

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4455996号
(P4455996)

(45) 発行日 平成22年4月21日(2010.4.21)

(24) 登録日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 27/146 (2006.01)	HO 1 L 27/14 F
HO 1 L 27/14 (2006.01)	HO 1 L 27/14 A
GO 1 T 1/20 (2006.01)	HO 1 L 27/14 K
HO 1 L 31/09 (2006.01)	GO 1 T 1/20 E
HO 4 N 5/321 (2006.01)	GO 1 T 1/20 G

請求項の数 12 (全 30 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2004-530546 (P2004-530546)	(73) 特許権者	000236436
(86) (22) 出願日	平成15年8月7日(2003.8.7)		浜松ホトニクス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2003/010093		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(87) 国際公開番号	W02004/019411	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成16年3月4日(2004.3.4)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成18年7月25日(2006.7.25)	(74) 代理人	100092657
(31) 優先権主張番号	特願2002-233562 (P2002-233562)		弁理士 寺崎 史朗
(32) 優先日	平成14年8月9日(2002.8.9)	(72) 発明者	柴山 勝己
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜
(31) 優先権主張番号	特願2003-15318 (P2003-15318)		松ホトニクス株式会社内
(32) 優先日	平成15年1月23日(2003.1.23)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	審査官	河本 充雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトダイオードアレイ、その製造方法、及び放射線検出器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光入射面側に複数の入射面側凹部を有すると共に前記光入射面とは逆側に前記入射面側凹部のそれぞれに対応して複数の反対面側凹部を有する半導体基板を備え、前記半導体基板の前記反対面側凹部の底部に p n 接合を備えた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 p n 接合は、前記反対面側凹部の底部から当該反対面側凹部を囲む反対面側枠部にまで延びてい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】

前記入射面側凹部の底面の面積は、前記反対面側凹部の底面の面積よりも大きい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 4】

前記入射面側凹部を囲む入射面側枠部には高不純物濃度領域が形成されてい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 5】

前記入射面側凹部を囲む入射面側枠部の形状は、被検出光の入射方向から見て格子状であ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 6】

前記反対面側凹部を囲む反対面側枠部上に前記 p n 接合からなるフォトダイオードの出

10

20

力を取り出す電極パッドを備えた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 7】

当該反対面側凹部の側面部を通り前記フォトダイオードと前記電極パッドとを電氣的に接続する配線電極を備えたことを特徴とする請求項 6 に記載のフォトダイオードアレイ。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 の何れか 1 項に記載のフォトダイオードアレイと、前記フォトダイオードアレイへの被検出光の入射面前方に配設されたシンチレータとを備えることを特徴とする放射線検出器。

【請求項 9】

10

第 1 導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板と、

この半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に接して設けられた第 1 導電型の半導体層と、

この第 1 導電型の半導体層の内部にアレイ状に配列して形成された第 2 導電型の複数の光検出層と、

を備え、

前記半導体基板は、前記光検出層に対応する領域が除去されることにより格子状に形成され、

前記半導体基板と前記半導体層との間には、絶縁層が介在されていることを特徴とするフォトダイオードアレイ。

20

【請求項 10】

第 1 導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板と、

この半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に接して設けられた第 1 導電型の半導体層と、

この第 1 導電型の半導体層の内部にアレイ状に配列して形成された第 2 導電型の複数の光検出層と、

を備え、

前記半導体基板は、前記光検出層に対応する領域が除去されることにより格子状に形成され、

前記半導体基板と前記半導体層は、互いに接する界面において結晶方位が交差することを特徴とするフォトダイオードアレイ。

30

【請求項 11】

少なくとも被検出光の入射面側とその反対面側が第 1 導電型の半導体で形成され、前記入射面側には第 1 導電型の不純物が高濃度に添加されている基板を準備する第 1 工程と、

前記基板の前記反対面側の第 1 導電型領域の内部に第 2 導電型の複数の光検出層をアレイ状に配列させて形成する第 2 工程と、

前記基板の前記光検出層に対応する領域を前記入射面側よりエッチングして薄化することにより、アレイ状に配列された複数の凹部と、これらを仕切る格子状の第 1 導電型の不純物が高濃度に添加された凸部を形成する第 3 工程と

を備え、

40

前記第 1 工程は、

第 1 導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、

前記半導体基板の前記被検出光の入射面と反対面側に第 1 導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、

を有し、

前記半導体基板と前記半導体薄板は、貼り合せ界面において結晶方位が交差するようにしたことを特徴とするフォトダイオードアレイの製造方法。

【請求項 12】

少なくとも被検出光の入射面側とその反対面側が第 1 導電型の半導体で形成され、前記入射面側には第 1 導電型の不純物が高濃度に添加されている基板を準備する第 1 工程と、

50

前記基板の前記反対面側の第 1 導電型領域の内部に第 2 導電型の複数の光検出層をアレイ状に配列させて形成する第 2 工程と、

前記基板の前記光検出層に対応する領域を前記入射面側よりエッチングして薄化することにより、アレイ状に配列された複数の凹部と、これらを仕切る格子状の第 1 導電型の不純物が高濃度に添加された凸部を形成する第 3 工程と

を備え、

前記第 1 工程は、

第 1 導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、

前記半導体基板の前記被検出光の入射面と反対面側に、絶縁層を介在させて第 1 導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、

を有することを特徴とするフォトダイオードアレイの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】

本発明は、フォトダイオードアレイ、その製造方法、及び放射線検出器に関する。

【0002】

【背景技術】

C T 用フォトダイオードアレイを実装する際は三次元方向への実装が必要である。三次元で実装を行うには、光入射面の反対側より信号を出力する必要がある、このためには一般的に裏面入射型フォトダイオードアレイが用いられる。

【0003】

裏面入射型のフォトダイオードアレイにおいては、p n 接合部と光入射面との間の距離が大きいと、基板内で発生したキャリアは、p n 接合部までの移動過程で再結合し信号として取り出せなくなる。したがって、検出感度向上のためには、p n 接合部と光入射面との距離を可能な限り小さくする必要がある。

【0004】

この距離を小さくする裏面入射型フォトダイオードアレイが提案されている（特許文献 1）。

【0005】

図 15 はこのフォトダイオードアレイの側断面図である。

【0006】

このフォトダイオードアレイ 101 では、基板の一方側から n 型層 103 に角柱状の p 型拡散層 105 を形成している。

【0007】

しかしながら、p 型拡散層 105 は不純物を注入することにより形成されているため、十分な感度が得られるための厚さにまで不純物層を均一に形成するのは困難である。

【0008】

このように、上記フォトダイオードアレイは製造が困難であるという欠点がある。

【0009】

また、フォトダイオードアレイ全体を薄板化することとすれば機械的強度を維持できず、その後の工程で破損しやすいという問題がある。

【0010】

そこで、フォトダイオードアレイを部分的に薄膜化する手法が考えられる。すなわち、フォトダイオードが形成された領域のみを薄くし、機械的強度を維持しつつ p n 接合部と光入射面との距離を小さくすることが考えられる。

【0011】

図 16 はこのフォトダイオードアレイの側断面図である。

【0012】

このフォトダイオードアレイでは、n 型層 103 の p 型拡散層 105 が形成された領域のみを被検出光入射面側から薄化し、薄化しない領域を枠部として元々の半導体基板の厚

10

20

30

40

50

そのまま残し、機械的強度を維持している。このフォトダイオードアレイは、 $p-n$ 接合部が形成された側（表面）とは反対側（裏面）から、それぞれの $p-n$ 接合部に対応する位置に、 n 型基板の凹部が形成されている。すなわち、1つの $p-n$ 接合部画素に対応して1つの凹部が形成されている。 $p-n$ 接合部画素と隣接する $p-n$ 接合部画素との間には凸部が形成されることとなる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

【特許文献1】

特開平7-333348号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、上記フォトダイオードアレイを放射線検出器として用いるとすると、フォトダイオードアレイの凸部をコレットに吸着して実装基板にフリップチップボンディングしたり、シンチレータをフォトダイオードアレイの凸部に当接させることとなる。

【0015】

その際に凸部の当接面が機械的なダメージを受け、リーク電流やキャリア発生による暗電流が増加する。

【0016】

20

この凸部は n 型層で構成されているので、凸部自体に入射する光や放射線によりキャリアが発生し、何れかの $p-n$ 接合部画素に入射することとなるためクロストークの原因となる。

【0017】

また、このフォトダイオードアレイにおいては、裏面側から略 55° の斜面で凹部が形成されるため、 $p-n$ 接合形成面側に近づくほど凹部の面積が狭くなり、凹部底面の面積が小さくなってしまう。

【0018】

よって、機械的強度を得るために枠部の幅を確保しようとする、 $p-n$ 接合形成面側において十分な光検出部面積を取ることができず、開口率の向上を図ることができない。

30

【0019】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、機械的強度を確保しつつ、開口率を向上させて検出感度を向上させることができるフォトダイオードアレイ及び放射線検出器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0020】

上記課題を解決するため、本発明に係るフォトダイオードアレイは、光入射面側に複数の入射面側凹部を有すると共に前記光入射面とは逆側に前記入射面側凹部のそれぞれに対応して複数の反対面側凹部を有する半導体基板を備え、前記半導体基板の前記反対面側凹部の底部に $p-n$ 接合を備えたことを特徴とする。

40

【0021】

本発明に係るフォトダイオードアレイでは、半導体基板の両面に凹部が形成されている。

【0022】

個々の凹部の底部は対向することとなるので、反対面側凹部の底部に形成された $p-n$ 接合と光入射面との距離は小さくなる。

【0023】

また、 $p-n$ 接合が形成された領域以外は、元々の基板の厚さのまま枠部として残すことができるので、半導体基板の機械的強度を維持することができる。

【0024】

50

凹部は、半導体基板を両面から薄化されることにより形成することができる。

【0025】

薄化時においては、基板の深さ方向に進行するに従って凹部の底部の面積が小さくなる。

【0026】

したがって、pn接合と光入射面との距離が同じであれば、何れか片面側からのみ凹部が形成された場合よりも、両面に凹部が形成された場合の方が凹部底面の面積を広くすることができ、光検出部の面積を増加、すなわち、開口率を向上することができる。

【0027】

また、入射面側凹部の底面の面積が、反対面側凹部の底面の面積よりも大きい場合には、入射面側凹部の周囲に位置する厚い枠部で減衰するエネルギー線の量を減少させることができ、開口率を向上させることができる。

10

【0028】

pn接合は反対面側凹部の底部から当該反対面側凹部を囲む反対面側枠部にまで延びていることを特徴としてもよい。

【0029】

この場合、底部と枠部間で発生する不要キャリアの影響を抑制することができる。

【0030】

さらに、p型不純物拡散層が反対面側枠部にまで伸びているので、反対面側枠部に形成するバンプ電極とp型不純物拡散層を接続するアルミ電極を反対面側凹部の内側面を這わせる必要がなくなりプロセスが容易になる。

20

【0031】

入射面側凹部を囲む入射面側枠部には、不純物が高濃度に添加された高不純物濃度領域が形成されていることとしてもよい。

【0032】

この場合、入射面側枠部に入射した光によって発生したキャリアは高不純物濃度領域で再結合し消滅するため、反対面側凹部の底部のpn接合まで移動するキャリアが減少し、各フォトダイオード間のクロストークを低減することができる。

【0033】

入射面側凹部を囲む入射面側枠部は、被検出光の入射方向から見て格子状となるように形成されていることとしてもよい。

30

【0034】

この場合、各入射面側凹部の位置はマトリクス状に座標が決定されるので、被検出光の入射位置が容易に判別できる。

【0035】

本フォトダイオードアレイは、反対面側凹部を囲む反対面側枠部上に、pn接合からなるフォトダイオードの出力を取り出す電極パッドを備えることとしてもよい。

【0036】

この場合、実装の際に、凹部からみて凸部に相当する枠部上の電極パッドを実装配線基板に当接させることができ、実装配線基板の配線が容易になる。

40

【0037】

本フォトダイオードアレイは、反対面側凹部の側面部を通りフォトダイオードと電極パッドとを電氣的に接続する配線電極を備えることとしてもよい。

【0038】

すなわち、配線電極は裏面から入射する被検出光を遮蔽することのない位置で、フォトダイオードと電極パッドとを接続することができ、また、電極パッドからフォトダイオードにバイアス電圧を与えたり信号を取り出すことができる。

【0039】

本発明に係る放射線検出器は、上述のフォトダイオードアレイと、フォトダイオードアレイへの被検出光の入射面前方に配設されたシンチレータとを備えることを特徴とする。

50

【 0 0 4 0 】

シンチレータに照射されたX線等のエネルギー線は、可視光に変換されるので、当該可視光をpn接合からなるフォトダイオードで検出することができる。

【 0 0 4 1 】

また、本発明のフォトダイオードアレイは、被検出光の入射面と反対面側に、pn接合型の複数のフォトダイオードがアレイ状に形成された半導体基板を備え、半導体基板は、複数のフォトダイオードの形成された領域が被検出光の入射面側から薄化されることにより、当該複数のフォトダイオードの形成された領域に挟まれた領域が被検出光の入射面側に向かって断面凸形状の凸部とされ、凸部には、フォトダイオードの被検出光の入射面側と同一導電型の高濃度不純物領域が形成されていることを特徴とする。

10

【 0 0 4 2 】

上記フォトダイオードアレイによれば、断面凸形状の凸部に入射した光によって発生したキャリアは高不純物濃度領域で再結合し消滅するため、フォトダイオード間のクロストークを低減することができる。同時にフォトダイオードの形成された領域のみを薄化し、それ以外の領域は肉厚のままとすることにより、基板全体の機械的強度を維持することができ、基板自体の反り・歪み等の発生を抑えることができる。

【 0 0 4 3 】

また、本発明のフォトダイオードアレイは、少なくとも被検出光の入射面と反対面側が第1導電型にされた半導体基板と、この半導体基板の反対面側の第1導電型領域内部にアレイ状に配列して形成された第2導電型の複数の光検出層と、を備え、半導体基板の被検出光の入射面側には、光検出層に対応する領域が当該入射面側より薄化されることによりアレイ状に配列された複数の凹部が形成され、複数の凹部を仕切る凸部には、第1導電型の不純物が高濃度に添加されていることを特徴とする。

20

【 0 0 4 4 】

また、本発明のフォトダイオードアレイは、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板と、この半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に接して設けられた第1導電型の半導体層と、この第1導電型の半導体層の内部にアレイ状に配列して形成された第2導電型の複数の光検出層と、を備え、半導体基板は、光検出層に対応する領域が除去されることにより格子状に成形されていることを特徴とする。

【 0 0 4 5 】

また、本発明のフォトダイオードアレイは、半導体基板と半導体層との間には、エッチングストップ層が介在されていることを特徴としてもよい。

30

【 0 0 4 6 】

上記フォトダイオードによれば、エッチングストップ層を有しているので、凹部形成工程においてその層でエッチングをストップすることができ、該工程の制御が容易となる。

【 0 0 4 7 】

また、本発明のフォトダイオードアレイは、半導体基板と半導体層との間には、絶縁層が介在されていることを特徴としてもよい。

【 0 0 4 8 】

上記フォトダイオードによれば、半導体基板と半導体層との間に絶縁層を有しているので、半導体基板で生じたキャリアが絶縁層で止められ、半導体層内部のフォトダイオードを形成するpn接合部まで達することがなくなるため、クロストークをさらに低減することができる。

40

【 0 0 4 9 】

また、本発明のフォトダイオードアレイは、半導体基板と半導体層は、互いに接する界面において結晶方位が交差することを特徴としてもよい。

【 0 0 5 0 】

上記フォトダイオードによれば、半導体基板と半導体層が、互いに接する界面において結晶方位が交差しているので、凹部形成工程において半導体基板と半導体層の界面でエッチングをストップすることができ、該工程の制御が容易となる。

50

【 0 0 5 1 】

本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、少なくとも被検出光の入射面側とその反対面側が第1導電型の半導体で形成され、入射面側には第1導電型の不純物が高濃度に添加されている基板を準備する第1工程と、基板の反対面側の第1導電型領域の内部に第2導電型の複数の光検出層をアレイ状に配列させて形成する第2工程と、基板の光検出層に対応する領域を入射面側よりエッチングして薄化することにより、アレイ状に配列された複数の凹部と、これらを仕切る格子状の第1導電型の不純物が高濃度に添加された凸部を形成する第3工程とを備えることを特徴とする。

【 0 0 5 2 】

本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1工程は、第1導電型の半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面側に第1導電型の不純物を高濃度に添加させる工程と、を有することを特徴としてもよい。

10

【 0 0 5 3 】

上記製造方法によれば、第1導電型の不純物領域を他の方法（例えば基板の貼り合わせ等）によって形成した場合と異なり、基板の被検出光の入射面側ほど不純物濃度が高く凸部の不純物濃度が高い。このため、発生したキャリアを再結合・消滅させる効果が高くなり、暗電流、リーク電流、クロストークを低減させる効果も大きくなる。

【 0 0 5 4 】

本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1工程は、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に第1導電型の半導体層を結晶成長させる工程と、を有することを特徴としてもよい。

20

【 0 0 5 5 】

上記製造方法によれば、第1導電型の半導体層を結晶成長によって形成しているので、エッチング工程で平坦な凹部の面を形成することができる。

【 0 0 5 6 】

また、上記製造方法によれば、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板は厚く、深さ方向で濃度が均一にできるため、凸部に入射した短波長から長波長の光によって発生するキャリアを再結合させることが可能となり、クロストークを低減させる効果がある。

30

【 0 0 5 7 】

本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1工程は、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に第1導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、を有し、半導体基板と半導体薄板は、貼り合わせ界面において結晶方位が交差するようにしたことを特徴としてもよい。

【 0 0 5 8 】

上記製造方法によれば、半導体基板と半導体薄板が、貼り合わせ界面において結晶方位が交差しているので、凹部形成工程において半導体基板と半導体薄板の界面でエッチングをストップすることができ、該工程の制御が容易となる。

【 0 0 5 9 】

40

また、上記製造方法によれば、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板は厚く、深さ方向で濃度が均一にできるため、凸部に入射した短波長から長波長の光によって発生するキャリアを再結合させることが可能となり、クロストークを低減させる効果がある。

【 0 0 6 0 】

本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1工程は、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に、エッチングストップ膜を介在させて第1導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、を有することを特徴としてもよい。

【 0 0 6 1 】

50

上記製造方法によれば、基板の第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板と第1導電型の半導体薄板との間にエッチングストップ層を有しているため、凹部形成工程においてその層でエッチングをストップすることができ、該工程の制御が容易となる。

【0062】

また、本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に、絶縁層を介在させて第1導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、を有することを特徴としてもよい。

【0063】

10

上記製造方法によれば、半導体基板と半導体層との間に絶縁層を形成している。このため半導体基板で生じたキャリアが絶縁層で止められ、半導体層内部のフォトダイオード受光面まで達することがなく、クロストークをさらに低減することができるフォトダイオードを製造することができる。

【0064】

本発明の放射線検出器は、本発明のフォトダイオードアレイと、このフォトダイオードアレイの被検出光の入射面側に取り付けられ、放射線の入射により発光するシンチレータパネルと、を備えることを特徴とする。

【0065】

また、本発明の放射線検出器は、本発明の製造方法で製造されたフォトダイオードアレイと、このフォトダイオードアレイの被検出光の入射面側に取り付けられ、放射線の入射により発光するシンチレータパネルと、を備えることを特徴とする。

20

【0066】

上記放射線検出器は、本発明のフォトダイオードアレイを備えている。このためフォトダイオードアレイの凸部で発生したキャリアは再結合・消滅するので暗電流やクロストークを低減することができる。また実装の際にフォトダイオードアレイの凹部に光検出領域があるため機械的ダメージを受けにくく、光検出領域の欠陥が生じにくい。

【発明の効果】

【0067】

本発明によれば、機械的強度を確保しつつ、開口率を向上させて検出感度を向上させることができるフォトダイオードアレイ及び放射線検出器を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0068】

【図1】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの概略平面図である。

【図2】 第1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3】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【図4】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【図5】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【図6】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【図7】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

40

【図8】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【図9】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【図10】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

。

【図11】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

。

【図12】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

。

【図13A】 第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの概略断面図である。

【図13B】 比較例のフォトダイオードアレイの概略断面図である。

50

- 【図 1 4】 第 1 実施形態に係る放射線検出器の断面図である。
- 【図 1 5】 従来技術に係るフォトダイオードアレイの断面図である。
- 【図 1 6】 比較例に係るフォトダイオードアレイの概略断面図である。
- 【図 1 7】 第 2 実施形態のフォトダイオードアレイの上面図である。
- 【図 1 8】 第 2 実施形態のフォトダイオードアレイの側断面図である。
- 【図 1 9】 第 2 実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。
- 【図 2 0】 第 2 実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。
- 【図 2 1】 第 2 実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。
- 【図 2 2】 第 2 実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。
- 【図 2 3】 第 2 実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。 10
- 【図 2 4】 第 3 実施形態のフォトダイオードアレイの側断面図である。
- 【図 2 5】 第 4 実施形態のフォトダイオードアレイの側断面図である。
- 【図 2 6】 第 5 実施形態のフォトダイオードアレイの側断面図である。
- 【図 2 7】 実施形態に係る半導体基板の側断面図である。
- 【図 2 8】 実施形態に係る放射線検出器の側断面図である。
- 【図 2 9 A】 受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図である。
- 【図 2 9 B】 図 2 9 A に示したフォトダイオードアレイの X I V - X I V 断面図である。
- 。 【図 3 0 A】 受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図である。
- 【図 3 0 B】 図 3 0 A に示したフォトダイオードアレイの X V - X V 断面図である。 20
- 【図 3 1 A】 受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図である。
- 【図 3 1 B】 図 3 1 A に示したフォトダイオードアレイの X V I - X V I 断面図である。
- 。 【図 3 2 A】 図 3 2 B に示したフォトダイオードアレイのチップ端部分の拡大図である。
- 。 【図 3 2 B】 実施形態に係るフォトダイオードアレイチップ端の受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図である。
- 【発明を実施するための形態】
- 【 0 0 6 9 】
- 以下、図面を参照しながら実施の形態に係る放射線撮像装置について説明する。なお、 30
- 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。
- (第 1 実施形態)
- 【 0 0 7 0 】
- 図 1 は実施形態に係るフォトダイオードアレイを表面側から見たフォトダイオードアレイの平面図であり、図 2 は図 1 に示したフォトダイオードアレイの I I - I I 矢印断面図である。以下の説明において、被検出光の入射面を裏面 (back side) とし、被検出光の入射面の反対側の面を表面 (front side) とする。
- 【 0 0 7 1 】
- 図 1 に示すように、本実施形態のフォトダイオードアレイ 1 は複数の p n 接合 3 が 2 次元 40
- 的に縦横に規則正しく配列されており、p n 接合の一つ一つがフォトダイオードの光感応画素としての機能を有している。
- 【 0 0 7 2 】
- フォトダイオードアレイ 1 はシリコン (S i) からなる n 型の半導体基板 5 を備えている。n 型半導体基板 5 は、n 型半導体層 5 a と基板裏面側から n 型不純物を拡散してなる n⁺型高不純物濃度層 5 b とを有している。
- 【 0 0 7 3 】
- n 型半導体基板 5 の裏面側は、目的とする光感応画素を構成する所定のピッチ、所定の 50
- 大きさ・深さで四角錐状に凹部が形成されることで薄化されており、この薄型部 (凹部) は入射面側凹部 7 を構成し、2 次元的に配列されている。隣接する入射面側凹部 7 同士に

挟まれた領域は入射面側凹部 7 を囲む入射面側枠部 9 を構成する。

【 0 0 7 4 】

n 型半導体基板 5 の表面側には入射面側凹部 7 に対応する位置が薄化されることにより反対面側凹部 1 1 が形成され、二次元状に配列されている。隣接する反対面側凹部 1 1 同士に挟まれた領域は、反対面側凹部 1 1 を囲む反対面側枠部 1 3 を形成している。n 型半導体基板 5 には、入射面側凹部 7 と反対面側凹部 1 1 とで厚み方向に挟まれた薄化部分である薄型部がアレイ状に配列されている。

【 0 0 7 5 】

n 型半導体基板 5 の薄型部以外の部分は入射面側枠部 9 及び反対面側枠部 1 3 によって厚板部となっている。薄型部が所定のピッチ、所定の大きさで 2 次的にマトリクス配列されていることから、枠部としての厚板部は被検出光の入射方向から見て格子状に形成されていることとなる。この場合、各入射面側凹部の位置はマトリクス状に座標が決定されるので、被検出光の入射位置が容易に判別できる。

【 0 0 7 6 】

反対面側凹部 1 1 及び入射面側凹部 7 の内側面は、基板表面と略 5 5 ° の角度をなし、四角錐台を構成している。反対面側凹部 1 1 及び入射面側凹部 7 の形状は相似形であっても相似形でなくてもよく、深さが同じであっても相違していてもよいが、本例の場合、入射面側凹部 7 の深さは反対面側凹部 1 1 の深さよりも浅く、入射面側凹部 7 の底面の面積が、反対面側凹部 1 1 の底面の面積よりも大きくなるように設定されている。この場合、入射面側凹部 7 の周囲に位置する厚板の枠部で減衰するエネルギー線の量を減少させることができ、開口率を向上させることができる。

【 0 0 7 7 】

n 型半導体基板 5 は厚さ 1 0 0 ~ 3 5 0 μm 、半導体層 5 a の不純物濃度は $1 \times 1 0^{12} \sim 1 0^{15} / \text{cm}^3$ である。入射面側凹部 7 の大きさは 1 mm $\times$ 1 mm、配列ピッチは縦横とも 1 . 5 mm、深さは 5 0 μm 程度となっている。反対面側凹部 1 1 は大きさが入射面側凹部 7 よりも小さくあり、配列ピッチについては入射面側凹部 7 と同一である。

【 0 0 7 8 】

それぞれの反対面側凹部 1 1 には、p 型不純物拡散層 1 5 が、当該反対面側凹部 1 1 を囲む反対面側枠部 1 3 から当該反対面側凹部 1 1 の底面まで連続して延びている。n 型半導体基板 5 と p 型不純物拡散層 1 5 との間で形成される p n 接合 3 により、フォトダイオードの光感応画素が構成されている。隣接する p 型不純物拡散層 1 5 同士の間には、フォトダイオード間を分離するチャネルストッパとして機能する n⁺ 型不純物領域 (分離層) 1 7 が配置されている。

【 0 0 7 9 】

p 型不純物拡散層 1 5 の不純物濃度は $1 \times 1 0^{13} \sim 1 0^{20} / \text{cm}^3$ 、n⁺ 型不純物領域 (分離層) 1 7 の不純物濃度は $1 \times 1 0^{13} \sim 1 0^{20} / \text{cm}^3$ である。

【 0 1 1 4 】

p 型不純物拡散層 1 5 は、反対面側枠部 1 3 上に配設されたアルミ電極 1 9 (配線電極) に接触して接続されており、アルミ電極 1 9、アンダーバンプメタル (以下「UBM」という) 2 3、及びバンプ電極 2 5 (電極パッド) を介して表面側から外部と電気的なコンタクトを取り、フォトダイオードの出力が外部に取り出されるようになっている。

【 0 0 8 0 】

本実施形態では、p 型不純物拡散層 1 5 が反対面側枠部 1 3 にまで連なり、バンプ電極 2 5 の近傍に延びて形成され、アルミ電極 1 9 は反対面側枠部 1 3 上に形成され、p 型不純物拡散層 1 5 と UBM 2 3 とを電氣的に接続している。p 型不純物拡散層 1 5 が反対面側凹部 1 1 の底部にのみ形成されている場合には、アルミ電極は、p 型不純物拡散層 1 5 と反対面側枠部 1 3 に配設されたバンプ電極 2 5 とを接続すべく、反対面側凹部 1 1 の内側の側面部に形成されることとなる。UBM 2 3 は SiN 又は SiO₂ などからなるパッシベーション層 2 1 を厚み方向に貫通し、アルミ電極 1 9 とバンプ電極 2 5 とを電氣的に接続している。

【 0 0 8 1 】

また、図示しないが、基板電極も同様に分離層 (n+) にコンタクトホールを形成し、反対面側枠部 1 3 上にアルミ電極とUBMとパンプ電極を形成することにより取り出すことができる。

【 0 0 8 2 】

n型半導体基板 5 の裏面側には、入射面側凹部 7 から入射面側枠部 9 まで連続して裏面全体を覆うようにアキュムレーション層 2 7 が形成されている。アキュムレーション層 2 7 は n⁺型不純物拡散によって不純物濃度が高くなるようにされており、入射面側枠部 9 に対応する領域においては n⁺型高不純物濃度層 5 b と連結されている。すなわち、入射面側枠部 9 には、不純物が高濃度に添加された n⁺型高不純物濃度層 5 b が占める領域が

10

【 0 0 8 3 】

アキュムレーション層 2 7 は高感度化、低暗電流化を図るため裏面側で発生する不要キャリアを再結合させる役割と、拡散電位による内蔵電界によってキャリアを p n 接合方向に導く役割を果たす。アキュムレーション層 2 7 の不純物濃度は $1 \times 10^{15} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ 、アキュムレーション層 2 7 の厚さは 0 . 1 μm ~ 数 μm である。また、アキュムレーション層 2 7 のさらに裏面側にはシリコン酸化膜 2 9 が設けられており、反射防止膜 (A R コート) として機能する。

【 0 0 8 4 】

上記のように本実施形態のフォトダイオードアレイ 1 では、p n 接合 3 に対応する領域は、裏面側及び表面側の両方から薄化され基板の厚さが薄くなっている。一方、薄化された領域以外の領域は基板が元々の基板の厚さのまま残され、凹部を囲む厚板の枠部を形成している。入射面側枠部 9 には高不純物濃度の領域である n⁺型高不純物濃度層 5 b が形成されている。n⁺型高不純物濃度層 5 b の不純物濃度は、 $1 \times 10^{15} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ である。

20

【 0 0 8 5 】

続いて、本実施形態に係るフォトダイオードアレイ 1 の製造方法について、図 3 ~ 図 1 2 に基づいて説明する。

【 0 0 8 6 】

まず、厚さ 1 5 0 μm ~ 5 0 0 μm 程度の結晶面 (1 0 0) の n 型シリコンの基板 5 を準備する。n 型シリコンの基板 5 の裏面側に n⁺型高不純物濃度層 5 b を熱拡散により形成し、n 型半導体層 5 a、n⁺型高不純物濃度層 5 b の 2 層構造の基板を作製する (図 3 参照) 。

30

【 0 0 8 7 】

次に、基板の表面、裏面に熱酸化を施しシリコン熱酸化膜 4 1 を形成する (図 4 参照) 。シリコン熱酸化膜 4 1 は後工程の高濃度 n 型不純物のドーピング用マスクとして利用される。

【 0 0 8 8 】

次に、分離層 1 7 を形成する。フォトリソグラフィとエッチング液により、分離層 1 7 の予定位置のシリコン熱酸化膜 4 1 を開口させる。さらに、シリコン熱酸化膜 4 1 をマスクとしてリンを基板中にドーピングさせ分離層 1 7 を形成し、基板を熱酸化することによって上記開口を閉塞する (図 5 参照) 。

40

【 0 0 8 9 】

次に、分離層 1 7 間の領域のシリコン熱酸化膜をフォトリソグラフィとエッチング液により開口させる。さらに、この熱酸化膜をマスクとしてボロンを基板中にドーピングし p 型不純物拡散層 1 5 を形成し、熱酸化することによって当該開口を閉塞する。これにより、分離層 1 7 によって隔離された複数の p n 接合 3 がマトリックス状に形成され、この p n 接合 3 が光感応画素に対応する部分となる (図 6 参照) 。なお、フォトダイオードを構成する p n 接合は、p 型不純物拡散層 1 5 と n 型半導体層 5 a との間に形成される。

【 0 0 9 0 】

50

次に、基板の光感応領域を所望の厚さに調整するために裏面側を化学機械研磨（CMP）する。

【0091】

基板の表面側及び裏面側にプラズマCVD（化学的気相成長）法あるいはLP-CVD（低圧気相成長法）よりシリコン窒化（SiN）膜43を形成し、反対面側凹部11、入射面側凹部7に対応する部分のシリコン窒化膜43とシリコン熱酸化膜41をエッチングにより除去する。

【0092】

すなわち、まず、SiN膜43を反対面上に形成し、フォトリソグラフィによってパターン化されたフォトレジストをマスクとして、pn接合3上の領域をエッチングにより除去し、p型不純物拡散層15の表面を露出させる（図7参照）。

10

【0093】

そして、アルカリエッチング（水酸化カリウム溶液やTMAHなどを用いる）により、基板の反対面側に異方性エッチングを施す。これによって、光感応画素に対応する部分に反対面側凹部11が形成され、エッチングされなかった部分が、それぞれの反対面側凹部11を囲む反対面側枠部13となる。このエッチングは少なくとも2μm以上の深さになるまで行い、p型不純物を反対面側の露出表面から拡散又はイオン注入して、凹部内にもp型不純物層15を形成し、次に、当該凹部内面を覆う熱酸化膜21'を形成する。

【0094】

同様に、光入射側としての基板裏面側にも、反対面側凹部11に対向した位置でSiN膜43とシリコン熱酸化膜41を開口し、これをマスクとして（図8参照）基板に異方性エッチングを施し、それぞれの反対面側凹部11に対応する位置に、入射面側凹部7及びそれぞれの入射面側凹部7を囲む入射面側枠部9を形成する。エッチングは少なくとも2μm以上の深さになるまで行い、少なくとも表面側のpn接合3と、後に形成する裏面側のアキュムレーション層27が競合しない基板厚さが残るように行う。

20

【0095】

基板両面に位置するシリコン窒化膜43を除去した後、裏面側の凹部内にn型イオン種（リンや砒素）をドーピングすることで、不純物濃度 $10^{15} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ のアキュムレーション層27を形成する。その後、熱酸化膜45を形成する。これによってn⁺型高不純物濃度層5bはアキュムレーション層27と一体化する。アキュムレーション層27の厚さは表面側のpn接合3に達しない厚さに設定される。

30

【0096】

次に、所望の分光特性を得るためのARコート29を裏面側に形成する（図9参照）。前述の熱酸化膜45をそのままARコート29とするか、あるいはバッファ酸化膜を除去し再熱酸化又は追加熱酸化により膜厚調整することでARコート29としてもよい。又は熱酸化膜とSiN、その他光学薄膜などとの複合膜や積層膜でARコート29を形成してもよい。

【0097】

その後、表面にp型不純物拡散層15のコンタクトホールを熱酸化膜21'に形成し、少なくともコンタクトホール内に埋設されるようにアルミ電極19を形成する（図10参照）。このアルミ電極19上にパンプ電極を形成する部分を開口した状態でパッシベーション層21をパターンニングする。なお、アルミ電極19は、p型不純物拡散層15とパンプ電極を電氣的に接続するように形成すればよい。

40

【0098】

また、図示しないが、基板電極も同様に分離層17を介してパンプ電極を設けることができる。

【0099】

パッシベーション層21にはプラズマCVDにより形成されたSiNやSiO₂、PSG、PSAG、SiONあるいはポリイミド樹脂やアクリル樹脂、エポキシ樹脂、ウレタン樹脂やそれを含む複合素材を利用することができる。

50

【0100】

パンプ電極として半田を用いる場合、半田はアルミニウムに対する濡れ性が悪いので、アルミニウムと半田パンプ電極25とを仲介するためのUBM23を、パッシベーション膜21の開口内に形成し(図11参照)、さらに重ねてUBM23上に半田パンプ電極25を形成する(図12参照)。UBM23は無電解メッキでNi-Auを形成するが、リフトオフ法でTi-Pt-AuやCr-Auを形成することでも実現できる。

【0101】

半田パンプは半田ボール搭載法や印刷法で所定のUBM部分に半田を形成しリフローすることで得ることができる。また、パンプは半田に限られるものではなく、金パンプ、ニッケルパンプ、銅パンプ、導電性樹脂パンプなど金属を含む導電性パンプでもよい。

10

【0102】

上記フォトダイオードアレイ1では、半導体基板が両面側から薄化された領域にpn接合3が形成されているので、pn接合部3と光入射面との距離を小さくしつつpn接合3が形成された領域以外は元々の基板の厚さのまま枠部として残ることとなり、基板全体の機械的強度を維持することができる。また、上記フォトダイオードアレイ1では、基板の両側から薄化されることにより凹部が形成されている。

【0103】

図13Aは基板片面側からのみ薄化されたフォトダイオードアレイの断面形状を、図13Bは基板の両面から薄化された本実施形態のフォトダイオードアレイの断面形状を模式的に表したものである。両者は基板厚さ(T1、T2)、フォトダイオード領域の厚さ(t1、t2)、枠部の幅(u1、u2)が等しいが、凹部の底面の面積(S1、S2)は本実施形態のフォトダイオードアレイの方が大きいことが解かる。よって、本実施形態のフォトダイオードアレイ1によれば、pn接合部3と光入射面との距離が同じで枠部の幅が同じであっても、何れか片面側からのみ凹部が形成された場合よりも、両面でエッチングを行った方が、凹部の底面の面積が広がるため、広い光検出部面積を確保することができ、開口率を向上することができる。

20

【0104】

上記フォトダイオードアレイ1では、反対面側凹部11形成の際に内側面と反対面側枠部13とのエッジ部がダメージやストレスを受けやすく、不要キャリアが発生しやすい。しかし、p型不純物拡散層15が反対面側枠部13から反対面側凹部11の内側面を介して該反対面側凹部11の底面まで連なって形成されているため、エッジ部はp型不純物拡散層15で構成されていることとなり、エッジ部で発生した不要キャリアの影響を抑制することができ、暗電流やクロストークの低減を図ることができる。

30

【0105】

上記フォトダイオードアレイ1では、入射面側凹部7の底面の面積が、反対面側凹部11の面積よりも大きくなっている。よって、入射面側枠部9に入射した検出光により発生したキャリアが凹部底面のpn接合まで移動することを抑制することができ、暗電流やクロストークの低減を図ることができる。

【0106】

上記フォトダイオードアレイ1によれば、入射面側枠部9及び入射面側凹部7にはn型不純物濃度が高い領域であるn⁺型高不純物濃度層5bが存在するため、入射面側枠部9に光が入射することで発生したキャリアは、n⁺型高不純物濃度層5bで再結合し消滅し、p型不純物拡散層15にまで移動することは少なくなる。このn⁺型高不純物濃度層5bの厚みは、キャリアの拡散長よりも長く設定することができる。したがってフォトダイオードを流れる電流チャンネル間に相当する入射面側枠部9に入射する光によって発生するフォトダイオード間のクロストークを低減することができる。

40

【0107】

また、枠部(凸部)9を用いることにより、枠部9で発生した不要キャリア(キャリア出力用の電極までの走行距離が長いキャリア)は、n⁺型高不純物濃度層(不感領域)5bでトラップされるため、光検出波形の裾引きがなくなり、応答速度が速くなるという効

50

果もある。なお、このような枠部 9 に設けられる不感領域としては、絶縁層等を採用することもできる。

【0108】

上記フォトダイオードアレイ 1 によれば反対面側枠部 13 上にパンプ電極 25 が形成されているため、実装の際には反対面側枠部 13 において実装配線基板と当接させることができ、実装配線基板の配線が煩雑になることを避けることができる。

【0109】

上記フォトダイオードアレイ 1 によれば、反対面側凹部 11 の内側面にアルミ電極 19 が形成されているので、フォトダイオードを反対面側凹部 11 の底部にのみ形成する場合であってもアルミ電極 19 によって p 型不純物拡散層 15 と反対面側枠部 13 の接触を仲介することができ、パンプ電極 25 を反対面側枠部 13 上に形成することができる。

10

【0110】

なお、本実施形態のフォトダイオードアレイでは、n 型シリコンの基板 5 の裏面側に n⁺型高不純物濃度層 5b を熱拡散により形成し、n 型半導体層 5a、n⁺型高不純物濃度層 5b を有する 2 層構造の半導体基板 5 を作製しているが、上記 2 層の間に絶縁膜又は上記 2 層との界面において結晶方位が交差する半導体層を設け、薄型部形成の際のエッチングストップ層として機能させることによって、エッチング工程の制御を容易にしてもよい。

【0111】

次に、本発明の放射線検出器の実施形態について説明する。

【0112】

20

図 14 は本実施形態に係る放射線検出器 70 の側断面図である。本放射線検出器 70 は、X 線等の放射線 h ν が入射した場合に蛍光を生じ、その光出射面から出射するシンチレータ 71 と、シンチレータ 71 から出射された光を入射し、電気信号に変換する上述のフォトダイオードアレイ 1 と、実装配線基板 73 とを備えている。

【0113】

シンチレータ 71 はフォトダイオードアレイ 1 の裏面側に設置され、入射面側枠部 9 においてフォトダイオードアレイ 1 と当接している。このためシンチレータ 71 と入射面側凹部 7 との間には隙間が存在することとなるが、この隙間にはシンチレータ 71 からの蛍光を透過させるのに十分な屈折率を有するカップリング樹脂 75 が充填され、シンチレータ 71 から出射された光が効率よくフォトダイオードアレイ 1 に入射できるようになっている。

30

【0114】

実装配線基板 73 上の配線 73' は、フォトダイオードアレイ 1 の表面側に設置され、パンプ電極 25 を介してフォトダイオードアレイ 1 を構成する個々のフォトダイオードと電氣的に接続されている。この実装形態はフリップチップ実装であり、パンプ電極 25 は半田パンプ、金パンプ、ニッケルパンプ、銅パンプ、導電性樹脂パンプなど金属を含む導電性パンプ等が用いられる。

【0115】

また、ボンディング方式としてはダイレクトボンディング方式又はこれにアンダーフィル樹脂を充填する方式、異方性導電性フィルム (ACF)、異方性導電性ペースト方式 (ACP)、非導電性ペースト (NCP) 方式などの形態を用いてもよい。

40

【0116】

実装配線基板 73 上にフォトダイオードアレイ 1 をボンディングする際には吸着コレットで入射面側枠部 9 を吸着することとなるが、その際に入射面側枠部 9 に機械的ダメージが加わり、その欠陥部分によって暗電流や雑音となるキャリアが発生することとなる。また、フォトダイオードアレイ 1 の裏面側にシンチレータ 71 を設置する際は入射面側枠部 9 にシンチレータ 71 を当接させることとなるが、その際にも入射面側枠部 9 に機械的ダメージが加わり、不要キャリアが発生することとなる。

【0117】

ところが上記放射線検出器によれば、上記本発明に係るフォトダイオードアレイを用い

50

ており、入射面側枠部 9 が高不純物濃度の n^+ 型拡散層 5 b で構成されており、発生したキャリアを再結合させ、かかる暗電流や雑音を低減することができる。

【0118】

また、上記放射線検出器では、フォトダイオードアレイ 1 の光感応画素間に入射面側枠部 9 を配置しているため、入射する光を画素ごとに分離することができる。さらに、入射面側枠部 9 が高不純物濃度の n^+ 型拡散層 5 b で構成されているため、入射面側枠部 9 に入射した光により発生したキャリアが再結合する。このため、光感応画素と光感応画素との間、すなわち枠部 9 に入射した光は信号として取り出されることが抑制される。すなわち、上記放射線検出器は光感応画素間のクロストークを改善することが可能となる。

【0119】

放射線検出器において、裏面に凹凸のないフォトダイオードアレイを用いることとすれば、実装配線基板 7 3 上にフォトダイオードアレイをボンディングする際に吸着コレットが直接光感応画素に触れることとなる。またシンチレータ装着の際にも同様にシンチレータが直接光感応画素に触れることとなるため、光感応画素を傷つけ、画素欠陥の原因となりやすい。ところが上記放射線検出器によれば、光感応画素部は反対面側凹部 1 1 に配置されているため、実装工程において直接光感応画素が接触を受けることもなくなるため機械的なダメージを受けにくくなり、光感応画素欠陥を防止することができる。

【0120】

上述のように、本発明のフォトダイオードアレイ及び放射線検出器によれば、検出感度を向上し機械的強度を確保しつつ、開口率を向上することができる。

【0121】

次に、基板の片面に凹凸部が形成されたフォトダイオードアレイについて説明する。

【0122】

図 1 7 は第 2 実施形態に係るフォトダイオードアレイの平面図であり、図 1 8 はその I - I 断面図である。

【0123】

以下の説明において、基板の $p-n$ 接合 2 0 4 が形成される面を表面とし、光の入射面（凹部側）を裏面とする。

【0124】

図 1 7 に示すように本実施形態のフォトダイオードアレイ 2 0 1 は複数の $p-n$ 接合が縦横に規則正しく配列されており、 $p-n$ 接合の一つ一つがフォトダイオードアレイの 1 受光画素としての機能を有している。フォトダイオードアレイ 2 0 1 は $50 \sim 600 \mu m$ の厚さ、不純物濃度 $1 \times 10^{12} \sim 10^{15}/cm^3$ の n 型シリコン基板 2 0 3 を有し、 $500 \mu m \times 500 \mu m$ の大きさで、 $600 \mu m$ 程度のピッチで不純物濃度 $1 \times 10^{15} \sim 10^{20}/cm^3$ の複数の p 型不純物拡散層 2 0 5 が配置されている。 n 型シリコン基板 2 0 3 と複数の p 型不純物拡散層 2 0 5 との間で形成される $p-n$ 接合により、上記受光画素が構成されている。 p 型不純物拡散層 2 0 5 同士の間には、フォトダイオード間を分離する n^+ 型不純物領域（分離層）2 0 7 が配置されている。

【0125】

n 型シリコン基板 2 0 3 の裏面側で p 型不純物拡散領域 2 0 5 に対応していない領域には厚さ $2 \mu m \sim 200 \mu m$ 程度で、不純物濃度 $1 \times 10^{15} \sim 10^{20}/cm^3$ 程度の n^+ 型不純物拡散層 2 0 9 が配置されている。したがって本発明のフォトダイオードアレイでは p 型不純物層が形成された領域は、例えば $50 \mu m \sim 300 \mu m$ 程度の厚さに薄板化されて凹部 2 1 1 が形成されており、それ以外の領域では $150 \sim 500 \mu m$ 程度の肉厚部裏面側に凸部（枠部）2 1 3 が形成されている。肉厚部は $p-n$ 接合が形成されていない領域、すなわち各フォトダイオードの間に形成されており、 $2 \mu m \sim 200 \mu m$ の n^+ 型不純物拡散層 2 0 9 と、 $50 \mu m \sim 300 \mu m$ 程度の n 型シリコン基板 2 0 3 とから構成される。 $p-n$ 接合（受光画素）1 つに対しては 1 つの凹部 2 1 1 が設けられることとなる。

【0126】

薄板化された n 型基板（フォトダイオード対応領域）の裏面側には $0.1 \sim$ 数 μm の厚

10

20

30

40

50

さで n^+ 不純物拡散層 215 が全面に形成されている。 n^+ 不純物拡散層 215 は、この裏面側より光（特に短波長において）が入射することで、 n 型シリコン基板表面付近で発生した信号キャリアを基板内部へと送りこむアキュムレーション機能を有している。また、基板の表面側には SiN または SiO_2 あるいはポリイミドなどからなるパッシベーション膜 223 が形成されている。

【0127】

それぞれの p 型不純物拡散層 205 の表面側には p 型不純物拡散層 205 よりもやや大きいアルミ配線電極 221 が設置されており、 p 型不純物拡散層 205 と電氣的にコンタクトしている。それぞれの凸部 213 に対応する位置の表面側にはアルミ配線電極 221 に接触する $Ni-Au$ などからなるアンダーバンプメタル（UBM）217 を介して半田

10

【0128】

次に、本実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造方法について図19～図23に基づいて説明する。まず、厚さ $50\mu m \sim 600\mu m$ 程度の結晶面（100）の n 型シリコン基板 203 の基板を準備する。基板の裏面側に深さ $150 \sim 250\mu m$ の均一な n^+ 拡散層 209 を熱拡散により形成することにより n 型層、 n^+ 型層の2層構造の基板を作製する。次に基板の表面、裏面に熱酸化を施し SiO_2 熱酸化膜 202 を形成する（図19参照）。 SiO_2 熱酸化膜 202 は後工程の n^+ 熱拡散のマスクとして利用される。

20

【0129】

次に隣接するフォトダイオード間の分離層を形成する予定位置に存在する SiO_2 熱酸化膜 202 をフォトエッチングプロセスにより開口させ、リンをドーピングし、熱酸化することによって分離層 207 を形成する。

【0130】

次に n 型シリコン基板 203 の表面側の所定の領域に pn 接合 204 を形成すべく p 型不純物層 205 を拡散する。まず受光画素となる位置の SiO_2 熱酸化膜をフォトエッチングプロセスにより開口させ、ボロンをドーピングし、熱酸化する。これにより n 型基板の他方の面に複数の pn 接合 204 が形成され、この pn 接合領域 204 が受光画素に対応する部分となる。即ちフォトダイオードからなるフォトダイオードアレイが形成される（図20参照）。

30

【0131】

必要に応じて基板厚さを調整するために裏面を研磨する。裏面にプラズマCVDあるいはLP-CVDによりシリコン窒化膜（ SiN ）を形成し、受光画素に対応した部分の SiN をエッチングにより除去する。そして、アルカリエッチング（水酸化カリウム溶液やTMAHなどを用いる）により裏面に異方性エッチングを施す（図21参照）。このとき各受光素子に対応した部分以外は薄板化されず n^+ 拡散層 209 を残し、肉厚部を構成する。これによって、受光画素に対応する部分に凹部 211 が形成され、受光画素と隣接する受光画素との間に凸部 213 が形成される。エッチングは少なくとも $2\mu m$ 以上の深さまで行い、基板の n^+ 層 209 と n 層 203 との界面付近まで行う。即ち、エッチングは n^+ 層 209 をわずかに残して行っても良いし、 n 層 203 が露出するように行っても良い。

40

【0132】

エッチングマスク（ SiN ）を除去した後、熱酸化（バッファ酸化）し、裏面に n 型イオン種（例えば燐や砒素）をドーピングすることで不純物濃度 $10^{15} \sim 10^{20}/cm^3$ のアキュムレーション層 215 を形成する（図22参照）。その後、熱酸化を行う。アキュムレーション層 215 の厚さは基板の表面側の p^+ 層 205 に達しないようにする。所望の分光特性を得るために裏面にARコートを実施すが、前述の酸化膜を膜厚調整することでARコートとしてもよい。または熱酸化膜と SiN やその他光学薄膜との複合膜でARコート

50

を形成してもよい。

【0133】

その後、表面に p^+ 層、 n^+ 層のコンタクトホール222を形成しアルミ配線電極221を形成する(図22参照)。このアルミ配線電極221を覆うように全面にパッシベーション膜223を堆積する。アルミ配線電極221は p^+ 層と n^+ 領域の幅よりもわずかに幅を大きくすることが望ましい。これによりバイアス印加する際に耐圧特性が良くなるとともに、表面ダメージによる反転層形成を阻止することができる。このアルミ配線電極上にパンプ電極を形成する部分を開口した状態でパッシベーション膜223をパターニングする(図22参照)。パッシベーション層223にはプラズマCVDにより形成されたSiNやSiO₂、BPSG、PSG、SiON、あるいはポリイミドやアクリル、エポキシ、ウレタンやそれを含む複合素材を利用することができる。

10

【0134】

パンプ電極として半田を用いる場合、半田はアルミニウムに対する濡れ性が悪いためアルミニウムと半田パンプ電極219とを仲介するための仲介金属層217(アンダーパンプメタル、UBM)を形成し、さらに重ねて半田パンプ電極219を形成する(図23参照)。UBMは無電解メッキでNi-Auを形成するが、リフトオフ法でTi-Pt-AuやCr-Auを形成することでも実現できる。半田パンプは半田ボール搭載法や印刷法で所定のUBM部分に半田を形成しリフロすることで得ることができる。また、パンプは半田に限られるものではなく、金パンプ、ニッケルパンプ、銅パンプ、導電性樹脂パンプなど金属を含む導電性パンプでもよい。

20

【0135】

ここで、フォトダイオード間の凸部213を構成する n^+ 型拡散層209は、 n 型基板より n 型不純物濃度が高いため、凸部213の n^+ 型拡散層209に光が入射することでキャリアが発生するが、上記フォトダイオードアレイによれば、発生するキャリアは、凸部213の n^+ 型拡散層209で再結合し消滅するため、 n 型基板203には移動することがない。したがってフォトダイオードチャンネル間に入射する光によって発生するフォトダイオード間のクロストークを低減することができる。同時に受光画素間を肉厚とすることにより、基板全体の機械的強度を維持することができ、基板自体の反り・歪み等の発生を抑えることができる。フォトダイオードアレイの凸部213をコレットに吸着して実装基板にフリップチップボンディングする際や、シンチレータをフォトダイオードアレイの凸部213に実装する際の機械的なダメージにより生じる暗電流の増加を抑えることができる。

30

【0136】

また、基板の n^+ 層を形成する際に熱拡散を用いている。よって、 n^+ 層を他の方法(例えば基板の貼り合わせ等)によって形成した場合と異なり、基板の裏面側ほど不純物濃度が高く凸部213の不純物濃度が高い。このため、発生したキャリアを再結合・消滅させる効果が高くなり、暗電流、リーク電流、クロストークを低減させる効果も大きくなる。(第3実施形態)

【0137】

次に、本発明の第3実施形態に係るフォトダイオードアレイについて説明する。

40

【0138】

図24は本実施形態に係るフォトダイオードアレイの側断面図である。第2実施形態のフォトダイオードアレイとの構成上の相違点を説明すると、第2実施形態のフォトダイオードアレイでは n^+ 型アキュムレーション層215が n 型基板203内に形成されているが、本実施形態のフォトダイオードアレイでは n^+ 型不純物拡散層209を数 μm 残してアキュムレーション層として機能させている(図24参照)。アキュムレーション層の機能としては、第2実施形態において説明した機能と違いはない。

【0139】

上記相違点はフォトダイオードアレイの製造方法の相違点に由来するものである。受光画素に対応する部分に凹部を形成するエッチングの際に、第1実施形態ではエッチングを

50

n層203に達するまで行っているのに対して、本実施形態ではエッチングをn⁺層とn層との界面に達する前0.1～数μm程度でストップさせる。

【0140】

上記フォトダイオードアレイによれば、エッチングされずに残った厚さ数μmのn⁺型不純物拡散層がそのままアキュムレーション層としても働くので、第1実施形態のように改めてイオン注入によるアキュムレーション層を形成する必要がなく、工程を省略することができる。なお、上記以外の構成及び製造方法については第1実施形態に係るフォトダイオードアレイとまったく同様である。

【0141】

上述した第2実施形態及び第3実施形態に係るフォトダイオードではn型シリコン基板203の裏面側にn⁺拡散層209を熱拡散により形成することによりn-n⁺基板を形成しているが、n-n⁺基板を準備する工程として以下のような変形が考えられる。

【0142】

n⁺型基板を準備し、その表面側に結晶面(100)又は(110)でn層をエピタキシャル成長させることによりn-n⁺基板を形成することもできる。また、逆にn型基板を準備し、その表面側に結晶面(100)又は(110)でn⁺層をエピタキシャル成長させることによりn-n⁺基板を形成することもできる。こうすることにより、不純物濃度プロファイルが階段状になり、凹部形成のエッチングの際、平坦なエッチングが可能となる長所がある。

【0143】

また、不純物が高濃度に添加されているn⁺基板またはn⁺エピタキシャル成長層は深さ方向で濃度が均一にできるため、凸部に入射した短波長から長波長の光により発生するキャリアを再結合させることが可能となり、クロストークを低減できるという利点もある。

【0144】

また、第1導電型の不純物をp型とし、その不純物濃度を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の半導体層を結晶成長によって形成した場合、前記半導体界面が露出するまでアルカリエッチングを行い、その後、フッ酸、硝酸及び酢酸を用いた混合溶液でエッチングを行うことにより界面でエッチングがストップし、平坦な凹部を形成することができる。

【0145】

また、結晶面(100)又は(110)のn型基板を準備し、その裏面側に該n型基板と結晶面をあわせてn⁺型基板を貼り合わせることによりn-n⁺基板を形成することもできる。こうすることにより、n層、n⁺層中の不純物濃度プロファイルが階段状になり、凹部形成のエッチングの際、平坦なエッチングが可能となる長所がある。

【0146】

また、不純物が高濃度に添加されているn⁺基板は深さ方向で濃度が均一にできるため、凸部に入射した短波長から長波長の光により発生するキャリアを再結合させることが可能となり、クロストークを低減できるという利点もある。

【0147】

また、第1導電型の不純物をp型とし、その不純物濃度を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の半導体基板を貼り合わせるによって形成した場合、前記半導体界面が露出するまでアルカリエッチングを行い、その後、フッ酸、硝酸及び酢酸を用いた混合溶液でエッチングを行うことにより界面でエッチングがストップし、平坦な凹部を形成することができる。

【0148】

また、結晶面(111)のn型基板を準備し、その裏面側に結晶面(100)又は(110)のn⁺型基板を貼り合わせることによりn-n⁺基板を形成することもできる。こうすることにより、n⁺層側からアルカリエッチングする際に(111)面は(100)面や(110)面に比べてエッチング速度が非常に遅いため、ほとんどn層に達した時点でエッチングストップすることができ、エッチングの制御が容易となるという長所がある。

(第4実施形態)

10

20

30

40

50

【0149】

次に、本発明の第4実施形態に係るフォトダイオードアレイについて説明する。

【0150】

図25は本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。第3実施形態のフォトダイオードアレイとの構成上の相違点を説明すると、第3実施形態のフォトダイオードアレイでは n^+ 層と n 層が直接接していたが本実施形態では n^+ 層と n 層との間に厚さ $0.1 \sim 3 \mu m$ の SiO_2 層225を挟んでいる。

【0151】

上記相違点はフォトダイオードアレイの製造方法の相違点に由来するものである。第3実施形態では n 型シリコン基板の基板を準備し、基板の裏面側に n^+ 拡散層を熱拡散により形成することによって $n-n^+$ 拡散基板を作成し基板として用いたが、本実施形態ではSOI (Silicon On Insulator) 基板を基板として用いている。すなわち、まず n 型シリコン基板を準備し、裏面側を熱酸化させ SiO_2 酸化膜を形成する。次に結晶面(100)または(110)の n^+ 層を裏面側に貼り合わせることによって図27のような三層構造のSOI基板を形成し、基板として用いている。

【0152】

上記フォトダイオードアレイによれば、アルカリエッチング工程の際に SiO_2 層225でエッチングがストップすることとなるため、エッチングの制御が容易になる。また、 N^+ 層でキャリアが発生したとしても SiO_2 層225は絶縁層であるためキャリアを通さない。このため発生したキャリアは各受光画素まで到達することはなく、クロストークをさらに低減することができる。なお、上記以外の構成及び製造方法については第3実施形態に係るフォトダイオードアレイとまったく同様である。

(第5実施形態)

【0153】

次に、本発明の第5実施形態に係るフォトダイオードアレイについて説明する。

【0154】

図26は本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。第4実施形態のフォトダイオードアレイとの構成上の相違点を説明すると、第4実施形態のフォトダイオードアレイではフォトダイオードに対応する部分の凹部211が裏面側に行くほど広く、表面側に行くほど狭くなるように、凹部側面が基板の厚さ方向に対して傾いているのに対し、本実施形態のフォトダイオードアレイの凹部側面は基板の厚さ方向と略平行となっている。

【0155】

上記相違点はフォトダイオードアレイの製造方法の相違点に由来するものである。第4実施形態では、凹部211を形成する際に第4実施形態ではアルカリエッチングを用いたが、本実施形態では例えば高密度プラズマを用いたディープドライエッチングを用いている。

【0156】

上記フォトダイオードアレイによれば、凹部を形成する方法としてディープドライエッチングを用いるため、準備するSOI基板の n^+ 層は結晶面を(100)または(110)に限る必要がなくなる。また、 SiO_2 層225でエッチングがストップすることとなるため、エッチングの制御が容易になる。なお、上記以外の構成及び製造方法については第4実施形態に係るフォトダイオードアレイとまったく同様である。

【0157】

次に、本発明の放射線検出器の実施形態について説明する。

【0158】

図28は本実施形態に係る放射線検出器の側断面図である。本放射線検出器230は、放射線を入射して、その放射線によって生じた光を光出射面から出射するシンチレータパネル231と、シンチレータパネル231から出射された光を光入射面から入射し、電気信号に変換するフォトダイオードアレイ201と、実装配線基板233とを備えている。

【0159】

上記放射線検出器は本発明に係るフォトダイオードアレイを備えることを特徴としており、本実施形態では上述した本発明の第2実施形態に係るフォトダイオードアレイを備えている。よってシンチレータパネル231はフォトダイオードアレイ201の裏面側に設置され、凸部213においてフォトダイオードアレイ201と当接している。このためシンチレータパネル231と凹部211との間には隙間が存在することとなるが、この隙間にはシンチレータパネル231からの蛍光を透過させるに十分な屈折率を有するカップリング樹脂235が充填され、シンチレータパネル231から出射された光が効率よくフォトダイオードアレイ201に入射できるようになっている。

【0160】

実装配線基板233はフォトダイオードアレイ201の表面側に設置され、パンプ電極219を介してフォトダイオードアレイ201と電氣的に接続されている。実装形態はフリップチップ実装であり、パンプ電極219は半田パンプ、金パンプ、ニッケルパンプ、銅パンプ、導電性樹脂パンプなど金属を含む導電性パンプ等が用いられる。また、ボンディング方式としてはダイレクトボンディング方式またはこれにアンダーフィル樹脂を充填する方式、異方性導電性フィルム(ACF)、異方性導電性ペースト方式(ACP)、非導電性ペースト(NCP)方式などの形態を用いてもよい。

【0161】

次に上記放射線検出器の作用について説明する。実装配線基板233上にフォトダイオードアレイ201をボンディングする際には吸着コレットで凸部213を吸着することとなるが、その際に凸部に機械的ダメージが加わり、その欠陥部分によって暗電流や雑音となるキャリアが発生することとなる。また、フォトダイオードアレイ201の裏面側にシンチレータパネル231を設置する際は凸部213にシンチレータパネル231を当接させることとなるが、その際にも凸部213に機械的ダメージが加わり、キャリアが発生することとなる。ところが上記放射線検出器によれば、上記本発明に係るフォトダイオードアレイを用いており、凸部213が高不純物濃度の n^+ 型拡散層で構成されているので発生したキャリアを再結合させ、かかる暗電流や雑音を低減することができる。

【0162】

また、上記放射線検出器では、フォトダイオードアレイ201の受光画素間に凸部213を配置しているので、入射する光を画素ごとに分離することができる。さらに、凸部213が高不純物濃度の n^+ 型拡散層で構成されているので凸部213に入射した光により発生したキャリアは再結合する。このため受光画素と受光画素との間に入射した光は信号として取り出されることがない。すなわち、上記放射線検出器は受光画素間のクロストークを改善することが可能となる。

【0163】

放射線検出器において、裏面に凹凸のないフォトダイオードアレイを用いることとすれば、実装配線基板233上にフォトダイオードアレイをボンディングする際に吸着コレットが直接受光画素に触れることとなる。またシンチレータパネル装着の際にも同様にシンチレータパネルが直接受光画素に触れることとなるため、受光画素を傷つけ、画素欠陥の原因となりやすい。ところが上記放射線検出器によれば、受光画素部は凹部211に配置されているため、実装工程において直接受光画素が接触を受けることもなくなるため機械的なダメージを受けにくくなり、受光画素欠陥を防止することができる。

【0164】

なお、本発明は上記した本実施形態に限定されることなく種々の変形が可能である。

【0165】

図29Aは受光画素部とパンプ電極の位置関係を表す上面図、図29Bは図29Aに示したフォトダイオードアレイのXIV-XIV断面図である。図30Aは受光画素部とパンプ電極の位置関係を表す上面図、図30Bは図30Aに示したフォトダイオードアレイのXV-XV断面図である。図31Aは受光画素部とパンプ電極の位置関係を表す上面図、図31Bは図31Aに示したフォトダイオードアレイのXVI-XVI断面図である。

【 0 1 6 6 】

例えば、上記したフォトダイオードアレイの各実施形態では図 2 9 A、図 2 9 B のようにバンブ電極 2 1 9 を肉厚部すなわち凸部 2 1 3 に相当する部分に設置し実装時の機械的強度を確保することとしているが、機械的強度を十分確保できる場合であれば図 3 0 A、図 3 0 B に示すように受光画素に相当する位置にバンブ電極 2 1 9 を設置しても良い。

【 0 1 6 7 】

また、凸部 2 1 3 に相当する部分にバンブ電極 2 1 9 を設置する場合において、図 3 1 A、図 3 1 B に示すようにバンブ電極 2 1 9 の裏面側に相当する部分のみ分離層 2 0 7 が途切れるように構成することもできる。こうすることによりフリップチップ実装を行う際に機械的ダメージが加わったとしてもアノードとカソードがショートしないようにすることができる。また、この場合は途切れた分離層同士をアルミ電極配線により接続し、分離層 2 0 7 が全域的に接続されるようにしてもよい。

10

【 0 1 6 8 】

また、フォトダイオードアレイ上に格子状に受光素子を配置する場合にはフォトダイオードアレイチップ端のぎりぎりまで受光画素エリアであることが望ましい。このため図 1 7 に示すようにチップ端の肉厚部領域 2 1 3 z にバンブ電極を設置することはなるべく避けるほうがよい。そこで肉厚部にバンブ電極 2 1 9 を設置する場合には図 3 2 A に示すようにチップ端の肉厚部領域 2 1 3 z 以外の凸部にすべてのバンブ電極 2 1 9 を配置するような構成とすることもできる。図 3 2 B はフォトダイオードアレイチップ端における受光画素部とバンブ電極の位置関係を表す上面図である。例えば、図 3 2 A においては左上の受光画素 2 0 4 a はその右側のバンブ電極 2 1 9 a から、左上の受光画素 2 0 4 b はその下側のバンブ電極 2 1 9 b から、右下の受光画素 2 0 4 c はその左側のバンブ電極 2 1 9 c からコンタクトを取るように配置されている。このようにバンブ電極 2 1 9 の位置をチップ端の肉厚部領域 2 1 3 z に配置しないように設計することによってフォトダイオードアレイチップ端のぎりぎりまで受光画素エリアとすることができる。

20

【 0 1 6 9 】

以上詳述したように本発明によれば、フォトダイオードアレイの機械的強度を維持し、素子間クロストークを低減することができるフォトダイオードアレイを提供することが可能となる。

【 産業上の利用可能性 】

30

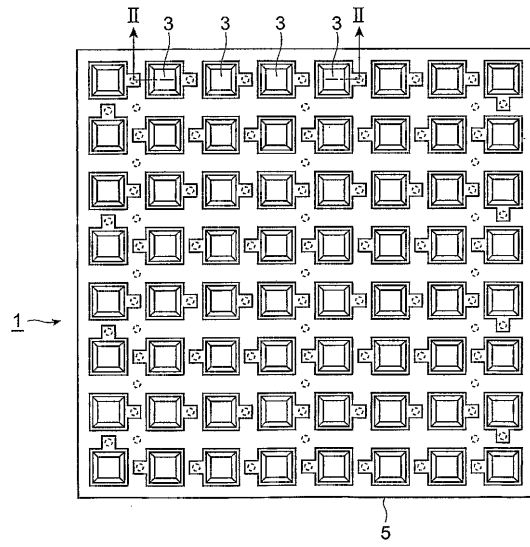
【 0 1 7 0 】

本発明はフォトダイオードアレイ、その製造方法、及び放射線検出器に利用することができる。

【 符号の説明 】

1・・・フォトダイオードアレイ、7・・・入射面側凹部、11・・・反対面側凹部、3・・・pn接合。

【図 1】
図 1



【図 2】

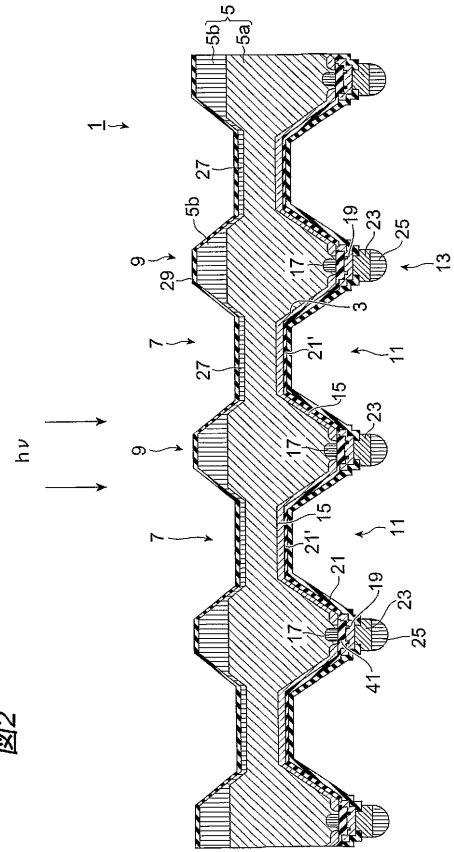


図 2

【図 3】

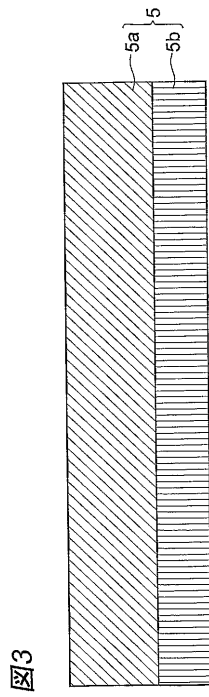


図 3

【図 4】

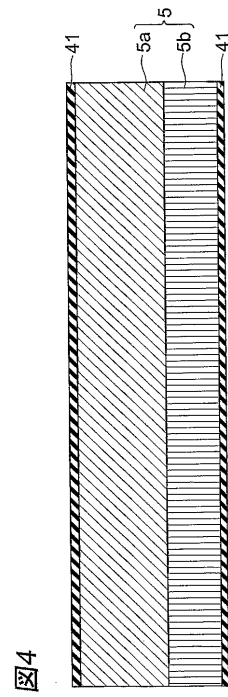
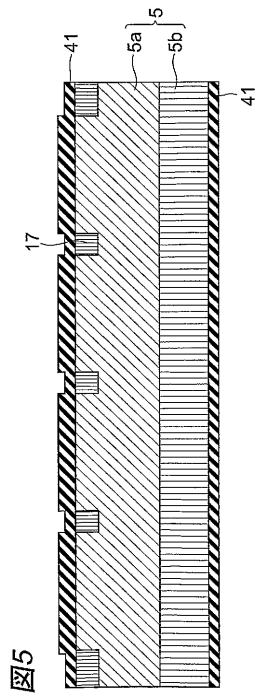
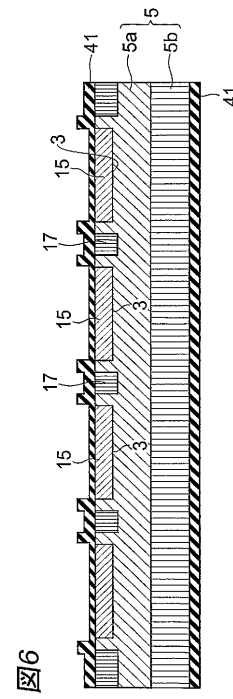


図 4

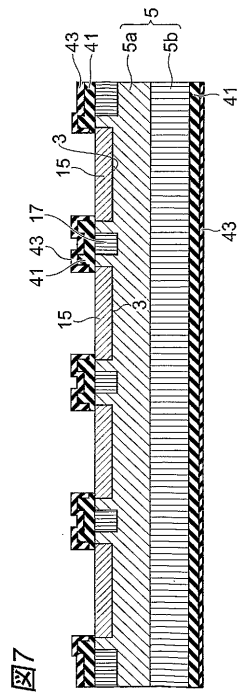
【図 5】



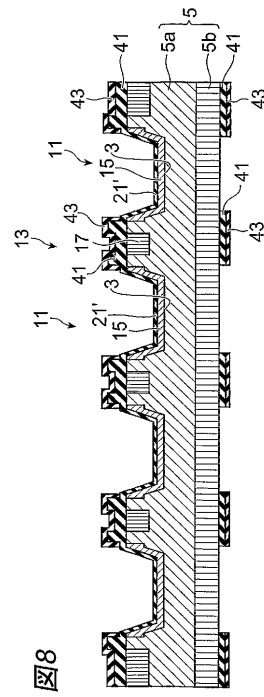
【図 6】



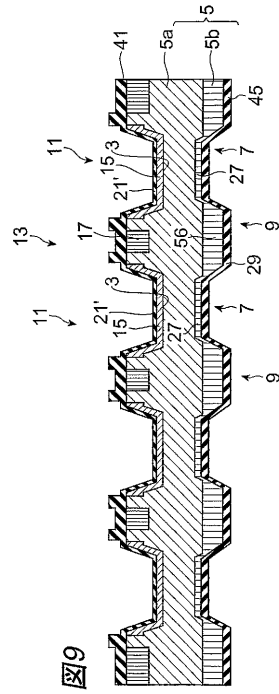
【図 7】



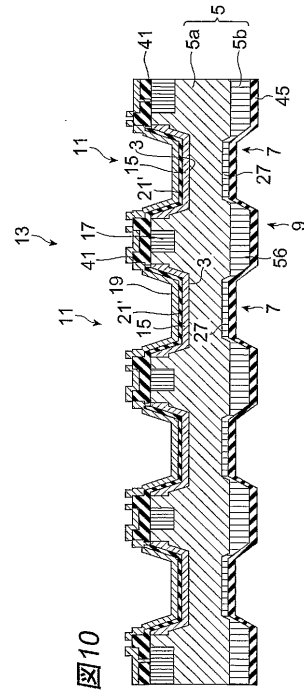
【図 8】



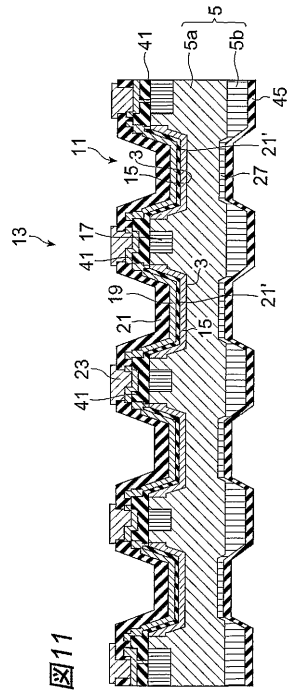
【図 9】



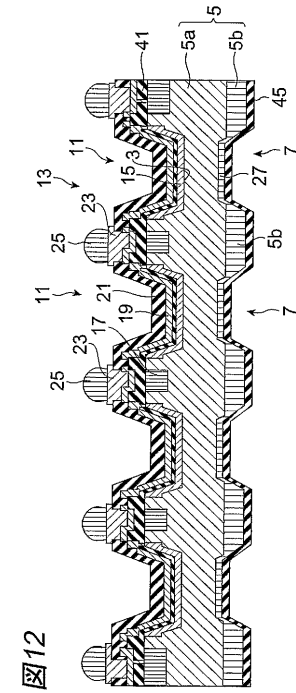
【図 10】



【図 11】

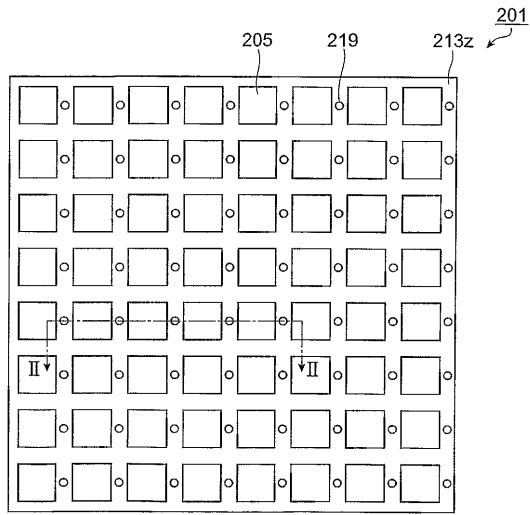


【図 12】



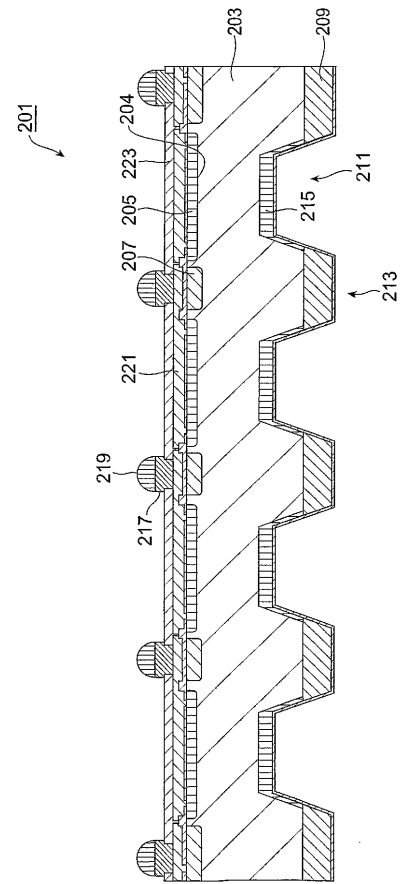
【図 17】

図17



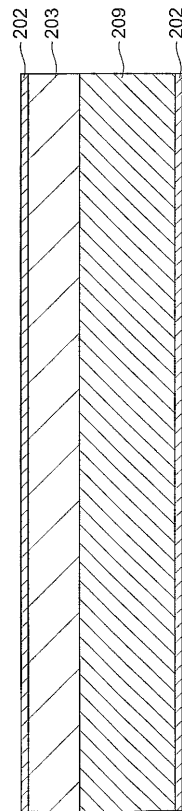
【図 18】

図18



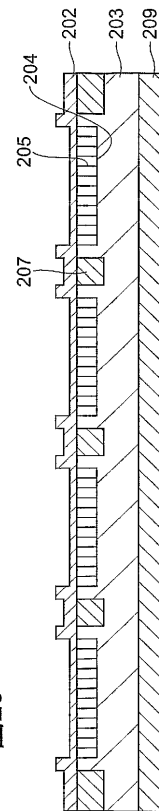
【図 19】

図19

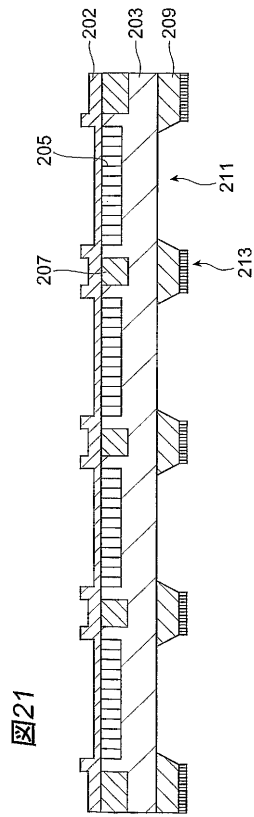


【図 20】

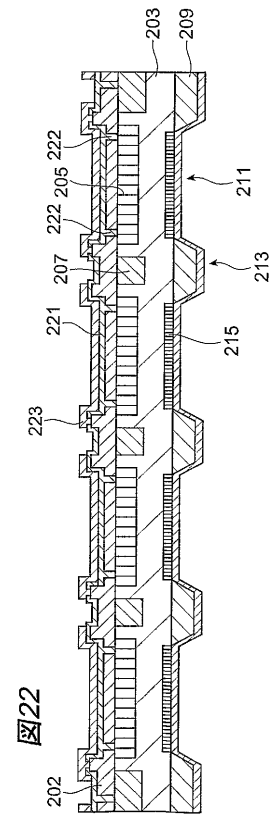
図20



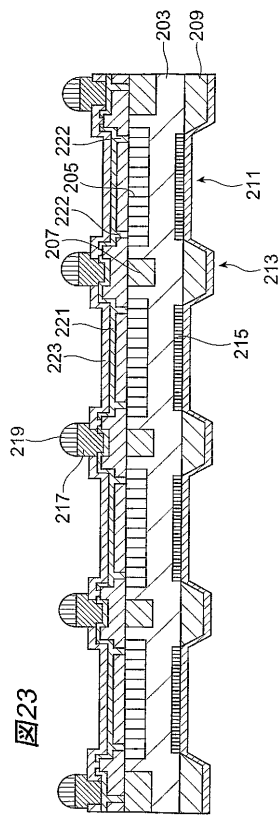
【図 2 1】



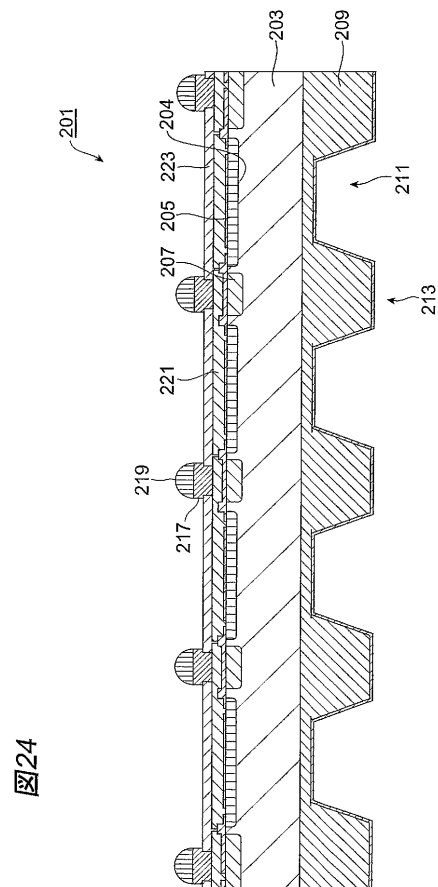
【図 2 2】



【図 2 3】

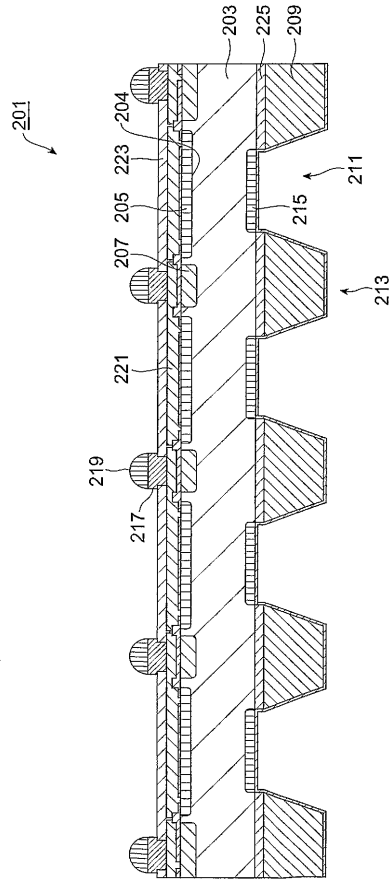


【図 2 4】



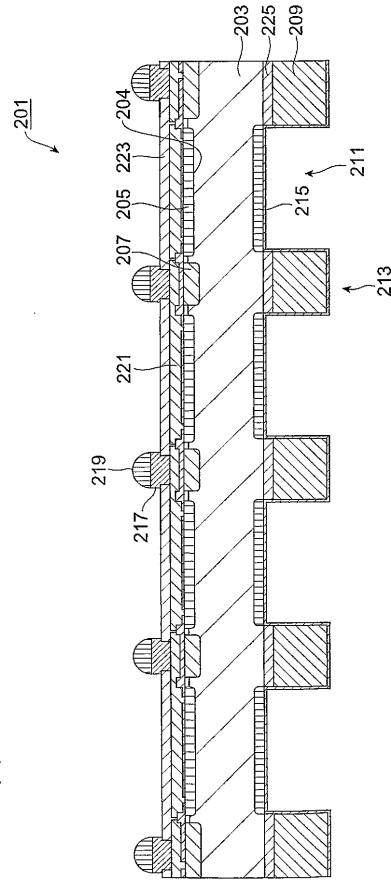
【図25】

図25



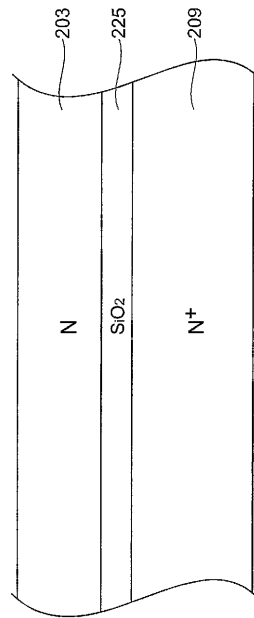
【図26】

図26



【図27】

図27



【図28】

図28

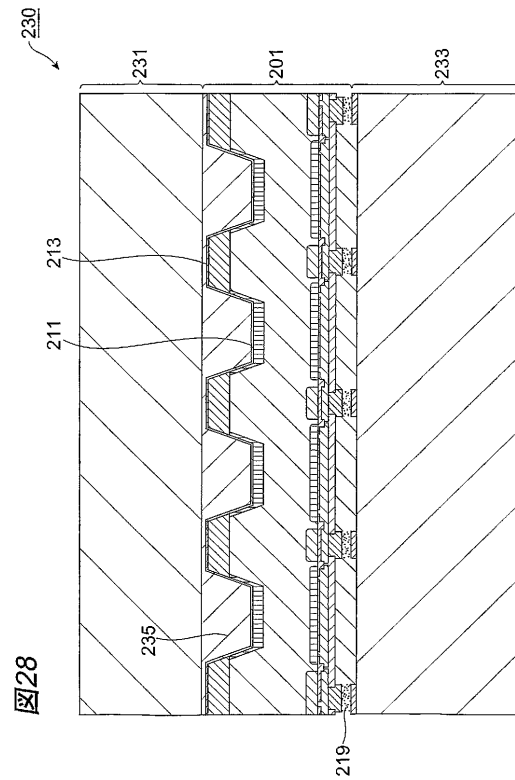


図29A

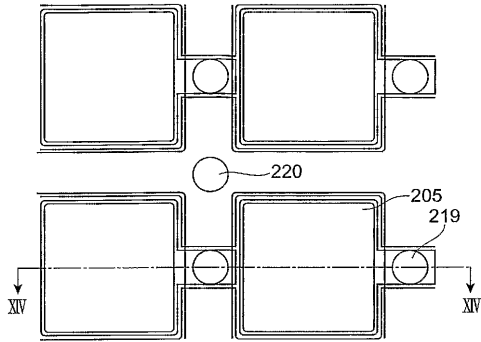


図30A

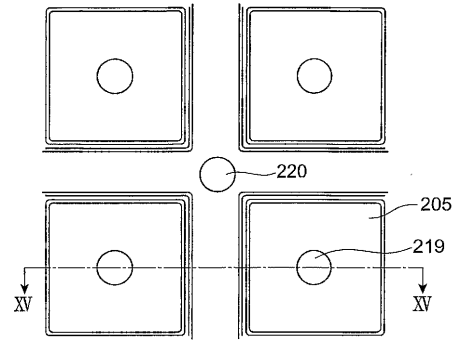


図29B

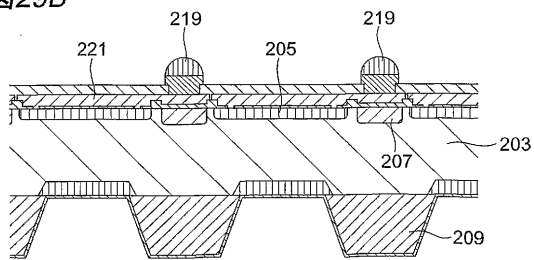


図30B

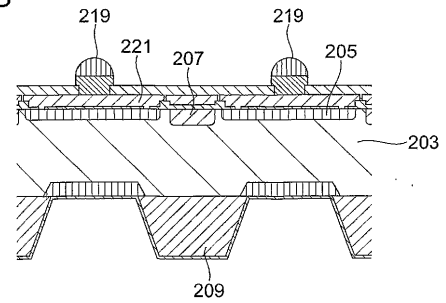


図31A

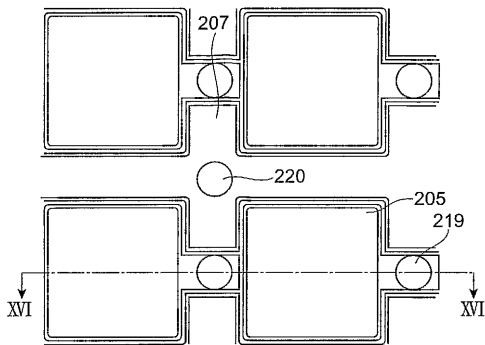


図32A

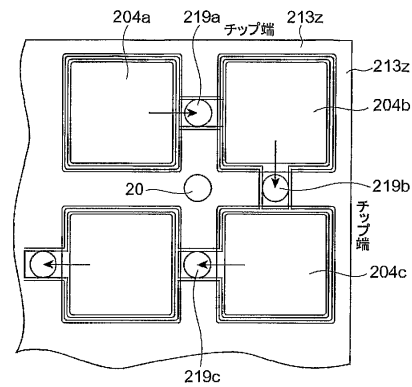


図31B

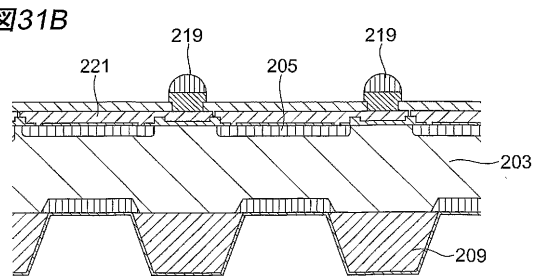
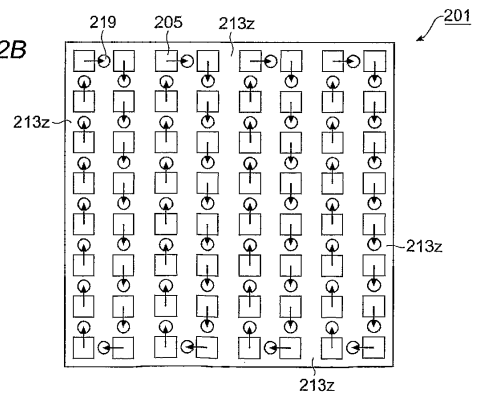


図32B



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 4 N 5/335 (2006.01) H 0 1 L 31/00 A
H 0 4 N 5/321
H 0 4 N 5/335 V

(56)参考文献 特開平 1 0 - 2 2 3 8 7 3 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 9 1 8 9 2 (J P , A)
特開平 0 6 - 1 6 3 9 6 8 (J P , A)
特開平 0 5 - 1 5 0 0 4 9 (J P , A)
特開平 0 4 - 2 4 1 4 5 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 27/146
G01T 1/20
H01L 27/14
H01L 31/09
H04N 5/321
H04N 5/335