

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-218115

(P2016-218115A)

(43) 公開日 平成28年12月22日(2016.12.22)

(51) Int.Cl.

**G02B 13/00** (2006.01)  
**G02B 3/00** (2006.01)  
**H01L 27/14** (2006.01)  
**H04N 5/369** (2011.01)

F 1

G02B 13/00  
G02B 3/00  
H01L 27/14  
H04N 5/335

テーマコード(参考)

2 H 08 7  
4 M 11 8  
5 C 02 4  
6 9 0

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号

特願2015-99512(P2015-99512)

(22) 出願日

平成27年5月14日(2015.5.14)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100076428

弁理士 大塚 康徳

(74) 代理人 100112508

弁理士 高柳 司郎

(74) 代理人 100115071

弁理士 大塚 康弘

(74) 代理人 100116894

弁理士 木村 秀二

(74) 代理人 100130409

弁理士 下山 治

(74) 代理人 100134175

弁理士 永川 行光

最終頁に続く

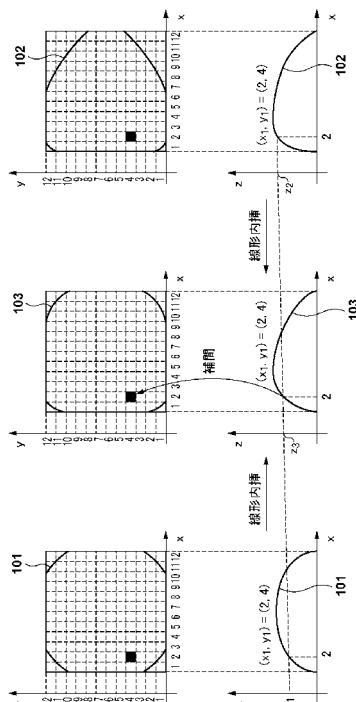
(54) 【発明の名称】光学素子の設計方法、光学素子アレイ、センサアレイおよび撮像装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】センサアレイ上の位置に応じた形状の光学素子の設計に要する負担の軽減を図った、集光のための光学素子の設計方法を提供する。

【解決手段】形状についての情報が既知であって画素アレイの中心に近い位置に配置される第1の光学素子101と、形状についての情報が既知であって第1の光学素子101より周辺側に配置される第2の光学素子102とをそれぞれ選択する工程と、第1の光学素子101の形状についての情報と第2の光学素子102の形状についての情報とを使って、第1の光学素子101と第2の光学素子102と異なる位置に配置された第3の光学素子103の形状についての情報を決定する工程とを含む。

【選択図】図3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

画素アレイを構成するように行列状に配置された複数の画素のそれぞれに対応して配置される集光のための光学素子の設計方法であって、

形状についての情報が既知であって前記画素アレイの中心に近い位置に配置される第1の光学素子と、形状についての情報が既知であって前記第1の光学素子より周辺側に配置される第2の光学素子とをそれぞれ選択する工程と、

前記第1の光学素子の形状についての情報と前記第2の光学素子の形状についての情報とを使って、前記第1の光学素子と前記第2の光学素子と異なる位置に配置された第3の光学素子の形状についての情報を決定する工程と、を含むことを特徴とする設計方法。 10

**【請求項 2】**

前記第2の光学素子は、前記画素アレイの中心から前記第2の光学素子を通る仮想的な直線に対して直交する方向における前記第2の光学素子の底面の幅が、前記第2の光学素子が配置されている画素の中心に対して前記画素アレイの中心に近い側において最も広いことを特徴とする特徴とする請求項1に記載の設計方法。

**【請求項 3】**

前記第2の光学素子は、底面からの高さが前記第2の光学素子が配置されている画素の中心に対して前記中心に近い側において最も高いことを特徴とする請求項1または2に記載の設計方法。 20

**【請求項 4】**

前記第3の光学素子の形状についての情報を決定する工程は、前記第3の光学素子の底面からの高さを、前記第1の光学素子と前記第2の光学素子とのそれぞれの底面からの高さに基づいて決定することを含むことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の設計方法。 30

**【請求項 5】**

前記第3の光学素子の形状についての情報を決定する工程は、前記第3の光学素子の底面からの高さを、前記第1の光学素子と前記第2の光学素子とのそれぞれの底面からの高さにより決まる直線に基づいて決定することを含むことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の設計方法。

**【請求項 6】**

前記底面からの高さは、仮想的に前記画素に格子状に配置される複数の領域のそれぞれにおける高さであることを特徴とする請求項3乃至5のいずれか1項に記載の設計方法。 30

**【請求項 7】**

前記領域の数は1000乃至10000とする工程を特徴とする請求項6に記載の設計方法。

**【請求項 8】**

前記第3の光学素子の形状についての情報を決定する工程は、仮に決定された前記第3の光学素子の底面からの最も高い高さを、前記第1の光学素子の底面からの高さと前記第2の光学素子の底面からの高さとのうちの最も高い高さと同じ高さになるように補正することを含むことを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の設計方法。 40

**【請求項 9】**

前記第3の光学素子の形状についての情報を決定する工程は、仮に決定された前記第3の光学素子の底面からの高さが、前記第3の光学素子の底面からの最も高い高さに所定の数を乗じた高さより低い部分の高さは0にされることを含むことを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の設計方法。

**【請求項 10】**

前記第3の光学素子の形状についての情報を決定する工程は、前記第1の光学素子の底面積、前記第2の光学素子の底面積及び仮に決定された前記第3の光学素子の底面積の値を求め、前記第1の光学素子の底面積、前記第2の光学素子の底面積及び前記第3の光学素子の底面積の値の関係が、前記第1の光学素子と前記第3の光学素子との間の距離及び 50

前記第1の光学素子と前記第3の光学素子との間の距離に基づく線形の関係になるように、前記仮に決定された前記第3の光学素子の底面積の値を補正することを含むことを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の設計方法。

#### 【請求項11】

前記第3の光学素子の形状についての情報を決定する工程は、前記第1の光学素子の底面積、前記第2の光学素子の底面積及び仮に決定された前記第3の光学素子の底面積の値を求める、前記第3の光学素子の底面積の値を、前記第1の光学素子および前記第2の光学素子の底面積と等しくなるように補正することを含むことを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の設計方法。

#### 【請求項12】

前記第1の光学素子または前記第2の光学素子の形状についての情報と前記第3の光学素子の形状についての情報とから他の光学素子の形状についての情報を決定する工程をさらに含むことを特徴とする請求項1乃至11のいずれか1項に記載の設計方法。

#### 【請求項13】

行列状に配置された複数の画素に対応して配置された集光のための光学素子アレイであって、

前記複数の画素の中心に配置された第1の画素と、前記複数の画素の周辺に配置された第2の画素と、前記第1の画素と前記第2の画素との間に配置された第3の画素とを含み、

前記第1の光学素子の底面からの高さと前記第2の光学素子の底面からの高さと前記第3の光学素子の底面からの高さとが、前記第1の光学素子と前記第2の光学素子との間の距離及び前記第1の光学素子と前記第3の光学素子との間の距離に基づいた線形の関係になっていることを特徴とする、光学素子アレイ。

#### 【請求項14】

請求項13に記載の光学素子アレイと、前記光学素子アレイの光学素子それぞれに対応して設けられた画素と、を含むことを特徴とするセンサアレイ。

#### 【請求項15】

請求項14項に記載のセンサアレイと、前記センサアレイからの信号を処理する画像信号処理部とを備えたことを特徴とする撮像装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、撮像装置に用いられる光学素子の設計方法と、該設計方法により設計された光学素子を含む光学素子アレイ、該光学素子アレイを含むセンサアレイおよび該センサアレイを備える撮像装置に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

センサアレイには、複数の画素が行列状に配置され、各光電変換素子の上側に集光のための光学素子としてマイクロレンズが設けられるものがある。このような撮像装置において、撮像レンズを通過して各光電変換素子に入射する光の入射角は、センサアレイ上の位置によって異なる。このため、センサアレイ上の位置に応じて、光電変換素子に対応して配置されている光学素子の形状を変化させることによって、感度特性を向上させる構成が提案されている（特許文献1参照）。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0003】

#### 【特許文献1】特開2006-49721号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0004】

10

20

30

40

50

しかしながら、多数あるすべての光学素子、例えばマイクロレンズについて、位置に応じた形状を設計することは、現実には困難である。上記実情に鑑み、本発明が解決しようとする課題は、撮像装置のセンサアレイ上の位置に応じた形状の光学素子の設計に要する負担の軽減を図ることである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題を解決するため、本発明の設計方法は、画素アレイを構成するように行列状に配置された複数の画素のそれぞれに対応して配置される集光のための光学素子の設計方法であって、形状についての情報が既知であって前記画素アレイの中心に近い位置に配置される第1の光学素子と、形状についての情報が既知であって前記第1の光学素子より周辺側に配置される第2の光学素子とをそれぞれ選択する工程と、前記第1の光学素子の形状についての情報と前記第2の光学素子の形状についての情報とを使って、前記第1の光学素子と前記第2の光学素子と異なる位置に配置された第3の光学素子の形状についての情報を決定する工程とを含むことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、センサアレイ上の位置に応じた形状の光学素子の設計に要する負担の軽減を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

20

【図1】実施形態に係る光学素子の設計方法の概要を説明する模式図である。

【図2】実施形態1に係る光学素子の設計方法の手順を示すフローチャートである。

【図3】実施形態1に係る光学素子の設計方法を説明する模式図である。

【図4】実施形態1に係る光学素子の設計方法を説明する模式図である。

【図5】実施形態1に係る光学素子の設計方法を説明する模式図である。

【図6】実施形態1に係る光学素子の設計方法を説明する模式図である。

【図7】実施形態1に係る光学素子の設計方法により設計された光学素子の形状を示す模式図である。

【図8】実施形態2に係る光学素子の設計方法を説明する模式図である。

【図9】実施形態2に係る光学素子の設計方法を説明する模式図である。

30

【図10】実施形態2に係る光学素子の設計方法の手順を示すフローチャートである。

【図11】実施形態2に係る光学素子の設計方法の効果を示す図である。

【図12】実施形態3に係る光学素子の設計方法を説明する模式図である。

【図13】実施形態3に係る光学素子の設計方法による効果を示す図である。

【図14】実施形態7に係る光学素子の設計方法を説明するための模式図である。

【図15】本発明の実施形態に係るセンサアレイの構成例を模式的に示す断面図である。

【図16】本発明の実施形態に係る撮像装置の概略図。

【発明を実施するための形態】

【0008】

40

(実施形態1)

図1は、本発明の各実施形態に係る光学素子の設計方法の概要を説明するための模式図である。各実施形態に係る光学素子は、撮像装置のセンサアレイに設けられる。すなわち、撮像装置のセンサアレイには、複数の光電変換素子を含む画素が行列状に配置され画素アレイを構成する。さらに複数の光電変換素子に重ねて複数の光学素子(マイクロレンズ)が形成される。図1(a)は、画素が配された撮像装置のセンサアレイ100の上面図である。本実施形態では、センサアレイ100の中心から外周部の側に伸びる仮想直線104の上に、第1の光学素子101と第2の光学素子102があるものとする。第1の光学素子101は、センサアレイ100の中心に近い側に位置する。第2の光学素子102は、第1の光学素子101よりも周辺側に位置するものとする。また、第1の光学素子101と第2の光学素子102の形状は異なるものとする。

50

## 【0009】

一般に、センサアレイ100内の位置によって、撮影レンズを通過してセンサ面に到達する光線の入射角度は異なる。このため、センサアレイ100内の位置に応じて光学素子の形状を変化させることで、集光性能を向上させ、感度特性を良くできる。以下、この点について説明する。図1(b)と図1(c)は、例として、仮想直線104上の2つの光学素子101, 102のそれぞれの、底面形状と高さ方向の断面形状を模式的に示す図である。図1(b)に示すように、センサアレイ100の中心に近い側に位置する第1の光学素子101は、対称形状の底面を有する球面マイクロレンズである。すなわち、第1の光学素子101は、センサアレイのセンサが配されているセンサ面に対して垂直に近い角度で入射する光に対して適した形状に形成される。一方、図1(c)に示すように、センサアレイ100の周辺側に位置する第2の光学素子102は、最も高い位置がセンサアレイ100の中心側に偏心しているプリズムのような非対称形状のマイクロレンズである。このため、第2の光学素子102は、対称形状に形成される第1の光学素子101に比べ、センサ面に対して斜めに入射した光をより垂直方向に屈折させることができる。したがって、第2の光学素子102は、斜め方向に入射する光を効率良く受光面に導くことができる。このように、第1の光学素子101と第2の光学素子102は、形状が異なる。

10

## 【0010】

このような構成において、センサアレイ100内で感度ムラが生じないようにするためにには、光学素子の形状を、センサアレイ100の中心部から周辺側に向けて連続的に変化させることが望ましい。しかし、数十万から数千万個ある全ての画素についての形状の設計を行うことは現実には困難である。そこで、本実施形態では、第1の光学素子101内の位置とその位置での高さに関する形状についての情報が既知であり、同様に第2の光学素子102の形状についての情報も既知であるとしている。そしてこれらの形状についての情報を元にして、光学素子101と102との間に配置される第3の光学素子103の形状についての情報を求めている。これにより、センサアレイ100内のあらゆる位置の画素について、形状が連続的に変化する光学素子を作成でき、かつ、設計に要する時間を大幅に短縮できる。なお、仮想直線104は、センサアレイ100の中心に近い側から外側(周辺側)に伸びる直線であればよく、いずれの方向であってもよい。また、センサアレイ100の中心側に位置する第1の光学素子101に対称形状の光学素子を用い、周辺に位置する第2の光学素子102に非対称形状の光学素子を用いて例示したが、本発明はこの構成に限定されない。たとえば、第1の光学素子101は非対称の形状であってもよい。また、第2の光学素子102は対称の形状であってもよい。さらに、第1の光学素子101と第2の光学素子102の両方が対称または非対称であってもよく、いずれか一方が対称でありもう一方が非対称であってもよい。

20

30

## 【0011】

また、図1(a)には光学素子101、102及び103が仮想直線104上にきちんと配置されている例を示している。しかし、画素の配置の仕方や第1の光学素子と第2の光学素子との選び方によっては光学素子103が仮想直線104から外れることがある。このような場合でも光学素子101と光学素子102との形状についての情報に基づいて光学素子103の形状についての情報を決定してもよい。例えば、第1と第2の光学素子を通る仮想直線104に対して第3の光学素子から鉛直方向で交差する座標位置に基づいて形状についての情報を求めることができる。この場合、鉛直方向で交差する座標位置と第3の光学素子の座標位置の間の距離は、画素アレイの短辺の画素数の20%に相当する幅以下であれば集光にそれほど支障はない。また第1、第2及び第3の光学素子を通る関数に基づいて、第3の光学素子の形状についての情報を求めてよい。

40

## 【0012】

以下に、2つの光学素子101, 102の間に位置する第3の光学素子103の形状についての情報を、これら2つの光学素子101, 102の高さを元に線形に内挿して補間することにより決定する方法を説明する。図2は、本発明の第1の実施形態に係る光学素

50

子の設計方法のフローチャートである。ここでは、このフローチャートにしたがって説明する。

【0013】

ステップS101では、補間の元になる第1の光学素子101と第2の光学素子102を決定する。例えば、第1の光学素子101としては、仮想直線104上においてセンサアレイ100の中心に近い側に配置する光学素子を選択する。第2の光学素子102としては、仮想直線104上において、第1の光学素子101よりも周辺側に配置される光学素子を選択する。先に述べたように第1の光学素子と第2の光学素子との形状についての情報は既知である。

【0014】

ステップS102では、補間を開始するスタート位置を決定し、順番に一つの画素内の複数の位置に基づいて補間を行う。例えば、図6に示すように1つの画素を  $I \times J$  のマトリクス状に分割し、分割された矩形の領域ごとに、光学素子101と光学素子102との形状についての情報を用いて光学素子103の形状についての情報を求める処理を行う。各領域の中心座標を座標  $(x_i, y_j)$  とする。 $i = 1 \sim I$  ( $I$  はX軸方向の分割数)、 $j = 1 \sim J$  ( $J$  はY軸方向の分割数)である。図6の例では画素を縦横12行12列に区切り、区切られた各領域での光学素子101、102の底面からの高さを元に補間処理を画素内で順番に行なうこと示している。高さは、各領域の中心あるいは領域内の平均値を使うことができる。

【0015】

ステップS103では、補間処理により設計する第3の光学素子103の仮想直線104上の位置  $x$  を決定する。ステップS104において、2つの光学素子101、102のそれぞれの画素内の座標  $(x_i, y_j)$  における高さを形状についての情報から求め、仮想的に繋ぐ直線の式を求める。ステップS105において、第3の光学素子103の座標  $(x_i, y_j)$  における高さを、ステップS104において決定した式を用いて算出する。

【0016】

図3は、本実施形態に係る光学素子の作成方法の第1の実施例を説明するための模式図である。図4は、2つの光学素子101、102の画素内の座標  $(x_1, y_1)$  での高さを線形に補間し、第3の光学素子103の座標  $(x_1, y_1)$  での高さを決める方法を示す模式図である。図3に示す例では、第3の光学素子103を設計する際には、2つの光学素子101、102の画素内での同じ座標位置における高さを直線で線形補間する。図3は光学素子101の座標  $(2, 4)$  における底面からの高さ  $z_1$  と光学素子102の座標  $(2, 4)$  における高さ  $z_2$  から光学素子103の座標  $(2, 4)$  における高さ  $z_3$  を求める例を示している。ここでは、2つの光学素子101、102の最大高さが同じである場合を示す。図4に示すように、2つの光学素子101、102のセンサアレイ100の面内における位置と高さを、それぞれ  $(x_1, z_1)$  と  $(x_2, z_2)$  とする。そうすると、第3の光学素子103のセンサアレイ100での座標  $(x_i, y_j)$  における高さ  $z_3$  は、次の(式1)を用いて決定できる。

【0017】

(式1)

$$z_3 = (z_1 - z_2) \cdot x / (x_1 - x_2) + (z_2 \cdot x_1 - z_1 \cdot x_2) / (x_1 - x_2)$$

このように、ステップS104で補間のための(式1)を決定し、ステップS105で、この(式1)を用いて第3の光学素子103の座標  $(x_i, y_j)$  における高さを決定する。

【0018】

ステップS106において、全ての座標  $(x_i, y_j)$  について、ステップS104とS105の処理を実行したか否かを判定する。処理を行っていない位置が存在する場合には、ステップS104に戻る。そして、処理を行っていない位置について、ステップS1

10

20

30

40

50

04とS105の処理を実行する。図5は、図3とは異なる位置(6、5)の第1の光学素子101と第2の光学素子102に基づいて光学素子103を補間処理により決定した例を示す模式図である。

#### 【0019】

図6は、第3の光学素子103についての形状についての情報を求める順序を示す一例であり、処理を行う順序はこれに限定されるものではない。そして、全ての位置について処理を行った場合には、第3の光学素子103の設計を終了する。

#### 【0020】

第3の光学素子103の全ての座標( $x_i, y_j$ )( $i = 1 \sim I, j = 1 \sim J$ )について形状についての情報を求ることにより、第3の光学素子103の形状が、2つの光学素子101, 102の形状によって一意的に決定される。図7は、このようにして設計された第3の光学素子103と、補間の元になる2つの光学素子101, 102の形状の立体模式図である。図7に示す第3の光学素子103は、2つの光学素子101, 102のちょうど中間点にあるものとして形状を設計した例を示している。

10

#### 【0021】

次に、図5に示すように、補間処理の元となる2つの光学素子101, 102の底面の形状が大きく異なる場合について説明する。この場合には、補間処理により作成された第3の光学素子103の底面の範囲が2つの光学素子101, 102に比べて広がり、画素の外縁に当たる部分において高さが低い部分が形成されることがある。この場合には、光学素子の外縁部の高さがゼロとなるように形状を補正してもよい。例えば、補間処理によりいったん仮に決定した光学素子103の形状の高さが所定の閾値より低い部分は高さが0になるように調整する。この場合の閾値は、第3の光学素子103の最も高い部分に対して、0.1~10%程度の高さに設定するとよい。

20

#### 【0022】

本実施形態では、センサアレイ100の中央部側に位置する第1の光学素子101に対称形状の光学素子を用い、周辺に位置する第2の光学素子102に非対称形状の光学素子を用いたが、本発明はこの構成に限定されない。たとえば、第1の光学素子101は非対称の形状であってもよい。また、第2の光学素子102は対称の形状であってもよい。すなわち、2つの光学素子101, 102の両方が対称形状または非対称形状であってもよく、いずれか一方が対称形状でもう一方が非対称形状であってもよい。このような構成であっても、同様の補間処理により、第3の光学素子103を設計できる。2つの光学素子101および102は、画素に配置されたときに対応する画素に対して集光できるような形状のものを選択する。

30

#### 【0023】

また、本実施形態では、第1の光学素子と第2の光学素子との間にある第3の光学素子の形状を内挿により補間して求める例を示した。このような内挿による補間の他に、第1の光学素子と第2の光学素子との間の外であって仮想直線上にある第3の光学素子の形状を外挿により設計してもよい。この場合も底面からの高さを使って第3の光学素子の形状を決定することができる。式1は内挿法と同様に外挿法でも成立するので、式1に基づいて第1の光学素子と第2の光学素子との間の外であって仮想直線上の第3の光学素子の形状を決めることができる。この場合は例えば図1に示す光学素子101と光学素子103に形状についての情報が既知の光学素子を選択し、それらの形状についての情報に基づいて光学素子102の形状についての情報を得ることができる。内挿による補間では形状についての情報が不足し、全ての画素についての形状についての情報を得ることができない場合、光学素子の形状についての情報を外挿により求めてよい。第3の光学素子が仮想直線から外れる場合も、内挿による場合と同様に所定の範囲内の第3の光学素子の形状を決定することができる。

40

#### 【0024】

また、本実施形態では、2つの光学素子101, 102の最大高さが同じものとしたが、本発明はこの構成に限定されない。各光学素子の最大高さを異なる値にすることよって

50

も、感度むらを抑制できる場合がある。このため、補間の元になる2つの光学素子101, 102の最大高さは異なっていてもよい。

【0025】

また、本実施形態では、一つの画素内を受光面内で格子状に分割する数として144( $12 \times 12$ )分割を示したが、この分割数は説明のための例示的なものである。実際には、たとえば、格子状に100乃至100000に分割する程度がよく、1000乃至10000程度にするとよい。本実施形態では内挿、外挿の処理に一次関数を用いる構成を示したが、関数は一次関数に限定されない。たとえば、高次関数や三角関数を用いた数式で処理を行ってもよい。特に、入射光特性から考えると、cos(余弦関数)やcosを含む関数を用いるのがより好ましい。また、第3の光学素子が所定の性能を発揮しない場合には、処理に用いる数式を変更してもよいし、最初に選択された第1および第2の光学素子を他の形状のものに変更してもよい。

10

【0026】

このような補間を使ってセンサアレイの全ての光学素子の形状を設計するには、例えば、まず形状についての情報が既知の第1の光学素子101と第2の光学素子102を使って第3の光学素子を設計する。その後に別の仮想直線上に既知の2つの光学素子を選択して配置し、それを第1の光学素子および第2の光学素子として扱い第3の光学素子を設計する。この処理を次々と行うことによりセンサアレイ上の全ての光学素子を設計することができる。あるいは例えば、最初に形状についての情報が既知の第1の光学素子と第2の光学素子とに基づいた式1を求め、その後、センサアレイの中心から周辺に向かう放射状の仮想直線上を通る位置にある光学素子を、式1を使って設計してもよい。その場合、中心からある画素までの距離を変数として式1を使うことにより、その画素に対応した光学素子を設計することができる。例えば、第1の光学素子が座標の原点に配置されるものとして計算すればよい。

20

【0027】

また、全ての光学素子を設計するためには内挿による補間処理の他、外挿による補間処理や後述する傾きを使った補間処理、センサアレイに配置された画素の配置の対称性や画素間の距離などの性質を補間処理に利用する。このようにして少ない数の既知の光学素子を使ってセンサアレイに配置される光学素子アレイに含まれる光学素子の形状を求めることが可能である。以下、他の第3の光学素子の形状についての情報を求める処理について説明する。

30

【0028】

(実施形態2)

次に、本発明の第2の実施形態について、図8～図11を参照して説明する。本実施形態はいったん仮に決定した第3の光学素子の形状についての情報を補正する例を示す。図8は、2つの光学素子101, 102の高さを線形に補間して第3の光学素子103の高さを求める方法を示す模式図であり、図3に対応する図である。図9は、第3の光学素子103の高さを補正する手順を示した模式図である。なお、図9(a)は補正前の第3の光学素子103を2つの光学素子101, 102に重ねて示す図である。図9(b)は、補正後の第3の光学素子103を、2つの光学素子101, 102に重ねて示す図である。図10は、第2の実施形態の設計方法のフローを示す模式図である。図11は高さの補正を施さない場合と施した場合の該当画素の感度をシミュレーションにより比較した結果を示すグラフである。

40

【0029】

本実施形態では、まず、実施形態1と同様に、2つの光学素子101, 102の高さを線形に補間して、それらの中間に位置する第3の光学素子103の高さを決定する。そして、本実施形態では、決定した第3の光学素子103の最大高さが、2つの光学素子101, 102の最大高さと等しくなるように補正をする。

【0030】

実施形態1では、2つの光学素子101, 102の高さを線形に補間して、第3の光学

50

素子 103 の形状を決定している。この場合、2つの光学素子 101, 102 の最も高い部分の座標が異なる場合には、図 9 に示すように、第 3 の光学素子 103 の最大高さ  $z_3$  が、2つの光学素子 101, 102 の最大高さ  $z_1, z_2$  よりも低くなることがある。そうすると、斜めに入射する光に対する集光性能が低下することがある。そこで、本実施形態では、第 3 の光学素子 103 の高さを、2つの光学素子 101, 102 の最大高さと同じになるように、画素内の各位置における高さを比例倍して補正を施す。すなわち、設計した第 3 の光学素子 103 の最大高さが、2つの光学素子 101, 102 の最大高さの  $1/N$  倍の高さである場合には、第 3 の光学素子 103 の各位置における高さを  $N$  倍する補正を行う。これにより、センサアレイ 100 の面内で第 3 の光学素子 103 の高さの不足に起因する感度の低下を抑制する。

10

### 【0031】

ここで、設計のフローについて簡単に説明する。図 10 に示すように、ステップ S201 ~ S206 は、第 1 の実施形態のステップ S101 ~ S106 と同じである。そして、ステップ S206において、全ての位置について補間処理が完了した場合には、ステップ S207 に進む。ステップ S207において、上述のように、第 3 の光学素子 103 の高さを補正する。このような構成によれば、図 11 に示すように、高さの補正を施さない場合に比べて、感度を向上させることができ、センサアレイ 100 の面内での感度むらを防ぐ効果が得られる。もちろん本実施形態を外挿により第 3 の光学素子の形状を求める場合に適用してもよい。

20

### 【0032】

#### (実施形態 3)

次に、実施形態 3 について、図 12 と図 13 を参照して説明する。図 12 は、補間の元となる 2つの光学素子 101, 102 のうち、センサアレイ 100 の周辺側の第 2 の光学素子 102 の構成例を示す上面図と仮想直線 104 方向に切断した断面図である。図 12 に示すように、第 2 の光学素子 102 は、斜入射特性の向上に適するように、たとえばティアドロップ形状などの非対称形状に形成されたものを選択する。たとえば、画素ピッチを  $L$  とすると、第 2 の光学素子 102 の高さは、センサアレイ 100 の中央部側の位置 ( $x_1 < L/2$ ) での高さ ( $h_1$ ) に比べ、センサアレイの周辺側の位置 ( $x_2 > L/2$ ) での高さ ( $h_2$ ) が低い。このように、第 2 の光学素子 102 が、光が入射する側で大きな曲率を持つように非対称形状に形成することにより、仮想直線 104 の方向に斜めに入射した光を垂直方向に屈折させることができる。したがって、このような形状の光学素子を第 2 の光学素子として選択すれば対称形状の光学素子より光を効率よく光電変換素子に導くことができ、感度の向上を図ることができる。

30

### 【0033】

第 2 の光学素子 102 は、仮想直線 104 とこれに直交する第 2 軸とを含む面に底面を有する。そして、第 2 の光学素子 102 の底面の幅寸法（第 2 軸方向の寸法）は、画素の中心に対してセンサアレイ 100 の中心側の第 1 位置 ( $x_1$ ) での寸法 ( $d_1$ ) に比べ、受光領域の周辺側の第 2 位置 ( $x_2$ ) での寸法 ( $d_2$ ) が小さい。あるいは、センサアレイの短辺の対称軸と直交する直線と直交する方向での第 2 の光学素子 102 の底面の幅寸法を測定する。底面の幅寸法は、画素の中心に対してセンサアレイ 100 の中心側の第 1 位置 ( $x_1$ ) での寸法 ( $d_1$ ) に比べ、受光領域の周辺側の第 2 位置 ( $x_2$ ) での寸法 ( $d_2$ ) が小さい。これにより、高さの低くなる仮想直線 104 の周辺側の端部においても、第 2 の光学素子 102 の仮想直線 104 と直角に交わる方向に大きな曲率をつけることが可能となる。底面の幅としては上述のような構成によれば、受光領域の端部で斜めに入射する光線を、一つの画素の略全面において垂直方向に屈折させることができる。したがって、端部へ入射する光に対しても集光性能が向上する。

40

### 【0034】

図 13 は、補間の元となる 2つの光学素子 101, 102 のうち、センサアレイ 100 の周辺側の第 2 の光学素子 102 が前述の図 12 のような形状である場合の光学特性評価結果を示すグラフである。なお、比較の対象として、センサアレイ 100 の周辺側の第 2

50

の光学素子 102 が対称形状である場合を示した。図 13 に示すように、本実施形態によれば、センサアレイ 100 の端部において、対称形状の光学素子を用いた場合に比べ、10 ~ 20 % の感度の向上が見られた。また、センサアレイ 100 の中央から周辺への輝度シェーディング特性も改善するという効果が得られた。

【0035】

本実施形態の形状についての情報を持つ光学素子を第 2 の光学素子として選択し、第 3 の光学素子の形状についての情報を設計することにより画素へ適切な集光をすることができる。また、本実施形態の第 2 の光学素子を外挿による処理に使ってもよい。

【0036】

(実施形態 4)

本実施形態では、まず、補間の元になる 2 つの光学素子 101, 102 から、それらの中間に位置する第 3 の光学素子 103 を設計する。そして、前述の 2 つの光学素子 101 のうちのセンサアレイ 100 の中心側の第 1 の光学素子 101 と、設計した第 3 の光学素子 103 とを用いて、これらの光学素子 101, 103 の間に位置する光学素子を補間処理によって設計する。すなわち、設計した第 3 の光学素子 103 を、別の光学素子の設計において、第 2 の光学素子 102 として扱って補間処理を行う。もちろん本実施形態を、外挿処理により他の光学素子の形状を決定するのに使用してもよい。

10

【0037】

(実施形態 5)

本実施形態では、設計により求められた光学素子の形状についての情報を元に、前述の第 1 ~ 第 4 の実施形態のいずれかの処理を行い、面内の他の光学素子の形状を設計する形態である。まず、補間の元になる 2 つの光学素子 101, 102 から、それらの中間に位置する第 3 の光学素子 103 を設計する。そして、前述の 2 つの光学素子 101, 102 のうちのセンサアレイ 100 の中心側の第 1 の光学素子 101 と、設計した第 3 の光学素子 103 とを用いて、これらの光学素子 101, 103 の間に位置する光学素子を補間処理によって設計する。同様に、前述の 2 つの光学素子 101, 102 のうちのセンサアレイ 100 の周辺側の第 2 の光学素子 102 と、設計した第 3 の光学素子 103 とを用いて、これらの 2 つの光学素子 102, 103 の間に位置する別の光学素子を補間処理によって設計する。すなわち、設計した第 3 の光学素子 103 を、別の光学素子の設計において、第 1 の光学素子 101 として扱う。同様に、設計した第 3 の光学素子 103 を、別の光学素子の設計において、第 2 の光学素子 102 として扱う。同様にして、外挿により形状を求めてよい。

20

【0038】

(実施形態 6)

本実施形態は、いったん仮に設計した光学素子 103 の面積占有率が補間の元となる 2 つの光学素子 101, 102 の面積占有率に対して連続的に変化する例である。図 14 (a) と図 14 (b) は、補間の元となる 2 つの光学素子 101, 102 のそれぞれの底面形状を模式的に示す図である。まず、2 つの光学素子 101, 102 から、それらの間に位置する第 3 の光学素子 103 を設計する。次に光学素子 103 の面積占有率が各光学素子間の距離に対して、第 1 の光学素子 101 と第 2 の光学素子 102 の面積占有率に対して線形の関係となるように、光学素子 103 の底面形状に拡大もしくは縮小の補正を施す。本実施形態では面積を距離に応じて線形に連続的に変化するように補正している。このような処理により、図 14 (c) に示すように、センサアレイ 100 の面内で面積占有率の変化を線形にすることができます。この構成によれば、センサアレイ 100 の面内で光学素子の集光性能を連続的に変化させることができ、面内での感度ムラを防ぐ効果が得られる。なお、面積占有率とは、1 画素の中で例えば図 1 (b) の第 1 の光学素子 101 を囲う辺で囲まれた面積の割合のことを示す。画素の寸法が同じ場合は光学素子の底面積に相当する。また、補正には、変数に応じて連続的に値が変化する他の関数を用いることができる。

30

【0039】

40

50

更に、面積占有率が線形に変化することは、光学素子 101、103、102 の面積占有率が等しい場合を含む。この場合も、センサアレイ 100 の面内で光学素子の集光性能を連続的に保つようにすることができるので面内での感度ムラを防ぐことができる。センサアレイ 100 内の光学素子 101、102 はそれぞれ対称形状と非対称形状のどちらであっても同様の効果が得られる。この処理を外挿による処理で求めた光学素子に適用してもよい。

#### 【0040】

##### (実施形態 7)

本実施形態は第 1 の光学素子 101 と第 2 の 102 との間に第 3 の光学素子 103 が形成された場合に関する。それら 3 つの光学素子のうち任意の 2 つの光学素子について、画素内の同一座標での光学素子の高さを結んで作られる直線の傾きが、他の 2 つの光学素子について求めた直線の傾きと一致するように第 3 の光学素子 103 に形状を決める。たとえば、 $a$  は画素のピッチとし、 $x_1$  はセンサアレイ面内において、第 1 の光学素子 101 が配された仮想直線上の任意の位置の座標とする。 $n_2$  は任意の整数であり、仮想直線上で第 2 の光学素子 102 と第 1 の光学素子 101 との間の画素数によって決まる値である。したがって第 1 の光学素子 101 の座標を  $x_1$  とすると第 2 の光学素子 102 の座標は  $x_1 + n_2 \cdot a$  となるので、第 1 の光学素子 101 と第 2 の光学素子 102 を通る直線は仮想直線上の任意の座標を  $x$  として下記の式 2 の式となる。なお、 $h(x_1)$  は、座標  $x_1$  での高さを表す。

10

20

30

#### 【0041】

本実施形態によれば、光学素子 101 と 103、101 と 102、102 と 103 についてそれぞれ求めた直線の傾きが一致するようにする。すなわちそれらが下記の式 3 を満たす。このとき、 $n_2$  は第 2 の光学素子 102 が第 1 の光学素子 101 の座標  $x_1$  から何画素離れているかを示す任意の整数であり、 $n_1$  は第 3 の光学素子 103 が第 1 の光学素子 101 から何画素離れているかを示す任意の数である。このようにすることで異なる光学素子が配された複数の画素において連続的な感度を得ることができた。なお、仮想直線上において第 1 の光学素子 101 が中央にあり、第 2 の光学素子 102 が周辺側にあり、第 3 の光学素子 103 が第 1 の光学素子 101 と第 2 の光学素子 102 の間にあるならば、 $n_2 > n_1$  である。また、 $n_2 < n_1$  とすれば、第 3 の光学素子 103 が第 2 の光学素子 102 に対してさらに周辺側にあることになり、すなわち補間を外挿により行うことができる。なお、第 1 の光学素子 101 は中央より周辺寄りに配置し、第 2 の光学素子 102 を第 1 の光学素子 101 よりさらに周辺側に配置してもよい。

40

#### 【0042】

##### (式 2)

$$h(x) = (h(x_1 + n_2 \cdot a) - h(x_1)) \cdot (x - x_1) / (n_2 \cdot a) + h(x_1)$$

##### (式 3)

$$\begin{aligned} & (h(x_1 + n_1 \cdot a) - h(x_1)) / (n_1 \cdot a) \\ & = (h(x_1 + n_2 \cdot a) - h(x_1)) / (n_2 \cdot a) \\ & = (h(x_1 + n_2 \cdot a) - h(x_1 + n_1 \cdot a)) / ((n_1 - n_2) \cdot a) \end{aligned}$$

##### (実施形態 8)

本実施形態は実施形態 7 と同様に、光学素子 101、102 の間に仮想的につないだ直線に基づいて第 3 の光学素子 103 の形状についての情報を求める場合に関する。本実施形態では、式 2 に基づいて求めた直線の傾きが、画素内の位置に応じて異なるようにする。例えば、実施形態 7 で求められた傾きを、光学素子がセンサアレイの中央と外縁との間の半分の距離内にあるときとセンサアレイの中央と外縁との間の半分よりも大きい距離にあるときとで変える。光学素子が、中央と外縁との間の半分の距離内にあるときの傾きが中央と外縁との間の半分よりも大きい距離にあるときの傾きより小さくなるように第 2 の光学素子 102 を選択する。このようにすることで、中央部から離れた位置の光学素子の表面の傾斜が大きくなるため、レンズの曲率が大きくなり、センサアレイの周辺の斜めの

50

入射光に対して良好な集光性能を保ちつつ、連続的な感度を得ることができる。

【0043】

以上、実施形態1乃至8により光学素子の設計方法について説明したがいずれの方法も内挿による処理と同様に外挿による処理に用いることができる。

【0044】

(実施形態9)

本実施形態は実施形態1乃至8により求めた形状についての情報に基づく光学素子が光学素子アレイとして配置された撮像素子に関する。図15は、上述の設計方法により設計された光学素子が適用されるセンサアレイ100の構成例を模式的に示す断面図であり、センサアレイ100の一部を抜き出して示す図である。図15に示すように、センサアレイ100は、半導体基板21と、この半導体基板21の表面に設けられる中間層22と、中間層22の表面に設けられる光学素子アレイ23との積層構造を有する。

10

【0045】

半導体基板21には、画素300を構成する回路が二次元状に配列される。各々の画素300には、例えば、光電変換素子202と、この光電変換素子202で発生した電荷を転送するスイッチング素子(トランジスタ)と、電荷が転送される容量と、この容量の電荷を外部に出力するスイッチング素子(トランジスタ)などが含まれる。容量の電荷を外部に出力するスイッチング素子は、信号線を介して定電流源と電位供給手段とに接続される。このような構成によれば、容量の電位を信号線に出力できる。

20

【0046】

中間層22には、複数の配線層221と、配線層221同士を絶縁する絶縁層222と、色分離をするカラーフィルタ層223などが設けられる。さらに中間層22には、層内レンズ層や遮光層が設けられてもよい。光学素子アレイ23は、実施形態で説明した設計方法により設計された光学素子がマトリックス状に配置されることにより形成される。光学素子アレイ23の各々の光学素子は、平面視において半導体基板21の各々の画素300に対応する位置に設けられる。なお、撮像装置2の構成は、上述の構成に限定されるものではない。要は、光電変換素子を含む複数の画素300がマトリックス状に配置される半導体基板21を有し、その表面の画素300に対応する位置に光学素子が設けられる構成であればよい。

30

【0047】

(実施形態10)

図16は、撮像システムの構成例を示す図である。撮像システム800は、例えば、光学部810、撮像素子820、画像信号処理部830、記録・通信部840、タイミング制御部850、システム制御部860、及び再生・表示部870を含む。撮像素子820は先の実施形態で説明したセンサアレイ100を含む。

【0048】

レンズ等の光学系である光学部810は、被写体からの光を撮像素子820の、複数の画素が行列状に配置された画素部に結像させ、被写体の像を形成する。撮像素子820は、タイミング制御部850からの信号に基づくタイミングで、画素部に結像された光に応じた信号を出力する。撮像素子820からの出力信号は、画像信号処理部830に入力され、画像信号処理部830が、プログラム等によって定められた方法に従って信号処理を行う。画像信号処理部830での処理によって得られた信号は画像データとして記録・通信部840に送られる。記録・通信部840は、画像を形成するための信号を再生・表示部870に送り、再生・表示部870に動画や静止画像を再生・表示させる。記録・通信部840は、また、画像信号処理部830からの信号を受けて、システム制御部860と通信を行うほか、不図示の記録媒体に、画像を形成するための信号を記録する動作も行う。

40

【0049】

システム制御部860は、撮像システムの動作を統括的に制御するものであり、光学部810、タイミング制御部850、記録・通信部840、及び再生・表示部870の駆動

50

を制御する。また、システム制御部 860 は、例えば記録媒体である不図示の記憶装置を備え、ここに撮像システムの動作を制御するのに必要なプログラム等が記録される。また、システム制御部 860 は、例えばユーザの操作に応じて駆動モードを切り替える信号を撮像システム内に供給する。具体的な例としては、読み出す行やリセットする行の変更、電子ズームに伴う画角の変更や、電子防振に伴う画角のずらし等である。タイミング制御部 850 は、システム制御部 860 による制御に基づいて撮像素子 820 及び画像信号処理部 830 の駆動タイミングを制御する。

【0050】

以上、発明を実施するための形態について説明したが、本発明はこれらの形態に限定されないことは言うまでもなく、その要旨の範囲内での種々の変形及び変更が可能である。

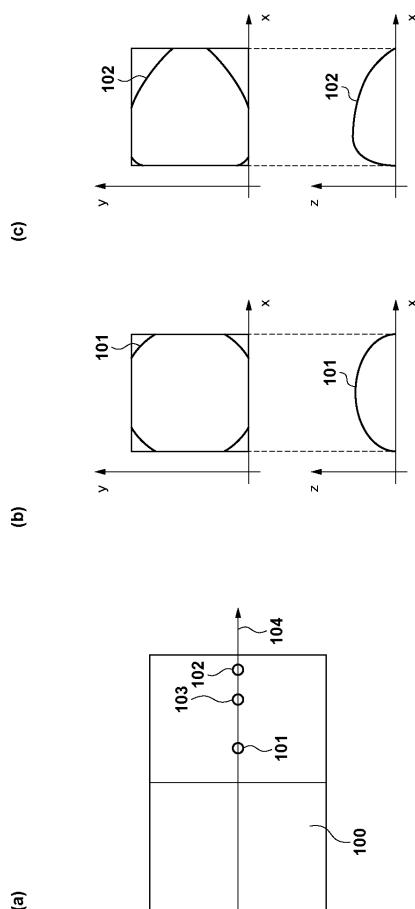
10

【符号の説明】

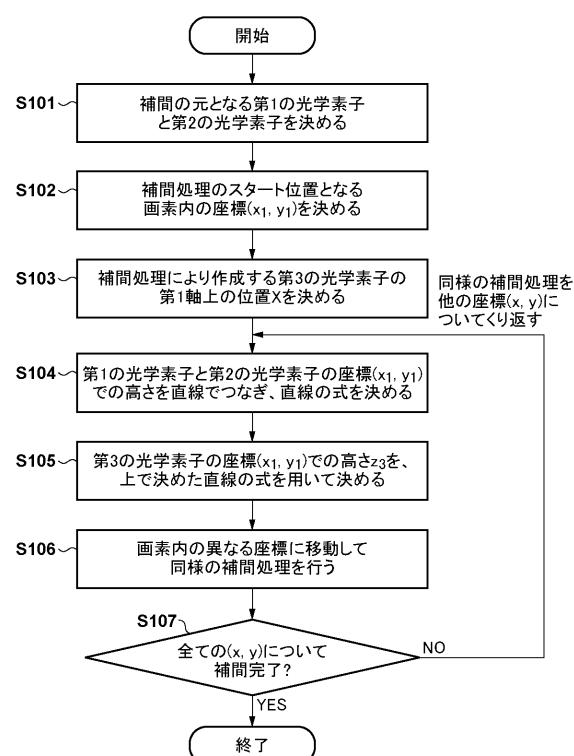
【0051】

101：第1の光学素子、102：第2の光学素子、103：第3の光学素子

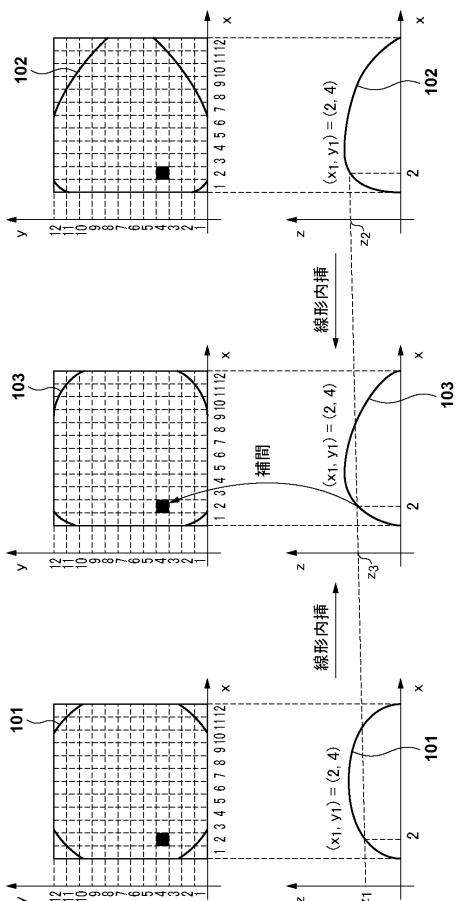
【図1】



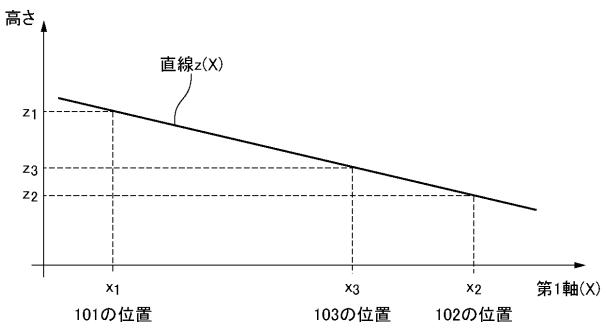
【図2】



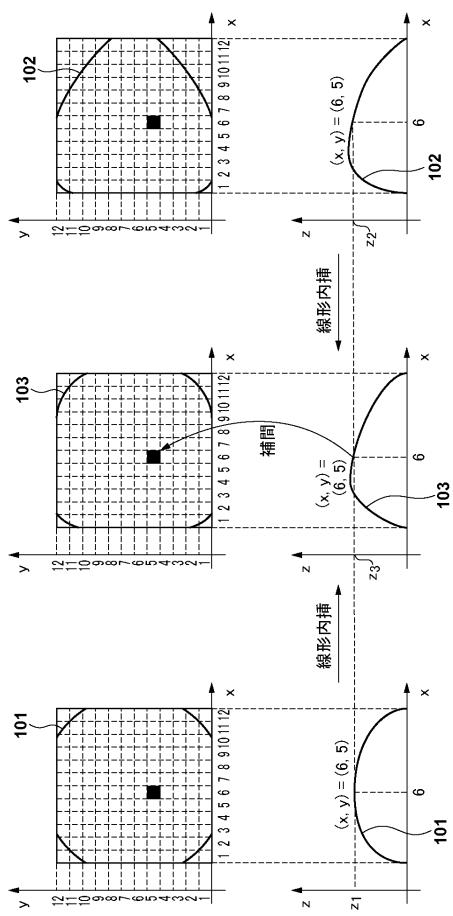
【図3】



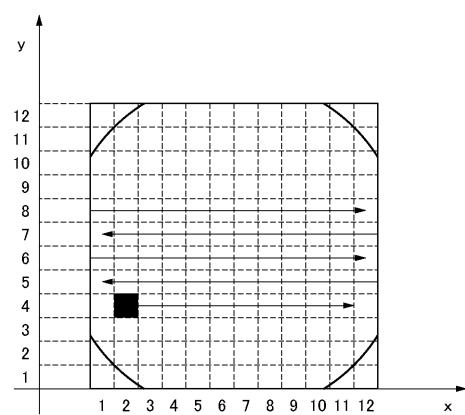
【図4】



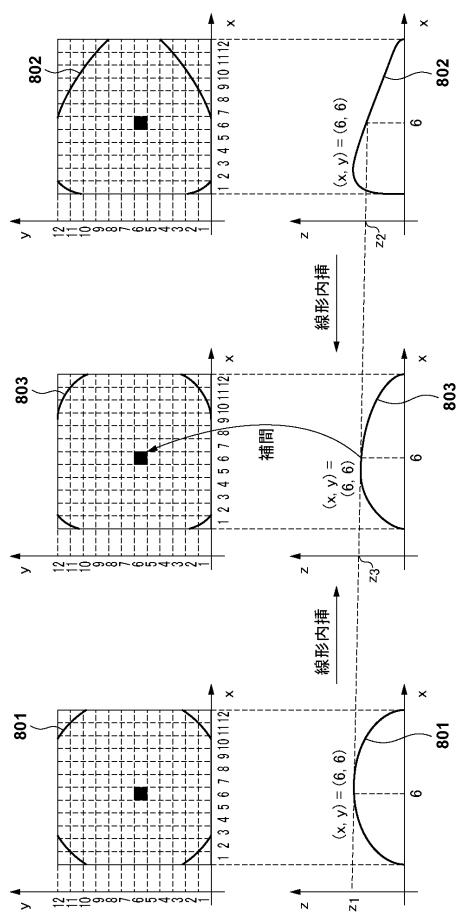
【図5】



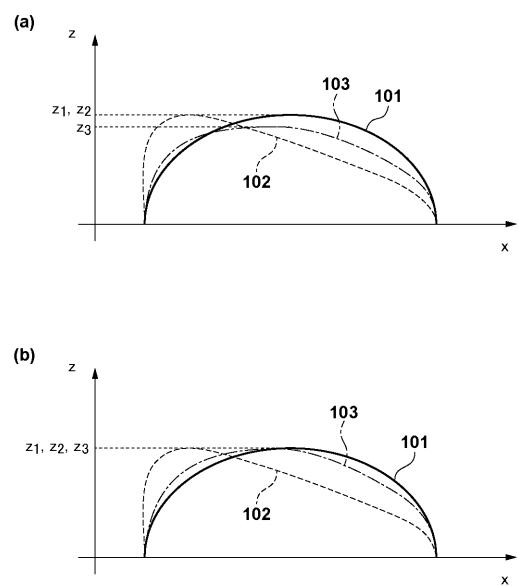
【図6】



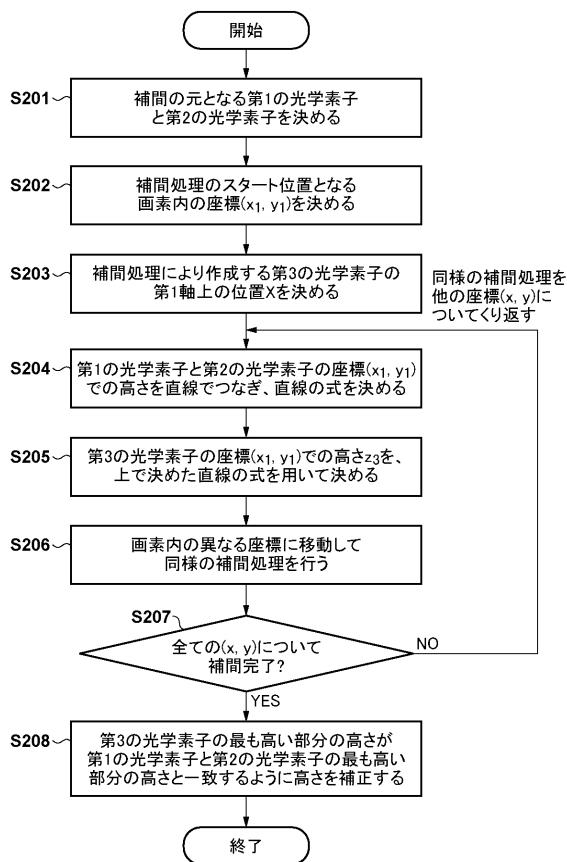
【図8】



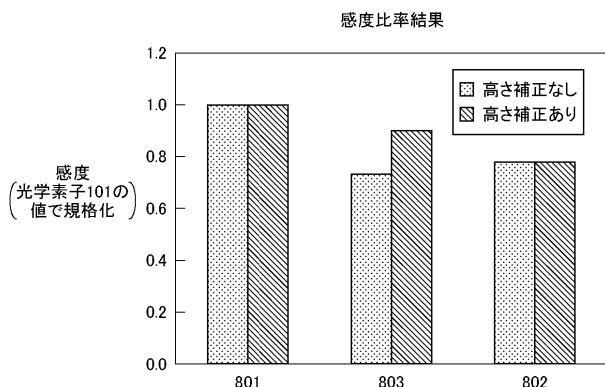
【図9】



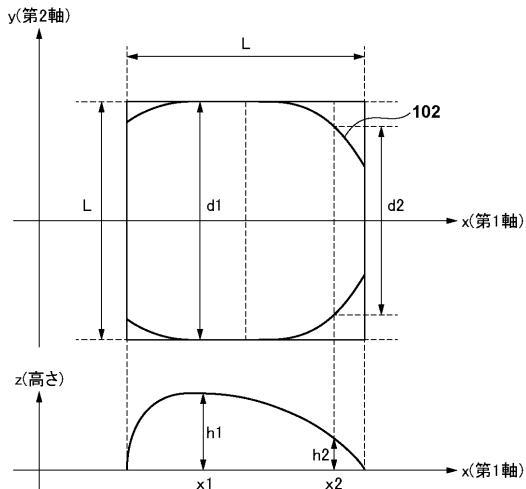
【図10】



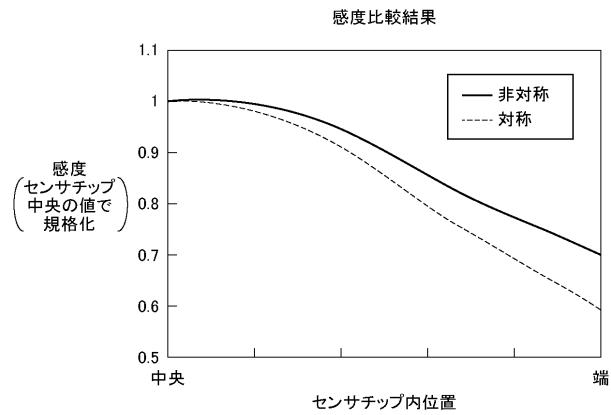
【図11】



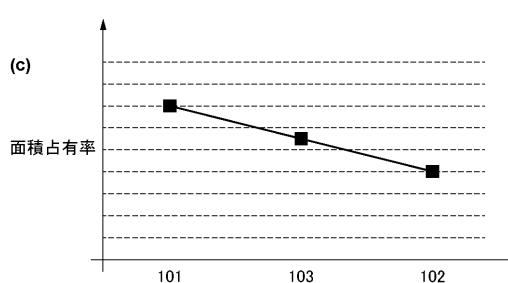
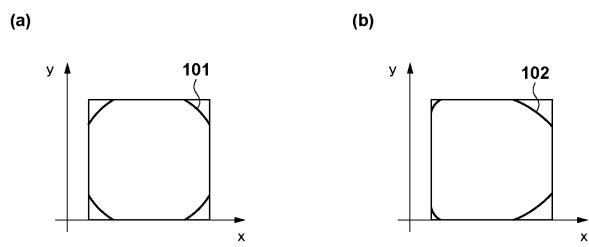
【図12】



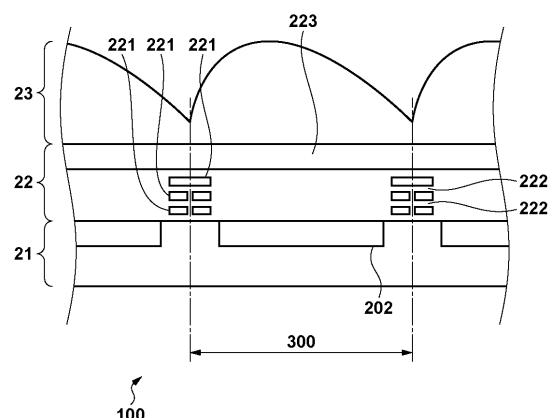
【図13】



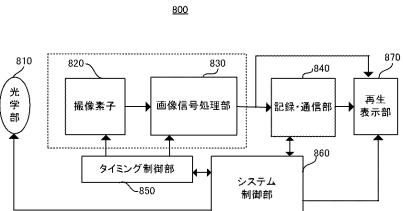
【図14】



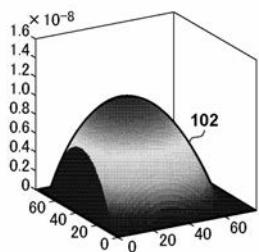
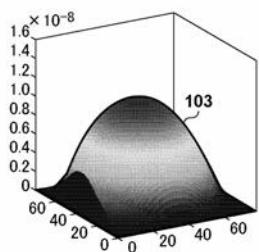
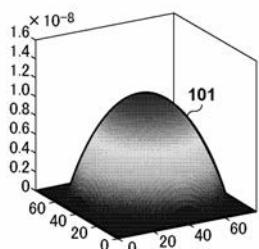
【図15】



【図16】



【図7】



---

フロントページの続き

(72)発明者 川端 一成  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 伊庭 潤  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

F ターム(参考) 2H087 KA01 PA01 PA17 PB01 QA02 QA05 QA13 QA33 RA06 RA12  
RA26 RA44  
4M118 AA01 AB01 BA09 CA01 FA06 GB03 GC07 GD03 GD04 GD06  
5C024 CY47 EX43