

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6530664号  
(P6530664)

(45) 発行日 令和1年6月12日(2019.6.12)

(24) 登録日 令和1年5月24日(2019.5.24)

(51) Int.Cl.

H01L 27/146 (2006.01)  
H01L 31/0264 (2006.01)

F 1

H01L 27/146  
H01L 27/146  
H01L 31/08E  
D  
L

請求項の数 17 (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2015-144594 (P2015-144594)  
 (22) 出願日 平成27年7月22日 (2015.7.22)  
 (65) 公開番号 特開2017-28078 (P2017-28078A)  
 (43) 公開日 平成29年2月2日 (2017.2.2)  
 審査請求日 平成30年7月18日 (2018.7.18)

(73) 特許権者 316005926  
 ソニーセミコンダクタソリューションズ株  
 式会社  
 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号  
 (74) 代理人 100094363  
 弁理士 山本 孝久  
 (74) 代理人 100118290  
 弁理士 吉井 正明  
 (72) 発明者 内田 史朗  
 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株  
 式会社内  
 (72) 発明者 本庄 亮子  
 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株  
 式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】撮像装置及びその製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数の受光素子が2次元マトリクス状に配列されており、各受光素子は、第1電極、光電変換層及び第2電極から成り、光電変換層は、第1電極側から、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有しており、

受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層は除去されており、

第1電極及び第1化合物半導体層は、受光素子間で共通であり、

第1電極近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度は、第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低い撮像装置。 10

## 【請求項 2】

第1化合物半導体層は、第1電極側に位置し、不純物濃度が低い第1層、及び、第2化合物半導体層側に位置し、不純物濃度が高い第2層の2層構造を有する請求項1に記載の撮像装置。

## 【請求項 3】

第1化合物半導体層の第1層における不純物濃度は、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であり、

第1化合物半導体層の第2層における不純物濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である請求項2に記載の撮像装置。 20

## 【請求項 4】

第1化合物半導体層の第2層は、第1化合物半導体層の第1層よりも薄い請求項3に記載の撮像装置。

## 【請求項 5】

第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域における第1化合物半導体層には、高抵抗領域から成る素子分離領域が形成されている請求項1に記載の撮像装置。

## 【請求項 6】

第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域には、アンドープの第3化合物半導体層が形成されている請求項1に記載の撮像装置。

10

## 【請求項 7】

複数の受光素子が2次元マトリクス状に配列されており、各受光素子は、第1電極、光電変換層及び第2電極から成り、光電変換層は、第1電極側から、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有しており、受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層は除去されており、

第1電極及び第1化合物半導体層は、受光素子間で共通であり、

第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域における第1化合物半導体層には、素子分離領域が形成されている撮像装置。

20

## 【請求項 8】

素子分離領域は高抵抗領域から成る請求項7に記載の撮像装置。

## 【請求項 9】

第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域には、アンドープの第3化合物半導体層が形成されている請求項7に記載の撮像装置。

## 【請求項 10】

第1化合物半導体層は、n-InGaAs層から成り、

第2化合物半導体層は、p-InP層から成る請求項1又は請求項7に記載の撮像装置。

。

## 【請求項 11】

30

第1化合物半導体層と第2化合物半導体層との間には、p-AlInAs層が形成されており、

p-AlInAs層は、第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域に延在している請求項10に記載の撮像装置。

## 【請求項 12】

受光素子の配列ピッチは5μm以下である請求項1又は請求項7に記載の撮像装置。

## 【請求項 13】

成膜用基板上に、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有し、成膜用基板近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度が第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低い光電変換層を形成した後、

40

受光素子を形成すべき第2化合物半導体層の領域に第2電極を形成し、且つ、受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層を除去し、以て、2次元マトリクス状に配列された複数の受光素子を得た後、

全面に絶縁層を形成し、第2電極上方の絶縁層に開口部を形成し、開口部を導電材料で埋め込むことで第2電極に接続されたコンタクト部を設け、その後、

読み出し用集積回路及び接続部が形成された駆動用基板と成膜用基板とを、接続部とコンタクト部とが接するように重ね合わせ、接続部とコンタクト部とを接合する、各工程から成る撮像装置の製造方法。

## 【請求項 14】

50

成膜用基板上に、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有する光電変換層を形成した後、

受光素子を形成すべき第2化合物半導体層の領域に第2電極を形成し、且つ、受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層を除去した後、

第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域における第1化合物半導体層に、素子分離領域をイオン注入法に基づき形成し、以て、2次元マトリクス状に配列された複数の受光素子を得た後、

全面に絶縁層を形成し、第2電極上方の絶縁層に開口部を形成し、開口部を導電材料で埋め込むことで第2電極に接続されたコンタクト部を設け、その後、

読み出し用集積回路及び接続部が形成された駆動用基板と成膜用基板とを、接続部とコンタクト部とが接するように重ね合わせ、接続部とコンタクト部とを接合する、各工程から成る撮像装置の製造方法。

【請求項15】

コンタクト部は銅から成り、

接続部は銅から成る請求項13又は請求項14に記載の撮像装置の製造方法。

【請求項16】

更に、成膜用基板を除去し、露出した第1化合物半導体層上に第1電極を形成する請求項13又は請求項14に記載の撮像装置の製造方法。

【請求項17】

成膜用基板上にエッティングストップ層を形成した後、エッティングストップ層上に光電変換層を形成する請求項13又は請求項14に記載の撮像装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、撮像装置及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

撮像装置は、通常、シリコン半導体基板に形成された受光素子（光電変換素子、フォトダイオード）を備えている。ところで、入射する光の波長が決まれば、シリコン（Si）の光吸収係数は一義的に定まる。従って、光、特に、赤色から近赤外領域の光を効率良くシリコン半導体基板に吸収させるためには、光入射面から深い所（具体的には、例えば、10 μm程度）に位置するシリコン半導体基板の領域に受光素子を形成しなければならない（例えば、特開平09-331058参照）。このことは、撮像装置における画素を微細化していくと、受光素子におけるアスペクト比が増加することを意味する。

【0003】

然るに、受光素子（撮像素子）においてアスペクト比が増加すると、或る受光素子（便宜上、『受光素子-A』と呼ぶ）に隣接する受光素子（便宜上、『受光素子-B』と呼ぶ）への入射光が受光素子-Aに入射するといった画素間混色が問題となる。画素間混色を低減するために受光素子におけるアスペクト比を低くすると、赤色から近赤外領域にかけての受光素子の感度低下といった問題がある。また、Siのエネルギーバンドギャップは1.1 eVであることから、1.1 μmよりも長波長の赤外線を検出することは原理的にできない。Siの代わりに、例えば、InP層とInGaAs層の積層構造から成る光電変換層を用いることで、赤外線を検出することが可能である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平09-331058

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

## 【0005】

しかしながら、受光素子（撮像素子）の配列ピッチが小さくなると、受光素子 - Bにおいて生成したキャリアが受光素子 - Aに侵入するといった、別種の画素間混色が発生する。光電変換層を構成するInP層からInGaAs層の途中に瓦り素子分離領域を形成することで、このような画素間混色を防止する技術が周知である。素子分離領域は、不純物の固相拡散法若しくは気相拡散法に基づき形成された不純物領域から成り、あるいは又、イオン注入法に基づき形成された高抵抗領域から成る。しかしながら、これらの形成方法では、素子分離領域近傍のInP層やInGaAs層に多量の欠陥が発生するといった問題があるし、受光素子（画素）が微細化されると、不純物の固相拡散法若しくは気相拡散法に基づく素子分離領域の形成が困難となる。

10

## 【0006】

従って、本開示の目的は、光電変換層に欠陥が生じ難く、しかも、或る受光素子に隣接する受光素子において生成したキャリアがこの或る受光素子に侵入することを防止し得る構成、構造を有する撮像装置、及び、係る撮像装置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】

## 【0007】

上記の目的を達成するための本開示の第1の態様及び第2の態様に係る撮像装置は、複数の受光素子が2次元マトリクス状に配列されており、各受光素子は、第1電極、光電変換層及び第2電極から成り、光電変換層は、第1電極側から、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有しており、受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層は除去されており、第1電極及び第1化合物半導体層は、受光素子間で共通である。

20

## 【0008】

そして、本開示の第1の態様に係る撮像装置において、第1電極近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度は、第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低い。また、本開示の第2の態様に係る撮像装置において、第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域における第1化合物半導体層には、素子分離領域が形成されている。

30

## 【0009】

上記の目的を達成するための本開示の第1の態様に係る撮像装置の製造方法は、成膜用基板上に、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有し、成膜用基板近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度が第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低い光電変換層を形成した後、

受光素子を形成すべき第2化合物半導体層の領域に第2電極を形成し、且つ、受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層を除去し、以て、2次元マトリクス状に配列された複数の受光素子を得た後、

全面に絶縁層を形成し、第2電極上方の絶縁層に開口部を形成し、開口部を導電材料で埋め込むことで第2電極に接続されたコンタクト部を設け、その後、

40

読み出し用集積回路及び接続部が形成された駆動用基板と成膜用基板とを、接続部とコンタクト部とが接するように重ね合わせ、接続部とコンタクト部とを接合する、各工程から成る。

## 【0010】

上記の目的を達成するための本開示の第2の態様に係る撮像装置の製造方法は、成膜用基板上に、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有する光電変換層を形成した後、

受光素子を形成すべき第2化合物半導体層の領域に第2電極を形成し、且つ、受光素子

50

と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層を除去した後、

第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域における第1化合物半導体層に、素子分離領域をイオン注入法に基づき形成し、以て、2次元マトリクス状に配列された複数の受光素子を得た後、

全面に絶縁層を形成し、第2電極上方の絶縁層に開口部を形成し、開口部を導電材料で埋め込むことで第2電極に接続されたコンタクト部を設け、その後、

読み出し用集積回路及び接続部が形成された駆動用基板と成膜用基板とを、接続部とコンタクト部とが接するように重ね合わせ、接続部とコンタクト部とを接合する、各工程から成る。

#### 【発明の効果】

10

#### 【0011】

本開示の第1の態様に係る撮像装置における受光素子、あるいは、本開示の第1の態様に係る撮像装置の製造方法によって得られる受光素子にあっては、受光素子と受光素子との間の領域において第2化合物半導体層が除去されており、しかも、第1電極近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度は、第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低い。即ち、第1化合物半導体層の不純物濃度に勾配が与えられている。それ故、第1電極と第2電極との間に逆バイアス電圧を印加したとき、第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域（便宜上、『第2化合物半導体層・除去領域』と呼ぶ場合がある）における第1化合物半導体層において、キャリア（例えば正孔）が侵入できない電位の領域が生成する結果、或る受光素子（受光素子-A）に隣接する受光素子（受光素子-B）において生成したキャリア（例えば正孔）が受光素子-Aに侵入することを確実に防止することが可能となる。しかも、第1電極近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度は第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低いので、光電変換層に欠陥が生じ難く、暗電流の発生を抑制することができる。また、従来の技術では、第2化合物半導体層及び第1化合物半導体層の一部に瓦リイオン注入法に基づき素子分離領域を形成しなければならず、イオン注入時、高い加速電圧が必要とされ、素子分離領域近傍の第2化合物半導体層や第1化合物半導体層に多数の欠陥が発生するといった問題があった。然るに、本開示の第2の態様に係る撮像装置における受光素子、あるいは、本開示の第2の態様に係る撮像装置の製造方法によって得られる受光素子にあっては、第2化合物半導体層・除去領域における第1化合物半導体層に素子分離領域を形成することで、受光素子-Bにおいて生成したキャリア（例えば正孔）が受光素子-Aに侵入することを確実に防止することが可能となる。しかも、第1化合物半導体層の一部にイオン注入法に基づき素子分離領域を形成すればよいので、高い加速電圧が必要とされず、光電変換層に欠陥が生じ難い。尚、受光素子（画素）が微細化されても、受光素子と受光素子との間の領域において第2化合物半導体層を除去することは、左程、困難ではない。本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものでは無く、また、付加的な効果があつてもよい。

20

#### 【図面の簡単な説明】

30

#### 【0012】

40

【図1】図1は、実施例1の撮像装置の模式的な一部端面図である。

【図2】図2A及び図2Bは、それぞれ、実施例1の撮像装置において、電界ポテンシャルのシミュレーションを行った結果を示す図である。

【図3】図3A及び図3Bは、それぞれ、実施例1の撮像装置において、電界ポテンシャルのシミュレーションを行った結果を示す図である。

【図4】図4A及び図4Bは、それぞれ、実施例1の撮像装置において、電界ポテンシャルのシミュレーションを行った結果を示す図である。

【図5】図5A及び図5Bは、それぞれ、実施例1の撮像装置において、電界ポテンシャルのシミュレーションを行った結果を示す図である。

【図6】図6A及び図6Bは、実施例1の撮像装置の製造方法を説明するための光電変換層等の模式的な一部端面図である。

50

【図7】図7は、図6Bに引き続き、実施例1の撮像装置の製造方法を説明するための光電変換層等の模式的な一部端面図である。

【図8】図8は、図7に引き続き、実施例1の撮像装置の製造方法を説明するための光電変換層等の模式的な一部端面図である。

【図9】図9A及び図9Bは、実施例1の撮像装置における受光素子ユニットの配置を模式的に示す図である。

【図10】図10は、実施例1の撮像装置における受光素子ユニットの配置を模式的に示す図である。

【図11】図11は、実施例2の撮像装置の模式的な一部端面図である。

【図12】図12は、実施例3の撮像装置の模式的な一部端面図である。

10

【図13】図13は、実施例3の撮像装置の変形例の模式的な一部端面図である。

【図14】図14は、実施例4の撮像装置の模式的な一部断面図である。

【図15】図15は、実施例5の撮像装置の模式的な一部断面図である。

【図16】図16は、波長をパラメータとした、InGaAs及びSiの光吸収係数を示すグラフである。

【図17】図17は、波長をパラメータとし、InP基板の有り/無しにおけるInGaAsの量子効率を示すグラフである。

【図18】図18は、InP層の厚さとInP層に入射する光の波長とInP層の光透過率の関係の計算結果を示すグラフである。

【図19】図19A及び図19Bは、実施例4の撮像装置を構成する受光素子におけるバンド構造の概念図である。

20

【図20】図20は、実施例4の撮像装置を構成する受光素子におけるバンド構造の概念図である。

【図21】図21は、実施例5の撮像装置を構成する受光素子におけるバンド構造の概念図である。

【図22】図22は、実施例6の撮像装置の模式的な一部断面図である。

【図23】図23は、実施例7の撮像装置の模式的な一部断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、図面を参照して、実施例に基づき本開示を説明するが、本開示は実施例に限定されるものではなく、実施例における種々の数値や材料は例示である。尚、説明は、以下の順序で行う。

30

1. 本開示の第1の態様～第2の態様に係る撮像装置及びその製造方法、全般に関する説明

2. 実施例1(本開示の第1の態様に係る撮像装置及びその製造方法)

3. 実施例2(実施例1の変形)

4. 実施例3(本開示の第2の態様に係る撮像装置及びその製造方法)

5. 実施例4(実施例1～実施例3の変形)

6. 実施例5(実施例4の変形)

7. 実施例6(実施例1～実施例5の変形)

40

8. 実施例7(実施例4～実施例6の変形)

9. 実施例8(実施例7の変形)

10. その他

【0014】

本開示の第1の態様～第2の態様に係る撮像装置及びその製造方法、全般に関する説明

本開示の第1の態様～第2の態様に係る撮像装置の製造方法において、コンタクト部は銅(銅合金を含む)から成り、接続部は銅(銅合金を含む)から成る形態とすることができる。即ち、開口部を導電材料で埋め込むが、係る導電材料は銅(銅合金を含む)から成る。また、この好ましい形態を含む本開示の第1の態様～第2の態様に係る撮像装置の製

50

造方法においては、更に、成膜用基板を除去し、露出した第1化合物半導体層上に第1電極を形成する工程を含めることができる。更には、これらの好ましい形態を含む本開示の第1の態様～第2の態様に係る撮像装置の製造方法においては、成膜用基板上にエッティングストップ層を形成した後、エッティングストップ層上に光電変換層を形成する形態とすることができ、これによって、成膜用基板を除去する際、光電変換層における欠陥の発生を効果的に防止することができる。

【0015】

本開示の第1の態様に係る撮像装置、あるいは、上記の各種好ましい形態を含む本開示の第1の態様に係る撮像装置の製造方法によって製造される撮像装置（以下、これらの撮像装置を総称して、『本開示の第1の態様に係る撮像装置等』と呼ぶ場合がある）において、第1化合物半導体層は、第1電極側に位置し、不純物濃度が低い第1層、及び、第2化合物半導体層側に位置し、不純物濃度が高い第2層の2層構造を有する形態とことができ、更には、第1化合物半導体層の第1層における不純物濃度は $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であり、第1化合物半導体層の第2層における不純物濃度は $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である形態とることができ、更には、第1化合物半導体層の第2層は、第1化合物半導体層の第1層よりも薄い形態とすることができます。第1化合物半導体層は、3層以上から構成されていてもよいし、あるいは又、不純物濃度が徐々に変化し、あるいは又、段階的に変化する構成とすることもできる。

【0016】

また、以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の第1の態様に係る撮像装置等において、第2化合物半導体層・除去領域における第1化合物半導体層には、高抵抗領域から成る素子分離領域が形成されている形態とすることができます。また、本開示の第2の態様に係る撮像装置、好ましい形態を含む本開示の第2の態様に係る撮像装置の製造方法によって製造される撮像装置において、素子分離領域は高抵抗領域から成る形態とすることができます。

【0017】

更には、以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の第1の態様に係る撮像装置等において、あるいは、以上に説明した好ましい形態を含む本開示の第2の態様に係る撮像装置、好ましい形態を含む本開示の第2の態様に係る撮像装置の製造方法によって製造される撮像装置（以下、これらの撮像装置を総称して、『本開示の撮像装置等』と呼ぶ場合がある）において、第2化合物半導体層・除去領域には、アンドープの第3化合物半導体層が形成されている形態とすることができます。アンドープの第3化合物半導体層の形成によって、暗電流の発生を一層抑制することが可能となる。第3化合物半導体層は、第2化合物半導体層上に延在してもよい。第3化合物半導体層を構成する化合物半導体としてInPを例示することができる。

【0018】

更には、以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の撮像装置等において、第1化合物半導体層はn-InGaAs層から成り、第2化合物半導体層はp-InP層から成る形態とすることができます。但し、第2化合物半導体層を構成する化合物半導体は、InPに限定されず、その他、InGaAsPやAlInAsを挙げることができる。そして、この場合、第1化合物半導体層と第2化合物半導体層との間にはp-AlInAs層が形成されており、p-AlInAs層は第2化合物半導体層・除去領域に延在している形態とることができ、これによって、受光素子と受光素子との間の領域において第2化合物半導体層を除去するとき、第1化合物半導体層における損傷の発生を確実に防止することができる。即ち、p-AlInAs層は、受光素子と受光素子との間の領域において第2化合物半導体層をエッティング法に基づき除去するときのエッティングストップ層として機能する。

【0019】

更には、以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の撮像装置等において、受光素子の配列ピッチを $5 \mu\text{m}$ 以下とすることができます。

10

20

30

40

50

## 【0020】

第1化合物半導体層は、第1化合物半導体層に含まれる不純物濃度に依っては、i層とみなされる場合もある。即ち、第1導電型を有する第1化合物半導体層には、真性半導体層も含まれる。そして、この場合、第1電極と第1化合物半導体層との間に、第1導電型を有し、第1化合物半導体層の不純物濃度よりも高い不純物濃度の化合物半導体層を形成してもよい。あるいは又、第1電極と第1導電型を有する第1化合物半導体層との間に、第1化合物半導体層よりも不純物濃度の高い第1導電型を有する化合物半導体層（窓層）を形成してもよい。あるいは又、第1電極と第1化合物半導体層との間に、バッファ層やコンタクト層を形成してもよい。第2電極と第2化合物半導体層との間に、コンタクト層を形成してもよい。

10

## 【0021】

以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の撮像装置等にあっては、第1電極を介して光が入射する受光素子において、第1電極と第1化合物半導体層との間に表面再結合防止層が形成されている形態とすることができる。ここで、表面再結合防止層は30nm以下の厚さを有することが好ましい。更には、第1電極と表面再結合防止層との間に、化合物半導体から成り、20nm以下の厚さを有するコンタクト層が形成されている形態とすることができる。

## 【0022】

表面再結合防止層を構成する化合物半導体材料として、InP、InGaAsP、AlInAsを挙げることができる。また、コンタクト層を構成する化合物半導体材料として、InGaAs、InP、InGaAsPを挙げることができる。ここで、（コンタクト層を構成する化合物半導体、表面再結合防止層を構成する化合物半導体）の組合せとして、（InGaAs, InP）、（InGaAs, InGaAsP）、（InGaAs, AlInAs）、（InGaAsP, InP）、（InGaAsP, AlInAs）、又は、（In<sub>X</sub>GaAsP, In<sub>Y</sub>GaAsP）[但しX>Y]を挙げることができる。

20

## 【0023】

本開示の撮像装置等において、第1電極を透明導電材料から構成することができる。透明導電材料として、ITO（インジウム-スズ複合酸化物、Indium Tin Oxide, SnドープのIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、結晶性ITO及びアモルファスITOを含む）、ITiO（TiドープのIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、NiO、これらの材料から成る層の積層構造を例示することができる。透明導電材料の導電型は、第1化合物半導体層や表面再結合防止層を構成する化合物半導体の導電型と同じであることが好ましい。あるいは又、透明導電材料として、IZO（インジウム-亜鉛複合酸化物、Indium Zinc Oxide）、AZO（酸化アルミニウム・ドープの酸化亜鉛）、GZO（ガリウム・ドープの酸化亜鉛）、AlMgZnO（酸化アルミニウム及び酸化マグネシウム・ドープの酸化亜鉛）、インジウム-ガリウム複合酸化物（IGO）、In-GaZnO<sub>4</sub>（IGZO）、IFO（FドープのIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、アンチモンドープSnO<sub>2</sub>（ATO）、FTO（FドープのSnO<sub>2</sub>）、酸化錫（SnO<sub>2</sub>）、酸化亜鉛（ZnO）、BドープのZnO、InSnZnOを例示することができる。

30

## 【0024】

あるいは又、第1電極は、表面再結合防止層又はコンタクト層と接する第1面、及び、第1面と対向する第2面を有し、透明導電材料から成り、

透明導電材料には、モリブデン、タンゲステン、クロム、ルテニウム、チタン、ニッケル、亜鉛、鉄及び銅から成る群から選択された少なくとも1種の金属又はその化合物から成る添加物が含まれてあり、

第1電極の第1面の界面近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、第1電極の第2面の近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度よりも高い形態とすることができる。透明導電材料を構成する金属化合物から成る添加物として、具体的には、酸化タンゲステン、酸化クロム、酸化ルテニウム、酸化チタン、酸化モリブデン、酸化ニッケル、酸化亜鉛、酸化鉄、酸化銅を例示することができる。このように、透明導電材料に

40

50

添加物が含まれており、しかも、第1電極の第1面の界面近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度を、第1電極の第2面の近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度よりも高くすることによって、低い接触抵抗値と高い光透過率との両方を満足する第1電極を提供することができる。第1電極の第1面の界面近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、第1電極の第2面の近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度よりも高いが、ここで、第1電極の第1面の界面近傍とは、第1電極の第1面から第1電極の第2面に向かって、第1電極の厚さの10%を占める領域を意味し、第1電極の第2面の界面近傍とは、第1電極の第2面から第1電極の第1面に向かって、第1電極の厚さの10%を占める領域を意味する。そして、添加物の濃度は、これらの領域における平均濃度を意味する。

10

## 【0025】

あるいは又、第1電極は、表面再結合防止層又はコンタクト層側から、第1層及び第2層の積層構造を有し、

第1電極の第1層を構成する透明導電材料には添加物が含まれており、

第1電極の第2層を構成する透明導電材料には添加物が含まれていない構成とすることができます。第1電極の第1層を構成する透明導電材料に含まれる添加物の平均濃度を  $Ic_1$ 、第1電極の第2層を構成する透明導電材料に含まれる添加物の平均濃度を  $Ic_2$ としたとき、

$$5 \quad Ic_1 / Ic_2 \quad 10$$

を満足することが好ましい。透明導電材料に添加物が含まれているか否かは、SIMSを用いて評価することができる。ここで、1種の金属（具体的には、例えばモリブデン）のキャリヤ濃度が  $1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以上である場合には、透明導電材料に添加物が含まれていると判断することができるし、一方、1種の金属（具体的には、例えばモリブデン）のキャリヤ濃度が  $1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  未満である場合には、透明導電材料に添加物が含まれていないと判断することができる。

20

## 【0026】

そして、第1電極の第1層を構成する透明導電材料に含まれる添加物の平均濃度は、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  乃至  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  であることが好ましく、このような好ましい構成を含む第1電極において、第1電極の第1層の電気抵抗率を  $R_1$ 、第1電極の第2層の電気抵抗率を  $R_2$ 、例えば、波長  $400 \text{ nm}$  乃至  $900 \text{ nm}$  における第1電極の第1層の光透過率を  $TP_1$ 、第1電極の第2層の光透過率を  $TP_2$ としたとき、

$$0.4 \quad R_2 / R_1 \quad 1.0$$

$$0.80 \quad TP_2 \times TP_1 \quad 1.0$$

を満足することが好ましい。更には、第1電極の平均光透過率は95%以上であり、第1電極の平均電気抵抗率は  $2 \times 10^{-6} \cdot \text{m}$  ( $2 \times 10^{-4} \cdot \text{cm}$ ) 以下であり、第1電極と表面再結合防止層又はコンタクト層との間の接触抵抗値は  $1 \times 10^{-8} \cdot \text{m}^2$  ( $1 \times 10^{-4} \cdot \text{cm}^2$ ) 以下であることが好ましい。また、第1電極の第1層の厚さを  $T_1$ 、第1電極の第2層の厚さを  $T_2$ としたとき、

$$2 \quad T_2 / T_1 \quad 70$$

を満足することが好ましく、この場合、

30

$$3 \quad T_1 (\text{nm}) \quad 60$$

$$10 \quad T_2 (\text{nm}) \quad 350$$

を満足することが一層好ましい。ここで、第1電極の第1層を構成する透明導電材料に含まれる添加物の平均濃度は、SIMSを用いて測定することができる。また、第1電極の第1層の電気抵抗率、第1電極の第2層の電気抵抗率、第1電極の平均電気抵抗率は、例えば、受光素子の表面をガラス基板等の保持基板に貼り合わせて、受光素子の裏面側を剥離した後、残った第1電極をホール測定、シート抵抗測定機を用いて測定するといった方法に基づき測定することができるし、第1電極とコンタクト層との間の接触抵抗値は、例えば、受光素子の表面をガラス基板等の保持基板に貼り合わせて、受光素子の裏面側を剥離する際、コンタクト層だけを残し、TLMパターンを形成した後、四端子測定方法に基

40

50

づき測定することができる。更には、第1電極の第1層の光透過率(光吸収率)、第1電極の第2層の光透過率(光吸収率)、第1電極の平均光透過率(光吸収率)は、ガラス基板に貼り合わせて透過及び反射率測定機を用いて測定することができる。また、第1電極の第1層の厚さ、第1電極の第2層の厚さは、段差計や、SEMあるいはTEM電子顕微鏡観察に基づき測定することができる。

【0027】

あるいは又、第1電極を構成する透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、第1電極の第1面から第2面に向かって、漸次、低下する構成とすることができます。透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、SIMSを用いて測定することができる。

【0028】

第1電極は、所謂ベタ膜である。そして、第1電極は、基本的には、スパッタリング法に基づき形成することができる。第1電極を構成する透明導電材料に添加物を含ませるためにには、具体的には、例えば、スパッタリング装置内に、透明導電材料から構成されたターゲット(『透明導電材料ターゲット』と呼ぶ)、及び、添加物から構成されたターゲット(『添加物ターゲット』と呼ぶ)を配置する。そして、添加物ターゲットを用いたスパッタリングを行い、添加物を透明導電材料ターゲットに付着させた後、所謂プレ・スパッタリングを行うことなく、添加物が付着した状態の透明導電材料ターゲットを用いて、添加物が含まれた透明導電材料の形成のためのスパッタリングを行えばよい。但し、第1電極の形成は、このような方法に限定するものではない。

【0029】

第1電極の光入射面には補助電極が形成されていてもよい。補助電極の平面形状として格子状(井桁状)を挙げることができるし、あるいは、複数の枝補助電極が相互に平行に延び、これらの複数の枝補助電極の一端あるいは両端が相互に接続されている形状を例示することができる。補助電極は、例えば、AuGe層/Ni層/Au層、Mo層/Ti層/Pt層/Au層、Ti層/Pt層/Au層、Ni層/Au層等から構成することができ、例えば、スパッタリング法や真空蒸着法といった物理的気相成長法(PVD法)に基づき形成することができる。尚、「/」の最も先頭に記載された層が第1電極側を占める。また、第1電極の光入射面上には反射防止膜が形成されている構成とすることができます。反射防止膜を構成する材料として、最上層の化合物半導体層を構成する化合物半導体よりも屈折率が小さい材料を用いることが好ましく、具体的には、例えば、TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZnS、MgF<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、SiO<sub>2</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、ZrO<sub>2</sub>から成る層、あるいは、これらの層の積層構造を挙げることができ、例えば、スパッタリング法等のPVD法に基づき形成することができる。

【0030】

本開示の撮像装置等において、第2電極は第2化合物半導体層に接して形成されている。第2電極を構成する材料として、モリブデン(Mo)、タンゲステン(W)、タンタル(Ta)、バナジウム(V)、パラジウム(Pd)、亜鉛(Zn)、ニッケル(Ni)、チタン(Ti)、白金(Pt)、金-亜鉛(Au-Zn)、金-ゲルマニウム(AuGe)、クロム(Cr)、金(Au)、アルミニウム(Al)、Ti/WやTi/W/Cuの積層構造を例示することができる。

【0031】

本開示の撮像装置等において、各種の化合物半導体層の形成は、例えば、有機金属化学的気相成長法(MOCVD法, Metal Organic-Chemical Vapor Deposition法、MOVPE法, Metal Organic-Vapor Phase Epitaxy法)や分子線エピタキシー法(MBE法)、ハロゲンが輸送あるいは反応に寄与するハイドライド気相成長法(HVPE法)、原子層堆積法(ALD法, Atomic Layer Deposition法)、マイグレーション・エンハンスト・エピタキシー法(MEE法, Migration-Enhanced Epitaxy法)、プラズマアシsted物理的気相成長法(PPD法)等に基づき行うことができる。

【0032】

成膜用基板として、III-V族半導体から成る基板を挙げることができる。具体的に

10

20

30

40

50

は、I I I - V 族半導体から成る基板として、G a A s 基板、I n P 基板、G a N 基板、A l N 基板、G a P 基板、G a S b 基板、I n S b 基板、I n A s 基板等を挙げることができる。あるいは又、シリコン半導体基板、サファイア基板、S i C 基板、石英ガラス基板、サファイア基板等を挙げることもできる。駆動用基板をシリコン半導体基板から構成することができる。そして、駆動用基板には、受光素子を駆動するための各種回路を形成すればよい。

【 0 0 3 3 】

駆動用基板に形成された接続部を、代替的に、例えば、受光素子の第2電極との接続のためのバンプ部から構成することもできる。そして、成膜用基板上に形成された第2電極あるいはコンタクト部と、シリコン半導体基板に設けられたバンプ部とを接続する。接続には、その他、T C V (Through Contact VIA) を用いることもできる。成膜用基板の除去は、エッティング法や研磨法、C M P 法、レーザ・アブレーション法、加熱法等によって行えばよい。

【 0 0 3 4 】

受光素子の光入射側に配設された所望の波長の光を通過させるフィルタ（例えば、カラーフィルタや可視光カットフィルタ、赤外線カットフィルタ）を備えた構成とすることができるし、集光レンズ（オンチップレンズ）を備えていてもよい。即ち、反射防止膜の上に平坦化膜を形成し、更に、平坦化膜上にフィルタ、集光レンズ（オンチップレンズ）を形成してもよい。

【 0 0 3 5 】

場合によっては、第2電極を介して受光素子を支持基板に固定してもよい。この場合にも、成膜用基板上で受光素子を形成した後、受光素子を支持基板に固定し、あるいは又、貼り合わせ、次いで、受光素子から成膜用基板を除去すればよい。受光素子から成膜用基板を除去する方法として、上述した方法を挙げることができる。また、受光素子を支持基板に固定し、あるいは又、貼り合わせる方法として、接着剤を用いる方法の他、金属接合法、半導体接合法、金属・半導体接合法を挙げることができる。支持基板として、成膜用基板として例示した基板以外にも、ガラス基板、石英基板等の透明無機基板、ポリエチレンテレフタレート（P E T）やポリエチレンナフタレート（P E N）等のポリエステル樹脂；ポリカーボネート（P C）樹脂；ポリエーテルスルホン（P E S）樹脂；ポリスチレン、ポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン樹脂；ポリフェニレンサルファイド樹脂；ポリフッ化ビニリデン樹脂；テトラアセチルセルロース樹脂；プロム化フェノキシ樹脂；アラミド樹脂；ポリイミド樹脂；ポリスチレン樹脂；ポリアリレート樹脂；ポリスルフォン樹脂；アクリル樹脂；エポキシ樹脂；フッ素樹脂；シリコーン樹脂；ジアセテート樹脂；トリアセテート樹脂；ポリ塩化ビニル樹脂；環状ポリオレフィン樹脂等の透明プラスチック基板やフィルムを挙げができる。ガラス基板として、例えば、ソーダガラス基板、耐熱ガラス基板、石英ガラス基板を挙げができる。

【 0 0 3 6 】

受光素子によって、C M O S イメージセンサやC C D イメージセンサといった撮像素子が構成される。受光素子を除く撮像装置の構成、構造は、周知の撮像装置の構成、構造と同じとすることができるし、受光素子によって得られた信号の各種処理も周知の回路に基づき行うことができる。

【 0 0 3 7 】

撮像装置における受光素子ユニットは、  
( A ) 1 つの本開示における受光素子（受光素子は可視光から赤外光までの光を受光する）  
から構成されていてもよいし、  
( B ) 赤外線カットフィルタを備えた 1 つの本開示における第1受光素子（受光素子は可視光を受光する）、及び、可視光カットフィルタを備えた 1 つの本開示における受光素子（受光素子は赤外光を受光する）  
から構成されていてもよいし、

10

20

30

40

50

(C) 赤色を透過する赤色フィルタを備えた1つの本開示における赤色受光素子(受光素子は赤色を受光する)、緑色を透過する緑色フィルタを備えた1つの本開示における緑色受光素子(受光素子は緑色を受光する)、青色を透過する青色フィルタを備えた1つの本開示における青色受光素子(受光素子は青色を受光する)、及び、可視光カットフィルタを備えた1つの本開示における赤外線受光素子(受光素子は赤外光を受光する)から構成されていてもよい。

【実施例1】

【0038】

実施例1は、本開示の第1の態様に係る撮像装置及びその製造方法に関する。実施例1の撮像装置の模式的な一部端面図を図1に示す。

10

【0039】

実施例1あるいは後述する実施例2～実施例8の撮像装置において、複数の受光素子10が2次元マトリクス状に配列されており、各受光素子10は、第1電極31、光電変換層20及び第2電極32から成り、光電変換層20は、第1電極側から、第1導電型(具体的には、n型)を有する第1化合物半導体層21、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型(具体的には、p型)を有する第2化合物半導体層22が積層された積層構造を有しており、

受光素子10と受光素子10との間の領域11における第2化合物半導体層22は除去されており、

第1電極31及び第1化合物半導体層21は、受光素子の間で共通である。

20

【0040】

実施例1の撮像装置において、第1電極31の近傍における第1化合物半導体層21の不純物濃度は、第2化合物半導体層22の近傍における第1化合物半導体層21の不純物濃度よりも低い。具体的には、実施例1において、第1化合物半導体層21は、第1電極側に位置し、不純物濃度が低い第1層21A、及び、第2化合物半導体層側に位置し、不純物濃度が高い第2層21Bの2層構造を有する。ここで、第1化合物半導体層21の第1層21Aにおける不純物濃度は、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であり、第1化合物半導体層21の第2層21Bにおける不純物濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。また、第1化合物半導体層21の第2層21Bは、第1化合物半導体層21の第1層21Aよりも薄い。

30

【0041】

実施例1あるいは後述する実施例2～実施例8の撮像装置において、第1化合物半導体層21はn-InGaAs層(例えば、In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As)から成り、第2化合物半導体層22は、厚さ0.1μmのp<sup>+</sup>-InP層から成る。そして、第1化合物半導体層21と第2化合物半導体層22との間にはp-AlInAs層24が形成されており、このp-AlInAs層24は、第2化合物半導体層22が除去された受光素子10と受光素子10との間の領域(第2化合物半導体層・除去領域23)に延在している。p-AlInAs層24の延在部24Aはエッチングストップ層として機能し、受光素子10と受光素子10との間の領域において第2化合物半導体層22を除去するとき、第1化合物半導体層21における損傷の発生を確実に防止することができる。

40

【0042】

第2化合物半導体層22の上には、SiNから成り、厚さ0.05μmのパッシベーション膜25が形成されており、これによって、キャリアが再結合し難い構造となっている。カソード電極(陰極)として機能する(即ち、電子を取り出す電極として機能する)第1電極31は、厚さ0.02μmのITO、ITiO、NiO、又は、これらの材料から成る層の積層構造から成る。一方、アノード電極(陽極)として機能する(即ち、正孔を取り出す電極として機能する)第2電極32はTi/Wの積層構造から成る。第2電極32と第2化合物半導体層22との間には、厚さ0.05μmのp<sup>++</sup>-InGaAsから成るp側コンタクト層(図示せず)が形成されている。第2電極32及びパッシベーション膜25の上には、SiO<sub>2</sub>といった絶縁材料から成る絶縁層26が形成されている。また

50

、絶縁層26には、第2電極32に接続された銅(Cu)から成るコンタクト部27が形成されている。図1に示した例では、図示しない読み出し用集積回路(ROIC)及び銅(Cu)から成る接続部51が形成された駆動用基板50と、受光素子10とは、接続部51とコンタクト部27とが接するように重ね合わせ、接続部51とコンタクト部27とを接合することで、積層されている。第1電極31の光入射面には、SiO<sub>2</sub>から成る反射防止膜28が形成されている。接続部51と接続部51の間の駆動用基板50には、絶縁材料層52が形成されている。

#### 【0043】

実施例1あるいは後述する実施例2～実施例8の撮像装置において、受光素子10の配列ピッチは5μm以下である。受光素子10によって、CMOSイメージセンサやCCDイメージセンサといった撮像素子が構成される。

10

#### 【0044】

受光素子10の配列ピッチ(L<sub>1</sub>)を5μmとし、図1に示すL<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub>、L<sub>4</sub>、L<sub>5</sub>、L<sub>6</sub>の値、第1化合物半導体層21の厚さT<sub>1</sub>、第2化合物半導体層22の厚さT<sub>2</sub>を以下の表1のとおりとして、電界ポテンシャルのシミュレーションを行った。隣接する受光素子の間の距離(隣接画素間の距離)はL<sub>4</sub>=1.0μmである。第1電極31に0ボルトを印加し、第2電極32には-0.1ボルトを印加する条件とした。

#### 【0045】

表1

L <sub>1</sub> : 5.0 μm	20
L <sub>2</sub> : 3.5 μm	
L <sub>3</sub> : 1.5 μm	
L <sub>4</sub> : 1.0 μm	
L <sub>5</sub> : 2.3 μm	
L <sub>6</sub> : 0.6 μm	
T <sub>1</sub> : 3.0 μm	
T <sub>2</sub> : 0.15 μm	

#### 【0046】

検討のため、先ず、第1化合物半導体層21の不純物濃度を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、一定とした受光素子における電界ポテンシャルのシミュレーションを行った。その結果を図2Aに示すが、第2化合物半導体層22におけるポテンシャル(便宜上、『ポテンシャル-A』と呼ぶ)は-0.6ボルト、第2化合物半導体層・除去領域23における第1化合物半導体層21の露出面から0.1μm深いところの領域におけるポテンシャル(便宜上、『ポテンシャル-B』と呼ぶ)におけるポテンシャルは0.0ボルトとなり、隣接する受光素子において空乏層が繋がっているとの結果が得られた。即ち、第1化合物半導体層21の不純物濃度を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、一定とした場合、ポテンシャル-Aとポテンシャル-Bの差は0.6ボルトであり、このようなポテンシャルの差では、受光素子-Bにおいて生成したキャリア(正孔)が受光素子-Aに侵入することを防止できないことが判った。次に、第1化合物半導体層21の不純物濃度を、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、一定、及び、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、一定とした受光素子における電界ポテンシャルのシミュレーションを行った。その結果、どちらの場合も、ポテンシャル-Aは-0.6ボルト、ポテンシャル-Bは0.2ボルトとなり、即ち、ポテンシャルの差は0.8ボルトとなり、受光素子-Bにおいて生成したキャリア(正孔)が受光素子-Aに侵入することを防止できることが判った。但し、第1化合物半導体層21の不純物濃度をこのような不純物濃度としたのでは、暗電流の発生を抑制することが困難である。

30

40

#### 【0047】

それ故、第1化合物半導体層21を、以下の表2に示すように2層構成として、電界ポテンシャルのシミュレーションを行った。その結果、ポテンシャル-Aは-0.6ボルト、ポテンシャル-Bは0.2ボルトとなり、即ち、ポテンシャルの差は0.8ボルトとなり(図2B参照)、受光素子-Bにおいて生成したキャリア(正孔)の受光素子-Aへの

50

侵入を防止することができる判った。

【0048】

表2

第1化合物半導体層21	厚さ(μm)	不純物濃度
第1層21A	2.75	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
第1層21B	0.25	$1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

【0049】

次に、受光素子10の配列ピッチ( $L_1$ )を3.7μmとし、図1に示す $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$ ,  $L_6$ の値、第1化合物半導体層21の厚さ $T_1$ を以下の表3のとおりとして、電界ポテンシャルのシミュレーションを行った。隣接する受光素子の間の距離(隣接画素間の距離)は $L_4 = 1.0 \mu\text{m}$ である。第1電極31に0ボルトを印加し、第2電極32には-0.1ボルト又は-1.0ボルトを印加する条件とした。

10

【0050】

表3

$L_1 : 3.7 \mu\text{m}$

$L_2 : 2.2 \mu\text{m}$

$L_3 : 1.5 \mu\text{m}$

$L_4 : 1.0 \mu\text{m}$

$L_5 : 1.6 \mu\text{m}$

20

$L_6 : 0.3 \mu\text{m}$

$T_1 : 3.0 \mu\text{m}$

【0051】

表4、並びに、図3A、図3B、図4A、図4B、図5A及び図5Bに、電界ポテンシャルのシミュレーションを行った結果を示す。表4における「評価」が「」印のものは、ポテンシャル-Aとポテンシャル-Bの差が0.8ボルトとなり、受光素子-Bにおいて生成したキャリア(正孔)が受光素子-Aに侵入することを防止できる受光素子である。一方、「×」印のものは、ポテンシャル-Aとポテンシャル-Bの差が0.8ボルト未満となり、受光素子-Bにおいて生成したキャリア(正孔)が受光素子-Aに侵入することを防止できない受光素子である。

30

【0052】

表4

第2電極 印加電圧 (V)	第1化合物半導体層21				評価	図面		
	第1層21A		第2層21B					
	厚さ(μm)	不純物濃度	厚さ(μm)	不純物濃度				
-0.1	3.0	$5 \times 10^{14} / \text{cm}^3$	0.10	$1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$	×	図3A		
			0.15		○	図3B		
			0.25		○			
			0.005		○			
			0.01	$1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$	○			
			0.02		○			
			0.05		○			
			0.002	$1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	×			
			0.005		○			
			0.01		○			
-1.0	3.0	$5 \times 10^{14} / \text{cm}^3$	0.10	$1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$	×			
			0.15		×	図4A		
			0.25		○	図4B		
			0.005	$1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$	×			
			0.01		×			
			0.02		×	図5A		
			0.05		○	図5B		
			0.002	$1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	×			
			0.005		○			
			0.01		○			

## 【0053】

以上の結果から、第1化合物半導体層21の第1層21Aにおける不純物濃度を $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、好ましくは、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ とし、第1化合物半導体層21の第2層21Bにおける不純物濃度を $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、好ましくは、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とすることで、ポテンシャル-Aとポテンシャル-Bの差が0.8ボルトとなり、受光素子-Bにおいて生成したキャリア(正孔)が受光素子-Aに侵入することを防止できることが判った。但し、これらの不純物濃度の値(あるいは範囲)は、第1電極31と第2電極32との間に印加する逆バイアス電圧の値、第1化合物半導体層21の第2層21Bの厚さにも依存するので、第1電極31と第2電極32との間に印加する逆バイアス電圧の値、第1化合物半導体層21の第2層21Bの厚さを考慮した上で、第1化合物半導体層21の第1層21A及び第2層21Bにおける適切な不純物濃度を決定すればよい。尚、撮像装置の実際の駆動においては、通常、逆バイアス電圧の値を-0.1ボルトから-1.0ボルトの間に設定する。

## 【0054】

実施例1の撮像装置における受光素子ユニットの配置を模式的に図9A、図9B、図10に示す。尚、図9A、図9B、図10において、受光素子ユニットを実線の矩形で示し、図9B、図10において、受光素子を点線で示す。

10

20

30

40

50

## 【0055】

4×4個の受光素子を示す図9Aにおいて、実施例1の撮像装置における受光素子ユニットは、実施例1の1つの受光素子101から構成されており、受光素子101は可視光から赤外線までの光を受光する。そして、これによって、白/黒(モノクロ)の画像と、赤外光に基づく画像とが1つの画像中に示された画像を得ることができる。

## 【0056】

2×4個の受光素子ユニット(1つの受光素子ユニットは1×2個の受光素子から構成されている)を示す図9Bにおいて、実施例1の撮像装置における受光素子ユニットは、赤外線カットフィルタを備えた実施例1の1つの受光素子から構成された第1受光素子101W、及び、可視光カットフィルタを備えた実施例1の1つの受光素子から構成された第2受光素子102から構成されている。ここで、第1受光素子101Wは可視光を受光し、第2受光素子102は赤外光を受光する。そして、これによって、白/黒(モノクロ)の画像、及び、赤外光に基づく画像を、独立して、撮像することができる。

10

## 【0057】

2×2個の受光素子ユニット(1つの受光素子ユニットは2×2個の受光素子から構成されている)を示す図10において、実施例1の撮像装置における受光素子ユニットは、赤色を透過する赤色フィルタを備えた実施例1の1つの受光素子から構成された赤色受光素子101R、緑色を透過する緑色フィルタを備えた実施例1の1つの受光素子から構成された緑色受光素子101G、青色を透過する青色フィルタを備えた実施例1の1つの受光素子から構成された青色受光素子101B、及び、可視光カットフィルタを備えた実施例1の1つの受光素子から構成された赤外線受光素子102から構成されている。ここで、赤色受光素子101Rは赤色を受光し、緑色受光素子101Gは緑色を受光し、青色受光素子101Bは青色を受光し、赤外線受光素子102は赤外線を受光する。そして、これによって、カラーの画像、及び、赤外光に基づく画像を、独立して、撮像することができる。

20

## 【0058】

以下、図面を参照して、実施例1の撮像装置の製造方法を説明する。尚、受光素子を駆動するための各種回路を構成する読み出し用集積回路(ROIC)及び銅(Cu)から成る接続部51が形成された駆動用基板50を、予め、準備する。

## 【0059】

30

## [工程-100]

先ず、n<sup>+</sup>-InPから成る成膜用基板60上に、周知のMOCVD法に基づき、第1導電型(具体的には、n型)を有する第1化合物半導体層21(第1層21A及び第2層21B)、並びに、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型(具体的には、p型)を有する第2化合物半導体層22が積層された積層構造から成る光電変換層20を形成する。尚、前述したとおり、成膜用基板近傍における第1化合物半導体層21の不純物濃度(具体的には、第1層21Aの不純物濃度)は、第2化合物半導体層22の近傍における第1化合物半導体層21の不純物濃度(具体的には、第2層21Bの不純物濃度)よりも低い。尚、実施例1においては、成膜用基板60と第1化合物半導体層21との間に、n-InGaAsから成るエッチングトップ層(図示せず)を形成する。また、エッチングトップ層と第1化合物半導体層21との間に、厚さ0.3μmのn<sup>+</sup>-InPから成るバッファ層、厚さ10nmのn<sup>++</sup>-InGaAsから成るn側コンタクト層、厚さ20nmのn<sup>+</sup>-InPから成る窓層(これらは図示せず)を形成してもよい。更には、第1化合物半導体層21と第2化合物半導体層22の間に、p-AlInAs層24を形成する。

40

## 【0060】

## [工程-110]

その後、周知の方法に基づき、受光素子10を形成すべき第2化合物半導体層22の領域に、周知の方法に基づき、第2電極32を形成する(図6A参照)。尚、第2化合物半導体層22の上にp側コンタクト層を形成してもよい。次いで、フォトリソグラフィ技術

50

及びエッティング技術（例えば、ウェットエッティング技術）に基づき、受光素子10と受光素子10との間の領域11における第2化合物半導体層22を除去する（図6B参照）。エッティングストップ層として機能するp-AlInAs層24が形成されているので、この第2化合物半導体層22のエッティング時、第1化合物半導体層21に損傷が発生することは無い。こうして、第2化合物半導体層・除去領域23によって素子分離され、2次元マトリクス状に配列された複数の受光素子10を得ることができる。次いで、第2電極32が形成された領域を除き、全面にパッシベーション膜25を形成する。

## 【0061】

## [工程-120]

その後、周知のCVD法に基づき、全面にSiO<sub>2</sub>から成る絶縁層26を形成する。そして、周知のフォトリソグラフィ技術及びエッティング技術に基づき、第2電極32上方の絶縁層26に開口部27Aを形成し、例えば、メッキ法に基づき開口部27Aを導電材料（具体的には、銅）で埋め込むことで、第2電極32に接続されたコンタクト部27を得ることができる。その後、絶縁層26の上の導電材料を除去する。こうして、図7に示す構造を得ることができる。

10

## 【0062】

## [工程-130]

次に、読み出し用集積回路及び接続部51が形成された駆動用基板50と成膜用基板60とを、接続部51とコンタクト部27とが接するように重ね合わせ、接続部51とコンタクト部27とを金属接合法に基づき接合する（図8参照）。

20

## 【0063】

駆動用基板50に、受光素子の第2電極32との接続のための、In合金やSn合金から成るバンプ部を形成しておき、成膜用基板60上に形成された第2電極32あるいはコンタクト部27と、駆動用基板50に設けられたバンプ部とを接続してもよい。

## 【0064】

## [工程-140]

その後、成膜用基板60の相当の部分を研磨法に基づき除去し、更に、HCl水溶液を用いたエッティング法に基づき成膜用基板60を除去する。尚、研磨法の代わりに、CMP法、レーザ・アブレーション法、加熱法等によって成膜用基板60の相当の部分を除去してもよい。成膜用基板60と第1化合物半導体層21との間に、n-InGaAsから成るエッティングストップ層が形成されているので、エッティング法に基づき成膜用基板60を除去するとき、第1化合物半導体層21に損傷が発生することは無い。そして、露出した第1化合物半導体層21上に、周知の方法に基づき、例えば、ITO/NiOから成る第1電極31を形成し、更に、第1電極31の上に反射防止膜28を形成する。こうして、図1に示した撮像装置を得ることができる。

30

## 【0065】

尚、反射防止膜28の上に平坦化膜（図示せず）を形成し、更に、平坦化膜上にフィルタ、集光レンズ（オンチップレンズ）を形成してもよい。

## 【0066】

以上のとおり、実施例1の受光素子、あるいは、実施例1の撮像装置の製造方法によって得られる受光素子にあっては、受光素子と受光素子との間の領域において第2化合物半導体層が除去されている。しかも、第1電極近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度は、第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低い。このように第1化合物半導体層の不純物濃度に勾配が与えられているので、第1電極と第2電極との間に逆バイアス電圧を印加したとき、第2化合物半導体層・除去領域における第1化合物半導体層には、キャリア（例えば正孔）が侵入できない電位の領域が生成される結果、受光素子-Bにおいて生成したキャリア（例えば正孔）が受光素子-Aに侵入することを確実に防止することが可能となる。しかも、第1電極近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度が第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低いので、暗電流の発生を抑制することができる。更には、第2化合物半導体層・除

40

50

去領域における第1化合物半導体層にキャリア（例えば正孔）が侵入できない電位の領域を形成するが、係る領域の形成に際して光電変換層に欠陥が生じることは無い。

【0067】

また、光電変換層20の上にはベタ電極である第1電極31が形成され、光電変換層20の下に第2電極32が形成されているので、受光素子の構成、構造の簡素化が図られるだけでなく、第1電極31はベタ電極であるが故に、各受光素子の第1電極に対して個別に配線を形成する構成と比較して、第1電極31から取り出され、受光素子を駆動する回路に至るまで電子が移動する距離が、受光素子の位置に依存して異なることが無く、また、信号の取り出しが、受光素子を構成する積層構造体の厚さ方向（pn構造の縦方向の信号取出し）であるが故に、信号の精度にバラツキが生じ難い。

10

【実施例2】

【0068】

実施例2は、実施例1の変形である。模式的な一部断面図を図11に示すように、実施例2の撮像装置における受光素子10において、第2化合物半導体層・除去領域23には、アンドープのInPから成る第3化合物半導体層41が、エピタキシャル成長法に基づき形成されている。結晶欠陥が少なく、準位密度が低いアンドープの第3化合物半導体層41を形成することによって、暗電流の発生を一層抑制することが可能となる。図示したように、第3化合物半導体層41は、第2化合物半導体層22上に延在してもよい。以上の点を除き、実施例2の撮像装置の構成、構造は、実施例1の撮像装置の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。

20

【実施例3】

【0069】

実施例3は、本開示の第2の態様に係る撮像装置及びその製造方法に関する。模式的な一部断面図を図12に示すように、実施例3の撮像装置において、第2化合物半導体層22が除去された受光素子10と受光素子10との間の領域（第2化合物半導体層・除去領域23）における第1化合物半導体層21には、素子分離領域42が形成されている。素子分離領域42は高抵抗領域から成り、ボロンイオンを用いたイオン注入法に基づき形成されている。

【0070】

尚、図12に示す例では、実施例1と異なり、第1化合物半導体層21を1層としたが、図13に示すように、実施例1と同様に、第1化合物半導体層21を、第1層21A及び第2層21Bの2層構造とすることもできる。また、実施例2の第3化合物半導体層41を実施例3に適用することができる。

30

【0071】

実施例3の撮像装置の製造方法にあっては、先ず、成膜用基板60の上に、第1導電型を有する第1化合物半導体層21、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層22が積層された積層構造を有する光電変換層20を形成する。具体的には、実施例1の[工程-100]と概ね同様の工程を実行する。尚、第1化合物半導体層21の成膜にあっては、第1化合物半導体層21を1層構造としてもよいし、実施例1と同様に2層構造としてもよい。

40

【0072】

次に、受光素子を形成すべき第2化合物半導体層22の領域に第2電極32を形成し、且つ、受光素子と受光素子との間の領域11における第2化合物半導体層22を除去する。具体的には、実施例1の[工程-110]と同様の工程を実行する。

【0073】

その後、第2化合物半導体層22が除去された受光素子10と受光素子10との間の領域11における第1化合物半導体層21に、素子分離領域42をボロンイオンのイオン注入法に基づき形成する。こうして、2次元マトリクス状に配列された複数の受光素子10を得ることができる。

【0074】

50

次いで、実施例 1 の [ 工程 - 130 ] ~ [ 工程 - 140 ] と同様の工程を実行することで、図 12 あるいは図 13 に示した撮像装置を得ることができる。

#### 【 0075 】

従来の技術では、第 2 化合物半導体層及び第 1 化合物半導体層の一部に亜リイオン注入法に基づき素子分離領域を形成しなければならない。それ故、イオン注入時、高い加速電圧が必要とされ、素子分離領域近傍の第 2 化合物半導体層や第 1 化合物半導体層に多数の欠陥が発生するといった問題があった。然るに、実施例 3 の撮像装置における受光素子、あるいは、実施例 3 の撮像装置の製造方法によって得られる受光素子にあっては、第 2 化合物半導体層・除去領域における第 1 化合物半導体層に素子分離領域を形成する。即ち、第 1 化合物半導体層の一部にのみ、イオン注入法に基づき素子分離領域を形成すればよい。  
10 それ故、高い加速電圧が必要とされず、光電変換層に欠陥が生じ難い。そして、素子分離領域の形成によって、受光素子 - B において生成したキャリア（例えば正孔）が受光素子 - A に侵入することを確実に防止することが可能となる。

#### 【 実施例 4 】

#### 【 0076 】

実施例 4 は、実施例 1 ~ 実施例 3 の撮像装置の変形である。実施例 4 の撮像装置における受光素子 10A にあっては、模式的な一部断面図を図 14 に示すように、第 1 電極 31 と第 1 化合物半導体層 21 の間に、化合物半導体から成る表面再結合防止層 43 が形成されている。ここで、表面再結合防止層 43（窓層とも呼ばれる）は 30 nm 以下の厚さを有し、n 型の InP から成る。  
20

#### 【 0077 】

図 16 に、波長をパラメータとした、InGaAs の光吸収係数（図 16 では「A」で示す）、及び、Si の光吸収係数（図 16 では「B」で示す）を示す。また、参考のため、図 17 に、波長をパラメータとし、InP 基板の有り / 無しにおける InGaAs の量子効率（具体的には、図 17 の「A」は InP 基板有りを示し、図 17 の「B」は InP 基板を出来る限り薄くエッチングして除去した状態を示す）を示す。Si は、前述したとおり、約 1.1 μm 以上の波長の光を吸収することができないが、InGaAs は、可視領域から赤外領域までの光を吸収することができる。また、InP 層の厚さと InP 層に入射する光の波長と InP 層の光透過率の関係の計算結果を図 18 に示す。図 18 中、「A」は InP 層の厚さが 10 nm のときのデータであり、「B」は InP 層の厚さが 30 nm のときのデータであり、「C」は InP 層の厚さが 50 nm のときのデータであり、「D」は InP 層の厚さが 80 nm のときのデータであり、「E」は InP 層の厚さが 1 μm のときのデータであり、「F」は InP 層の厚さが 5 μm のときのデータである。図 30 18 から、薄い InP 層は可視光を充分に通過させ得るが、厚い InP 層は可視光の通過を妨げることが判る。ここで、InP から成る表面再結合防止層 43 の厚さが 30 nm を超えると、InP から成る表面再結合防止層 43 における可視光の吸収が多くなるという問題が生じる。それ故、表面再結合防止層 43 の厚さは 30 nm 以下であると規定している。

#### 【 0078 】

実施例 4 の受光素子におけるバンド構造の概念図（但し、第 1 電極 31 が形成されていない状態）を図 19A 及び図 19B に示す。尚、図 19A、図 19B、後述する図 20、図 21 において、白丸は正孔を模式的に示し、黒丸は電子を模式的に示す。ここで、図 19A は、表面再結合防止層 43 の厚さが 30 nm 以下であって、適切な厚さである場合を示し、図 19B は、表面再結合防止層 43 の厚さが薄過ぎる場合を示す。表面再結合防止層 43 の厚さが薄過ぎると、表面再結合防止層 43 と光電変換層 20 との界面近傍に存在する正孔が表面再結合する結果、正孔 - 電子対が消滅してしまう。表面再結合防止層 43 の厚さの下限値として 10 nm を例示することができる。また、第 1 電極 31 が形成されている状態におけるバンド構造の概念図を図 20 に示す。n 型半導体としての挙動を示すITOあるいはITiO、NiO から成る第 1 電極 31 が形成されているので、正孔がダブルブロック反射される結果、表面再結合が一層少なくなる。そして、第 1 電極 31 及び  
40  
50

第2電極32に逆バイアス電圧を印加することによって、受光素子10Aを動作させる。

【0079】

実施例4にあっては、表面再結合防止層43は30nm以下の厚さ、具体的には、10nmの厚さを有する。従って、InPから成る表面再結合防止層43は、可視領域から赤外領域までの光を通過させることができ、InGaAsから成る光電変換層20は、可視領域から赤外領域までの光を吸収することができ、しかも、表面再結合を抑制することができる。それ故、可視領域から赤外領域まで高い感度を有する受光素子を提供することができる。

【0080】

以上に説明したとおり、表面再結合防止層、あるいは、後述するコンタクト層は所定の厚さ以下の厚さを有するので、可視光及び赤外光は表面再結合防止層を通過することができ、可視光から赤外光に亘り高い感度を有する受光素子を備えた撮像装置を提供することができる。しかも、後述するように、コンタクト層を備えれば、コンタクト抵抗の低減を図ることができる。

【実施例5】

【0081】

実施例5は、実施例4の変形である。実施例5の撮像装置における受光素子10Bにあっては、模式的な一部断面図を図15に示すように、第1電極31と表面再結合防止層43との間に、化合物半導体から成るコンタクト層44が形成されている。そして、コンタクト層44は20nm以下の厚さを有する。具体的には、実施例5の受光素子10Bにおいて、コンタクト層44はn型のInGaAsから成り（即ち、化合物半導体はn<sup>+</sup>型化合物半導体であり）、表面再結合防止層43はn型のInPから成る。

【0082】

実施例5の受光素子におけるバンド構造の概念図を図21に示す。実施例5にあっては、厚さ10nmのコンタクト層44が形成されている。コンタクト層44にあっては、電子が飽和状態にある。従って、コンタクト層44において光は吸収されず、コンタクト層44は透明な状態にある。しかも、コンタクト層44はn型のInGaAsから成るので、コンタクト抵抗の低減を図ることができる。尚、コンタクト層44及び表面再結合防止層43のn型不純物濃度は、例えば、以下の表5のとおりである。また、実施例4と同様に、n型半導体としての挙動を示すITOあるいはITiO、NiOから成る第1電極31が形成されているので、正孔がダブルブロック反射される結果、表面再結合が一層少なくなる。ここで、InGaAsから成るコンタクト層44の厚さが20nmを超えると、コンタクト層44が光を吸収し始めるという問題が生じる。それ故、実施例5の撮像装置における受光素子にあっては、コンタクト層44の厚さは20nm以下であると規定している。尚、コンタクト層44の厚さが10nm未満であると、コンタクト抵抗の低減が困難となる。また、コンタクト層44の不純物濃度範囲として、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ を挙げることができるし、表面再結合防止層43の不純物濃度範囲として、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を挙げることができる。

【0083】

表5

コンタクト層44 :  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

表面再結合防止層43 :  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

【0084】

実施例5にあっても、表面再結合防止層43は30nm以下の厚さの厚さを有する。従って、InPから成る表面再結合防止層43は、可視領域から赤外領域までの光を通過させることができ、InGaAsから成る光電変換層20は、可視領域から赤外領域までの光を吸収することができ、しかも、表面再結合を抑制することができる。それ故、可視領域から赤外領域まで高い感度を有する受光素子を提供することができる。加えて、光を吸収しないコンタクト層44が設けられているので、コンタクト抵抗の低減を図ることができる。

10

20

30

40

50

## 【実施例 6】

## 【0085】

実施例 6 は、実施例 1 ~ 実施例 5 の変形に関する。実施例 6 の撮像装置の模式的な一部断面図を図 22 に示す。実施例 6 の受光素子 10, 10A, 10B は、実施例 1 ~ 実施例 3、実施例 4 あるいは実施例 5 において説明した受光素子 10, 10A, 10B、及び、受光素子 10, 10A, 10B の光入射側に配設された所望の波長の光を通過させるフィルタ 29B を備えている。そして、実施例 6 の受光素子にあっては、反射防止膜 28 の上に平坦化膜 29A が形成されており、更に、平坦化膜 29A 上にフィルタ 29B、集光レンズ（オンチップレンズ）29C が形成されている。

## 【実施例 7】

10

## 【0086】

実施例 7 は、実施例 4 ~ 実施例 6 の変形であり、具体的には、第 1 電極 31 の変形に関する。

## 【0087】

実施例 7 の撮像装置の模式的な一部断面図を図 23 に示すように、実施例 7 において、第 1 電極 131 は、表面再結合防止層 43 又はコンタクト層と接する第 1 面 131A、及び、第 1 面 131A と対向する第 2 面 131B を有し、透明導電材料から成る。そして、第 1 電極 131 を構成する透明導電材料には、モリブデン、タンゲステン、クロムといった 6 族の遷移金属、並びに、ルテニウム、チタン、ニッケル、亜鉛、鉄及び銅から成る群から選択された少なくとも 1 種の金属又はその化合物から成る添加物（実施例 7 において、具体的には、モリブデン、Mo）が含まれており、第 1 電極 131 の第 1 面 131A の界面近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、第 1 電極 131 の第 2 面 131B の近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度よりも高い。ここで、実施例 7 において透明導電材料を ITO とした。

20

## 【0088】

また、実施例 7 において、第 1 電極 131 は、表面再結合防止層 43 又はコンタクト層側から、第 1 層 131<sub>1</sub> 及び第 2 層 131<sub>2</sub> の積層構造を有し、第 1 電極の第 1 層 131<sub>1</sub> を構成する透明導電材料には添加物が含まれており、第 1 電極の第 2 層 131<sub>2</sub> を構成する透明導電材料には添加物が含まれていない。具体的には、第 1 電極の第 1 層 131<sub>1</sub> を構成する透明導電材料に含まれる添加物の平均濃度  $Ic_1$ 、第 1 電極の第 2 層 131<sub>2</sub> を構成する透明導電材料に含まれる添加物の平均濃度  $Ic_2$  は、以下の表 6 のとおりである。

30

また、第 1 電極の第 1 層 131<sub>1</sub> の電気抵抗率を  $R_1$ 、第 1 電極の第 1 層 131<sub>2</sub> の電気抵抗率を  $R_2$ 、波長 400 nm 乃至 900 nm における第 1 電極の第 1 層 131<sub>1</sub> の光透過率を  $TP_1$ 、第 1 電極の第 1 層 131<sub>2</sub> の光透過率を  $TP_2$ 、第 1 電極の第 1 層 131<sub>1</sub> の厚さを  $T_1$ 、第 1 電極の第 1 層 131<sub>2</sub> の厚さを  $T_2$  としたとき、これらの値は、表 6 のとおりである。更には、第 1 電極 131 の平均光透過率、第 1 電極 131 の平均電気抵抗率、第 1 電極 131 と表面再結合防止層 43 又はコンタクト層との間の接触抵抗値は、以下の表 6 のとおりである。尚、第 1 電極の平均光吸収率の値は、測定波長 400 nm 乃至 900 nm における平均値であり、ガラス基板上に第 1 電極（第 1 層 131<sub>1</sub> の厚さ 5 nm、第 1 層 131<sub>2</sub> の厚さ 25 nm）を形成して測定し、ガラス基板の光吸収率を除いた値である。

40

## 【0089】

## 表 6

$$Ic_1 = 1.1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$Ic_2 = 1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$R_1 = 2.5 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$R_2 = 1.5 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$TP_1 = 97\%$$

$$TP_2 = 99\%$$

$$T_1 = 5 \text{ nm}$$

50

$T_2 = 25 \text{ nm}$   
 $I_{C1} / I_{C2} = 6.1$   
 $R_2 / R_1 = 0.6$   
 $TP_2 \times TP_1 = 0.96$   
 $T_2 / T_1 = 5.0$

第1電極の平均光吸収率 = 0.98%

第1電極の平均電気抵抗率 =  $2 \times 10^{-4} \cdot \text{cm}$  以下

第1電極と表面再結合防止層又はコンタクト層側との間の接触抵抗値  
 $= 2.7 \times 10^{-5} \cdot \text{cm}^2$

#### 【0090】

第1電極131を、具体的には、以下の方法に基づき形成した。即ち、第1電極の第1層131<sub>1</sub>の形成にあっては、透明導電材料(ITO)から構成された透明導電材料ターゲット、及び、添加物(Mo)から構成された添加物ターゲットが配置されたスパッタリング装置を準備する。そして、先ず、添加物ターゲットを用いたスパッタリングを行い、添加物を透明導電材料ターゲットに付着させる。次いで、スパッタリング装置内に、複数の化合物半導体層が積層されて成る光電変換層20が形成された成膜用基板60を搬入し、所謂プレ・スパッタリングを行うことなく、添加物が付着した状態の透明導電材料ターゲットを用いて、第1電極の第1層131<sub>1</sub>の形成のためのスパッタリングを行う。その後、清浄な透明導電材料ターゲットを用いて、第1電極の第2層131<sub>2</sub>の形成のためのスパッタリングを行う。

10

#### 【0091】

以上の点を除き、実施例7の撮像装置、受光素子の構成、構造は、実施例4～実施例6の撮像装置、受光素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。

#### 【0092】

実施例7の受光素子にあっては、第1電極131を構成する透明導電材料には添加物としてモリブデン(Mo)が含まれており、しかも、第1電極131の第1面131Aの界面近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、第1電極131の第2面131Bの近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度よりも高いので、低い接触抵抗値と高い光透過率との両方を満足する第1電極131を提供することができる。

30

#### 【実施例8】

#### 【0093】

実施例8は実施例7の変形である。

#### 【0094】

実施例8において、第1電極を構成する透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、第1電極の第1面から第2面に向かって、漸次、低下する。このような第1電極は、具体的には、実施例7において説明したと同様に、透明導電材料(ITO)から構成された透明導電材料ターゲット、及び、添加物(Mo)から構成された添加物ターゲットが配置されたスパッタリング装置を準備する。そして、先ず、添加物ターゲットを用いたスパッタリングを行い、添加物を透明導電材料ターゲットに付着させる。次いで、スパッタリング装置内に、複数の化合物半導体層が積層されて成る光電変換層20が形成された成膜用基板を搬入し、所謂プレ・スパッタリングを行うことなく、添加物が付着した状態の透明導電材料ターゲットを用いて、第1電極の形成のためのスパッタリングを行う。その後、熱処理を行うことで、第1電極の厚さ方向における不純物であるMoの濃度勾配が生じる結果、第1電極を構成する透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、第1電極の第1面から第2面に向かって、漸次、低下する構造を得ることができる。

40

#### 【0095】

以上の点を除き、実施例8の撮像装置、受光素子の構成、構造は、実施例4～実施例6の撮像装置、受光素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。

50

## 【0096】

以上、本開示を好ましい実施例に基づき説明したが、本開示はこれらの実施例に限定するものではない。実施例における受光素子、撮像装置の構成、構造は例示であり、適宜、変更することができる。

## 【0097】

尚、本開示は、以下のような構成を取ることもできる。

## [A01] 《撮像装置：第1の態様》

複数の受光素子が2次元マトリクス状に配列されており、

各受光素子は、第1電極、光電変換層及び第2電極から成り、

光電変換層は、第1電極側から、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有しており、10

受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層は除去されており、

第1電極及び第1化合物半導体層は、受光素子間で共通であり、

第1電極近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度は、第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低い撮像装置。

[A02] 第1化合物半導体層は、第1電極側に位置し、不純物濃度が低い第1層、及び、第2化合物半導体層側に位置し、不純物濃度が高い第2層の2層構造を有する[A01]に記載の撮像装置。

[A03] 第1化合物半導体層の第1層における不純物濃度は、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であり、20

第1化合物半導体層の第2層における不純物濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である[A02]に記載の撮像装置。

[A04] 第1化合物半導体層の第2層は、第1化合物半導体層の第1層よりも薄い[A03]に記載の撮像装置。

[A05] 第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域における第1化合物半導体層には、高抵抗領域から成る素子分離領域が形成されている[A01]乃至[A04]のいずれか1項に記載の撮像装置。

[A06] 第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域には、アンドープの第3化合物半導体層が形成されている[A01]乃至[A05]のいずれか1項に記載の撮像装置。30

## [B01] 《撮像装置：第2の態様》

複数の受光素子が2次元マトリクス状に配列されており、

各受光素子は、第1電極、光電変換層及び第2電極から成り、

光電変換層は、第1電極側から、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有しており、

受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層は除去されており、

第1電極及び第1化合物半導体層は、受光素子間で共通であり、

第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域における第1化合物半導体層には、素子分離領域が形成されている撮像装置。40

[B02] 素子分離領域は高抵抗領域から成る[B01]に記載の撮像装置。

[B03] 第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域には、アンドープの第3化合物半導体層が形成されている[B01]又は[B02]に記載の撮像装置。

[C01] 第1化合物半導体層は、n-InGaAs層から成り、

第2化合物半導体層は、p-InP層から成る[A01]乃至[B03]のいずれか1項に記載の撮像装置。

[C02] 第1化合物半導体層と第2化合物半導体層との間には、p-AlInAs層が形成されており、50

p-AlInAs層は、第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域に延在している [C01] に記載の撮像装置。

[C03] 受光素子の配列ピッチは  $5 \mu\text{m}$  以下である [A01] 乃至 [C02] のいずれか1項に記載の撮像装置。

[C04] 第1電極は、ITO、ITiO又はNiOから成る [A01] 乃至 [C03] のいずれか1項に記載の撮像装置。

[C05] 透明導電材料は、ITO、IZO、AZO、GZO、AlMgZnO、IGO、IGZO、IFO、ATO、FTO、 $\text{SnO}_2$ 、ZnO、BドープのZnO、InSnZnO、NiO、又は、ITiOから成る [A01] 乃至 [C03] のいずれか1項に記載の撮像装置。 10

[C06] 第1電極の光入射面には補助電極が形成されている [A01] 乃至 [C05] のいずれか1項に記載の撮像装置。

[D01] 受光素子において、第1電極と第1化合物半導体層との間に表面再結合防止層が形成されており、

表面再結合防止層は  $30 \text{ nm}$  以下の厚さを有する [A01] 乃至 [C03] のいずれか1項に記載の撮像装置。

[D02] 表面再結合防止層は、InP、InGaAsP又はAlInAsから成る [D01] に記載の撮像装置。

[D03] 第1電極は、ITO、ITiO又はNiOから成る [D01] 又は [D02] に記載の撮像装置。 20

[D04] 第1電極は透明導電材料から成り、

透明導電材料には、モリブデン、タンゲステン、クロム、ルテニウム、チタン、ニッケル、亜鉛、鉄及び銅から成る群から選択された少なくとも1種の金属又はその化合物から成る添加物が含まれており、

第1電極の第1面の界面近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、第1電極の第2面の近傍における透明導電材料に含まれる添加物の濃度よりも高い [D01] 又は [D02] に記載の撮像装置。

[D05] 透明導電材料は、ITO、IZO、AZO、GZO、AlMgZnO、IGO、IGZO、IFO、ATO、FTO、 $\text{SnO}_2$ 、ZnO、BドープのZnO、InSnZnO、NiO、又は、ITiOから成る [D04] に記載の受光素子。 30

[D06] 第1電極は、表面再結合防止層側から、第1層及び第2層の積層構造を有し、第1電極の第1層を構成する透明導電材料には添加物が含まれており、

第1電極の第2層を構成する透明導電材料には添加物が含まれていない [D04] 又は [D05] に記載の撮像装置。

[D07] 第1電極の第1層を構成する透明導電材料に含まれる添加物の平均濃度は、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  乃至  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  である [D06] に記載の撮像装置。

[D08] 第1電極の第1層の電気抵抗率を  $R_1$ 、第1電極の第2層の電気抵抗率を  $R_2$ 、波長  $400 \text{ nm}$  乃至  $900 \text{ nm}$  における第1電極の第1層の光透過率を  $TP_1$ 、第1電極の第2層の光透過率を  $TP_2$  としたとき、

0.4  $R_2 / R_1$  1.0 40

0.8  $TP_2 \times TP_1$  1.0

を満足する [D06] 又は [D07] に記載の撮像装置。

[D09] 第1電極の平均光透過率は 95% 以上であり、

第1電極の平均電気抵抗率は  $2 \times 10^{-6} \text{ } \cdot \text{m}$  以下であり、

第1電極と表面再結合防止層との間の接触抵抗値は  $1 \times 10^{-8} \text{ } \cdot \text{m}^2$  以下である [D06] 乃至 [D08] のいずれか1項に記載の撮像装置。

[D10] 第1電極の第1層の厚さを  $T_1$ 、第1電極の第2層の厚さを  $T_2$  としたとき、

2  $T_2 / T_1$  70

を満足する [D06] 乃至 [D09] のいずれか1項に記載の撮像装置。

[D11] 3  $T_1 (\text{nm})$  60 50

10  $T_2$  (nm) 350

を満足する [D 108] に記載の撮像装置。

[D 12] 第1電極を構成する透明導電材料に含まれる添加物の濃度は、第1電極の第1面から第2面に向かって、漸次、低下する [D 04] 又は [D 05] に記載の撮像装置。

[E 01] 第1電極と表面再結合防止層との間に形成された、化合物半導体から成るコンタクト層を更に備えており、

コンタクト層は 20 nm 以下の厚さを有する [D 01] 乃至 [D 12] のいずれか 1 項に記載の撮像装置。

[E 02] コンタクト層は、InGaAs、InP 又は InGaAsP から成る [E 01] に記載の撮像装置。

[E 03] (コンタクト層を構成する化合物半導体、表面再結合防止層を構成する化合物半導体) の組合せは、(InGaAs, InP)、(InGaAs, InGaAsP)、(InGaAs, AlInAs)、(InP, InGaAsP)、(InP, AlInAs)、(InGaAsP, InP)、(InGaAsP, AlInAs)、又は、(In<sub>x</sub>GaAsP, In<sub>y</sub>GaAsP) [但し X > Y] である [E 02] に記載の撮像装置。

[F 01] 《撮像装置の製造方法：第1の態様》

成膜用基板上に、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有し、成膜用基板近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度が第2化合物半導体層近傍における第1化合物半導体層の不純物濃度よりも低い光電変換層を形成した後、

受光素子を形成すべき第2化合物半導体層の領域に第2電極を形成し、且つ、受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層を除去し、以て、2次元マトリクス状に配列された複数の受光素子を得た後、

全面に絶縁層を形成し、第2電極上方の絶縁層に開口部を形成し、開口部を導電材料で埋め込むことで第2電極に接続されたコンタクト部を設け、その後、

読み出し用集積回路及び接続部が形成された駆動用基板と成膜用基板とを、接続部とコンタクト部とが接するように重ね合わせ、接続部とコンタクト部とを接合する、各工程から成る撮像装置の製造方法。

[F 02] 《撮像装置の製造方法：第2の態様》

成膜用基板上に、第1導電型を有する第1化合物半導体層、及び、第1導電型とは逆の導電型である第2導電型を有する第2化合物半導体層が積層された積層構造を有する光電変換層を形成した後、

受光素子を形成すべき第2化合物半導体層の領域に第2電極を形成し、且つ、受光素子と受光素子との間の領域における第2化合物半導体層を除去した後、

第2化合物半導体層が除去された受光素子と受光素子との間の領域における第1化合物半導体層に、素子分離領域をイオン注入法に基づき形成し、以て、2次元マトリクス状に配列された複数の受光素子を得た後、

全面に絶縁層を形成し、第2電極上方の絶縁層に開口部を形成し、開口部を導電材料で埋め込むことで第2電極に接続されたコンタクト部を設け、その後、

読み出し用集積回路及び接続部が形成された駆動用基板と成膜用基板とを、接続部とコンタクト部とが接するように重ね合わせ、接続部とコンタクト部とを接合する、各工程から成る撮像装置の製造方法。

[F 03] コンタクト部は銅から成り、

接続部は銅から成る [F 01] 又は [F 02] に記載の撮像装置の製造方法。

[F 04] 更に、成膜用基板を除去し、露出した第1化合物半導体層上に第1電極を形成する [F 01] 乃至 [F 03] のいずれか 1 項に記載の撮像装置の製造方法。

[F 05] 成膜用基板上にエッティングストップ層を形成した後、エッティングストップ層上に光電変換層を形成する [F 01] 乃至 [F 04] のいずれか 1 項に記載の撮像装置の製造方法。

【符号の説明】

10

20

30

40

50

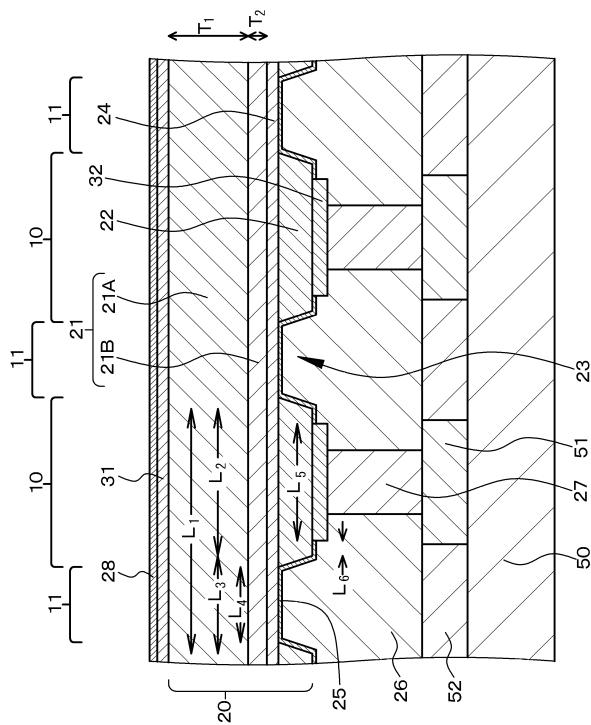
## 【0098】

10 . . . 受光素子、11 . . . 受光素子と受光素子との間の領域、20 . . . 光電変換層、21 . . . 第1化合物半導体層、21A . . . 第1化合物半導体層の第1層、21B . . . 第1化合物半導体層の第2層、22 . . . 第2化合物半導体層、23 . . . 第2化合物半導体層・除去領域、24 . . . p-AlInAs層、25 . . . パッシベーション膜、26 . . . 絶縁層、27 . . . コンタクト部、27A . . . 開口部、28 . . . 反射防止膜、29A . . . 平坦化膜、29B . . . フィルタ、29C . . . 集光レンズ(オンチップレンズ)、31 . . . 第1電極、32 . . . 第2電極、41 . . . 第3化合物半導体層、42 . . . 素子分離領域、43 . . . 表面再結合防止層、44 . . . コンタクト層、50 . . . 駆動用基板、51 . . . 接続部、52 . . . 絶縁材料層、60 . . . 成膜用基板、101, 101W, 101R, 101G, 101B, 102 . . . 受光素子

10

【図1】

図1

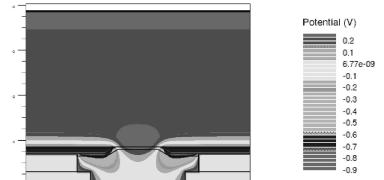


【図2】

図2A



図2B



【図3】

図3 A

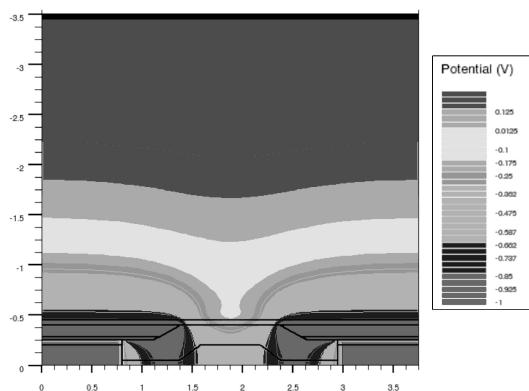
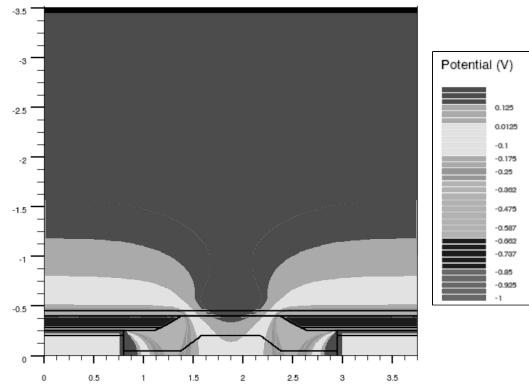


図3 B



【図4】

図4 A

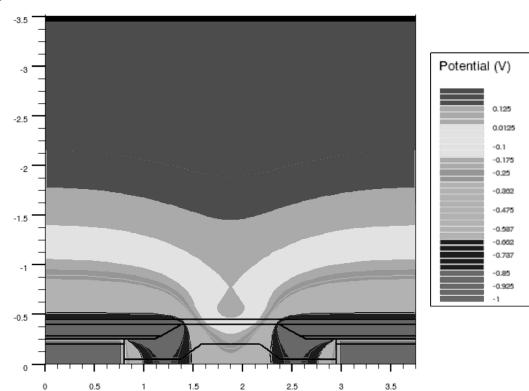
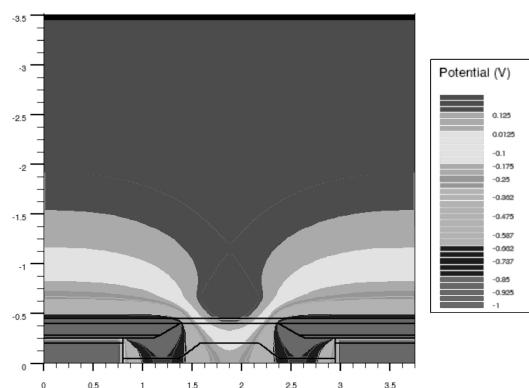


図4 B



【図5】

図5 A

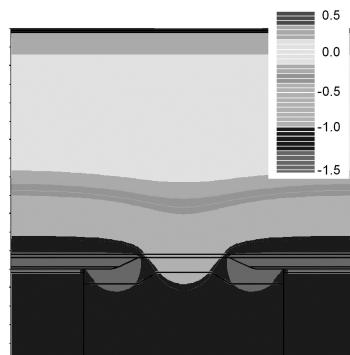
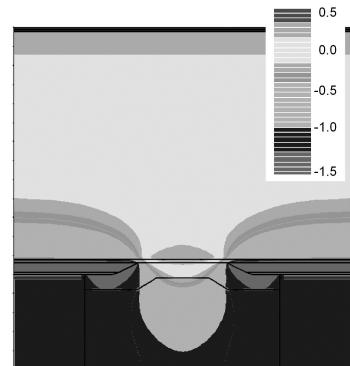


図5 B



【図6】

図6 A

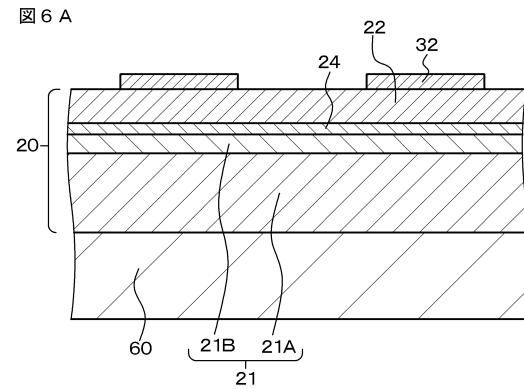
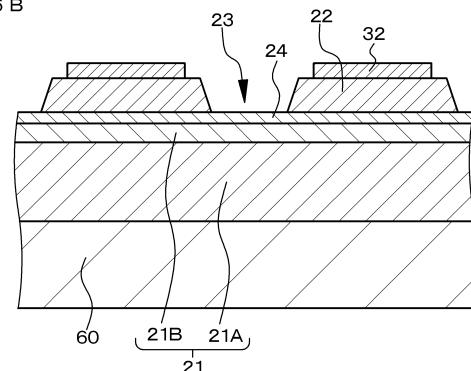
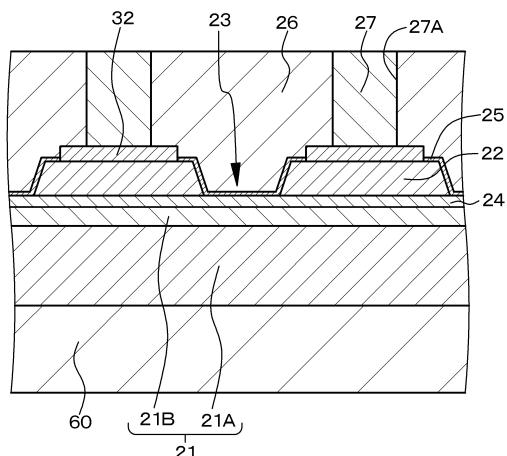


図6 B



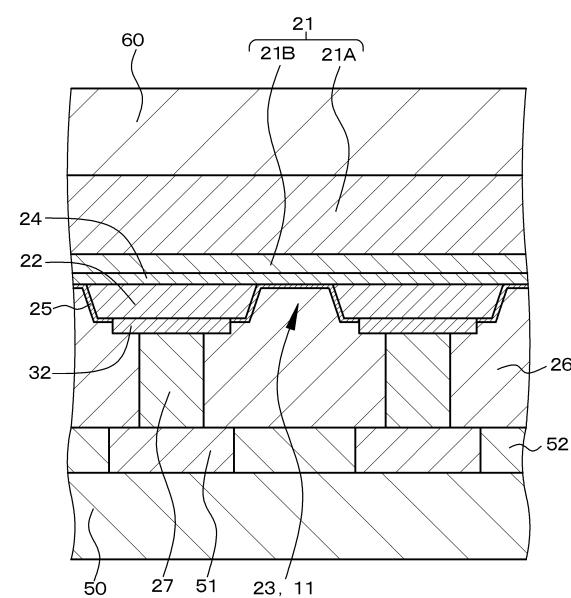
【図7】

図7



【図8】

図8



【図9】

図9 A

101	101	101	101
101	101	101	101
101	101	101	101
101	101	101	101

図9 B

101W	102	101W	102
101W	102	101W	102
101W	102	101W	102
101W	102	101W	102

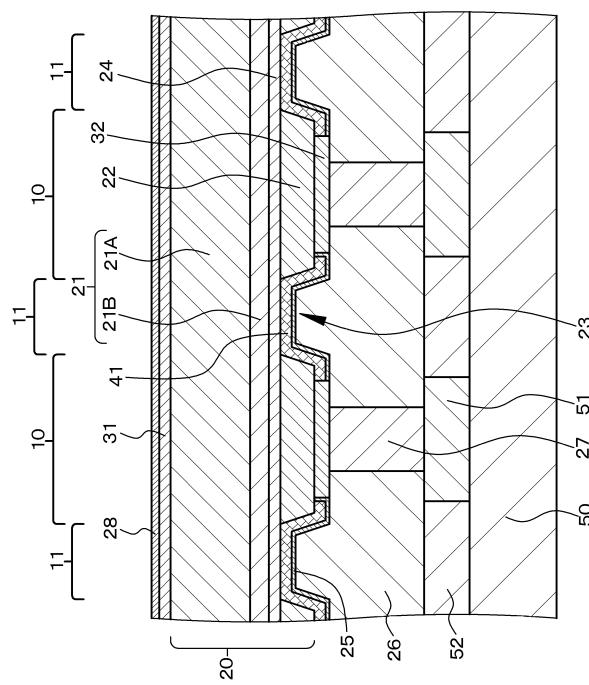
【図10】

図10

101R	101B	101R	101B
101G	102	101G	102
101R	101B	101R	101B
101G	102	101G	102

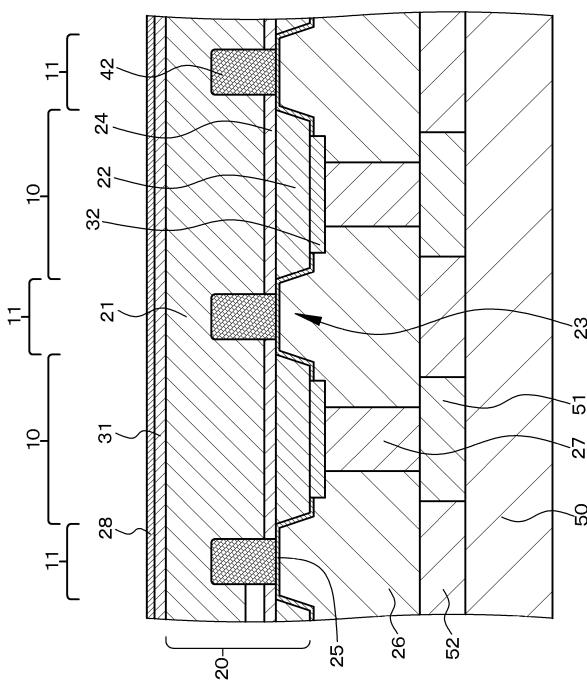
【図 1 1】

図 1 1



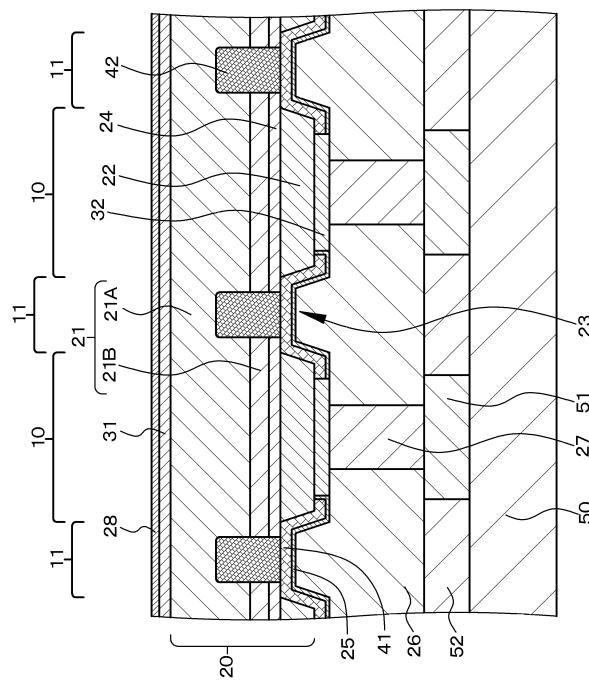
【図 1 2】

図 1 2



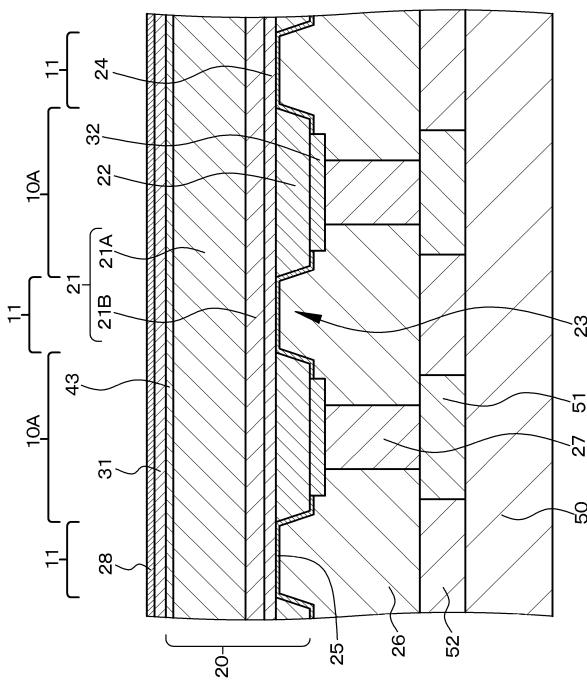
【図 1 3】

図 1 3



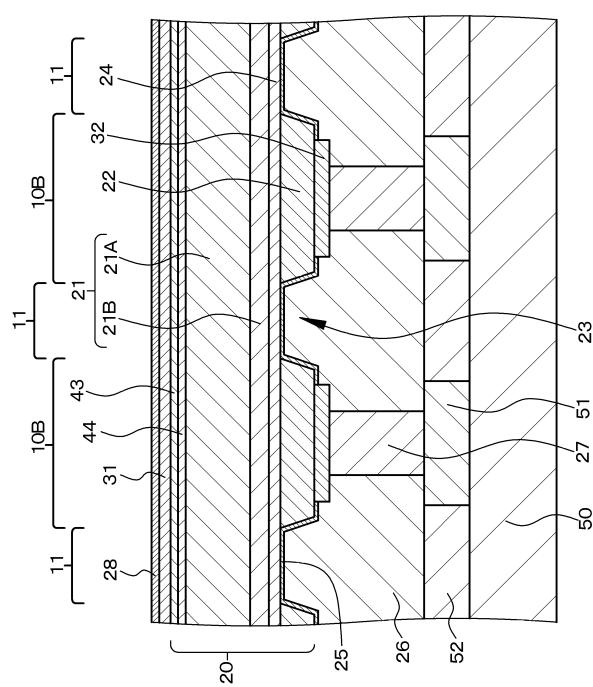
【図 1 4】

図 1 4



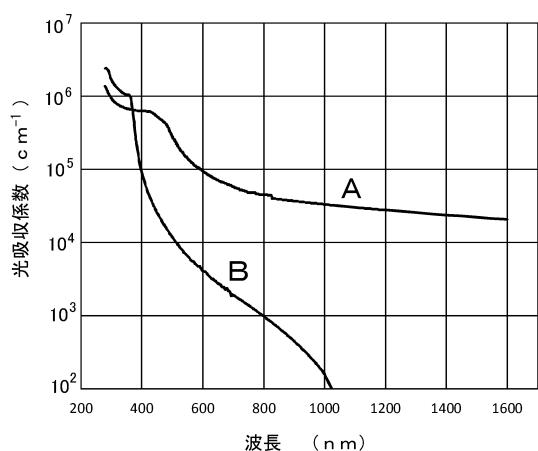
【図15】

図15



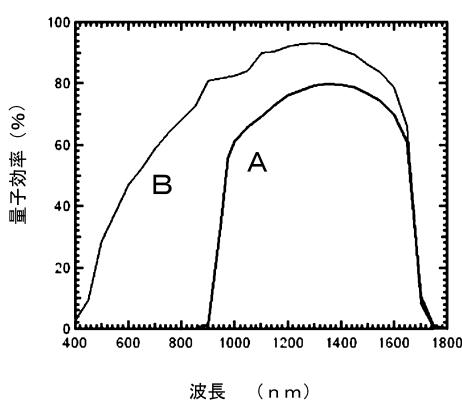
【図16】

図16



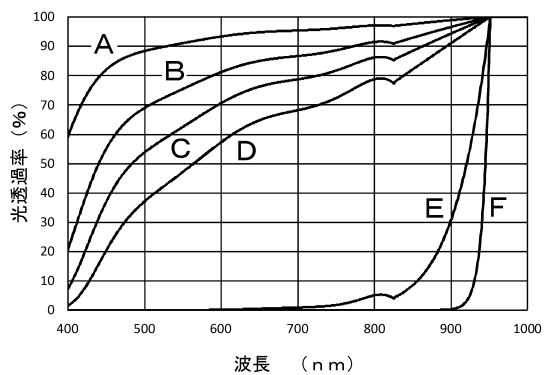
【図17】

図17



【図18】

図18

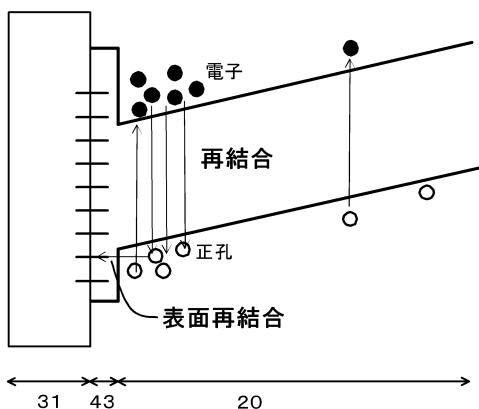


【図19】

図19A

31 43 20

図19B



【図20】

図20

31 43 20

ホールが  
ダブルブロック  
反射されて  
再結合が低減

【図21】

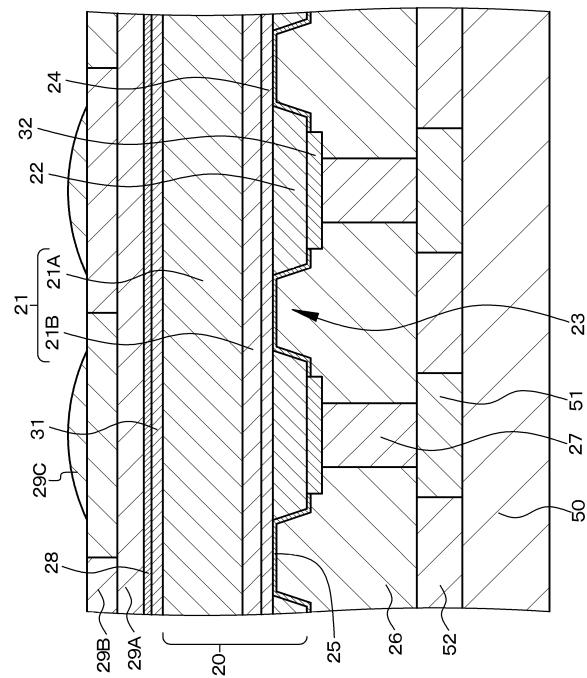
図21

31 44 43 20

ホールが  
ダブルブロック  
反射されて  
再結合が低減

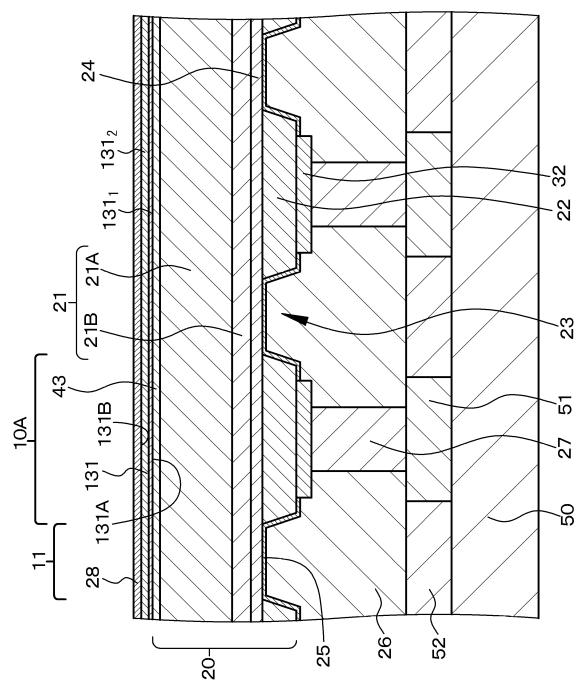
【図22】

図22



【図23】

図23



---

フロントページの続き

(72)発明者 渡邊 知雅  
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内  
(72)発明者 阿部 秀司  
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

審査官 安田 雅彦

(56)参考文献 特開2015-126122(JP, A)  
特開平02-058878(JP, A)  
特開2001-144278(JP, A)  
特開昭64-059968(JP, A)  
特開2012-216727(JP, A)  
特開2003-007840(JP, A)  
特開平06-326118(JP, A)  
特開2015-149422(JP, A)  
特開2016-213255(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 27/14-148  
H01L 27/30  
H01L 31/0248-0392  
H01L 31/08-119  
H01L 31/18-20  
H04N 5/369-378