

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年5月12日(12.05.2022)



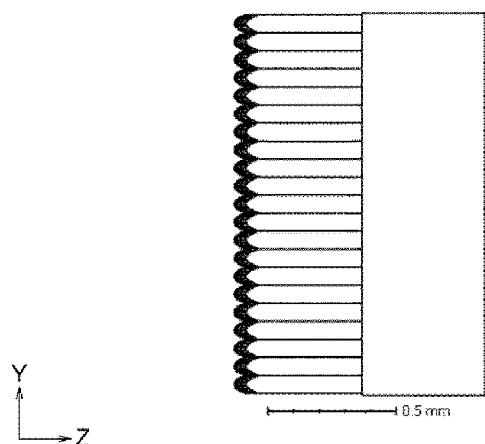
(10) 国際公開番号

WO 2022/097576 A1

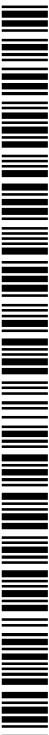
- (51) 国際特許分類:
G02B 5/02 (2006.01) *G02B 3/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/040016
- (22) 国際出願日: 2021年10月29日(29.10.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
63/109,050 2020年11月3日(03.11.2020) US
- (71) 出願人: ナルックス株式会社 (NALUX CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5330003 大阪府大阪市東淀川区南江口3丁目4番29号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 石井 健太 (ISHII, Kenta); 〒6180001 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 Osaka (JP). 迫平 洋輔 (SAKOHIRA, Yosuke); 〒6180001 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 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 伏見 直哉 (FUSHIMI, Naoya); 〒2510054 神奈川県藤沢市朝日町12-1 門倉ビル82階 伏見特許事務所 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,

(54) Title: DIFFUSION ELEMENT AND OPTICAL SYSTEM INCLUDING DIFFUSION ELEMENT

(54) 発明の名称: 拡散素子及び拡散素子を含む光学系



(57) Abstract: This diffusion element comprises a microlens array that includes a plurality of microlenses, bottom surfaces of which are positioned in a plane. Curved surfaces of the microlenses are connected and smooth except for boundaries therebetween, and, in each of the microlenses, the expressions below are satisfied in a cross section which is perpendicular to said plane and includes a straight line which passes through a point of projection of the vertex point of the microlens onto the bottom surface thereof and at which the distance between two points of intersection with a peripheral edge of the bottom surface is at maximum, where x' is a coordinate along said straight line, z' is a coordinate of said curved surface in the direction perpendicular to said plane, d is the maximum value of the first derivative of z' with respect to x' , D_0 is the absolute value of the second derivative of z' with respect to x' at the x' coordinate of a center, and D is the value at the x' coordinate of an end part of a diagonal. $D/D_0 < 1$, $d \geq 2$



WO 2022/097576 A1

SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：拡散素子は、平面上に底面が配置された複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイを備えた拡散素子である。それぞれのマイクロレンズの曲面は連続し境界を除いて滑らかであり、それぞれのマイクロレンズにおいて、該マイクロレンズの頂点の該平面への投影点を通り、該底面の周縁との二つの交点間の距離が最大となる直線を含み該平面に垂直な断面において、該直線に沿った座標を x' 、該平面に垂直な方向の該曲面の座標を z' 、 z' の x' に関する一階微分の最大値を d 、 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、該中心の x' 座標における値を D_0 、該対角線の端部の x' 座標における値を D として、以下の式が満たされる。 $D/D_0 < 1$, $d \geq 2$

明 細 書

発明の名称： 拡散素子及び拡散素子を含む光学系

技術分野

[0001] 本発明は、拡散素子及び拡散素子を含む光学系に関する。

背景技術

[0002] たとえば、半値全幅で140度以上の拡散角度の拡散光など、広い拡散角度の拡散光を実現することのできる拡散素子に対するニーズがある。特許文献1は、比較的広い拡散角度の拡散光を実現することのできる拡散素子を開示している。しかし、半値全幅の拡散角度は90度であり、十分に広い拡散角度の拡散光は実現されていない。特許文献2は、半値全幅で140度の拡散角度の拡散光を実現することのできるマイクロレンズアレイを備えた拡散素子を開示している。しかし、上記の拡散素子のマイクロレンズの断面形状は2次関数で表されるものであり、フレネル反射を考慮すると広い拡散角度において光度を十分に大きくすることができない。また、特許文献2に開示された光学系において、マイクロレンズアレイは拡散素子の主斜面側に配置されており、複数のマイクロレンズのそれぞれが他のマイクロレンズの出射光を遮蔽することにより効率が低くなると考えられる。

[0003] このように、半値全幅で140度より大きい拡散角度の拡散光を高い効率で実現することのできる拡散素子及び拡散素子を含む光学系は開発されていない。したがって、半値全幅で140度より大きい拡散角度の拡散光を高い効率で実現することのできる拡散素子及び拡散素子を含む光学系に対するニーズがある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2008-52280号公報

特許文献2：特開2017-97058号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明の技術的課題は、半値全幅で140度より大きい拡散角度の拡散光を高い効率で実現することのできる拡散素子及び拡散素子を含む光学系を提供することである。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の第1の態様の拡散素子は、平面上に底面が配置された複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイを備えている。それぞれのマイクロレンズの曲面は連続し境界を除いて滑らかであり、それぞれのマイクロレンズにおいて、該マイクロレンズの頂点の該平面への投影点を通り、該底面の周縁との二つの交点間の距離が最大となる直線を含み該平面に垂直な断面において、該直線に沿った座標を x' 、該平面に垂直な方向の該曲面の座標を z' 、 z' の x' に関する一階微分の最大値を d 、 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、該中心の x' 座標における値を D_0 、該対角線の端部の x' 座標における値を D として、

[数1]

$$D/D_0 < 1$$

かつ

[数2]

$$d \geq 2$$

が満たされる。

[0007] 本態様の拡散素子のマイクロレンズの形状は、広い拡散角度において光度布を十分に大きくすることができるように構成されている。したがって、光源及び本態様の拡散素子を含む光学系によって140度より大きい半値全幅の拡散角度の拡散光を実現することができる。

[0008] 本発明の第1の態様の第1の実施形態の拡散素子は、平面上に隙間なく配置された合同の四角形または合同の正六角形をそれぞれの底面とする同一形状の複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイを備えた拡散素子である。それぞれのマイクロレンズの曲面は連続し境界を除いて滑らかであり

、該マイクロレンズの頂点の該平面への投影点は該四角形または該正六角形の対角線の交点と一致し、最長の対角線を含み該平面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該平面に垂直な方向の該曲面の座標を z' 、 z' の x' に関する一階微分の最大値を d 、 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、該中心の x' 座標における値を D_0 、該対角線の端部の x' 座標における値を D として、

[数3]

$$D/D_0 < 1$$

かつ

[数4]

$$d \geq 2$$

が満たされる。

[0009] 本実施形態においては、平面上に同一形状のマイクロレンズが隙間なく配置されているので、より好ましい拡散光の分布が得られる。四角形は、直角四辺形、ひし形または平行四辺形であってよい。正六角形は、対向する三組の辺が互いに平行な六角形（平行六変形）に置き換えることができる。

[0010] 本発明の第1の態様の第2の実施形態の拡散素子において、該曲面は該投影点を通り該平面に垂直な軸の周りに軸対称である。

[0011] それぞれのマイクロレンズにおいて、該投影点を中心とし、該曲面と該平面とが交差することによって形成される円の半径を基準半径とする。それぞれのマイクロレンズの底面は、該投影点を中心とし基準半径の50%の半径の円の領域を含むのが好ましい。それぞれのマイクロレンズの底面は、該投影点を中心とし基準半径の半径の70%の円の領域を含むのがより好ましい。それぞれのマイクロレンズの底面は、該投影点を中心とし基準半径の80%の半径の円の領域を含むのがさらに好ましい。

[0012] 本発明の第1の態様の第3の実施形態の拡散素子において、それぞれのマイクロレンズについて

[数5]

$$D/D_0 < 0.5$$

が満たされる。

[0013] 光源及び本実施形態の拡散素子を含む光学系によって150度より大きい半値全幅の拡散角度の拡散光を実現することができる。

[0014] 本発明の第1の態様の第4の実施形態の拡散素子において、それぞれのマイクロレンズについて

[数6]

$$D/D_0 < 0.3$$

が満たされる。

[0015] 光源及び本実施形態の拡散素子を含む光学系によって160度より大きい半値全幅の拡散角度の拡散光を実現することができる。

[0016] 本発明の第1の態様の第5の実施形態の拡散素子において、それぞれのマイクロレンズについて

[数7]

$$d \geq 2.5$$

が満たされる。

[0017] 本発明の第1の態様の第6の実施形態の拡散素子において、それぞれのマイクロレンズについて

[数8]

$$d \geq 3$$

が満たされる。

[0018] 本発明の第1の態様の第7の実施形態の拡散素子において、それぞれのマイクロレンズについて、該直角四辺形または該正六角形の中心を通る対角線の長さをP、曲面の頂点における曲率半径をRとして、

[数9]

$$1 < \frac{P}{2 \cdot R} < 5.7$$

が満たされる。

[0019] 本実施形態によれば、拡散素子の金型を加工する際に使用される工具と金型との干渉を避けることができ、かつマイクロレンズの十分な光学性能を得ることができる。

[0020] 本発明の第1の態様の第9の実施形態の拡散素子において、マイクロレンズを備えた面と反対側の面が凸面であり、それぞれのマイクロレンズの曲面の頂点における曲率半径の絶対値を R として、該凸面の曲率半径の絶対値が R の100倍以上である。

[0021] 該凸面の曲率半径の絶対値を R の100倍以上の適切な値とすることによって光学系の効率を増加させることができる。

[0022] 本発明の第2の態様の光学系は、上記のいずれかの拡散素子と光源とを含む。

[0023] 本態様の光学系によって十分に大きな拡散角度の拡散光を実現することができる。

[0024] 本発明の第2の態様の第1の実施形態の光学系において、該マイクロレンズアレイが該拡散素子の、該光源と対向する側に位置する。

[0025] 本実施形態の光学系においては、マイクロレンズアレイが拡散素子の、光源から反対側に位置する光学系の場合のように、複数のマイクロレンズのそれぞれが他のマイクロレンズの出射光を遮蔽することがないので光学系の効率が比較的高くなる。

[0026] 本発明の第2の態様の第1の実施形態の光学系において、該光源が発散光源である。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]実施例1の拡散素子の側面図 ($y z$ 平面) である。

[図2]実施例1の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[図3]実施例1の拡散素子のマイクロレンズの平面図 ($x y$ 平面) である。

[図4]実施例1の拡散素子のマイクロレンズの側面図 ($y z$ 平面) である。

[図5]マイクロレンズの底面の正方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な

断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。

[図6]マイクロレンズの底面の正方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。

[図7]拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。

[図8]実施例2の拡散素子の側面図($y z$ 平面)である。

[図9]実施例2の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[図10]実施例2の拡散素子のマイクロレンズの平面図($x y$ 平面)である。

[図11]実施例2の拡散素子のマイクロレンズの側面図($y z$ 平面)である。

[図12]マイクロレンズの底面の正方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。

[図13]マイクロレンズの底面の正方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。

[図14]拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。

[図15]実施例3の拡散素子の側面図($y z$ 平面)である。

[図16]実施例3の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[図17]実施例3の拡散素子のマイクロレンズの平面図($x y$ 平面)である。

[図18]実施例3の拡散素子のマイクロレンズの側面図($y z$ 平面)である。

[図19]マイクロレンズの底面の長方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図であ

る。

[図20]マイクロレンズの底面の長方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。

[図21]拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。

[図22]実施例4の拡散素子の側面図（ $y z$ 平面）である。

[図23]実施例4の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[図24]実施例4の拡散素子のマイクロレンズの平面図（ $x y$ 平面）である。

[図25]実施例4の拡散素子のマイクロレンズの側面図（ $y z$ 平面）である。

[図26]マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。

[図27]マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。

[図28]拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。

[図29]実施例5の拡散素子の側面図（ $y z$ 平面）である。

[図30]実施例5の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[図31]実施例5の拡散素子のマイクロレンズの平面図（ $x y$ 平面）である。

[図32]実施例5の拡散素子のマイクロレンズの側面図（ $y z$ 平面）である。

[図33]マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。

[図34]マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂

直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。

[図35]拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。

[図36]実施例6の拡散素子の側面図（ $y z$ 平面）である。

[図37]実施例6の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[図38]実施例6の拡散素子のマイクロレンズの平面図（ $x y$ 平面）である。

[図39]実施例6の拡散素子のマイクロレンズの側面図（ $y z$ 平面）である。

[図40]マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。

[図41]マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。

[図42]拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。

[図43]実施例7の拡散素子の側面図（ $y z$ 平面）である。

[図44]実施例7の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[図45]実施例7の拡散素子のマイクロレンズの平面図（ $x y$ 平面）である。

[図46]実施例7の拡散素子のマイクロレンズの側面図（ $y z$ 平面）である。

[図47]マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。

[図48]マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を

示す図である。

[図49]拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。

[図50]実施例1-2のマイクロレンズの正方形の底面の配置を示す図である。

。

[図51]実施例3のマイクロレンズの長方形の底面の配置を示す図である。

[図52]実施例4-7のマイクロレンズの正六角形の底面の配置を示す図である。

[図53]一つの発光素子から発せられるビームの中心軸を含む断面を示す図である。

[図54]複数の発光素子から発せられるビームの中心軸を含む断面を示す図である。

[図55]光源から十分に離れた位置から観察した場合に、光源から発せられるビームの中心軸を含む断面を示す図である。

発明を実施するための形態

[0028] 本発明の拡散素子は、平面上に底面が配置された複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイを備えている。それぞれのマイクロレンズの曲面は連続し境界を除いて滑らかである。

[0029] 本発明の拡散素子は、マイクロレンズアレイが拡散素子の光源側に配置されるように設計されている。本発明の拡散素子にマイクロレンズアレイが備わる側からビームを照射すると、ビームは広い角度に拡散される。マイクロレンズアレイが拡散素子の出射面側に配置されるように設計すると、広角に広がった光線は配列した隣のレンズによって遮蔽されるため拡散光のパワーは低下する。

[0030] マイクロレンズの、頂点の該平面への投影点を通り、該底面の周縁との二つの交点間の距離が最大となる直線を含み該平面に垂直な断面において、該直線に沿った座標を x' 、該平面に垂直な方向の該曲面の座標を z' 、 z' の x' に関する一階微分の最大値を d 、 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、該中心の x' 座標における値を $D0$ 、該境界（該対角線の端部）の x' 座標にお

ける値をDとする。発明者の新たな知見によれば、光源及び拡散素子を含む光源において、 D/D_0 の値を変えると、拡散光の拡散角度を変えることができる。ここで拡散角度は、たとえば、ビームの進行方向に垂直な断面においてビームの中心軸における最大光度の半分の光度を有する領域をビームの中心軸となす角度によって規定することができる。上記のビームの中心軸となす角度の2倍の角度を半値全幅の拡散角度と呼称する。dが2以上の場合に $D/D_0 < 1$ とすると、半値全幅の拡散角度は140度より大きくすることができる。dが2以上の場合に $D/D_0 < 0.5$ とすると、半値全幅の拡散角度は150度より大きくすることができる。dが2以上の場合に $D/D_0 < 0.3$ とすると、半値全幅の拡散角度は160度より大きくすることができる。

[0031] 他方、上記のマイクロレンズアレイを含む拡散素子は、通常、金型を使用した射出成形によって製造される。マイクロレンズの光学性能及び金型の加工性を考慮すると、直角四辺形または正六角形の中心を通る対角線の長さをP、曲面の頂点における曲率半径をRとして、 $1 < P/(2R) < 5.7$ が満たされるのが好ましい。上記の式の下限はマイクロレンズに求められる焦点距離によって定まり、上限は金型を加工する際に使用される工具との干渉を避けることのできる金型の形状から定まる。

[0032] 拡散素子の出射面は、マイクロレンズの底面と平行な平面か、または比較的大きな曲率半径の凸面である。光源と拡散素子を組み合わせた光学系の効率の観点から、拡散素子の出射面は、Rの100倍以上の適切な値の曲率半径を有する凸面であるのが好ましい。

[0033] 本発明の実施例を以下に説明する。実施例は光源とマイクロレンズアレイを備えた拡散素子とを含む。

[0034] 光源と拡散素子とを含む光学系について、光源面の中心を原点とし、マイクロレンズの底面に平行な平面内にx軸及びy軸を定め、x軸及びy軸に直交するz軸を定める。z軸の方向は光源からz軸方向に進む光の進行方向とする。光源面はx-y平面と一致しz軸に直交する。拡散素子はその中心（出射面の中心）がz軸上に位置するように配置される。

[0035] 一例として、図1に示す拡散素子の左側に光源が配置され、光源から発せられた光はz軸方向に進み、マイクロレンズアレイに入射し、拡散素子を通過後、拡散素子の右側の出射面から拡散光として拡散される。

[0036] マイクロレンズアレイのそれぞれのマイクロレンズの曲面及び拡散素子の出射面について、レンズの頂点を原点とし、原点を含み底面に平行な平面内にx軸及びy軸を定め、x軸及びy軸に直交するz軸を定める。z軸の方向は光源からz軸方向に進む光の進行方向とする。

[0037] マイクロレンズの曲面及び出射面は以下の式で表せる。

[数10]

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

cは曲率を表し曲率半径Rの逆数である。rは曲面または出射面上の点と曲面または出射面の頂点を通るz軸方向の直線との距離を表す。kはコーニック係数、 A_i は次数iの非球面係数を表す。

[0038] 実施例1

図1は実施例1の拡散素子の側面図（yz平面）である。

[0039] 図2は実施例1の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[0040] 図3は実施例1の拡散素子のマイクロレンズの平面図（xy平面）である。
。

[0041] 図4は実施例1の拡散素子のマイクロレンズの側面図（yz平面）である。
。

[0042] 図において、マイクロレンズの曲面上の様子は曲面の形状を理解しやすいように付したものである。

[0043] 実施例1の拡散素子のxy平面の形状は一辺1.48ミリメートルの正方形である。

[0044] 実施例1のマイクロレンズの底面は正方形であり、正方形の底面がxy平面上に隙間なく配置されている。

[0045] 図50は、実施例1のマイクロレンズの正方形の底面の配置を示す図であ

る。図50において、 y 軸方向の辺が隣接する正方形の中心間の x 軸方向の距離 d_x 及び x 軸方向の辺が隣接する正方形の中心間の y 軸方向の距離 d_y は0.07071ミリメートルである。また、正方形の中心を通る対角線の長さ P は0.1ミリメートルである。

[0046] マイクロレンズの曲面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである。

$$\begin{aligned} R &: 0.01795 \text{ mm} \\ k &: -0.963 \\ A_2 &: 0 \\ A_4 &: 5.077762E+03 \\ A_6 &: 1.907324E+06 \\ A_8 &: -1.770637E+09 \\ A_{10} &: 2.732180E+11 \end{aligned}$$

上記のデータから、 $P/(2R)$ の値は2.786である。

[0047] 底面の正方形の対角線の交点を中心とし、マイクロレンズの曲面と底面を含む平面とが交差することによって形成される円の基準半径は $0.1/2=0.05$ ミリメートルである。また、底面の正方形の対角線の交点を中心とし半径が $0.07071/2=0.03536$ ミリメートルの円は底面に含まれる。したがって、底面の正方形の対角線の交点を中心とし基準半径の70.7%の円の領域は底面に含まれる。

[0048] 拡散素子の出射面は球面であり、出射面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである。本実施例及び以下の実施例において、 R_{exit} は出射面の曲率半径、すなわち球面の半径を表す。

$$\begin{aligned} R_{exit} &: -15 \text{ mm} \\ k &: 0 \end{aligned}$$

[0049] 拡散素子の厚さ、すなわちマイクロレンズの頂点と出射面の頂点との間の z 軸方向の距離は1.0ミリメートルである。

[0050] 光源面は正方形であり、 x 軸方向及び y 軸方向のサイズは0.8ミリメートルで

ある。光源と拡散素子との間の z 軸方向の距離は1.0ミリメートルである。本実施例において光源と同じサイズのビームが拡散素子に照射される。ビーム内の光度は一様である。光源のパワーは1ワットである。光の波長は850ナノメートルであり、拡散素子の上記波長における屈折率は1.63852である。

[0051] 図5は、マイクロレンズの底面の正方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。図5の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正方形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図5の縦軸は、 z' の x' に関する一階微分に対応する接線角を示す。接線角とは、上記の断面において上記の曲面を示す曲線の接線が x' 軸方向となす角度（鋭角）である。時計回りに測定した角度を正で表し、反時計回りに測定した角度を負で表す。 z' の x' に関する一階微分の最大値は3.686であり、この値は図5の縦軸で74.8度に相当する。

[0052] 図6は、マイクロレンズの底面の正方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。図6の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正方形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図6の縦軸は、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す。 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、正方形の中心の x' 座標における値を $D0$ 、正方形の対角線の端部の x' 座標における値を D とすると、 $D0$ は55.719、 D は13.914、 $D/D0$ は0.250である。

[0053] 座標 x' を定める対角線に平行で光学系の z 軸と交差する直線を光学系の x' 軸と呼称する。

[0054] 図7は、拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。図7の横軸は、光学系の x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の z 軸に対する角度を示す。角度の単位は度である。図7の縦軸は、光学系の x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の光度を示す。光度の単位はワット／ステラジア

ンである。

[0055] 光源と拡散素子を含む光学系の効率は73.2 %である。本実施例及び以下の実施例において、光学系の効率は拡散光のパワーと光源のパワー（1ワット）との比である。

[0056] 実施例 2

図 8 は実施例 2 の拡散素子の側面図（y z 平面）である。

[0057] 図 9 は実施例 2 の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[0058] 図 10 は実施例 2 の拡散素子のマイクロレンズの平面図（x y 平面）である。

[0059] 図 11 は実施例 2 の拡散素子のマイクロレンズの側面図（y z 平面）である。

[0060] 実施例 2 の拡散素子の x y 平面の形状は一辺1.26ミリメートルの正方形である。

[0061] 実施例 2 のマイクロレンズの底面は正方形であり、正方形の底面が x y 平面上に隙間なく配置されている。

[0062] 図 50 は、実施例 2 のマイクロレンズの正方形の底面の配置を示す図である。図 50 において、y 軸方向の辺が隣接する正方形の中心間の x 軸方向の距離 d_x 及び x 軸方向の辺が隣接する正方形の中心間の y 軸方向 d_y の距離は0.06ミリメートルである。また、正方形の中心を通る対角線の長さPは0.08485ミリメートルである。

[0063] マイクロレンズの曲面を表す式（1）の数値データは以下のとおりである。

$$\begin{aligned} R &: 0.01795 \text{ mm} \\ k &: -0.963 \\ A_2 &: 0 \\ A_4 &: 5.077762E+03 \\ A_6 &: 1.907324E+06 \\ A_8 &: -1.770637E+09 \end{aligned}$$

A10 : 2.732180E+11

上記のデータから、 $P/(2R)$ の値は2.364である。

[0064] 拡散素子の出射面は球面であり、出射面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである。

Rexit : -15mm

k : 0

[0065] 拡散素子の厚さ、すなわちマイクロレンズの頂点と出射面の頂点との間のz軸方向の距離は1.0ミリメートルである。

[0066] 光源面は正方形であり、x軸方向及びy軸方向のサイズは0.8ミリメートルである。光源と拡散素子との間のz軸方向の距離は1.0ミリメートルである。本実施例において光源と同じサイズのビームが拡散素子に照射される。ビーム内の光度は一様である。光源のパワーは1ワットである。光の波長は850ナノメートルであり、拡散素子の上記波長における屈折率は1.63852である。

[0067] 図12は、マイクロレンズの底面の正方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。図12の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正方形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図12の縦軸は、 z' の x' に関する一階微分に対応する接線角を示す。接線角とは、上記の断面において上記の曲面を示す曲線の接線が x' 軸方向となす角度(鋭角)である。時計回りに測定した角度を正で表し、反時計回りに測定した角度を負で表す。 z' の x' に関する一階微分の最大値は3.491であり、この値は図12の縦軸で74.0度に相当する。

[0068] 図13は、マイクロレンズの底面の正方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。図13の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正方形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図13の縦軸は、z

' の x' に関する二階微分の絶対値を示す。 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、正方形の中心の x' 座標における値を D_0 、正方形の対角線の端部の x' 座標における値を D とすると、 D_0 は55.719、 D は53.879、 D/D_0 は0.967である。

[0069] 座標 x' を定める対角線に平行で光学系の z 軸と交差する直線を光学系の x' 軸と呼称する。

[0070] 図14は、拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。図14の横軸は、光学系の x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の z 軸に対する角度を示す。角度の単位は度である。図14の縦軸は、光学系の x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の光度を示す。光度の単位はワット/ステラジアンである。

[0071] 光源と拡散素子を含む光学系の効率率は78.8%である。

[0072] 実施例3

図15は実施例3の拡散素子の側面図 ($y z$ 平面) である。

[0073] 図16は実施例3の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[0074] 図17は実施例3の拡散素子のマイクロレンズの平面図 ($x y$ 平面) である。

[0075] 図18は実施例3の拡散素子のマイクロレンズの側面図 ($y z$ 平面) である。

[0076] 実施例3の拡散素子の $x y$ 平面の形状は一辺1.65ミリメートルの正方形である。

[0077] 実施例3のマイクロレンズの底面は長方形であり、長方形の底面が $x y$ 平面上に隙間なく配置されている。

[0078] 図51は、実施例3のマイクロレンズの長方形の底面の配置を示す図である。図51において、 y 軸方向の辺が隣接する長方形の中心間の x 軸方向の距離 d_x は0.0455ミリメートルであり、 x 軸方向の辺が隣接する長方形の中心間の y 軸方向の距離 d_y は0.0788ミリメートルである。また、長方形の中心を通る対角線の長さ P は0.091ミリメートルである。

[0079] マイクロレンズの曲面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである

。

R : 0.01795 mm
 k : -0.963
 A2 : 0
 A4 : 5.077762E+03
 A6 : 1.907324E+06
 A8 : -1.770637E+09
 A10 : 2.732180E+11

上記のデータから、 $P/(2R)$ の値は2.535である。

[0080] 底面の長方形の対角線の交点を中心とし、マイクロレンズの曲面と底面を含む平面とが交差することによって形成される円の基準半径は $0.091/2=0.0455$ ミリメートルである。また、底面の長方形の対角線の交点を中心とし半径が $0.0455/2=0.02275$ ミリメートルの円は底面に含まれる。したがって、底面の長方形の対角線の交点を中心とし基準半径の50%の円の領域は底面に含まれる。

[0081] 拡散素子の出射面は球面であり、出射面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである。

Rexit : -15mm
 k : 0

[0082] 拡散素子の厚さ、すなわちマイクロレンズの頂点と出射面の頂点との間のz軸方向の距離は1.0ミリメートルである。

[0083] 光源面は正方形であり、x軸方向及びy軸方向のサイズは0.8ミリメートルである。光源と拡散素子との間のz軸方向の距離は1.0ミリメートルである。本実施例において光源と同じサイズのビームが拡散素子に照射される。ビーム内の光度は一様である。光源のパワーは1ワットである。光の波長は850ナノメートルであり、拡散素子の上記波長における屈折率は1.63852である。

[0084] 図19は、マイクロレンズの底面の長方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向の

マイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。図19の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。長方形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図19の縦軸は、 z' の x' に関する一階微分に対応する接線角を示す。接線角とは、上記の断面において上記の曲面を示す曲線の接線が x' 軸方向となす角度（鋭角）である。時計回りに測定した角度を正で表し、反時計回りに測定した角度を負で表す。 z' の x' に関する一階微分の最大値は3.615であり、この値は図19の縦軸で74.5度に相当する。

[0085] 図20は、マイクロレンズの底面の長方形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。図20の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。長方形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図20の縦軸は、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す。 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、長方形の中心の x' 座標における値を $D0$ 、長方形の対角線の端部の x' 座標における値を D とすると、 $D0$ は55.719、 D は27.116、 $D/D0$ は0.487である。

[0086] 座標 x' を定める対角線に平行で光学系の z 軸と交差（55.719）、 D は（27.116）する直線を光学系の x' 軸と呼称する。

[0087] 図21は、拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。図21の横軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の z 軸に対する角度を示す。角度の単位は度である。図21の縦軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の光度を示す。光度の単位はワット／ステラジアンである。

[0088] 光源と拡散素子を含む光学系の効率は74.2%である。

[0089] 実施例4

図22は実施例4の拡散素子の側面図（ $y-z$ 平面）である。

[0090] 図23は実施例4の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[0091] 図24は実施例4の拡散素子のマイクロレンズの平面図（ $x-y$ 平面）である。

[0092] 図25は実施例4の拡散素子のマイクロレンズの側面図（ yz 平面）である。

[0093] 実施例4の拡散素子の xy 平面の形状は1辺が5ミリメートルの正方形である。

[0094] 実施例4のマイクロレンズの底面は正六角形であり、正六角形の底面が xy 平面上に隙間なく配置されている。

[0095] 図52は、実施例4のマイクロレンズの正六角形の底面の配置を示す図である。図52において、隣接する正六角形の中心間の x 軸方向の距離 d_x は0.225ミリメートルであり、隣接する正六角形の中心間の y 軸方向の距離 d_y は0.260ミリメートルである。また、正六角形の中心を通る対角線の長さ P は0.3ミリメートルである。

[0096] マイクロレンズの曲面を表す式（1）の数値データは以下のとおりである。

R :	0.056 mm
k :	-0.956
A2 :	0
A4 :	8.348E+001
A6 :	2.382E+004
A8 :	-3.014E+006
A10 :	2.078E+008
A12 :	-9.608E+009
A14 :	2.518E+011
A16 :	-2.726E+012

上記のデータから、 $P/(2R)$ の値は2.685である。

[0097] 底面の正六角形の対角線の交点を中心とし、マイクロレンズの曲面と底面を含む平面とが交差することによって形成される円の基準半径は $0.3/2=0.15$ ミリメートルである。また、底面の正六角形の対角線の交点を中心とし半径が $0.260/2=0.13$ ミリメートルの円は底面に含まれる。したがって、

底面の正方形の対角線の交点を中心とし基準半径の86.7%の円の領域は底面に含まれる。

[0098] 拡散素子の出射面は球面であり、出射面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである。

$$\begin{aligned} R_{\text{exit}} &: -50\text{mm} \\ k &: 0 \end{aligned}$$

[0099] 拡散素子の厚さ、すなわちマイクロレンズの頂点と出射面の頂点との間のz軸方向の距離は1.45ミリメートルである。

[0100] 光源面は長方形であり、x軸方向及びy軸方向のサイズはそれぞれ0.85ミリメートル及び0.65ミリメートルである。光源と拡散素子との間のz軸方向の距離は2.0ミリメートルである。

[0101] 実施例4の光源は発散角を有する光源である。

[0102] 図53-図55は発散角を有する実施例4の光源を説明するための図である。光源の発光面には多数の発光素子が配置されている。

[0103] 図53は一つの発光素子から発せられるビームの中心軸を含む断面を示す図である。本実施例の光源から発せられるビームの中心軸を含む断面における光度はガウス分布であり、ビーム内の光度がビームの中心の光度1に対して

[数11]

$$1/e^2$$

となる位置は、光源の中心を通るz軸方向の軸に対して10度の角度の位置である。ここでeは自然対数の底である。

[0104] 図54は、複数の発光素子から発せられるビームの中心軸を含む断面を示す図である。

[0105] 図55は、光源から十分に離れた位置から観察した場合に、光源から発せられるビームの中心軸を含む断面を示す図である。

[0106] 光源のパワーは1ワットである。光の波長は850ナノメートルであり、拡散素子の上記波長における屈折率は1.6296である。

[0107] 図26は、マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。図26の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正六角形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図26の縦軸は、 z' の x' に関する一階微分に対応する接線角を示す。接線角とは、上記の断面において上記の曲面を示す曲線の接線が x' 軸方向となす角度（鋭角）である。時計回りに測定した角度を正で表し、反時計回りに測定した角度を負で表す。 z' の x' に関する一階微分の最大値は3.691であり、この値は図26の縦軸で74.8度に相当する。

[0108] 図27は、マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。図27の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正六角形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図27の縦軸は、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す。 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、正六角形の中心の x' 座標における値を $D0$ 、正六角形の対角線の端部の x' 座標における値を D とすると、 $D0$ は17.900、 D は8.901、 $D/D0$ は0.497である。

[0109] 座標 x' を定める対角線に平行で光学系の z 軸と交差する直線を光学系の x' 軸と呼称する。

[0110] 図28は、拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。図28の横軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の z 軸に対する角度を示す。角度の単位は度である。図28の縦軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の光度を示す。光度の単位はワット／ステラジアンである。

[0111] 光源と拡散素子を含む光学系の効率は81.8%である。

[0112] 実施例5

図29は実施例5の拡散素子の側面図（ $y-z$ 平面）である。

- [0113] 図30は実施例5の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。
- [0114] 図31は実施例5の拡散素子のマイクロレンズの平面図（x y平面）である。
- [0115] 図32は実施例5の拡散素子のマイクロレンズの側面図（y z平面）である。
- [0116] 実施例5の拡散素子のx y平面の形状は1辺が5ミリメートルの正方形である。
- [0117] 実施例5のマイクロレンズの底面は正六角形であり、正六角形の底面がx y平面上に隙間なく配置されている。
- [0118] 図52は、実施例5のマイクロレンズの正六角形の底面の配置を示す図である。図52において、隣接する正六角形の中心間のx軸方向の距離d xは0.225ミリメートルであり、隣接する正六角形の中心間のy軸方向の距離d yは0.260ミリメートルである。また、正六角形の中心を通る対角線の長さPは0.3ミリメートルである。
- [0119] マイクロレンズの曲面を表す式（1）の数値データは以下のとおりである。

R :	0.045m
k :	-6.134
A2 :	0
A4 :	1.422+03
A6 :	-1.573E+05
A8 :	1.358E+07
A10 :	-7.198+08
A12 :	1.994+10
A14 :	-2.216+11

上記のデータから、 $P/(2R)$ の値は3.333である。

- [0120] 拡散素子の出射面は平面であり、出射面を表す式（1）の数値データは以下のとおりである。

Rexit : Infinity

k : 0

- [0121] 拡散素子の厚さ、すなわちマイクロレンズの頂点と出射面の頂点との間の z 軸方向の距離は1.25ミリメートルである。
- [0122] 光源面は正方形であり x 軸方向及び y 軸方向のサイズは1.0ミリメートルである。光源と拡散素子との間の z 軸方向の距離は2.0ミリメートルである。
- [0123] 本実施例の光源も実施例4の光源と同様に発散角を有する光源である。本実施例の光源から発せられるビームの中心軸を含む断面における光度はガウス分布であり、ビーム内の光度がビームの中心の光度1に対して1/2となる位置は、光源の中心を通る z 軸方向の軸に対して10度の角度の位置である。
- [0124] 光源のパワーは1ワットである。光の波長は850ナノメートルであり、拡散素子の上記波長における屈折率は1.6296である。
- [0125] 図33は、マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。図33の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正六角形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図33の縦軸は、 z' の x' に関する一階微分に対応する接線角を示す。接線角とは、上記の断面において上記の曲面を示す曲線の接線が x' 軸方向となす角度（鋭角）である。時計回りに測定した角度を正で表し、反時計回りに測定した角度を負で表す。 z' の x' に関する一階微分の最大値は3.464であり、この値は図33の縦軸で73.9度に相当する。
- [0126] 図34は、マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。図34の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正六角形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図34の縦軸は、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す。 z' の x' に関する二階微分

の絶対値の、正六角形の中心の x' 座標における値を D_0 、正六角形の対角線の端部の x' 座標における値を D とすると、 D_0 は22.222、 D は0.505、 D/D_0 は0.023である。

[0127] 座標 x' を定める対角線に平行で光学系の z 軸と交差する直線を光学系の x' 軸と呼称する。

[0128] 図35は、拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。図35の横軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の z 軸に対する角度を示す。角度の単位は度である。図35の縦軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の光度を示す。光度の単位はワット/ステラジアンである。

[0129] 光源と拡散素子を含む光学系の効率率は67.8%である。

[0130] 実施例6

図36は実施例6の拡散素子の側面図（ yz 平面）である。

[0131] 図37は実施例6の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[0132] 図38は実施例6の拡散素子のマイクロレンズの平面図（ xy 平面）である。

[0133] 図39は実施例6の拡散素子のマイクロレンズの側面図（ yz 平面）である。

[0134] 実施例6の拡散素子の xy 平面の形状は1辺が5ミリメートルの正方形である。

[0135] 実施例6のマイクロレンズの底面は正六角形であり、正六角形の底面が xy 平面上に隙間なく配置されている。

[0136] 図52は、実施例6のマイクロレンズの正六角形の底面の配置を示す図である。図52において、隣接する正六角形の中心間の x 軸方向の距離 d_x は0.225ミリメートルであり、隣接する正六角形の中心間の y 軸方向の距離 d_y は0.260ミリメートルである。また、正六角形の中心を通る対角線の長さ P は0.3ミリメートルである。

[0137] マイクロレンズの曲面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである。

R : 0.042m
 k : -0.956
 A2 : 0
 A4 : 3.517E+02
 A6 : -2.282E+04
 A8 : 2.737E+05

上記のデータから、 $P/(2R)$ の値は3.571である。

[0138] 拡散素子の出射面は平面であり、出射面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである。

Rexit : Infinity
 k : 0

[0139] 拡散素子の厚さ、すなわちマイクロレンズの頂点と出射面の頂点との間のz軸方向の距離は1.50ミリメートルである。

[0140] 光源面は正方形であり、x軸方向及びy軸方向のサイズは1.0ミリメートルである。光源と拡散素子との間のz軸方向の距離は2.0ミリメートルである。本実施例において光源と同じサイズのビームが拡散素子に照射される。ビーム内の光度は一樣である。光源のパワーは1ワットである。光の波長は850ナノメートルであり、拡散素子の上記波長における屈折率は1.6296である。

[0141] 図40は、マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。図40の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正六角形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図40の縦軸は、 z' の x' に関する一階微分に対応する接線角を示す。接線角とは、上記の断面において上記の曲面を示す曲線の接線が x' 軸方向となす角度(鋭角)である。時計回りに測定した角度を正で表し、反時計回りに測定した角度を負で表す。 z' の x' に関する一階微分の最大値は3.483であり、この値は図40の縦軸で74.0度に相当する。

[0142] 図4 1は、マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。図4 1の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正六角形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図4 1の縦軸は、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す。 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、正六角形の中心の x' 座標における値を $D0$ 、正六角形の対角線の端部の x' 座標における値を D とすると、 $D0$ は23.810、 D は4.886、 $D/D0$ は0.205である。

[0143] 座標 x' を定める対角線に平行で光学系の z 軸と交差する直線を光学系の x' 軸と呼称する。

[0144] 図4 2は、拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。図4 2の横軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の z 軸に対する角度を示す。角度の単位は度である。図4 2の縦軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の光度を示す。光度の単位はワット／ステラジアンである。

[0145] 光源と拡散素子を含む光学系の効率率は63.1%である。

[0146] 実施例7

図4 3は実施例7の拡散素子の側面図（ $y z$ 平面）である。

[0147] 図4 4は実施例7の拡散素子のマイクロレンズの透視図である。

[0148] 図4 5は実施例7の拡散素子のマイクロレンズの平面図（ $x y$ 平面）である。

[0149] 図4 6は実施例7の拡散素子のマイクロレンズの側面図（ $y z$ 平面）である。

[0150] 実施例7の拡散素子の $x y$ 平面の形状は1辺が5ミリメートルの正方形である。

[0151] 実施例7のマイクロレンズの底面は正六角形であり、正六角形の底面が $x y$ 平面上に隙間なく配置されている。

[0152] 図5 2は、実施例7のマイクロレンズの正六角形の底面の配置を示す図で

ある。図52において、隣接する正六角形の中心間のx軸方向の距離は0.225ミリメートルであり、隣接する正六角形の中心間のy軸方向の距離は0.260ミリメートルである。また、正六角形の中心を通る対角線の長さPは0.3ミリメートルである。

[0153] マイクロレンズの曲面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである。

R :	5.384E-02 mm
k :	-0.963
A2 :	0
A4 :	1.881E+02
A6 :	7.849E+03
A8 :	-8.096E+05
A10 :	1.388E+07

上記のデータから、 $P/(2R)$ の値は3.686である。

[0154] 拡散素子の出射面は球面であり、出射面を表す式(1)の数値データは以下のとおりである。

Rexit :	-50mm
k :	0

[0155] 拡散素子の厚さ、すなわちマイクロレンズの頂点と出射面の頂点との間のz軸方向の距離は1.45ミリメートルである。

[0156] 光源面は長方形であり、x軸方向及びy軸方向のサイズはそれぞれ0.85ミリメートル及び0.65ミリメートルである。光源と拡散素子との間のz軸方向の距離は2.0ミリメートルである。

[0157] 本実施例の光源も実施例4の光源と同様に発散角を有する光源である。本実施例の光源から発せられるビームの中心軸を含む断面における光度はガウス分布であり、ビーム内の光度がビームの中心の光度1に対して

[数12]

$1/e^2$

となる位置は、光源の中心を通る z 軸方向の軸に対して10度の角度の位置である。ここで e は自然対数の底である。

[0158] 光源のパワーは1ワットである。光の波長は850ナノメートルであり、拡散素子の上記波長における屈折率は1.6296である。

[0159] 図47は、マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する一階微分を示す図である。図47の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正六角形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図47の縦軸は、 z' の x' に関する一階微分に対応する接線角を示す。接線角とは、上記の断面において上記の曲面を示す曲線の接線が x' 軸方向となす角度（鋭角）である。時計回りに測定した角度を正で表し、反時計回りに測定した角度を負で表す。 z' の x' に関する一階微分の最大値は3.686であり、この値は図47の縦軸で74.8度に相当する。

[0160] 図48は、マイクロレンズの底面の正六角形の中心を通る対角線を含み底面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該底面に垂直な方向のマイクロレンズの曲面の座標を z' として、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す図である。図48の横軸は、対角線に沿った座標 x' を示す。正六角形の中心の座標を0とし、長さの単位はミリメートルである。図48の縦軸は、 z' の x' に関する二階微分の絶対値を示す。 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、正六角形の中心の x' 座標における値を D_0 、正六角形の対角線の端部の x' 座標における値を D とすると、 D_0 は18.573、 D は4.638、 D/D_0 は0.250である。

[0161] 座標 x' を定める対角線に平行で光学系の z 軸と交差する直線を光学系の x' 軸と呼称する。

[0162] 図49は、拡散素子によって拡散されたビームの光度分布を示す図である。図49の横軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断面における光線の z 軸に対する角度を示す。角度の単位は度である。図49の縦軸は、 x' 軸及び z 軸を含む断

面における光線の光度を示す。光度の単位はワット／ステラジアンである。

[0163] 光源と拡散素子を含む光学系の効率は78.6%である。

[0164] 表1は、実施例1-7の拡散素子のマイクロレンズの曲面及び出射面の特徴を示す。

[表1]

	d	D/D0	P/(2R)	Rexit/R
実施例1	3.686	0.250	2.786	836
実施例2	3.491	0.967	2.364	836
実施例3	3.615	0.487	2.535	836
実施例4	3.691	0.497	2.685	893
実施例5	3.464	0.023	3.333	無限大
実施例6	3.483	0.205	3.571	無限大
実施例7	3.686	0.250	2.786	929

[0165] 表2は光源及び実施例1-7の拡散素子のいずれかを含む光学系の特徴を示す。

[表2]

	光源の発散角	距離 (mm)	拡散光の角度 (半値全幅、度)	効率(%)
実施例1	0度 (コリメート光)	1.0	165	73.2
実施例2	0度 (コリメート光)	1.0	150	78.8
実施例3	0度 (コリメート光)	1.0	155	74.2
実施例4	20度 (1/e2、全幅)	2.0	165	81.8
実施例5	20度 (半値全幅)	2.0	170	67.8
実施例6	0度 (コリメート光)	2.0	175	63.1
実施例7	20度 (1/e2、全幅)	2.0	175	78.6

[0166] 表1及び表2によると、全ての実施例のそれぞれのマイクロレンズはdが2以上であり、 $D/D0 < 1$ を満たし、それぞれの実施例の拡散素子を含む光学系の半値全幅の拡散角度は140度より大きい。実施例1、実施例3-7のそれぞれのマイクロレンズはdが2以上であり、 $D/D0 < 0.5$ を満たし、それぞれの実施例の拡散素子を含む光学系の半値全幅の拡散角度は150度より大きい。実施例1、実施例5-7のそれぞれのマイクロレンズはdが2以上であり、 $D/D0 < 0.3$ を

満たし、それぞれの実施例の拡散素子を含む光学系の半値全幅の拡散角度は160度より大きい。

[0167] 表1及び表2によると、全ての実施例の光学系の効率は60%以上である。実施例1-4及び7の光学系の効率は70%以上である。実施例2, 4及び7の光学系の効率は75%以上である。

請求の範囲

[請求項1] 平面上に底面が配置された複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイを備えた拡散素子であって、それぞれのマイクロレンズの曲面は連続し境界を除いて滑らかであり、それぞれのマイクロレンズにおいて、該マイクロレンズの頂点の該平面への投影点を通り、該底面の周縁との二つの交点間の距離が最大となる直線を含み該平面に垂直な断面において、該直線に沿った座標を x' 、該平面に垂直な方向の該曲面の座標を z' 、 z' の x' に関する一階微分の最大値を d 、 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、該中心の x' 座標における値を D_0 、該対角線の端部の x' 座標における値を D として、

[数1]

$$D/D_0 < 1$$

かつ

[数2]

$$d \geq 2$$

が満たされる拡散素子。

[請求項2] 平面上に隙間なく配置された合同の四角形または合同の正六角形をそれぞれの底面とする同一形状の複数のマイクロレンズを含むマイクロレンズアレイを備えた拡散素子であって、それぞれのマイクロレンズの曲面は連続し境界を除いて滑らかであり、該マイクロレンズの頂点の該平面への投影点は該四角形または該正六角形の対角線の交点と一致し、最長の対角線を含み該平面に垂直な断面において、該対角線に沿った座標を x' 、該平面に垂直な方向の該曲面の座標を z' 、 z' の x' に関する一階微分の最大値を d 、 z' の x' に関する二階微分の絶対値の、該中心の x' 座標における値を D_0 、該対角線の端部の x' 座標における値を D として、

[数3]

$$D/D_0 < 1$$

かつ

[数4]

$$d \geq 2$$

が満たされる請求項 1 に記載の拡散素子。

[請求項3] 該曲面は該投影点を通り該平面に垂直な軸の周りに軸対称の非球面である請求項 1 または 2 に記載の拡散素子。

[請求項4] それぞれのマイクロレンズについて

[数5]

$$D/D_0 < 0.5$$

が満たされる請求項 1 から 3 のいずれかに記載の拡散素子。

[請求項5] それぞれのマイクロレンズについて

[数6]

$$D/D_0 < 0.3$$

が満たされる請求項 1 から 4 のいずれかに記載の拡散素子。

[請求項6] それぞれのマイクロレンズについて

[数7]

$$d \geq 2.5$$

が満たされる請求項 1 から 5 のいずれかに記載の拡散素子。

[請求項7] それぞれのマイクロレンズについて

[数8]

$$d \geq 3$$

が満たされる請求項 1 から 6 のいずれかに記載の拡散素子。

[請求項8] それぞれのマイクロレンズについて、該直角四辺形または該正六角形の中心を通る対角線の長さをP、曲面の頂点における曲率半径をRとして、

[数9]

$$1 < \frac{P}{2 \cdot R} < 5.7$$

が満たされる請求項 1 から 7 のいずれかに記載の拡散素子。

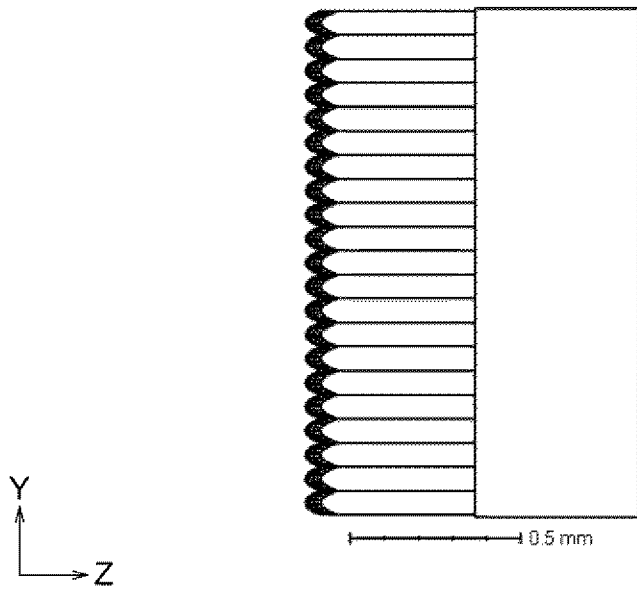
[請求項9] マイクロレンズを備えた面と反対側の面が凸面であり、それぞれのマイクロレンズの曲面の頂点における曲率半径の絶対値を R として、該凸面の曲率半径の絶対値が R の 100 倍以上である請求項 1 から 8 のいずれかに記載の拡散素子。

[請求項10] 請求項 1 から 9 のいずれかに記載の拡散素子と光源とを含む光学系。

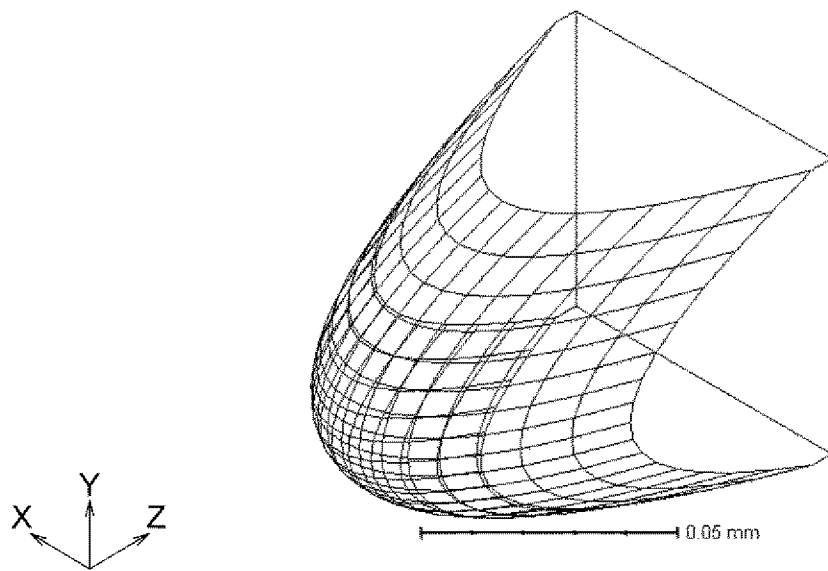
[請求項11] 該マイクロレンズアレイが該拡散素子の、該光源と対向する側に位置する請求項 10 に記載の光学系。

[請求項12] 該光源が発散光源である請求項 10 または 11 に記載の光学系。

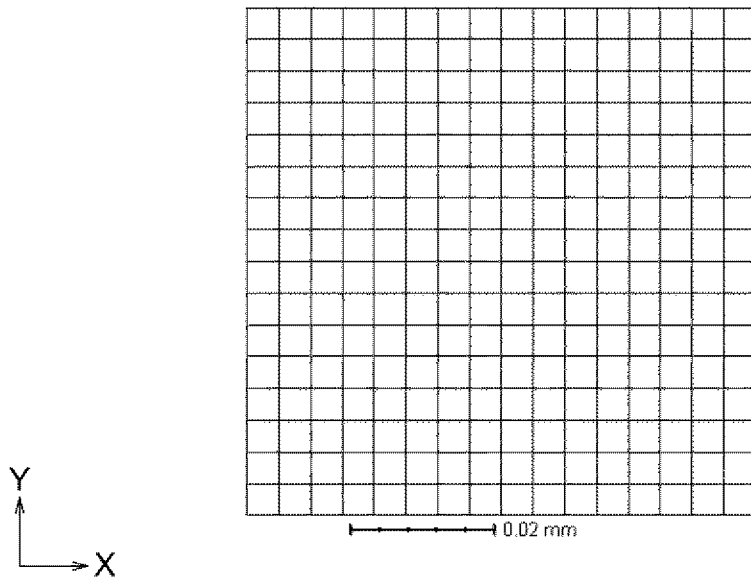
[図1]



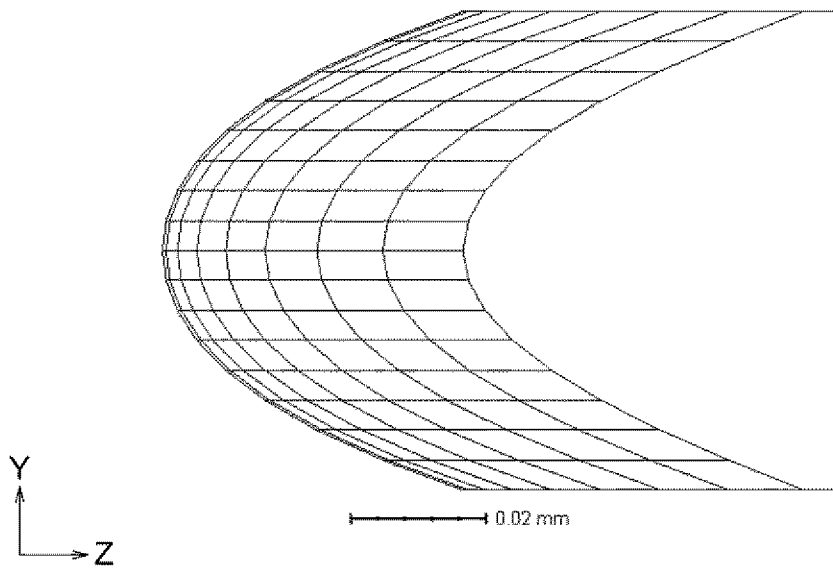
[図2]



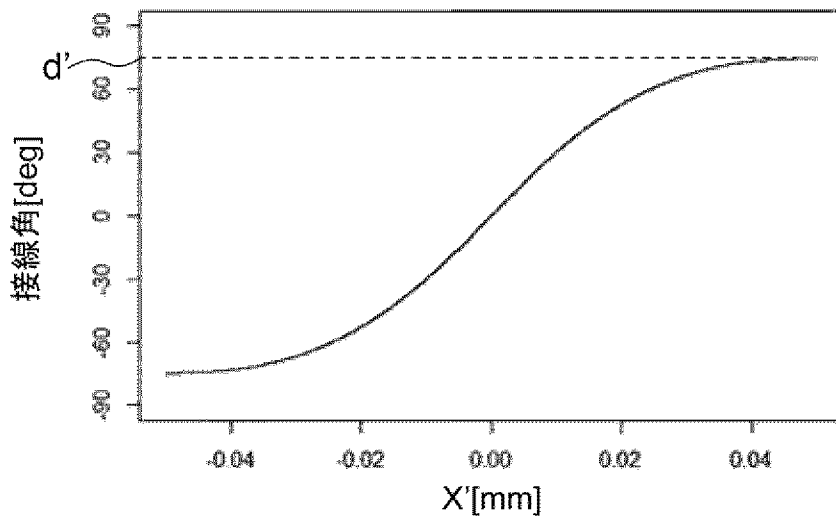
[図3]



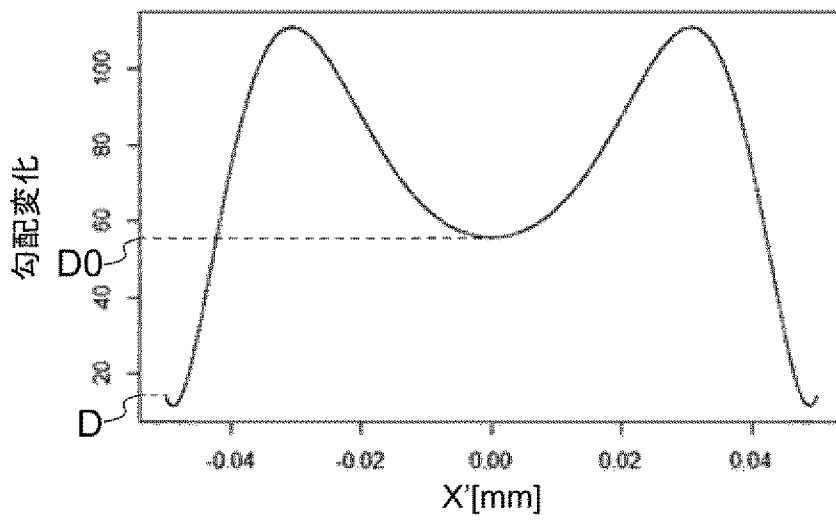
[図4]



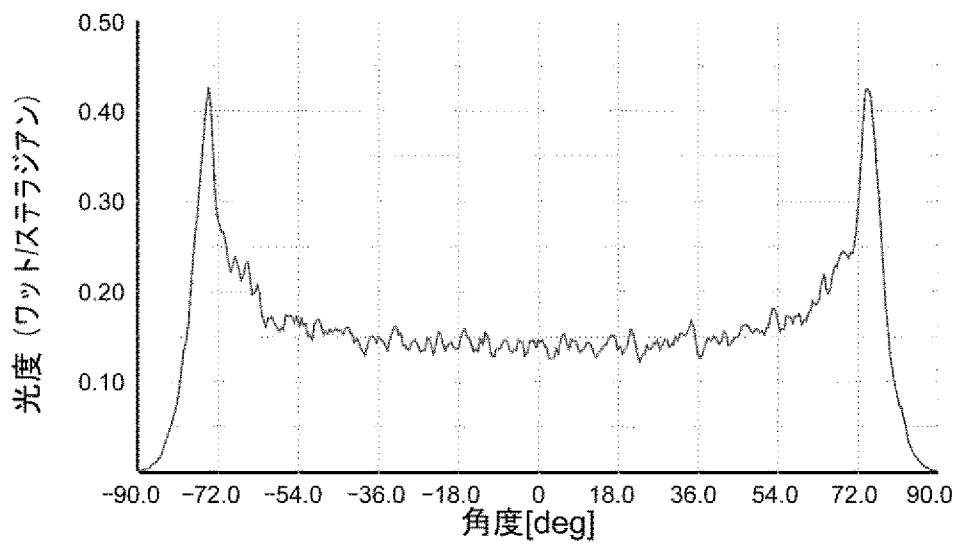
[図5]



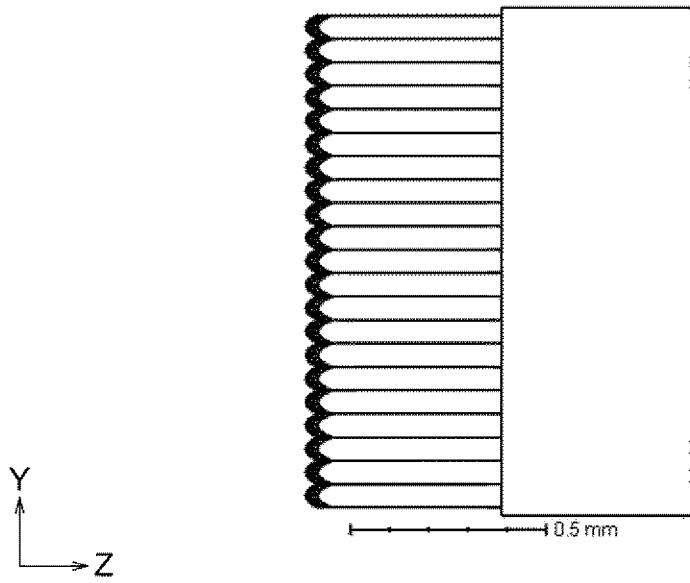
[図6]



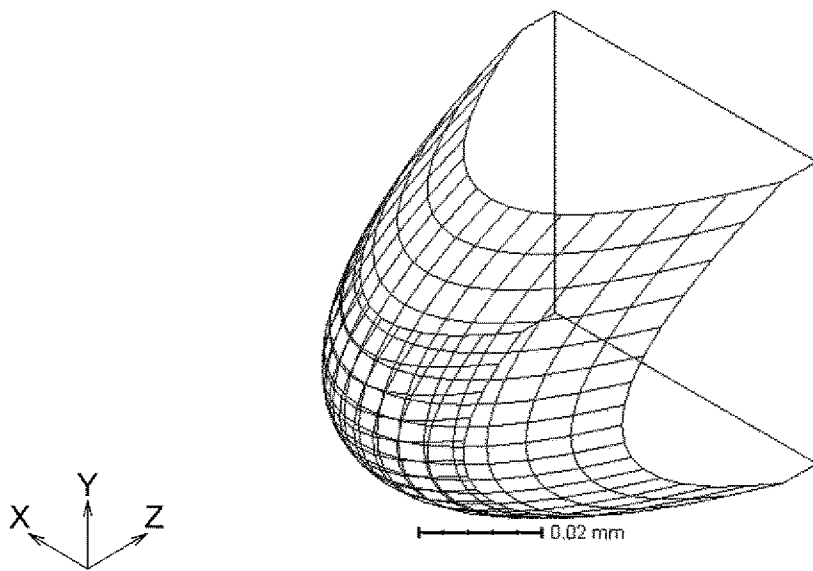
[図7]



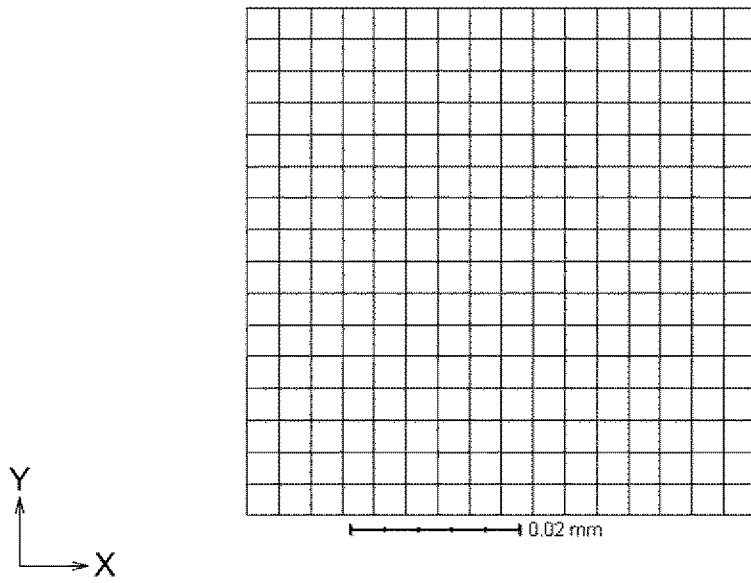
[图8]



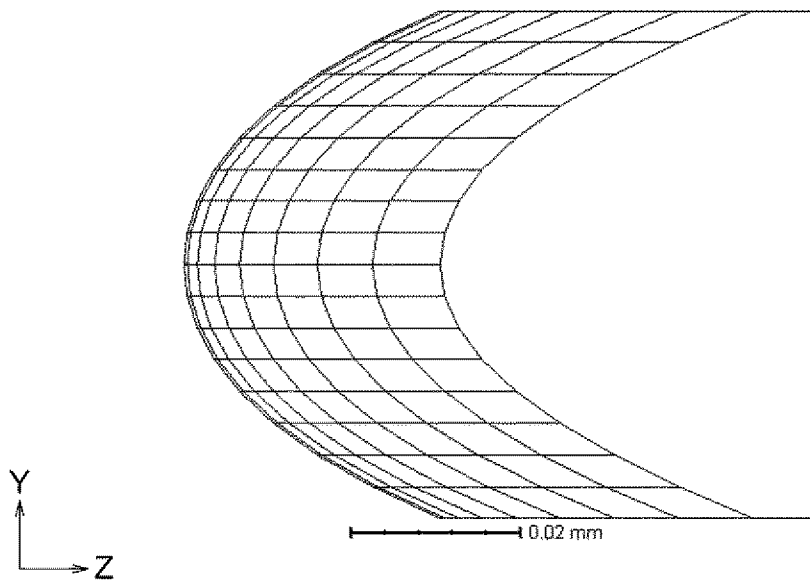
[图9]



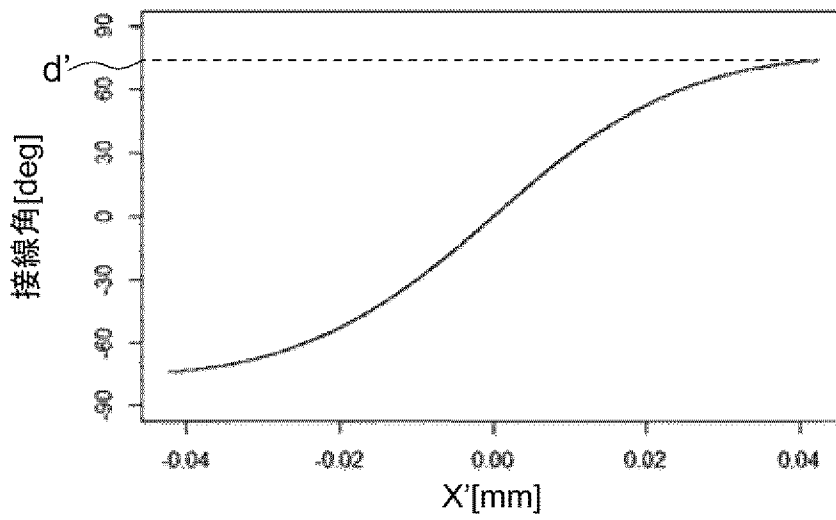
[图10]



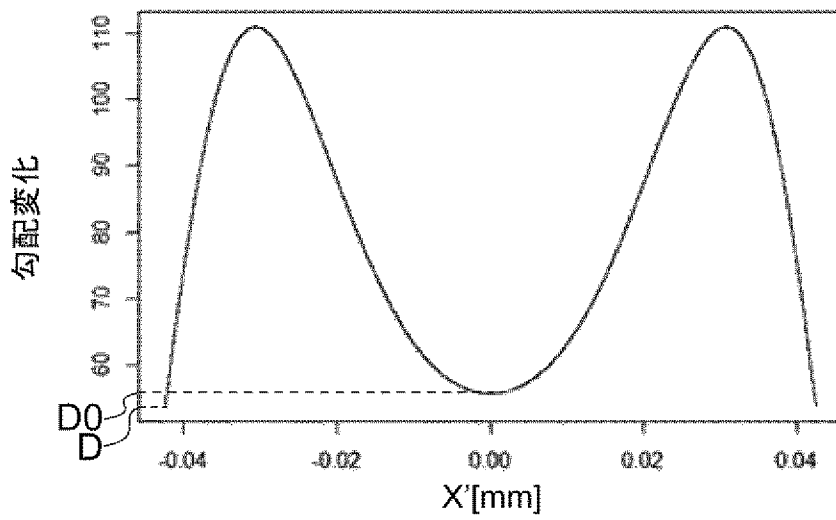
[图11]



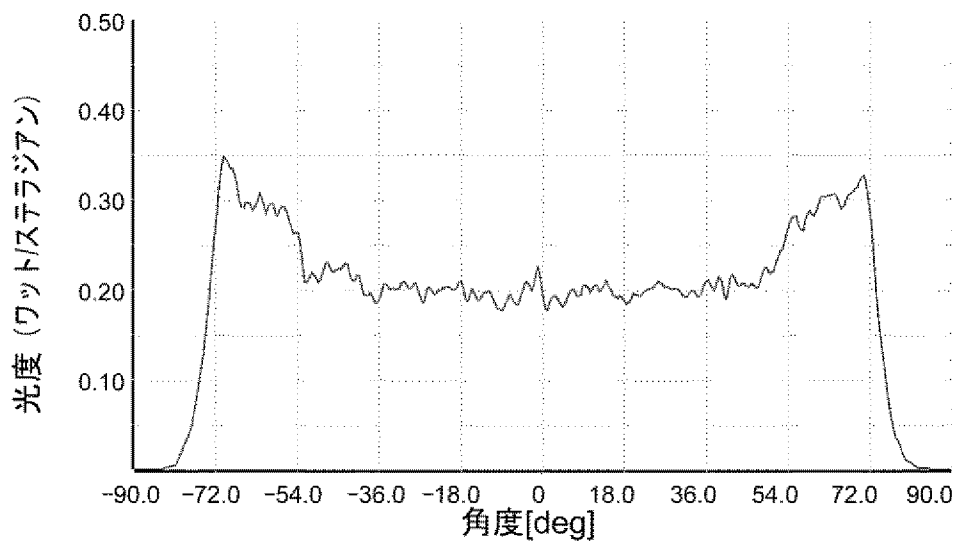
[図12]



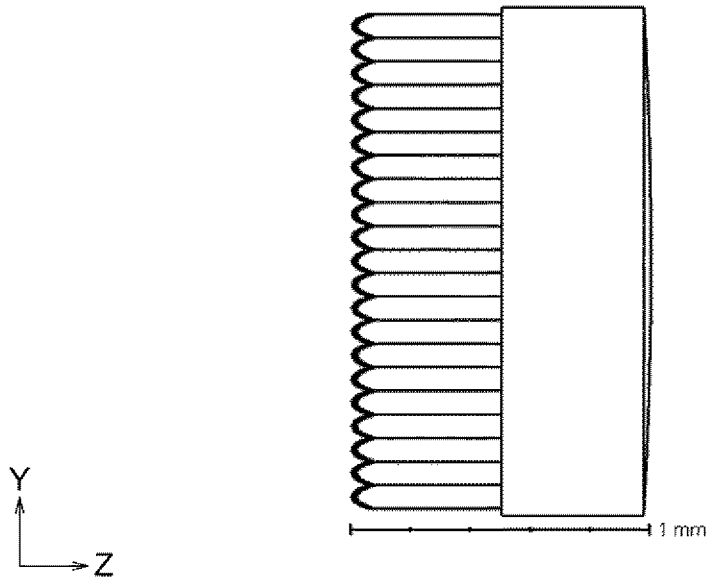
[図13]



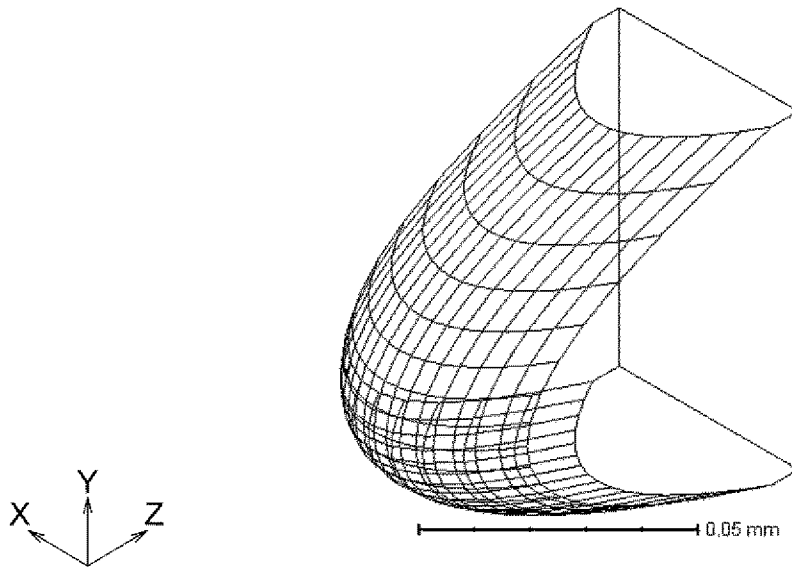
[図14]



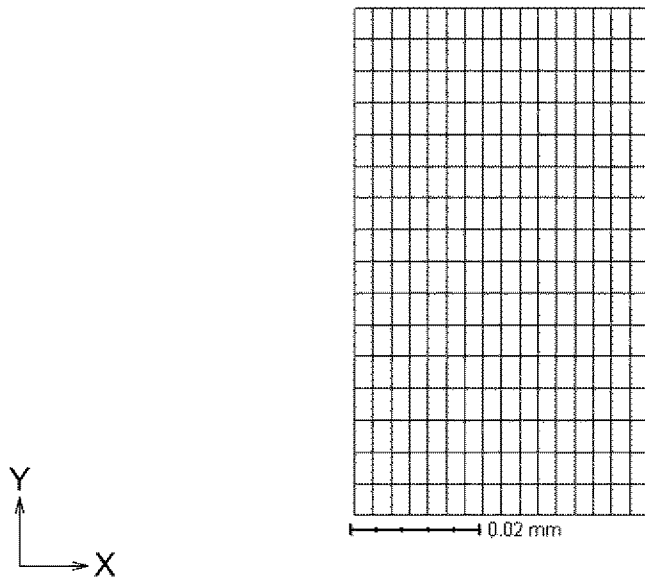
[图15]



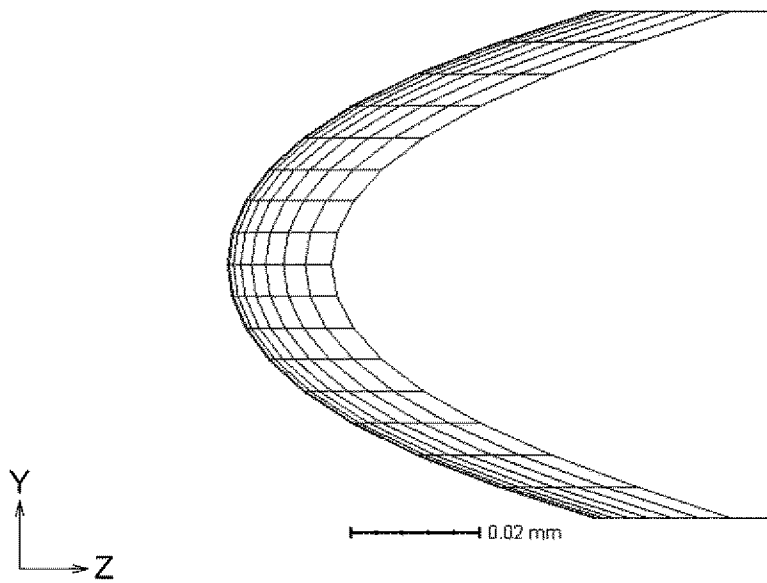
[图16]



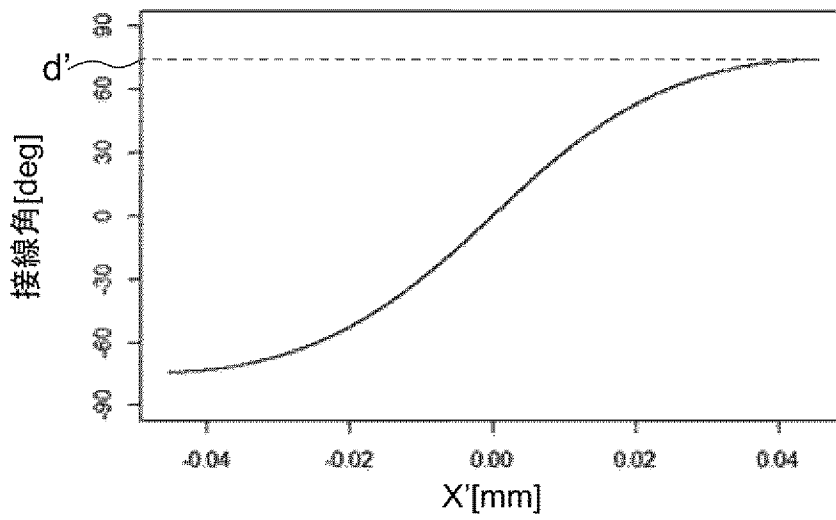
[図17]



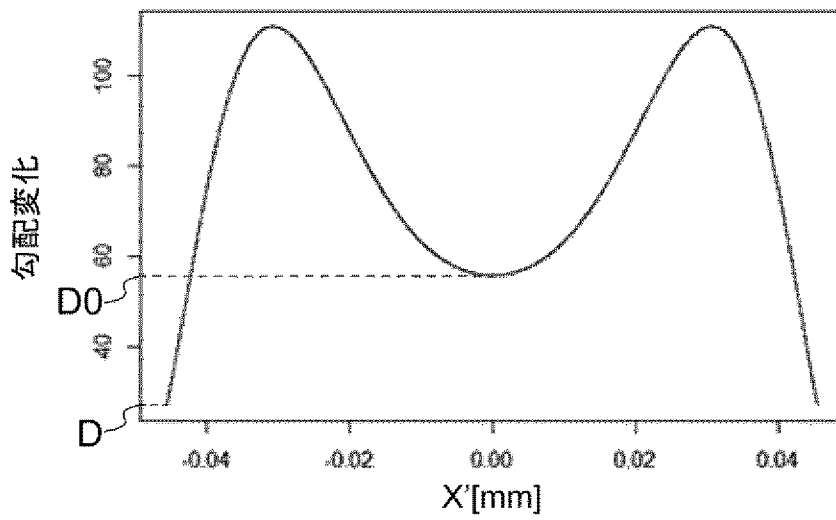
[図18]



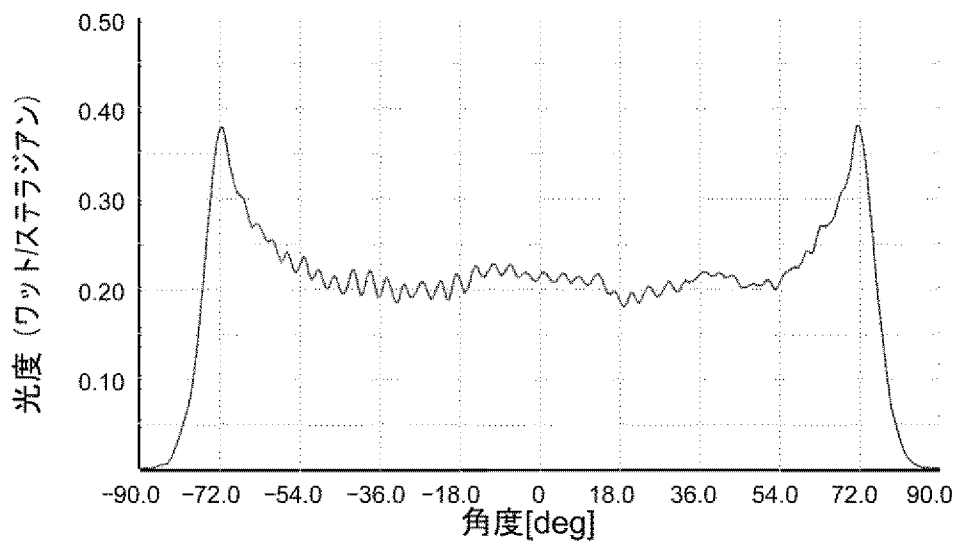
[図19]



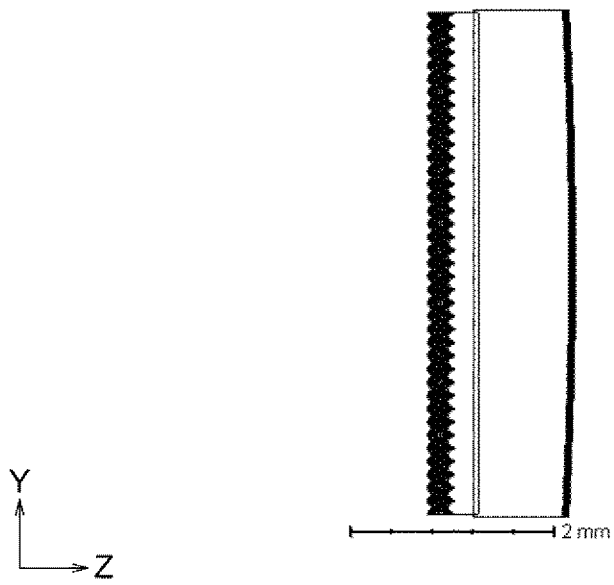
[図20]



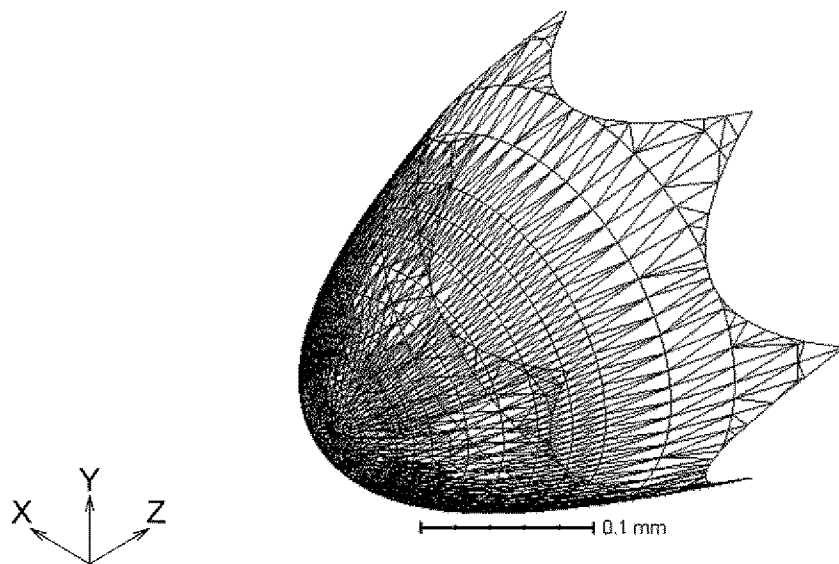
[図21]



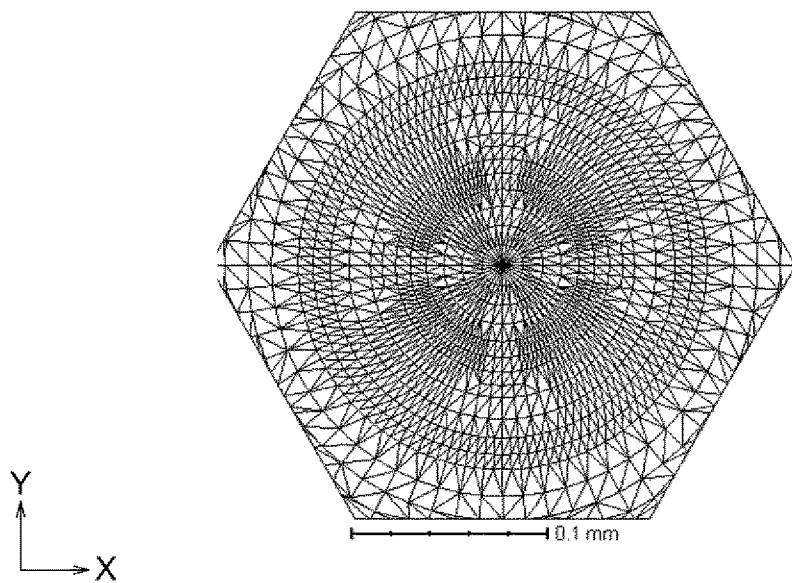
[図22]



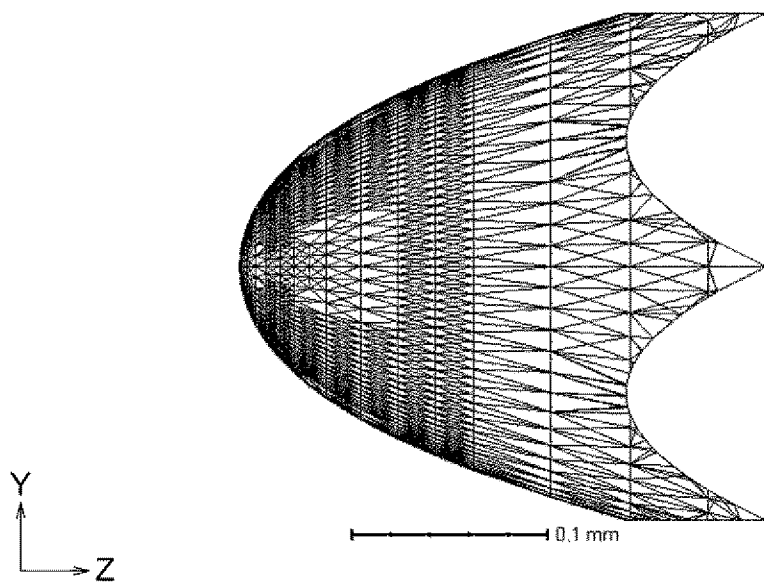
[図23]



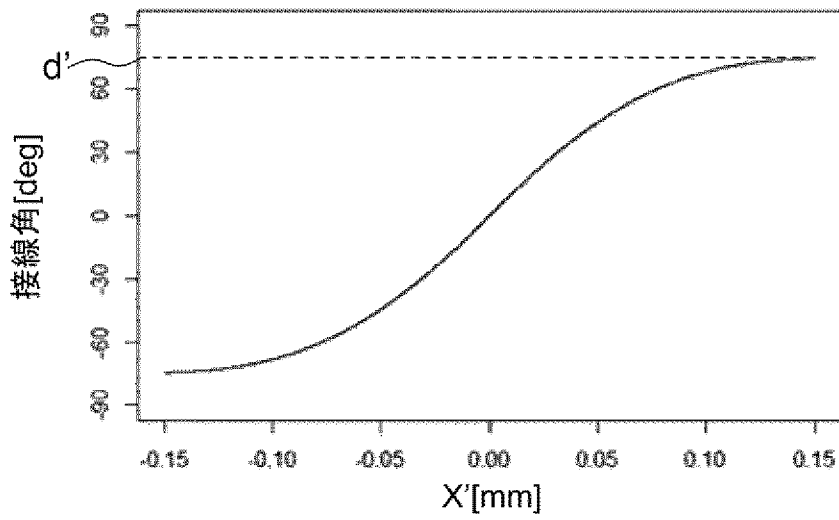
[图24]



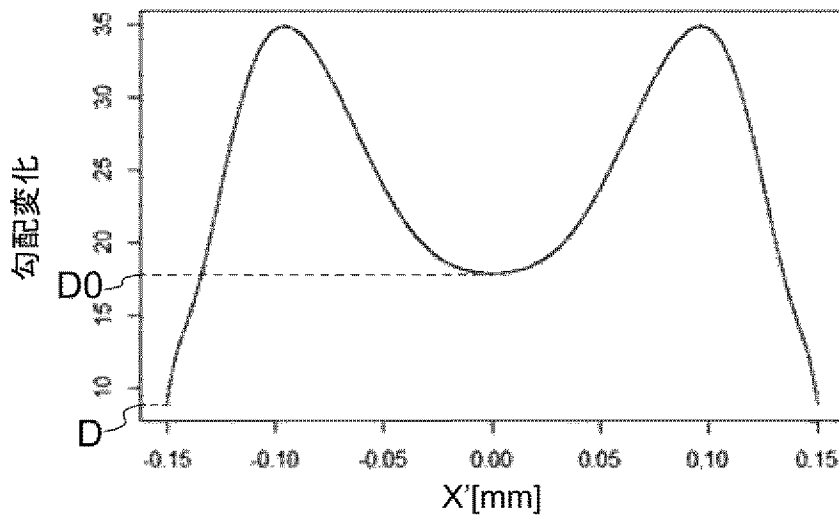
[图25]



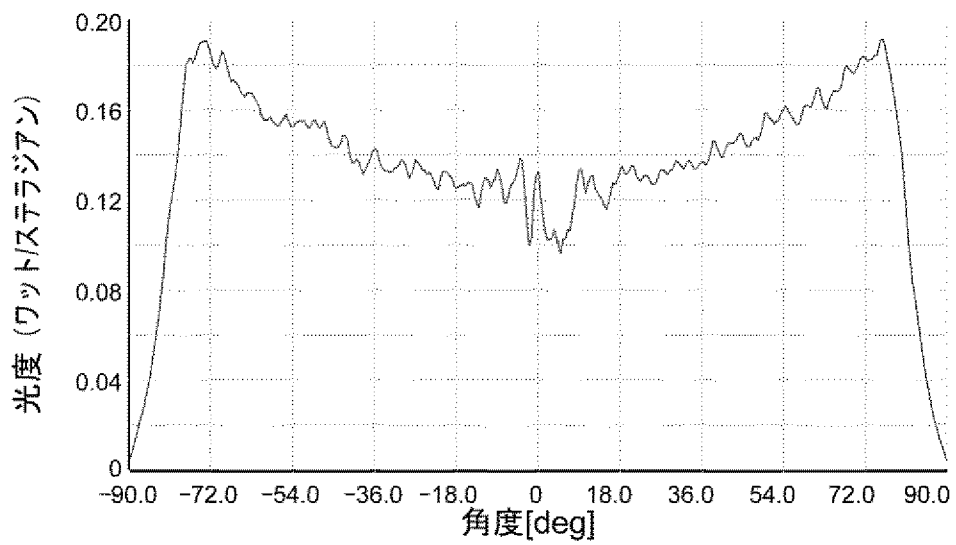
[図26]



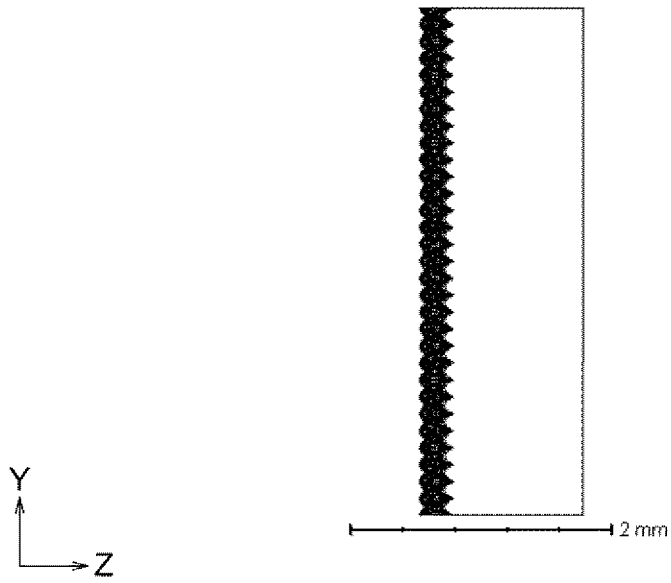
[図27]



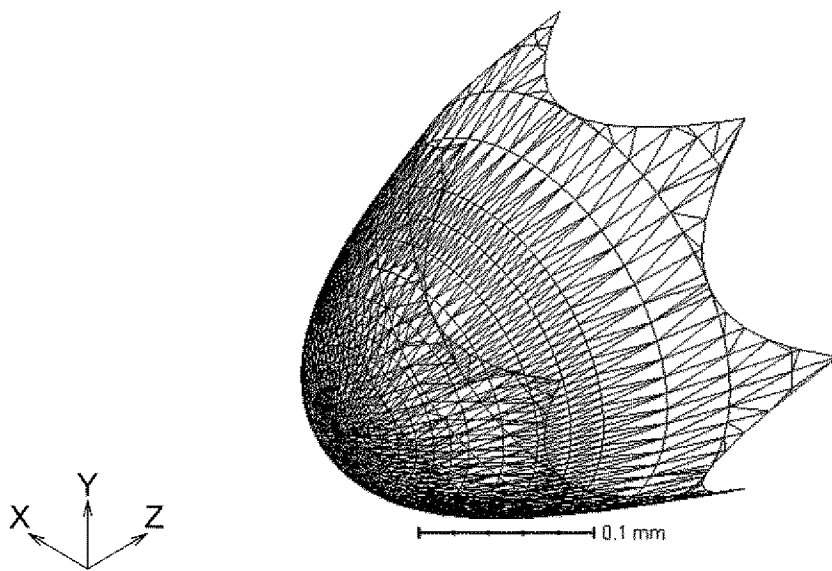
[図28]



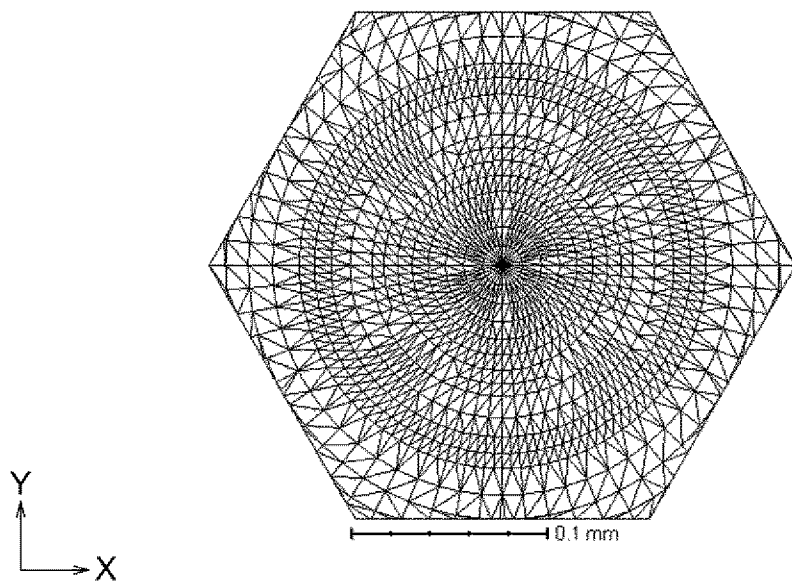
[图29]



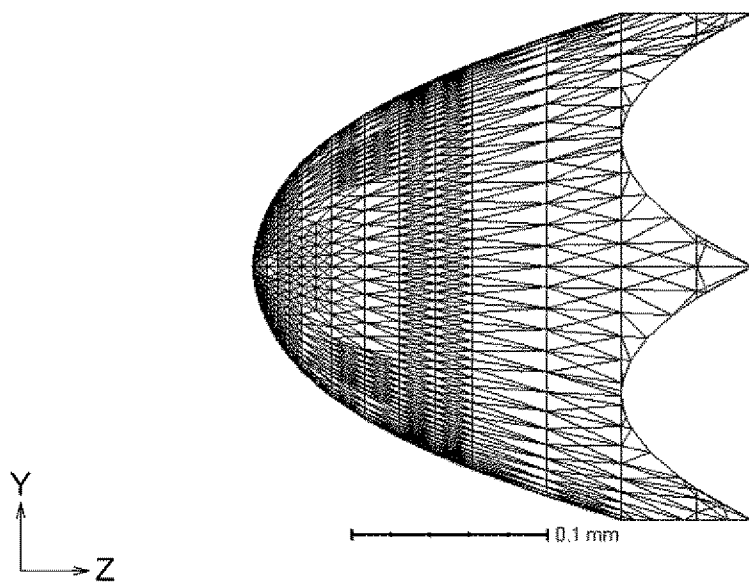
[图30]



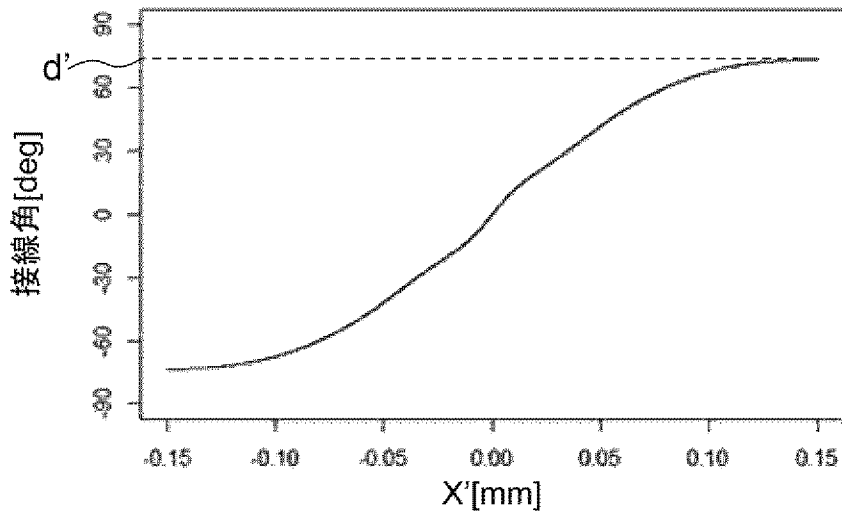
[图31]



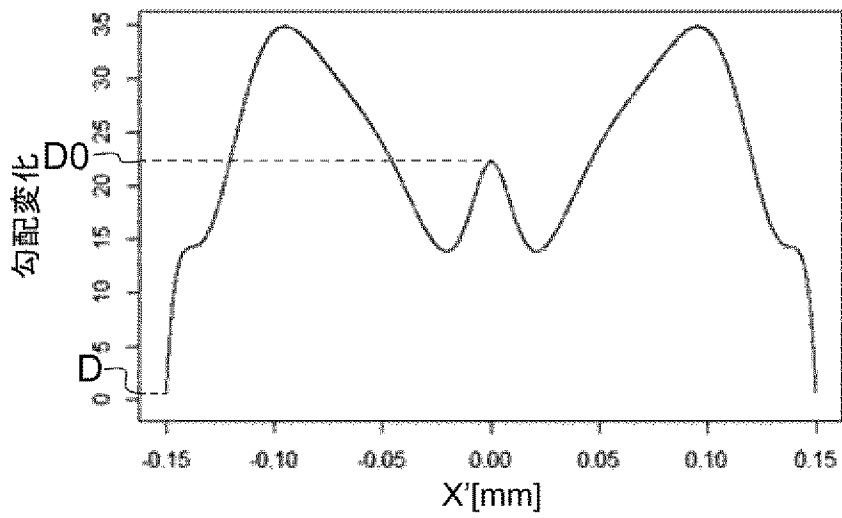
[图32]



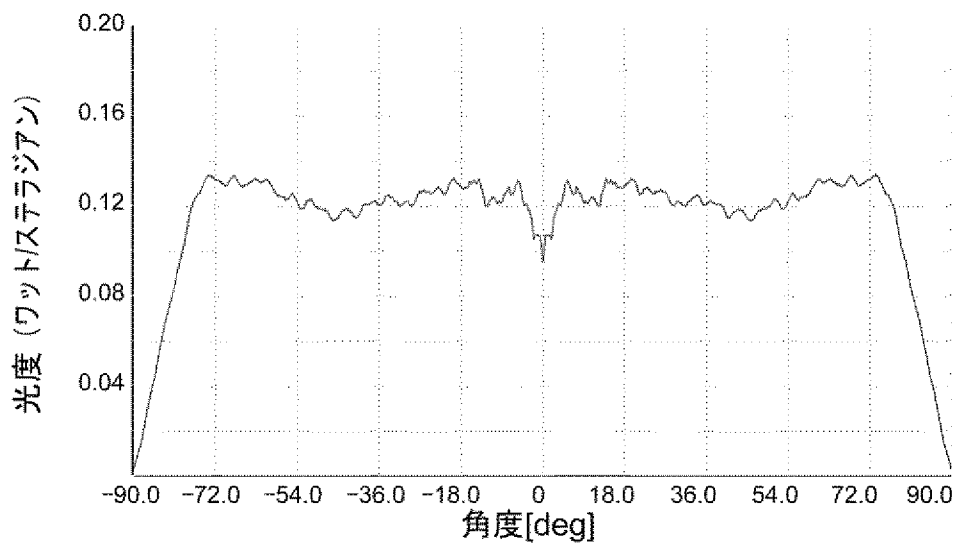
[図33]



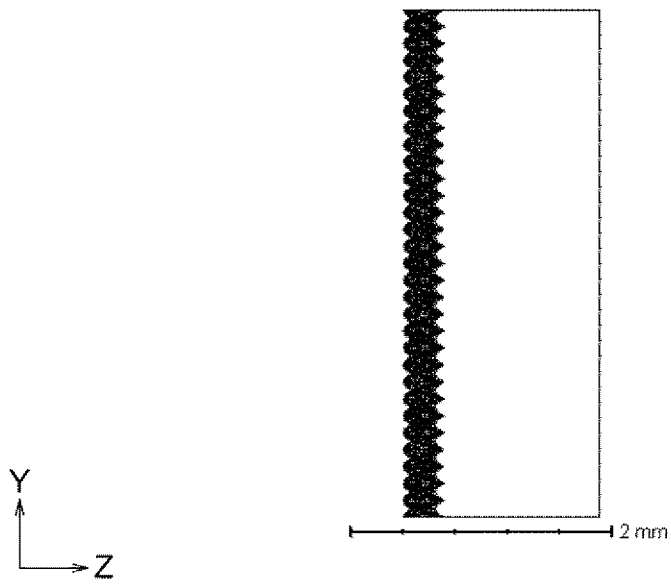
[図34]



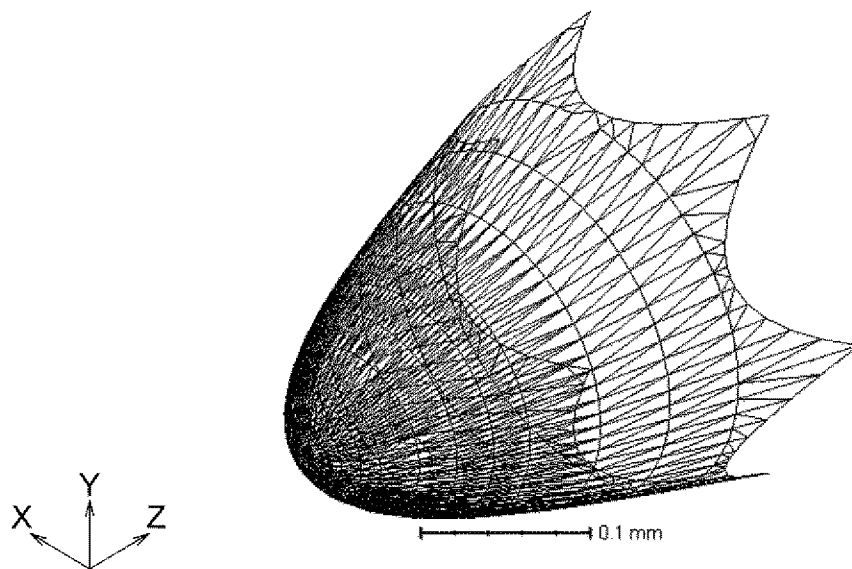
[図35]



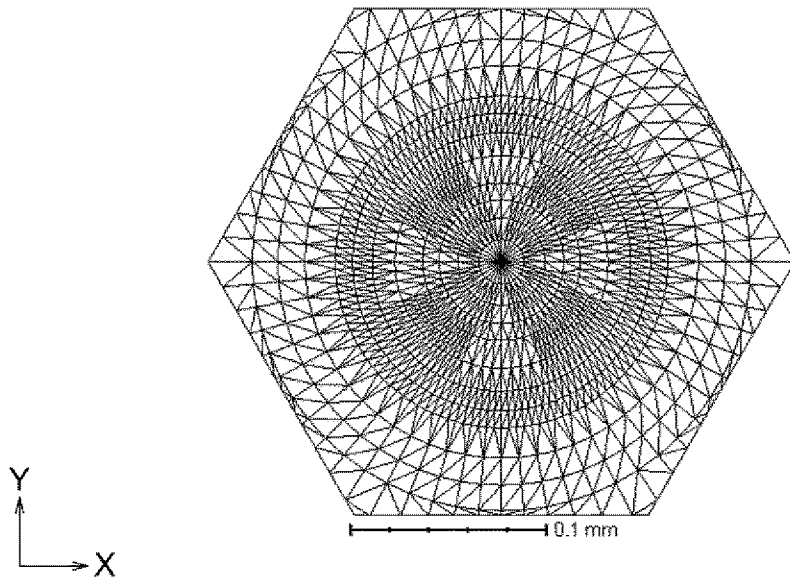
[図36]



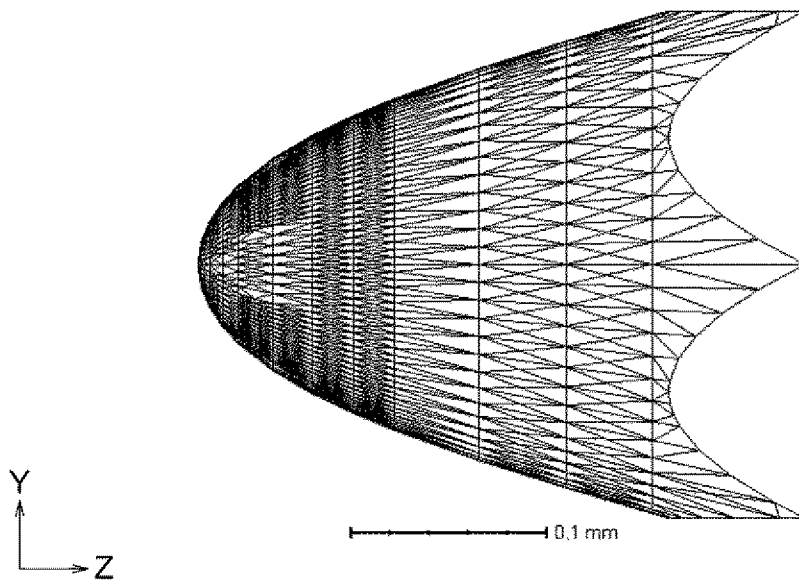
[図37]



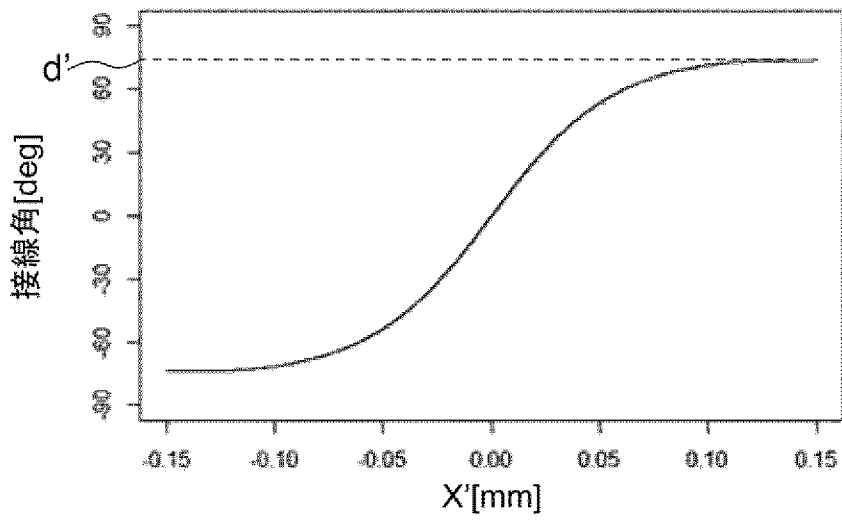
[图38]



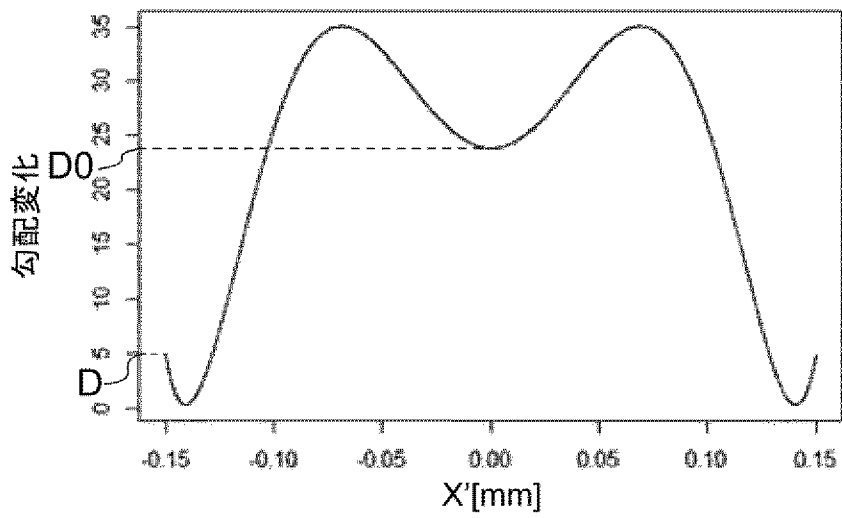
[图39]



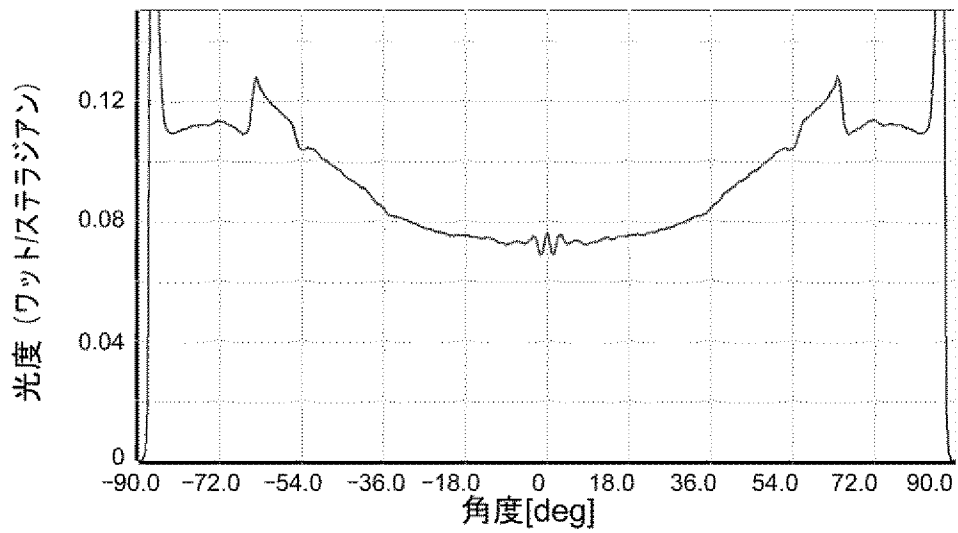
[図40]



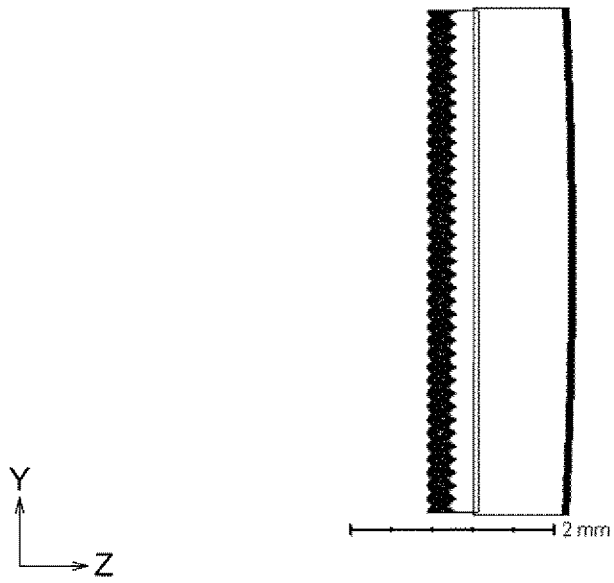
[図41]



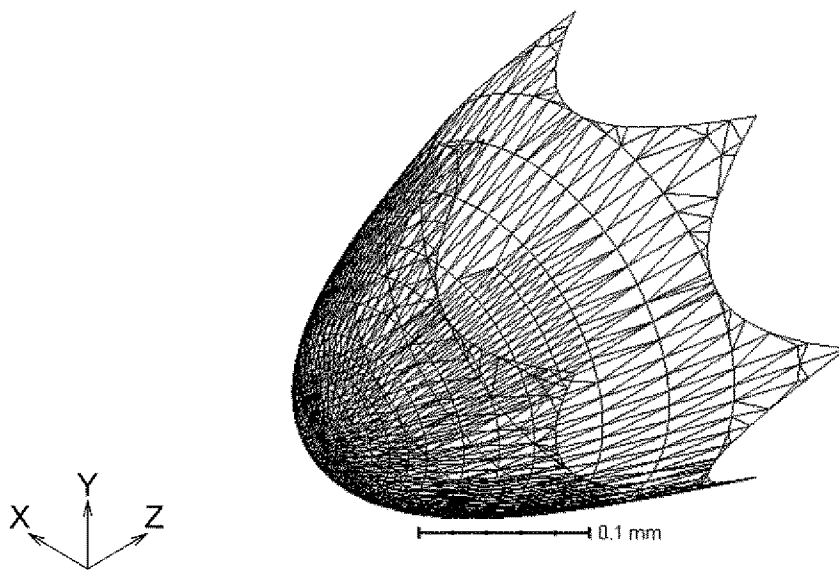
[図42]



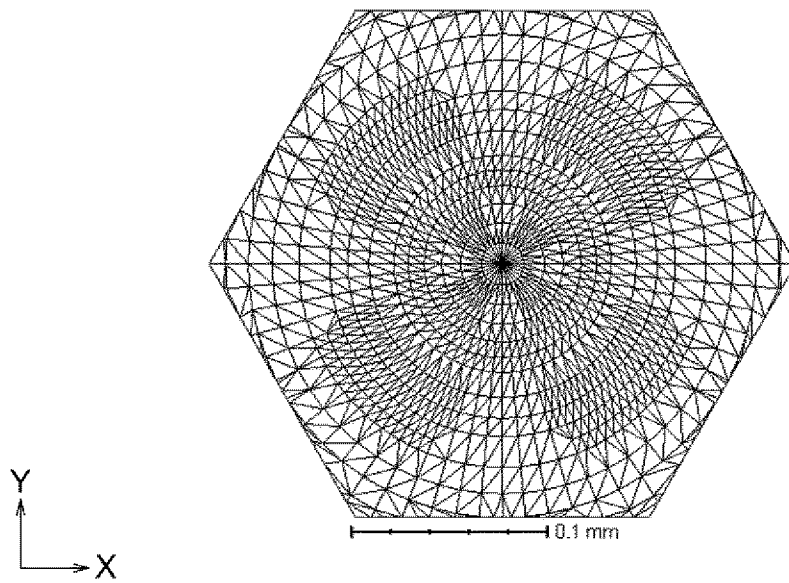
[图43]



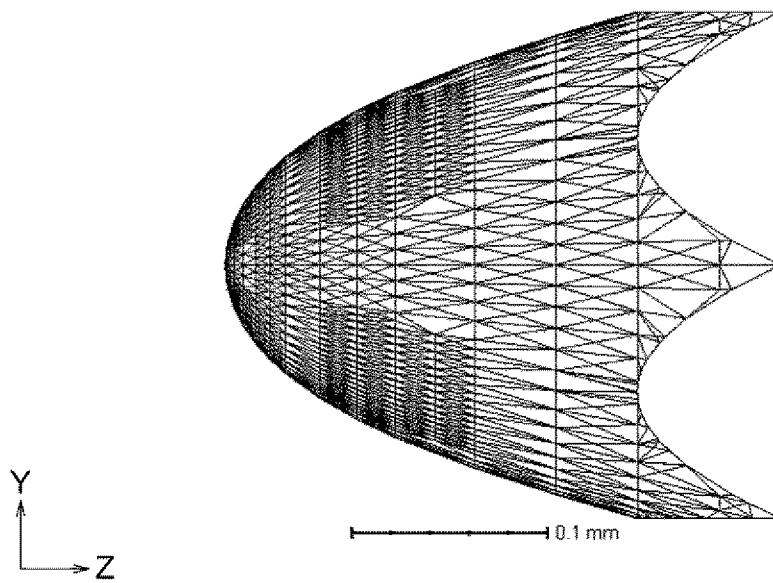
[图44]



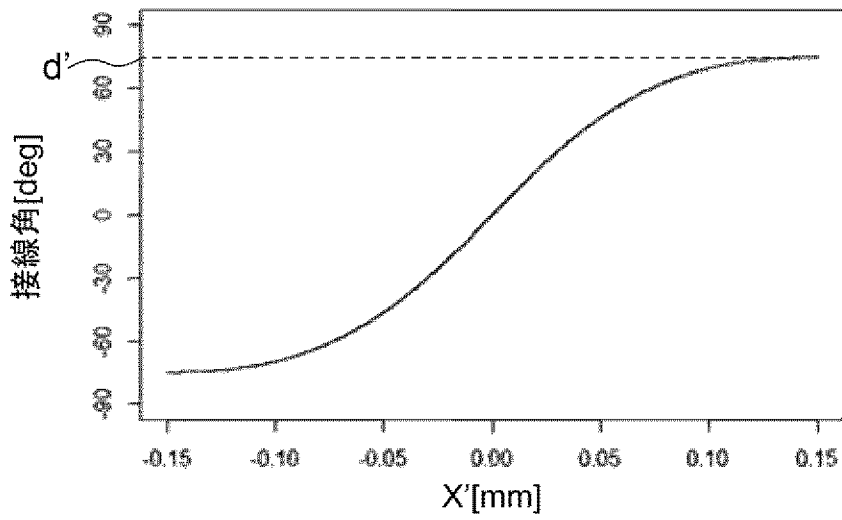
[図45]



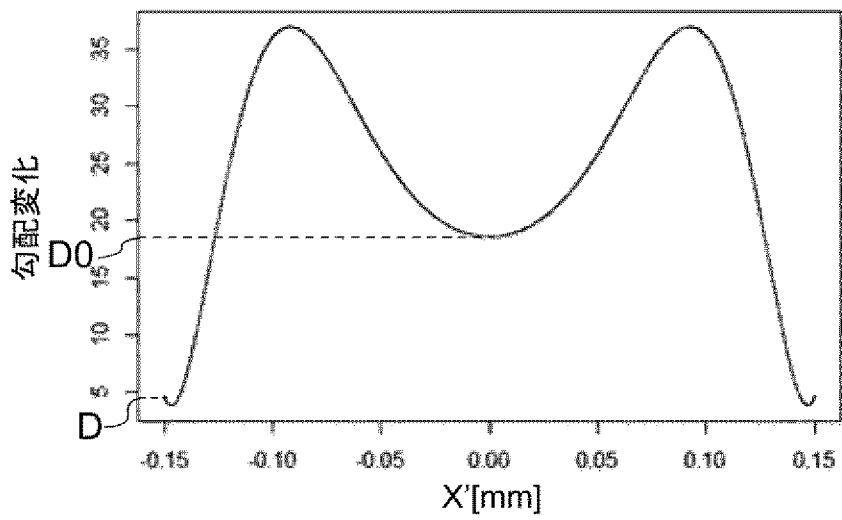
[図46]



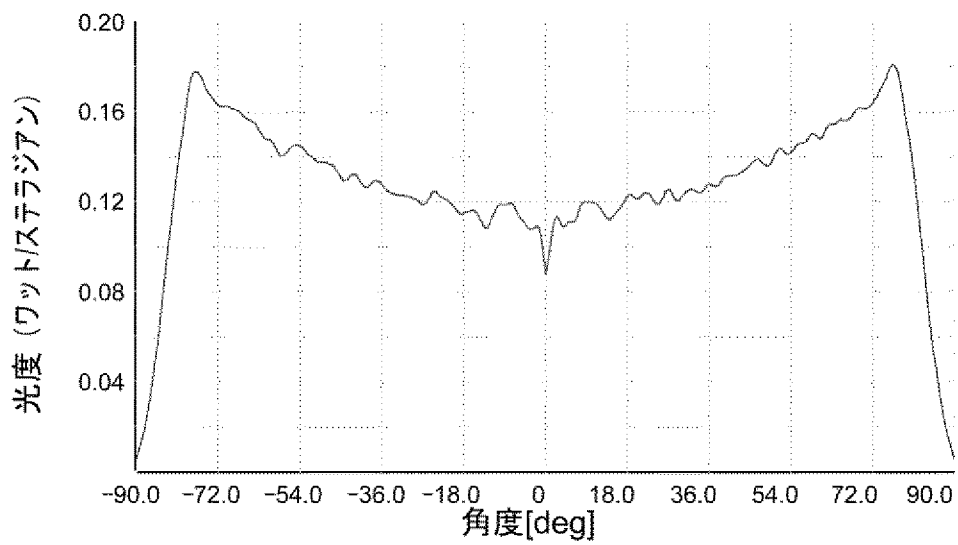
[図47]



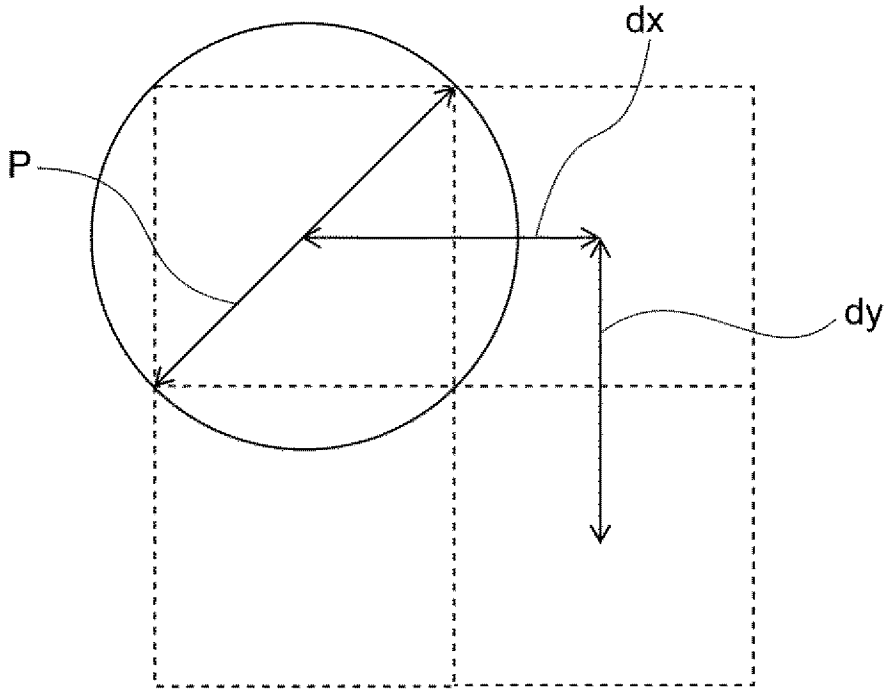
[図48]



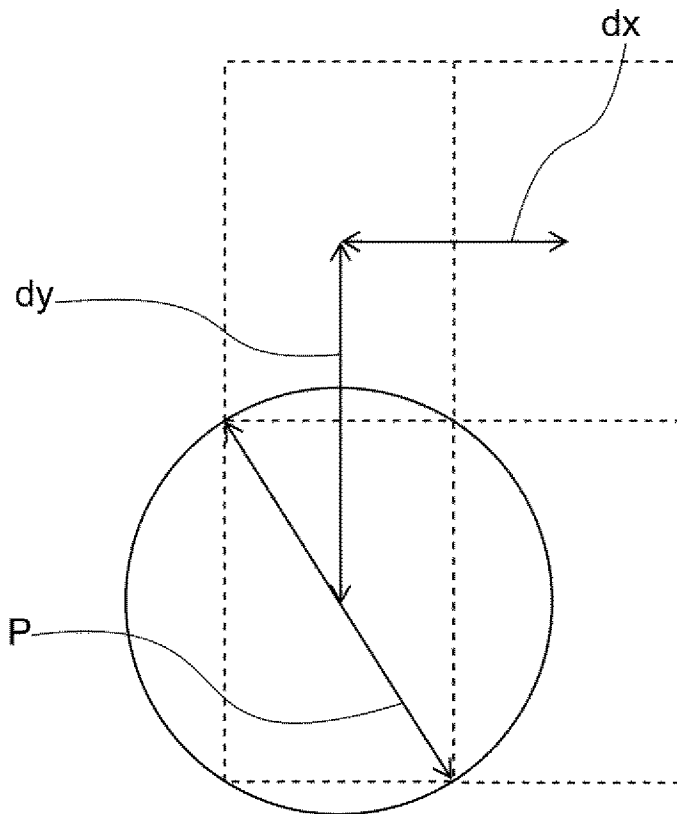
[図49]



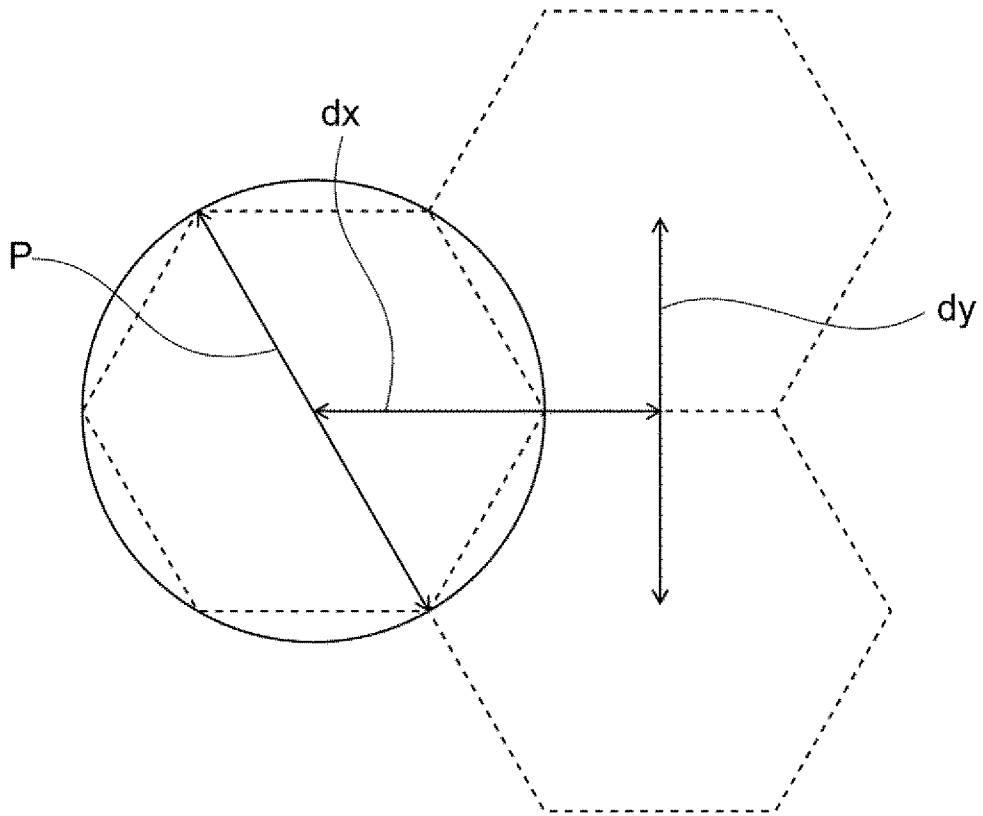
[図50]



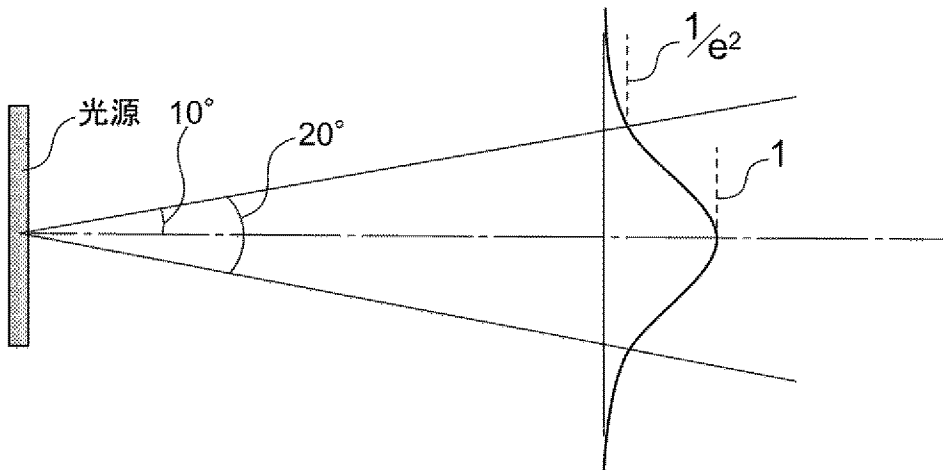
[図51]



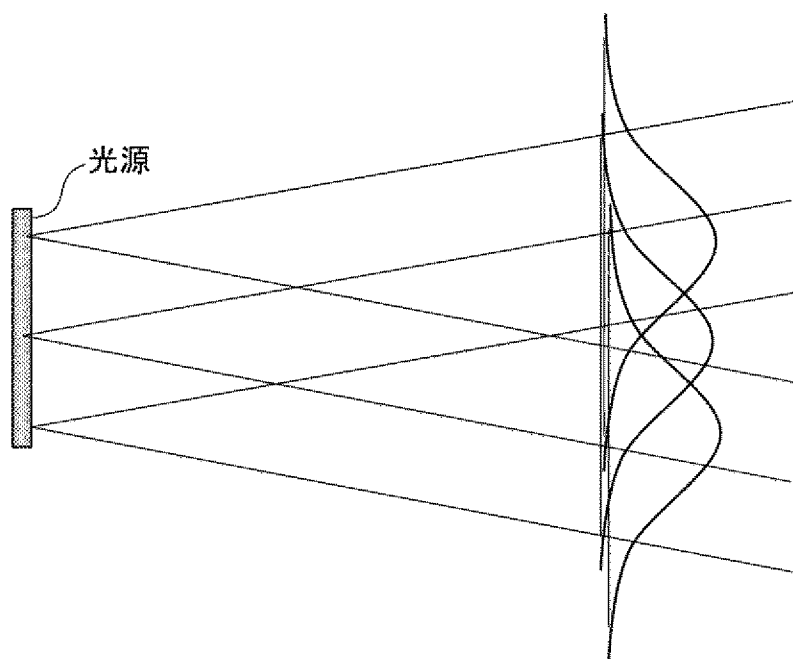
[図52]



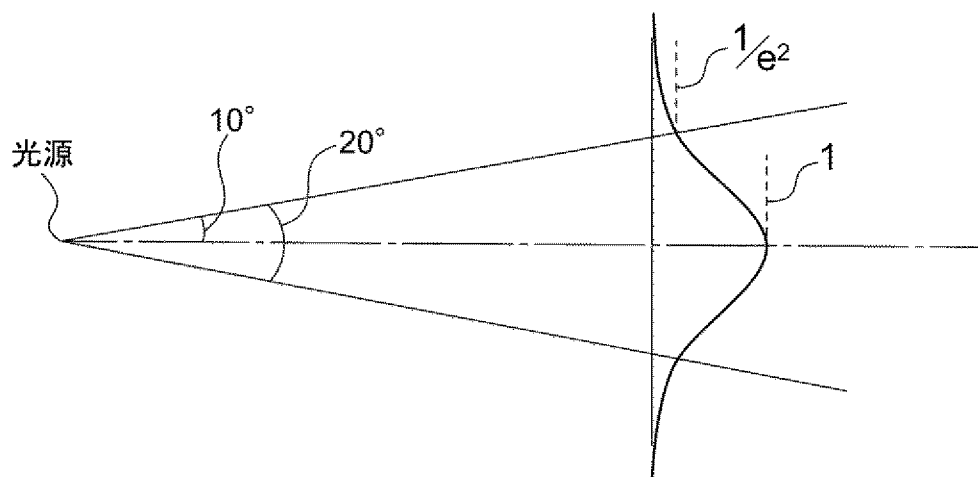
[図53]



[图54]



[图55]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/040016

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G02B 5/02</i> (2006.01)i; <i>G02B 3/00</i> (2006.01)i FI: G02B5/02 C; G02B3/00 A		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B5/02; G02B3/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2018/146889 A1 (OMRON CORP.) 16 August 2018 (2018-08-16) paragraphs [0001], [0009]-[0016], [0038]-[0047], [0088], fig. 3-10	1, 3-7, 10, 11, 12
Y	paragraphs [0001], [0009]-[0016], [0038]-[0047], [0088], fig. 3-10	1-12
X	JP 2016-510130 A (SUH, Dong Pil, YANAGAWA, Yukihiro) 04 April 2016 (2016-04-04) claim 1, paragraphs [0001], [0015], [0020]-[0052], fig. 1-12	1, 4-7, 10, 12
Y	claim 1, paragraphs [0001], [0015], [0020]-[0052], fig. 1-12	1-12
Y	WO 2016/163125 A1 (KURARAY KK) 13 October 2016 (2016-10-13) paragraphs [0001], [0047], fig. 3, 5	2-9, 12
Y	JP 2002-523861 A (PHYSICAL OPTICS CORP.) 30 July 2002 (2002-07-30) fig. 4, 5	9, 12
A	US 2017/0123218 A1 (HEXAGON TECHNOLOGY) 04 May 2017 (2017-05-04) paragraph [0032]	1-12
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 27 December 2021		Date of mailing of the international search report 11 January 2022
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/040016

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2018/146889	A1	16 August 2018	US 2020/0018827 A1 paragraphs [0001], [0014]- [0031], [0090]-[0106], [0191], fig. 3-10	
				EP 3581844 A1	
				CN 109996991 A	
				KR 10-2019-0077032 A	
JP	2016-510130	A	04 April 2016	US 2015/0377450 A1 claim 1, paragraphs [0001], [0015]-[0023], [0028]-[0064], fig. 1-12	
				KR 10-1323510 B1	
WO	2016/163125	A1	13 October 2016	US 2018/0113240 A1 paragraphs [0001], [0080], fig. 3, 5	
				EP 3282293 A1	
				CN 107430220 A	
				KR 10-2017-0129926 A	
				TW 201643474 A	
JP	2002-523861	A	30 July 2002	US 6352359 B1 fig. 4, 5	
				EP 1107881 A1	
				CA 2341388 A	
				TW 587669 U	
				CN 1320088 A	
				KR 10-0612519 B1	
US	2017/0123218	A1	04 May 2017	EP 3165873 A1	
				CN 107044847 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 5/02(2006.01)i; G02B 3/00(2006.01)i FI: G02B5/02 C; G02B3/00 A		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02B5/02; G02B3/00 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2018/146889 A1 (オムロン株式会社) 16.08.2018 (2018-08-16) 段落[0001], [0009]-[0016], [0038]-[0047], [0088], 図3-図10	1, 3-7, 10, 11, 12
Y	段落[0001], [0009]-[0016], [0038]-[0047], [0088], 図3-図10	1-12
X	JP 2016-510130 A (ス、ドング ピル, 柳川幸広) 04.04.2016 (2016-04-04) 請求項1, 段落[0001], [0015], [0020]-[0052], 図1-図12	1, 4-7, 10, 12
Y	請求項1, 段落[0001], [0015], [0020]-[0052], 図1-図12	1-12
Y	WO 2016/163125 A1 (株式会社クラレ) 13.10.2016 (2016-10-13) 段落[0001], [0047], 図3, 図5	2-9, 12
Y	JP 2002-523861 A (フィジカル オプティクス コーポレーション) 30.07.2002 (2002-07-30) 図4, 図5	9, 12
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 27.12.2021	国際調査報告の発送日 11.01.2022	
名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 池田 博一 20 3491 電話番号 03-3581-1101 内線 3271	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/040016

引用文献			公表日	パテントファミリー文献		公表日
WO	2018/146889	A1	16.08.2018	US	2020/0018827 A1	
					段落[0001], [0014]-[0031], [0090]-[0106], [0191], 図3-図10	
				EP	3581844 A1	
				CN	109996991 A	
				KR	10-2019-0077032 A	
JP	2016-510130	A	04.04.2016	US	2015/0377450 A1	
					請求項1, 段落[0001], [0015]-[0023], [0028]-[0064], 図1-図12	
				KR	10-1323510 B1	
WO	2016/163125	A1	13.10.2016	US	2018/0113240 A1	
					段落[0001], [0080], 図3, 図5	
				EP	3282293 A1	
				CN	107430220 A	
				KR	10-2017-0129926 A	
				TW	201643474 A	
JP	2002-523861	A	30.07.2002	US	6352359 B1	
					図4, 図5	
				EP	1107881 A1	
				CA	2341388 A	
				TW	587669 U	
				CN	1320088 A	
				KR	10-0612519 B1	
US	2017/0123218	A1	04.05.2017	EP	3165873 A1	
				CN	107044847 A	