

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5300344号
(P5300344)

(45) 発行日 平成25年9月25日 (2013. 9. 25)

(24) 登録日 平成25年6月28日 (2013. 6. 28)

| | | | | |
|---------------|------------|--------------|---|--|
| (51) Int. Cl. | | F I | | |
| HO 1 L 31/10 | (2006. 01) | HO 1 L 31/10 | A | |
| HO 1 L 27/146 | (2006. 01) | HO 1 L 27/14 | C | |
| HO 1 L 27/14 | (2006. 01) | HO 1 L 27/14 | D | |

請求項の数 10 (全 52 頁)

| | | | |
|--------------|------------------------------|-----------|--------------------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2008-164258 (P2008-164258) | (73) 特許権者 | 000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 |
| (22) 出願日 | 平成20年6月24日 (2008. 6. 24) | (74) 代理人 | 100105289 弁理士 長尾 達也 |
| (65) 公開番号 | 特開2009-38352 (P2009-38352A) | (72) 発明者 | 荻野 昌也 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内 |
| (43) 公開日 | 平成21年2月19日 (2009. 2. 19) | (72) 発明者 | 岩崎 達哉 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内 |
| 審査請求日 | 平成23年6月14日 (2011. 6. 14) | 審査官 | 岡田 吉美 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2007-178494 (P2007-178494) | | |
| (32) 優先日 | 平成19年7月6日 (2007. 7. 6) | | |
| (33) 優先権主張国 | 日本国 (JP) | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光検出素子及び撮像素子、光検出方法及び撮像方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の光電変換層を備え、これら複数の光電変換層が積層された構造を有する光検出素子であって、

前記複数の光電変換層内には、該光電変換層に対応して、異なる波長帯域に共鳴ピークを有する**プラズモン共鳴体が各々埋め込まれている**ことを特徴とする光検出素子。

【請求項 2】

前記プラズモン共鳴体が、電磁波に対する透過性と、電気的絶縁性と、を有する材料によって囲まれていることを特徴とする請求項 1 に記載の光検出素子。

【請求項 3】

前記プラズモン共鳴体が、入射光の散乱方向に指向性を有することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の光検出素子。

【請求項 4】

前記光電変換層が、光起電材料によって構成されていることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光検出素子。

【請求項 5】

前記光電変換層が、光導電材料によって構成されていることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光検出素子。

【請求項 6】

前記光電変換層が、赤外よりも長波長側に吸収端をもつ半導体によって構成されている

ことを特徴とする請求項4または請求項5に記載の光検出素子。

【請求項7】

請求項1から6のいずれか1項に記載の光検出素子を、2次元に複数配列して構成したことを特徴とする撮像素子。

【請求項8】

複数の光電変換層が積層された構造を有し、前記複数の光電変換層内には、該光電変換層に対応して、異なる波長帯域に共鳴ピークを有するプラズモン共鳴体が各々埋め込まれた光検出素子を用意する工程と、

前記光検出素子に光を入射させ、該入射した光を前記プラズモン共鳴体により分光し、前記複数の光電変換層で光電変換を行う工程と、

を有することを特徴とする光検出方法。

10

【請求項9】

複数の光電変換層が積層された光検出素子が2次元に複数配列され、前記複数の光電変換層内には、該光電変換層に対応して、異なる波長帯域に共鳴ピークを有するプラズモン共鳴体が各々埋め込まれた、撮像素子を用意する工程と、

前記複数の光検出素子に光を入射させ、該入射した光を前記プラズモン共鳴体により分光し、前記複数の光電変換層で光電変換を行う工程と、

前記複数の光検出素子から得られる電気信号に基づいて2次元の画像を得る工程と、

を有することを特徴とする撮像方法。

20

【請求項10】

請求項7に記載の撮像素子と、該撮像素子に被写体像を結像するためのレンズと、シャッター機構と、を備えたことを特徴とするデジタルカメラ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光検出素子及び撮像素子、光検出方法及び撮像方法に関する。

【背景技術】

【0002】

可視域の光検出器には、主として単結晶Siが光電変換材用として用いられている。Siは1100nm以下の波長の光によって内部光電効果を起こし、結晶内部で電子、正孔対を生じさせる。この電子、正孔対を接合によるポテンシャル障壁やバイアス電圧によって分離し、取り出すことで、入射光を電気信号として検出している。

30

Siそのものは、X線、紫外～近赤外線領域まで幅広い領域に感度を持つ。しかし、光検出器の用途によっては、特定の波長にのみ感度を持たせたいという要望があり、光電変換装置であるフォトダイオードの前にカラーフィルタを配置していた。

2次元のイメージセンサにおいては、一般にモザイク状に配置した原色または補色のカラーフィルタによって色分解を行っている。

しかし、センサの高解像度を得るために画素数を多くする(多画素化、微細化)必用から、深さ方向の構造はサイズ的に変化することなく面内方向のサイズが微細化されてきた。これによりセンサの画素の構造は高アスペクト比(受光面の面積に対するセンサの高さの比が大きくなる)を有するものとなる。

40

そのためケラレ、混色が生じやすくなる。

また、画素の微細化によって、カラーフィルタの大きさも縮小しており、小さな領域ごとに異なるカラーフィルタを作り分けることは、コスト低減の障害となっている。

そこで、混色を防ぐために特許文献1には、光電変換部と信号走査回路部をトレンチ分離領域で分離するMOS型固体撮像装置であって、トレンチ分離領域の底面下部でフォトダイオードの拡散層よりも深い位置まで素子分離拡散層を有するものが開示されている。

この装置においては、画素間のリーク電流を遮断し、混色を低減できるとしている。

また、特許文献2には、光電変換部上に、近赤外の波長帯域に共振ピークを有する屈折率周期構造に設計されたフォトニック結晶を設けた近赤外光検出器が開示されている。この

50

光検出器は、光検出の高速動作や量子効率の向上を図ったものである。

一方、カラー画像を取得するためには、画像を形成する微小な区画（ピクセル）ごとに色の情報が必要である。

全ての色はRGB3色の混合からなり、色の違いは3色の混合比の違いである。つまり、カラー画像を取得するためには、おのおの区画ごとにRGB3色の光強度比を検出すればよい。

スチルカメラにおいては、RGB3色のうち1色しか通さないカラーフィルタを検出器前にモザイク状に配置し、それらの強度比から隣接するピクセルに補間演算を行うように構成されている。

これにより、おのおのピクセルに対するRGB3色の強度比を得て、カラー画像を取得する方式が最も広く用いられている。

カラーフィルタの配列は、ある行をRGRG、次の行をGBGBとしたベイヤー配列やGのストライプとRBの市松配列といったものが多く使用されている。

【0003】

しかしながら、カラーフィルタの配列による撮像素子には、いくつかの課題がある。1つに、カラーフィルタを使用することで、光を損失してしまっていることが挙げられる。

例えば、赤のカラーフィルタを透過できる光は赤い光に相当するスペクトル成分だけであり、その他の青、緑に対応するスペクトル成分はフィルタによって吸収されてしまうので、画像の形成には利用されない。

今後、撮像素子の解像度がますます高くなり、1ピクセルの大きさが小さくなる場合、S/Nの悪化が懸念され、この損失を看過することができなくなる。

さらに、ローパスフィルタによる解像度の低下が挙げられる。

カラーフィルタ配列によるイメージセンサにピクセルの間隔程度の微細な領域で色の異なる像が入力されると、本来の像の持つ色とは異なる偽色が発生してしまう。この偽色を抑えるために、光学的ローパスフィルタによって像をぼかす必要がある。

【0004】

このようなカラーフィルタを用いた撮像素子の問題点を補う方法として、特許文献3に開示された撮像素子がある。

上記特許文献3では、1つのピクセルを多層構造とし、 S_i による吸収係数の差を利用してRGBの3色を異なる深さで検出する2次元積層型撮像素子による方法が提案されている。

この2次元積層型撮像素子によるものでは、分光機能を備えた光検出素子を配列して構成され、カラーフィルタによる光の損失がない点において、高いS/Nを期待することができる。

また、特許文献4では、吸収波長帯域の異なる有機光電変換層を積層する方法が提案されている。

このような積層構造によってRGB3色を撮像する方式においても、ナイキスト周波数以下の折り返しひずみを抑制するために光学的ローパスフィルタは必要になる。

しかし、この積層構造方式によると、カラーフィルタを使用する方式よりもカットオフ周波数は高くすることができ、高周波成分の欠落を少なくすることができる。

【特許文献1】特開2003-142674号公報

【特許文献2】特開2007-13065号公報

【特許文献3】米国特許第5965875号明細書

【特許文献4】特開2005-268609号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述の特許文献1に記載の撮像装置では、光電変換層（フォトダイード）を浅く形成するため、感度が犠牲となり、特に S_i の吸収係数の小さいR（赤）の光に対する感度が得

10

20

30

40

50

られない場合が生じる。

また、特許文献 2 に開示の光検出器においては、周期構造が損失の小さな SiO_2 で形成されているため、共鳴ピークが急峻化し、可視光の色分解には必ずしも適切ではない。また、特許文献 3 に開示の装置においては、2 次元積層型撮像素子が分光機能を備えた光検出素子を配列して構成され、 Si の光に対する吸収係数の差を利用して分光を行なっている。

そのため、素子の膜厚が厚くなり、光が斜め入射した場合に混色が生じやすいという課題を有している（後述する図 3 の厚い光検出素子 302 による場合の説明参照）。

また、色分離性の良さと感度の高さとを両立させることが困難であるという点においても課題を有している。

そして、特許文献 4 に記載の積層型撮像素子においては、有機色素の分光感度の調整によって色分離を良くすることができるが、有機物を用いることから化学的安定性に課題を有している。

また、キャリア移動度が低いために感度に課題を有していることや、読み出し回路や増幅回路等の周辺回路との作製プロセスの適合性にも課題を有している。

【0006】

本発明は、上述した課題に鑑み、素子の厚さを薄くすることができ、混色の抑制、色分離性と感度の両立、及び化学的安定性を図り、周辺回路との作製プロセスの適合が可能となる光検出素子及び撮像素子、光検出方法及び撮像方法の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の参考実施態様における光検出素子は、光電変換層表面上に半導体材料からなる周期構造を備え、前記周期構造による共鳴領域の少なくとも一部が前記光電変換層に含まれることを特徴とする光検出素子である。

本発明の実施態様における光検出素子は、複数の光電変換層を備え、これら複数の光電変換層が積層された構造を有する光検出素子であって、

前記複数の光電変換層内には、該光電変換層に対応して、異なる波長帯域に共鳴ピークを有するプラズモン共鳴体が各々埋め込まれていることを特徴とする光検出素子である。

本発明は、撮像素子、光検出方法及び撮像方法を包含する。

本発明の参考実施態様における撮像素子は、上述した参考実施態様の光検出素子を 2 次元面内に複数配列してなることを特徴とするものである。

本発明の実施態様における撮像素子は、上述した本発明の実施態様の光検出素子を 2 次元に複数配列して構成したことを特徴とするものである。

本発明の参考実施態様における光検出方法は、

光電変換層表面上に半導体材料からなる周期構造を備え、前記周期構造による共鳴領域の少なくとも一部が前記光電変換層に含まれる光検出素子を用意する工程と、

前記周期構造に光を入射させて、該周期構造により特定波長の光に共鳴を生じさせ、当該共鳴した光を前記光電変換層で光電変換させる工程と、を有することを特徴とする光検出方法である。

本発明の実施態様における光検出方法は、

複数の光電変換層が積層された構造を有し、前記複数の光電変換層内には、該光電変換層に対応して、異なる波長帯域に共鳴ピークを有するプラズモン共鳴体が各々埋め込まれた光検出素子を用意する工程と、

前記光検出素子に光を入射させ、該入射した光を前記プラズモン共鳴体により分光し、前記複数の光電変換層で光電変換を行う工程と、

を有することを特徴とする光検出方法である。

本発明の参考実施態様における撮像方法は、

光電変換層表面上に半導体材料からなる周期構造を備え、前記周期構造による共鳴領域の少なくとも一部が前記光電変換層に含まれる光検出素子を 2 次元面内に複数配列してなる撮像素子を用意する工程と、

10

20

30

40

50

前記複数の光検出素子を構成する周期構造に光を入射させて、該周期構造により特定波長の光に共鳴を生じさせ、当該共鳴した光を前記光電変換層で光電変換させる工程と、
前記複数の光検出素子から得られる電気信号に基づいて2次元の画像を得る工程と、を有することを特徴とする撮像方法である。

本発明の実施態様における撮像方法は、

複数の光電変換層が積層された光検出素子が2次元に複数配列され、前記複数の光電変換層内には、該光電変換層に対応して、異なる波長帯域に共鳴ピークを有するプラズモン共鳴体が各々埋め込まれた、撮像素子を用意する工程と、

前記複数の光検出素子に光を入射させ、該入射した光を前記プラズモン共鳴体により分光し、前記複数の光電変換層で光電変換を行う工程と、

前記複数の光検出素子から得られる電気信号に基づいて2次元の画像を得る工程と、
を有することを特徴とする撮像方法である。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、カラーフィルタを用いることなく分光感度の調整可能な光検出素子が提供できる。本発明の素子は、厚さを薄くすることができ、混色の抑制、色分離性と感度の両立が図られたものとなる。

また、化学的安定性が優れ、周辺回路との作製プロセスの適合が可能となる光検出素子及び撮像素子が提供できる。そして、このような素子を用いた光検出方法及び撮像方法を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

(本発明の参考実施態様)

本発明の参考実施態様における光検出素子は、光電変換層表面上に半導体材料からなる周期構造を備え、前記周期構造による共鳴領域の少なくとも一部が前記光電変換層に含まれていることを特徴とするものである。

本参考実施態様における光検出素子は、光電変換材料近傍に周期構造を配置することで、特定の波長帯域の入射光を構造との共鳴によって空間的に局在させ、局在した光を選択的に光電変換する。それによって、薄く、光電変換の効率が高く、作製コスト低減が可能なイメージセンサを実現する。理由を以下に説明する。光の波長程度の大きさの周期構造のもつ興味深い特性として、導波モード共鳴がある。

導波モード共鳴とは、2次元周期構造の面外方向から入射した光が回折によって面内の導波光と結合し、共鳴を生じる現象である。

導波モード共鳴を生じる2次元周期構造はさまざまな形態が存在し、格子点の周期構造を考えるのであれば、正方格子であっても三角格子であってもよく、また2種類以上の格子が存在する複合格子でもよい。

格子点の構造はホールでもピラー状でもよく、形状は円形でも多角形でもよく、それぞれの構造に対応した共鳴条件を備えている。周期構造をなす材料は、光を回折させ、面内の導波光に変換できれば、導波モード共鳴を生じさせることが可能である。

【0010】

原子、分子の集合体は、その電子軌道の空間的重なりにより、離散的な準位同士が結合してバンド構造を形成する。物質をなす原子や分子の性質およびその集合の状態によってバンド構造は異なるが、価電子帯と伝導帯間のギャップ(バンドギャップ)の大きさによって、半導体や誘電体(絶縁体)と区分される。

バンドギャップをもつ材料に光を入射させた場合を考えると、入射された光のエネルギーがバンドギャップエネルギーの大きさより小さい場合は、入射光はバンド間の遷移によって吸収されず、散乱、回折を受けない場合は透過する。

入射光のエネルギーがバンドギャップのエネルギーに近い場合は、入射光は電子を伝導体に励起し、自身は吸収される。これは光学的には損失に相当する。

周期構造に上記のようなバンドギャップのエネルギーが入射光のエネルギーに近い半導体

10

20

30

40

50

を用いた場合、損失のために、共鳴のQ値が低下し、共鳴ピークが広帯域化する。

【0011】

一般的な用途においては共鳴のQ値が高い方が有用な場合が多いが、可視光の色分解を行うためには、共鳴ピークの帯域に幅を持たせる必要があり、損失の小さな誘電体よりも半導体の方が望ましい。

半導体材料としては、プロセス中の不純物の混入を考慮するとSiが望ましい。また、プロセスの平易さからはアモルファスSiが望ましい。

導波モード共鳴が生じている場合、共鳴している波長の光は周期構造の面内やその近傍に局在している。この局在位置は、周期構造の3次元パラメータを変化させることで、調整可能である。

周期構造によって形成された局在電場の近傍に、該局在電場の拡がりに対応した光電変換材料を配置する。光電変換材料は光子を電子または正孔に変換できる材料であればよく、半導体のPN接合でもPIN接合でもショットキー接合でもよい。

【0012】

PN接合は比較的作製しやすいという特徴があり、PIN接合は、空乏層の領域を広くすることで感度がさらに向上する。

また、金属-半導体間で形成されるショットキー接合を利用した場合には、より高速動作が可能となる。局在電場の近傍に光電変換材料を配置することで、白色光が入射した場合でも、共鳴する波長の光のみを選択的に光電変換できる。

つまり、共鳴する波長以外の光も光電変換材料に入射するが、吸収係数が大きすぎない光電変換材料を薄く配置した構造とすれば、ほとんどの成分は光電変換されずに透過する。一方で、共鳴する波長の光は、光電変換材料の近傍に長時間局在したままであるので、吸収される確率が増し、あたかも光電変換材料の吸収係数が増大したかの如き効果を実現する。つまり、構造による光の共鳴や空間的な局在を利用することで、光電変換材料の材料を換えることなしに分光感度や吸収係数を変化させることが可能となる。

【0013】

光電変換材料または当該材料近傍の構造を工夫することで分光感度や吸収係数を変化させた光検知装置の模式図を図1に示す。

図1は、基板106上に光電変換層105と、Gの光と共鳴する構造104と、を配して構成され、本参考実施態様に適用可能なものである。

図1では、R (red)、G (green)、B (blue) それぞれに対応する光が、Gの光と共鳴する構造104が形成された光検出器に入射した場合を示している。

Gの光101は構造104との共鳴によって導波層104に局在し、近傍の光電変換層105によって光電変換される。一方、RとBの光102, 103は、大部分が光電変換層105を素通りして光電変換されない。

本参考実施態様の光検出装置は、入射光の特定の光と共鳴する構造104を半導体材料からなる周期構造とし、当該周期構造による光の共鳴領域の少なくとも一部が光電変換層105に含まれる構成を有する。入射光は周期構造により回折され、周期構造を規定するパラメータ(凹凸のサイズ、深さ、ピッチ等)に依存した特定波長の光が導波モードの共鳴を生ずる。

そして共鳴領域の少なくとも一部が導波路層に含まれる(及んでいる)ことから光が導波路層内に長い時間留まる状態が得られ、光電変換の効率が向上すると共に、光電変換層を薄く構成することができる。

【0014】

本参考実施態様の光検出素子は、可視光を検出するものを包含する。本参考実施態様は、周期構造をSiで構成したものを包含する。周期構造が単結晶Siからなるものを包含する。

また、周期構造が多結晶Siからなるものを包含する。また、周期構造がアモルファスSiからなるものを包含する。

また、光電変換層が単結晶Siからなるものを包含する。また、光検出素子がSOI基板

10

20

30

40

50

を用いて構成されたものを包含する。周期構造が2次元面内に格子配列しているものを包含する。

また、格子配列が、正方格子配列または三角格子配列であるものを包含する。また、周期構造を構成する格子配列の周期が、複数次存在しているものを包含する。また、本参考実施態様は、光電変換層表面上に半導体材料からなる周期構造を備え、前記周期構造による共鳴領域の少なくとも一部が前記光電変換層に含まれる光検出素子を用意する工程と、

前記周期構造に光を入射させて、該周期構造により特定波長の光に共鳴を生じさせ、当該共鳴した光を前記光電変換層で光電変換させる工程と、を有する光検出方法を包含する。

【0015】

本参考実施態様の光検出器をアレイ状に複数個を配列させることで、2次元撮像素子が実現される。

本参考実施態様によって分光感度の操作が可能となった結果、単板カラーイメージセンサにおいても色素のカラーフィルタが不要となり、光検出素子の厚さを薄くできる。

これにより、ケラレ及び光の混色が改善される。

吸収係数の操作が可能となった結果、薄い光電変換領域でも十分な光電変換の効率が得られるようになり、感度を犠牲にすることなしにキャリア（電子、正孔）の混色が改善される。

現在、一般的に市販されている単板カラーイメージセンサは、色素のフィルタがRGBGと交互に配列したベイヤー配列や、CMYG（シアン、マゼンタ、イエロー、グリーン）と交互に配列した補色市松方式に配列した構造となっている。ここで、フィルタは、それぞれの色ごとに、異なる材料によって塗り分けられている。そのため製造には、フィルタの色ごとに個別のプロセスが必要であった。本参考実施態様の光検出素子を用いたカラーイメージセンサは、構造によって分光感度を調整しているために、色ごとに異なる材料を用いる必要がない。よって、リソグラフィなどの微細加工技術を用いて一括で、複数の色に対応する検出器を製造することができ、コスト削減も可能となる。

【0016】

本参考実施態様は、光電変換層表面上に半導体材料からなる周期構造を備え、前記周期構造による共鳴領域の少なくとも一部が前記光電変換層に含まれる光検出素子を2次元面内に複数配列してなる撮像素子を用意する工程と、

前記複数の光検出素子を構成する周期構造に光を入射させて、該周期構造により特定波長の光に共鳴を生じさせ、当該共鳴した光を前記光電変換層で光電変換させる工程と、

前記複数の光検出素子から得られる電気信号に基づいて2次元の画像を得る工程と、を有する撮像方法を包含する。

【0017】

（本発明の実施態様）

本発明の実施態様における光検出素子は、複数の光電変換層を備え、これら複数の光電変換層が積層された構造を有する。そして、この光検出素子における前記複数の光電変換層には、該光電変換層に対応して、異なる波長帯域に共鳴ピークを有する光共鳴構造体が配設されていることを特徴とするものである。

また、本発明の光検出素子を2次元に複数配列して構成したことを特徴とするものである。

本態様の上記構成によれば、高画質を得るために多画素化の進行が著しい2次元撮像素子において、光検出素子の画素サイズの小型化による入射光の入射角の増大に伴い、混色が生じるという問題を回避する光検出素子及び撮像素子を提供することができる。

【0018】

図7に、本態様における光検出素子の構成例を示す。

本態様の光検出素子においては、受光素子（光電変換層）に光共鳴構造体を形成し、局在プラズモン共鳴または導波モード共鳴の性質を利用して色分解を行うように構成されている。

10

20

30

40

50

例えば、図7に示す素子では、光電変換要素（光電変換層）701中に、光共鳴構造体として共鳴周波数の異なるプラズモン共鳴体702を配設した構成を採ることによって、光検出器の感度を下げることなく薄くすることが可能となるようにされている。そして、これにより斜め入射の光に対し混色の抑制が行えるようにされている。

【0019】

つぎに、画素サイズの小型化による入射光の入射角の増大に伴い、混色が生じる具体的な理由について説明する。

図8に、撮像素子の多画素化によって、光検出素子の個々の画素サイズが小さくなることを説明する断面図を示す。

図8(a)は低画素の場合における1画素801を示す図であり、図8(b)は高画素の場合における1画素802を示す図である。

撮像素子全体の大きさを維持したままで多画素化を行うと、光検出素子の個々の画素サイズは小さくなる。

図8(a)に示す低画素の場合における1画素801のサイズが、図8(b)に示す高画素の場合には、面内の方向が必然的に小さくなり、1画素のサイズが802のようになる。

画素を構成する光検出素子の面内方向の大きさは小さくすることが可能でも、深さ方向は前述の吸収係数が材料によって決まっているので、小さくすることはできない。その結果、光検出素子は、ますます高アスペクト比化し、混色が生じやすくなる。

画素サイズが小さくなることにより、検出光強度も小さくなるので、開口率を上げる必要が生じ、この結果画素に対する入射光の入射角度が大きくなる。

レンズの薄型化が求められていることによっても、射出瞳から撮像素子への距離が短くなり周辺画素への入射角度が大きくなっている。

この結果、隣接する画素や読み出し回路への光子や電子の混入が増加し、混色やケラレが生じ易くなる。

【0020】

図9に、本実施形態における光検出素子の厚さと混色の生じ易さを説明する図を示す。

図9(a)は薄い光検出素子901に斜め方向から光が入射した場合を示す図であり、図9(b)は厚い光検出素子902に斜め方向から光が入射した場合を示す図である。

図9(a)に示すように、薄い光検出素子901に斜め方向から光が入射した場合には、その幾何学的配置によって混色が生じにくい。

これに対して、図9(b)に示すように、厚い光検出素子902に斜め方向から光が入射した場合には、隣接する画素にも光が入射することから、薄い光検出素子901と比較して、混色が生じ易くなる。

【0021】

本実施の形態においては、上記したようにプラズモン共鳴体または導波モード共鳴体を用いる。なお、導波モード共鳴体は、一部を半導体によって構成することができる。

これにより、光検出素子を感度を下げることなく薄くすることで、図9(a)に示す薄い光検出素子のように、斜め入射の光に対し、混色が生じることを回避したものである。

本発明の光共鳴構造体の1種であるプラズモン共鳴体または導波モード共鳴体を用いてRGB3色の強度比を検出する光検出素子によれば、

光の損失はなく、ローパスフィルタのカットオフ周波数は高いという積層構造のイメージセンサの長所はそのままに、感度を維持したまま素子の厚みを薄くすることができる。これにより、混色やケラレが生じにくく、色分離性と感度の両立が可能となる。

【0022】

以下に、図7を用いて本実施の形態における光検出素子の構造及び動作原理について、更に説明する。

本実施の形態の光検出素子は、複数の光電変換要素（光電変換層）を備え、これら複数の光電変換要素が積層された構造を有している。

そして、それぞれの光電変換要素毎に、異なる波長帯域に共鳴ピークを有し分光要素とし

10

20

30

40

50

て機能する光共鳴構造体が配設されている。

具体的には、図7に示されるように、複数の光起電材料または複数の光導電材料からなる光電変換要素701中に、共鳴周波数の異なるプラズモン共鳴体702が配置されている。

ここで用いられる光起電材料としては、SiのPN接合、半導体によるPIN接合及び金属層と半導体によるショットキー接合などが、その代表例として挙げられる。

光導電性は、半導体一般に見られる現象であるが、本実施形態での光導電材料としては、SiやGaAsなどのIII-V族の赤外部（赤外よりも長波長側のものを含む）に吸収端をもつ半導体などが一般的な光電変換を行うのには適している。

しかしながら、近接場光による非断熱過程によって光電変換を行う場合には、紫外域に吸収端をもつ半導体も適する。

さらに、Rの光で導電性を得る材料は赤外に吸収端を持つ材料とし、G、B、となるにしたがって、短波長に吸収端を持つ材料を光導電材料として用いることで、さらなる色分離の向上が見込まれる。

光導電性は、光電効果によって生じるキャリアの寿命と移動度によって感度が決まる。

【0023】

光検出素子に入射した光703は、波長帯域に応じたプラズモン共鳴体と共鳴を生じ、その近傍の光電変換要素によって光電変換され、波長帯域ごとの入射光強度が光強度信号704として出力される。

例えば、プラズモン共鳴体の共鳴ピークをR、G、Bの色に対応した波長帯域とすれば、R、G、Bそれぞれの色の強度を知ることができ、カラー画像の取得が実現できる。

【0024】

本態様の光検出素子の動作原理を以下に説明する。

本発明の光検出器に光が入射すると、光起電材料や光導電材料を透過してプラズモン共鳴体に衝突する。

本態様において、プラズモン共鳴体はAg、Au、Pt、Alの金属、又はこれらを含む合金のナノ構造体からなる。

構造を持った金属に適切な波長の電磁波を入射させると、プラズモン共鳴が励起される。プラズモン共鳴とは、光波長領域での金属など、誘電率の実部が負となる物質に特徴的に生じる現象で、金属中の自由電子と入射光の電磁場が結合することで生じる。

【0025】

図10に、本発明の実施の形態におけるプラズモン共鳴によって生じる吸収ピークを説明するグラフを示す。

図10に示すように、白色光を入射させた場合の金属共鳴構造体の透過スペクトルには、金属共鳴構造体の構造に起因した共鳴吸収ピークが現れる。

例えば、SiO₂の内部に埋め込まれた、厚さ50nmのAl正方形ドットアレイは、ドットの〔辺長、配列ピッチ〕が〔150nm、400nm〕では650nm付近に、共鳴吸収ピークを持つことが観測される。

また、〔120nm、310nm〕では550nm付近に、〔90nm、250nm〕では430nm付近に共鳴吸収ピークを持つことが観測される。

プラズモン共鳴体は近傍の電磁場と相互作用を起こしているため、実際の空間サイズよりも大きな衝突断面積を持つ。そのために、光がプラズモン共鳴体に直接衝突しなくても相互作用が生じる。

言い換えると、面内にプラズモン共鳴体を緻密に配列させずとも、適切な間隔で配列することで入射した光を余すことなくプラズモン共鳴体と作用させることができる。

衝突した光のうち、そのプラズモン共鳴体と共鳴する波長帯域の光のみが共鳴により吸収され、その他の波長帯域の光は透過してさらに深くまで侵入する。

複数のプラズモン共鳴体を積層することで、波長帯域ごとに異なる深さのプラズモン共鳴体に吸収される状態が実現できる。

【0026】

10

20

30

40

50

光が異なる深さのプラズモン共鳴体に吸収されるだけでは、光強度の検出はできない。プラズモン共鳴体の共鳴ピークに応じた波長帯域ごとの光強度の検出が可能である理由は次の通りである。

プラズモン共鳴体に光が入射し、プラズモン共鳴が生じている状態では、光は金属中の電子のプラズマ振動と結合した状態にある。

その状態では、光はプラズモン共鳴体近傍の狭い領域に局在した近接場光となっている。この近接場光の状態の光と、プラズモン共鳴体から再放射された光を周囲の材料によって光電変換し、入射光強度を電荷の量へと変換する。

電荷を電圧や電流の形で取り出す（読み出す）ことで、それぞれの波長帯域の光強度を電気信号で得ることができる。

10

【 0 0 2 7 】

プラズモン共鳴体と光電変換を行う材料が直接接していることで、プラズモン共鳴体の電子の挙動が変化してしまい、プラズモン共鳴が効率良く励起できない場合は、つぎのような構成を採ることができる。

すなわち、プラズモン共鳴体の周囲を、シリカ（ SiO_2 ）のような光（電磁波）に対して高い透過性を有し、かつ低い導電性を有する（電気的絶縁性を有する）材料によってコーティングして光電変換を行う材料中に配置する。

この材料でプラズモン共鳴体が囲まれるようにすることにより、電気的には外部と絶縁されているが、光とは相互作用が可能となり、効率よくプラズモン共鳴が励起される場合もある。

20

また、代表的な半導体の屈折率が3.5程度であるのに比べて、シリカなどのガラスは屈折率が1.5程度なので、コーティングすることにより、同じサイズのプラズモン共鳴体であっても、共鳴波長を短波長化できる。

逆に言えば、ある共鳴波長を得るためのサイズが大きくなる。そのために、プラズモン共鳴体の作製しやすさが向上する。

なお、入射光は入射方向からのみの向きをもっているが、再放射された光は再放射のメカニズムに依存した指向性をもって放射される。

プラズモン共鳴体の構造を工夫することで、入射光の散乱方向である再放射成分が面内方向の指向性を持つようにし、効率的に光電変換することも可能である。

【 0 0 2 8 】

30

本態様の光検出素子の機能についての概念図を図5に示す。

入射光は異なるプラズモン共鳴体によって、色毎に異なる深さに局在される。それぞれの層での光強度を光電変換によって光強度を電荷の量に変換し、電荷の量を電圧や電流の信号として読み出すことでRGBに対応する光強度が得られる。本実施形態におけるプラズモン共鳴体の機能は、吸収フィルタの如き受動的な機能というよりむしろ、色毎の光を異なる層に留めおき、光電変換部位の振り分けを行なうという、能動的な機能を発現しているともいえる。

【 0 0 2 9 】

プラズモン共鳴体によって分光を行うことで、Siの吸収係数の違いを利用した方法よりも、光検出素子の厚さを薄くすることができる。

40

厚さ50nm程度の典型的なプラズモン共鳴体による吸光度は0.7程度であり、これは入射した光のうち80%がたった1層のプラズモン共鳴体に吸収されることを意味する。一方で、Siによって波長700nmの光を80%吸収するためには、少なくとも7μm以上の厚さが必要となる。

このことから、プラズモン共鳴体の厚さあたりの光の吸収能はきわめて高いといえる。

素子の感度を下げることなく薄くすることが可能である。素子を薄くすることで、前述のように混色、ケラレ、スミアなどを抑制することができる。

さらに、薄い素子の方が2次元積層型撮像素子を形成する場合に、素子要素の配置や配線の自由度が高まる。

【 0 0 3 0 】

50

局在プラズモン共鳴体の吸収スペクトルは図10で説明したとおりであり、吸収する波長帯域の異なるプラズモン共鳴体を積層した場合は図12のような吸収スペクトルとなる。

Siの吸収深さの違いを利用した方法による従来例の積層型撮像素子の分光感度を示した図13のグラフと比較すると、色分離が良いことがわかる。

また、本態様の光検出素子は、構造によって分光を行っているので斜めに光が入射した場合でも正確に分光される。

一方で深さ(Si中を通過した長さ)によって分光する方法では斜めに光が入射した場合は、同じ波長の光でも、入射角度によって異なる層で吸収されてしまい、色分離の誤差が生じる。

本態様の光検出素子においては、色分離が正確である。

図14に、本実施形態の光検出素子による構造によって分光する光検出素子と材料の吸収係数の相違によって分光する光検出素子の色分離特性を説明する図を示す。

【0031】

背景技術で説明したように、有機半導体を用いて色分離を行なう方法が提案されている。

しかしながら、有機材料は化学的安定性において無機材料に比して課題を有している。

本実施形態のプラズモン共鳴体による色分離は、スタンドグラスの着色と同じ原理であり、歴史的建造物のスタンドグラスが現在もその鮮やかさを失っていないことから、高い化学的安定性を持つことが理解される。

化学的安定性の高いことはスチルカメラにおいて勿論求められる特性であるが、常に光が撮像素子に入射しているムービーカメラにおいては、特に価値がある。

【0032】

現在のCCDやCMOS撮像素子は、受光部分のほか、読出し、増幅、駆動回路が撮像素子の内部に構成されている。

これらの回路は、光検出器と同時に形成されているので、光電変換を行う材料と同じ材料でその回路を作製することになる。

Si以外の半導体でこれらの回路を作製すると、技術的な成熟度のために、Siの場合と比べて、読み出し、増幅回路までを含めた性能に課題を有している。

本実施の態様の光検出素子では、材料の特性による分光ではなく、構造によって分光を行っているので光電変換要素の材料は問わず、回路の性能面で有利なSiを用いることができる。

また、本態様の形態の光検出素子は、材料の物性ではなく構造によって光を制御しているので、構造を変えるだけで容易にその特性も変化させることができ、自在な設計が可能である。

【0033】

本態様のプラズモン共鳴体によって入射光を分光する光検出素子を、平面または曲面に2次元配列させて撮像素子とすることで、光の損失はなく、ローパスフィルタのカットオフ周波数が高いという積層型の長所を維持できる。

これに加えて、厚みを薄くすることができ、混色、ケラレ、が少なく、RGB3色の分離と感度も両立し、周辺回路とのプロセス適合性も高く、その他多くの優れた特性をもつ2次元撮像素子が実現できる。

なお、本実施の形態の光検出素子は、CCD、CMOS等の撮像素子に共通するフォトダイオードに関するものであり、電荷転送、増幅、読出しの方式によらないものである。

【0034】

また、上記した本態様の光検出素子を用いて、つぎのような光検出方法を実現することができる。

即ち、複数の光電変換層が積層された構造を有し、前記複数の光電変換層には、該光電変換層に対応して、異なる波長帯域に共鳴ピークを有する光共鳴構造体が配設された光検出素子を用意する工程と、

10

20

30

40

50

前記光検出素子に光を入射させ、該入射した光を前記光共鳴構造体により分光し、前記複数の光電変換層で光電変換を行う工程と、を有することを特徴とする光検出方法である。

また、上記した光検出方法を用い、前記出力された光強度の2次元分布から画像情報を取得する撮像方法を実現することができる。

【実施例】

【0035】

以下、本発明の具体的な参考例、実施例について説明する。

[参考例1]

参考例1においては、上記参考実施態様における光検出器の構成を適用した構成例について説明する。

図2に、本参考例における光検出素子の構成例を説明する図を示す。

本参考例では、図2に示すようにSi層201とSiO₂層202とSi基板層203からなるSOI基板内に光電変換(層)領域204があり、該光電変換領域の最表面には、2次元の凹凸からなる周期構造205が形成されている。

周期構造の凹部はSOI基板の絶縁層まで達していてもよいし、絶縁層まで達しない凹凸であってもよい。

また、最上面には、必要に応じて保護膜を設けてもよい。

入射光206が本例の光検出器に入射すると、表面の2次元の周期構造によって回折される。

周期構造のパラメータに依存した特定の波長帯域の光は、導波モード共鳴を生じる。

導波モード共鳴は、周期構造によって回折された光が導波光と結合することによって、面内方向に共鳴する現象であり、本例においても、光電変換材料の面内方向で共鳴する。

【0036】

2次元周期構造の設計方法としては、該周期構造の個々の構造の、配列周期に対する大きさによって、構造による実効屈折率の低下が無視できる場合には、つぎのように所望の設計が可能となることが知られている。

すなわち、周期構造を含む導波モード共鳴体全体が、構造による実効屈折率の低下が顕著な場合は周期構造の凹凸の底から絶縁層との界面までの領域を導波層207とみなして数値計算を行うことで、所望の設計が可能となることが知られている。

周期構造による回折光と、導波層内を伝播する導波光の波数が一致する条件、つまり、つぎに示すTM0次の分散方程式(式1)と、

$$v = \frac{\pi + \arctan \sqrt{\frac{b}{1-b}} + \arctan \sqrt{\frac{b+\gamma}{1-b}}}{2\sqrt{1-b}} \quad (\text{式-1})$$

【0037】

とbの定義式から得られるつぎに示す(式2)とを連立させ、1次回折の条件 $2/P$ を代入して共鳴波長を求めた。

$$v = \sqrt{\frac{a^2 \beta^2 (n_{av}^2 - n_3^2)}{b(n_{av}^2 - n_3^2) + n_3^2}} \quad (\text{式-2})$$

【0038】

ただし、 P = 凹部の配列ピッチ、 $n_1 = 1$ (空気)、 $n_2 = \text{Si}$ の屈折率(3.84@650nm, 4.07@550nm, 4.67@450nm)、 $n_3 = 1.46$ (SiO₂)である。また、

$$n_{av} = \sqrt{nh^2 f + n_2^2(1-f)},$$

【 0 0 3 9 】

であり、また、 $nh = 1$ (凹部の屈折率)、 $f = d/r^2$ (凹部の充填率)、 $d =$ 凹部の深さ、 $t = t/2$ (コア層の厚さの半分) である。また、

$$\gamma = \frac{n_3^2 - n_1^2}{n_{av}^2 - n_3^2}, \quad b = \frac{\left(\frac{\beta}{k}\right)^2 - n_3^2}{n_2^2 - n_3^2}, \quad \nu = \frac{kt}{2} \sqrt{n_2^2 - n_3^2}. \quad 10$$

【 0 0 4 0 】

である。

この計算の結果、図 3 に示すように、深さ 100 nm で直径 d の円柱穴が配列ピッチ p で正方格子配列し、導波層厚 100 nm の場合に、以下のことが分かった。

即ち、 $[d, p]$ が $[116 \text{ nm}, 193 \text{ nm}]$ で 650 nm に、 $[91 \text{ nm}, 152 \text{ nm}]$ で 550 nm に、 $[64 \text{ nm}, 106 \text{ nm}]$ で 450 nm にそれぞれ最低次の導波モード共鳴のピークが得られることが分かった。 20

これらは、RGB それぞれの色に対応する光の波長である。

【 0 0 4 1 】

図 3 に、本参考例の素子の構造と数値パラメータの一例を示す。

図 3 において、(A) は、光の入射面をなす受光面の平面図であり、(B) は (A) における破線 X - Y で切断した断面図である。

導波モード共鳴を生じている波長帯域の光は、屈折率による閉じ込めによって、導波層で大きな電場振幅をもつ。言い換えると導波層近傍に局在している。

導波層は Si に P、N 型の不純物をドーピングされた光電変換層 (208、209、210) を兼ねている。

光電変換層の接合の配置は、図 2 に示すような面内方向に均一に広がった形状でもよい。あるいは、後述する参考例 2 おける図 4 の 410 (N 型 Si 領域)、411 (P 型 Si 領域) に示すように平面内に構造を備えていても、導波する光を効率的に光電変換しやすい形状であればよい。 30

局在した光は導波層内に長い時間留まるので、薄い光電変換層であったとしても、充分厚い光電変換層が存在している状況と同等となる。

一方で、導波モード共鳴を生じない波長の光は、Si の吸収係数のために、薄い光電変換層をほとんどが素通りしてしまい、光電変換されない。

したがって、本参考例の光検出素子は、導波モード共鳴を生じる波長帯域の光に対して高い分光感度を持たせることができる。

また、局在した光を光電変換することで、実質的に吸収係数が大きくなる。 40

【 0 0 4 2 】

さらに、本参考例では周期構造自身も光電変換材料であるので、導波層の周辺に広がったエバネッセント成分も有効に光電変換することが可能となり、効率が向上する。

本参考例では周期構造と光電変換領域の間に障壁がないため、後述の参考例 2 に述べる素子と比較して、周期構造の内部で光電変換された電子、正孔も光検出に利用でき、感度が向上する。

なお、本参考例では、凹凸構造が正方格子配列したものを図示して説明したが、格子配列は正方格子でなく、三角格子や 2 つ以上の格子からなる複合周期であってもよい。

三角格子は正方格子と比較して、偏光依存性が小さい長所があり、複合周期は、共鳴ピークが複数得られるために、設計の自由度が増すという長所がある。 50

【0043】

[参考例2]

参考例2においては、参考実施態様の光検出器における構成を適用した別構成例について説明する。

図4に、本参考例における光検出素子の構成例を説明する図を示す。

本参考例においては、図4に示すように、Si層401とSiO₂層402とSi基板層403からなるSOI(Silicon On Insulator)基板内に光電変換領域404が設けられている。

また、該光電変換材料の最表面には、SiO₂からなる絶縁膜(保護膜)405が設けられている。

そして、該絶縁膜上にはアモルファスシリコン(a-Si)406からなる2次元周期構造407が形成されている。

入射光408が本発明の光検出器に入射すると、表面の2次元の周期構造407によって回折される。

周期構造のパラメータに依存した特定の波長帯域の光は、導波モード共鳴を生じる。

【0044】

導波モード共鳴は、周期構造によって回折された光が導波光と結合することによって、面内方向に共鳴する現象であり、本参考例においても光電変換材料の面内方向で共鳴する。

周期構造による回折光と、その直下の導波層409内を伝播する導波光の、波数が一致する条件、つまり、つぎに示すTM0次の分散方程式(式3)と、

$$\nu = \frac{\pi + \arctan \sqrt{\frac{b}{1-b}} + \arctan \sqrt{\frac{b+\gamma}{1-b}}}{2\sqrt{1-b}} \quad (\text{式-3})$$

【0045】

とbの定義式から得られるつぎに示す(式4)とを連立させ、1次回折の条件 $\beta = 2\pi/P$ を代入して共鳴波長を求めた。

$$\nu = \sqrt{\frac{a^2 \beta^2 (n_2^2 - n_3^2)}{b(n_2^2 - n_3^2) + n_3^2}} \quad (\text{式-4})$$

【0046】

ただし、P = 凹部の配列ピッチ、 $n_1 = 1$ (空気)、 $n_2 = \text{Si}$ の屈折率(3.84@650nm, 4.07@550nm, 4.67@450nm)、 $n_3 = 1.46$ (SiO₂)である。また、

$$n_{av} = \sqrt{nh^2 f + n_2^2 (1-f)}$$

【0047】

であり、また、 $nh = 1$ (凹部の屈折率)、 $f = d/r^2$ (凹部の充填率)、 $d = t/2$ (コア層の厚さの半分)である。また、

10

20

30

40

$$\gamma = \frac{n_3^2 - n_{av}^2}{n_2^2 - n_3^2}, \quad b = \frac{\left(\frac{\beta}{k}\right)^2 - n_3^2}{n_2^2 - n_3^2}, \quad \nu = \frac{kt}{2} \sqrt{n_2^2 - n_3^2}$$

【 0 0 4 8 】

である。

この計算の結果、図 5 に示すように、深さ 100 nm で直径： の円柱穴が配列ピッチ： 10
p で正方格子配列し、導波層厚 200 nm の場合に、以下のことが分かった。

即ち、[、p] が [107 nm、179 nm] で 650 nm に、[85 nm、141 nm] で 550 nm に、[59 nm、99 nm] で 450 nm にそれぞれ最低次の導波モード共鳴のピークが得られることが分かった。

これらは、RGB それぞれの色に対応する光の波長である。

【 0 0 4 9 】

図 5 に、本参考例の素子の構造と数値パラメータの一例を示す。

図 5 において、(A) は、光の入射面をなす受光面の平面図であり、(B) は (A) における破線 X - Y で切断した断面図である。

導波モード共鳴を生じている波長帯域の光は、屈折率による閉じ込めによって、導波層で 20
大きな電場振幅を持つ。言い換えると導波層近傍に局在する。

導波層は Si に P、N 型の不純物をドーブされた光電変換層 (410、411) を兼ねている。光電変換層の接合の配置は、図 2 に示したような面内方向に均一に広がった形状でもよいし、図 4 における 410 (N 型 Si 領域)、411 (P 型 Si 領域) に示すように平面内に構造を備えていても良い。

【 0 0 5 0 】

本参考例においても、局在した光は導波層内に大部分が留まるので、薄い光電変換層であったとしても、充分厚い光電変換層が存在している状況と同等となる。

一方で、導波モード共鳴を生じない波長の光は、Si の吸収係数のために、薄い光電変換層をほとんどが素通りしてしまい、光電変換されない。 30

光検出素子や撮像素子は Si 基板上に形成されることが多いが、移動度や暗電流といった半導体デバイスとしての性質が優れていることが 1 つの理由である。これらの性質は不純物の混入によって著しくその性質が悪化する。

本参考例の光検出素子は、分光感度を変化させるための周期構造を、基板や光電変換材料と同一の Si で形成することにより、不純物の混入による特性の悪化を抑制できる。

また、成膜の容易なアモルファス Si を使用することで、プロセス自由度、作製コストの上昇も抑制できる。

【 0 0 5 1 】

[参考例 3]

参考例 3 においては、参考実施態様の撮像素子の構成を適用した構成例について説明する。 40

図 6 に、本参考例における撮像素子の構成例を説明する図を示す。

図 6 において、(A) は、光の入射面をなす受光面の平面図であり、(B) は (A) における破線 X - Y で切断した断面図である。

図 6 に示した装置においては、2次元の撮像を行う本発明の光検出器 601 が複数配列されている。

光検出器 601 のそれぞれの表面には凹凸の周期構造が作製されており、R の光と共鳴する領域 602、G の光と共鳴する領域 603、B の光と共鳴する領域 604 が形成されている。

例えば、参考例 1 に示したパラメータで周期構造を作製することにより、450 nm、5 50

50 nm, 650 nmにそれぞれピーク波長をもたせることが可能である。
凹凸構造によって回折された入射光605は、参考例1で説明したように、構造に対応する波長の光が導波モード共鳴を生じて、導波層近傍に局在する。

【0052】

本参考例のフォトダイオードの光電変換領域606は、導波層607の領域と重複しており、光電変換領域は薄く形成されているために構造に因った固有の分光感度を持っている。

フォトダイオードの分光感度を、可視域の色分解に適した特性とし、それぞれのフォトダイオードによって光電変換された信号を読み出し回路608によって読み出す。

これにより、それぞれのフォトダイオードに入射した光強度を得る。

さらに、隣接する他の色に対応するフォトダイオードからの色を参照することで、2D(2次元)のカラー画像が再構成される。

本発明の撮像素子では、光検出器自身が構造に因った分光感度を持つために、通常、色分解のために用いられるカラーフィルタが不要となる。

そのために、画素の構造を薄くすることが可能となり、ケラレや隣接した画素との混色が生じにくくなる。

【0053】

[実施例1]

実施例1においては、本発明の実施態様の光検出素子の構成を適用した構成例について説明する。

図15に、本実施例の光検出素子の構成例を説明する図を示す。

図15において、1501は入射光、1502はプラズモン共鳴体、1503は透明絶縁材料、1504はn型半導体、1505はp型半導体、1506はn型半導体、1507はp型半導体基板、1508は読出部である。

【0054】

本実施例において、入射光1501が光検出素子に入射すると、光電変換を起こす半導体のPN接合からなる光起電材料中に配置されたプラズモン共鳴体1502に衝突する。前述のとおり、プラズモン共鳴体の実際の空間サイズよりも大きな領域で衝突が起きる。衝突した光のうち、プラズモン共鳴体の共鳴波長に対応する波長帯域の光がプラズモン共鳴を起こし、生じた近接場光を周囲の光起電材料によって光電変換させる。

光起電材料とプラズモン共鳴体の電気的接触やプラズモン共鳴体の光起電材料中への拡散を避けたい場合には、シリカの如き透明絶縁材料1503でプラズモン共鳴体をコーティングすることもできる。

RGB3色の光を受光するためには、PN接合を積層する必要があり、本実施例では、表面からn型半導体1504、p型半導体1505、n型半導体1506、p型半導体基板1507の順に積層されている。

光がPN接合に入射して光電効果を起こすと、電荷が光起電材料の両端に生じるので、この大きさを電圧や電流の信号として読出部1508で計測することによって入射光強度を得ることができる。

【0055】

この光検出素子を2次元に配列することで撮像素子を構成することが可能になる。通常は2次元平面内に配列させるが、光学系の収差を打ち消すために、人間の網膜の如く3次元曲面上に2次元配列させることも可能である。

それぞれの光検出素子からは、入射したRGB3色の入射強度が得られるので、2次元のカラー画像が得られる。

【0056】

本実施例の光検出素子は、一般的な半導体プロセスを用いて作製が可能である。

この素子の特徴であるプラズモン共鳴体を半導体層内部に配置するためには、例えば半導体としてSi、プラズモン共鳴体として金属であるAgを用いた以下のような方法がある。

。

10

20

30

40

50

まず、単結晶のSiを求める半導体層の厚みの半分程度の厚さに成膜されたものを用意する。

その上にプラズモン共鳴体としてAgを配置する。

AgをSi上に配置させるには、溶媒中に分散されたAgナノ粒子溶液をスピコートによって薄膜化した後に溶媒を除去する、電子線リソグラフィによるパターンニングする等、トップダウン的、ボトムアップ的手法のいずれも様々な方法が可能である。

Si上にAgを配置した後に、a-Si(アモルファスシリコン)を成膜することで、Si中にAgが配置される。

a-SiをレーザーアニールすることでSPC(Solid phase Crystallization)またはSPE(Solid Phase Epitaxy)と呼ばれる現象によって単結晶化することが可能である。

Agの上部についても、lateral overgrowthの成長が数μm程度あることより、結晶化が可能である。

単結晶化によってキャリア移動度などの半導体としての特性が向上する。また、Ag塗布時に種結晶を同時に形成し、該種結晶を成長させる方法によっても、単結晶Si中にAgを配置することができる。

【0057】

本実施例の光検出素子では、p型半導体とn型半導体を交互に成膜する構成となっている。

p型半導体はSiに微量のIII族元素を、n型半導体はSiに微量のV族元素をドーピングすることで得られる。

Si中へのこれら不純物の添加は、拡散や打ち込み、成膜中のドーパントガスの混入などによって実現できる。

RGBの3色を受光するためには、RGBそれぞれの光と共鳴する、大きさの異なるAgをSi中に配置させることで、RGBに対応した光電変換層を形成することができる。

【0058】

尚、図15では、n型半導体基板1504側から光を入射させたが、光の入射は、p型半導体基板1507側からとすることもできる。この場合、光の入射側より、プラズモン共鳴体1502の配置をR、G、Bと配置することもできる。

【0059】

[実施例2]

実施例2においては、本発明の実施態様の光検出素子の構成を適用した別の構成例について説明する。

図16に、本実施例の光検出素子の構成例を説明する図を示す。

図16において、1601は入射光、1602は透明導電材料、1603は半導体材料、1604はプラズモン共鳴体、1605はショットキー接合部、1606は読出部、1607は透明絶縁材料である。

【0060】

本実施例の素子では、入射光1601が光検出素子に入射すると、透明導電材料1602を透過して半導体1603上に配置されたプラズモン共鳴体1604に衝突する。

前述のとおり、プラズモン共鳴体の実際の空間サイズよりも大きな領域で衝突が起きる。そして、衝突した光のうち、プラズモン共鳴体の共鳴波長に対応する波長帯域の光がプラズモン共鳴を起こし、近接場光を生じる。

本実施例においては、プラズモン共鳴体1604である金属と半導体1603の界面がショットキー接合部1605を形成し、光起電材料となる。

つまり、金属はプラズモン共鳴による分光機能と、ショットキー接合の金属部としての2つの役割を併せ持つ。

【0061】

プラズモン共鳴体の近傍に生じた近接場光をプラズモン共鳴体1604と半導体層1603の界面に形成されたショットキー接合によって光電変換する。

プラズモン共鳴体の上部に配置された透明導電材料 1602 は光の周波数では透明であるが、低周波の電磁波は伝導する性質を持っている。

したがって、光の周波数での共鳴であるプラズモン共鳴を考える際には絶縁体として扱える。

一方で低周波においては金属としてふるまうので、ショットキー接合によって生じたキャリアを読み出す際には金属として扱える。

光がショットキー接合に入射して光電効果を起こすと、電荷が光起電材料の両端に生じるので、この大きさを電圧や電流の信号として読出部 1606 で計測することによって入射光強度を得ることができる。

【0062】

本実施例によれば、近接場光強度の最も強い金属表面と光電変換部位を一致させることができ、高感度を得られる。RGB3色の光を受光するためには、光導電材料を3層積層し、その層間は透明絶縁材料 1607 によって隔てられている。

この光検出素子を2次元に配列することで撮像が可能になる。通常は2次元平面内に配列させるが、光学系の収差を打ち消すために、人間の網膜の如く3次元曲面上に2次元配列させることも可能である。

それぞれの光検出素子からは、入射したRGB3色の入射強度が得られるので、2次元のカラー画像が得られる。

なお、図16では透明導電膜がプラズモン共鳴体の光の入射する側に配置されているが、図17に示すように入射方向に対して逆向きに配置することもできる。但し、一般的に透明導電膜の屈折率は半導体の屈折率よりも小さいので、ある波長で共鳴する構造を作製する場合に構造を大きくできるため、透明導電膜を光の入射側に配置したほうが作製難易度が低くなる。

【0063】

本実施例の光検出素子は一般的な半導体プロセスによって作製が可能である。この素子の特徴であるプラズモン共鳴体を半導体層内部に配置するためには、例えば半導体としてSi単結晶を用いた以下のような方法がある。

作製プロセスフローを図18に示す。

まず、単結晶Si基板 1801 上にプラズモン共鳴体をなす金属または合金としてのAgをスパッタ、蒸着などの方法で成膜する(1802)。

Ag膜上にレジストを成膜し(1803)、電子線リソグラフィ、近接場リソグラフィなどのリソグラフィやインプリント等の微細加工技術によって、求めるプラズモン共鳴体の形状に応じたレジストパターンを形成する(1804)。

レジストをマスクとしてエッチングを行うことで(1805)、プラズモン共鳴体を形成する。その上に透明絶縁材料としてSiO₂をスパッタなどによって成膜する(1806)。

その後、リフトオフによってレジストとレジスト上のSiO₂を除去することで、素子表面が平坦となり、Agが露出する(1807)。

その上に、透明導電材料としてITOをスパッタなどによって成膜することで本発明の光検出素子のうち、ある波長帯域に対応する層が実現できる(1808)。

RGB3色の光を受光するためには、プラズモン共鳴体をRGB3色に対応してそれぞれ大きさの異なるものとし、R、G、Bそれぞれに対応する光と共鳴する構造のプラズモン共鳴体を含む半導体層を積層すればよい。

【0064】

[実施例3]

実施例3においては、本発明の実施態様の光検出素子の構成を適用した更に別の光検出素子の構成例について説明する。

図19に、本実施例の光検出素子の構成例を説明する図示す。

図19において、1901は入射光、1902は光導電材料、1903はプラズモン共鳴体、1904は透明絶縁材料、1905は電極である。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

本実施例において、入射光 1 9 0 1 が光検出素子に入射すると、光導電材料 1 9 0 2 中のプラズモン共鳴体 1 9 0 3 に衝突する。

前述のとおり、プラズモン共鳴体の実際の空間サイズよりも大きな領域で衝突が起きる。衝突した光のうち、プラズモン共鳴体の共鳴波長に対応する波長帯域の光がプラズモン共鳴を起こし、生じた近接場光を周囲の光導電材料 1 9 0 2 によって光電変換させる。

光導電材料とプラズモン共鳴体の電氣的接触やプラズモン共鳴体の光導電材料中への拡散を避けたい場合には、シリカ (S i O ₂) の如き透明絶縁材料 1 9 0 4 でプラズモン共鳴体をコーティングする。

光が光導電材料に入射して光電効果を起こすと、電子が価電子帯から伝導帯に励起され光導電性を示す。

光導電材料の両端の電極 1 9 0 5 に電位差を与え、導電性を測定することで入射光強度を得る。

導電性から光強度を求めるために、光導電材料の両端の電極はオーミック接合していることがのぞましい。R G B 3 色の光を受光するためには、光導電材料を 3 層積層する。

この光検出素子を 2 次元に配列することで撮像が可能になる。通常は 2 次元平面内に配列させるが、光学系の収差を打ち消すために、人間の網膜の如く 3 次元曲面上に 2 次元配列させることも可能である。

素子作製については、実施例 4 及び 5 と同様な方法によって作製することができる。

【 0 0 6 6 】

[実施例 4]

実施例 4 においては、本発明の実施態様の光検出素子の構成を適用した更に別の光検出素子の構成例について説明する。

図 2 0 に、本実施例の光検出素子の構成例を説明する図示す。

図 2 0 において、2 0 0 1 は入射光、2 0 0 2 は導波モード共鳴体、2 0 0 3 は透明絶縁材料、2 0 0 4 は読出部、2 0 0 5 は p 型領域、2 0 0 6 は n 型領域である。

【 0 0 6 7 】

入射光 2 0 0 1 が光検出素子に入射すると、光起電材料からなる導波モード共鳴体 2 0 0 2 に光が入射する。

導波モード共鳴体に入射した光のうち、導波モード共鳴体の構造に対応した波長の光が共鳴を起こす。

共鳴波長の光は透過成分と回折、散乱成分が干渉によって打ち消しあい、面内方向に局在した光となる。

この現象が導波モード共鳴である。導波モード共鳴体のなす構造と共鳴しない光は、導波モード共鳴体と透明絶縁材料 2 0 0 3 を透過して、積層された構造の異なる導波モード共鳴体に入射する。

こうして、導波モード共鳴体のなすそれぞれの構造に対応した光が該構造の近傍に局在する状態が得られる。

この光を R G B の光に対応した構造の異なる層毎に光電変換し、読出部 2 0 0 4 から電圧や電流の信号として、R G B に対応した入射光の強度を得ることができる。

【 0 0 6 8 】

図 2 1 に、本実施例における光共鳴構造体の配置と吸収される部位の関係を示す。

図 2 1 では分かり易いように各導波モード共鳴体間の距離を離して示してある。本実施例の光検出素子をなす導波モード共鳴体は、半導体の p 型領域 2 1 0 3 と n 型領域 2 1 0 4 が接合された構造となっており、光起電材料として機能する。つまり、分光要素自身が光電変換要素も兼ねていることになる。

導波モード共鳴が生じている状態では面内に光が局在しているが、この光は導波モード共鳴体の面内方向に、共鳴体の構造に依存した電磁場分布をもって局在している。

該電磁場強度の強い位置と P N 接合の空乏層の位置を合わせるような構造を設計することで、高感度を得られる。電磁場強度分布は導波モード共鳴体の構造によって決まり、空乏

10

20

30

40

50

層の位置は p 型、n 型半導体の境界によって決まる。

電磁場強度分布と空乏層の位置は、共に作製プロセスによって適宜変化させることができる。

図 2 2 に、PN 接合の境界のバリエーションを説明する図を示す。図 2 2 に示した接合構造 1 (2 2 0 1)、接合構造 2 (2 2 0 2)、接合構造 3 (2 2 0 3) は、PN 接合の境界がそれぞれ異なっている。

導波モード共鳴の特性は、導波モード共鳴体の周期構造の格子定数や単位構造の形状や厚さによって変化する。

一般的に格子点に存在する単位構造のサイズが大きくなるほど共鳴の Q 値が低下し共鳴ピークがブロードになることが知られている。

その他、導波モード共鳴体の 2 次元面内に有する屈折率周期構造を、単位構造の対称性を崩す、複合周期とする、周期に異方性を持たせる、フラクタル構造とする、欠陥を導入する、等の方法によってもピークの特性を変化させることができる。

別の方法として、導波モード共鳴体に、例えば金属の如き複素誘電率の異なる物質を混入させる方法でも、ピーク特性を変化させることができる。

R G B それぞれが一層の導波モード共鳴体によって分光、光電変換される必要はないため、R G B それぞれに対応する光を、複数枚からなる導波モード共鳴体によって分光、光電変換する構造となってもよい。

【 0 0 6 9 】

本実施例の光検出素子は一般的な半導体プロセスを用いて作製が可能である。透明絶縁膜上に半導体からなる導波モード共鳴体を配置するためには、以下のようにすればよい。透明絶縁膜を絶縁体とした、SOI (Silicon On Insulator) ウェハに不純物を打ち込むことで、p 型領域と n 型領域を形成する。

その後、レジストをスピコートによって薄膜化して塗布する。

レジストを電子ビームリソグラフィ、近接場光リソグラフィ、インプリント等の方法によってパターンニングする。

そして、パターンニングされたレジストをマスクとしてエッチングを行うことで、パターン部以外の Si が除去され、透明絶縁膜上に半導体からなる光共鳴構造体が形成される。

PN 接合部の境界を変化させるには、先にエッチングを行った後に不純物を打ち込むことや、不純物の打ち込みの際にマスクを利用することで可能である。

【 0 0 7 0 】

[実施例 5]

実施例 5 においては、本発明の実施態様の光検出素子の構成を適用した更に別の光検出素子の構成例について説明する。

図 2 3 に、本実施例の光検出素子の構成例を説明する図を示す。

図 2 3 において、2 3 0 1 は入射光、2 3 0 2 は導波モード共鳴体、2 3 0 3 は半導体、2 3 0 4 は金属、2 3 0 5 はショットキー接合部位、2 3 0 6 は透明絶縁材料、2 3 0 7 は読出部である。

【 0 0 7 1 】

本実施例の素子は、導波モード共鳴体の構造に対応した特定の波長の光が、面内方向に共鳴によって局在する部分までは、実施例 7 と同様である。

導波モード共鳴体 2 3 0 2 は、半導体 (材料) 2 3 0 3 に構造を形成することで得られる。

半導体 2 3 0 3 と金属 2 3 0 4 の界面はショットキー接合部位 2 3 0 5 を形成しており、光起電材料となっている。

導波モード共鳴体によって、それぞれの構造に対応した光が該構造の近傍に局在している状態が実現される。

この光を R G B の光に対応した構造の異なる層毎に光電変換し、読出部 2 3 0 7 から電圧や電流の信号として、R G B に対応した入射光の強度を得ることができる。

【 0 0 7 2 】

10

20

30

40

50

図 2 4 に光共鳴構造体の配置と吸収される部位の関係を説明する図を示す。

図 2 4 では分かり易いように各導波モード共鳴体間の距離を離して示してある。導波モード共鳴が生じている状態では面内に光が局在しているが、この光は導波モード共鳴体の面内方向に、共鳴体の構造に依存した電磁場分布をもって局在している。

電磁場強度の強い位置とショットキー接合の空乏層の位置を合わせるような構造を設計することで、高感度が得られる。

本実施例の光検出素子は、一般的な半導体プロセスを用いて作製が可能である。SOIウエハ上に金属を成膜し、その上にレジストをスピコートによって薄膜化して塗布する。レジストを電子ビームリソグラフィ、近接場光リソグラフィ、インプリント等の方法によってパターンニングし、パターンニングされたレジストをマスクとしてエッチングを行うこと

10

で、パターン部以外のSiと金属が除去される。そして、透明絶縁膜上に半導体からなる光共鳴構造体と、その上のメッシュ状の金属薄膜が形成される。

【0073】

[実施例 6]

実施例 6 においては、本発明の実施態様の光検出素子の構成を適用した更に別の光検出素子の構成例について説明する。

図 2 5 に、本実施例の光検出素子の構成例を説明する図を示す。

図 2 5 において、2501 は入射光、2502 は導波モード共鳴体、2503 は光導電材料、2504 は電極、2505 は透明絶縁材料である。

20

【0074】

本実施例の素子は、導波モード共鳴体の構造に対応した特定の波長の光が、面内方向に共鳴によって局在する部分までは、実施例 7 及び 8 と同様である。

導波モード共鳴体 2502 は、光導電材料 2503 に構造を形成することで得られる。

光導電材料からなる導波モード共鳴体に入射した光は、導波モード共鳴体の構造に対応した光のみが面内方向に局在する。

構造と共鳴を起こさない光は、導波モード共鳴体と透明絶縁材料 2505 を透過して、積層された構造の異なる導波モード共鳴体に入射する。光が光導電材料に入射して光電効果を起こすと、電子が価電子帯から伝導帯に励起され光導電性を示す。

光導電材料の両端の電極 2504 に電位差を与え、導電性を測定することで入射光強度を得る。

30

導電性から光強度を求めるために、光導電材料の両端の電極はオーミック接合していることがのぞましい。

RGB 3 色の光を受光するためには、光導電材料からなる導波モード共鳴体を 3 層積層する。

導波モード共鳴が生じている状態では面内に光が局在しているが、この光は導波モード共鳴体の面内方向に、共鳴体の構造に依存した電磁場分布をもって局在している。

電磁場強度の強い領域が、導波モード共鳴体の領域内に生じるような構造を設計することで、高感度が得られる。

【0075】

40

[実施例 7]

本実施例は、実施例 1 で説明した(図 1 5)本発明の光検出素子をアレイ状に並べて撮像素子を構成し、この撮像素子をデジタルカメラに組み込んだ例である。

図 2 6 は、本実施例の撮像素子の模式図である。

図 2 6 において、画素エリア 2600 は、本発明の複数の光検出素子(画素) 2601 a ~ 2603 c を、3 行×3 列の 2 次元マトリクス状に配置している。ここで、各光検出素子(画素)は、図 1 5 における光共鳴構造体であるプラズモン共鳴体 1502 と光電変換部 1503 ~ 1507 および読出部 1508 を備えて構成されている。尚、図 2 6 では、画素エリア 2600 は、3 行×3 列の 2 次元マトリクス状としたが、例えば、7 6 8 0 × 4 3 2 0 列のマトリクスとすることも可能である。

50

【0076】

図26において、垂直走査回路2605および水平走査回路2604は、画素エリア2600内に配置されている光検出素子(画素)を選択して読み出すための回路である。図26のように構成した撮像素子をデジタルカメラに組み込んだ模式図を図27に示す。図27において、2701はカメラ本体、2709は接眼レンズ、2711はシャッター機構であり、2716は、ミラーである。

本発明の撮像素子は、2706であり、レンズ鏡筒2705内に配された結像用の撮影光学系(レンズ)2702を介し、撮像素子2706に光が入射する。これにより被写体像に応じて、撮像素子2706の各画素に電荷が発生し、発生した電荷に対応して被写体像を再現できる。被写体像は、モニター用ディスプレイ装置2707で再生できる他、メモリーカード等の記録媒体2708に記録される。

ここで示した本発明の撮像素子は、カラーフィルターを用いる必用がないため薄く構成でき、ケラレ、混色が低減される。また、各画素でRGB全ての波長に対する感色性を有することから、偽色の発生がない。

以上、本発明を具体的な実施例に基づいて説明したが、本発明は実施例に示した形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想を用いた全ての形態を包含する。

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図1】本発明の参考実施態様における光検出素子の機能を説明する図である。

【図2】本発明の参考例1における光検出素子の構成例を説明する図である。

【図3】本発明の参考例1の素子についての構造と数値パラメータについての説明図である。

【図4】本発明の参考例2における光検出素子の構成例を説明する図である。

【図5】本発明の参考例2の素子についての構造と数値パラメータについての説明図である。

【図6】本発明の参考例3における撮像素子の構成例を説明する図である。

【図7】本発明の実施態様における光検出素子の構成例を説明する図である。

【図8】本発明の実施態様における撮像素子の多画素化によって、光検出素子の個々の画素サイズが小さくなることを説明する断面図である。

【図9】本発明の実施態様における光検出素子の厚さと混色の生じ易さを説明する図である。

【図10】本発明の実施態様におけるプラズモン共鳴によって生じる吸収ピークを説明するグラフである。

【図11】本発明の実施態様の光検出素子および撮像素子の概念を示した説明図である。

【図12】本発明の実施態様の光検出素子および撮像素子の分光感度を示したグラフである。

【図13】従来例の積層型撮像素子の分光感度を示したグラフである。

【図14】本発明の実施形態の光検出素子による構造によって分光する光検出素子と材料の吸収係数の相違によって分光する光検出素子の色分離特性を説明する図である。

【図15】本発明の実施例1における光検出素子の構成例を説明する断面図である。

【図16】本発明の実施例2における光検出素子の構成例を説明する断面図である。

【図17】本発明の実施例2における透明導電膜をプラズモン共鳴体の光の入射方向に対して図16とは逆向きに配置した構成例を説明する断面図である。

【図18】本発明の実施例2における光検出素子の作製方法プロセスフローを説明する図である。

【図19】本発明の実施例3における光検出素子の構成例を説明する断面図である。

【図20】本発明の実施例4における光検出素子の構成例を説明する断面図である。

【図21】本発明の実施例4における光共鳴構造体の配置と吸収される部位との関係を説明する図である。

【図22】本発明の実施例4におけるPN接合のバリエーションを説明する図である。

10

20

30

40

50

【図23】本発明の実施例5における光検出素子の構成例を説明する断面図である。

【図24】本発明の実施例5における光共鳴構造体の配置と吸収される部位との関係を説明する図である。

【図25】本発明の実施例6における光検出素子の構成例を説明する断面図である。

【図26】本発明の実施例7における光検出素子をアレイ状に配置して構成した本発明の撮像素子の一例を示す模式図ある。

【図27】本発明の撮像素子を組み込んだデジタルカメラの一例を示す模式図である。

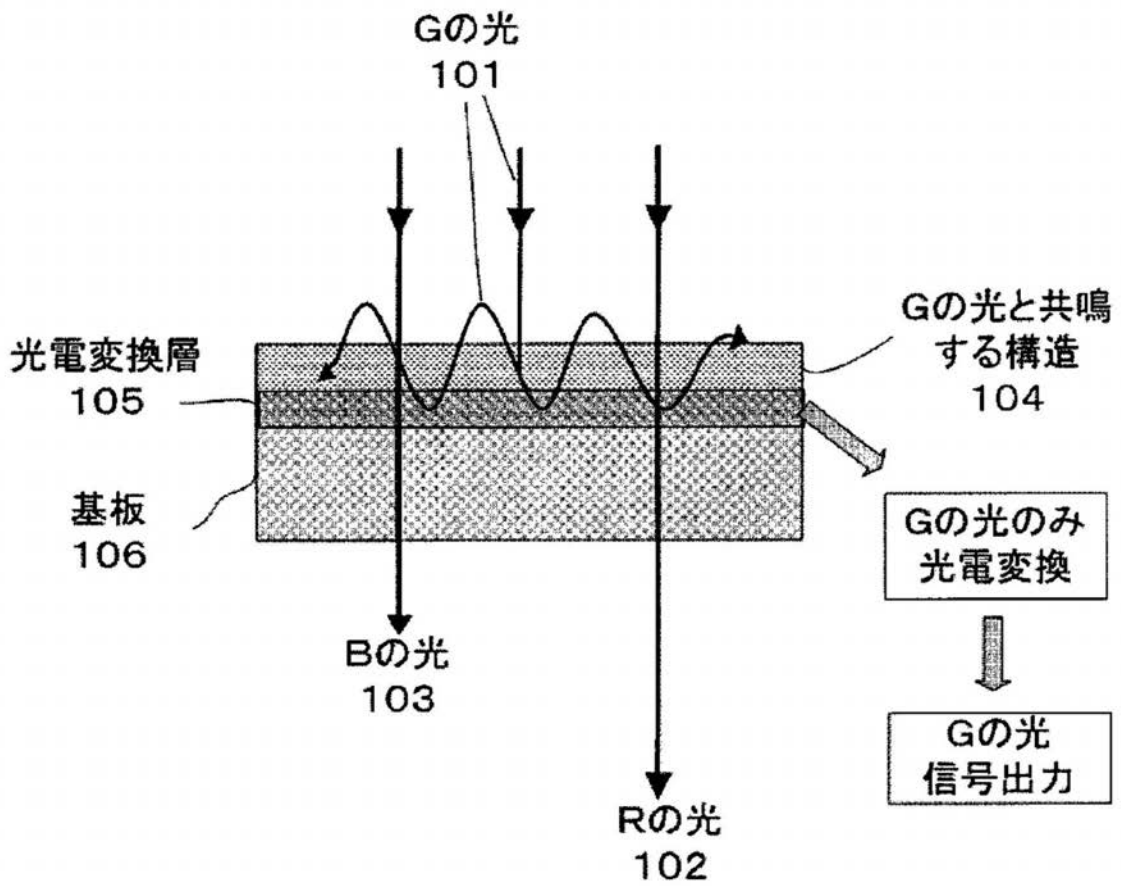
【符号の説明】

【0078】

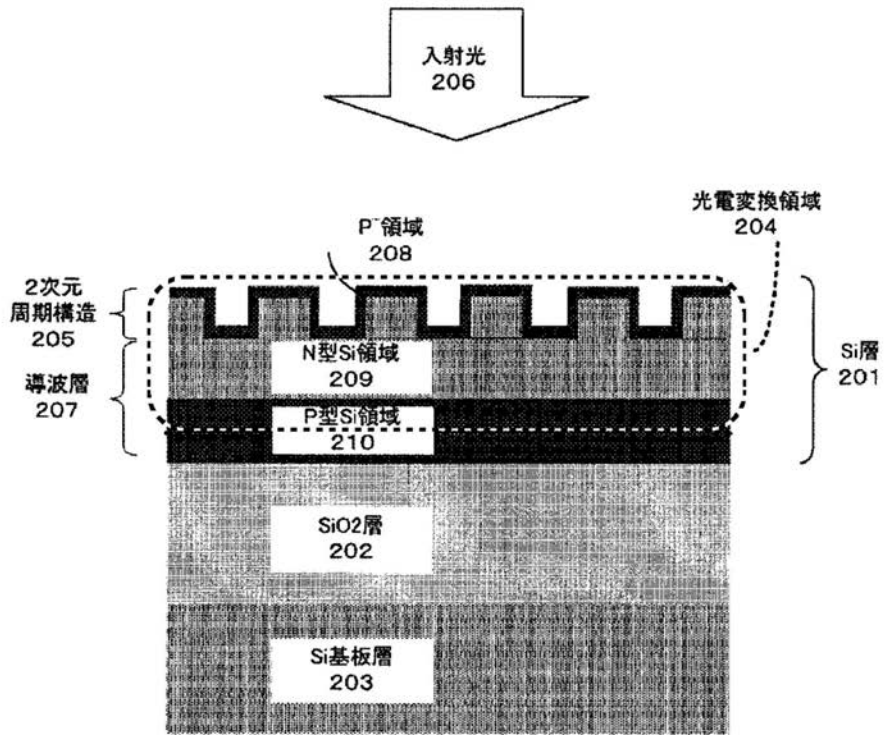
| | | |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|----|
| 101 | : Gの光 | 10 |
| 102 | : Rの光 | |
| 103 | : Bの光 | |
| 104、603 | : Gの光と共鳴する構造 | |
| 105 | : 光電変換層 | |
| 106 | : 基板 | |
| 201、401 | : Si層 | |
| 202、402 | : SiO ₂ 層 | |
| 203、403 | : Si基板層 | |
| 204、404、606 | : 光電変換領域 | |
| 205、407 | : 2次元周期構造 | 20 |
| 206、408、605、703、1501、1601、1701、1901、2001、2101、2301、2401、2501 | : 入射光 | |
| 207、409、607 | : 導波層 | |
| 208 | : P ⁺ 領域 | |
| 209 | : N型Si領域 | |
| 210 | : P型Si領域 | |
| 405 | : 保護層(SiO ₂) | |
| 406 | : a-Si | |
| 601 | : 光検出器 | |
| 602 | : Rの光と共鳴する構造 | 30 |
| 604 | : Bの光と共鳴する構造 | |
| 608 | : 読出し回路 | |
| 701 | : 光起電材料または光導電材料からなる光電変換要素 | |
| 702 | : プラズモン共鳴体 | |
| 704 | : 光強度信号 | |
| 801 | : 低画素の場合の1画素 | |
| 802 | : 高画素の場合の1画素 | |
| 901 | : 薄い光検出素子 | |
| 902 | : 厚い光検出素子 | |
| 1401 | : 構造によって分光する素子 | 40 |
| 1402 | : 半導体の吸収係数の相違で分光する素子 | |
| 1502 | : プラズモン共鳴体 | |
| 1503 | : 透明絶縁材料 | |
| 1504 | : n型半導体 | |
| 1505 | : p型半導体 | |
| 1506 | : n型半導体 | |
| 1507 | : p型半導体基板 | |
| 1508 | : 読出部 | |
| 1602 | : 透明導電材料 | |
| 1603 | : 半導体 | 50 |

| | | |
|---------|-------------------------|----|
| 1 6 0 4 | : プラズモン共鳴体 | |
| 1 6 0 5 | : ショットキー接合部 | |
| 1 6 0 6 | : 読出部 | |
| 1 6 0 7 | : 透明絶縁材料 | |
| 1 7 0 2 | : 透明導電材料 | |
| 1 7 0 3 | : 半導体 | |
| 1 7 0 4 | : プラズモン共鳴体 | |
| 1 7 0 5 | : ショットキー接合部 | |
| 1 7 0 6 | : 読出部 | |
| 1 7 0 7 | : 透明絶縁材料 | 10 |
| 1 8 0 1 | : S i 単結晶基板 | |
| 1 8 0 2 | : A g 成膜 | |
| 1 8 0 3 | : レジスト成膜 | |
| 1 8 0 4 | : レジストパターンニング | |
| 1 8 0 5 | : エッチング | |
| 1 8 0 6 | : S i O ₂ 成膜 | |
| 1 8 0 7 | : リフトオフ | |
| 1 8 0 8 | : I T O 成膜 | |
| 1 9 0 2 | : 光導電材料 | |
| 1 9 0 3 | : プラズモン共鳴体 | 20 |
| 1 9 0 4 | : 透明絶縁材料 | |
| 1 9 0 5 | : 電極 | |
| 2 0 0 2 | : 導波モード共鳴体 | |
| 2 0 0 3 | : 透明絶縁材料 | |
| 2 0 0 4 | : 読出部 | |
| 2 0 0 5 | : p 型領域 | |
| 2 0 0 6 | : n 型領域 | |
| 2 1 0 2 | : 導波モード共鳴体 | |
| 2 1 0 3 | : p 型領域 | |
| 2 1 0 4 | : n 型領域 | 30 |
| 2 2 0 1 | : 接合構造 1 | |
| 2 2 0 2 | : 接合構造 2 | |
| 2 2 0 3 | : 接合構造 3 | |
| 2 3 0 2 | : 導波モード共鳴体 | |
| 2 3 0 3 | : 半導体 | |
| 2 3 0 4 | : 金属 | |
| 2 3 0 5 | : ショットキー接合部位 | |
| 2 3 0 6 | : 透明絶縁材料 | |
| 2 3 0 7 | : 読出部 | |
| 2 4 0 2 | : 光導電材料 | 40 |
| 2 4 0 3 | : 導波モード共鳴体 | |
| 2 4 0 4 | : 金属 | |
| 2 5 0 2 | : 導波モード共鳴体 | |
| 2 5 0 3 | : 光導電材料 | |
| 2 5 0 4 | : 電極 | |
| 2 5 0 5 | : 透明絶縁材料 | |

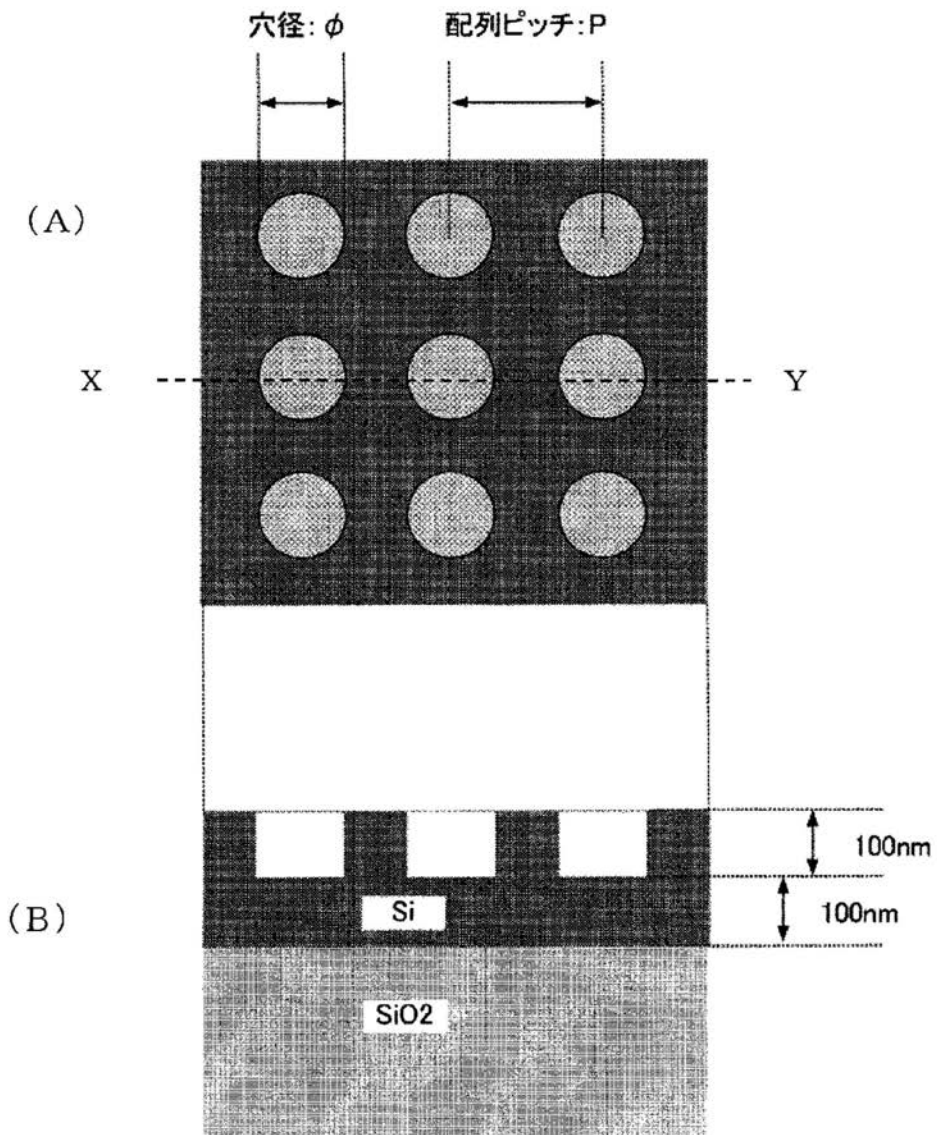
【図1】



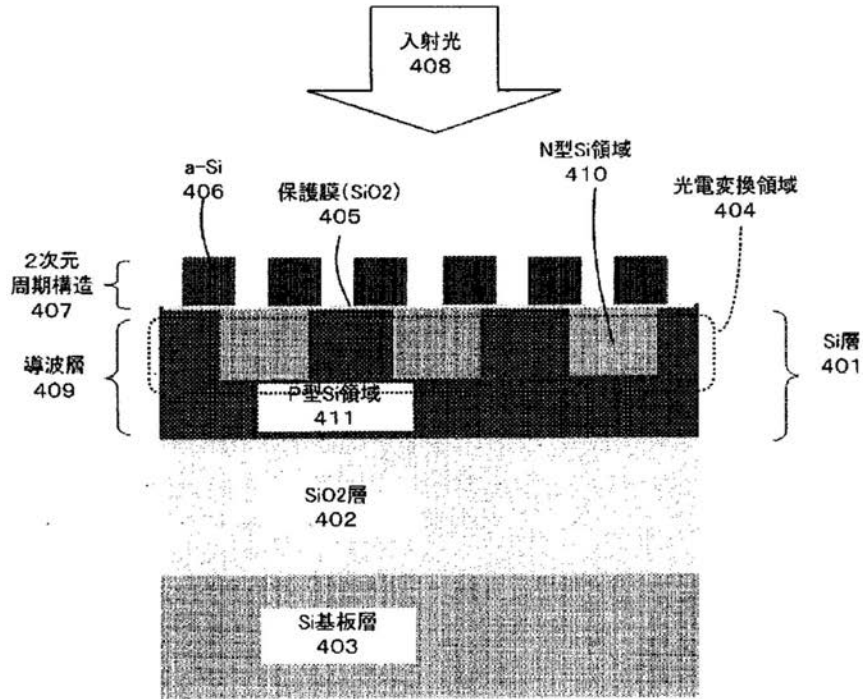
【 図 2 】



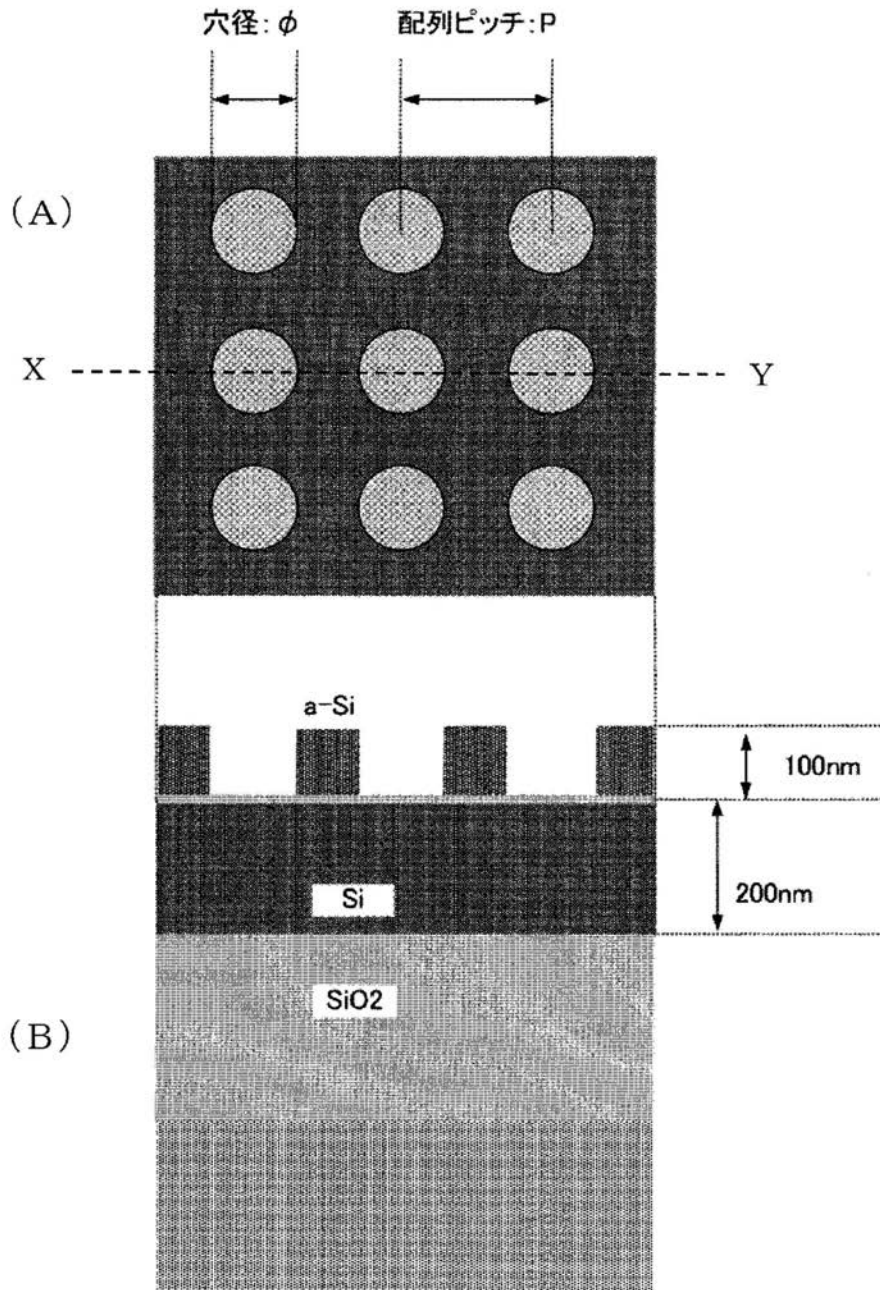
【図3】



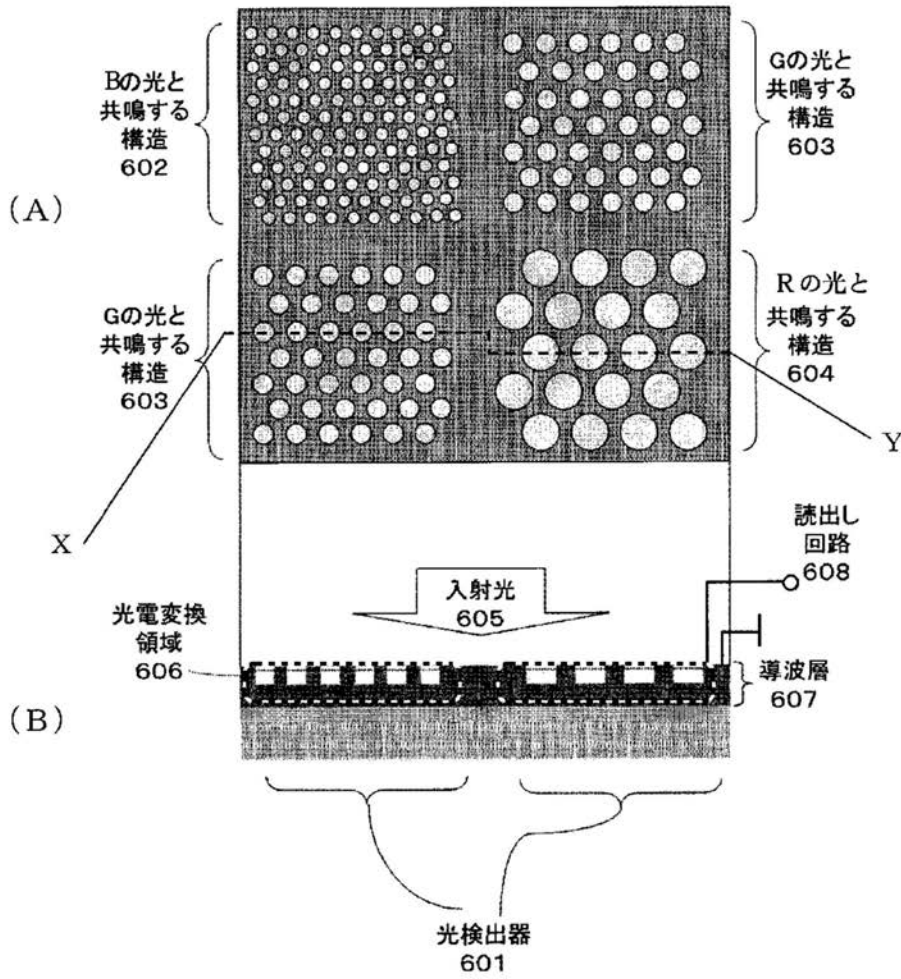
【 図 4 】



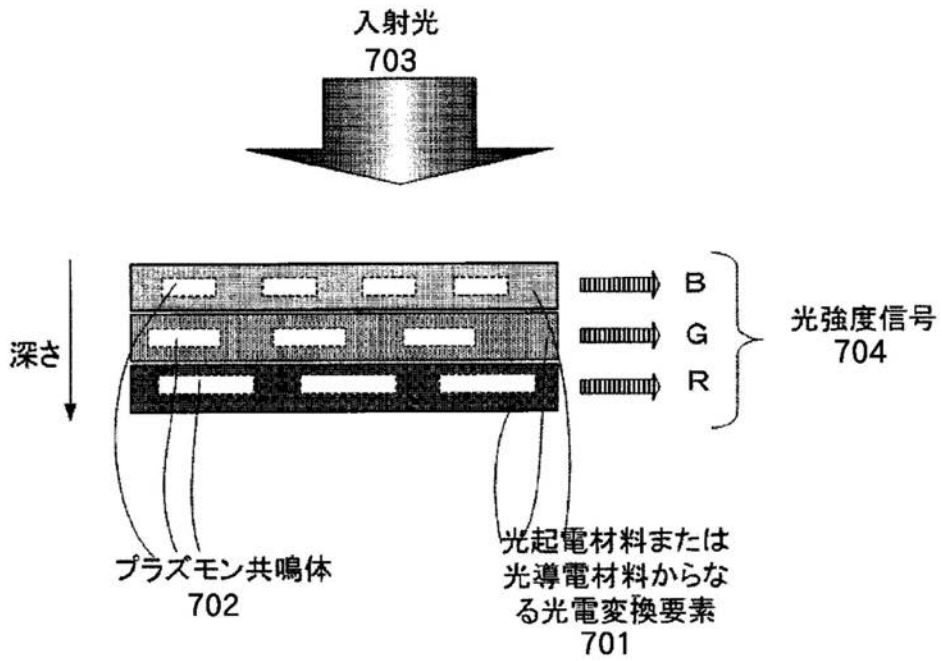
【図5】



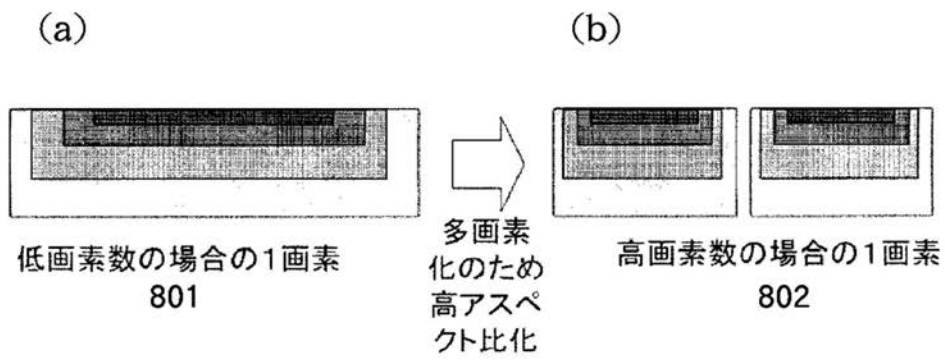
【図6】



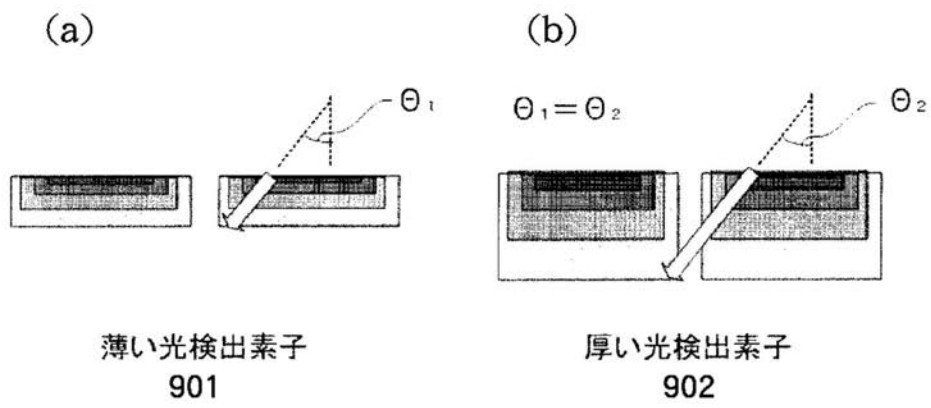
【図7】



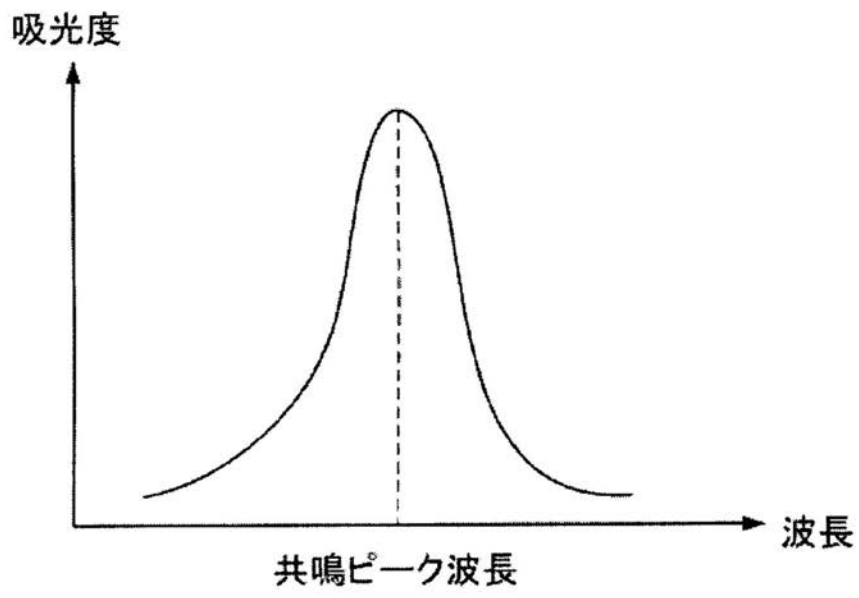
【図8】



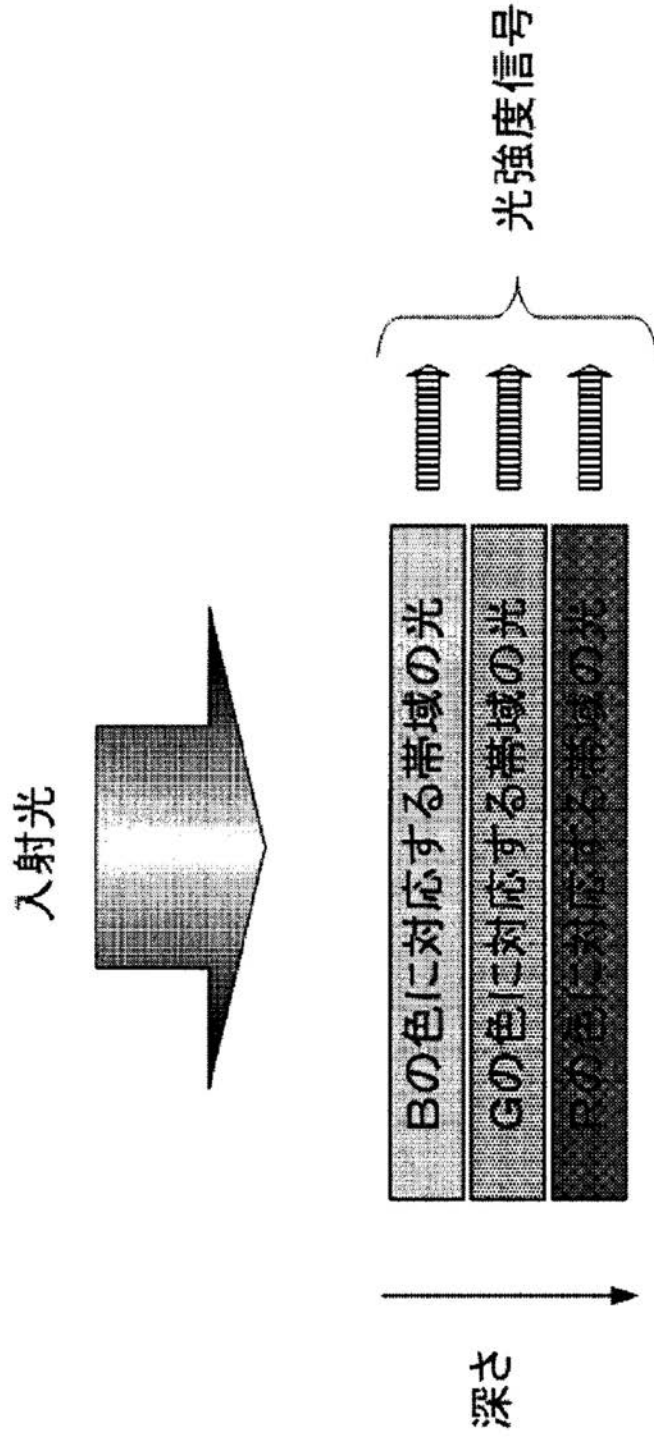
【図9】



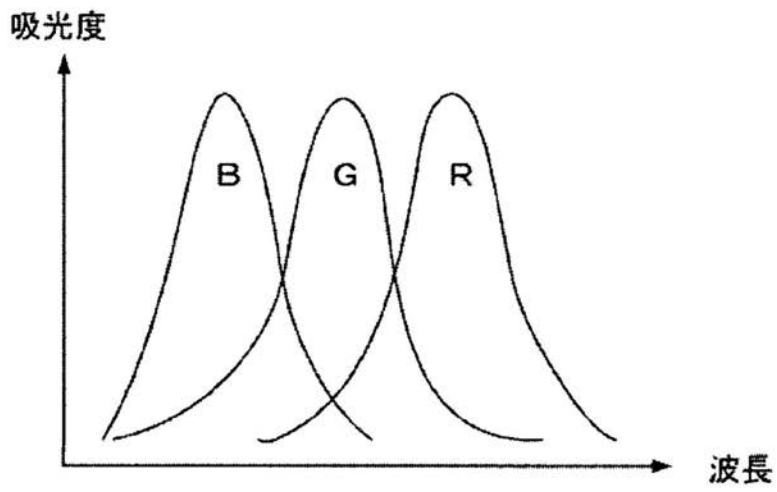
【図10】



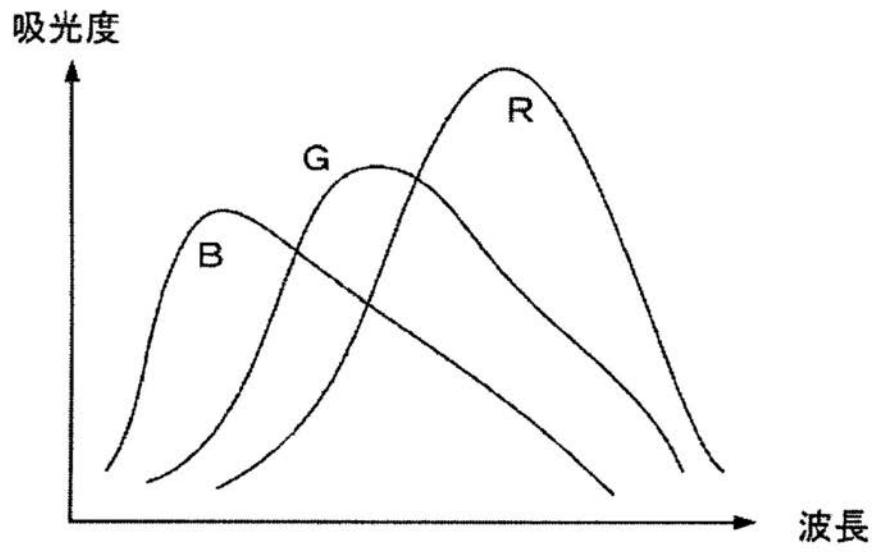
【図11】



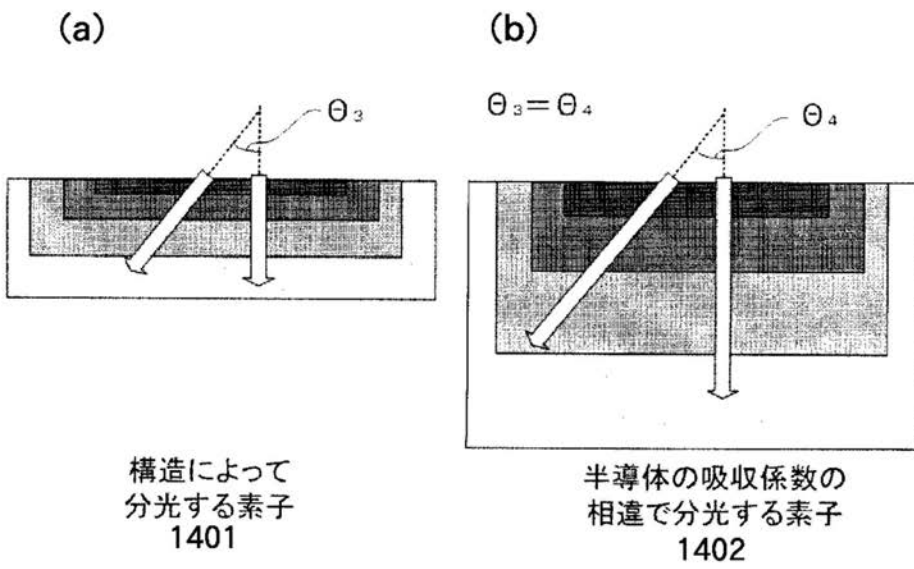
【図 12】



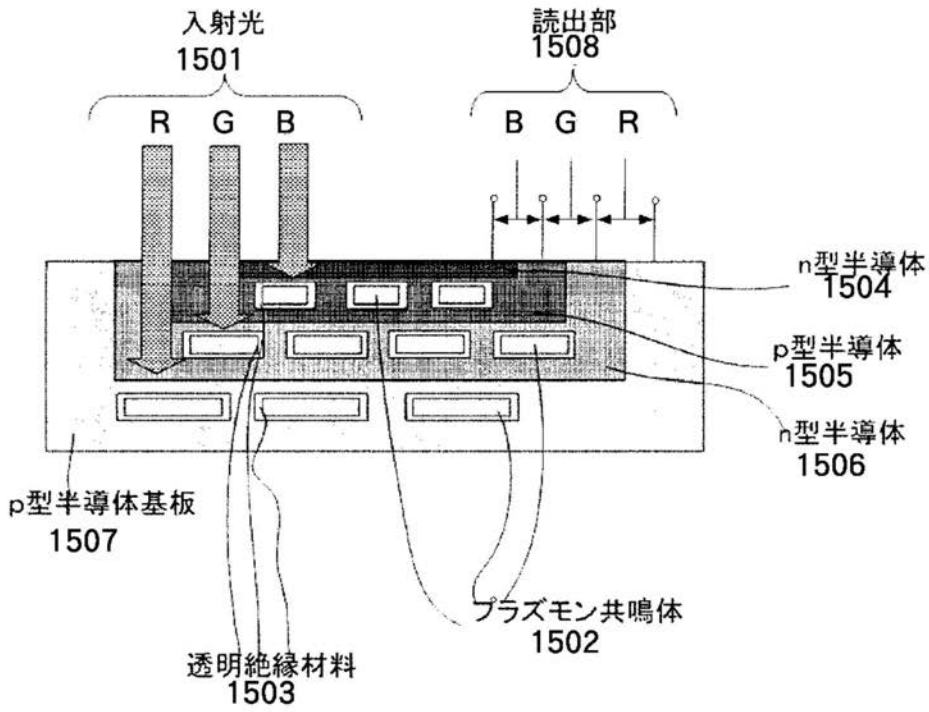
【図13】



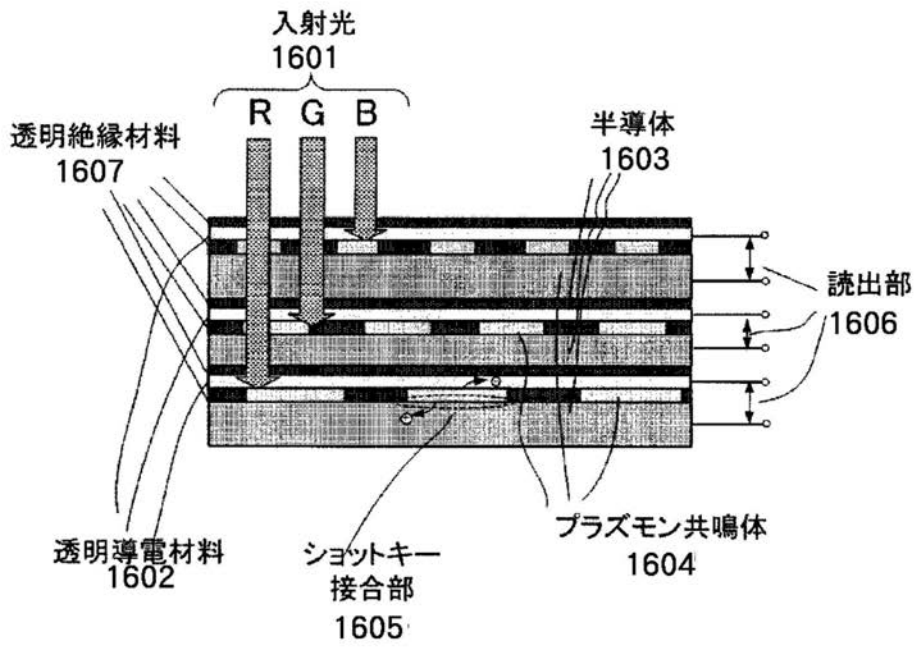
【図14】



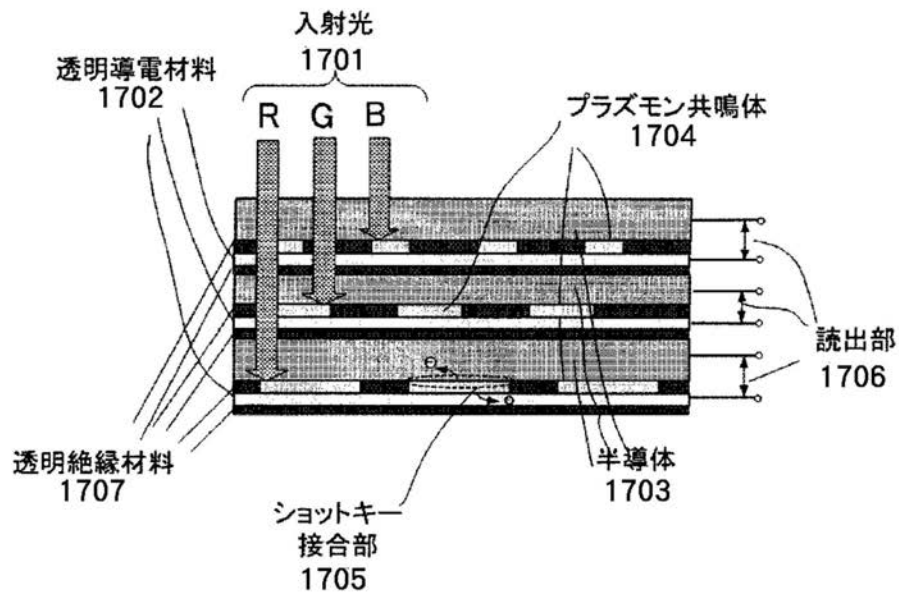
【図15】



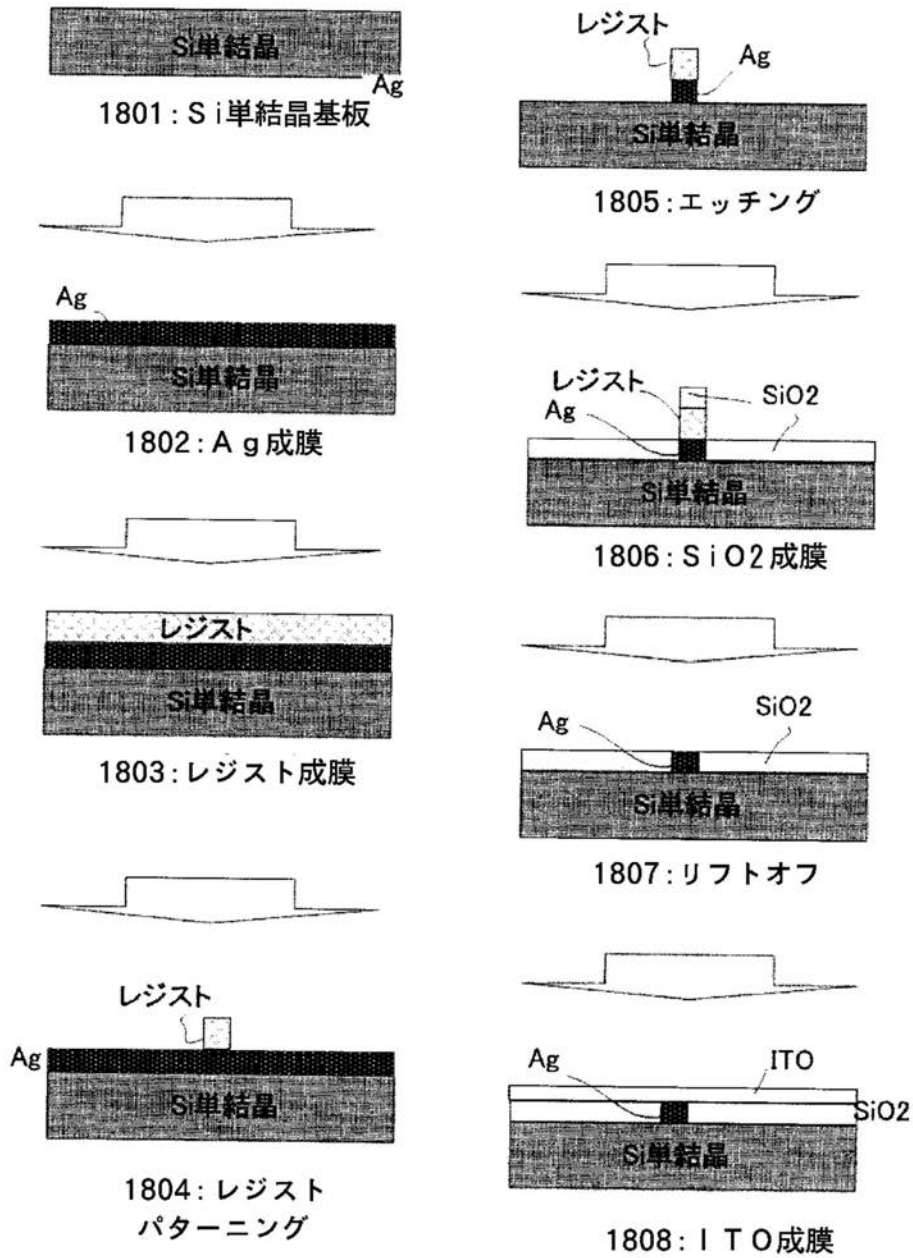
【図16】



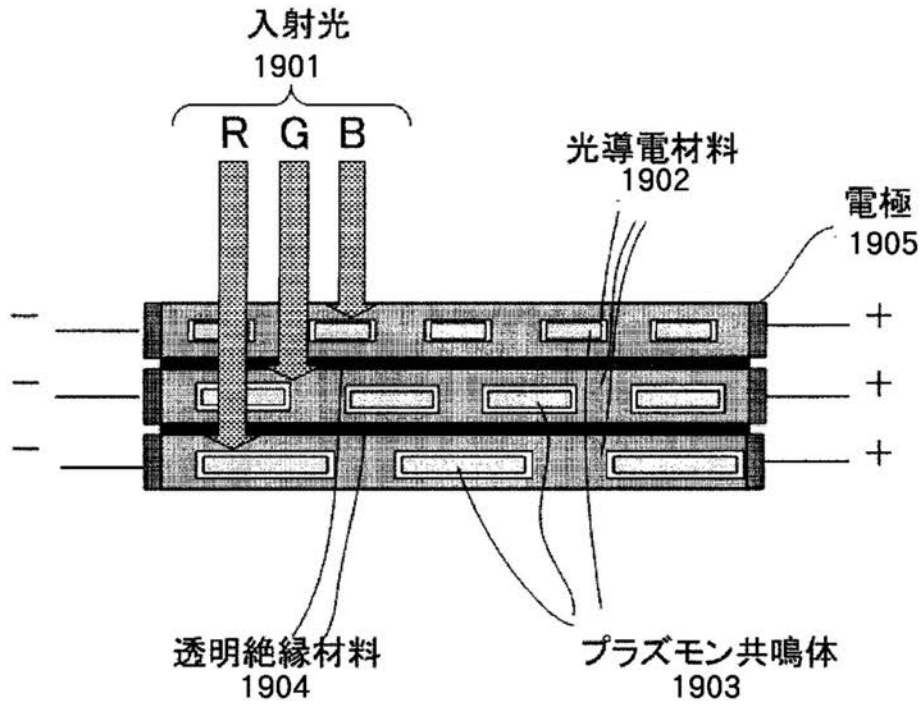
【図17】



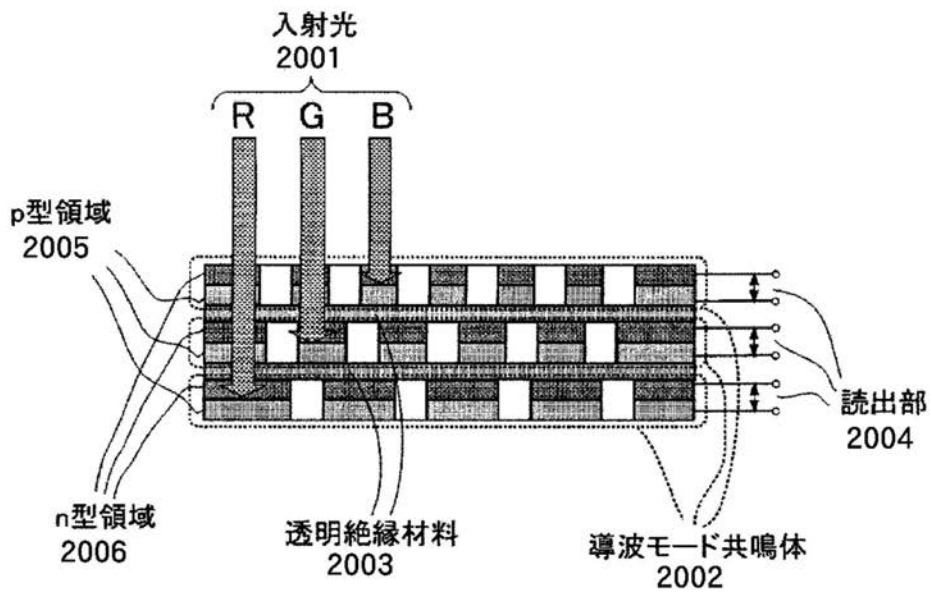
【図18】



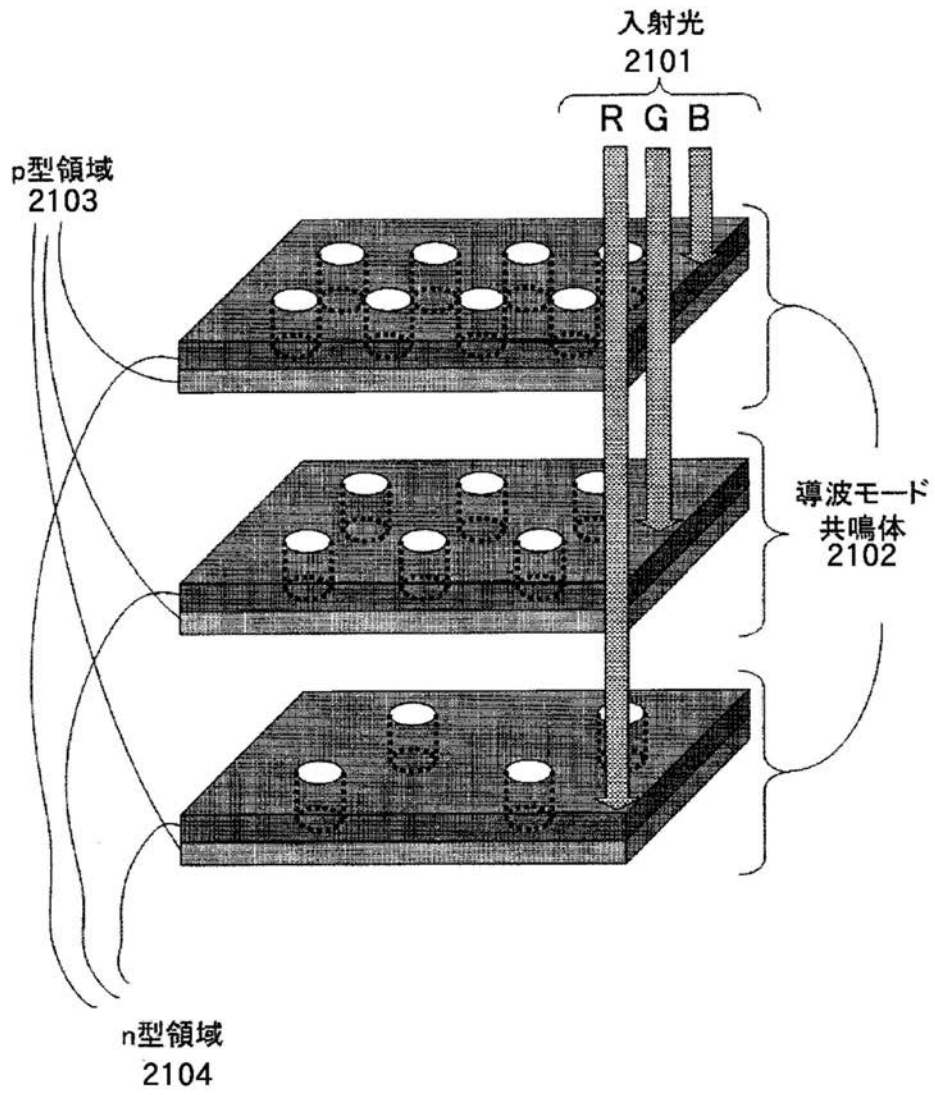
【図19】



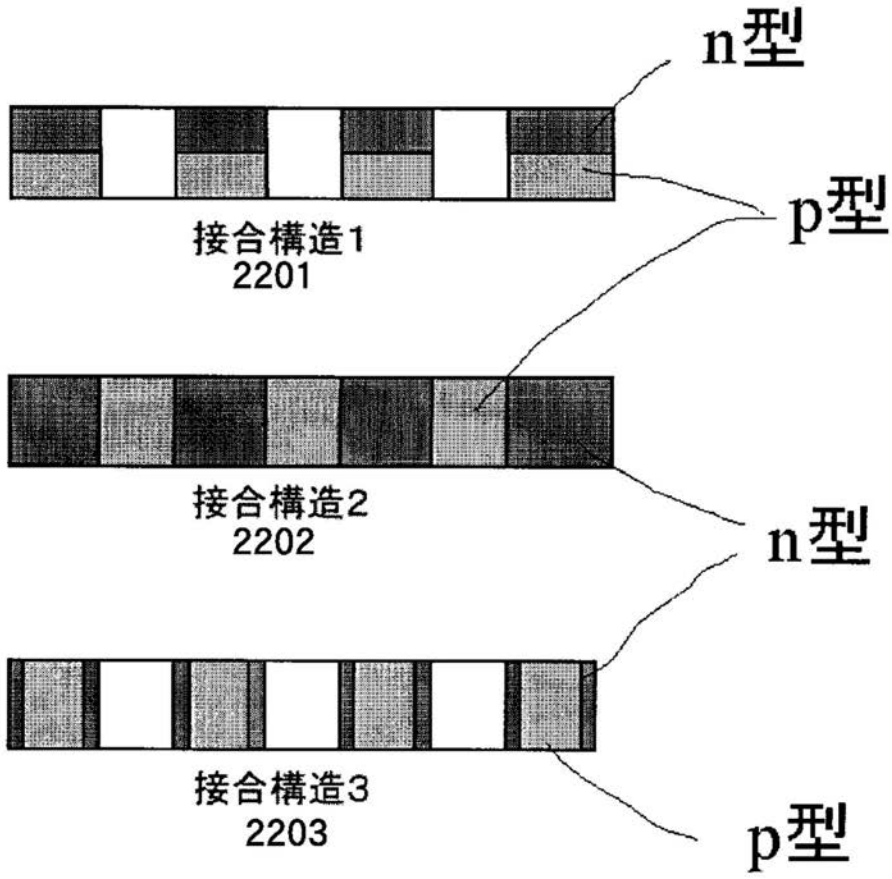
【図20】



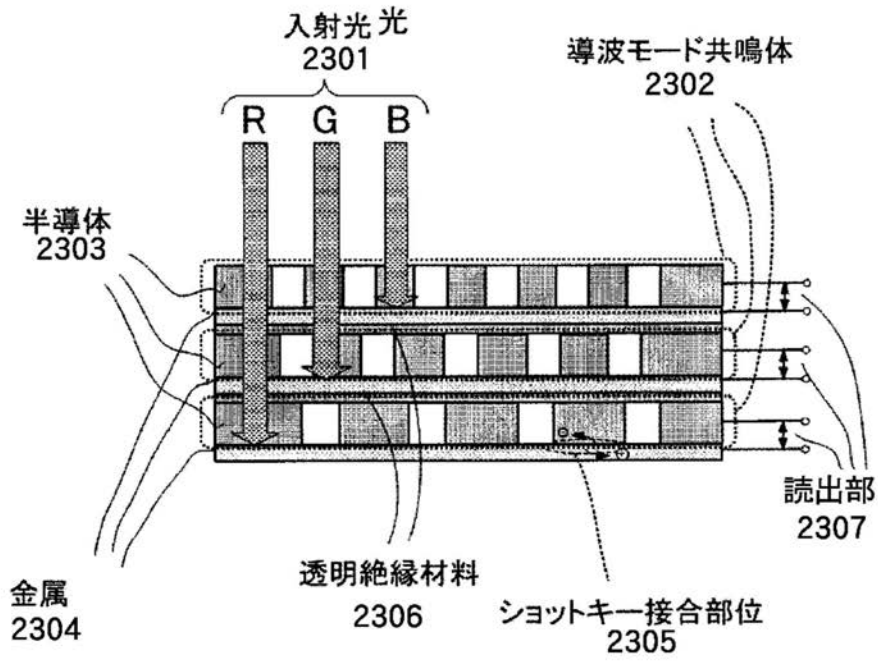
【図 2 1】



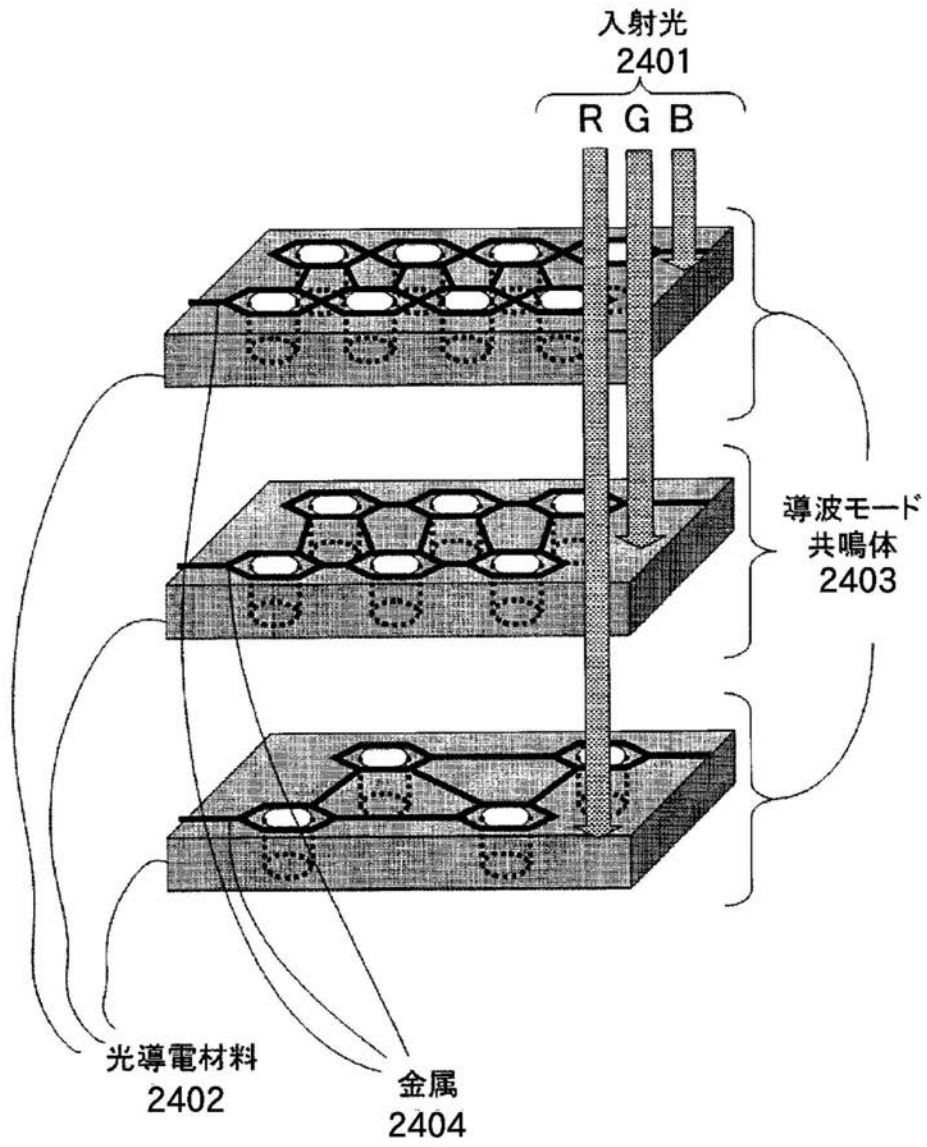
【図 2 2】



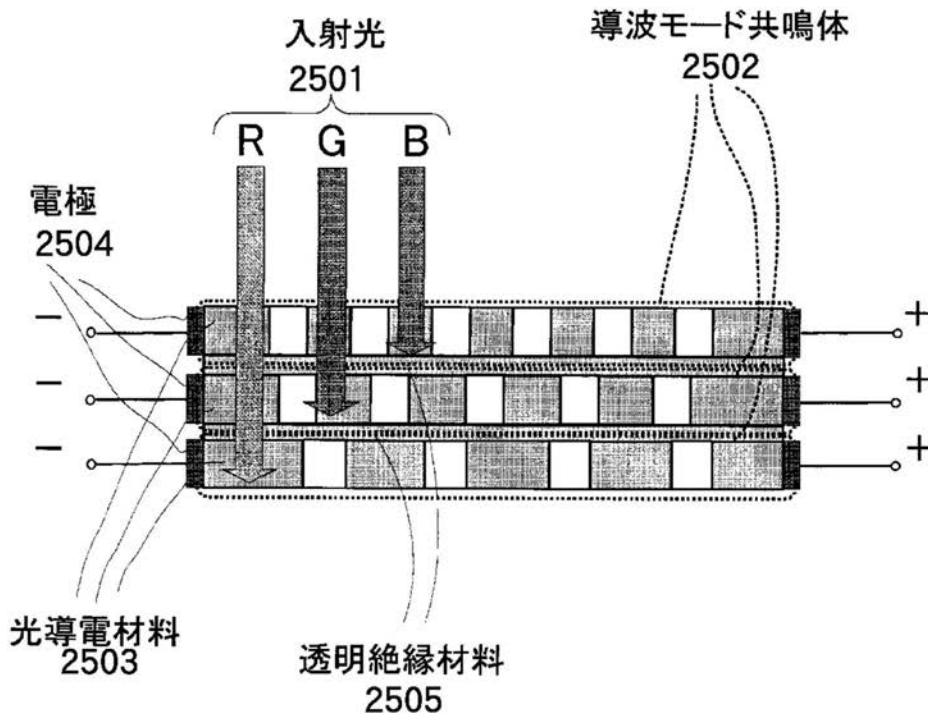
【図23】



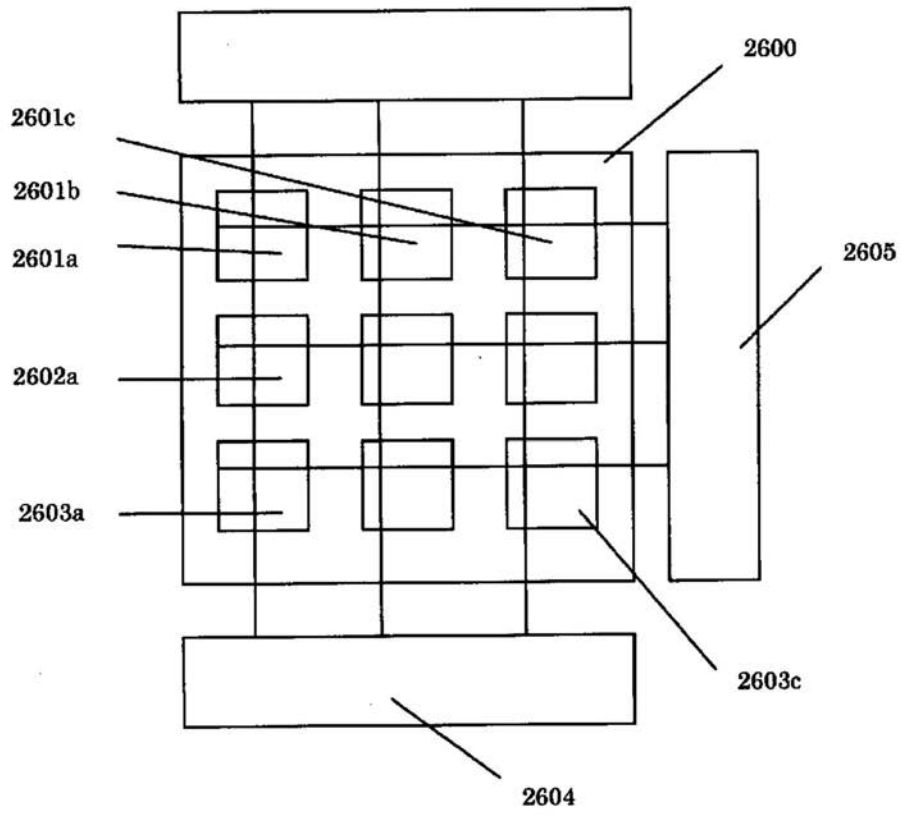
【図24】



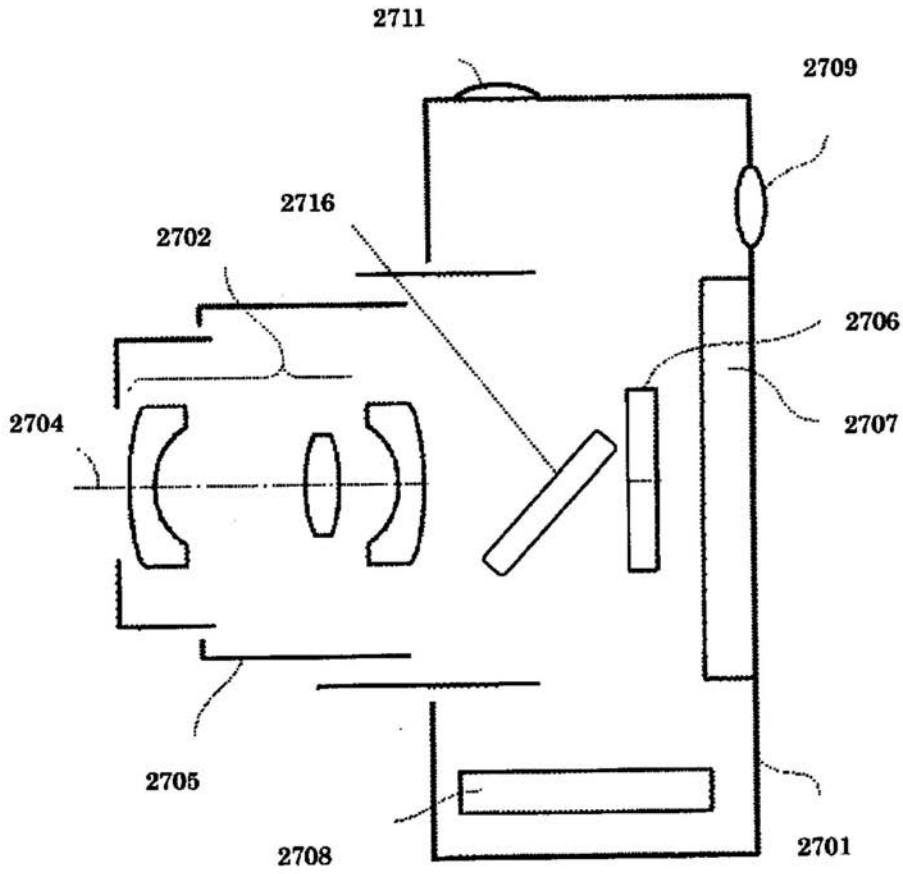
【図25】



【 図 26 】



【 図 27 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭59-108376(JP,A)
特開2005-159002(JP,A)
特開2006-173329(JP,A)
特開2007-273832(JP,A)
特表2009-528542(JP,A)
特表2009-534700(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 31/00 - 31/0392
31/08 - 31/119
27/14 - 27/148