

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6543825号
(P6543825)

(45) 発行日 令和1年7月17日(2019.7.17)

(24) 登録日 令和1年6月28日(2019.6.28)

(51) Int.Cl.	F I		
G02B 3/00 (2006.01)	G02B 3/00	A	
G02B 3/08 (2006.01)	G02B 3/08		
F21V 5/00 (2018.01)	F21V 5/00	510	
F21V 5/04 (2006.01)	F21V 5/04	200	
F21Y 115/10 (2016.01)	F21V 5/04	350	
請求項の数 10 (全 21 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2016-512652 (P2016-512652)
 (86) (22) 出願日 平成27年3月24日 (2015.3.24)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2015/058919
 (87) 国際公開番号 W02015/156120
 (87) 国際公開日 平成27年10月15日 (2015.10.15)
 審査請求日 平成30年3月15日 (2018.3.15)
 (31) 優先権主張番号 61/975, 941
 (32) 優先日 平成26年4月7日 (2014.4.7)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 597073645
 ナルックス株式会社
 大阪府大阪市東淀川区南江口3丁目4番2
 9号
 (74) 代理人 100105393
 弁理士 伏見 直哉
 (72) 発明者 関 大介
 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 坂上 典久
 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 瀬川 勝久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロレンズアレイ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のマイクロレンズを備えたマイクロレンズアレイであって、
 各マイクロレンズは、凸多角形のN個の辺と、該凸多角形の平面から離れたマイクロ
 レンズ頂点と、該マイクロレンズ頂点と該凸多角形のN個の頂点とを結ぶ線によって区切ら
 れたN個の曲面と、を含み、該マイクロレンズ頂点を通り該凸多角形の平面に直交する直
 線をz軸とし、z軸と該凸多角形の平面との交点を原点とし、該凸多角形の平面内におい
 て原点を通り、ある辺に直交する直線をx軸とし、該辺に対応する曲面のz座標はxのみ
 で定まり、

$$z = f(x)$$

で表され、原点から該辺までの距離をtとして、該マイクロレンズの材料の屈折率をn₀
 とし、Aは非負、Cは正の定数として、

【数1】

$$g(x) = \frac{-x}{|x|} \cdot \frac{Cx^2 + A}{n_0 \sqrt{1 + (Cx^2 + A)^2} - 1}$$

とすると、0.25・t < |x| tにおいて、

【数 2】

$$g(x) - 0.035 \leq \frac{df(x)}{dx} \leq g(x) + 0.035$$

を満たし、

該凸多角形の平面に垂直に入射する均一な平行光束によって、該平行光束に垂直な平面上に形成される直線状の周囲より照度の高い部分の照度分布が、該辺に対応する曲面が円弧形状である場合の照度分布よりも一様になるように $f(x)$ が定められたマイクロレンズアレイ。

【請求項 2】

該凸多角形が正多角形である請求項 1 に記載のマイクロレンズアレイ。

【請求項 3】

z 軸が該正多角形の中心を通るように構成された請求項 2 に記載のマイクロレンズアレイ。

【請求項 4】

N が 3、4 または 6 である請求項 1 から 3 のいずれかに記載のマイクロレンズアレイ。

【請求項 5】

隣り合う辺に対応する曲面の形状が異なるように構成された請求項 1 から 4 のいずれかに記載のマイクロレンズアレイ。

【請求項 6】

コリメータレンズと一体的に形成された請求項 1 から 5 のいずれかに記載のマイクロレンズアレイ。

【請求項 7】

該凸多角形が、対向する辺の間隔が 2 ミリメートルの正六角形であり、該マイクロレンズ頂点から該六角形の面と平行なマイクロレンズ底面までの距離が 1 ミリメートルである場合に、該マイクロレンズ底面に垂直に入射する均一な平行光束によって、該マイクロレンズ底面から光軸方向に 2.96 メータの位置の光軸に垂直な平面に形成される直線状の周囲より照度の高い部分において、光軸と該光軸に垂直な平面との交点から 0.2 メートルから 1.3 メートルの位置の相対照度は 0.8 以上となるように $f(x)$ が定められた 請求項 1 に記載のマイクロレンズアレイ。

【請求項 8】

該凸多角形が、一辺が 2 ミリメートルの正方形であり、該マイクロレンズ頂点から該正方形の面と平行なマイクロレンズ底面までの距離が 1 ミリメートルである場合に、該マイクロレンズ底面に垂直に入射する均一な平行光束によって、該マイクロレンズ底面から光軸方向に 2.96 メータの位置の光軸に垂直な平面に形成される直線状の周囲より照度の高い部分において、光軸と該光軸に垂直な平面との交点から 0.3 メートルから 2.0 メートルの位置の相対照度は 0.9 以上となるように $f(x)$ が定められた 請求項 1 に記載のマイクロレンズアレイ。

【請求項 9】

n を正の整数、 a_n を定数として、マイクロレンズの曲面が、

【数 3】

$$z = f(x) = \sum_{n=1}^{10} \left(\frac{x}{|x|} \right)^n a_n x^n$$

によって表せる請求項 1 に記載のマイクロレンズアレイ。

【請求項 10】

複数のマイクロレンズを備えたマイクロレンズアレイの製造方法であって、

各マイクロレンズは、凸多角形の N 個の辺と、該凸多角形の平面から離れたマイクロレンズ頂点と、該マイクロレンズ頂点と該凸多角形の N 個の頂点とを結ぶ線によって区切ら

10

20

30

40

50

れたN個の曲面と、を含み、該マイクロレンズ頂点を通り該凸多角形の平面に直交する直線をz軸とし、z軸と該凸多角形の平面との交点を原点とし、該凸多角形の平面内において原点を通り、ある辺に直交する直線をx軸とし、該辺に対応する曲面のz座標はxのみで定まり、

$$z = f(x)$$

で表され、原点から該辺までの距離をtとして、該マイクロレンズの材料の屈折率を n_0 とし、Aは非負、Cは正の定数として、

【数4】

$$g(x) = \frac{-x}{|x|} \cdot \frac{Cx^2 + A}{n_0 \sqrt{1 + (Cx^2 + A)^2} - 1} \quad 10$$

として、 $0.25 \cdot t < |x| < t$ において、

【数5】

$$g(x) - 0.035 \leq \frac{df(x)}{dx} \leq g(x) + 0.035$$

の範囲で $g(x)$ に対して $f(x)$ を変化させながら、該凸多角形の平面に垂直に入射する均一な平行光束によって、該平行光束に垂直な平面上に形成される直線状の照度の高い部分の照度分布を一樣にするように $f(x)$ を定めるマイクロレンズアレイの製造方法。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、一樣な照度分布を有する光像を形成するマイクロレンズアレイに関する。

【背景技術】

【0002】

測定機器、医療機器、産業用ロボット用などのアライメントマークや視認用の表示に使用される光像を形成するために、光源からの光の分布を変換する光学素子が開発されている。これらの光学素子の中には、分割したシリンドリカルレンズを組み合わせたもの（たとえば、特許文献1）や、延長上の側面を備えた多角錐形状からなるもの（たとえば、特許文献2）がある。

30

【0003】

しかし、面上に形成される光像の照度分布が十分な程度に一樣になるように構成された光学素子は従来開発されていない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平11-133209号公報

【特許文献2】特表2003-504217号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

したがって、面上に形成される光像の照度分布が十分な程度に一樣になるように構成された光学素子に対するニーズがある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一態様による光学素子は、複数のマイクロレンズを備えている。各マイクロレンズは、凸多角形のN個の辺と、該凸多角形の平面から離れたマイクロレンズ頂点と、該マイクロレンズ頂点と該凸多角形のN個の頂点とを結ぶ線によって区切られたN個の曲面と、を含み、該マイクロレンズ頂点を通り該平面に直交する直線をz軸とし、z軸と該平

50

面との交点を原点とし、該平面内において原点を通り、ある辺に直交する直線を x 軸とし、該辺に対応する曲面の z 座標を、

$$z = f(x)$$

で表し、原点から該辺までの距離を t として、 $0 < |x| < t$ において

$$z = F(x)$$

で表せる仮想曲面を想定し、該マイクロレンズの材料の屈折率を n とし、A は非負、C は正の定数として、

【数 1】

$$g(x) = \frac{dF(x)}{dx} = \frac{-x}{|x|} \cdot \frac{Cx^2 + A}{n\sqrt{1 + (Cx^2 + A)^2} - 1} \quad 10$$

とすると、 $0.25 \cdot t < |x| < t$ において、

【数 2】

$$g(x) - 0.035 \leq \frac{df(x)}{dx} \leq g(x) + 0.035$$

を満たすように構成されている。

【0007】

本態様の光学素子のマイクロレンズの曲面は、マイクロレンズの多角形の平面に垂直に入射する均一な平行光束によって、該平行光束に垂直な平面上に形成される光像の照度分布が一樣になるような仮想曲面 $F(x)$ の x に対する傾きとの傾きの差が、 $0.25 \cdot t < |x| < t$ において、 0.035 以下であるように形成されている。したがって、本態様の光学素子のマイクロレンズの多角形の平面に垂直に入射する均一な平行光束によって形成される、該平行光束に垂直な平面上に形成される光像の照度分布はほぼ一樣となる。マイクロレンズアレイに入射される平行光束の強度にばらつきがある場合でも、マイクロレンズアレイは複数のマイクロレンズを含むので、マイクロレンズアレイ全体によって形成される光像の照度分布はほぼ一樣となる。なお、 $0.25 \cdot t < |x| < t$ の曲面の面積は少ないので、曲面の傾きは重要ではない。

【0008】

本発明の第 1 の実施形態の光学素子においては、z 軸を含み x 軸に平行な断面において、該平面に垂直に入射して z 軸方向に進む光線が該仮想曲面から射出した後に進む方向と z 軸とのなす鋭角を θ_c とし、 $x = 0$ における θ_c を c とし、 $|x| = t$ における θ_c を e とすると、

【数 3】

$$A = \tan \theta_c$$

【数 4】

$$C = \frac{\tan \theta_e - \tan \theta_c}{t^2} \quad 40$$

である。

【0009】

本発明の第 2 の実施形態の光学素子においては、 $0 < |x| < t$ において、 $|x|$ が増加するにしたがって

$$z = F(x)$$

が単調に減少する。

【0010】

本発明の第 3 の実施形態の光学素子においては、該凸多角形が正多角形である。

【0011】

本発明の第4の実施形態の光学素子においては、z軸が該正多角形の中心を通るように構成されている。

【0012】

本発明の第5の実施形態の光学素子においては、Nが3、4または6である。

【0013】

本発明の第6の実施形態の光学素子においては、隣り合う辺に対応する曲面の形状が異なるように構成されている。

【0014】

たとえば、正方形の隣り合う辺に対応する曲面の形状が異なる場合に、正方形の隣り合う2辺のそれぞれの方向に長さの異なる十字の光像であって、照度分布がほぼ一様な光像を形成することができる。

【0015】

本発明の第7の実施形態の光学素子は、コリメータレンズと一体的に形成されている。

【0016】

本実施形態によれば安価でコンパクトな光学素子が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施形態による光学素子であるマイクロレンズアレイを示す図である。

【図2】図1のマイクロレンズアレイの構成要素であるマイクロレンズを示す図である。

【図3】光源と、コリメータレンズと、マイクロレンズアレイとを含む光学系を示す図である。

【図4】マイクロレンズの機能を説明するための第1の図である。

【図5】マイクロレンズの機能を説明するための第2の図である。

【図6】光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例1のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図である。

【図7】光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例1のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を示す図である。

【図8】実施例1のマイクロレンズの曲面の傾きを示す図である。

【図9】光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、比較例のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図である。

【図10】光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、比較例のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を示す図である。

【図11】比較例のマイクロレンズの曲面の傾きを示す図である。

【図12】光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例2のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図である。

【図13】光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例2のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を示す図である。

【図14】実施例2のマイクロレンズの曲面の傾きを示す図である。

【図15】実施例3のマイクロレンズアレイを示す図である。

【図16】光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例3のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図である。

【図17】光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例3のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を

10

20

30

40

50

示す図である。

【図 18】実施例 3 のマイクロレンズの曲面の傾きを示す図である。

【図 19】実施例 4 の光学系を示す図である。

【図 20】実施例 4 の光学素子の形状を示す図である。

【図 21】光源の中心点 B 1 から光軸方向に 3 . 0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 4 のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図である。

【図 22】光源の中心点 B 1 から光軸方向に 3 . 0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 4 のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を示す図である。

10

【図 23】光源の中心点 B 1 から光軸方向に 3 . 0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 4 のマイクロレンズアレイによる光像の鉛直方向の照度分布を示す図である。

【図 24】実施例 4 のマイクロレンズの水平方向の曲面の傾きを示す図である。

【図 25】実施例 4 のマイクロレンズの鉛直方向の曲面の傾きを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

図 1 は、本発明の一実施形態による光学素子であ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、平面に配置された同一形状の複数のマイクロレンズを含む。

20

【0019】

図 2 は、図 1 のマイクロレンズアレイの構成要素であるマイクロレンズを示す図である。マイクロレンズは、正方形の 4 個の辺 S と、マイクロレンズ頂点 T と、正方形の 4 個の頂点とマイクロレンズ頂点 T とを結ぶ曲線によって区切られた 4 個の曲面 C S と、を含む。

【0020】

図 3 は、光源 3 1 0 と、コリメータレンズ 2 0 0 と、マイクロレンズアレイ 1 0 0 とを含む光学系を示す図である。図 3 において光学系の光軸を一点鎖線で示す。光軸は、光源 3 1 0 の発光面の中心点 A 1 を通り、コリメータレンズ 2 0 0 の主軸と一致し、マイクロレンズアレイ 1 0 0 の光源側の面に直交するように定める。

30

光源 3 1 0 から放出された光は、コリメータレンズ 2 0 0 によって光軸に平行な光束とされ、マイクロレンズアレイ 1 0 0 の光源側の面に垂直に入射される。マイクロレンズアレイ 1 0 0 に入射された平行光束は、マイクロレンズによって所定の方角に向けて射出される。

【0021】

図 4 は、マイクロレンズの機能を説明するための第 1 の図である。マイクロレンズの底面 B は、正方形の 4 個の辺 S と平行である。底面 B に直交し、マイクロレンズ頂点 T とおる直線を z 軸とする。z 軸と正方形の面との交点を原点 O とし、正方形の面内において、原点 O を通り、正方形の 2 辺に平行で他の 2 辺に直交する直線を x 軸とする。図 4 は、z 軸及び x 軸を含むマイクロレンズの断面を示す。ここで、正方形の x 軸に垂直な方向の辺を含む曲面 C S の z 座標は、x 座標のみの関数であるように定められている。すなわち、曲面 C S は、以下の式で表せる。

40

【0022】

$$z = f(x)$$

図 4 の断面において、マイクロレンズの底面 B に垂直に入射した光線 R は、マイクロレンズの曲面 C S に入射角 θ で入射し、z 軸に対して角度 ϕ の方向に向けて射出される。すなわち、角度 ϕ は曲面 C S を射出した光が進む方向と z 軸との間の鋭角である。角度 ϕ 及び入射角 θ は、z 軸を基準として時計回りに測定した角度を正、反時計回りに測定した角度を負とする。図 4 から明らかなように、x が正の領域では、角度 ϕ は正で入射角 θ は負あり、x が負の領域では角度 ϕ は負で入射角 θ は正である。底面 B に垂直に入射した平行光

50

束は、 x 軸に垂直な方向の辺を含む曲面 CS を通過した後、 z 方向にのみ広がりを持った光束となる。したがって、該光束によって、 z 軸に垂直な平面上に形成される光像は、 x 軸方向の所定の長さの線状となる。また、同様に、底面 B に垂直に入射し、 x 軸に平行な方向の辺を含む曲面 CS を通過した光束によって、 z 軸に垂直な平面上に形成される光像は、 x 軸方向と垂直な方向の所定の長さの線状となる。したがって、 z 軸に垂直な平面上に形成される光像は、 x 軸方向、及び x 軸方向と垂直な方向に所定の長さの線状となる。

【0023】

図5は、マイクロレンズの機能を説明するための第2の図である。図5の右側の図は、 z 軸及び x 軸を含むマイクロレンズの断面を示す。図5の左側の図は、マイクロレンズの平面図である。マイクロレンズの底面 B に垂直に入射する2本の光線を $R1$ 及び $R2$ で示す。マイクロレンズ内において、光線 $R1$ の x 座標は x_1 であり、光線 $R2$ の x 座標は x_2 である。ここで、 $x_1 < x_2$ である。光線 $R1$ は曲面 CS を通過した後、 z 軸と角度 θ_1 をなす方向に進行し、光線 $R2$ は曲面 CS を通過した後、 z 軸と角度 θ_2 をなす方向に進行する。

10

【0024】

図5に示すように、ある x 座標近傍を光束が通過する微小面積は $S = 2 \cdot x \cdot dx$ と表現できる。したがって、入射する光束の光束密度が均一であるとすれば、マイクロレンズの中心に近い $x = x_1$ 近傍の S_1 を通過し、 θ_1 方向に屈折する光束の方が、 x_2 近傍の S_2 を通過する光束よりも少なくなる。マイクロレンズのサイズに比べて照度分布を評価する z 軸に垂直な平面までの z 軸方向の距離 L が十分に大きければ、角度 θ_1 で屈折した光束は該平面上において光軸から $L \tan \theta_1$ の位置に照射されるとみなせるので、放射照度を一様とする条件は以下の式で表せる。

20

【数5】

$$\frac{d}{dx}(\tan \theta) = 2C \cdot x \quad \dots (1)$$

ここで、 C は正の定数である。

【0025】

ここで、マイクロレンズから十分に離れた、 z 軸に垂直な平面上で放射照度を一様とするマイクロレンズの仮想曲面を

30

$$z = F(x)$$

で表す。 $F(x)$ の x 軸に対する傾き角を ϕ とすると、以下の式が成立する。

【数6】

$$\frac{dF(x)}{dx} = \tan \phi \quad \dots (2)$$

マイクロレンズの屈折率を n とすると、スネルの法則により以下の式が成立する。

【数7】

$$\sin(-\phi + \theta) = n \sin(-\phi) \quad \dots (3)$$

40

【0026】

放射照度を一様とするには式(1)乃至(3)を同時に満たせばよい。変数が多いので整理する。まず、式(1)の定積分を計算すると以下の式が得られる。

【数8】

$$\tan \theta = Cx^2 + A = X \quad \dots (4)$$

ここで、 A は非負の定数である。

【0027】

原点から正方形の辺までの距離を t とし、式(4)に $x = 0$ 及び $x = t$ を代入すると

50

以下の式が得られる。

【数 9】

$$\tan \theta_T = A$$

$$\tan \theta_S = Ct^2 + A$$

ここで、 θ_T は、マイクロレンズ頂点において曲面CSを射出した光が進む方向とz軸との間の鋭角であり、 θ_S は、正方形の辺において曲面CSを射出した光が進む方向とz軸との間の鋭角である。上記の式から以下の式が導かれる。

【数 10】

$$C = \frac{\tan \theta_S - \tan \theta_T}{t^2}$$

10

式(4)を変形すると、以下の式が導かれる。

X = 0 のとき

【数 11】

$$\sin \theta = \sqrt{\frac{X^2}{1+X^2}} \quad \dots (5a)$$

X < 0 のとき

【数 12】

$$\sin \theta = -\sqrt{\frac{X^2}{1+X^2}} \quad \dots (5b)$$

20

【数 13】

$$\cos \theta = \sqrt{\frac{1}{1+X^2}} \quad \dots (6)$$

他方、式(3)を変形すると、以下の式が得られる。

【数 14】

$$\sin \theta \cos \phi - \cos \theta \sin \phi = -n \sin \phi$$

30

さらに、以下の式が得られる。

【数 15】

$$\tan \phi = \frac{-\sin \theta}{n - \cos \theta} \quad \dots (7)$$

式(2)、(5a)、(6)、(7)式を整理すると以下の式が得られる。

x = 0 のとき

【数 16】

$$\frac{dF(x)}{dx} = \frac{X}{n\sqrt{1+X^2}-1} = -\frac{Cx^2+A}{n\sqrt{1+(Cx^2+A)^2}-1} \quad \dots (8a)$$

40

また、式(2)、(5b)、(6)、(7)式を整理すると以下の式が得られる。

x < 0 のとき

【数 17】

$$\frac{dF(x)}{dx} = \frac{X}{n\sqrt{1+X^2}-1} = \frac{Cx^2+A}{n\sqrt{1+(Cx^2+A)^2}-1} \quad \dots (8b)$$

50

【 0 0 2 8 】

したがって、式(8a)及び(8b)を満たす断面形状を備えたマイクロレンズは、十分に離れたz軸に垂直な平面上で放射照度を一様にする。

【 0 0 2 9 】

入射光束の密度の均一性が保証されていない場合でも、マイクロレンズアレイの数が十分であれば、複数のマイクロレンズからの分布の重ねあわせで構成されている全体の放射照度分布は一様になる。

【 0 0 3 0 】

式(8a)及び(8b)は以下の式で表せる。

【 数 1 8 】

$$g(x) = \frac{dF(x)}{dx} = \frac{-x}{|x|} \cdot \frac{Cx^2 + A}{n\sqrt{1 + (Cx^2 + A)^2} - 1} \quad \dots (9)$$

10

【 0 0 3 1 】

一般的に、マイクロレンズの曲面 $f(x)$ が、種々の応用に十分な程度に一様な放射照度分布を実現するための条件は以下の式で表せる。

【 数 1 9 】

$$g(x) - 0.035 \leq \frac{df(x)}{dx} \leq g(x) + 0.035 \quad \dots (10)$$

20

【 0 0 3 2 】

また、放射照度分布への寄与は光学面の面積に略比例するので、光軸の近傍の一部の領域で式(10)を満たさなかったとしても、全体の放射照度分布への影響は小さく、その機能を損なうことはない。たとえば、光軸から距離 t の25%の領域の面積は6%程度であり、この範囲で式(10)から外れたとしても他の範囲が式(10)を満たせば一様に近い輻射状の放射照度分布を得ることができる。

【 0 0 3 3 】

以下において、実施例及び比較例を説明する。

【 0 0 3 4 】

実施例1-2及び比較例の光学系

30

実施例1-2及び比較例の光学系は、図3に示す光学系からなる。実施例1-2及び比較例の光源310及びコリメータレンズ200の仕様は同一であり、コリメータレンズ200の仕様は以下のとおりである。

位置(光源の中心点を基準として): $z = 30$ [mm]

材料: BK7 (屈折率: $n = 1.519$)

厚み: 4.0 [mm]

入射面中心曲率半径: 130.7 [mm]

射出面中心曲率半径: -19.38 [mm]

ここで、コリメータレンズ200の位置とは、コリメータレンズ200の入射面と光軸との交点、すなわち図3のA2の位置である。 $z = 30$ [mm]は、光源の中心点A1からA2までの距離が30ミリメートルであることを意味する。コリメータレンズ200の厚みとは、光軸に沿った中心厚を意味する。

40

【 0 0 3 5 】

実施例1-2及び比較例のマイクロレンズの仕様は、曲面CSの形状を除いて共通であり、以下のとおりである。したがって、実施例2及び比較例のマイクロレンズアレイは、図1に示した実施例1のマイクロレンズアレイと同様である。

位置(光源の中心点を基準として): $z = 40$ [mm]

材料: ポリカーボネート (屈折率: $n = 1.590$)

厚み: 1.0 [mm]

多角形: 正方形

50

正方形のサイズ：一辺が2.0ミリメートルの正方形
 ここで、マイクロレンズアレイ100の位置とは、マイクロレンズアレイ100のレンズを備えていない面、すなわち底面と光軸との交点、すなわち図3のA3の位置である。z = 40 [mm]は、光源の中心点A1からA3までの距離が40ミリメートルであることを意味する。マイクロレンズアレイ100の厚みとは、マイクロレンズの底面からマイクロレンズの頂点までの距離、すなわち図4のBからTまでの距離を意味する。

【0036】

実施例1のマイクロレンズ

実施例1のマイクロレンズの曲面は以下の式で表せる。

【数20】

$$z = f(x) = \sum_{n=1}^{10} \left(\frac{x}{|x|} \right)^n a_n x^n \quad \dots (11)$$

【0037】

表1は、実施例1のマイクロレンズの曲面を示す式(11)の係数を示す表である。

【表1】

a1	a2	a3	a4	a5
-0.050	-0.003	-0.406	0.044	-0.185
a6	a7	a8	a9	a10
0.396	-0.159	0.000	0.000	0.000

【0038】

図6は、光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例1のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図である。実施例1を示す図3において、光軸は水平方向に配置される。マイクロレンズの正方形の2辺は水平方向に、他の2辺は鉛直方向に配置される。したがって、図6に示すように、水平方向及び鉛直方向に所定の長さの直線状の放射照度分布を有する光像が出現する。

【0039】

図7は、光源の中心点A1から光軸方向に3.0メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例1のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を示す図である。図7の横軸は平面上の水平方向の位置を示す。光軸と平面が交わる位置は、横軸の座標の0.0の位置である。図7の縦軸は相対照度を示す。相対照度の1は照度の最大値である。

【0040】

図8は、実施例1のマイクロレンズの曲面の傾きを示す図である。図8の横軸は、マイクロレンズのx軸の座標を示し、図8の縦軸は、実施例1のマイクロレンズの曲面の傾き

【数21】

$$\frac{df(x)}{dx}$$

及び照度分布を一様とする仮想曲面の傾き

【数22】

$$g(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

を示す。実施例1のマイクロレンズの曲面の傾きは、xの全範囲で式(10)を満たしている。

【 0 0 4 1 】

比較例のマイクロレンズ

比較例のマイクロレンズの曲面は中心曲率半径 1 . 6 6 ミリメートルの円弧形状である。

【 0 0 4 2 】

図 9 は、光源の中心点 A 1 から光軸方向に 3 . 0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、比較例のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図である。比較例を示す図 3 において、光軸は水平方向に配置される。マイクロレンズの正方形の 2 辺は水平方向に、他の 2 辺は鉛直方向に配置される。したがって、図 9 に示すように、水平方向及び鉛直方向に所定の長さの直線状の放射照度分布を有する光像が出現する。

10

【 0 0 4 3 】

図 1 0 は、光源の中心点 A 1 から光軸方向に 3 . 0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、比較例のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を示す図である。図 1 0 の横軸は平面上の水平方向の位置を示す。光軸と平面が交わる位置は、横軸の座標の 0 . 0 の位置である。図 1 0 の縦軸は相対照度を示す。相対照度の 1 は照度の最大値である。

【 0 0 4 4 】

図 1 1 は、比較例のマイクロレンズの曲面の傾きを示す図である。図 1 1 の横軸は、マイクロレンズの x 軸の座標を示し、図 1 1 の縦軸は、比較例のマイクロレンズの曲面の傾き

20

【 数 2 3 】

$$\frac{df(x)}{dx}$$

及び照度分布を一様とする仮想曲面の傾き

【 数 2 4 】

$$g(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

を示す。比較例のマイクロレンズの曲面の傾きは、x の全範囲の 7 0 % 以上の範囲で式 (1 0) を満たしていない。

30

【 0 0 4 5 】

実施例 2 のマイクロレンズ

実施例 2 のマイクロレンズの曲面は以下の式で表せる。

【 数 2 5 】

$$z = f(x) = \sum_{n=1}^{10} \left(\frac{x}{|x|} \right)^n a_n x^n \dots (11)$$

【 0 0 4 6 】

表 2 は、実施例 2 のマイクロレンズの曲面を示す式 (1 1) の係数を示す表である。

40

【 表 2 】

a 1	a 2	a 3	a 4	a 5
0.000	-0.600	1.912	-4.604	5.088
a 6	a 7	a 8	a 9	a 1 0
-2.754	0.604	0.000	0.000	0.000

【 0 0 4 7 】

図 1 2 は、光源の中心点 A 1 から光軸方向に 3 . 0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 2 のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図で

50

ある。実施例 2 を示す図 3 において、光軸は水平方向に配置される。マイクロレンズの正方形の 2 辺は水平方向に、他の 2 辺は鉛直方向に配置される。したがって、図 1 2 に示すように、水平方向及び鉛直方向に所定の長さの直線状の放射照度分布を有する光像が出現する。

【 0 0 4 8 】

図 1 3 は、光源の中心点 A 1 から光軸方向に 3 . 0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 2 のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を示す図である。図 1 3 の横軸は平面上の水平方向の位置を示す。光軸と平面が交わる位置は、横軸の座標の 0 . 0 の位置である。図 1 3 の縦軸は相対照度を示す。相対照度の 1 は照度の最大値である。

10

【 0 0 4 9 】

図 1 4 は、実施例 2 のマイクロレンズの曲面の傾きを示す図である。図 1 4 の横軸は、マイクロレンズの x 軸の座標を示し、図 1 4 の縦軸は、実施例 2 のマイクロレンズの曲面の傾き

【数 2 6】

$$\frac{df(x)}{dx}$$

及び照度分布を一様とする仮想曲面の傾き

【数 2 7】

$$g(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

20

を示す。実施例 2 のマイクロレンズの曲面の傾きは、 $x < 0 . 1$ を除く範囲で式 (1 0) を満たしている。

【 0 0 5 0 】

実施例 3 の光学系とマイクロレンズ

実施例 3 の光学系は、図 3 に示す光学系である。実施例 3 のコリメータレンズ 2 0 0 の仕様は以下のとおりである。

位置 (光源の中心点を基準として) : $z = 3 0$ [mm]

30

材料 : B K 7 (屈折率 : $n = 1 . 5 1 9$)

厚み : $4 . 0$ [mm]

入射面中心曲率半径 : $1 3 0 . 7$ [mm]

射出面中心曲率半径 : $- 1 9 . 3 8$ [mm]

ここで、コリメータレンズ 2 0 0 の位置とは、入射面と光軸との交点、すなわち図 3 の A 2 の位置である。 $z = 3 0$ [mm] は、光源の中心点 A 1 から A 2 までの距離が 3 0 ミリメートルであることを意味する。コリメータレンズ 2 0 0 の厚みとは、光軸に沿った中心厚を意味する。

【 0 0 5 1 】

図 1 5 は実施例 3 のマイクロレンズアレイを示す図である。

40

【 0 0 5 2 】

実施例 3 のマイクロレンズの仕様は、以下のとおりである。

位置 (光源の中心点を基準として) : $z = 4 0$ [mm]

材料 : ポリカーボネート (屈折率 : $n = 1 . 5 9 0$)

厚み : $1 . 0$ [mm]

多角形 : 正六角形

正六角形のサイズ : 対向する辺の間隔 (水平方向の長さ) が $2 . 0$ ミリメートルであり、対向する頂点の間隔 (鉛直方向の長さ) が $2 . 3 0 9$ ミリメートルの正六角形)

ここで、マイクロレンズアレイ 1 0 0 の位置とは、マイクロレンズアレイ 1 0 0 のレンズを備えていない面、すなわち底面と光軸との交点、すなわち図 3 の A 3 の位置である。z

50

= 40 [mm] は、光源の中心点 A1 から A3 までの距離が 40 ミリメートルであることを意味する。マイクロレンズアレイ 100 の厚みとは、マイクロレンズの底面からマイクロレンズの頂点までの距離、すなわち図 4 の B から T までの距離を意味する。

【0053】

実施例 3 のマイクロレンズの曲面は以下の式で表せる。

【数 28】

$$z = f(x) = \sum_{n=1}^{10} \left(\frac{x}{|x|} \right)^n a_n x^n \dots (11)$$

10

【0054】

表 3 は、実施例 3 のマイクロレンズの曲面を示す式 (11) の係数を示す表である。

【表 3】

a 1	a 2	a 3	a 4	a 5
-0.100	-0.002	-0.210	0.014	-0.035
a 6	a 7	a 8	a 9	a 10
0.066	0.000	0.000	0.000	0.000

【0055】

20

図 16 は、光源の中心点 A1 から光軸方向に 3.0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 3 のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図である。実施例 3 を示す図 3 において、光軸は水平方向に配置される。マイクロレンズの正六角形の 2 辺は鉛直方向に配置される。したがって、図 16 に示すように、6 本の直線状の放射照度分布を有する光像が出現する。

【0056】

図 17 は、光源の中心点 A1 から光軸方向に 3.0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 3 のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を示す図である。図 17 の横軸は平面上の水平方向の位置を示す。光軸と平面が交わる位置は、横軸の座標の 0.0 の位置である。図 17 の縦軸は相対照度を示す。相対照度の 1 は照度の最大値である。

30

【0057】

図 18 は、実施例 3 のマイクロレンズの曲面の傾きを示す図である。図 18 の横軸は、マイクロレンズの x 軸の座標を示し、図 18 の縦軸は、実施例 3 のマイクロレンズの曲面の傾き

【数 29】

$$\frac{df(x)}{dx}$$

及び照度分布を一様とする仮想曲面の傾き

40

【数 30】

$$g(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

を示す。実施例 3 のマイクロレンズの曲面の傾きは、x の全範囲で式 (10) を満たしている。ただし、0.5 < x < 0.8 の範囲では、式 (10) の上限にほぼ等しい。

【0058】

実施例 4 の光学系と光学素子

図 19 は実施例 4 の光学系を示す図である。実施例 4 の光学系は、光源 320 と、コリメータレンズ 1200 と、マイクロレンズアレイ 1100 と、を含む。コリメータレンズ 1

50

200と、マイクロレンズアレイ1100と、は一体的に形成されている。コリメータレンズ1200は透過面1201と反射面1203を含む。光源320から放出されて透過面1201を透過した光、及び反射面1203によって反射された光は平行光束となってマイクロレンズアレイ1100に入射する。コリメータレンズ1200の主軸を光軸と一致させ、光軸が光源320の中心を通過するように配置する。図19において、光軸は水平方向に配置される。

【0059】

図20は実施例4の光学素子の形状を示す図である。実施例4の光学素子は、コリメータレンズ1200の射出側にマイクロレンズアレイ1100を備えている。光学素子は、マイクロレンズの正方形の隣接する2辺が、それぞれ水平方向及び鉛直方向となるように配置される。光学素子の材料は、ポリカーボネート（屈折率： $n = 1.590$ ）である。コリメータレンズ1200の透過面1201は光源側に凸の非球面形状である。光軸からの距離を r として面形状は次式で定義される。

【数31】

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

ここで、 z は光軸上に位置する透過面1201の頂点から面上の点までの z 軸方向の距離を表し、 r は光軸から面上の点までの距離を表す。コリメータレンズの透過面1201を定義するパラメータは以下のとおりである。

位置（光源の中心点を基準として）： $z = 2.25$ [mm]

中心曲率半径： $R = 1.327$ [mm]

コーニック： $k = -2.527$

ここで、コリメータレンズの透過面1201の位置とは、透過面1201と光軸との交点、すなわち図19のB2の位置である。B2の位置は、上述の透過面1201の頂点の位置である。 $z = 2.25$ [mm]は、光源の中心点B1からB2までの距離が2.25ミリメートルであることを意味する。

【0060】

コリメータレンズ反射面1203は光源側に凸の偶数次非球面形状である。光軸からの距離を r として面形状は以下の式で定義される。

【数32】

$$z(r) = a_2 r^2 + a_4 r^4 + a_6 r^6$$

ここで、 z は、後で説明する光軸上に位置する点 $z(0)$ から面上の点までの z 軸方向の距離を表し、 r は光軸から面上の点までの距離を表す。コリメータレンズの反射面1203を定義するパラメータは以下のとおりである。

位置（光源の中心点を基準として）： $z = -0.455$ [mm]

非球面係数 a_2 ： $3.44 \text{ E} - 1$

非球面係数 a_4 ： $-5.56 \text{ E} - 3$

非球面係数 a_6 ： $7.68 \text{ E} - 5$

ここで、コリメータレンズの反射面1203の位置とは、反射面1203を表す上記の式の $z(0)$ の値に相当する光軸上の位置である。 $z = -0.455$ [mm]は、 $z(0)$ の値に相当する光軸上の位置が、光源の中心点B1から、マイクロレンズアレイ1100の反対側で0.455ミリメートル離れた位置であることを意味する。

【0061】

マイクロレンズアレイを定義するパラメータは以下のとおりである。

位置（光源の中心点を基準として）： $z = 6.0$ [mm]

セグメントサイズ： 2.0 （水平方向） \times 1.5 （鉛直方向）[mm²]

ここで、マイクロレンズアレイ1100の位置とは、マイクロレンズアレイ1100のレ

10

20

30

40

50

レンズを備えていない面、すなわち底面と光軸との交点、すなわち図 19 の B 3 の位置である。z = 6.0 [mm] は、光源の中心点 B 1 から B 3 までの距離が 6.0 ミリメートルであることを意味する。マイクロレンズアレイ 1100 の厚みは、2.0 ミリメートルである。

【0062】

実施例 4 のマイクロレンズの曲面は以下の式で表せる。

【数 33】

$$z = f(x) = \sum_{n=1}^{10} \left(\frac{x}{|x|} \right)^n a_n x^n \quad \dots \quad (11)$$

10

【0063】

表 4 は、実施例 4 のマイクロレンズの水平方向に配置される曲面（正方形の水平方向の辺を含む曲面）を示す式（11）の係数を示す表である。

【表 4】

a 1	a 2	a 3	a 4	a 5
-0.100	0.002	-0.210	0.014	-0.035
a 6	a 7	a 8	a 9	a 10
0.066	-0.020	0.000	0.000	0.000

20

【0064】

表 5 は、実施例 4 のマイクロレンズの鉛直方向に配置される曲面（正方形の鉛直方向の辺を含む曲面）を示す式（11）の係数を示す表である。

【表 5】

a 1	a 2	a 3	a 4	a 5
-0.100	-0.001	-0.266	0.009	-0.023
a 6	a 7	a 8	a 9	a 10
0.077	-0.020	0.000	0.000	0.000

30

【0065】

図 21 は、光源の中心点 B 1 から光軸方向に 3.0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 4 のマイクロレンズアレイによる光像の照度分布を示す図である。マイクロレンズの正方形の 2 辺は水平方向に、他の 2 辺は鉛直方向に配置される。したがって、図 21 に示すように、水平方向及び鉛直方向に所定の長さの直線状の放射照度分布を有する光像が出現する。

【0066】

図 22 は、光源の中心点 B 1 から光軸方向に 3.0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 4 のマイクロレンズアレイによる光像の水平方向の照度分布を示す図である。図 22 の横軸は平面上の水平方向の位置を示す。光軸と平面が交わる位置は、横軸の座標の 0.0 の位置である。図 22 の縦軸は相対照度を示す。相対照度の 1 は照度の最大値である。

40

【0067】

図 23 は、光源の中心点 B 1 から光軸方向に 3.0 メートルの位置に光軸に垂直に配置された平面における、実施例 4 のマイクロレンズアレイによる光像の鉛直方向の照度分布を示す図である。図 23 の横軸は平面上の鉛直方向の位置を示す。光軸と平面が交わる位置は、横軸の座標の 0.0 の位置である。図 23 の縦軸は相対照度を示す。相対照度の 1 は照度の最大値である。

【0068】

50

図 2 4 は、実施例 4 のマイクロレンズの水平方向の曲面の傾きを示す図である。図 2 4 の横軸は、マイクロレンズの x 軸の座標を示し、図 2 4 の縦軸は、実施例 4 のマイクロレンズの水平方向の曲面の傾き

【数 3 4】

$$\frac{dfH(x)}{dx}$$

及び照度分布を一様とする仮想曲面の傾き

【数 3 5】

$$g(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

10

を示す。実施例 4 のマイクロレンズの水平方向の曲面の傾きは、x の全範囲で式 (1 0) を満たしている。

【 0 0 6 9 】

図 2 5 は、実施例 4 のマイクロレンズの鉛直方向の曲面の傾きを示す図である。図 2 5 の横軸は、マイクロレンズの x 軸の座標を示し、図 2 5 の縦軸は、実施例 4 のマイクロレンズの鉛直方向の曲面の傾き及び照度分布を一様とする仮想曲面の傾き

【数 3 7】

$$g(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

20

を示す。実施例 4 のマイクロレンズの鉛直方向の曲面の傾きは、x の全範囲で式 (1 0) を満たしている。

【 0 0 7 0 】

実施例の照度分布と比較例の照度分布との比較

図 7 によれば、実施例 1 の照度分布は、 $0.2 \leq |x| \leq 2.2$ の範囲で相対照度は 0.95 以上である。これに対して、図 1 0 によれば、比較例の照度分布は、 $0.3 \leq |x| \leq 1.2$ 以外の範囲では、相対照度は 0.8 よりも低い。このように、実施例 1 の照度分布は、比較例の照度分布よりも一様である。

30

【 0 0 7 1 】

図 1 3 によれば、実施例 2 の照度分布において、 $0.3 \leq |x| \leq 2.0$ の範囲で相対照度は 0.9 以上である。これに対して、図 1 0 によれば、比較例の照度分布は、 $0.3 \leq |x| \leq 1.2$ 以外の範囲では、相対照度は 0.8 よりも低い。このように、実施例 2 の照度分布は、比較例の照度分布よりも一様である。上述のように、実施例 2 のマイクロレンズの曲面の傾きは、 $x < 0.1$ の範囲で式 (1 0) を満たしていないが、一様な照度分布を有する光像が実現されている。

【 0 0 7 2 】

図 1 7 によれば、実施例 3 の照度分布において、 $0.2 \leq |x| \leq 1.3$ の範囲で相対照度は 0.8 以上であり、 $0.2 \leq |x| \leq 2.0$ の範囲で相対照度は 0.6 以上である。これに対して、図 1 0 によれば、比較例の照度分布は、 $0.2 \leq |x| \leq 1.6$ 以外の範囲では、相対照度は 0.6 よりも低い。このように、実施例 3 の照度分布は、比較例の照度分布よりも一様である。図 1 8 によれば、実施例 3 のマイクロレンズの曲面の傾きは、x の全範囲で式 (1 0) を満たしているが、 $0.5 < x < 0.8$ の範囲では、式 (1 0) の上限にほぼ等しい。マイクロレンズの曲面の傾きと仮想曲面の傾き $g(x)$ との差が、本例よりも大きくなると照度分布の一様性の優位性は損なわれる。

40

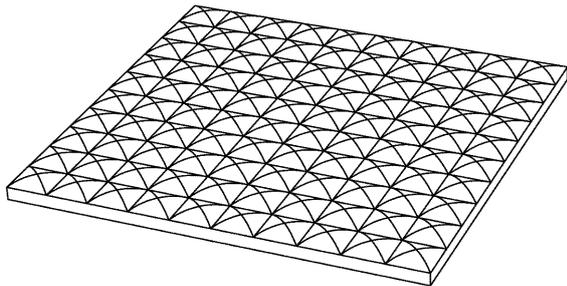
【 0 0 7 3 】

図 2 2 によれば、実施例 4 の水平方向の照度分布において、 $0.3 \leq |x| \leq 1.1$ の範囲で相対照度は 0.8 以上である。図 2 3 によれば、実施例 4 の鉛直方向の照度分布において、 $0.3 \leq |x| \leq 0.8$ の範囲で相対照度は 0.8 以上である。異なる光学系を

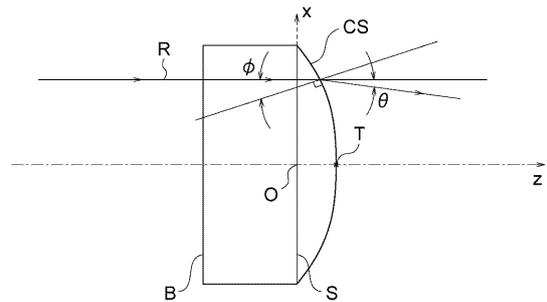
50

備えた比較例と単純に比較することはできないが、実施例4の光学素子によって比較的一様な照度分布を有する光像が実現されている。

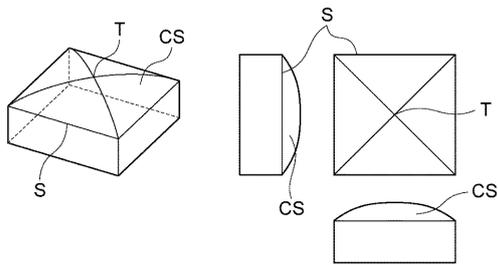
【図1】



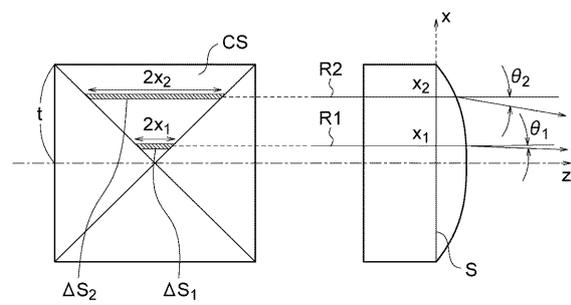
【図4】



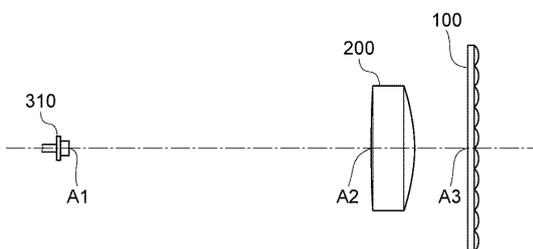
【図2】



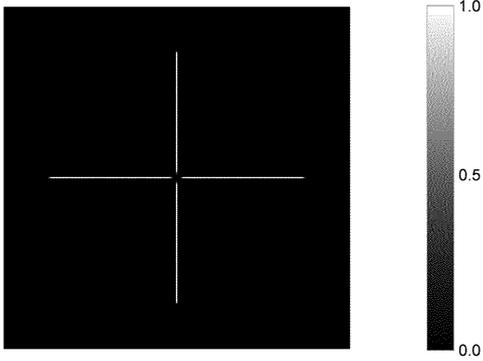
【図5】



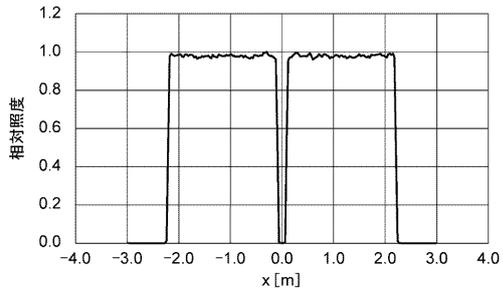
【図3】



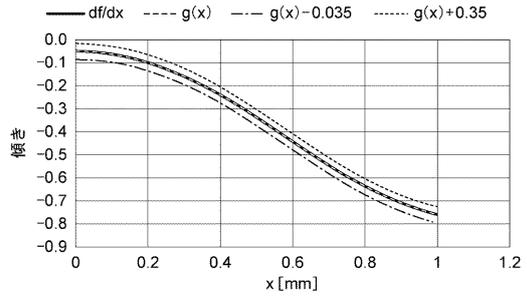
【 図 6 】



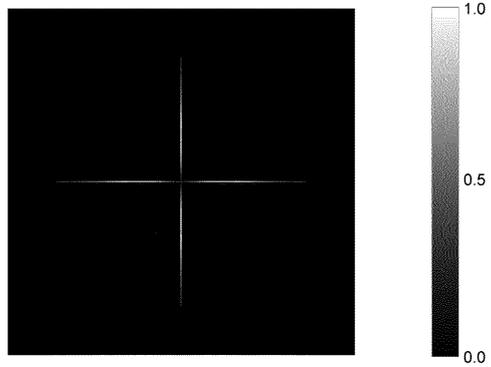
【 図 7 】



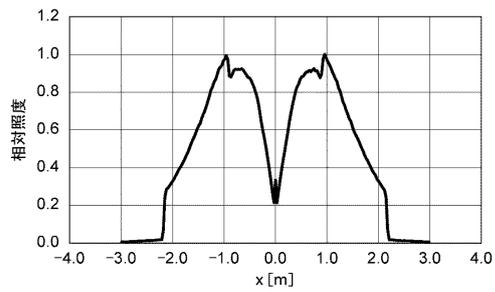
【 図 8 】



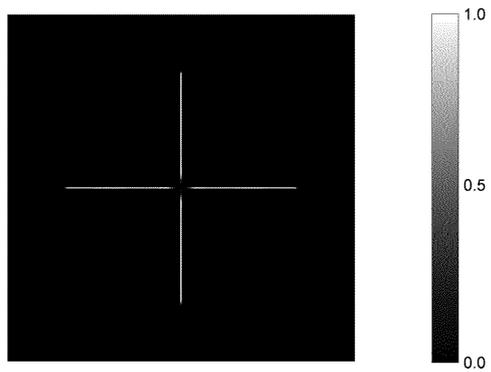
【 図 9 】



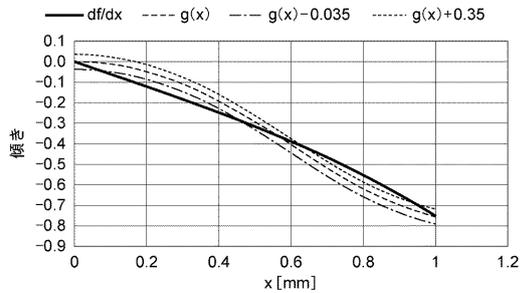
【 図 10 】



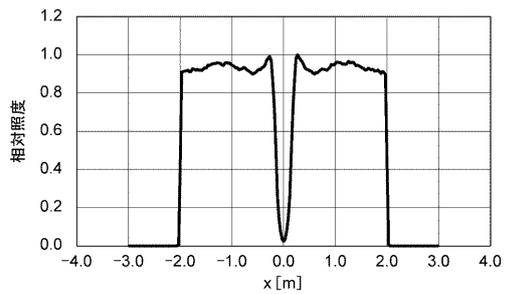
【 図 12 】



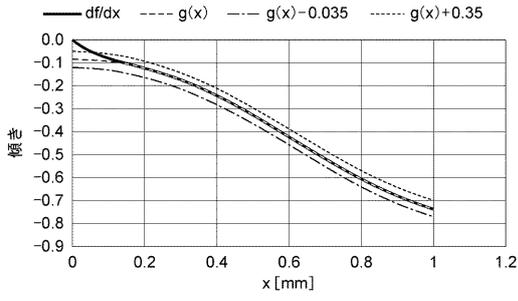
【 図 11 】



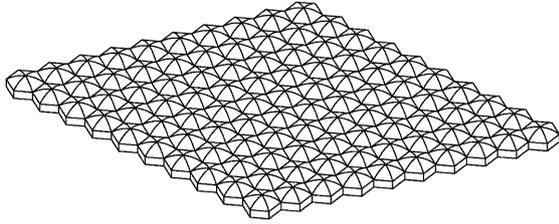
【 図 13 】



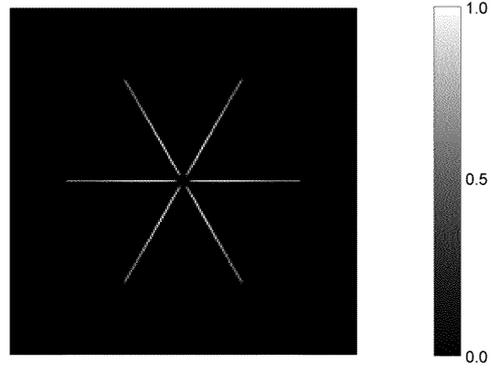
【 図 1 4 】



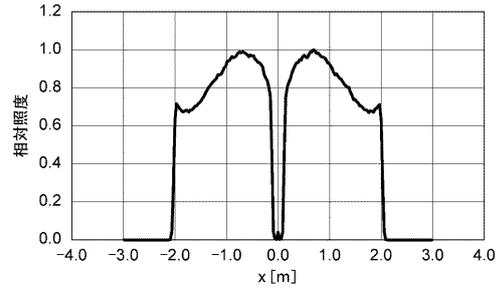
【 図 1 5 】



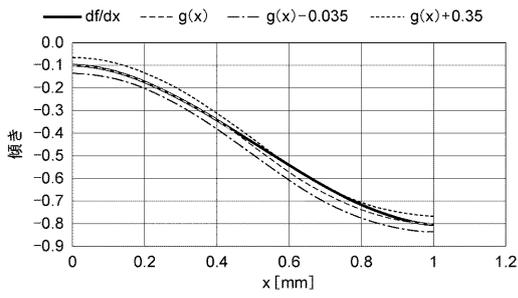
【 図 1 6 】



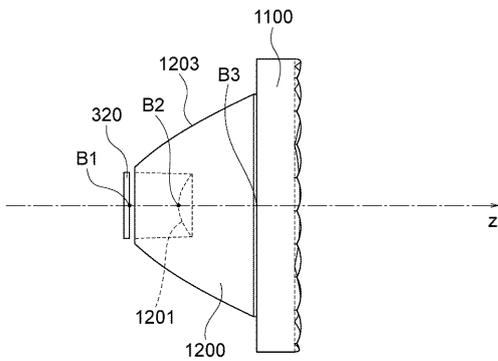
【 図 1 7 】



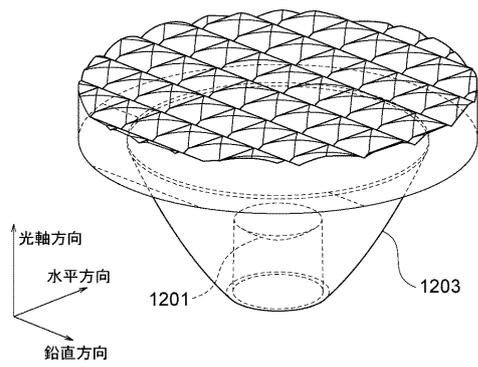
【 図 1 8 】



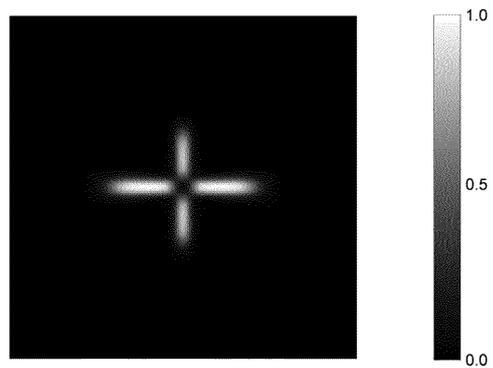
【 図 1 9 】



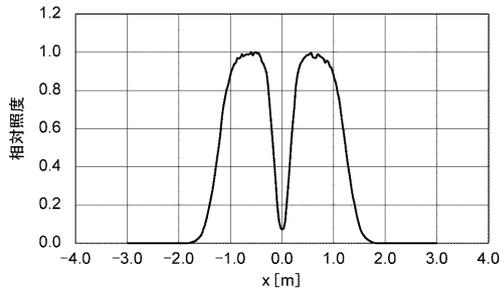
【 図 2 0 】



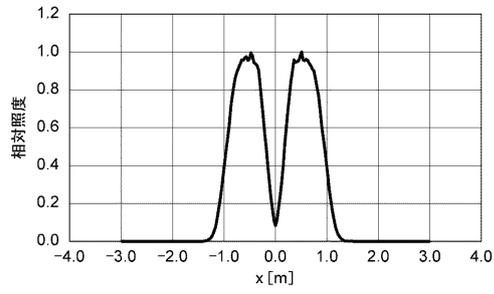
【 図 2 1 】



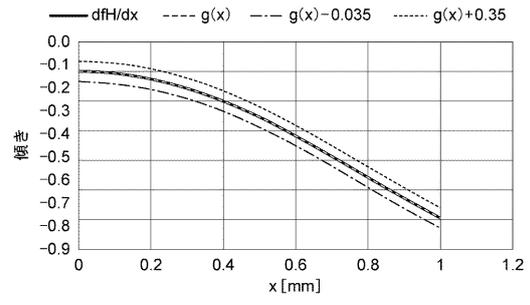
【 図 2 2 】



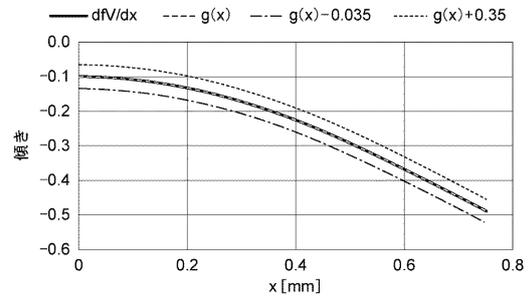
【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

F 2 1 Y 115:10

(56)参考文献 特開2000-056101(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 2 B 3 / 0 0

F 2 1 V 5 / 0 0

F 2 1 V 5 / 0 2

F 2 1 V 5 / 0 4