8
1. 6 5 0	4 5	1. 6 2 1	3 0

[0082] 第 1 の材料および第 2 の材料として、ガラスや樹脂に無機粒子が分散したコンポジット材料を用いてもよい。コンポジット材料は、分散させる無機粒子等の種類や粒子の大きさ、添加量を調整することによってコンポジット材料全体の屈折率や波長分散性を調整するため、第 1 の材料および第 2 の材料として好適に用いることができる。

[0083] 屈折率 $n_2(\lambda)$ が屈折率 $n_1(\lambda)$ より大きい場合、 d は負の値となる。この場合、回折格子 5 2 の第 2 の表面 5 1 b 形状は、ベース形状に位相差関数による位相差を反転させて足し合わることによって得られる。図 6 (b) は、屈折率 $n_2(\lambda)$ が屈折率 $n_1(\lambda)$ より大きい場合の回折格子レンズ 1 2' の構造を示している。

[0084] 上述したように本実施形態の回折光学レンズ 1 2 は、光学調整膜 5 4 で回折格子 5 2 が覆われている点で第 1 の実施形態の回折光学レンズ 1 1 と異なっているが、光学調整膜 5 4 が空気層であるとすれば、回折光学レンズ 1 1 と回折光学レンズ 1 2 とは同じ構造であるといえる。式 (2) と式 (1) とを比較すれば明らかなように、一般に光学材料である第 2 の材料の屈折率 $n_2(\lambda)$ は 1 より大きいため、第 1 の実施形態の回折光学レンズ 1 1 の場合に比べて段差 d は大きくなる。しかし、フラウンホーファー回折による回折縞の発生および本発明による縞状フレアの抑制効果は、波長に依存しない。このため、光学調整膜 5 4 で回折格子 5 2 が覆われていても、本実施形態の回

折光学レンズ 12 では第 1 の実施形態と同様、縞状フレアの発生が抑制される。また、使用波長域の全域で式 (2) を満たすことにより、不要回数回折光によるフレアも低減することができる。

[0085] (第 3 の実施形態)

図 7 は、本発明による撮像装置の実施形態を示す模式的断面図である。撮像装置 13 は、レンズ 81 と、回折格子レンズ 82 と、絞り 56 と撮像素子 57 とを備える。

[0086] レンズ 81 は、レンズ基体 55 を含む。レンズ基体 55 の第 1 の表面 55a および第 2 の表面 55b は、球面形状、非球面形状など、公知のレンズの表面形状を有している。本実施形態では、レンズ基体 55 の第 1 の表面 55a は凹形状を有し、第 2 の表面 55b は凸形状有している。

[0087] レンズ 82 は、レンズ基体 51 を含む。レンズ基体 51 の第 1 の表面 51a および第 2 の表面 51b' のベース形状は、球面形状、非球面形状など、公知のレンズの表面形状を有している。本実施形態では、第 1 の表面 51a は凸形状を有し、第 2 の表面 51b' は凹形状有している。第 2 の表面 51b' には第 1 の実施形態で説明した回折格子 52 が設けられている。

[0088] レンズ 81 の第 2 の面 55b から入射した被写体からの光は、レンズ 81 およびレンズ 82 によって集光され、撮像素子 57 の表面において、結像し、撮像素子 57 によって電気信号に変換される。

[0089] 本実施形態の撮像装置 13 は 2 枚のレンズを備えているが、レンズの数やレンズの形状に特に制限はなく、1 枚であってもよいし、3 枚以上のレンズを備えていてもよい。レンズ枚数を増やすことで、光学性能を向上させることができる。撮像装置 13 が、複数のレンズを備える場合、回折格子 52 は複数のレンズのうちどのレンズに設けられていてもよい。また、回折格子 52 が設けられた面は、被写体側に配置されてもよいし、撮像側に配置されてもよく、複数面であってもよい。ただし、回折格子 52 が複数設けられていると回折効率が低下する。このため、回折格子 52 は 1 面だけに設けられていることが好ましい。回折格子 52 の輪帯形状は、必ずしも光軸 53 を中

心とした同心円状に配置されている必要はない。ただし、撮像用途の光学系において、収差特性を良好にするためには、回折格子 5 2 の輪帯形状が光軸 5 3 に対し回転対称であることが望ましい。また、絞り 5 6 はなくてもよい。

[0090] 本実施形態による撮像装置は、第 1 の実施形態で説明した回折格子 5 2 が設けられた回折格子レンズを備えているため、強い光源を撮影する場合にも縞状フレア光の少ない画像を得ることができる。

[0091] (第 4 の実施形態)

図 8 (a) は、本発明による光学系の実施形態を示す模式的断面図であり図 8 (b) はその平面図である。光学素子 1 4 は、レンズ基体 5 1 とレンズ基体 5 8 と備える。レンズ基体 5 1 の一面には第 1 の実施形態で説明した構造を有する回折格子 5 2 が設けられている。レンズ基体 5 8 は回折格子 5 2 と対応する形状を有する回折格子 5 2' が設けられている。レンズ基体 5 1 とレンズ基体 5 8 とは所定の間隙 5 9 を隔てて保持されている。

[0092] 図 8 (c) は、本発明による光学系他の実施形態を示す模式的断面図であり図 8 (d) はその平面図である。光学素子 1 4' は、レンズ基体 5 1 A とレンズ基体 5 1 B と光学調整膜 6 0 と備える。レンズ基体 5 1 A の一面には第 1 の実施形態で説明した構造を有する回折格子 5 2 が設けられている。同様にレンズ基体 5 1 B にも回折格子 5 2 が設けられている。光学調整膜 6 0 は、レンズ基体 5 1 A の回折格子 5 2 を覆っている。光学基体 5 1 A と光学基体 5 1 B とは、光学基体 5 1 B の表面に設けられた回折格子 5 2 と光学調整膜 6 0 との間に間隙 5 9' が形成されるように保持されている。

[0093] 回折格子を設けたレンズ基体が積層された光学素子 1 4 および光学素子 1 4' においても、第 1 の実施形態で説明したように、回折格子 5 2 が設けられているため、縞状フレアの発生が抑制される。

実施例 1

[0094] 第 1 の実施形態の回折光学レンズ 1 1 を作製し、縞状フレアの発生を抑制する効果を調べた結果を説明する。本実施例では、図 1 に示す回折光学レン

ズ 1 1 において、回折段差 6 5 A を位相関数上の基準点からの位相差が $2 n \pi$ の位置に設け、回折段差 6 5 B を位相差が $(2 n \pi - 2 \pi \times S)$ の位置に設けた。S は 0 から 0. 9 までの間で 0. 1 ずつ変化させた。回折段差 6 5 A および 6 5 B は交互に配置した。図 9 A (a) から (e) および図 9 B (f) から (j) は、回折段差 6 5 B を、位相関数上の基準点からの位相差が $(2 n \pi - 2 \pi \times S)$ (S = 0、0. 1、0. 2、0. 3、0. 4、0. 5、0. 6、0. 7、0. 8、0. 9) の位置に設けた場合の回折格子の形状を模式的に示している。便宜上、図 9 A および図 9 B では、輪帯ピッチを等ピッチで表示しているが、実際の回折格子レンズは (数 1) の a 1 以外の高次の項も用い回折格子を設計しており、図 2 (b) に示すように回折段差のピッチは変化する。回折次数は 1 次を用いた。回折格子レンズの回折格子の段差高さを 0. 9 mm とし、設計波長および使用波長を 5 3 8 nm とし、使用波長でのレンズ基体 5 1 の屈折率 n_1 を 1. 5 9 1 とした。空気の屈折率は 1 とした。

[0095] 図 1 (b) を参照して第 1 の実施形態で説明したように、回折段差 6 5 B を設ける位置を $2 n \pi$ から $2 \pi \times S$ (S = 0、0. 1、0. 2、0. 3、0. 4、0. 5、0. 6、0. 7、0. 8、0. 9) だけシフトさせた場合、輪帯 6 1 A の先端 6 3 A が位置する第 1 の面 6 6 A と、輪帯 6 1 B の先端 6 3 B が位置する第 2 の面 6 6 B との回折格子 5 2 の光軸上における間隔 L は $d \times S$ (S = 0、0. 1、0. 2、0. 3、0. 4、0. 5、0. 6、0. 7、0. 8、0. 9) となる。図 1 0 A (a) から (f) および図 1 0 B (g) から (j) は、図 9 A (a) から (e) および図 9 B (f) から (j) に示す構造を有する回折格子レンズに、それぞれ画角 6 0 度の方向から波長 5 3 8 nm の平面波を入射させたときの焦点面上における 2 次元像である。

[0096] これらの図のうち、図 1 0 A (f) は S = 0. 5 (5 0 %) であり、回折段差 6 5 B を位相関数上の基準点からの位相差が $(2 n \pi - 2 \pi \times 0. 5)$ つまり、 $2 (n - 1) \pi$ の位置に設けた場合の回折格子の形状を模式的に示している。また、図 1 0 A (f) はその構造により得られた 2 次元像を示してい

る。また、図10A(a)は、 $S=0$ (0%)であり、回折段差65Bを位相関数上の基準点からの位相差が $(2n\pi-0)$ つまり、 $2n\pi$ の位置に設けた従来の回折格子の形状を模式的に示している。また、図10A(a)はその構造により得られた2次元像を示している。

[0097] 図10A(f)に示すように、縞状フレア光は中心部にのみ見られ、周辺部のフレア光量が低減できている。中心部に集約された縞状フレア光は、メインの光と連なるため、目立ちにくくなる。これに対し、図10A(a)に示すように、従来の回折格子レンズでは、縞状フレア光が中心部から離れた位置に発生し明瞭に広がっている。この場合、本来発生するはずがないところに明瞭な光の帯が存在するため、画像を見たときに目立ってしまう。図10A、図10Bの2次元像上に示す数字は縞状フレア光の最大強度比率である。具体的には、点線枠内をメインの光、点線枠外を縞状フレア光と考え、点線枠内の光強度の最大値に対する点線枠外の光強度の最大値の比率を示している。図10A(a)では縞状フレア光の最大強度が0.17%であるのに対し、図10(f)では0.026%に低減できていることが分かる。この結果から、実施例1では、位相関数上の基準点からの位相差が $(2n-1)\pi$ のところに戻折段差を設けることで、縞状フレア光が中心部に集約し、周辺部の目立つフレア光を大幅に低減できることが分かる。回折格子レンズは、一般に、レンズ面の周辺になるほど輪帯ピッチが細くなり、輪帯ピッチがレンズ面の中心と周辺部で大きく変化する。このような場合、輪帯ピッチに応じたさまざまな縞間隔の縞状フレア光が発生してしまう。しかし、実施例1のように $2n\pi$ と $(2n-1)\pi$ の位置に交互に回折段差を配置することによって、縞状フレアを低減できる。

[0098] 図9A(a)から(e)および図9B(f)から(j)に示すように、 S が0から大きくなるにつれて、 $2n\pi$ 以外の位置に設ける回折段差65Bの位置もシフトする。 $S=0.9$ の回折格子レンズ形状は、 $S=0$ の形状に近づくわけではなく、回折段差高さが2倍である $m=2$ (2次回折光利用)の回折格子レンズの構成に近くなる。ただし、各回折段差65A、65Bの高

さは第1の実施形態で説明したようにdである。

[0099] 図10A(a)から(f)および図10B(g)から(j)に示す結果から、Sが0から0.5に近づくにつれて、縞状フレア光の最大強度比率は小さくなるのが分かる。また、Sが0.5より大きくなると、縞状フレア光の最大強度比率も増大する。

[0100] 図11はSの値と縞状フレア光の最大強度比率との関係をまとめたグラフである。図11から分かるように、シフト量Sを0.4(40%以上)0.9にすることによって、縞状フレア光の最大強度比率が約0.05%以下となり、縞状フレア光を大幅に低減できることが分かる。さらに好ましくは、シフト量を0.4以上0.6以下にすることによって、縞状フレア光の最大強度比率を0.04%以下にすることができる。シフト量Sは0.5にすることが最も好ましい。これにより点線枠外の縞状フレア光を全体的に目立ちにくくすることができる。

[0101] 輪帯61Aの先端63Aが位置する第1の面66Aと、輪帯61Bの先端63Bが位置する第2の面66Bとの回折格子52の光軸上における間隔Lでこの条件を示す場合、間隔Lは、0.4d以上0.9d以下であることが好ましく、0.4d以上0.6d以下であることがより好ましく、0.5dであることが最も好ましいといえる。本実施例では、回折段差65Bをシフトさせる方向は図9A、図9Bにおいて左側であったが、逆方向(右側)にシフトさせて同様の結果が得られる。

実施例 2

[0102] 本実施例では、図12に示すように位相関数上の基準点からの位相差が($2n\pi - 2\pi \times S$)の位置において連続的に3つ回折段差を設け、 $2n\pi$ のところ連続的に3つ回折段差を設け、これらを交互に配置した。回折次数は1次を用いた。回折格子レンズの回折格子の段差高さを $0.9\mu\text{m}$ とし、設計波長および使用波長を 538nm とし、使用波長でのレンズ基体51の屈折率 n_1 を1.591とした。空気の屈折率は1とした。

[0103] 図13(a)から(e)は、 $S=0.1$ から 0.5 まで 0.1 ずつ段階的

に変化させた回折格子レンズに画角60度方向から波長538nmの平面波を入射させたときの焦点面上における2次元像を示している。図14は、縞状フレア最大強度比率とシフト量Sとの関係を示したグラフである。図13より、シフト量Sが0.3および0.4の場合、図10A(a)と比較して、明瞭な光の帯となっていた縞状フレア光をバランスよく分散させることができ、画質的にフレアが目立ちにくくできていることが分かる。また、図14から、縞状フレアの最大強度比率も比較例に比べ大幅に低減できていることが分かる。

実施例 3

- [0104] 本実施例では、図15に示すように位相関数上の基準点からの位相差が($2n\pi - 2\pi \times S$)の位置において連続的に6つ回折段差を設け、 $2n\pi$ のところに連続的に6つ回折段差を設け、これらを交互に配置した。回折次数は1次を用いた。回折格子レンズの回折格子の段差高さを $0.9\mu\text{m}$ とし、設計波長および使用波長を538nmとし、使用波長でのレンズ基体51の屈折率 n_1 を1.591とした。空気の屈折率は1とした。
- [0105] 図16(a)から(e)は、 $S=0.5$ から 0.9 まで 0.1 ずつ段階的に変化させた回折格子レンズに画角60度方向から波長538nmの平面波を入射させたときの焦点面上における2次元像を示している。図17は、縞状フレア最大強度比率とシフト量Sとの関係を示したグラフである。図17のグラフには、Sが0.4以下の場合の結果も示している。図16より、シフト量Sが0.6および0.7の場合、図10A(a)と比較して、明瞭な光の帯となっていた縞状フレア光をバランスよく分散させることができ、画質的にフレアが目立ちにくくできていることが分かる。また、図17から、縞状フレアの最大強度比率も比較例に比べ大幅に低減できていることが分かる。
- [0106] また、図11、14、17のグラフよりシフト量Sが0.1あたりから縞状フレア光の低減効果が大きく現れ始める。したがって、位相関数上の基準点からの位相差が $2n\pi$ 以外のところに設ける回折段差の位置は $2n\pi$ から

10%以上シフトしていることが好ましい。このとき、輪帯61Aの先端63Aが位置する第1の面66Aと、輪帯61Bの先端63Bが位置する第2の面66Bとの回折格子52の光軸上における間隔Lでこの条件を示す場合、間隔Lは、 $0.1d$ 以上であることが好ましい。

産業上の利用可能性

[0107] 本発明の回折格子レンズおよびそれを用いた撮像装置は、縞状のフレア光を低減する機能を有し、高品質なカメラとして特に有用である。

符号の説明

[0108] 11、12、12' 回折格子レンズ
13 撮像装置
14、14' 光学素子
61A、62B 輪帯
65A、65B 回折段差
51 171 レンズ基体
62 絞り
161、d 回折格子の段差高さ
52 回折格子
53 光軸
157、174 撮像素子
175 1次回折光
176 不要次数回折光
181 光学調整膜
191 縞状フレア光

請求の範囲

[請求項1]

ベース形状に回折格子が設けられてできる表面を有するレンズ基体を備える回折格子レンズであって、

前記回折格子は、前記レンズ基体のレンズ直径内の領域において複数の輪帯および前記複数の輪帯間にそれぞれ位置する複数の回折段差を有し、

前記レンズ基体は、使用波長 λ において屈折率 $n_1(\lambda)$ である第1の材料からなり、

前記複数の回折段差のそれぞれは、実質的に同じ高さ d を有し、

前記高さ d は、 m を回折次数として、下記式(1)を満足し、

[数13]

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - 1} \quad (1)$$

前記複数の回折段差は、複数の第1の回折段差および前記複数の第1の回折段差の少なくとも1つに隣接する少なくとも1つの第2の回折段差を含み、

前記複数の第1の回折段差の先端は、前記ベース形状を前記回折格子の光軸方向に平行移動させた第1の面上に位置しており、前記少なくとも1つの第2の回折段差の先端は、前記ベース形状を前記光軸方向に平行移動させた第2の面上に位置しており、

前記第1の面および前記第2の面は前記光軸上において、互いに異なる位置にある回折格子レンズ。

[請求項2]

ベース形状に回折格子が設けられてできる表面を有するレンズ基体と、

前記レンズ基体の表面を覆うように設けられた光学調整膜とを備える回折格子レンズであって、

前記回折格子は、前記レンズ基体のレンズ直径内の領域において複

数の輪帯および前記複数の輪帯間にそれぞれ位置する複数の回折段差を有し、

前記レンズ基体は、使用波長 λ において屈折率 $n_1(\lambda)$ である第1の材料からなり、

前記光学調整膜は、前記使用波長 λ において屈折率 $n_2(\lambda)$ である第2の材料からなり、

前記複数の回折段差のそれぞれは、実質的に同じ高さ d を有し、

前記高さ d は、 m を回折次数として、下記式(2)を満足し、

[数14]

$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - n_2(\lambda)} \quad (2)$$

前記複数の回折段差は、複数の第1の回折段差および前記複数の第1の回折段差の少なくとも1つに隣接する少なくとも1つの第2の回折段差を含み、

前記複数の第1の回折段差の先端は、前記ベース形状を前記回折格子の光軸方向に平行移動させた第1の面上に位置しており、前記少なくとも1つの第2の回折段差の先端は、前記ベース形状を前記光軸方向に平行移動させた第2の面上に位置しており、

前記第1の面および前記第2の面は前記光軸上において、互いに異なる位置にある回折格子レンズ。

[請求項3]

前記複数の回折段差は、複数の第2の回折段差を含み、

各第1の回折段差および各第2の回折段差は交互に配置されている請求項1または2に記載の回折格子レンズ。

[請求項4]

前記第1の面と前記第2の面と前記光軸上における間隔 L は、下記式(3)を満たす請求項1から3のいずれかに記載の回折格子レンズ。

[数15]

$$0.4d \leq L \leq 0.9d \quad (3)$$

[請求項5] 前記第1の面と前記第2の面と前記光軸上における間隔Lは、下記式(4)を満たす請求項1から3のいずれかに記載の回折格子レンズ。

[数16]

$$0.4d \leq L \leq 0.6d \quad (4)$$

[請求項6] 前記第1の面と前記第2の面と前記光軸上における間隔Lは、 $L = 0.5d$ を満たす請求項1から3のいずれかに記載の回折格子レンズ。

[請求項7] 前記複数の回折段差は、複数の第2の回折段差を含み、前記複数の第1の回折段差および前記複数の第2の回折段差は、それぞれ、 i 個(i は2以上の整数)および j 個(j は2以上の整数)ずつ連続的に配置され、かつ、 i 個の前記第1の回折段差および j 個の前記第2の回折段差が交互に配置されている請求項1または2に記載の回折格子レンズ。

[請求項8] 前記使用波長 λ は可視光域の波長であり、可視光域の全域の波長に対して式(2)を実質的に満足する請求項2または3に記載の回折格子レンズ。

[請求項9] ベース形状に回折格子が設けられてできる表面を有するレンズ基体を備える回折格子レンズであって、

前記回折格子は、複数の輪帯および前記複数の輪帯間にそれぞれ位置する複数の回折段差を有し、

前記レンズ基体は、使用波長 λ において屈折率 $n_1(\lambda)$ である第1の材料からなり、

前記複数の回折段差のそれぞれは、 m を回折次数として、下記式（1）で示される高さ d を有し、

[数17]

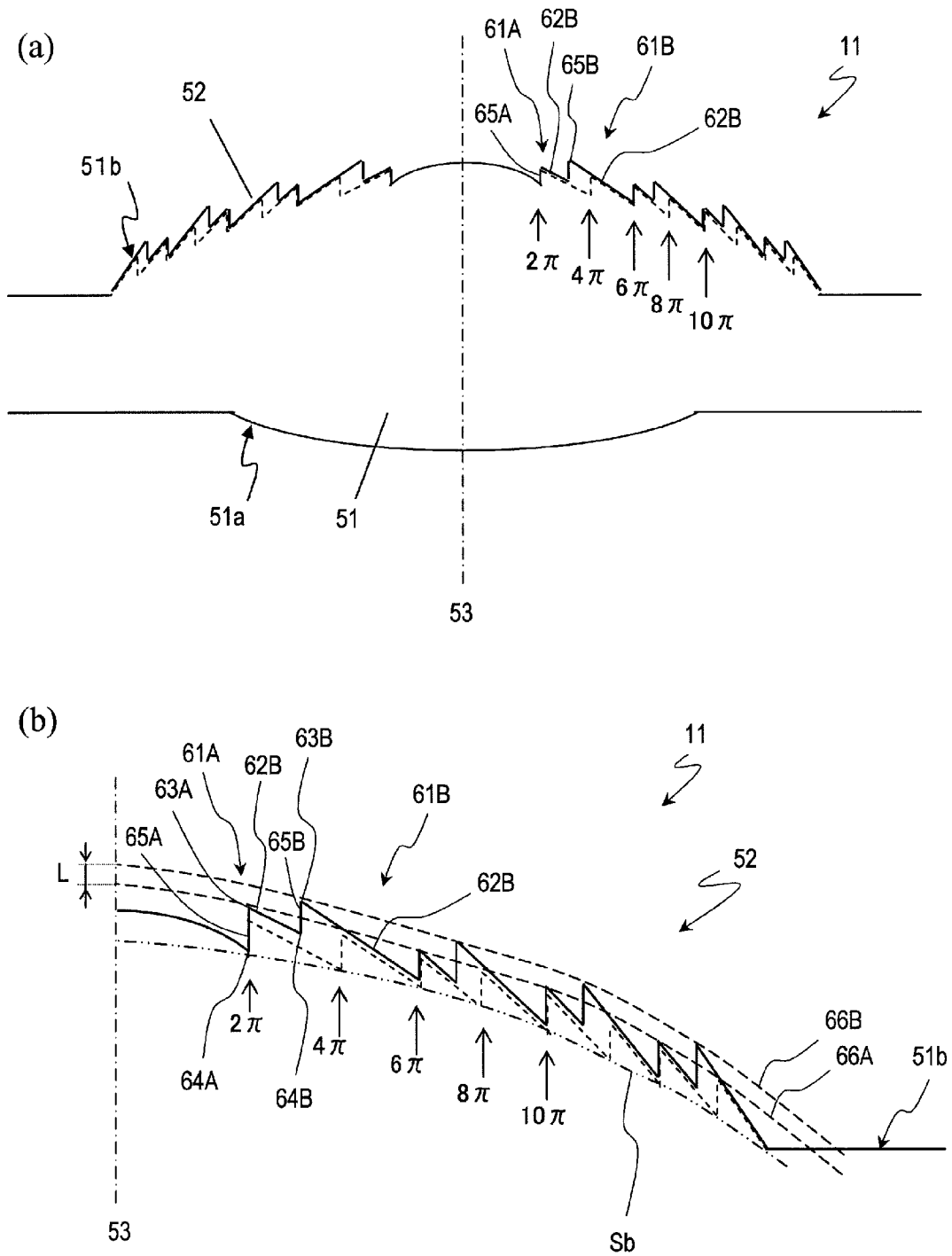
$$d = \frac{m \cdot \lambda}{n_1(\lambda) - 1} \quad (1)$$

前記複数の輪帯は、互いに隣接する第1、第2および第3の輪帯を含み、前記第2の輪帯は前記第1および第3の輪帯に挟まれており、前記第1の輪帯および第2の輪帯の幅は略同一であり、前記第2の輪帯の幅は前記第1の輪帯の幅よりも狭い回折格子レンズ。

[請求項10]

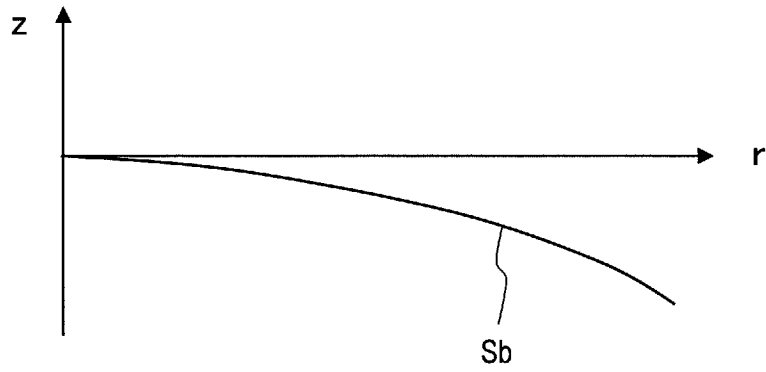
請求項1から9のいずれかに記載の回折格子レンズと、
撮像素子と
を備えた撮像装置。

[図1]

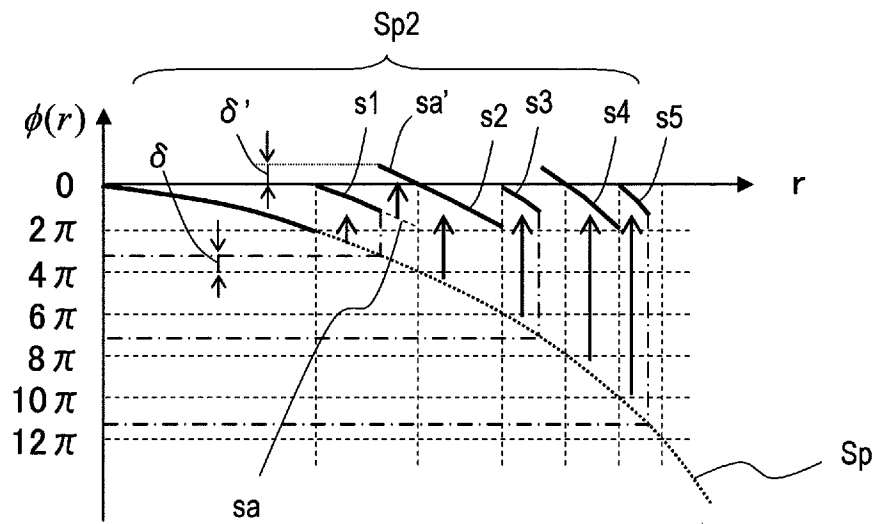


[図2]

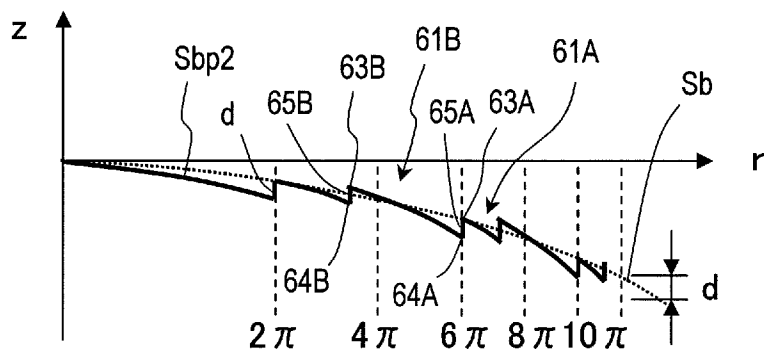
(a)



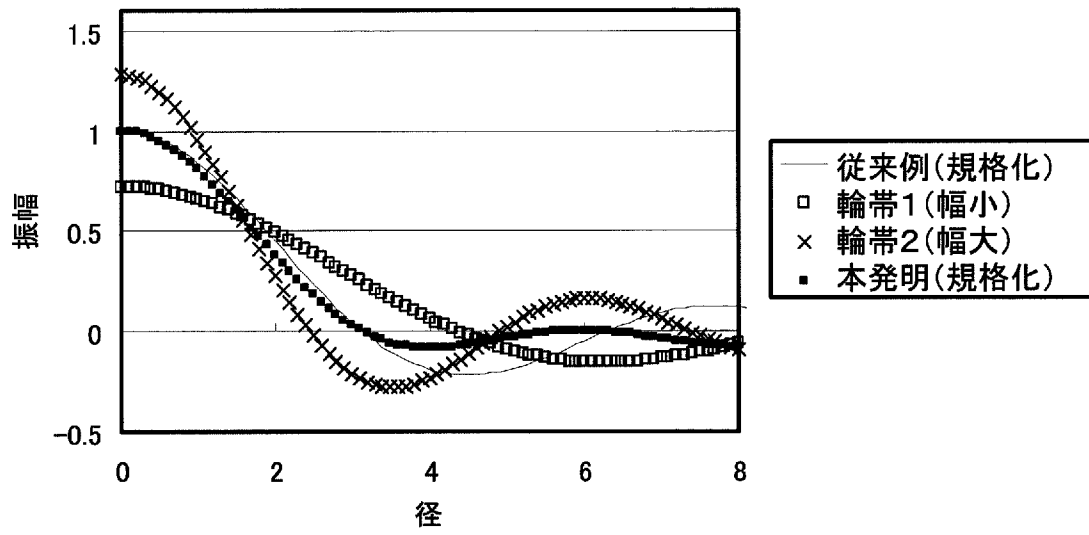
(b)



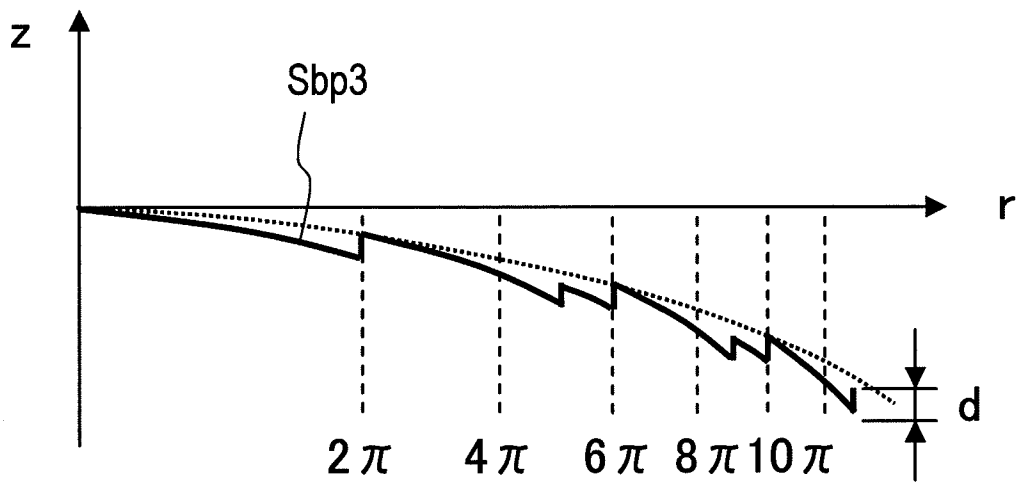
(c)



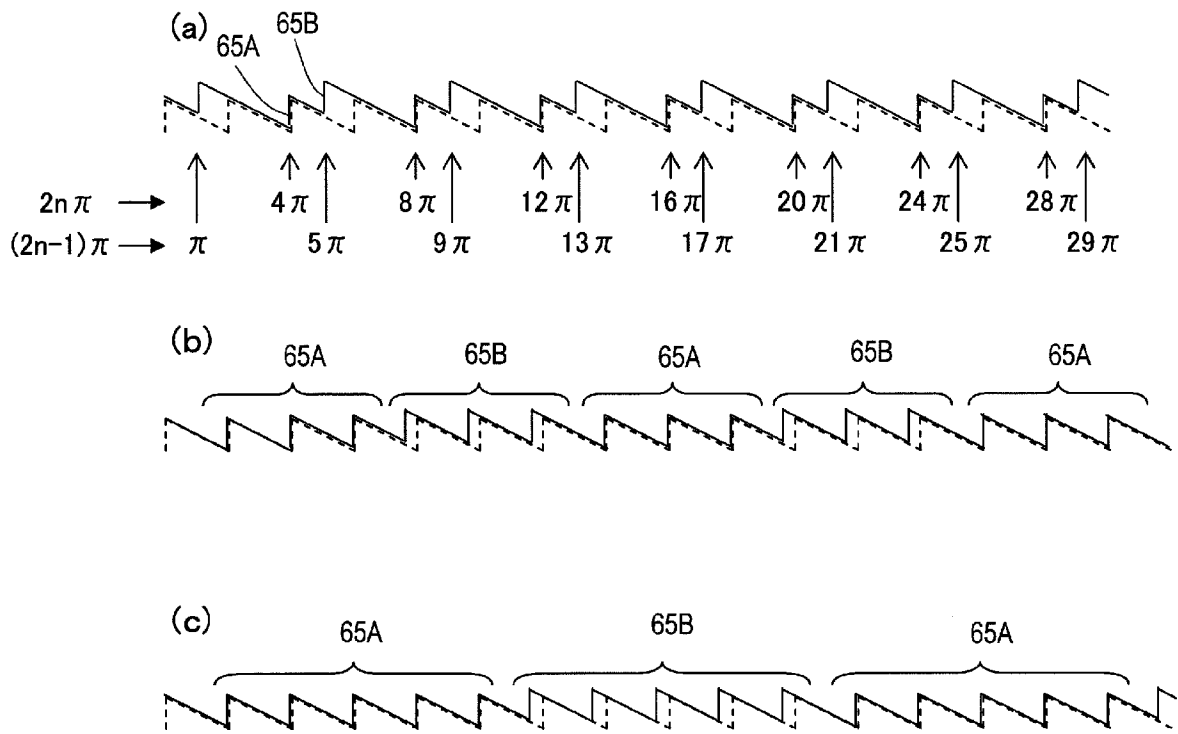
[図3]



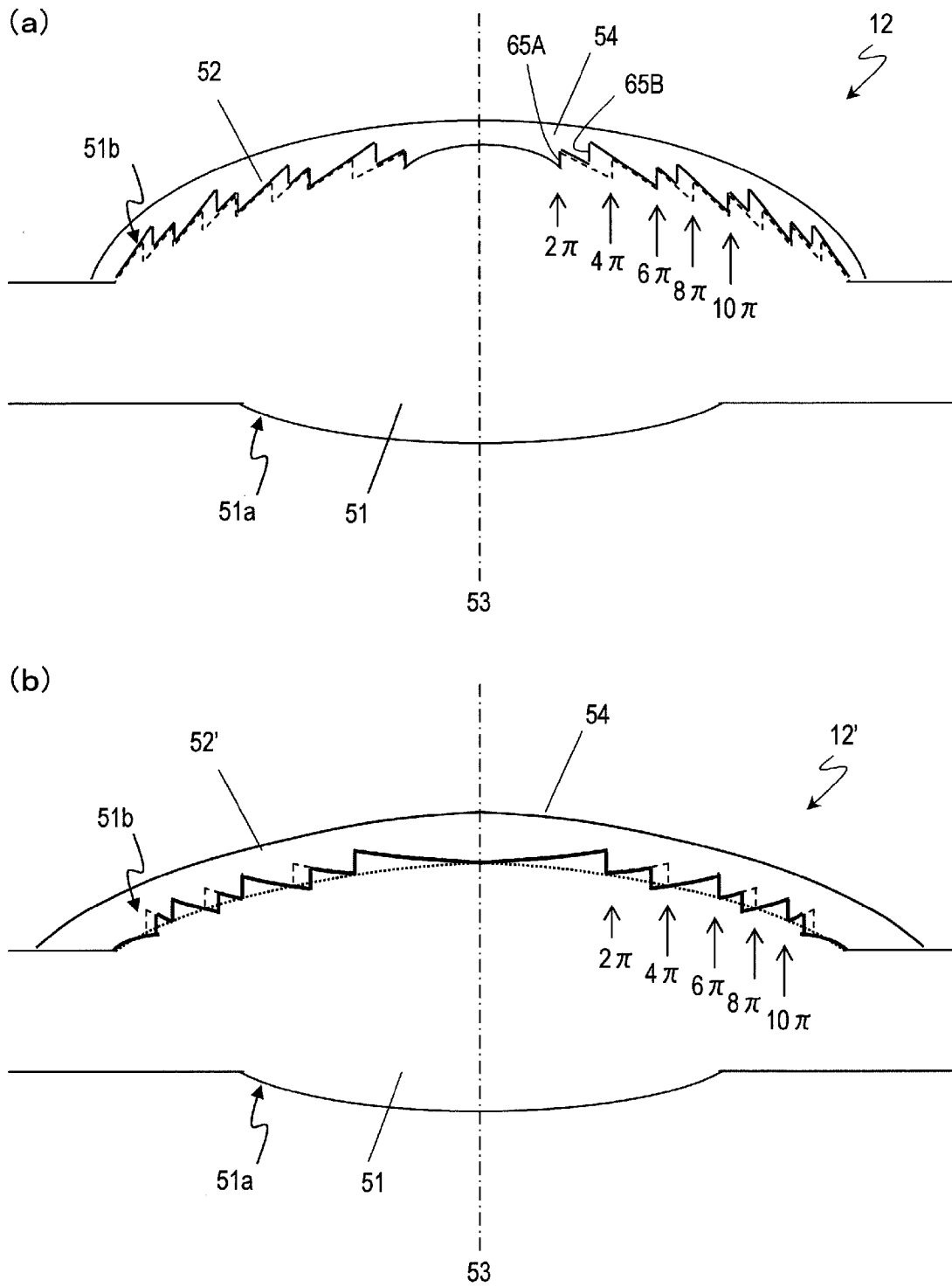
[図4]



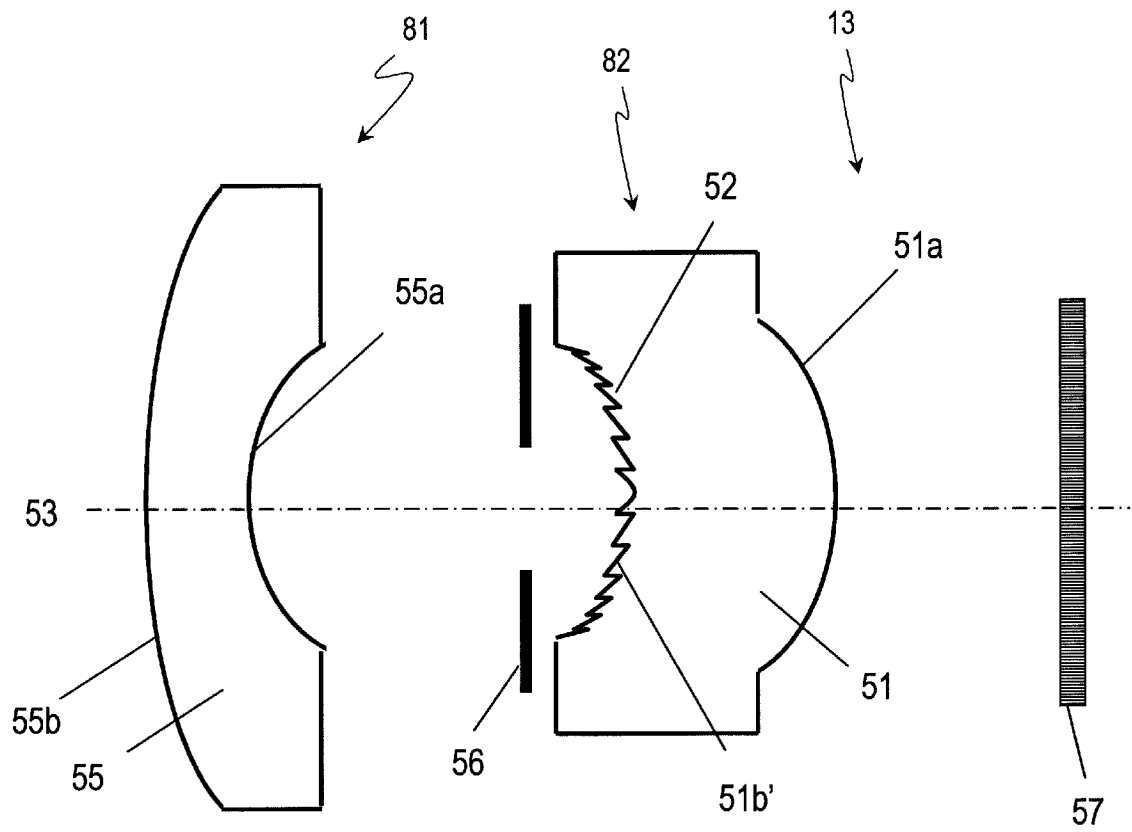
[図5]



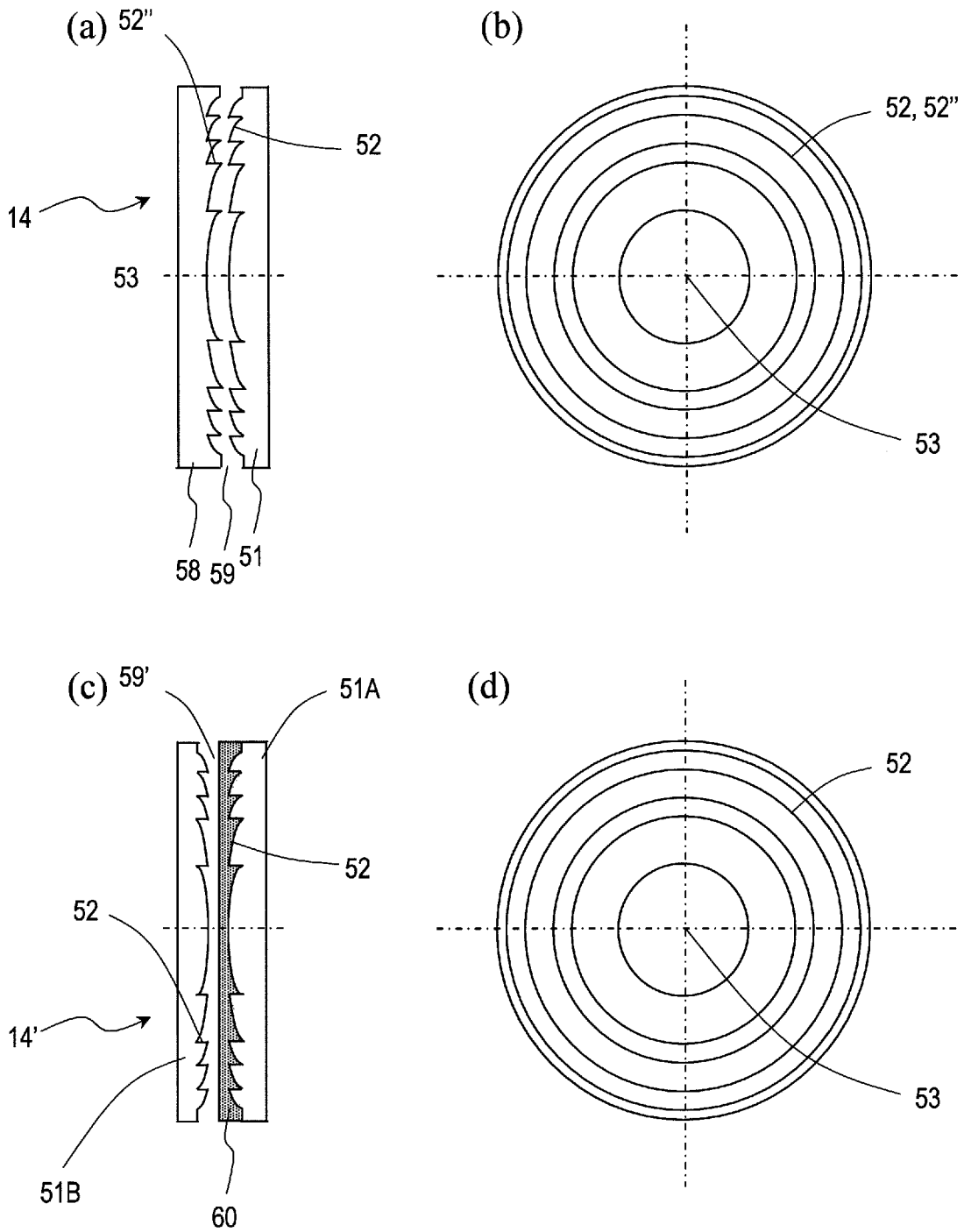
[図6]



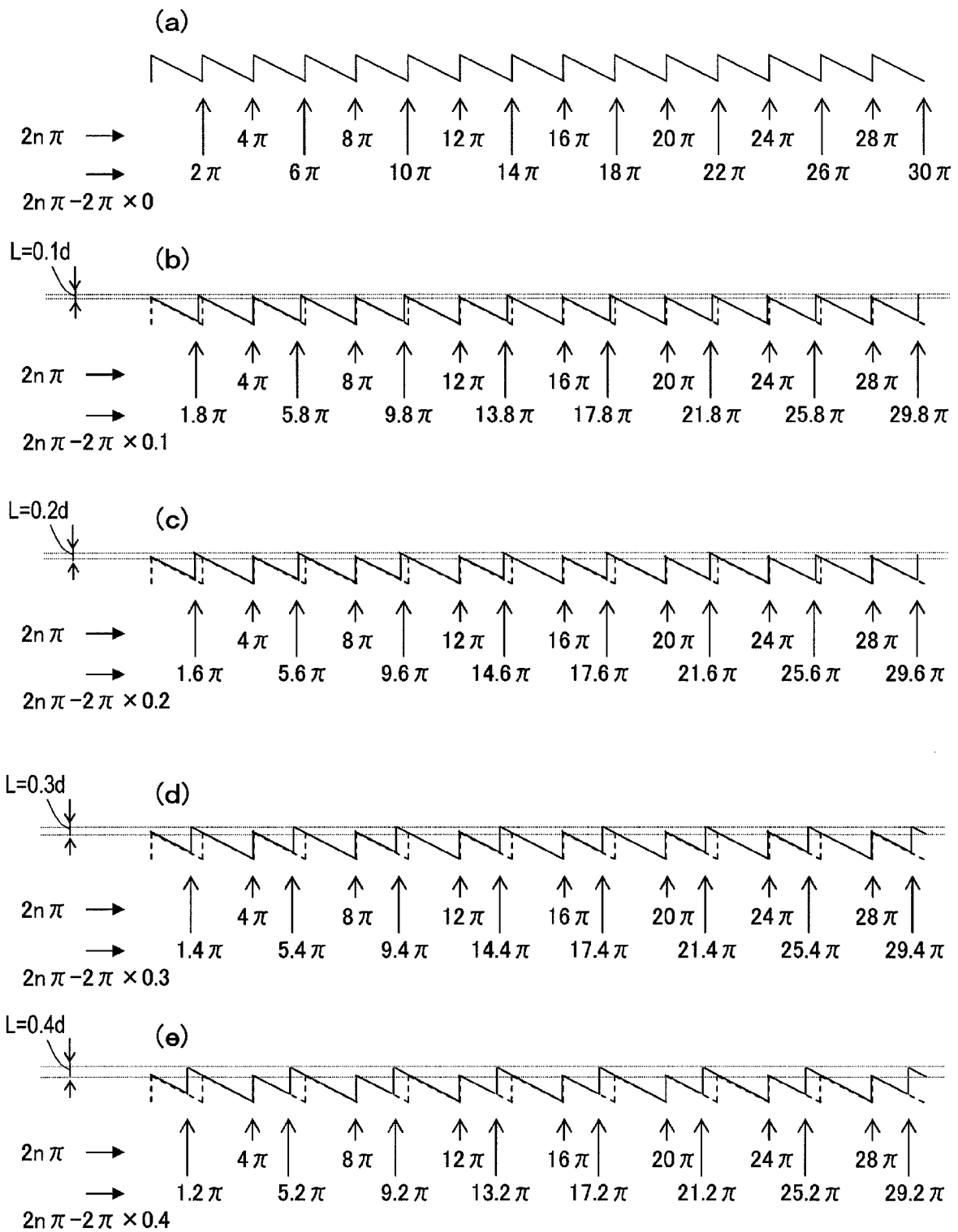
[図7]



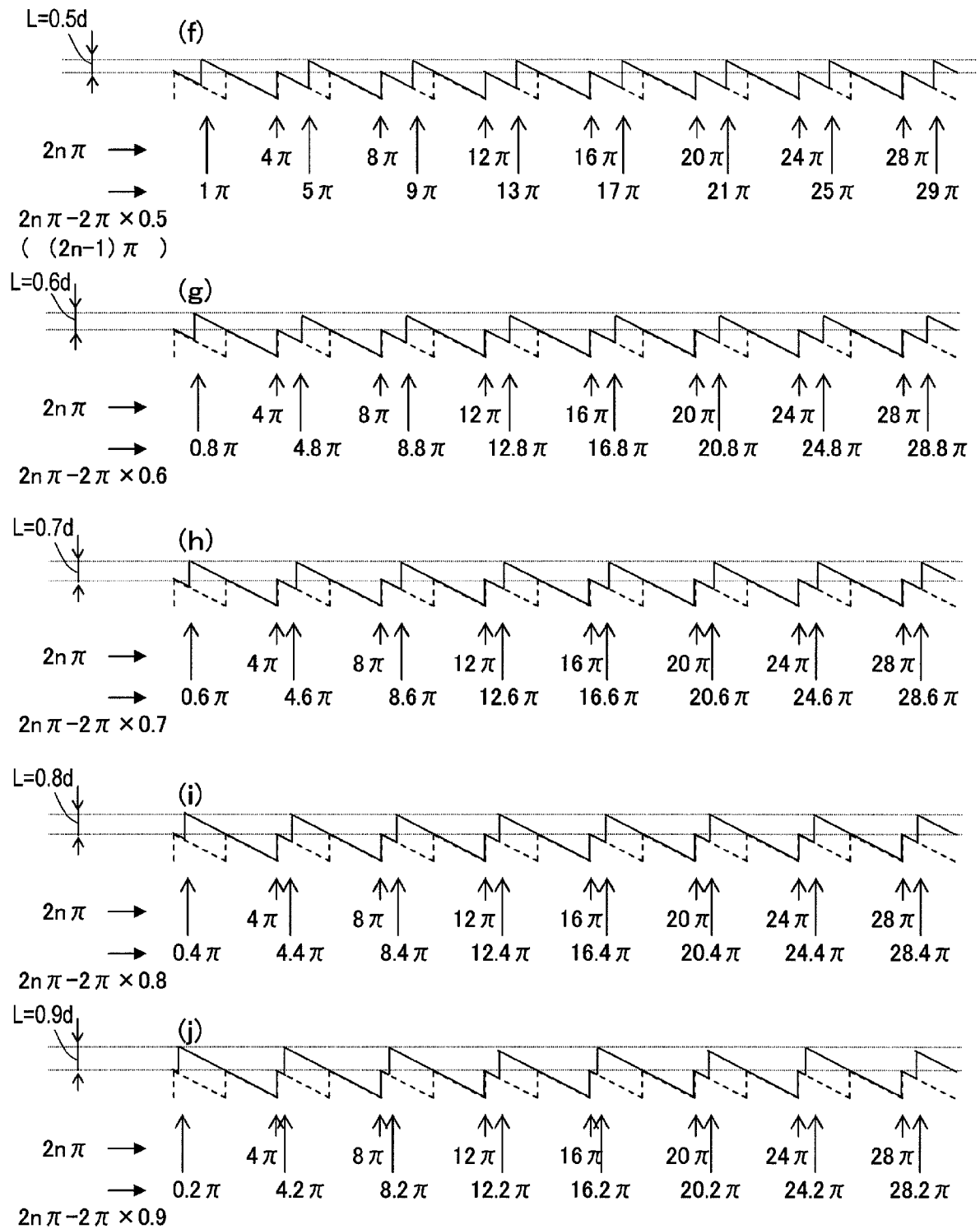
[図8]

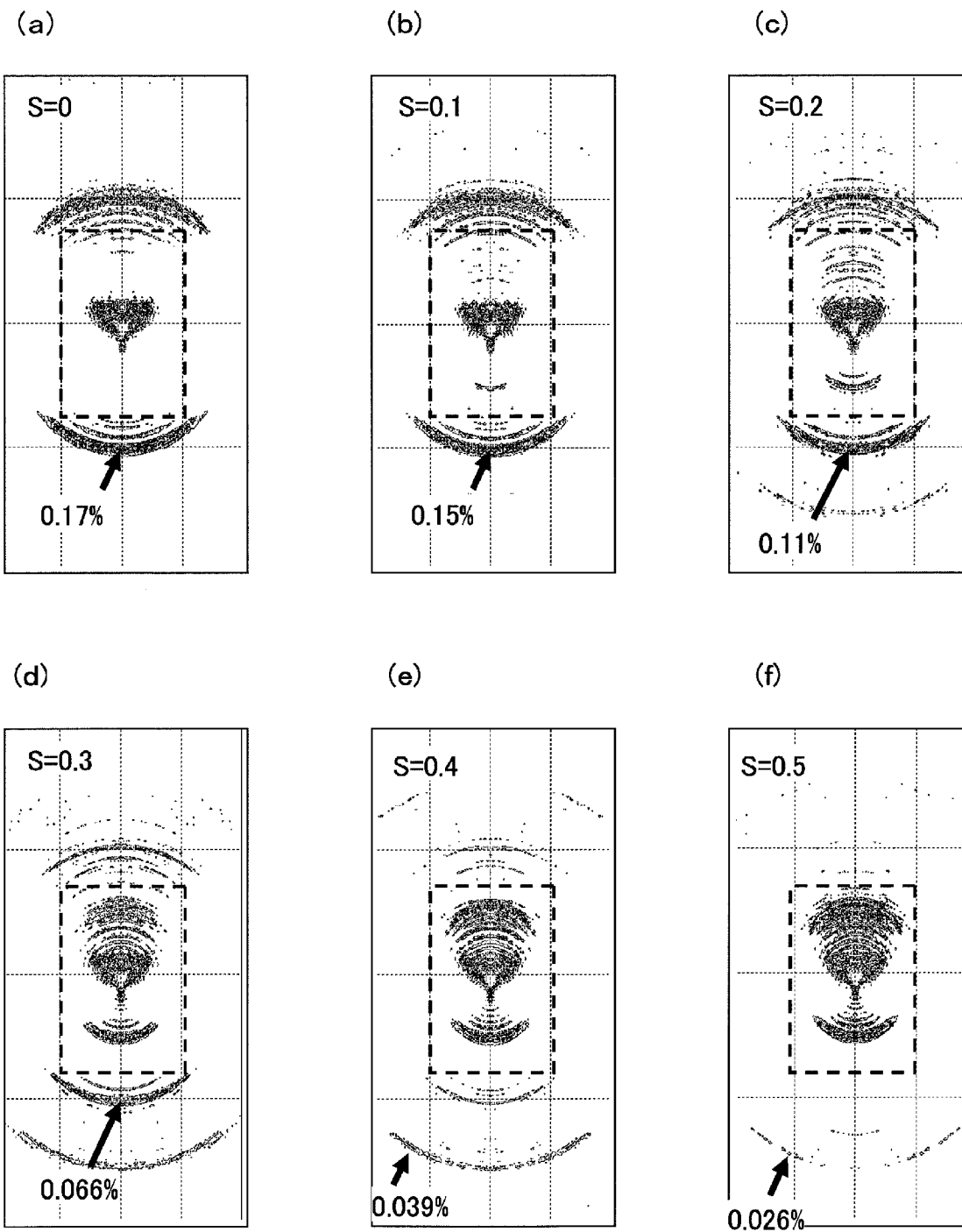


[図9A]



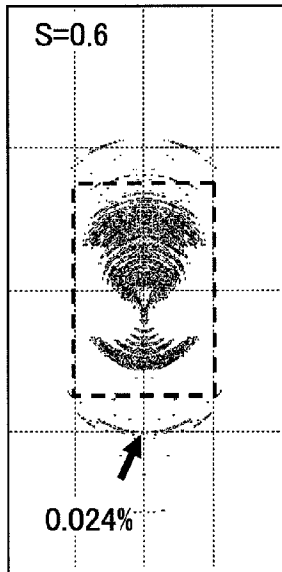
[図9B]



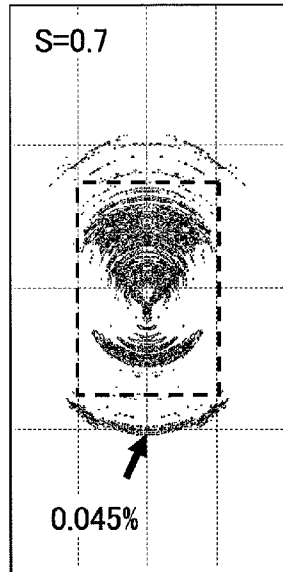
[ 10A]

[図10B]

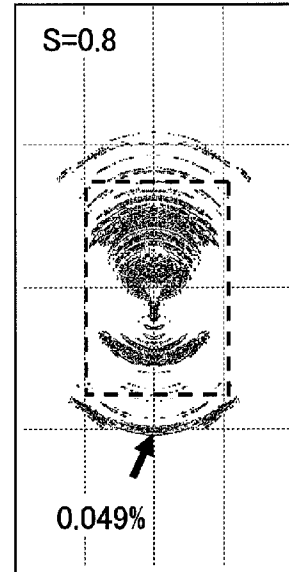
(g)



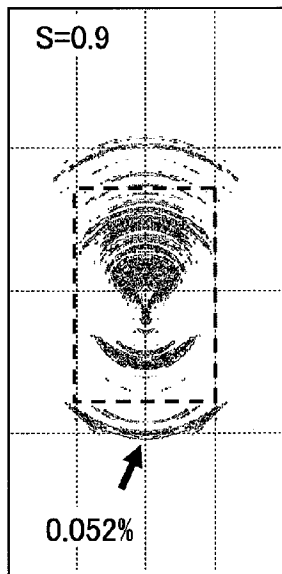
(h)



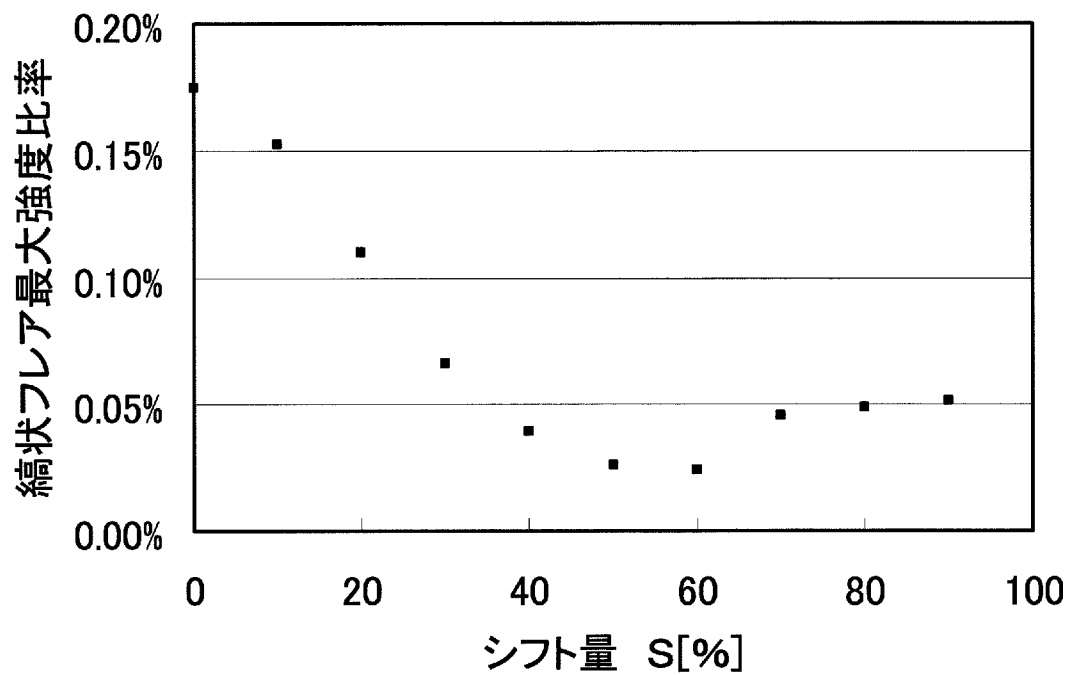
(i)



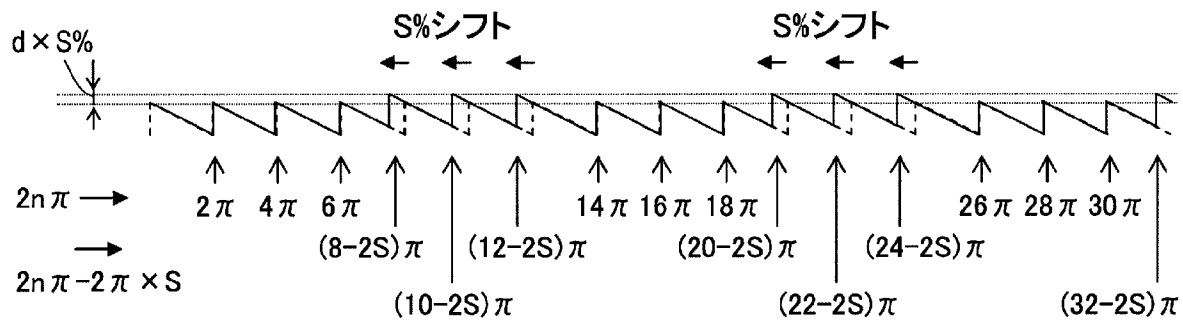
(j)



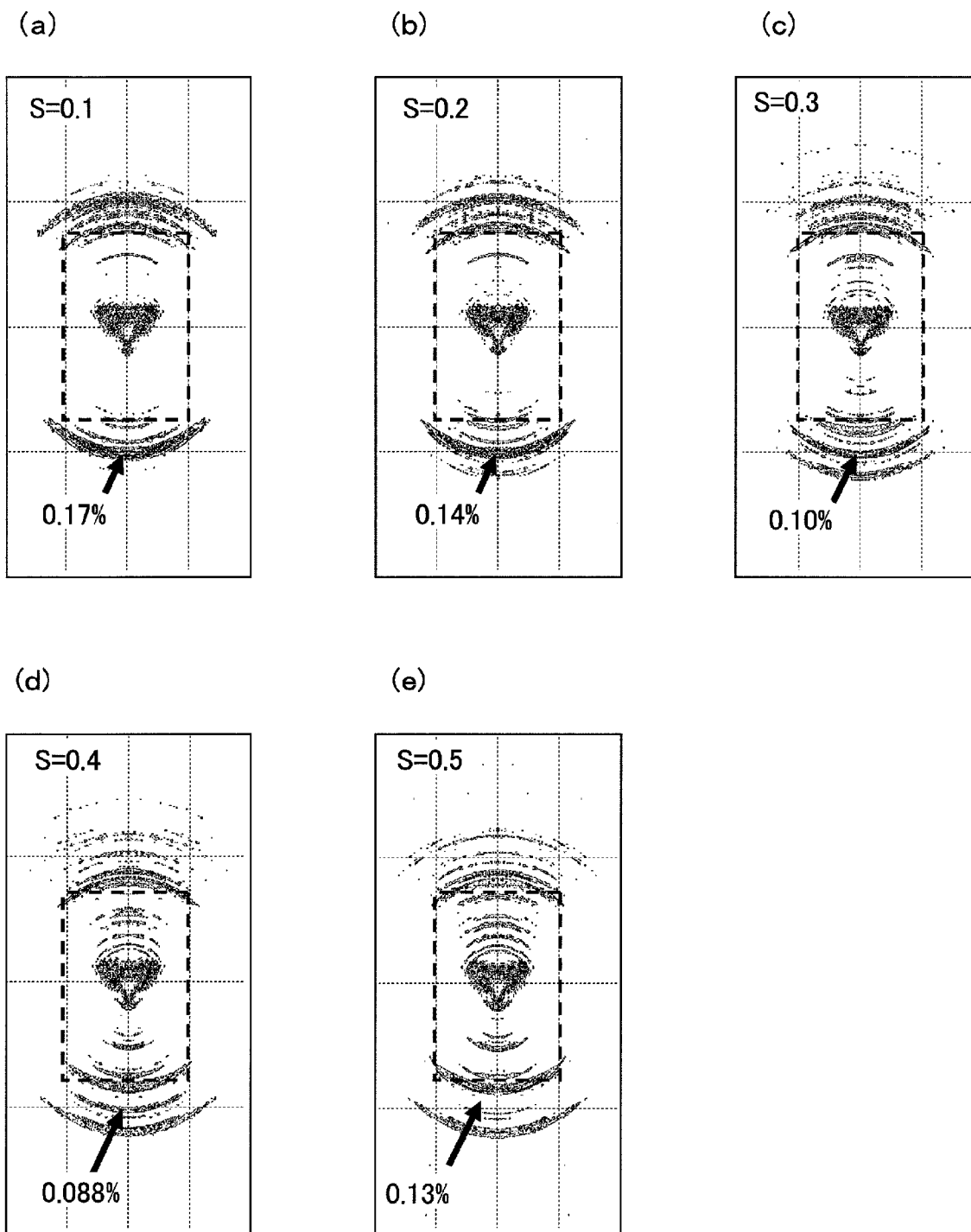
[図11]



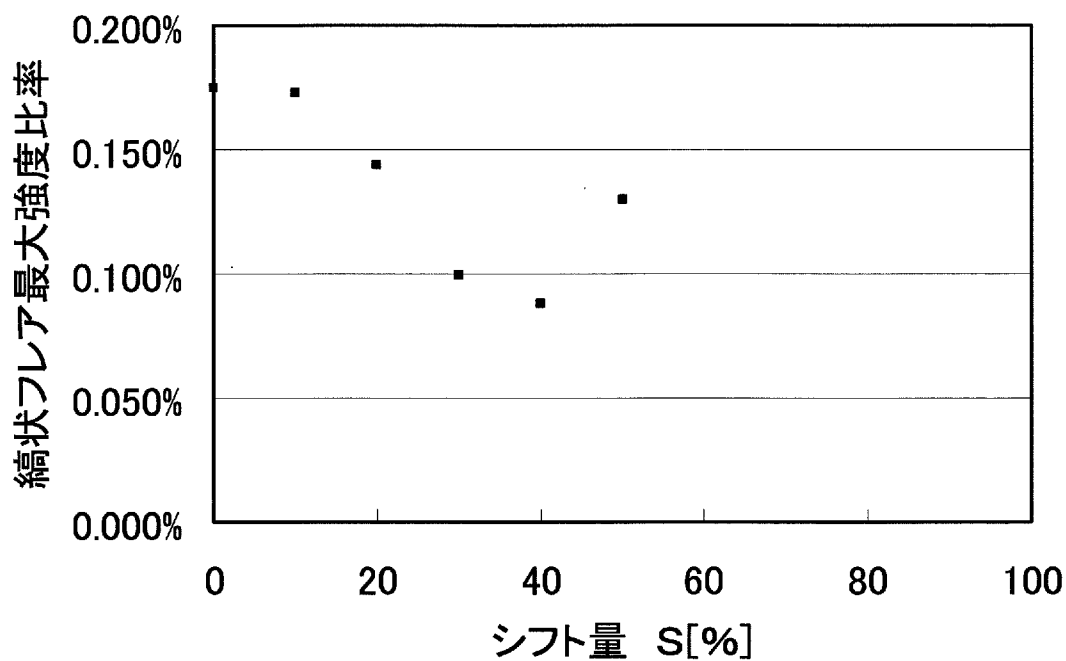
[図12]



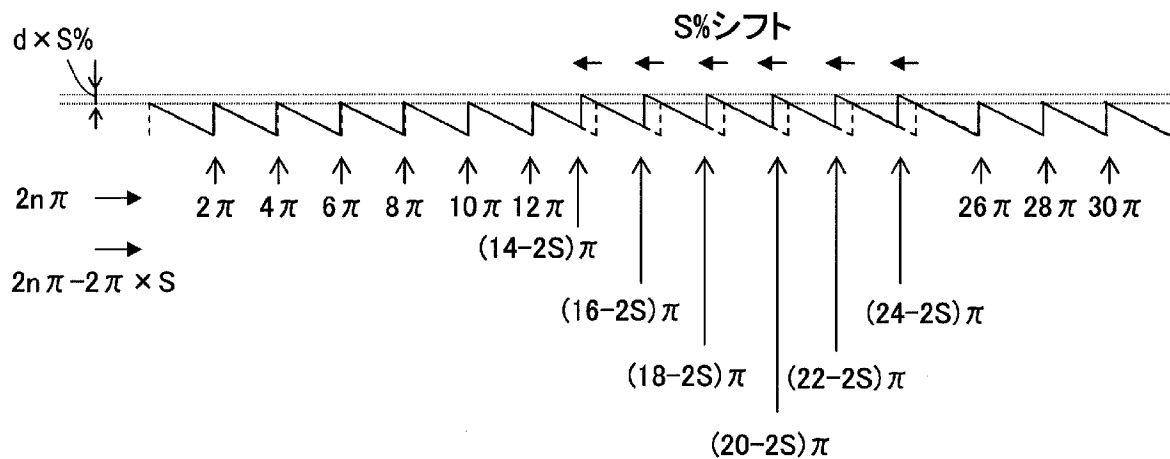
[圖13]



[図14]

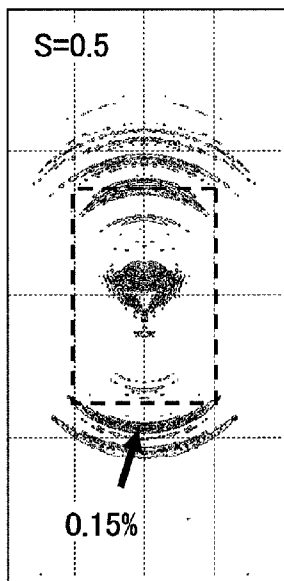


[図15]

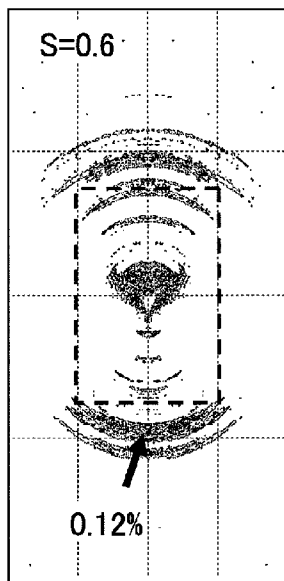


[圖16]

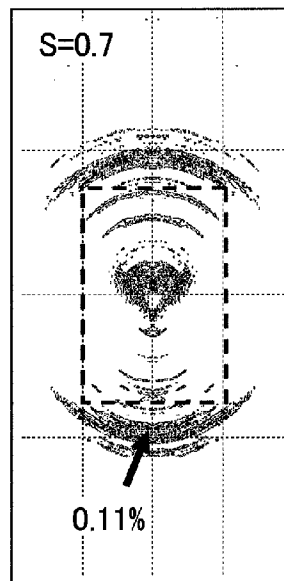
(a)



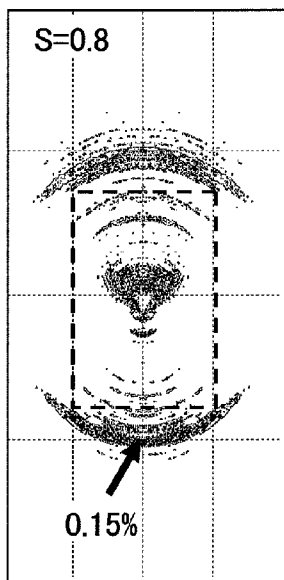
(b)



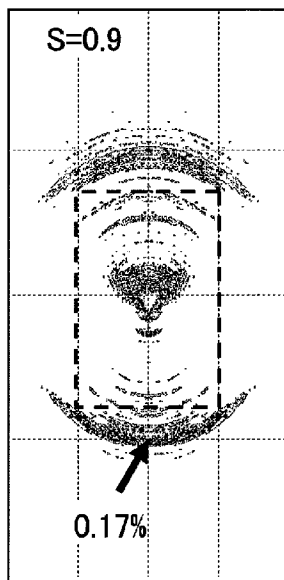
(c)



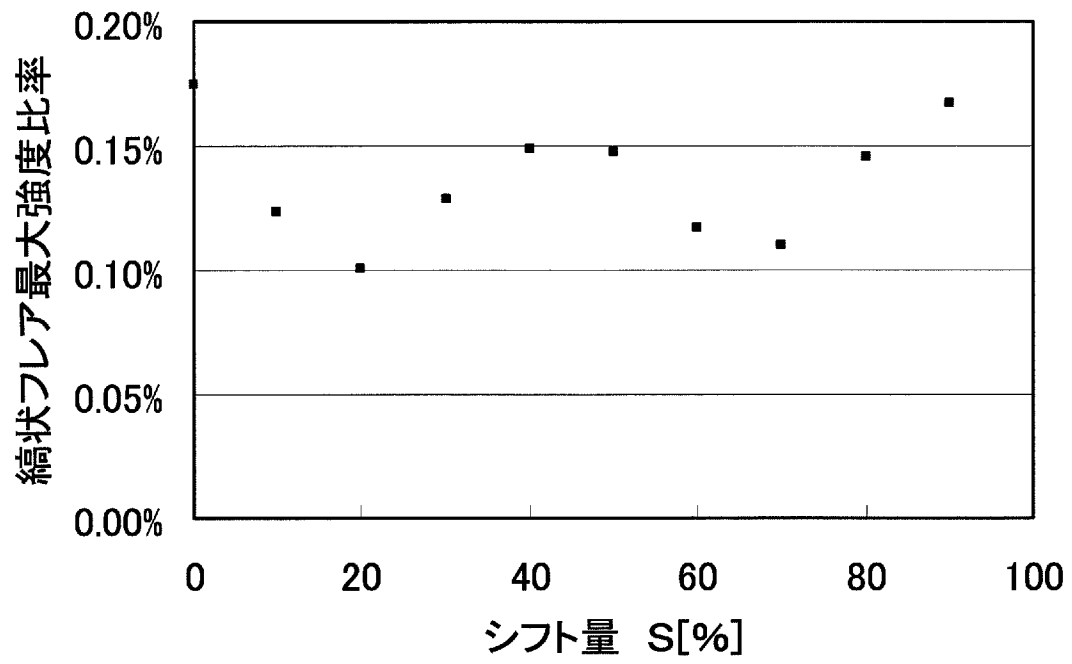
(d)



(e)

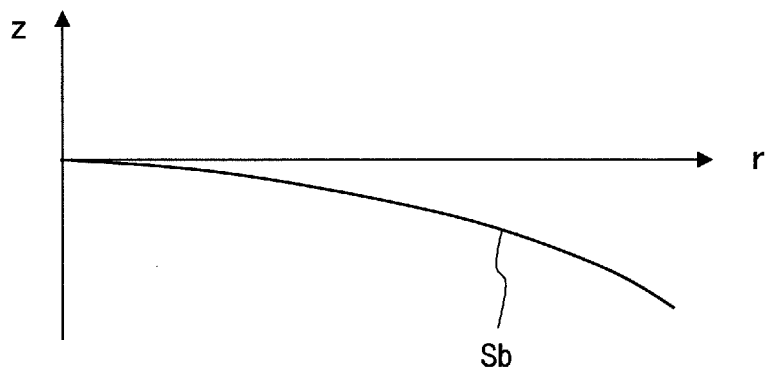


[図17]

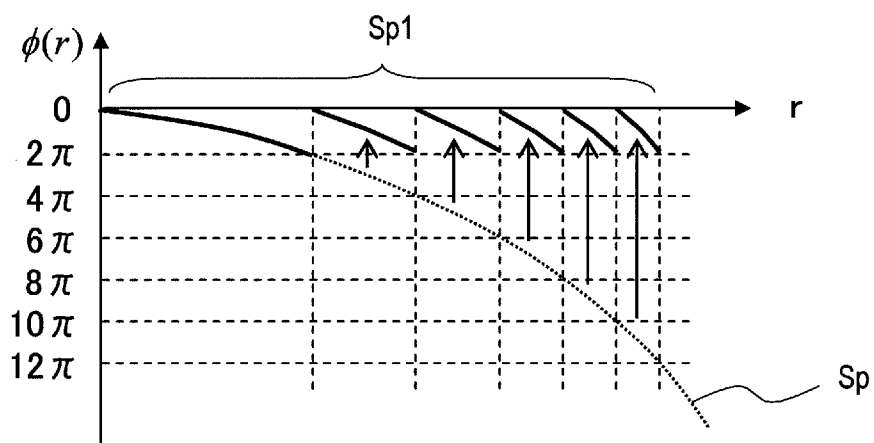


[圖18]

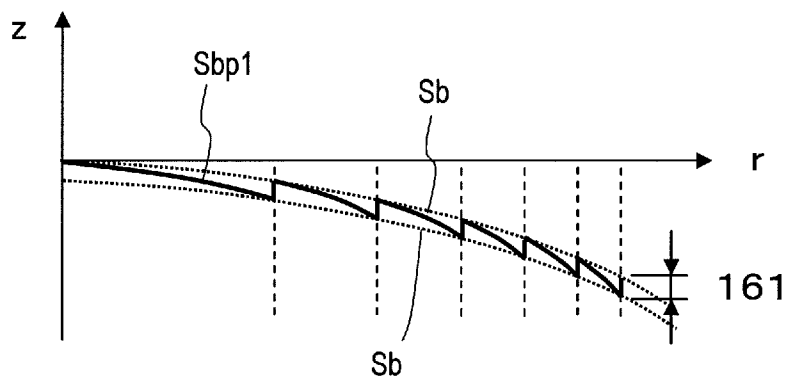
(a)



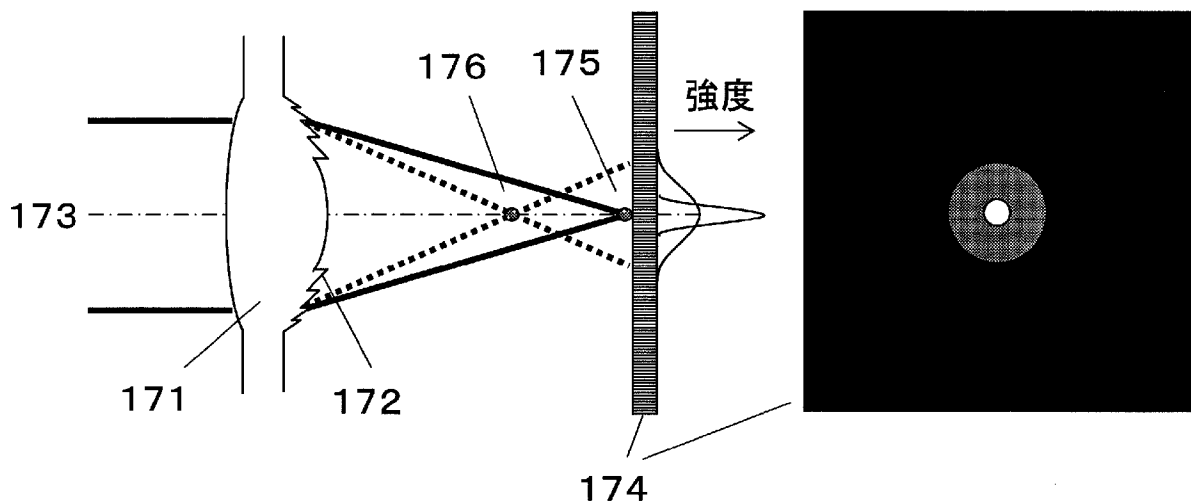
(b)



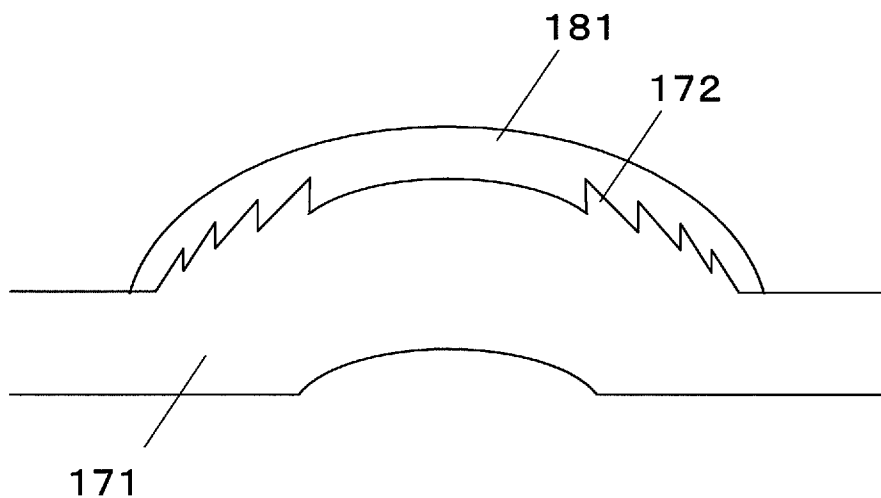
(c)



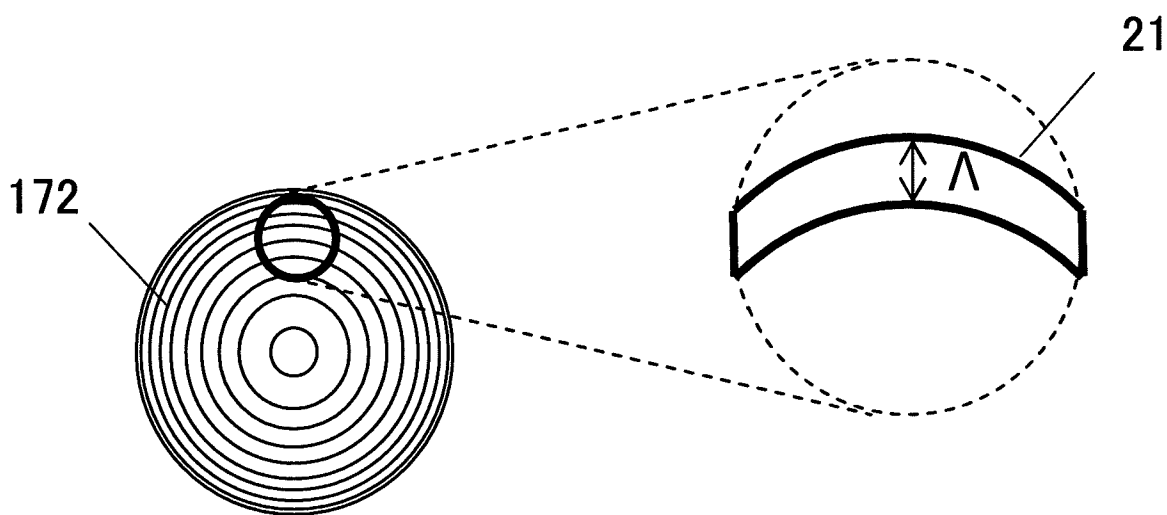
[図19]



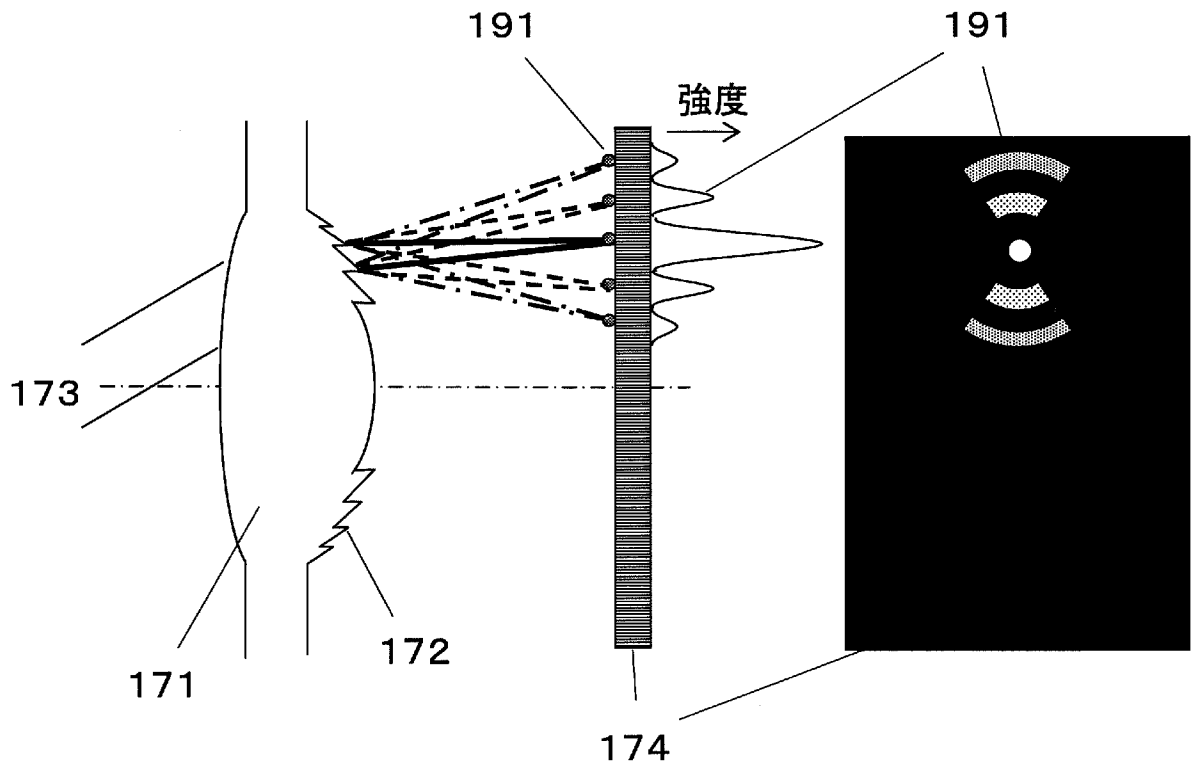
[図20]



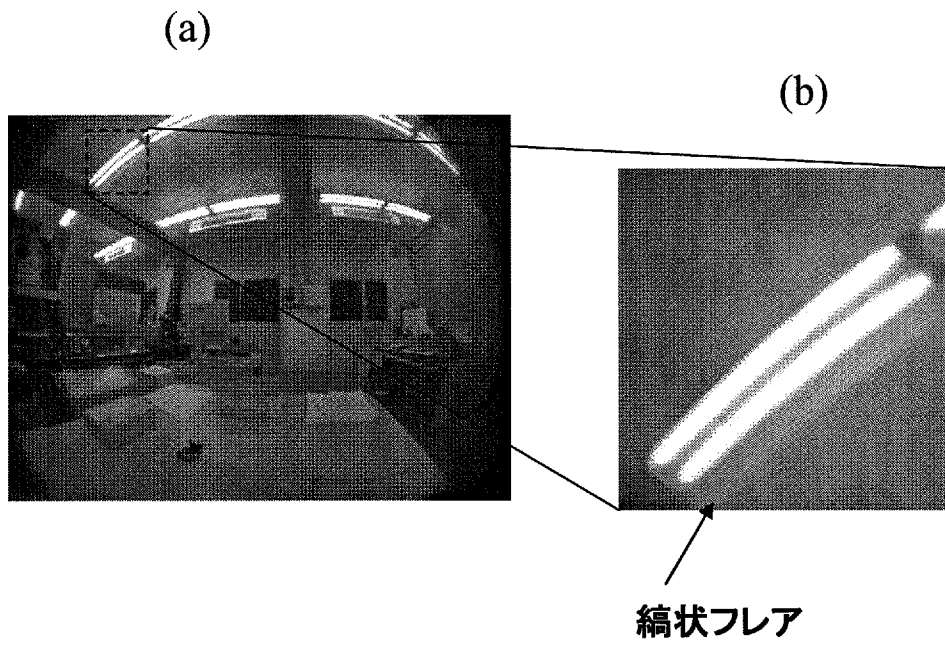
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/006324

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2007/132787 A1 (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 22 November 2007 (22.11.2007), entire text & JP 4077510 B & US 2009/0225215 A1 & CN 101443689 A	1-10
A	WO 2010/079528 A1 (Menicon Co., Ltd.), 15 July 2010 (15.07.2010), entire text (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G02B3/08(2006.01)i, G02B5/18(2006.01)i, G02B13/00(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G02B3/08, G02B5/18, G02B13/00, G02B13/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2010年
 日本国実用新案登録公報 1996-2010年
 日本国登録実用新案公報 1994-2010年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 8-508116 A (イーストマン コダック カンパニー) 1996.08.27, 全文 & US 5543966 A & US 5581405 A & US 5715091 A & EP 737323 A & WO 1995/018393 A1	1-10
A	JP 9-127321 A (オリンパス光学工業株式会社) 1997.05.16, 全文 & US 5847877 A & DE 19533591 A & DE 19533591 A1	1-10
A	WO 2007/132787 A1 (松下電器産業株式会社) 2007.11.22, 全文 & JP 4077510 B & US 2009/0225215 A1 & CN 101443689 A	1-10

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 15.11.2010	国際調査報告の発送日 22.11.2010
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 中村 理弘 電話番号 03-3581-1101 内線 3271

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2010/079528 A1 (株式会社メニコン) 2010.07.15, 全文 (ファミリーなし)	1-10