

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6664621号
(P6664621)

(45) 発行日 令和2年3月13日(2020.3.13)

(24) 登録日 令和2年2月21日(2020.2.21)

(51) Int.Cl. F 1
G 0 2 B 3/00 (2006.01) G 0 2 B 3/00 A

請求項の数 1 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2016-523513 (P2016-523513)	(73) 特許権者	597073645
(86) (22) 出願日	平成27年5月26日 (2015. 5. 26)		ナルックス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/065136		大阪府大阪市東淀川区南江口3丁目4番29号
(87) 国際公開番号	W02015/182619	(74) 代理人	100105393
(87) 国際公開日	平成27年12月3日 (2015. 12. 3)		弁理士 伏見 直哉
審査請求日	平成30年5月15日 (2018. 5. 15)	(72) 発明者	関 大介
(31) 優先権主張番号	62/003, 190		大阪府三島郡島本町山崎2丁目1番7号
(32) 優先日	平成26年5月27日 (2014. 5. 27)		ナルックス株式会社 山崎本社内
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(72) 発明者	藤村 佳代子
			大阪府三島郡島本町山崎2丁目1番7号
		(72) 発明者	岡野 正登
			大阪府三島郡島本町山崎2丁目1番7号
			ナルックス株式会社 山崎本社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロレンズアレイを含む光学系の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

発光する光の波長が（マイクロメータ）である光源とマイクロレンズアレイとを含み、該光源からの光を該マイクロレンズアレイによって発散させるように構成された光学系の製造方法であって、

該マイクロレンズアレイは、 x y 平面上に所定の方向に配置された N 個のマイクロレンズからなり、それぞれのマイクロレンズのレンズ頂点の x y 平面への投影点は、該所定の方向の格子間隔が D （ミリメータ）である x y 平面上の基準格子構造の格子点の近傍に配置され、マイクロレンズの境界線をレンズの辺としてマイクロレンズの対向する二辺の間隔はほぼ D に等しく、レンズ頂点 i の x y 平面への投影点から、レンズ頂点 i 及びレンズ頂点 $i + 1$ の間の辺の x y 平面への投影線までの距離が

【数 1】

$$D/2 + \varepsilon_i$$

であり、 N 個のマイクロレンズについて、

【数 2】

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{N}$$

【数 3】

$$\bar{\varepsilon} = \sum_{i=1}^N \frac{\varepsilon_i}{N} = 0$$

であり、それぞれのマイクロレンズの材料の屈折率を n 、中心近傍の該所定の方向の曲率半径を R (ミリメートル)、焦点距離を f (ミリメートル) として、

【数 4】

$$\frac{0.0072\lambda}{D} < \frac{D}{2f} = \frac{D(n-1)}{2R}$$

を満たすように構成された光学系において、

x y 平面に垂直な方向のビームがマイクロレンズアレイを通過した後の発散の角度に対する強度分布における単一のマイクロレンズに起因する回折によって生じる強度変化を小さくするように、該 N 個のマイクロレンズのうちの任意の二個のマイクロレンズの ε_i 、すなわち ε_1 及び ε_2 の差の絶対値の期待値を

【数 20】

$$0.0125\sqrt{\lambda f} \left\{ 1 + \left(\frac{D}{2f} \right)^2 \right\}$$

に近づけるように

【数 4】

 ε_i

の分散

【数 5】

 σ^2

を定める光学系の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロレンズアレイを含む光学系の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

拡散される光の滑らかな強度分布を実現するための拡散素子は、室内灯などの一般照明、工業用途の光センサの光源系、画像表示用のスクリーンなど幅広い用途において需要がある。

【0003】

拡散される光の滑らかな強度分布を実現するための光学素子として、入射してきた光線を屈折させることでガウス分布の拡散分布を実現させるガウス拡散素子が良く知られている。ガウス拡散素子は、完全にランダムな高さ分布を備えた連続な粗面からなる。ガウス拡散素子として、ガラスなどの母材を砂掛けにより粗面としたものを金型として用い、プラスチック材料の上に凹凸を転写したものや、コヒーレント光源からの光を干渉させることで得られるスペckルと呼ばれるランダムな光量分布を露光することで得られる母材を金型として用い、プラスチック材料の上に凹凸を転写したものなどが公知である。これらのガウス拡散素子は自然で滑らかな光の強度分布が得られる反面、その分布は概略でガウス分布の範囲から外れることがないので設計の自由度が小さい上に、広い配光角を実現しようとするとう透過率が低下する。また、ガウス拡散素子には、表面が粒状感のあるざらついた質感に見えたり、スペckルが生じやすかったりという特性があるので、表面の見た目や質感が滑らかであることが要求されるスクリーンのような用途には適当でない。

【0004】

より高い透過率やガウス分布から外れた分布が要求される用途に対して、ガウス拡散板

10

20

30

40

50

の代わりに、マイクロレンズアレイを用いる技術が数多く提案されている。マイクロレンズアレイにおいては、マイクロレンズの形状を調整することで発散される光の強度分布をコントロールすることができる。また、粗面と比べて高い透過率を得ることが可能である。しかしながら、マイクロレンズの間隔が小さいマイクロレンズアレイは、それぞれのマイクロレンズからの光の波面が干渉した結果、その配列の周期構造による回折波が生じ、光の強度分布にむらが発生するという欠点がある。また、マイクロレンズの曲率半径が小さくなると、マイクロレンズの開口自体で発生する回折により発散される光の強度分布にむらが生じるという問題もある。

【0005】

そこで、マイクロレンズの配列、面形状や開口の形状をばらつかせることで、干渉や回折による光の強度分布のむらを低減させたマイクロレンズアレイが提案されている。たとえば、マイクロレンズの配列にランダム性を持たせることで、マイクロレンズアレイの周期構造由来の回折による拡散輝度のむらを抑制する、カメラのピント合わせ用の焦点板が開発されている（特許文献1及び特許文献2）。また、マイクロレンズの配列、面形状や開口の形状などの様々な要素にランダム性を備えさせたマイクロレンズアレイが開発されている（特許文献3）。

10

【0006】

しかし、上記の特許文献を含む先行技術は、光の強度分布のむらを低減させるために配列及び形状をどのようにばらつかせるについて十分に開示していない。また、小型の素子で発散角の大きな分布を達成するには曲率半径の小さなマイクロレンズが必要となるので、レンズアレイの周期構造ではなく単一のマイクロレンズの開口の回折による光の強度分布のむらが問題となる。しかし、単一のマイクロレンズの開口の回折に起因するものを含む光の強度分布のむらを低減するように、配列または形状をばらつかせたマイクロレンズアレイ及びマイクロレンズアレイを含む光学系は開発されていない。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開昭63-221329号公報（特許2503485）

【特許文献2】特開平3-192232号公報（特許2881877）

【特許文献3】特表2006-500621号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

したがって、単一のマイクロレンズの開口の回折に起因するものを含む光の強度分布のむらを低減するように、配列または形状をばらつかせたマイクロレンズアレイ及びマイクロレンズアレイを含む光学系に対するニーズがある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の第1の態様によるマイクロレンズアレイは、 x - y 平面上に配置された N 個のマイクロレンズからなるマイクロレンズアレイである。それぞれのマイクロレンズのレンズ頂点の x - y 平面への投影点は、所定の方向の格子間隔が、 M を正の整数として D/M （ミリメートル）である x - y 平面上の基準格子構造の格子点の近傍に配置され、マイクロレンズの境界線をレンズの辺としてマイクロレンズの対向する二辺の間隔はほぼ D に等しく、レンズ頂点の x - y 平面への投影点から辺の x - y 平面への投影線までの距離が

40

【数1】

$$D/2 + \varepsilon_i$$

であり、

【数 2】

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{N}$$

$$\bar{\varepsilon} = \sum_{i=1}^N \frac{\varepsilon_i}{N} = 0$$

とし、それぞれのマイクロレンズの材料の屈折率を n 、中心近傍の該所定の方向の曲率半径を R (ミリメートル)、焦点距離を f (ミリメートル) として、

【数 3】

$$\frac{0.0042}{D} < \frac{D}{2f} = \frac{D(n-1)}{2R}$$

【数 4】

$$0.0048\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} < \sigma < 0.014\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\}$$

を満たす。

【0 0 1 0】

本態様のマイクロレンズアレイによれば、マイクロレンズの開口に相当する、対向するレンズ境界線をなす二辺の間隔を適切にばらつかせることにより、単一のマイクロレンズの開口の回折に起因するものを含む光の強度分布のむらを低減することができる。

【0 0 1 1】

本発明の第 1 の態様の第 1 の実施形態によるマイクロレンズアレイは、 x y 平面上の該基準格子構造が矩形配列または六方配列である。

【0 0 1 2】

基準格子構造が矩形配列の場合には、 $M = 1$ であり、基準格子構造が六方配列の場合には、 $M = 2$ である。

【0 0 1 3】

本発明の第 1 の態様の第 2 の実施形態によるマイクロレンズアレイにおいては、レンズ頂点位置が格子点から該所定の方向に i だけずれて配置されることで、隣接するマイクロレンズ間に生じる境界によって形成されるマイクロレンズの開口が i 変化し、

【数 5】

$$\varepsilon_i \cong \frac{\eta_i + \eta_{i+1}}{2}$$

$$\sigma_\eta = \sum_{i=1}^N \frac{(\eta_i - \bar{\eta})^2}{N} = \sqrt{2}\sigma$$

$$\bar{\eta} = \sum_{i=1}^N \frac{\eta_i}{N}$$

である。

【0 0 1 4】

本実施形態によれば、隣接するマイクロレンズの境界は、マイクロレンズが軸対象の場合には、隣接するレンズ頂点を結ぶ線分の垂直二等分線となり、境界において隣接するレンズ面の段差が生じることはない。

【0 0 1 5】

本発明の第 1 の態様の第 3 の実施形態によるマイクロレンズアレイにおいては、 x y 平面上の該基準格子構造は、 x 方向の間隔が D_x 、 y 方向の間隔が D_y の矩形配列であり、それぞれのマイクロレンズの頂点の x y 平面への投影点の位置が、対応する格子位置から

10

20

30

40

50

(x_i, y_i) だけずれるように配置されている。

【0016】

本発明の第1の態様の第4の実施形態によるマイクロレンズアレイにおいては、 x y 平面上の該基準格子構造が x 方向及び y 方向の矩形配列であり、それぞれのマイクロレンズの中心近傍の、 x 方向の曲率半径が R_x (ミリメートル) であり、 y 方向の曲率半径が R_y (ミリメートル) である。

本発明の第1の態様の第5の実施形態によるマイクロレンズアレイは、

【数6】

$$\frac{0.047}{D} < \frac{D}{2f} = \frac{D(n-1)}{2R}$$

10

をさらに満たす。

【0017】

本発明の第1の態様の第6の実施形態によるマイクロレンズアレイは、

【数7】

$$0.0064\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} < \sigma < 0.014\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\}$$

をさらに満たす。

【0018】

20

本発明の第1の態様の第7の実施形態によるマイクロレンズアレイにおいては、マイクロレンズの頂点位置が、 x y 平面に垂直な方向に 0 から $0.55/(n-1)$ (マイクロメートル) の範囲で一様にばらついている。

【0019】

本実施形態によれば、複数のマイクロレンズの頂点位置を x y 平面、すなわち格子面に垂直な方向にも互いにずらすことで、複数のマイクロレンズからの位相をずらすことによって、いわゆるダークスポットを低減することができる。

【0020】

本発明の第1の態様の第8の実施形態によるマイクロレンズアレイにおいては、 ε_i の絶対値の最大値を $|\varepsilon_i|_{\max}$ として、

30

【数8】

$$|\varepsilon_i|_{\max} < 3\sigma$$

が満たされる。

【0021】

本発明の第2の態様による光学系は、発光する光の波長の最小値が (マイクロメートル) である光源とマイクロレンズアレイとを含み、該光源からの光を該マイクロレンズアレイによって発散させるように構成された光学系である。該マイクロレンズアレイは、 x y 平面上に配置された N 個のマイクロレンズからなり、それぞれのマイクロレンズのレンズ頂点の x y 平面への投影点は、所定の方向の格子間隔が、 M を正の整数として D/M (ミリメートル) である x y 平面上の基準格子構造の格子点の近傍に配置され、マイクロレンズの境界線をレンズの辺としてマイクロレンズの対向する二辺の間隔はほぼ D に等しく、レンズ頂点の x y 平面への投影点から辺の x y 平面への投影線までの距離が

40

【数9】

$$D/2 + \varepsilon_i$$

であり、

【数 1 0】

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{N}$$

$$\bar{\varepsilon} = \sum_{i=1}^N \frac{\varepsilon_i}{N} = 0$$

とし、それぞれのマイクロレンズの材料の屈折率を n 、中心近傍の該所定の方向の曲率半径を R (ミリメートル)、焦点距離を f (ミリメートル) として、

【数 1 1】

$$\frac{0.0072\lambda}{D} < \frac{D}{2f} = \frac{D(n-1)}{2R}$$

10

【数 1 2】

$$0.0062\sqrt{\lambda f} \left\{ 1 + \left(\frac{D}{2f} \right)^2 \right\} < \sigma < 0.019\sqrt{\lambda f} \left\{ 1 + \left(\frac{D}{2f} \right)^2 \right\}$$

を満たすように構成されている。

【0 0 2 2】

本態様の光学系によれば、マイクロレンズの開口に相当する、対向するレンズ境界線をなす二辺の間隔を適切にばらつかせることにより、単一のマイクロレンズの開口の回折に起因するものを含む光の強度分布のむらを低減することができる。

20

【0 0 2 3】

本発明の第 2 の態様の第 1 の実施形態による光学系は、該マイクロレンズアレイのマイクロレンズが、

【数 1 3】

$$\frac{0.080\lambda}{D} < \frac{D}{2f} = \frac{D(n-1)}{2R}$$

をさらに満たす。

30

【0 0 2 4】

本発明の第 2 の態様の第 2 の実施形態による光学系は、該マイクロレンズアレイのマイクロレンズが、

【数 1 4】

$$0.0083\sqrt{\lambda f} \left\{ 1 + \left(\frac{D}{2f} \right)^2 \right\} < \sigma < 0.019\sqrt{\lambda f} \left\{ 1 + \left(\frac{D}{2f} \right)^2 \right\}$$

をさらに満たす。

【0 0 2 5】

本発明の第 2 の態様の第 3 の実施形態による光学系においては、マイクロレンズの頂点位置が、 x y 平面に垂直な方向に 0 から $\lambda / (n-1)$ の範囲で一様にばらついている。

40

【0 0 2 6】

本実施形態によれば、複数のマイクロレンズの頂点位置を x y 平面、すなわち格子面に垂直な方向にも互いにずらすことで、複数のマイクロレンズからの位相をずらすことによって、いわゆるダークスポットを低減することができる。

【0 0 2 7】

本発明の第 2 の態様の第 4 の実施形態による光学系においては、 n 個の異なる波長 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_n の光源を備え、 multi は、 multi を i で割った余りを Remi として、 $\text{Remi} < (i / 10)$ または $\text{Remi} > (9 - i / 10)$ を全ての i に対して満たすように定められた定数であるとして、マイクロレンズの頂点位置が、 x y

50

平面に垂直な方向に 0 から $\text{multi} / (n - 1)$ の範囲で一様にばらついている。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の一実施形態によるマイクロレンズアレイを示す図である。

【図2】従来技術のマイクロレンズアレイの断面を示す図である。

【図3A】 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.07$ [mm] のマイクロレンズからなるマイクロレンズアレイの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。

【図3B】図3Aの角度 θ がマイナス 11 度からマイナス 7 度の範囲を拡大した図である。

10

【図4A】 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.05$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光による像を示す図である。

【図4B】 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.05$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。

【図5A】 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.1$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光による像を示す図である。

【図5B】 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.1$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。

20

【図6A】 $n = 1.5$ 、 $R = 0.15$ [mm]、 $D = 0.1$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光による像を示す図である。

【図6B】 $n = 1.5$ 、 $R = 0.15$ [mm]、 $D = 0.1$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。

【図7】マイクロレンズの中心曲率と周期 Λ との関係を示す図である。

【図8】マイクロレンズの開口幅 D と周期 Λ との関係を示す図である。

30

【図9】マイクロレンズの材料及び周囲の媒体の屈折率差と周期 Λ との関係を示す図である。

【図10】入射ビームの波長 λ と周期 Λ との関係を示す図である。

【図11】マイクロレンズアレイ 100 の断面を示す図である。

【図12】式 (17) 及び式 (19) を満たす開口幅 D 及び発散の角度 θ の領域を示す図である。

【図13】正方配列の基準格子の格子点にマイクロレンズの頂点を固定し、開口幅を変化させた状態を示す図である。

【図14A】最初に矩形配列の基準格子の格子点に複数のマイクロレンズの頂点を配置し、その後、格子面内において複数のマイクロレンズの頂点を格子点から移動させた状態を示す図である。

40

【図14B】最初に六方配列の基準格子の格子点に複数のマイクロレンズの頂点を配置し、その後、格子面内において複数のマイクロレンズの頂点を格子点から移動させた状態を示す図である。

【図14C】図14Bの円で囲った部分の拡大図である。

【0029】

【図15】実施例1のマイクロレンズアレイの底面に垂直方向に波長 0.5876 μm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。

【図16】実施例2の光学系の構成を示す図である。

【図17A】実施例2の光学系によって得られる x 軸方向 (水平方向) 光の強度分布を示

50

す図である。

【図 1 7 B】実施例 2 の光学系によって得られる y 軸方向（鉛直方向）光の強度分布を示す図である。

【図 1 8 A】実施例 3 の光学系の構成を示す図である。

【図 1 8 B】実施例 3 の光学系の光源光学系の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

図 1 は、本発明の一実施形態によるマイクロレンズアレイを示す図である。マイクロレンズアレイは、平面に配置されたほぼ同一形状の複数のマイクロレンズを含む。本発明のマイクロレンズアレイの特徴的な構成については後で説明する。

10

【0031】

図 2 は、従来技術のマイクロレンズアレイ 100A の断面を示す図である。図 2 の左側の平面に垂直に入射した光が、図 2 のマイクロレンズ 1000A の凸面によって屈折される。図 2 の左側の平面をマイクロレンズアレイ 100A の底面と呼称する。マイクロレンズ 1000A の頂点を通り、底面に垂直な直線を z 軸とする。z 軸の正の方向は、光の進む方向とする。マイクロレンズ 1000A の頂点を通り、z 軸に垂直な面内に互いに直交する x 軸及び y 軸を定める。図 2 は、マイクロレンズ 1000A の z 軸を含む断面を示す図である。図 2 において z 軸を OP で示す。

【0032】

マイクロレンズ 1000A の凸面は、一例として以下の式で表現されるものであってもよい。

20

【数 15】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_n \alpha_n r^{2n}$$

ここで、r はレンズの z 軸からの距離であり、c はレンズの中心曲率であって中心曲率半径 R と以下の関係を満たす。 α_n は係数である。

【数 16】

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$c = 1/R$$

30

【0033】

また、マイクロレンズ 1000A の凸面は、他の例として以下の式で表現されるものであってもよい。

【数 17】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_n \sum_m \alpha_{nm} x^n y^m$$

ここで、r は z 軸からの距離である。

40

【数 18】

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

c は軸対称項の中心曲率である。x 軸方向の中心曲率半径 R_x 及び y 軸方向の中心曲率半径 R_y は、2 次の係数 α_{nm} も考慮して以下の式で表現される。

【数 19】

$$c + 2\alpha_{20} = 1/R_x$$

$$c + 2\alpha_{02} = 1/R_y$$

50

【 0 0 3 4 】

図2において、マイクロレンズアレイ100Aの底面に垂直に入射し、マイクロレンズ1000Aの周縁を通過する光線L1及びL2がz軸となす角度は等しい。この角度を発散の角度と呼称し、 θ で表す。マイクロレンズ1000Aの焦点距離をf、開口幅をDとすると、角度 θ は以下の式で表せる。

【数20】

$$\tan \theta = \frac{D}{2f} \quad (1)$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{D}{2f} \right)$$

10

また、マイクロレンズ1000Aの焦点距離fはマイクロレンズアレイの材料の屈折率をn、中心曲率をRとすれば、以下の式で表せる。

【数21】

$$f = \frac{R}{n-1} \quad (2)$$

【 0 0 3 5 】

ところで、従来技術のマイクロレンズアレイによって光ビームを発散させた場合に、複数のマイクロレンズの配列に起因する干渉及び単一のマイクロレンズの開口に起因する回折によって、発散された光の強度分布にむらが生じることが知られている。このような光の強度分布にむらは、レーザーダイオードなどのコヒーレントな光源を用いたときに特に顕著に現れる。

20

【 0 0 3 6 】

図3Aは、 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.07$ [mm]のマイクロレンズからなるマイクロレンズアレイの底面に垂直方向に波長550nmの光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。

【 0 0 3 7 】

図3Bは、図3Aの角度 θ がマイナス11度からマイナス7度の範囲を拡大した図である。

30

【 0 0 3 8 】

図3A及び図3Bの横軸は発散の角度 θ を表し、図3A及び図3Bの縦軸は光の強度の相対値を表す。角度 θ の単位は度である。

【 0 0 3 9 】

図3A及び図3Bにおいて、細い線は光の強度を表し、太い線は、光の強度の、幅1度の移動平均を表す。たとえば、-9.0度における太い線の値は、-8.5度から-9.5度の範囲の細い線の値の平均値を表す。図3Bによると、光の強度分布には、細い線で示される、周期が約0.5度の成分と太い線で示される、周期が数度の成分とが存在する。細い線で示される周期が約0.5度の成分は、複数のマイクロレンズの配列に起因する干渉によって生じるものであり、太い線で示される周期が数度の成分は、単一のマイクロレンズの開口に起因する回折によって生じるものである。本例のように、マイクロレンズの開口幅が数10 μ mオーダーを超えるようなスケールのマイクロレンズアレイにおいては、マイクロレンズの開口に起因する回折によって生じる成分の方が大きくなる。

40

【 0 0 4 0 】

図3Aによると太い線による強度は、約-12度から約+12度の範囲で0.3以上であり、上記の範囲の最も外側、すなわち、角度の絶対値が最も大きい位置の山の頂点とその内側の谷の底との強度差が最も大きい。そこで、角度の絶対値が最も大きい位置の山の頂点と角度の絶対値が二番目に大きい位置の山の頂点との角度差を周期 $\Delta\theta$ とし、マイクロレンズアレイによって発散された光の強度分布のパラメータとして使用する。角度の絶対

50

値が最も大きい位置の山の頂点と角度の絶対値が二番目に大きい位置の山の頂点との角度差は、一例として、二つのガウス関数の足しあわせで最少二乗フィットし、二つのガウスピークの間隔を求めることによって定めてもよい。

【 0 0 4 1 】

上述の太い線で示される、周期が数度の成分が、マイクロレンズのどのような形状の影響を受けるのかについて検討する。

【 0 0 4 2 】

図 4 A は、 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.05$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光による像を示す図である。

10

【 0 0 4 3 】

図 4 B は、 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.05$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。図 4 B の横軸は発散の角度 θ を表し、図 4 B の縦軸は光の強度の相対値を表す。角度 θ の単位は度である。

【 0 0 4 4 】

図 5 A は、 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.1$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光による像を示す図である。

【 0 0 4 5 】

図 5 B は、 $n = 1.5$ 、 $R = 0.075$ [mm]、 $D = 0.1$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。図 5 B の横軸は発散の角度 θ を表し、図 5 B の縦軸は光の強度の相対値を表す。角度 θ の単位は度である。

20

【 0 0 4 6 】

図 6 A は、 $n = 1.5$ 、 $R = 0.15$ [mm]、 $D = 0.1$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光による像を示す図である。

【 0 0 4 7 】

図 6 B は、 $n = 1.5$ 、 $R = 0.15$ [mm]、 $D = 0.1$ [mm] のマイクロレンズの底面に垂直方向に波長 550 nm の光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。図 6 B の横軸は発散の角度 θ を表し、図 6 B の縦軸は光の強度の相対値を表す。角度 θ の単位は度である。

30

【 0 0 4 8 】

図 4 B のマイクロレンズと図 5 B のマイクロレンズは、開口の幅 D が異なる。光の強度が 0.2 より大きくなる発散の角度 θ の範囲は、図 4 B においては約 -10 度から約 $+10$ 度であり、図 5 B においては約 -17 度から約 $+17$ 度である。周期 $\Delta\theta$ は、図 4 B 及び図 5 B においてともに約 3 度である。

【 0 0 4 9 】

図 5 B のマイクロレンズと図 6 B のマイクロレンズは、中心曲率半径 R が異なる。光の強度が 0.2 より大きくなる発散の角図 5 B においては約 -17 度から約 $+17$ 度であり、図 6 B においては約 -9 度から約 $+9$ 度である。周期 $\Delta\theta$ は、図 5 B において約 3 度であり、図 6 B において約 2 度である。

40

【 0 0 5 0 】

図 7 は、マイクロレンズの中心曲率と周期 $\Delta\theta$ との関係を示す図である。図 7 の横軸は、マイクロレンズの中心曲率 ($1/R$) を表し、図 7 の縦軸は周期 $\Delta\theta$ を表す。横軸の単位は、 $1/\text{ミリメートル}$ であり、縦軸の単位は度である。なお、図 7 の点線は、中心曲率 ($1/R$) と周期 $\Delta\theta$ との関係を示す以下の式でフィッティングした曲線を示す。

【数 2 2】

$$\alpha = a_1 \sqrt{\frac{1}{R}}$$

このように、周期 の二乗と中心曲率 (1 / R) とは比例する。

【 0 0 5 1】

図 8 は、マイクロレンズの開口幅 D と周期 との関係を示す図である。図 8 の横軸は、マイクロレンズの開口幅 D を表し、図 8 の縦軸は周期 を表す。横軸の単位は、ミリメートルであり、縦軸の単位は度である。図 8 によると、周期 と開口幅 D との間の顕著な相関は認められない。

10

【 0 0 5 2】

図 9 は、マイクロレンズの材料及び周囲の媒体の屈折率差と周期 との関係を示す図である。図 9 の横軸は、マイクロレンズの材料及び周囲の媒体の屈折率差 (n - 1) を表し、図 9 の縦軸は周期 を表す。縦軸の単位は度である。なお、図 9 の点線は、マイクロレンズの材料及び周囲の媒体の屈折率差 (n - 1) と周期 との関係を以下の式でフィッティングした曲線を示す。

【数 2 3】

$$\alpha = a_2 \sqrt{n-1}$$

このように、周期 の二乗とマイクロレンズの材料及び周囲の媒体の屈折率差 (n - 1) とは比例する。

20

【 0 0 5 3】

図 10 は、入射ビームの波長 と周期 との関係を示す図である。図 10 の横軸は、入射ビームの波長 を表し、図 10 の縦軸は周期 を表す。横軸の単位は、マイクロメートルであり、縦軸の単位は度である。なお、図 10 の点線は、入射ビームの波長 と周期 との関係を以下の式でフィッティングした曲線を示す。

【数 2 4】

$$\alpha = a_3 \sqrt{\lambda}$$

このように、周期 の二乗と入射ビームの波長 とは比例する。

30

【 0 0 5 4】

式 (2) 及び上記の結果から以下の式が得られる。

【数 2 5】

$$\alpha \approx 1.43 \sqrt{\frac{\lambda(n-1)}{R}} = 1.43 \sqrt{\frac{\lambda}{f}} \quad (3)$$

【 0 0 5 5】

ここで、マイクロレンズの開口を定めるマイクロレンズのレンズ面境界の位置がずれることの、発散の角度 への影響について検討する。

【 0 0 5 6】

図 11 は、マイクロレンズアレイ 100 の断面を示す図である。図 11 のマイクロレンズアレイ 100 の底面に入射した光が、図 11 のマイクロレンズ 1000 の凸面によって屈折される。マイクロレンズ 1000 の頂点を通り、底面に垂直な直線を z 軸とする。z 軸の正の方向は、光の進む方向とする。マイクロレンズ 1000 の頂点を通り、z 軸に垂直な面内に互いに直交する x 軸及び y 軸を定める。図 11 は、マイクロレンズ 1000 z 軸を含む断面を示す図である。図 11 において z 軸を O p で示す。

40

【 0 0 5 7】

図 11 に示されるように、レンズ面の境界位置が 変化することで発散の角度 が だけ変化する。式 (1) を使用して、 と の関係は、以下の式で表せる。

【数 2 6】

$$\tan(\theta - \Delta\theta) = \frac{D - 2\varepsilon}{2f}$$

$$\frac{\tan \theta - \tan \Delta\theta}{1 + \tan \theta \tan \Delta\theta} = \frac{D - 2\varepsilon}{2f}$$

$$\tan \Delta\theta = \frac{4\varepsilon f}{4f^2 + D^2} = \frac{\varepsilon}{\left\{1 + \left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\}f}$$

10

【0058】

は、十分に小さいので以下の関係が成立する。

【数 2 7】

$$\Delta\theta \approx \frac{360}{2\pi} \tan \Delta\theta = \frac{360\varepsilon}{2\pi \left\{1 + \left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\}f} \quad (4)$$

【0059】

任意の二つのマイクロレンズを選択したときに、二つのマイクロレンズによる発散の角度の変化の差が、周期の半分であれば、マイクロレンズの開口に起因する回折によって生じる成分は打ち消しあって小さくなる。すなわち、以下の関係が成立するときにマイクロレンズの開口に起因する回折によって生じる成分は打ち消しあって小さくなる。

20

【数 2 8】

$$\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1 = \frac{\alpha}{2} \quad (5)$$

【0060】

式(5)に式(3)及び式(4)を代入して以下の式が得られる。

【数 2 9】

$$\frac{360(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{2\pi \left\{1 + \left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\}f} = \frac{1.43}{2} \sqrt{\frac{\lambda}{f}}$$

30

$$\varepsilon_2 - \varepsilon_1 = 0.0125 \sqrt{\lambda f} \left\{1 + \left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} \quad (6)$$

【0061】

複数のマイクロレンズからなるマイクロレンズアレイ全体において、複数のマイクロレンズの開口に起因する回折によって生じる成分を小さくするには、レンズ面の境界位置の変化量をばらつかせるのが好ましい。レンズ面の境界位置の変化量の分散を σ^2 としたとき、以下の関係を満たすのが好ましい。

40

【数 3 0】

$$0.0062 \sqrt{\lambda f} \left\{1 + \left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} < \sigma < 0.019 \sqrt{\lambda f} \left\{1 + \left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} \quad (7)$$

ただし、

【数 3 1】

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{N}$$

$$\bar{\varepsilon} = \sum_{i=1}^N \frac{\varepsilon_i}{N} = 0$$

である。

【0062】

光源の光の波長としてd線0.5876 μmを想定すれば、以下の関係を満たすのが好ましい。

10

【数 3 2】

$$0.0048\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} < \sigma < 0.014\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} \quad (8)$$

式(7)、(8)の下限を満たさないと、開口に起因する回折によって生じる成分を十分に小さくすることができない。また式(7)、(8)の上限を超えると発散される光の強度分布の一様性が低下し、また、マイクロレンズの接線角がきつくなり製造が困難になる。

【0063】

20

さらに、以下の関係を満たすのがより好ましい。

【数 3 3】

$$0.0083\sqrt{\lambda f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} < \sigma < 0.019\sqrt{\lambda f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} \quad (9)$$

【数 3 4】

$$0.0064\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} < \sigma < 0.014\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} \quad (10)$$

【0064】

30

また、さらに以下の関係を満たすのがより好ましい。

【数 3 5】

$$0.0113\sqrt{\lambda f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} < \sigma < 0.0138\sqrt{\lambda f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} \quad (11)$$

【数 3 6】

$$0.0086\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} < \sigma < 0.0106\sqrt{f}\left\{1+\left(\frac{D}{2f}\right)^2\right\} \quad (12)$$

【0065】

40

レンズ面の境界位置の変化量の絶対値の最大値を $|\varepsilon|_{\max}$ として以下の関係を満たすのが好ましい。

【数 3 7】

$$|\varepsilon|_{\max} < 3\sigma \quad (13)$$

また、以下の関係を満たすのがより好ましい。

【数 3 8】

$$|\varepsilon|_{\max} < 2.5\sigma \quad (14)$$

【0066】

50

ここで、図3A及び図3Bにおいて細い線で表される、複数のマイクロレンズの配列に起因する干渉によって生じる成分の周期について検討する。配列の周期すなわちマイクロレンズの開口幅をD(ミリメートル)、光の波長を(マイクロメートル)とすると、回折の式より は以下のように示すことができる。

【数39】

$$\beta \approx \sin \beta = \frac{360}{2\pi} \frac{\lambda}{1000D} \quad (15)$$

【0067】

単一のマイクロレンズの開口に起因する回折によって生じる成分の周期 と、複数のマイクロレンズの配列に起因する干渉によって生じる成分の周期 との比をMとすると、式(3)及び式(15)を使用して、Mは以下の式で表すことができる。

【数40】

$$M = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{25D}{\sqrt{\lambda f}}$$

式(1)を使用して以下の式が得られる。

【数41】

$$M = 25 \sqrt{\frac{2D \tan \theta}{\lambda}}$$

$$\frac{8.0E^{-4} M^2 \lambda}{D} = \tan \theta$$

【0068】

本発明が有効となるには、 が より明らかに大きくなければならず、Mが3より大きいのが好ましい。したがって、以下の関係が成立するのが好ましい。

【数42】

$$\frac{0.0072\lambda}{D} < \tan \theta \quad (16)$$

光源の光の波長としてd線0.5876umを想定すれば、以下の関係が成立するのが好ましい。

【数43】

$$\frac{0.0042}{D} < \tan \theta \quad (17)$$

また、Mが10より大きいのがより好ましい。したがって、以下の関係が成立するのがより好ましい。

【数44】

$$\frac{0.080\lambda}{D} < \tan \theta \quad (18)$$

$$\frac{0.047}{D} < \tan \theta \quad (19)$$

【0069】

図12は、式(17)及び式(19)を満たす開口幅D及び発散の角度 の領域を示す図である。図12の横軸は開口幅Dを表し、図12の縦軸は発散の角度 を表す。横軸の単位はミリメートルであり、縦軸の単位は度である。本発明はマイクロレンズの開口幅Dが

数 10 μm のオーダーでも、発散の角度 が広い場合には非常に効果的であることが判る。

【 0 0 7 0 】

式 (1) を使用して、式 (1 6) 乃至式 (1 9) から を消去すれば、式 (2 0) 乃至式 (2 3) が得られる。

【 数 4 5 】

$$\frac{0.0072\lambda}{D} < \frac{D}{2f} = \frac{D(n-1)}{2R} \quad (20)$$

【 数 4 6 】

$$\frac{0.0042}{D} < \frac{D}{2f} = \frac{D(n-1)}{2R} \quad (21)$$

【 数 4 7 】

$$\frac{0.080\lambda}{D} < \frac{D}{2f} = \frac{D(n-1)}{2R} \quad (22)$$

【 数 4 8 】

$$\frac{0.047}{D} < \frac{D}{2f} = \frac{D(n-1)}{2R} \quad (23)$$

【 0 0 7 1 】

たとえば、式 (7) を満たすように、複数のマイクロレンズの開口幅 D を変化させる方法について説明する。

【 0 0 7 2 】

図 1 3 は、正方配列の基準格子の格子点にマイクロレンズの頂点を固定し、開口幅を変化させた状態を示す図である。この場合は隣り合うマイクロレンズの境界に不連続な段差が生じる。このような段差は不必要な迷光の原因となったり、射出成型で製造する際に離型に悪影響を与えたりすることがある。

【 0 0 7 3 】

図 1 4 A は、最初に、格子間隔が D x 及び D y である矩形配列の基準格子の格子点に複数のマイクロレンズの頂点を配置し、その後、格子面内において複数のマイクロレンズの頂点を格子点から移動させた状態を示す図である。この場合に、隣接するマイクロレンズの境界は、マイクロレンズが軸対象の場合には、隣接するレンズ頂点を結ぶ線分の垂直二等分線となり、境界において隣接するレンズ面の段差が生じることはない。マイクロレンズが軸非対称の場合には、垂直二等分線からずれが生じるが、そのずれ量は、 の格子と直交する成分が格子間隔 D x または D y よりも十分に小さければ無視できる量である。マイクロレンズの境界を辺と呼称する。矩形配列の基準格子の場合に、マイクロレンズの対向する 2 辺の間隔は、ほぼ D x または D y に等しい。

【 0 0 7 4 】

このとき、マイクロレンズアレイの格子方向への位置ずれ量を i 、 $i + 1$ 、 \dots とすれば以下の関係が成立する。ここで、 i はそれぞれの格子を識別する整数である。

10

20

30

40

【数 4 9】

$$\varepsilon_i \cong \frac{\eta_i + \eta_{i+1}}{2}$$

$$\sigma_\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\eta_i - \bar{\eta})^2}{N}} = \sqrt{2}\sigma$$

$$\bar{\eta} = \frac{\sum_{i=1}^N \eta_i}{N}$$

したがって、レンズ頂点の位置ずれの分散 を開口の位置ずれに必要な分散 の 2 の平方根倍とすれば適当な開口ずれが得られることが判る。 10

【 0 0 7 5】

図 1 4 B は、最初に六方配列の基準格子の格子点に複数のマイクロレンズの頂点を配置し、その後、格子面内において複数のマイクロレンズの頂点を格子点から移動させた状態を示す図である。ここで、格子の方向を l、m 及び n で表すと、3 種類の格子間隔は、D l / 2、D m / 2 及び D n / 2 で表せる。この場合に、マイクロレンズの対向する 2 辺の間隔は、ほぼ、D l、D m または D n に等しい。

【 0 0 7 6】

図 1 4 C は、図 1 4 B の円で囲った部分の拡大図である。

【 0 0 7 7】

マイクロレンズのレンズ面形状はいわゆる自由曲面でもよく、その場合の開口の変化量は周期的な基準レンズ配列方向ごとにマイクロレンズ断面の曲率を算出して定めてやればよい。 20

【 0 0 7 8】

マイクロレンズの開口に起因する回折による強度分布のむらを打ち消しても、マイクロレンズアレイの周期構造に起因する干渉による強度分布のむらは残る。マイクロレンズの頂点を基準格子の格子点から格子面内でずらした場合、マイクロレンズアレイの周期構造自体が乱れるので、周期構造による強度分布のむらも低減する。しかし、格子面内の位置ずれだけでは低次の回折光の干渉ピークを乱す効果は弱く、結果として 0 度付近に強度が非常に弱いダークスポットが生じる場合がある。このようなダークスポットを低減するには、複数のマイクロレンズの頂点位置を光軸方向、すなわち格子面に垂直な方向にも互いにずらすことで、複数のマイクロレンズからの位相をずらすことが効果的である。 30

【 0 0 7 9】

干渉による強度分布のむらを打ち消すには位相のずれが 2 の中に均等に分布していることが望ましい。波長 の光源に対して、位相ずれが均等に分布するには、光軸方向のレンズ位置ずれ z_i を $0 \leq z_i < m / (n - 1)$ の範囲に一様に分布させることで、この条件を満たすことができる。(ただし、m は 1 以上の整数。) 加工や配光の制御を考慮すると、 z_i は小さい方が有利なので、 $0 \leq z_i < / (n - 1)$ の範囲に一様に分布させるのが望ましい。 40

【 0 0 8 0】

以下に本発明の実施例について説明する。

実施例 1

実施例 1 は、図 1 に示すように、球面のマイクロレンズ面を、正方格子を基準格子として配列したマイクロレンズアレイである。実施例 1 のマイクロレンズアレイの仕様を以下に示す。

マイクロレンズレンズ面中心曲率半径 R : 0 . 0 9 5 mm

基準格子間隔 D : 0 . 0 8 2 mm

素子厚み : 1 . 0 mm

材料屈折率 (アクリル) : 1 . 4 9 2

ここで、マイクロレンズの素子厚みとは、頂点から底面までの距離を意味する。 50

【 0 0 8 1 】

正方格子の直交する 2 方向を x 方向及び y 方向として、マイクロレンズのレンズ頂点は、基準格子位置から x 方向は $\pm 7.6 \mu\text{m}$ 、y 方向は $\pm 7.6 \mu\text{m}$ の範囲で一様に分布させている。

【 0 0 8 2 】

このとき、 $D^2 / 2f = 0.0174$ となり、式 (21) 及び式 (23) は満たされる。また、 $\sigma = 0.0076 / \sqrt{6} = 0.0031 \text{ mm}$ となり、

【 数 5 0 】

$$\frac{\sigma}{\sqrt{f \{1 + (D/2f)^2\}}} = 0.0068$$

10

となるので式 (8) 及び式 (10) は満たされる。

【 0 0 8 3 】

図 15 は、実施例 1 のマイクロレンズアレイの底面に垂直方向に波長 $0.5876 \mu\text{m}$ のマイクロメータの光ビームを入射させ発散させたときに得られる光の強度分布を示す図である。図 15 の横軸は発散の角度 θ を表し、図 15 の縦軸は光の強度の相対値を表す。角度 θ の単位は度である。図 15 において、細い線は光の強度を表し、太い線は、光の強度の、幅 1 度の移動平均を表す。

【 0 0 8 4 】

図 15 の太い線の強度分布を、図 3 A の太い線の強度分布と比較すると、図 15 では、図 3 A の $\theta = 0$ で示される大きな強度差を生じる部分が存在していない。したがって、実施例 1 のマイクロレンズアレイによって、従来のマイクロレンズアレイよりもより一様な照度分布が得られる。

20

【 0 0 8 5 】

実施例 2

図 16 は、実施例 2 の光学系の構成を示す図である。実施例 2 の光学系は、レーザーダイオード光源 200、コリメータレンズ 300、及びマイクロレンズアレイ 102 からなる。レーザーダイオード光源 200 のレーザーの波長は、 780 nm ナノメータである。

【 0 0 8 6 】

コリメータレンズ 300 は BK7 を材料とする非球面レンズである。入射面及び射出面は、入射面及び射出面の曲率中心を結ぶ直線を z 軸とし、z 軸からの距離を r として以下の式で表せる。

30

【 数 5 1 】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}}$$

$$c = \frac{1}{R}$$

入射面のパラメータは以下のとおりである。

40

$$R = 2.462 \text{ mm}, k = -1$$

射出面のパラメータは以下のとおりである。

$$R = -0.979 \text{ mm}, k = -1$$

コリメータレンズ 300 に関するその他の仕様は以下のとおりである。

光源から入射面までの距離：1.0 mm

素子厚み：1.0 mm

材料の屈折率：1.511

ここで、素子厚みとは、コリメータレンズ 300 の中心厚を意味する。

【 0 0 8 7 】

マイクロレンズアレイ 102 は、自由曲面のマイクロレンズ面を、正方格子を基準格子

50

として配列したものである。

【 0 0 8 8 】

レンズ頂点を通り、マイクロレンズアレイ 1 0 2 の底面に垂直な直線を z 軸とし、z 軸に垂直な面内において、正方格子の 2 方向を x 軸及び y 軸として、マイクロレンズ面は、以下の式で表せる。

【数 5 2】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_n \sum_m \alpha_{nm} x^n y^m$$

ここで、r はレンズの z 軸からの距離である。

10

【数 5 3】

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

c は軸対称項の中心曲率である。x 軸方向の中心曲率半径 R_x 及び y 軸方向の中心曲率半径 R_y は、2 次の係数も考慮して以下の式で表現される。

【数 5 4】

$$c + 2\alpha_{20} = 1/R_x$$

$$c + 2\alpha_{02} = 1/R_y$$

20

自由曲面を定める係数は

$$1/c = 0, k = 0$$

$$\alpha_{20} = 2 \cdot 0, \alpha_{02} = 1 \cdot 5$$

他の係数 α_{nm} は 0 である。

二次の係数を考慮すると、マイクロレンズのレンズ面中心曲率半径は x 方向と y 方向で異なり

$$R_x : 0.25 \text{ mm}$$

$$R_y : 0.33 \text{ mm}$$

となる。

【 0 0 8 9 】

30

マイクロレンズアレイ 1 0 2 のその他の仕様は以下のとおりである。

基準格子間隔 D : 0.2 mm

素子厚み : 0.5 mm

材料屈折率 (アクリル) : 1.486 ($\lambda = 780 \text{ nm}$ 、すなわち $0.78 \mu\text{m}$)

ここで、マイクロレンズの素子厚みとは、頂点から底面までの距離を意味する。

【 0 0 9 0 】

マイクロレンズのレンズ頂点は基準格子位置を中心とし、x 方向半径 $13.3 \mu\text{m}$ 、y 方向半径 $15.0 \mu\text{m}$ の楕円の中に一様に分布させている。

【 0 0 9 1 】

このとき、xz 面の焦点距離を f_x 、yz 面の焦点距離を f_y とすると、 $D^2 / (2f_x) = 0.056$ 、 $D^2 / (2f_y) = 0.044$ となり、式 (20) は満たされる。また、 $x = 0.00133 / 8 = 0.0047 \text{ mm}$ となり、

40

【数 5 5】

$$\frac{\sigma_x}{\sqrt{\lambda f_x \{1 + (D/2f_x)^2\}}} = 0.0077$$

となるので式 (7) は満たされる。さらに、 $y = 0.0053 \text{ mm}$ となり、

【数56】

$$\frac{\sigma_y}{\sqrt{\mathcal{M}_y \left\{ 1 + \left(D/2f_y \right)^2 \right\}}} = 0.0077$$

となるので式(7)は満たされる。

【0092】

図17Aは、実施例2の光学系によって得られるx軸方向(水平方向)光の強度分布を示す図である。図17Aの横軸は発散の角度を表し、図17Aの縦軸は光の強度の相対値を表す。角度の単位は度である。図17Aにおいて、細い線は光の強度を表し、太い線は、光の強度の、幅1度の移動平均を表す。

10

【0093】

図17Bは、実施例2の光学系によって得られるy軸方向(鉛直方向)光の強度分布を示す図である。図17Bの横軸は発散の角度を表し、図17Bの縦軸は光の強度の相対値を表す。角度の単位は度である。図17Bにおいて、細い線は光の強度を表し、太い線は、光の強度の、幅1度の移動平均を表す。

【0094】

図17A及び図17Bの太い線の強度分布を、図3Aの太い線の強度分布と比較すると、図17A及び図17Bでは、図3Aの で示される大きな強度差を生じる部分が存在していない。したがって、実施例2のマイクロレンズアレイによって、従来のマイクロレンズアレイよりもより一様な照度分布が得られる。

20

【0095】

実施例3

図18Aは、実施例3の光学系の構成を示す図である。実施例3の光学系は、光源光学系2100と、マイクロレンズアレイであるスクリーン103と、自由曲面ミラー2200と、フロントガラス2300とを含む。

【0096】

図18Bは、実施例3の光学系の光源光学系2100の構成を示す図である。光源光学系2100は、レーザーダイオード200A、200B及び200Cと、コリメータレンズ300A、300B及び300Cと、ダイクロイックミラー400と、ミラー500と、MEMSミラー600とを含む。

30

【0097】

実施例3の光学系は、0.45µm、0.53µm、0.65µmの三つの異なる発振波長のレーザー200A、200B及び200Cを光源とした、ヘッドマウントディスプレイである。三つのレーザーダイオード200A、200B及び200Cから発振された光は、それぞれコリメータレンズ300A、300B及び300Cで平行光束とされたのちに、ダイクロイックミラー400で一本のビームに合波される。合波されたビームは、MEMSミラー600で偏向されマイクロレンズアレイ103上を走査する。レーザーダイオード200A、200B及び200CをMEMSミラー600と同期して変調することで、マイクロレンズアレイ103上に中間像が描画される。中間像はマイクロレンズアレイ103で発散の角度を拡大され後に、自由曲面ミラー2200及びフロントガラス2300で反射されて虚像2400を形成する。マイクロレンズ103によって発散される光の強度分布にむらがあると、虚像にもむらが生じたり視点をずらした際に虚像の明るさが変化したりするので不都合である。

40

【0098】

スクリーンとして使用されるマイクロレンズアレイ103は、 $D_x = 0.1\text{ mm}$ 、 $D_y = 0.05\text{ mm}$ の矩形格子を基準格子とするマイクロレンズアレイである。複数のマイクロレンズの頂点位置は基準格子位置からx軸方向の半径 $12.3\text{ }\mu\text{m}$ 、y軸方向の半径 $12.8\text{ }\mu\text{m}$ の楕円の中に一様にばらつき、z軸方向には最大 $2.65\text{ }\mu\text{m}$ の範囲で一様にばらつくように配置されている。

【0099】

50

マイクロレンズ面は、軸対象な非球面であり、レンズ頂点を通り底面に垂直な直線を z 軸とし、z 軸からの距離を r として以下の式で表せる。

【数 5 7】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}}$$

【数 5 8】

$$c = \frac{1}{R}$$

マイクロレンズ面のパラメータは以下のとおりである。

レンズ面中心曲率半径 R : 0 . 1 mm

コーニック k : - 1 . 0

マイクロレンズアレイ 1 0 3 のその他の仕様は以下のとおりである。

素子厚み : 1 . 0 mm

材料屈折率 (アクリル) : 1 . 4 9 2

このとき、

$$D_x^2 / 2f / 0 . 45 = 0 . 055$$

$$D_x^2 / 2f / 0 . 53 = 0 . 046$$

$$D_x^2 / 2f / 0 . 65 = 0 . 038$$

$$D_y^2 / 2f / 0 . 45 = 0 . 055$$

$$D_y^2 / 2f / 0 . 53 = 0 . 046$$

$$D_y^2 / 2f / 0 . 65 = 0 . 038$$

となり、いずれも式 (2 0) を満たす。

【 0 1 0 0 】

また、

$$x = 0 . 00435 \text{ mm}, \quad y = 0 . 0417 \text{ mm} \text{ となるので、}$$

【数 5 9】

$$\frac{\sigma_x}{\sqrt{0.53 \cdot f \{1 + (D_x/2f)^2\}}} = 0.0125$$

【数 6 0】

$$\frac{\sigma_y}{\sqrt{0.53 \cdot f \{1 + (D_y/2f)^2\}}} = 0.0125$$

となり、 $\sigma_x = 0 . 53$ マイクロメートルに対して、式 (7)、式 (9) 及び式 (1 1) を満たす。また、 $\sigma_y = 0 . 45$ マイクロメートル、 $\sigma_z = 0 . 65$ マイクロメートルに対して式 (7) を満たす。

【 0 1 0 1 】

さらに、

$$2 . 66 / 0 . 45 = 0 . 45 \times 5 + 0 . 41$$

$$2 . 66 / 0 . 53 = 0 . 53 \times 5 + 0 . 01$$

$$2 . 66 / 0 . 65 = 0 . 65 \times 4 + 0 . 06$$

となり、2 . 66 を波長で割った余りは、0 . 41、0 . 0 . 01、0 . 06 であり、以下の関係が満たされる。

$$0 . 41 / 0 . 45 > 0 . 9$$

$$0 . 01 / 0 . 53 < 0 . 1$$

$$0 . 06 / 0 . 65 < 0 . 1$$

そこで、複数のマイクロレンズの頂点位置を格子面に垂直方向に 0 から 2 . 66 マイク

10

20

30

40

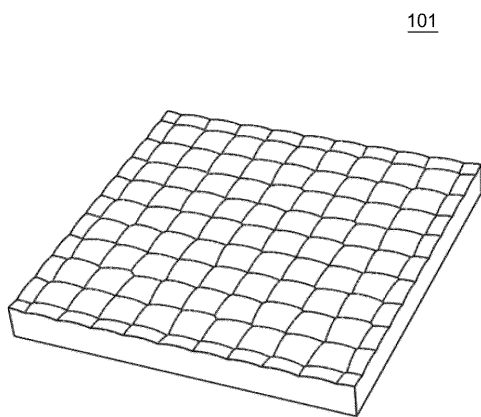
50

ロメータの範囲で一様にばらつかせて、三波長について複数のマイクロレンズからの位相をずらすことによって、いわゆるダークスポットを低減することができる。

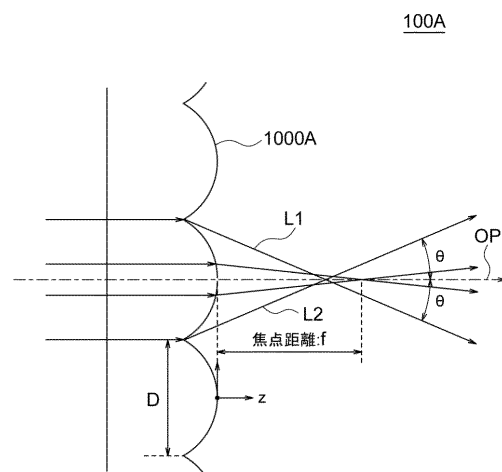
【 0 1 0 2 】

実施例3のヘッドマウントディスプレイは、マイクロレンズアレイから発散される光の強度分布のむらが小さく、虚像の輝度むらも抑制されている。

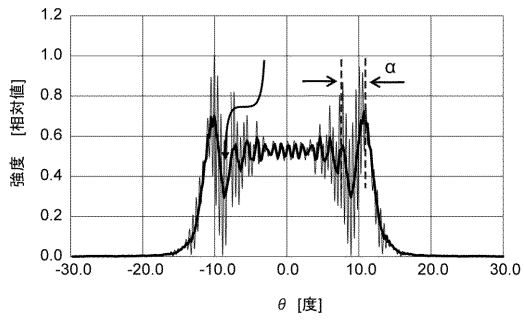
【 図 1 】



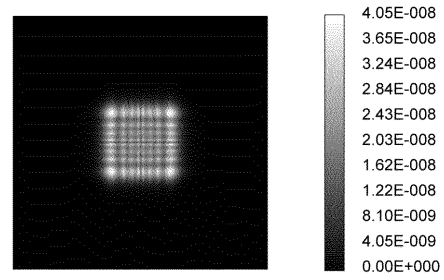
【 図 2 】



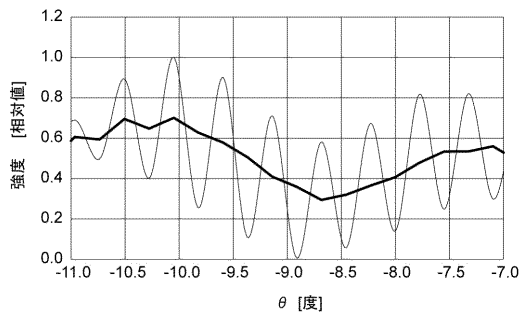
【 図 3 A 】



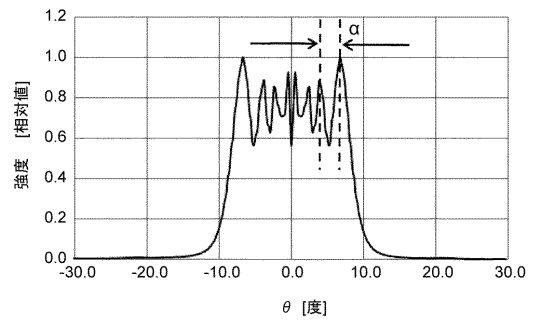
【 図 4 A 】



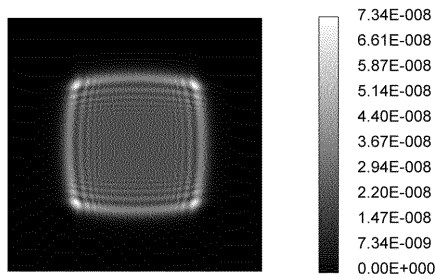
【 図 3 B 】



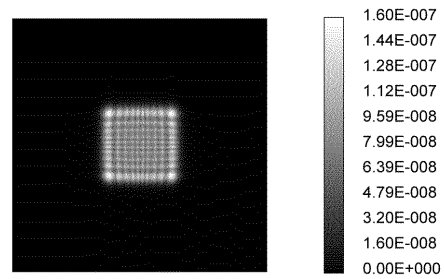
【 図 4 B 】



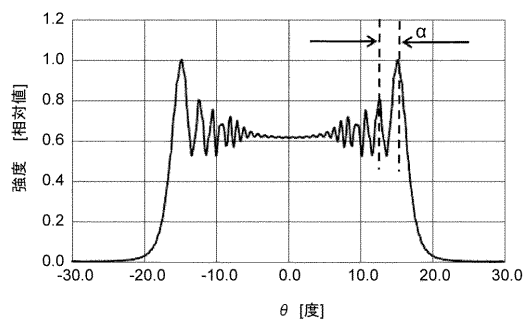
【 図 5 A 】



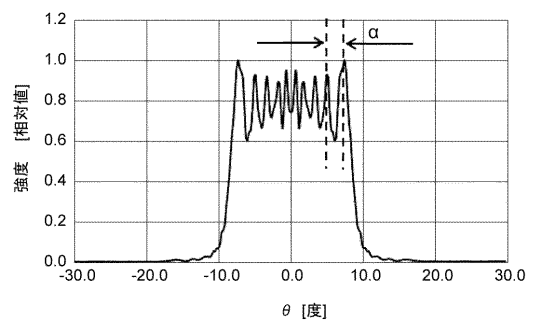
【 図 6 A 】



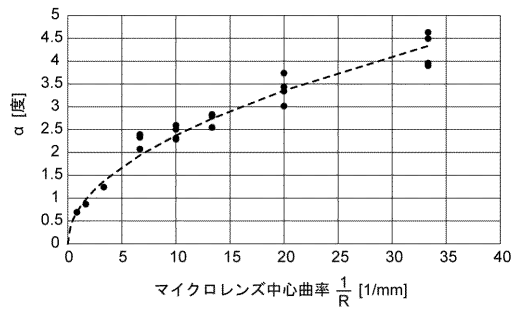
【 図 5 B 】



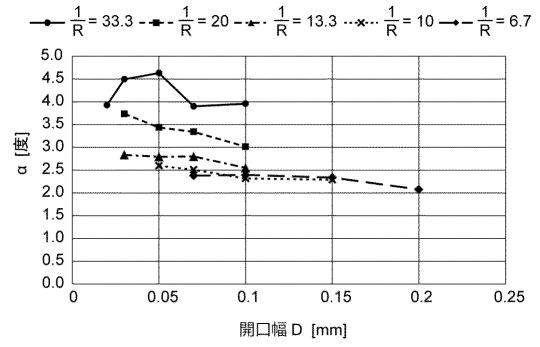
【 図 6 B 】



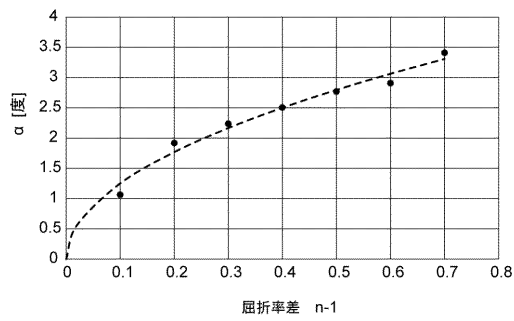
【図7】



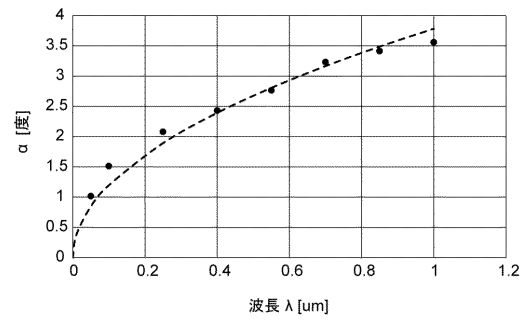
【図8】



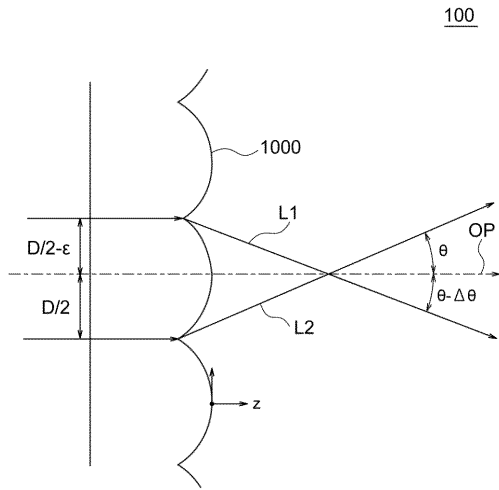
【図9】



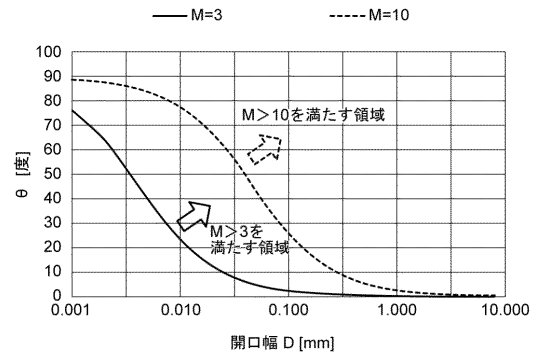
【図10】



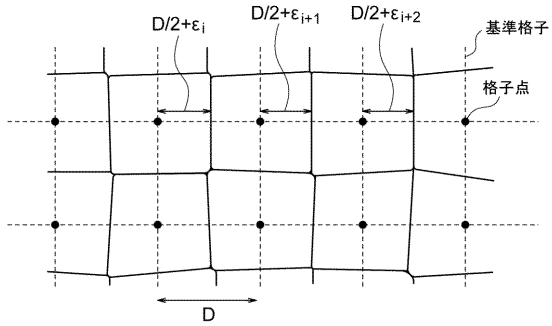
【図 1 1】



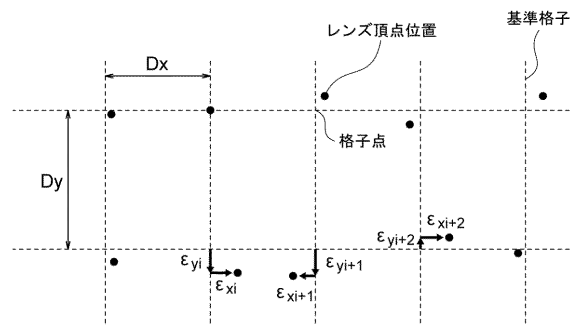
【図 1 2】



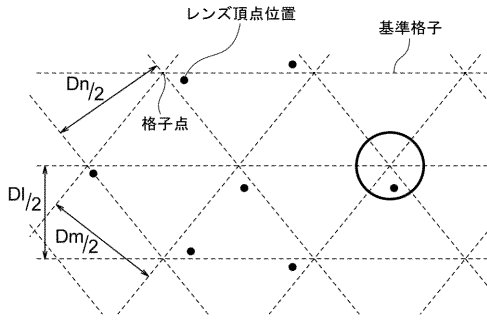
【図 1 3】



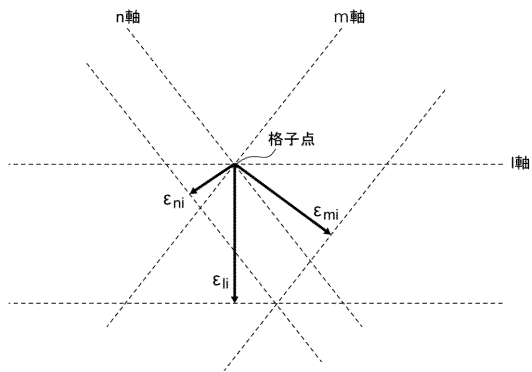
【図 1 4 A】



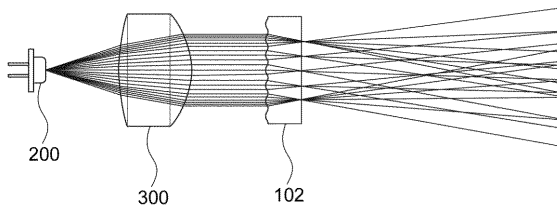
【図14B】



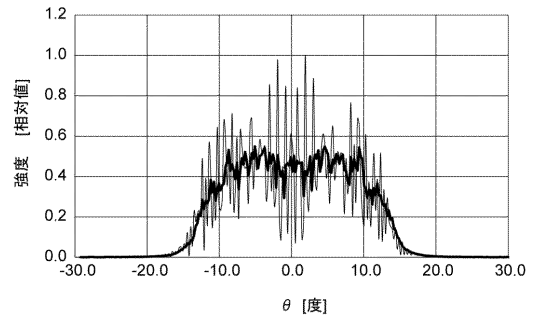
【図14C】



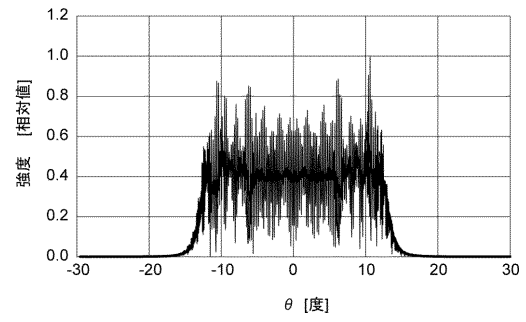
【図16】



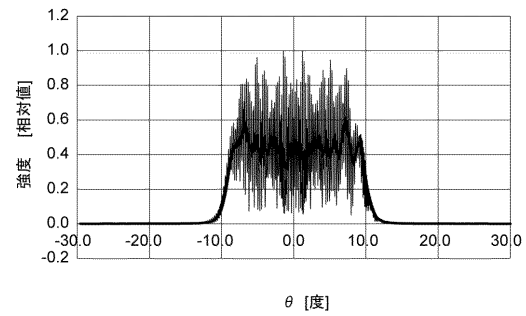
【図15】




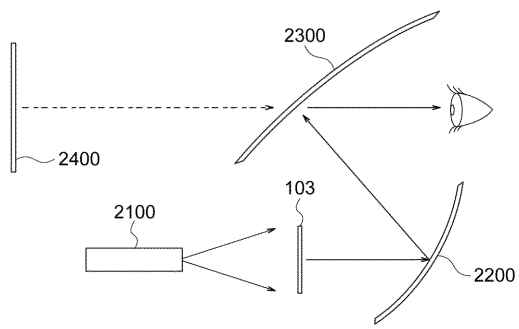
【図17A】




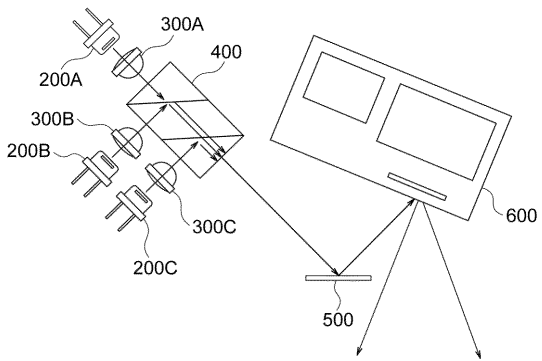
【図17B】



【 1 8 A】



【 1 8 B】



フロントページの続き

(72)発明者 西尾 幸暢

大阪府三島郡島本町山崎2丁目1番7号 ナルックス株式会社 山崎本社内

(72)発明者 桑垣内 智仁

大阪府三島郡島本町山崎2丁目1番7号 ナルックス株式会社 山崎本社内

審査官 後藤 慎平

(56)参考文献 特開2013-250336(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 3/00-3/14