

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7701356号
(P7701356)

(45)発行日 令和7年7月1日(2025.7.1)

(24)登録日 令和7年6月23日(2025.6.23)

(51)国際特許分類		F I	
G 0 2 B	13/26 (2006.01)	G 0 2 B	13/26
C 0 3 C	3/078(2006.01)	C 0 3 C	3/078
C 0 3 C	3/083(2006.01)	C 0 3 C	3/083
C 0 3 C	3/085(2006.01)	C 0 3 C	3/085
C 0 3 C	3/087(2006.01)	C 0 3 C	3/087
請求項の数 13 (全37頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2022-531819(P2022-531819)	(73)特許権者	000004008
(86)(22)出願日	令和3年6月14日(2021.6.14)		日本板硝子株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/022591		東京都港区三田三丁目5番27号
(87)国際公開番号	WO2021/261319	(74)代理人	110004314
(87)国際公開日	令和3年12月30日(2021.12.30)		弁理士法人青藍国際特許事務所
審査請求日	令和5年12月25日(2023.12.25)	(72)発明者	加藤 裕明
(31)優先権主張番号	特願2020-109817(P2020-109817)		東京都港区三田三丁目5番27号 日本
(32)優先日	令和2年6月25日(2020.6.25)		板硝子株式会社内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	谷口 敏
前置審査			東京都港区三田三丁目5番27号 日本
			板硝子株式会社内
		(72)発明者	金子 徳史
			東京都港区三田三丁目5番27号 日本
			板硝子株式会社内
		(72)発明者	山根 剛
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロッドレンズアレイ、光学機器、イメージセンサ、プリンタ、及び検査装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

正立等倍像を形成するロッドレンズアレイであって、
光軸が互いに平行になるように配列された、複数の屈折率分布型ロッドレンズを備え、
前記複数の屈折率分布型ロッドレンズのそれぞれは、半径方向に屈折率分布を有し、
前記屈折率分布型ロッドレンズの半径を r_0 と表し、前記屈折率分布型ロッドレンズの中心の屈折率である中心屈折率を n_0 と表し、前記屈折率分布型ロッドレンズの屈折率分布定数を $\sqrt{A}$ と表し、前記屈折率分布型ロッドレンズの中心からの距離 r における屈折率を、 $n(r) = n_0 \cdot \{1 - (A/2) \cdot r^2\}$ と近似したときに、 $\sin^{-1}(n_0 \cdot \sqrt{A} \cdot r_0)$ で表される開口角 θ が3～5.5°であり、
前記ロッドレンズアレイの結像距離は、45～75mmであり、
前記ロッドレンズアレイの配列ピッチを $2R$ と表し、視野半径を X_0 と表したときに、 $X_0/2R$ で表される重なり度 M は、1.4～3.6であり、
6本/mmの空間周波数における変調伝達関数(MTF)の値が30%以上である被写界深度が1.5～3.0mmである、
ロッドレンズアレイ。

【請求項2】

前記屈折率分布定数 $\sqrt{A}$ は、0.130～0.230mm⁻¹であり、
前記中心屈折率 n_0 は、1.51～1.65である、請求項1に記載のロッドレンズアレイ。

【請求項 3】

前記 MTF の最大値は、60 % 以上である、請求項 1 又は 2 に記載のロッドレンズアレイ。

【請求項 4】

前記 MTF の値が最大となるレンズ-結像位置間距離は、13 ~ 28 mm である、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載のロッドレンズアレイ。

【請求項 5】

前記正立等倍像の結像面と、前記屈折率分布型ロッドレンズの中心軸に平行な方向に沿って前記屈折率分布型ロッドレンズの端面を見たときに副走査方向における前記ロッドレンズアレイの一端及び他端から等距離にある平面との交線を基準線 L_R と表したとき、基準線 L_R における光量ムラ $\Delta E_{(0,0)}$ が 6 % 以下である、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載のロッドレンズアレイ。

10

【請求項 6】

前記正立等倍像の結像面と、前記屈折率分布型ロッドレンズの中心軸に平行な方向に沿って前記屈折率分布型ロッドレンズの端面を見たときに副走査方向における前記ロッドレンズアレイの一端及び他端から等距離にある平面との交線を基準線 L_R と表したとき、

前記副走査方向に前記基準線 L_R から 0 ~ 0.5 mm 離れた前記結像面の範囲における光量ムラ $\Delta E_{(y,0)}$ は、12 % 以下である、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載のロッドレンズアレイ。

【請求項 7】

20

前記正立等倍像の結像面と、前記屈折率分布型ロッドレンズの中心軸に平行な方向に沿って前記屈折率分布型ロッドレンズの端面を見たときに副走査方向における前記ロッドレンズアレイの一端及び他端から等距離にある平面との交線を基準線 L_R と表したとき、

前記副走査方向に前記基準線から 0 ~ 0.5 mm 離れており、かつ、前記屈折率分布型ロッドレンズの光軸に平行な方向における物体面の位置が前記 MTF の値が最大となるときの物体面の位置から -1.5 mm ~ 1.5 mm ずれているときの光量ムラの最大値である光量ムラ深度 $\Delta E_{(y,\Delta L)}$ は、25 % 以下である、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載のロッドレンズアレイ。

【請求項 8】

前記屈折率分布型ロッドレンズの前記中心におけるガラス組成が、モル % で表して、

30

$$40 \% \leq SiO_2 \leq 65 \%$$

$$0 \% \leq TiO_2 \leq 10 \%$$

$$0.1 \% \leq MgO \leq 22 \%$$

$$0.15 \% \leq ZnO \leq 15 \%$$

$$0.5 \% \leq Li_2O < 4 \%$$

$$2 \% \leq Na_2O \leq 20 \%$$

$$0 \% \leq B_2O_3 \leq 20 \%$$

$$0 \% \leq Al_2O_3 \leq 10 \%$$

$$0 \% \leq K_2O \leq 3 \%$$

の条件を満たす、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載のロッドレンズアレイ。

40

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載のロッドレンズアレイを備えた、光学機器。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載のロッドレンズアレイと、

対象物をライン状に照明するライン状照明装置と、

前記対象物から反射した光が前記ロッドレンズアレイを透過して集光されるように配置されたライン状光センサと、を備えた、

イメージセンサ。

【請求項 11】

前記ライン状光センサは、副走査方向に配列され、R、G、B のそれぞれに対応するカ

50

ラーフィルタを備えた、複数のセグメントを有し、

前記複数のセグメントは、前記ロッドレンズアレイの主走査方向に配列されている、

請求項 10 に記載のイメージセンサ。

【請求項 12】

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載のロッドレンズアレイを有する書込ヘッドを備えた、プリンタ。

【請求項 13】

物品を搬送するための搬送装置と、

前記物品を照明するための照明装置と、

イメージセンサと、

制御器と、を備え、

前記イメージセンサは、前記物品から反射した光を集光するための請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載のロッドレンズアレイを備え、

前記搬送装置によって搬送される前記物品の画像情報を取得して前記制御器に送信し、

前記制御器は、前記画像情報に基づいて、前記物品の欠陥を特定して前記物品の可否を判定する、

検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロッドレンズアレイ、光学機器、イメージセンサ、プリンタ、検査装置、屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物、及び屈折率分布型ロッドレンズの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、Charge-Coupled Device (CCD) イメージセンサ又は Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) イメージセンサなどの撮像素子を用いて被検体の表面の欠陥を観察する装置が知られている。例えば、特許文献 1 には、光源と、照射手段と、集光手段と、観察手段とを備えた表面欠陥装置が記載されている。観察手段は、結像レンズと CCD イメージセンサ又は CMOS イメージセンサ等の撮像素子とからなっている。

【0003】

特許文献 2 には、電子写真方式の複写機やプリンタの感光体ドラムの外観検査に適した検査装置が記載されている。この検査装置は、一列に並べられた複数の 1 次元 CCD カメラで感光体ドラムを撮影するカメラ装置を備えている。

【0004】

一方、撮像素子として密着型イメージセンサ (CIS) も知られている。CIS はロッドレンズアレイを備えている。ロッドレンズアレイには、通常、屈折率分布型ロッドレンズが用いられる。

【0005】

例えば、特許文献 3 ～ 5 には、屈折率分布型ロッドレンズと、複数の屈折率分布型ロッドレンズが配列されたロッドレンズアレイが記載されている。屈折率分布型ロッドレンズは、中心から外周に向かって屈折率が連続的に減少している屈折率分布を有するロッド状（棒状）のレンズである。特許文献 3 に記載の屈折率分布型ロッドレンズにおいて、レンズの周表面における屈折率と中心軸における屈折率との差 Δn は 0.003 以上である。特許文献 3 によれば、 Δn が 0.003 よりも小さくなると開口角 (2θ) が約 10° よりも小さくなり、このことが望ましくないことが示唆されている。換言すると、特許文献 3 には、 5° 未満の開口角 (θ) が望ましくないことが示唆されていると考えられる。

【0006】

特許文献 4 において実施例に係る屈折率分布型ロッドレンズの開口角は、約 $10.1 \sim 12.9^\circ$ である。特許文献 5 において実施例に係る屈折率分布型ロッドレンズの開口角

10

20

30

40

50

は、 $10.1 \sim 12.0^\circ$ である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開平7-27709号公報

【文献】特開2003-75906号公報

【文献】特公昭51-21594号公報

【文献】特開2005-289775号公報

【文献】特開2008-230956号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1及び2には、屈折率分布型ロッドレンズを用いることは記載されていない。特許文献3～5に記載の屈折率分布型ロッドレンズは大きな開口角を有している。このことは、屈折率分布型ロッドレンズにおいて大きな被写界深度を実現する観点から有利とは言い難く、特許文献3～5に記載の屈折率分布型ロッドレンズの被写界深度は小さいと考えられる。

【0009】

このような事情に鑑み、本発明は、大きな被写界深度を有するロッドレンズアレイを提供する。また、本発明は、このようなロッドレンズアレイを備えた、光学機器、イメージセンサ、プリンタ、及び検査装置を提供する。加えて、本発明は、ロッドレンズアレイの被写界深度を大きくするのに有利な屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物を提供する。また、本発明は、大きな被写界深度を有する屈折率分布型ロッドレンズを製造するのに有利な方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、

正立等倍像を形成するロッドレンズアレイであって、

光軸が互いに平行になるように配列された、複数の屈折率分布型ロッドレンズを備え、

前記複数の屈折率分布型ロッドレンズのそれぞれは、半径方向に屈折率分布を有し、

前記屈折率分布型ロッドレンズの半径を r_0 と表し、前記屈折率分布型ロッドレンズの中心の屈折率である中心屈折率を n_0 と表し、前記屈折率分布型ロッドレンズの屈折率分布定数を $\sqrt{A}$ と表し、前記屈折率分布型ロッドレンズの中心からの距離 r における屈折率を、 $n(r) = n_0 \cdot \{1 - (A/2) \cdot r^2\}$ と近似したときに、 $\sin^{-1}(n_0 \cdot \sqrt{A} \cdot r_0)$ で表される開口角 θ が $3 \sim 6^\circ$ であり、

前記ロッドレンズアレイの結像距離は、 $45 \sim 75 \text{ mm}$ であり、

6本/mmの空間周波数における変調伝達関数(MTF)の値が30%以上である被写界深度が $1.5 \sim 3.0 \text{ mm}$ である、

ロッドレンズアレイを提供する。

【0011】

本発明は、

上記のロッドレンズアレイを備えた、光学機器を提供する。

【0012】

本発明は、

上記のロッドレンズアレイと、

対象物をライン状に照明するライン状照明装置と、

前記対象物から反射した光が前記ロッドレンズアレイを透過して集光されるように配置されたライン状光センサと、を備えた、

イメージセンサを提供する。

【0013】

本発明は、上記のロッドレンズアレイを有する書込ヘッドを備えた、プリンタを提供する。

【0014】

本発明は、
物品を搬送するための搬送装置と、
前記物品を照明するための照明装置と、
イメージセンサと、
制御器と、を備え、
前記イメージセンサは、前記物品から反射した光を集光するための上記のロッドレンズアレイを備え、

10

前記搬送装置によって搬送される前記物品の画像情報を取得して前記制御器に送信し、
前記制御器は、前記画像情報に基づいて、前記物品の欠陥を特定して前記物品の可否を判定する、

検査装置を提供する。

【0015】

本発明は、
モル%で示して、
 $40\% \leq \text{SiO}_2 \leq 65\%$
 $0\% \leq \text{TiO}_2 \leq 10\%$
 $0.1\% \leq \text{MgO} \leq 22\%$
 $0.15\% \leq \text{ZnO} \leq 15\%$
 $0.5\% \leq \text{Li}_2\text{O} < 4\%$
 $2\% \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$
 $0\% \leq \text{B}_2\text{O}_3 \leq 20\%$
 $0\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 10\%$
 $0\% \leq \text{K}_2\text{O} \leq 3\%$
 $0\% \leq \text{Cs}_2\text{O} \leq 3\%$
 $0\% \leq \text{Y}_2\text{O}_3 \leq 5\%$
 $0\% \leq \text{ZrO}_2 \leq 2\%$
 $0\% \leq \text{Nb}_2\text{O}_5 \leq 5\%$
 $0\% \leq \text{In}_2\text{O}_3 \leq 5\%$
 $0\% \leq \text{La}_2\text{O}_3 \leq 5\%$
 $0\% \leq \text{Ta}_2\text{O}_5 \leq 5\%$ 、を含み、
CaO、SrO、及びBaOからなる群より選ばれる少なくとも2つを、それぞれ0.1

20

モル%以上15モル%以下含み、

モル%で表示して、
 $2\% \leq \text{MgO} + \text{ZnO}$ 、
 $0.07 \leq \text{ZnO} / (\text{MgO} + \text{ZnO}) \leq 0.93$ 、
 $2.5\% \leq \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} < 24\%$ 、及び
 $0\% \leq \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{In}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Ta}_2\text{O}_5 \leq 11\%$ の条件を満たす、

30

40

屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物を提供する。

【0016】

本発明は、
屈折率分布型ロッドレンズの製造方法であって、
第一アルカリ金属元素の酸化物を含むガラス組成物からなるガラス素線を形成することと、

前記第一アルカリ金属元素とは異なる第二アルカリ金属元素を含む熔融塩に前記ガラス素線を浸漬して、前記ガラス素線中の前記第一アルカリ金属元素と前記熔融塩中の前記第二アルカリ金属元素とをイオン交換処理することにより、前記ガラス素線に屈折率分布を

50

形成することと、を備え、

前記ガラス組成物は、モル%で示して、

$$40\% \leq \text{SiO}_2 \leq 65\%$$

$$0\% \leq \text{TiO}_2 \leq 10\%$$

$$0.1\% \leq \text{MgO} \leq 22\%$$

$$0.15\% \leq \text{ZnO} \leq 15\%$$

$$0.5\% \leq \text{Li}_2\text{O} < 4\%$$

$$2\% \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$$

$$0\% \leq \text{B}_2\text{O}_3 \leq 20\%$$

$$0\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 10\%$$

$$0\% \leq \text{K}_2\text{O} \leq 3\%$$

$$0\% \leq \text{Cs}_2\text{O} \leq 3\%$$

$$0\% \leq \text{Y}_2\text{O}_3 \leq 5\%$$

$$0\% \leq \text{ZrO}_2 \leq 2\%$$

$$0\% \leq \text{Nb}_2\text{O}_5 \leq 5\%$$

$$0\% \leq \text{In}_2\text{O}_3 \leq 5\%$$

$$0\% \leq \text{La}_2\text{O}_3 \leq 5\%$$

$$0\% \leq \text{Ta}_2\text{O}_5 \leq 5\%、を、含み、$$

前記ガラス組成物は、CaO、SrO、及びBaOからなる群より選ばれる少なくとも2つを、それぞれ0.1モル%以上15モル%以下含み、

前記ガラス組成物は、モル%で表示して、

$$2\% \leq \text{MgO} + \text{ZnO}、$$

$$0.07 \leq \text{ZnO} / (\text{MgO} + \text{ZnO}) \leq 0.93、$$

$$2.5\% \leq \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} < 24\%、及び$$

$0\% \leq \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{In}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Ta}_2\text{O}_5 \leq 11\%$ の条件を満たす、

方法を提供する。

【発明の効果】

【0017】

上記のロッドレンズアレイは、大きな被写界深度を有する。また、上記の屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物は、ロッドレンズアレイの被写界深度を大きくするのに有利である。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】図1は、本発明に係る屈折率分布型ロッドレンズの一例の被写界深度の決定方法を説明する図である。

【図2】図2は、本発明に係る屈折率分布型ロッドレンズの一例の開口角を示す図である。

【図3A】図3Aは、本発明に係る屈折率分布型ロッドレンズの製造方法の一例におけるイオン交換処理を示す図である。

【図3B】図3Bは、屈折率分布型ロッドレンズにおける屈折率分布を概念的に示すグラフである。

【図4】図4は、本発明に係るロッドレンズアレイの一例を示す斜視図である。

【図5】図5は、屈折率分布型ロッドレンズの視野及び光量分布を模式的に示す図である。

【図6】図6は、ロッドレンズアレイの光量分布を模式的に示す図である。

【図7A】図7Aは、屈折率分布型ロッドレンズが一行に配置されたロッドレンズアレイにおける基準線を示す図である。

【図7B】図7Bは、屈折率分布型ロッドレンズが一行に配置されたロッドレンズアレイにおける基準線を示す図である。

【図8A】図8Aは、屈折率分布型ロッドレンズが二行に配置されたロッドレンズアレイにおける基準線を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 8 B】図 8 B は、屈折率分布型ロッドレンズが二列に配置されたロッドレンズアレイにおける基準線を示す図である。

【図 9 A】図 9 A は、屈折率分布型ロッドレンズが三列に配置されたロッドレンズアレイにおける基準線を示す図である。

【図 9 B】図 9 B は、屈折率分布型ロッドレンズが三列に配置されたロッドレンズアレイにおける基準線を示す図である。

【図 1 0】図 1 0 は、本発明に係るロッドレンズを備えた光学機器の一例を示す断面図である。

【図 1 1】図 1 1 は、本発明に係るロッドレンズを備えた光学機器の別の一例を示す断面図である。

【図 1 2】図 1 2 は、本発明に係るロッドレンズを備えた光学機器のさらに別の一例を示す断面図である。

【図 1 3】図 1 3 は、本発明に係るロッドレンズを備えた光学機器のさらに別の一例を示す断面図である。

【図 1 4】図 1 4 は、本発明に係るロッドレンズアレイを備えた光学機器のさらに別の一例を示す斜視図である。

【図 1 5】図 1 5 は、実施例 2、比較例 3、及び参考例 1 に係る屈折率分布型ロッドレンズの M T F の値と作動距離との関係を示すグラフである。

【図 1 6 A】図 1 6 A は、光量ムラの算出のための光学系を模式的に示す図である。

【図 1 6 B】図 1 6 B は、光量ムラの算出のための光学系を模式的に示す図である。

【図 1 7】図 1 7 は、実施例 1 に係るロッドレンズアレイの光量分布を示すグラフである。

【図 1 8】図 1 8 は、実施例 2 に係るロッドレンズアレイの光量分布を示すグラフである。

【図 1 9】図 1 9 は、実施例 3 に係るロッドレンズアレイの光量分布を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

被検体の外観検査において収集される画像データは、被検体の欠陥を識別できる解像度を有していなければならない。一次元 C C D センサを備えたカメラを用いて高い解像度の画像データを得ようとする、1つのカメラにおいて撮像できる有効幅は小さくなる。このため、1つのカメラで被検体の全体を撮像することが困難な場合がある。例えば、画像データにおいて必要とされる解像度に対応する画素サイズが $90\text{ }\mu\text{m}$ である場合、 4096 画素の一次元 C C D センサを備えたカメラで撮像できる領域の幅は約 370 mm である。この場合、 1200 mm の幅を有する被検体をくまなく検査するには一次元 C C D センサとカメラレンズとを備えた4台のカメラシステムを幅方向に並べる必要がある。一次元 C C D センサを備えた複数台のカメラシステムを搭載すると装置の製造コストが高くなる。加えて、被検体の種類の変更を変更する度に複数のカメラシステムの調整及びメンテナンスが必要になり、検査のランニングコストも高くなる。

【0020】

そこで、C I S を用いて被検体の外観検査を行うことが考えられる。C I S は、基板上に配置された複数の一次元受光素子と、ロッドレンズアレイとを備える。C I S において、ロッドレンズアレイは正立等倍像を形成する。C I S を用いれば、 1200 mm の幅の一次元画像を1つのユニットで得ることができる。ロッドレンズアレイは、例えば複数の屈折率分布型ロッドレンズを配列したものである。屈折率分布型ロッドレンズは、その半径方向に屈折率分布を有し、屈折率分布型ロッドレンズの半径方向において中心部から周辺部に向かって屈折率が変化する略円柱状のレンズである。ロッドレンズアレイを備えた C I S は、C C D センサとレンズとを備えた従来のカメラシステムに比べて、撮像素子と撮影対象の物体との間の距離を 10 分の 1 程度に低減でき、装置の小型化の点で有利である。一方、C I S において、撮影対象の物体とレンズとの間隔の許容範囲を示す特性値である被写界深度 (D O F) が小さい。このことは、被検体の厚みにばらつきがある場合に、被検体において焦点が合う部分と焦点が合わない部分とが発生するという問題を引き起こす。このため、焦点が合わない部分の画像は鮮明でなく、欠陥の見落とし及び欠陥の誤

10

20

30

40

50

認が発生する可能性がある。

【0021】

上記の通り、特許文献3～5に記載の屈折率分布型ロッドレンズの開口角は大きく、このことは屈折率分布型ロッドレンズのDOFを大きくする観点から有利とはいえない。そこで、本発明者らは、屈折率分布型ロッドレンズにおいて所望の範囲のDOFを実現すべく、屈折率分布型ロッドレンズの製造のために用いられるガラス組成物の条件を抜本的に見直した。本発明者らは、多大な試行錯誤を重ねた結果、所望の範囲のDOFを実現できる屈折率分布型ロッドレンズを遂に見出した。なお、本発明に係る屈折率分布型ロッドレンズは、被検体の外観検査の技術分野だけでなく、イメージスキャナ、複写機、ファクシミリ、及びプリンタ等の画像形成の技術分野の全般にわたって利用可能である。

10

【0022】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。なお、以下の説明は、本発明の一例に関するものであり、本発明は以下の実施形態に限定されない。

【0023】

屈折率分布型ロッドレンズ1bは、 $3 \sim 6^\circ$ の開口角 θ を有する。屈折率分布型ロッドレンズ1bの半径を r_0 と表す。屈折率分布型ロッドレンズ1bの中心の屈折率である中心屈折率を n_0 と表す。屈折率分布型ロッドレンズ1bの屈折率分布定数を $\sqrt{A}$ と表す。屈折率分布型ロッドレンズの中心からの距離 r における屈折率 $n(r)$ は、 $n(r) = n_0 \cdot \{1 - (A/2) \cdot r^2\}$ と近似できる。この場合、開口角 θ は、 $\sin^{-1}(n_0 \cdot \sqrt{A} \cdot r_0)$ で表される。屈折率分布型ロッドレンズ1bにおいて、正立等倍像が形成されるときに、正立像の結像距離(TC)は、 $45 \sim 75 \text{ mm}$ である。屈折率分布型ロッドレンズ1bは、 $1.5 \sim 3.0 \text{ mm}$ の被写界深度(DOF)を有する。屈折率分布型ロッドレンズ1bのDOFは、作動距離の最大値から最小値を差し引いて決定される。屈折率分布型ロッドレンズ1bの作動距離において、 6 本/mm の空間周波数における変調伝達関数(MTF)の値が30%以上である。

20

【0024】

図1に示す通り、屈折率分布型ロッドレンズ1bのDOFは、例えば、ロッドレンズアレイ10aと、ラインパターン3と、受光素子2とを光軸方向に所定間隔で配置し、ロッドレンズアレイ10aとラインパターン3との距離を変動させながらMTFの値を求めることによって決定できる。ロッドレンズアレイ10aは、複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bを光軸と垂直な方向に配列することによって構成されている。ラインパターン3は、 6 本/mm の空間周波数に対応する白黒のラインペアを有する。受光素子2は、例えば、CCDセンサである。例えば、ハロゲンランプからの出射光をカラーフィルタ及び光拡散板を通過させた後ラインパターン3に照射する。カラーフィルタは、例えば、波長 $500 \sim 600 \text{ nm}$ の範囲の光を透過させるものであってもよく、主として波長 530 nm の光を透過させるものであってもよい。このとき、MTFの値は、ロッドレンズアレイ10aに入射する前の、明部と暗部からなる所定の空間周波数を有するラインパターン3の像(入力像)に対する、ロッドレンズアレイ10aによって受光素子2に結像して得られる像(出力像)の再現率として決定できる。

30

【0025】

MTFの値が最大となるラインパターン3と受光素子2との距離(物点－結像点間距離) $D_{\max}$ を決定する。 $D_{\max}$ において、ロッドレンズアレイ10aによって正立等倍像が得られる。そのうえで、ロッドレンズアレイ10aと受光素子2との距離を一定に固定したまま、光軸に平行なZ軸の正方向($\Delta L > 0$)及び負方向($\Delta L < 0$)にラインパターン3を移動させ、それぞれの位置でMTFの値を求める。これにより、所定のMTFの値の許容できる範囲を設定することで、作動距離の最大値及び最小値を求めることができる。その結果、屈折率分布型ロッドレンズ1bのDOFを決定できる。なお、 $\Delta L > 0$ において、ラインパターン3とロッドレンズアレイ10aとの距離は、距離 $D_{\max}$ に対応する作動距離よりも大きい。一方、 $\Delta L < 0$ において、ラインパターン3とロッドレンズアレイ10aとの距離は、距離 $D_{\max}$ に対応する作動距離よりも小さい。 $\Delta L = 0$ において、ライン

40

50

パターン 3 とロッドレンズアレイ 10 a との距離は、距離 $D_{\max}$ に対応する作動距離と等しい。

【0026】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b 及びロッドレンズアレイ 10 a は、その DOF が上記の範囲にあるので、例えば、不均一な厚み、段差、凹凸を有する被検体の外観検査に適した画像データを得るのに有利である。このため、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b 及びロッドレンズアレイ 10 a は、被検体の外観検査の精度向上及び検査基準の高度化に寄与しうる。

【0027】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の DOF は、望ましくは 1.5 mm 以上であり、より望ましくは 1.8 mm 以上であり、さらに望ましくは 2 mm 以上である。屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の DOF は、望ましくは 2.8 mm 以下であり、より望ましくは 2.5 mm 以下である。

【0028】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b によって正立等倍像が形成されるときに MTF の値が最大となるレンズ-結像位置間距離 L_i は、特定の値に限定されず、例えば 13 ~ 28 mm である。この場合、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b を含むロッドレンズアレイを検査装置に組み込んだときに、検査に供される対象物とロッドレンズアレイとの間の距離を適切な距離に維持しやすい。このため、光学系等の部品の組み立ての容易化を図ることができる。加えて、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b は、所望の DOF を有し、所定の範囲内の段差を有する対象物を検査する観点から有利である。

【0029】

レンズ-結像位置間距離 L_i は、望ましくは 15 mm 以上であり、より望ましくは 18 mm 以上である。レンズ-結像位置間距離 L_i は、望ましくは 25 mm 以下であり、より望ましくは 22 mm 以下である。

【0030】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b が 3 ~ 6 ° の開口角 θ を有することにより、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の DOF が所望の範囲に調整されやすい。屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の開口角 θ は、例えば、図 2 に示すように定義される。開口角 θ は、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の光軸の一端に入射可能な光線と光軸とがなす角度の最大値である。図 2 において、F1 は、被写体面（物体面）であり、F2 は受光素子等における受光面（結像面）である。 Z_0 は、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の長さである。 L_0 は、MTF の値が最大となるときの被写体面 F1 と屈折率分布型ロッドレンズ 1 b との間の距離であり、 L_i は、MTF の値が最大となるときの結像面 F2 と屈折率分布型ロッドレンズ 1 b との間の距離である。図 2 において、ロッドレンズアレイ 10 a は、略正立等倍結像系を構成しており、距離 L_i は、距離 L_0 と略等しい。図 2 において、 X_0 は、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の視野半径である。屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の開口角 θ は、例えば、実施例に記載の方法に従って決定できる。なお、実施例に記載の方法において、イオン交換前のガラス素線の屈折率 N_c の代わりに、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の中心における屈折率 n_0 を用いて開口角 θ を決定してもよい。 N_c 又は n_0 は日本産業規格 (JIS) B 7071-2:2018 に記載の V ブロック法を用いて求めることができる。

【0031】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の開口角 θ は、3.5 ° 以上であってもよく、3.7 ° 以上であってもよい。屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の開口角 θ は、望ましくは 5.5 ° 以下であり、より望ましくは 5.2 ° 以下である。

【0032】

ロッドレンズアレイ 10 a の MTF の最大値は、特定の値に限定されず、例えば 60 % 以上であり、望ましくは 65 % 以上であり、より望ましくは 70 % 以上である。

【0033】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b は、例えば、半径方向において図 3 B に示すような屈折率分布を有する。ここで、図 3 B において原点における屈折率 n_0 は、屈折率分布型ロッド

10

20

30

40

50

レンズ 1 b の中心軸における屈折率を意味する。r は、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の半径方向における位置を表す。

【0034】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の屈折率分布は、例えば、下記式 (1) によって表される。式 (1) において、r は、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の光軸からの距離であり、n (r) は、距離 r における屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の屈折率であり、n₀ は、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の中心における屈折率であり、 $\sqrt{A}$ 、h₄、h₆ 及び h₈ のそれぞれは、屈折率分布係数である。

$$n(r)^2 = n_0^2 \cdot \{1 - (\sqrt{A} \cdot r)^2 + h_4 \cdot (\sqrt{A} \cdot r)^4 + h_6 \cdot (\sqrt{A} \cdot r)^6 + h_8 \cdot (\sqrt{A} \cdot r)^8\} \quad \text{式 (1)}$$

10

【0035】

さらに、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の屈折率分布は、式 (2) で近似できる。

$$n(r) = n_0 \cdot \{1 - (A/2) \cdot r^2\} \quad \text{式 (2)}$$

【0036】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の中心屈折率 n₀ は、特定の値に限定されず、例えば 1.51 ~ 1.65 である。これにより、DOF が大きくなりやすく、母材ガラスのイオン交換による屈折率分布の形成がそれほど困難ではない。屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の中心屈折率 n₀ は、望ましくは 1.54 ~ 1.62 である。

【0037】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の屈折率分布定数 ($\sqrt{A}$) は、特定の値に限定されない。 $\sqrt{A}$ は、A の平方根を意味する。屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の屈折率分布定数 $\sqrt{A}$ は、例えば、0.130 ~ 0.230 mm⁻¹ である。屈折率分布定数 $\sqrt{A}$ がこのような範囲にあれば、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の開口角 θ が所望の範囲に収まりやすい。その結果、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の DOF が所望の範囲に調整されやすい。

20

【0038】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の屈折率分布定数 $\sqrt{A}$ は、0.140 mm⁻¹ 以上であってもよく、0.150 mm⁻¹ 以上であってもよく、0.170 mm⁻¹ 以上であってもよい。屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の屈折率分布定数は、望ましくは 0.210 mm⁻¹ 以下であり、より望ましくは 0.205 mm⁻¹ 以下である。

【0039】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b における正立像の結像距離 (TC) が 45 ~ 75 mm であることは、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の DOF を所望の範囲に調整する観点から有利である。

30

【0040】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b における正立像の結像距離 (TC) は、レンズ長 Z₀ とのバランスを考慮しつつ開口角及び DOF を所望の範囲に調整する観点から所定の値より大きいことが望ましい。この観点から、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b における正立像の結像距離 (TC) は、47 mm 以上であってもよく、50 mm 以上であってもよく、53 mm 以上であってもよく、54 mm 以上であってもよい。屈折率分布型ロッドレンズ 1 b が組み込まれた光学機器のサイズが大きくなることを避ける観点から、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b における正立像の結像距離は、70 mm 以下であってもよく、67 mm 以下であってもよい。この場合、照明光として LED 等を用いる密着型イメージセンサにおいて屈折率分布型ロッドレンズ 1 b を用いたときに、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b は、その強度の過剰な低下を抑制しつつ、ムラの少ない一様な照明を再現するのに適したサイズを有する。

40

【0041】

屈折率分布型ロッドレンズ 1 b は、必要に応じて、開口角よりも大きな入射角を有する入射光がレンズの側面で反射してノイズ光（いわゆる、ホワイต์ノイズ（迷光））が発生することを防止する構造を有していてもよい。このような構造は、例えば、レンズの側面に設けられた光吸収層又は光散乱層でありうる。例えば、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b

50

は、光吸収層となる着色層がレンズの側面に配置されたコアークラッド構造を有していてもよい。なお、屈折率分布型ロッドレンズ1bがコアークラッド構造を有する場合、外形のレンズ直径と、実質的に像の形成に寄与するレンズ有効直径とが異なりうる。また、屈折率分布型ロッドレンズ1bは、その最外周面近傍の側面において光散乱層となる微細な凹凸部が形成された構造を有していてもよい。

【0042】

屈折率分布型ロッドレンズ1bは、典型的にはガラス製のレンズである。屈折率分布型ロッドレンズ1bの中心におけるガラス組成は、例えば、モル%で表して、 $40\% \leq \text{SiO}_2 \leq 65\%$ 、 $0\% \leq \text{TiO}_2 \leq 10\%$ 、 $0.1\% \leq \text{MgO} \leq 22\%$ 、 $0.15\% \leq \text{ZnO} \leq 15\%$ 、 $0.5\% \leq \text{Li}_2\text{O} < 4\%$ 、 $2\% \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$ 、 $0\% \leq \text{B}_2\text{O}_3 \leq 20\%$ 、 $0\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 10\%$ 、及び $0\% \leq \text{K}_2\text{O} \leq 3\%$ の条件を満たす。屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物は、例えば、モル%で示して、 $40\% \leq \text{SiO}_2 \leq 65\%$ 、 $0\% \leq \text{TiO}_2 \leq 10\%$ 、 $0.1\% \leq \text{MgO} \leq 22\%$ 、 $0.15\% \leq \text{ZnO} \leq 15\%$ 、 $0.5\% \leq \text{Li}_2\text{O} < 4\%$ 、 $2\% \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$ 、 $0\% \leq \text{B}_2\text{O}_3 \leq 20\%$ 、 $0\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 10\%$ 、 $0\% \leq \text{K}_2\text{O} \leq 3\%$ 、 $0\% \leq \text{Cs}_2\text{O} \leq 3\%$ 、 $0\% \leq \text{Y}_2\text{O}_3 \leq 5\%$ 、 $0\% \leq \text{ZrO}_2 \leq 2\%$ 、 $0\% \leq \text{Nb}_2\text{O}_5 \leq 5\%$ 、 $0\% \leq \text{In}_2\text{O}_3 \leq 5\%$ 、 $0\% \leq \text{La}_2\text{O}_3 \leq 5\%$ 、及び $0\% \leq \text{Ta}_2\text{O}_5 \leq 5\%$ を含む。加えて、この母材ガラス組成物は、CaO、SrO、及びBaOからなる群より選ばれる少なくとも2つを、それぞれ0.1モル%以上15モル%以下含む。さらに、この母材ガラス組成物は、モル%で表示して、 $2\% \leq \text{MgO} + \text{ZnO}$ 、 $0.07 \leq \text{ZnO} / (\text{MgO} + \text{ZnO}) \leq 0.93$ 、 $2.5\% \leq \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} < 24\%$ 、及び $0\% \leq \text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{In}_2\text{O}_3 + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{Ta}_2\text{O}_5 \leq 11\%$ の条件を満たす。このような母材ガラス組成物を用いることにより、所望のDOFを有する屈折率分布型ロッドレンズを得ることができる。

【0043】

屈折率分布型ロッドレンズ1bは、例えば、上記のガラス組成物からなるガラス素線をイオン交換処理することによって製造できる。

【0044】

(SiO₂)

SiO₂は、ガラスの網目構造を形成する必須成分である。SiO₂の含有率が40モル%未満では、イオン交換後に屈折率分布型ロッドレンズとしての光学特性を発現させるために必要な他の成分の含有率が相対的に大きくなって、失透が生じやすくなる。また、当該含有率が40モル%未満では、ガラス組成物としての化学的な耐久性が著しく低下する。一方、当該含有率が65モル%を超えると、他の成分、例えば屈折率分布を形成するためのアルカリ成分、屈折率増加成分、及び物性値調整成分など、の含有率が限定され、実用的なガラス組成物とすることが困難となる。このため、SiO₂の含有率は、40モル%以上65モル%以下である。

【0045】

(TiO₂)

TiO₂は、ガラス組成物の屈折率を増大させる作用を有する必須成分である。母材ガラス組成物の屈折率を増大させることにより、当該ガラス組成物から得られた屈折率分布型ロッドレンズの中心屈折率を増大させることができる。また、TiO₂の含有率を増加させることにより、屈折率分布型ロッドレンズにおける屈折率分布を、より理想的な状態に近づけることができ、解像度に優れた屈折率分布型ロッドレンズの製造が可能となる。TiO₂の含有率が10モル%のときには、得られるレンズに基づく画像の解像度の低下は観察されないが、その含有率が1モル%未満のときには画像の解像度が明らかに低下して、実用的なレンズが得られない。一方、当該含有率が10モル%を超えると、着色が強くなることで色収差が大きくなり、実用的なレンズが得られない。そこで、画像の解像度を高めることができ、かつ、色収差が小さいレンズを得るために、TiO₂の含有率は、1モル%以上10モル%以下である。TiO₂の含有率は、望ましくは2モル%以上8モル%以下である。

【0046】

(MgO)

MgOは、ガラス組成物の熔融温度を低下させ、イオン交換後における、レンズ中心部と周辺部との間の屈折率差 (Δn) を大きくする作用を有する必須成分である。MgOの含有率が22モル%を超えると、失透が生じやすくなる。また、MgOの含有率が22モル%を超えると、その他の成分の含有率が過度に減少し、実用的なガラス組成物が得られない。このため、MgOの含有率は、0.1モル%以上22モル%以下である。十分な屈折率差を実現する観点から、MgOの含有率は、望ましくは2モル%以上である。MgOの含有率が2モル%以上であると、アルカリ土類金属酸化物 (CaO、SrO、BaO) の含有率を、アルカリイオンの易動度をさらに低下させることを目的としてより適切に制御できる。すなわち、MgOの含有率は、望ましくは2モル%以上22モル%以下であり、より望ましくは2モル%以上16モル%以下である。

10

【0047】

(ZnO、MgO+ZnO、ZnO/(MgO+ZnO))

ZnOは、ガラス組成物及び屈折率分布型ロッドレンズの耐候性を向上させる作用を有する。本発明に係るガラス組成物において、ZnOは、MgOの一部を置換するために加えてもよい。ガラス組成物及び屈折率分布型ロッドレンズの耐候性を高める観点から、ZnOの含有率は、0.15モル%以上15モル%以下である。このとき、MgO及びZnOの含有率の合計 (MgO+ZnO) が2モル%以上であるように、MgO及びZnOの含有率が調整される。加えて、MgO及びZnOの含有率の合計に対するZnOの含有率の比 (ZnO/(MgO+ZnO)) が、 $0.07 \leq \text{ZnO} / (\text{MgO} + \text{ZnO}) \leq 0.93$ となるように、MgO及びZnOの含有率が調整される。ガラス組成物及び屈折率分布型ロッドレンズの耐候性をより高める観点から、ZnOの含有率は、望ましくは3モル%以上15モル%以下である。この場合、MgO+ZnOが6モル%以上であってもよく、 $0.12 \leq \text{ZnO} / (\text{MgO} + \text{ZnO}) \leq 0.93$ の条件が満たされうる。耐失透性の観点から、ZnOの含有率は、望ましくは8モル%以下である。ガラス組成物及び屈折率分布型ロッドレンズの耐候性をさらに高める観点から、ZnOの含有率は、より望ましくは4モル%以上15モル%以下である。この場合、MgO+ZnOが6モル%以上であってもよく、MgO+ZnOが6モル%以上22モル%以下でありうる。MgO+ZnOは、15モル%以下であってもよい。また、ZnO/(MgO+ZnO) は、望ましくは0.07以上0.9以下であり、より望ましくは0.25以上0.85以下であり、さらに望ましくは0.25以上0.8以下であり、とりわけ望ましくは0.3以上0.8以下である。

20

30

【0048】

(Li₂O)

Li₂Oは、必須成分であり、本発明のガラス組成物をイオン交換して屈折率分布型ロッドレンズを得るために、最も重要な成分の一つである。従来、ガラス組成物におけるLi₂Oの含有率が少ないと、イオン交換によって、十分な濃度分布、即ち十分な屈折率分布を発現できず、適切な屈折率分布型ロッドレンズを得ることができないと考えられていた。しかし、本発明者らは、Li₂Oの含有率が4モル%以下であるガラス組成物であっても、所定の条件でイオン交換を行うことにより、適切な屈折率分布を有し、かつ、大きなDOFを有する屈折率分布型ロッドレンズを作製できることを新たに見出した。Li₂Oの含有率が4モル%を超えると、得られる屈折率分布型ロッドレンズの開口角が大きくなりやすく、DOFが小さくなりやすい。Li₂Oの含有率は、0.5モル%以上であり、望ましくは0.7モル%以上であり、より望ましくは1モル%以上である。また、Li₂Oの含有率は、4モル%以下であり、望ましくは3.5モル%以下であり、より望ましくは3モル%以下であり、さらに望ましくは2モル%以下である。

40

【0049】

屈折率分布型ロッドレンズ1bの特徴の一つは、Li₂Oの含有率が様々な先行技術より少ないことである。従前は、Li₂Oの含有率を少なくできない製造工程上の理由があった

50

。本発明者らは、イオン交換法による1バッチあたりのガラス素線の処理量を制限すること及び熔融塩におけるLiの当初の含有量を少なくすること等の新たな工夫により、像面湾曲等のレンズの収差を抑制しつつ、開口角が従前より小さく、かつ実用的な解像度を備える屈折率分布型ロッドレンズが得られることを新たに見出した。

【0050】

(Na₂O)

Na₂Oは、イオン交換の際に、いわゆる混合アルカリ効果によって、Liと、Liイオンを置換するイオン交換種のイオン（熔融塩中に含有されるイオン）とのイオン交換を助け、イオンの易動度を適度に保つ。イオン易動度を適度に保つことで、イオン交換速度を適度に調整でき、屈折率分布型ロッドレンズの光学特性を調整できる。ガラス組成物中のNa₂Oの含有率が2モル%未満であると、ガラス成形時にガラスが硬くなるので、成形が困難となる。加えて、ガラスの熔融温度が著しく上昇し、レンズの作製が困難となる。また、イオンの易動度を適度に保つ効果を十分に得ることが難しい。一方、Na₂Oの含有率が20%を超えると、ガラスの化学的耐久性が低下し、実用性に欠ける。したがって、Na₂Oの含有率は、2モル%以上であり、望ましくは5モル%以上であり、より望ましくは10モル%以上である。また、Na₂Oの含有率は、20モル%以下であり、望ましくは17モル%以下である。

【0051】

(Li₂O+Na₂O)

上記の通り、ガラス組成物におけるLi₂Oの含有率とNa₂O含有率との合計(Li₂O+Na₂O)は、2.5モル%以上24モル%未満である。Li₂O+Na₂Oがこの範囲であると、このガラス組成物を用いて製造された屈折率分布型ロッドレンズによって良好な解像度の画像を得ることができる。Li₂O+Na₂Oは、望ましくは6モル%以上であり、より望ましくは10モル%以上である。

【0052】

(Li₂O/Na₂O)

Na₂Oの含有率に対するLi₂Oの含有率の比(Li₂O/Na₂O)が大きいと、ガラス組成物を用いて製造された屈折率分布型ロッドレンズの解像力が向上することがある。一方、Li₂O/Na₂Oが過剰に大きい（例えば1.0以上）と、ガラス組成物を用いて製造された屈折率分布型ロッドレンズの開口角が大きくなり、そのDOFが小さくなる傾向にある。このため、Li₂O/Na₂Oは、例えば、0.2以下であり、望ましくは0.15以下であり、より望ましくは0.1以下である。

【0053】

上記のガラス組成物は、さらに以下の成分を含んでいてもよい。

【0054】

(B₂O₃)

B₂O₃は、ガラスの網目構造を形成する任意成分であり、得られる屈折率分布型ロッドレンズの解像力及び開口角θをほとんど変化させることなく、ガラス組成物のガラス化を促進し、その粘性を調整する作用を有する。また、若干ではあるが、ガラス組成物のイオン交換速度を遅くする作用も有する。B₂O₃は、例えば、上述した各必須成分の含有率は本発明の範囲内であるが、組成物として見たときに一部の成分の含有率が相対的に大きくなり、ガラスとしての安定性が低下する（例えば失透を生じやすくなる）場合に、加えてもよい。B₂O₃の添加により、必須成分間の含有率の比率を変えることなく、相対的に大きくなった上記一部の成分の含有率を小さくすることができる。得られる屈折率分布型ロッドレンズの解像力及び開口角を変化させることなく添加できるB₂O₃の含有率は、例えば、20モル%以下である。このため、B₂O₃の含有率は、0モル%以上20モル%以下である。当該含有率は、望ましくは0モル%以上10モル%以下であり、ガラス組成物がB₂O₃を含有する場合、その含有率は望ましくは1モル%以上10モル%以下である。

【0055】

(Al₂O₃)

屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物は、任意成分として Al_2O_3 を含んでいてもよく、その含有率は、0モル%以上10モル%以下である。

【0056】

($\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3$)

屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物において、 SiO_2 、 TiO_2 、及び B_2O_3 の含有率の合計($\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3$)は、例えば41モル%以上70モル%以下であり、望ましくは50モル%以上70モル%以下である。

【0057】

(Y_2O_3 、 ZrO_2 、 Nb_2O_5 、 In_2O_3 、 La_2O_3 、 Ta_2O_5)

屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物は、イオン交換後に得られる屈折率分布型ロッドレンズの屈折率の調整、あるいは耐候性の向上を目的として、 Y_2O_3 、 ZrO_2 、 Nb_2O_5 、 In_2O_3 、 La_2O_3 、及び Ta_2O_5 からなる群より選択される少なくとも1つの成分を含んでいてもよい。これらの成分の含有率の合計は0モル%以上11モル%以下であり、屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物がこれらの成分を含む場合、これらの成分の含有率の合計は、望ましくは0.2モル%以上6モル%以下である。また、これらの成分の含有率と ZnO の含有率との合計が15モル%以下であることが望ましい。

【0058】

(Y_2O_3)

Y_2O_3 の含有率は、望ましくは0モル%以上5モル%以下である。

【0059】

(ZrO_2)

ZrO_2 の含有率は、望ましくは0モル%以上2モル%以下であり、屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物が ZrO_2 を含む場合、その含有率は0.2モル%以上2モル%以下である。

【0060】

Nb_2O_5 、 In_2O_3 、 La_2O_3 、及び Ta_2O_5 の含有率のそれぞれは、望ましくは0モル%以上5モル%以下である。

【0061】

(K_2O 、 Cs_2O)

K_2O 及び Cs_2O は、混合アルカリ効果により、 MgO 、 CaO 、 SrO 、及び BaO と同様に、アルカリイオンの易動度を小さくする作用を有する任意成分である。 K_2O 及び Cs_2O の含有率のそれぞれは、例えば、0モル%以上3モル%以下である。屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物の耐水性を高める観点から、 Cs_2O の含有率は、望ましくは2モル%未満であり、より望ましくは0モル%以上1モル%以下であり、さらに望ましくは0.5モル%以下である。屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物の耐水性を高める観点から、屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物は、 Cs_2O を実質的に含まないことが望ましい。本明細書において「実質的に含まない」とは、当該成分の含有率が0.1モル%未満であることを意味する。

【0062】

(その他の成分)

屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物において、その他の成分として、 GeO_2 を含んでいてもよい。 GeO_2 の含有率は0モル%以上10モル%以下でありうる。また、屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物は、添加物として、 SnO_2 、 As_2O_3 、及び Sb_2O_3 からなる群より選択される少なくとも1つを含んでいてもよい。 SnO_2 、 As_2O_3 、及び Sb_2O_3 の含有率のそれぞれは、0モル%以上1モル%以下でありうる。屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物は、実質的に上記の成分からなってもよい。この場合、ガラス組成物が含む各成分の含有率、ならびに各成分の含有率間の関係(合計及び含有比)は、上述した各条件を満たす。本明細書において、「実質的に～からなる」とは、含有率にして0.1モル%未満の不純物の含有を許容することを意味する。

10

20

30

40

50

【0063】

(PbO)

屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物は、実質的に鉛（代表的な化合物としてはPbO）を含まない。また、屈折率分布型ロッドレンズ1bも実質的に鉛を含まない。

【0064】

屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物において、例えば、日本光学硝子工業会規格（JOGIS）06-2009に準拠して決定される耐水性が1級である。この場合、屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物が高い耐水性を有し、屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物を用いて製造された屈折率分布型ロッドレンズも高い耐水性を有しやすい。屈折率分布型ロッドレンズをなすガラスにおいても、JOGIS 06-2009に準拠して決定される耐水性が1級であってもよい。

【0065】

屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物は、第一アルカリ金属元素の酸化物を含む。屈折率分布型ロッドレンズ1bは、例えば、以下の工程（I）及び（II）を含む方法によって製造できる。

（I）上記の屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物からなるガラス素線1aを形成する。

（II）屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物に含まれる第一アルカリ金属元素Qとは異なる第二アルカリ金属元素Rを含む溶融塩Sにガラス素線1aを浸漬して、ガラス素線1a中の第一アルカリ金属元素Qと溶融塩中の第二アルカリ金属元素Rとをイオン交換処理することにより、ガラス素線1aに屈折率分布を形成する。

【0066】

（II）の工程において、例えば、図3Aに示す通り、容器Vの内部の溶融塩Sにガラス素線1aを投入し、溶融塩Sにガラス素線1aを所定時間浸漬する。溶融塩Sにおいて、例えば、硝酸カリウム及び硝酸ナトリウムの少なくとも1つが溶融している。ガラス素線1aを溶融塩Sに浸漬すると、例えば、ガラス素線1aに含まれるLi（リチウム）等の第一アルカリ金属元素Qの陽イオンが溶融塩S中に溶け出す。一方、溶融塩S中のK（カリウム）等の第二アルカリ金属元素Rの陽イオンがガラス素線1aに侵入する。溶融塩Sの温度及び溶融塩Sへのガラス素線1aの浸漬時間を調整することにより、第一アルカリ金属元素Qの陽イオンと第二アルカリ金属元素Rの陽イオンとのイオン交換を適切に制御できる。ガラス素線1aの内部には、特定の1価の陽イオンの濃度分布が生じ、この濃度分布に応じて、図3Bに示すような屈折率分布がガラス素線1aに形成される。これにより、ガラス素線1aから屈折率分布型ロッドレンズ1bを製造できる。

【0067】

図3Bに示す通り、典型的には、屈折率分布型ロッドレンズ1bの中心部において屈折率が最も高い。なお、屈折率分布型ロッドレンズ1bの中心部において、 $r=0$ である。屈折率分布型ロッドレンズ1bの中心部における屈折率 n_0 は、イオン交換処理前の屈折率分布型ロッドレンズ用母材ガラス組成物の屈折率 N_c と同一であってもよい。このとき、ガラス素線1aにおいては、アルカリ金属元素等の陽イオンが実質的に移動しないので、屈折率分布型ロッドレンズの中心部のガラスの組成は、イオン交換前の母材ガラスの組成と同じでありうる。

【0068】

本発明に係る光学製品は、屈折率分布型ロッドレンズ1bを備える限り、特定の製品に限定されない。屈折率分布型ロッドレンズ1bを用いて、例えば、所定のロッドレンズアレイを提供できる。ロッドレンズアレイは、正立等倍像を形成する。この場合、ロッドレンズアレイは、屈折率分布型ロッドレンズ1bの配列に関し、0次元の配列、1次元の配列、又は2次元の配列を有し得る。0次元の配列とは、例えば、単一の屈折率分布型ロッドレンズ1bが配置された構成であり、単一の屈折率分布型ロッドレンズ1bからなる光学製品によって所望の作用を期待するものである。1次元の配列とは、特定方向に複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bが一行に配列された構成である。その特定方向を主走査方

10

20

30

40

50

向といい、主走査方向に垂直であり、かつ、光軸に垂直な方向を副走査方向という。ロッドレンズアレイにおいて、複数の屈折率分布型ロッドレンズ 1 b は、それらの光軸が略平行になるように配列される。2次元の配列とは、1次元の配列に加え、それとは異なる方向にレンズが複数配列された構成である。例えば、主走査方向に沿って複数の屈折率分布型ロッドレンズ 1 b が二列以上に配列された構成が2次元の配列に該当し得る。ロッドレンズアレイ 10 b によれば、個々の屈折率分布型ロッドレンズの径が小さくても、広範囲の正立等倍像を得ることができる。上記の通り、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b において結像距離 (TC) は、45~75 mm である。換言すると、ロッドレンズアレイの結像距離は、45~75 mm である。加えて、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b は、1.5~3.0 mm の被写界深度 (DOF) を有する。換言すると、ロッドレンズアレイにおける被写界深度 (DOF) は、1.5~3.0 mm である。

10

【0069】

例えば、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b を用いて、図 4 に示すロッドレンズアレイ 10 b を提供できる。ロッドレンズアレイ 10 b において、複数の屈折率分布型ロッドレンズ 1 b が、それらの光軸が略平行になるように配列されている。ロッドレンズアレイ 10 b において、複数の屈折率分布型ロッドレンズ 1 b は、2次元の配列をなすように二列に配置されている。ロッドレンズアレイ 10 b において、複数の屈折率分布型ロッドレンズ 1 b は、例えば、一对の繊維強化プラスチック (FRP) 基板 5 の間に配置されている。一对の FRP 基板 5 の間において、複数の屈折率分布型ロッドレンズ 1 b 同士の間の空間及び FRP 基板 5 と屈折率分布型ロッドレンズ 1 b との間の空間には黒色樹脂 7 が充填されている。これにより、一对の FRP 基板 5 の間において、複数の屈折率分布型ロッドレンズ 1 b が一体化されている。このようなロッドレンズアレイ 10 b は、例えば、下記のように作製できる。まず、一方の FRP 基板 5 の表面に、複数の屈折率分布型ロッドレンズ 1 b をほぼ平行に配列させ、他方の FRP 基板 5 によってレンズを挟持する。その後、一对の FRP 基板 5 の間の空間に黒色樹脂 7 を充填し、全体を一体化する。さらに、必要に応じて屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の端面が研磨される。

20

【0070】

図 2 に示す通り、1つの屈折率分布型ロッドレンズ 1 b によって視野半径 X_0 の範囲に正立等倍像が形成される。1つの屈折率分布型ロッドレンズ 1 b によって形成された像においては、その屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の光軸上での光量が最も大きく、光軸から遠ざかるに伴い光量は小さくなる。このため、視野半径 X_0 で表される視野の中で光量変化が生じる。ロッドレンズアレイは、そのような屈折率分布型ロッドレンズ 1 b が配列されて形成されるので、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の配列ピッチに依拠した光量ムラが生じる。

30

【0071】

大きな光量ムラを有するロッドレンズアレイを検査装置及びイメージセンサ等の光学機器に用いた場合に、像の明るさが、ロッドレンズアレイにおけるロッドレンズの配列ピッチに依拠して主走査方向 (ロッドレンズの配列方向) において周期的に変動しうる。これにより、光学機器が所望の性能を発揮できない可能性がある。

【0072】

40

図 5 には、直径 D を有する屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の正立等倍像の視野と光量分布との関係が模式的に示されている。正立等倍像の視野における光量分布 $E(x, y)$ は、下記の式 (3) によって表される。式 (3) において、 E_0 は、正立等倍像の視野の中心における光強度である。正立等倍像の視野の中心において、 $x = y = 0$ である。

$$E(x, y) = E_0 \cdot \sqrt{\{1 - (x^2 + y^2) / X_0^2\}} \quad \text{式 (3)}$$

【0073】

図 6 には、上記の光量分布 $E(x, y)$ を有する屈折率分布型ロッドレンズ 1 b をアレイ状に配列したロッドレンズアレイにおける光量分布 E_{M1} 及び E_{M2} を模式的に示す。光量分布 E_{M1} は、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の光量分布を個別に示したものであり、光量分布 E_{M2} は、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の光量分布を合成したものである。ロッド

50

レンズアレイにおける光量分布は主走査方向（ x 方向）に沿って、屈折率分布型ロッドレンズ1bの配列ピッチに応じた周期的な光量ムラを呈する。基準線に沿った光量ムラ $\Delta E(0,0)$ は、例えば、下記の式（4）で表される。式（4）において、 $E_{\max}$ 及び $E_{\min}$ は、それぞれ、基準線に沿った光量分布における最大値及び最小値である。光量ムラ $\Delta E(0,0)$ は、ロッドレンズアレイを実際に作製して光量分布を計測することによって求めることができる。また、屈折率分布型ロッドレンズ1bの光学定数が既知であれば、式（3）及び式（4）に基づいて $\Delta E(0,0)$ を算出できる。ロッドレンズアレイは、例えば、複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bが主走査方向に沿って列をなすように配置されたレンズ群を有する。光量ムラ $\Delta E(0,0)$ に関し、基準線とは、正立等倍像の結像面と、屈折率分布型ロッドレンズ1bの中心軸に平行な方向に沿って屈折率分布型ロッドレンズ1bの端面を見たときに副走査方向（ y 方向）におけるレンズ群（ロッドレンズアレイ）の一端及び他端から等距離にある平面との交線である。図7A及び図7Bは、複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bが1列に配置されたレンズ群を有するロッドレンズアレイの基準線 L_R を概念的に示す。図8A及び図8Bは、複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bが2列に配置されたレンズ群を有するロッドレンズアレイの基準線 L_R を概念的に示す。図9A及び図9Bは、複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bが3列に配置されたレンズ群を有するロッドレンズアレイの基準線 L_R を概念的に示す。図7A～図9Bにおいて、基準線 L_R は、主走査方向（ x 方向）に延びており、副走査方向（ y 方向）における位置が $y=0$ の直線である。図7A～図9Bにおいて、 P は、原稿及び検査対象物等の物体であり、 f_1 は、その物体の読み取り面又は検査面でありうる。また、 f_2 は、結像面である。

$$\Delta E(0,0) = (E_{\max} - E_{\min}) / E_{\min} \quad \text{式（4）}$$

【0074】

複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bが主走査方向に沿って列をなすように配置されたレンズ群を有するロッドレンズアレイにおいて、基準線に沿った光量ムラ $\Delta E(0,0)$ は、特定の値に限定されない。基準線に沿った光量ムラ $\Delta E(0,0)$ は、例えば、6%以下である。これにより、ロッドレンズアレイを用いた光学機器において所望の光量で正立等倍像が形成されやすい。所定の範囲は、光量分布が、主走査方向（ x 方向）について略周期性を有している範囲内であり、基準線に沿った $\Delta E(0,0)$ は、例えば、所定の範囲内において求められてもよい。所定の範囲は、光量分布が、主走査方向（ x 方向）について略周期性を有している範囲であり、所定の範囲の例において、 $y=0$ 、かつ、 x の範囲が10mmであり、 $y=0$ 、かつ、 x の範囲が4mmであり、又は $y=0$ 、かつ、 x の範囲が2mmであってもよい。また、 x の上記範囲の中間の位置を $x=0$ と定めたとき、所定の範囲の例は、それぞれ、 $y=0$ 、かつ、 $-5\text{ mm} \leq x \leq 5\text{ mm}$ であり、 $y=0$ 、かつ、 $-2\text{ mm} \leq x \leq 2\text{ mm}$ であり、 $y=0$ 、かつ、 $-1\text{ mm} \leq x \leq 1\text{ mm}$ と表することができる。また、ロッドレンズアレイの一端及び他端のレンズから等距離にある位置、もしくは当該位置の最も近くのレンズの中心を $x=0$ と定めてもよい。このとき、 $x=0$ の位置があらかじめ決まるので、その位置を含むように x 方向における所定の範囲を求めてもよい。

【0075】

基準線に沿った光量ムラ $\Delta E(0,0)$ は、望ましくは5%以下であり、より望ましくは4%以下である。一方、基準線に沿った光量ムラ $\Delta E(0,0)$ は、例えば1%以上である。これにより、屈折率分布型ロッドレンズ1bにおいて、DOFの低下を招くような開口角の調整を回避しやすい。

【0076】

ロッドレンズアレイ10bは、様々な観点から変更可能であり、ロッドレンズアレイを構成する各部分の材料には、ロッドレンズアレイの作製において公知の材料を用いてもよい。また、複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bの配列は、二列に限定されない。複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bは、一列に配列されていてもよいし、二列、又は三列以上に配列されていてもよい。屈折率分布型ロッドレンズ1bを多数列に配列すると、大面積に対応可能なロッドレンズアレイを提供できる。

【0077】

屈折率分布型ロッドレンズ１ｂは、上記の光学性能を備えるプラスチック製ロッドレンズでありうる。プラスチック製ロッドレンズは、例えば共重合法、ゾルーゲル法、及び相互拡散法などの方法で作製できる。特に相互拡散法では、中心から外周に向かって屈折率が段階的に小さくなる樹脂を同心円状に積層したうえで、屈折率が連続的になるように層間の物資の相互的な拡散を行う。このような処理を行った後にさらに加熱延伸して棒状のロッドレンズを得る。プラスチック製ロッドレンズは、その材質の特性上、取扱いが簡便で一般的に廉価であり、場合によってはメリットがある。

【００７８】

屈折率分布型ロッドレンズ１ｂを備えたロッドレンズアレイは、大きなＤＯＦを有し、場合によっては耐候性に優れ、スキャナ、複写機、ファクシミリ、プリンタ、ＣＩＳ、及びラインカメラ等の光学機器に幅広く用いることができる。換言すると、ロッドレンズアレイを備えた光学機器を提供できる。さらには、屈折率分布型ロッドレンズ１ｂを備えたロッドレンズアレイは、特に耐水性（耐湿性）に優れるので、オフィスなどの一般空調だけでなく、高温多湿な状況に晒される工場、保管倉庫又は輸送トラックなどの物流を含めた多様な環境においても、上記の光学機器などに適用可能である。

【００７９】

ロッドレンズアレイを備えた光学機器は、例えば、ライン状光源と、光センサとをさらに備えている。

【００８０】

例えば、ロッドレンズアレイ１０ｂを用いて、図１０に示す密着型イメージセンサ（ＣＩＳ）１００を提供できる。ＣＩＳ１００は、例えば、ロッドレンズアレイ１０ｂと、筐体１１と、ライン状光センサ１２と、ライン状照明装置１３と、原稿台１４とを備える。ライン状光センサ１２は、ロッドレンズアレイ１０ｂの主走査方向に延びている。図１０においてＸ軸に平行な方向が主走査方向であり、Ｙ軸に平行な方向が副走査方向である。ライン状照明装置１３は、ロッドレンズアレイ１０ｂの主走査方向に延びている。原稿台１４はガラス板によって形成されている。原稿台１４をなすガラス板は、筐体１１の開口を覆うように配置される。ロッドレンズアレイ１０ｂ、ライン状光センサ１２、及びライン状照明装置１３は、筐体１１の内部に配置されている。ライン状照明装置１３から原稿台１４の上に置かれた原稿Ｐへ、線状に照明光が照射される。原稿Ｐの表面で反射した光が、ライン状光センサ１２に入射するようにロッドレンズアレイ１０ｂが配置されている。換言すると、原稿から反射した光がロッドレンズアレイ１０ｂを透過して集光されるようにライン状光センサ１２が配置されている。ロッドレンズアレイ１０ｂ及びライン状光センサ１２を含む機構を副走査方向に走査すること又は原稿台１４の上に置かれた原稿Ｐを副走査方向に搬送することによって、原稿Ｐに関する二次元の画像データを得ることができる。イメージセンサ１００は、原稿以外の対象物をイメージングできるように構成されていてもよい。

【００８１】

ロッドレンズアレイ１０ｂは、大きなＤＯＦを有する屈折率分布型ロッドレンズ１ｂを備えているので、例えば、皺又は見開きの部分などにより、原稿Ｐの一部が浮いた部分においても、読み取られた画像の品質が良好になりやすい。

【００８２】

ロッドレンズアレイ１０ｂを用いて、例えば、図１１に示すイメージセンサ３００を提供できる。イメージセンサ３００は、筐体３１と、ライン状光センサ３２と、ライン状照明装置３３と、第一スペーサ３４ａと、第二スペーサ３４ｂと、基板３５とを備えている。イメージセンサ３００では、ライン状照明装置３３が筐体３１の外部に配置されている。例えば、イメージセンサ３００において、読取を予定する原稿Ｐの部分とライン状光センサ３２との光学的配置を適切に調整するために、ロッドレンズアレイ１０ｂは、第一スペーサ３４ａ及び第二スペーサ３４ｂによって筐体３１に対し位置決めされて固定されている。イメージセンサ３００は、被検体の外観を検査する装置に適用されてもよく、原稿Ｐの代わりに被検体（検査対象物）からの画像を得るために使用されてもよい。この場合

、ライン状照明装置 33 から出射された光線が被検体に照射され、被検体の表面で反射した光はロッドレンズアレイ 10b の結像作用によって、ライン状光センサ 32 に結像される。ライン状光センサ 32 は、被検体の表面の 1 次元の画像情報を逐次電気信号に変換し、出力できる。

【0083】

ロッドレンズアレイ 10b を用いて、例えば、図 12 に示すプリンタ 500 を提供できる。プリンタ 500 は、書込ヘッド 51 と、感光ドラム 52 と、帯電器 53、現像器 54 と、転写器 55 と、定着器 56 と、消去ランプ 57 と、清掃器 58 と、給紙カセット 59 とを備えている。ロッドレンズアレイ 10b は、書込ヘッド 51 の内部に配置されている。プリンタ 500 は、電子写真方式のプリンタである。書込ヘッド 51 は、ロッドレンズアレイ 10b と、発光素子アレイ（図示省略）とを備えている。ロッドレンズアレイ 10b は、発光素子アレイから発せられた光を、感光ドラム 52 上に露光させる結像光学系を構成している。詳細には、ロッドレンズアレイ 10b は、その焦点が感光ドラム 52 の表面に位置しており、正立等倍光学系を構成している。感光ドラム 52 の表面には、アモルファス Si などの光導電性を有する材料（感光体）からなる感光層が形成されている。最初に、回転している感光ドラム 52 の表面が帯電器 53 によって均一に帯電する。次に、書込ヘッド 51 によって、形成する画像に対応するドットイメージの光が感光ドラム 52 の感光層に照射され、感光層において光が照射された領域の帯電が中和され、感光層に潜像が形成される。次に、現像器 54 によって感光層にトナーを付着させると、トナーは感光層の帯電状態に従って、感光層における潜像が形成された部分に付着する。次に、付着したトナーを、転写器 55 によって、カセットから送られてきた用紙に転写し、その後、定着器 56 によって用紙を加熱すると、トナーが用紙に定着して画像が形成される。一方、転写の終了した感光ドラム 52 の帯電は消去ランプ 57 によって全領域にわたって中和され、その後、清掃器 58 によって感光層上に残ったトナーが除去される。

【0084】

ロッドレンズアレイ 10b を用いて、例えば、図 13 に示す検査装置 700 を提供できる。検査装置 700 は、イメージセンサ 71 と、光源であるライン状照明装置 72 と、制御器 73 と、出力装置 74 と、搬送装置 75 と、搬送制御装置 76 とを備えている。イメージセンサ 71 の内部にはロッドレンズアレイ 10b が配置されている。搬送装置 75 は、例えばベルトコンベヤーである。搬送装置 75 は、プリント基板、テキスタイル、及び紙等の被検体 T を搬送する。搬送制御装置 76 は、搬送装置 75 を制御するためのデジタルコンピュータであり、搬送装置 75 の搬送速度を調整するための制御信号を搬送装置 75 に向かって出力する。イメージセンサ 71 及びライン状照明装置 72 は、例えば、搬送装置 75 の上方に配置されており、被検体 T は、搬送装置 75 によってイメージセンサ 71 の真下を通過する。イメージセンサ 71 及びライン状照明装置 72 は、被検体 T の明瞭な画像データが得られるように配置されている。制御器 73 は、被検体 T の画像データを形成するためのデジタルコンピュータである。被検体 T がイメージセンサ 71 の真下を通過するとき、制御器 73 は、イメージセンサ 71 から 1 次元の画像情報を連続的に取得する。加えて、制御器 73 は、搬送制御装置 76 から被検体 T の搬送位置情報を取得する。制御器 73 は、イメージセンサ 71 から取得した 1 次元の画像情報と、搬送制御装置 76 から取得した搬送位置情報とに基づいて計算処理を行い、2 次元の画像情報を形成する。形成された 2 次元の画像情報は、制御器 73 に予め記憶された、異物、ワレ、ピンホール等の欠陥を特徴づける情報と比較される。これにより、制御器 73 は、被検体 T における欠陥の有無、欠陥の数、及び欠陥の位置を特定する。制御器 73 は、この比較結果に基づいて、被検体 T の可否を判定してもよい。出力装置 74 は、例えばモニターであり、制御器 73 によって形成された 2 次元の画像情報を表示する。

【0085】

上記の CIS、イメージセンサ、及び検査装置等の光学機器は、被検査物、被写体、及び原稿等の対象物のカラー画像を取得できるように構成されていてもよい。例えば、図 14 に示す通り、カラーフィルタ方式の光学機器 900 を提供できる。光学機器 900 は、

ロッドレンズアレイ 10 a と、白色光源（図示省略）と、光センサ 9 2 とを備えている。白色光源は、RGB 等の異なる波長を有する光を出射する。白色光源は、例えば、ライン状光源である。光センサ 9 2 は、ロッドレンズアレイ 10 a の主走査方向に沿って配置され、異なる主波長を有する複数のセグメントを有する。光センサ 9 2 は、例えば、R（赤）、G（緑）、B（青）に対応したカラーフィルタを備えたフォトダイオード等のセンサである。複数のセグメントのそれぞれは、例えば、副走査方向（y 方向）に配列され、R、G、B のそれぞれに対応するカラーフィルタを備えている。図 1 4 に示す通り、光センサ 9 2 の複数のセグメントは、主走査方向（x）方向に配列されており、各セグメントにおいて RGB に対応した画素情報が形成され、それらが合成されて対象物のカラー画像が得られる。

10

【0086】

カラー画像を取得可能なイメージセンサとして、光源順次点灯方式のイメージセンサを構成することも考えられる。一方、カラーフィルタ方式のイメージセンサには、副走査方向における色ずれが小さいこと及び RGB のそれぞれの色に対応した色再現性がよいこと等の利点がある。

【0087】

カラーフィルタ方式のイメージセンサにおけるロッドレンズアレイでは、ロッドレンズの軸線方向における基準位置からのシフトだけではなく、副走査方向（y 方向）において基準位置から所定の距離シフトしたときの光学性能も重要である。光量ムラについても、ロッドレンズアレイの副走査方向（y 方向）に所定の距離だけシフトしたときの、主走査方向に沿った光量ムラが小さいことが重要である。副走査方向の所定の距離 y だけシフトしたときの光量ムラを $\Delta E(y, 0)$ と表す。

20

【0088】

複数の屈折率分布型ロッドレンズ 1 b が主走査方向に沿って列をなすように配置されたレンズ群を有するロッドレンズアレイにおいて、副走査方向に基準線 L_R から $0 \sim 0.5 \text{ mm}$ 離れたとき（ $y = 0 \sim 0.5$ ）の結像面の範囲における光量ムラ $\Delta E(y, 0)$ は、例えば、12% 以下である。光量ムラ $\Delta E(y, 0)$ の値が小さいほど、ロッドレンズアレイの性能がよいと理解される。一方、光量ムラ $\Delta E(y, 0)$ の観点から、ロッドレンズアレイの性能が過剰に高いと、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b において、屈折率分布の形成が著しく困難となりやすく、実際の製造プロセスにおいて性能のばらつきを抑制しにくくなる。なお、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の開口角を所定の範囲内にすることにより、屈折率分布型ロッドレンズ 1 b の軸線方向における光学性能の一つである $\Delta E(y, 0)$ の値を低減しやすい。

30

【0089】

上記のロッドレンズアレイにおいて、副走査方向に基準線 L_R から $0 \sim 0.5 \text{ mm}$ 離れたとき（ $y = 0 \sim 0.5$ ）の結像面の範囲における光量ムラ $\Delta E(y, 0)$ は、望ましくは、10% 以下である。上記のロッドレンズアレイにおいて、副走査方向に基準線 L_R から $0 \sim 0.3 \text{ mm}$ 離れたとき（ $y = 0 \sim 0.3$ ）の結像面の範囲における光量ムラ $\Delta E(y, 0)$ は、例えば 6% 以下であり、望ましくは 5% 以下である。上記のロッドレンズアレイにおいて、副走査方向に基準線 L_R から $0 \sim 0.1 \text{ mm}$ 離れたとき（ $y = 0 \sim 0.1$ ）の結像面の範囲における光量ムラ $\Delta E(y, 0)$ は、例えば 5% 以下であり、望ましくは 4% 以下である。

40

【0090】

光量ムラ ΔE は、先に説明したように、ロッドレンズアレイを用いた計測のほか、既知のロッドレンズの各パラメータから算出できる。さらに、ロッドレンズアレイの光量ムラ ΔE を評価するために、視野半径の配列ピッチ比であるロッドレンズアレイの重なり度 M を用いることができる。重なり度 M は、 $M = X_0 / 2R$ で表される。光量ムラの一因は、1 つのロッドレンズによって形成された像における光量分布である。このため、特定のロッドレンズの低光量の視野の領域が別のロッドレンズによって補償されるように複数のロッドレンズが配置される場合を想定すると、視野の半径をロッドレンズの配列ピッチで割った値を用いることが適切であると理解される。 X_0 は視野半径であり、 $2R$ はロッドレンズアレイの配列ピッチであり、隣接するロッドレンズの中心軸間の距離である。後述の通り

50

、副走査方向にシフトしたときの主走査方向に沿った光量ムラを重なり度Mによって評価できる。

【0091】

複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bを備えたロッドレンズアレイの重なり度Mは、特定の値に限定されず、例えば1.4～3.6である。これにより、DOFを所望の範囲に保ちつつ、光量ムラを低減しやすい。光量ムラの低減の観点から、ロッドレンズアレイの重なり度Mは、望ましくは1.6以上であり、より望ましくは1.8以上であり、さらに望ましくは2.0以上である。DOFの観点から、ロッドレンズアレイの重なり度Mは、望ましくは3.4以下であり、より望ましくは3.2以下である。

【0092】

ロッドレンズアレイを、工業製品などの検査装置に用いる場合、高度な信頼性及び十分なトレランスが重要である。様々な工業製品には品質のばらつきを考慮した許容範囲が存在する。このため、ロッドレンズアレイを用いた検査装置において、そのような品質のばらつきを前提としつつ検査の信頼性を保つことが重要である。

【0093】

ロッドレンズアレイの光量ムラ及び光量ムラに関連する重なり度M等の特性は、ロッドレンズアレイを適用可能な製品の範囲を拡大するうえで評価に供される指標である。一方、これらの特性は、副走査方向(y方向)におけるシフトに関する光学性能を評価する特性に留まる。ロッドレンズアレイを用いた光学機器において、被写界深度(DOF)のように、原稿及び被検査物の高さが変動しても、光量ムラの変動が小さいことが重要である。

【0094】

ロッドレンズアレイのロッドレンズの光軸方向のシフトに関する光量ムラの変動につき、例えば、光量ムラ深度の指標を用いる。光量ムラ深度は、副走査方向に基準線 L_R から距離yだけ離れており、かつ、ロッドレンズアレイのロッドレンズの光軸に平行な方向における物体面の位置がMTFの値が最大となるときの物体面の位置から ΔL ずれている場合の光量ムラの最大値として、 $\Delta E(y, \Delta L)$ で表す。 ΔL は、光軸に平行な方向における物体面とロッドレンズアレイとの距離が L_i より小さいときに負の値となり、その距離が L_i より大きいときに正の値となる。

【0095】

複数の屈折率分布型ロッドレンズ1bが主走査方向に沿って列をなすように配置されたレンズ群を有するロッドレンズアレイにおいて、副走査方向(y方向)へのずれを表すyの値が0～0.5mmであり、かつ、 ΔL が-1.5mm～1.5mmであるときの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は、例えば、25%以下である。これにより、ロッドレンズアレイを備えた光学機器において、原稿及び被検査物等の対象物の高さが変動しても、光量ムラの変動が小さくなりやすい。

【0096】

上記のy及び ΔL の値の範囲における光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は、望ましくは15%以下であり、より望ましくは10%以下であり、さらに望ましくは8%以下である。ロッドレンズアレイに求められる光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は、原稿及び被検査物等の対象物の品質の水準に応じて異なり得る。例えば、 ΔL 又はyの値がそれほど大きくなく高画質の画像の取得を求められる場合には、yが0～0.3mmであり、かつ、 ΔL が-1.0mm～1.0mmであるときの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は、例えば8%以下であり、望ましくは6%以下である。さらに、yが0～0.2mmであり、かつ、 ΔL が-0.5mm～0.5mmであるときの $\Delta E(y, \Delta L)$ は、例えば6%以下であり、望ましくは4%以下である。

【実施例】

【0097】

以下、実施例により本発明をより詳細に説明する。なお、本発明は、以下の実施例に限定されない。

【0098】

(ガラス組成物の調製及び屈折率分布型ロッドレンズの作製)

表 1 に示す組成となるようにガラス原料を混合し、混合物を熔融して、実施例 1 ～ 4、比較例 1 ～ 3、及び参考例 1 に係る熔融ガラス（ガラス組成物）を得た。表 1 における数値はモル％を示す。各ガラス組成物における所定の成分のモル％基準の含有率の関係を表 2 に示す。各熔融ガラスを紡糸してファイバー状に成形し、得られたガラスファイバーを所定の長さで切断し、切断面を研磨した。これにより、各実施例、各比較例、及び参考例 1 に係るガラス素線を得た。各ガラス素線の直径（線径）は、560 μm であった。次に、各ガラス素線を構成するガラス組成物のガラス転移温度付近に加熱した硝酸ナトリウム溶融塩に各ガラス素線を浸漬し、イオン交換処理を行った。これにより、各ガラス素線に屈折率分布を形成した。その後、イオン交換処理後のガラス素線を 1 周期長に切断し、切断した端面を研磨して、各実施例、各比較例、及び参考例 1 に係る屈折率分布型ロッドレンズを得た。

【0099】

(特性評価)

上記のように作製した屈折率分布型ロッドレンズを適当な長さに切断して得られたサンプルの切断面を鏡面研磨した。次に、このサンプルの一方の端面に格子状のパターンが記載されたシートを接触させ、サンプルの他方の端面からそのパターンの正立像を観察して、各屈折率分布型ロッドレンズの周期長 P を決定した。次に、 $\sqrt{A} = 2\pi / P$ の関係に基づいて、各屈折率分布型ロッドレンズの屈折率分布係数 $\sqrt{A}$ を決定した。次に、屈折率分布係数 $\sqrt{A}$ 、屈折率分布型ロッドレンズの半径 r_0 、及びイオン交換処理前のガラス素線の屈折率 N_c の値と、下記の式 (5) に示す関係に基づいて、各屈折率分布型ロッドレンズの開口角 θ を決定した。結果を表 3 に示す。なお、屈折率 N_c は、1.60 であり、各屈折率分布型ロッドレンズの光軸における屈折率 n_0 とみなすことができた。

$$\theta = \sin^{-1} \{ \sqrt{A} \cdot N_c \cdot r_0 \} \quad \text{式 (5)}$$

【0100】

屈折率 N_c は、各実施例、各比較例、及び参考例 1 に係るガラス組成物の屈折率を評価することで求めた。ガラス組成物からなる母材ガラスを切り出して 15 mm 平方の断面積を有する直方体状の試料を作製し、JIS B 7071-2:2018 に記載の V ブロック法に従って屈折率 N_c を評価した。本方法では V ブロックプリズムに試料を載せ、分光された光線を通した際に試料で曲げられた光線の偏角を測定する。本方法は、この偏角の値と既知の V ブロックプリズムの屈折率から、相対的に試料の屈折率を計算する方法である。評価には島津製作所製の KPR-3000 を用いた。

【0101】

(耐水性評価)

JOGIS 06-2009 に準拠して各ガラス組成物の耐水性を評価した。各ガラス組成物から作製した試料を沸騰水中に 1 時間置いて減量率を測定し、減量率に応じて各ガラス組成物の耐水性を評価した。JOGIS 06-2009 における耐水性は、1 級から 6 級に区分されており、耐水性が 1 級であるガラスは、耐候性、特に水分に対して優れた耐久性を持つといえる。

【0102】

(DOF の測定)

各屈折率分布型ロッドレンズに対し、その側面にノイズ光の除去を目的に所定の処理（凹凸形成処理）を施した。その後、複数の各屈折率分布型ロッドレンズを 2 次元に配列して、図 4 に示すような複数の屈折率分布型ロッドレンズが 2 列に配列されたロッドレンズアレイを作製した。このようにして、各実施例、各比較例、及び参考例 1 に係るロッドレンズアレイを得た。1 mm の間隔に 6 組の黒白のラインペアを有するラインパターンを準備した。すなわち、このラインパターンは、6 本/mm の空間周波数を有していた。ハロゲンランプからの出射光をカラーフィルタ（透過中心波長：530 nm、半値全幅 15 nm）を通過させてラインパターンに照射した。図 1 に示すように、正立等倍像の MTF の値が最大となる位置に、ラインパターン、各ロッドレンズアレイ、及び受光素子を配置し

た。このときの、ロッドレンズアレイと受光素子との間の距離をレンズ-結像位置間距離 L_0 と決定した。結果を表 3 に示す。その後、ロッドレンズアレイと受光素子との間の距離を一定にしたまま、ラインパターンを光軸方向に移動させながら、各位置で MTF の値を求め、 ΔL と MTF の値との関係から MTF の値が 30 % 以上となる作動距離の範囲を特定した。そのうえで、作動距離の最大値から最小値を差し引いて、各屈折率分布型ロッドレンズの被写界深度 (DOF) を決定した。結像距離 TC、視野半径 X_0 、及び重なり度 M とともに、結果を表 3 に示す。また、図 15 に、実施例 2、比較例 3、及び参考例 1 に係るロッドレンズアレイにおける、MTF の値と ΔL との関係を示す。

【0103】

表 3 に示す通り、各実施例に係る屈折率分布型ロッドレンズを備えたロッドレンズアレイにおける DOF は、1.5 ~ 3.0 mm の範囲にあり、各実施例に係る屈折率分布型ロッドレンズが所望の DOF を有することが示唆された。加えて、各実施例に係るガラス組成物の耐水性は 1 級であった。一方、各比較例に係る屈折率分布型ロッドレンズを備えたロッドレンズアレイにおける DOF は小さかった。参考例 1 に係る屈折率分布型ロッドレンズを備えたロッドレンズアレイにおける DOF は 2.4 mm であった。しかし、参考例 1 に係るガラス組成物の耐水性は 4 級であり、参考例 1 に係るガラス組成物は各実施例に係るガラス組成物と比べると耐水性の点で劣っていることが示唆された。

【0104】

(光量ムラ及び重なり度)

表 3 に示すような各パラメータを有する各実施例、各比較例、及び参考例 1 に係るロッドレンズアレイについて光量ムラを求めた。表 3 の各パラメータを有するロッドレンズを、図 4 に示すように二列に配列したものをモデルとして考えた。図 16 A 及び図 16 B は、光量ムラを算出するための光学系を模式的に示している。図 16 A 及び図 16 B において、ロッドレンズ 10 は、各実施例、各比較例、及び参考例 1 に係るロッドレンズアレイにおける屈折率分布型ロッドレンズに相当している。ロッドレンズアレイの MTF が最大となるモデルを考え、結像距離 TC 及びレンズ-結像位置間距離 L_i に関し、表 3 に示した値に従って、屈折率分布型ロッドレンズを配置した。図 16 A 及び図 16 B において、x 方向は、ロッドレンズアレイの主走査方向であり、y 方向は、ロッドレンズアレイの副走査方向である。y = 0 を表す直線はロッドレンズアレイの軸線であり、この直線上において、副走査方向に二列に配列されたロッドレンズの中心からの垂線の長さが等しい。y の値は、y = 0 の軸線からシフトした距離である。

【0105】

表 4 は、式 (3) 及び式 (4) に基づいて算出した各実施例、各比較例、参考例 1 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ $\Delta E(y, 0)$ の値を示す。この光量ムラの値は、 $\Delta L = 0$ の場合の値であり、結像位置 L_i での特定の y における光量分布から求めた。y = 0 mm の場合の $\Delta E(y, 0)$ の値が $\Delta E(0, 0)$ である。表 3 に、各ロッドレンズアレイの重なり度 M を示す。

【0106】

実施例 1、2 及び 3 に係るロッドレンズアレイについて、光量ムラの基準線に沿って求めた光量分布をそれぞれ図 17、図 18、及び図 19 に示す。

【0107】

(光量ムラ深度)

光量ムラの算出と同様に、図 16 A 及び図 16 B に示す光学系に基づいて、実施例 1 ~ 3 及び比較例 4 に係るロッドレンズアレイにおいて、複数の ΔL と y の組について光量ムラを求めた。結果を表 5 及び 6 に示す。 ΔL と y の所定の範囲内の光量ムラ ΔE の最大値が光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ である。なお、比較例 4 に係るロッドレンズアレイの光学的パラメータは以下の通りである。

中心屈折率 $n_0 = 1.450$

光学定数 $\sqrt{A} = 0.1500 \text{ mm}^{-1}$

レンズ長 $Z_0 = 27.75 \text{ mm}$

原稿等－レンズ間距離 $L_0 = 8.211 \text{ mm}$

視野半径 $X_0 = 0.8187 \text{ mm}$

重なり度 $M = 0.9097$

【0108】

－ $1.5 \text{ mm} \leq \Delta L \leq 1.5 \text{ mm}$ 、 $0 \leq y \leq 0.5 \text{ mm}$ の範囲において、実施例 1 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 13.2% であり、実施例 2 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 6.4% であり、実施例 3 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 6.0% であり、比較例 4 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 120.8% であった。

【0109】

－ $1.0 \text{ mm} \leq \Delta L \leq 1.0 \text{ mm}$ 、 $0 \leq y \leq 0.3 \text{ mm}$ の範囲において、実施例 1 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 7.5% であり、実施例 2 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 5.4% であり、実施例 3 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 4.8% であり、比較例 4 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 120.8% であった。

【0110】

－ $0.5 \text{ mm} \leq \Delta L \leq 0.5 \text{ mm}$ 、 $0 \leq y \leq 0.2 \text{ mm}$ の範囲において、実施例 1 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 4.3% であり、実施例 2 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 3.6% であり、実施例 3 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 3.6% であり、比較例 4 に係るロッドレンズアレイの光量ムラ深度 $\Delta E(y, \Delta L)$ は 57.7% であった。

【0111】

10

20

30

40

50

【表 1】

	SiO ₂	TiO ₂	B ₂ O ₃	MgO	ZnO	SrO	BaO	Li ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	Cs ₂ O	ZrO ₂	Sb ₂ O ₃
実施例 1	52.7	4.0	3.0	8.0	6.0	4.0	4.0	1.0	16.9	0.0	0.0	0.5	0.1
実施例 2	52.7	4.0	3.0	8.0	6.0	4.0	4.0	2.0	15.9	0.0	0.0	0.5	0.1
実施例 3	48.7	4.0	3.0	8.0	6.0	4.0	4.0	2.0	19.9	0.0	0.0	0.5	0.1
実施例 4	55.7	4.0	0.0	8.0	6.0	4.0	4.0	1.0	16.9	0.0	0.0	0.5	0.1
比較例 1	52.7	4.0	3.0	8.0	6.0	4.0	4.0	4.0	13.9	0.0	0.0	0.5	0.1
比較例 2	52.7	4.0	4.5	10.9	8.0	4.0	4.0	4.0	7.5	0.0	0.0	0.5	0.1
比較例 3	52.7	4.0	3.0	8.0	6.0	4.0	4.0	9.9	8.0	0.0	0.0	0.5	0.1
参考例 1	61.4	0.0	0.0	0.0	14.6	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6	0.8	0.5	0.1

【 0 1 1 2 】

10

20

30

40

50

【表 2】

	MgO+ZnO	ZnO/(ZnO+MgO)	Li ₂ O+Na ₂ O	Li ₂ O/Na ₂ O	SiO ₂ +B ₂ O ₃ +TiO ₂
実施例 1	13.9	0.4	17.9	0.1	59.6
実施例 2	13.9	0.4	17.9	0.1	59.6
実施例 3	13.9	0.4	21.9	0.1	55.7
実施例 4	13.9	0.4	17.9	0.1	59.6
比較例 1	13.9	0.4	17.9	0.3	59.6
比較例 2	18.9	0.4	11.4	0.5	61.1
比較例 3	13.9	0.4	17.9	1.3	59.7
参考例 1	14.6	1.0	0.0	-	61.4

【 0 1 1 3 】

10

20

30

40

50

【表 3】

	開口角 θ [°]	屈折率 n_0	レンズ直径 D[mm]	屈折率分布定数 χ [mm ⁻¹]	レンズ長 Z[mm]	結像距離 TC[mm]	レンズ-結像位置距離 L_i [mm]	MTF の最大値[%]	DOF[mm]	視野半径 X_0 [mm]	重なり度 M	耐水性
実施例 1	3.80	1.600	0.560	0.148	24.0	64.5	20.3	76.7	2.5	1.37	2.45	1 級
実施例 2	5.21	1.600	0.560	0.203	17.1	54.3	18.6	74.6	1.9	1.72	3.06	1 級
実施例 3	4.89	1.600	0.560	0.190	18.2	58.5	20.1	73.1	2.0	1.74	3.11	1 級
実施例 4	3.72	1.600	0.560	0.145	24.5	66.1	20.8	76.6	2.5	1.38	2.46	1 級
比較例 1	7.31	1.600	0.560	0.285	12.5	33.2	10.4	77.1	1.4	1.35	2.41	1 級
比較例 2	8.42	1.600	0.560	0.328	10.6	33.2	11.3	71.2	1.3	1.68	3.00	1 級
比較例 3	10.8	1.600	0.560	0.421	8.40	23.3	7.50	75.6	1.1	1.44	2.56	1 級
参考例 1	3.90	1.600	0.560	0.151	23.5	64.2	76.1	76.1	2.4	1.40	2.51	4 級

【 0 1 1 4 】

10

20

30

40

50

【表 4】

	重なり度 M	y[mm]										
		0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
実施例 1	2.45	3.3%	3.5%	3.5%	3.6%	3.5%	3.4%	3.2%	3.7%	4.6%	6.3%	9.7%
実施例 2	3.06	1.4%	1.9%	3.2%	3.7%	3.6%	3.5%	3.3%	3.0%	2.7%	2.2%	1.7%
実施例 3	3.11	1.4%	1.8%	2.3%	2.8%	3.6%	4.8%	4.6%	4.4%	4.1%	3.7%	3.2%
実施例 4	2.46	3.5%	3.6%	3.7%	3.7%	3.7%	3.6%	3.5%	3.4%	4.4%	5.7%	8.8%
比較例 1	2.41	2.9%	2.9%	2.9%	3.0%	2.8%	2.7%	3.4%	4.6%	6.1%	9.0%	11.4%
比較例 2	3.00	3.1%	3.2%	3.3%	3.3%	2.5%	2.4%	2.3%	3.1%	2.9%	2.7%	3.1%
比較例 3	2.56	1.8%	2.6%	4.6%	4.7%	4.6%	4.5%	4.2%	3.7%	3.1%	2.5%	2.3%
参考例 1	2.51	4.1%	4.2%	4.3%	3.5%	3.2%	2.9%	2.6%	3.6%	3.8%	4.6%	5.8%

【 0 1 1 5 】

10

20

30

40

50

【表 5】

	重なり度 M	ΔL [mm]	y [mm]											
			0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5	0.55	0.6
実施例 1	2.22	-2.0	4.2%	4.7%	5.2%	5.8%	6.4%	7.5%	11.9%	11.3%	10.6%	9.9%	9.2%	8.4%
	2.28	-1.5	5.0%	5.3%	5.7%	6.0%	6.4%	7.0%	7.8%	10.0%	12.4%	11.6%	10.9%	10.2%
	2.34	-1.0	1.6%	1.9%	2.6%	3.1%	4.2%	6.3%	7.5%	8.1%	9.7%	13.2%	12.4%	11.6%
	2.39	-0.5	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.5%	3.0%	4.1%	5.4%	8.4%	9.6%	13.9%	13.1%
	2.45	0	3.3%	3.5%	3.5%	3.6%	3.5%	3.4%	3.2%	3.7%	4.6%	6.3%	9.7%	13.4%
	2.51	0.5	4.1%	4.2%	4.3%	3.5%	3.2%	2.9%	2.6%	3.1%	3.8%	4.6%	5.8%	7.9%
	2.57	1.0	1.8%	2.5%	4.8%	4.9%	4.8%	4.6%	4.3%	4.0%	3.4%	2.8%	2.0%	3.7%
	2.63	1.5	2.1%	2.5%	3.3%	4.1%	5.5%	6.7%	6.4%	6.0%	5.5%	5.1%	4.5%	3.8%
実施例 2	2.68	2.0	2.7%	3.1%	3.4%	3.8%	4.4%	5.2%	6.9%	7.6%	7.2%	6.7%	6.2%	5.6%
	2.74	-2.0	3.4%	3.6%	3.9%	4.1%	4.3%	4.7%	5.2%	6.1%	8.6%	8.1%	7.6%	7.1%
	2.82	-1.5	1.2%	1.6%	1.8%	2.3%	3.0%	4.0%	5.1%	5.3%	5.8%	6.4%	9.3%	8.8%
	2.90	-1.0	2.1%	2.1%	2.2%	2.1%	2.1%	2.0%	2.1%	2.6%	3.5%	5.0%	6.3%	7.4%
	2.98	-0.5	2.9%	3.0%	3.0%	3.1%	3.1%	3.0%	2.9%	2.8%	2.6%	2.7%	3.3%	4.3%
	3.06	0.0	1.4%	1.9%	3.2%	3.7%	3.6%	3.5%	3.3%	3.0%	2.7%	2.2%	1.7%	1.4%
	3.14	0.5	1.7%	2.1%	2.4%	2.7%	3.1%	4.0%	5.4%	5.2%	4.9%	4.5%	4.1%	3.6%
	3.22	1.0	2.5%	2.6%	2.8%	3.0%	3.2%	3.4%	3.6%	4.1%	5.0%	6.2%	5.8%	5.4%
	3.30	1.5	1.3%	1.6%	1.7%	2.1%	2.7%	3.6%	3.7%	3.8%	4.1%	4.4%	5.1%	6.8%
	3.38	2.0	1.5%	1.5%	1.6%	1.5%	1.5%	1.4%	1.5%	1.9%	2.5%	3.2%	4.4%	4.7%

【 0 1 1 6 】

10

20

30

40

50

【表 6】

	重なり度 M	ΔL [mm]	y [mm]											
			0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5	0.55	0.6
実 施 例 3	2.81	-2.0	1.6%	1.8%	2.3%	2.8%	4.0%	4.8%	5.0%	5.4%	5.9%	6.8%	9.1%	8.5%
	2.88	-1.5	1.9%	1.9%	2.0%	1.9%	1.8%	1.9%	2.4%	3.0%	4.3%	6.0%	6.5%	8.0%
	2.96	-1.0	2.7%	2.7%	2.8%	2.8%	2.8%	2.7%	2.6%	2.5%	2.5%	3.0%	3.9%	5.6%
	3.03	-0.5	2.4%	3.3%	3.1%	3.0%	2.8%	2.6%	2.4%	2.1%	1.9%	1.6%	2.9%	3.4%
	3.11	0.0	1.4%	1.8%	2.3%	2.8%	3.6%	4.8%	4.6%	4.4%	4.1%	3.7%	3.2%	2.6%
	3.18	0.5	2.1%	2.4%	2.6%	2.9%	3.1%	3.4%	4.0%	5.0%	5.8%	5.4%	5.0%	4.6%
	3.26	1.0	2.8%	2.9%	3.1%	3.2%	3.3%	3.5%	3.6%	3.9%	4.4%	5.2%	6.5%	6.1%
	3.33	1.5	1.0%	1.1%	1.0%	1.3%	1.6%	2.0%	2.5%	3.6%	4.0%	4.3%	4.6%	5.3%
比 較 例 4	3.41	2.0	1.7%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.7%	1.6%	1.6%	1.9%	2.5%	3.2%	4.7%
	0.75	-2.0	22.1%	37.4%	66.3%	103.8%	96.8%	90.4%	57.2%	57.1%	57.2%	57.7%	56.6%	55.8%
	0.79	-1.5	25.5%	34.4%	46.1%	81.7%	108.2%	100.0%	82.9%	60.1%	60.2%	59.9%	59.7%	59.1%
	0.83	-1.0	29.1%	34.5%	41.4%	52.8%	90.0%	110.5%	101.1%	73.5%	62.6%	62.3%	62.1%	61.5%
	0.87	-0.5	23.0%	29.1%	40.6%	46.7%	57.7%	120.4%	111.3%	97.5%	65.1%	65.2%	64.6%	64.1%
	0.91	0.0	8.8%	10.9%	16.0%	22.8%	36.5%	61.5%	120.8%	110.9%	94.4%	67.7%	67.2%	66.7%
	0.95	0.5	11.8%	13.0%	13.8%	14.7%	21.3%	31.3%	51.8%	120.7%	109.3%	90.2%	70.0%	69.3%
	1.00	1.0	14.6%	15.8%	16.9%	17.7%	18.5%	22.4%	32.2%	51.6%	120.1%	107.6%	84.0%	72.0%
	1.04	1.5	16.9%	18.1%	19.4%	12.5%	11.0%	9.1%	9.6%	14.6%	30.9%	55.3%	52.7%	31.5%
	1.08	2.0	19.0%	17.6%	16.1%	16.6%	17.7%	18.2%	18.6%	18.6%	19.0%	21.9%	33.8%	35.5%

10

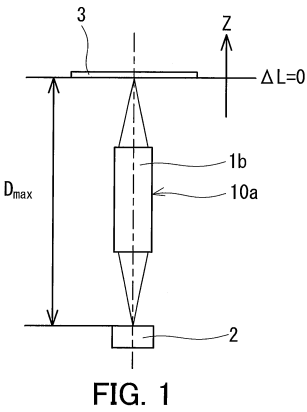
20

30

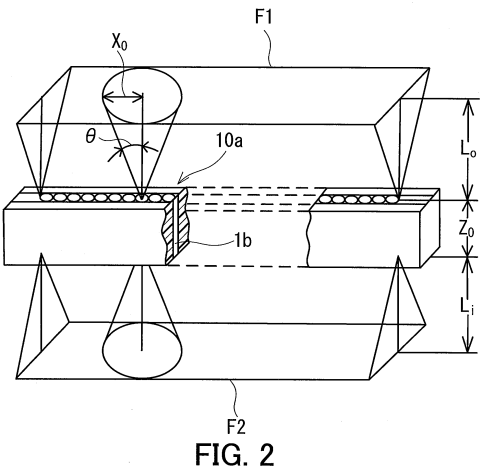
40

50

【図面】
【図 1】

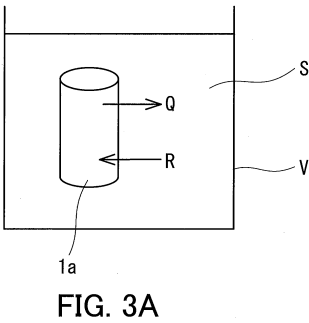


【図 2】

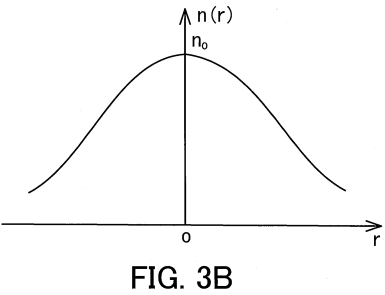


10

【図 3 A】



【図 3 B】



20

30

40

50

【図 4】

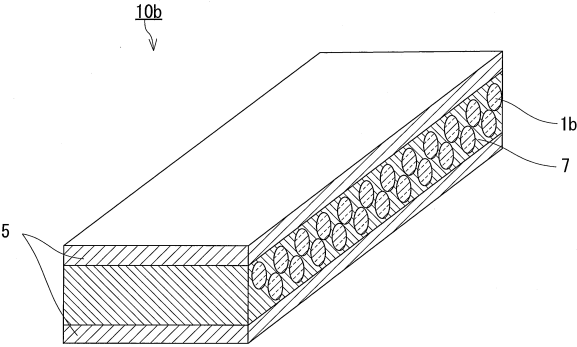


FIG. 4

【図 5】

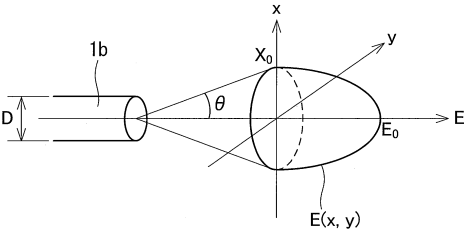


FIG. 5

10

【図 6】

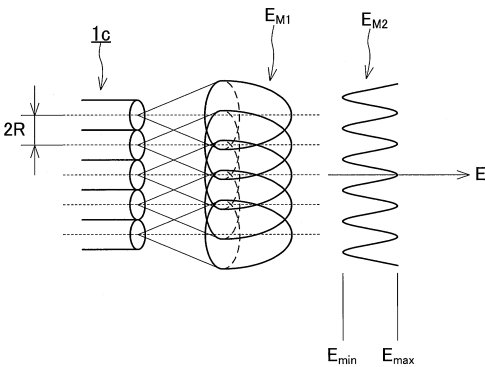


FIG. 6

【図 7 A】

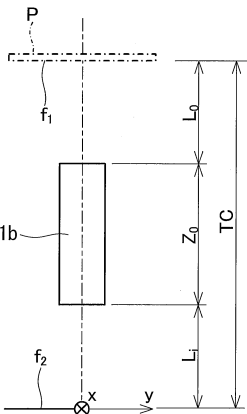


FIG. 7A

20

30

40

50

【図 7 B】

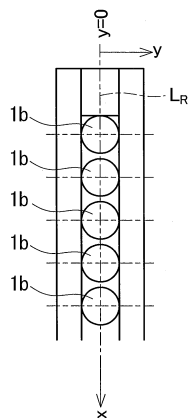


FIG. 7B

【図 8 A】

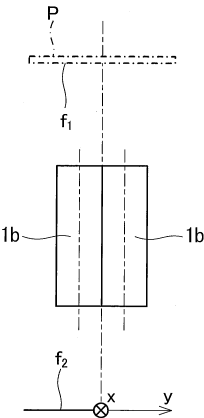


FIG. 8A

10

【図 8 B】

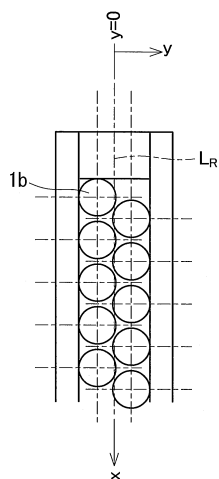


FIG. 8B

【図 9 A】

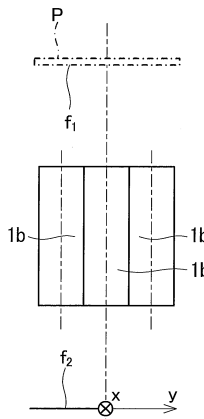


FIG. 9A

20

30

40

50

【図 9 B】

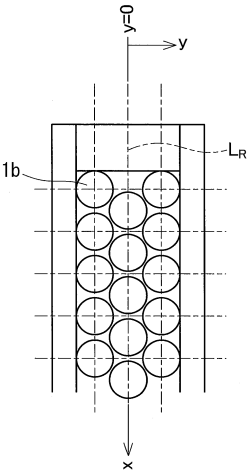


FIG. 9B

【図 1 0】

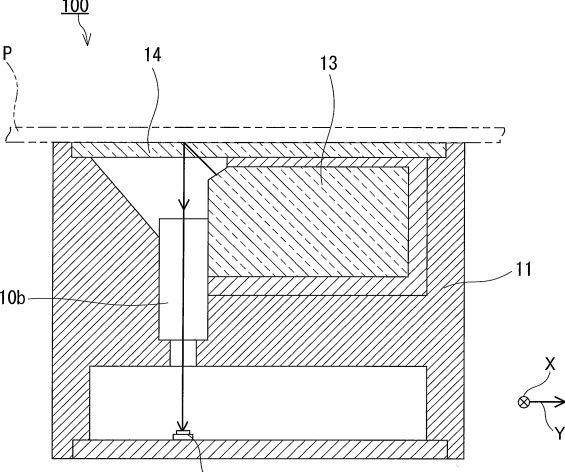


FIG. 10

【図 1 1】

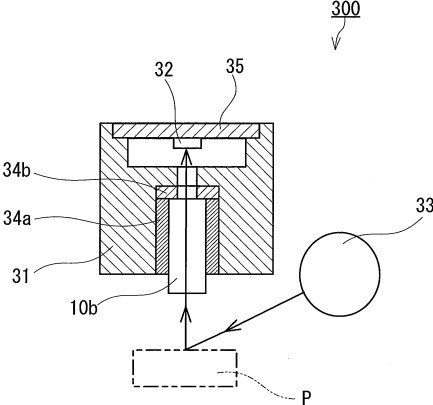


FIG. 11

【図 1 2】

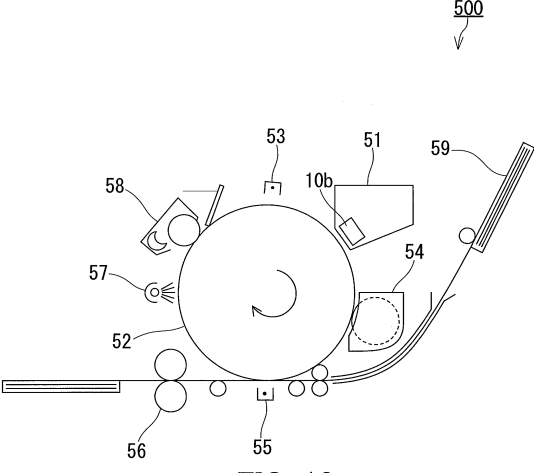


FIG. 12

10

20

30

40

50

【図 1 3】

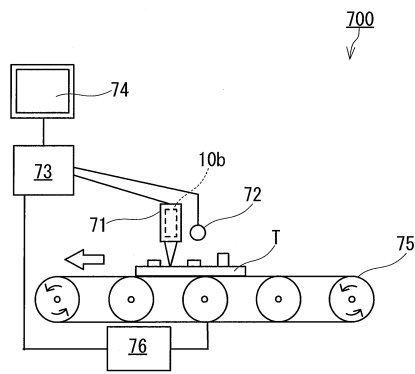


FIG. 13

【図 1 4】

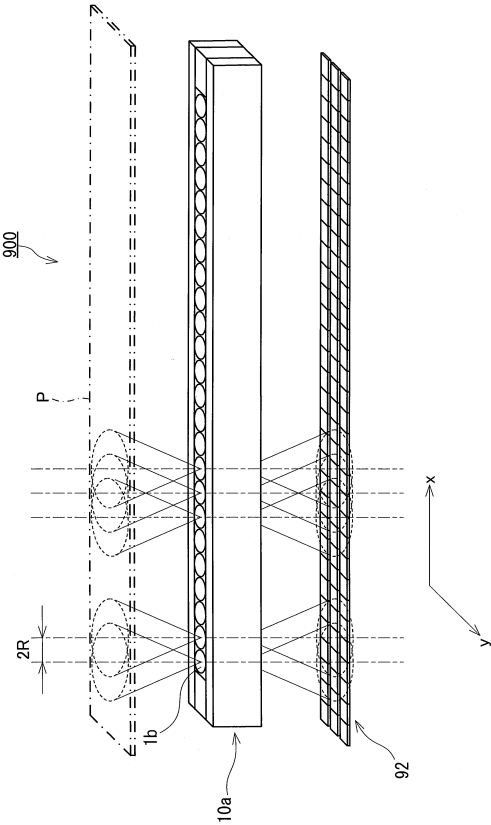


FIG. 14

【図 1 5】

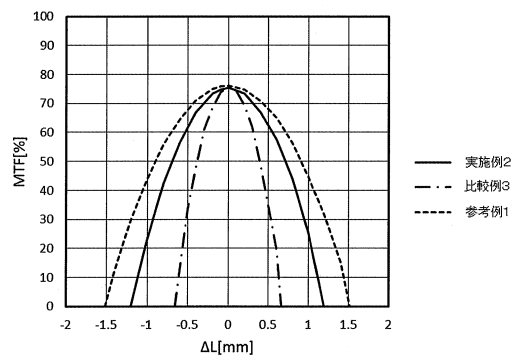


FIG. 15

【図 1 6 A】

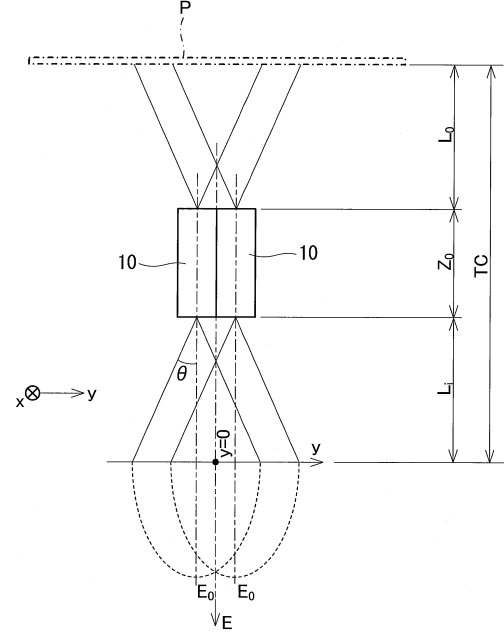


FIG. 16A

10

20

30

40

50

【図 1 6 B】

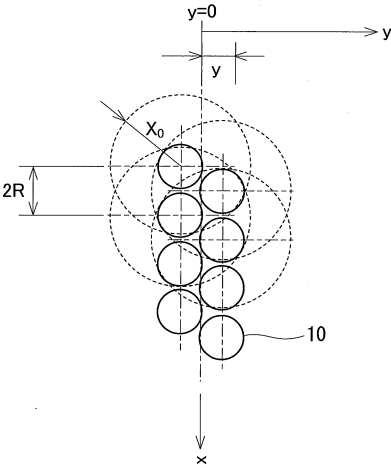


FIG. 16B

【図 1 7】

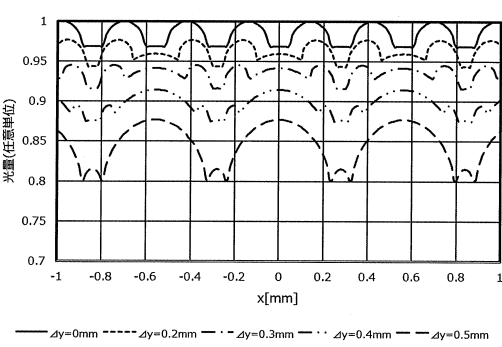


FIG. 17

10

【図 1 8】

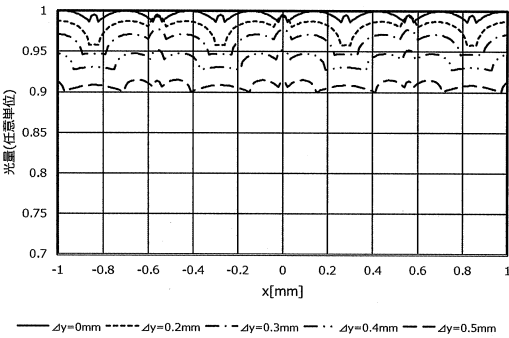


FIG. 18

【図 1 9】

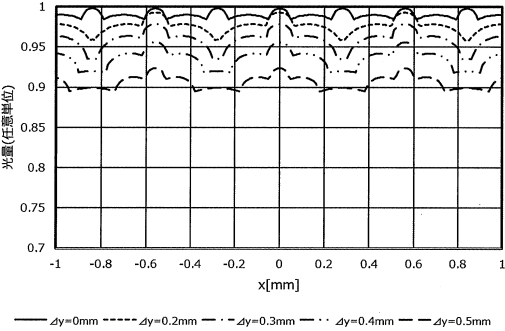


FIG. 19

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

C 0 3 C	3/095(2006.01)	C 0 3 C	3/095	
C 0 3 C	3/097(2006.01)	C 0 3 C	3/097	
G 0 2 B	3/00 (2006.01)	G 0 2 B	3/00	A
		G 0 2 B	3/00	B

東京都港区三田三丁目 5 番 2 7 号 日本板硝子株式会社内

(72)発明者 佐藤 健一

東京都港区三田三丁目 5 番 2 7 号 日本板硝子株式会社内

(72)発明者 高城 智孝

東京都港区三田三丁目 5 番 2 7 号 日本板硝子株式会社内

審査官 森内 正明

(56)参考文献

特開 2 0 0 1 - 1 7 4 6 0 6 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 3 5 5 1 9 (J P , A)

特開平 1 1 - 1 4 8 0 3 (J P , A)

特開平 1 1 - 6 4 6 0 5 (J P , A)

特開 2 0 0 8 - 2 3 0 9 5 6 (J P , A)

国際公開第 2 0 1 7 / 1 5 0 5 1 2 (W O , A 1)

特開 2 0 0 8 - 1 4 7 1 4 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

C 0 3 C 1 / 0 0 - 1 4 / 0 0

G 0 2 B 3 / 0 0 - 3 / 1 4

G 0 2 B 9 / 0 0 - 1 7 / 0 8

G 0 2 B 2 1 / 0 2 - 2 1 / 0 4

G 0 2 B 2 5 / 0 0 - 2 5 / 0 4

H 0 4 N 1 / 0 2 8 - 1 / 2 0 7