

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6589662号
(P6589662)

(45) 発行日 令和1年10月16日(2019.10.16)

(24) 登録日 令和1年9月27日(2019.9.27)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 31/10 (2006.01) H O 1 L 31/10 A

請求項の数 11 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2016-13120 (P2016-13120)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成28年1月27日(2016.1.27)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2017-135228 (P2017-135228A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成29年8月3日(2017.8.3)	(74) 代理人	100136098
審査請求日	平成30年7月23日(2018.7.23)		弁理士 北野 修平
		(74) 代理人	100137246
			弁理士 田中 勝也
		(72) 発明者	有方 卓
			兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
		(72) 発明者	冬木 琢真
			兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体積層体および受光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

I I I - V 族化合物半導体からなり、導電型が第1導電型である第1半導体層と、
I I I - V 族化合物半導体からなる量子井戸受光層と、
I I I - V 族化合物半導体からなる第2半導体層と、
I I I - V 族化合物半導体からなる第3半導体層と、
I I I - V 族化合物半導体からなり、導電型が前記第1導電型とは異なる第2導電型である第4半導体層と、を備え、

前記第1半導体層、前記量子井戸受光層、前記第2半導体層、前記第3半導体層および前記第4半導体層は、この順に積層され、

前記第2導電型のキャリアを生成する不純物の濃度は、前記第4半導体層よりも前記第3半導体層において低く、

前記第2半導体層において多数キャリアを生成する不純物の濃度は、前記第2半導体層よりも前記第3半導体層において低く、

前記第2半導体層における多数キャリアを生成する不純物の濃度は $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記第2半導体層の厚みは 500 nm 以下である、半導体積層体。

【請求項2】

前記第3半導体層における前記第1導電型のキャリアを生成する不純物の濃度および前記第2導電型のキャリアを生成する不純物の濃度は、いずれも $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 未満

である、請求項 1 に記載の半導体積層体。

【請求項 3】

前記第 2 半導体層において多数キャリアを生成する不純物の濃度は、前記第 4 半導体層における前記第 2 導電型のキャリアを生成する不純物の濃度よりも低い、請求項 1 または 2 に記載の半導体積層体。

【請求項 4】

前記第 2 半導体層の厚みは、前記第 3 半導体層の厚みよりも小さい、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の半導体積層体。

【請求項 5】

前記第 2 半導体層において多数キャリアを生成する不純物は、Si、S、Se、Ge、Te および Sn からなる群から選択される一種以上、または Zn、Be、Mg および C からなる群から選択される一種以上である、請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の半導体積層体。

10

【請求項 6】

前記量子井戸受光層は、 $In_xGa_{1-x}As$ (x は 0.38 以上 1 以下) 層と $GaAs_{1-y}Sb_y$ (y は 0.36 以上 1 以下) 層とのペア、または $Ga_{1-u}In_uN_vAs_{1-v}$ (u は 0.4 以上 0.8 以下、 v は 0 を超え 0.2 以下) 層と $GaAs_{1-y}Sb_y$ (y は 0.36 以上 0.62 以下) 層とのペアを含む多重量子井戸構造である、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の半導体積層体。

【請求項 7】

前記第 1 半導体層から見て前記量子井戸受光層とは反対側に位置する基板をさらに含み、前記基板は、GaAs、GaP、GaSb、InP、InAs、InSb、AlSb、または AlAs からなる、請求項 6 に記載の半導体積層体。

20

【請求項 8】

前記第 2 半導体層は、前記量子井戸受光層を構成する半導体層と同一の III-V 族化合物半導体からなる、請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の半導体積層体。

【請求項 9】

前記量子井戸受光層の厚みは $1\ \mu\text{m}$ 以上である、請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の半導体積層体。

30

【請求項 10】

前記第 1 半導体層と前記量子井戸受光層との界面、前記量子井戸受光層と前記第 2 半導体層との界面、前記第 2 半導体層と前記第 3 半導体層との界面、および前記第 3 半導体層と前記第 4 半導体層との界面における、酸素の濃度、炭素の濃度および水素の濃度は、いずれも $1 \times 10^{-7}\ \text{cm}^{-3}$ 以下である、請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の半導体積層体。

【請求項 11】

請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の半導体積層体と、前記半導体積層体上に形成された電極と、を備える、受光素子。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体積層体および受光素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

III-V 族化合物半導体からなる半導体積層体は、赤外域の光に対応した受光素子の製造に用いることができる。具体的には、たとえば III-V 族化合物半導体からなる基板上に、III-V 族化合物半導体からなるバッファ層、量子井戸受光層、コンタクト層を順次積層し、さらに適切な電極を形成することにより赤外線用の受光素子を得ることができる。このような受光素子に関して、カットオフ波長が $2\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ であるフォトダ

50

イオードについての報告がある（たとえば、非特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】R. Sidhu, et al., "A Long-Wavelength Photodiode on InP Using Lattice-Matched GaInAs-GaAsSb Type-II Quantum Wells", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 17, NO. 12, DECEMBER 2005, p. 2715 - 2717

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記III-V族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子においては、感度が十分に向上しない問題が生じる場合がある。そこで、III-V族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子の感度を向上させることが可能な半導体積層体および受光素子を提供することを目的の1つとする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明に従った半導体積層体は、III-V族化合物半導体からなり、導電型が第1導電型である第1半導体層と、III-V族化合物半導体からなる量子井戸受光層と、III-V族化合物半導体からなる第2半導体層と、III-V族化合物半導体からなる第3半導体層と、III-V族化合物半導体からなり、導電型が第1導電型とは異なる第2導電型である第4半導体層と、を備える。第1半導体層、量子井戸受光層、第2半導体層、第3半導体層および第4半導体層は、この順に積層される。第2導電型のキャリアを生成する不純物の濃度は、第4半導体層よりも第3半導体層において低い。第2半導体層において多数キャリアを生成する不純物の濃度は、第2半導体層よりも第3半導体層において低い。

20

【発明の効果】

【0006】

上記半導体積層体によれば、III-V族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子の感度を向上させることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】実施の形態1における半導体積層体の構造を示す概略断面図である。

【図2】実施の形態1における受光素子の構造を示す概略断面図である。

【図3】実施の形態1における半導体積層体および受光素子の製造方法の概略を示すフローチャートである。

【図4】実施の形態1における半導体積層体および受光素子の製造方法を説明するための概略断面図である。

【図5】実施の形態1における半導体積層体および受光素子の製造方法を説明するための概略断面図である。

40

【図6】実施の形態1における半導体積層体および受光素子の製造方法を説明するための概略断面図である。

【図7】実施の形態1における半導体積層体および受光素子の製造方法を説明するための概略断面図である。

【図8】実施の形態1における半導体積層体および受光素子の製造方法を説明するための概略断面図である。

【図9】実施の形態2における受光素子およびセンサの構造を示す概略断面図である。

【図10】感度が得られなかった受光素子のキャリア濃度のプロファイルを示す図である。

50

【図11】感度が得られなかった受光素子の空乏層の広がりを示す図である。

【図12】感度が得られた受光素子のキャリア濃度のプロファイルを示す図である。

【図13】感度が得られた受光素子の空乏層の広がりを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

[本願発明の実施形態の説明]

最初に本願発明の実施態様を列記して説明する。本願の半導体積層体は、III-V族化合物半導体からなり、導電型が第1導電型である第1半導体層と、III-V族化合物半導体からなる量子井戸受光層と、III-V族化合物半導体からなる第2半導体層と、III-V族化合物半導体からなる第3半導体層と、III-V族化合物半導体からなり、導電型が第1導電型とは異なる第2導電型である第4半導体層と、を備える。第1半導体層、量子井戸受光層、第2半導体層、第3半導体層および第4半導体層は、この順に積層される。第2導電型のキャリアを生成する不純物の濃度は、第4半導体層よりも第3半導体層において低い。第2半導体層において多数キャリアを生成する不純物の濃度は、第2半導体層よりも第3半導体層において低い。

10

【0009】

本発明者らは、III-V族化合物半導体からなる量子井戸受光層を挟んでIII-V族化合物半導体からなる第1導電型の半導体層と第2導電型の半導体層とが配置される構造を含む受光素子の感度を上昇させる方策について検討した。その結果、多数キャリアを生成させるために半導体層に導入される不純物が量子井戸受光層内へと拡散し、感度を低下させていることが明らかとなった。このような不純物の拡散を抑制するためには、半導体層と量子井戸受光層との間に、半導体層よりも不純物濃度の低い低不純物濃度半導体層を配置すればよいとも考えられる。しかし、低不純物濃度半導体層と量子井戸受光層とが直接接触するような構造を採用すると、低不純物濃度半導体層と量子井戸受光層との界面にキャリアが発生し、空乏層の広がりを阻害する。その結果、受光素子の感度が低下するという問題が生じる。本発明者らの検討によれば、低不純物濃度半導体層と量子井戸受光層との間にさらに低不純物濃度半導体層よりも不純物濃度が高い中間半導体層を配置することで、半導体層から量子井戸受光層への不純物の拡散を低不純物濃度半導体層によって抑制しつつ、中間半導体層によって上記キャリアの発生を低減することができる。その結果、受光素子の感度を上昇させることができる。

20

30

【0010】

本願の半導体積層体では、半導体層である第4半導体層と量子井戸受光層との間に、低不純物濃度半導体層である第3半導体層が配置される。さらに、第3半導体層と量子井戸受光層との間に、上記中間半導体層に相当する第2半導体層が配置される。そのため、第4半導体層から量子井戸受光層への不純物の拡散を第3半導体層によって抑制しつつ、第2半導体層によって上記キャリアの発生を低減することができる。その結果、本願の半導体積層体を用いて製造される受光素子の感度が上昇する。このように、本願の半導体積層体によれば、III-V族化合物半導体からなる半導体層を含む受光素子の感度を向上させることが可能な半導体積層体を提供することができる。

【0011】

上記半導体積層体において、第3半導体層における第1導電型のキャリアを生成する不純物の濃度および第2導電型のキャリアを生成する不純物の濃度は、いずれも $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 未満であってもよい。このようにすることにより、不純物が拡散によって量子井戸受光層に到達することを、より確実に抑制することができる。

40

【0012】

上記半導体積層体において、第2半導体層において多数キャリアを生成する不純物の濃度は、第4半導体層における第2導電型のキャリアを生成する不純物の濃度よりも低くてもよい。このようにすることにより、第2半導体層内の不純物が量子井戸受光層へと拡散して感度低下の原因となることを抑制することができる。

【0013】

50

上記半導体積層体において、第2半導体層における多数キャリアを生成する不純物の濃度は $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。このようにすることにより、第2半導体層内の不純物が量子井戸受光層へと拡散して感度低下の原因となることを抑制しつつ、第3半導体層と量子井戸受光層との間の領域におけるキャリアの発生をより確実に低減することができる。

【0014】

上記半導体積層体において、第2半導体層の厚みは、第3半導体層の厚みよりも小さくてもよい。このようにすることにより、第2半導体層内の不純物が量子井戸受光層へと拡散して感度低下の原因となることを抑制することができる。

【0015】

上記半導体積層体において、第2半導体層の厚みは500nm以下であってもよい。このようにすることにより、第2半導体層内の不純物が量子井戸受光層へと拡散して感度低下の原因となることを抑制することができる。

【0016】

上記半導体積層体において、第2半導体層において多数キャリアを生成する不純物は、Si（珪素）、S（硫黄）、Se（セレン）、Ge（ゲルマニウム）、Te（テルル）およびSn（スズ）からなる群から選択される一種以上、またはZn（亜鉛）、Be（ベリリウム）、Mg（マグネシウム）およびC（炭素）からなる群から選択される一種以上であってもよい。これらの不純物は、III-V族化合物半導体からなる第2半導体層に含まれるn型不純物またはp型不純物として好適である。

【0017】

上記半導体積層体において、量子井戸受光層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ （インジウムガリウム砒素；xは0.38以上1以下）層と $\text{GaAs}_{1-y}\text{Sb}_y$ （ガリウム砒素アンチモン；yは0.36以上1以下）層とのペア、または $\text{Ga}_{1-u}\text{In}_u\text{N}_v\text{As}_{1-v}$ （ガリウムインジウム窒素砒素；uは0.4以上0.8以下、vは0を超え0.2以下）層と $\text{GaAs}_{1-y}\text{Sb}_y$ （yは0.36以上0.62以下）層とのペアを含む多重量子井戸構造であってもよい。このようにすることにより、半導体積層体を、近赤外域から中赤外域の光に対応する受光素子に適したものとすることが容易となる。

【0018】

上記半導体積層体において、第1半導体層から見て量子井戸受光層とは反対側に位置する基板をさらに含んでもよい。基板は、GaAs（ガリウム砒素）、GaP（ガリウムリン）、GaSb（ガリウムアンチモン）、InP（インジウムリン）、InAs（インジウム砒素）、InSb（インジウムアンチモン）、AlSb（アルミニウムアンチモン）、またはAlAs（アルミニウム砒素）からなってもよい。これにより、近赤外域から中赤外域の光の検知に適した上記量子井戸受光層を採用することが容易となる。

【0019】

上記半導体積層体において、第2半導体層は、量子井戸受光層を構成する半導体層と同一のIII-V族化合物半導体からなってもよい。このようにすることにより、格子定数の差に起因した量子井戸受光層における歪の発生を抑制することができる。

【0020】

上記半導体積層体において、量子井戸受光層の厚みは1μm以上であってもよい。このようにすることにより、上記半導体積層体を用いて感度に優れた受光素子を製造することが容易となる。

【0021】

上記半導体積層体において、第1半導体層と量子井戸受光層との界面、量子井戸受光層と第2半導体層との界面、第2半導体層と第3半導体層との界面、および第3半導体層と第4半導体層との界面における、酸素の濃度、炭素の濃度および水素の濃度は、いずれも $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であってもよい。これにより、半導体積層体を用いて製造される受光素子の暗電流を抑制することができる。

【0022】

10

20

30

40

50

上記半導体積層体において、第1半導体層、量子井戸受光層、第2半導体層、第3半導体層および第4半導体層が再成長界面を形成することなく積層されていてもよい。これにより、半導体積層体を用いて製造される受光素子の暗電流を抑制することができる。なお、再成長界面は、酸素、水素および炭素からなる群から選択される少なくとも一種の元素が集積した界面である。

【0023】

本願の受光素子は、上記半導体積層体と、半導体積層体上に形成された電極と、を備える。本願の受光素子は、上記本願の半導体積層体を含んでいる。そのため、本願の受光素子によれば、感度を向上させることができる。

【0024】

[本願発明の実施形態の詳細]

次に、本発明にかかる半導体積層体の実施の形態を、以下に図面を参照しつつ説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。

【0025】

(実施の形態1)

図1を参照して、実施の形態1における半導体積層体10は、基板11と、第1半導体層12と、量子井戸受光層としての量子井戸構造13と、第2半導体層14と、第3半導体層15と、第4半導体層16とを備えている。

【0026】

基板11は、III-V族化合物半導体からなっている。また、基板11の直径は50mm以上であり、たとえば3インチである。基板11を構成するIII-V族化合物半導体としては、たとえばGaAs、GaP、GaSb、InP、InAs、InSb、AlSb、AlAsなどを採用することができる。これらのIII-V族化合物半導体からなる基板11を採用することにより、赤外光用の受光素子の製造に適した半導体積層体10を得ることができる。

【0027】

具体的には、たとえば導電型がn型であるInP(n-InP)が、基板11を構成する化合物半導体として採用される。基板11に含まれるn型不純物としては、たとえばS(硫黄)などを採用することができる。基板11の直径は、半導体積層体10を用いた半導体装置(受光素子)の生産効率および歩留りの向上を目的として、80mm以上(たとえば4インチ)とすることができ、さらに100mm以上(たとえば5インチ)、さらに130mm以上(たとえば6インチ)とすることができる。

【0028】

第1半導体層12は、基板11の一方の主面11A上に接触するように配置された半導体層である。第1半導体層12は、III-V族化合物半導体からなっている。第1半導体層12を構成するIII-V族化合物半導体としては、たとえばGaSb、AlSb、InSbといった2元系、およびGaInSb(ガリウムインジウムアンチモン)、AlInSb(アルミニウムインジウムアンチモン)、AlGaSb(アルミニウムガリウムアンチモン)、InGaAsといった3元系の材料などを採用することができる。具体的には、たとえば導電型がn型であるInGaAs(n-InGaAs)が、第1半導体層12を構成する化合物半導体として採用される。第1半導体層12に含まれるn型不純物としては、たとえばSi、S、Se、Ge、Te、Snなどを採用することができる。

【0029】

量子井戸構造13は、第1半導体層12の、基板11に面する側とは反対側の第1主面12A上に接触するように配置されている。量子井戸構造13は、III-V族化合物半導体からなる2つの要素層が交互に積層された構造を有している。より具体的には、量子井戸構造13は、第1要素層131と第2要素層132とが交互に積層された構造を有している。第1要素層131を構成する材料としては、たとえば $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ (x は0.38以上1以下)を採用することができる。また、第2要素層132を構成する材

10

20

30

40

50

料としては、たとえば $GaAs_{1-y}Sb_y$ (y は 0.36 以上 1 以下) を採用することができる。なお、第 1 要素層 131 および第 2 要素層 132 を構成する材料は、上記材料に限られず、たとえば第 1 要素層 131 を構成する材料としては、 $Ga_{1-u}In_uN_vAs_{1-v}$ (u は 0.4 以上 0.8 以下、 v は 0 を超え 0.2 以下) を採用し、第 2 要素層 132 を構成する材料としては、たとえば $GaAs_{1-y}Sb_y$ (y は 0.36 以上 0.62 以下) を採用することができる。

【0030】

このように、量子井戸受光層として $In_xGa_{1-x}As$ (x は 0.38 以上 1 以下) 層と $GaAs_{1-y}Sb_y$ (y は 0.36 以上 1 以下) 層とのペア、または $Ga_{1-u}In_uN_vAs_{1-v}$ (u は 0.4 以上 0.8 以下、 v は 0 を超え 0.2 以下) 層と $GaAs_{1-y}Sb_y$ (y は 0.36 以上 0.62 以下) 層とのペアを含む多重量子井戸構造を採用することにより、近赤外域から中赤外域の光の検知に適した受光素子の製造に使用可能な半導体積層体 10 を得ることができる。第 1 要素層 131 および第 2 要素層 132 の厚みは、たとえばそれぞれ 5 nm とすることができる。そして、量子井戸構造 13 は、第 1 要素層 131 と第 2 要素層 132 とからなる単位構造が、たとえば 250 組積層されたものとしてすることができる。すなわち、量子井戸構造 13 の厚みは、たとえば 2.5 μm とすることができる。

10

【0031】

また、第 1 要素層 131 を構成する材料として $InAs$ を採用し、第 2 要素層 132 を構成する材料として $GaSb$ を採用してもよい。このように量子井戸受光層として $InAs$ 層と $GaSb$ 層とのペアを含む多重量子井戸構造を採用することにより、波長 4 ~ 12 μm の赤外線の検知に適した受光素子の製造に使用可能な半導体積層体 10 を得ることができる。

20

【0032】

なお、量子井戸構造 13 の歪を補償するために、量子井戸構造 13 を構成する単位構造を、第 1 要素層 131 および第 2 要素層 132 に歪補償層を加えたものとしてもよい。また、本実施の形態においては、量子井戸構造 13 は多重量子井戸構造であるが、これに代えて単一量子井戸構造を採用することもできる。

【0033】

図 1 を参照して、第 2 半導体層 14 は、量子井戸構造 13 の、第 1 半導体層 12 に面する側とは反対側の主面 13A 上に接触するように配置されている。第 2 半導体層 14 は、導電型が p 型である III-V 族化合物半導体からなっている。第 2 半導体層 14 は、一方の主面 14A において量子井戸構造 13 に接触し、他方の主面 14B において第 3 半導体層 15 に接触する。

30

【0034】

第 2 半導体層 14 を構成する III-V 族化合物半導体としては、量子井戸構造 13 を構成する第 1 要素層 131 または第 2 要素層 132 と同一の III-V 族化合物半導体を採用してもよい。第 2 半導体層 14 に含まれる p 型不純物としては、たとえば Zn、Be、Mg および C からなる群から選択される一種以上を採用することができる。第 2 半導体層 14 に含まれる p 型不純物の濃度は、たとえば $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることができる。第 2 半導体層 14 の厚みは、たとえば 500 nm 以下とすることができる。

40

【0035】

第 3 半導体層 15 は、第 2 半導体層 14 の、量子井戸構造 13 に面する側とは反対側の主面 14B 上に接触するように形成されている。第 3 半導体層 15 は、一方の主面 15A において第 2 半導体層 14 に接触し、他方の主面 15B において第 4 半導体層 16 に接触する。

【0036】

第 3 半導体層 15 は、III-V 族化合物半導体からなっている。第 3 半導体層 15 を構成する材料は、隣接する半導体層との格子整合性を考慮して決定することができる。具

50

体的には、第3半導体層15は、たとえばInGaAsからなるものとすることができる。第3半導体層15の厚みは、たとえば50nm以上である。第3半導体層15内のp型不純物濃度は、たとえば $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 未満以下である。

【0037】

第4半導体層16は、第3半導体層15の、第2半導体層14に面する側とは反対側の主面15B上に接触するように配置されている。第4半導体層16は、導電型がp型のIII-V族化合物半導体からなっている。

【0038】

第4半導体層16を構成するIII-V族化合物半導体としては、たとえばInP、InAs、GaSb、GaAs、InGaAsなどを採用することができる。具体的には、たとえば導電型がp型であるInGaAs(p-InGaAs)が、第4半導体層16を構成する化合物半導体として採用される。第4半導体層16に含まれるp型不純物としては、たとえばZn、Be、Mg、Cなどを採用することができる。

10

【0039】

そして、p型不純物の濃度は、第4半導体層16よりも第3半導体層15において低く、第2半導体層14よりも第3半導体層15において低い。すなわち、半導体積層体10においては、第4半導体層16と量子井戸構造13との間に、p型不純物の濃度が第4半導体層16に比べて低い第3半導体層15が配置される。さらに、第3半導体層15と量子井戸構造13との間に、第3半導体層15よりもp型不純物の濃度が高い第2半導体層14が配置される。そのため、第4半導体層16から量子井戸構造13への不純物の拡散を第3半導体層15によって抑制しつつ、第2半導体層14によって第3半導体層15と量子井戸構造13との間の領域におけるキャリアの発生を低減することができる。その結果、半導体積層体10を用いて製造される受光素子の感度が上昇する。

20

【0040】

半導体積層体10において、p型不純物の濃度は、第4半導体層16よりも第2半導体層14において低いことが好ましい。これにより、第2半導体層14内のp型不純物が量子井戸構造13へと拡散して感度低下の原因となることを抑制することができる。

【0041】

また、半導体積層体10において、第2半導体層14の厚みは、第3半導体層15の厚みよりも小さいことが好ましい。このようにすることにより、第2半導体層14内のp型不純物が量子井戸構造13へと拡散して感度低下の原因となることを抑制することができる。

30

【0042】

さらに、半導体積層体10において、量子井戸構造13の厚みは $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。これにより、半導体積層体10を用いて感度に優れた受光素子を製造することが容易となる。

【0043】

また、半導体積層体10において、第1半導体層12と量子井戸構造13との界面、量子井戸構造13と第2半導体層14との界面、第2半導体層14と第3半導体層15との界面、および第3半導体層15と第4半導体層16との界面における、酸素の濃度、炭素の濃度および水素の濃度は、いずれも $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。これにより、半導体積層体10を用いて製造される受光素子の暗電流を抑制することができる。

40

【0044】

半導体積層体10において、第1半導体層12、量子井戸構造13、第2半導体層14、第3半導体層15および第4半導体層16が再成長界面を形成することなく積層されていることが好ましい。これにより、半導体積層体10を用いて製造される受光素子の暗電流を抑制することができる。

【0045】

なお、上記実施の形態においては、基板11および第1半導体層12の導電型がn型で

50

あり、第2半導体層14および第4半導体層16の導電型がp型である場合について説明したが、基板11および第1半導体層12の導電型がp型であり、第2半導体層14および第4半導体層16の導電型がn型であってもよい。この場合、第2半導体層14に含まれるn型不純物としては、たとえばSi、S、Se、Ge、TeおよびSnからなる群から選択される一種以上を採用することができる。第2半導体層14に含まれるn型不純物の濃度は、たとえば $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることができる。また、上記実施の形態においては、第2半導体層14の導電型と第1半導体層12の導電型とが異なる場合について説明したが、第2半導体層14の導電型と第1半導体層12の導電型とは同じであってもよい。

【0046】

次に、上記半導体積層体10を用いて作製される受光素子の一例である赤外線受光素子（フォトダイオード）について説明する。図2を参照して、本実施の形態における赤外線受光素子1は、上記本実施の形態の半導体積層体10を用いて作製されたものであって、半導体積層体10と同様に積層された基板11と、第1半導体層12と、量子井戸構造13と、第2半導体層14と、第3半導体層15と、第4半導体層16とを備えている。そして、赤外線受光素子1には、第4半導体層16、第3半導体層15、第2半導体層14および量子井戸構造13を貫通し、第1半導体層12に到達するトレンチ99が形成されている。すなわち、トレンチ99の側壁99Aにおいて、第4半導体層16、第3半導体層15、第2半導体層14および量子井戸構造13が露出している。また、トレンチ99の底壁99Bは、第1半導体層12内に位置している。つまり、トレンチ99の底壁99Bにおいて第1半導体層12が露出している。

【0047】

さらに、赤外線受光素子1は、パッシベーション膜80と、n側電極91と、p側電極92とを備えている。パッシベーション膜80はトレンチ99の底壁99B、トレンチ99の側壁99Aおよび第4半導体層16において第3半導体層15に面する側とは反対側の主面16Bを覆うように配置されている。パッシベーション膜80は、窒化珪素、酸化珪素などの絶縁体からなっている。

【0048】

トレンチ99の底壁99Bを覆うパッシベーション膜80には、パッシベーション膜80を厚み方向に貫通するように開口部81が形成されている。そして、開口部81を充填するようにn側電極91が配置されている。n側電極91は、開口部81から露出する第1半導体層12に接触するように配置されている。n側電極91は金属などの導電体からなっている。より具体的には、n側電極91は、たとえばTi（チタン）/Pt（白金）/Au（金）からなるものとしてすることができる。n側電極91は、第1半導体層12に対してオーミック接触している。

【0049】

第4半導体層16の主面16Bを覆うパッシベーション膜80には、パッシベーション膜80を厚み方向に貫通するように開口部82が形成されている。そして、開口部82を充填するようにp側電極92が配置されている。p側電極92は、開口部82から露出する第4半導体層16に接触するように配置されている。p側電極92は金属などの導電体からなっている。より具体的には、p側電極92は、たとえばTi/Pt/Auからなるものとしてすることができる。p側電極92は、第4半導体層16に対してオーミック接触している。

【0050】

この赤外線受光素子1に赤外線が入射すると、量子井戸構造13内の量子準位間で赤外線が吸収され、電子と正孔とのペアが生成する。そして、生成した電子と正孔とが光電流信号として赤外線受光素子1から取り出されることにより、赤外線が検出される。

【0051】

なお、上記p側電極92は画素電極である。そして、上記赤外線受光素子1は、図2に示すように画素電極であるp側電極92が1つだけ含まれるものであってもよいし、複数

10

20

30

40

50

の画素電極（p側電極92）を含むものであってもよい。具体的には、赤外線受光素子1は、図2に示す構造を単位構造とし、当該単位構造が、図2において基板11の一方の主面11Aが延在する方向に複数繰り返される構造を有していてもよい。この場合、赤外線受光素子1は、画素に対応する複数のp側電極92を有する一方で、n側電極91については1つだけ配置される。このような構造については、後述の実施の形態2において説明する。

【0052】

本実施の形態の赤外線受光素子1は、上記本実施の形態の半導体積層体10を含んでいる。そのため、赤外線受光素子1は、感度に優れた受光素子となっている。

【0053】

次に、図3～図8を参照して、本実施の形態における半導体積層体10および赤外線受光素子1の製造方法の概要について説明する。

【0054】

図3を参照して、本実施の形態における半導体積層体10および赤外線受光素子1の製造方法では、まず工程（S10）として基板準備工程が実施される。この工程（S10）では、図4を参照して、たとえば直径2インチ（50.8mm）のInPからなる基板11が準備される。より具体的には、InPからなるインゴットをスライスすることにより、InPからなる基板11が得られる。この基板11の表面が研磨された後、洗浄等のプロセスを経て主面11Aの平坦性および清浄性が確保された基板11が準備される。

【0055】

次に、工程（S20）として動作層形成工程が実施される。この工程（S20）では、工程（S10）において準備された基板11の主面11A上に、動作層である第1半導体層12、量子井戸構造13、第2半導体層14、第3半導体層15および第4半導体層16が形成される。この動作層の形成は、たとえば有機金属気相成長により実施することができる。有機金属気相成長による動作層の形成は、たとえば基板加熱用のヒータを備えた回転テーブル上に基板11を載置し、基板11をヒータにより加熱しつつ基板上に原料ガスを供給することにより実施することができる。

【0056】

工程（S20）においては、図4を参照して、まず基板11の主面11A上に接触するように、たとえばIII-V族化合物半導体であるn-InGaAsからなる第1半導体層12が有機金属気相成長により形成される。n-InGaAsからなる第1半導体層12の形成では、Inの原料としてたとえばTMIn（トリメチルインジウム）、TEIn（トリエチルインジウム）などを用いることができ、Gaの原料としてたとえばTEGa（トリエチルガリウム）、TMGa（トリメチルガリウム）などを用いることができ、Asの原料としてたとえばTBAs（ターシャリーブチルアルシン）、TMAAs（トリメチル砒素）などを用いることができる。

【0057】

次に、図4および図5を参照して、第1半導体層12の、基板11に面する側とは反対側の第1主面12A上に接触するように、たとえばIII-V族化合物半導体である $In_xGa_{1-x}As$ （xは0.38以上1以下）からなる第1要素層131と、III-V族化合物半導体である $GaAs_{1-y}Sb_y$ （yは0.36以上1以下）からなる第2要素層132とが交互に積層して形成されることにより、量子井戸構造13が形成される。量子井戸構造13の形成は、上記第1半導体層12の形成に引き続いて有機金属気相成長により実施することができる。すなわち、量子井戸構造13の形成は、第1半導体層12の形成の際に用いた装置内に基板11を配置した状態で、原料ガスを変更することにより実施することができる。量子井戸構造13は、厚みが1 μ m以上となるように形成される。

【0058】

$In_xGa_{1-x}As$ （xは0.38以上1以下）からなる第1要素層131の形成では、Inの原料としてたとえばTMIn、TEInなどを用いることができ、Gaの原料

10

20

30

40

50

としてたとえばTEGa、TMGaなどを用いることができ、Asの原料としてたとえばTBAs、TMAsなどを用いることができる。GaAs_{1-y}Sb_y（yは0.36以上1以下）からなる第2要素層132の形成では、Gaの原料としてたとえばTEGa、TMGaなどを用いることができ、Asの原料としてたとえばTBAs、TMAsなどを用いることができ、Sbの原料としてたとえばTMSb（トリメチルアンチモン）、TESb（トリエチルアンチモン）、TIPsb（トリイソプロピルアンチモン）、TDMASb（トリジメチルアミノアンチモン）、TTBSb（トリターシャリーブチルアンチモン）などを用いることができる。これにより、タイプII量子井戸である量子井戸構造13を形成することができる。

【0059】

10

次に、図5および図6を参照して、量子井戸構造13の、第1半導体層12に面する側とは反対側の主面13A上に接触するように、たとえば導電型がp型のIII-V族化合物半導体であるIn_xGa_{1-x}As（xは0.38以上1以下）またはGaAs_{1-y}Sb_y（yは0.36以上1以下）からなる第2半導体層14が形成される。第2半導体層14の形成は、上記量子井戸構造13の形成に引き続いて有機金属気相成長により実施することができる。第2半導体層14の形成は、上記第1要素層131または第2要素層132と同様の手順において、p型不純物を添加するための原料ガスをさらに導入することで実施することができる。

【0060】

20

次に、図6を参照して、第2半導体層14の、量子井戸構造13に面する側とは反対側の主面14B上に接触するように、たとえばIII-V族化合物半導体であるInGaAsからなる第3半導体層15が形成される。第3半導体層15の形成は、上記第2半導体層14の形成に引き続いて有機金属気相成長により実施することができる。第3半導体層15の形成は、上記第1半導体層12と同様の手順において、n型不純物を添加するための原料ガスの導入を省略することで実施することができる。すなわち、第3半導体層15は、アンドープのInGaAsからなる半導体層とすることができる。

【0061】

次に、図6および図1を参照して、第3半導体層15の、第2半導体層14に面する側とは反対側の主面15B上に接触するように、たとえば導電型がp型のIII-V族化合物半導体であるp-InGaAsからなる第4半導体層16が形成される。第4半導体層16の形成は、上記第3半導体層15の形成に引き続いて有機金属気相成長により実施することができる。

30

【0062】

以上の手順により、本実施の形態における半導体積層体10が完成する。上述のように、工程(S20)を有機金属気相成長により実施することにより、半導体積層体10の生産効率を向上させることができる。なお、工程(S20)は有機金属原料のみを用いた有機金属気相成長法（全有機金属気相成長法）に限られず、たとえばAsの原料にAsH₃（アルシン）、Siの原料にSiH₄（シラン）などの水素化物を用いた有機金属気相成長法で実施してもよいが、全有機金属気相成長法を採用することにより、高品質な結晶からなる半導体積層体10を得ることができる。また、有機金属気相成長以外の方法により半導体積層体10を製造することも可能であって、たとえばMBE（Molecular Beam Epitaxy）法を用いてもよい。

40

【0063】

また、工程(S20)は、上述のように、装置内に基板11を配置した状態で、原料ガスを変更することにより連続的に実施されることが好ましい。すなわち、工程(S20)は、第1半導体層12、量子井戸構造13、第2半導体層14、第3半導体層15および第4半導体層16が再成長界面を形成することなく積層されるように実施されることが好ましい。これにより、暗電流を抑制することができる。

【0064】

次に、図3を参照して、工程(S30)としてトレンチ形成工程が実施される。この工

50

程 (S 3 0) では、図 1 および図 7 を参照して、上記工程 (S 1 0) ~ (S 2 0) において作製された半導体積層体 1 0 に、第 4 半導体層 1 6、第 3 半導体層 1 5、第 2 半導体層 1 4 および量子井戸構造 1 3 を貫通し、第 1 半導体層 1 2 に到達するトレンチ 9 9 が形成される。トレンチ 9 9 は、たとえば第 4 半導体層 1 6 の主面 1 6 B 上にトレンチ 9 9 の形状に対応する開口を有するマスク層を形成した上で、エッチングを実施することにより形成することができる。

【 0 0 6 5 】

次に、工程 (S 4 0) としてパッシベーション膜形成工程が実施される。この工程 (S 4 0) では、図 7 および図 8 を参照して、工程 (S 3 0) においてトレンチ 9 9 が形成された半導体積層体 1 0 に対し、パッシベーション膜 8 0 が形成される。具体的には、たとえば CVD (Chemical Vapor Deposition) により酸化珪素、窒化珪素などの絶縁体からなるパッシベーション膜 8 0 が形成される。パッシベーション膜 8 0 は、トレンチ 9 9 の底壁 9 9 B、トレンチ 9 9 の側壁 9 9 A および第 4 半導体層 1 6 において第 3 半導体層 1 5 に面する側とは反対側の主面 1 6 B を覆うように形成される。

10

【 0 0 6 6 】

次に、工程 (S 5 0) として電極形成工程が実施される。この工程 (S 5 0) では、図 8 および図 2 を参照して、工程 (S 4 0) においてパッシベーション膜 8 0 が形成された半導体積層体 1 0 に、n 側電極 9 1 および p 側電極 9 2 が形成される。具体的には、たとえば n 側電極 9 1 および p 側電極 9 2 を形成すべき領域に対応する位置に開口を有するマスクをパッシベーション膜 8 0 上に形成し、当該マスクを用いてパッシベーション膜 8 0 に開口部 8 1、8 2 を形成する。その後、たとえば蒸着法により適切な導電体からなる n 側電極 9 1 および p 側電極 9 2 を形成する。以上の工程により、本実施の形態における赤外線受光素子 1 が完成する。その後、たとえばダイシングにより各素子に分離される。

20

【 0 0 6 7 】

(実施の形態 2)

次に、本発明にかかる受光素子の他の実施の形態である実施の形態 2 における受光素子およびセンサについて説明する。図 9 および図 2 を参照して、実施の形態 2 の赤外線受光素子 1 は、図 2 に示す構造を単位構造とし、当該単位構造が、基板 1 1 の一方の主面 1 1 A が延在する方向に複数繰り返される構造を有している。そして、赤外線受光素子 1 は、画素に対応する複数の p 側電極 9 2 を有する。一方、n 側電極 9 1 は 1 つだけ配置される。

30

【 0 0 6 8 】

より具体的には、図 9 を参照して、実施の形態 2 の赤外線受光素子 1 の n 側電極 9 1 は、基板 1 1 が延在する方向における末端に位置するトレンチ 9 9 の底壁に形成されている。また、当該末端に位置するトレンチ 9 9 に隣接する第 4 半導体層 1 6 上の p 側電極 9 2 は省略される。本実施の形態における赤外線センサ 1 0 0 は、このような構造を有する赤外線受光素子 1 と、赤外線受光素子 1 に電氣的に接続された読み出し回路 (Read - Out Integrated Circuit ; ROIC) 7 0 とを含んでいる。読み出し回路 7 0 は、たとえば CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 回路である。

40

【 0 0 6 9 】

読み出し回路 7 0 の本体 7 1 に設けられた複数の読み出し電極 (図示しない) と赤外線受光素子 1 において画素電極として機能する複数の p 側電極 9 2 とが、一対一の関係となるようにバンプ 7 3 を介して電氣的に接続されている。また、赤外線受光素子 1 には、n 側電極 9 1 に接触し、n 側電極 9 1 が位置するトレンチ 9 9 の底壁および側壁に沿って延在するとともに、第 4 半導体層 1 6 上にまで到達する配線 7 5 が形成される。そして、配線 7 5 と読み出し回路 7 0 の本体 7 1 に設けられた接地電極 (図示しない) とがバンプ 7 2 を介して電氣的に接続されている。このような構造を有することにより、赤外線受光素子 1 の画素ごとの受光情報が各 p 側電極 9 2 (画素電極) から読み出し回路 7 0 の読み出

50

し電極へと出力され、当該受光情報が読み出し回路70において集約されて、たとえば二次元の画像を得ることができる。

【実施例】

【0070】

第2半導体層の不純物濃度および厚みと感度との関係を調査する実験を行った。実験の手順は以下の通りである。

【0071】

上記実施の形態1と同様の構造を有する赤外線受光素子1を作製した。基板11を構成する化合物半導体はn-InP(不純物はS)とした。第1半導体層12を構成する化合物半導体には、n型不純物として $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSiを導入したn-InGaAsを採用した。第1半導体層12の厚みは150nmとした。量子井戸構造13の第1要素層131を構成する化合物半導体はGaAsSb、第2要素層132を構成する化合物半導体はInGaAsとした。第1要素層131および第2要素層132の厚みは、それぞれ5nmとした。量子井戸構造13は、第1要素層131と第2要素層132とからなる単位構造が250組積層されたものとした。

【0072】

第2半導体層14を構成する化合物半導体には、p型不純物としてZnを導入したp-InGaAsを採用した。第3半導体層15を構成する化合物半導体には、アンドープのInGaAsを採用した。第3半導体層15の厚みは600nmとした。第4半導体層16を構成する化合物半導体には、p型不純物として $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のZnを導入したp-InGaAsを採用した。第4半導体層16の厚みは100nmとした。そして、第2半導体層14に導入するZnの濃度および第2半導体層14の厚みの異なる赤外線受光素子1を作製し、感度を調査する実験を行った。

【0073】

各層の不純物濃度は、二重収束セクター磁場型SIMS(Secondary Ion Mass Spectrometer)を用いて確認した。SIMSによる分析のためのスパッタリングには、セシウムイオン(Cs^+)を用いた。セシウムイオンの加速電圧は5keVとした。ビーム径は20 μm 以下とした。ラスター領域は、一辺150 μm の正方形領域とした。分析領域は、直径60 μm の円形領域とした。測定時の真空度は $1 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ とした。感度は、逆バイアスが2V、測定温度が-50、の条件の下、基板11側から波長2.2 μm の光を入射させて測定した。測定結果を表1に示す。

【0074】

【表1】

		不純物濃度(cm^{-3})			
		5×10^{14}	1×10^{16}	5×10^{17}	5×10^{18}
厚み (nm)	50	0.4A/W	1.2A/W	1.2A/W	0.5A/W
	150	1.2A/W	1.2A/W	0.7A/W	0A/W
	300	1.2A/W	0.8A/W	0.4A/W	0A/W
	500	0.6A/W	0A/W	0A/W	0A/W

表1を参照して、第2半導体層14の厚みが50nmの場合、実験した不純物濃度が $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のすべての範囲で感度が得られている。また

、不純物濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で、特に良好な感度が得られている。第2半導体層14の厚みが 150 nm の場合、不純物濃度が $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で感度が得られている。また、不純物濃度が $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で、特に良好な感度が得られている。第2半導体層14の厚みが 300 nm の場合、不純物濃度が $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で感度が得られている。また、不純物濃度が $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ の場合に、特に良好な感度が得られている。第2半導体層14の厚みが 500 nm の場合、不純物濃度が $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ の場合に感度が得られている。

【0075】

以上の実験結果から、第2半導体層14における不純物濃度が高い場合、具体的には $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超える場合、十分な感度を得ることが難しいことが分かる。これは、第2半導体層14に導入された不純物に起因してキャリアが発生するためであると考えられる。一方、第2半導体層14における不純物濃度が低い場合、具体的には $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 未満の場合も、十分な感度を得ることが難しいことが分かる。これは、不純物濃度が低い第2半導体層14が量子井戸構造13に接触することによって界面にキャリアが蓄積するためであると考えられる。さらに、第2半導体層14の厚みが大きい場合、具体的には厚みが 500 nm を超える場合、十分な感度を得ることが難しいことが分かる。これは、第2半導体層14に導入された不純物に起因してキャリアが発生するためであると考えられる。

【0076】

上記実験結果が得られた原因を確認するため、上記実験において感度が得られた赤外線受光素子と感度が得られなかった赤外線受光素子とについて、第2半導体層14付近の厚み方向のキャリア濃度の分布を確認した。また、当該赤外線受光素子について、動作時の逆バイアス値と空乏層の広がりとの関係を確認した。

【0077】

図10および図11は、感度が得られなかった赤外線受光素子に対応する。図12および図13は、感度が得られた赤外線受光素子に対応する。図10および図12において、横軸は厚み方向の位置に対応する。図10および図12において、縦軸はキャリア濃度を示す。図11および図13において、横軸は感度測定時の逆バイアス値を示す。図11および図13において、縦軸から離れるに従って、逆バイアス値が大きい。図11および図13において、縦軸は、厚み方向の位置を表している。図11および図13における曲線は、第3半導体層側からの空乏層がどの位置まで広がっているかを示している。

【0078】

図10を参照して、感度が得られなかった赤外線受光素子においては、第2半導体層付近に、キャリア濃度が高い領域が形成されていることが分かる。そして、図11を参照して、このキャリア濃度が高い領域が形成されたことに起因して、逆バイアス値が小さい場合に空乏層が量子井戸受光層にまで到達していないことが分かる。これが、感度が得られなかった原因であると考えられる。

【0079】

一方、図12を参照して、感度が得られた赤外線受光素子においては、第2半導体層付近に、キャリア濃度が高い領域が形成されていないことが分かる。そして、図13を参照して、キャリア濃度が高い領域が形成されないことにより、逆バイアス値が小さい場合でも空乏層が量子井戸受光層にまで到達している。

【0080】

以上の実験結果から、第2半導体層14の厚みは 500 nm 以下とすることが好ましく、第2半導体層の不純物の濃度は $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることが好ましいことが確認される。

【0081】

今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって、どのような面からも制限的なものではないと理解されるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではな

10

20

30

40

50

く、特許請求の範囲によって規定され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【産業上の利用可能性】

【0082】

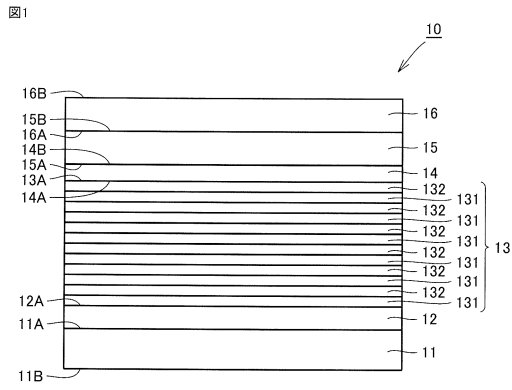
本願の半導体積層体および受光素子は、感度の向上が求められる受光素子および当該受光素子の製造に用いられる半導体積層体に、特に有利に適用され得る。

【符号の説明】

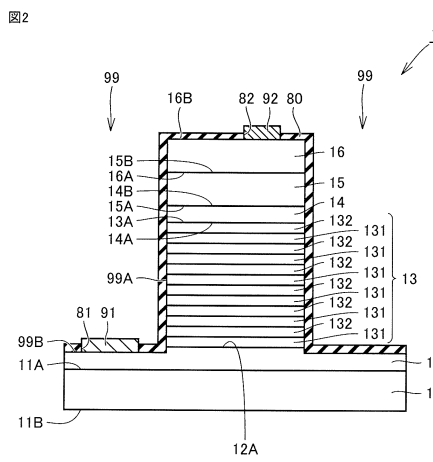
【0083】

1	赤外線受光素子	
10	半導体積層体	10
11	基板	
11A	主面	
12	第1半導体層	
12A	第1主面	
13	量子井戸構造	
131	第1要素層	
132	第2要素層	
13A	主面	
14	第2半導体層	
14A	主面	20
14B	主面	
15	第3半導体層	
15A	主面	
15B	主面	
16	第4半導体層	
16B	主面	
70	読み出し回路	
71	本体	
72, 73	バンプ	
75	配線	30
80	パッシベーション膜	
81, 82	開口部	
91	n側電極	
92	p側電極	
99	トレンチ	
99A	側壁	
99B	底壁	
100	赤外線センサ	

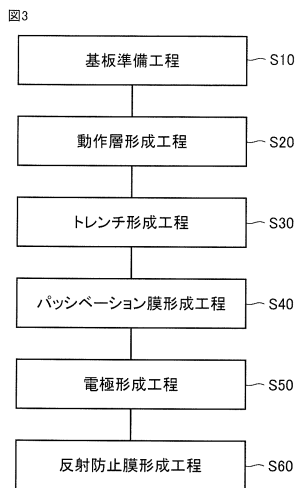
【図1】



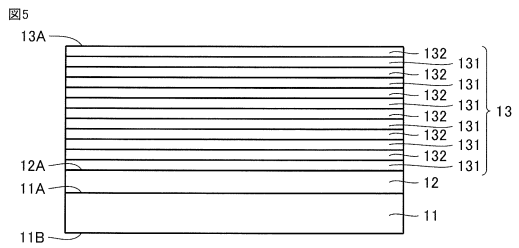
【図2】



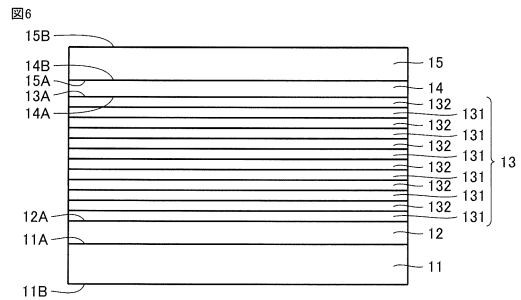
【図3】



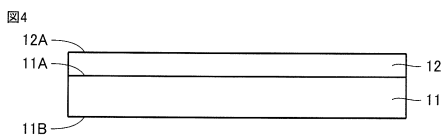
【図5】



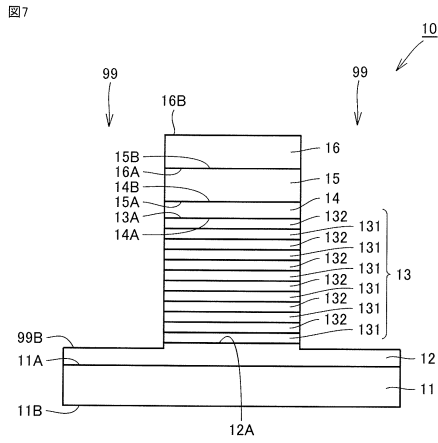
【図6】



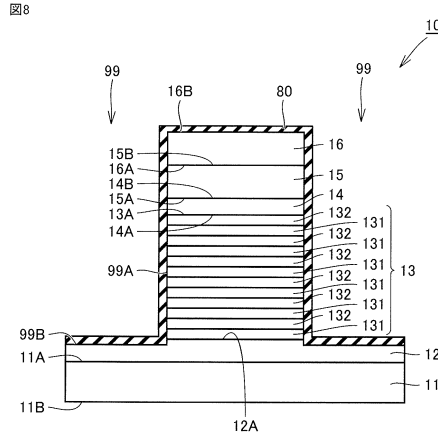
【図4】



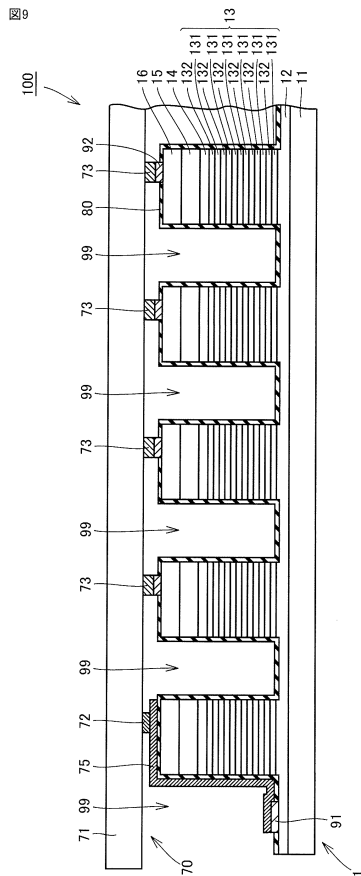
【図7】



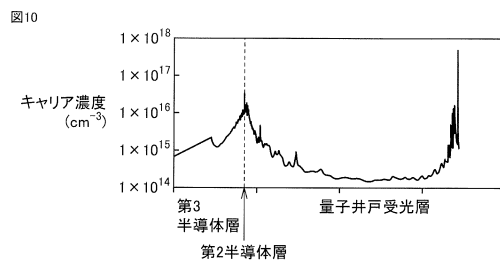
【図8】



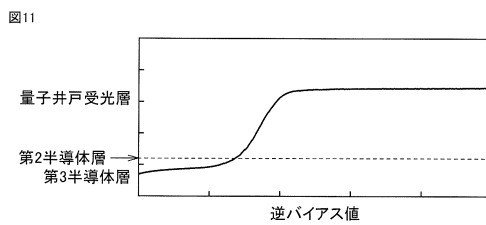
【図9】



【図10】

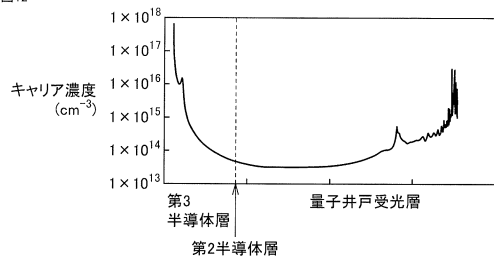


【図11】



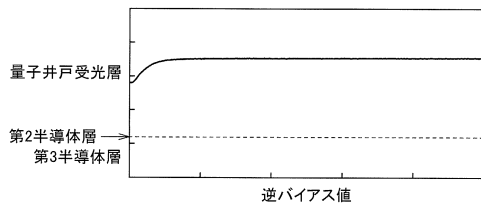
【図12】

図12



【図13】

図13



フロントページの続き

- (72)発明者 吉本 晋
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内
- (72)発明者 京野 孝史
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内
- (72)発明者 秋田 勝史
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

審査官 小林 幹

- (56)参考文献 中国特許出願公開第103022218(CN, A)
国際公開第2010/073768(WO, A1)
国際公開第2015/059988(WO, A1)
特開2012-209357(JP, A)
特開2015-149334(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L31/00-31/20