

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5616552号
(P5616552)

(45) 発行日 平成26年10月29日(2014.10.29)

(24) 登録日 平成26年9月19日(2014.9.19)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 31/107 (2006.01)	HO 1 L 31/10 B
HO 1 L 27/14 (2006.01)	HO 1 L 27/14 Z

請求項の数 5 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2014-90297 (P2014-90297)	(73) 特許権者	000236436
(22) 出願日	平成26年4月24日(2014.4.24)		浜松ホトニクス株式会社
(62) 分割の表示	特願2012-238222 (P2012-238222) の分割		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
原出願日	平成19年7月3日(2007.7.3)	(74) 代理人	100088155
(65) 公開番号	特開2014-143443 (P2014-143443A)		弁理士 長谷川 芳樹
(43) 公開日	平成26年8月7日(2014.8.7)	(74) 代理人	100113435
審査請求日	平成26年4月24日(2014.4.24)		弁理士 黒木 義樹
(31) 優先権主張番号	特願2006-183598 (P2006-183598)	(74) 代理人	100140442
(32) 優先日	平成18年7月3日(2006.7.3)		弁理士 柴山 健一
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	山村 和久
早期審査対象出願			静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
		(72) 発明者	里 健一
			静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトダイオードアレイ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガイガーモードで動作する複数のアバランシェフォトダイオードを配列してなるフォトダイオードアレイにおいて、

前記アバランシェフォトダイオードが形成された基板と、

前記基板上に形成された第1の絶縁膜と、

前記第1の絶縁膜上に形成された第2の絶縁膜と、

前記第2の絶縁膜上に設けられた信号導線と、

前記アバランシェフォトダイオードと前記信号導線とを接続し、前記第1の絶縁膜と前記第2の絶縁膜との間に介在する抵抗と、

を備えることを特徴とするフォトダイオードアレイ。

【請求項 2】

前記信号導線は、アルミニウムからなり、

前記第2の絶縁膜は、窒化シリコンからなる、ことを特徴とする請求項1に記載のフォトダイオードアレイ。

【請求項 3】

前記抵抗は、ポリシリコンからなり、

前記第1の絶縁膜は、酸化シリコンからなる、ことを特徴とする請求項1又は2に記載のフォトダイオードアレイ。

【請求項 4】

第 1 導電型の第 1 の半導体層と、
前記第 1 の半導体層上に形成された第 2 導電型の第 2 の半導体層と、
前記第 2 の半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 の半導体層と、を備え、
前記第 1 の絶縁膜は、前記第 3 の半導体層上に形成されている、ことを特徴とする請求
項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載のフォトダイオードアレイ。

【請求項 5】

第 1 導電型の第 1 の半導体層と、
前記第 1 の半導体層上に形成された第 1 導電型の第 2 の半導体層と、
前記第 2 の半導体層上に形成された第 2 導電型の第 3 の半導体層と、を備え、
前記第 1 の絶縁膜は、前記第 3 の半導体層上に形成されている、
ことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載のフォトダイオードアレイ。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォトダイオードアレイに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば化学や医療などの分野において、アバランシェ（電子なだれ）増倍を利用したフ
ォトダイオードアレイをシンチレータに装着してフォトンカウンティングを行う技術があ
る。このようなフォトダイオードアレイでは、同時に入射する複数のフォトンと併別する
ため、複数の分割された光検出チャンネルが共通基板上に形成されており、この光検出チ
ャンネルごとに増倍領域が配置されている（例えば、非特許文献 1、2 及び特許文献 1 参
照）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 11 - 46010 号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】P. Buzhan, et al., 「An Advanced Study of Silicon Photomultiplier」
[online], ICFA Instrumentation BULLETIN Fall 2001 Issue,、[平成 16 年 11 月 4 日検索
], URL: <http://www.slac.stanford.edu/pubs/icfa/>

30

【非特許文献 2】P. Buzhan, et al., 「Silicon Photomultiplier And Its Possible appli
cations」, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 504(2003)48-52

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来のフォトダイオードアレイは、特性が十分ではない。本発明は上記問題点を解消す
るためになされたものであり、特性の高いフォトダイオードアレイを提供することを目的
とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

第 1 の発明に係るフォトダイオードアレイは、ガイガーモードで動作する複数のアバラ
ンシェフォトダイオードを配列してなるフォトダイオードアレイにおいて、前記アバラ
ンシェフォトダイオードが形成された基板と、前記基板上に形成された第 1 の絶縁膜と、前
記第 1 の絶縁膜上に形成された第 2 の絶縁膜と、前記第 2 の絶縁膜上に設けられた信号導
線と、前記アバランシェフォトダイオードと前記信号導線とを接続し、前記第 1 の絶縁膜
と前記第 2 の絶縁膜との間に介在する抵抗とを備えることを特徴とする。

【0007】

第 2 の発明に係るフォトダイオードアレイでは、前記信号導線は、アルミニウムからな

50

り、前記第2の絶縁膜は、窒化シリコンからなることを特徴とする。

【0008】

第3の発明に係るフォトダイオードアレイでは、前記抵抗は、ポリシリコンからなり、前記第1の絶縁膜は、酸化シリコンからなることを特徴とする。

【0009】

第4の発明に係るフォトダイオードアレイは、第1導電型の第1の半導体層と、前記第1の半導体層上に形成された第2導電型の第2の半導体層と、前記第2の半導体層上に形成された第2導電型の第3の半導体層と、を備え、前記第1の絶縁膜は、前記第3の半導体層上に形成されていることを特徴とする。

【0010】

第5の発明に係るフォトダイオードアレイは、第1導電型の第1の半導体層と、前記第1の半導体層上に形成された第1導電型の第2の半導体層と、前記第2の半導体層上に形成された第2導電型の第3の半導体層と、を備え、前記第1の絶縁膜は、前記第3の半導体層上に形成されていることを特徴とする。

【0011】

なお、フォトダイオードアレイは、被検出光を入射させる複数の光検出チャンネルが第1導電型の半導体層を有する基板に形成されてなるフォトダイオードアレイであって、前記基板と、前記基板の第1導電型の前記半導体層上に形成され、前記被検出光の入射によって生じたキャリアをアバランシェ増倍させる複数の増倍領域を当該各増倍領域と前記各光検出チャンネルとが互に対応するように有する第1導電型のエピタキシャル半導体層と、前記第1導電型のエピタキシャル半導体層中に形成され、当該エピタキシャル半導体層との界面でp-n接合を構成する第2導電型の拡散領域と、2つの端部を有し、前記光検出チャンネルごとに設けられ、一方の前記端部を介して前記エピタキシャル半導体層中の前記第2導電型の拡散領域と電気的に接続されると共に他方の前記端部を介して信号導線の読み出し部に接続される複数の抵抗と、前記エピタキシャル半導体層上に形成された第1の絶縁膜と、前記第1の絶縁膜上に形成された第2の絶縁膜と、を備え、前記抵抗は、前記第1の絶縁膜と前記第2の絶縁膜との間に介在し、前記信号導線は、前記第2の絶縁膜上に設けられていることを特徴とすることができる。

【0012】

また、フォトダイオードアレイは、ガイガーモードで動作する複数のアバランシェフォトダイオードを配列してなるフォトダイオードアレイにおいて、前記アバランシェフォトダイオードはエピタキシャル半導体層を含んでおり、前記アバランシェフォトダイオードに一端が電気的に接続され、その光入射面上に配置された抵抗と、前記抵抗の他端に接続された信号導線の読み出し部と、を備え、前記エピタキシャル半導体層上に形成された第1の絶縁膜と、前記第1の絶縁膜上に形成された第2の絶縁膜と、を備え、前記抵抗は、前記第1の絶縁膜と前記第2の絶縁膜との間に介在し、前記信号導線は、前記第2の絶縁膜上に設けられていることができる。また、フォトダイオードアレイでは、隣接する前記アバランシェフォトダイオード間にはガードリングが介在していないことを特徴とすることができる。また、フォトダイオードアレイでは、前記信号導線は、前記光検出チャンネルから出力された信号を運ぶ前記読み出し部と、前記抵抗と前記読み出し部とを接続する接続部と、前記光検出チャンネルの外周を囲むように配線されるチャンネル外周部と、を備えることを特徴とすることができる。また、フォトダイオードアレイでは、前記抵抗は、前記チャンネル外周部の周囲を囲むように配置されていることができる。また、フォトダイオードアレイでは、前記信号導線は、アルミニウムからなり、前記第2の絶縁膜は、窒化シリコンからなることを特徴とすることができる。また、フォトダイオードアレイは、前記抵抗はポリシリコンからなり、前記第1の絶縁膜は、酸化シリコンからなることを特徴とすることができる。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、特性の高いフォトダイオードアレイを提供することができる。

【図面の簡単な説明】**【 0 0 1 4 】**

【図 1】図 1 は第 1 実施形態に係るフォトダイオードアレイの上面を概略的に示す図である。

【図 2】図 2 は第 1 実施形態に係るフォトダイオードアレイの II - II 矢印断面の一部を示す図である。

【図 3】図 3 は各光検出チャンネルと信号導線及び抵抗との接続関係を概略的に説明するための図である。

【図 4】図 4 は第 1 実施形態に係るフォトダイオードアレイの第 1 変形例の断面図である。

10

【図 5】図 5 は第 1 実施形態に係るフォトダイオードアレイの第 2 変形例の断面図である。

【図 6】図 6 は第 2 実施形態に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

【図 7】図 7 は第 3 実施形態に係るフォトダイオードアレイの断面構造を概略的に説明するための図である。

【図 8】図 8 は第 4 実施形態に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

【図 9】図 9 は図 2 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

【図 10】図 10 は図 4 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

20

【図 11】図 11 は図 5 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

【図 12】図 12 は図 6 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

【図 13】図 13 は図 7 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

【図 14】図 14 は図 8 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

【図 15】図 15 は半導体層 12 の近傍の断面図である。

30

【発明を実施するための形態】**【 0 0 1 5 】**

以下、添付図面を参照して、好適な実施形態について詳細に説明する。なお、説明において、同一要素又は同一機能を有する要素には、同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

【 0 0 1 6 】**(第 1 実施形態)**

図 1 及び図 2 を参照して、第 1 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 1 の構成について説明する。図 1 は、第 1 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 1 の上面を概略的に示す図である。図 2 は、図 1 に示したフォトダイオードアレイ 1 の II - II 矢印断面の一部を示す図である。

40

【 0 0 1 7 】

フォトダイオードアレイ 1 は、基板 2 上に複数の半導体層及び絶縁層が積層されてなる。図 1 に示すようにフォトダイオードアレイ 1 は、被検出光を入射させる複数の光検出チャンネル 10 がマトリクス状（本実施形態では 4 × 4）に形成されてなるフォトンカウンティング用マルチチャンネルアバランシェフォトダイオードである。フォトダイオードアレイ 1 の上面側には、信号導線 3、抵抗 4、及び電極パッド 5 が設けられている。基板 2 は、例えば一辺が 1 mm 程度の正形状である。各光検出チャンネル 10 は、例えば、正形状である。

【 0 0 1 8 】

信号導線 3 は、各光検出チャンネル 10 から出力された信号を運ぶ読み出し部 3a と、

50

各抵抗4と読み出し部3aとを接続する接続部3bと、各光検出チャンネル10の外周を囲むように配線されるチャンネル外周部3cとからなる。読み出し部3aは、当該読み出し部3aを挟んで隣接する2つの列に配置された光検出チャンネル10それぞれと接続されており、その一端において電極パッド5と接続されている。また、本実施形態ではフォトダイオードが4×4のマトリクス状に配置されているため、フォトダイオードアレイ1上には2本の読み出し部3aが配線されており、これらは電極パッド5に対して双方とも接続される。信号導線3は、例えばアルミニウム(A1)からなる。

【0019】

抵抗4は、一方の端部4a及びチャンネル外周部3cを介して光検出チャンネル10ごとに設けられており、他方の端部4b及び接続部3bを介して読み出し部3aに接続される。同一の読み出し部3aに接続される複数(本実施形態では8つ)の抵抗4は、当該読み出し部3aに対して接続される。抵抗4は、例えばポリシリコン(Poly-Si)からなる。

【0020】

次に、図2を参照してフォトダイオードアレイ1の断面構成について説明する。図2に示すように、フォトダイオードアレイ1は、導電型がn型(第1導電型)の半導体層を有する基板2と、基板2上に形成された導電型がp型(第2導電型)のp⁻型半導体層13と、p⁻型半導体層13上に形成された導電型がp型のp⁺型半導体層14と、保護膜16と、p⁻型半導体層13に形成された導電型がn型(第1導電型)の分離部20と、保護膜16上に形成された上記の信号導線3及び抵抗4とを備える。被検出光は、図2の上

【0021】

基板2は、基板部材Sと、基板部材S上に形成された絶縁膜11と、絶縁膜11上に形成されたn⁺型半導体層12とを有する。基板部材Sは、例えばSi(シリコン)からなる。絶縁膜11は、例えばSiO₂(酸化シリコン)からなる。n⁺型半導体層12は、例えばSiからなり、不純物濃度が高い導電型がn型の半導体層である。

【0022】

p⁻型半導体層13は、不純物濃度が低い導電型がp型のエピタキシャル半導体層である。p⁻型半導体層13は、基板2との界面でpn接合を構成する。p⁻型半導体層13は、被検出光の入射によって生じたキャリアをアバランシェ増倍する増倍領域AMを各光検出チャンネル10に対応して複数有する。p⁻型半導体層13の厚さは、例えば3μm~5μmである。p⁻型半導体層13は、例えばSiからなる。

【0023】

p⁺型半導体層14は、各光検出チャンネル10の増倍領域AMに対応して、p⁻型半導体層13上に形成されている。すなわち、半導体層の積層方向(以下、単に積層方向という)でp⁺型半導体層14の下方に位置するp⁻型半導体層13の基板2との界面近傍の領域が増倍領域AMである。p⁺型半導体層14は、例えばSiからなる。

【0024】

分離部20は、複数の光検出チャンネル10の間に形成され、各光検出チャンネル10を分離する。すなわち、分離部20は、各光検出チャンネル10と1対1に対応してp⁻型半導体層13に増倍領域AMが形成されるように形成される。分離部20は、各増倍領域AMの周囲を完全に囲うように基板2上において2次元格子状に形成される。分離部20は、積層方向でp⁻型半導体層13の上面側から下面側まで貫通して形成されている。分離部20の不純物は例えばPからなり、不純物濃度が高い導電型がn型の半導体層である。なお、分離部20を拡散により形成すると、長い熱処理時間が必要となるため、n⁺型半導体層12の不純物がエピタキシャル半導体層へ拡散して、pn接合の界面がせり上がることが考えられる。このせり上がり防止のため、分離部20にあたる領域の中央付近をトレンチエッチングした後、不純物の拡散を行って分離部20を形成してもよい。詳細は他の実施形態で説明するが、このトレンチ溝には、光検出チャンネルが吸収する波長帯域の光を吸収、又は反射する物質で埋めることによる遮光部を形成して、なだれ増倍によ

10

20

30

40

50

る発光が隣接する光検出チャンネルに影響を及ぼして生じるクロストークを防止することもできる。

【0025】

p⁻型半導体層13、p⁺型半導体層14、及び分離部20は、フォトダイオードアレイ1の上面側において平面を形成し、これらの上には保護膜16が形成されている。保護膜16は、例えばSiO₂からなる絶縁層によって形成される。

【0026】

保護膜16上には、信号導線3及び抵抗4が形成されている。信号導線3の読み出し部3a及び抵抗4は、分離部20の上方に形成されている。

【0027】

なお、信号導線3がアノードとして機能し、カソードとして、図示は省略するが基板2の下面側（絶縁層11を有していない側）の全面に透明電極層（例えばITO（Indium TinOxide）からなる層）を備えていてもよい。あるいは、カソードとして、電極部を表面側に引き出されるように形成してもよい。

【0028】

ここで、図3を参照して、各光検出チャンネル10と信号導線3及び抵抗4との接続関係を説明する。図3は、各光検出チャンネル10と信号導線3及び抵抗4との接続関係を概略的に説明するための図である。図3に示されるように、各光検出チャンネル10のp⁺型半導体層14と信号導線3（チャンネル外周部3c）とは直接接続されている。これにより、信号導線3（チャンネル外周部3c）とp⁻型半導体層13とは電氣的に接続される。また、p⁻型半導体層13と抵抗4の一端部4aとは、信号導線3（チャンネル外周部3c）を介して接続され、抵抗4は他の一端部4bがそれぞれ接続部3bを介して読み出し部3aに対して接続される。

【0029】

このように構成されたフォトダイオードアレイ1をフォトンカウンティングに用いる場合、ガイガーモードと呼ばれる動作条件下で動作させる。このガイガーモード動作時には、各光検出チャンネル10にブレイクダウン電圧よりも高い逆電圧（例えば50V以上）が印加される。この状態で上面側から各光検出チャンネル10に被検出光が入射すると、被検出光が各光検出チャンネル10において吸収されてキャリアが発生する。発生したキャリアは各光検出チャンネル10内の電界に従って加速しながら移動し、各増倍領域AMで増倍される。そして、増倍されたキャリアは抵抗4を介して信号導線3により外部へと取り出され、その出力信号の波高値に基づいて検出される。フォトンを検出したチャンネルからは何れも同量の出力が得られるので、全チャンネルからの総出力を検出することでフォトダイオードアレイ1のうちのいくつかの光検出チャンネル10から出力があったかがカウントされる。したがって、フォトダイオードアレイ1では、被検出光の一回の照射によって、フォトンカウンティングがなされる。

【0030】

フォトダイオードアレイ1では、pn接合は、基板2のn⁺型半導体層12と当該基板2のn⁺型半導体層12上に形成されたエピタキシャル半導体層であるp⁻型半導体層13とによって構成されている。また、増倍領域AMはpn接合が実現されているp⁻型半導体層13に形成され、各増倍領域AMの各光検出チャンネル10への対応は光検出チャンネル10間に形成された分離部20によって実現されている。pn接合面は、n⁺型半導体層12とp⁻型半導体層13との界面と、分離部20とp⁻型半導体層13との界面とから構成されており、高濃度不純物領域が凸となり電界が高くなる領域が存在しなくなっている。したがって、フォトダイオードアレイ1は、ガイガーモードで動作させたときにエッジブレイクダウンが発生するpn接合の端部（エッジ）を有さない。そのため、フォトダイオードアレイ1では各光検出チャンネル10のpn接合に対してガードリングを設ける必要がない。これにより、フォトダイオードアレイ1はその開口率を格段に高くすることが可能となる。

【0031】

10

20

30

40

50

また、開口率を高くすることで、フォトダイオードアレイ 1 では検出効率を大きくすることも可能となる。

【0032】

また、各光検出チャンネル 10 間は分離部 20 によって分離されているため、クロストークを良好に抑制することが可能となる。

【0033】

また、ガイガーモードで動作させ、フォトンが入射された光検出チャンネルと入射しないチャンネルとの間で電圧差が大きくなった場合にも、光検出チャンネル 10 間には分離層 20 が形成されているため、十分にチャンネル間を分離することができる。

【0034】

フォトダイオードアレイ 1 では、信号導線 3 の読み出し部 3a が分離部 20 の上方に形成されている。そのため、信号導線 3 が増倍領域 AM 上方、すなわち光検出面上を横切ることが抑制されるため、開口率はより一層向上される。さらに、暗電流の抑制にも効果的であると考えられる。また、フォトダイオードアレイ 1 では、抵抗 4 も分離部 20 の上方に形成されているため、開口率はさらにより一層向上される。

【0035】

また、n 型の半導体基板を用い、その上に p 型のエピタキシャル半導体層を形成した場合、n 型の半導体基板で発生したホールの一部が遅れて増倍領域に入りアフターパルスとなってしまうという問題が発生することを本願発明者はアフターパルスの波長依存性から見出した。こうした問題に対し、フォトダイオードアレイ 1 では、例えば SiO_2 からなる絶縁膜 11 を基板部材 S と n⁺ 型半導体層 12 との間に有することで、基板部材 S と n⁺ 型半導体層 12 とを完全に分離することができるため、アフターパルスを抑制することが可能となる。

【0036】

なお、本実施形態における分離部 20 には種々の変形を適用することができる。図 4 は、本実施形態に係るフォトダイオードアレイ 1 の第 1 変形例の断面図である。第 1 変形例に係るフォトダイオードアレイでは、複数（本変形例では 2 つ）の分離部 20 が光検出チャンネル 10 の間に形成されている。

【0037】

図 5 は、本実施形態に係るフォトダイオードアレイ 1 の第 2 変形例の断面図である。第 2 変形例に係るフォトダイオードアレイでは、分離部 20 が、積層方向で p⁺ 型半導体層 13 の上面側から下面側まで貫通することなく上面（被検出光入射面）近傍にのみ形成されている。

【0038】

また、上記実施形態では、エピタキシャル半導体層を第 2 導電型としたが、エピタキシャル半導体層を第 1 導電型として、当該半導体層中に第 2 導電型の拡散領域を設けて、第 1 導電型のエピタキシャル半導体層と第 2 導電型の拡散領域とで pn 接合を構成してもよい。

【0039】

（第 2 実施形態）

図 6 を参照して、第 2 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 30 の構成について説明する。図 6 は、第 2 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 30 の断面図である。第 2 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 30 は、分離部 20 が遮光部を有している点で第 1 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 1 と異なる。

【0040】

図 6 に示すように、分離部 20 は、光検出チャンネル 10 によって検出される被検出光の波長帯域（可視から近赤外）の光を吸収する物質からなる遮光部 22 を含む。遮光部 22 は、p⁺ 型半導体層 13 の上面側から下面側に向かって伸びる芯のように分離部 20 内に埋め込まれて形成されている。遮光部 22 は、例えばホトレジスト内に黒色の染料や絶縁処理したカーボンブラック等の顔料を混入させた黒色ホトレジストやタングステン等の

10

20

30

40

50

金属からなる。ただし、遮光部 22 を構成する物質が絶縁物質でない場合（例えば、タングステン等の金属）には、 SiO_2 等の絶縁膜で当該遮光部 22 を被膜する必要がある。なお、第 1 実施形態でも述べているが、分離部 20 を拡散により形成すると、長い熱処理時間が必要となるため、 n^+ 型半導体層 12 の不純物がエピタキシャル半導体層へ拡散して、 $p-n$ 接合の界面がせり上がることが考えられる。このせり上がり防止のため、分離層 20 にあたる領域の中央付近をトレンチエッチングした後、不純物の拡散を行って分離部 20 を形成してもよい。図 6 において示すように、不純物拡散を行った後は、 n^+ 型半導体層 12 と分離部 20 がつながった形となる。残るトレンチ溝には、上述のように光検出チャンネルが吸収する波長帯域の光を吸収する物質（後述するように、光検出チャンネルが吸収する波長帯域の光を反射する物質でもよい）で埋めることによる遮光部を形成して、なだれ増倍による発光が隣接する光検出チャンネルに影響を及ぼして生じるクロストークを防止することもできる。

10

【0041】

フォトダイオードアレイ 30 でも、フォトダイオード 1 同様、ガイガーモードで動作させたときにエッジブレイクダウンが発生する $p-n$ 接合の端部（エッジ）を有さない。そのため、フォトダイオードアレイ 30 でも各光検出チャンネル 10 の $p-n$ 接合に対してガードリングを設ける必要がない。これにより、フォトダイオードアレイ 30 はその開口率を高くすることが可能となる。

【0042】

また、開口率を高くすることで、フォトダイオードアレイ 30 では検出効率を大きくすることも可能となる。

20

【0043】

また、各光検出チャンネル 10 間は分離部 20 によって分離されているため、クロストークを良好に抑制することが可能となる。

【0044】

フォトダイオードアレイ 30 でも、信号導線 3 の読み出し部 3a が分離部 20 の上方に形成されているため、開口率はより一層向上される。さらに、暗電流の抑制にも効果的であると考えられる。

【0045】

さらに、フォトダイオードアレイ 30 でも、絶縁膜 11 を基板部材 S と n^+ 型半導体層 12 との間に有するため、アフターパルスを抑圧することが可能となる。

30

【0046】

また、各分離部 20 は、光検出チャンネル 10 によって検出される被検出光の波長帯域の光を吸収する物質からなる遮光部 22 を含む。したがって、被検出光は遮光部で吸収されるため、クロストークの発生を良好に抑制することが可能となる。さらに、遮光部 22 は、なだれ増倍によって発生する光が隣接する光検出チャンネル 10 に影響を与えないように、光検出チャンネル 10 によって検出される被検出光の波長帯域、特になだれ増倍によって発生する可視～近赤外の波長帯域の光を吸収する物質からなるので、クロストークの発生を良好に抑制することが可能になる。

【0047】

40

なお、遮光部 22 は、可視から近赤外の光を吸収する物質に限らず、可視から近赤外の光を反射する物質であってもよい。この場合であっても、被検出光は遮光部で反射されるため、クロストークの発生を良好に抑制することが可能となる。さらに、遮光部 22 は、なだれ増倍によって発生する光が隣接する光検出チャンネル 10 に影響を与えないように、光検出チャンネル 10 によって検出される被検出光の波長帯域、特になだれ増倍によって発生する可視～近赤外の波長帯域の光を反射する物質からなるので、クロストークの発生を良好に抑制することが可能になる。

【0048】

また、遮光部 22 は、可視から近赤外の光を吸収又は反射する物質に限らず、光検出チャンネル 10 によって検出される被検出光の波長帯域の光を吸収又は反射する物質であれ

50

ばよい。ただし、遮光部 22 は、なだれ増倍によって発生する光が隣接する光検出チャンネル 10 に影響を与えないように、光検出チャンネル 10 によって検出される被検出光の波長帯域、特になだれ増倍によって発生する可視～近赤外の波長帯域の光を吸収又は反射する物質からなることが好ましい。

【0049】

なお、遮光部 22 は、分離部 20 よりも低い屈折率の物質からなっているとしてもよい。これらの場合であっても、光は遮光部で反射されるため、クロストークの発生を良好に抑制することが可能となる。

【0050】

(第3実施形態)

図7を参照して、第3実施形態に係るフォトダイオードアレイ40の構成について説明する。図7は、第3実施形態に係るフォトダイオードアレイ40の断面構造を概略的に説明するための図である。第3実施形態に係るフォトダイオードアレイ40は、信号導線3が窒化シリコン膜上に形成されている点で第1実施形態に係るフォトダイオードアレイ1と異なる。

【0051】

図7に示すように、フォトダイオードアレイ40は、導電型がn型(第1導電型)の半導体層を有する基板2と、基板2上に形成された導電型がp型(第2導電型)のp型半導体層15と、p型半導体層15上に形成された導電型がp型のp⁺型半導体層14と、保護膜16a、16bと、p型半導体層15に形成された導電型がn型(第1導電型)の分離部20と、アルミニウムからなる信号導線3と、例えばPoly-Siからなる抵抗4とを備える。被検出光は、図7の上側から入射される。

【0052】

基板2は、n⁺型の基板部材Sと、基板部材S上に形成されたn型半導体層12とを有する。

【0053】

p型半導体層15は、不純物濃度がp⁺型半導体層14より低い導電型がp型のエピタキシャル半導体層である。p型半導体層15は、基板2のn型半導体層12との界面でpn接合を構成する。p型半導体層15は、被検出光の入射によって生じたキャリアをアバランシェ増倍する増倍領域AMを各光検出チャンネル10に対応して複数有する。p型半導体層15は、例えばSiからなる。

【0054】

p型半導体層15、p⁺型半導体層14、及び分離部20は、フォトダイオードアレイ40の上面側において平面を形成し、これらの上には保護膜16a、16bが形成されている。保護膜16aは酸化シリコン膜(SiO₂膜)からなる絶縁膜によって、保護膜16bは窒化シリコン(SiN膜あるいはSi₃N₄膜)からなる絶縁膜によってそれぞれ形成される。

【0055】

図7に示されるように、分離部20上に、保護膜16a、抵抗4、保護膜16b、及び信号導線3がこの順で積層されている。具体的には、分離部20上に保護膜16aが積層されている。保護膜16a上には、抵抗4が積層されている。保護膜16a及び抵抗4上には、保護膜16bが各抵抗4の一部を除いて積層されている。保護膜16b及び保護膜16bがその上に積層されていない抵抗4の一部の上には、信号導線3が電気的接続のため、積層されている。具体的には、抵抗4間には信号導線3の読み出し部3aが、抵抗4上には電気的接続のため、接続部3b又はチャンネル外周部3cへの電気的接続としての信号導線3がそれぞれ積層される。

【0056】

さらに、図7に示されるように、p⁺型半導体層14上には一部を除いて保護膜16bが積層されている。保護膜16bが積層されていないp⁺型半導体層14の当該一部の上及びp⁺型半導体層14上に積層された保護膜16bの一部の上には、電気的接続のため

10

20

30

40

50

に信号導線 3 のチャンネル外周部 3 c が積層されている。

【0057】

フォトダイオードアレイ 40 でも、フォトダイオード 1 同様、ガイガーモードで動作させたときにエッジブレイクダウンが発生する p n 接合の端部（エッジ）を有さない。そのため、フォトダイオードアレイ 40 でも各光検出チャンネル 10 の p n 接合に対してガードリングを設ける必要がない。これにより、フォトダイオードアレイ 40 はその開口率を高くすることが可能となる。

【0058】

また、開口率を高くすることで、フォトダイオードアレイ 40 では検出効率を大きくすることも可能となる。

【0059】

また、光検出チャンネル 10 間は分離部 20 によって分離されているため、クロストークを良好に抑制することが可能となる。

【0060】

フォトダイオードアレイ 40 でも、信号導線 3 の読み出し部 3 a が分離部 20 の上方に形成されているため、開口率はより一層向上される。さらに、暗電流の抑制にも効果的であると考えられる。

【0061】

信号導線 3 は、アルミニウムからなるため、例えば酸化膜上に形成された場合、高電圧の印加によってアルミニウムがその下の膜に染みこんでしまうという問題が発生する。こうした問題に対し、フォトダイオードアレイ 40 では、信号導線 3 は窒化シリコン膜からなる保護膜 16 b 上に形成されている。そのため、フォトダイオードアレイ 40 に高電圧を印加したとしても、アルミニウムがその下の膜（保護膜 16 b）に染みこむことが抑制される。

【0062】

加えて、信号導線 3 の読み出し部 3 a の下には、保護膜 16 b と保護膜 16 a もしくは抵抗 4 が積層されている。そのため、高電圧の印加によってアルミニウムが分離部 20 及び p 型半導体層 15 に染みこむことが良好に抑制されている。

【0063】

このように、フォトダイオードアレイ 40 では、高電圧を印加した場合であっても、アルミニウムが光検出チャンネル 10 及び分離部 20 に侵入することが好適に抑制される。

【0064】

例えばポリシリコン（Poly-Si）からなる抵抗 4 は保護膜 16 a 上に形成されるとともに、当該抵抗 4 上には保護膜 16 b 及び信号導線 3 が形成されている。

【0065】

なお、n 型半導体層 12 の代わりに p 型の半導体層を用いてもよい。この場合、当該 p 型の半導体層と n⁺ 型の基板部材 S（基板 2）との間で p n 接合が構成され、この p 型の半導体層において増倍部 AM が形成されることとなる。

【0066】

（第 4 実施形態）

図 8 を参照して、第 4 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 50 の構成について説明する。図 8 は、第 4 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 50 の断面図である。第 4 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 50 は、分離部 20 を備えていない点で第 1 実施形態に係るフォトダイオードアレイ 1 と異なる。

【0067】

図 8 に示すように、p⁺ 型半導体層 13 は複数の増倍領域 AM を、各増倍領域 AM と各光検出チャンネル 10 とが互いに対応するように有する。各光検出チャンネル 10 間には、信号導線 3 及び抵抗 4 が形成されている。

【0068】

フォトダイオードアレイ 50 でも、フォトダイオード 1 同様、ガイガーモードで動作さ

10

20

30

40

50

せたときにエッジブレイクダウンが発生する p n 接合の端部（エッジ）を有さない。そのため、フォトダイオードアレイ 50 でも各光検出チャンネル 10 の p n 接合に対してガードリングを設ける必要がない。これにより、フォトダイオードアレイ 50 はその開口率を高くすることが可能となる。さらに、フォトダイオードアレイ 50 は、分離部を有さないことにより、より一層高い開口率を示すことができる。

【0069】

また、開口率を高くすることで、フォトダイオードアレイ 50 では検出効率を大きくすることも可能となる。

【0070】

フォトダイオードアレイ 50 では、信号導線 3 の読み出し部 3a が各光検出チャンネル 10 間に形成されているため、開口率はより一層向上される。さらに、暗電流の抑制にも効果的であると考えられる。

【0071】

さらに、フォトダイオードアレイ 50 でも、絶縁膜 12 を基板部材 S と n⁺ 型半導体層 12 との間に有するため、アフターパルスを抑制することが可能となる。

【0072】

以上、本発明の好適な実施形態及び変形例について説明したが、本発明は上記実施形態及び変形例に限定されるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、フォトダイオードアレイに形成される光検出チャンネルの数は、上記実施形態における数（4×4）に限定されない。光検出チャンネル 10 間に形成される分離部 20 の数も、上記実施形態及び変形例で示した数に限られず、例えば 3 つ以上であってもよい。また、信号導線 3 は、分離部 20 の上方に形成されていなくてもよい。抵抗 4 も分離部 20 の上方に形成されていなくてもよい。また、各層等は、上記実施形態及び変形例で例示したものに限られない。

【0073】

また、n 型半導体層 12 の下に n 型の半導体からなるバッファ層を用いてもよい。また、n 型半導体層 12 の代わりに p 型の半導体層を用い、この下に n 型の半導体からなるバッファ層を用いても良い。この場合、当該 p 型の半導体層と n 型のバッファ層との間で p n 接合が構成され、この p 型の半導体層において増倍部 AM が形成されることとなる。更に、第 3 実施形態のように絶縁膜 11 の無い場合には、n 型半導体層 12 の代わりに p 型の半導体層を用い、この下に p 型の半導体からなるバッファ層を用いても良い。この場合、当該 p 型のバッファ層と n⁺ 型の基板部材 S（基板 2）の間で p n 接合が構成され、この p 型のバッファ層において増倍部 AM が形成されることとなる。

【0074】

上述のフォトダイオードアレイは、ガイガーモードで動作する複数のアバランシェフォトダイオード（検出チャンネル 10 の p n 接合からなる）を二次元状に配列してなり、アバランシェフォトダイオードは、結晶性の高いエピタキシャル半導体層 13 を含んでいる。上述のフォトダイオードアレイは、アバランシェフォトダイオードの一端（アノード）が電氣的に接続され、アバランシェフォトダイオードの光入射面上に配置された抵抗 4 と、抵抗 4 の他端に接続された信号導線 3 と、を備えており、隣接するアバランシェフォトダイオード間にはガードリングが介在していない。この構造では、ガードリングを備えていないので、検出チャンネルの開口面積を大きくすることができる。

【0075】

図 9 は図 2 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図、図 10 は図 4 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図、図 11 は図 5 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図、図 12 は図 6 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図、図 13 は図 7 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図、図 14 は図 8 に示した実施形態の層構造の変形例に係るフォトダイオードアレイの断面図である。これらの基本的な平面構成と接続関係は、図 1 に示したものと同一で

ある。

【 0 0 7 6 】

上述のように、図 9 から図 1 4 に示した構造では、図 2、図 4、図 5、図 6、図 7、図 8 の p 型半導体層 1 3 又は p 型半導体層 1 5 に代えて、n 型半導体層 R 1 3 又は R 1 5 を用いている。この場合、pn 接合は、低濃度の n 型半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) と p 型半導体層 1 4 との界面に形成され、pn 接合から空乏層が n 型半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) に向けて広がり、空乏層に対応して増倍領域 A M が pn 接合界面から n 型半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) に向かって形成されている。他の構造と作用は、上述のものと同一である。

【 0 0 7 7 】

これらのフォトダイオードアレイ 1 は、被検出光を入射させる複数の光検出チャンネル 1 0 が n 型半導体層 1 2 を有する n 型の基板 2 に形成されてなる。被検出光を入射させる複数の光検出チャンネル 1 0 が、第 1 導電型の n^+ 型である半導体層 1 2 (S) を有する基板に形成されてなるフォトダイオードアレイであって、基板 2 と、基板 2 の第 1 導電型の半導体層 1 2 上に形成され、被検出光の入射によって生じたキャリアをアバランシェ増倍させる複数の増倍領域 A M を当該各増倍領域 A M と各光検出チャンネルとが互いに対応するように有する第 1 導電型の n^- 型であるエピタキシャル半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) と、第 1 導電型のエピタキシャル半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) 中に形成され、当該エピタキシャル半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) との界面で pn 接合を構成する第 2 導電型の P^+ 型である拡散領域 1 4 と、2 つの端部を有し、光検出チャンネル 1 0 ごとに設けられ、一方の端部 4 a を介してエピタキシャル半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) 中の第 2 導電型の拡散領域 1 4 と電気的に接続されると共に他方の端部 4 b を介して信号導線 3 に接続される複数の抵抗 4 とを備えている。

【 0 0 7 8 】

抵抗 4 は、図 1 に示したように、一方の端部 4 a 及びチャンネル外周部 3 c を介して光検出チャンネル 1 0 ごとに設けられており、他方の端部 4 b 及び接続部 3 b を介して読み出し部 3 a に接続される。同一の読み出し部 3 a に接続される複数の抵抗 4 は、当該読み出し部 3 a に対して接続される。

【 0 0 7 9 】

これらのフォトダイオードアレイでは、pn 接合は、基板上の第 1 導電型のエピタキシャル半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) と当該エピタキシャル半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) 中に形成された第 2 導電型のエピタキシャル半導体層 1 4 とによって構成されている。また、増倍領域 A M は pn 接合が実現されているエピタキシャル半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) に形成され、各光検出チャンネルに対応する増倍領域 A M はこのエピタキシャル半導体層 R 1 3 (又は R 1 5) にある。

【 0 0 8 0 】

図 1 5 は半導体層 1 2 の上に設けられるバッファ層 1 2 X を示す断面図である。バッファ層 1 2 X は、n 型の半導体層からなる。n 型半導体層 1 2 の上に n 型の半導体からなるバッファ層 1 2 X を用いてもよい。また、n 型半導体層 1 2 の上に、p 型の半導体からなるバッファ層 1 2 X を用いても良い。この場合、当該 n 型の半導体層 1 2 と p 型のバッファ層 1 2 X との間で pn 接合が構成され、この p 型のバッファ層において増倍部 A M が形成されることとなる。更に、第 3 実施形態のように絶縁膜 1 1 の無い場合には、n 型半導体層 1 2 の代わりに p 型の半導体層を用い、この上に p 型の半導体からなるバッファ層を用いても良い。この場合、当該 p 型の半導体層と n^+ 型の基板部材 S (基板 2) の間で pn 接合が構成され、この p 型の半導体層において増倍部 A M が形成されることとなる。

【 0 0 8 1 】

以上の説明は以下の通りである。

【 0 0 8 2 】

従来から各増倍領域は、微弱な光を良好に検出するため、ガイガーモードと呼ばれる動作条件下で動作させられる。すなわち、各増倍領域にはブレイクダウン電圧よりも高い逆

10

20

30

40

50

電圧が印加され、入射したフォトンによって発生したキャリアがなだれ式に増倍される現象が利用される。各光検出チャンネルには増倍領域からの出力信号を取り出すための抵抗が接続され、各抵抗は互いに並列接続されている。各光検出チャンネルに入射したフォトン、各抵抗を介して外部に取り出された出力信号の波高値に基づいて検出される。

【0083】

ここで、フォトダイオードアレイをフォトンカウンティングに用いる場合には、良好な検出結果を得る上で、被検出光に対する開口率を高めて検出効率を大きくすることが重要となっている。

【0084】

しかしながら、例えば非特許文献1及び2に記載されたリーチスルー型のフォトダイオードアレイでは、各フォトダイオードのp n接合が、各光検出チャンネルごとに表面に形成された半導体層によって実現されている。そのため、p n接合を実現する各フォトダイオードの半導体層外周縁部にはエッジブレイクダウンを防ぐためのガードリングが必要となり、その結果被検出光に対する開口率が低く抑えられてしまう。また、このように開口率が低く抑えられたフォトダイオードアレイでは、検出感度特性を向上させることは困難である。また、なだれ増倍によって光が発生するので、これが隣の光検出チャンネルに吸収されることでクロストークが生じることも問題になる。

【0085】

上述のフォトダイオードアレイは、被検出光を入射させる複数の光検出チャンネルが第1導電型の半導体層を有する基板に形成されてなるフォトダイオードアレイであって、基板と、基板の第1導電型の半導体層上に形成され、当該半導体層との界面でp n接合を構成するとともに、被検出光の入射によって生じたキャリアをアバランシェ増倍させる複数の増倍領域を当該各増倍領域と各光検出チャンネルとが互いに対応するように有する第2導電型のエピタキシャル半導体層と、2つの端部を有し、光検出チャンネルごとに設けられ、一方の端部を介してエピタキシャル半導体層と電気的に接続されると共に他方の端部を介して信号導線に接続される複数の抵抗と、を備えることを特徴とする。

【0086】

上記フォトダイオードアレイでは、p n接合は、基板の第1導電型の半導体層と当該半導体層上に形成されたエピタキシャル半導体層とによって構成されている。また、増倍領域はp n接合が実現されているエピタキシャル半導体層に形成され、各光検出チャンネルに対応する増倍領域はこのエピタキシャル半導体層にある。したがって、上記フォトダイオードアレイは、ガイガーモードで動作させたときにエッジブレイクダウンが発生するp n接合の端部(エッジ)を有さず、ガードリングを設ける必要がない。そのため、上記フォトダイオードアレイはその開口率を高くすることが可能となる。

【0087】

上述のフォトダイオードアレイは、被検出光を入射させる複数の光検出チャンネルが第1導電型の半導体層を有する基板に形成されてなるフォトダイオードアレイであって、基板と、基板の第1導電型の半導体層上に形成され、被検出光の入射によって生じたキャリアをアバランシェ増倍させる複数の増倍領域を当該各増倍領域と各光検出チャンネルとが互いに対応するように有する第1導電型のエピタキシャル半導体層と、第1導電型のエピタキシャル半導体層中に形成され、当該エピタキシャル半導体層との界面でp n接合を構成する第2導電型の拡散領域と、2つの端部を有し、光検出チャンネルごとに設けられ、一方の端部を介してエピタキシャル半導体層中の第2導電型の拡散領域と電気的に接続されると共に他方の端部を介して信号導線に接続される複数の抵抗と、を備えることを特徴とする。

【0088】

上記フォトダイオードアレイでは、p n接合は、基板上の第1導電型のエピタキシャル半導体層と当該半導体層中に形成された第2導電型のエピタキシャル半導体層とによって構成されている。また、増倍領域はp n接合が実現されているエピタキシャル半導体層に形成され、各光検出チャンネルに対応する増倍領域はこのエピタキシャル半導体層にある

。したがって、上記フォトダイオードアレイは、ガードリングを設けていない。そのため、上記フォトダイオードアレイはその開口率を高くすることが可能となる。

【0089】

エピタキシャル半導体層の各増倍領域と各光検出チャンネルとが互いに対応するように、複数の光検出チャンネルの間に形成される第1導電型の分離部をさらに備えることが好ましい。すなわち、被検出光を入射させる複数の光検出チャンネルが第1導電型の半導体層を有する基板に形成されてなるフォトダイオードアレイであって、基板と、基板の第1導電型の半導体層上に形成され、基板との界面でpn接合を構成するとともに、被検出光の入射によって生じたキャリアをアバランシェ増倍させる増倍領域を有する第2導電型のエピタキシャル半導体層と、2つの端部を有し、光検出チャンネルごとに設けられ、エピタキシャル半導体層と一方の端部を介して電氣的に接続されると共に他方の端部を介して信号導線に接続される複数の抵抗と、エピタキシャル半導体層の増倍領域が各光検出チャンネルに対応して複数形成されるように、複数の光検出チャンネルの間に形成される第1導電型の分離部と、を備えることが好ましい。

【0090】

この場合、各チャンネル間に形成された分離部によって各増倍領域と各光検出チャンネルとの対応が具現化されている。そのため、やはりガードリングを設ける必要がなく、開口率を高くすることが可能である。また、光検出チャンネル間に分離部が形成されているため、クロストークを良好に抑制することが可能となる。

【0091】

分離部は、光検出チャンネルによって検出される波長帯域の光を吸収又は反射する物質からなる遮光部を含むことが好ましい。あるいは、分離部は、エピタキシャル半導体層よりも低い屈折率の物質からなる遮光部を含むことが好ましい。これらの場合、光が遮光部で吸収あるいは反射されるため、クロストークの発生を良好に抑制することが可能となる。さらに、遮光部は、なだれ増倍によって発生する光が、隣接する光検出チャンネルに影響を与えないように、光検出チャンネルによって検出される被検出光の波長帯域、特になだれ増倍によって発生する可視～近赤外の波長帯域の光を吸収または反射する物質からなることが好ましい。これにより、クロストークの発生を良好に抑制することが可能になる。

【0092】

信号導線は、分離部の上方に形成されていることが好ましい。この場合、信号導線が光検出面上を横切ることが抑制されるため、開口率はより一層向上する。

【0093】

信号導線は、アルミニウムからなり、窒化シリコン膜上に形成されていることが好ましい。この場合、フォトダイオードアレイに高電圧を印加したとしても、アルミニウムがその下の膜に染みこむことが抑制される。尚、ここで言う「染み込む」とは拡散・侵入するという意味であり、以後も同じ意味で使っている。また、この場合、抵抗は例えばポリシリコンからなり、抵抗は酸化シリコン膜上に形成されるとともに、当該抵抗上には窒化シリコン膜及び信号導線が形成されていることが好ましい。

【産業上の利用可能性】

【0094】

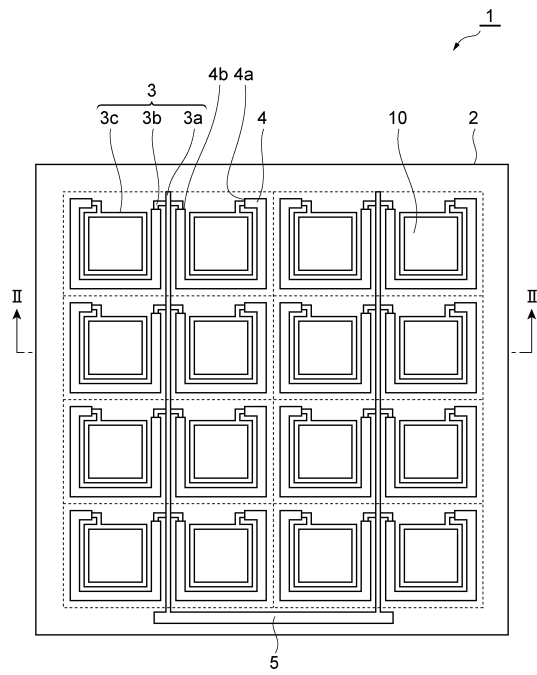
本発明は、被検出光に対して開口率の高いフォトダイオードアレイとして利用可能である。

【符号の説明】

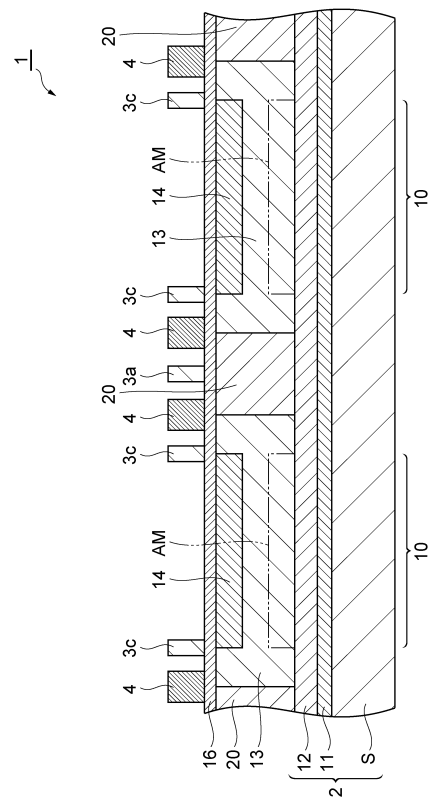
【0095】

1, 30, 40, 50...フォトダイオードアレイ、2...基板、3...信号導線、4...抵抗、5...電極パッド、10...光検出チャンネル、11...絶縁膜、12... n^+ 型半導体層、13... p^- 型半導体層、14... p^+ 型半導体層、15... p 型半導体層、16...保護膜、20...分離部、22...遮光部、S...基板部材、AM...増倍領域、R13... n 型半導体層、R15... n 型半導体層。

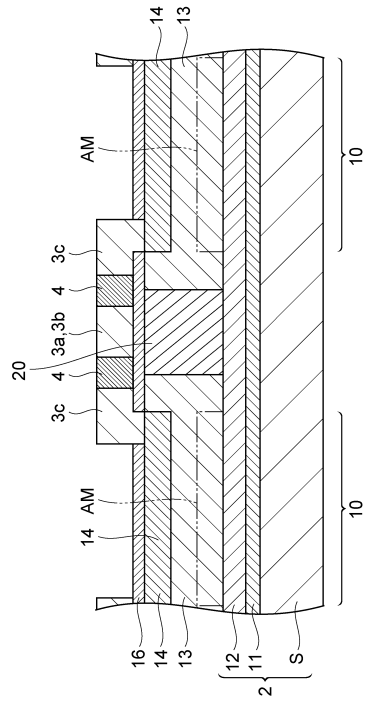
【図 1】



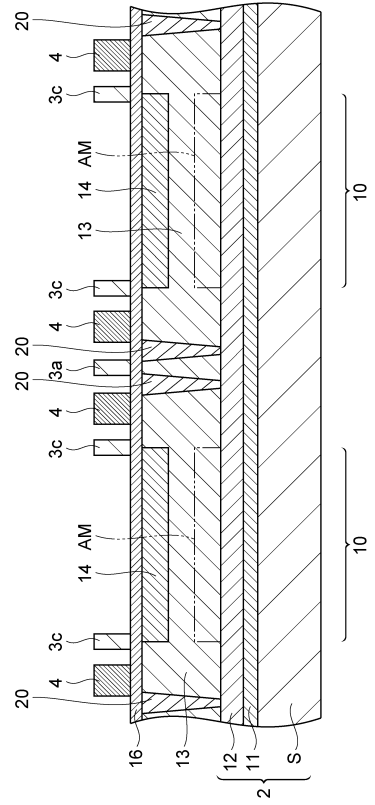
【図 2】



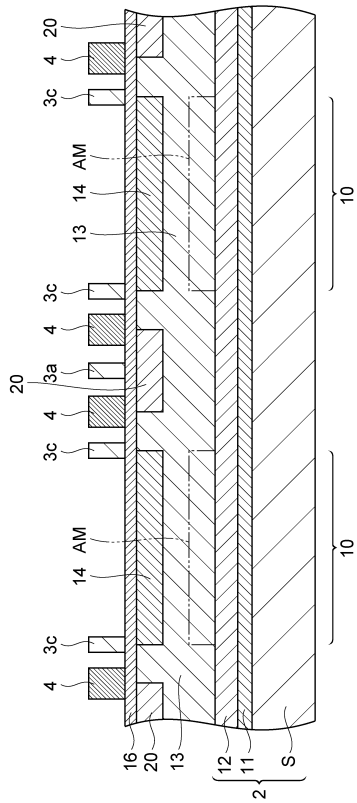
【図 3】



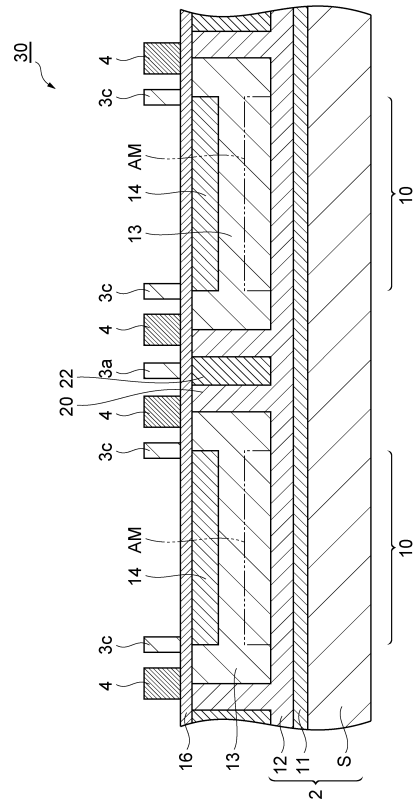
【図 4】



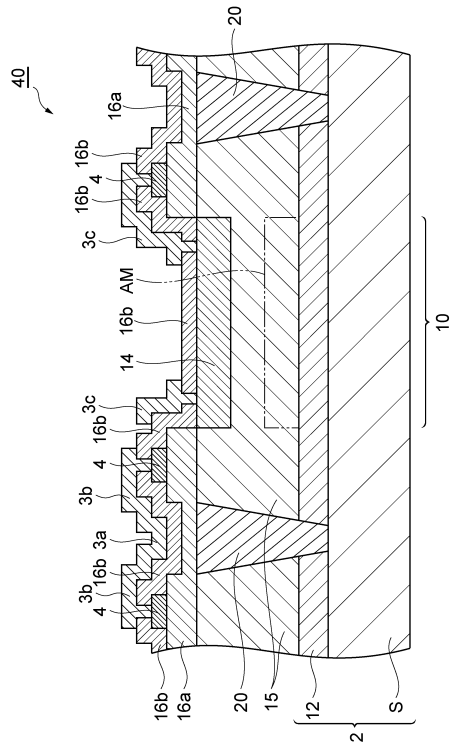
【図 5】



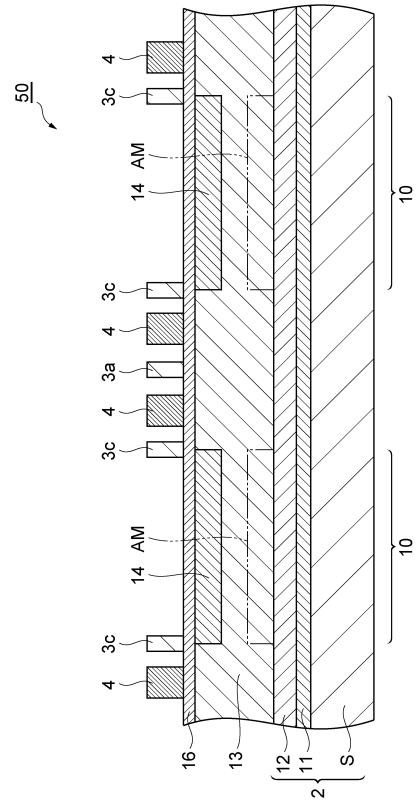
【図 6】



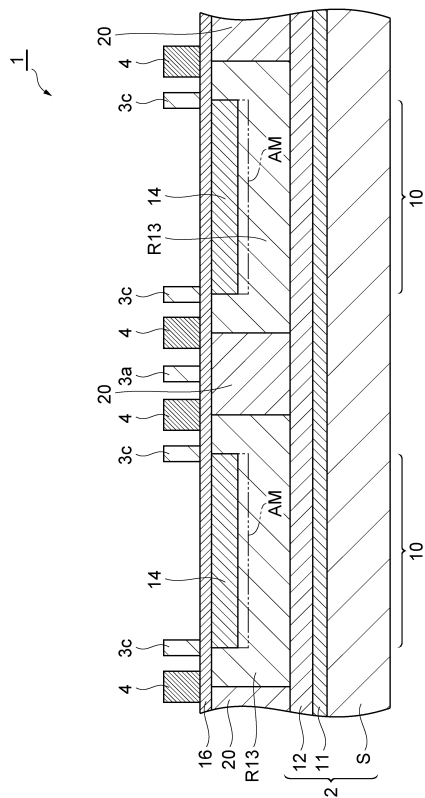
【圖 7】



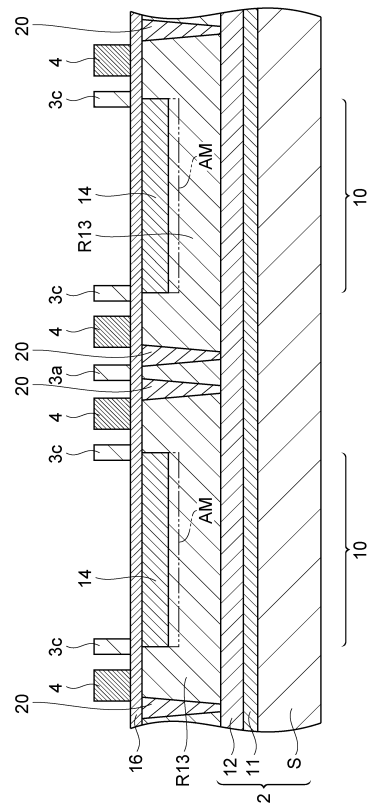
【圖 8】



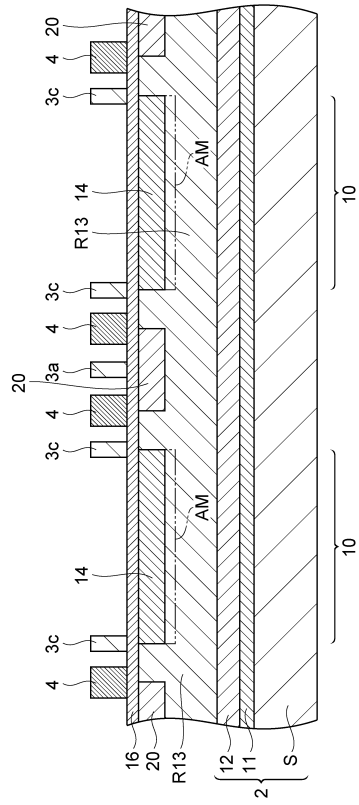
【 図 9 】



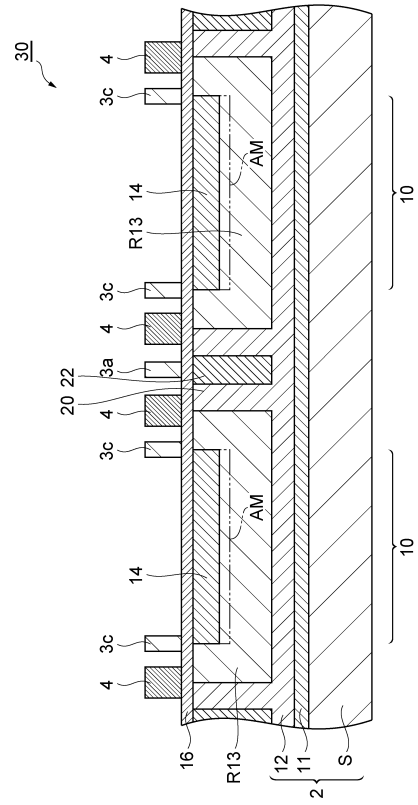
【 図 1 0 】



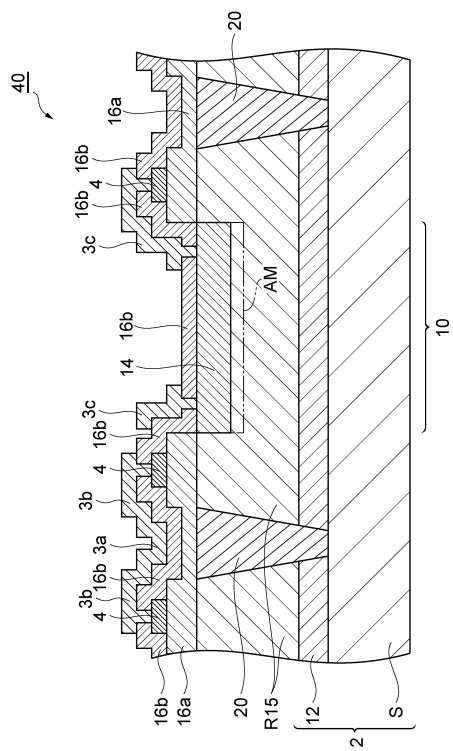
【 図 1 1 】



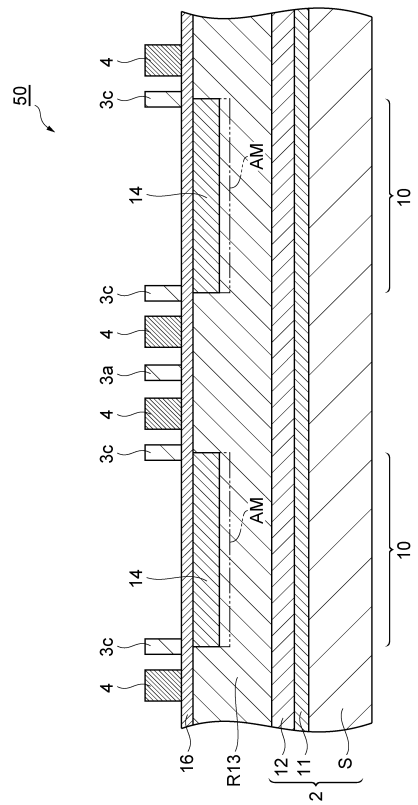
【 図 1 2 】



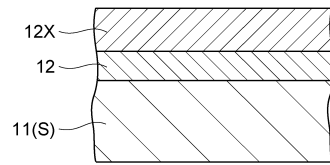
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【図 15】



フロントページの続き

審査官 堀部 修平

(56)参考文献 特開平03-127866(JP,A)
特開平05-102512(JP,A)
国際公開第2006/068184(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 31/10 - 31/119
H01L 27/14