

(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2009-15315
(P2009-15315A)

(43) 公開日 平成21年1月22日(2009.1.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2B 5/18 (2006.01)	GO2B 5/18	2H249
HO1L 27/14 (2006.01)	HO1L 27/14	4M118
GO2B 3/08 (2006.01)	GO2B 3/08	5C024
HO4N 5/335 (2006.01)	HO4N 5/335	

審査請求 未請求 請求項の数 36 O L (全 91 頁)

(21) 出願番号 特願2008-147145 (P2008-147145)
 (22) 出願日 平成20年6月4日(2008.6.4)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-148165 (P2007-148165)
 (32) 優先日 平成19年6月4日(2007.6.4)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000002185
 ソニー株式会社
 東京都港区港南1丁目7番1号
 (74) 代理人 100086298
 弁理士 船橋 國則
 (72) 発明者 戸田 淳
 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
 Fターム(参考) 2H249 AA04 AA18 AA33 AA44 AA55
 AA63 AA64 AA65
 4M118 BA14 CA04 CA32 CA34 FA33
 GC07 GD04 GD10 GD20
 5C024 AX01 CX35 CX41 DX01 EX43
 GY04 GY31

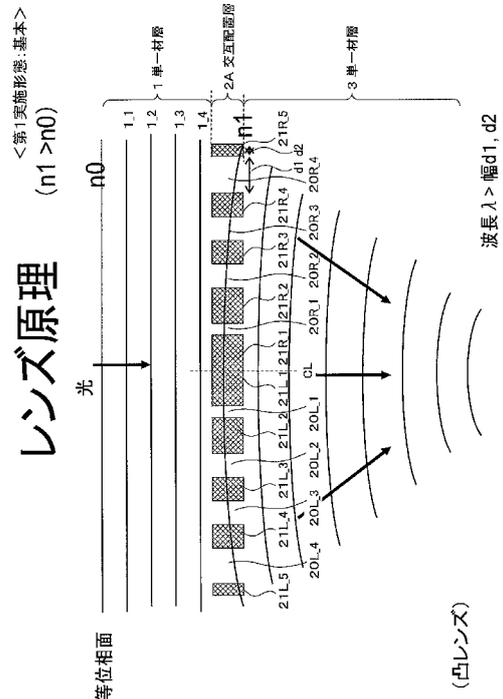
(54) 【発明の名称】 光学部材、固体撮像装置、製造方法

(57) 【要約】

【課題】 固体撮像装置と一体的に構成される光学レンズが厚いことにより生じる問題を解決する。

【解決手段】 光学長(レンズ長)に比べて相対的に薄く、屈折率の大きい高屈折率層21と屈折率の小さい低屈折率層20が光軸に対して横方向に交互に配列した交互配置層2を設ける。高屈折率層21および低屈折率層20の各幅は、入射光の波長オーダーまたはそれより小さくする。各高屈折率層20を、交互配置層2Aの機械的な中心では密に配置し中心から離れるに従って疎になるように、または低屈折率層20を、交互配置層2Aの機械的な中心では粗に配置し中心から離れるに従って密になるように、左右対称に配置して凸レンズにする。交互配置層2Aは、光学長よりも短く、スネル則を利用した屈折型レンズ構造のものよりも薄くできる。従来のような相対的に厚みのある構造のレンズで生じていた問題を緩和・解消できる。

【選択図】 図1A



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

それぞれ光学長に比べて相対的に薄い、屈折率の大きい高屈折率層と屈折率の小さい低屈折率層が、光軸に対して横方向に交互に配列されており、

前記高屈折率層および前記低屈折率層の各幅は、入射光の波長オーダーまたはそれより小さい

光学部材。

【請求項 2】

各前記高屈折率層は、部材の機械的な中心では密に配置され、前記中心から離れるに従って疎になるように、左右対称に配置されている

請求項 1 に記載の光学部材。

10

【請求項 3】

各前記高屈折率層の幅が、部材の機械的な中心に向かって徐々に大きくなるように配置されており、

各前記低屈折率層の幅が、部材の機械的な中心に向かって徐々に小さくなるように配置されている

請求項 2 に記載の光学部材。

【請求項 4】

各前記高屈折率層の幅が、部材の機械的な中心に向かって徐々に大きくなるように配置されており、

各前記低屈折率層が、等しい幅で配置されている

請求項 2 に記載の光学部材。

20

【請求項 5】

各前記低屈折率層の幅が、部材の機械的な中心に向かって徐々に小さくなるように配置されており、

各前記高屈折率層が、等しい幅で配置されている

請求項 2 に記載の光学部材。

【請求項 6】

各前記高屈折率層は、部材の機械的な中心では粗に配置され、前記中心から離れるに従って密になるように、左右対称に配置されている

請求項 1 に記載の光学部材。

30

【請求項 7】

各前記高屈折率層の幅が、部材の機械的な中心に向かって徐々に小さくなるように配置されており、

各前記低屈折率層の幅が、部材の機械的な中心に向かって徐々に大きくなるように配置されている

請求項 6 に記載の光学部材。

【請求項 8】

各前記高屈折率層の幅が、部材の機械的な中心に向かって徐々に小さくなるように配置されており、

各前記低屈折率層が、等しい幅で配置されている

請求項 6 に記載の光学部材。

40

【請求項 9】

各前記低屈折率層の幅が、部材の機械的な中心に向かって徐々に大きくなるように配置されており、

各前記高屈折率層が、等しい幅で配置されている

請求項 6 に記載の光学部材。

【請求項 10】

前記高屈折率層および前記低屈折率層の少なくとも一方は、各幅が、前記横方向に非対称に配置されている

50

請求項 1 に記載の光学部材。

【請求項 1 1】

各前記高屈折率層が、前記部材の一方の端から光学的な重心位置に向かって、幅が徐々に大きくなるように配置されており、

各前記低屈折率層が、前記部材の一方の端から光学的な重心位置に向かって、幅が徐々に小さくなるように配置されている

請求項 1 0 に記載の光学部材。

【請求項 1 2】

各前記高屈折率層が、前記部材の一方の端から光学的な重心位置に向かって、幅が徐々に大きくなるように配置されており、

各前記低屈折率層が、等しい幅で配置されている

請求項 1 0 に記載の光学部材。

【請求項 1 3】

各前記低屈折率層が、前記部材の一方の端から光学的な重心位置に向かって、幅が徐々に小さくなるように配置されており、

各前記高屈折率層が、等しい幅で配置されている

請求項 1 0 に記載の光学部材。

【請求項 1 4】

前記光学的な重心位置は、部材の他方の端に存在する

請求項 1 1 ~ 1 3 の内の何れか一項に記載の光学部材。

【請求項 1 5】

各前記高屈折率層が、部材の機械的な中心では密に配置され、前記中心から離れるに従って疎になるように、左右対称に配置されている第 1 の光学部材を備えるとともに、

前記第 1 の光学部材の光入射側および光出射側の少なくとも一方に、前記光学的な重心位置が部材の他方の端に存在する第 2 の光学部材を備える

請求項 1 4 に記載の光学部材。

【請求項 1 6】

各前記高屈折率層は、部材の機械的な中心では密に配置され、前記中心から離れるに従って疎になるように、左右非対称に配置されている

請求項 1 1 ~ 1 3 の内の何れか一項に記載の光学部材。

【請求項 1 7】

各前記高屈折率層が、部材の機械的な中心では粗に配置され、前記中心から離れるに従って密になるように、左右対称に配置されている第 1 の光学部材を備えるとともに、

前記第 1 の光学部材の光入射側および光出射側の少なくとも一方に、前記光学的な重心位置が部材の他方の端に存在する第 2 の光学部材を備える

請求項 1 4 に記載の光学部材。

【請求項 1 8】

各前記高屈折率層は、部材の機械的な中心では粗に配置され、前記中心から離れるに従って密になるように、左右非対称に配置されている

請求項 1 1 ~ 1 3 の内の何れか一項に記載の光学部材。

【請求項 1 9】

各前記高屈折率層は、

主光線の斜め入射方向においては、前記光学的な重心の位置では幅が大きく、前記光学的な重心の位置から離れるに従って幅が狭く、かつ、

主光線の斜め入射に垂直な、前記低屈折率層と前記高屈折率層が交互に並べられる方向と直交する方向のサイズは、前記交互に並べる方向と同程度の集光効果が得られるように設定されている

請求項 1 0 ~ 1 8 の内の何れか一項に記載の光学部材。

【請求項 2 0】

隣接する前記高屈折率層間の前記低屈折率層が配置される部分の一部には、前記隣接す

10

20

30

40

50

る高屈折率層同士を接続する前記高屈折率層がさらに設けられている
請求項 19 に記載の光学部材。

【請求項 21】

それぞれ光学長に比べて相対的に薄い、屈折率の大きい高屈折率層と屈折率の小さい低屈折率層が、光軸に対して横方向に交互に配列されており、かつ、前記高屈折率層および前記低屈折率層の各幅は、入射光の波長オーダーまたはそれより小さい光学部材と、前記光学部材を通した光を受光する受光部とを備えたことを特徴とする固体撮像装置。

【請求項 22】

複数の前記受光部が 1 次元状あるいは 2 次元状に配列されている画素アレイ部を備え、前記受光部に対応する前記光学部材として、前記高屈折率層の各幅が前記横方向に対称に配置されているものと、前記高屈折率層および前記低屈折率層の少なくとも一方の各幅が前記横方向に非対称に配置されているものとが使用されており、前記画素アレイ部の中心では前記対称に配置されている光学部材が使用され、前記画素アレイ部の端部になるほど前記非対称性が強くなる光学部材が使用されている
請求項 21 に記載の固体撮像装置。

10

【請求項 23】

複数の前記受光部が 1 次元状あるいは 2 次元状に配列されている画素アレイ部を備え、前記受光部に対応する前記光学部材として、前記高屈折率層の各幅が前記横方向に対称に配置されているものと、前記高屈折率層および前記低屈折率層の少なくとも一方の各幅が前記横方向に非対称に配置されているものとが使用されており、前記画素アレイ部の中心では前記対称に配置されている光学部材が使用され、前記画素アレイ部の端部になるほど光学的な重心の位置が前記受光部の中心から前記画素アレイ部の中心方向にズレて配置されている
請求項 21 に記載の固体撮像装置。

20

【請求項 24】

前記受光部に対応する前記光学部材ごとに、各前記高屈折率層は、主光線の斜め入射方向においては、前記光学的な重心の位置では幅が大きく、前記光学的な重心の位置から離れるに従って幅が狭く、かつ、主光線の斜め入射に垂直な、前記低屈折率層と前記高屈折率層が交互に並べられる方向と直交する方向のサイズは、前記受光部のサイズと同程度かそれよりも少し短い
請求項 22 または 23 に記載の固体撮像装置。

30

【請求項 25】

各前記高屈折率層は、前記直交する方向における前記受光部の中心に対して対称性を持っている
請求項 24 に記載の固体撮像装置。

【請求項 26】

隣接する前記高屈折率層間の前記低屈折率層が配置される部分の一部には、前記隣接する高屈折率層同士を接続する前記高屈折率層がさらに設けられている
請求項 24 または 25 に記載の固体撮像装置。

40

【請求項 27】

前記画素アレイ部の中心では平面視でほぼ前記受光部のサイズと同程度かそれ以下の角形の前記高屈折率層が設けられており、前記画素アレイ部の水平・垂直方向における前記受光部が配置される各位置では、前記受光部に対応する前記光学部材ごとに、前記隣接する高屈折率層同士を接続する前記高屈折率層の、前記低屈折率層と前記高屈折率層が交互に並べられる方向と直交する方向のサイズが前記画素アレイ部の中心から離れるほど狭くなるように設定され、かつ、前記光学部材の重心が前記画素アレイ部の中心から離れるほど前記画素アレイ部の中心とは反対側により強く寄るように設定されている
請求項 26 に記載の固体撮像装置。

50

【請求項 28】

前記画素アレイ部の中心に対する斜め方向における前記受光部が配置される各位置では、前記受光部に対応する前記光学部材ごとに、4つの前記高屈折率層が前記低屈折率層を挟み、かつ、前記4つの高屈折率層同士が接触するように配列され、さらに、前記画素アレイ部の中心から離れるほど、前記光学部材の重心が前記画素アレイ部の中心とは反対側により強く片寄るように配置されている

請求項 26 または 27 に記載の固体撮像装置。

【請求項 29】

前記高屈折率層の前記光学部材の外側の角は当該高屈折率層のサイズに応じた大きさで斜めにカットされている

請求項 24 ~ 28 の内の何れか一項に記載の固体撮像装置。

【請求項 30】

屈折率の大きい高屈折率層および屈折率の小さい低屈折率層の何れか一方の膜を形成し、

前記膜の横方向に複数の開口部を配列して形成し、

それぞれの前記開口部を、前記高屈折率層および前記低屈折率層の他方で埋め込み、

これにより、前記高屈折率層と前記低屈折率層が、光軸に対して横方向に交互に配列された光学部材を製造する

ことを特徴とする前記光学部材の製造方法。

【請求項 31】

各前記光学部材を配列する際の平面視で前記高屈折率層を角形にし、

4つの前記高屈折率層が前記低屈折率層を挟み、かつ、前記4つの高屈折率層同士が接触するように配列し、さらに、斜め光の入射角が大きいほど、当該光学部材の重心が前記斜め光側により強く片寄るように、横線、縦線、または斜め45度線を用いて、前記斜め光の入射角に応じたそれぞれのマスクパターンを生成し、

この生成したマスクパターンをフォトリソグラフィに使用して、前記斜め光の入射角に応じた各光学部材を製造する

請求項 30 に記載の製造方法。

【請求項 32】

受光部が形成されている半導体基板上に屈折率の小さい低屈折率層を形成し、

前記低屈折率層上に屈折率の大きい高屈折率層を形成し、

前記屈折率層の前記受光部と対応する位置に複数の開口部を配列して形成し、

それぞれの前記開口部を、前記低屈折率層で埋め込み、

これにより、前記高屈折率層と前記低屈折率層が、光軸に対して横方向に交互に配列された光学部材を前記半導体基板と一体的に製造する

固体撮像装置の製造方法。

【請求項 33】

各前記光学部材を、受光部の配列位置と斜め光の入射角に整合させて配列する際の平面視で前記高屈折率層を角形にし、

4つの前記高屈折率層が前記低屈折率層を挟み、かつ、前記4つの高屈折率層同士が接触するように配列し、さらに、斜め光の入射角が大きいほど、当該光学部材の重心が前記斜め光側により強く片寄るように、横線、縦線、または斜め45度線を用いて、前記斜め光の入射角に応じたそれぞれのマスクパターンを生成し、

この生成したマスクパターンをフォトリソグラフィに使用して、前記斜め光の入射角に応じた各光学部材を、前記受光部の配列位置と整合するように配置する

請求項 32 に記載の固体撮像装置の製造方法。

【請求項 34】

前記4つの高屈折率層の前記角形の形状と配置位置を、それぞれの頂点座標を使用する関数式で表わし、当該関数式を規定する各頂点座標を示す一次式の係数を前記半導体基板上における前記光学部材が配置される位置に応じて設定することで、前記斜め光の入射角

10

20

30

40

50

に応じた各光学部材用のマスクパターンのデータを生成する

請求項 33 に記載の固体撮像装置の製造方法。

【請求項 35】

前記 4 つの高屈折率層の前記角形の形状は四角形であり、垂直光が入射する位置を原点とする x y 平面の前記光学部材と対応する前記検出部の配置される位置 (x_a, y_a) の前記光学部材ごとに、斜め光が入射する側とは反対側の角を原点とする新たな座標 X, Y をとり、前記位置 (x_a, y_a) の前記関数式を $f(x_a, y_a)$ 、各高屈折率層の 4 つの頂点座標を $(X_1, Y_1), (X_2, Y_1), (X_2, Y_2), (X_1, Y_2)$ としたとき、 X_1, Y_1, X_2, Y_2 を、下記式で規定することで、前記斜め光の入射角に応じた各光学部材用のマスクパターンのデータを生成する

10

請求項 34 に記載の固体撮像装置の製造方法。

$f(x_a, y_a) = \{ (X_1, Y_1), (X_2, Y_1), (X_2, Y_2), (X_1, Y_2) \}$

$X_1 = s_1 \times |x_a| + s_2 \times |y_a| + c_1$

$Y_1 = s_3 \times |x_a| + s_4 \times |y_a| + c_2$

$X_2 = s_5 \times |x_a| + s_6 \times |y_a| + c_3$

$Y_2 = s_7 \times |x_a| + s_8 \times |y_a| + c_4$

$s_1 \sim s_8$ は係数、 $c_1 \sim c_4$ は定数

【請求項 36】

前記高屈折率層の前記光学部材の外側の角を当該高屈折率層のサイズに応じた大きさで斜めにカットすることで、前記斜め光の入射角に応じた各光学部材用のマスクパターンのデータを生成する

20

請求項 35 に記載の固体撮像装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学部材およびこの光学部材を利用した固体撮像装置並びにそれらの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

CCD (Charge Coupled Device) や CMOS (Complementary Metal-oxide Semiconductor) センサを始めとする固体撮像装置では、オンチップレンズ (OCL: On Chip Lens: マイクロレンズとも称される) や層内レンズなどの光学部材を設け、入射光を受光部へ集光させるのが一般的である。ここで、前記光学部材としては、スネル則を利用した屈折型レンズ構造のものが用いられる。

30

【0003】

ところが、スネル則を利用した屈折型レンズ構造は、レンズそのものが $1 \mu\text{m}$ 程度以上で厚いため、固体撮像装置のオンチップレンズや層内集光レンズに応用するとデバイス上層が厚くなってしまふ。これによって、隣の画素からの好ましくない光入射 (斜め入射光と称する) が増加して、この斜め入射光による混色が増加して色再現性が悪くなる。

40

【0004】

また、従来のオンチップレンズや層内集光レンズの作製工程では、レジストをリフローさせるなど工程数が多く複雑でコストも高い。加えて、リフローで作製すると球面形状しか作製できず、たとえば横方向に変形した非対称なレンズ形状ができない。

【0005】

さらに、外付けの結像系レンズの F 値を小さくすると斜め入射光が増えるために上層が厚くなることによって理想の感度からの低下が顕著になり、本来の感度が取れなくなる (F 値光感度低下)。

【0006】

また、従来のオンチップレンズでは、集光効率が信号光の入射角度に依存して低下する

50

。つまり、オンチップレンズに垂直に入射してくる光については高効率に集光することができるが、斜め入射光に対しては集光効率が減少する。複数の画素が2次元配列されて構成されている固体撮像装置では、広がり角を持つ入射光の場合、固体撮像装置の中央付近の画素と周辺付近の画素とでは入射角が異なり、その結果、周辺付近の画素の集光効率が中央付近のものより低下するという現象、つまり、デバイス中心に比べて端で感度が小さくなる現象（シェーディング）も顕著にもなる。

【0007】

斜め入射光に色再現性低下に関しては、色再現性を回復させるために演算処理を行なうことも考えられるが、余分なノイズが発生して画質が劣化する弊害が懸念される。

【0008】

さらに、外付けの結像系レンズのF値を小さくすると、斜め入射光が増えるために上層が厚くなることによって理想の感度からの低下が顕著になり、本来の感度が取れなくなるF値光感度低下現象も生じる。

【0009】

これに対して、上層が厚くなる問題点や感度低下を解決する一手法として、フレネルレンズを利用した仕組みが提案されている（たとえば特許文献1, 2を参照）。

【0010】

【特許文献1】特開2005-011969号公報

【特許文献2】特開2006-351972号公報

【0011】

たとえば、特許文献1に記載の仕組みは、オンチップレンズなどの上部レンズで収束された光をさらに収束させて対応する光電変換部に入射させる層内集光レンズを、フレネルレンズをベースとして構成しているものである。屈折型レンズであるが、波型にすることでレンズを薄くできるようにしている点に特徴がある。

【0012】

また、特許文献2に記載の仕組みは、集光素子を、入射光の波長と同程度かそれより短い線幅で分割された同心構造の複数のゾーン領域の組み合わせによって構成されたものとしている。2段同心円構造の分布屈折率レンズ（つまりフレネルレンズ）をベースとしていて、フレネルレンズと同じ屈折率分布となるような微細構造を作製して集光素子を構成している（レンズとしている）点が特徴である。

【0013】

しかしながら、特許文献1に記載の仕組みでは、フレネルレンズの考え方を基本としているので、このフレネルレンズは屈折型であるために波長オーダーより薄くするのに限度がある。

【0014】

また、このような波型を作製するのは通常の屈折型レンズの工程よりもさらに複雑な工程となり、コストもさらにかかる。また、球面でしかレンズが作製できず、非対称性を入れることができない。

【0015】

加えて、特許文献1, 2の何れの仕組みにおいても、フレネルレンズをベースとするため、ある領域に斜め入射した光において本来集光するポイントに集まらないことがある（詳細は後述する）。このことは、集光効率が低下してしまう上に、発散した光が隣の画素に入射した場合には混色の原因になる。

【0016】

また、特許文献2の仕組みでは、微細画素、とりわけ1.5 μm 以下の画素サイズになると、円形などの複雑な図形を画素内に入れる必要性から、画素ピッチに対する最小線幅の割合が1/10以下の微細ピッチが必要となる。たとえば最小線幅0.1 μm 以下の微細ピッチのレンズ構造の作製が必要となる。この場合、プロセスにおいて埋め込みが容易でないといった課題があり、たとえばフッ化アルゴン（ArF）エキシマレーザ（波長193nm）を用いた液浸スキャナーと言った高コストのArF液浸露光装置が必要にな

10

20

30

40

50

る。

【0017】

また、通常のマスク発生システムは、縦線または横線または斜め45度線で構成される図形のみが許されていることが多く、このような状況でもマスク設計を低コストで可能にする新たなレンズ構造の開発が求められている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、前述の各種の問題の少なくとも1つを解消することのできる新たな光学部材の仕組みを提供することを目的とする。

10

【0019】

好ましくは、前述の各種の問題の少なくとも1つを解消するに当たり、微細画素の実現に際しても、最小線幅をより大きくすることが可能な、つまり画素ピッチと最小線幅の割合に従来よりも余裕を持たせることができる仕組みを提供することを目的とする。

【0020】

好ましくは、前述の各種の問題の少なくとも1つを解消するに当たり、縦線または横線または斜め45度線を構成する通常のマスク発生システムにより製造することができる仕組みを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0021】

20

光学長（レンズ長）に比べて相対的に薄い高屈折率層と低屈折率層が光学部材の横方向（光軸に対して垂直となる平面上の任意の方向）に交互に配列されている場合に、低屈折率層や高屈折率層の各幅が入射光の波長オーダーより十分に大きいときには、光学部材を通過する光の等位相面は、入射側の媒質での等位相面と同様に形成され、湾曲することはない。

【0022】

ところが、低屈折率層や高屈折率層の各幅が入射光の波長オーダーと同程度かより小さくなると、波動方程式の連続性により、低屈折率層内での波面と高屈折率層内での波面とが繋がり、その結果、全体の等位相面が湾曲する現象が生じる。

【0023】

30

本発明に係る光学部材は、前記知見に基づいてなされたものである。すなわち、本発明に係る光学部材の一実施形態は、光学長（レンズ長）に比べて相対的に薄く、屈折率の大きい高屈折率層と屈折率の小さい低屈折率層が光軸に対して横方向に交互に配列したものである。ここで、高屈折率層および低屈折率層の各幅は、入射光の波長オーダーまたはそれより小さいものとする。

【0024】

波長オーダーまたはそれより小さい幅の低屈折率層と高屈折率層とを横方向に並べて光学部材としての機能を持たせる際には、部材の中心と端部の高屈折率層の各密度の配置関係を調整することで、等位相面の湾曲具合を調整することができる。

【0025】

40

これにより、凸レンズ機能（集光性）を持たせることもできれば、凹レンズ機能（拡散性）を持たせることもできる。また、斜め入射光を垂直入射光に変換する機能（斜め光補正機能）を持たせることもできる。低屈折率層と高屈折率層の各配列幅を調整することで等位相面（波面）の湾曲状態を制御することのできる新たな仕組みの光学部材（光学レンズ）が実現できることになる。このような仕組みの光学部材を波面制御レンズと呼ぶことにする。

【0026】

たとえば、各高屈折率層を、部材の機械的な中心では密に配置し、中心から離れるに従って疎になるように、左右対称に配置すれば、凸レンズ機能（集光性）を果たすようになる。低屈折率層側から見れば、部材の機械的な中心では粗に配置し、中心から離れるに従

50

って密になるように、左右対称に配置すれば、凸レンズ機能（集光性）を果たすようになる。

【0027】

各高屈折率層を、部材の機械的な中心では粗に配置し、中心から離れるに従って密になるように、左右対称に配置すれば、凹レンズ機能（発散性）を果たすようになる。低屈折率層側から見れば、部材の機械的な中心では密に配置し、中心から離れるに従って粗になるように、左右対称に配置すれば、凹レンズ機能（発散性）を果たすようになる。

【0028】

高屈折率層および低屈折率層の少なくとも一方を、各幅が、横方向に非対称に配置すれば、斜め光補正機能を果たすようになる。

【0029】

また、好ましくは、波面制御の仕組みに加えて、主光線の斜め入射に垂直な方向には、構造体を画素サイズより短くかつ対称性を持たせて配置する構造にして集光効果（レンズ機能）や斜め入射光補正機能を持たせるようにしてもよい。詳細は後述するが、このような構造を採ると、波面制御に加えて、ゾンプレートの回折レンズ効果を入れた構造にでき、集光効率が高まる。加えて、マスクパターンは単純な垂直線と水平線または場合によっては斜め45度線のみでよく、曲線を必要としない。微細画素でも、マスクパターンが単純であるために、最小線幅に余裕を持たせることが可能になるし、マスク設計が容易になる。

【0030】

このような光学部材は、独立した部材として、レーザ走査光学系などに用いられる従来の一般的な光学レンズと置き換えて使用することができる。

【0031】

ただし、固体撮像装置との組合せにおいては、画素アレイ部などが形成される半導体基板上に、光学部材を一体的に形成するのが好ましい。組合せ対象の固体撮像装置としては、光電変換が行なわれるセンサ部が形成されている半導体基体の表面側に配線層や電極層が形成され、その表面側から光を入射させる通常の表面照射型のものに限らず、表面側とは反対の裏面側から光を入射させる裏面照射型のもでもよい。裏面照射型でも、斜め光入射による混色が問題となり得るが、本発明の光学部材による斜め光補正効果を機能させることで、この混色の問題が緩和される。

【0032】

また、固体撮像装置との組合せにおいては、導波路（導光路）と組み合わせる構造を採ってもよい。この場合、導波路の全反射条件を満たすように光を導波路に導入する必要があるが、本発明の光学部材による集光効果や斜め光補正効果を機能させることで、光を導波路に容易に導入でき、加えて、導波路の全反射条件を斜め光でも満たすことができる。

【0033】

固体撮像装置はワンチップとして形成された形態であってもよいし、撮像部と、信号処理部または光学系とが纏めてパッケージングされた、撮像機能を有するモジュール状の形態であってもよい。

【0034】

また、本発明は、固体撮像装置のみではなく、撮像装置にも適用可能である。この場合、撮像装置として、固体撮像装置と同様の効果が得られる。ここで、撮像装置は、たとえば、カメラ（あるいはカメラシステム）や撮像機能を有する携帯機器のことを示す。また「撮像」は、通常のカメラ撮影時の像の撮り込みだけではなく、広義の意味として、指紋検出なども含むものである。

【発明の効果】

【0035】

本発明の一実施形態によれば、入射光の波長オーダーまたはそれより小さいレンズ長よりも薄い高屈折率層と低屈折率層を光軸に対して横方向に交互に配列して光学部材を構成したので、入射光が光学部材を通過するときに等位相面を、高屈折率層と低屈折率層の各

10

20

30

40

50

幅の配列状態に応じて湾曲させることができる。その結果、光学部材は、高屈折率層と低屈折率層の各幅の配列状態に応じた光学特性（たとえば集光機能、発散機能、あるいは入射角変換機能）を示すようになる。

【0036】

このように高屈折率層と低屈折率層を交互に横方向に配列した光学部材は、光学長よりも短く薄い部材にすることができ、従来のスネル則を利用した屈折型レンズ構造のものよりも薄い部材にすることができる。その結果、従来のような相対的に厚みのある構造のレンズで生じていた問題を緩和・解消することができる。

【0037】

たとえば、撮像デバイスの上層が薄くなり、混色が減るので色再現性がよくなる。演算処理による混色対策が不要になるので、余分なノイズ発生も少なくなる。またF値光感度低下を防いだり、斜め入射光を垂直入射光に補正したりすることもでき、シェーディング対策にもなる。

10

【0038】

また、薄い低屈折率層と高屈折率層が交互に配列されて部材が構成されているので、フレネルレンズのような大きい屈折率の段差はなく、斜め入射光に対しても反射や屈折による発散する光は少ない。その結果、集光効率を高めることができるし、斜め入射光による混色の問題も解決できる。

【0039】

薄い低屈折率層と高屈折率層を横方向に交互に配列されたものとすればよく、半導体プロセスに準じた製造ができ、作製の工程が簡便でコストが低く抑えられる。

20

【0040】

低屈折率層と高屈折率層の各配列幅を調整することで光学特性を制御できるので、球面レンズに比べて光学的に設計の幅が広がる利点もある。

【0041】

また、本発明に係る光学部材として、主光線の斜め入射に垂直な方向には、構造体を画素サイズより短くかつ対称性を持たせて配置する構造にすれば、微細画素でも、最小線幅に余裕を持った状態でも集光効果（レンズ機能）や斜め入射光補正機能を持たせることが可能となる。

【0042】

また、このような構造にすることで、マスクパターンは、縦線または横線または斜め45度線で構成される図形のみでも可能になるので、通常のマスク発生システムにより、この構造の光学部材を製造することができる。特殊なマスク発生システムが不要である。

30

【0043】

また、マスクパターンを、円形（楕円を含む）や曲線を含まない、縦線または横線または斜め45度線で構成される図形のみで構成することで、角形の頂点座標を指定する比較的簡単な低次の関数式（一次方程式など）を用いた各画素位置のレンズ設計（マスクパターン設計）も可能になる。このことは、設計から製造までの全体のコストを低減する上でも効果がある。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0044】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。各機能要素について実施形態別に区別する際には、A, B, C, ... などのように大文字の英語の参照子を付して記載し、特に区別しないで説明する際にはこの参照子を割愛して記載する。図面においても同様である。

【0045】

< 第1実施形態：凸レンズの基本 >

図1～図1Bは、光学レンズの第1実施形態の基本原理を説明する図である。ここで図1および図1Aは等位相面を示す図であり、図1Bは第1実施形態の光学レンズの平面模式図である。

50

【 0 0 4 6 】

後述する他の実施形態も含めて、本実施形態の各光学レンズは、基本的には、光軸に対して横方向に、屈折率の大きい矩形の層と小さい矩形の層を交互に配列するとともに、それぞれの幅を波長オーダーまたはそれより小さい幅の構造を有するものとする事でレンズ機能を持たせる。

【 0 0 4 7 】

たとえば、光リソグラフィならびに電子線リソグラフィに代表されるプレーナプロセス技術を利用して形成される、サブ波長の周期構造を有する集光素子 (Subwave length lens : SWLL) の仕組みを利用することで、「波長オーダーまたはそれより小さい幅の構造」を形成できる。

10

【 0 0 4 8 】

SWLLを固体撮像装置用の集光素子に用いることで、一般的な半導体プロセスで、オンチップレンズを形成することができ、また、レンズの形状を自由に制御することができるようになる。

【 0 0 4 9 】

ここで、第1実施形態は、集光効果を持つ凸レンズに関するものである。このため、屈折率の大きい層を、板状に、かつ中心 (レンズの機械的な中心: 本例では光軸位置と一致) が密で中心から離れるに従って疎になる左右対称構造にする。屈折率の小さい層の側面から言えば、各低屈折率層は、部材の機械的な中心では粗に配置され、中心から離れるに従って密になる左右対称構造にする。レンズの左右が対称である (左右対称構造を持つ) 点で、後述する第2あるいは第3実施形態と相違する。

20

【 0 0 5 0 】

中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造とすることで凸レンズ機能を持たせるには、たとえば、屈折率の大きい層の幅がレンズの中心に向かって徐々に大きくなる構造を有するものとする第1の凸レンズ化手法、屈折率の小さい層の幅がレンズの中心に向かって徐々に小さくなる構造を有するものとする第2の凸レンズ化手法、あるいはこれら第1および第2の凸レンズ化手法を併用した第3の凸レンズ化手法の何れかを採用するのがよい。集光効率の面では第3の凸レンズ化手法を適用するのが最も効果的である。

【 0 0 5 1 】

先ず、図1に示すように、屈折率 n_0 のみの板状の単一材層1が存在し、それ (詳しくは位相面 1_4側) に隣接して、屈折率 n_0 の矩形の層 (低屈折率層と称する) 2_0 と屈折率 n_0 よりも高い (大きい) 屈折率 n_1 ($n_1 > n_0$) の矩形の層 (高屈折率層と称する) 2_1 とをそれぞれ横方向に交互に配列した板状の層 (交互配置層と称する) 2_A が設けられているものとする。交互配置層 2_A のさらに後方 (光入射側とは反対側) には、屈折率 n_0 のみの板状の単一材層3が設けられると考えてよい。詳細は後述するが、交互配置層 2_A は、集光効果を持つ光学レンズ (凸レンズ) の機能をなす。

30

【 0 0 5 2 】

交互配置層 2_A においては、光学中心CLに対して右側のものには“R”と参照番号を、左側のものには“L”と参照番号を付して示す。右側と左側の区別をしないときには、“R”、“L”を割愛して説明する。これらは、後述する他の例でも同様である。

40

【 0 0 5 3 】

図示した第1実施形態の基本例の構成では、中心CLに対して左右対称に屈折率の大きい矩形の高屈折率層 2_1 が5層設けられ、その間に屈折率の小さい低屈折率層 2_0 が4層設けられている。高屈折率層 2_1 R_1 ~ 2_1 R_5, 2_1 L_1 ~ 2_1 L_5 の幅は、中心CLに向かって徐々に大きくなる構造を有するとともに、低屈折率層 2_0 R_1 ~ 2_0 R_4, 2_0 L_1 ~ 2_0 L_4 の幅が中心CLに向かって徐々に小さくなる構造を有する。つまり、この第1実施形態の基本例では、前述の第1および第2の凸レンズ化手法を併用した第3の凸レンズ化手法を採用したものである。

【 0 0 5 4 】

交互配置層 2_A は、全体としては、屈折率の大きい高屈折率層 2_1 R_k, 2_1 L_k (本

50

例では $k = 1 \sim 5$) が、板状に、かつ中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造になっている。高屈折率層 1 2 1 に着目すれば、レンズの中心では幅広で周辺では幅狭の構造になっている。

【 0 0 5 5 】

ここで、図 1 に示すように、光が屈折率 n_0 のみの単一材層 1 側から入射したとする。そのとき、光速 c は $c = c_0 / n_1$ となる。ここで c_0 は真空中の光速である。したがって、板状の交互配置層 2 A における高屈折率層 2 1 のそれぞれにおいて、その中では光速が小さくなり、結果として図 1 のように、単一材層 1 と同様の等位相面 (波面) が形成されると考えられる。しかしながら、高い屈折率 n_1 の高屈折率層 2 1 やその横の屈折率の小さい低屈折率層 2 0 の横方向の長さ (つまり幅) が波長オーダーより大きいときにはこれが成り立つ。

10

【 0 0 5 6 】

これに対して、高い屈折率 n_1 の高屈折率層 2 1 やその横の屈折率の小さい低屈折率層 2 0 の横方向の長さ (幅) が波長オーダー程度かまたはそれより短い場合には、単一材層 1 と同様の等位相面 (波面) が形成されず、高屈折率層 2 1 とその横の低屈折率層 2 0 の幅の並び方に応じて波面が湾曲する。

【 0 0 5 7 】

具体的には、波動方程式の連続性により、低屈折率層 2 0_j 内での波面と高屈折率層 2 1_k 内での波面が連続的に繋がり、その結果、全体の等位相面が湾曲する。図 1 に示したように、屈折率の大きい高屈折率層 2 1_k が、板状に、かつ中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造を持つ場合、図 1 A に示すようになる。屈折率が大きい所 (高屈折率層 2 1) と小さい所 (低屈折率層 2 0) の光速が異なることが原因である。

20

【 0 0 5 8 】

図から判るように、光の波面が交互配置層 2 A によって凹面になり、それがさらに後方の屈折率 n_0 のみの板状の単一材層 3 を通過していく。結果として、図示のように、レンズ中心を境に左右では中心側に入射光の経路を変換する機能が働き、集光性を持たせることができる。屈折率が大きい高屈折率層 2 1 と小さい低屈折率層 2 0 の光速が異なることと、波動関数の連続性を組み合わせることで、凸レンズ効果を楽しむことができるようになる。

【 0 0 5 9 】

以上から理解されるように、第 1 実施形態の光学レンズは、屈折率の大きい高屈折率層 2 1_k と、屈折率の小さい低屈折率層 2 0_j とを矩形状で横方向に交互に配列するとともに、その幅を波長オーダーまたはそれより小さい幅の構造を有するものとし、この際に、屈折率の大きい高屈折率層 2 1_k を中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造を持つようにすることで、集光性を持つ凸レンズとして機能させることができる。

30

【 0 0 6 0 】

高い屈折率 n_1 の高屈折率層 2 1 とその横の屈折率の小さい低屈折率層 2 0 の幅の並び方に応じて波面が湾曲するのであるから、それぞれの幅の並び方を調整することで光の波面の湾曲具合を制御することができ、結果として、凸レンズの集光性を制御することができる。つまり、第 1 実施形態の交互配置層 2 A は、波面制御の仕組みを利用した集光レンズ (つまり凸レンズ) であると考えられることができる。

40

【 0 0 6 1 】

図 1 A に示す構造から明らかなように、そのレンズ厚は、屈折率の大きい矩形状の高屈折率層 2 1_k と屈折率の小さい矩形状の低屈折率層 2 0_j を横方向に交互に配列した交互配置層 2 A の厚さであるから、極めて薄い凸レンズにすることができる。たとえば、従来のスネル則を利用した屈折型レンズ構造では $1 \mu\text{m}$ 以上となってしまうものが、本実施形態の仕組みの光学レンズとすることで、 $0.5 \mu\text{m}$ 以下までレンズを薄くできる。

【 0 0 6 2 】

レンズ厚を薄くできれば、固体撮像装置に適用する場合、上層が薄くなることによって、混色が減るので色再現性がよくなる。また、混色が減るので色再現性を回復させるための演算処理が不要となり、演算処理による余分なノイズ発生も少なくなる。また、レンズ

50

厚が薄いので、外付けの結像系レンズのF値を小さくする場合でも斜め入射光が増えることはなく、F値光感度低下の問題が起きない。

【0063】

交互配置層2Aは、平面構造においても、当然に、中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造になっていればよく、その限りにおいて、様々な平面構造を採ることができる。屈折率の大きい高屈折率層2_{1_k}と屈折率の小さい低屈折率層2_{0_j}のそれぞれの形状は、円形、楕円形、正方形、長方形、三角形など、任意の形状とすることができる。そして、これらの同一と見なし得る形状のものを環状とするものや、異なった形状のものを組み合わせて、各リングの幅が上下左右で同一となるように環状とすればよい。

【0064】

たとえば、図1B(1)に示すように、高屈折率層2_{1_k}と低屈折率層2_{0_j}のそれぞれが円形または円形リング形状の、全体として環状となったものでもよい。図1B(2)に示すように、高屈折率層2_{1_k}と低屈折率層2_{0_j}のそれぞれが楕円または楕円形リング形状の、全体として環状となったものでもよい。図1B(3)に示すように、高屈折率層2_{1_k}と低屈折率層2_{0_j}のそれぞれが正方形または正方リング形状の、全体として環状となったものでもよい。図1B(4)に示すように、高屈折率層2_{1_k}と低屈折率層2_{0_j}のそれぞれが長方形または長方リング形状の、全体として環状となったものでもよい。

【0065】

図示を割愛するが、高屈折率層2_{1_k}と低屈折率層2_{0_j}のそれぞれが三角形または三角リング形状の、全体として環状となったものでもよい。また、図示を割愛するが、たとえば、中心では円形または円形リング形状のものとし、外周では四角リング形状とするなど、中心側と外周側とで異なった形状のものを使用して、それらを組み合わせて、全体として環状となるようにしてもよい。

【0066】

ただし、凸レンズとしての集光効果は交互配置層2Aの平面構造、すなわち高屈折率層2₁と低屈折率層2₀の並び方の平面構造の影響を受けるので、固体撮像素子に応用する場合には、図1Bに例示した平面構造、特に中心部の高屈折率層2_{1_1}の形状は、受光部の平面形状に整合させるのがよい。

【0067】

<第1実施形態：凸レンズの適用例1>

図2～図2Dは、光学レンズの第1実施形態を適用した固体撮像装置の第1例(適用例1)を説明する図である。ここで図2は適用例1の固体撮像装置の断面模式図であり、図2Aは、第1実施形態(適用例1)の固体撮像装置のより具体的な断面図であり、図2B～図2Dは、その光学特性のシミュレーション結果を示す図である。

【0068】

第1実施形態(適用例1)の固体撮像装置100Aは、屈折率 n_3 が4.1で消衰係数(光の吸収と関連がある係数) k が0.04のシリコンSi_iでなる半導体基板(以下シリコン基板とも称する)102上に、屈折率 n_1 が2.0のシリコンナイトライドSi₃N₄(以下Si_iNと記す)の薄膜層130(厚さ=0.1μm)を有し、その上層に、図1～図1Bを用いて説明した構造(交互配置層112A)を主要部に持つ光学レンズ110Aを有する。

【0069】

薄膜層130は、シリコン基板102に対する反射防止膜として設けられたものである。これにより、有効に光をフォトダイオードなどの受光部に入射させることが可能となる。たとえば、シリコンSi_iとシリコンナイトライドSi₃N₄と酸化シリコンSiO₂の屈折率をそれぞれ n_{Si} 、 n_{SiN} 、 n_{SiO2} とすると $n_{Si} > n_{SiN} > n_{SiO2}$ となる関係がある。この場合、薄膜層130の厚み d が“ $d = \lambda \times (m/2 + 1/4) / n_{SiN}$ ”の関係になることで、反射防止膜の機能が有効にでてくる。ここで λ は光の波長で、 m は0以上の整数である。

10

20

30

40

50

【0070】

図2Aに示すように、シリコン基板102の光学レンズ110A側の境界近傍（基板表面）には、PN接合でなる光電変換部（受光部）104が所定の画素ピッチで配置される。固体撮像装置100Aは、複数（たとえば数百万個）の光電変換部104を縦横にあるいは斜め方向に規則的に配列してなる画素アレイ部を有する。

【0071】

光学レンズ110Aの光入射面側の上層には、カラーフィルタ106やオンチップレンズ108が必要に応じて設けられる。オンチップレンズ108は、スネル則を利用した屈折型レンズ構造のものである。

【0072】

図2Aに示した例は、上層レンズ（表面レンズ）としてオンチップレンズ108を使用し、層内集光レンズとして光学レンズ110Aの交互配置層112Aを使用する例で示しているが、オンチップレンズ108を交互配置層112Aに置き換えることもできる。この場合、その交互配置層112Aは、デバイス上層内に埋め込まれたものではなく、デバイスの最も上層にレンズ構造として配されたものとなり、その表面は空気と接することになる。

【0073】

オンチップレンズ108は、スネル則を利用した屈折型レンズ構造のものであり、レンズそのものが $1\mu\text{m}$ 程度で厚いため、デバイス上層が厚くなってしまい、斜め入射光による混色の問題が起こり得るが、交互配置層112Aに置き換えることでその問題を軽減できる。

【0074】

図2Aに示した例は、画素アレイ部の周辺部の状態を示したもので、オンチップレンズ108を通過した斜め入射光が交互配置層112Aの中心を通るように、オンチップレンズ108の中心と光学レンズ110Aの1周期分の交互配置層112Aの中心とをずらして配置している。画素アレイ部の中央部では、その必要がなく、オンチップレンズ108の中心と光学レンズ110Aの1周期分の交互配置層112Aの中心とを一致させて配置する。

【0075】

詳細な説明は割愛するが、交互配置層112Aとシリコン基板102の表面（薄膜層130側）との間には、配線層109が設けられる。配線層109では、各光電変換部104の電荷蓄積動作や信号読出し動作を制御するためのアルミニウム配線が、光電変換部104への光路を妨げないように設けられる。

【0076】

光学レンズ110Aは、屈折率 n_1 が1.46の酸化シリコン SiO_2 の厚みのある層（酸化シリコン層と称する）を媒質として有し、その光入射側の表面近傍に、図1～図1Bを用いて説明した交互配置層2Aと同様の構造の交互配置層112Aを有する。交互配置層112Aよりも光入射側が、図1～図1Bを用いて説明した単一材層1と同様の単一材層111となり、交互配置層112Aよりもシリコン基板102側が、図1～図1Bを用いて説明した単一材層3と同じ単一材層113となる。

【0077】

光学レンズ110Aの1周期（つまりレンズサイズ）を画素サイズ（＝画素ピッチ） $3.6\mu\text{m}$ に整合させる。シリコン基板102の表面、すなわちシリコン基板102と薄膜層130との境界面から交互配置層112Aまでの距離（厚さ：実質的なレンズ長）を $3.6\mu\text{m}$ 、交互配置層112Aの厚さ（実質的なレンズ厚）を $0.5\mu\text{m}$ とする。これからも判るように、高屈折率層21_kと低屈折率層20_jが交互に配列されて構成されている交互配置層112Aは、光学長（レンズ長）に比べて十分に薄く設定されている。

【0078】

交互配置層112Aは、屈折率 n_0 が1.46の酸化シリコン SiO_2 の矩形状の低屈折率層120と、屈折率 n_1 が2.0のシリコンナイトライド Si_3N_4 の矩形状の高屈折率

10

20

30

40

50

層 1 2 1 とを、高屈折率層 1 2 1 の幅がレンズの中心に向かって徐々に大きくなるとともに、低屈折率層 1 2 0 の幅がレンズの中心に向かって徐々に小さくなるように配置することで、高屈折率層 1 2 1 を、板状に、かつ中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造にしている。

【 0 0 7 9 】

第 1 実施形態（適用例 1）において、1 周期内における交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0_j と高屈折率層 1 2 1_k（何れも図示せず）の幅や境界距離（本例では隣接する低屈折率層 1 2 0 R₅，1 2 0 L₅ の合成幅）は以下のように設定する。

【 0 0 8 0 】

高屈折率層 1 2 1 R₁ + 高屈折率層 1 2 1 L₁ : 0 . 4 5 μ m

10

高屈折率層 1 2 1 R₂，高屈折率層 1 2 1 L₂ : 0 . 2 5 μ m

高屈折率層 1 2 1 R₃，高屈折率層 1 2 1 L₃ : 0 . 2 0 μ m

高屈折率層 1 2 1 R₄，高屈折率層 1 2 1 L₄ : 0 . 1 5 μ m

高屈折率層 1 2 1 R₅，高屈折率層 1 2 1 L₅ : 0 . 1 0 μ m

低屈折率層 1 2 0 R₁，低屈折率層 1 2 0 L₁ : 0 . 1 0 μ m

低屈折率層 1 2 0 R₂，低屈折率層 1 2 0 L₂ : 0 . 1 5 μ m

低屈折率層 1 2 0 R₃，低屈折率層 1 2 0 L₃ : 0 . 2 0 μ m

低屈折率層 1 2 0 R₄，低屈折率層 1 2 0 L₄ : 0 . 2 2 5 μ m

低屈折率層 1 2 0 R₅ + 低屈折率層 1 2 0 L₅ : 0 . 4 0 μ m

【 0 0 8 1 】

20

図から判るように、光学レンズ 1 1 0 A の交互配置層 1 1 2 A は、屈折率が 1 . 4 6 の酸化シリコン SiO₂ の低屈折率層 1 2 0 と屈折率が 2 . 0 のシリコンナイトライド SiN の高屈折率層 1 2 1 の周期構造によって入射光を湾曲させる SWLL 構造の集光素子となっている。本例では、シリコンナイトライド SiN および酸化シリコン SiO₂ の周期構造を持つ交互配置層 1 1 2 A は、低屈折率層 1 2 0 および高屈折率層 1 2 1 の何れも、横方向の最小線幅を 0 . 1 μ m、レンズの厚みを 0 . 5 μ m としている。

【 0 0 8 2 】

図 2 B は、図 2 に示した光学レンズ 1 1 0 A を通過する波長 λ が 5 4 0 n m の緑色光に関してのシミュレーション結果を示す。図中、c T は、光速 c に時間 T を掛けたもので、光が真空中を進んだ距離（単位 μ m）を表す。ここでは、シミュレーションに掛った時間と捉えてもよい。

30

【 0 0 8 3 】

先ず図 2 B (1) は、図 2 に示した光学レンズ 1 1 0 A の交互配置層 1 1 2 A を通過した直後のシミュレーション結果である。この結果から、交互配置層 1 1 2 A を通過した緑色光のフロント（シリコン基板 1 0 2 側）の波面が凹面になっていることが判る。

【 0 0 8 4 】

図 2 B (2) は、交互配置層 1 1 2 A を通過し、さらにシリコン基板 1 0 2（つまり光電変換素子）の表面にほぼ到達したときのシミュレーション結果である。この結果から、各光学レンズ 1 1 0 A の中心に緑色光が集光しており、緑色光（λ = 5 4 0 n m）に関して凸レンズ効果があるのが判る。図示を割愛するが、近赤外光（λ = 7 8 0 n m）、赤色光（λ = 6 4 0 n m）、青色光（λ = 4 6 0 n m）についても、同様にレンズ効果がある。

40

【 0 0 8 5 】

図 2 C および図 2 D は、図 2 に示した第 1 実施形態（適用例 1）の光学レンズ 1 1 0 A と同様の構造を持つ光学レンズを適用した第 1 実施形態（適用例 1）の固体撮像装置 1 0 0 A に関してのシミュレーション結果を示す図であり、それぞれ近赤外光（λ = 7 8 0 n m）、赤色光（λ = 6 4 0 n m）、緑色光（λ = 5 4 0 n m）、青色光（λ = 4 6 0 n m）の結果である。これらからも判るように、何れの波長の光も、光学レンズ 1 1 0 A により集光されていて、凸レンズ効果がある。

【 0 0 8 6 】

50

< 第 1 実施形態：凸レンズの適用例 2 >

図 3 ~ 図 3 B は、光学レンズの第 1 実施形態を適用した固体撮像装置の第 2 例（適用例 2）を説明する図である。ここで図 3 は第 1 実施形態（適用例 2）の固体撮像装置の断面模式図であり、図 3 A および図 3 B は、その光学特性のシミュレーション結果を示す図である。

【 0 0 8 7 】

第 1 実施形態（適用例 2）の固体撮像装置 1 0 0 A は、基本的には、第 1 実施形態（適用例 1）の固体撮像装置 1 0 0 A と同様の構造にしつつ、横方向の最小線幅を $0.1 \mu\text{m}$ ではなく、 $0.2 \mu\text{m}$ としたものである。この横方向の最小線幅の変更に伴い、交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0_j と高屈折率層 1 2 1_k の各数や幅や境界距離を調整する。

10

【 0 0 8 8 】

具体的には、第 1 実施形態（適用例 2）において、光学レンズ 1 1 0 A の 1 周期内における交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0_j と高屈折率層 1 2 1_k（何れも図示せず）の幅や境界距離（本例では隣接する高屈折率層 1 2 1 R₄、1 2 1 L₄ の合成幅）は以下のように設定する。

【 0 0 8 9 】

高屈折率層 1 2 1 R₁ + 高屈折率層 1 2 1 L₁ : $0.75 \mu\text{m}$
 高屈折率層 1 2 1 R₂, 高屈折率層 1 2 1 L₂ : $0.25 \mu\text{m}$
 高屈折率層 1 2 1 R₃, 高屈折率層 1 2 1 L₃ : $0.25 \mu\text{m}$
 高屈折率層 1 2 1 R₄ + 高屈折率層 1 2 1 L₄ : $0.20 \mu\text{m}$
 低屈折率層 1 2 0 R₁, 低屈折率層 1 2 0 L₁ : $0.20 \mu\text{m}$
 低屈折率層 1 2 0 R₂, 低屈折率層 1 2 0 L₂ : $0.25 \mu\text{m}$
 低屈折率層 1 2 0 R₃, 低屈折率層 1 2 0 L₃ : $0.375 \mu\text{m}$

20

【 0 0 9 0 】

図 3 A および図 3 B は、図 3 に示した第 1 実施形態（適用例 2）の光学特性のシミュレーション結果を示す図であり、それぞれ近赤外光（ $\lambda = 780 \text{nm}$ ）、赤色光（ $\lambda = 640 \text{nm}$ ）、緑色光（ $\lambda = 540 \text{nm}$ ）、青色光（ $\lambda = 460 \text{nm}$ ）の結果である。

【 0 0 9 1 】

これらからも判るように、横方向の最小線幅を $0.1 \mu\text{m}$ から $0.2 \mu\text{m}$ と変更する場合でも、交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0_j と高屈折率層 1 2 1_k の各数や幅や境界距離を適正に設定することで、何れの波長の光も、交互配置層 1 1 2 A により集光でき、凸レンズ効果がある。

30

【 0 0 9 2 】

< 第 1 実施形態：凸レンズの適用例 3 >

図 4 ~ 図 4 B は、光学レンズの第 1 実施形態を適用した固体撮像装置の第 3 例（適用例 3）を説明する図である。ここで図 4 は第 1 実施形態（適用例 3）の固体撮像装置の断面模式図であり、図 4 A および図 4 B は、その光学特性のシミュレーション結果を示す図である。

【 0 0 9 3 】

第 1 実施形態（適用例 3）の固体撮像装置 1 0 0 A は、基本的には、第 1 実施形態（適用例 1）の固体撮像装置 1 0 0 A と同様の構造にしつつ、交互配置層 1 1 2 A の厚さ（実質的なレンズ厚）を、 $0.5 \mu\text{m}$ ではなく、より薄い $0.3 \mu\text{m}$ としたものである。このレンズ厚の変更に伴い、必要に応じて、交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0_j と高屈折率層 1 2 1_k の各数や幅や境界距離を調整する。本例では、第 1 実施形態（適用例 1）と全く同じにしている。

40

【 0 0 9 4 】

具体的には、第 1 実施形態（適用例 3）において、1 周期内における交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0_j と高屈折率層 1 2 1_k（何れも図示せず）の幅や境界距離（本例では隣接する低屈折率層 1 2 0 R₅、1 2 0 L₅ の合成幅）は以下のように設定する。

50

上述のように、第1実施形態（適用例1）に対して、縦方向の厚み寸法を0.5 μmから0.3 μmに変更しているが、横方向の幅寸法は同じである。

【0095】

高屈折率層121R_1+高屈折率層121L_1:0.45 μm
 高屈折率層121R_2,高屈折率層121L_2:0.25 μm
 高屈折率層121R_3,高屈折率層121L_3:0.20 μm
 高屈折率層121R_4,高屈折率層121L_4:0.15 μm
 高屈折率層121R_5,高屈折率層121L_5:0.10 μm
 低屈折率層120R_1,低屈折率層120L_1:0.10 μm
 低屈折率層120R_2,低屈折率層120L_2:0.15 μm
 低屈折率層120R_3,低屈折率層120L_3:0.20 μm
 低屈折率層120R_4,低屈折率層120L_4:0.225 μm
 低屈折率層120R_5+低屈折率層120L_5:0.40 μm

10

【0096】

図4Aおよび図4Bは、図4に示した第1実施形態（適用例3）の光学特性のシミュレーション結果を示す図であり、それぞれ近赤外光（ $\lambda = 780 \text{ nm}$ ）、赤色光（ $\lambda = 640 \text{ nm}$ ）、緑色光（ $\lambda = 540 \text{ nm}$ ）、青色光（ $\lambda = 460 \text{ nm}$ ）の結果である。

【0097】

これらからも判るように、交互配置層112Aの厚さ（実質的なレンズ厚）を、0.5 μmから0.3 μmと変更する場合でも、交互配置層112A内の低屈折率層120_jと高屈折率層121_kの各数や幅や境界距離を適正に設定することで、何れの波長の光も、交互配置層112Aにより集光でき、凸レンズ効果がある。

20

【0098】

<第1実施形態：凸レンズの適用例4>

図5～図5Cは、光学レンズの第1実施形態を適用した固体撮像装置の第4例（適用例4）を説明する図である。ここで図5は第1実施形態（適用例4）の固体撮像装置の断面模式図であり、図5Aは、より具体的な断面図であり、図5Bおよび図5Cは、その光学特性のシミュレーション結果を示す図である。

【0099】

第1実施形態（適用例4）の固体撮像装置100Aは、基本的には、第1実施形態（適用例1）の固体撮像装置100Aと同様の構造にしつつ、画素サイズまたはレンズサイズを3.6 μmではなく、より小さくして1.4 μmとしたものである。この画素サイズまたはレンズサイズの変更に伴い、シリコン基板102と薄膜層130との境界面から交互配置層112Aまでの距離（厚さ：実質的なレンズ長）および交互配置層112Aの厚さ（実質的なレンズ厚）、並びに、交互配置層112A内の低屈折率層120_jと高屈折率層121_kの各数や幅や境界距離を調整する。

30

【0100】

具体的には、第1実施形態（適用例4）において、先ず、交互配置層112Aの厚さ（実質的なレンズ厚）を0.5 μmとする。光学レンズ110Aの1周期（つまりレンズサイズ）を画素サイズ（=画素ピッチ）1.4 μmに整合させる。

40

【0101】

光学レンズ110Aの1周期内における交互配置層112A内の低屈折率層120_jと高屈折率層121_k（何れも図示せず）の幅や境界距離（本例では隣接する低屈折率層120R_3,120L_3の合成幅）は以下のように設定する。

【0102】

高屈折率層121R_1+高屈折率層121L_1:0.25 μm
 高屈折率層121R_2,高屈折率層121L_2:0.15 μm
 高屈折率層121R_3,高屈折率層121L_3:0.10 μm
 低屈折率層120R_1,低屈折率層120L_1:0.10 μm
 低屈折率層120R_2,低屈折率層120L_2:0.13 μm

50

低屈折率層 1 2 0 R_3 + 低屈折率層 1 2 0 L_3 : 0 . 1 9 μ m

【 0 1 0 3 】

また、光学レンズ 1 1 0 A の主要部をなす交互配置層 1 1 2 A のシリコンナイトライド Si N なる各高屈折率層 1 2 1 _k の上下には、各高屈折率層 1 2 1 _k と同幅で、屈折率 n₄ が 1 . 7 の Si O N の薄膜 (厚さ = 0 . 0 8 μ m) を反射防止膜 1 2 4 としてを付ける。反射防止膜 1 2 4 は、シリコンナイトライド Si N と酸化シリコン Si O₂ の間の中間的な屈折率材料 (本例では屈折率が 1 . 7 の Si O N) の薄膜で、反射による光学的なロスを少なくするためのものである。

【 0 1 0 4 】

反射防止膜 1 2 4 は、薄膜であり、その厚さや幅に関わらず、付けても付けなくても、交互配置層 1 1 2 A のレンズ効果そのものには影響を与えない。もちろん、反射防止膜 1 2 4 は、この第 1 実施形態 (適用例 4) だけでなく、第 1 実施形態の適用例 1 ~ 3 にも付けることができる。

【 0 1 0 5 】

反射防止膜 1 2 4 を付ける場合のレンズ長は、シリコン基板 1 0 2 と薄膜層 1 3 0 との境界面から反射防止膜 1 2 4 までの距離であり、本例では 2 . 3 μ m に設定する。

【 0 1 0 6 】

図 5 B および図 5 C は、図 5 に示した第 1 実施形態 (適用例 4) の光学特性のシミュレーション結果を示す図であり、それぞれ近赤外光 (λ = 7 8 0 n m) 、赤色光 (λ = 6 4 0 n m) 、緑色光 (λ = 5 4 0 n m) 、青色光 (λ = 4 6 0 n m) の結果である。

【 0 1 0 7 】

これらからも判るように、画素サイズやレンズサイズを 3 . 6 μ m から 1 . 4 μ m と変更する場合でも、レンズ長や、交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0 _j と高屈折率層 1 2 1 _k の各数や幅や境界距離を適正に設定することで、何れの波長の光も、交互配置層 1 1 2 A により集光でき、凸レンズ効果がある。

【 0 1 0 8 】

< 第 1 比較例 >

図 6 は、第 1 実施形態の光学レンズ 1 1 0 A が備える交互配置層 1 1 2 A (単体としての交互配置層 2 A も) による凸レンズに対する第 1 比較例を説明する図である。

【 0 1 0 9 】

第 1 比較例の固体撮像装置 1 0 0 A は、シリコン基板 1 0 2 上に配線層 1 0 9 を有し、その配線層 1 0 9 の上層に層内集光レンズ 1 0 5 を有し、その層内集光レンズ 1 0 5 の上層にカラーフィルタ 1 0 6 およびオンチップレンズ 1 0 8 を有する。

【 0 1 1 0 】

層内集光レンズ 1 0 5 およびオンチップレンズ 1 0 8 は、何れもスネル則を利用した屈折型レンズ構造のものである。このため、レンズそのものが 1 μ m 程度で厚く、シリコン基板 1 0 2 の光入射側であるデバイス上層が厚くなってしまふ。これによって、隣の画素からの好ましくない斜め入射光が増加して、この斜め入射光による混色が増加して色再現性が悪くなる。

【 0 1 1 1 】

色再現性を回復させるためにマトリックス演算などの演算処理を行なうことも考えられるが、余分なノイズが発生して画質が劣化する。

【 0 1 1 2 】

外付けの結像系レンズの F 値を小さくすると、配線層 1 0 9 のメタル配線によるケラレにより斜め入射光が増えるために、上層が厚くなることによって理想の感度からの低下が顕著になり、本来の感度が取れなくなる F 値光感度低下が生じる。

【 0 1 1 3 】

光電変換部 1 0 4 が 2 次元状に配された画素アレイ部の中心に比べて端部で感度が小さくなるいわゆるシェーディング現象も顕著にもなる。主光線が斜めに入射するためケラレの影響がより大きくなるなどのためである。

10

20

30

40

50

【0114】

斜めに入射した光を垂直入射光に補正できるように各レンズを横方向に変形した非対称なレンズ形状にすることも考えられる。しかしながら、製造プロセスの面では、たとえばリフローで各レンズを作製すると、重力や表面張力の影響を受けるので、球面形状しか作製できない。換言すれば、リフローで球面レンズを作製するので、横方向に変形した構造のレンズを作製することはできず、斜めに入射した光を垂直入射光に補正できるようなレンズを作製することができない。

【0115】

これに対して、第1実施形態の各光学レンズ110Aは、交互配置層112Aを主要部として構成されており、集光効果を持つ凸レンズの機能を、極めて薄いレンズで実現することができる。これにより、デバイスの上層を薄くでき、混色が減るので色再現性がよくなるとともに、演算処理による余分なノイズ発生も少なくなる。またF値光感度低下も小さくなる。

10

【0116】

さらに、光学レンズ110Aの主要部なす交互配置層112Aは、低屈折率層120と高屈折率層121とを所定の幅で交互に配列した構造のものであり、リソグラフィ技術やRIE(Reactive Ion Etching)法などの単純で簡便な加工技術だけで作製できるために(詳細は後述する)、作製の工程が簡便でコストが低く抑えられる。

【0117】

また、適用例1~4で示したことから理解されるように、交互配置層112Aによる凸レンズ効果は、矩形状の各低屈折率層120および各高屈折率層121の幅や配列数を調整することで適宜変更が可能であり、球面レンズに比べて光学的に設計の幅が広がる。

20

【0118】

<第2比較例>

図6Aは、第1実施形態の光学レンズ110Aが備える交互配置層112A(単体としての交互配置層2Aも)による凸レンズに対する第2比較例を説明する図である。

【0119】

第2比較例の固体撮像装置100Aは、特開2005-011969号公報に記載されているものである。簡単に言えば、オンチップレンズなどの上部レンズで収束された光をさらに収束させて対応する光電変換部に入射させる層内集光レンズを、フレネルレンズをベースとして構成しているものである。

30

【0120】

詳しくは、屈折型レンズであるが、波型にすることでレンズを薄くできるようにしている。しかしながら、このレンズは屈折型であるために波長オーダーより薄くするのに限度がある。また、このような波型を作製するのは通常の屈折型レンズの工程よりもさらに複雑な工程となり、コストもさらにかかる。また、球面でしかレンズが作製できず、非対称性を入れることができない。

【0121】

加えて、フレネルレンズの場合、ある領域に斜め入射した光において本来集光するポイントに集まらないことがある。たとえば図6Aにおいて、実線のようにレンズの曲面部に光が入射した場合には集光するが、点線のように段差の壁に光が入射すると、壁で反射したり屈折したりすることで、図のように集光せずに発散することになる。このことは、集光効率が低下してしまう上に、発散した光が隣の画素に入射した場合には混色の原因になる。

40

【0122】

<第3比較例>

図6Bは、第1実施形態の光学レンズ110Aが備える交互配置層112A(単体としての交互配置層2Aも)による凸レンズに対する第3比較例を説明する図である。

【0123】

第3比較例の固体撮像装置100Aは、特開2006-351972号公報に記載され

50

ているものである。集光素子（つまり凸レンズ）を、入射光の波長と同程度かそれより短い線幅で分割された同心構造の複数のゾーン領域の組み合わせによって構成されたものとしている。ここで、複数のゾーン領域のうち少なくとも1のゾーン領域は、第1線幅および第1膜厚の同心構造の下段光透過膜と、下段光透過膜の上位に構成される第2線幅および第2膜厚の同心構造の上段光透過膜とを含む。簡単に言えば、2段同心円構造の分布屈折率レンズ（つまりフレネルレンズ）をベースとして集光素子を構成している。

【0124】

よって、特開2006-351972号公報に記載されている第3比較例の集光素子（凸レンズ）は屈折率レンズとなっているが、フレネルレンズをベースとしているので、特開2005-011969号公報に記載されている第2比較例の層内集光レンズと同様なことが生じる。図6Bにそれを示すが、各領域の境界付近の屈折率の段差に斜め入射光が入ると、壁で反射したり屈折したりすることで、図のように集光せずに発散することになる。このことは、集光効率が低下してしまう上に、発散した光が隣の画素に入射した場合には混色の原因になる。

10

【0125】

これに対して、第1実施形態の交互配置層2A（交互配置層112A）では、屈折率の大きい高屈折率層121と屈折率の小さい低屈折率層120が波長オーダー以下で幅が徐々に変化するために、フレネルレンズのような大きい屈折率の段差はなく、斜め入射光に対しても反射や屈折による発散する光は少ない。したがって、集光の劣化が少なく、効率的に光を集めることができる。

20

【0126】

また、第1実施形態の112（交互配置層2A）の製造プロセスの方が、特開2005-011969号公報に記載されている第2比較例の層内集光レンズや特開2006-351972号公報に記載されている第3比較例の集光素子の製造プロセスに比べて簡便である。たとえば、図6Bに示す構造を見ても判るように、2段階にエッチングするために工程数が多くなり、結果としてコストが高くなる。また、このような複雑なエッチングにより再現性や均一性にも影響し、生産バラツキを生じ易くなる。

【0127】

第1実施形態の112（交互配置層2A）では、高屈折率層21（高屈折率層121）と低屈折率層20（低屈折率層120）を交互に横方向に配列したものであるので、基本的には、高屈折率層21（高屈折率層121）の堆積および1回のエッチング、その後の低屈折率層20（低屈折率層120）の堆積並びにリソグラフィ技術やRIE法などの単純で簡便な加工技術だけで済むために工程数は少なく、低コストで、かつ再現性や均一性もよくなる。

30

【0128】

以上のことから判るように、波面制御の仕組みを利用した集光レンズ（つまり凸レンズ）を層内集光レンズ（あるいは表面レンズ）として使用するものと考えることができる第1実施形態の交互配置層2A（交互配置層112A）と、第2比較例（特開2005-011969号公報）の層内集光レンズや第3比較例（特開2006-351972号公報）の集光素子とは、全く原理が異なる。第2比較例の層内集光レンズや第3比較例の集光素子では、第1実施形態の交互配置層2A（交互配置層112A）が持つ効果を享受できない。

40

【0129】

<第4比較例>

図示を割愛するが、特開2005-252391号公報には、屈折率の大きい散乱体を画素内上層に設ける構成（第4比較例と称する）が開示されている。しかしながら、第4比較例の仕組みは、第1実施形態の交互配置層2A（交互配置層112A）のように、屈折率の高い高屈折率層121を、板状に、かつ中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造、具体的には、屈折率の大きい高屈折率層121の幅が、レンズの中心に向かって徐々に大きくなる構造、すなわち中心が幅広で周辺が幅狭の構造にはなっていない。

50

【0130】

加えて、第4比較例の仕組みでは、散乱効果によるローパスフィルター機能やMTF制御機能であってレンズ機能ではない。この点は、第1実施形態の交互配置層2A（交互配置層112A）は、屈折率が大きい高屈折率層21（高屈折率層121）と小さい低屈折率層20（低屈折率層120）の光速が異なることと、波動関数の連続性を組み合わせることで、凸レンズ効果を楽しむものであり、第4比較例の仕組みとは、原理や目的が全く異なる。

【0131】

<第5比較例>

図示を割愛するが、特開2005-203526号公報には、レンズ基板に画素に対応して形成された貫通孔に屈折率分布型レンズを埋め込み、貫通孔の径方向に変化した屈折率を有するものとする構成（第5比較例と称する）が開示されている。しかしながら、第5比較例の仕組みは、貫通孔の径方向すなわち横方向に屈折率分布を徐々に変化させるというもので、屈折率が大きい高屈折率層21（高屈折率層121）と小さい低屈折率層20（低屈折率層120）の光速が異なることと波動関数の連続性を組み合わせた交互配置層2A（交互配置層112A）により凸レンズ効果を楽しむ第1実施形態の仕組みとは、基本的な構造のコンセプトが異なる。

10

【0132】

第5比較例の仕組みでは、屈折率の大きい層と低い層を順々に横方向に堆積させることも同時に述べているが、現実には横方向からのみならず下からも堆積してしまうために、このような構造にはならず、横方向のみに屈折率の異なる多層構造には容易に作製できない。

20

【0133】

これに対して、第1実施形態の112（交互配置層2A）では、高屈折率層21（高屈折率層121）と低屈折率層20（低屈折率層120）を交互に横方向に配列したものであるので、基本的には、高屈折率層21（高屈折率層121）の堆積および1回のエッチング、その後の低屈折率層20（低屈折率層120）の堆積と言った縦方向の多層構造並びにリソグラフィ技術やRIE法などのプロセスでよく、簡便かつ少ない工程数で作製できる利点がある。

【0134】

<第1実施形態：凸レンズの変形例1>

図7および図7Aは、光学レンズの第1実施形態の第1の変形例（変形例1）を説明する図である。ここで図7は変形例1の光学レンズを適用した変形例1の固体撮像装置を説明する断面模式図である。図7Aは、その光学特性のシミュレーション結果（ $\lambda = 540 \text{ nm}$ ）を示す図である。

30

【0135】

第1実施形態の基本例では、中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造とすることで凸レンズ機能を持たせるに当たり、第1および第2の凸レンズ化手法を併用した第3の凸レンズ化手法を採用していたが、変形例1では、屈折率の大きい層（高屈折率層121_k）の幅がレンズの中心に向かって徐々に大きくなる構造を有するものとする第1の凸レンズ化手法のみを適用したものである。屈折率の小さい層（低屈折率層120_j）に関しては全てを等幅にしている。

40

【0136】

シリコン基板102と薄膜層130との境界面から交互配置層112Aまでの距離（厚さ：実質的なレンズ長）を $3.6 \mu\text{m}$ 、交互配置層112Aの厚さ（実質的なレンズ厚）を $0.5 \mu\text{m}$ とする。光学レンズ110Aの1周期（つまりレンズサイズ）を画素サイズ（=画素ピッチ） $3.25 \mu\text{m}$ に整合させる。第1実施形態（適用例1）では、レンズサイズや画素サイズを $3.6 \mu\text{m}$ にしていたのに対して若干の相違がある。画素サイズを前例に対して多少変えているが、これは、高屈折率層121を適度な寸法（ $0.05 \mu\text{m}$ 単位）にしつつ、低屈折率層120も適度な寸法（ $0.05 \mu\text{m}$ 単位）で等幅にする際の調

50

整によるものである。画素サイズを前例とできるだけ同じにしつつ低屈折率層 1 2 0 部分を等幅にすることも可能である。

【 0 1 3 7 】

第 1 実施形態（変形例 1）の固体撮像装置 1 0 0 A は、基本的には、第 1 実施形態（適用例 1）の固体撮像装置 1 0 0 A と同様の構造にしつつ、低屈折率層 1 2 0_jの幅を全て同幅とする変更に伴い、交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0_jと高屈折率層 1 2 1_kの各数や高屈折率層 1 2 1_kの幅や境界距離を調整する。

【 0 1 3 8 】

具体的には、第 1 実施形態（変形例 1）において、1 周期内における交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0_jと高屈折率層 1 2 1_k（何れも図示せず）の幅や境界距離（本例では隣接する低屈折率層 1 2 0 R₄, 1 2 0 L₄の合成幅）は以下のように設定する。

【 0 1 3 9 】

高屈折率層 1 2 1 R₁+ 高屈折率層 1 2 1 L₁: 0 . 6 5 μ m
 高屈折率層 1 2 1 R₂, 高屈折率層 1 2 1 L₂: 0 . 2 5 μ m
 高屈折率層 1 2 1 R₃, 高屈折率層 1 2 1 L₃: 0 . 2 0 μ m
 高屈折率層 1 2 1 R₄, 高屈折率層 1 2 1 L₄: 0 . 1 5 μ m
 低屈折率層 1 2 0 R₁, 低屈折率層 1 2 0 L₁: 0 . 2 0 μ m
 低屈折率層 1 2 0 R₂, 低屈折率層 1 2 0 L₂: 0 . 2 0 μ m
 低屈折率層 1 2 0 R₃, 低屈折率層 1 2 0 L₃: 0 . 2 0 μ m
 低屈折率層 1 2 0 R₄+ 低屈折率層 1 2 0 L₄: 0 . 2 0 μ m

【 0 1 4 0 】

屈折率の小さい低屈折率層 1 2 0_jの幅が 0 . 2 μ m で等幅になっていて、かつ屈折率の大きい高屈折率層 1 2 1_kの幅が 0 . 6 5 μ m , 0 . 2 5 μ m , 0 . 2 μ m , 0 . 1 5 μ m と中心から端に行くほど徐々に小さくなっているのが判る。

【 0 1 4 1 】

図から判るように、第 1 実施形態（変形例 1）においても、光学レンズ 1 1 0 A の交互配置層 1 1 2 A は、屈折率が 1 . 4 6 の酸化シリコン SiO₂ の低屈折率層 1 2 0 と屈折率が 2 . 0 のシリコンナイトライド SiN の高屈折率層 1 2 1 の周期構造によって入射光を湾曲させる SWLL 構造の集光素子となっている。本例では、交互配置層 1 1 2 A は、低屈折率層 1 2 0 の横方向の最小線幅を 0 . 2 0 μ m、高屈折率層 1 2 1 の横方向の最小線幅を 0 . 1 5 μ m、レンズの厚みを 0 . 5 μ m としている。

【 0 1 4 2 】

図 7 A は、図 7 に示した第 1 実施形態（変形例 1）の光学特性のシミュレーション結果を示す図であり、緑色光（ = 5 4 0 n m ）の結果である。これらからも判るように、屈折率の小さい層（低屈折率層 1 2 0_j）に関しては全てを等幅にしつつ、屈折率の大きい高屈折率層 1 2 1 の幅がレンズの中心に向かって徐々に大きくなる構造を有するものとすることでも、交互配置層 1 1 2 A 内の低屈折率層 1 2 0_jと高屈折率層 1 2 1_kの各数や幅や境界距離を適正に設定することで、緑色光（ = 5 4 0 n m ）を、交互配置層 1 1 2 A により集光でき、凸レンズ効果がある。

【 0 1 4 3 】

図示を割愛するが、近赤外光（ = 7 8 0 n m ）、赤色光（ = 6 4 0 n m ）、青色光（ = 4 6 0 n m ）についても、同様に凸レンズ効果がある。

【 0 1 4 4 】

このように、屈折率が小さな低屈折率層 1 2 0_jが等幅でも、屈折率の大きい高屈折率層 1 2 1_kの幅がレンズの中心に向かって徐々に大きくなる構造を有する第 1 実施形態（変形例 1）とすることで、屈折率の高い高屈折率層 1 2 1_kを、板状に、かつ中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造にすることができ、第 1 実施形態（基本例およびその適用例 1 ~ 4）と同様に、集光性が存在することが判る。

【 0 1 4 5 】

第 1 実施形態（変形例 1）の構成では、レンズ作製が容易になる効果がある。すなわち

10

20

30

40

50

、低屈折率層 120 を埋め込むプロセス工程で、リソグラフの分解能が不十分で埋め込み幅を狭くできなかつたり、埋め込み幅を狭くするとボイドなどが発生して埋め込み性が悪くなつたりして困難な場合、リソグラフや埋め込み可能な幅で変形例 1 のように等幅にすることで作製が可能となる。特に、この埋め込み可能な幅が波長オーダーぎりぎり以上幅を広げると等位相面（波面）の連続性が失われるときに有効な手段となる。

【0146】

< 第 1 実施形態：凸レンズの変形例 2 >

図 8 および図 8 A は、光学レンズの第 1 実施形態の第 2 の変形例（変形例 2）を説明する図である。ここで図 8 は変形例 2 の光学レンズを適用した変形例 2 の固体撮像装置を説明する断面模式図である。図 8 A は、その光学特性のシミュレーション結果（ $\lambda = 540$ nm）を示す図である。

10

【0147】

第 1 実施形態の基本例では、中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造とすることで凸レンズ機能を持たせるに当たり、第 1 および第 2 の凸レンズ化手法を併用した第 3 の凸レンズ化手法を採用していたが、変形例 3 では、屈折率の小さい層（低屈折率層 120_j）の幅がレンズの中心に向かって徐々に小さくなる構造を有するものとする第 2 の凸レンズ化手法のみを適用したものである。屈折率の大きい層（高屈折率層 121_k）に関しては全てを等幅にしている。

【0148】

シリコン基板 102 と薄膜層 130 との境界面から交互配置層 112 A までの距離（厚さ：実質的なレンズ長）を $3.6 \mu\text{m}$ 、交互配置層 112 A の厚さ（実質的なレンズ厚）を $0.5 \mu\text{m}$ とする。光学レンズ 110 A の 1 周期（つまりレンズサイズ）を画素サイズ（=画素ピッチ） $3.85 \mu\text{m}$ に整合させる。第 1 実施形態（適用例 1）では、レンズサイズや画素サイズを $3.6 \mu\text{m}$ にしていたのに対して若干の相違がある。画素サイズを前例に対して多少変えているが、これは、低屈折率層 120 を適度な寸法（ $0.05 \mu\text{m}$ 単位）にしつつ、高屈折率層 121 も適度な寸法（ $0.05 \mu\text{m}$ 単位）で等幅にする際の調整によるものである。画素サイズを前例とできるだけ同じにしつつ高屈折率層 121 部分を等幅にすることも可能である。

20

【0149】

第 1 実施形態（変形例 2）の固体撮像装置 100 A は、基本的には、第 1 実施形態（適用例 1）の固体撮像装置 100 A と同様の構造にしつつ、高屈折率層 121_k を全て同幅とする変更に伴い、交互配置層 112 A 内の低屈折率層 120_j と高屈折率層 121_k の各数や高屈折率層 121_k の幅や境界距離を調整する。

30

【0150】

具体的には、第 1 実施形態（変形例 2）において、1 周期内における交互配置層 112 A 内の低屈折率層 120_j と高屈折率層 121_k（何れも図示せず）の幅や境界距離（本例では隣接する低屈折率層 120_{R_5}、120_{L_5} の合成幅）は以下のように設定する。

【0151】

高屈折率層 121_{R_1} + 高屈折率層 121_{L_1} : $0.15 \mu\text{m}$
 高屈折率層 121_{R_2}, 高屈折率層 121_{L_2} : $0.15 \mu\text{m}$
 高屈折率層 121_{R_3}, 高屈折率層 121_{L_3} : $0.15 \mu\text{m}$
 高屈折率層 121_{R_4}, 高屈折率層 121_{L_4} : $0.15 \mu\text{m}$
 高屈折率層 121_{R_5}, 高屈折率層 121_{L_5} : $0.15 \mu\text{m}$
 低屈折率層 120_{R_1}, 低屈折率層 120_{L_1} : $0.10 \mu\text{m}$
 低屈折率層 120_{R_2}, 低屈折率層 120_{L_2} : $0.20 \mu\text{m}$
 低屈折率層 120_{R_3}, 低屈折率層 120_{L_3} : $0.30 \mu\text{m}$
 低屈折率層 120_{R_4}, 低屈折率層 120_{L_4} : $0.40 \mu\text{m}$
 低屈折率層 120_{R_5} + 低屈折率層 120_{L_5} : $0.50 \mu\text{m}$

40

【0152】

屈折率の大きい高屈折率層 121_k の幅が $0.15 \mu\text{m}$ で等幅になっていて、かつ屈折

50

率の小さい低屈折率層 120_jの幅が 0.10 μm, 0.20 μm, 0.30 μm, 0.40 μm, 0.50 μm と中心から端に行くほど徐々に大きくなっているのが判る。

【0153】

図から判るように、第1実施形態(変形例2)においても、光学レンズ110Aの交互配置層112Aは、屈折率が1.46の酸化シリコンSiO₂の低屈折率層120と屈折率が2.0のシリコンナイトライドSiNの高屈折率層121の周期構造によって入射光を湾曲させるSWLL構造の集光素子となっている。本例では、交互配置層112Aは、高屈折率層121の横方向の最小線幅を0.10 μm、高屈折率層121の横方向の最小線幅を0.15 μm、レンズの厚みを0.5 μmとしている。

【0154】

図8Aは、図8に示した第1実施形態(変形例2)の光学特性のシミュレーション結果を示す図であり、緑色光(λ = 540 nm)の結果である。これらからも判るように、屈折率の大きい層(高屈折率層121_k)に関しては全てを等幅にしつつ、屈折率の小さい低屈折率層120の幅がレンズの中心に向かって徐々に小さくなる構造を有するものとするとしても、交互配置層112A内の低屈折率層120_jと高屈折率層121_kの各数や幅や境界距離を適正に設定することで、緑色光(λ = 540 nm)を、交互配置層112Aにより集光でき、凸レンズ効果がある。

【0155】

図示を割愛するが、近赤外光(λ = 780 nm)、赤色光(λ = 640 nm)、青色光(λ = 460 nm)についても、同様に凸レンズ効果がある。

【0156】

このように、屈折率の大きい高屈折率層121_kが等幅でも、屈折率の小さい低屈折率層120_jの幅がレンズの中心に向かって徐々に小さくなる構造を有する第1実施形態(変形例2)とするとしても、屈折率の高い高屈折率層121_kを、板状に、かつ中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造にすることができ、第1実施形態(基本例およびその適用例1~4)と同様に、集光性が存在することが判る。

【0157】

第1実施形態(変形例2)の構成では、レンズ作製が容易になる効果がある。すなわち、高屈折率層121をリソグラフでエッチングするプロセス工程で、リソグラフの分解能が不十分で狭くできなかつたり、あるいはエッチング工程のときにサイドエッチングなどが発生して幅の制御性が悪くなつたりすることで、狭い幅のリソグラフやエッチング工程が困難な場合、リソグラフやエッチングが可能な幅で変形例2のように等幅にすることで作製が可能となる。特に、リソグラフやエッチングが可能な幅が波長オーダーぎりぎりであればこれ以上幅を広げると等位相面(波面)の連続性が失われるときに有効な手段となる。

【0158】

<第2実施形態：凸型レンズ+斜め入射光補正(別体型)>

図9~図10Cは、光学レンズの第2実施形態の基本原則を説明する図である。ここで図9は、第1実施形態の構造(たとえば図2の適用例1)において、斜め入射光を入射したときのシミュレーション結果を示す図である。図10は光学レンズの第2実施形態の基本原則を説明するための等位相面を示す図である。図10Aは、固体撮像装置100Aの受光光学系を説明する図である。図10Bは第2実施形態の光学レンズの1つ分の平面模式図である。図10Cは、第2実施形態の光学レンズを固体撮像装置の画素アレイ部に適用した場合の平面概略図である。なお、図10Cでは、画素アレイ部全体において各画素の交互配置層によるレンズ形状に関して、代表的な位置のみをピックアップして拡大して示している。

【0159】

第2実施形態のレンズ構造は、斜め入射光入射に対する補正機構を備えるようにした点に特徴を有する。後述する第3実施形態との相違点としては、凸レンズ機能を持つ交互配置層112Aに対して、斜め入射光補正機能を有する光学部材を別体で追加する(別の層に配置する)点である。

10

20

30

40

50

【0160】

第1実施形態の構造（たとえば図2の適用例1）において、斜め入射光を入射したときには、図9に示すように、集光位置がレンズ中心に対して横方向に少しずれることが判る。これは、通常の球面レンズでも生じる現象と共通する。このために、第1実施形態の光学レンズの構成では、イメージセンサにおいては、隣の画素からの望ましくない斜め入射光が入射することによる混色の問題や、画素アレイ部の端部で感度低下が顕著になるシェーディングの問題を引き起こす可能性がある。

【0161】

第2実施形態の光学レンズの構成では、これらの斜め入射光入射に起因する問題を小さくするべく、斜め入射光を垂直入射光にする補正機能を持たせる。その補正機能の仕組みは、図10に示すように、レンズ中心を境に、片側（図示した例では左側）では高い屈折率の高屈折率層21が割合で多く存在し、反対側（図示した例では右側）では割合で少なく存在する点に特徴を有する。当然に、レンズの左右が非対称である点で、前述の第1実施形態と相違する。

【0162】

レンズ中心を境に、片側では高い屈折率の高屈折率層21が割合で多く存在し、反対側では割合で少なく存在する構造とすることで斜め入射光入射に対する補正機能を持たせるには、たとえば、高屈折率層21に着目したとき、光学レンズの1周期（つまりレンズサイズ）において、屈折率の大きい高屈折率層21が一方向に（図示した例では左側に）、幅が徐々に大きくなる構造を有するものとする第1の斜め入射光補正手法を採ることができる。逆に、低屈折率層20に着目したとき、光学レンズの1周期（つまりレンズサイズ）において、屈折率の小さい低屈折率層20が一方向に（図示した例では右側に）、幅が徐々に大きくなる構造を有するものとする第2の斜め入射光補正手法を採ることもできる。さらに、これら第1および第2の斜め入射光補正手法を併用した第3の斜め入射光補正手法を採用することもできる。補正効率の面では第3の斜め入射光補正手法を適用するのが最も効果的である。

【0163】

第2実施形態の光学レンズは、斜め入射光を垂直入射光に変換する機能（入射角変換機能と称する）を持つもので、非対称の重心が、光学レンズの端部（図10では左端の高屈折率層21 L_4の中心）になる点で、後述する第3実施形態と異なる。なお、「重心」の定義については、第3実施形態で説明する。

【0164】

第1の斜め入射光補正手法は、後述する第3実施形態の構成説明を勘案して換言すれば、部材（レンズ：交互配置層2B）の一方の端部側から光学的な重心位置（本例の場合レンズの他方の端部側）に向かって、屈折率の大きい高屈折率層21の幅が徐々に大きくなる構造を有するものとする手法である。同様に、第2の斜め入射光補正手法は、後述する第3実施形態との相違を勘案して換言すれば、部材（レンズ：交互配置層2B）の一方の端部側から光学的な重心位置（本例の場合レンズの他方の端部側）に向かって、屈折率の小さい低屈折率層20の幅が徐々に小さくなる構造を有するものとする手法である。この説明から理解されるように、入射角変換機能の基本的な考え方は、第2および第3実施形態で相違はない。

【0165】

先ず、図10に示すように、光出力側には屈折率 n_0 のみの板状の単一材層1が数層（図では1_1~1_6の6層）存在し、それ（詳しくは層1_6）に隣接して、屈折率 n_0 の矩形状の層（低屈折率層と称する）20と屈折率 n_0 よりも高い（大きい）屈折率 n_1 （ $n_1 > n_0$ ）の矩形状の層（高屈折率層と称する）21とをそれぞれ横方向に交互に配列した板状の層（交互配置層と称する）2Bが設けられているものとする。図示を割愛するが、交互配置層2Bの光入射側には、屈折率 n_0 のみの板状の単一材層が設けられると考えてよい。詳細は後述するが、交互配置層2Bは、斜め入射光を垂直入射光に変換する光学レンズの機能をなす。

10

20

30

40

50

【0166】

図示した第2実施形態の基本例の構成では、中心CLに対して左側では、高い屈折率の高屈折率層21が割合で多く存在し、右側側では割合で少なく存在する構造とするに当たり、左側の高屈折率層21L_1~21L_4の幅は、中心CLに向かって徐々に小さくなる構造を有するとともに、右側の高屈折率層21R_1~21R_4の幅は、中心CLに向かって徐々に大きくなる構造を有し、屈折率の大きい高屈折率層21が右から左にかけて一方向に幅が徐々に大きくなる構造を持つ。

【0167】

加えて、左側の低屈折率層20L_1~20L_3の幅は、中心CLに向かって徐々に大きくなる構造を有するとともに、右側の低屈折率層20R_1~20R_3の幅は、中心CLに向かって徐々に小さくなる構造を有し、屈折率の小さい低屈折率層20_jが右から左にかけて一方向に幅が徐々に小さくなる構造を持つ。

10

【0168】

つまり、この第2実施形態の基本例では、前述の第1および第2の斜め入射光補正手法を併用した第3の斜め入射光補正手法を採用したものである。これにより、図のように、斜め入射光を垂直入射光に変換できることになる。

【0169】

図1Aに示した第1実施形態の交互配置層2Aとの比較においては、交互配置層2Aのレンズ中心を境に、左右の何れか一方(図示した例では右側)のみの構造としたのが第2実施形態の交互配置層2Bに相当することになる。第1実施形態の交互配置層2Aでは、レンズ中心を境に左右では中心側に入射光の経路を変換する機能が働くのであるが、その機能の片側のみを利用したのが第2実施形態の交互配置層2Bと考えることができる。

20

【0170】

このような交互配置層2Bを交互配置層2Aの光入射側あるいは光出射側あるいはその双方に配置して固体撮像装置100Aに適用すれば、凸レンズ機能の集光ポイントを、画素の中心または光電変換部104上に確実にもっていく機能を実現できる。

【0171】

第2実施形態のレンズ構造においては、このような斜め入射光を垂直入射光に変換する入射角変換機能を持つ交互配置層2Bを、集光効果を持つ光学レンズの機能をなす第1実施形態の交互配置層2Aに積層する。その際には、光入射側に交互配置層2Bを配置する構造、すなわち凸レンズ機能を持つ交互配置層2Aの上に入射角変換機能を持つ交互配置層2Bを積層した構造としてもよい。

30

【0172】

あるいは、光入射側に交互配置層2Aを配置する構造、すなわち凸レンズ機能を持つ交互配置層2Aの下に入射角変換機能を持つ交互配置層2Bを積層した構造としてもよい。さらには、光入射側と光出射側の双方に交互配置層2Bを配置する構造、すなわち凸レンズ機能を持つ交互配置層2Aの上下双方に入射角変換機能を持つ交互配置層2Bを積層した構造としてもよい。

【0173】

斜め入射光を垂直入射光に変換できれば、隣の画素からの光が入射する混色の問題や、画素アレイ部の端部で感度低下が顕著になるシェーディングの問題を解決できることになる。

40

【0174】

この効果は、たとえば、固体撮像装置100Aに適用した場合、図10Aに示すように、結像レンズからの主光線が画素アレイ部の端部にいくほど斜め入射になるので、画素アレイ部の中心は斜め補正機能を弱くして、画素アレイ部の端部になるほど補正機能を強くすることでより効果的になる。たとえば、画素アレイ部の端部になるほど、屈折率の大きい高屈折率層21の割合の非対称性を大きくする。

【0175】

図10に示す構造から明らかなように、そのレンズ厚は、屈折率の大きい矩形状の高屈

50

折率層 2 1_kと屈折率の小さい矩形の低屈折率層 2 0_jを横方向に交互に配列した交互配置層 2 Bの厚さであるから、極めて薄い入射角変換レンズ(斜め光補正レンズ)にすることができる。たとえば、0.5 μm以下までレンズを薄くできる。

【0176】

交互配置層 2 Bは、平面構造においても、当然に、レンズ中心を境に、片側では高い屈折率の高屈折率層 2 1が割合で多く存在し、反対側では割合で少なく存在する構造になっていればよく、その限りにおいて、様々な平面構造を採ることができる。

【0177】

たとえば図 1 0 Bに示すように、線状の低屈折率層 2 0および高屈折率層 2 1を、所定幅で片方に寄せて配列した構造でもよい。また、図示を割愛するが、低屈折率層 2 0および高屈折率層 2 1は曲線状のものでよい。

10

【0178】

凸レンズとしての交互配置層 2 Aと組み合わせて固体撮像装置 1 0 0 Aの画素アレイ部に適用する場合、画素アレイ部の中心では斜め入射光入射が問題とならないので交互配置層 2 Bが不要である。これに対して、画素アレイ部の端部に行くほど斜め入射光入射が問題となる。このため、図 1 0 Cに示すように、たとえば、図 1 0 Bに示すような線状の低屈折率層 2 0および高屈折率層 2 1を所定幅で片方に寄せて配列した構造を持つ交互配置層 2 Bを、光軸が画素アレイ部の中心に向くように配置する。

【0179】

この際には、画素アレイ部の端部に行くほど入射角変換機能が強くなるように、画素アレイ部の端部に行くほど低屈折率層 2 0や高屈折率層 2 1の割合の変化具合が強くなるようにする。つまり、画素アレイ部の中心では非対称性が無く、画素アレイ部の端部になるほど非対称性が強くなる構造にするのがよい。

20

【0180】

ここでは、光電変換素子(受光部)が2次元状に配列されている画素アレイ部の場合で示したが、光電変換素子(受光部)が1次元状に配列されている画素アレイ部の場合でも同様である。

【0181】

こうすることで、画素アレイ部の端部に行くほど主光線が斜め入射するのを補正して交互配置層 2 Aによる各凸レンズの集光ポイントを画素中心に持っていくことができる。このようなレンズ形状を固体撮像装置 1 0 0 Bの内部に持つ(つまり固体撮像装置 1 0 0 Bと一体的に形成する)ことで、瞳補正機構を設けなくても画素アレイ部の端部で起こる感度低下(シェーディング)を小さくできるとともに、混色も減らすことができるので、色再現性を改善することができる。

30

【0182】

<第2実施形態：入射角変換機能の適用例>

図 1 1および図 1 1 Aは、光学レンズの第2実施形態を適用した固体撮像装置を説明する図である。ここで図 1 1は入射角変換機能を持つ交互配置層 2 Bを適用した固体撮像装置の断面模式図であり、図 1 1 Aは、その光学特性のシミュレーション結果を示す図である。

40

【0183】

図 1 1に示すように、第2実施形態の固体撮像装置 1 0 0 Bは、図 2に示した第1実施形態の交互配置層 2 Aの適用例1の固体撮像装置 1 0 0 Aをベースとしたもので、凸レンズ機能を持つ交互配置層 1 1 2 Aの光入射側(紙面の下側)に入射角変換機能(斜め補正機能)を持つ交互配置層 1 1 2 Bを配置した光学レンズ 1 1 0 Bを備える。このように、第2実施形態の光学レンズ 1 1 0 Bは、交互配置層 1 1 2 Aによる凸レンズ機能と交互配置層 1 1 2 Bによる斜め補正機能を別々に持たせた構造である。

【0184】

図 1 1に示す交互配置層 1 1 2 Aと交互配置層 1 1 2 Bの配置関係は、紙面の右下側から光が入射する場合で示している。なお、交互配置層 1 1 2 Aによる凸レンズの中心に対

50

して、交互配置層 1 1 2 B による入射角変換レンズ（斜め光補正レンズ）の中心を若干紙面の右側にずらしてある。

【 0 1 8 5 】

第 2 実施形態（適用例）において、光学レンズ 1 1 0 B は、1 周期（画素サイズ = 3 . 6 μm ）内における交互配置層 1 1 2 B 内の低屈折率層 1 2 0 _j と高屈折率層 1 2 1 _k（何れも図示せず）の幅は以下のように設定する。

【 0 1 8 6 】

高屈折率層 1 2 1 R_4 : 0 . 4 5 μm
 高屈折率層 1 2 1 R_3 : 0 . 3 5 μm
 高屈折率層 1 2 1 R_2 : 0 . 2 5 μm
 高屈折率層 1 2 1 R_1 + 高屈折率層 1 2 1 L_1 : 0 . 2 0 μm
 高屈折率層 1 2 1 L_2 : 0 . 1 5 μm
 高屈折率層 1 2 1 L_3 : 0 . 1 1 μm
 高屈折率層 1 2 1 L_4 : 0 . 1 0 μm
 低屈折率層 1 2 0 R_3 : 0 . 1 0 μm
 低屈折率層 1 2 0 R_2 : 0 . 1 2 μm
 低屈折率層 1 2 0 R_1 : 0 . 1 8 5 μm
 低屈折率層 1 2 0 L_1 : 0 . 2 3 5 μm
 低屈折率層 1 2 0 L_2 : 0 . 2 6 0 μm
 低屈折率層 1 2 0 L_3 : 0 . 3 4 5 μm
 低屈折率層 1 2 0 L_4 : 0 . 7 4 5 μm

10

20

【 0 1 8 7 】

図 1 1 A は、図 1 1 に示した第 2 実施形態（適用例）の光学特性のシミュレーション結果を示す図であり、緑色光（ $\lambda = 540 \text{ nm}$ ）の斜め入射光を固体撮像装置 1 0 0 B に入射した結果である。これらからも判るように、レンズ中心を境に、片側では高い屈折率の高屈折率層 1 2 1 が割合で多く存在し、反対側では割合で少なく存在する構造を持つ交互配置層 1 1 2 B を交互配置層 1 1 2 A に重ねて配置することで、緑色光の斜め入射光を交互配置層 1 1 2 A による凸レンズのほぼ中心に集光させることができる。これは入射角変換機能による斜め補正機能が効果的に働いていることを意味する。

30

【 0 1 8 8 】

図示を割愛するが、近赤外光（ $\lambda = 780 \text{ nm}$ ）、赤色光（ $\lambda = 640 \text{ nm}$ ）、青色光（ $\lambda = 460 \text{ nm}$ ）についても、同様に、斜め入射光を交互配置層 2 A による凸レンズのほぼ中心に集光させる斜め補正機能効果がある。

【 0 1 8 9 】

交互配置層 1 1 2 A による凸レンズ機能と交互配置層 1 1 2 B による入射角変換機能（斜め補正機能）を持つ固体撮像装置 1 0 0 B とすることで、斜め入射光を垂直入射光に変換することができ、シェーディングや混色の低減にもなり高画質が達成できる。

【 0 1 9 0 】

< 第 3 実施形態：凸型レンズ + 斜め入射光補正（一体型） >

図 1 2 ~ 図 1 2 C は、光学レンズの第 3 実施形態の基本原則を説明する図である。ここで図 1 2 は光学レンズの第 3 実施形態の基本原則を説明するための等位相面を示す図である。図 1 2 A はレンズの重心を説明する図であり、図 1 2 B および図 1 2 C は光学レンズの第 3 実施形態の平面模式図である。

40

【 0 1 9 1 】

第 3 実施形態のレンズ構造は、斜め入射光入射に対する補正機構を備えるようにした点に特徴を有し、この点においては第 2 実施形態と共通する。前述の第 2 実施形態との相違点としては、凸レンズ機能と斜め入射光補正機能の両者を兼ね備えた交互配置層とする点である。

【 0 1 9 2 】

図 1 2 に示すように、第 3 実施形態の交互配置層 2 C の基本的な考え方は、屈折率の大

50

きい層が、板状に、かつ中心が密で中心から離れるに従って疎になる左右対称構造を持つ第1実施形態の交互配置層2Aをベースとして、レンズ中心を境に、片側では高い屈折率の高屈折率層が割合で多く存在し、反対側では割合で少なく存在する左右非対称構造を持つ第2実施形態の交互配置層2Bの仕組みを適用したものである。

【0193】

つまり、第3実施形態の交互配置層2Cは、幅が波長オーダーまたはそれより小さい幅の屈折率の大きい層が、板状に、かつ中心が密で中心から離れるに従って疎になる構造を持つとともに、レンズ中心に対して横方向で非対称構造を有することで、凸レンズ機能と入射角変換機能（斜め入射光補正機能）を同時に持つ点に特徴を有する。

【0194】

重心の左右どちらから見ても、非対称の重心に向かって、屈折率の大きい高屈折率層21の幅が徐々に大きくなる構造を有する。また、非対称の重心に向かって、屈折率の小さい低屈折率層20の幅が徐々に小さくなる構造を有する。第1実施形態との相違は、レンズの重心に対して、左右の一方では低屈折率層20と高屈折率層21の配列が粗であり、他方側では密になる点である。

【0195】

左右対称構造を持つ交互配置層2Aに対して左右非対称構造を適用するには、たとえば、部材（レンズ：交互配置層2C）の一方の端部側から光学的な重心位置に向かって、屈折率の大きい高屈折率層21の幅が徐々に大きくなる構造を有するものとする、すなわち屈折率の大きい高屈折率層21の幅が非対称の重心に向かって徐々に大きくなる構造を有するものとする第1の非対称化手法を採用することができる。

【0196】

あるいは、部材（レンズ：交互配置層2C）の一方の端部側から光学的な重心位置に向かって、屈折率の小さい低屈折率層20の幅が徐々に小さくなる構造を有するものとする、すなわち屈折率の小さい低屈折率層20の幅が非対称の重心に向かって徐々に小さくなる構造を有するものとする第2の非対称化手法を採用することもできる。あるいはこれら第1および第2の非対称化手法を併用した第3の非対称化手法を採用することもできる。非対称化の効率の面では第3の非対称化手法を適用するのが最も効果的である。

【0197】

ここで、「重心」について、図12Aを参照して説明する。画素マトリクス内または一定エリア面内において、屈折率の大きい高屈折率層21の屈折率を n_1 、屈折率の小さい低屈折率層20の屈折率を n_0 とする。平面内の (x, y) 座標において、下記の式(1)が成り立つ場合、その (x_1, y_1) の位置を光学的な重心と定義する。

【0198】

【数1】

$$\iint_D (x_1 - x)(y_1 - y) f(x, y) dx dy = 0 \quad \dots(1)$$

【0199】

これは、重心の位置において、周囲の屈折率の1次モーメントの積分が0であることを意味する。図12Aは1次元の場合の重心の位置の概念図を示すが、実際には2次元となるので、 (x, y) 座標となり、同時に (x, y) の積分が0になる条件を満たす位置が2次元における重心となる。

【0200】

第1実施形態の場合には、屈折率の大きい高屈折率層21が、中心が密で中心から離れるに従って疎になる左右対称構造を持つのでレンズの機械的な中心と重心とが一致する。第2実施形態の場合には、左右対称構造を持つ第1実施形態の左右何れか一方のみを使用したものと考えればよく、重心が、光学レンズの端部になる。つまり、非対称の重心となる。

10

20

30

40

50

【0201】

これに対して、第3実施形態の場合には、左右対称構造を持つ第1実施形態に対して第2実施形態を適用して屈折率の高い高屈折率層21の割合が左右で非対称となるようにしているので、レンズの機械的な中心に対して重心がズレ、非対称の重心となる。このことは、図12Bや図12Cに示す平面模式図からも明らかである。

【0202】

すなわち、第3実施形態の交互配置層2Cは、平面構造においても、当然に、第1実施形態に対して第2実施形態を適用した構造をなす。たとえば、第1実施形態の交互配置層2Aと同様に環状構造を持つものとする場合であれば、屈折率の大きい高屈折率層21_kと屈折率の小さい低屈折率層20_jのそれぞれの形状は、円形、楕円形、正方形、長方形、三角形など、任意の形状とすることができる。そして、これらの同一と見なし得る形状のものを環状とするものや、異なった形状のものを組み合わせて、各リングの幅が、レンズ中心ではなく重心を境に、左右で段階的に異なるように環状とすればよい。

【0203】

たとえば、図12B(1)は、図1B(1)に対応するもので、高屈折率層21_kと低屈折率層20_jのそれぞれが円形または円形リング形状で、各リングの幅が、レンズ中心を境に、左側では低屈折率層20がレンズ中心に向かって段階的に狭くなり、かつ高屈折率層21が重心に向かって段階的に太くなり、右側では低屈折率層20が重心に向かって段階的に細くなり、かつ高屈折率層21がレンズ中心に向かって段階的に太くなり、かつ左右でその各幅や変化度合いが異なる、非対称な円形または円形リング形状となったものでもよい。

【0204】

図12B(2)は、図1B(2)に対応するもので、非対称な楕円形または楕円形の環状としたものである。図12B(3)は、図1B(3)に対応するもので、非対称な正方形または正方形の環状としたものである。図12B(4)は、図1B(4)に対応するもので、非対称な長方形または長方形の環状としたものである。

【0205】

もちろん、各レンズのトータルの集光効果は交互配置層2Aの平面構造、すなわち高屈折率層21と低屈折率層20の並び方の平面構造の影響を受けるので、固体撮像素子に適用する場合には、図12Bに例示した平面構造、特に重心の高屈折率層21₁の形状は、受光部の平面形状に整合させるのがよい。

【0206】

また、斜め入射光を垂直光に変換する機能は、重心に対して左側および右側の何れでも存在するので、重心に対して左側および右側の何れか一方のみを使用する構造にすることもできる。たとえば、図12C(1)に示すように、図12B(1)に示す平面配置に対して、屈折率の小さい円形状の低屈折率層20_jや屈折率の大きい円形状の高屈折率層21の一部が欠けて環状にならない構造のものでもよい。あるいは、図12C(2)に示すように、図12B(3)に示す平面配置に対して、屈折率の小さい四角形状の低屈折率層20_jや屈折率の大きい四角形状の高屈折率層21_kの一部が欠けて環状にならない構造のものでもよい。

【0207】

固体撮像装置100Cの画素アレイ部に適用する場合、画素アレイ部の中心では斜め入射光入射が問題とならないので斜め光補正効果が不要である。これに対して、画素アレイ部の端部に行くほど斜め入射光入射が問題となる。このため、画素アレイ部の端部に行くほど入射角変換機能が強くなるように、画素アレイ部の端部に行くほど低屈折率層20や高屈折率層21の割合の変化具合が強くなるようにする。

【0208】

つまり、画素アレイ部の中心では非対称性が無く、画素アレイ部の端部になるほど非対称性が強くなる構造にするのがよい。見方を変えれば、画素アレイ部の端部になるほど非対称の重心の位置を画素(光電変換部、受光部)の中心から画素アレイ部の中心方向にず

10

20

30

40

50

らした構造にするのがよい。

【0209】

ここでは、光電変換素子（受光部）が2次元状に配列されている画素アレイ部の場合で示したが、光電変換素子（受光部）が1次元状に配列されている画素アレイ部の場合でも同様である。

【0210】

こうすることで、第2実施形態と同様に、画素アレイ部の端部に行くほど主光線が斜め入射するのを補正して交互配置層2Aによる各凸レンズの集光ポイントを画素中心に持つていくことができる。このようなレンズ形状を固体撮像装置100Cの内部に持つ（つまり固体撮像装置100Cと一体的に形成する）ことで、画素アレイ部の端部で起こる感度低下（シェーディング）を小さくできるとともに、混色も減らすことができるので、色再現性を改善することができる。加えて、凸レンズ効果と斜め光補正効果とを1つの交互配置層2Cで実現することで、構造をコンパクトにすることができる。

10

【0211】

<第3実施形態：凸レンズ機能+入射角変換機能の適用例1>

図13および図13Aは、光学レンズの第3実施形態を適用した固体撮像装置の第1例（適用例1）を説明する図である。ここで図13は第3実施形態（適用例1）の固体撮像装置の断面模式図であり、図13Aは、その光学特性のシミュレーション結果を示す図である。

【0212】

図13に示すように、第3実施形態（適用例1）の固体撮像装置100Cは、画素サイズやレンズサイズが $1.4\mu\text{m}$ であり、図5に示した第1実施形態の交互配置層2Aの適用例4の固体撮像装置100Aをベースとしたものである。

20

【0213】

第3実施形態（適用例）において、光学レンズ110Cは、1周期内における交互配置層112C内の低屈折率層120_jと高屈折率層121_k（何れも図示せず）の幅は以下のように設定する。

【0214】

高屈折率層121R₁+高屈折率層121L₁: $0.25\mu\text{m}$

高屈折率層121R₂: $0.10\mu\text{m}$

高屈折率層121L₂: $0.15\mu\text{m}$

高屈折率層121L₃: $0.10\mu\text{m}$

低屈折率層120R₁: $0.14\mu\text{m}$

低屈折率層120L₁: $0.155\mu\text{m}$

低屈折率層120L₂: $0.195\mu\text{m}$

30

【0215】

また、光学レンズ110Cの主要部をなす交互配置層112CのシリコンナイトライドSiN₄なる各高屈折率層121_kの上下には、各高屈折率層121_kと同幅で、屈折率 n_4 が1.7のSiONの薄膜（厚さ= $0.08\mu\text{m}$ ）を反射防止膜124としてを付ける。この点は、第1実施形態の適用例4と同様である。

40

【0216】

図13Aは、図13に示した第3実施形態（適用例1）の光学特性のシミュレーション結果を示す図であり、緑色光（ $\lambda = 540\text{nm}$ ）の斜め入射光を固体撮像装置100Cに入射した結果である。これらからも判るように、凸レンズ機能を持つ第1実施形態の交互配置層112Aの仕組みと斜め入射角変換機能（光補正機能）を持つ第2実施形態の交互配置層112Bの仕組みとを兼ね備えた1つの交互配置層112Cとする場合であっても、緑色光の斜め入射光を交互配置層112Cによる凸レンズのほぼ中心に集光させることができる。これは入射角変換機能による斜め補正機能が効果的に働いていることを意味する。

【0217】

50

図示を割愛するが、近赤外光（ $\lambda = 780 \text{ nm}$ ）、赤色光（ $\lambda = 640 \text{ nm}$ ）、青色光（ $\lambda = 460 \text{ nm}$ ）についても、同様に、斜め入射光を交互配置層 2 C による凸レンズのほぼ中心に集光させる斜め補正機能効果がある。

【0218】

凸レンズ機能と入射角変換機能（斜め補正機能）を兼ね備えた交互配置層 1 1 2 C を持つ固体撮像装置 1 0 0 C とすることで、斜め入射光を垂直入射光に変換することができ、シェーディングや混色の低減にもなり高画質が達成できる。

【0219】

現在、通常のイメージセンサ用のレンズはリフローで作製するが、表面張力によって必ず球面になるために非対称性を作ることができない。したがって上述のような効果は得られないことになる。

10

【0220】

< 第3実施形態：適用例2（CMOS対応）>

図14および図14Aは、光学レンズの第3実施形態を適用した固体撮像装置の第2例（適用例2）を説明する図である。ここで図14は、第3実施形態（適用例2）の固体撮像装置の回路図である。図14Aは、第3実施形態（適用例2）の固体撮像装置における画素アレイ部上に適用した交互配置層の平面概略図である。なお、図14Aでは、画素アレイ部全体において各画素の交互配置層によるレンズ形状に関して、代表的な位置のみをピックアップして拡大して示している。

【0221】

20

第3実施形態（適用例2）の固体撮像装置は、CMOSセンサに応用したものである。以下、CMOS固体撮像装置201と記す。この場合、画素アレイ部内の1つ1つの画素（特に光電変換素子）に対してセルアンプを1つ持つ構造となる。画素信号はセルアンプで増幅された後にノイズキャンセル回路などを通して出力される。

【0222】

図14(1)に示すように、CMOS固体撮像装置201は、入射光量に応じた信号を出力する受光素子（電荷生成部の一例）を含む複数個の画素211が行および列に配列された（すなわち2次元マトリクス状の）画素アレイ部210を有し、各画素211からの信号出力が電圧信号であって、CDS(Correlated Double Sampling；相関2重サンプリング)処理機能部やデジタル変換部(ADC; Analog Digital Converter)などが列並列

30

【0223】

具体的には、図示のように、CMOS固体撮像装置201は、複数の画素211が行および列に配列された画素アレイ部210と、画素アレイ部210の外側に設けられた駆動制御部207と、カラム処理部226と、出力回路228とを備えている。

【0224】

駆動制御部207は、画素アレイ部210の信号を順次読み出すための制御回路機能を備えている。たとえば、駆動制御部207としては、列アドレスや列走査を制御する水平走査回路（列走査回路）212と、行アドレスや行走査を制御する垂直走査回路（行走査回路）214と、外部との間でのインタフェース機能や内部クロックを生成するなどの機能を持つ通信・タイミング制御部220とを備えている。

40

【0225】

水平走査回路212は、カラム処理部226からカウント値を読み出す読出走査部の機能を持つ。これらの駆動制御部207の各要素は、画素アレイ部210とともに、半導体集積回路製造技術と同様の技術を用いて単結晶シリコンなどの半導体領域に一体的に形成され、半導体システムの一部である固体撮像素子（撮像デバイス）として構成される。

【0226】

図14(1)では、簡単のため行および列の一部を省略して示しているが、現実には、各行や各列には、数十から数千の画素211が配置される。この画素211は、典型的には、受光素子（電荷生成部）などとも称される光電変換素子212と、増幅用の半導体素

50

子（たとえばトランジスタ）を有する画素内アンプ（セルアンプ；画素信号生成部）205とから構成される。画素内アンプ205としては、たとえばフローティングディフュージョンアンプ構成のものが用いられる。

【0227】

画素211は、行選択のための行制御線215を介して垂直走査回路214と、また垂直信号線219を介してカラム処理部226と、それぞれ接続されている。ここで、行制御線215は垂直走査回路214から画素に入る配線全般を示す。

【0228】

水平走査回路212や垂直走査回路214は、たとえばシフトレジスタやデコーダを含んで構成され、通信・タイミング制御部220から与えられる制御信号にตอบสนองしてアドレス選択動作（走査）を開始するようになっている。このため、行制御線215には、画素211を駆動するための種々のパルス信号（たとえば、リセットパルスRST、転送パルスTRF、DRN制御パルスDRNなど）が含まれる。

10

【0229】

通信・タイミング制御部220は、図示しないが、各部の動作に必要なクロックや所定タイミングのパルス信号を供給するタイミングジェネレータTG（読出アドレス制御装置の一例）の機能ブロックと、端子220aを介してマスタークロックCLK0を受け取り、また端子220bを介して動作モードなどを指令するデータDATAを受け取り、さらにCMOS固体撮像装置201の情報を含むデータを端子220cを介して出力する通信インタフェースの機能ブロックとを備える。

20

【0230】

画素211を2次元マトリックス状に配置してあるので、画素内アンプ（画素信号生成部）205により生成され垂直信号線219を介して列方向に出力されるアナログの画素信号を行単位で（列並列で）アクセスし取り込む（垂直）スキャン読みを行ない、この後に、垂直列の並び方向である行方向にアクセスし画素信号（たとえばデジタル化された画素データ）を出力側へ読み出す（水平）スキャン読みを行なうようにすることで、画素信号や画素データの読出しの高速化を図るのがよい。もちろん、スキャン読みに限らず、読み出したい画素211を直接にアドレス指定することで、必要な画素211の情報のみを読み出すランダムアクセスも可能である。

【0231】

通信・タイミング制御部220では、端子220aを介して入力されるマスタークロック（マスタークロック）CLK0と同じ周波数のクロックCLK1や、それを2分周したクロックやより分周した低速のクロックをデバイス内の各部、たとえば水平走査回路212、垂直走査回路214、カラム処理部226などに供給する。

30

【0232】

垂直走査回路214は、画素アレイ部210の行を選択し、その行に必要なパルスを供給するものである。たとえば、垂直方向の読出行を規定する（画素アレイ部210の行を選択する）垂直デコーダと、垂直デコーダにて規定された読出アドレス上（行方向）の画素211に対する行制御線215にパルスを供給して駆動する垂直駆動回路とを有する。なお、垂直デコーダは、信号を読み出す行の他に、電子シャッタ用の行なども選択する。

40

【0233】

水平走査回路212は、低速クロックCLK2に同期してカラム処理部226内の図示しないカラム回路を順番に選択し、その信号を水平信号線（水平出力線）218に導くものである。たとえば、水平方向の読出列を規定する（カラム処理部226内の個々のカラム回路を選択する）水平デコーダと、水平デコーダにて規定された読出アドレスに従って、選択スイッチ227にてカラム処理部226の各信号を水平信号線218に導く水平駆動回路とを有する。なお、水平信号線218は、たとえばカラムAD回路が取り扱うビット数 n （ n は正の整数）分、たとえば10（ $=n$ ）ビットならば、そのビット数分に対応して10本配置される。

【0234】

50

このような構成のCMOS固体撮像装置201において、画素211から出力された画素信号は、垂直列ごとに、垂直信号線219を介して、カラム処理部226のカラム回路に供給される。

【0235】

カラム処理部226の各カラム回路は、1列分の画素の信号を受けて、その信号を処理する。たとえば、各カラム回路は、アナログ信号を、たとえば低速クロックCLK2を用いて、たとえば10ビットのデジタルデータに変換するADC (Analog Digital Converter) 回路を持つ。

【0236】

カラム処理部226は、回路構成を工夫することでノイズキャンセル機能を持たせることができ、垂直信号線219を介して入力された電圧モードの画素信号に対して、画素リセット直後の信号レベル(ノイズレベル)と真の(受光光量に応じた)信号レベル V_{sig} との差分をとる処理を行なうことができる。これにより、固定パターンノイズ(FPN; Fixed Pattern Noise) やリセットノイズといわれるノイズ信号成分を取り除くことができる。

10

【0237】

カラム処理部226で処理されたアナログの画素信号(あるいはデジタルの画素データ)は、水平走査回路212からの水平選択信号により駆動される水平選択スイッチ217を介して水平信号線218に伝達され、さらに出力回路228に入力される。なお、10ビットは一例であって、10ビット未満(たとえば8ビット)や10ビットを超えるビット数(たとえば14ビット)など、その他のビット数としてもよい。

20

【0238】

このような構成によって、電荷生成部としての画素211が行列状に配された画素アレイ部210からは、行ごとに各垂直列について画素信号が順次出力される。そして、受光素子が行列状に配された画素アレイ部210に対応する1枚分の画像すなわちフレーム画像が、画素アレイ部210全体の画素信号の集合で示されることとなる。

【0239】

CMOS固体撮像装置201を使用したときの撮像装置200の構成例を図14(2)に示す。撮像装置200は、たとえば、カメラ(あるいはカメラシステム)や撮像機能を有する携帯機器などに使用される。後述の撮像装置300でも同様である。

30

【0240】

CMOS出力(V_{out})として出力回路228から導出された画素信号は、図14(2)に示す画像信号処理部240に入力される。CMOS固体撮像装置201の駆動制御部(駆動部の一例)207や、CMOS固体撮像装置201の後段に設けられた画像信号処理部240には、CPU (Central Processing Unit), ROM (Read Only Memory), RAM (Random Access Memory) などで構成される中央制御部242からの制御信号が入力されるようになっている。駆動制御部207は、中央制御部242からの制御信号に基づき駆動タイミングを決定する。CMOS固体撮像装置201の画素マトリクス部210(詳しくは画素211を構成するトランジスタ)は、駆動制御部207からの駆動パルスの元で駆動される。

40

【0241】

中央制御部242は、駆動制御部207を制御する他、画像信号処理部240における信号処理や画像出力処理などを制御する。

【0242】

画像信号処理部140は、たとえば、各画素の撮像信号R, G, Bをデジタル化するAD変換処理、デジタル化された撮像データR, G, Bを同時化する同時化処理、スミア現象やブルーミング現象によって生じる縦縞のノイズ成分を補正する縦縞ノイズ補正処理、ホワイトバランス(WB; White Balance)調整を制御するWB制御処理、階調都合いを調整するガンマ補正処理、電荷蓄積時間の異なる2画面の画素情報を利用してダイナミックレンジを拡大するダイナミックレンジ拡大処理、あるいは輝度データ(Y)や色データ

50

(3) を生成する Y C 信号生成処理などを行なう。これにより、赤 (R) , 緑 (G) , 青 (B) の原色の撮像データ (R , G , B の各画素データ) に基づく画像が得られる。

【 0 2 4 3 】

このようにして生成された各画像は、図示しない表示部に送られ、操作者に可視画像として提示されたり、あるいはそのままハードディスク装置などの記憶装置に記憶・保存されたり、またはその他の機能部に処理済みデータとして送られる。

【 0 2 4 4 】

ここで、第 3 実施形態 (適用例 2) の CMOS 固体撮像装置 2 0 1 において、画素アレイ部 2 1 0 上には、レンズ中心が各画素 2 1 1 の中心に対応するように交互配置層 2 が設けられる。その平面状態は図 1 4 A のようにする。集光効果を持ちかつ斜め入射に対する補正量の異なる各レンズを、撮像エリアにおいて入射角に適合する各画素位置に配置させることで、主光線が斜め入射する光を垂直に補正して、かつ、効率よく画素の中心に光を集めるようにすることを基本とする。

10

【 0 2 4 5 】

すなわち、先ず、交互配置層 2 としては、図 1 B (1) や図 1 2 B (1) に示したような高屈折率層 2 1 _k と低屈折率層 2 0 _j のそれぞれが円形または円形リング形状であるものを使用することを基本とする。そして、交互配置層 2 を、光軸が画素アレイ部 2 1 0 の中心に向くように配置する。この際には、画素アレイ部 2 1 0 の端部に行くほど入射角変換機能が強くなるように、画素アレイ部 2 1 0 の端部に行くほど低屈折率層 2 0 や高屈折率層 2 1 の割合の変化具合が強くなるようにする。つまり、画素アレイ部 2 1 0 の中心では非対称性が無い図 1 B (1) に示した交互配置層 2 A を使用し、画素アレイ部 2 1 0 の端部になるほど図 1 2 B (1) に示した交互配置層 2 C の非対称性が強くなる構造にするのがよい。要するに、画素アレイ部 2 1 0 の中心では対称な円形または円形リング形状、さらに画素アレイ部 2 1 0 の端部に行くほど非対称な構造にする。

20

【 0 2 4 6 】

そのときの非対称の重心位置は画素アレイ部 2 1 0 の中心方向にずらしており、ずらし量が端に行くほど大きくなるように設定する。こうすることで、画素アレイ部 2 1 0 の端部に行くほど主光線が斜め入射するのを補正して各レンズの集光ポイントを画素 2 1 1 の中心に持っていくことができる。このようなレンズ形状を CMOS 固体撮像装置 2 0 1 の内部 (画素アレイ部 2 1 0 上) に持つことで、画素アレイ部 2 1 0 の端部で起こる感度低下 (シェーディング) が小さくなるとともに、混色が減るので色再現性がよくなることが判った。

30

【 0 2 4 7 】

< 第 3 実施形態 : 適用例 3 (C C D 対応) >

図 1 5 ~ 図 1 5 B は、光学レンズの第 3 実施形態を適用した固体撮像装置の第 3 例 (適用例 3) を説明する図である。ここで図 1 5 は、第 3 実施形態 (適用例 3) の固体撮像装置の回路図である。図 1 5 A は、第 3 実施形態 (適用例 3) の固体撮像装置の基板表面付近の断面構造図である。図 1 5 B は、第 3 実施形態 (適用例 3) の固体撮像装置における画素アレイ部上に適用した交互配置層の平面概略図である。なお、図 1 5 B では、画素アレイ部全体において各画素の交互配置層によるレンズ形状に関して、代表的な位置のみをピックアップして拡大して示している。

40

【 0 2 4 8 】

第 3 実施形態 (適用例 3) の固体撮像装置は、インターライン転送方式の C C D 固体撮像装置 (I T _ C C D イメージセンサ) に応用したものである。以下、C C D 固体撮像装置 3 0 1 と記す。

【 0 2 4 9 】

図 1 4 (1) に示すように、C C D 固体撮像装置 3 0 1 は、入射光量に応じた信号を出力する受光素子 (電荷生成部の一例) を含む複数個の画素 3 1 1 (いわゆるセンサ部) が行および列に配列された (すなわち 2 次元マトリクス状の) 画素アレイ部 3 1 0 を有する。画素アレイ部 3 1 0 は、詳しくは、入射光量に応じた信号を出力する受光素子 (電荷生

50

成部)などとも称される光電変換素子 3 1 2 を有する。

【 0 2 5 0 】

また、光電変換素子 3 1 2 で生成された信号電荷を垂直転送する垂直転送 C C D 3 2 2 が垂直転送方向に複数本並べられて設けられている。直転送 C C D 3 2 2 の電荷転送方向すなわち画素信号の読出方向が縦方向(図中の X 方向)である。

【 0 2 5 1 】

図 1 5 (1) に示す C C D 固体撮像装置 3 0 1 の構造においては、幾つかの画素 3 1 1 だけを示しているが、実際にはこれを横方向に繰り返し、それをさらに縦方向に繰り返した構造である。

【 0 2 5 2 】

さらに、垂直転送 C C D 3 2 2 と各光電変換素子 3 1 2 との間には読出ゲート 3 2 4 をなす M O S トランジスタが介在し、また各ユニットセル(単位構成要素)の境界部分には図示しないチャンネルストップが設けられる。

【 0 2 5 3 】

これら画素 3 1 1 の垂直列ごとに設けられ、各画素 3 1 1 から読出ゲート 3 2 4 によって読み出された信号電荷を垂直転送する複数本の垂直転送 C C D 3 2 2 によって撮像エリアとしての画素マトリクス部 3 1 0 が構成される。

【 0 2 5 4 】

画素 3 1 1 の光電変換素子 3 1 2 に蓄積された信号電荷は、読出ゲート 3 2 4 に読出パルス R O G に対応するドライブパルス R O G が印加されることで、同一垂直列の垂直転送 C C D 3 2 2 に読み出される。垂直転送 C C D 3 2 2 は、たとえば 3 相 ~ 8 相などの垂直転送クロック V_x に基づくドライブパルス V_x によって転送駆動され、読み出された信号電荷を水平ブランキング期間の一部にて 1 走査線(1 ライン)に相当する部分ずつ順に垂直方向に転送(ラインシフトと称する)する。

【 0 2 5 5 】

また、C C D 固体撮像装置 3 0 1 には、複数本の垂直転送 C C D 3 2 2 の各転送先側端部すなわち、最後の行の垂直転送 C C D 3 2 2 に隣接して、所定(たとえば左右)方向に延在する水平転送 C C D 3 2 6 (H レジスタ部、水平転送部)が 1 ライン分設けられる。この水平転送 C C D 3 2 6 は、たとえば 2 相の水平転送クロック H 1 , H 2 に基づくドライブパルス H 1 , H 2 によって転送駆動され、複数本の垂直転送 C C D 3 2 2 から転送された 1 ライン分の信号電荷を、水平ブランキング期間後の水平走査期間において順次水平方向に転送する。このため 2 相駆動に対応する複数本(2 本)の水平転送電極が設けられる。

【 0 2 5 6 】

水平転送 C C D 3 2 6 の転送先の端部には、たとえばフローティング・ディフュージョン・アンプ(F D A)構成の電荷電圧変換部を有する出力アンプ 3 2 8 が設けられる。出力アンプ 3 2 8 は、電荷電圧変換部において、水平転送 C C D 3 2 6 によって水平転送されてきた信号電荷を順次電圧信号に変換し所定レベルに増幅して出力する。この電圧信号は、被写体からの光の入射量に応じた C C D 出力(V_{out})として画素信号が導出される。以上により、インターライン転送方式の C C D 固体撮像装置 3 0 1 が構成される。

【 0 2 5 7 】

C C D 出力(V_{out})として出力アンプ 3 2 8 から導出された画素信号は、図 2 9 (2) に示す画像信号処理部 1 4 0 に入力される。画像信号処理部 1 4 0 には、信号切替制御部の一例である画像切替制御部 1 4 2 からの画像切替制御信号が入力されるようになっている。C C D 固体撮像装置 3 0 1 は、駆動制御部(駆動部の一例) 1 4 6 からの駆動パルスの元で駆動される。

【 0 2 5 8 】

C C D 固体撮像装置 3 0 1 を使用したときの撮像装置 3 0 0 の構成例を図 1 5 (2) に示す。基本的には、撮像デバイスを C M O S 固体撮像装置 2 0 1 から C C D 固体撮像装置 3 0 1 に代えただけであり、図 1 4 (2) に示した構成と同様である。

10

20

30

40

50

【0259】

ここで、第3実施形態（適用例3）のCCD固体撮像装置301において、画素アレイ部310上には、レンズ中心が各画素311の中心に対応するように交互配置層2が設けられている。つまり、撮像デバイス中に交互配置層2を利用したレンズ構造が存在する。

【0260】

たとえば、図15Aには、基板表面付近の断面構造図が示されている。入射光を受光する画素311において、PN接合でなる光電変換素子312に対応させて交互配置層でなる光学レンズが層内集光レンズとして設けられ、その上に、色フィルタやオンチップレンズが設けられている。

【0261】

図15Bには、その平面状態が示されている。基本的には、図14Aに示したCMOS固体撮像装置201の場合と同様の考え方を適用する。まず、交互配置層2としては、図1B(3)や図12B(3)に示したような高屈折率層21_kと低屈折率層20_jのそれぞれが四角または四角リング形状であるものを使用することを基本とする。そして、交互配置層2、光軸が画素アレイ部310の中心に向くように配置する。この際には、画素アレイ部310の中心では非対称性が無い図1B(3)に示した交互配置層2Aを使用し、画素アレイ部310の端部になるほど図12B(3)に示した交互配置層2Cの非対称性が強くなる構造にするのがよい。要するに、画素アレイ部310の中心では対称な四角形または四角形リング形状、さらに画素アレイ部310の端部に行くほど非対称な構造にする。

10

20

【0262】

そのときの非対称の重心位置は画素アレイ部310の中心方向にずらしており、ずらし量が端に行くほど大きくなるように設定する。こうすることで、画素アレイ部310の端部に行くほど主光線が斜め入射するのを補正して各レンズの集光ポイントを画素311の中心に持っていくことができる。このようなレンズ形状をCCD固体撮像装置301の内部（画素アレイ部310上）に持つことにより、面内で非対称性を入れることで、画素アレイ部310の端部で起こる感度低下（シェーディング）が小さくなるとともに、混色が減るので色再現性がよく、高画質な装置になることが判った。

【0263】

<第3実施形態：凸レンズ+入射角変換の変形例>

第3実施形態の基本例では、左右対称構造を持つ交互配置層2Aに対して左右非対称構造を適用するために、第1および第2の非対称化手法を併用した第3の非対称化手法を採用していたが、その何れか一方のみを適用したものであってもよい。この点は、第1実施形態において、第1および第2の凸レンズ化手法を併用した第3の凸レンズ化手法に限らず、第1および第2の凸レンズ化手法の何れか一方のみを適用したものとしてもよいのと共通する。

30

【0264】

たとえば、図示を割愛するが、屈折率の大きい層（高屈折率層21_k）の幅が非対称の重心に向かって徐々に大きくなる構造を有するものとする第1の非対称化手法のみを適用した変形例1とすることもできる。この場合、屈折率の小さい層（低屈折率層20_j）に関しては全てを等幅にすればよい。この場合でも、重心の左右どちらから見ても、非対称の重心に向かって、屈折率の大きい高屈折率層21_kの幅が徐々に大きくなる構造を有する。

40

【0265】

また、図示を割愛するが、屈折率の小さい層（低屈折率層20_j）の幅が非対称の重心に向かって徐々に小さくなる構造を有するものとする第2の非対称化手法のみを適用した変形例2とすることもできる。この場合、屈折率の大きい層（高屈折率層21_k）に関しては全てを等幅にすればよい。この場合でも、非対称の重心に向かって、屈折率の小さい低屈折率層20_jの幅が徐々に小さくなる構造を有する。

【0266】

50

< 第 4 実施形態：凹レンズの基本 >

図 1 6 は、光学レンズの第 4 実施形態の基本原則を説明する図である。ここで図 1 6 は第 4 実施形態の基本原則を説明するための等位相面を示す図である。

【 0 2 6 7 】

前述の第 1 ~ 第 3 実施形態は、集光効果を持つ凸レンズ機能を交互配置層 2 A ~ 2 C などに持たせていたが、この第 4 実施形態では、発散効果を持つ凹レンズ機能を交互配置層 2 D に持たせるようにした点に特徴を有する。

【 0 2 6 8 】

発散効果を持つ凹レンズ機能を交互配置層 2 D に持たせるべく、第 4 実施形態では、波長オーダーまたはそれより小さい幅の屈折率の大きい層を、板状に、かつ中心が粗で中心から離れるに従って密になる左右対称構造にする。つまり、屈折率の大きい層と屈折率の小さい層の幅の関係を第 1 実施形態に対して逆転させることで、交互配置層 2 D に凹レンズ機能を持たせることができる。

【 0 2 6 9 】

中心が粗で中心から離れるに従って密になる構造とすることで凹レンズ機能を持たせるには、たとえば、屈折率の大きい層の幅がレンズの中心に向かって徐々に小さくなる構造を有するものとする第 1 の凹レンズ化手法、屈折率の小さい層の幅がレンズの中心に向かって徐々に大きくなる構造を有するものとする第 2 の凹レンズ化手法、あるいはこれら第 1 および第 2 の凸レンズ化手法を併用した第 3 の凹レンズ化手法の何れかを採用するのがよい。

【 0 2 7 0 】

発散効率の面では第 3 の凹レンズ化手法を適用するのが最も効果的である。これらの場合、波面は凸面となり、光に拡散性を持たせることができる。

【 0 2 7 1 】

また、低屈折率層を埋め込むプロセス工程で、リソグラフィの分解能が不十分で埋め込み幅を狭くできなかつたり、埋め込み幅を狭くするとポイドなどが発生して埋め込み性が悪くなつたりして困難な場合、リソグラフィや埋め込み可能な幅で第 4 実施形態（変形例 1）のように等幅にすることで作製が可能となる。特に、この埋め込み可能な幅が波長オーダーぎりぎりではこれ以上幅を広げると等位相面（波面）の連続性が失われるときに有効な手段となる。

【 0 2 7 2 】

また、高屈折率層をリソグラフィでエッチングするプロセス工程で、リソグラフィの分解能が不十分で狭くできなかつたり、あるいはエッチング工程のときにサイドエッチングなどが発生して幅の制御性が悪くなつたりすることで、狭い幅のリソグラフィやエッチング工程が困難な場合、リソグラフィやエッチングが可能な幅で第 4 実施形態（変形例 2）のように等幅にすることで作製が可能となる。特に、リソグラフィやエッチングが可能な幅が波長オーダーぎりぎりではこれ以上幅を広げると等位相面（波面）の連続性が失われるときに有効な手段となる。

【 0 2 7 3 】

このような凹レンズの利点としては、たとえば、複数の配線を含む配線層上に高屈折率層 2 1_k をエッチングして形成した凹部を低屈折率層 2 0_j で埋めるようにして、各光電変換部（受光部）に対して層内発散レンズ（凹レンズ）を形成することができるので、配線の凹凸に依存することなく適切な位置に層内発散レンズを配置することができる。これによって、入射光を光電変換部へ最適に集光させることができる。

【 0 2 7 4 】

層内発散レンズの中心を光電変換部の中心から画素アレイ部（撮像領域）の中心側に偏って形成するときは、斜め入射光によるシェーディングが改善され、瞳補正が可能になる。複数のレンズの少なくとも 1 つが層内発散レンズの上方に形成されたオンチップレンズとすることにより、集光レンズとしてのオンチップレンズと層内発散レンズとの共同作業により入射光を受光部へ集光させることができる。

10

20

30

40

50

【0275】

第4実施形態においても、第2実施形態のように、入射角変換機能（斜め光補正機能）を持つ交互配置層2Bを凹レンズ機能を持つ交互配置層2Dと組み合わせることもできる。また、第3実施形態のように、凹レンズ機能を持つ第4実施形態の交互配置層2Dをベースとして、レンズ中心を境に、片側では高い屈折率の高屈折率層が割合で多く存在し、反対側では割合で少なく存在する左右非対称構造を持つ第2実施形態の交互配置層2Bの仕組みを適用して、凹レンズ機能と斜め入射光補正機能の両者を兼ね備えた交互配置層2Dとすることもできる。

【0276】

これらの説明から理解されるように、波長オーダーまたはそれより小さい幅の低屈折率層 2_0_j と高屈折率層 2_1_k とを横方向に並べて光学部材としての機能を持たせる際に、レンズ中心と端部の高屈折率層 2_1_k の各密度の配置関係を調整することで、凸レンズ機能（集光性）を持たせることもできれば、凹レンズ機能（拡散性）を持たせることもできる。集光性を持たせたり、拡散性を持たせたりさせることで、固体撮像装置100やディスプレイなどの光デバイスに応用可能となる。

10

【0277】

<<製造プロセス>>

図17は、第1～第4実施形態の交互配置層2（2A～2D）を固体撮像装置と一体的に形成する場合の本実施形態の製造プロセスを説明する概念図である。図17Aおよび図17Bは、本実施形態の製造プロセスに対する比較例を説明する概念図である。ここで、図17Aはインナーレンズの製造工程を示し、図17Bはオンチップレンズの製造工程を示す。

20

【0278】

第1～第4実施形態の交互配置層2（2A～2D）を固体撮像装置と一体的に形成する場合、先ず、画素部が形成済みのシリコン基板（図示を割愛する）の上層に光学レンズ110の媒質となる単一材層3をなす酸化シリコン SiO_2 （屈折率 $n_1 = 1.46$ ）を所定の厚さに形成する。必要に応じて、シリコン基板（図示を割愛する）の上層に先ず薄膜層130をなすシリコンナイトライド SiN の薄膜を形成し、その上層に光学レンズ110の媒質となる単一材層3をなす酸化シリコン SiO_2 を所定の厚さに形成する。ここで、所定の厚さとは、シリコン基板の表面から後述する交互配置層2をなすシリコンナイトライド SiN までの距離（実質的なレンズ長）を意味する。

30

【0279】

この後、図17（1）に示すように、酸化シリコン SiO_2 でなる単一材層3の上層に交互配置層2をなすシリコンナイトライド SiN を所定の厚さに積層する。ここで、所定の厚さとは、交互配置層2の厚さ、すなわちレンズ厚を意味する。

【0280】

この後、図17（2）に示すレジストコート工程のように、シリコンナイトライド SiN でなる交互配置層2の上層にレジスト膜を形成する。さらに、図17（3）に示す露光・現像工程のように、それぞれ段階的に変化する所定幅の各低屈折率層 2_0_j と高屈折率層 2_1_k とが所定の順序に配列されるようなレジストパターンを使って、レジスト膜を露光して、レジスト膜から低屈折率層 2_0_j となる部分に対応する部分を除去（エッチング）する。各低屈折率層 2_0_j と高屈折率層 2_1_k の配列箇所は画素（特に受光部）の位置と対応する位置とするのは言うまでもない。

40

【0281】

交互配置層2をなすシリコンナイトライド SiN と図示を割愛したシリコン基板との間にはレンズ長に対応する厚さの酸化シリコン SiO_2 でなる単一材層3が存在するので、シリコン基板表面近くまでエッチングすることによるダメージの問題は起きない。

【0282】

この後、図17（4）に示す開口（RIE加工）工程のように、低屈折率層 2_0_j となる部分に対応したレジスト膜の開口部を通して、RIE（Reactive Ion Etching）法など

50

を用いてエッチングすることで、交互配置層 2 A のシリコンナイトライド SiN に最下層の SiO_2 膜に達する開口部を設ける。

【0283】

この後、図 17 (5) に示すレジスト除去工程のように、交互配置層 2 をなすシリコンナイトライド SiN 上のレジスト膜を除去する。こうすることで、酸化シリコン SiO_2 となる単一材層 3 の上層には、低屈折率層 2_0_j となる部分に開口部が形成されている交互配置層 2 が形成されることになる。

【0284】

さらに、インナーレンズへの適用の場合には、平坦化などのため、図 17 (6) に示す埋込み工程のように、低屈折率層 2_0_j となる部分に開口部が形成されている交互配置層 2 が形成されている酸化シリコン SiO_2 となる単一材層 3 の上層に、たとえば再度 CVD などを用いて、低屈折率層 2_0_j となるとともに交互配置層 2 の保護をなす酸化シリコン SiO_2 の膜を所定の厚さで形成する。こうすることで、開口部が形成されているシリコンナイトライド SiN となる交互配置層 2 の低屈折率層 2_0_j となる部分が酸化シリコン SiO_2 で埋め込まれるとともに、光入射側の媒質となる酸化シリコン SiO_2 の単一材層 1 が所定の厚さで形成されることになる。

10

【0285】

図示を割愛するが、さらにその上に色フィルタやマイクロレンズを画素に対応するように形成してもよい。

【0286】

一方、色フィルタ上に配置するオンチップレンズへの適用の場合には、図 17 (6) に示す埋込み工程は不要である。

20

【0287】

なお、ここで示した製造プロセスでは、埋込み工程において、低屈折率層 2_0_j となる部分を酸化シリコン SiO_2 で埋め込むだけでなく、低屈折率層 2_0_j と高屈折率層 2_1_k が交互に配置された交互配置層 2 の上層に、さらに酸化シリコン SiO_2 の膜を形成して単一材層 1 を形成していたが、単一材層 1 を形成することは必須ではない。また、極端なケースでは、埋込み工程の全体を行なわなくてもよい。この場合、シリコンナイトライド SiN に設けられている開口部が酸化シリコン SiO_2 で埋め込まれないので、低屈折率層 2_0_j は空気となる。

30

【0288】

何れの場合にも、撮像デバイスの最上層に交互配置層 2 の仕組みを利用したオンチップレンズを形成することになる。この場合、事実上、その表面は空気と接することになる。

【0289】

このように、本実施形態の製造プロセスでは、リフローの工程がなく、単純で簡便なりソグラフィとエッチングの加工技術だけで作製できるために、エッチバックなどの複雑な工程がない簡便なプロセスにでき、工程数が少なくコストが少なくて済むだけでなく再現性や均一性や量産性に優れる。

【0290】

さらにフォトレジストのマスク設計によって、それぞれ段階的に変化する所定幅の各低屈折率層 2_0_j と高屈折率層 2_1_k とが所定の順序に配列されるようにすることができる。交互配置層 2 によるレンズ効果は、矩形の各低屈折率層 2_0_j および各高屈折率層 2_1_k の幅や配列数を調整することで適宜変更が可能である。面内方向に非対称な構造を作製するのも容易であり、従来の球面レンズを製造する場合に比べて光学的に設計の幅が広がる。

40

【0291】

一方、図 17 A に示す比較例の製造プロセスにおいては、インナーレンズを形成する場合、先ず図 17 A (1) に示すように、酸化シリコン SiO_2 上にレンズの媒質となるシリコンナイトライド SiN を所定の厚さに形成する。所定の厚さは、最終的なインナーレンズの厚さよりも少し厚い程度である。

50

【0292】

次に、図17A(2)に示すレジストコート工程のように、レンズ媒質層の上層にレジスト膜を形成する。さらに、図17A(3)に示す露光・現像工程のように、レンズが所定の順序に配列されるようなレジストパターンを使って、レジスト膜を露光して、レジスト膜から隣接レンズとの間となる部分に対応する部分を除去(エッチング)する。

【0293】

この後、図17A(4)に示すリフロー工程のように、レジストを溶解してレンズ形状を形成する。たとえば、ポストバークを150℃にすることでレジストを溶解(リフロー)させ、レンズの形状を作る。そのため、レジストとしては耐熱性の弱い材料が必要となる。

10

【0294】

この後、図17A(5)に示すエッチバック(RIE加工)工程のように、RIE(Reactive Ion Etching)法などを用いてエッチングすることで、レジストを除去する。こうすることで、図17A(6)に示すように、レンズ媒質層に凸レンズが形成される。このとき、ゲインが入って(デポ膜が形成されて)レンズ間ギャップが狭くなる問題を引き起こす可能性がある。

【0295】

この後、表面を平坦にするべく、図17A(7)に示す埋込み工程のように、酸化シリコンSiO₂の膜を所定の厚さで形成する。図示を割愛するが、さらにその上に色フィルタやマイクロレンズを画素に対応するように形成してもよい。

20

【0296】

一方、色フィルタ上に配置するオンチップレンズを形成する場合、先ず図17B(1)に示すように、シリコン基板102上のさらに上層に形成されるカラーフィルタの上層にレンズの媒質となるOPVなどの高分子材料を所定の厚さに形成する。所定の厚さは、最終的なオンチップレンズの厚さよりも少し厚い程度である。

【0297】

以下、前述のインナーレンズを形成する場合と同様にして、図17B(5)に示すエッチバック(RIE加工)工程までを行なうことで、図17B(6)に示すように、凸レンズが形成される。

【0298】

オンチップレンズへの適用の場合には、インナーレンズ形成における図17A(6)に示す埋込み工程は不要である。ただし、表面保護などの目的で場合によっては屈折率の低い高分子材料でさらに埋め込んでもよい。

30

【0299】

このように、比較例の製造プロセスでは、インナーレンズ形成であるのかオンチップレンズ形成であるのかを問わず、リフローとエッチバックで凸レンズの形成が行なわれる。レンズ形状の元となるレジストのリフローでは表面張力によって球状を作るために面内において非対称な構造はできない。また工程数も多く、コストが掛る。

【0300】

<第5実施形態>

図18~図19Aは、光学レンズの第5実施形態を説明する図である。ここで、図18は、第5実施形態に対する参考例の光学レンズのy断面・z断面の模式図であり、図18Aおよび図18Bはその光学特性のシミュレーション結果を示す図である。図19は、第5実施形態の光学レンズのy断面・z断面の模式図であり、図19Aはその光学特性の3次元の波動シミュレーション結果を示す図である。

40

【0301】

前述の第3実施形態の適用例2(図14Aを参照)のように、波面制御型を適用してチップ全面の各画素について、斜め光補正と集光効果を実現しようとしたとき、屈折率の高い層が板状で、かつレンズ中心で、その層の幅が広く、中心から離れるに従って幅が狭くなる構造にする。このとき、たとえば、1.5μm以下の画素サイズ(受光部のサイズ)

50

などのように微細画素にすることを考えると、円形などの複雑な図形を画素内に入れる必要性が出てくるので、微細ピッチが必要となり、たとえば最小線幅 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の微細ピッチのレンズ構造の作製が必要となる。この場合、プロセスにおいて埋め込みが容易でない、 ArF 液浸露光装置が必要になる、曲線図形に対応したマスク発生システムが必要になるなど、設計・製造プロセス面において、特許文献 2 の仕組みが持つ問題と同様の難点が出てくる。

【0302】

第 5 実施形態は、この難点を解消するための検討により考案されたものである。前述の第 1 ~ 第 4 実施形態の波面制御型に加えて、ゾンプレートの回折レンズ効果を取り入れた構造にする点に特徴がある。このような構造を採ることで、単純な垂直線と水平線のみ
10
のマスクパターンで光学部材の製造ができるのでマスク設計・製造の低コスト化を可能にする。しかも、微細画素でも、マスクパターンが単純であるために、必ずしも最小線幅を $0.1 \mu\text{m}$ 以下にする必要はなく、たとえば $0.2 \sim 0.17 \mu\text{m}$ 幅程度でも集光効果や斜め入射光補正効果を実現が可能となる。

【0303】

図 18 (1) は、第 5 実施形態に対する参考例の光学レンズの y 断面 ($x-z$ 平面) の
20
模式図であり、図 18 (2) は、当該参考例の光学レンズの z 断面 ($x-y$ 平面) の模式図である。ここで、 y 断面 ($x-z$ 平面) は、第 1 ~ 第 4 実施形態において各種の光学レンズ 110 の断面図 (たとえば図 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 16 など) を示したときの断面と同じである。 z 断面 ($x-y$ 平面) の模式図は、 y 断面図において交互配置層 112 を通る断面線で切った状態の上面図である。

【0304】

図 18 (1) に示すように、 y 断面においては、参考例の光学レンズ 110 Z では、第 1 実施形態と同様に、屈折率 n_1 が 1.46 の酸化シリコン SiO_2 の厚みのある酸化シリコン層を媒質として有し、その光入射側の表面近傍に、交互配置層 112 Z を有する。交互配置層 112 Z よりも光入射側が、単一材層 111 となり、交互配置層 112 Z よりもシリコン基板 102 側が単一材層 113 となる。単一材層 113 側が光入射側となるのは前記各実施形態と同様である。

【0305】

画素ピッチ $1.1 \mu\text{m}$ の微細画素との組合せのために、光学レンズ 110 Z の 1 周期 (つまりレンズサイズ) を画素サイズ (= 画素ピッチ) $1.1 \mu\text{m}$ に整合させる。高屈折率層 21_k と低屈折率層 20_j が交互に配列されて構成されている交互配置層 112 Z の厚さ (実質的なレンズ厚) を $0.5 \mu\text{m}$ とする。交互配置層 112 Z は、第 3 実施形態と同様に、凸レンズ機能と斜め入射光補正機能の両者を兼ね備えたもので、光学長 (レンズ長) に比べて十分に薄く設定される点は第 1 ~ 第 4 実施形態と同様である。

【0306】

凸レンズ機能と斜め入射光補正機能の両者を兼ね備えるべく、交互配置層 112 Z は、左右非対称構造を持っている。重心よりも斜め入射光側においては、低屈折率層 120 の幅が小さく (狭く)、かつ高屈折率層 121 の幅が大きい (広い) のに対して、重心よりも斜め入射光側とは反対側においては、低屈折率層 120 の幅が大きく (広く)、かつ高屈折率層 121 の幅が小さく (狭く) 設定されている。低屈折率層 120 と高屈折率層 121 の数が少ないものの、斜め入射光側においては、高屈折率層 121 が割合で多く存在しかつ低屈折率層 120 が割合で少なく存在し、反対側では高屈折率層 121 が割合で少なくかつ低屈折率層 120 が割合で多く存在するようにしている点で、図 12 の状態と同様になっている。
40

【0307】

光学レンズ 110 Z において、1 周期内における交互配置層 112 Z 内の低屈折率層 120_j と高屈折率層 121_k の幅は以下のように設定する。ここでは、各屈折率層 120, 121 や左右を区別せずに 1 周期の片端から順に参照子 j, k を付して示す。

【0308】

10

20

30

40

50

高屈折率層 1 2 1_1 : 0 . 2 5 μm

低屈折率層 1 2 0_2 : 0 . 1 7 μm

高屈折率層 1 2 1_3 : 0 . 1 7 μm

低屈折率層 1 2 0_4 : 0 . 5 1 μm

レンズ中心CLから高屈折率層 1 2 1_1の最遠辺までの距離 : 0 . 6 5 μm

【0309】

本例では、シリコンナイトライドSiNおよび酸化シリコンSiO₂の周期構造を持つ交互配置層 1 1 2 Zは、低屈折率層 1 2 0および高屈折率層 1 2 1の何れも、横方向(x方向)の最小線幅を0.17 μm 、レンズの厚みを0.5 μm としている。すなわち、交互配置層 1 1 2 Zは、画素サイズ1.1 μm と整合するように、厚みが0.5 μm で、かつ0.17 μm と0.25 μm 幅の棒状のシリコンナイトライドSiN層が平行に並んだ構造を有する。

10

【0310】

図18Aおよび図18Bは、図18に示した参照例の光学レンズ 1 1 0 Zの光学特性の3次元の波動シミュレーション結果を示す図であり、緑色光($\lambda = 550 \text{nm}$)の斜め入射光の場合である。光の入射方向は、チップ内xy平面のx方向での17 deg (空气中換算25 deg)斜入射である。図18Aから判るように、緑色光の斜め入射光を交互配置層 1 1 2 Zによる凸レンズのほぼ中心に集光させることができている。入射角変換機能による斜め補正機能が効果的に働いている。

【0311】

しかしながら、斜め光入射した光が垂直方向に曲げられて、かつ集光しているのが、図18B(特にz断面図)から判るように、画素の中心を通る線状(y方向)に集光している。y方向には集光効果がないと言ってよい。一般的なイメージセンサにおいて、センサ部(フォトダイオード部)は画素の中心付近に孤立して存在することが多く、このままであると、センサ部に入射しない光が存在することになり、ロスが発生してしまう。

20

【0312】

第5実施形態の光学レンズ 1 1 0 Eは、参照例の光学レンズ 1 1 0 Zにおいてy方向に線状に集光されてしまう点を解消するものである。その仕組みは、図19に示すように、y断面(図19(1))は光学レンズ 1 1 0 Zと同じであるが、z断面(図19(2))において、y方向の高屈折率層 1 2 1(シリコンナイトライドSiN層: Si₃N₄層)を、画素サイズと同等か画素サイズ内で断続的に切れた線分で、さらに好ましくは、この方向では対称性がある構造にする。第1~第4実施形態や第5実施形態に対する参考例では、z断面におけるy方向サイズについては特段の考慮がされておらず、特に説明はしていなかったが、画素サイズに比べると相当程度長くなっている。これを、第5実施形態では、このy方向サイズを画素サイズと同程度かそれよりも少し短くし、さらに好ましくは、そのy方向において画素中心に対して対称性を持たせるのである。

30

【0313】

なお、ここでは、x方向に低屈折率層 1 2 0と高屈折率層 1 2 1を交互に並べる場合で説明したが、y方向に低屈折率層 1 2 0と高屈折率層 1 2 1を交互に並べる場合には、前述のy方向サイズはx方向サイズに変更されるは言うまでもない。つまり、第5実施形態は、主光線が入射する方向である低屈折率層 1 2 0と高屈折率層 1 2 1を交互に並べる方向と直交する方向のサイズを、前記交互に並べる方向と同程度の集光効果が得られるように、画素サイズと同程度かそれよりも少し短くし、さらに好ましくは、その方向において画素中心に対して対称性を持たせるものである。

40

【0314】

たとえば、y方向に延在する高屈折率層 1 2 1_1, 1 2 1_3の奥行き長さ(y方向の長さ)を、画素サイズ1.1 μm よりも短い0.9 μm に設定している。このような構造では、y方向においてゾンプレーットの回折レンズ効果が機能するようになり、画素の中心に比べてy方向の画素の端における屈折率が低くなり、y方向で集光していなかった光は、その屈折率差によって中心に集められるようになる。

50

【0315】

図19のようなマスクパターンで作製された構造において、 x - y 平面で x 方向における斜め入射光を、比較的効率よく画素の中心に集光し垂直光に変換する。図から明らかなように、ここでのマスクパターンは垂直線と水平線のみで形成されている。

【0316】

図19Aは、図19に示した第5実施形態の光学レンズ110Eの光学特性の3次元の波動シミュレーション結果を示す図であり、緑色光($\lambda = 550\text{ nm}$)の斜め入射光の場合である。光の入射方向は、チップ内 x - y 平面の x 方向での 17 deg (空气中換算 25 deg)斜入射である。図19A(3)と図18B(2)の対比から判るように、第5実施形態の光学レンズ110Eでは、 y 方向においても、緑色光の斜め入射光が画素の中心付近に集光させることができている。ただし、 y 方向において画素の端部で光の漏れが発生しており、光のロスが僅かではあるが残っている。

10

【0317】

なお、「 y 方向のサイズや対称性」に関しては、必ずしも画素サイズより短くなくてもよく、画素サイズと同等程度でもよい。これは、本実施形態の仕組みを適用しないとその方向には線状に集光されるのに対して、画素サイズと同等程度にすることで、その方向では本実施形態を適用しない場合よりも画素中心側に集光される効果が得られるからである。また、多少画素中心からずれていてもよい。その場合、 y 方向の集光効果や光の漏れが、画素中心に対して偏りが生じる点を考慮すればよい。対称性がないときには集光中心が画素中心からずれるが、対称性を持たせることで y 方向での集光中心と画素中心を一致させることができる。

20

【0318】

<第5実施形態：変形例>

図20は、光学レンズの第5実施形態(変形例)を説明する図(z 断面の模式図)である。この変形例の光学レンズ110Eaは、図19に示した第5実施形態の光学レンズ110Eをベースにして、高屈折率層121の z 断面の四隅が斜め 45 度 線で斜めにカットされた状態にしている点に特徴がある。カット部分をどの程度の大きさにするかは、斜め入射光の入射角(つまり画素アレイ上の画素位置)に依存せず一定にすることも考えられるし、斜め入射光の入射角(画素位置)によって調整することも考えられる。後者は、入射角(画素位置)に応じて設定される高屈折率層121の形状・サイズ(つまり幅、長さ)に応じて、散乱ロス抑制効果を勘案して、カット部分の大きさを適当なものにするという趣旨である。

30

【0319】

たとえば、光学レンズ110を固体撮像装置に適用する場合、画素アレイ部の中心では光は垂直に入射するので斜め入射を考慮する必要はなく、中心以外の部分で第5実施形態の光学レンズ110Eを適用する場合でも、高屈折率層121は $0.9\text{ }\mu\text{m}$ 四方の正方形になる(後述する図25Aを参照)。その四隅を 45 度 線でカットすると、一辺が $0.37\text{ }\mu\text{m}$ の八角形になる。これをベースにして、斜め入射光の入射角に適合するように、つまり、第5実施形態の光学レンズ110Eが配置される画素位置に適合するように、各高屈折率層121のコーナーを 45 度 線でカットする。

40

【0320】

たとえば、図20に示すように、第5実施形態(変形例)の光学レンズ110Eaでは、第5実施形態の光学レンズ110Eをベースに、高屈折率層121_1については高屈折率層121_3と反対側の上下コーナーを一辺が $0.37\text{ }\mu\text{m}$ のサイズでカットする。高屈折率層121_3については高屈折率層121_3と反対側の上下コーナーをその幅 $0.17\text{ }\mu\text{m}$ に合わせて、 $0.17\text{ }\mu\text{m}$ の略中心から 45 度 線でカットする。高屈折率層121_1へのカット部分と高屈折率層121_3へのカット部分を合わせて全体として見たとき、大局的には八角形が形成されるようにする。

【0321】

50

図19に示した第5実施形態の光学レンズ110Eの場合、ゾーンプレートの回折レンズ効果が得られる反面、高屈折率層121のz断面は四角形となりそれが画素サイズ内に存在する。そのため、その四隅（直角部分）の全部または一部が画素サイズ内に存在することになり、その部分を起因とする散乱口の発生とそれによる画質劣化が懸念される。そこで、変形例の光学レンズ110Eaでは、高屈折率層121のz断面における角を適当な形状・大きさにカットすることで、散乱口の発生を抑制する。適当な形状にするときの最も単純な手法として斜め45度でカットすることより、高屈折率層121のz断面形状を、レンズ全体として見たときに八角形にすることにした。

【0322】

このような変形例の光学レンズ110Eaのマスク製造には、単純な垂直線と水平線に加えて、斜め45度線が必要になるが、一般的なマスクパターン発生装置で対処可能な範囲であるので、マスク製造コストをアップさせることはないと考えてよい。

10

【0323】

<第6実施形態：第1例>

図21および図21Aは、光学レンズの第6実施形態（第1例）を説明する図である。ここで、図21は、第6実施形態（第1例）の光学レンズのz断面の模式図であり、図21Aはその光学特性の3次元の波動シミュレーション結果を示す図である。

【0324】

第6実施形態（第1例）の光学レンズ110Fは、第5実施形態の光学レンズ110Eにおいてy方向において画素の端部で発生する光の漏れを解消するものである。その仕組みは、図21に示すように、z断面は、隣接する高屈折率層121_1, 121_3が連続的に繋がるまたは接触するように、同一材質の高屈折率材料の板（高屈折率層121_0）を構造体の中心付近に配置する構造を採っている。具体的には、高屈折率層121_0の奥行き長さを、低屈折率層120_2の幅と同じ0.17μmに設定している。このような構造では、y方向においてゾーンプレートの回折レンズ効果が高屈折率層121_0でも機能するようになり、y方向の集光効果がより高まる。

20

【0325】

図21のようなマスクパターンで作製された構造において、xy平面でx方向における斜め入射光を、比較的効率よく画素の中心に集光し垂直光に変換する。図から明らかのように、ここでのマスクパターンは垂直線と水平線のみで形成されている。

30

【0326】

図21Aは、図21に示した第6実施形態（第1例）の光学レンズ110Fの光学特性の3次元の波動シミュレーション結果を示す図であり、緑色光（ $\lambda = 550\text{nm}$ ）の斜め入射光の場合である。光の入射方向は、チップ内xy平面のx方向での17deg（空気中換算25deg）斜入射である。第6実施形態（第1例）の光学レンズ110Fでは、第5実施形態の光学レンズ110Eにおいて図19A（3）で見られるようなy方向での画素の端部における光の漏れが、図21A（3）から判るように、少なくなっており、高集光になっている。このことは画素中心で集光効率が高くなっていることを示す。実際に画素中心では5%ほどの集光効率の上昇が見られた。

【0327】

<第6実施形態：第2例>

図22および図22Aは、光学レンズの第6実施形態（第2例）を説明する図である。ここで、図22は、第6実施形態（第2例）の光学レンズのz断面の模式図であり、図22Aはその光学特性の3次元の波動シミュレーション結果を示す図である。

40

【0328】

第6実施形態（第1例）の光学レンズ110Fは、光の入射方向がチップ内xy平面のx方向での斜入射に対して、y方向において集光効果を高め画素端部で光の漏れを防止するものであった。これに対して、第6実施形態（第2例）の光学レンズ110Gは、xy平面で45度の斜め方向における斜入射に対応するものである。

【0329】

50

第6実施形態(第1例)の光学レンズ110Fでは、高屈折率層121_1, 121_3は、y方向に画素端部近傍まで延在していたが、これらをy方向にそれぞれ2つ(高屈折率層121_1a, 121_1b, 121_3a, 121_3bに分け、その内の45度の斜め入射と反対側となる部分(高屈折率層121_3b)を取り外している。さらに、全体として、光入射側に高屈折率層がより多く配置されるように、高屈折率層121_0を含む残りの高屈折率層121_1a, 121_1b, 121_3aのサイズや配置を調整する。

【0330】

なお、ここでは、高屈折率層121_3bを取り外すような見方をしたが、元々の高屈折率層121_1, 121_3の取り方を90度回転させた見方をすれば、高屈折率層121_1bを取り外しているという見方をすることもできる。

10

【0331】

何れにしても、4つの高屈折率層121を低屈折率層120を挟むように配列し、かつ、それらが接触(一部が接続・重なる)するようにし、さらに、レンズ中心に対して、光入射側にレンズ重心が片寄るように配置すればよい。レンズ重心の片寄り度合いは斜め入射角に応じて設定される。斜め入射角が大きいほど(たとえば固体撮像装置との組合せであれば画素アレイ部の中心から離れるほど)、レンズ重心の片寄り度合いが強くなるようにする(後述する図25Aを参照)。

【0332】

たとえば、光学レンズ110Gにおいて、1周期内における交互配置層112G内の低屈折率層120_jと高屈折率層121_kの幅は以下のように設定する。チップ内xy平面のy方向でのz軸に対して8.5度の角度で斜め入射(空气中換算12.5deg)に対応するものとする。ここでは、各屈折率層120, 121や左右を区別せずに1周期の片端から順に参照子j, kを付して示す。

20

【0333】

高屈折率層121_0 : 0.30 μm (x方向の幅), 0.30 μm (y方向の幅)
 高屈折率層121_1a : 0.30 μm (x方向の幅), 0.30 μm (y方向の幅)
 高屈折率層121_1b : 0.30 μm (x方向の幅), 0.23 μm (y方向の幅)
 高屈折率層121_1a, 121_1bの間隔 : 0.2 μm (y方向の幅)
 低屈折率層120_2 : 0.20 μm (x方向の幅)
 高屈折率層121_3a : 0.23 μm (x方向の幅), 0.30 μm (y方向の幅)
 低屈折率層120_40+低屈折率層120_4 : 0.37 μm (x方向の幅)
 高屈折率層121_0と高屈折率層121_1aの重なり : 0.10 μm (x, y方向)
 高屈折率層121_0の接触・重なりのないコーナーの画素中心からのズレ : 0.20 μm (x, y方向)

30

【0334】

斜め補正機能の考え方に従い、xy平面で45度の斜め方向における斜め入射側において、高屈折率層121が割合で多く存在しかつ低屈折率層120が割合で少なく存在し、反対側では高屈折率層121が割合で少なくかつ低屈折率層120が割合で多く存在するようにしているのである。画素中央部の高屈折率層121_0は、画素中心よりも斜め入射側に配置位置がシフトしており、その方向のコーナーは高屈折率層121_1aと重なるが、その他のコーナーは高屈折率層121_1bや高屈折率層121_3aと接触するようにしている。元々取り外した高屈折率層121_3bとの接触があり得ないの言うまでもない。このような構造では、xy平面で45度の斜め方向における斜め入射光に対して、x, y, z各方向の集光効果が高まる。効率よく画素の中心に光を集めて、かつ斜め光を垂直光に変換することができる。

40

【0335】

図22のようなマスクパターンで作製された構造において、xy平面で45度の斜め方向における斜め入射光を、比較的効率よく画素の中心に集光し垂直光に変換する。図から明らかなように、ここでのマスクパターンは垂直線と水平線のみで形成されている。

【0336】

50

図 2 2 A は、図 2 2 に示した第 6 実施形態（第 2 例）の光学レンズ 1 1 0 G の光学特性の 3 次元の波動シミュレーション結果を示す図であり、緑色光（ $\lambda = 550 \text{ nm}$ ）の斜め入射光の場合である。光の入射方向は、チップ内 $x-y$ 平面の 45° 斜め方向での z 軸に対して 11.3° の角度で斜め入射（空气中換算 16.5° ）である。図から判るように、第 6 実施形態（第 2 例）の光学レンズ 1 1 0 G では、 z 軸に対して 11.3° の斜め入射光が、効率的に画素の中心に集まっている。

【0337】

< 第 6 実施形態：第 3 例 >

図 2 3 および図 2 3 A は、光学レンズの第 6 実施形態（第 3 例）を説明する図である。ここで、図 2 3 は、第 6 実施形態（第 3 例）の光学レンズの z 断面の模式図であり、図 2 3 A はその光学特性の 3 次元の波動シミュレーション結果を示す図である。

10

【0338】

第 6 実施形態（第 1 例）の光学レンズ 1 1 0 F は、光の入射方向がチップ内 $x-y$ 平面の x 方向での斜入射に対して、 y 方向において集光効果を高め画素端部で光の漏れを防止するものであった。これに対して、第 6 実施形態（第 3 例）の光学レンズ 1 1 0 H は、 $x-y$ 平面で y 方向における斜入射に対応するものである。 $x-y$ 平面の x 方向を $x-y$ 平面の y 方向に変更する訳なので、基本的には、低屈折率層 1 2 0 と高屈折率層 1 2 1 の配置関係は、紙面を 90° 回転させた状態と同じになる。

【0339】

$x-y$ 平面の y 方向において、重心よりも斜め入射光側においては、低屈折率層 1 2 0 の幅が小さく（狭く）、かつ高屈折率層 1 2 1 の幅が大き（広い）のに対して、重心よりも斜め入射光側とは反対側においては、低屈折率層 1 2 0 の幅が大きく（広く）、かつ高屈折率層 1 2 1 の幅が小さく（狭く）設定されている。斜め入射光側においては、高屈折率層 1 2 1 が割合で多く存在しかつ低屈折率層 1 2 0 が割合で少なく存在し、反対側では高屈折率層 1 2 1 が割合で少なくかつ低屈折率層 1 2 0 が割合で多く存在するようにしている点で、図 1 2 の状態と同様になっている。加えて、 z 断面は、隣接する高屈折率層 1 2 1_1, 1 2 1_3 が連続的に繋がるまたは接触するように、同一材質の高屈折率材料の板（高屈折率層 1 2 1_0）を構造体の中心付近に配置する構造を採っている。

20

【0340】

光学レンズ 1 1 0 H において、1 周期内における交互配置層 1 1 2 H 内の低屈折率層 1 2 0_j と高屈折率層 1 2 1_k の幅は以下のように設定する。チップ内 $x-y$ 平面の y 方向での z 軸に対して 8.5° の角度で斜め入射（空气中換算 12.5° ）に対応するものとする。ここでは、各屈折率層 1 2 0, 1 2 1 や左右を区別せずに 1 周期の片端から順に参照子 j, k を付して示す。

30

【0341】

高屈折率層 1 2 1_0: $0.20 \mu\text{m}$ (y 方向の幅), $0.50 \mu\text{m}$ (x 方向の幅)

高屈折率層 1 2 1_1: $0.30 \mu\text{m}$ (y 方向の幅), $0.80 \mu\text{m}$ (x 方向の幅)

低屈折率層 1 2 0_2: $0.20 \mu\text{m}$ (y 方向の幅)

高屈折率層 1 2 1_3: $0.25 \mu\text{m}$ (y 方向の幅), $0.80 \mu\text{m}$ (x 方向の幅)

低屈折率層 1 2 0_4: $0.35 \mu\text{m}$ (y 方向の幅)

40

レンズ中心 CL から高屈折率層 1 2 1_3 の最遠辺までの距離: $0.1985 \mu\text{m}$

【0342】

本例では、シリコンナイトライド SiN および酸化シリコン SiO_2 の周期構造を持つ交互配置層 1 1 2 H は、低屈折率層 1 2 0 および高屈折率層 1 2 1 の何れも、 y 方向の最小線幅を $0.20 \mu\text{m}$ とし、画素サイズ $1.1 \mu\text{m}$ と整合するように、 $0.25 \mu\text{m}$ と $0.3 \mu\text{m}$ 幅の棒状のシリコンナイトライド SiN 層が平行に並び、かつ、それらの長手方向 (x 方向) の中心でシリコンナイトライド SiN 層で接続された構造を有する。

【0343】

斜め補正機能の考え方に従い、 $x-y$ 平面で y 方向における斜め入射側において、高屈折率層 1 2 1 が割合で多く存在しかつ低屈折率層 1 2 0 が割合で少なく存在し、反対側では

50

高屈折率層 1 2 1 が割合で少なくかつ低屈折率層 1 2 0 が割合で多く存在するようにしているのである。このような構造では、 $x y$ 平面で y 方向における斜め入射光に対して、 x 、 y 、 z 各方向の集光効果が高まる。効率よく画素の中心に光を集めて、かつ斜め光を垂直光に変換することができる。

【 0 3 4 4 】

図 2 3 のようなマスクパターンで作製された構造において、 $x y$ 平面で y 方向における斜め入射光を、比較的効率よく画素の中心に集光し垂直光に変換する。図から明らかのように、ここでのマスクパターンは垂直線と水平線のみで形成されている。

【 0 3 4 5 】

図 2 3 A は、図 2 3 に示した第 6 実施形態（第 3 例）の光学レンズ 1 1 0 H の光学特性の 3 次元の波動シミュレーション結果を示す図であり、緑色光（ $\lambda = 550 \text{ nm}$ ）の斜め入射光の場合である。光の入射方向は、チップ内 $x y$ 平面の y 方向での z 軸に対して 8.5 度の角度で斜め入射（空气中換算 12.5 deg ）である。図から判るように、第 6 実施形態（第 3 例）の光学レンズ 1 1 0 H では、 z 軸に対して 8.5 度の斜め入射光が、効率的に画素の中心に集まっている。

10

【 0 3 4 6 】

< 第 6 実施形態：変形例 >

図 2 4、図 2 4 A、図 2 4 B は、光学レンズの第 6 実施形態（変形例）を説明する図（ z 断面の模式図）である。この変形例の光学レンズ 1 1 0 F a、1 1 0 G a、1 1 0 H a は、図 2 1、図 2 2、図 2 3 に示した第 6 実施形態（各例）の光学レンズ 1 1 0 F、1 1 0 G、1 1 0 H をベースにして、高屈折率層 1 2 1 の z 断面の四隅が斜め 45 度線で斜めにカットされた状態にしている点に特徴がある。

20

【 0 3 4 7 】

第 6 実施形態（各例）の光学レンズ 1 1 0 F、1 1 0 G、1 1 0 H は、 $x y$ 平面における x 方向、斜め 45 度方向、 y 方向における z 軸に対する斜め入射に対応したものであり、ここでの変形例では、その相違と散乱ロス抑制効果を勘案して、カット部分の大きさを設定する例で説明する。

【 0 3 4 8 】

変形の目的・効果や手法の基本的な考え方は、第 5 実施形態（変形例）と同様である。すなわち、各高屈折率層 1 2 1 へのカット部分を合わせてレンズ全体として見たとき、大局的には八角形が形成されるようにする。

30

【 0 3 4 9 】

たとえば、図 2 4 に示すように、第 6 実施形態（第 1 例の変形例）の光学レンズ 1 1 0 F a では、第 6 実施形態（第 1 例）の光学レンズ 1 1 0 F をベースに、高屈折率層 1 2 1₋₁、1 2 1₋₃ に第 5 実施形態（変形例）と同様のサイズで角を 45 度線でカットする。高屈折率層 1 2 1₋₁ へのカット部分と高屈折率層 1 2 1₋₃ へのカット部分を合わせて全体として見たとき、大局的には八角形が形成されるようにするので、高屈折率層 1 2 1₋₀ についてはカット対象とする必要はない。

【 0 3 5 0 】

図 2 4 A に示すように、第 6 実施形態（第 2 例の変形例）の光学レンズ 1 1 0 G a では、第 6 実施形態（第 2 例）の光学レンズ 1 1 0 G をベースに、高屈折率層 1 2 1_{-1a}、1 2 1_{-1b}、1 2 1_{-3a} について、それらへのカット部分を合わせてレンズ全体として見たとき、大局的には八角形が形成されるようにする。高屈折率層 1 2 1₋₀ についてはカット対象とする必要はない。

40

【 0 3 5 1 】

図 2 4 B に示すように、第 6 実施形態（第 3 例の変形例）の光学レンズ 1 1 0 H a では、第 6 実施形態（第 3 例）の光学レンズ 1 1 0 H をベースに、高屈折率層 1 2 1₋₁、1 2 1₋₃ について、それらへのカット部分を合わせてレンズ全体として見たとき、大局的には八角形が形成されるようにする。高屈折率層 1 2 1₋₀ についてはカット対象とする必要はない。

50

【0352】

このように、z断面において各高屈折率層121をレンズ全体として見たときの四隅（直角部分）を適当な大きさを斜め45度でカットすることにより、散乱ロスの発生を抑制することができる。このような変形例の光学レンズ110Fa, 110Ga, 110Haのマスク製造には、単純な垂直線と水平線に加えて、斜め45度線が必要になるが、一般的なマスクパターン発生装置で対処可能な範囲であるので、マスク製造コストをアップさせることはないと考えてよい。

【0353】

<第6実施形態：適用例1>

図25および図25Aは、第6実施形態の光学レンズを適用した固体撮像装置（適用例1）を説明する図である。ここで、図25は第6実施形態の光学レンズを固体撮像装置に適用するに当たっての基本概念を説明する図である。図25Aは、図14Aや図15Bと同様に、固体撮像装置における画素アレイ部に適用した交互配置層の平面概略図を示している。なお、図25Aでは、画素アレイ部全体において各画素の交互配置層によるレンズ形状に関して、代表的な位置のみをピックアップして拡大して示している。適用される固体撮像装置100FはCMOSセンサおよびCCDの何れでもよい。

10

【0354】

図25に示すように、第6実施形態を適用した適用例1の固体撮像装置100Fは、基本的には、図14Aや図15Bに示したCMOS固体撮像装置201やCCD固体撮像装置301の場合と同様の考え方を適用する。図21、図22、図23に示した第6実施形態（各例）の光学レンズ110F, 110G, 110Hで斜め光を垂直光に変換する。集光効果を持ちかつ斜め入射に対する補正量の異なる各レンズを、撮像エリアにおいて入射角に適合する各画素位置に配置させることで、主光線が斜め入射する光を垂直に補正して、かつ、効率よく画素の中心に光を集めるようにすることを基本とする。

20

【0355】

4つの高屈折率層121を低屈折率層120を挟むように配列し、かつ、それらが接触（一部が接続・重なる）するようにし、さらに、レンズ中心に対して、光入射側にレンズ重心が片寄るように配置すればよい。斜め入射角が大きいほど、つまり画素アレイ部の中心から離れるほど、画素アレイ部の中心とは反対側へのレンズ重心の片寄り度合いが強くなるようにする。なお、画素アレイ部の中心では斜め光ではなく垂直光になるので、平面視（xy平面）でほぼ光電変換部104（受光部）のサイズと同程度かそれ以下の角形の高屈折率層121にすればよい。

30

【0356】

まず、交互配置層112としては、第6実施形態の光学レンズ110F～110Hの仕組みを適用することを基本とし、交互配置層112を、光軸が画素アレイ部210の中心に向くように配置する。この際には、画素アレイ部210の中心では非対称性が無い中心に高屈折率層121が存在するものを使用し、画素アレイ部210の端部になるほど交互配置層112の非対称性が強くなる構造にする。そのときの非対称の重心位置は画素アレイ部210の中心方向にずらしており、ずらし量が端に行くほど大きくなるように設定する。

40

【0357】

x, y方向に着目したとき、画素アレイ部の水平・垂直方向における光電変換部104（受光部）が配置される各位置では、光電変換部104に対応する光学レンズ110ごとに、隣接する高屈折率層121_1, 121_3同士を接続する高屈折率層121_0の、120と高屈折率層121が交互に並べられる方向と直交する方向のサイズが、画素アレイ部の中心から離れるほど狭くなるように設定され、かつ、光学レンズ110の重心が画素アレイ部の中心により強く寄るように設定する。こうすることで、画素アレイ部210の端部に行くほど主光線が斜め入射するのを補正して各レンズの集光ポイントを画素211の中心に持っていくことができる。

【0358】

50

図 2 1、図 2 2、図 2 3 に示した第 6 実施形態（各例）の光学レンズ 1 1 0 F，1 1 0 G，1 1 0 H を利用する場合に則してさらに詳しく説明すると次の通りである。すなわち、図 2 5 A に示す画素アレイ部 2 1 0 の上面図のように、これらの光学レンズ 1 1 0 F，1 1 0 G，1 1 0 H を入射角に適合する位置に配置させることで、主光線が斜め入射する光を垂直に補正して、かつ、効率よく画素の中心に光を集めるようにする。

【 0 3 5 9 】

たとえば、図 2 5 A に示すように、画素アレイ部の中心と着目画素の座標位置との関係から、たとえば、y 方向下側（左端でエリア中央側）に変化させたときの、各高屈折率層 1 2 1 の変化状況（x 方向に変化なしとする エンド点は図中の下 5 つの内の左端の状態になる）、x 方向右側（上端でエリア中央側）に変化させたときの各高屈折率層 1 2 1 の変化状況（y 方向に変化なし エンド点は図中の右上の状態になる）について考察する。x 方向に変化させたときの状況と y 方向に変化させたときの状況との組合せにより、斜め方向変化での状況も特定される。具体的には、次の通りである。

10

【 0 3 6 0 】

図 2 5 A の点線矢印で示されるように、x 方向の変化、たとえば左の画素から中心の画素への変化（第 2・第 3 象限の境界上で原点側への変化）は、構造体（高屈折率層 1 2 1）がこの図の左下に示されるように伸びて変化することで可能となる。すなわち、中央左端のものをスタートとして画素位置がエリア中央部に進むほど、高屈折率層 1 2 1_0，1 2 1_1，1 2 1_3 は全体的に左側にシフトしつつ、高屈折率層 1 2 1_1 は幅が狭くなり、高屈折率層 1 2 1_3 は幅が広くなり、高屈折率層 1 2 1_0 は幅が広くかつ y 方向に長くなる。そして、エリア中央部では、高屈折率層 1 2 1_0 の長さが高屈折率層 1 2 1_1，1 2 1_3 の長さと同じとなり、かつ 3 つの高屈折率層 1 2 1_0，1 2 1_1，1 2 1_3 が接触・重なることで一体化され図のように四角形となる。

20

【 0 3 6 1 】

また、y 方向の変化も同様に、この図の左に示されるように変化することで可能となる。たとえば、左下側（第 3 象限）のより少し中央よりのものをスタートとして上側に進むほど、高屈折率層 1 2 1_0，1 2 1_1a，1 2 1_1b，1 2 1_3a は全体的に下側にシフトする。サイズの点では、高屈折率層 1 2 1_1a は不変で、高屈折率層 1 2 1_1b は y 方向下側に伸び、高屈折率層 1 2 1_3a は y 方向下側に伸び、高屈折率層 1 2 1_0 は x 方向左右に伸びる。

30

【 0 3 6 2 】

図示するように、撮像エリア中心（画素アレイ部 2 1 0 の中央部）では対称な四角形状、さらに撮像エリアの端に行くほど主光線の斜め入射方向に非対称な構造で、それと垂直な方向には対象構造としている。さらに、構造体（高屈折率層 1 2 1）は、マスクパターンでは、垂直線または水平線で形成される図形にしている。そのときの非対称の重心位置は撮像エリア中心方向にずらしており、ずらし量が端に行くほど大きくなるようにしている。こうすることで、撮像エリアの端に行くほど主光線が斜め入射するのを補正して各レンズの集光ポイントを画素中心に持つことができる。このようなレンズ形状を固体撮像装置 1 0 0 F（イメージセンサ内部）に持つことで、画素アレイ部 2 1 0 の端部で起こる感度低下（シェーディング）が小さくなるとともに、混色が減るので色再現性がよくなることが判った。

40

【 0 3 6 3 】

< 第 6 実施形態：適用例 2 >

図 2 5 B は、第 6 実施形態（変形例）の光学レンズを適用した固体撮像装置（適用例 2）を説明する図である。この適用例 2 の固体撮像装置 1 0 0 F a は、適用例 1 の固体撮像装置 1 0 0 F に対して、光学レンズ 1 1 0 F，1 1 0 G，1 1 0 H を、それらの変形例である図 2 4、図 2 4 A、図 2 4 B に示した第 6 実施形態（各例の変形例）の光学レンズ 1 1 0 F a，1 1 0 G a，1 1 0 H a を利用するように変形したものである。よって、構造体（高屈折率層 1 2 1）は、z 断面の四隅が斜め 4 5 度線で斜めにカットされた状態になる。その他の点は、適用例 1 の固体撮像装置 1 0 0 F と同様である。

50

【0364】

図示するように、撮像エリア中心（画素アレイ部210の中央部）では対称な八角形状、さらに撮像エリアの端に行くほど主光線の斜め入射方向に非対称な構造で、それと垂直な方向には対象構造としている。さらに、構造体（高屈折率層121）は、マスクパターンでは、垂直線、水平線、または斜め45度の線で形成される図形にしている。そのときの非対称の重心位置は撮像エリア中心方向にずらしており、ずらし量が端に行くほど大きくなるようにしている。

【0365】

適用例2の固体撮像装置100Faでは、基本的な仕組みは適用例1の固体撮像装置100Fと同様であり、先ず同様の効果が得られるとともに、特有の利点として、高屈折率層121のz断面の四隅を斜め45度線でカットしているので散乱ロスの問題を解消できる。

10

【0366】

<第5・第6実施形態：凹レンズへの適用>

図示を割愛するが、第4実施形態で説明したように、凸レンズに係る第1～第3実施形態に対して光学的な数値条件を逆に設定することで凹レンズに係る第4実施形態を導出できるように、凸レンズに係る第5・第6実施形態に対して光学的な数値条件（屈折率の大きい層と屈折率の小さい層の幅の関係）を逆に設定することで凹レンズにすることができるとは言うまでもない。

【0367】

<マスクパターンの製法>

図26～図26Cは、本実施形態の光学レンズの製法（特にマスクパターンの設計手法）を説明する図である。ここで、図26は、マスクパターン設計における座標と原点の関係を示す図である。図26Aは、第6実施形態（第2例）の光学レンズ110Gに着目した設計式を説明する図である。図26Bおよび図26Cは、設計式における係数の符号の決定方法を説明する図である。

20

【0368】

図14Aや図15Bあるいは図25Aや図25Bにおいては、「集光効果を持ちつつ斜め入射に対する補正量の異なる各レンズを、撮像エリアにおいて入射角に適合する各画素位置に配置させる」ことが必要になる。各実施形態の何れの構造の光学レンズ110を使用する場合であっても、画素位置ごとに入射角が異なるので、画素位置ごとに最適化されたものを使用する必要がある。実際には、そのような光学レンズ110のマスクパターンを1つ1つ設計することは、その設計の作業に時間が掛かることになる。

30

【0369】

その解決手法の1つとしては、たとえば、撮像エリアの四隅（の何れかでもよい）に配置されるものを基本として、x方向・y方向における画素位置のシフトに合わせて、非対称の重心位置・構造体の形状・位置・サイズなどの変更量を数式化しておくことが考えられる。

【0370】

特に、第5・第6実施形態（その変形例も含む）では、各光学レンズ110の構造体（高屈折率層121）は、四角形や八角形であるので、頂点座標を指定する関数式（基本的には1次式でよい）にすることで、各画素位置における各光学レンズ110を構成する各高屈折率層121の配置地位・形状・サイズを特定できる利点がある。1つ1つの画素のパターン変化を、数式で表すことで、容易に全画素位置のマスクデータを入力できる。低次の式であれば、その算術演算も簡単である。

40

【0371】

図25Aや図25Bに示されるような各画素位置での高屈折率層121の構造変化を数式化することで、撮像エリア全面についての各レンズのマスクパターン設計を容易に実現できるようになる。たとえば、図21、図22、図23に示した第6実施形態（各例）の光学レンズ110F、110G、110Hで斜め光を垂直光に変換するに当たり、それぞ

50

れの図形を数式を定義して連続的に繋げることが容易になる。マスクパターンは垂直線（縦線）と水平線（横線）と、場合によっては斜め45度線で形成されるし、微細画素でも、マスクパターンが単純である。必ずしも最小線幅を0.1 μm以下にする必要はなく、たとえば0.2 ~ 0.17 μm幅程度でも集光効果や斜め入射光補正効果を実現可能なレンズを、低コストのリソグラフで作製可能となる。

【0372】

たとえば第6実施形態の光学レンズ110F~Hのマスクパターン設計の数式化に当たっては、次のような手法を採るのがよい。先ず、原点の画素をどこかに決める。たとえば図26に示すように（図25も参照）、原点の画素を画素アレイ部の中心 $(x, y) = (0, 0)$ とする。すなわち、原点の座標 (x_a, y_a) を $(0, 0)$ として、その右隣の画素の座標を $(1, 0)$ 、さらにその右隣の座標を $(2, 0)$ のように、すべての各画素の座標を決めることができる。

10

【0373】

さらに図26に示すように、画素ごとに、計算用のX軸とY軸を決める。各画素のX, Yの原点の取り方は第1~第4象限で異なる。第1象限では画素の右上の角、第2象限では画素の左上の角、第3象限では画素の左下の角、第4象限では画素の右下の角を、それぞれXY原点とする。このようにすることで、図25からも推測されるように、画素アレイ部の全面では、左右対称性や上下対称性が保たれる。

【0374】

たとえば、第3象限の左下コーナー寄りに存在することになると考えられる図26Aに示すような (x_a, y_a) の画素に対して、構造体（高屈折率層121）の4つの部分（高屈折率層121_0, 121_1a, 121_1b, 121_3a）に分けて、それぞれを、頂点座標を使って数式化する。たとえば、高屈折率層121_0の部分に着目したとき、4つの頂点座標を $(X1, Y1)$, $(X2, Y1)$, $(X2, Y2)$, $(X1, Y2)$ とし、高屈折率層121_0 (x_a, y_a) を規定する設計式 $f_0(x_a, y_a)$ を式(2)のように定義する。なお、係数 $s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8, c1, c2, c3, c4$ は定数となる。また、 $|x_a|, |y_a|$ は、それぞれ x_a, y_a の絶対値を示す。

20

【0375】

【数2】

$$\left. \begin{aligned} f_0(x_a, y_a) &= \{(X1, Y1), (X2, Y1), (X2, Y2), (X1, Y2)\} \cdots(2-1) \\ X1 &= s1 \times |x_a| + s2 \times |y_a| + c1 \cdots(2-2) \\ Y1 &= s3 \times |x_a| + s4 \times |y_a| + c2 \cdots(2-3) \\ X2 &= s5 \times |x_a| + s6 \times |y_a| + c3 \cdots(2-4) \\ Y2 &= s7 \times |x_a| + s8 \times |y_a| + c4 \cdots(2-5) \end{aligned} \right\} \cdots(2)$$

30

【0376】

ここで、図26Aの (x_a, y_a) の画素の、1つ上側の画素 $(x_a, y_a + 1)$ を考えてみる。高屈折率層121_0の部分に着目したとき、4つの頂点座標を $(X1', Y1')$, $(X2', Y1')$, $(X2', Y2')$, $(X1', Y2')$ とすると、高屈折率層121_0 $(x_a, y_a + 1)$ を規定する設計式 $f_0(x_a, y_a + 1)$ は式(3)のように定義される。

40

【0377】

【数3】

$$\left. \begin{aligned} f_0(x_a, y_a + 1) &= \{(X1', Y1'), (X2', Y1'), (X2', Y2'), (X1', Y2')\} \cdots(3-1) \\ X1' &= s1 \times |x_a| + s2 \times |y_a + 1| + c1 \cdots(3-2) \\ Y1' &= s3 \times |x_a| + s4 \times |y_a + 1| + c2 \cdots(3-3) \\ X2' &= s5 \times |x_a| + s6 \times |y_a + 1| + c3 \cdots(3-4) \\ Y2' &= s7 \times |x_a| + s8 \times |y_a + 1| + c4 \cdots(3-5) \end{aligned} \right\} \cdots(3)$$

50

【0378】

この場合、図26B(1)に示すように、画素 (x_a, y_{a+1}) は、画素 (x_a, y_a) に対して、構造体全体(高屈折率層121_0, 121_1a, 121_1b, 121_3a)が下にシフトして、かつ、高屈折率層121_0が左右に伸びることになる。また、第3象限の画素 (x_a, y_a) であるから y_a は負の値であるので、その1つ上側の画素 (x_a, y_{a+1}) との関係においては、絶対値 $|y_{a+1}|$ は $|y_a|$ に比べて小さい。

したがって、図26B(2)に示すことから判るように、高屈折率層121_0 (x_a, y_a) と高屈折率層121_0 (x_a, y_{a+1}) の間には、式(4)の関係がある。これより、 s_2, s_4, s_8 が正の値で、かつ、 s_6 が負の値であれば、成り立つことになる。

10

【0379】

【数4】

$$\left. \begin{array}{l} X1' < X1 \rightarrow s_2 \times |y_{a+1}| < s_2 \times |y_a| \quad \dots(4-1) \\ Y1' < Y1 \rightarrow s_4 \times |y_{a+1}| < s_4 \times |y_a| \quad \dots(4-2) \\ X2' > X2 \rightarrow s_6 \times |y_{a+1}| > s_6 \times |y_a| \quad \dots(4-3) \\ Y2' < Y2 \rightarrow s_8 \times |y_{a+1}| < s_8 \times |y_a| \quad \dots(4-4) \end{array} \right\} \dots(4)$$

【0380】

さらに、図26Aの (x_a, y_a) の画素の、1つ右側の画素 (x_{a+1}, y_a) を考えてみる。高屈折率層121_0の部分に着目したとき、4つの頂点座標を $(X1'', Y1'')$, $(X2'', Y1'')$, $(X2'', Y2'')$, $(X1'', Y2'')$ とすると、高屈折率層121_0 (x_{a+1}, y_a) を規定する設計式 $f_0(x_{a+1}, y_a)$ は式(5)のように定義される。

20

【0381】

【数5】

$$\left. \begin{array}{l} f_0(x_{a+1}, y_a) = \{(X1'', Y1''), (X2'', Y1''), (X2'', Y2''), (X1'', Y2'')\} \quad \dots(5-1) \\ X1'' = s_1 \times |x_{a+1}| + s_2 \times |y_a| + c_1 \quad \dots(5-2) \\ Y1'' = s_3 \times |x_{a+1}| + s_4 \times |y_a| + c_2 \quad \dots(5-3) \\ X2'' = s_5 \times |x_{a+1}| + s_6 \times |y_a| + c_3 \quad \dots(5-4) \\ Y2'' = s_7 \times |x_{a+1}| + s_8 \times |y_a| + c_4 \quad \dots(5-5) \end{array} \right\} \dots(5)$$

30

【0382】

この場合、図26C(1)に示すように、画素 (x_{a+1}, y_a) は、画素 (x_a, y_a) に対して、構造体全体(高屈折率層121_0, 121_1a, 121_1b, 121_3a)が左にシフトして、かつ、高屈折率層121_0が上下に伸びることになる。また、第3象限の画素 (x_a, y_a) であるから x_a は負の値であるので、その1つ右側の画素 (x_{a+1}, y_a) との関係においては、絶対値 $|x_{a+1}|$ は $|x_a|$ に比べて小さい。

【0383】

したがって、図26C(2)に示すことから判るように、高屈折率層121_0 (x_a, y_a) と高屈折率層121_0 (x_{a+1}, y_a) の間には、式(6)の関係がある。これより、 s_1, s_3, s_5 が正の値で、かつ、 s_7 が負の値であれば、成り立つことになる。

40

【0384】

【数6】

$$\left. \begin{array}{l} X1'' < X1 \rightarrow s_1 \times |x_{a+1}| < s_1 \times |x_a| \quad \dots(6-1) \\ Y1'' < Y1 \rightarrow s_3 \times |x_{a+1}| < s_3 \times |x_a| \quad \dots(6-2) \\ X2'' < X2 \rightarrow s_5 \times |x_{a+1}| < s_5 \times |x_a| \quad \dots(6-3) \\ Y2'' > Y2 \rightarrow s_7 \times |x_{a+1}| > s_7 \times |x_a| \quad \dots(6-4) \end{array} \right\} \dots(6)$$

このような方程式を、全ての構造体(高屈折率層121_0, 121_1a, 121_1b,

50

1 2 1_3a) で、矛盾なく成り立つようにする。なお、ここで示した例は、あくまでも一例であって、さらに他の方法で数式化することは可能である。

【 0 3 8 5 】

たとえば、高屈折率層 1 2 1_1a の設計式 $f_{1a}(x_a, y_a)$ 、高屈折率層 1 2 1_1b の設計式 $f_{1b}(x_a, y_a)$ 、高屈折率層 1 2 1_3a の設計式 $f_{3a}(x_a, y_a)$ についても、高屈折率層 1 2 1_0 の設計式 $f_0(x_a, y_a)$ と同様の係数を使って、式 (2) と同様に定義付けることができる。この場合、係数はそれぞれの設計式 $f_0, f_{1a}, f_{1b}, f_{3a}$ で独立となる。

【 0 3 8 6 】

また、各象限において、図 2 6 に示したような X, Y 座標の原点・方向の取り方をすると、象限に関わらず、各設計式 f の係数 s の正負の関係は、以下の通りとなる。つまり、係数 s や正負の符号関係は、全ての象限で同じで成り立つ。これは、画素のシフト方向に着目したとき、画素アレイ部の四隅から中央の原点 $(x_a, y_a) = (0, 0)$ に画素位置をシフトさせる設計式であるので、そのシフト方向に沿って X, Y 座標の原点・方向を取ることで、左右対称性や上下対称性が保たれることに起因する。

10

【 0 3 8 7 】

* 高屈折率層 1 2 1_0 の設計式 $f_0(x_a, y_a)$

正の値 : $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_8$

負の値 : s_6, s_7

* 高屈折率層 1 2 1_1a の設計式 $f_{1a}(x_a, y_a)$

正の値 : s_1, s_4, s_5, s_8

負の値 : なし

$s_2 = 0$

$s_3 = 0$

$s_6 = 0$

* 高屈折率層 1 2 1_1b の設計式 $f_{1b}(x_a, y_a)$

正の値 : s_1, s_4, s_5, s_8

負の値 : なし

$s_2 = 0$

$s_3 = 0$

$s_6 = 0$

* 高屈折率層 1 2 1_3a の設計式 $f_{3a}(x_a, y_a)$

正の値 : s_1, s_4, s_5, s_8

負の値 : なし

$s_2 = 0$

$s_3 = 0$

$s_6 = 0$

【 0 3 8 8 】

< その他の適用例 : 導波路との組合せ >

図 2 7 および図 2 7 A は、本実施形態の光学レンズ 1 1 0 を固体撮像装置に適用するに当たり、導波路 (導光路) と組み合わせる適用例を説明する図である。ここで、図 2 7 は画素アレイ部の中央部で主光線が垂直 (入射角 0 deg) に入射する状態を示し、図 2 7 A は画素アレイ部の端部で主光線が斜め (入射角 2 5 deg 程度) に入射する状態を示す。

40

【 0 3 8 9 】

図示のように、本例の固体撮像装置 1 0 0 J は、光電変換部 1 0 4 (センサ部, 画素) が配置されるシリコン基板 1 0 2 上に導波路部 4 1 0、入射レンズ 4 2 0、本実施形態の光学レンズ 1 1 0 が設けられている。光学レンズ 1 1 0 の光入射面側の上層には、酸化シリコン SiO_2 でなる単一材層 1 1 1、カラーフィルタ 1 0 6、オンチップレンズ 1 0 8 がこの順に設けられている。図 2 A でも説明したように、オンチップレンズ 1 0 8 を本実

50

施形態の交互配置層 1 1 2 に置き換えることもできる。

【 0 3 9 0 】

導波路部 4 1 0 は、導光路 4 1 2 となる内側媒質は屈折率 n_1 が 1.64 または 1.7 の SiON で内径が 480 nm に設定され、その外側媒質 4 1 4 は屈折率 n_2 が 1.45 の酸化シリコン SiO₂ である。SiON と酸化シリコン SiO₂ との間における全反射条件は図示の通りである。

【 0 3 9 1 】

導波路部 4 1 0 の上層には屈性率の異なる層の積層構造により形成された入射レンズ 4 2 0 が設けられている。この入射レンズ 4 2 0 は、導波路部 4 1 0 側の屈性率層 4 2 2 は屈折率 n_1 が 1.64 または 1.7 の SiON であり、光学レンズ 1 1 0 側の屈性率層 4 2 4 は屈折率 n_2 が 1.45 の酸化シリコン SiO₂ である。入射レンズ 4 2 0 は、光学レンズ 1 1 0 で集光される光を導波路部 4 1 0 側に導き、導光路 4 1 2 の入射端に集光スポット (エアリーディスク: Airy disc) を形成する。導光路 4 1 2 内に導光された光は全反射条件を満たす限りにおいて導光路 4 1 2 内をほぼロスなく進行し光電変換部 1 0 4 の中心に入射する。

10

【 0 3 9 2 】

図 2 7 A に示すように、画素アレイ部の端部では主光線が斜め (入射角 25 deg 程度) に入射し、オンチップレンズ 1 0 8 により入射角 17 deg 程度になる。この斜め入射分を補正しなければ、導光路 4 1 2 内で全反射条件を満たすことができない。斜め入射光に対する補正機能を持つ第 2・第 3・第 5・第 6 実施形態の光学レンズ 1 1 0 を使用することで、この対策になる。

20

【 0 3 9 3 】

すなわち、固体撮像装置と導波路を組み合わせる構造にする場合、画素アレイ部の中央部だけでなく端部でも、導波路の全反射条件を満たすように光を導波路に導入する必要があるが、通常は、端部では光の入射方向が斜めになるので、その条件を満たすことが困難になる。これに対して、斜め入射補正機能や集光効果を持つ本実施形態の光学レンズ 1 1 0 を使用することで、光を導波路の中央部に容易に導入でき、かつ、導波路の全反射条件を斜め光でも満たすことができるようになる。

【 0 3 9 4 】

< その他の適用例: 裏面照射型との組合せ >

30

図 2 8 は、本実施形態の光学レンズ 1 1 0 を裏面照射型の固体撮像装置に適用する例を説明する図である。本例の固体撮像装置 1 0 0 K は、光電変換部 1 0 4 が形成されるシリコン基板 1 0 2 の表面上に電極や配線やカラーフィルタ、レンズなどを形成し、その上方から光を照射させる表面照射型構造ではなく、電極や配線が形成される配線層側 (表面側) とは反対の裏面側から光を照射させる裏面照射型構造である。この場合、カラーフィルタやレンズなども裏面側に配置される。

【 0 3 9 5 】

表面照射型構造では、固体撮像装置の微細化が進むと、配線ピッチが狭くなる、配線層の多層化が進むなどのため、レンズと光電変換部のフォトダイオードとの距離が広がり、斜め入射光の一部が配線層に遮られ実効開口率が低下する。画素アレイ部の中央部と端部では、実効開口率や感度に大幅な差が生じ、シェーディングなどの問題が出てくる。このような問題を解消しようとするのが裏面照射型構造である。

40

【 0 3 9 6 】

たとえば、図 2 8 (1) に示す参考例の固体撮像装置 1 0 0 Z では、シリコン基板 1 0 2 の裏面側を薄く削り、その光入射側にオンチップレンズ 1 0 8 とカラーフィルタ 1 0 6 が形成されている。このような裏面照射型構造では、入射光はオンチップレンズ 1 0 8 を通してシリコン基板 1 0 2 に形成された光電変換部 1 0 4 に入射するようになっている。図示を割愛した配線層が形成される側を表面側と称すると、光は裏面側から光電変換部 1 0 4 に入射するので、裏面照射型構造と称される。裏面照射型構造を採ると、入射光は、配線層により遮られることがないので、斜め入射光の実効開口率を 100% にすることも

50

でき、感度向上やシェーディング防止ができる。

【0397】

ただし、図28(1)に示すように、オンチップレンズ108を利用する参考例では、画素アレイ部の端部では、斜め入射光(入射角25deg程度)が隣接画素に侵入してしまい、この斜め入射光による混色・色再現性の低下の問題は依然として残る。

【0398】

これに対して、図28(2)に示すように、裏面照射型構造を採る本例の固体撮像装置100Kは、光電変換部104が形成されるシリコン基板102の裏面側を薄く削り、その光入射側のカラーフィルタ106と光電変換部104との間に、斜め入射補正機能や集光効果を持つ本実施形態の光学レンズ110が設けられている。斜め入射光に対する補正機能を持つ第2・第3・第5・第6実施形態の光学レンズ110を使用することで、画素アレイ部の端部において斜め入射光(入射角25deg程度)がシリコン基板102の裏面から入射しても、その斜め入射光を垂直光に変換することができ、混色・色再現性の低下の問題を解消できる。

【図面の簡単な説明】

【0399】

【図1】光学レンズの第1実施形態の基本原理を説明するための等位相面を示す図(その1)である。

【図1A】光学レンズの第1実施形態の基本原理を説明するための等位相面を示す図(その2)である。

【図1B】第1実施形態の光学レンズの平面模式図である。

【図2】光学レンズの第1実施形態を適用した固体撮像装置の第1例(適用例1)を説明する断面模式図である。

【図2A】第1実施形態(適用例1)の固体撮像装置のより具体的な断面図である。

【図2B】第1実施形態(適用例1)のシミュレーション結果を示す図(途中過程のもの)である。

【図2C】第1実施形態(適用例1)のシミュレーション結果を示す図($\lambda = 780, 640 \text{ nm}$)である。

【図2D】第1実施形態(適用例1)のシミュレーション結果を示す図($\lambda = 540, 480 \text{ nm}$)である。

【図3】光学レンズの第1実施形態を適用した固体撮像装置の第2例(適用例2)を説明する断面模式図である。

【図3A】第1実施形態(適用例2)のシミュレーション結果を示す図($\lambda = 780, 640 \text{ nm}$)である。

【図3B】第1実施形態(適用例2)のシミュレーション結果を示す図($\lambda = 540, 480 \text{ nm}$)である。

【図4】光学レンズの第1実施形態を適用した固体撮像装置の第3例(適用例3)を説明する断面模式図である。

【図4A】第1実施形態(適用例3)のシミュレーション結果を示す図($\lambda = 780, 640 \text{ nm}$)である。

【図4B】第1実施形態(適用例3)のシミュレーション結果を示す図($\lambda = 540, 480 \text{ nm}$)である。

【図5】光学レンズの第1実施形態を適用した固体撮像装置の第4例(適用例4)を説明する断面模式図である。

【図5A】第1実施形態(適用例4)の固体撮像装置のより具体的な断面図である。

【図5B】第1実施形態(適用例4)のシミュレーション結果を示す図($\lambda = 780, 640 \text{ nm}$)である。

【図5C】第1実施形態(適用例4)のシミュレーション結果を示す図($\lambda = 540, 480 \text{ nm}$)である。

【図6】第1実施形態の交互配置層による凸レンズに対する第1比較例を説明する図であ

る。

【図 6 A】第 1 実施形態の交互配置層による凸レンズに対する第 2 比較例を説明する図である。

【図 6 B】第 1 実施形態の交互配置層による凸レンズに対する第 3 比較例を説明する図である。

【図 7】光学レンズの第 1 実施形態の変形例 1 を適用した変形例 1 の固体撮像装置を説明する断面模式図である。

【図 7 A】変形例 1 のシミュレーション結果を示す図 ($\lambda = 540 \text{ nm}$) である。

【図 8】光学レンズの第 1 実施形態の変形例 2 を適用した変形例 2 の固体撮像装置を説明する断面模式図である。

【図 8 A】変形例 2 のシミュレーション結果を示す図 ($\lambda = 540 \text{ nm}$) である。

【図 9】第 1 実施形態の構造 (たとえば図 2 の適用例 1) において、斜め入射光を入射したときのシミュレーション結果を示す図である。

【図 10】光学レンズの第 2 実施形態の基本原理を説明するための等位相面を示す図である。

【図 10 A】固体撮像装置の受光光学系を説明する図である。

【図 10 B】第 2 実施形態の光学レンズの 1 つ分の平面模式図である。

【図 10 C】第 2 実施形態の光学レンズを固体撮像装置の画素アレイ部に適用した場合の平面概略図である。

【図 11】光学レンズの第 2 実施形態を適用した固体撮像装置を説明する断面模式図である。

【図 11 A】第 2 実施形態の固体撮像装置のシミュレーション結果を示す図 ($\lambda = 540 \text{ nm}$) である。

【図 12】光学レンズの第 3 実施形態の基本原理を説明するための等位相面を示す図である。

【図 12 A】レンズの重心を説明する図である。

【図 12 B】光学レンズの第 3 実施形態の平面模式図 (その 1) である。

【図 12 C】光学レンズの第 3 実施形態の平面模式図 (その 2) である。

【図 13】光学レンズの第 3 実施形態を適用した固体撮像装置の第 1 例 (適用例 1) を説明する断面模式図である。

【図 13 A】第 3 実施形態 (適用例 1) のシミュレーション結果を示す図 ($\lambda = 540$) である。

【図 14】光学レンズの第 3 実施形態を適用した固体撮像装置の第 2 例 (適用例 2 : CMOS 対応) を説明する回路図である。

【図 14 A】第 3 実施形態 (適用例 2) の固体撮像装置における画素アレイ部に適用した交互配置層の平面概略図である。

【図 15】光学レンズの第 3 実施形態を適用した固体撮像装置の第 3 例 (適用例 3 : CCD 対応) を説明する回路図である。

【図 15 A】第 3 実施形態 (適用例 3) の固体撮像装置の基板表面付近の断面構造図である。

【図 15 B】第 3 実施形態 (適用例 3) の固体撮像装置における画素アレイ部に適用した交互配置層の平面概略図である。

【図 16】光学レンズの第 4 実施形態の基本原理を説明するための等位相面を示す図である。

【図 17】第 1 ~ 第 4 実施形態の交互配置層を固体撮像装置と一体的に形成する場合の本実施形態の製造プロセスを説明する概念図である。

【図 17 A】本実施形態の製造プロセスに対する比較例 (インナーレンズ形成の場合) を説明する概念図である。

【図 17 B】本実施形態の製造プロセスに対する比較例 (オンチップレンズ形成の場合) を説明する概念図である。

10

20

30

40

50

- 【図 1 8】第 5 実施形態に対する参考例の光学レンズの y 断面・z 断面の模式図である。
- 【図 1 8 A】第 5 実施形態に対する参考例の光学特性のシミュレーション結果を示す図（ = 5 5 0 ）である。
- 【図 1 8 B】第 5 実施形態に対する参考例の光学特性のシミュレーション結果を示す図（ = 5 5 0 ）である。
- 【図 1 9】第 5 実施形態の光学レンズの y 断面・z 断面の模式図である。
- 【図 1 9 A】第 5 実施形態の光学特性のシミュレーション結果を示す図（ = 5 5 0 ）である。
- 【図 2 0】光学レンズの第 5 実施形態（変形例）を説明する図（z 断面の模式図）である。
- 【図 2 1】第 6 実施形態（第 1 例）の光学レンズの z 断面の模式図である。
- 【図 2 1 A】第 6 実施形態（第 1 例）の光学特性の 3 次元の波動シミュレーション結果を示す図である。
- 【図 2 2】第 6 実施形態（第 2 例）の光学レンズの z 断面の模式図である。
- 【図 2 2 A】第 6 実施形態（第 2 例）の光学特性の 3 次元の波動シミュレーション結果を示す図である。
- 【図 2 3】第 6 実施形態（第 3 例）の光学レンズの z 断面の模式図である。
- 【図 2 3 A】第 6 実施形態（第 3 例）の光学特性の 3 次元の波動シミュレーション結果を示す図である。
- 【図 2 4】光学レンズの第 6 実施形態（第 1 例の変形例）を説明する図（z 断面の模式図）である。
- 【図 2 4 A】光学レンズの第 6 実施形態（第 2 例の変形例）を説明する図（z 断面の模式図）である。
- 【図 2 4 B】光学レンズの第 6 実施形態（第 3 例の変形例）を説明する図（z 断面の模式図）である。
- 【図 2 5】第 6 実施形態の光学レンズを固体撮像装置に適用するに当たっての基本概念を説明する図である。
- 【図 2 5 A】第 6 実施形態の光学レンズを適用した固体撮像装置（適用例 1）を説明する図である。
- 【図 2 5 B】第 6 実施形態（変形例）の光学レンズを適用した固体撮像装置（適用例 2）を説明する図である。
- 【図 2 6】本実施形態の光学レンズの製法（特にマスクパターンの設計手法）における座標と原点の関係を説明する図である。
- 【図 2 6 A】第 6 実施形態（第 2 例）の光学レンズに着目した設計式を説明する図である。
- 【図 2 6 B】設計式における係数の符号の決定方法を説明する図（y 方向シフトの場合）である。
- 【図 2 6 C】設計式における係数の符号の決定方法を説明する図（x 方向シフトの場合）である。
- 【図 2 7】本実施形態の光学レンズを導波路および固体撮像装置と組み合わせる適用例を説明する図（その 1）である。
- 【図 2 7 A】本実施形態の光学レンズを導波路および固体撮像装置と組み合わせる適用例を説明する図（その 2）である。
- 【図 2 8】本実施形態の光学レンズを裏面照射型の固体撮像装置に適用する例を説明する図である。
- 【符号の説明】
- 【0 4 0 0】
- 1, 3, 1 1 1, 1 1 3 ... 単一材層、2, 1 1 2 ... 交互配置層、2 0, 1 2 0 ... 低屈折率層、2 1, 1 2 1 ... 高屈折率層、1 0 0 ... 固体撮像装置、1 0 2 ... シリコン基板、1 0 4 ... 光電変換部、1 0 5 ... 層内集光レンズ、1 0 6 ... カラーフィルタ、1 0 8 ... オンチップ

10

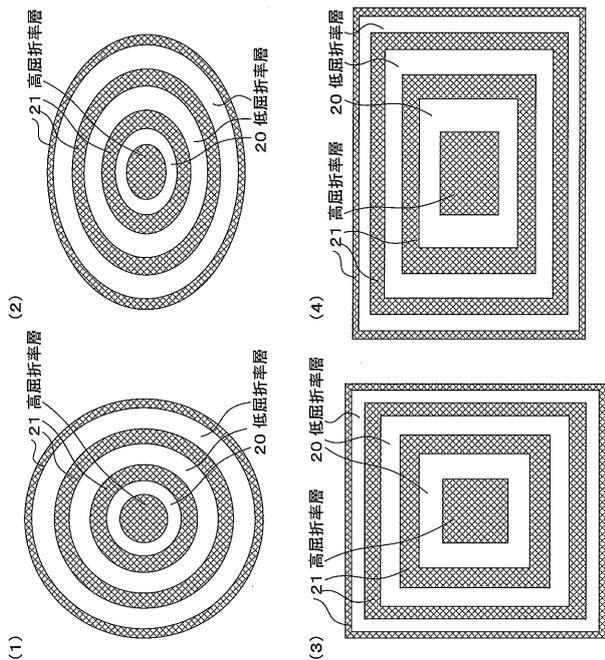
20

30

40

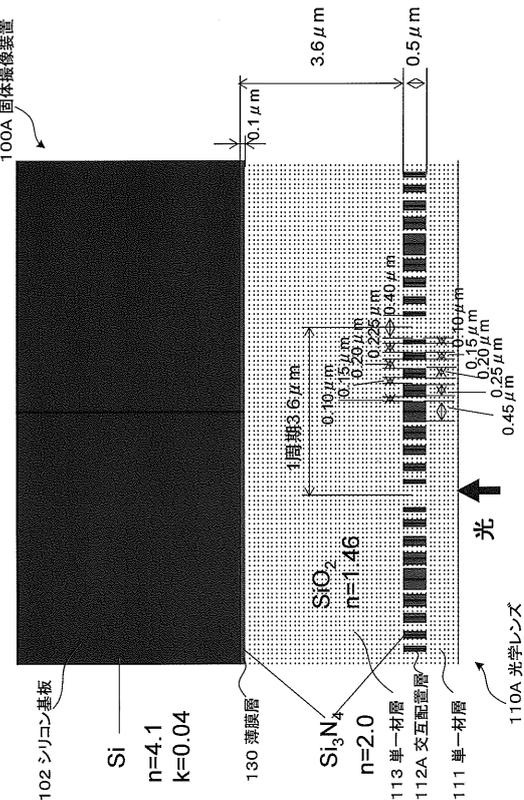
50

【図 1 B】

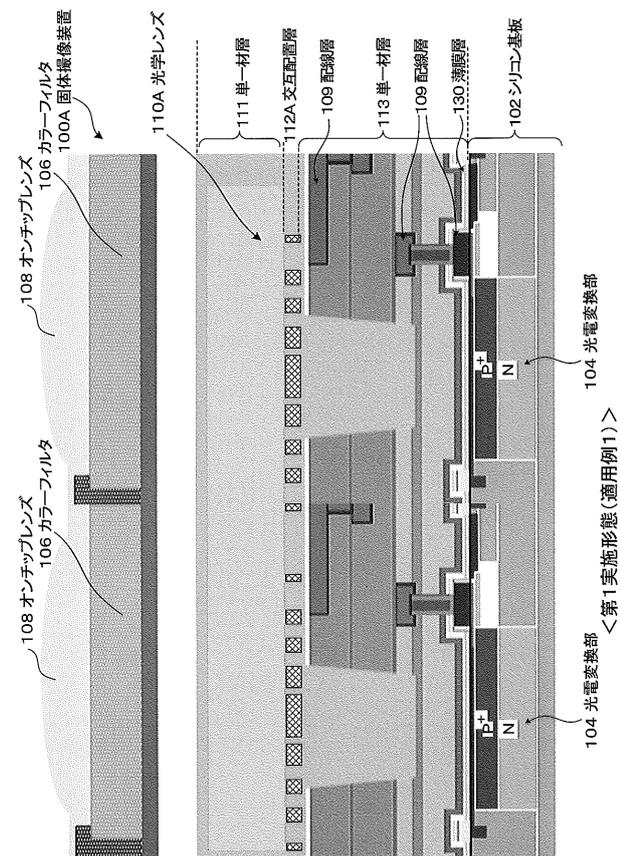


【図 2】

光学シミュレーション構造
(最小幅0.1 μm)
＜第1実施形態(適用例1)＞

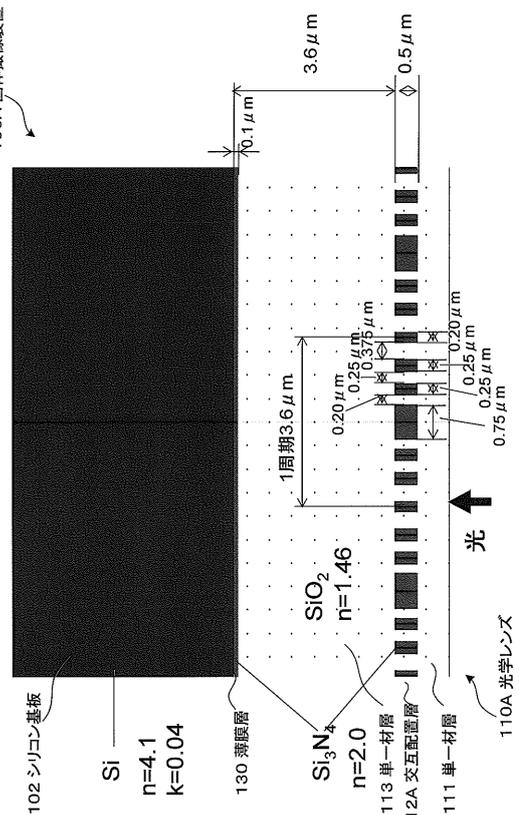


【図 2 A】

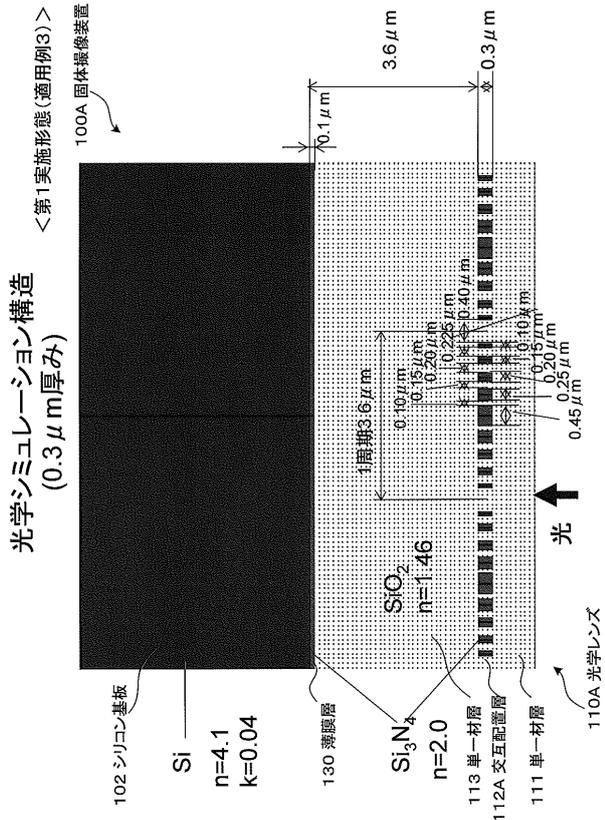


【図 3】

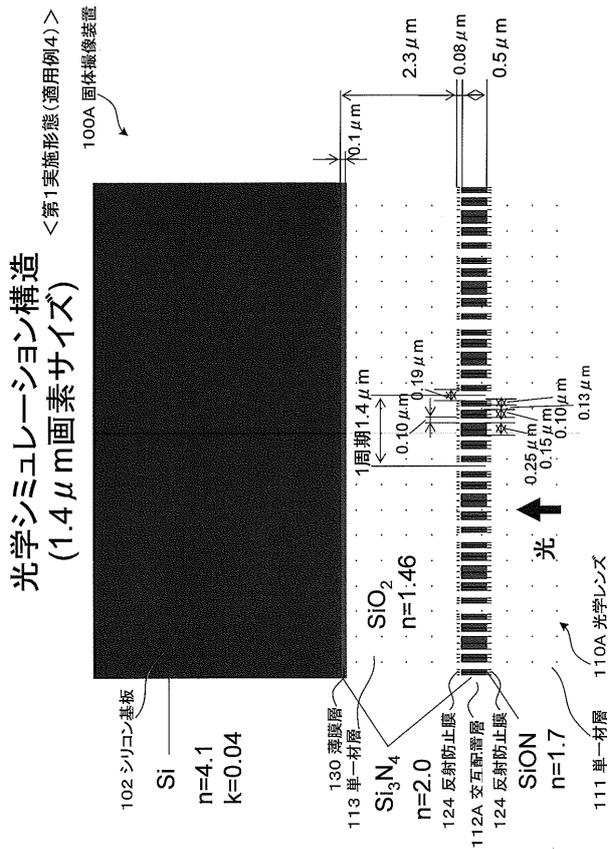
光学シミュレーション構造
(最小幅0.2 μm)
＜第1実施形態(適用例2)＞



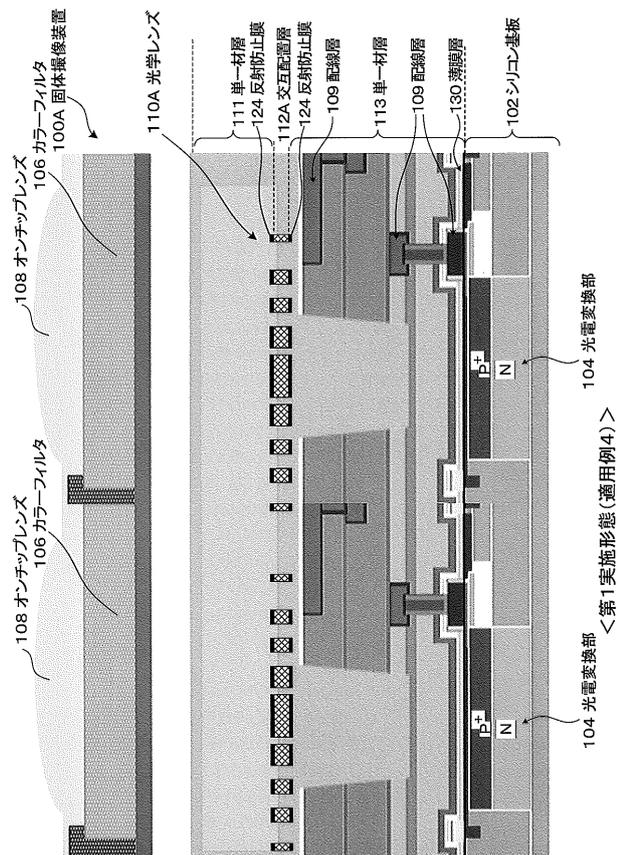
【図4】



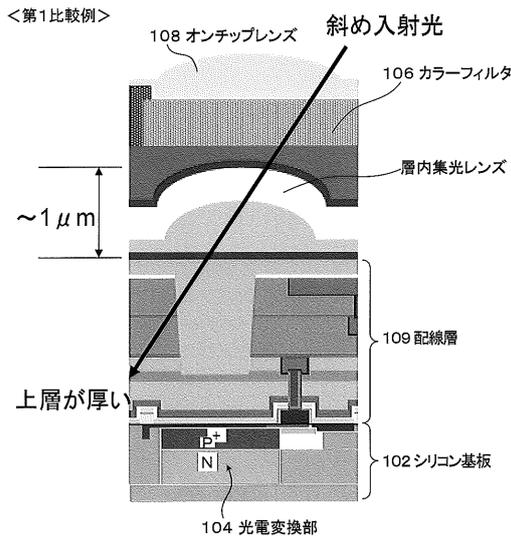
【図5】



【図5A】



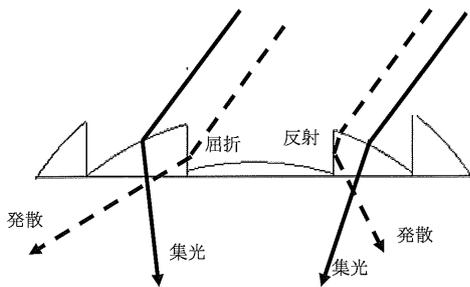
【図6】



- 混色が多い
- 小さいF値の光に対して理論感度より低下
- リフローで球面レンズを作製するために横方向に変形した構造を作れない
- 画素マトリクス部の端部でシェーディングが生じる

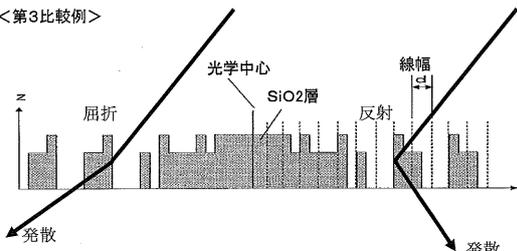
【 図 6 A 】

< 第2比較例 >



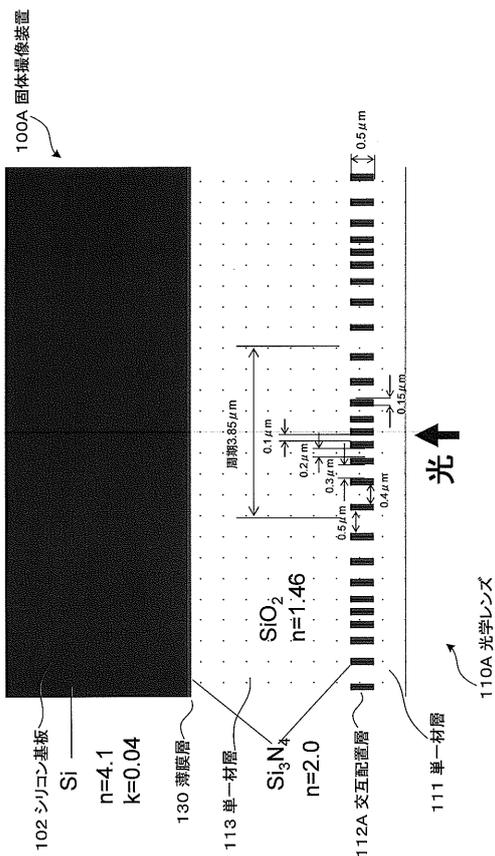
【 図 6 B 】

< 第3比較例 >



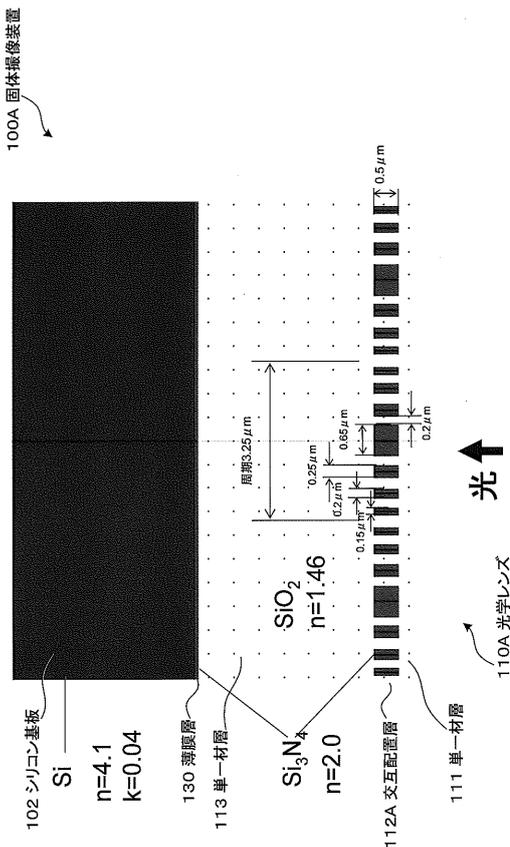
【 図 8 】

光学シミュレーション構造
(低屈折率層の最小幅0.1 μm/高屈折率層は等幅)



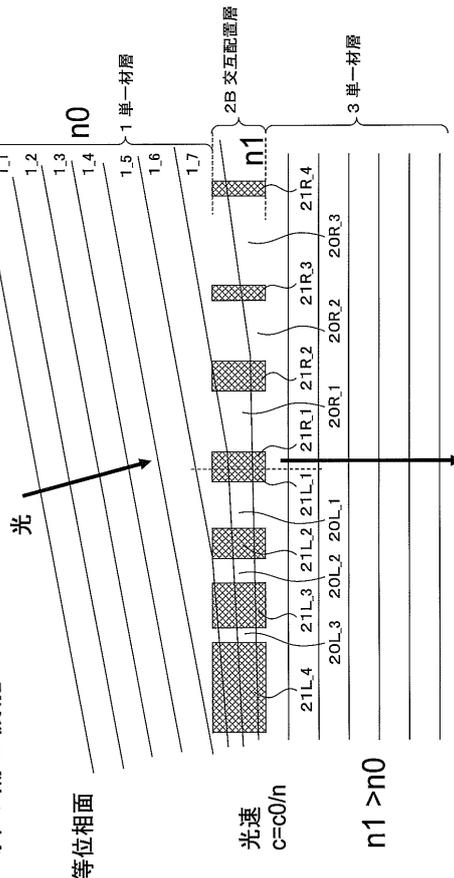
【 図 7 】

光学シミュレーション構造
(高屈折率層の最小幅0.15 μm/低屈折率層は等幅)



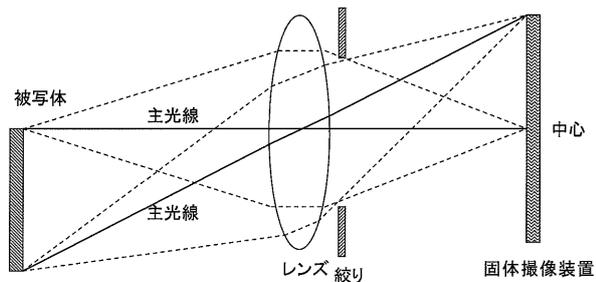
【 図 10 】

斜め補正機能

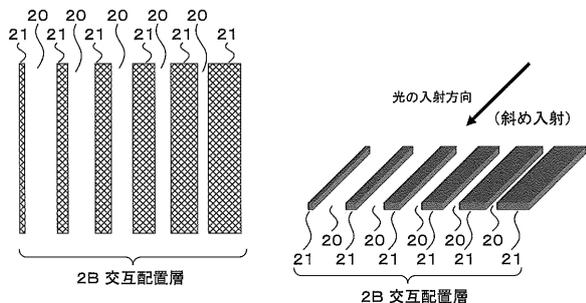


レンズ原理 < 第2実施形態: 基本 >

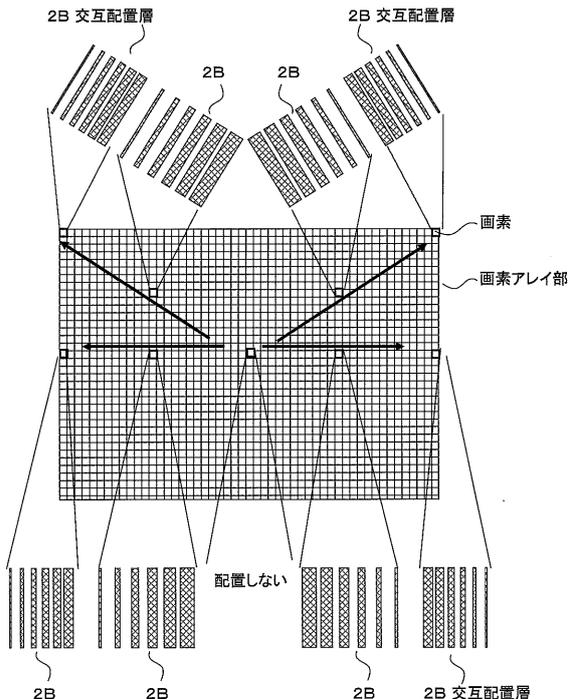
【図10A】



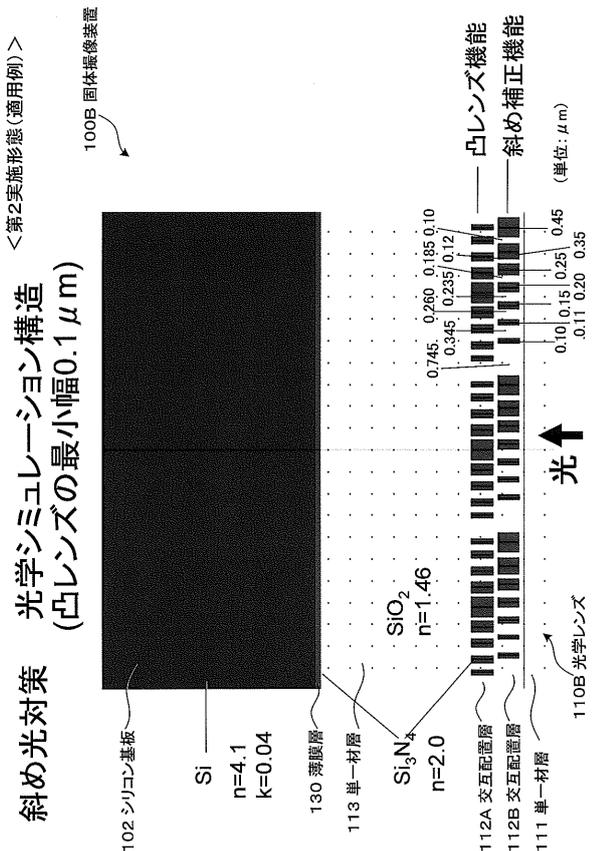
【図10B】



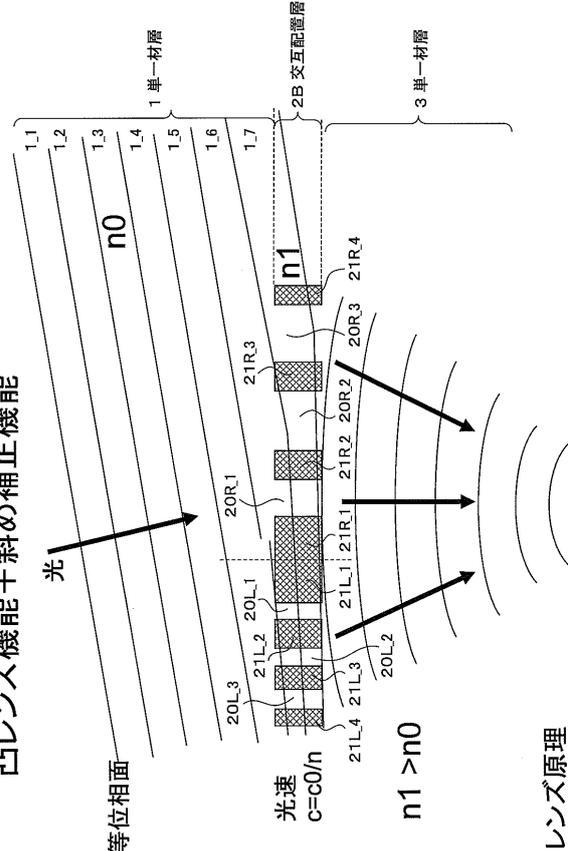
【図10C】



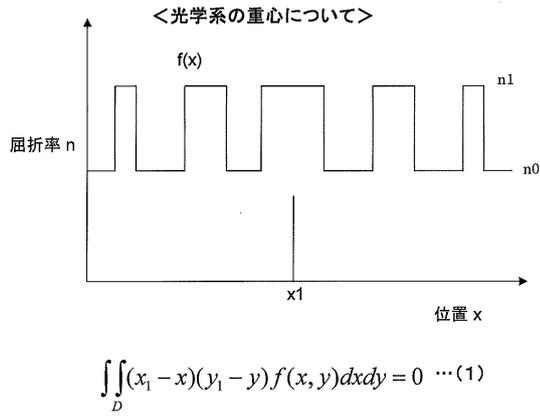
【図11】



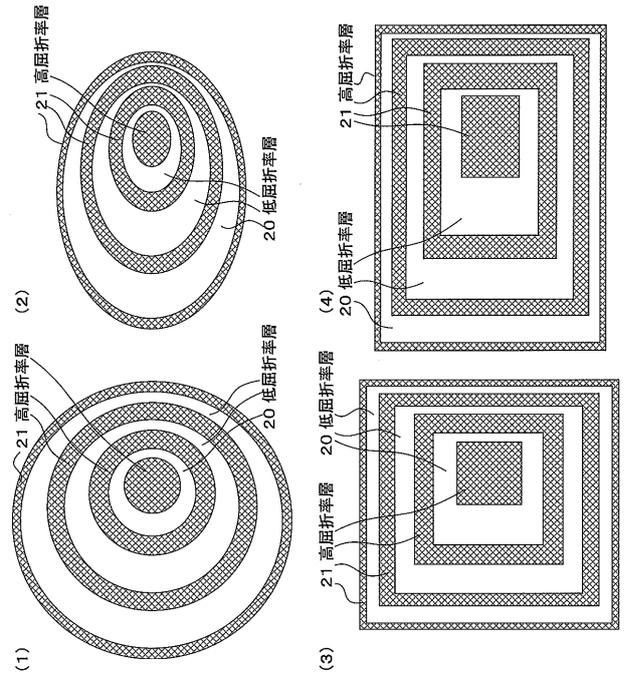
【図12】



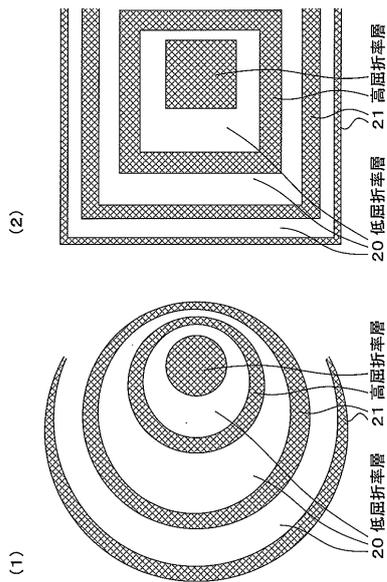
【図12A】



【図12B】

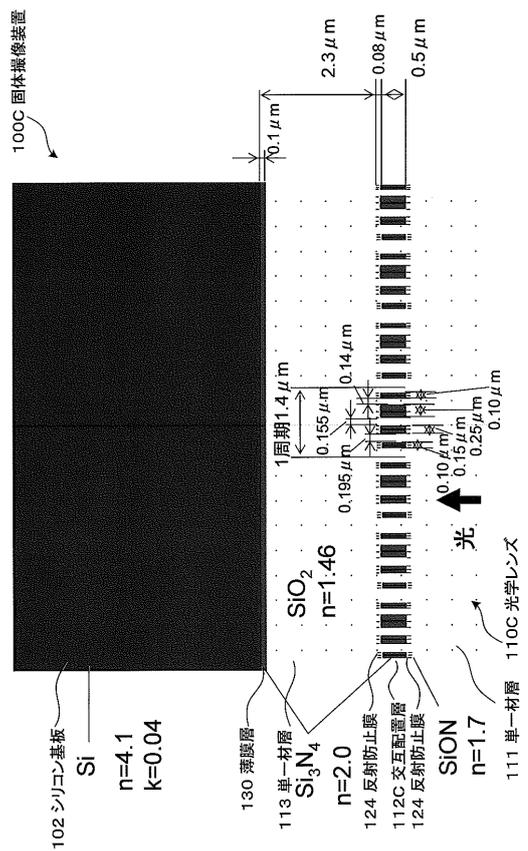


【図12C】

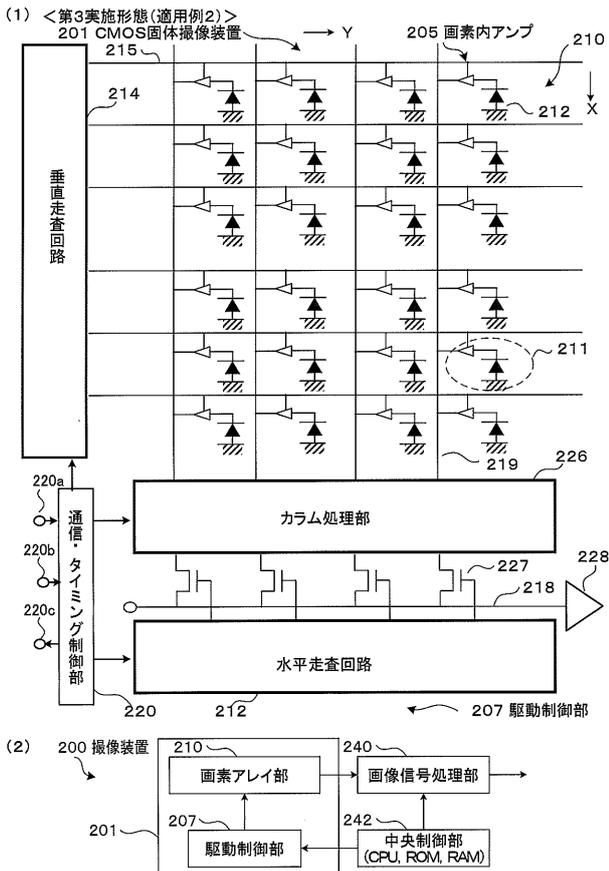


【図13】

斜め光対策2 光学シミュレーション構造<第3実施形態(通用例1)>
(最小幅0.1μm)

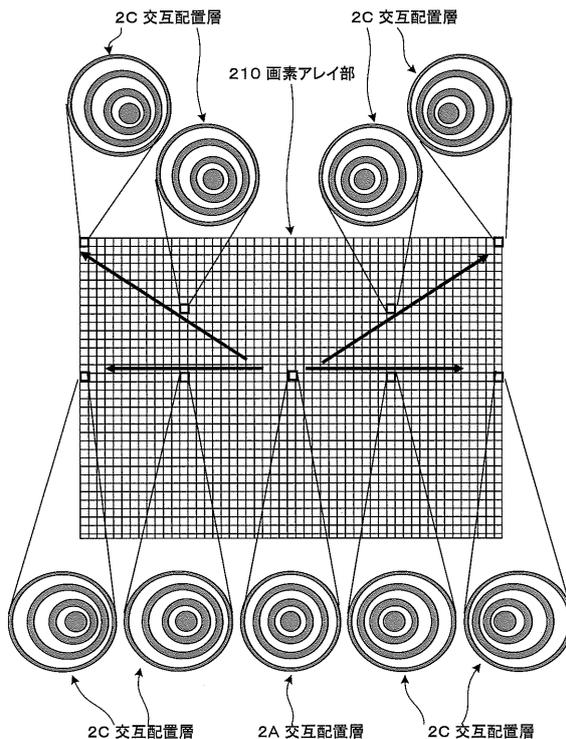


【図14】

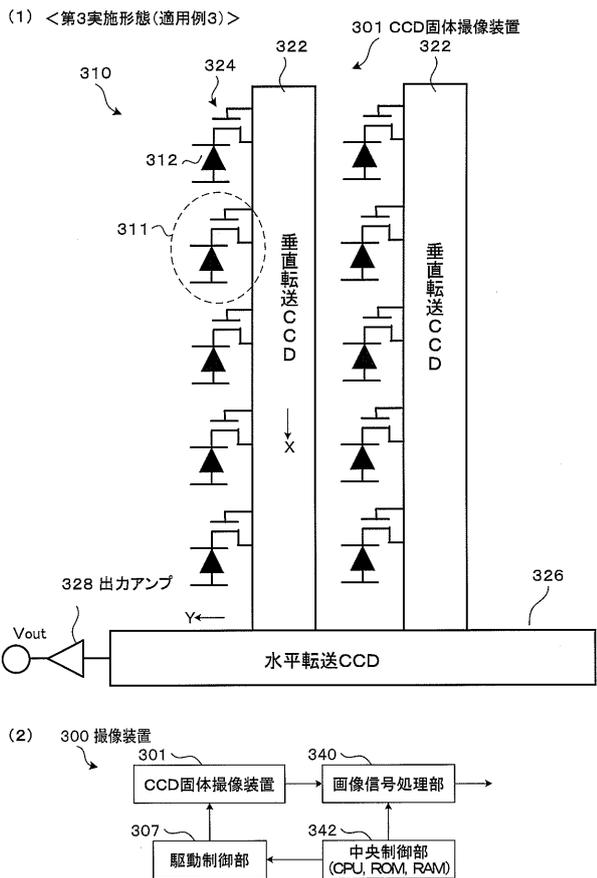


【図14A】

<第3実施形態(適用例2)>

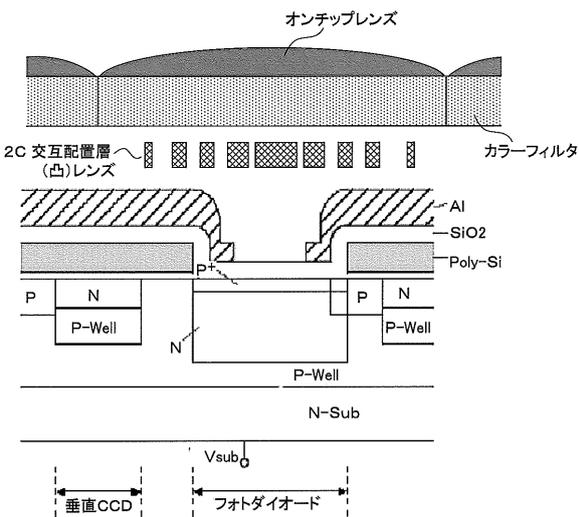


【図15】



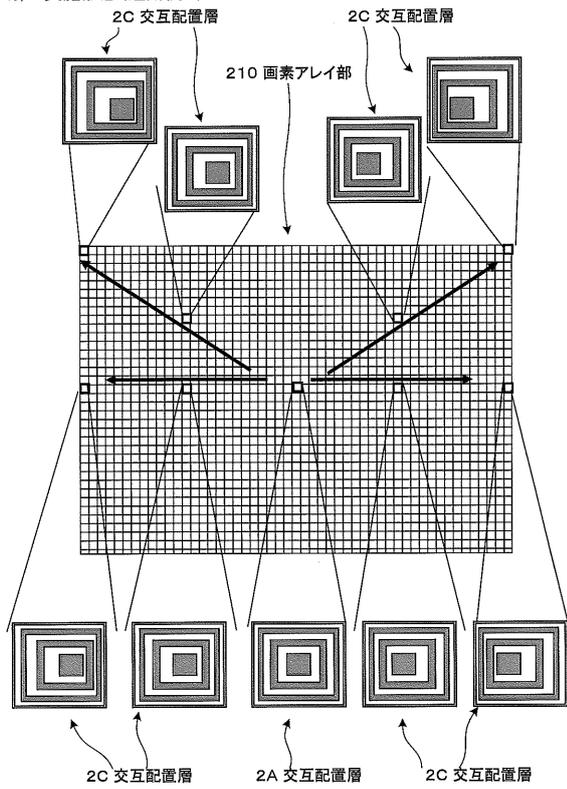
【図15A】

<第3実施形態(適用例3)>



【図15B】

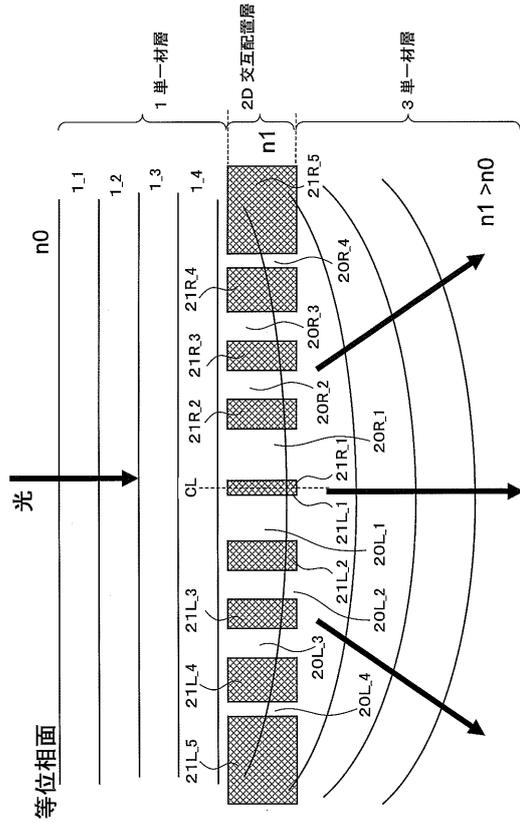
<第3実施形態(適用例3)>



【図16】

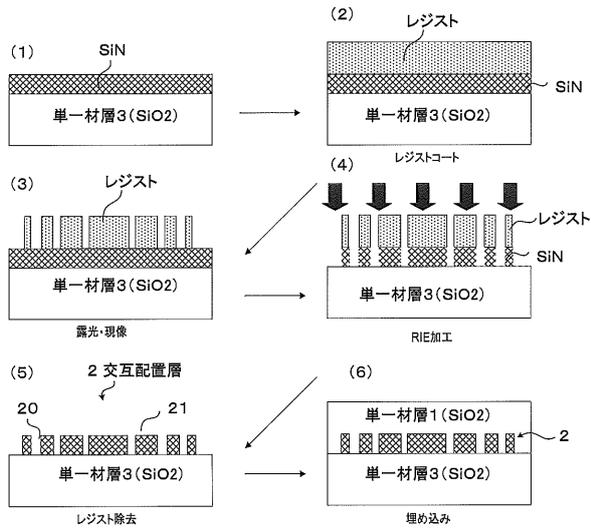
<第4実施形態:基本>

レンズ原理(凹レンズ)



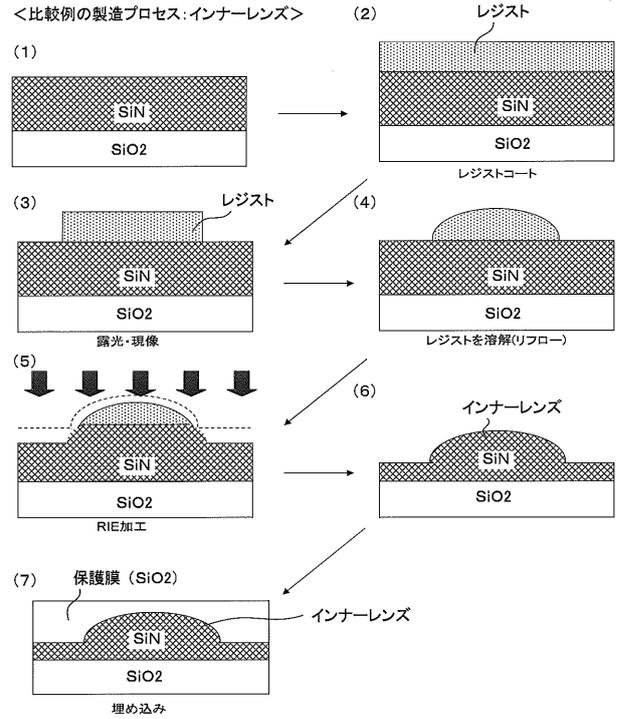
【図17】

<本実施形態の製造プロセス>

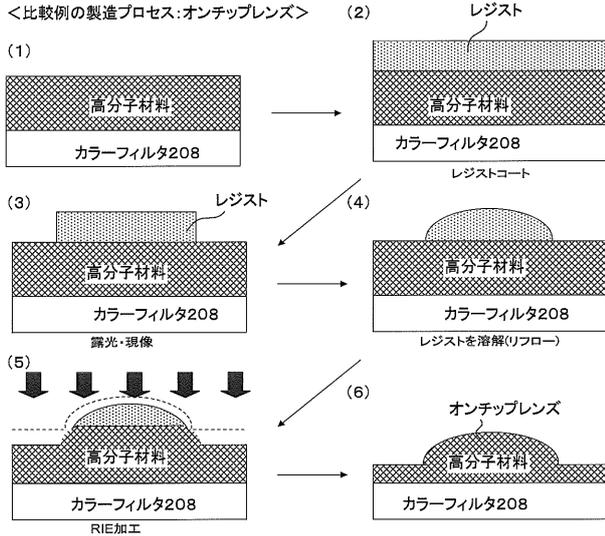


【図17A】

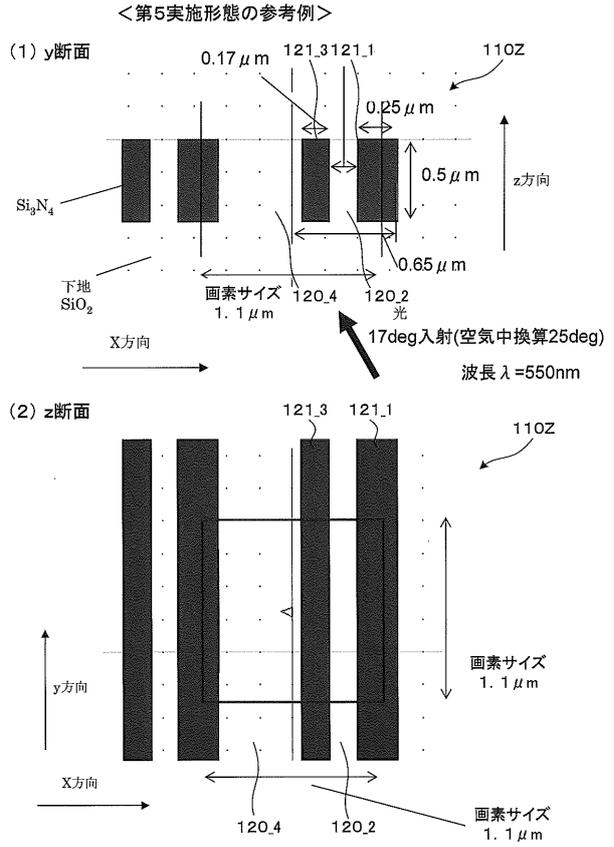
<比較例の製造プロセス:インナーレンズ>



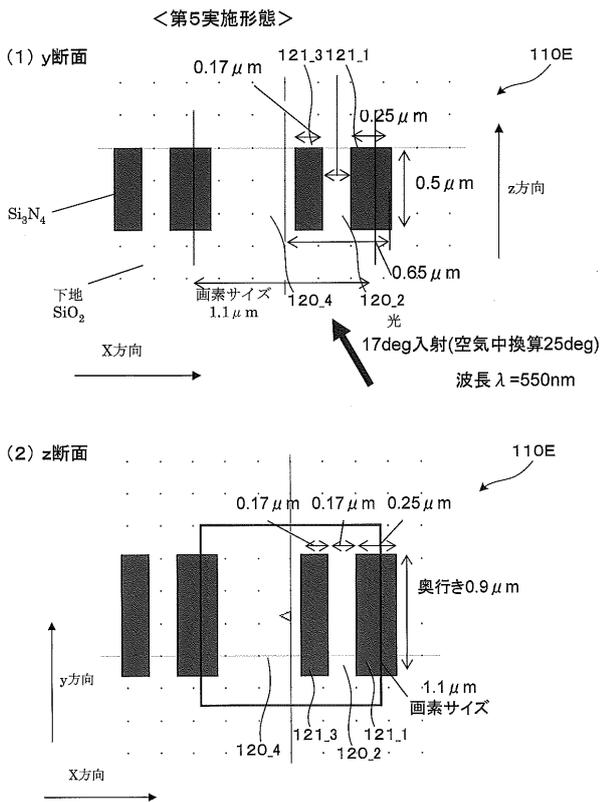
【図17B】



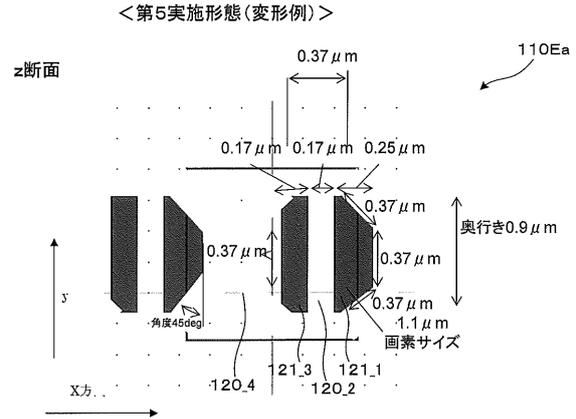
【図18】



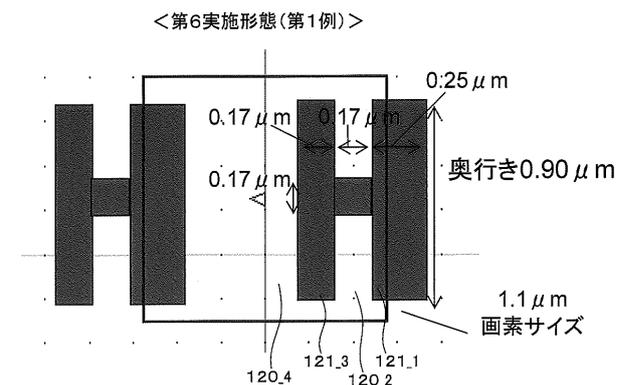
【図19】



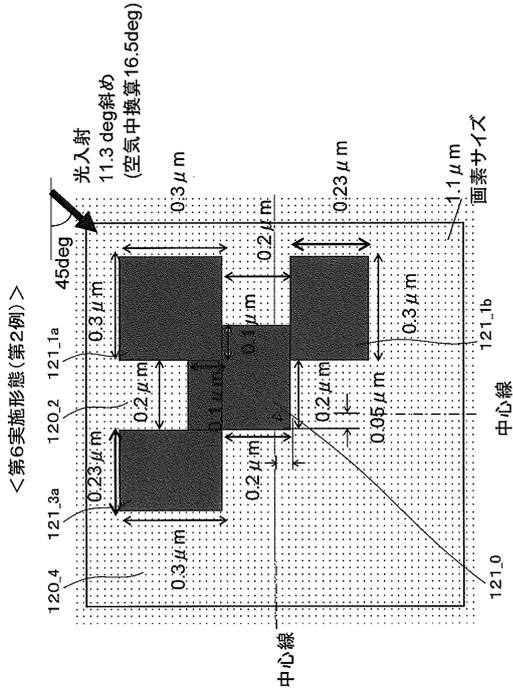
【図20】



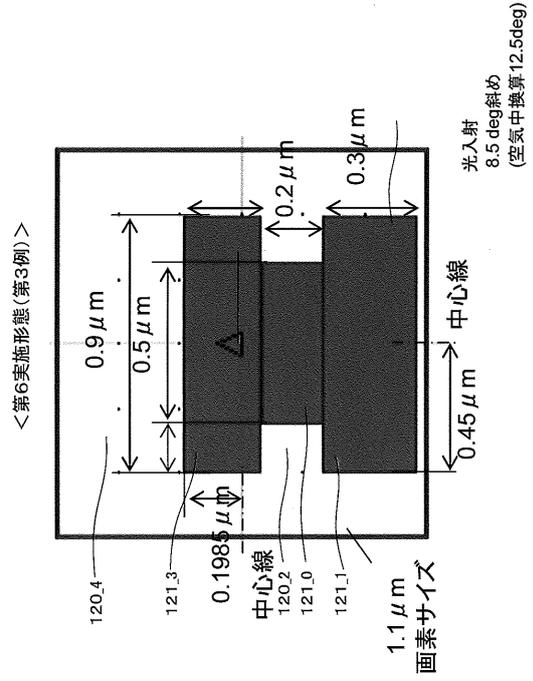
【図21】



【 図 2 2 】

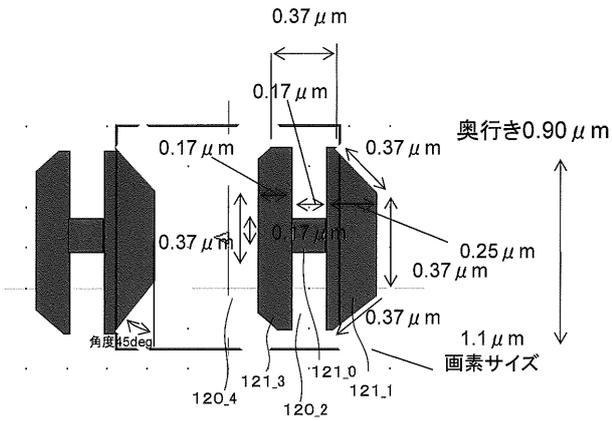


【 図 2 3 】

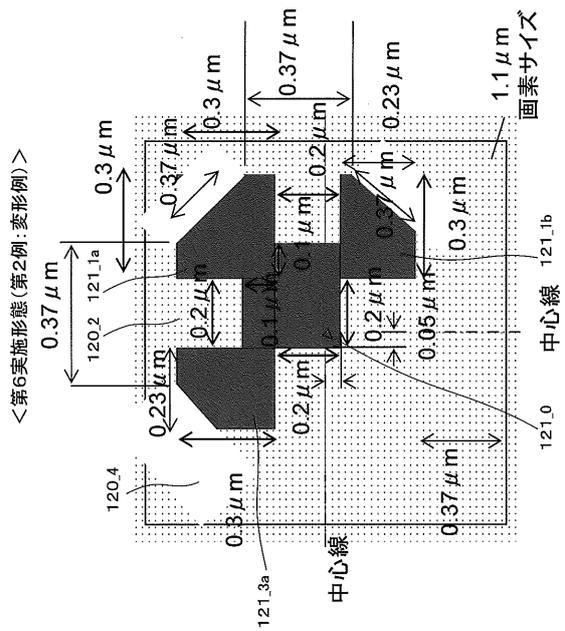


【 図 2 4 】

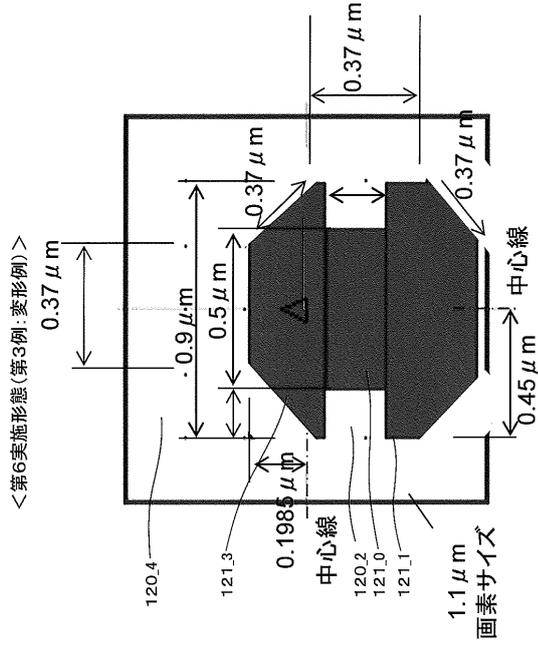
<第6実施形態(第1例:変形例)>



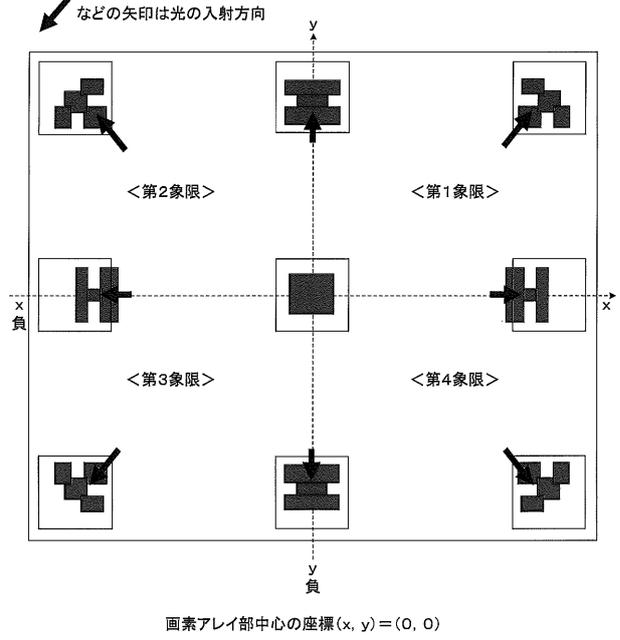
【 図 2 4 A 】



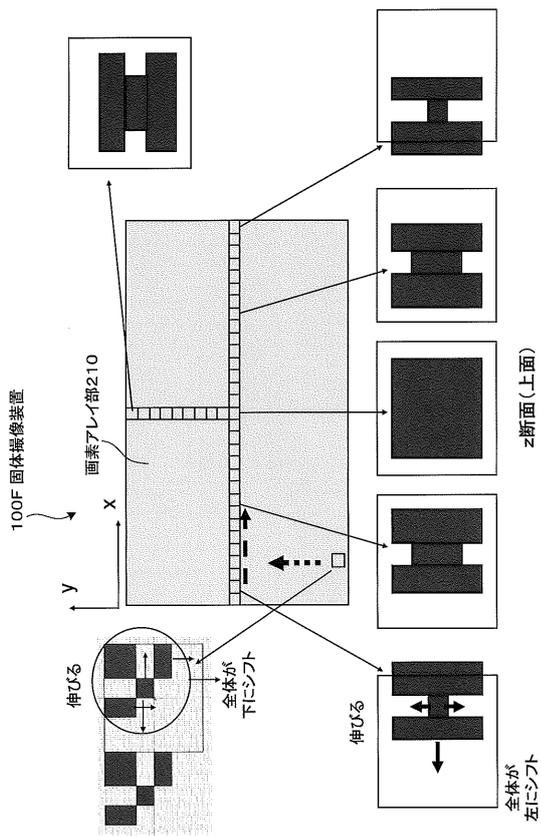
【図 2 4 B】



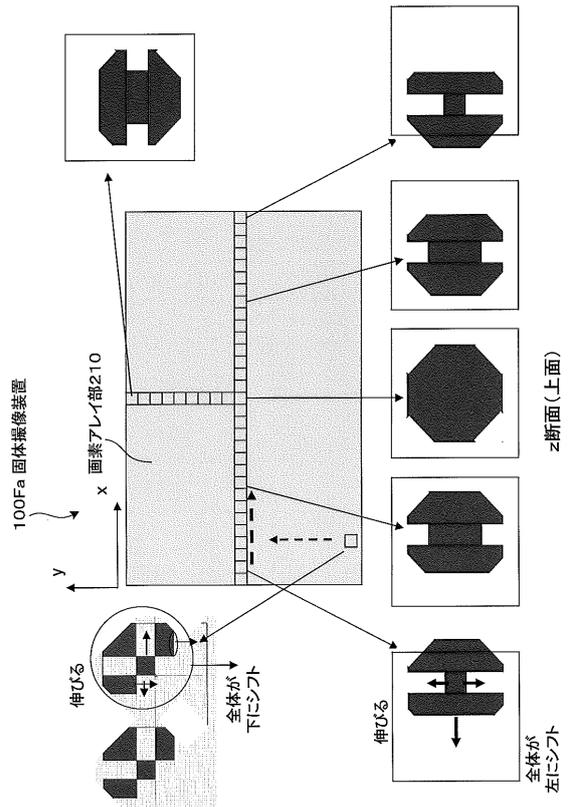
【図 2 5】



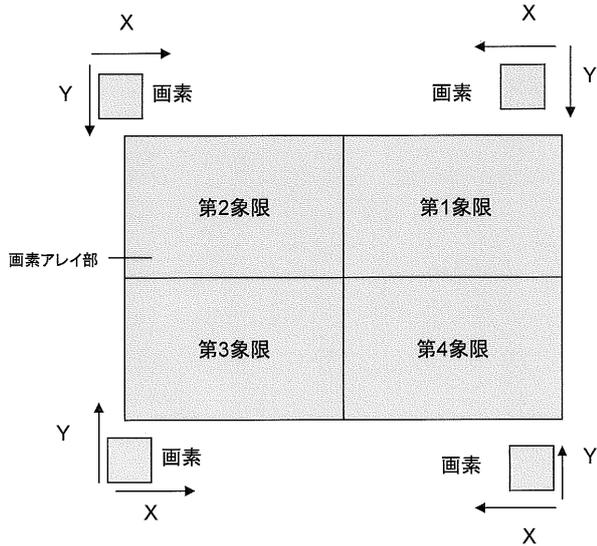
【図 2 5 A】



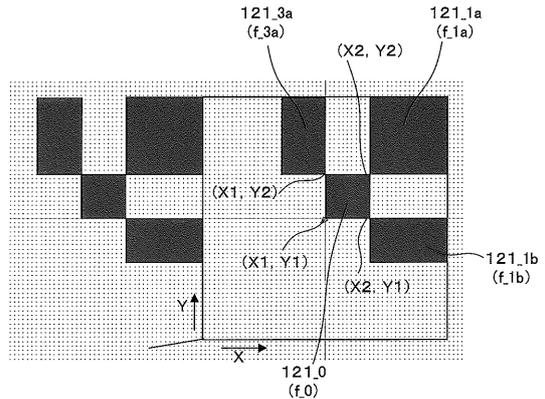
【図 2 5 B】



【図26】



【図26A】



$$f_0(xa, ya) = \{(X1, Y1), (X2, Y1), (X2, Y2), (X1, Y2)\}$$

$$X1 = s1 \times |xa| + s2 \times |ya| + c1$$

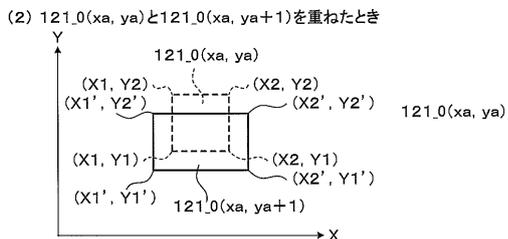
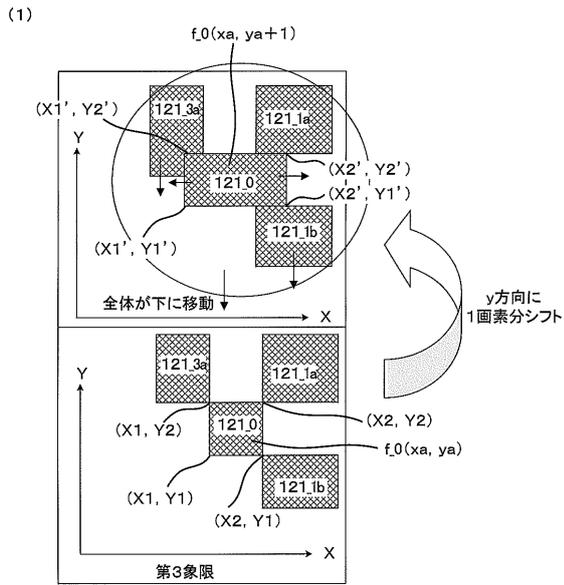
$$Y1 = s3 \times |xa| + s4 \times |ya| + c2$$

$$X2 = s5 \times |xa| + s6 \times |ya| + c3$$

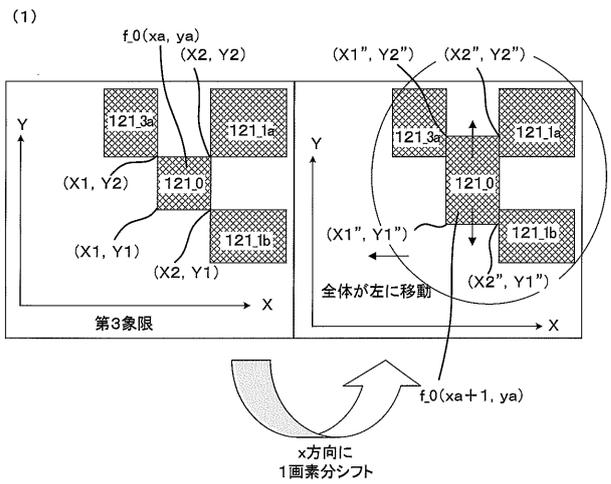
$$Y2 = s7 \times |xa| + s8 \times |ya| + c4$$

$|xa|, |ya|$ は、それぞれ xa, ya の絶対値

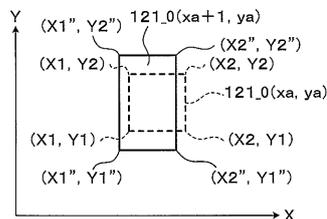
【図26B】



【図26C】

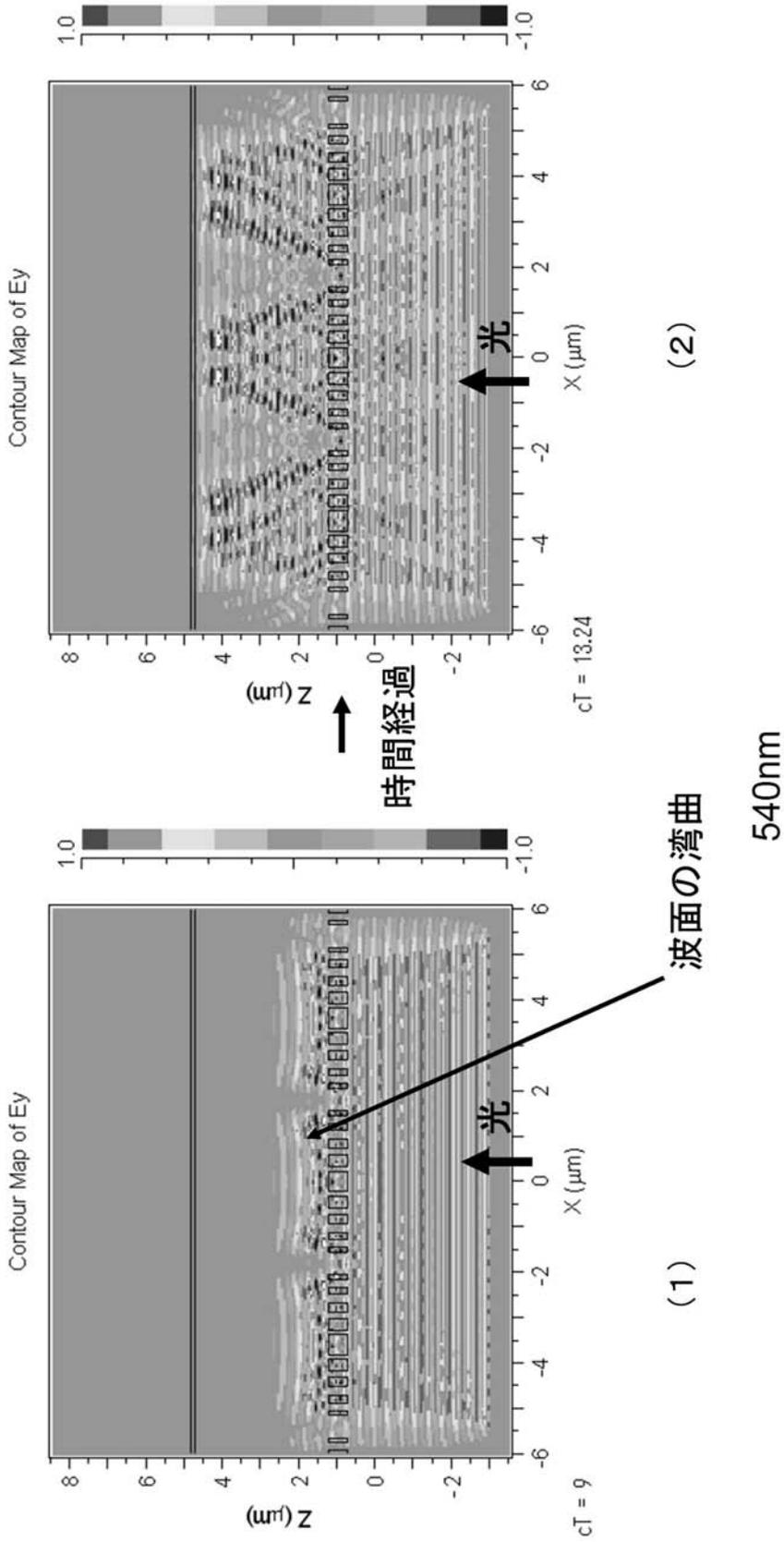


(2) 121.0(xa, ya)と121.0(xa+1, ya)を重ねたとき



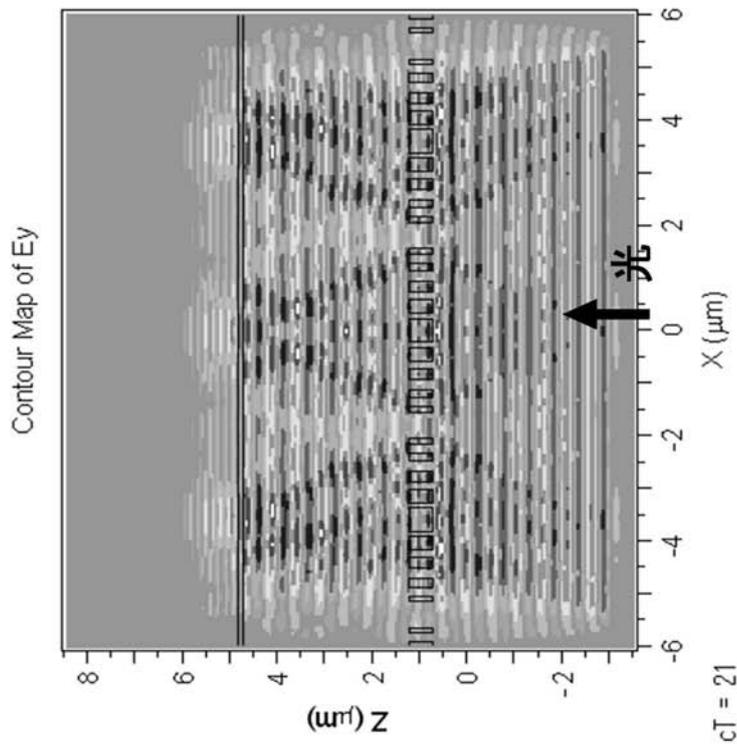
【 図 2 B 】

計算途中過程 <第1実施形態(適用例1)>



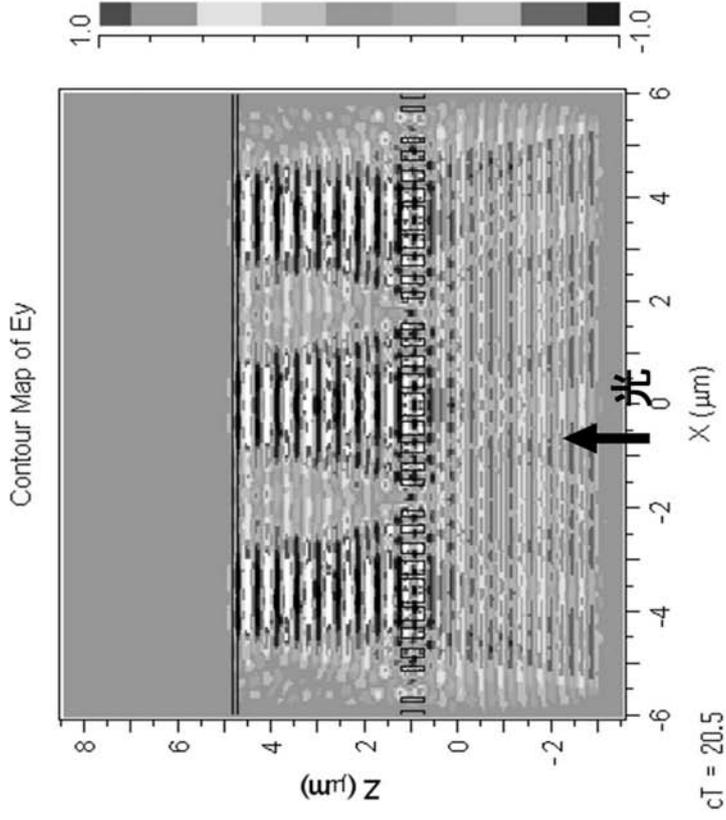
【 図 2 C 】

レンズ集光特性 最小幅0.1μm <第1実施形態(適用例1)>



780nm

(1)

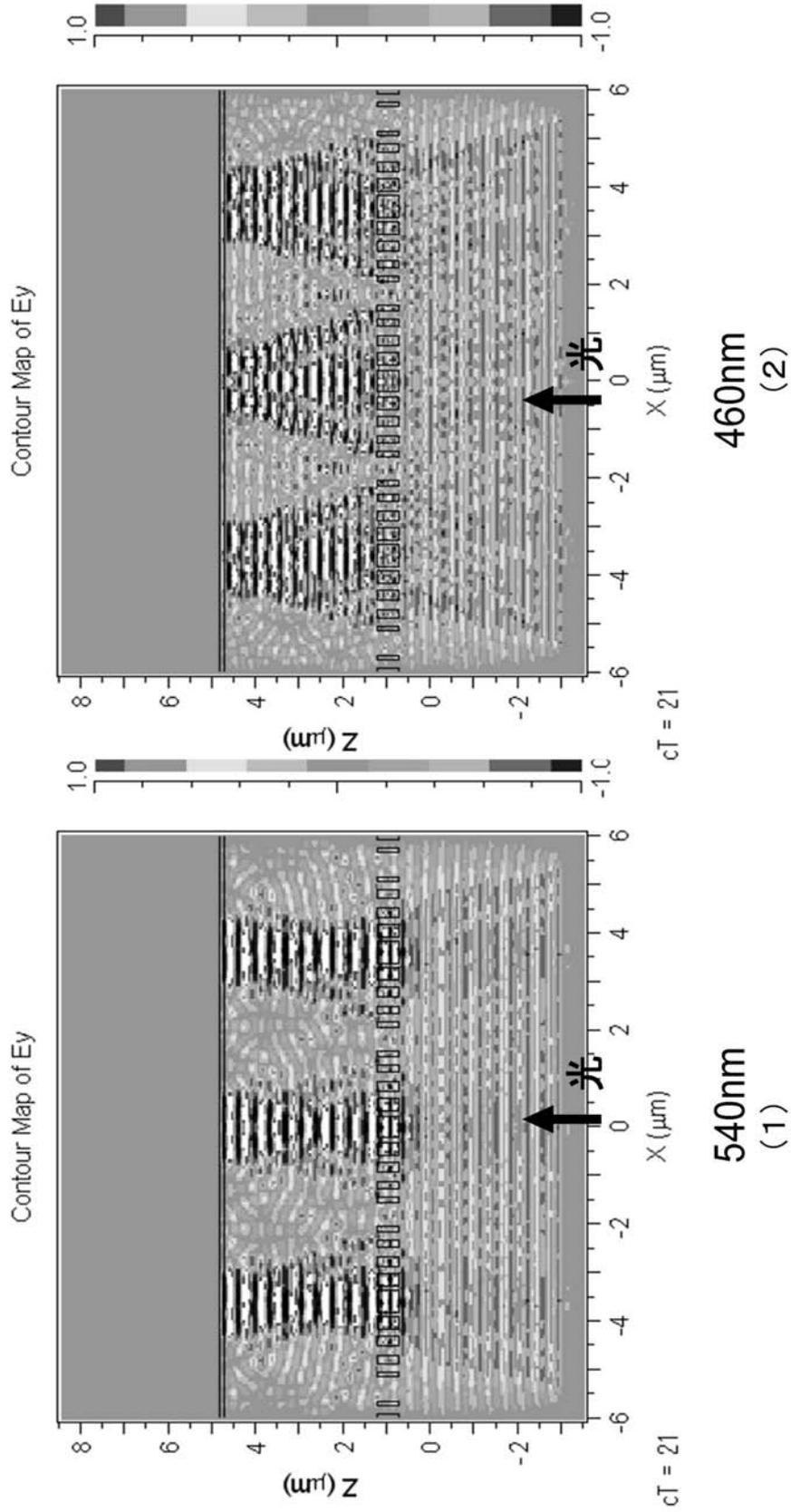


640nm

(2)

【 図 2 D 】

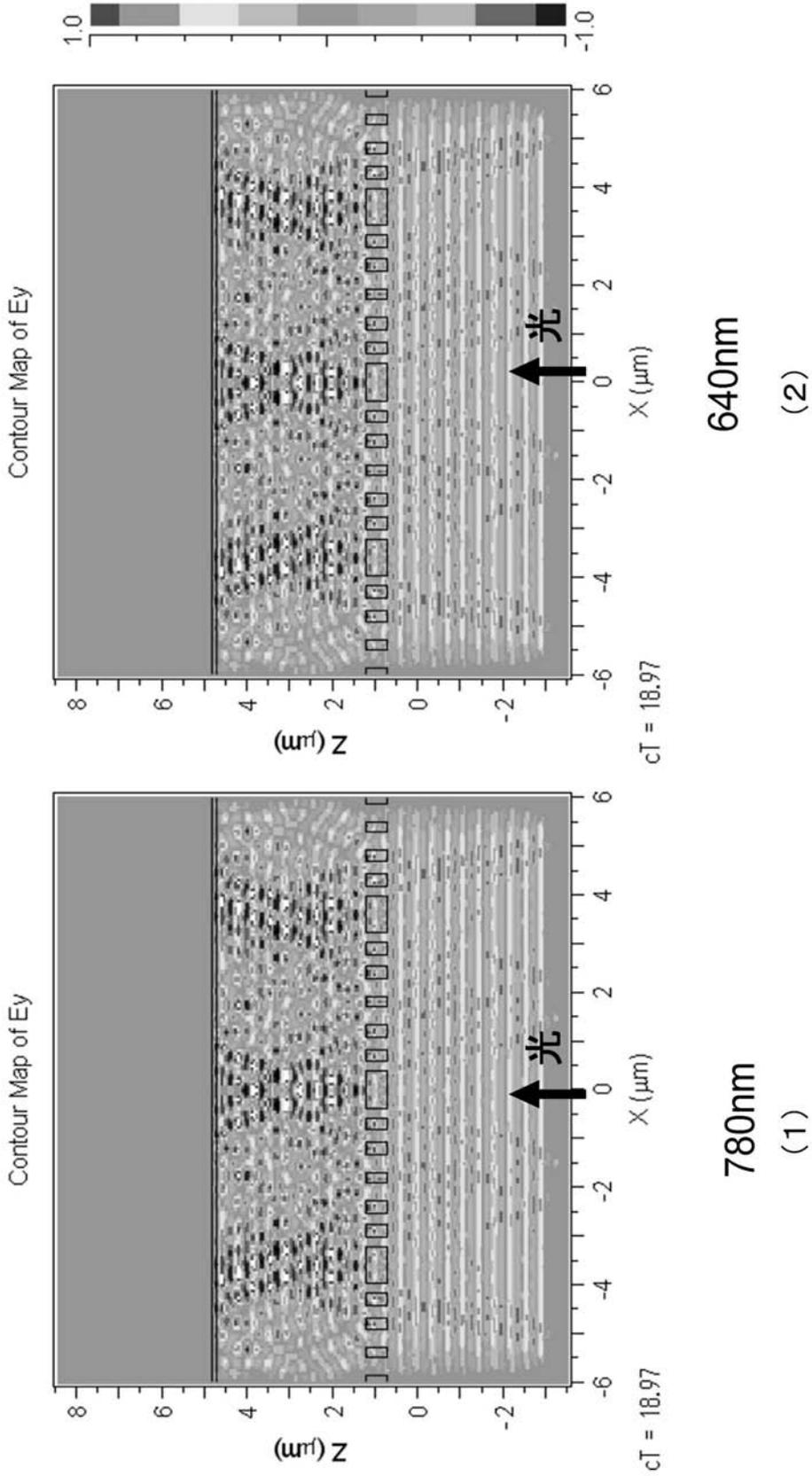
レンズ集光特性 最小幅0.1 μm < 第1実施形態(適用例1) >



【 図 3 A 】

レンズ集光特性 最小幅0.2 μm

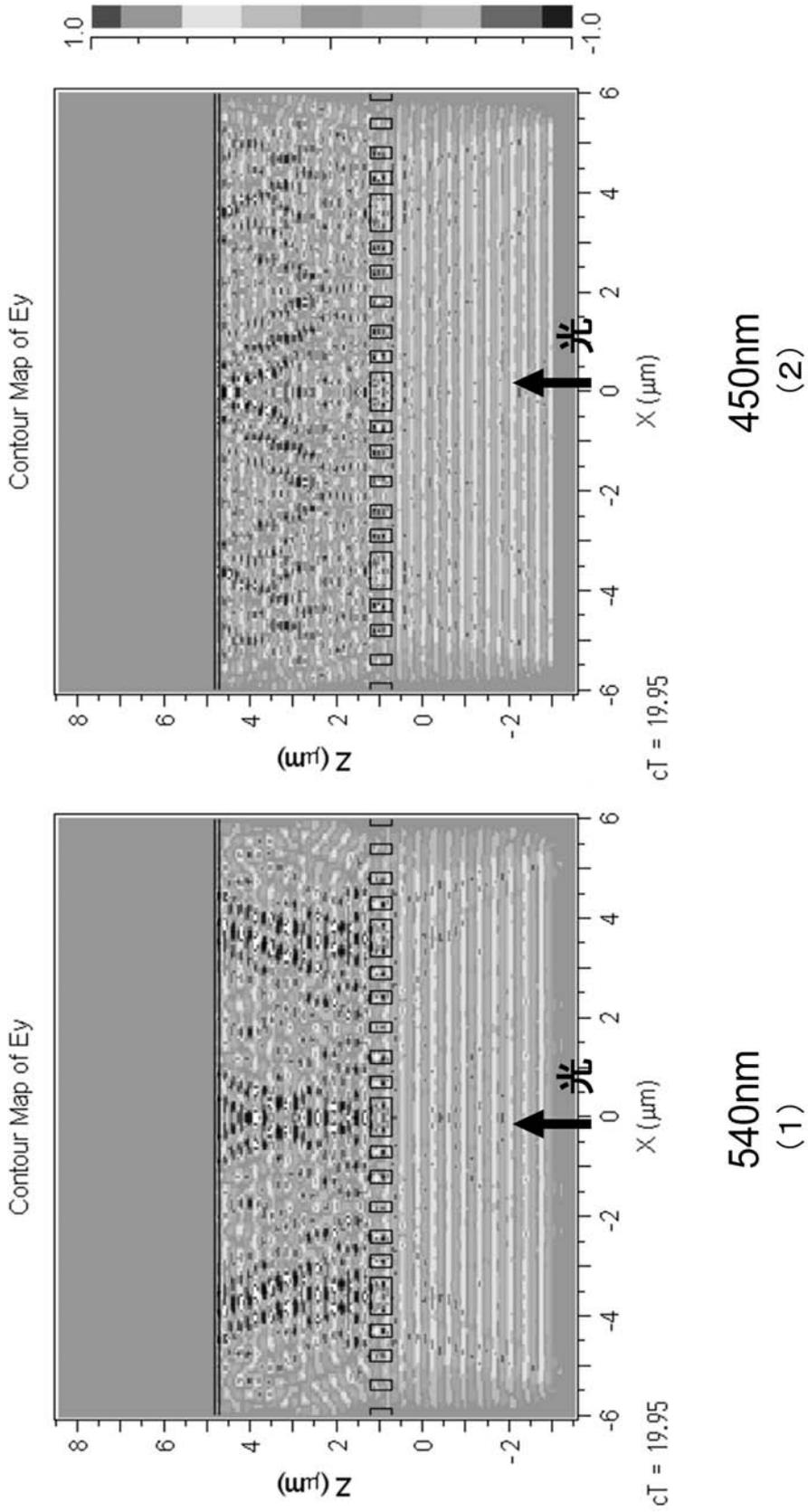
< 第1実施形態(適用例2) >



【 図 3 B 】

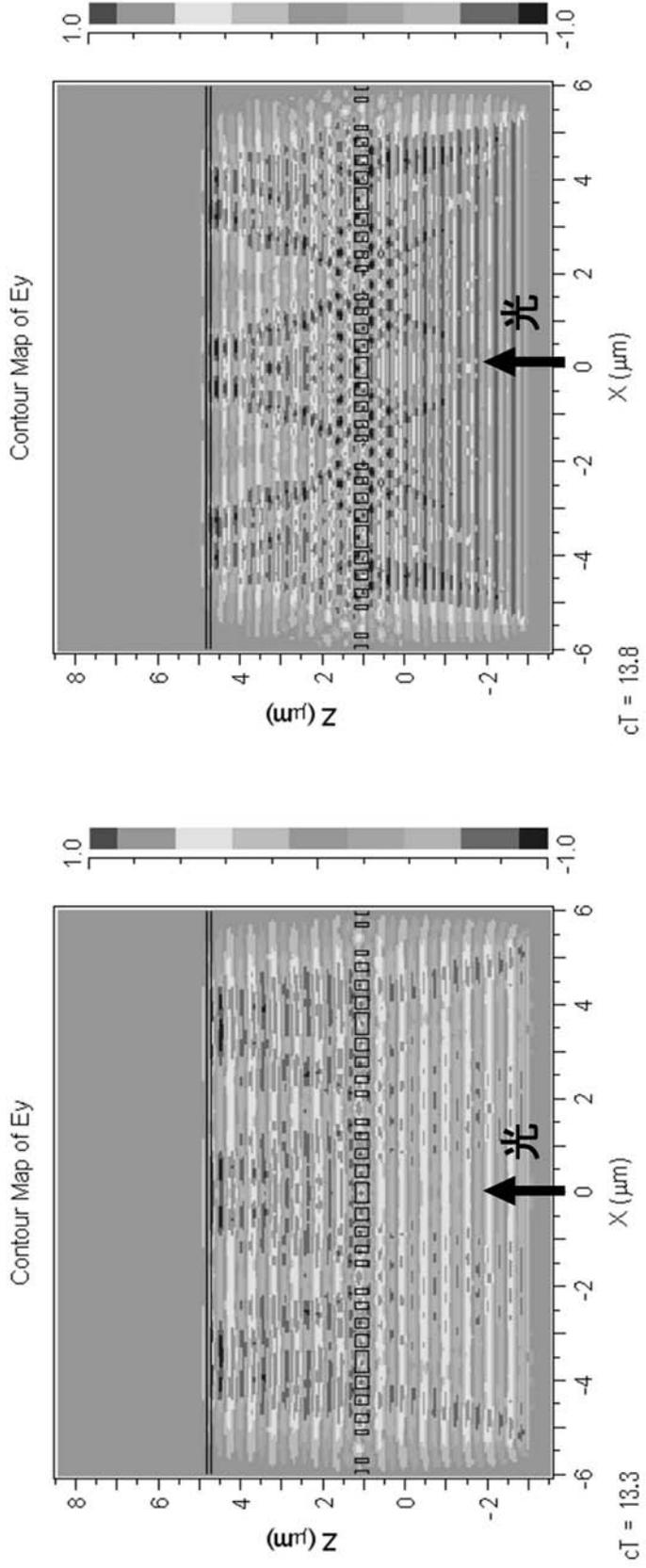
レンズ集光特性 最小幅0.2 μm

< 第1実施形態(適用例2) >



【 図 4 A 】

レンズ集光特性 0.3 μm厚み < 第1実施形態(適用例3) >



640nm

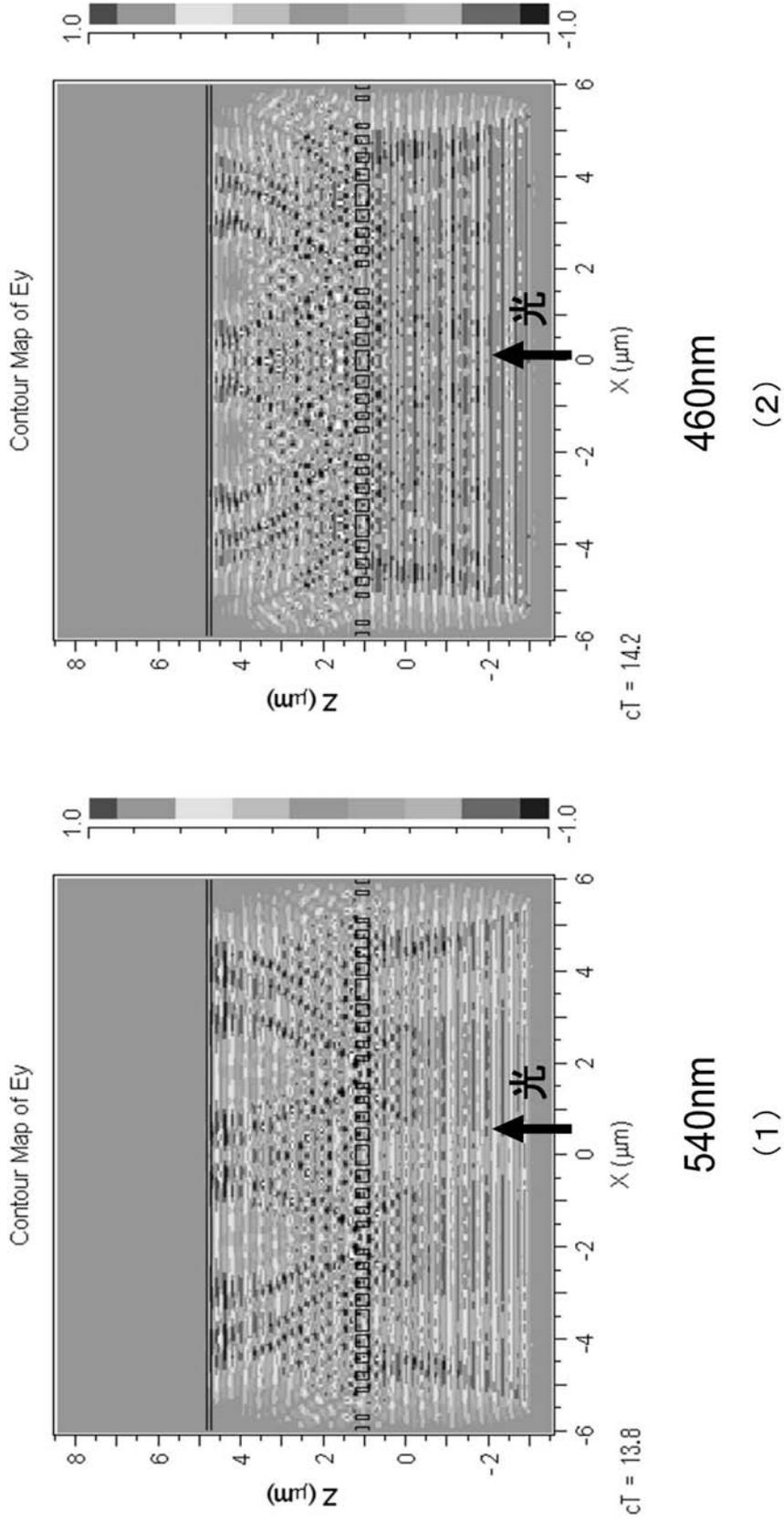
(2)

780nm

(1)

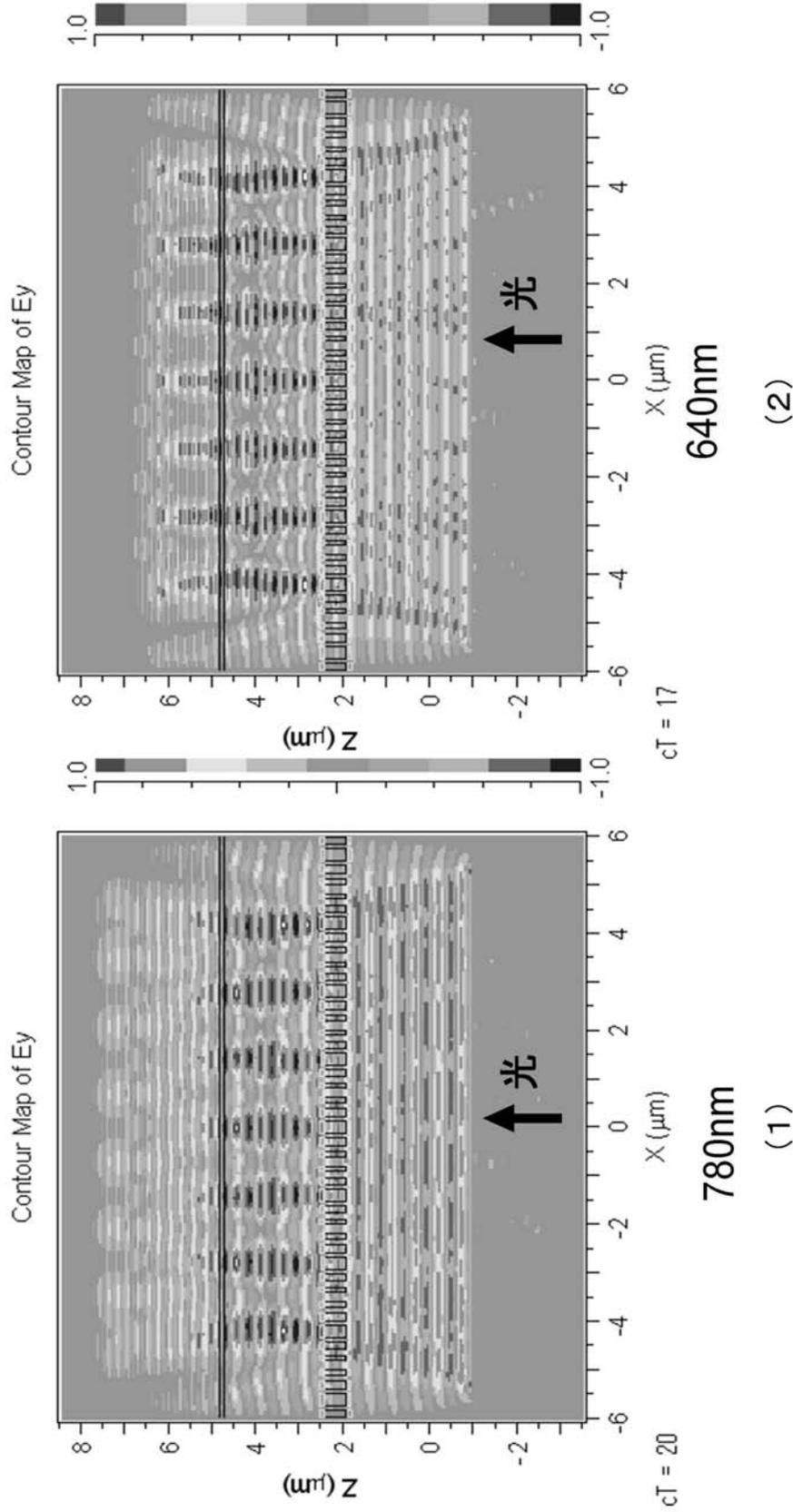
【 図 4 B 】

レンズ集光特性 0.3 μm 厚み < 第1実施形態(適用例3) >



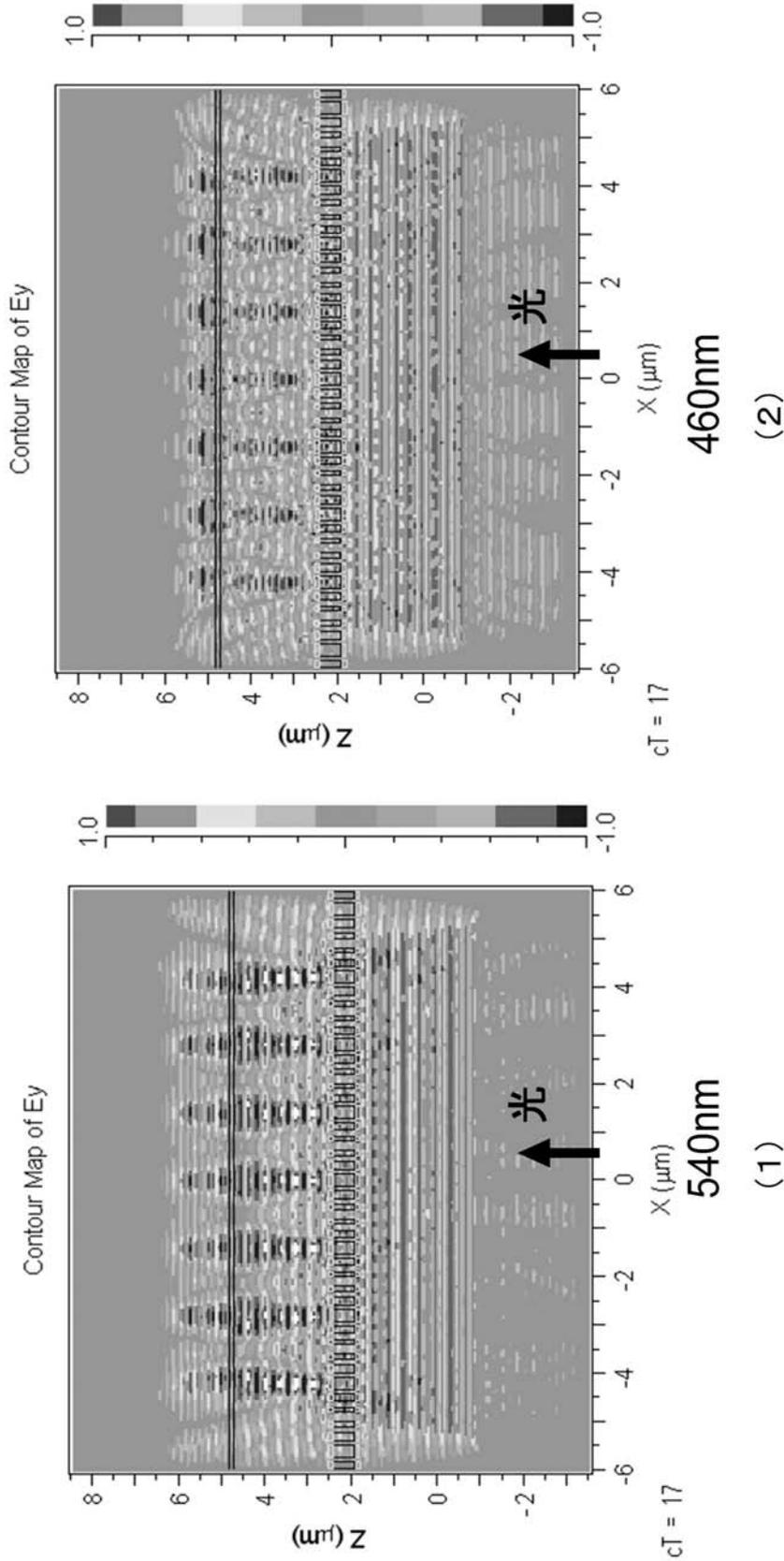
【 図 5 B 】

レンズ集光特性 1.4 μm 画素サイズ < 第1実施形態(適用例4) >



【 図 5 C 】

レンズ集光特性 <第1実施形態(適用例4)> 1.4 μ m画素サイズ

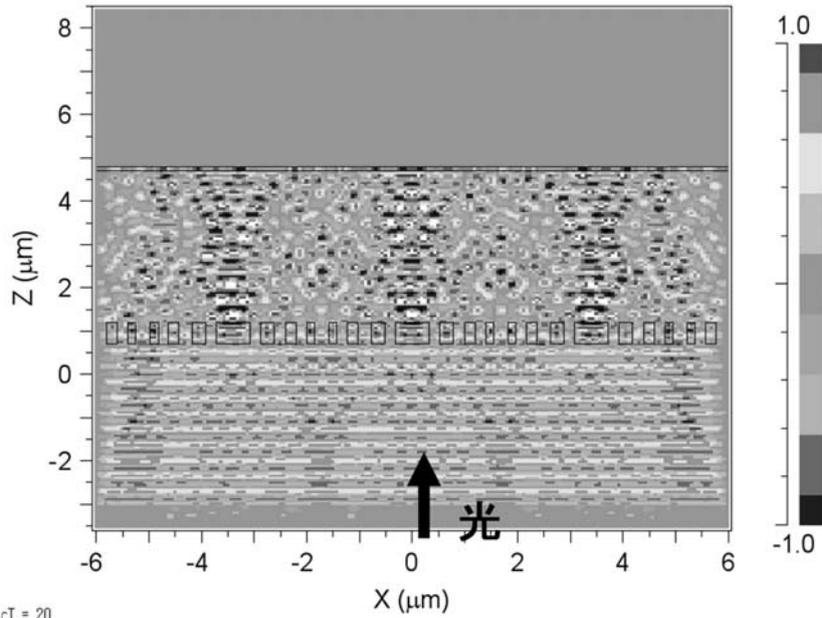


【 図 7 A 】

< 第 1 実施形態 (変形例 1) >

540nm

Contour Map of Ey



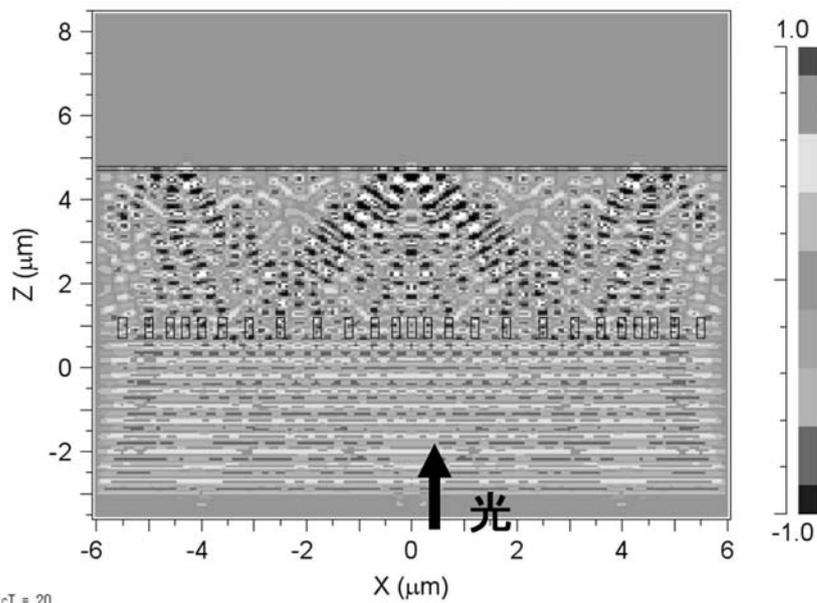
cT = 20

【 図 8 A 】

< 第 1 実施形態 (変形例 2) >

540nm

Contour Map of Ey



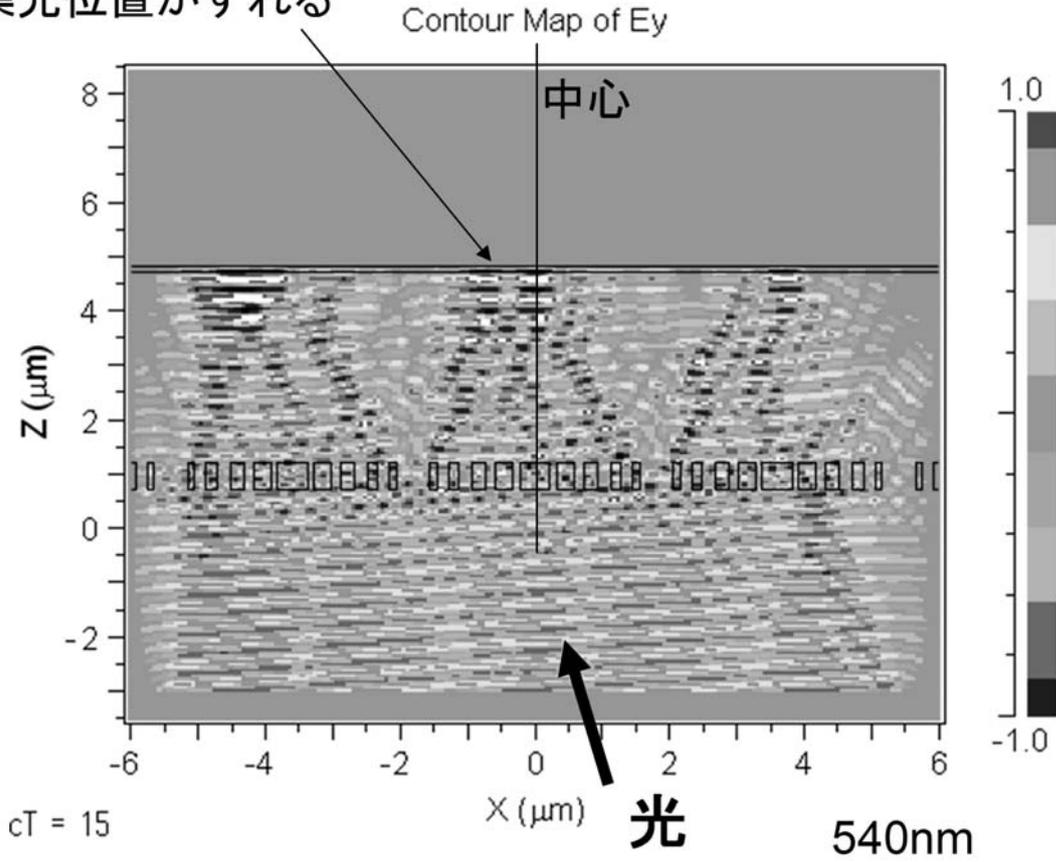
cT = 20

【図9】

<第1実施形態(適用例1)>

斜め入射光のとき

集光位置がずれる



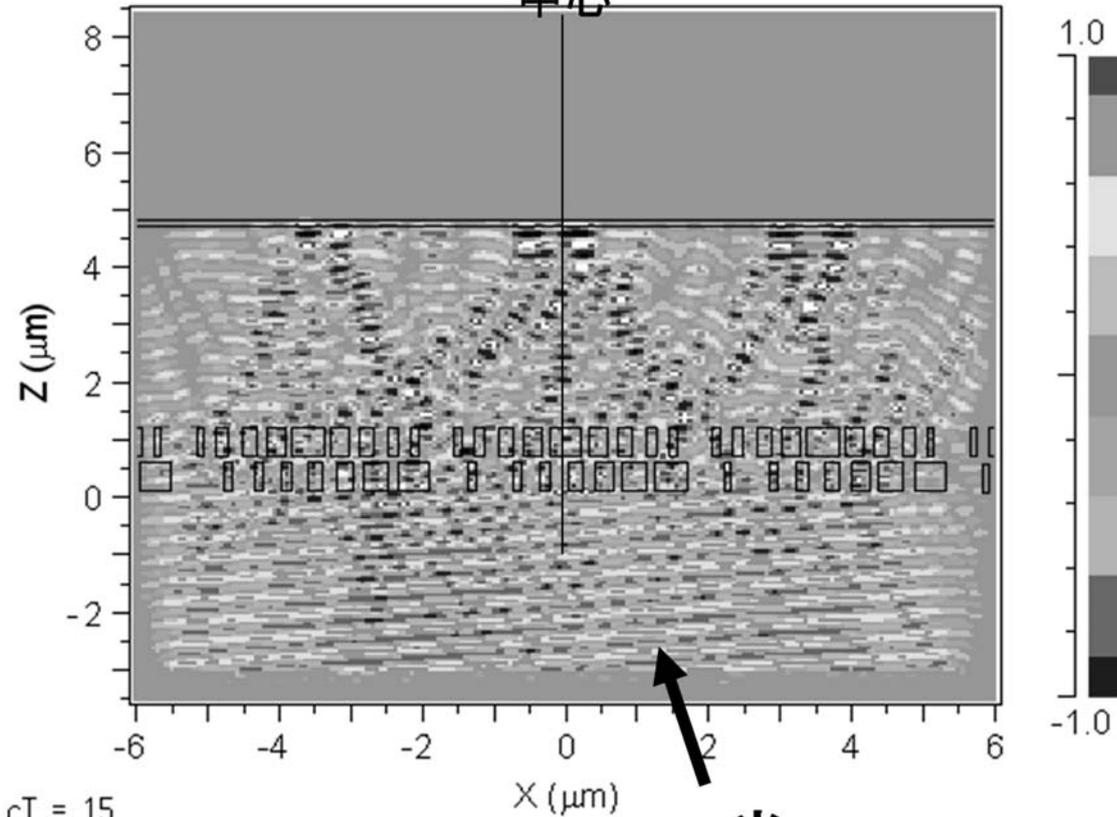
【図 1 1 A】

<第2実施形態(適用例)>

斜め入射光

Contour Map of Ey

中心



光 540nm

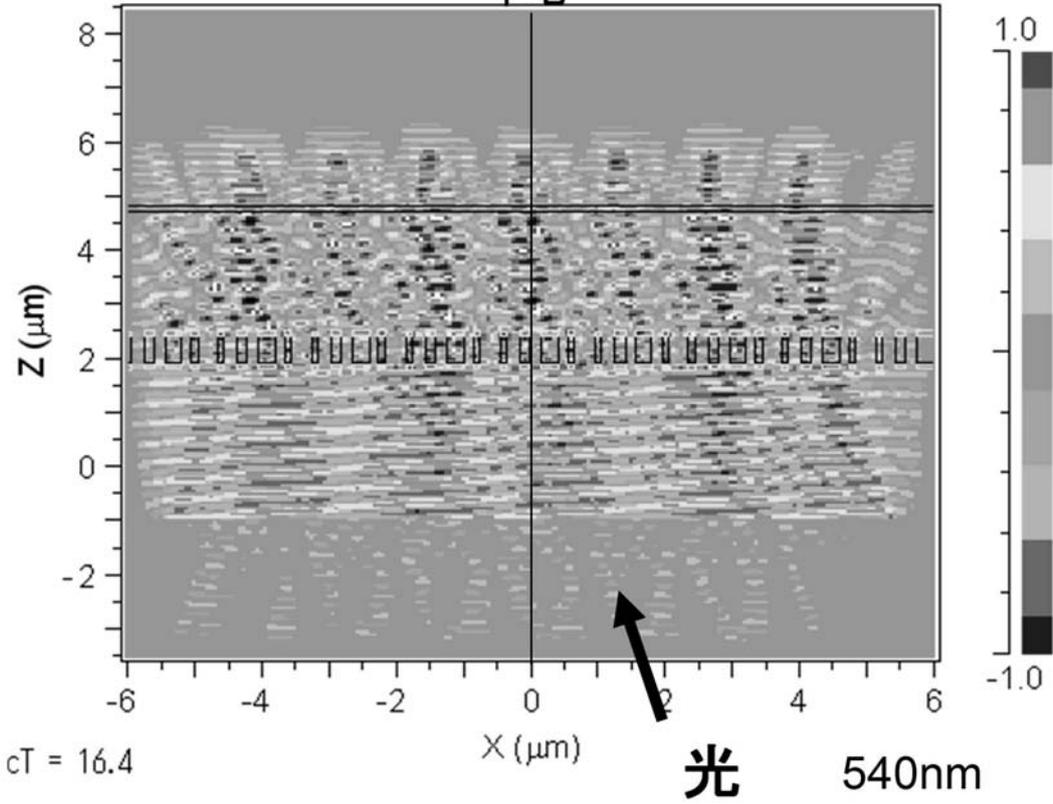
【図 1 3 A】

<第3実施形態(適用例1)>

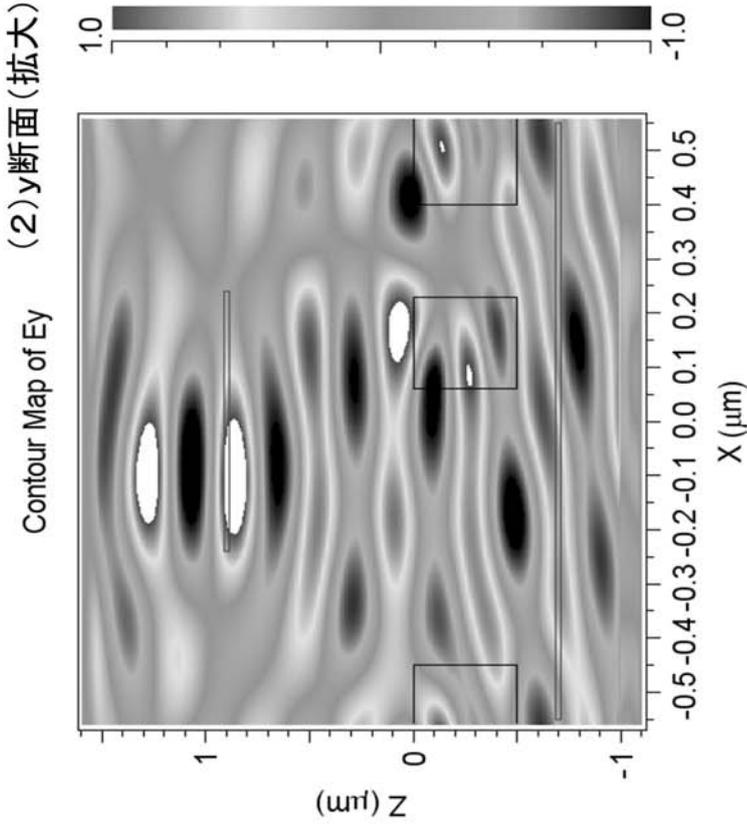
レンズ集光特性 斜め光対策

Contour Map of Ey

中心

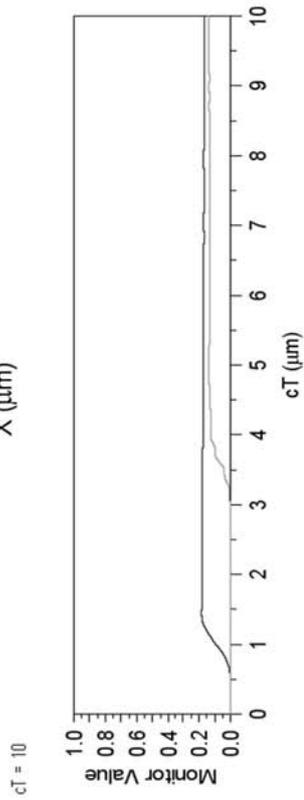
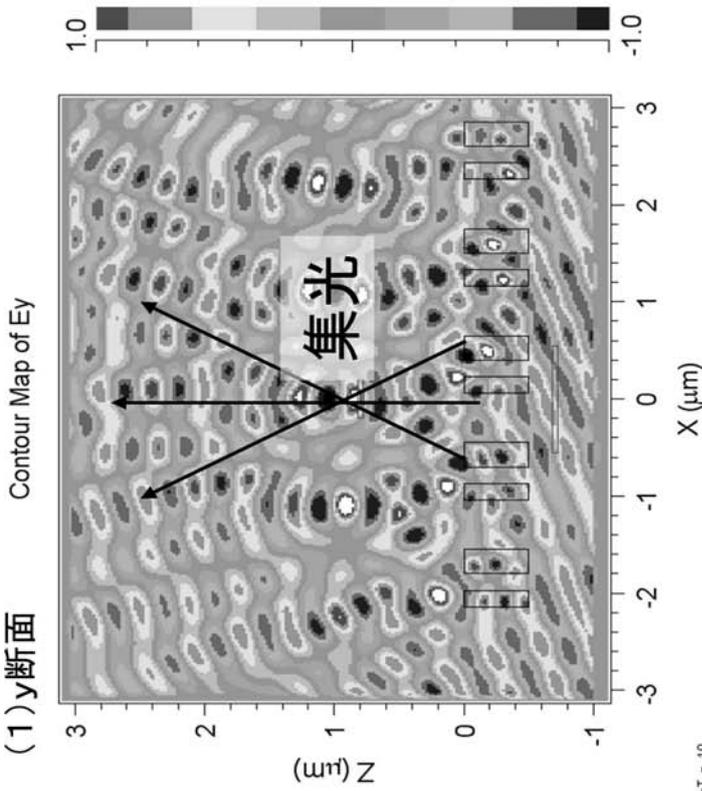


【図 18 A】



拡大
周期境界条件

17deg入射(空气中換算25deg)
波長 $\lambda = 550\text{nm}$



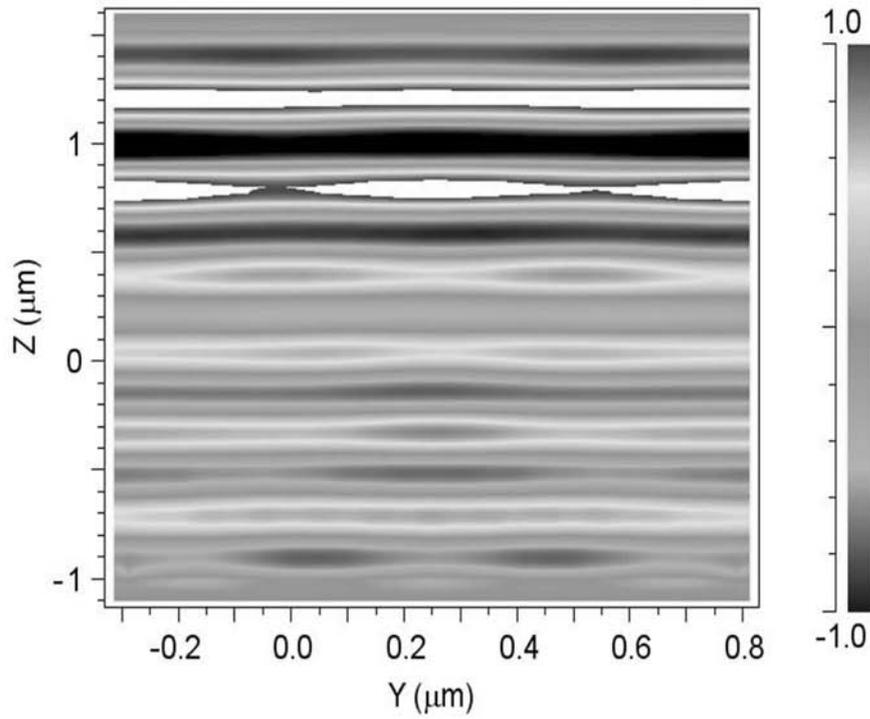
< 第5実施形態の参考例 >

【図 18B】

<第5実施形態の参考例>

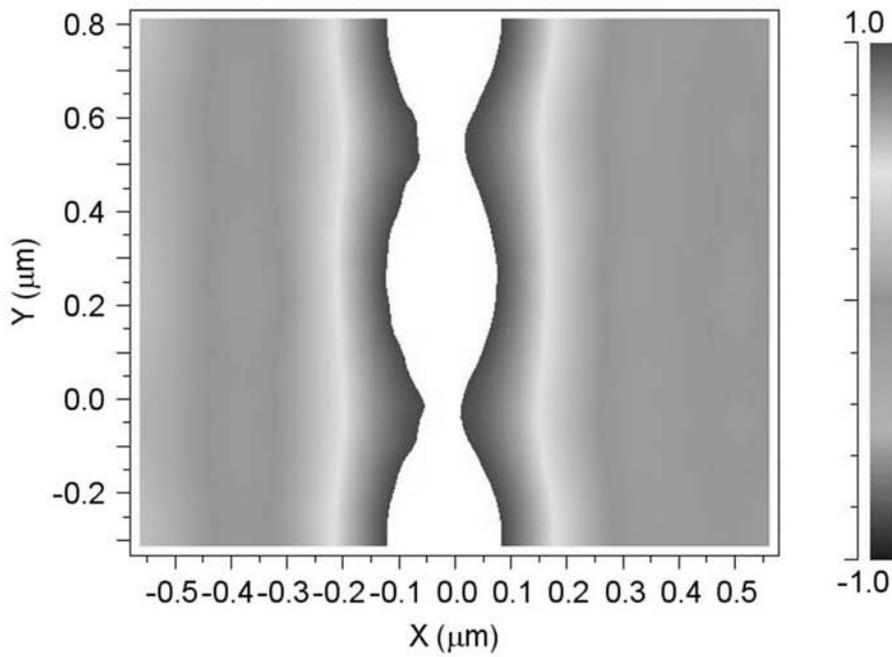
(1) x断面

Contour Map of Ex at X=0.0125



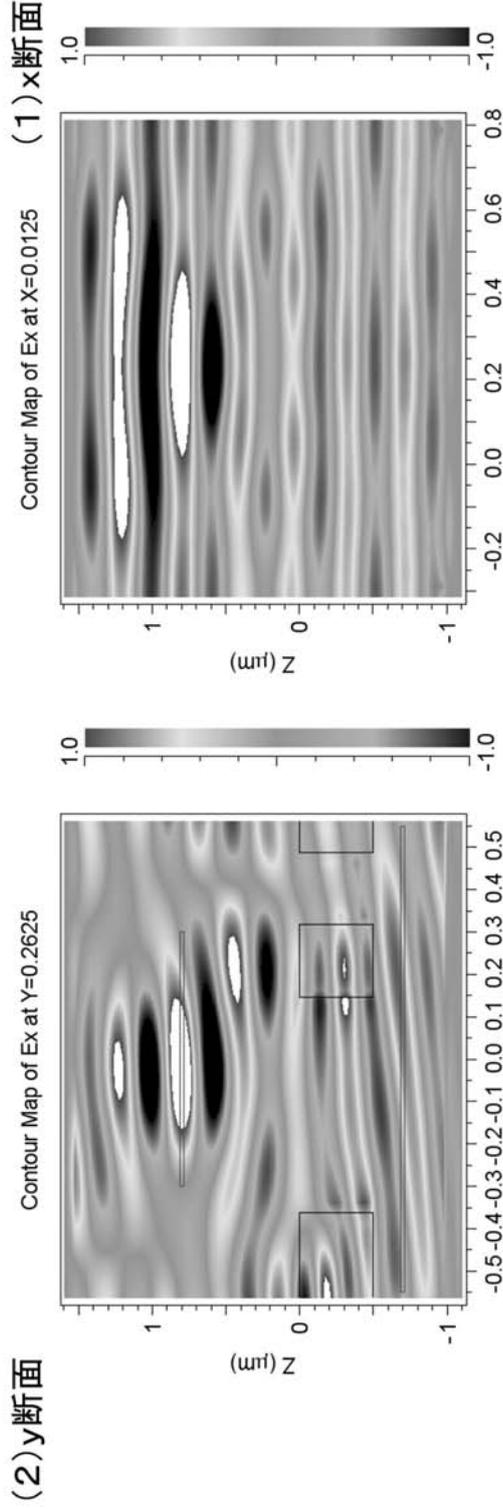
(2) z断面

Contour Map of Ex at Z=0.8



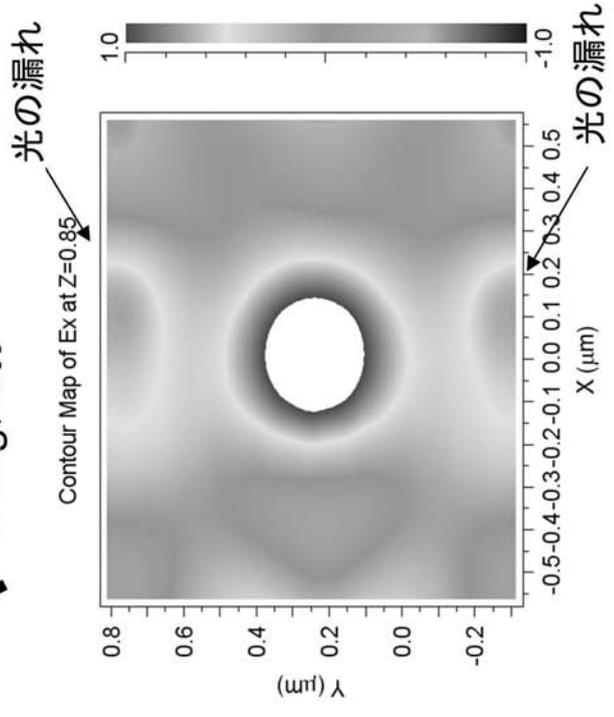
y 軸方向に線状の集光になっている

【図 19 A】



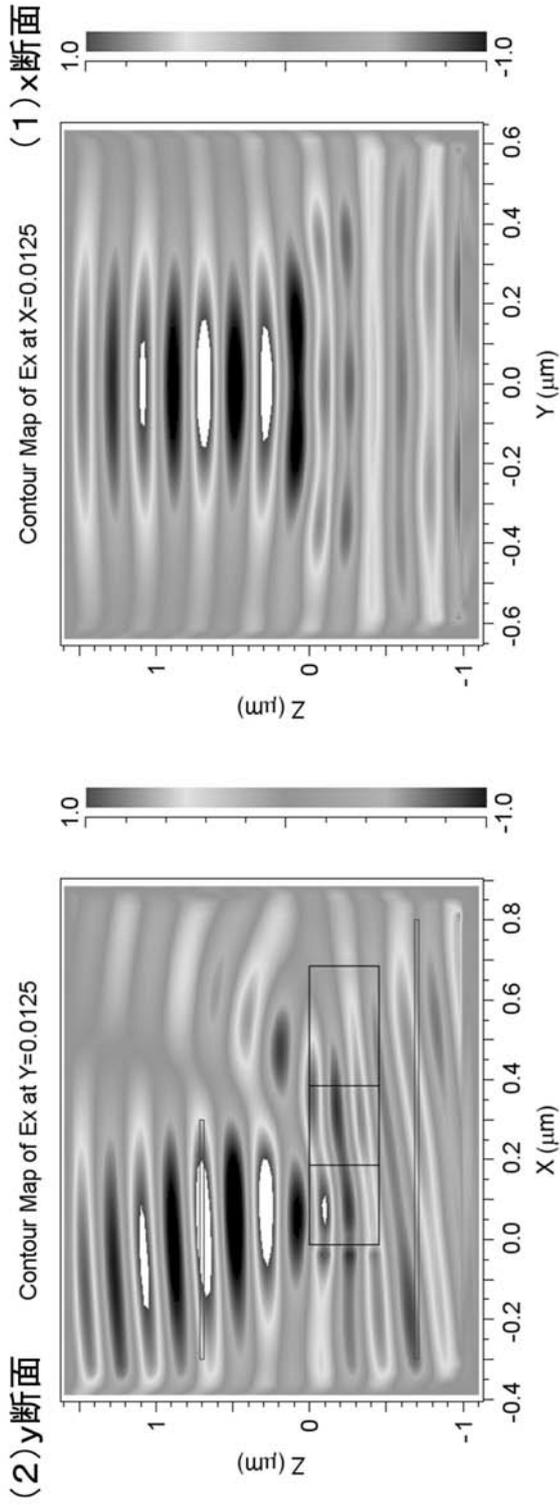
17deg入射

<第5実施形態>

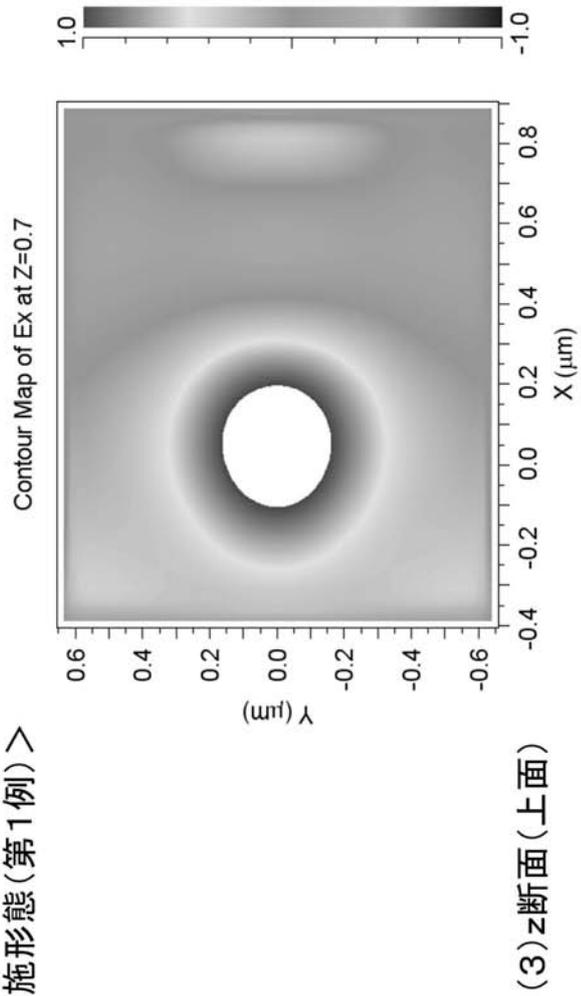


(3) z断面(上面)

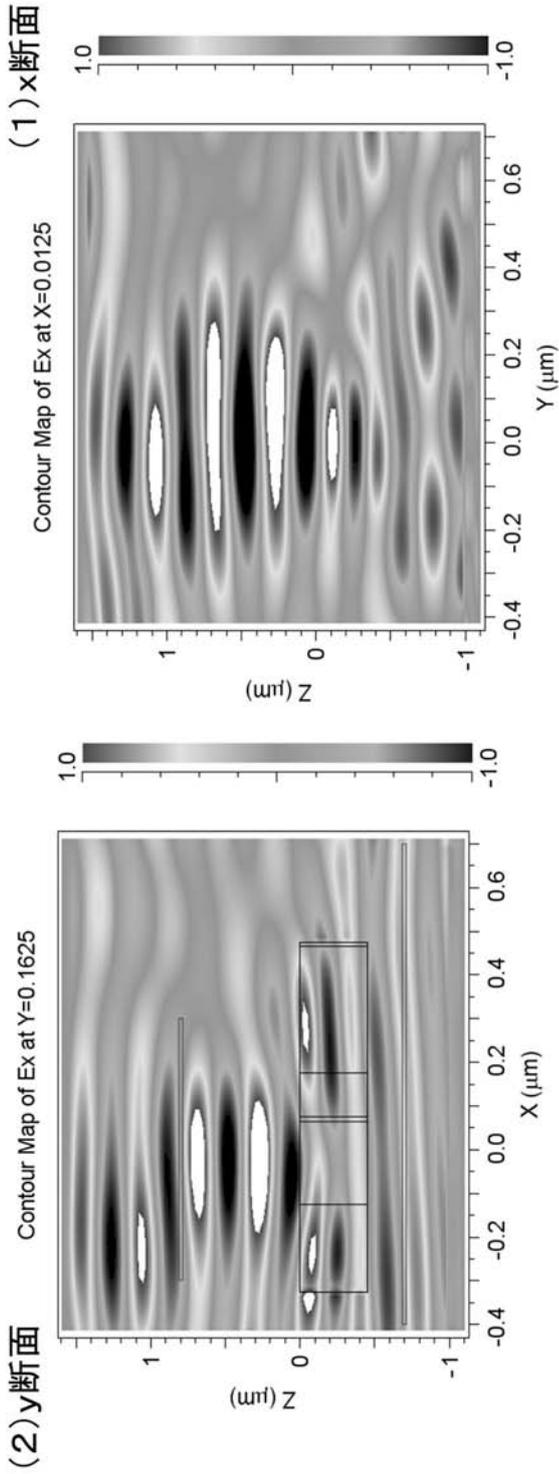
【 図 2 1 A 】



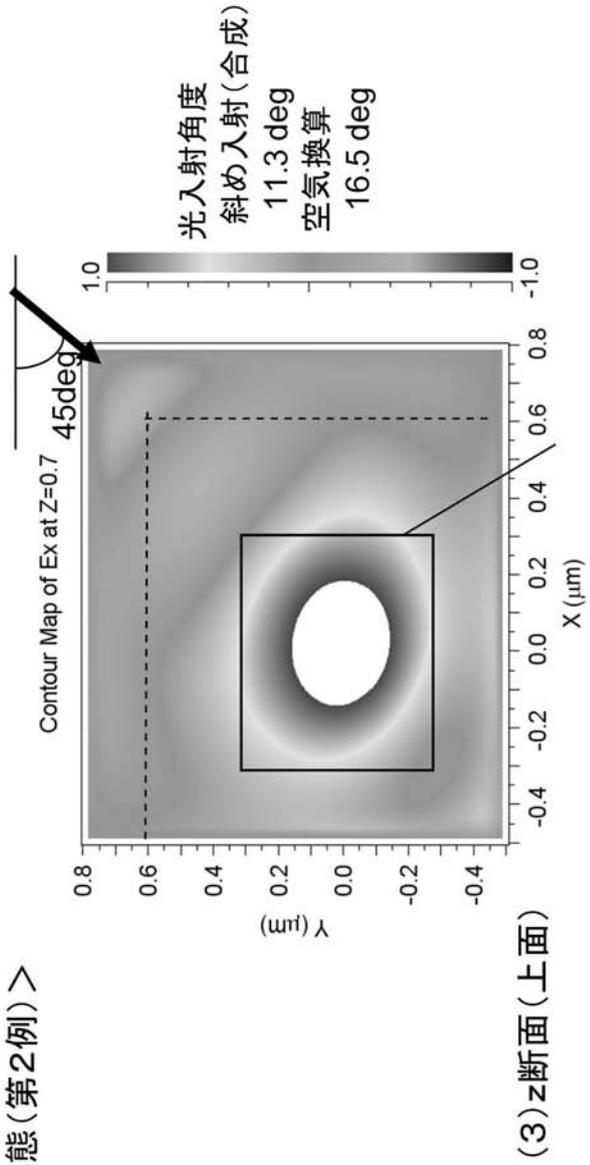
<第6実施形態(第1例)>



【 図 2 2 A 】

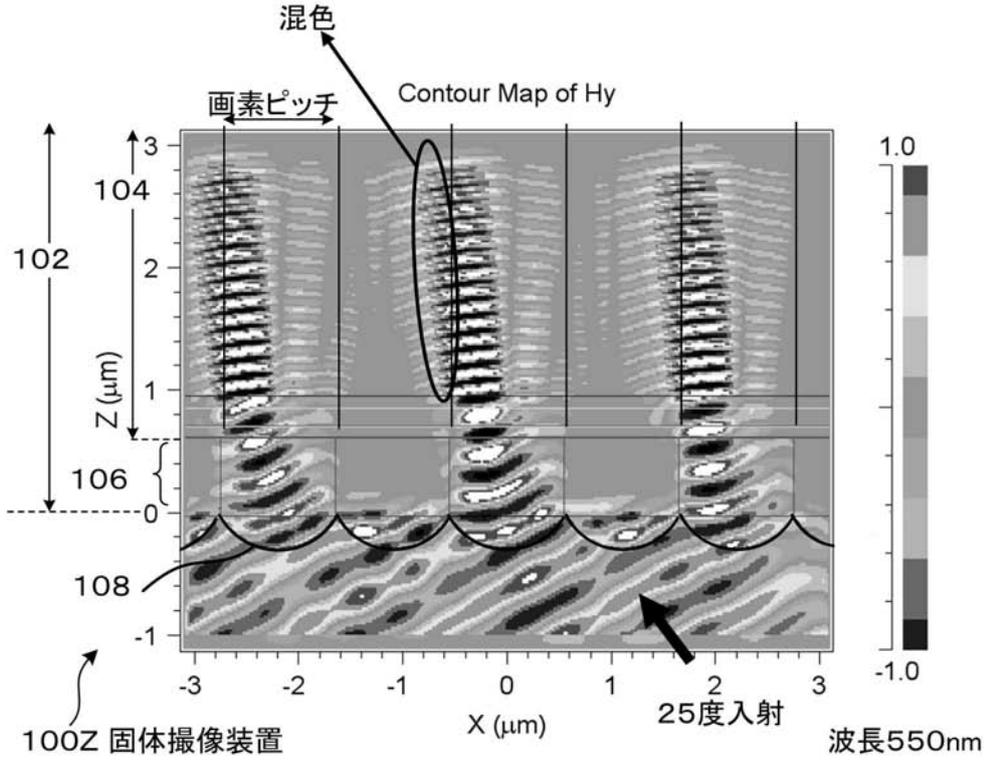


< 第6実施形態(第2例) >



【図 2 8】

(1) 参考例:裏面照射型+オンチップレンズ108



(2) 本実施形態:裏面照射型+光学レンズ110

