

固体撮像素子及び撮像装置

~~CROSS REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS~~

This application is based upon and claims the benefit of priority from the prior Japanese Patent Application No. 2014-193369, filed on September 24, 2014; the entire contents of which are incorporated herein by reference.

FIELD

【0001】

本発明の実施形態は、固体撮像素子及び撮像装置に関する。

BACKGROUND

【0002】

半導体基板上に光電変換素子を設けた固体撮像素子がCCD (Charge-Coupled Device) やCMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) イメージセンサ等に利用されている。例えば、このような固体撮像素子は、カメラモジュール等の撮像装置に設けられている。

【0003】

撮像装置では、被写体と、固体撮像素子と、の間にレンズが設けられている。被写体に光が入射して、被写体で反射した光がレンズによって固体撮像素子の上に結像して像を形成する。像の光学特性は、固体撮像素子及びレンズの特性によって決定される。固体撮像素子において、画素数の増大化に伴う画素の微細化が進んでおり、固体撮像素子及びレンズの特性に基づいて感度を向上させることが望まれている。

~~BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS~~

【0007】

【図1】 第1実施形態に係る撮像装置を示す模式図である。

【図2】 図2 (a) 及び図2 (b) は、第1実施形態に係る撮像装置の一部を示す模式図である。

【図3】 センサ部上に形成される像の光学特性を説明する図である。

【図4】 センサ部上に形成される像を示す図である。

【図5】 センサ部上に形成される像の光学特性を示すグラフ図である。

【図6】 センサ部上に形成される像の光学特性を説明する図である。

- 【図 7】センサ部上に形成される像を示す図である。
- 【図 8】図 8 (a) 及び図 8 (b) は、センサ部の一部を示す模式図である。
- 【図 9】センサ部上に形成される像を示す図である。
- 【図 10】センサ部の一部を示す模式図である。
- 【図 11】点広がり関数と主光線角との関係を示すグラフ図である。
- 【図 12】図 12 (a) ～図 12 (g) は、点広がり関数と波長との関係を示す図である。
- 【図 13】図 13 (a) ～図 13 (g) は、点広がり関数と波長との関係を示す図である。
- 【図 14】光の吸収率と波長との関係を示すグラフ図である。
- 【図 15】感度とレンズとの関係を示す図である。
- 【図 16】量子効率と波長との関係を示す図である。
- 【図 17】受光量と画素面積との関係を示す図である。
- 【図 18】第 2 実施形態に係るセンサ部上に形成される像を示す図である。
- 【図 19】第 2 実施形態に係るセンサ部の一部を示す模式図である。

DETAILED DESCRIPTION

【0006】

実施形態に係る固体撮像素子は、複数の受光素子を備える。前記複数の受光素子は、受光部をそれぞれ有する。前記複数の受光部は、被写体からの光の光電変換を行う。前記複数の受光部のそれぞれの大きさは、前記固体撮像素子の中心からそれぞれの前記受光素子までの距離と、前記複数の受光素子のそれぞれの中心における光の波長と、に基づいて設定されている。

【0008】

以下に、本発明の各実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

なお、図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚みと幅との関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものとは限らない。また、同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

なお、本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

【0009】

(第 1 実施形態)

図 1 は、第 1 実施形態に係る撮像装置を示す模式図である。

図 2 (a) 及び図 2 (b) は、第 1 実施形態に係る撮像装置の一部を示す模式図である。

図 1 は、撮像装置 120 が被写体 130 からの光を取り込み結像する様子を示している。図 2 (a) は、センサ部 100 の上面斜視図を示している。図 2 (b) は、図 2 (a) の A1-A2 線の断面図を示している。

【0010】

図1に表すように、撮像装置120には、レンズ110と、センサ部100と、が設けられている。撮像装置120は、例えば、デジタルカメラ、カメラ付携帯電話、スマートフォン等の電子機器に搭載される。撮像装置120は、例えば、カメラモジュールである。

【0011】

撮像装置120は、撮像装置120から被写体130上の位置までの距離に応じて、被写体130上の異なる位置にある部位の画像を複数の単位画像として取得する。例えば、被写体130上に位置する位置点130aにおいて、位置点130aの画像を単位画像として取得する。単位画像は、点広がり関数(Point Spread Function:PSF)を用いて、光強度、振幅、及び位相の少なくともいずれかで足し合わせて取得することができる。点広がり関数とは、レンズ110からの回折光を集光した光線の形を表す関数である。また、単位画像は、レンズ110からの回折光を集光して平面波を足し合わせて取得しても良い。単位画像は、被写体130に基づいて取得しても良い。

【0012】

レンズ110は、センサ部100と、被写体130と、の間に設けられている。レンズ110は、被写体130からの光L1を取り込み、被写体130からの回折光L2を結像する。図1に表すように、レンズ110の結像面が、センサ部100（マイクロレンズ40）上に位置するように、レンズ110の位置が設定されている。レンズ110の結像面が、レンズ110と、センサ部100と、の間に位置するように、レンズ110の位置が設定されても良い。

【0013】

センサ部100は、CCDやCMOSイメージセンサ等の固体撮像素子である。センサ部100は、マイクロレンズ40によって受光面に結像された光を電気信号に変換して出力する。つまり、センサ部100において、それぞれ画素に対応する受光素子が受光面上にマトリクス状に並べて配置されている。受光素子の各々の光電変換によって、光が各画素の電気信号に変換されて出力される。

【0014】

図2(a)及び図2(b)に表すように、センサ部100には、複数の受光素子101が設けられている。複数の受光素子101には、半導体層10と、中間膜20と、カラーフィルタ30と、マイクロレンズ40と、配線層50と、が設けられている。半導体層10は、第1面10a及び第2面10bを有する。第1面10aは、第2面10bの反対側の面である。

【0015】

中間膜20は、例えば、平坦化膜である。平坦化膜は、カラーフィルタ30が形成される面を平坦化する膜である。また、中間膜20は、酸化膜、又は、反射防止膜でも良い。酸化膜は、例えば、二酸化ケイ素(SiO_2)等のシリコン酸化物を含む膜である。反射防止膜は、例えば、窒化ケイ素(SiN)等のシリコン窒化物を含む膜である。反射防止膜を設けると、半導体層10に入射する光量が増加する。半導体層10に入射する光量が増加すると、画素の感度を高めることができる。中間膜20は、酸化膜、反射防止膜、及び平坦化膜のすくなくともいずれかを含む積層膜でも良い。

【0016】

カラーフィルタ30は、それぞれ異なる波長域の光を透過する。カラーフィ

ルタ 30 は、中間膜 20 の上に設けられる。カラーフィルタ 30 は、例えば、赤色の波長域の光を透過する R カラーフィルタと、緑色の波長域の光を透過する G カラーフィルタと、青色の波長域の光を透過する B カラーフィルタと、を含む。図 2 (a) に表すように、カラーフィルタ 30 は、マトリクス状に並べて配置されている。

【0017】

マイクロレンズ 40 は、光源から出射し、センサ部 100 に入射した光を集光し、半導体層 10 の第 2 面 10b 側に光を導く。マイクロレンズ 40 は、カラーフィルタ 30 の上に設けられる。

【0018】

配線層 50 は、半導体層 10 の第 1 面 10a 上に設けられる。配線層 50 は、多層配線 51 と、層間絶縁層 52 と、を有する。多層配線 51 は、層間絶縁層 52 内に形成される。配線層 50 の半導体層 10 の形成面とは反対側の面に支持基板が設けられても良い。

【0019】

半導体層 10 は、例えば、シリコン基板等の半導体基板上に形成されたエピタキシャル層である。半導体層 10 は、n 形拡散層 10n と、p 形領域 10p と、を有する。

また、転送トランジスタ 11 と、トランジスタ群 12 と、が半導体層 10 及び配線層 70 の境界付近に設けられている。トランジスタ群 12 は、例えば、増幅トランジスタと、リセットトランジスタと、アドレストランジスタと、を有する。

【0020】

n 形拡散層 10n 及び p 形領域 10p によって p n 接合が形成される。p n 接合に所定の逆方向バイアスが印加されると空乏層が形成される。光が半導体層 10 により吸収されて自由電子と自由正孔のペアが生成される。このような光の吸収が、p n 接合の空乏層で生じるか、あるいは空乏層からキャリアの拡散距離の範囲内で生じたとき、光の吸収により生成されたキャリアが電界により移動し、光電流が生ずる。したがって、n 形拡散層 10n と p 形拡散層 10p によって形成される p n 接合において形成される空乏層およびそこから拡散距離の範囲内の領域は、受光部 10r に対応する。つまり、受光部 10r は、光を吸収して光電流が生成される部分、あるいは、光電変換が行われる部分である。つまり、マイクロレンズ 40 から半導体層 10 に向かう方向に照射された光が受光部 10r で信号変換されて電荷が蓄積される。n 形拡散層 10n は、光電変換により発生した信号電子を蓄積する。転送トランジスタ 11 は、n 形拡散層 10n に蓄積された信号電子を拡散層等に移動させる。拡散層等に接続された増幅トランジスタが信号電子を増幅して多層配線 51 に出力する。アドレストランジスタは、増幅トランジスタが信号電子を出力するタイミングを制御する。リセットトランジスタは、増幅トランジスタを初期状態に制御する。

【0021】

受光部 10r の各々の光電変換によって出力された各画素の電気信号は、電子機器に内蔵した信号処理回路で信号処理された後、画像データに変換される。画像データは、電子機器のモニタ等に表示される。

【0022】

図3は、センサ部上に形成される像の光学特性を説明する図である。

図4は、センサ部上に形成される像を示す図である。

図5は、センサ部上に形成される像の光学特性を示すグラフ図である。

図6は、センサ部上に形成される像の光学特性を説明する図である。

【0023】

図3に表すように、位置点130bは、被写体130上に位置する点又は部位であって、光軸A1から距離1離れている点又は部位である。このような被写体130上の位置点130bは、レンズ110によってセンサ部100上の像面100aに像点100bを形成する。像点100bは、光軸A1を中心として位置点130bとは反対方向に光軸A1から高さXの位置の点である。

【0024】

高さXは、像面100aにおける光軸A1との交点である像点100cと、像点100bと、の距離（以下において、像高と呼ぶ場合がある）である。ここで、像高（Image Height: IH）とは、像面の中央画素から対角線端の画素までの距離を100%としたときの像面の中央画素から2次元アレイ平面上の各画素までの距離をパーセントで表した数値である。

【0025】

角度 θ_1 は、光束の中心を通る主光線A2の角度（以下において、主光線角と呼ぶ場合がある）である。ここで、主光線A2は、位置点130bから絞りの像の中心であるレンズの中心110cを通り、像点に関する像高及び位置を決める基準となる線である。また、主光線角（Chief Ray Angle: CRA）は、画面範囲を規定する角度でもある。つまり、像点100cでは主光線角は0度である。

【0026】

図4は、複数の異なる位置点を結像した場合において、センサ部100の像面100a上に表される像点が表示されている。像点100cの像高は0%であって、像点100cの主光線角は0度である。像点100dの像高は50%であって、像点100dの主光線角は25度である。像点100eの像高は100%であって、像点100eの主光線角は50度である。なお、像点100cは、センサ部100の受光面の中心に位置する。例えば、像面100aを四角形状とした場合、センサ部100の受光面の中心は、2つの対角線の交点である。

【0027】

図5に表すように、主光線角が増加するにつれて像高は増加している。縦軸は、像高IH（%）を示している。横軸は、主光線角CRA（度）を示している。像高と主光線角は、非線形のグラフによって表される。

【0028】

また、図6に表すように、レンズの直径（レンズ瞳径）をD、レンズの中心と、像面における光軸との交点と、の距離（レンズの焦点距離）をf、像高に相当する距離をx、主光線角を θ とすると、以下の関係式（1）及び（2）が成り立つ。

【0029】

$$F = f / D \cdots (1)$$

$$\tan \theta = x / f \cdots (2)$$

【0030】

Fは、レンズの明るさに関する特性値であって、点広がり関数の大きさに関する値である。また、例えば、直径D、距離f、及び主光線角 θ は、図3における、直径D1、距離f1、及び主光線角 θ 1である。距離xは、図3における、像高Xに相当する距離である。例えば、レンズの直径Dは、1mm以上10mm以下である。

【0031】

また、 λ を光の波長とすると、点広がり関数PSFと、像高Xに相当する距離xと、は、以下の関係式(3)が成り立つ。なお、 λ は、受光素子101、例えば、カラーフィルタ30の中心における光の波長である。

【0032】

$$PSF(x) = 1.22 \frac{\lambda f}{D} \times \frac{1}{\cos \theta} = 1.22 \frac{\lambda f}{D} \times \frac{\sqrt{f^2 + x^2}}{f} = 1.22 \frac{\lambda \sqrt{f^2 + x^2}}{D} \quad \dots (3)$$

【0033】

したがって、図5から、レンズ110及びセンサ部100の特性によって主光線角及び像高の関係が決定される。また、図6及び上記関係式(3)から、像高の値(像高に相当する距離)が大きくなるにつれて、点広がり関数の値は、大きくなるのが分かる。

【0034】

例えば、画面の中央では、2次元アレイ平面に垂直な軸を基準とした入射光の入射角は、ほぼ0度であって、入射光は垂直に入射する。このような場合、レンズ110の中心と、カラーフィルタ30及びマイクロレンズ40等の受光素子101の中心と、は一致する。一方で、図3に表すような、画面の端部等の画面の中央以外では、レンズ110を経て受光素子101に入射する入射光は、所定の入射角によって入射される。これにより、点広がり関数PSFの値は、像高IHの値が大きくなるにつれて大きくなる。

【0035】

図7は、センサ部上に形成される像を示す図である。

図8(a)及び図8(b)は、センサ部の一部を示す模式図である。

図9は、センサ部上に形成される像を示す図である。

図10は、センサ部の一部を示す模式図である。

【0036】

図7及び図9には、複数の異なる位置点を結像した場合において、センサ部100の像面100a上に表される像点が示されている。図8(a)、図8(b)及び図10において、センサ部100の上面図が示されている。センサ部100において、それぞれ画素に対応する受光素子101が受光面上にマトリクス状に並べて配置されている。例えば、図8(a)、図8(b)及び図10は、複数の画素を示す図2(a)の一部に相当する。

【0037】

図7に表すように、領域100R1及び領域100R2は、センサ部100の像面100a上の領域である。像点100f～像点100iは、領域100R1内の点又は部位である。像点100j～像点100mは、領域100R2内の点又は部位である。像点100cが像面100aにおける光軸A1との交点であるので、方向d1及び方向d2は、画素の配列方向であって、像高が増加する方向を示している。

【0038】

図8 (a) は、図7の領域100R1において、像高が増加するにつれて画素面積（受光部10rの大きさ）が大きくなることを示している。領域100R1の像点100f～像点100iが複数の画素内の4つの点又は部位に対応する。例えば、領域100R1において、像点100f及び像点100iの像高が25%であって、像点100g及び像点100hの像高が60%である場合、像点100g及び像点100hに対応する画素面積は、像点100f及び像点100iに対応する画素面積より大きい。

【0039】

図8 (b) は、図7の領域100R2において、像高が増加するにつれて画素面積（受光部10rの大きさ）が大きくなることを示している。領域100R2の像点100j～像点100mが複数の画素内の4つの点又は部位に対応する。例えば、領域100R2において、像点100j及び像点100mの像高が25%であって、像点100k及び像点100lの像高が60%である場合、像点100k及び像点100lに対応する画素面積は、像点100j及び像点100mに対応する画素面積より大きい。

【0040】

図8 (a) 及び図8 (b) の画素面積（受光部10rの大きさ）の変化例は、それぞれ一例である。像高が増加するにつれて画素面積を大きくさせるように複数の画素をセンサ部100に設けることができる。例えば、図9及び図10に表すように、領域100R3内であって像面100aの外周部は像高が大きい部分であるので、外周部を内周部より画素面積が大きくなるように複数の画素をセンサ部100に設けることができる。内周部の単位画素の一辺の長さをyとすると、外周部の単位画素の一辺の長さは $1.5 \times y$ で表される。外周部の単位画素の対角線の長さは $2.1 \times y$ で表される。つまり、外周部が内周部の1.5倍の大きさの画素を有するように、複数の画素をセンサ部100に設けることができる。

図9及び図10に表される例では、複数の受光素子101は、像面100aの内周部に配置された受光素子（第1受光素子）と、像面100aの外周部に配置された受光素子（第2受光素子）と、を有する。さらに、外周部の受光素子の画素面積（第2画素面積）は、内周部の受光素子の画素面積（第1画素面積）より大きい。

【0041】

また、点広がり関数と像高との上記関係式（3）に基づいて、像高Xに相当する距離xと、波長λと、に対して画素面積が以下の数値（1）に比例して変化するように複数の画素をセンサ部100に設けても良い。

【0042】

$$\left(\frac{\lambda \sqrt{f^2 + x^2}}{D} \right)^2 \dots (1)$$

【0043】

上述したように、像高が増加するにつれて画素面積を大きくさせるように複数の画素をセンサ部100に設けることができる。また、像高と光の波長に対して画素面積を変化させるように複数の画素をセンサ部100に設けることができる。

これにより、受光部10rの大きさは、像高が増加するにつれて大きくすることができる。また、像高と光の波長に基づいて受光部10rの大きさを変えることができる。このようにセンサ部100に受光部10rを設けると、センサ部100及びレンズ110の特性に基づいて分光量子効率が向上し、感度が向上する。

【0044】

本実施形態のセンサ部100において、像高と光の波長に対して画素面積（受光部10rの大きさ）を変化させるように複数の画素を設けている。このようにセンサ部100に複数の画素を設けると、センサ部100及びレンズ110の特性に基づいて分光量子効率を向上させることができる。これにより、より感度を向上させた固体撮像素子及び撮像装置を提供することができる。

【0045】

以下、上記のような条件を見出す基となった検討結果について説明する。

【0046】

図11は、点広がり関数と主光線角との関係を示すグラフ図である。

図12(a)～図12(g)は、点広がり関数と波長との関係を示す図である。

図13(a)～図13(g)は、点広がり関数と波長との関係を示す図である。

【0047】

図11において、各波長領域の点広がり関数の直径と主光線角との関係が曲線CL1～曲線CL3によって示されている。縦軸は、点広がり関数PSFの直径（マイクロメートル）を示している。横軸は、主光線角（度）を示している。点広がり関数の直径とは、点広がり関数で表される光線の形状における直径である。なお、F値が2.0であるレンズを用いている。

【0048】

曲線CL1は、波長 λ が480ナノメートルである場合、点広がり関数の直径と主光線角との関係を示している。曲線CL2は、波長 λ が520ナノメートルである場合、点広がり関数の直径と主光線角との関係を示している。曲線CL3は、波長 λ が620ナノメートルである場合、点広がり関数の直径と主光線角との関係を示している。曲線CL1は、青色の波長領域であり、曲線CL2は、緑色の波長領域であり、そして、曲線CL3は、赤色の波長領域である。

【0049】

曲線CL1の主光線角が0度である場合、点広がり関数の直径は、1.17マイクロメートルである。曲線CL1の主光線角が50度である場合、点広がり関数の直径は、1.82マイクロメートルである。

【0050】

曲線CL2の主光線角が0度である場合、点広がり関数の直径は、1.27マイクロメートルである。曲線CL2の主光線角が50度である場合、点広がり関数の直径は、1.97マイクロメートルである。

【0051】

曲線CL3の主光線角が0度である場合、点広がり関数の直径は、1.51マイクロメートルである。曲線CL3の主光線角が50度である場合、点広がり関数の直径は、2.35マイクロメートルである。

【0052】

曲線CL1～曲線CL3のいずれにおいても、主光線角が0度から50度に増加すると、点広がり関数の直径は1.5倍程度に増加することが分かった。これにより、青色、緑色及び赤色の波長領域のいずれにおいても、主光線角が増加するとPSFの直径が増加することが分かった。

【0053】

図12及び図13において、波長を変えた場合、所定の像高の点広がり関数の形状変化が示されている。図12及び図13において、点広がり関数の形状変化をモノトーン色の濃淡で表している。この場合、濃い部分が点広がり関数の形状を示している。図12は、像高が0%である場合、波長 λ を0.40から0.70マイクロメートルに変化させている。図13は、像高が80%である場合、波長 λ を0.40から0.70マイクロメートルに変化させている。点広がり関数の形状とは、点広がり関数で表される光線の形状である。なお、単位画素の一辺の長さが1.12マイクロメートルであって、F値が2.0であるレンズを用いている。

【0054】

図12(a)及び図13(a)は、波長 λ が0.40マイクロメートルである場合の点広がり関数の形状を示している。図12(b)及び図13(b)は、波長 λ が0.45マイクロメートルである場合の点広がり関数の形状を示している。図12(c)及び図13(c)は、波長 λ が0.50マイクロメートルである場合の点広がり関数の形状を示している。

【0055】

図12(d)及び図13(d)は、波長 λ が0.55マイクロメートルである場合の点広がり関数の形状を示している。図12(e)及び図13(e)は、波長 λ が0.60マイクロメートルである場合の点広がり関数の形状を示している。図12(f)及び図13(f)は、波長 λ が0.65マイクロメートルである場合の点広がり関数の形状を示している。図12(g)及び図13(g)は、波長 λ が0.70マイクロメートルである場合の点広がり関数の形状を示している。

【0056】

図12(b)、図12(c)、図13(b)及び図13(c)から、青色の波長領域であって、像高が0%及び80%のいずれにおいても、他の形状図と比較して点広がり関数の形状は細いことが分かった。図12(d)、図12(e)、図13(d)及び図13(e)から、緑色の波長領域であって、像高が0%及び80%のいずれにおいても、他の形状図と比較して点広がり関数の形状は中間であることが分かった。

【0057】

図12(f)、図12(g)、図13(f)及び図13(g)から、赤色の波長領域であって、像高が0%及び80%のいずれにおいても、他の形状図と比較して点広がり関数の形状は太いことが分かった。つまり、波長が増加するにつれて、点広がり関数の形状は太くなることが分かった。また、図12及び図13を比較して、像高が増加すると、点広がり関数の形状は斜めに歪むことが分かった。

【0058】

図14は、光の吸収率と波長との関係を示すグラフ図である。

図15は、感度とレンズとの関係を示す図である。

図16は、量子効率と波長との関係を示す図である。

図17は、受光量と画素面積（受光部10rの大きさ）との関係を示す図である。

【0059】

図14において、レンズ特性を変えた場合、各波長領域のカラーフィルタの吸収率が曲線CL4～曲線CL6によって示されている。縦軸は、カラーフィルタの吸収率を示している。カラーフィルタが全吸収すると吸収率は1.0である。横軸は、波長 λ （マイクロメートル）を示している。

【0060】

曲線CL4は、F値が任意の値であるレンズを用いた場合、各波長領域のカラーフィルタの吸収率を示している。曲線CL5及び曲線CL6は、F値が2.05であるレンズを用いた場合、各波長領域のカラーフィルタの吸収率を示している。

【0061】

また、曲線CL5は、レンズ110からの回折光を集光して平面波を足し合わせた場合のカラーフィルタの吸収率を示している。曲線CL6は、点広がり関数を用いて、光強度で足し合わせた場合のカラーフィルタの吸収率を示している。

【0062】

実線で囲まれた領域aは、点広がり関数の形状が変動している領域である。例えば、領域aの点広がり関数の形状は、図12(a)及び図13(a)に示される点広がり関数の形状に相当する。実線で囲まれた領域bは、点広がり関数の形状が細い領域である。例えば、領域bの点広がり関数の形状は、図12(b)、図12(c)、図13(b)及び図13(c)に示される点広がり関数の形状に相当する。

【0063】

実線で囲まれた領域cは、点広がり関数の形状が中間である領域である。例えば、領域cの点広がり関数の形状は、図12(d)、図12(e)、図13(d)及び図13(e)に示される点広がり関数の形状に相当する。実線で囲まれた領域dは、点広がり関数の形状が太い領域である。例えば、領域dの点広がり関数の形状は、図12(f)、図12(g)、図13(f)及び図13(g)に示される点広がり関数の形状に相当する。

【0064】

領域bから領域dを比較して、領域bでは、カラーフィルタの吸収率が減少することが分かった。また、領域cでは、カラーフィルタの吸収率の変化が小さいことが分かった。領域dでは、カラーフィルタの吸収率が増加することが分かった。

これにより、カラーフィルタの吸収率が減少する領域bは、点広がり関数の形状が細い領域であることが分かった。カラーフィルタの吸収率の変化が小さい領域cは、点広がり関数の形状が中間領域であることが分かった。カラーフィルタの吸収率が増加する領域dは、点広がり関数の形状が太い領域であることが分かった。

【0065】

図15において、面積が異なる画素について、レンズのF値を変化させた場

合の感度が示されている。縦軸は、感度Sを示している。横軸は、レンズのF値を示している。また、直線SL1は、相対的に面積が大きい画素の感度SとレンズのF値との関係を示している。直線SL2は、相対的に面積が小さい画素の感度SとレンズのF値との関係を示している。直線SL1の画素では、直線SL2の画素と比較して開口率が高い。

【0066】

直線SL1及び直線SL2のいずれにおいても、F値が増加すると、感度Sが減少することが分かった。また、直線SL2において、F値が増加した場合の感度Sの減少率が大きいことが分かった。これにより、単位画素の面積を小さくして画素を微細化すると、F値を増加させた場合に感度Sの減少率が大きくなることが分かった。

【0067】

図16において、レンズ特性を変えた場合、各波長領域の量子効率QEが曲線CL7から曲線CL12によって示されている。縦軸は、量子効率QEを示している。横軸は、波長 λ （マイクロメートル）を示している。

【0068】

曲線CL7から曲線CL9は、F値が任意の値であるレンズを用いた場合、青色の波長領域、緑色の波長領域、及び、赤色の波長領域の量子効率QEを示している。曲線CL10から曲線CL12は、F値が2.05であるレンズを用いた場合、青色の波長領域、緑色の波長領域、及び、赤色の波長領域の量子効率QEを示している。また、曲線CL10から曲線CL12は、点広がり関数を用いて、光強度で足し合わせた場合の量子効率QEを示している。曲線CL7から曲線CL12のいずれにおいても、単位画素の一边は、1.12マイクロメートルである。

【0069】

曲線CL7及び曲線CL10と、曲線CL8及び曲線CL11と、から、青色の波長領域、及び、緑色の波長領域では、量子効率QEが増加していることが分かった。青色の波長領域、及び、緑色の波長領域は、赤色の波長領域と比較して、点広がり関数の形状が細い領域である。これにより、画素の大きさ（受光部10rの大きさ）に対して、点広がり関数の形状が細いと感度が相対的に向上することが分かった。つまり、点広がり関数の形状に基づいて画素の形状を決定すると、感度が相対的に向上することが分かった。

【0070】

図17において、単位画素の面積を変えた場合、所定の主光線角の受光量がプロットによって示されている。縦軸は、入射光量を1としたときの受光量を示している。横軸は、画素面積（ μm^2 ）を示している。光の波長 λ は、550ナノメートルである。レンズのF値は、0.9である。また、図17は、点広がり関数を用いて、光強度で足し合わせた場合の受光量を示しており、シミュレーション結果を例示している。

【0071】

四角形のプロットは、主光線角が30度である場合、画素面積（受光部10rの大きさ）に対する受光量を表している。菱形のプロットは、主光線角が0度である場合、画素面積に対する受光量を表している。四角形のプロットと、菱形のプロットと、を比較すると、画素面積が1 μm^2 の場合、主光線角が30度の受光量は0.64であり、主光線角が0度の受光量は0.8である。画素

面積が $1.7 \mu\text{m}^2$ の場合、主光線角が 30° の受光量は 0.8 である。これにより、主光線角が 30° では主光線角が 0° と同等の受光量を得るためには、画素面積を 70% 程度拡大させる必要があることが分かった。つまり、像高が 0% と同等の受光量を得るためには画素面積を 70% 程度拡大させる必要があることが分かった。

【0072】

上述した説明のように、固体撮像素子において、レンズの特性に応じて分光量子効率が低下する場合がある。主な原因として、固体撮像素子の画素の大きさが像高によらず均一であるため、分光量子効率が高くなる点広がり関数の形状に画素面積が合っていないことが挙げられる。

【0073】

本実施形態では、像高と光の波長に対して画素面積を変化させるようにセンサ部 100 に複数の画素を設けている。このようにセンサ部 100 に複数の画素を設けると、センサ部 100 及びレンズ 110 の特性に基づいて分光量子効率を向上させることができる。

【0074】

本実施形態によれば、より感度を向上させた固体撮像素子及び撮像装置を提供することができる。

【0075】

(第2実施形態)

図18は、第2実施形態に係るセンサ部上に形成される像を示す図である。

図19は、第2実施形態に係るセンサ部の一部を示す模式図である。

【0076】

図18において、異なる位置に点を結像した場合、センサ部 100 の像面 $100a$ 上に表される像点が表示されている。図19において、センサ部 100 の上面図が表示されている。センサ部 100 において、それぞれ画素に対応する受光素子 101 が受光面上にマトリクス状に並べて配置されている。例えば、図19は、複数の画素を示す図2(a)の一部に相当する。

【0077】

図18に表すように、領域 $100R4$ は、センサ部 100 の像面 $100a$ 上の領域である。図19は、領域 $100R4$ であって像面 $100a$ の外周部において、画素面積(受光部 $10r$ の大きさ)が大きくなることを示している。例えば、像面 $100a$ の外周部は像高が大きい部分であるので、外周部を内周部より画素面積が大きくなるように複数の画素をセンサ部 100 に設けることができる。内周部の単位画素の一辺の長さを y とすると、内周部の単位画素の対角線の長さは $1.4 \times y$ で表される。外周部の単位画素の長辺の長さは $2.0 \times y$ で表される。

【0078】

また、像面 $100a$ の中央から対角線端に向かう方向を $d3$ とすると、複数の画素は、方向 $d3$ に沿って並列して配置するようにセンサ部 100 に設けられている。つまり、本実施形態の画素は、図8及び図10の画素の配列方向 $d1$ 及び $d2$ に対して略 45° 回転するように並列して配置されている。図19の画素の配置例は一例であって、例えば、図8及び図10の画素の配列方向 $d1$ 及び $d2$ に対して所定の角度回転するように並列して配置しても良い。また、像高が増加するにつれて画素面積を大きくさせるように複数の画素をセンサ

部 100 に設けることができる。

【0079】

また、画素を並列して配置する場合、緑色の画素同士が隣接して配置され、赤色の画素と青色の画素とが隣接して配置されることが望ましい。例えば、画素の配列は、主光線の進む方向に対して、緑色の画素同士が隣接して配置され、赤色の画素と青色の画素とが隣接して配置される。赤色の波長と、青色の波長と、は互いに離れた波長帯であるので、隣接画素による混色を低減することができる。

【0080】

本実施形態では、像高と光の波長に対して画素面積を変化させるようにセンサ部 100 に複数の画素を設けている。このようにセンサ部 100 に複数の画素を設けると、センサ部 100 及びレンズ 110 の特性に基づいて分光量子効率を向上させることができる。

【0081】

また、像面 100 a の中央から対角線端に向かう方向 d3 に沿って並列して配置するようにセンサ部 100 に複数の画素を設けている。このようにセンサ部 100 に複数の画素を設けると、点広がり関数の形状に基づいた画素の形状によって、隣接画素間の境界が減少して感度を向上させることができる。

【0082】

本実施形態によれば、より感度を向上させた固体撮像素子及び撮像装置を提供することができる。

~~【0083】~~

~~While certain embodiments have been described, these embodiments have been presented by way of example only, and are not intended to limit the scope of the inventions. Indeed, the novel embodiments described herein may be embodied in a variety of other forms; furthermore, various omissions, substitutions and changes in the form of the embodiments described herein may be made without departing from the spirit of the inventions. The accompanying claims and their equivalents are intended to cover such forms or modifications as would fall within the scope and spirit of the inventions. Moreover, above-mentioned embodiments can be combined mutually and can be carried out.~~

WHAT IS CLAIMED IS:

クレーム 1 ~~(【請求項 1】)~~

被写体からの光の光電変換を行う受光部をそれぞれ有する複数の受光素子を備えた固体撮像素子であって、

前記複数の受光部のそれぞれの大きさは、前記固体撮像素子の受光面の中心からそれぞれの前記受光素子までの距離と、前記複数の受光素子のそれぞれの中心における光の波長と、に基づいて設定されている固体撮像素子。

クレーム 2 ~~(【請求項 2】)~~

前記複数の受光素子のそれぞれによって定まる画素の面積は、前記固体撮像素子の受光面の中心からそれぞれの前記受光素子までの距離と、前記複数の受光素子のそれぞれの中心における光の波長と、に基づいて設定されている請求項 1 記載の固体撮像素子。

クレーム 3 ~~(【請求項 3】)~~

前記距離が大きくなるにつれて、前記画素面積が大きくなる請求項 2 記載の固体撮像素子。

クレーム 4 ~~(【請求項 4】)~~

前記光の波長によって、前記画素面積が増加する割合が異なる請求項 3 記載の固体撮像素子。

クレーム 5 ~~(新設：【0041】及び【0042】)~~

前記光の波長が大きくなるにつれて、前記画素面積が増加する割合が大きくなる請求項 4 記載の固体撮像素子。

クレーム 6 ~~(新設：【0040】)~~

前記複数の受光素子は、前記受光面の内周部に配置され、第 1 画素面積を有する第 1 受光素子と、前記受光面の外周部に配置され、第 1 画素面積より大きい第 2 画素面積を有する第 2 受光素子と、を有する請求項 2 記載の固体撮像素子。

クレーム 7 ~~(【請求項 5】)~~

前記画素は、前記受光面の中心から対角線端に向かう方向に沿って並列して配置される請求項 2 記載の固体撮像素子。

クレーム 8 ~~(【請求項 6】)~~

主光線の進行方向に対して、緑色に対応する画素同士が隣接して配置される請求項 2 記載の固体撮像素子。

クレーム 9 ~~(【請求項 7】)~~

主光線の進行方向に対して、赤色に対応する画素と、青色に対応する画素と、が隣接して配置される請求項 2 記載の固体撮像素子。

クレーム 10 ~~(【請求項 8】)~~

被写体からの光の光電変換を行う受光部をそれぞれ有する複数の受光素子を有する固体撮像素子と、

前記被写体と、前記固体撮像素子と、の間に設けられたレンズと、を備え、

前記複数の受光部のそれぞれの大きさは、前記固体撮像素子の受光面の中心からそれぞれの前記受光素子までの距離と、前記複数の受光素子のそれぞれの中心における光の波長と、に基づいて設定されている撮像装置。

クレーム 11 ~~(【請求項 8】)~~

前記レンズの直径を D 、前記レンズの焦点距離を f 、前記距離を x 、前記光の波長を λ とした場合に以下の式を満足する請求項 10 記載の撮像装置。

$$\left(\frac{\lambda \sqrt{f^2 + x^2}}{D} \right)^2$$

クレーム 12 ~~(【請求項 2】に相当)~~

前記複数の受光素子のそれぞれによって定まる画素の面積は、前記固体撮像素子の受光面の中心からそれぞれの前記受光素子までの距離と、前記複数の受光素子のそれぞれの中心における光の波長と、に基づいて設定されている請求項 10 記載の撮像装置。

クレーム 13 ~~(新設：【0041】)~~

前記レンズの直径を D 、前記レンズの焦点距離を f 、前記距離を x 、前記光の波長を λ とした場合、前記画素面積が以下の式に比例して変化する請求項 12 記載の撮像装置。

$$\left(\frac{\lambda \sqrt{f^2 + x^2}}{D} \right)^2$$

クレーム 14 ~~(【請求項 3】に相当)~~

前記距離が大きくなるにつれて、前記画素面積が大きくなる請求項 1 2 記載の撮像装置。

クレーム 1 5 ~~(【請求項 4】に相当)~~

前記光の波長によって、前記画素面積が増加する割合が異なる請求項 1 4 記載の撮像装置。

クレーム 1 6 ~~(新設：【0041】及び【0042】)~~

前記光の波長が大きくなるにつれて、前記画素面積が増加する割合が大きくなる請求項 1 5 記載の撮像装置。

クレーム 1 7 ~~(新設：【0040】)~~

前記複数の受光素子は、前記受光面の内周部に配置され、第 1 画素面積を有する第 1 受光素子と、前記受光面の外周部に配置され、第 1 画素面積より大きい第 2 画素面積を有する第 2 受光素子と、を有する請求項 1 2 記載の撮像装置。

クレーム 1 8 ~~(【請求項 5】に相当)~~

前記画素は、前記受光面の中心から対角線端に向かう方向に沿って並列して配置される請求項 1 2 記載の撮像装置。

クレーム 1 9 ~~(【請求項 6】に相当)~~

主光線の進行方向に対して、緑色に対応する画素同士が隣接して配置される請求項 1 2 記載の撮像装置。

クレーム 2 0 ~~(【請求項 7】に相当)~~

主光線の進行方向に対して、赤色に対応する画素と、青色に対応する画素と、が隣接して配置される請求項 1 2 記載の撮像装置。

~~ABSTRACT OF THE DISCLOSURE~~

実施形態に係る固体撮像素子は、複数の受光素子を備える。前記複数の受光素子は、受光部をそれぞれ有する。前記複数の受光部は、被写体からの光の光電変換を行う。前記複数の受光部のそれぞれの大きさは、前記固体撮像素子の中心からそれぞれの前記受光素子までの距離と、前記複数の受光素子のそれぞれの中心における光の波長と、に基づいて設定されている。