

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7301530号
(P7301530)

(45)発行日 令和5年7月3日(2023.7.3)

(24)登録日 令和5年6月23日(2023.6.23)

(51)国際特許分類		F I		
G 0 2 B	3/00 (2006.01)	G 0 2 B	3/00	Z
G 0 2 B	5/00 (2006.01)	G 0 2 B	3/00	A
H 0 1 L	27/146 (2006.01)	G 0 2 B	5/00	B
H 0 4 N	25/70 (2023.01)	H 0 1 L	27/146	D
		H 0 4 N	25/70	
請求項の数 20 (全20頁)				
(21)出願番号	特願2018-225866(P2018-225866)	(73)特許権者	000001007	
(22)出願日	平成30年11月30日(2018.11.30)		キヤノン株式会社	
(65)公開番号	特開2020-86408(P2020-86408A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号	
(43)公開日	令和2年6月4日(2020.6.4)	(74)代理人	100126240	
審査請求日	令和3年11月24日(2021.11.24)		弁理士 阿部 琢磨	
		(74)代理人	100124442	
			弁理士 黒岩 創吾	
		(72)発明者	河村 嘉久	
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ	
			ヤノン株式会社内	
		(72)発明者	稲 秀樹	
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ	
			ヤノン株式会社内	
		(72)発明者	吉田 凌	
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ	
			最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 光学装置および機器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基体と、
前記基体の上に配列された複数のレンズと、
を備える光学装置であって、
複数のレンズの各々のレンズの凸面または凹面を成す曲面は、少なくとも、珪素および
窒素を含む第1層と、珪素および窒素を含む第2層と、で定義されており、
前記第1層は前記第2層と前記基体との間に設けられており、
前記第1層と前記第2層との間に、前記第1層および前記第2層とは組成が異なる第3
層が設けられており、
前記第3層の厚さは前記第1層の厚さおよび前記第2層の厚さよりも小さく、
前記第3層の厚さは前記第1層の厚さの1/10以下であり、
前記第3層の厚さは前記第2層の厚さの1/10以下であり、
前記第2層は前記複数のレンズの間で不連続である、
ことを特徴とする光学装置。

【請求項2】

基体と、
前記基体の上に配列された複数のレンズと、
を備える光学装置であって、
複数のレンズの各々のレンズの凸面または凹面を成す曲面は、少なくとも、珪素および

窒素を含む第 1 層と、珪素および窒素を含む第 2 層と、で定義されており、
前記第 1 層は前記第 2 層と前記基体との間に設けられており、

前記第 1 層と前記第 2 層との間に、前記第 1 層および前記第 2 層とは組成が異なる第 3 層が設けられており、

前記第 3 層の厚さは前記第 1 層の厚さおよび前記第 2 層の厚さよりも小さく、

前記第 3 層における酸素濃度が、前記第 1 層における酸素濃度および前記第 2 層における酸素濃度よりも高く、

前記第 2 層は前記複数のレンズの間で不連続である、

ことを特徴とする光学装置。

【請求項 3】

前記第 3 層は珪素、窒素および酸素を含む、

請求項 1 または 2 に記載の光学装置。

【請求項 4】

前記第 3 層における酸素濃度が、前記第 1 層における酸素濃度および前記第 2 層における酸素濃度よりも高い、

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 5】

前記第 3 層の厚さは 20 nm 未満である、

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 6】

前記第 3 層の厚さは前記第 1 層の厚さと前記第 2 層の厚さの和の $1/100$ 以下である、

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 7】

前記第 1 層の厚さおよび前記第 2 層の厚さの和は 800 nm 以上であり、

前記第 3 層の厚さは 5 nm 以下である、

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 8】

前記第 1 層と前記第 3 層との間の距離、および、前記第 2 層と前記第 3 層との間の距離は、前記第 3 層の厚さよりも小さい、

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 9】

前記複数のレンズの各々は、前記基体の側とは反対側に前記凸面を有し、

前記第 1 層が前記第 2 層と前記基体との間に位置し、

前記第 2 層の厚さが前記第 1 層の厚さよりも小さい、

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 10】

前記第 3 層の前記基体からの高低差が、前記第 1 層の厚さおよび前記第 2 層の厚さよりも小さい、

請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 11】

前記複数のレンズの間に位置する部分と前記基体との間に前記第 1 層が延在する、

請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 12】

前記第 2 層および前記第 3 層は前記複数のレンズの間で不連続である、

請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 13】

前記複数のレンズの間に設けられた遮光壁を備える、

請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 14】

前記凸面に沿って設けられた、珪素と窒素と酸素を含む第 4 層を備える、

10

20

30

40

50

請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 15】

前記第 4 層の厚さが前記第 3 層の厚さよりも大きく、
前記第 4 層の厚さが前記第 1 層の厚さおよび前記第 2 層の厚さよりも小さい、
請求項 14 に記載の光学装置。

【請求項 16】

前記第 4 層の酸素濃度が前記第 3 層の酸素濃度よりも高い、
請求項 14 または 15 に記載の光学装置。

【請求項 17】

前記基体は、半導体層および配線構造と、を含み、
前記配線構造は前記半導体層に設けられた半導体素子に接続された配線層を含み、
前記配線構造と前記複数のレンズの間に前記半導体層が位置する、
請求項 1 乃至 16 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

10

【請求項 18】

前記基体は、複数のフォトダイオードが設けられた半導体層を含み、
前記複数のフォトダイオードのうちの 2 つ以上のフォトダイオードが、前記複数のレン
ズのうちの 1 つのレンズに対応している、
請求項 1 乃至 17 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

【請求項 19】

前記複数のレンズに対して前記基体の側とは反対側に設けられたレンズアレイを備える、
請求項 1 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の光学装置。

20

【請求項 20】

請求項 1 乃至 19 のいずれか 1 項に記載の光学装置を備える機器であって、
前記光学装置は電子デバイスであって、
前記光学装置に対応付けられた光学系、
前記光学装置を制御する制御装置、
前記光学装置から出力された信号を処理する処理装置、
前記光学装置で得られた情報を表示する表示装置、
前記光学装置で得られた情報を記憶する記憶装置、および、
前記光学装置で得られた情報に基づいて前記光学装置を移動させる機械装置、
の少なくともいずれかを更に備えることを特徴とする機器。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レンズを備える光学装置に関する。

【背景技術】

【0002】

CMOSイメージセンサーなどの光学装置では、オンチップのレンズアレイによる集光
が行われる。オンチップのレンズアレイはシリコン化合物層で構成されうる。特許文献 1
には、層内レンズが、窒化シリコン層と酸化シリコン層とが交互に積層された構造を有す
ることが開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2005 - 174967 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 では、窒化シリコン層と酸化シリコン層の間での光の損失や、収差の悪化に
より、十分な光学特性を得ることができない。そこで本発明は、レンズアレイの光学特性

50

を向上した光学装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題を解決するための手段は、基体と、前記基体の上に配列された複数のレンズと、を備える光学装置であって、複数のレンズの各々のレンズの凸面または凹面を成す曲面は、少なくとも、珪素および窒素を含む第1層と、珪素および窒素を含む第2層と、で定義されており、前記第1層は前記第2層と前記基体との間に設けられており、前記第1層と前記第2層との間に、前記第1層および前記第2層とは組成が異なる第3層が設けられており、前記第3層の厚さは前記第1層の厚さおよび前記第2層の厚さよりも小さく、前記第3層の厚さは前記第1層の厚さの $1/10$ 以下であり、前記第3層の厚さは前記第2層の厚さの $1/10$ 以下であり、前記第2層は前記複数のレンズの間に不連続である、ことを特徴とする。

10

また、別の手段は、基体と、前記基体の上に配列された複数のレンズと、を備える光学装置であって、複数のレンズの各々のレンズの凸面または凹面を成す曲面は、少なくとも、珪素および窒素を含む第1層と、珪素および窒素を含む第2層と、で定義されており、前記第1層は前記第2層と前記基体との間に設けられており、前記第1層と前記第2層との間に、前記第1層および前記第2層とは組成が異なる第3層が設けられており、前記第3層の厚さは前記第1層の厚さおよび前記第2層の厚さよりも小さく、前記第3層における酸素濃度が、前記第1層における酸素濃度および前記第2層における酸素濃度よりも高く、前記第2層は前記複数のレンズの間に不連続である、ことを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、複数のレンズの光学特性を向上した光学装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】光学装置を説明する模式図。

【図2】レンズアレイの形成方法を説明する模式図。

【図3】光学装置を説明する模式図。

【図4】レンズアレイの形成方法を説明する模式図。

【図5】光学装置を説明する模式図。

30

【図6】光学装置を説明する模式図。

【図7】機器を説明する模式図。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、図面を参照して、本発明を実施するための形態を説明する。なお、以下の説明および図面において、複数の図面に渡って共通の構成については共通の符号を付している。そのため、複数の図面を相互に参照して共通する構成を説明し、共通の符号を付した構成については適宜説明を省略する。

【0009】

図1(a)は、光学装置930の一例の断面模式図を示す。光学装置930は基体10と、レンズアレイ200とを備える。レンズアレイ200は基体10の上にて複数のレンズ201、202、203が配列されてなる。複数のレンズ201、202、203の各々は、レンズの屈折面としての凸面または凹面を成す曲面（以下、レンズ曲面と称する）を有する。図1(a)では、レンズ曲面を、複数のレンズ201、202、203が矢印で指す点線で示している。本例では、レンズ201、202、203はそれぞれ上凸の平凸レンズであるから、レンズ201、202、203のレンズ曲面は、基体10の側とは反対側の凸面である。レンズ曲面は、少なくとも、珪素(Si)および窒素(N)を含む層である窒化シリコン層21と、珪素(Si)および窒素を含む層(N)である窒化シリコン層22と、で構成されている。窒化シリコン層21と窒化シリコン層22との間に窒化シリコン層21および窒化シリコン層22とは組成が異なる中間層23が設けられてい

40

50

る。窒化シリコン層 2 1 が窒化シリコン層 2 2 と基体 1 0 との間に位置する。ここで、比較対象となる 2 つの層の「組成」が異なることは、2 つの層の構成元素の少なくとも 1 つの元素の有無が異なる、つまり、2 つの層の全構成元素が完全一致しないことを包含する。また、比較対象となる 2 つの層の「組成」が異なることは、2 つの層の全構成元素が完全一致する場合、または、2 つの層の全構成元素が完全一致しない場合であって、少なくとも 1 つの元素の濃度が異なることを包含する。

【0010】

珪素 (Si) および窒素 (N) を含む層である窒化シリコン層 2 1、2 2 はその可視光に対する透過率、純粋な酸化シリコンや典型的な透明樹脂よりも高い屈折率を有する点でレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の材料として適切である。レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 のパワーを高めるためにはレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の高さを高くすることが有効である。その場合に、レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 を厚い単層の窒化シリコン層で構成すると、厚い単層の窒化シリコン層の内部応力が大きくなる。図 1 (a) には窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a と窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b とを示している。仮に中間層 2 3 が無い場合、窒化シリコン層 2 1 と窒化シリコン層 2 2 とが連続することになり、厚さ $T_a + T_b$ の厚い単層の窒化シリコン層でレンズアレイ 2 0 0 が構成されることになる。窒化シリコン層の厚さが大きければ大きいほど、窒化シリコン層の内部応力が大きくなる。窒化シリコン層の内部応力が大きくなると、レンズアレイ 2 0 0 に生じる歪みによって、レンズアレイ 2 0 0 の光学特性が低下する。これに対して、窒化シリコン層 2 1 と窒化シリコン層 2 2 との間に中間層 2 3 を設けることで、窒化シリコン層 2 1 と窒化シリコン層 2 2 とを不連続にし、内部応力の増大を抑制している。つまり、中間層 2 3 は窒化シリコン層 2 1 と窒化シリコン層 2 2 との間の応力緩和層として機能しうる。窒化シリコン層 2 1 と窒化シリコン層 2 2 とが組成的に不連続であればよいので、中間層 2 3 の組成がおよび窒化シリコン層 2 1 と窒化シリコン層 2 2 の組成と異なっていればよい。

【0011】

中間層 2 3 の厚さ T_c は窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a よりも小さいこと ($T_c < T_a$) が好ましい。中間層 2 3 の厚さ T_c は窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b よりも小さいこと ($T_c < T_b$) が好ましい。中間層 2 3 の厚さ T_c を窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a や窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b よりも小さくすることで、中間層 2 3 による光学的影響を、窒化シリコン層 2 1、2 2 による光学的影響よりも少なくすることができる。仮に中間層 2 3 の厚さ T_c を、窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a 以上、かつ、窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b 以上にすると、中間層 2 3 での光の屈折が窒化シリコン層 2 1 での光の屈折と窒化シリコン層 2 2 での光の屈折に対して無視できないほど大きくなる。そのため、球面収差、コマ収差、非点収差などの収差が生じて、レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の光学特性が低下する。中間層 2 3 の厚さ T_c を、窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a 未満、かつ、窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b 未満にすることで、光学特性を向上できる。例えば、中間層 2 3 内での光路長を、窒化シリコン層 2 1、2 2 内での光路長よりも短くすることができるため、中間層 2 3 内での屈折の影響は窒化シリコン層 2 1、2 2 内での屈折の影響よりも小さくできる。なお、厳密には中間層 2 3 はレンズ曲面を構成しうるが、中間層 2 3 がレンズ曲面を構成することは本質的でない。なぜなら、本実施形態の思想として、レンズにおける主たる屈折体は窒化シリコン層 2 1 と窒化シリコン層 2 2 であって、中間層 2 3 がレンズにおける屈折体として実質的な機能を有しないことが理想的であるからである。

【0012】

中間層 2 3 の厚さ T_c は窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a の $1/10$ 以下でありうる ($T_c \leq T_a/10$)。中間層 2 3 の厚さ T_c は窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_b の $1/10$ 以下でありうる ($T_c \leq T_b/10$)。中間層 2 3 の厚さ T_c は窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a と窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b の和の $1/10$ 以下でありうる ($T_c \leq (T_a + T_b)/10$)。中間層 2 3 の厚さ T_c は窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a と窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b の和の $1/100$ 以下でありうる ($T_c \leq (T_a + T_b)/100$)。窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a と窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b の和は例えば 800 nm 以

上であり ($T_a + T_b = 800 \text{ nm}$)、例えば 1000 nm 以上である ($T_a + T_b = 1000 \text{ nm}$)。窒化シリコン層 21 の厚さ T_a は、例えば 100 nm 以上であり、例えば 300 nm 以上であり、例えば 500 nm 以上であり、例えば 1000 nm 以下であり、例えば 800 nm 以下である。窒化シリコン層 22 の厚さ T_b は、例えば 100 nm 以上であり、例えば 300 nm 以上であり、例えば 1000 nm 以下であり、例えば 800 nm 以下であり、例えば 500 nm 以下である。窒化シリコン層 22 の厚さ T_b が窒化シリコン層 21 の厚さ T_a よりも小さくなりうる ($T_a > T_b$)。中間層 23 の厚さ T_c は 20 nm 未満でありうる ($T_c < 20 \text{ nm}$)。中間層 23 の厚さ T_c が 20 nm 未満であれば、可視光に対する中間層 23 の光学的な影響をほとんど無視できるようになる。中間層 23 の厚さ T_c は、レンズ 201、202、203 に入射する光の波長、中間層 23 の屈折率 N_c に対して、 $N_c \times T_c < \lambda / 10$ であることが好ましい。 $N_c \times T_c$ は中間層 23 の光学膜厚である。化学量論的組成の窒化シリコン (Si_3N_4) の屈折率を 2.0、化学量論的組成の窒化シリコン (SiO_2) の屈折率を 1.5 とすると、窒化シリコン層が酸化されて形成された中間層 23 の屈折率は 1.5 ~ 2.0 である。ここで、入射光が可視光である場合を考える。なお、可視光の波長は $400 \sim 800 \text{ nm}$ であるものとする。厚さ T_c が 20 nm 未満であれば、中間層 23 の屈折率が 2.0 以下でありさえすれば、入射光の波長が 400 nm 以上の場合に、 $N_c \times T_c < \lambda / 10$ を満たす。中間層 23 の厚さ T_c は 5 nm 以下でありうる ($T_c = 5 \text{ nm}$)。屈折率 N_c が 8.0 である中間層 23 を仮定すると、入射光の波長が 400 nm 以上の場合に、厚さ T_c が 5 nm 未満であれば、 $N_c \times T_c < \lambda / 10$ を満たす。よって、仮に中間層 23 が単結晶シリコン (屈折率は $5.6 \sim 3.5$) のような高屈折率材料であったとしても、波長が 400 nm 以上である入射光に対して、中間層 23 は屈折による光学特性への影響をほとんど生じない。なお、仮に中間層 23 が光を吸収する特性があったとしても、厚さ T_c が 20 nm 未満であれば、光の吸収による損失は無視できるし、厚さ T_c が 5 nm 未満であれば、なおさらである。中間層 23 は少なくとも単原子層よりも厚く、中間層 23 の厚さ T_c は 1 nm 以上でありうる ($T_c = 1 \text{ nm}$)。中間層 23 の厚さ T_c は 1 nm 以上でありうる ($T_c = 1 \text{ nm}$)。

【0013】

窒化シリコン層 21 と中間層 23 との間の距離は中間層 23 の厚さよりも小さくなりうる。本例において窒化シリコン層 21 と中間層 23 は互いに接しており、窒化シリコン層 21 と中間層 23 との間の距離はゼロである。窒化シリコン層 22 と中間層 23 との間の距離は中間層 23 の厚さよりも小さくなりうる。本例において窒化シリコン層 22 と中間層 23 は互いに接しており、窒化シリコン層 22 と中間層 23 との間の距離はゼロである。

【0014】

光学装置 930 は、レンズの曲面に沿って設けられた反射防止層 24 を備えうる。本例の反射防止層 24 は珪素と窒素と酸素を含む層 (酸窒化シリコン層) である。光学装置 930 は、レンズアレイ 200 に対して基体 10 の側とは反対側に設けられた平坦化層 25 を備えうる。本例の平坦化層は珪素と酸素を含む層 (酸化シリコン層) であるが、樹脂を含む層 (樹脂層) であってもよい。平坦化層 25 の下面はレンズ曲面に沿った形状を有し、平坦化層 25 の上面は平坦化層 25 の下面よりも平坦であり、平坦化層 25 の上面はレンズ曲面よりも平坦である。本例の反射防止層 24 は平坦化層 25 とレンズアレイ 200 との間に配されており、平坦化層 25 からレンズアレイ 200 へ入射する光の反射を抑制する。反射防止層 24 を省略して、平坦化層 25 がレンズアレイ 200 に接するようにすることもできる。平坦化層 25 を省略して、空気等の外部媒質からレンズアレイ 200 へ入射するように構成することもでき、その場合にも反射防止層 24 を設けることは有用である。反射防止層 24 の屈折率は、レンズ曲面を構成する窒化シリコン層 21、22 の屈折率と、レンズアレイ 200 に対して、光が入射する側の媒質 (本例では平坦化層 25) の屈折率との間の屈折率を有することが好ましい。反射防止層 24 と平坦化層 25 をともに省略し、外部媒質からレンズアレイ 200 へ光が直接的に入射するように構成することもできる。

【 0 0 1 5 】

反射防止層 2 4 の厚さ T_d は窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a よりも小さくてよい ($T_d < T_a$)。反射防止層 2 4 の厚さ T_d は窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b よりも小さくてよい ($T_d < T_b$)。反射防止層 2 4 の厚さ T_d が中間層 2 3 の厚さ T_c よりも大きいことが好ましい ($T_c < T_d$)。また、このように中間層 2 3 の厚さ T_c を他の層よりも小さくすることで、中間層 2 3 以外の層が生じる光学的な作用に比べて、中間層 2 3 が生じる光学的な作用を小さくし、中間層 2 3 の光学的な影響を小さくすることができる。反射防止層 2 4 の厚さ T_d は、例えば 100 nm 以下であってよく、20 nm 以上であってよく、50 nm 以上であってよい。窒化シリコン層 2 1 と反射防止層 2 4 との間の距離は窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b よりも小さくなりうる。窒化シリコン層 2 1 と反射防止層 2 4 との間の距離は反射防止層 2 4 の厚さ T_d よりも小さくなりうる。本例において窒化シリコン層 2 1 と反射防止層 2 4 は互いに接しており、窒化シリコン層 2 1 と反射防止層 2 4 との間の距離はゼロである。窒化シリコン層 2 2 と反射防止層 2 4 との間の距離は反射防止層 2 4 の厚さ T_d よりも小さくなりうる。本例において窒化シリコン層 2 2 と反射防止層 2 4 は互いに接しており、窒化シリコン層 2 2 と反射防止層 2 4 との間の距離はゼロである。

10

【 0 0 1 6 】

反射防止層 2 4 がレンズアレイ 2 0 0 のレンズ曲面に沿った凹凸を有する。一方、反射防止層 2 4 が凹凸を有するのと対照的に、中間層 2 3 は基体 1 0 の主面に沿って平坦であり、反射防止層 2 4 の凹凸よりも、中間層 2 3 の基体 1 0 からの高低差が小さい。反射防止層 2 4 の凹凸は、窒化シリコン層 2 1、2 2 が有する、窒化シリコン層 2 1、2 2 の厚さ T_a 、 T_b 以下の凹凸に起因するものである。中間層 2 3 は中間層 2 3 の基体 1 0 からの高低差が窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a よりも小さくなりうる。中間層 2 3 の基体 1 0 から高低差が窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_c よりも小さくなりうる。

20

【 0 0 1 7 】

平坦化層 2 5 や反射防止層 2 4 は、複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の間に位置する部分 (中間部分) 部分を有する。この中間部分と基体 1 0 との間に、レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 を構成する層が延在部分 2 0 4、2 0 5、2 0 6、2 0 7 を有するように位置している。本例では、延在部分 2 0 4、2 0 5、2 0 6、2 0 7 は窒化シリコン層 2 1 によって構成されている。つまり、中間部分と、基体 1 0 との間に窒化シリコン層 2 1 が延在している。延在部分 2 0 4、2 0 5、2 0 6、2 0 7 を中間層 2 3 や窒化シリコン層 2 2 で構成することもできる。しかしながら、本例のように、窒化シリコン層 2 2 が複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の間で不連続であることが好ましい。

30

【 0 0 1 8 】

また、本例のように、中間層 2 3 が複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の間で不連続であることが好ましい。窒化シリコン層 2 2 や中間層 2 3 が複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の間で不連続となるような位置に、窒化シリコン層 2 2 や中間層 2 3 を配置することは、複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の光学特性を向上するうえで有利である。延在部分 2 0 4、2 0 5、2 0 6、2 0 7 における窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_e はレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 における窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a よりも小さくなりうる ($T_e < T_a$)。例えば、厚さ T_e は厚さ T_a の $1/2$ 以下であってよく、厚さ T_e は厚さ T_a の $1/3$ 以下であってよく、厚さ T_e は厚さ T_a の $1/4$ 以上であってよい。延在部分 2 0 4、2 0 5、2 0 6、2 0 7 における窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_e は窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b よりも小さくなりうる ($T_e < T_b$)。例えば、厚さ T_e は厚さ T_b の $1/2$ 以下であってよく、厚さ T_e は厚さ T_b の $1/4$ 以上であってよい。厚さ T_e は厚さ T_d よりも大きくてよい ($T_d < T_e$)。厚さ T_e は例えば 100 nm 以上であり、例えば 500 nm 以下であり、例えば 300 nm 以下である。

40

【 0 0 1 9 】

図 1 (b) には、窒化シリコン層 2 1、2 2 と中間層 2 3 と反射防止層 2 4 と平坦化層 2 5 を含む部分における珪素 (Si) と窒素 (N) と酸素 (O) のそれぞれの濃度の分布

50

を示している。ここで、特に明記しない場合に濃度の単位は $\text{atom}\%$ (原子%) であり、 $\text{atom}\%$ で表される濃度を相対濃度と称し、 atom/cm^3 で表される濃度を絶対濃度と称する。相対濃度の分母は軽元素を除く元素の原子の個数である。

【0020】

図1(b)に示した濃度分布を説明するため、各層21、22、23、24、25について、各層の符号をQとして、珪素濃度を“ $\text{Si}[Q]$ ”と表し、窒素濃度を“ $\text{N}[Q]$ ”、酸素濃度を“ $\text{O}[Q]$ ”とする。例えば窒化シリコン層21の窒素濃度は、 $Q=21$ なので $\text{N}[21]$ で表され、中間層23の酸素濃度は $Q=23$ なので $\text{O}[23]$ で表される。図1(b)から理解されるように、珪素濃度の関係は、例えば $\text{Si}[25] < \text{Si}[24] < \text{Si}[23] < \text{Si}[21] = \text{Si}[22]$ を満たしうる。窒素濃度の関係は、例えば $\text{N}[25] < \text{N}[24] < \text{N}[23] < \text{N}[21] = \text{N}[22]$ を満たしうる。酸素濃度の関係は、例えば $\text{O}[21] = \text{O}[22] < \text{O}[23] < \text{O}[24] < \text{O}[25]$ を満たしうる。各層21、22、23、24、25の組成がこの関係の少なくとも一部を満足することは、複数のレンズの光学特性を向上するうえで有利である。

【0021】

中間層23は酸素を含みうる。中間層23における酸素濃度が、窒化シリコン層21における酸素濃度よりも高い。また、中間層23における酸素濃度が、窒化シリコン層22における酸素濃度よりも高い。本例の中間層23は窒化シリコン層の表面が自然酸化することによって形成されている。そのため、中間層23は珪素、窒素および酸素を含みうる。中間層23が窒化シリコンの自然酸化によって形成される場合、中間層23の珪素濃度($\text{atom}\%$)は窒化シリコン層21、22の珪素濃度よりも低くなりうる。中間層23の酸素の絶対濃度は、窒化シリコン層21、22の酸素の絶対濃度よりも高い。また、中間層23の窒素濃度($\text{atom}\%$)は窒化シリコン層21、22の窒素濃度よりも低くなりうる。これは、元から存在する珪素と窒素に、自然酸化によって酸素が追加されたことによって相対的に珪素および窒素が減少するからである。そのため、中間層23の窒素の絶対濃度は、窒化シリコン層21、22の窒素の絶対濃度と等しくてもよく、中間層23の珪素の絶対濃度は、窒化シリコン層21、22の珪素の絶対濃度と等しくてもよい。中間層23の組成の他の例として中間層23は炭素を含みうる。炭素を含む中間層は窒化シリコン層の表面に有機物が吸着することによって形成されうる。その場合、中間層23は珪素、窒素および炭素を含みうる。自然酸化および有機物の吸着の両方が生じてもよく、その場合、中間層23は珪素、窒素、酸素および炭素を含みうる。中間層23が任意の元素を含むように、成膜装置を用いて人工的に中間層23を形成してもよい。自然酸化や吸着によって形成される中間層23の厚さ T_c は5nm以下でありうる($T_c \leq 5\text{nm}$)。

【0022】

窒化シリコン層21、22が化学量論的組成を有する窒化シリコンからなる場合には Si_3N_4 の組成となるが、窒化シリコン層21、22は非化学量論的組成を有していてもよい。窒化シリコン層21、22は、珪素および窒素よりも少ない、軽元素(水素(H)とヘリウム(He))以外の元素を含んでいてもよい。珪素および窒素の少なくとも一方よりも多い、軽元素以外の元素を含んでいてもよい。窒化シリコン層21、22が含みうる、軽元素以外の元素としては、炭素(C)、酸素(O)、弗素(F)、塩素(Cl)、アルゴン(Ar)が例示される。窒化シリコン層21、22は珪素および窒素の少なくとも一方よりも多い軽元素(水素(H)とヘリウム(He))を含みうる。窒化シリコン層21、22が含む軽元素は珪素および窒素よりも少なくてもよい。

【0023】

反射防止層24の酸素濃度が中間層23の酸素濃度よりも高くてもよい。中間層23に含まれる酸素が多いと、中間層23の屈折率と窒化シリコン層21、22の屈折率の差が大きくなり、窒化シリコン層21と窒化シリコン層22との間での光の反射が増大しうる。中間層23の酸素濃度を酸窒化シリコン層である反射防止層24の酸素濃度よりも低くすることで、窒化シリコン層21と窒化シリコン層22との間での光の反射を低減できる。

【0024】

10

20

30

40

50

図 1 (b) に記載した濃度分布における各元素の濃度の一例を説明する。下記に示した各層の元素濃度の範囲から、珪素濃度と窒素濃度と酸素濃度の和が 1 0 0 a t o m % を超えないように適宜調整することができる。窒化シリコン層 2 1 および窒化シリコン層 2 2 における珪素濃度は、例えば 5 0 a t o m % 以上であり、例えば 8 0 a t o m % 以下である。中間層 2 3 における珪素濃度は、例えば 1 a t o m % 以上であり、例えば 1 0 a t o m % 以上であり、例えば 3 0 a t o m % 以上であり、例えば 8 0 a t o m % 以下である。反射防止層 2 4 および平坦化層 2 5 における珪素濃度は、例えば 2 0 a t o m % 以上であり、例えば 6 0 a t o m % 以下である。窒化シリコン層 2 1 および窒化シリコン層 2 2 における窒素濃度は、例えば 2 0 a t o m % 以上であり、例えば 5 0 a t o m % 以下である。中間層 2 3 における窒素濃度は、例えば 1 a t o m % 以上であり、例えば 1 0 a t o m % 以上であり、例えば 2 0 a t o m % 以上であり、例えば 4 0 a t o m % 以下である。反射防止層 2 4 における窒素濃度は、例えば 1 0 a t o m % 以上であり、例えば 4 0 a t o m % 以下である。平坦化層 2 5 における窒素濃度は、例えば 1 0 a t o m % 未満あり、例えば 1 a t o m % 未満であり、例えば 0 a t o m % である。平坦化層 2 5 における酸素濃度は、例えば 5 0 a t o m % 以上であり、例えば 8 0 a t o m % 以下である。反射防止層 2 4 における酸素濃度は、例えば 1 0 a t o m % 以上であり、例えば 4 0 a t o m % 以下である。中間層 2 3 における酸素濃度は、例えば 1 a t o m % 以上であり、例えば 1 0 a t o m % 以上であり、例えば 6 0 a t o m % 以下であり、例えば 2 0 a t o m % 以下である。窒化シリコン層 2 1 および窒化シリコン層 2 2 における酸素濃度は、例えば 1 0 a t o m % 未満あり、例えば 1 a t o m % 未満であり、例えば 0 a t o m % である。

10

20

【 0 0 2 5 】

図 2 (a) ~ (f) は、図 1 (a) で示した光学装置 9 3 0 の製造方法を工程順に示す断面模式図である。

【 0 0 2 6 】

図 2 (a) に示す工程 a では、基体 1 0 の上に窒化シリコン膜 2 1 0 を形成する。窒化シリコン膜 2 1 0 が後に窒化シリコン層 2 1 になる。

【 0 0 2 7 】

図 2 (b) に示す工程 b では、窒化シリコン膜 2 1 0 の上に、窒化シリコン膜 2 1 0 とは組成が異なる異組成膜 2 3 0 を形成する。異組成膜 2 3 0 が後に中間層 2 3 になる。異組成膜 2 3 0 の厚さは窒化シリコン膜 2 1 0 の厚さよりも小さくすることができる。異組成膜 2 3 0 の厚さは窒化シリコン膜 2 1 0 の厚さの 1 / 1 0 以下であることが好ましい。異組成膜 2 3 0 の厚さは窒化シリコン膜 2 1 0 の厚さの 1 / 1 0 0 以下であることがより好ましい。異組成膜 2 3 0 は、窒化シリコン膜 2 1 0 の成膜装置のチャンバー内に空気等の酸素含ガスを導入することで、窒化シリコン膜 2 1 0 をチャンバー内で自然酸化することで形成することができる。異組成膜 2 3 0 は、窒化シリコン膜 2 1 0 の成膜装置のチャンバーから取り出して、基体 1 0 の上に成膜された窒化シリコン膜 2 1 0 を空気等の酸素含ガスに晒すことで、窒化シリコン膜 2 1 0 を自然酸化することで形成することもできる。異組成膜 2 3 0 は、窒化シリコン膜 2 1 0 の成膜装置のチャンバー内の雰囲気中の有機物を窒化シリコン膜 2 1 0 に吸着させることで形成することもできる。異組成膜 2 3 0 は、窒化シリコン膜 2 1 0 の成膜装置、あるいは、窒化シリコン膜 2 1 0 の成膜装置とは別の成膜装置を用いて、窒化シリコン膜 2 1 0 の成膜条件とは異なる成膜条件で成膜することもできる。異組成膜 2 3 0 をスパッタ法、蒸着法、熱 C V D (C h e m i c a l V a p o r D e p o s i t i o n) 法、プラズマ C V D 法、A L D (A t o m i c L a y e r D e p o s i t i o n) 法のいずれかを用いて形成することができる。

30

40

【 0 0 2 8 】

図 2 (c) に示す工程 c では、異組成膜 2 3 0 の上に窒化シリコン膜 2 2 0 を形成する。窒化シリコン膜 2 2 0 が後に窒化シリコン層 2 2 になる。窒化シリコン膜 2 2 0 の厚さは異組成膜 2 3 0 の厚さよりも大きくすることができる。窒化シリコン膜 2 2 0 の厚さは異組成膜 2 3 0 の厚さの 1 0 倍以上であることが好ましい。窒化シリコン膜 2 2 0 の厚さは異組成膜 2 3 0 の厚さの 1 0 0 倍以上であることがより好ましい。

50

窒化シリコン膜 210、220 は、スパッタ法、蒸着法、熱 CVD (Chemical Vapor Deposition) 法、プラズマ CVD 法、ALD (Atomic Layer Deposition) 法のいずれかを用いて形成することができる。レンズ 201、202、203 の窒化シリコン層 21、22 として良好な屈折率、透過率を実現するためには、窒化シリコン膜 210、220 を CVD 法で形成することが好ましい。窒化シリコン膜 210、220 の成膜時の基体 10 の熱膨張によって生じる応力を考慮すると、窒化シリコン膜 210、220 を熱 CVD 法よりもプラズマ CVD 法で形成することが好ましい。より厚い窒化シリコン膜 210、220 は、レンズ 201、202、203 の高さを高くする（厚くする）上で有利であり、また、レンズ 201、202、203 内に生じる異種材料の界面の数を減らすうえでも有利である。そのため、窒化シリコン膜 210、220 の厚さは、例えば 100 nm 以上とすることができ、例えば 300 nm 以上とすることができ、例えば 500 nm 以上とすることができる。一方、窒化シリコン膜 210、220 が厚ければ厚いほど、窒化シリコン膜 210、220 に生じる応力が増大する。そこで、窒化シリコン膜 210、220 の厚さは、1000 nm 以下とすることができ、例えば 800 nm 以下とすることができる。

10

図 2 (d) に示す工程 d では、窒化シリコン膜 2 2 0 の上に被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 を形成する。被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 は後で形成されるレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 のレンズ曲面に対応した略半球状の曲面を有する。被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 は例えば感光性樹脂からなる。曲面を有する被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 は、感光性樹脂膜（フォトレジスト膜）をレチクル（フォトマスク）を用いて露光し、現像によってパターンングして形成された感光性樹脂パターンをリフローして形成することができる。あるいは、曲面を有する被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 は、感光性樹脂膜を、ハーフトーンレチクルの透過率分布（階調）に応じて露光量分布が生じるように露光し、これを現像することで露光量分布に応じた膜厚分布を有するように形成されてもよい。いずれにしても、被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 となる感光性樹脂を露光機によって露光する際には、下地である基体 1 0 に形成したパターンと、レチクルとの位置合わせ（アライメント）が行われる。このアライメントの際に、被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 の下地となる窒化シリコン膜の内部応力が大きいと、アライメント誤差が大きくなる。しかし、異組成膜 2 3 0 を介して窒化シリコン膜 2 1 0 と窒化シリコン膜 2 2 0 とを重ねることで、連続した窒化シリコン膜の厚さの増大を抑制し、被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 の下地となる窒化シリコン膜の応力を低減することができる。その結果、重ね合わせ精度の低下を抑制できたり、アライメント精度が向上したりする。

20

30

図 2 (e) に示す工程 e では、被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 を用いて窒化シリコン膜 2 2 0 をエッチングする。この時、被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 と窒化シリコン膜 2 2 0 のエッチング選択比が小さくなる条件（選択比は例えば 1 ~ 1 0 ）でエッチングを行うと、被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 の曲面形状が窒化シリコン膜 2 2 0 に転写される。工程 e では異組成膜 2 3 0 が露出する。この段階では、窒化シリコン膜 2 2 0 の上には被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 の一部が残存する。

40

図 2 (f) に示す工程 f では、工程 e に引き続き、窒化シリコン膜 2 2 0 と異組成膜 2 3 0 と窒化シリコン膜 2 1 0 のエッチングを行う。これにより、窒化シリコン膜 2 2 0 と異組成膜 2 3 0 と窒化シリコン膜 2 1 0 に被転写部材 2 4 1、2 4 2、2 4 3 の形状を転写し、レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 を形成する。工程 f では、工程 e とエッチング条件を異ならせてもよいが、工程 e と同じエッチング条件でエッチングを進めることができる。異組成膜 2 3 0 の厚さが窒化シリコン膜 2 1 0、2 2 0 の厚さより小さければ、異組成膜 2 3 0 のエッチングレートが窒化シリコン膜 2 1 0、2 2 0 のエッチングレートよりも低くても、異組成膜 2 3 0 を設けることによるエッチング時のスループットの低下は小さ

50

い。

【 0 0 3 3 】

工程 a から工程 c において、先に成膜される窒化シリコン膜 2 1 0 と、後に成膜される窒化シリコン膜 2 2 0 とで成膜方法を異ならせる必要がない。しかし、窒化シリコン膜 2 1 0、2 2 0 の一方が窒化シリコン膜 2 1 0、2 2 0 の他方よりも応力分布が大きくなるように、窒化シリコン膜 2 1 0、2 2 0 を成膜してもよい。その場合、先に成膜される窒化シリコン膜 2 1 0 の応力分布が、後に成膜される窒化シリコン膜 2 2 0 の応力分布よりも大きいこと（条件 1 とする）が好ましい。条件 1 の方が、先に成膜される窒化シリコン膜 2 1 0 の応力分布が、後に成膜される窒化シリコン膜 2 2 0 の応力分布よりも小さい場合（条件 2 とする）よりも、異組成膜 2 3 0 を形成することにより応力緩和効果が高い。この応力緩和効果の大小は、パターンニング後のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 と、下地である基体 1 0 に形成したパターンとの重ね合わせ精度によって評価した結果である。発明者らの検討では、条件 1 では条件 2 に対して 2 0 % の重ね合わせ精度の改善を確認した。

10

【 0 0 3 4 】

図 3 (a) は図 1 (a) に示した例の変形例である。光学装置 9 3 0 は、複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の間に設けられた遮光壁 7 2 1、7 2 2 を備える。遮光壁 7 2 1、7 2 2 はタングステン等の金属からなる。遮光壁 7 2 1、7 2 2 を設けることで、レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 に入射する光のクロストークを抑制できる。本例の遮光壁 7 2 1、7 2 2 は反射防止層 2 4 を貫通して窒化シリコン層 2 1 に接するが、遮光壁 7 2 1、7 2 2 が、遮光壁 7 2 1、7 2 2 と窒化シリコン層 2 1 との間の反射防止層 2 4 を介して、窒化シリコン層 2 1 から離間してもよい。

20

【 0 0 3 5 】

図 3 (a) の変形例における光学装置 9 3 0 は、レンズアレイ 2 0 0 と基体 1 0 との間に設けられた低屈折率層 1 1 を備える。低屈折率層 1 1 は窒化シリコン層 2 1、2 2 よりも低い屈折率を有する。本例の低屈折率層 1 1 は珪素と酸素を含む層（酸化シリコン層）である。光学装置 9 3 0 は、レンズアレイ 2 0 0 と基体 1 0 との間に設けられた反射防止層 1 2 を備える。反射防止層 1 2 は窒化シリコン層 2 1、2 2 よりも低い屈折率を有し、低屈折率層 1 1 と窒化シリコン層 2 1 との間の屈折率を有しうる。本例の反射防止層 1 2 は珪素と窒素と酸素を含む層（酸窒化シリコン層）である。反射防止層 1 2 の組成は反射防止層 2 4 と同様であってよい。反射防止層 1 2 の厚さ T_f は、反射防止層 1 2 の厚さ T_d と同様に、窒化シリコン層 2 1 の厚さ T_a よりも小さくてよく、窒化シリコン層 2 2 の厚さ T_b よりも小さくてよく、中間層 2 3 の厚さ T_c よりも大きくてよい。反射防止層 1 2 の厚さ T_f は、例えば 1 0 0 nm 以下であってよく、2 0 nm 以上であってよく、5 0 nm 以上であってよい。

30

【 0 0 3 6 】

図 1 (a) あるいは図 3 (a) に関して、各層の厚さの関係は、例えば $T_c < 10 \text{ nm} < T_d = T_f < 100 \text{ nm} < T_e < T_b < T_a < 1000 \text{ nm} < T_a + T_b$ でありうる。各層の厚さがこの関係の少なくとも一部を満足することは、複数のレンズの光学特性を向上するうえで有利である。

【 0 0 3 7 】

図 3 (b) は図 1 (a) に示した例の変形例である。光学装置 9 3 0 が備える複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 は両凸レンズであり。レンズ曲面のうちの基体 1 0 とは反対側の凸面が窒化シリコン層 2 1 と窒化シリコン層 2 2 とで構成され、窒化シリコン層 2 1 と窒化シリコン層 2 2 との間に中間層 2 3 が位置する点は図 1 (a) の例と共通である。図 3 (b) の例では、レンズ曲面のうちの基体 1 0 の側の凸面が窒化シリコン層 2 7 で構成され、窒化シリコン層 2 7 と窒化シリコン層 2 1 の間に中間層 2 8 が位置している。窒化シリコン層 2 7 の組成や厚さは窒化シリコン層 2 1 と同様であってよく、中間層 2 8 の組成や厚さは中間層 2 3 と同様であってよい。レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 との間には凹面を有する低屈折率層 1 1 が位置しており、低屈折率層 1 1 の凹面に沿って反射防止層 1 2 が位置している。このような構造は、凹面を有する低屈折率層 1 1 上に、反射防止層

40

50

１２になる酸化シリコン膜と、窒化シリコン層２７になる窒化シリコン膜を成膜し、窒化シリコン層２７となる窒化シリコン膜の上に中間層２８となる異組成膜を形成する。中間層２８となる異組成膜の上に窒化シリコン層２７となる窒化シリコン膜を形成し、窒化シリコン層２７となる窒化シリコン膜をCMP法などにより平坦化する。平坦化された窒化シリコン層２７となる窒化シリコン膜の上に中間層２３となる異組成膜と窒化シリコン層２２となる窒化シリコン膜を形成する。この後は、図２で示した方法と同様にして、基体１０とは反対側の凸面を有するように窒化シリコン層２２となる窒化シリコン膜、中間層２３となる異組成膜、窒化シリコン層２１となる窒化シリコン膜、中間層２８となる異組成膜、を順次エッチングする。

【００３８】

図１（ａ）、図３（ａ）、図３（ｃ）では、レンズ曲面を主に２層の窒化シリコン層２１、２２で構成する例を示したが、３層以上の窒化シリコン層でレンズ曲面を構成してもよい。そして、それぞれの窒化シリコン層の間に、窒化シリコン層とは組成が異なり、窒化シリコン層よりも薄い中間層を配置すればよい。レンズ曲面を構成する窒化シリコン層の層数は中間層の層数よりも多いことが好ましい。レンズ曲面を構成する窒化シリコン層の層数は、中間層の層数の３／２倍よりも大きくてよく、中間層の層数の３倍よりも小さくてよい。

【００３９】

図４（ａ）は、図３（ｂ）に示したレンズ下面の非球面をウエットエッチングで形成するプロセスフローを示す概略図である。曲率半径を小さくすると一般に収差が発生しやすくなる。そこで、基体１０に近い面を非球面とすることで、両凸層内レンズで発生する収差、特に球面収差、を補正することも可能である。併せて低屈折率材料を使うことで所望の焦点距離を得るためには曲率半径を小さくする必要がなくなり、ここでも収差を軽減することが可能となる。低屈折率材料として、例えば東京応化製のＬＡＬシリーズの屈折率は１．２である。低屈折率材料を凹形状に形成し、その後、高屈折率、例えば屈折率は２程度の材質、例えば窒化シリコン膜を成膜することで、下面が凸レンズとして働く。窒化シリコン膜を、図３（ｂ）に示すように、自然酸化膜からなる中間層２８、２３を介して、３回にわけて成膜する。この時、超低屈折率材料の凹形状の周辺部を非球面にして球面収差を低減するには、周辺部の曲率を大きくすることが好ましい。そのためには、スリットＳを有するマスク材Ｍを用いて、レジストＲ１がマスク材Ｍの孔Ｈを塞いだ状態で、低屈折率材料に等方的なウエットエッチングエッチングを施して周辺部の凹部を形成する。また、孔Ｈを有するマスク材Ｍを用いて、レジストＲ２がマスク材ＭのスリットＳを塞いだ状態で、低屈折率材料に等方的なウエットエッチングエッチングを施して中央部の凹部を形成する。図４（ｂ）は、低屈折率材料の凹形状の別の形成方法を示す図であり、層内レンズ下面の非球面を、階調マスク露光でパターンニングされたレジストＲ３をエッチバックで低屈折率材料に転写して形成するプロセスフローを示す概略図である。階調マスク露光とエッチバックによっても非球面の凹形状を形成することが可能となる。

【００４０】

図５は、光学装置９３０が表面照射型の撮像装置である形態を示している。図１（ａ）や図３（ａ）で示した基体１０は、半導体層１００、配線構造４４０、導光部４５１、４５２、４５３、導光部４５１、４５２、４５３を連結する連結部４５０を含んでいる。半導体層１００には複数のフォトダイオード１０１、１０２、１０３、１０４、１０５、１０６が設けられている。フォトダイオード１０１、１０２、１０３、１０４、１０５、１０６の各々が光電変換部である。配線構造４４０はレンズアレイ２００と半導体層１００との間に位置する。

【００４１】

光学装置９３０は、平坦化層２５の上に設けられ、赤色のカラーフィルタ８６１、緑色のカラーフィルタ８６２、青色のカラーフィルタ８６３を含む、カラーフィルタアレイを備える。光学装置９３０は、レンズアレイ２００に対して基体１０の側とは反対側に設けられた、別のレンズアレイ（マイクロレンズアレイ）を備える。マクロレンズアレイは、

10

20

30

40

50

カラーフィルタアレイの上に平坦化層 8 5 0 を介して配列された、マイクロレンズ 8 7 1、8 7 2、8 7 3 を含む。すなわち、レンズアレイ 2 0 0 のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 は層内レンズでありうる。

【 0 0 4 2 】

複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 のうちの 1 つのレンズ 2 0 1 に、複数のフォトダイオード 1 0 1、1 0 2、1 0 3、1 0 4、1 0 5、1 0 6 のうちの 2 つ以上（本例では 2 つ）のフォトダイオード 1 0 6、1 0 1 が対応している。複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 のうちの 1 つのレンズ 2 0 2 に、複数のフォトダイオード 1 0 1、1 0 2、1 0 3、1 0 4、1 0 5、1 0 6 のうちの 2 つ以上（本例では 2 つ）のフォトダイオード 1 0 2、1 0 3 が対応している。複数のレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 のうちの 1 つのレンズ 2 0 3 に、複数のフォトダイオード 1 0 1、1 0 2、1 0 3、1 0 4、1 0 5、1 0 6 のうちの 2 つ以上（本例では 2 つ）のフォトダイオード 1 0 4、1 0 5 が対応している。同様に、カラーフィルタ 8 6 1 とマイクロレンズ 8 7 1 にフォトダイオード 1 0 6、1 0 1 が対応する。カラーフィルタ 8 6 2 とマイクロレンズ 8 7 2 にフォトダイオード 1 0 2、1 0 3 が対応する。カラーフィルタ 8 6 3 とマイクロレンズ 8 7 3 にフォトダイオード 1 0 4、1 0 5 が対応する。このように、1 つのレンズあるいはカラーフィルタで定義される画素が 2 つ以上のフォトダイオードを有している。このような構成により、焦点検出や測距、ダイナミックレンジの拡大などが可能となる。このように、1 つのレンズで定義される画素が 2 つ以上のフォトダイオードを有している場合、2 つ以上のフォトダイオードの各々で光電変換される光を分離できる。分離精度を向上するためには、フォトダイオードに対して極力 1 つのレンズに近い位置に焦点を結ぶことが好ましい。上述のように、窒化シリコン層 2 1、2 2 と中間層 2 3 を備えることで、レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の応力の低減と光学特性の劣化抑制を実現しつつ、レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 の厚さを大きくして、そのパワーを高めることができる。

【 0 0 4 3 】

配線構造 4 4 0 は、配線層 4 1 0、4 2 0 と、層間絶縁膜 4 3 0 とを含む。配線構造 4 4 0 の配線層 4 1 0、4 2 0 は半導体層 1 0 0 に設けられた半導体素子に接続されている。半導体層 1 0 0 に設けられた半導体素子は電極層 4 0 0 を含み、例えば電極層 4 0 0 をゲート電極として有するトランジスタでありうる。電極層 4 0 0 はポリシリコン層でありうる。半導体層 1 0 0 に設けられた半導体素子には、フォトダイオードで生じた電荷を転送する転送トランジスタや、フォトダイオードで生じた電荷に基づく電気信号を生成する増幅トランジスタなどを含む画素回路を構成する。画素回路の半導体素子は S T I 構造を有する素子分離部 1 0 9 によって分離されている。層間絶縁膜 4 3 0 には開口が設けられており、この開口内に導光部 4 5 1、4 5 2、4 5 3 が位置する。導光部 4 5 1、4 5 2、4 5 3 の屈折率は層間絶縁膜 4 3 0 の少なくとも一部の絶縁体層よりも高く、導光部 4 5 1、4 5 2、4 5 3 がコア、層間絶縁膜 4 3 0 の少なくとも一部の絶縁体層がクラッドとなるコア - クラッド型の導光構造が構成されている。クラッドとなる絶縁体層は例えば酸化シリコンからなり、導光部 4 5 1、4 5 2、4 5 3 は窒化シリコンや樹脂からなる。層間絶縁膜 4 3 0 を 2 種類の以上の絶縁体層の積層構造とすることができる。層間絶縁膜 4 3 0 の一方の絶縁体層と他方の絶縁体層との屈折率が異なる場合、異種の絶縁体層の界面で光の反射が生じて感度が低下しうる。層間絶縁膜 4 3 0 に開口を設けて異種の絶縁体層を部分的に除去し、当該開口に共通の材料を埋め込んで、導光部 4 5 1、4 5 2、4 5 3 を形成してもよい。例えば、炭化シリコン層と酸化シリコン層の積層構造からなる層間絶縁膜 4 3 0 に炭化シリコン層と酸化シリコン層を貫通する開口を設け、その開口の中に酸化シリコン層を埋め込んで、導光部 4 5 1、4 5 2、4 5 3 を形成してもよい。

【 0 0 4 4 】

レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 に入射した光を、レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 から至近距離に位置する導光部 4 5 1、4 5 2、4 5 3 へ光を入射させるためには、レンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 のパワーを高める必要がある。ここでいう至近距離の目安は、例えばレンズ 2 0 1、2 0 2、2 0 3 から導光部 4 5 1、4 5 2、4 5 3 の入り口までの距離が

、1 μm 以下の場合である。上述のように、窒化シリコン層21、22と中間層23を備えることで、レンズ201、202、203の応力の低減と光学特性の劣化抑制を実現しつつ、レンズ201、202、203の厚さを大きくして、そのパワーを高めることができる。

【0045】

図5(b)は3×3画素分のレンズアレイ200を透過的に平面視したものを示している。図5(b)において、実線は窒化シリコン層22および中間層23の輪郭を示しており、点線はレンズ201、202、203の輪郭を示している。鎖線は導光部451、452、453の輪郭を示しており、2点鎖線はマイクロレンズ871、872、873の輪郭を示している。図5(b)では、窒化シリコン層21のうち、窒化シリコン層22および中間層23に重ならない部分のみをハッチングを付けて示しており、窒化シリコン層21のうち窒化シリコン層22と重なる部分については窒化シリコン層22のハッチングを付けている。図5(b)の例ではレンズ201、202、203の輪郭は円形であるが、多角形でもよく、角丸多角形でもよい。図5(b)の上下方向、左右方向および斜め方向において、レンズ201、202、203は離間している。レンズ201、202、203を隣り合うレンズから離間させることは、レンズ201、202、203の幅を小さくして、レンズ201、202、203曲率を大きくして、レンズ201、202、203のパワーを高めるうえで有用である。一方、マイクロレンズ871、872、873は上下方向、左右方向および斜め方向において、マイクロレンズ871、872、873は互いに境界をなしている。その結果、マイクロレンズ871、872、873の輪郭は四角形となっている。マイクロレンズ871、872、873が隣り合うレンズに隣接することは、マイクロレンズ871、872、873間での光の損失を低減するうえで有利である。図5(b)の例では導光部451、452、453の輪郭は、窒化シリコン層22および中間層23の輪郭に内包される。つまり、窒化シリコン層22および中間層23の幅が導光部451、452、453の幅よりも大きくなっている。このような関係にすることが、レンズ201、202、203へ入射した光を導光部451、452、453の内側に集光するうえで有利である。しかし、窒化シリコン層22および中間層23の輪郭が、導光部451、452、453の輪郭に内包されてもよい。つまり、窒化シリコン層22および中間層23の幅が導光部451、452、453の幅よりも小さくなくてもよい。

【0046】

図5(a)に示した形態の変形例として、図5(a)のレンズ201、202、203の間に、図3(a)に示した遮光壁721、722を追加してもよい。

【0047】

図6は、光学装置930が裏面照射型の撮像装置である形態を示している。図1(a)や図3(a)で示した基体10は、半導体層100、配線構造440、半導体基板600、配線構造540を含んでいる。配線構造440の配線層410、420は半導体層100に設けられた半導体素子に接続されている。配線構造540の配線層510、520は半導体基板600に設けられた半導体素子に接続されている。半導体基板600に設けられた半導体素子は電極層500を含み、例えば電極層500をゲート電極として有するトランジスタでありうる。電極層500はポリシリコン層でありうる。半導体基板600に設けられた半導体素子は、半導体層100に設けられた画素回路を駆動する駆動回路や、画素回路から出力された画素信号を処理する処理回路などの周辺回路を構成する。配線構造440とレンズアレイ200との間に半導体層100が位置する。半導体層100は裏面1001と表面1002とを有する。半導体層100には、裏面1001から連続する溝が設けられており、溝によって、分離部110、120、123、140、150、160、170が構成されている。分離部150、120、140は、フォトダイオード101とフォトダイオード106との間、フォトダイオード102とフォトダイオード103との間、フォトダイオード104とフォトダイオード105との間、に設けられている。分離部110、130は、フォトダイオード101とフォトダイオード102との間、

フォトダイオード１０３とフォトダイオード１０４との間に設けられている。このように、分離部１５０、１２０、１４０は画素内の光学的および／または電氣的な分離をなし、分離部１１０、１３０は画素間の光学的および／または電氣的な分離をなす。分離部１６０、１７０も分離部１１０、１３０と同様に画素間の分離をなす。誘電体膜３００は、酸化シリコン層や窒化シリコン層などのシリコン化合物層および／または金属酸化物層を含む多層膜でありうる。誘電体膜３００に含まれる層は反射防止層や電荷固定層として機能する。誘電体膜３００に含まれる層が分離部１１０、１２０、１２３、１４０、１５０、１６０、１７０を構成する。

【００４８】

低屈折率層１１と誘電体膜３００の間には遮光部材７１０が設けられている。遮光部材７１０は分離部１１０、１３０、１６０、１７０に重なるように配置されうる。遮光部材７１０は分離部１２０、１４０、１５０に重ならないように配置されうる。遮光部材７１０の上には遮光壁７２０が設けられている。遮光壁７２０は、図３（ａ）の遮光壁７２１、７２２と同様に、レンズ２０１、２０２、２０３の間に配される。本例では、遮光壁７２０は、窒化シリコン層２１（延在部分２０５、２０６）を貫通して、遮光部材７１０に接するように設けられている。そして、遮光壁７２０は層内レンズ２０１、２０２、２０３を囲むように配置されうる。

【００４９】

レンズ２０１、２０２、２０３に入射した光を、レンズ２０１、２０２、２０３から至近距離に位置する裏面１００１の近傍で焦点を結ぶように集光するには、レンズ２０１、２０２、２０３のパワーを高める必要がある。ここでいう至近距離の目安は、例えばレンズ２０１、２０２、２０３から裏面１００１までの距離が、２μm以下の場合である。上述のように窒化シリコン層２１、２２と中間層２３を備えることで、レンズ２０１、２０２、２０３の応力の低減と光学特性の劣化抑制を実現しつつ、レンズ２０１、２０２、２０３の厚さを大きくして、そのパワーを高めることができる。また、図５の形態と同様に、２０１、２０２、２０３のパワーを高めることで、２つ以上のフォトダイオードに入射する光の分離精度を向上することもできる。

【００５０】

図５、図６では、窒化シリコン層２１、２２および中間層２３で構成されたレンズアレイ２００を１段だけ備える例を説明したが、窒化シリコン層２１、２２および中間層２３で構成されたレンズアレイ２００を複数段に重ねて設けてよい。レンズアレイ２００を複数段設けることで、より焦点距離の短いオンチップ光学系を提供することができる。

【００５１】

図７は、撮像装置としての光学装置９３０を備える機器９１９１の模式図である。機器９１９１は、光学装置９３０に加えて、光学系９４０、制御装置９５０、処理装置９６０、記憶装置９７０、表示装置９８０、および、機械装置９９０の少なくともいずれかを更に備える。制御装置９５０は光学装置９３０を制御する。処理装置９６０は光学装置９３０から出力された信号を処理する。記憶装置９７０は光学装置９３０で得られた情報を記憶する。表示装置９８０は光学装置９３０で得られた情報を表示する。機械装置９９０は光学装置９３０で得られた情報に基づいて動作する。機械装置９９０は光学装置９３０を機器９１９１の中で、あるいは機器９１９１ごと移動させる移動装置であってもよい。機器９１９１の中で光学装置９３０を移動させることで防振（イメージスタビライザー）機能を実現できる。

【００５２】

光学装置９３０は、電子デバイス９１０と実装部材９２０とを含みうるが、実装部材９２０は無くてもよい。電子デバイス９１０は、図１（ａ）に示した基体１０に含まれる半導体層を有する半導体デバイスである。電子デバイス９１０は、画素が配列された画素エリア９０１と、周辺回路（不図示）が配列された周辺エリア９０２を含む。機器９１９１における画素エリア９０１に、本実施形態におけるレンズアレイ２００を配置することができる。周辺回路には、上述の駆動回路やＡＤ変換回路、デジタル信号処理回路や制御回

10

20

30

40

50

路などが含まれる。光電変換エリア 901 と周辺回路エリア 902 は、同一の半導体層に配されてもよいが、本例では、互いに積層された別々の半導体層（半導体基板）に配されてもよい。

【0053】

実装部材 920 は、セラミックパッケージやプラスチックパッケージ、プリント配線板、フレキシブルケーブル、半田、ワイヤボンディングなどを含む。光学系 940 は、例えばレンズやシャッター、フィルター、ミラーである。制御装置 950、例えば ASIC などの半導体デバイスである。処理装置 960 は、例えば AFE（アナログフロントエンド）あるいは DFE（デジタルフロントエンド）を構成する、例えば CPU（中央処理装置）や ASIC（特定用途向け集積回路）などの半導体デバイスである。表示装置 980 は、例えば EL 表示装置や液晶表示装置である。記憶装置 970 は、SRAM や DRAM などの揮発性メモリ、あるいは、フラッシュメモリやハードディスクドライブなどの不揮発性メモリであり、例えば磁気デバイスや半導体デバイスである。機械装置 MCHN はモーターやエンジン等の可動部あるいは推進部を有する。

10

【0054】

図 7 に示した機器 9191 は、撮影機能を有する情報端末（例えばスマートフォンやウェアラブル端末）やカメラ（例えばレンズ交換式カメラ、コンパクトカメラ、ビデオカメラ、監視カメラ）などの電子機器でありうる。カメラにおける機械装置 990 はズーミングや合焦、シャッター動作のために光学系 940 の部品を駆動することができる。レンズ交換式カメラとしてはレフレックス方式（一眼レフカメラ）よりもノンレフレックス方式（ミラーレスカメラ）に好適である。ノンレフレックス方式ではミラーがない分、イメージセンサセンサー（撮像装置）までのフランジバックが短くなり、バックフォーカスも短くなる。そのため、ノンレフレックス方式のカメラには、レフレックス方式のカメラよりパワーの大きいオンチップレンズアレイが必要となる。上述のように、本明細書に開示した技術は、そのような要求を満足する、光学特性に優れたオンチップレンズアレイを備えたセンサーを有するカメラを提供できる。

20

【0055】

また、機器 9191 は、車両や船舶、飛行体、人工衛星などの輸送機器（移動体）でありうる。輸送機器における機械装置 990 は移動装置として用いられうる。輸送機器としての機器 9191 は、光学装置 930 を輸送するものや、撮影機能により運転（操縦）の補助および／または自動化を行うものに好適である。運転（操縦）の補助および／または自動化のための処理装置 960 は、光学装置 930 で得られた情報に基づいて移動装置としての機械装置 990 を操作するための処理を行うことができる。また、機器 9191 は、分析機器や、医療機器でありうる。

30

【0056】

本実施形態による光学装置 930 は、その設計者、製造者、販売者、購入者および／または使用者に、高い価値を提供することができる。そのため、光学装置 930 を機器 9191 に搭載すれば、機器 9191 の価値も高めることができる。よって、機器 9191 の製造、販売を行う上で、本実施形態の光学装置 930 の機器 9191 への搭載を決定することは、機器 9191 の価値を高める上で有利である。

40

【0057】

図 5、6 では、光学装置 930 として画像を生成する撮像装置を例示したが、光電変換部としてのフォトダイオードを有する光電変換装置としては、撮像装置の他に、測光装置、光検出装置、測距装置、焦点検出装置などであってもよい。また、レンズアレイを有する光学装置 930 は表示装置であってもよい。表示装置におけるレンズアレイは表示に用いられる光を集光することで、精細感や光利用効率などの面で、画質を向上することができる。かかる表示装置は有機 EL 素子などを有する自発光型の表示装置であってもよいし、透過型あるいは反射型の表示装置であってもよい。機器 9191 における光学系 940 は表示装置に対応付けられて、光学装置 930 が表示した映像を外部へ投影する。機器 9191 における処理装置 960 は表示装置へ入力する信号を処理する。

50

【 0 0 5 8 】

以上、説明した実施形態は、本発明の思想を逸脱しない範囲において適宜変更が可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 9 】

- 1 0 基体
- 2 0 1、2 0 2、2 0 2 レンズ
- 2 1 窒化シリコン層
- 2 2 窒化シリコン層
- 2 3 中間層

10

20

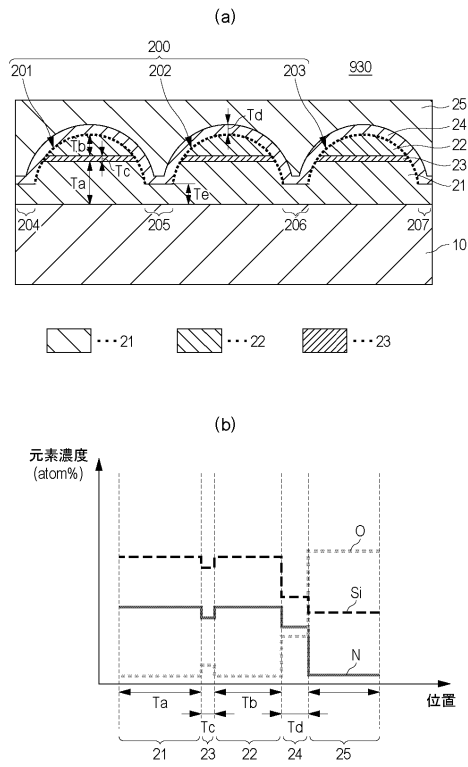
30

40

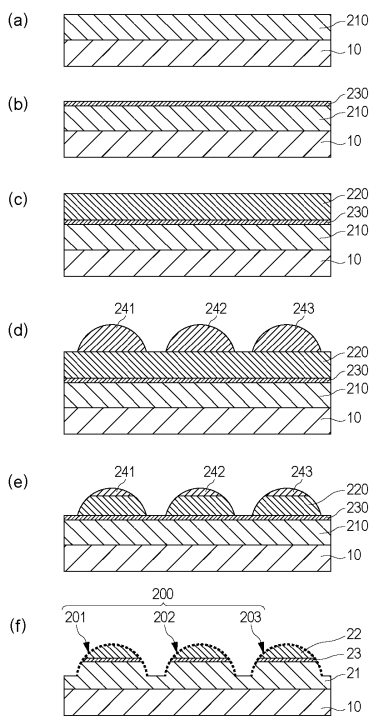
50

【図面】

【図 1】



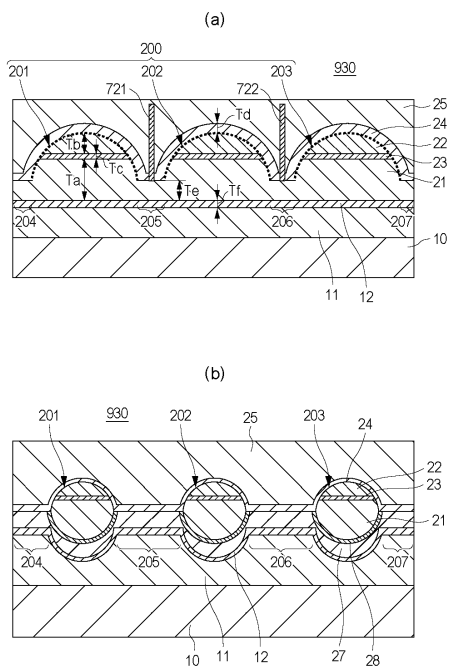
【図 2】



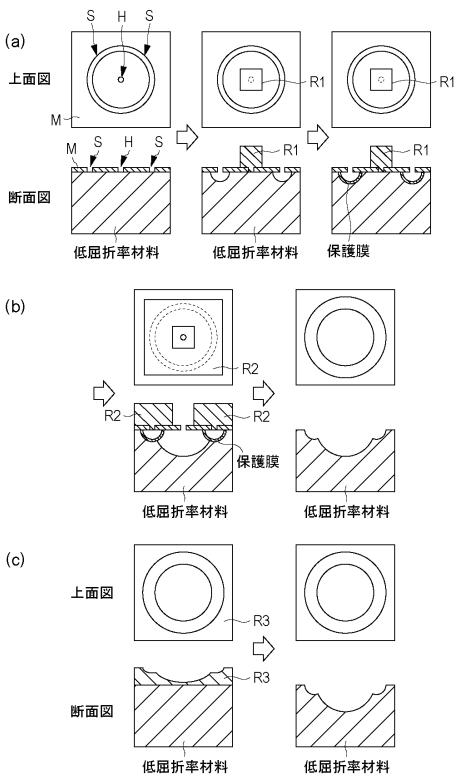
10

20

【図 3】



【図 4】

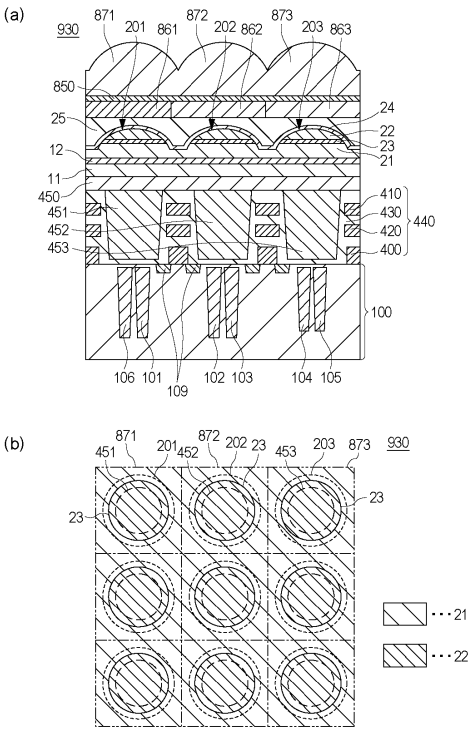


30

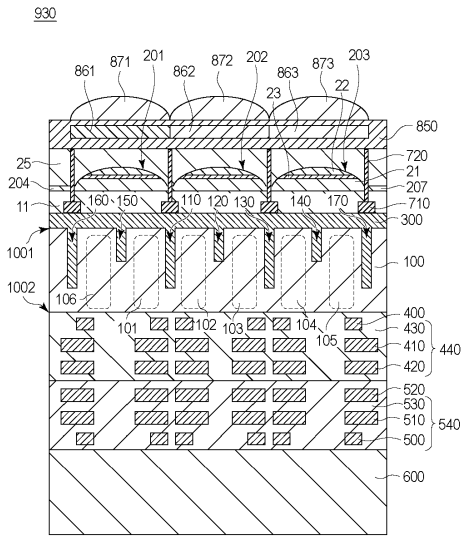
40

50

【 図 5 】



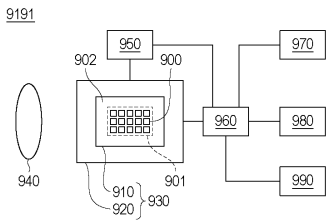
【 図 6 】



10

20

【 図 7 】



30

40

50

フロントページの続き

ヤノン株式会社内

(72)発明者 鈴木 幸伸

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(72)発明者 原 紘司

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(72)発明者 中川 善之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

審査官 越河 勉

(56)参考文献 特開2015-230896(JP,A)

特開2016-219468(JP,A)

特開2009-021415(JP,A)

特開2005-174967(JP,A)

特開2016-052041(JP,A)

米国特許出願公開第2001/0010952(US,A1)

米国特許出願公開第2014/0252521(US,A1)

特開2006-073885(JP,A)

特開2009-260445(JP,A)

米国特許出願公開第2008/0048280(US,A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G02B 3/00

G02B 5/00

H01L 27/146

H04N 25/70