

(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 1

H01L 31/107 (2006.01)
H01L 27/14 (2006.01)H01L 31/10
H01L 27/14B
Z

請求項の数 5 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2014-90297 (P2014-90297)
 (22) 出願日 平成26年4月24日 (2014.4.24)
 (62) 分割の表示 特願2012-238222 (P2012-238222)
 の分割
 原出願日 平成19年7月3日 (2007.7.3)
 (65) 公開番号 特開2014-143443 (P2014-143443A)
 (43) 公開日 平成26年8月7日 (2014.8.7)
 審査請求日 平成26年4月24日 (2014.4.24)
 (31) 優先権主張番号 特願2006-183598 (P2006-183598)
 (32) 優先日 平成18年7月3日 (2006.7.3)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000236436
 浜松ホトニクス株式会社
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100140442
 弁理士 柴山 健一
 (72) 発明者 山村 和久
 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】

10

20

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を弁別するため、複数に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., 「AnAdvanced Study of Silicon Photomultiplier」
[online], ICFAInstrumentationBULLETIN 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., 「SiliconPhotomultiplier And Its Possible applications」, 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つ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いに対応するよう有する第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ます。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ます。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ます。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ます。

【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。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】**【0014】**

【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。

【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。

【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。

【発明を実施するための形態】**【0015】**

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。

【0016】**(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。

【0017】

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ト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1mm程度の正方形形状である。各光検出チャンネル10は、例えば、正方形形状である。

【0018】

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、

10

20

30

40

50

各抵抗 4 と読み出し部 3 a とを接続する接続部 3 b と、各光検出チャンネル 1 0 の外周を囲むように配線されるチャンネル外周部 3 c とからなる。読み出し部 3 a は、当該読み出し部 3 a 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 1 0 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 3 a 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 (A 1) からなる。

【 0 0 1 9 】

抵抗 4 は、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（本実施形態では 8 つ）の抵抗 4 は、当該読み出し部 3 a 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。

【 0 0 2 0 】

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 1 3 と、p⁻ 型半導体層 1 3 上に形成された導電型が p 型の p⁺ 型半導体層 1 4 と、保護膜 1 6 と、p⁻ 型半導体層 1 3 に形成された導電型が n 型（第 1 導電型）の分離部 2 0 と、保護膜 1 6 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 の上面側から入射される。

【 0 0 2 1 】

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 1 1 と、絶縁膜 1 1 上に形成された n⁺ 型半導体層 1 2 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 1 1 は、例えば SiO₂ (酸化シリコン) からなる。n⁺ 型半導体層 1 2 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。

【 0 0 2 2 】

p⁻ 型半導体層 1 3 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 1 3 は、基板 2 との界面で p-n 接合を構成する。p⁻ 型半導体層 1 3 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 1 0 に対応して複数有する。p⁻ 型半導体層 1 3 の厚さは、例えば 3 μm ~ 5 μm である。p⁻ 型半導体層 1 3 は、例えば Si からなる。

【 0 0 2 3 】

p⁺ 型半導体層 1 4 は、各光検出チャンネル 1 0 の増倍領域 AM に対応して、p⁻ 型半導体層 1 3 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 1 4 の下方に位置する p⁻ 型半導体層 1 3 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 1 4 は、例えば Si からなる。

【 0 0 2 4 】

分離部 2 0 は、複数の光検出チャンネル 1 0 の間に形成され、各光検出チャンネル 1 0 を分離する。すなわち、分離部 2 0 は、各光検出チャンネル 1 0 と 1 対 1 に対応して p⁻ 型半導体層 1 3 に増倍領域 AM が形成されるように形成される。分離部 2 0 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 2 0 は、積層方向で p⁻ 型半導体層 1 3 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 2 0 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 2 0 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 1 2 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りすることが考えられる。このせり上がり防止のため、分離部 2 0 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 2 0 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 SiO_2 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 Tin Oxide）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 とは電気的に接続される。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 にブレー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、 $p-n$ 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 $p-n$ 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。 $p-n$ 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ー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 1 では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 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つた場合にも、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。

10

【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つてしまつ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SiO₂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。

20

【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。

30

【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)

40

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クスチタン等の

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、タンゲステン等の金属）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事が考えられる。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ー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制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】

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。40

【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)

10

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。

20

【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p-n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。

30

【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。

40

【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

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。

【 0 0 5 7 】

フォトダイオードアレイ 4 0 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ー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 4 0 でも各光検出チャンネル 1 0 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 4 0 はその開口率を高くすることが可能となる。

【 0 0 5 8 】

また、開口率を高くすることで、フォトダイオードアレイ 4 0 では検出効率を大きくするこども可能となる。

10

【 0 0 5 9 】

また、光検出チャンネル 1 0 間は分離部 2 0 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。

【 0 0 6 0 】

フォトダイオードアレイ 4 0 でも、信号導線 3 の読み出し部 3 a が分離部 2 0 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。

【 0 0 6 1 】

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 4 0 では、信号導線 3 は窒化シリコン膜からなる保護膜 1 6 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 4 0 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 1 6 b ）に染みこむことが抑制される。

20

【 0 0 6 2 】

加えて、信号導線 3 の読み出し部 3 a の下には、保護膜 1 6 b と保護膜 1 6 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 2 0 及び p 型半導体層 1 5 に染みこむことが良好に抑制されている。

【 0 0 6 3 】

このように、フォトダイオードアレイ 4 0 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 1 0 及び分離部 2 0 に侵入することが好適に抑制される。

30

【 0 0 6 4 】

例えばポリシリコン（P o l y - S i ）からなる抵抗 4 は保護膜 1 6 a 上に形成されるとともに、当該抵抗 4 上には保護膜 1 6 b 及び信号導線 3 が形成されている。

【 0 0 6 5 】

なお、n 型半導体層 1 2 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 A M が形成されることとなる。

【 0 0 6 6 】

（第 4 実施形態）

40

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 5 0 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 5 0 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 5 0 は、分離部 2 0 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。

【 0 0 6 7 】

図 8 に示すように、p⁻ 型半導体層 1 3 は複数の増倍領域 A M を、各増倍領域 A M と各光検出チャンネル 1 0 とが互いに対応するように有する。各光検出チャンネル 1 0 間には、信号導線 3 及び抵抗 4 が形成されている。

【 0 0 6 8 】

フォトダイオードアレイ 5 0 でも、フォトダイオード 1 同様、ガイガーモードで動作さ

50

せたときにエッジブレー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。 10

【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。 20

【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。 30

【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）が電気的に接続され、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、検出チャネルの開口面積を大きくすることができる。 40

【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 50

ある。

【0076】

上述のように、図9から図14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13又はp型半導体層15に代えて、n型半導体層R13又はR15を用いている。この場合、pn接合は、低濃度のn型半導体層R13(又はR15)とp型半導体層14との界面に形成され、pn接合から空乏層がn型半導体層R13(又はR15)に向けて広がり、空乏層に対応して増倍領域AMがpn接合界面からn型半導体層R13(又はR15)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。

【0077】

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10がn型半導体層12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10が、第1導電型のn⁺型である半導体層12(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12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AMを当該各増倍領域AM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R13(又はR15)と、第1導電型のエピタキシャル半導体層R13(又はR15)中に形成され、当該エピタキシャル半導体層R13(又はR15)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14と、2つの端部を有し、光検出チャンネル10ごとに設けられ、一方の端部4aを介してエピタキシャル半導体層R13(又はR15)中の第2導電型の拡散領域14と電気的に接続されると共に他方の端部4b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。

【0078】

抵抗4は、図1に示したように、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に接続される複数の抵抗4は、当該読み出し部3aに対して接続される。

【0079】

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R13(又はR15)と当該エピタキシャル半導体層R13(又はR15)中に形成された第2導電型のエピタキシャル半導体層14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エピタキシャル半導体層R13(又はR15)に形成され、各光検出チャンネルに対応する増倍領域AMはこのエピタキシャル半導体層R13(又はR15)にある。

【0080】

図15は半導体層12の上に設けられるバッファ層12Xを示す断面図である。バッファ層12Xは、n型の半導体層からなる。n型半導体層12の上にn型の半導体からなるバッファ層12Xを用いてもよい。また、n型半導体層12の上に、p型の半導体からなるバッファ層12Xを用いても良い。この場合、当該n型の半導体層12とp型のバッファ層12X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AMが形成されることとなる。

【0081】

以上の説明は以下の通りである。

【0082】

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ー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は、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ライド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ー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。

10

【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。

20

【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ー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。

30

【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。

40

【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

50

。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、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。

10

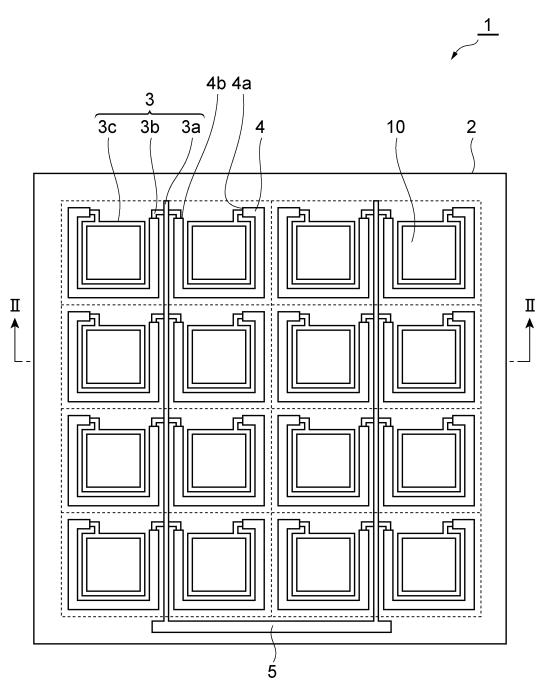
20

30

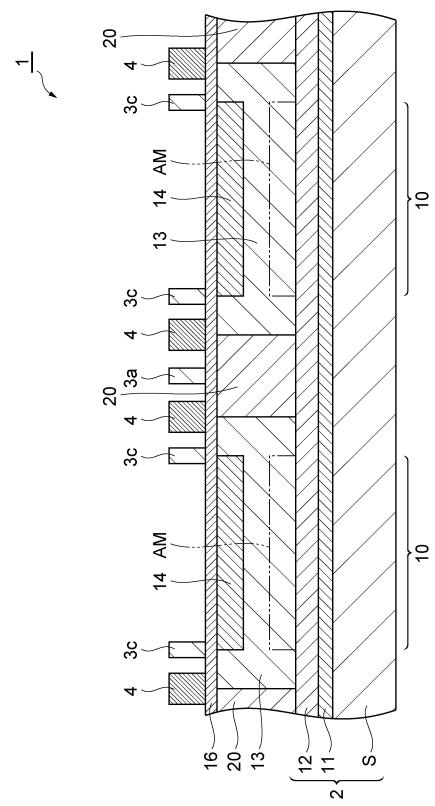
40

50

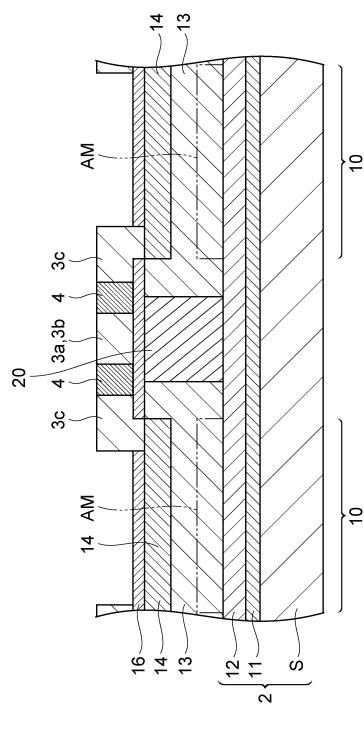
【図1】



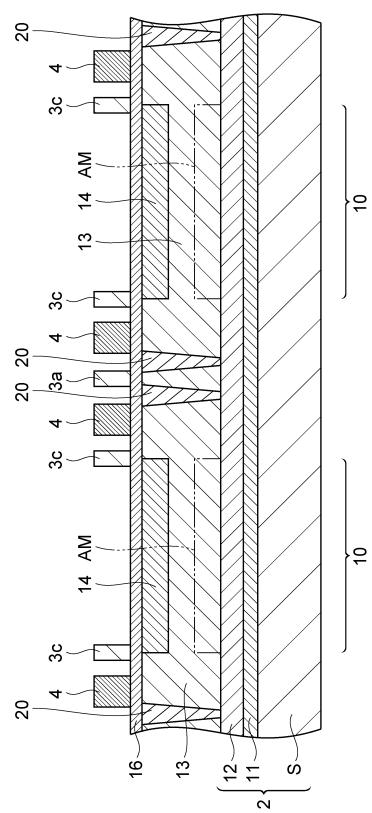
【図2】



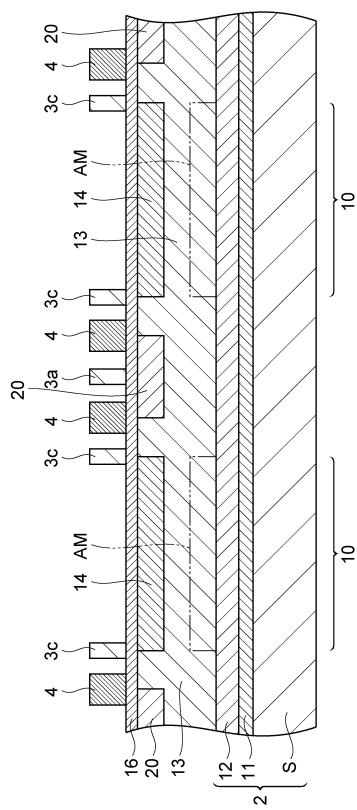
【図3】



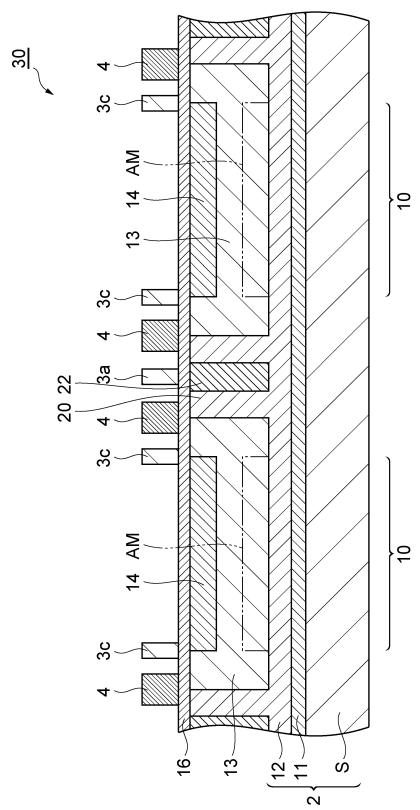
【図4】



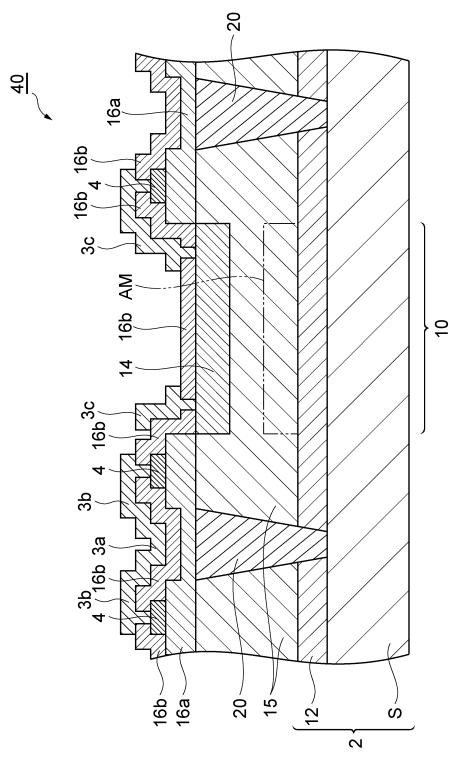
【図5】



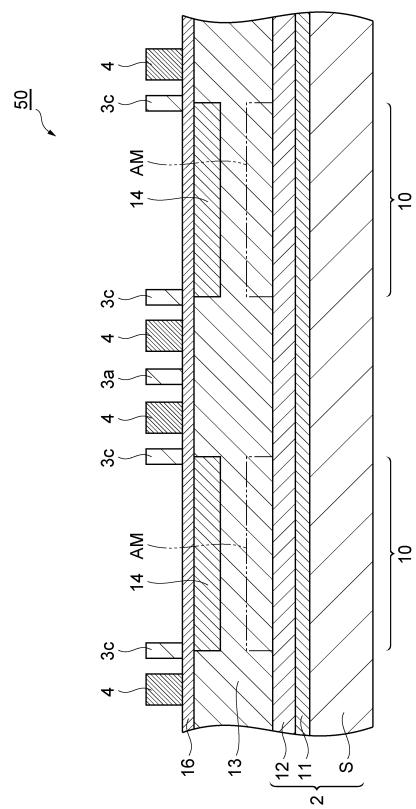
【図6】



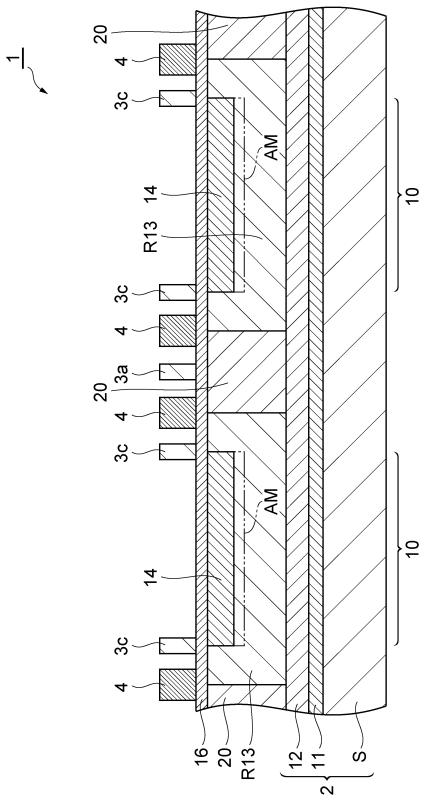
【 义 7 】



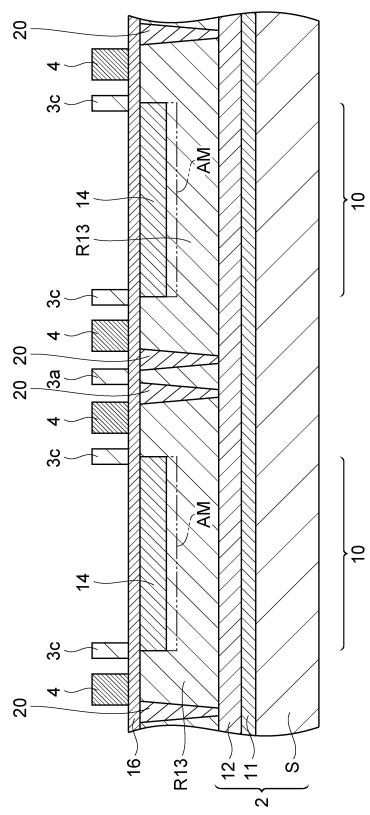
【 四 8 】



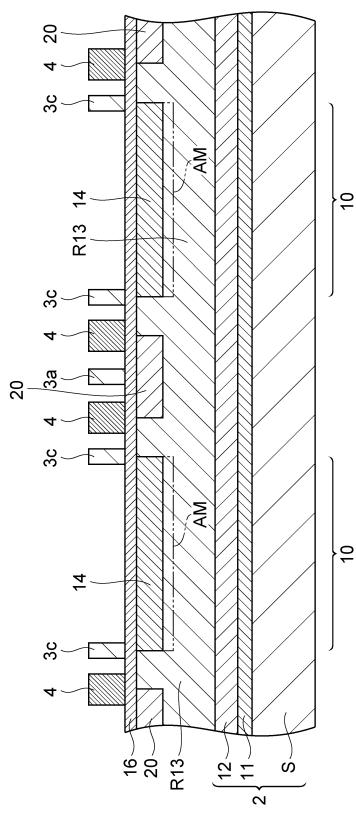
【図9】



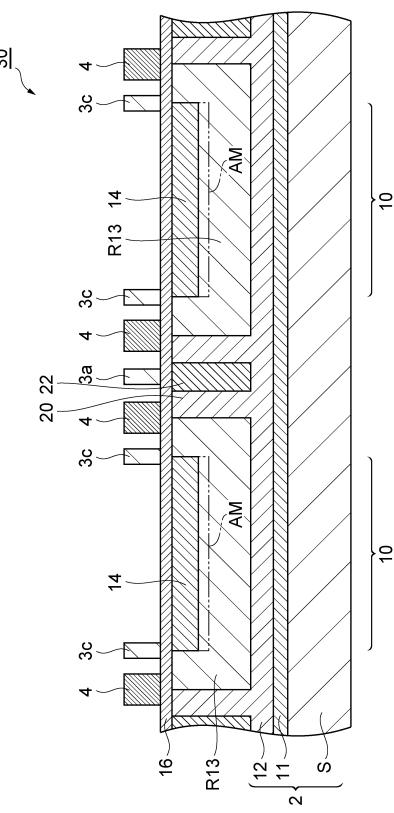
【図10】



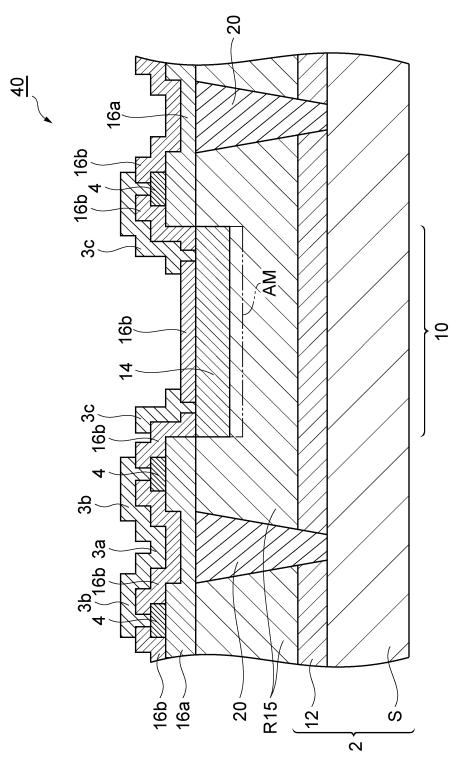
【図11】



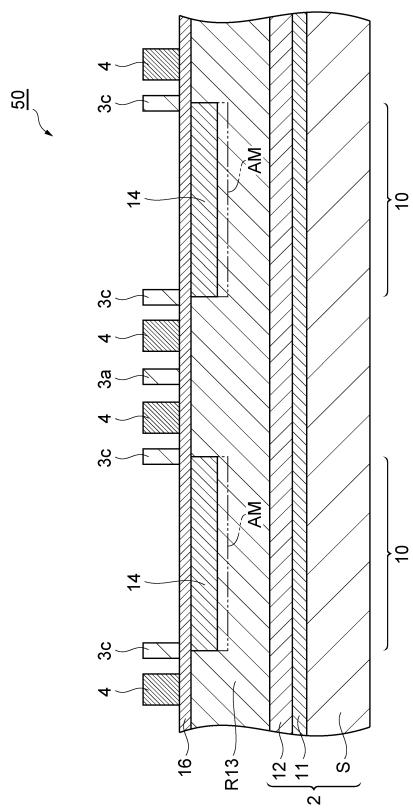
【図12】



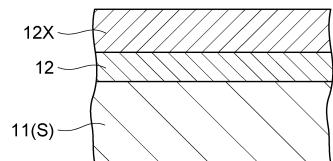
【図13】



【図14】



【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