

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6911353号  
(P6911353)

(45) 発行日 令和3年7月28日(2021.7.28)

(24) 登録日 令和3年7月12日(2021.7.12)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>HO 1 L</b>	<b>27/146</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>HO 1 L</b>	<b>27/146</b>	<b>D</b>
<b>GO 2 B</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 2 B</b>	<b>3/00</b>	<b>A</b>
			<b>GO 2 B</b>	<b>3/00</b>	<b>Z</b>
			<b>HO 1 L</b>	<b>27/146</b>	<b>A</b>

請求項の数 2 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2016-256313 (P2016-256313)	(73) 特許権者	000003193 凸版印刷株式会社 東京都台東区台東1丁目5番1号
(22) 出願日	平成28年12月28日(2016.12.28)	(74) 代理人	100105854 弁理士 廣瀬 一
(65) 公開番号	特開2018-110147 (P2018-110147A)	(74) 代理人	100116012 弁理士 宮坂 徹
(43) 公開日	平成30年7月12日(2018.7.12)	(72) 発明者	五来 亮平 東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印刷株式会社内
審査請求日	令和1年11月22日(2019.11.22)	審査官	柴山 将隆

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 固体撮像素子の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体基板上に形成され前記半導体基板の面内に行列状に配置された複数の光電変換素子上に、平坦化層を介して、複数のカラーフィルタをそれぞれ形成するカラーフィルタ形成工程と、前記カラーフィルタ形成工程の後、前記複数のカラーフィルタ上に複数のマイクロレンズをそれぞれ形成するマイクロレンズ形成工程と、を含み、

前記マイクロレンズ形成工程は、

前記複数のカラーフィルタ上に、感光性と熱フロー性を有する透明樹脂からなるレンズ母型層を形成する母型層形成工程と、

グレートンマスクを用いたフォトリソグラフィ法により前記レンズ母型層に複数のレンズ母型を形成する工程であって、隣り合う前記レンズ母型の縁部間に隙間を設け、前記複数のレンズ母型の形状を、前記複数のマイクロレンズよりも前記カラーフィルタからの高さが高く前記カラーフィルタ面での広がりが小さい形状とするレンズ母型形成工程と、

前記複数のレンズ母型を加熱して前記複数のマイクロレンズを形成する熱フロー工程と

を有し、

前記グレートンマスクは、前記レンズ母型の形状を、

前記熱フロー工程後に前記マイクロレンズの形状が、

前記複数のマイクロレンズの縁部が隣同士で谷状に連結され、連結部を成す谷部の前記半導体基板面に垂直な断面形状が、前記行列の行に沿った第一断面、前記行列の列に沿

10

20

た第二断面、および前記行と前記列に対して45度となる第三断面において、V字状になるように制御するための、フォトマスク設計がなされたものであり、

前記レンズ母型形成工程と前記熱フロー工程との間に前記複数のマイクロレンズの縁部に対する露光工程を行わない固体撮像素子の製造方法。

【請求項2】

前記隙間を50nm以上250nm以下にする請求項1に記載の固体撮像素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画素毎にマイクロレンズを有する固体撮像素子及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、撮像装置は画像の記録、通信、放送の内容の拡大に伴って広く用いられるようになってきている。撮像装置として種々の形式のものが提案されているが、小型、軽量で高性能のものが安定して製造されるようになった固体撮像素子を組み込んだ撮像装置が、デジタルカメラやデジタルビデオとして普及してきている。

【0003】

固体撮像素子は、撮影対象物からの光学像を受け、入射した光を電気信号に変換する複数の光電変換素子を有する。光電変換素子の種類はCCD（電荷結合素子）タイプとCMOS（相補型金属酸化物半導体）タイプとに大別される。また、光電変換素子の配列形態から、光電変換素子を1列に配置したりニアセンサ（ラインセンサ）と、光電変換素子を縦横に2次元的に配列されたエリアセンサ（面センサ）との2種類に大別される。いずれのセンサにおいても光電変換素子の数（画素数）が多いほど撮影された画像は精密になるので、近年は特に、大画素数の固体撮像素子を安価に製造する方法が検討されている。

【0004】

また、光電変換素子に入射する光の経路に特定の波長の光を透過するカラーフィルタ機能を設けることで、対象物の色情報を得ることを可能とした単板式のカラーセンサとしてのカラー固体撮像素子も普及している。カラー固体撮像素子は、1個の光電変換素子に対応して特定の着色透明画素による1画素をパターン形成して、規則的に多数配列することにより、色分解した画像情報を集めることができる。着色透明画素の色としては、赤色（R）、緑色（G）、青色（B）の3色からなる3原色系、あるいは、シアン色（C）、マゼンタ色（M）、イエロー色（Y）からなる補色系が一般的であり、特に3原色系が多く使われている。

【0005】

固体撮像素子に要求される性能で重要な課題の一つに、入射する光への感度を向上させることが挙げられる。小型化した固体撮像素子で撮影した画像の情報量を多くするためには、受光部となる光電変換素子を微細化して高集積化する必要がある。しかし、光電変換素子を高集積化した場合、各光電変換素子の面積が小さくなり、受光部として利用できる面積割合も減るので、光電変換素子の受光部に取り込める光の量が小さくなり、実効的な感度は低下する。

【0006】

このような微細化した固体撮像素子の感度の低下を防止するための手段として、光電変換素子の受光部に効率良く光を取り込むために、対象物から入射される光を1画素毎に集光して光電変換素子の受光部に導くマイクロレンズを、光電変換素子上に均一な形状に形成する技術が提案されている。マイクロレンズで光を集光して光電変換素子の受光部に導くことで、受光部の見かけ上の開口率を大きくすることが可能になり、固体撮像素子の感度の向上が可能になる。

【0007】

ここで、マイクロレンズの形成方法としては、フローレンズタイプとドライエッチング

10

20

30

40

50

転写タイプがある。フローレンズタイプでは、先ず、マイクロレンズの素材となる透明で熱フロー性を有するアクリル系感光性樹脂からなるレンズ形成層を形成し、レンズ形成層を複数の画素単位（矩形パターン）に区分するためのパターン形成をフォトリソグラフィ法で行う。次に、レンズ形成層を加熱して、各画素単位にマイクロレンズを形成する。

【0008】

ドライエッチング転写タイプでは、先ず、マイクロレンズの素材となるアクリル系透明樹脂からなり、上面が平坦なレンズ形成層の上に、アルカリ可溶性と感光性と熱フロー性を有するレジスト材料を用いてレンズ母型層を形成する。次に、レンズ母型層に対してフォトリソグラフィ工程と熱フロー工程を行うことによりレンズ母型を形成する。つまり、この母型層形成工程は、フローレンズタイプのマイクロレンズ形成方法と同じ方法で行う。次に、レンズ母型をマスクとしてレンズ形成層をドライエッチングすることにより、レンズ母型の形状をレンズ形成層に転写してマイクロレンズを形成する。

10

また、近年、グレイスケールマスクを用いてマイクロレンズを製造する方法も種々提案されている。例えば、特許文献1では、露光量が多少変動したとしても安定したマイクロレンズの形状を得ることが可能な、グレイスケールマスクの設計方法、グレイスケールマスク及びマイクロレンズの製造方法が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2014-174456号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

近年の固体撮像素子は多画素化が進み、数百万画素を超える高精細な固体撮像素子が要求されるようになり、固体撮像素子の高精細化に伴い、マイクロレンズの感度低下やフレアなどのノイズ増加による画質低下が問題となっている。

固体撮像素子の感度を向上させるために、クロストークを軽減することも求められている。クロストークとは、本来、ある色に入射するはずの光が、各色の顔料の屈折率差の影響により、隣の色に入射される現象のことをいう。クロストークの影響により、屈折率の低い色は隣の屈折率の高い色によって光を失うため、受光部への光量が減少して感度低下が生じる。

30

つまり、クロストークが軽減されることでマイクロレンズの集光効率が改善される。

本発明の課題は、クロストークの軽減により集光効率が改善されたマイクロレンズを有する固体撮像素子およびその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の第一態様である固体撮像素子は、半導体基板と、半導体基板上に形成された複数の光電変換素子であって、半導体基板の面内に行列状に配置された光電変換素子と、複数の光電変換素子上に形成された平坦化層と、平坦化層上に形成された複数のカラーフィルタであって、複数の光電変換素子と同じ行列状に配置され、各波長帯域の光を透過させる複数のカラーフィルタと、複数のカラーフィルタ上にそれぞれ形成された複数のマイクロレンズと、を備える。

40

そして、複数のマイクロレンズの縁部は隣同士で谷状に連結され、連結部を成す谷部の半導体基板面に垂直な断面形状は、行列の行に沿った第一断面、行列の列に沿った第二断面、および行と列に対して45度となる第三断面において、V字状である。

【0012】

本発明の第二態様である固体撮像素子の製造方法は、半導体基板上に形成され半導体基板の面内に行列状に配置された複数の光電変換素子上に、平坦化層を介して、複数のカラーフィルタをそれぞれ形成するカラーフィルタ形成工程と、カラーフィルタ形成工程の後、複数のカラーフィルタ上に複数のマイクロレンズをそれぞれ形成するマイクロレンズ形

50

成工程と、を含む。

そして、マイクロレンズ形成工程は、母型層形成工程とレンズ母型形成工程と熱フロー工程とを有する。母型層形成工程は、複数のカラーフィルタ上に、感光性と熱フロー性を有する透明樹脂からなるレンズ母型層を形成する工程である。レンズ母型形成工程は、グレートンマスクを用いたフォトリソグラフィ法によりレンズ母型層に複数のレンズ母型を形成する工程であって、隣り合うレンズ母型の縁部間に隙間を設け、複数のレンズ母型の形状を、複数のマイクロレンズよりもカラーフィルタからの高さが高くカラーフィルタ面での広がりが小さい形状とする工程である。熱フロー工程は、複数のレンズ母型を加熱して複数のマイクロレンズを形成する工程である。

【発明の効果】

10

【0013】

本発明によれば、クロストークが軽減されて集光効率が改善されたマイクロレンズを有する固体撮像素子およびその製造方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の一実施形態の固体撮像素子を説明する平面図である。

【図2】本発明の一実施形態の固体撮像素子を示す図であって、カラーフィルタの行列の行に沿った第一断面（図1のI-I断面）に対応する図である。

【図3】本発明の一実施形態の固体撮像素子を示す図であって、カラーフィルタの行列の列に沿った第二断面（図1のII-II断面）に対応する図である。

20

【図4】図3のIV部分の拡大図である。

【図5】本発明の作用を説明する図であって、カラーフィルタの行列の行と列に対して45度となる第三断面（図1のIII-III断面）に対応する図である。

【図6】本発明の一実施形態の方法を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、この発明の実施形態について説明するが、この発明は以下に示す実施形態に限定されない。以下に示す実施形態では、この発明を実施するために技術的に好ましい限定がなされているが、この限定はこの発明の必須要件ではない。

【0016】

30

<構成>

図1～図3に示すように、本実施形態の固体撮像素子6は、半導体基板1の上に、光電変換素子2、平坦化層3、複数のカラーフィルタ4、及び複数のマイクロレンズ5がこの順に積層されて形成されている。なお、図1では、複数の光電変換素子2及び複数のカラーフィルタ4の配置を分かりやすくするため、固体撮像素子6における他の構成については省略している。

半導体基板1は、光電変換素子2を実装するための基板である。光電変換素子2は、マイクロレンズ5、カラーフィルタ4を経由して入射した光を電荷に変換する。平坦化層3はマイクロレンズ5の実装面である、半導体基板1の上面を平坦化する。

複数のカラーフィルタ4は、平坦化層3を介して、複数の光電変換素子2上にそれぞれ形成される。複数のカラーフィルタ4は、光電変換素子2に入射する光の経路において、特定の波長の光を透過する役割がある。本実施形態では、複数のカラーフィルタ4は、赤色（R）、緑色（G）及び青色（B）の3色のうちいずれか1つの色を透過させるものであり、3色がベイヤー配列したものである。

40

【0017】

複数のマイクロレンズ5は、複数のカラーフィルタ4上にそれぞれ形成される。複数のマイクロレンズ5は、透明樹脂から構成されており、その材料は、通常、アクリル系樹脂などの樹脂であり、透明が好ましい。

また、複数のマイクロレンズ5の縁部は隣同士で谷状に連結されている。さらに、複数のマイクロレンズ5の連結部5aを成す谷部の半導体基板面に垂直な断面形状は、行列の

50

行に沿った第一断面、行列の列に沿った第二断面、および行と列に対して45度となる第三断面において、V字状である。

また、第一断面、第二断面、および第三断面における複数のマイクロレンズの連結部5aを除いた表面5bを示す線は、図2および図3に示すように放物線であるが、円弧や正弦波形であってもよい。

【0018】

図4に、複数のマイクロレンズ5の連結部5aを成す谷部(以下、「谷間」とも称する。)の拡大図を示す。谷部が円弧状の場合、谷部の最下点Lにおける曲率半径Rは以下の式で表される。式中、 $f(x)$ は、連結部5aを成す谷部の形状曲線を示す関数、 $a$ は谷部の最下点Lにおける $x$ 座標を示す。

【0019】

【数1】

$$R = \frac{\sqrt{(1 + f'(a))^2}}{f''(a)}$$

【0020】

複数のマイクロレンズ5の第一断面、第二断面、および第三断面において、例えば、図5(a)に示すように、複数のマイクロレンズ5間の谷間の曲率半径Rが大きい場合、着色透明画素の青色上の隣接付近のマイクロレンズに入射する光は、カラーフィルタ層内で青色より屈折率の大きい緑色の着色透明画素に光路変更される。その結果、クロストークの影響が増大する懸念がある。

一方、例えば、図5(b)に示すように、複数のマイクロレンズ5間の谷間の曲率半径Rが小さい場合、着色透明画素の青色上の隣接付近のマイクロレンズに入射する光は、多くの光は光路変更されずにカラーフィルタ4、平坦化層3を通過して光電変換素子2に入る。その結果、クロストークの影響は軽減され、集光効率を高めることができる。

図5(b)に示す例であって、曲率半径Rが50nm以下であるものが「谷部の半導体基板面に垂直な断面形状がV字状である」に含まれる。また、当然のことであるが、谷部の最下点が直線同士の接触点である例(上記式で、最下点Lが例えば $f(x) = |x|$ の $x = 0$ の場合)も「谷部の半導体基板面に垂直な断面形状がV字状である」に含まれる。

【0021】

<製造方法>

次に、図6を参照して、本実施形態の固体撮像素子6の製造方法について説明する。

まず、光電変換素子2が表面部に形成された半導体基板1(図6では不図示)の上に、平坦化層3(図6では不図示)、カラーフィルタ4の層を順次積層する(カラーフィルタ形成工程)。カラーフィルタ形成工程では、複数の光電変換素子上に、RGBのいずれかに対応した3種類のカラーフィルタが行列状に(例えば図1に示すような所定のパターンで)配置されて積層される。

【0022】

カラーフィルタ形成工程の後、複数のカラーフィルタ4上に複数のマイクロレンズ5を形成する(マイクロレンズ形成工程)。マイクロレンズ形成工程では、まず、図6(a)に示すように、複数のカラーフィルタ4上に、感光性と熱フロー性を有する透明樹脂を所定の厚みで塗布することで、レンズ母型層10を形成する(母型層形成工程)。

次いで、図6(b)に示すように、レンズ母型層10に対して、フォトリソグラフィ法に基づき、グレートンマスク11を用いた露光を行った後、現像、及びベークを行うことで、複数のマイクロレンズ5の母型(レンズ母型)12を形成する(レンズ母型形成工程)。この工程で、隣り合うレンズ母型12の縁部間に隙間を設け、複数のレンズ母型12の形状を、複数のマイクロレンズ5よりもカラーフィルタ4からの高さが高くカラーフ

10

20

30

40

50

フィルタ面での広がりが小さい形状とする。

【0023】

また、この工程で、所望するマイクロレンズ5の形状に応じたレンズ母型12の形状に合わせて、任意にマスク透過率階調を可変することができるグレーンマスクを用いることにより、レンズ母型12の形状を制御することが容易になる。このマスク透過率階調の濃淡は、露光に用いる光では解像しない小さな径のドットの単位面積当たりの粗密の部分的な差によって達成される。

なお、レンズ母型12は、次工程である熱フロー工程での熱フロー量を考慮して、隣り合うレンズ母型12の縁部間の隙間を50nm以上250nm以下にする。

【0024】

次に、マイクロレンズの母型12に対して熱による融解処理を行う。つまり、複数のマイクロレンズの母型12を熱フローすること（熱フロー工程）で、マイクロレンズ5を形成する。熱フローによりマイクロレンズ5を形成することで、隣接するマイクロレンズ間の谷間が狭小化したマイクロレンズ5を形成することができる。

【0025】

<本実施形態の効果>

本実施形態の固体撮像素子によれば、マイクロレンズ形成工程において、グレーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法によりマイクロレンズの母型を形成することで、マイクロレンズ形状の制御が容易となり、各個体撮像素子毎に最適なマイクロレンズ形状を選択し形成することが可能となることで、光電変換素子への集光効率が高められる効果がある。

また、熱フローによりマイクロレンズを形成することにより隣接するマイクロレンズ間の谷間を狭小化することが可能となるので、光電変換素子への集光効率が高められる効果がある。

【実施例1】

【0026】

以下、本実施例1を説明する。

半導体基板として、厚さ0.75mm、直径20cmのシリコンウエハを使用した。このシリコンウエハの表面上部に光電変換素子を形成し、その最上層に、熱硬化タイプのアクリル系樹脂塗布液を用いてスピコートにて平坦化層を形成した。

次いで、平坦化層上に、赤色(R)、緑色(G)、青色(B)3色のカラーレジストを用い、フォトリソグラフィ法により、順次3色のカラーフィルタ層を形成した。各々のカラーフィルタ層の膜厚は、0.5~0.8μmとした。カラーフィルタ層の画素の配列は、一画素おきに緑色(G)フィルタが設けられ、緑色(G)フィルタの間に一行おきに赤(R)フィルタと青(B)フィルタが設けられた、いわゆるベイヤー配列とした。

【0027】

次に、カラーフィルタ層上にアルカリ可溶性・感光性を有するアクリル系透明樹脂を膜厚1.0μmで塗布し、90℃で2分間加熱して硬膜化処理を行った。

その後、アクリル系透明樹脂に対して、グレーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法にてマイクロレンズの母型を形成した。本実施例1のグレーンマスクは熱フロー後にマイクロレンズの形状が放物線形状になるようにフォトマスク設計されたものを使用した。

次に、ベーク処理にて、グレーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法にて形成したマイクロレンズの母型を熱フローさせた。このときのベーク条件は、160℃、180℃、250℃の3段階ステップで処理を施した。

【0028】

走査型プローブ顕微鏡で、本実施例1で形成されたマイクロレンズを形状測定したところ、複数のマイクロレンズの縁部は隣同士で谷状に連結され、連結部を成す谷部の半導体基板に垂直な断面形状は、横断面（第一断面および第二断面）、45度断面（第三断面）ともにV字状となっていることと、連結部を除いた部分の表面を示す線は放物線であるこ

10

20

30

40

50

とを確認した。

また、本実施例 1 で形成された固体撮像素子と従来品の受光効率を計測したところ、実施例 1 で形成した固体撮像素子の方が約 5 . 3 % 程度良好な結果であることを確認した。実施例 1 で比較した従来品は、母型を経ずに、グレートーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法により、直接、実施例 1 と同じ形状の設計でマイクロレンズを形成したものである。この従来品は、複数のマイクロレンズの縁部が隣同士で谷状に連結され、連結部を除いた部分の表面を示す線は放物線で、連結部を成す谷部の半導体基板に垂直な断面形状は円弧状であって、その曲率半径は、横断面方向が 1 9 4 n m、4 5 度断面方向が 1 0 4 n mであった。

#### 【実施例 2】

##### 【0029】

以下、本実施例 2 を説明する。

半導体基板として、厚さ 0 . 7 5 m m、直径 2 0 c m のシリコンウエハを使用した。このシリコンウエハの表面上部に光電変換素子を形成し、その最上層に、熱硬化タイプのアクリル樹脂塗布液を用いてスピコートにて平坦化層を形成した。

次いで、平坦化層上に、赤色 ( R )、緑色 ( G )、青色 ( B ) 3 色のカラーレジストを用い、フォトリソグラフィ法により、順次 3 色のカラーフィルタ層を形成した。各々のカラーフィルタ層の膜厚は、0 . 5 ~ 0 . 8 μ m になるように形成した。カラーフィルタ層の画素の配列は、一画素おきに緑色 ( G ) フィルタが設けられ、緑色 ( G ) フィルタの間に一行おきに赤 ( R ) フィルタと青 ( B ) フィルタが設けられた、いわゆるベイヤー配列とした。

##### 【0030】

次に、カラーフィルタ層上にアルカリ可溶性・感光性を有するアクリル系透明樹脂を膜厚 1 . 0 μ m で塗布し、9 0 ° で 2 分間加熱して硬膜化処理を行った。

その後、アクリル系透明樹脂に対して、グレートーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法にてマイクロレンズの母型を形成した。本実施例 2 のグレートーンマスクは熱フロー後にマイクロレンズの形状が円弧形状になるようにフォトマスク設計されたものを使用した。

次に、ベーク処理にて、グレートーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法にて形成したマイクロレンズの母型を熱フローさせた。このときのベーク条件は、1 6 0 ° / 1 8 0 ° / 2 5 0 ° の 3 段ステップで処理を施した。

##### 【0031】

走査型プローブ顕微鏡で、本実施例 2 で形成されたマイクロレンズを形状測定したところ、複数のマイクロレンズの縁部は隣同士で谷状に連結され、連結部を成す谷部の半導体基板に垂直な断面形状は、横断面 ( 第一断面および第二断面 )、4 5 度断面 ( 第三断面 ) とともに V 字状となっていることと、連結部を除いた部分は球面に形成されていることを確認した。

また、本実施例 2 で形成された固体撮像素子と従来品の受光効率を計測したところ、実施例 2 で形成した固体撮像素子の方が約 4 . 8 % 程度良好な結果であることを確認した。実施例 2 で比較した従来品は、母型を経ずに、グレートーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法により、直接、実施例 2 と同じ形状の設計でマイクロレンズを形成したものである。この従来品は、複数のマイクロレンズの縁部が隣同士で谷状に連結され、連結部を除いた部分は球面状で、連結部を成す谷部の半導体基板に垂直な断面形状は円弧状であって、その曲率半径は、横断面方向が 2 1 2 n m、4 5 度断面方向が 1 1 4 n m であった。

#### 【実施例 3】

##### 【0032】

以下、本実施例 3 を説明する。

半導体基板として、厚さ 0 . 7 5 m m、直径 2 0 c m のシリコンウエハを使用した。このシリコンウエハの表面上部に光電変換素子を形成し、その最上層に、熱硬化タイプのアクリル樹脂塗布液を用いてスピコートにて平坦化層を形成した。

10

20

30

40

50

次いで、平坦化層上に、赤色（R）、緑色（G）、青色（B）3色のカラーレジストを用い、フォトリソグラフィ法により、順次3色のカラーフィルタ層を形成した。各々のカラーフィルタ層の膜厚は、0.5～0.8 μmになるように形成した。カラーフィルタ層の画素の配列は、一画素おきに緑色（G）フィルタが設けられ、緑色（G）フィルタの間に一行おきに赤（R）フィルタと青（B）フィルタが設けられた、いわゆるベイヤー配列とした。

【0033】

次に、カラーフィルタ層上にアルカリ可溶性・感光性を有するアクリル系透明樹脂を膜厚1.0 μmで塗布し、90℃で2分間加熱して硬化処理を行った。

その後、アクリル系透明樹脂に対して、グレートーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法にてマイクロレンズの母型を形成した。本実施例2のグレートーンマスクは熱フロー後にマイクロレンズの形状が正弦波形状になるようにフォトマスク設計されたものを使用した。

【0034】

次に、ベーク処理にて、グレートーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法にて形成したマイクロレンズの母型を熱フローさせた。このときのベーク条件は、160℃、180℃、250℃の3段階ステップで処理を施した。

走査型プローブ顕微鏡で、本実施例3で形成されたマイクロレンズを形状測定したところ、複数のマイクロレンズの縁部は隣同士で谷状に連結され、連結部を成す谷部の半導体基板に垂直な断面形状は、横断面（第一断面および第二断面）、45度断面（第三断面）とともにV字状となっていることと、連結部を除いた部分の表面を示す線は正弦波形であることを確認した。

【0035】

また、本実施例3で形成された固体撮像素子と従来品の受光効率を計測したところ、実施例3で形成した固体撮像素子の方が約3.7%程度良好な結果であることを確認した。実施例3と比較した従来品は、母型を経ずに、グレートーンマスクを用いたフォトリソグラフィ法により、直接、実施例3と同じ形状の設計でマイクロレンズを形成したものである。この従来品は、複数のマイクロレンズの縁部が隣同士で谷状に連結され、連結部を除いた部分の表面を示す線は正弦波形で、連結部を成す谷部の半導体基板に垂直な断面形状は円弧状であって、その曲率半径は、横断面方向が243 nm、45度断面方向が120 nmであった。

実施例1～3の結果を下記の表1にまとめて示す。

【0036】

【表1】

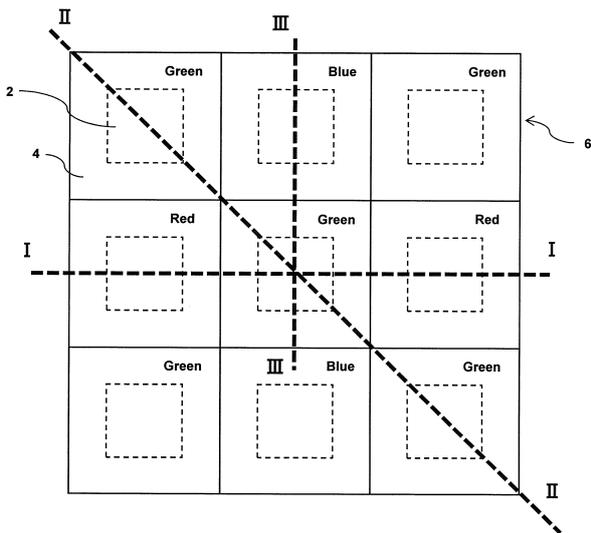
実施例	マイクロレンズ形状	感度	
1	放物線形状	従来品	100.0%
		実施例品	105.3%
2	円弧形状	従来品	100.0%
		実施例品	104.8%
3	正弦波形状	従来品	100.0%
		実施例品	103.7%

【符号の説明】

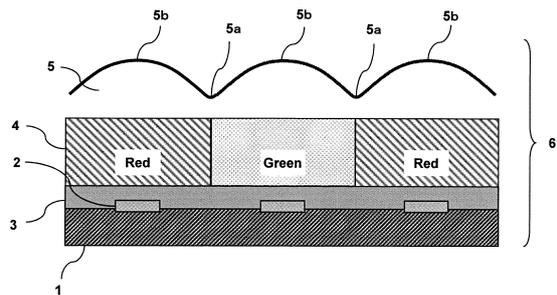
【0037】

- 1 半導体基板
- 2 光電変換素子
- 3 平坦化層
- 4 カラーフィルタ
- 5 マイクロレンズ
- 5 a マイクロレンズの連結部
- 5 b マイクロレンズの連結部を除いた表面
- 6 固体撮像素子
- 10 レンズ母型層
- 11 グレートーンマスク
- 12 レンズ母型
- R 隣接するマイクロレンズ間の谷間の曲率半径
- L 隣接するマイクロレンズ間の谷間の最下点

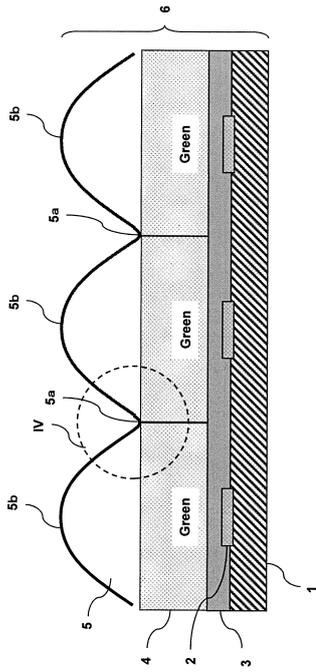
【図1】



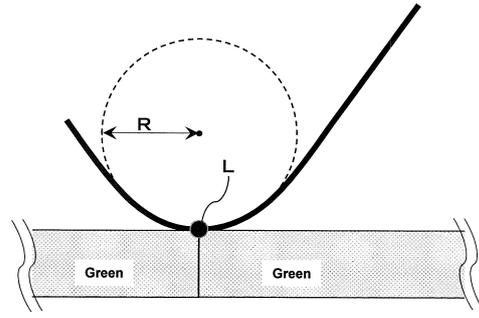
【図2】



【 図 3 】

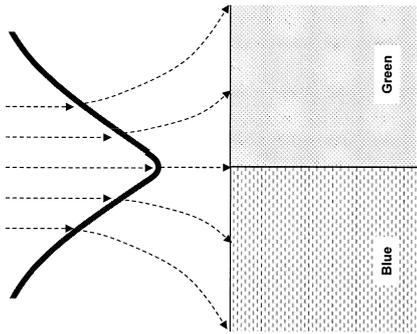


【 図 4 】

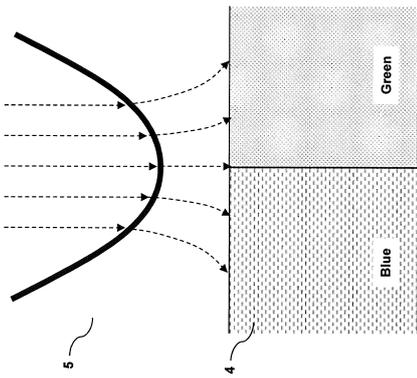


【 図 5 】

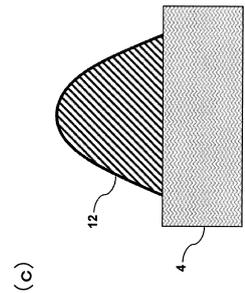
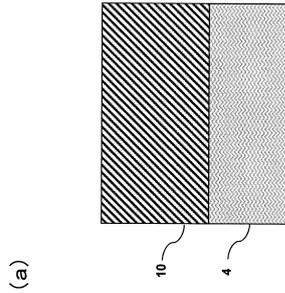
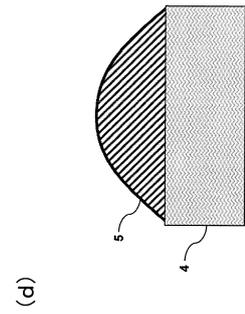
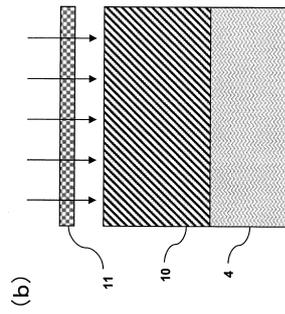
(b) 谷部の曲率半径が小さい



(a) 谷部の曲率半径が大きい



【 図 6 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2010-066727(JP,A)  
国際公開第2011/090115(WO,A1)  
特開2012-084608(JP,A)  
特開2008-016760(JP,A)  
特開平06-174914(JP,A)  
特開2014-072208(JP,A)  
特開2003-172804(JP,A)  
特開2015-158663(JP,A)  
国際公開第2016/190246(WO,A1)  
特開2008-130732(JP,A)  
特開2016-111184(JP,A)  
特開2016-219703(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 27/146  
G02B 3/00