(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3607385号
(P3607385)
(45)発行日　平成17年1月5日(2005.1.5)　(24)登録日　平成16年10月15日(2004.10.15)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H01L 31/107　H01L 31/10　B

請求項の数 10　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願平7-305949
(22)出願日　平成7年11月24日(1995.11.24)
(65)公開番号　特開平9-148618
(43)公開日　平成9年6月6日(1997.6.6)
審査請求日　平成14年7月1日(2002.7.1)

(73)特許権者　000236436
浜松ホトニクス株式会社
静岡県浜松市市野町１１２６番地の１
(74)代理人　100088155
弁理士　長谷川　芳樹
(74)代理人　100089978
弁理士　塩田　辰也
(74)代理人　100092657
弁理士　寺崎　史朗
(74)代理人　100089901
弁理士　吉井　一男
(72)発明者　山本　晃永
静岡県浜松市市野町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】シリコンアバランシェフォトダイオード

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
N^+型基板と、
このN^+型基板上に形成されたN^-型エピタキシャル層と、
このN^-型エピタキシャル層の上に形成された、N^-型エピタキシャル層の比抵抗値よりも低い比抵抗値を有するＮ型埋込層と、
このＮ型埋込層の上に形成されたＰ型エピタキシャル層と、
このＰ型エピタキシャル層の上であって、前記Ｎ型埋込層に対応する位置に形成されたP^+領域とを備え、
前記Ｎ型埋込層の外側にアイソレーション部が前記Ｎ型埋込層に接しないように設けられていることを特徴とするシリコンアバランシェフォトダイオード。
【請求項２】
前記アイソレーション部は、前記N^+型シリコン基板に到達する溝により形成されていることを特徴とする請求項１に記載のシリコンアバランシェフォトダイオード。
【請求項３】
前記アイソレーション部は、Ｎ型の不純物拡散領域により形成されていることを特徴とする請求項１に記載のシリコンアバランシェフォトダイオード。
【請求項４】
前記P^+領域は、複数に分割されていることを特徴とする請求項１に記載のシリコンアバランシェフォトダイオード。

【請求項５】
前記Ｎ型埋込層は、分割された前記Ｐ$^{+}$領域毎に設けられていることを特徴とする請求項４に記載のシリコンアバランシェフォトダイオード。
【請求項６】
Ｎ$^{+}$型の領域と、
このＮ$^{+}$型の領域上に設けられるＮ$^{-}$型の領域と、
このＮ$^{-}$型の領域の上に設けられ、Ｎ$^{-}$型の領域の比抵抗値よりも低い比抵抗値を有するＮ型の埋込領域と、
このＮ型の埋込領域の上に設けられるＰ型の領域と、
このＰ型の領域の上であって、前記Ｎ型の埋込領域に対応する位置に設けられるＰ$^{+}$領域とを備え、
前記Ｎ型の埋込領域の外側にアイソレーション部が前記Ｎ型の埋込領域に接しないように設けられていることを特徴とするシリコンアバランシェフォトダイオード。
【請求項７】
前記アイソレーション部は、前記Ｎ$^{+}$型の領域に到達する溝により形成されていることを特徴とする請求項６に記載のシリコンアバランシェフォトダイオード。
【請求項８】
前記アイソレーション部は、Ｎ型の不純物拡散領域により形成されていることを特徴とする請求項６に記載のシリコンアバランシェフォトダイオード。
【請求項９】
前記Ｐ$^{+}$領域は、複数に分割されていることを特徴とする請求項６に記載のシリコンアバランシェフォトダイオード。
【請求項１０】
前記Ｎ型の埋込領域は、分割された前記Ｐ$^{+}$領域毎に設けられていることを特徴とする請求項９に記載のシリコンアバランシェフォトダイオード。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、ＰＮ接合界面に高濃度のＮ型埋込層を有するリーチスルー型のシリコンアバランシェフォトダイオード（以下、Ｓｉ－ＡＰＤという）に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
従来のＳｉ－ＡＰＤには、Ｎ$^{+}$層の上にＰ型の活性層をエピタキシャル成長させてＰＮ$^{+}$接合を形成しているものが存在する。
【０００３】
しかしながら、この構造では空乏層の幅がＰ層の厚さで決定されるため、Ｐ層を薄くすると端子間容量の増加をもたらす。
【０００４】
また、従来のリーチスルー型のＳｉ－ＡＰＤには、アバランシェ領域を制御するためにＰ型埋込層を有するものが存在する。
【０００５】
【発明が解決しようとする課題】
ところで高エネルギー物理学実験においては、Ｓｉ－ＡＰＤがシンチレータ信号光の検出器として使用されている。ここで使用されるＳｉ－ＡＰＤには、シンチレータ光の波長域で高感度であること、端子間の容量が小さいこと、耐放射性が良いこと及び直接入射した放射線に対しては感度が低いこと等が要求される。
【０００６】
しかしながら、従来のＳｉ－ＡＰＤにおいては、ニュートロン照射によりシリコンのドナー濃度が増加した場合には、Ｐ型の埋込層のアクセプタ濃度が実質的に低下し、接合部の電界強度が当初の設計値まで上昇せず増倍率が低下する等の問題が生じていた。

【０００７】
本発明の課題は、ＰＮ接合界面に高濃度のＮ型埋込層を設けることにより、ニュートロン照射に対し特性変動が少なく、直接入射した放射線に対し、感度が低いＳｉ－ＡＰＤを提供することである。
【０００８】
【課題を解決するための手段】
本発明に係るシリコンアバランシェフォトダイオードは、N^+型基板と、このN^+型基板上に形成されたN^-型エピタキシャル層と、このN^-型エピタキシャル層の上に形成された、N^-型エピタキシャル層の比抵抗値よりも低い比抵抗値を有するＮ型埋込層と、このＮ型埋込層の上に形成されたＰ型エピタキシャル層と、このＰ型エピタキシャル層の上であって、Ｎ型埋込層に対応する位置に形成されたP^+領域とを備え、Ｎ型埋込層の外側にアイソレーション部がＮ型埋込層に接しないように設けられていることを特徴とする。
【０００９】
従って、高濃度のＮ型埋込層を設けたことにより、アクセプタ濃度が低下した場合でもＰ型エピタキシャル層が空乏層化しなくなる傾向を軽減している。更に、ＰＮ接合が、Ｎ型埋込層の上部に形成されていることから、ニュートロン照射によりシリコンのドナー濃度が増加した場合であっても、ＰＮ接合の位置が上下方向にずれることがなく、しかも、空乏層がＰ層側に広がりやすい状況になる。
【００１０】
また、アイソレーション部は、N^+型シリコン基板に到達する溝により形成されていることが好ましい。従って、このアイソレーション部を設けたことにより表面漏れ電流を防止することができる。
【００１１】
また、アイソレーション部は、Ｎ型の不純物拡散領域により形成されていることが好ましい。
【００１２】
また、P^+領域は、複数に分割されていることが好ましい。また、Ｎ型埋込層は、分割されたP^+領域毎に設けられていることが好ましい。
【００１３】
また、本発明に係るシリコンアバランシェフォトダイオードは、N^+型の領域と、このN^+型の領域上に設けられるN^-型の領域と、このN^-型の領域の上に設けられ、N^-型の領域の比抵抗値よりも低い比抵抗値を有するＮ型の埋込領域と、このＮ型の埋込領域の上に設けられるＰ型の領域と、このＰ型の領域の上であって、Ｎ型の埋込領域に対応する位置に設けられるP^+領域とを備え、Ｎ型の埋込領域の外側にアイソレーション部がＮ型の埋込領域に接しないように設けられていることを特徴とする。
【００１４】
【発明の実施の形態】
以下、図面を参照して、第１の発明の実施の形態を説明する。
【００１５】
図１は、本発明の第１の実施の形態にかかるＳｉ－ＡＰＤの断面図であり、図２及び図３はその製造工程を説明するための図である。はじめに、図２及び図３を参照して、図１に示すＳｉ－ＡＰＤの製造工程を説明する。
【００１６】
まず、図２（ａ）に示すように比抵抗値が０．０２Ωｃｍ以下であり、約４００μｍの厚さを有するN^+型シリコン基板１０を用意し、このシリコン基板１０の表面に、比抵抗値が３～２０ΩｃｍのＮ$^-$型エピタキシャル層１２を１０～５０μｍの厚さに成長させる。
【００１７】
その後、N^-型エピタキシャル層１２の表面にSiO_2膜を形成し、これをパターニングしたマスクを用いてリンのイオン注入または熱拡散を行ない、エピタキシャル層１２の比抵抗値よりも低い比抵抗値（０．５～２Ωｃｍ）を有するＮ型埋込層１４を形成する。そ

の後、N^-型エピタキシャル層１２の表面に残っているSiO_2膜を除去する（図２（ｂ）参照）。

【００１８】

次に、図２（ｃ）に示すように、N^-エピタキシャル層１２の表面に比抵抗値が１～２０ΩｃｍのP^+型エピタキシャル層１６を３～２０μｍの厚さに成長させることにより、ＰＮ接合を形成する。このエピタキシャル層１６を成長させる際には、N^+型シリコン基板１０、その上に形成されたN^-型エピタキシャル層１２及びＮ型の埋込層１４は、約１１００℃に加熱されることからＮ型埋込層１４は、N^-型エピタキシャル層１２内及びＰ型エピタキシャル層１６内に拡大する。このＮ型埋込層１４は、比抵抗値が０．５～２Ωｃｍであり３～７μｍの厚さとすることが望ましい。

【００１９】

次に、電極とのオーミックコンタクトを得るためのP^+領域１８の形成を行なう。即ち、Ｐ型エピタキシャル層１６の表面にSiO_2膜を形成し、このSiO_2膜をパターニングしたマスクを用いてボロンのイオン注入又は熱拡散を行ない、Ｎ型埋込層１４に対応する位置に、Ｎ型埋込層１４と略等しい範囲でP^+領域１８を形成する（図２（ｄ）参照）。このP^+領域１８は、不純物濃度が$1*10^{18}$～$3*10^{20}$ cm^{-3}であり、１μｍ以下の厚さに形成する。

【００２０】

次に、図３（ｅ）に示すように、表面の漏れ電流を防止すべくN^+型シリコン基板１０に達するアイソレーション部２０を各Ｎ型埋込層１４の間に設けることにより、ＰＮ接合のアイソレーションを行なう。ここで、アイソレーション部２０は、アルカリ異方性エッチッング液を用いたウエットエッチングにより形成される。上述のＮ型埋込層１４は、アイソレーション部のＰＮ接合エッジの電界を弱めるために形成されるが、このＮ型埋込層１４とアイソレーション部２０が接していると接合エッジでの耐圧がP^+層下の領域の耐圧よりも下がりやすいことから、Ｎ型埋込層１４とアイソレーション部２０は、接触しないように設けられている。

【００２１】

次に、図３（ｆ）に示すように、アイソレーションされた表面を保護するためのパッシベーション膜２２を形成すると共に、図３（ｇ）に示すようにこのパッシベーション膜２２にコンタクトホールを形成してＡｌの電極２４を形成する。また、裏面のコンタクトはＡｕの電極２６により形成される。なお、図中符号２８で示すものは、光遮蔽膜としてのＡｌ膜である。

【００２２】

このようにして製造された第１の実施の形態にかかるＳｉ－ＡＰＤは、図１に示す構成を有するものであり、N^+ N^- ＮＰP^+構造から成るものである。これを模式的に示したのが図４（ａ）であり、図４（ｂ）は、この構造のＳｉ－ＡＰＤを構成する各領域の電界強度分布を示すものである。

【００２３】

次に、この構成のＳｉ－ＡＰＤの動作を説明する。上述の構成を有するＳｉ－ＡＰＤにおいては、電子のイオン化率αは、ホールのイオン化率βよりも大きい。従って、小数キャリアが電子であるＰ型エピタキシャル層１６及びP^+領域１８において光を吸収し、電子が発生するとこの発生した電子をＰＮ接合の高電界アバランシェ領域に注入することで効率の良い増倍を行なうことができる。

【００２４】

このＳｉ－ＡＰＤにおいては、接合をＰＮ型としているため、高バイアスを印加したとき空乏層がＮ層側にも広がる。従って、Ｐ型エピタキシャル層１６を薄くした状態で低容量化を実現できる。また、Ｎ層側にも空乏層が広がるため、ＰＮ接合部における電界強度が低くなり増倍雑音を低減することができる。

【００２５】

一方、空乏層がＮ層側にも広がるため、これらの層内においてもキャリアの発生は起こる

が、Ｎ型埋込層１４及びN^+型エピタキシャル層１２で発生したキャリアのうちホールが、ＰＮ接合の高電界領域に注入される。上述のようにホールのイオン化率βは、電子のイオン化率αに比べ１桁程度小さいため、ホールの増倍に対する寄与は小さい。従って、放射線が直接入射し、Ｎ型埋込層１４及びN^-型エピタキシャル層１２において、キャリアが発生しても出力にはほとんど影響を与えることがない。

【００２６】

また、このＳｉ－ＡＰＤにおいては、高濃度のＮ型埋込層１４を設けたことにより、アクセプタ濃度が低下した場合でもＰ型エピタキシャル層１６が空乏層化しなくなる傾向を軽減している。更に、ＰＮ接合は、Ｎ型埋込層１４の上部に形成されていることから、ニュートロン照射によりシリコンのドナー濃度が増加した場合であっても、ＰＮ接合の位置が図１の上下方向にずれることがなく、しかも、空乏層がＰ層側に広がりやすい状況になる。従って、抵抗率変動に伴う素子応答への悪影響を防止することができる。

【００２７】

次に、図５を参照して本願発明の第２の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤの構造を説明する。この説明においては、第１の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤの構成と同一の構成には同一の符号を用い説明を省略する。

【００２８】

この第２の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤは、第１の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤのP^+領域１８をピクセル化し、P^+領域１８を分割したものである。このＳｉ－ＡＰＤにおいては、Ｐ型エピタキシャル層１６を空乏層化して動作させているため、この空乏層が表面に達したときにピクセル化したP^+領域１８がピンチオフする。従って、P^+領域１８を分離したＳｉ－ＡＰＤアレーを実現することができる。

【００２９】

また、このＳｉ－ＡＰＤにおいては、Ｎ型埋込層１４は、ピクセル化した全てのP^+領域１８にわたるように均一に形成されている。従って、ピクセル間の抵抗が増大し、信号を分離して取り出すことができる。また、この構造のＳｉ－ＡＰＤにおいては、ピクセル化した各P^+領域１８の間において電位差がないため素子間ギャップをフォトダイオードの素子間ギャップと同等に狭くすることができる。更に、素子上に配線を形成する場合においても、配線下のパッシベーション膜と基板との間の電位差もないため、配線の信頼性を向上させることができる。

【００３０】

更に、Ｎ型埋込層１４をピクセル化した全てのP^+領域１８にわたるように均一に形成したことにより、ばらつきが少なく素子間ギャップを狭くした（１０μｍ程度）アレーを実現することができる。

【００３１】

なお、この第２の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤにおいては、Ｎ型埋込層１４をピクセル化した全てのP^+領域１８にわたるように均一に形成しているが、これに限らず、Ｎ型埋込層１４をピクセル化した各P^+領域１８毎に設けてもよい。

【００３２】

また、上述の第１及び第２の実施の形態のようにアイソレーションは、溝形成による絶縁層分離とすることが望ましいが、ＰＮ接合分離としてもよい。即ち、図６に示されるように、第１の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤのアイソレーション部２０をＮ型の不純物拡散領域２０１により形成してもよい。このＳｉ－ＡＰＤは、第１の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤと同様にＰ型エピタキシャル層１６まで製造し、その後Ｐ型エピタキシャル層１６の表面に酸化膜を形成し、アイソレーションのための領域上の酸化膜に開口部を形成し、熱処理を施すことによりリン等を拡散させ、Ｐ型エピタキシャル層１６内にＮ型のアイソレーション部２０１を形成する。その後、電極の引き出し等を行なうことにより製造を行なう。

【００３３】

次に、第１の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤを例にとり、放射線検出器４０に用いられる場合について説明する。図７は、放射線検出器４０を模式的に示した図である。この放射線検

出器４０は、Ｓｉ－ＡＰＤアレー４２の上面にＳｉ－ＡＰＤアレー４２を保護するための酸化膜４６を形成しその上にシンチレータ４１を設けて構成される。ここで、Ｓｉ－ＡＰＤアレー４２は、Ｓｉ－ＡＰＤにより構成される画素４２ａ、各画素間をアイソレーションするアイソレーション部４２ｂ及び電流を取り出すための電流取出電極４２ｃ等により構成される。

【００３４】

この放射線検出器４０に放射線が入射した場合には、シンチレータ４１により光が放出され、この光に基づきＳｉ－ＡＰＤアレー４２の各画素４２ａにおいて電流が発生する。ここで放射線は、シンチレータ４１を通り抜け、直接Ｓｉ－ＡＰＤアレー４２を構成するＳｉ－ＡＰＤに入射することがあるが、このシンチレータ４１を通り抜ける放射線のうちニュートロンによりシリコンのドナー濃度が増加した場合であってもＳｉ－ＡＰＤのＰＮ接合の位置がずれることがなく、しかも空乏層がＰ層側に広がりやすくなっている。又、直接入射した放射線により、Ｎ型領域でキャリアが発生しても、ホールがアバランシェ層に注入されるため出力への寄与は小さい。従って、直接入射した放射線による影響が少ない放射線検出器を提供することができる。

【００３５】

【発明の効果】

本発明によれば、ＰＮ接合界面に高濃度のＮ型埋込層を設けたことにより、ニュートロン照射によりシリコンがＮ型化した場合であってもＰＮ接合の位置がずれることがなく、しかも空乏層がＰ層側に広がりやすい。従って、抵抗率変動に伴う素子応答への悪影響を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本願発明の第１の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤの構造を示す断面図である。

【図２】第１の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤの製造工程（前半）を示す工程断面図である。

【図３】第１の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤの製造工程（後半）を示す工程断面図である。

【図４】本願発明のＳｉ－ＡＰＤの構造を示す図及び電界強度分布を示す図である。

【図５】本願発明の第２の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤの構造を示す断面図である。

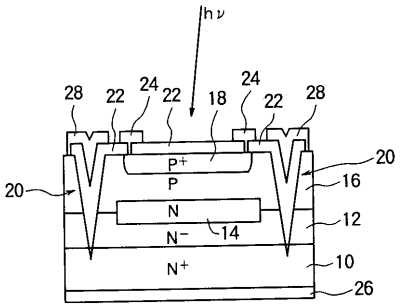
【図６】アイソレーション部をＰＮ接合分離により形成したＳｉ－ＡＰＤの構造を示す断面図である。

【図７】第１の実施の形態のＳｉ－ＡＰＤが放射線検出器に用いられた状態を説明するための図である。

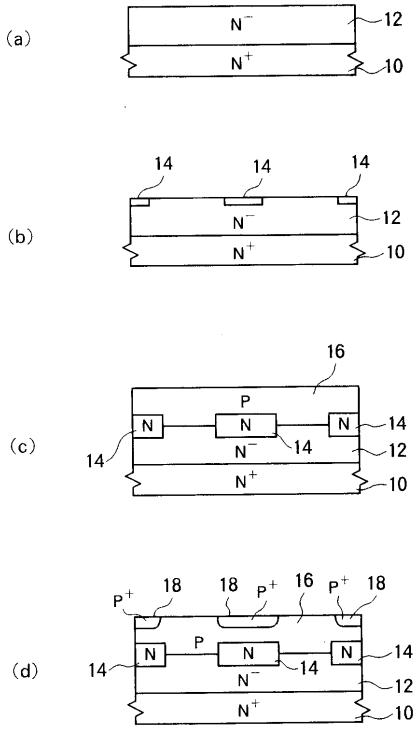
【符号の説明】

１０…N^+　型シリコン基板、１２…N^-　型エピタキシャル層、１４…Ｎ型の埋込層、１６…Ｐ型エピタキシャル層、１８…P^+　領域、２０…アイソレーション部、２２…パッシベーション膜、２４…電極、４０…放射線検出器、４１…シンチレータ、４２…Ｓｉ－ＡＰＤアレー、４２ｃ…電流取出電極。

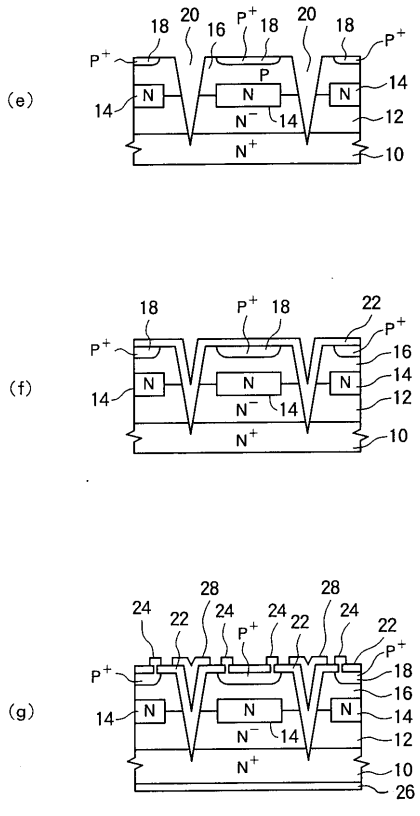
【図１】


hν
28
22
24
22
18
24
22
28
20
P+
P
N
N−
14
N+
16
12
10
26

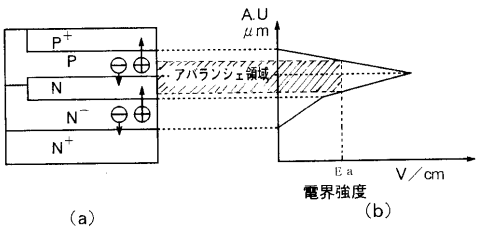
【図２】


(a)
N−
N+
12
10
(b)
14
14
14
N−
N+
12
10
(c)
16
P
N
N
N
14
14
N−
14
12
N+
10
(d)
P+
18
18
P+
16
P+
18
N
P
N
N
14
14
N−
14
12
N+
10

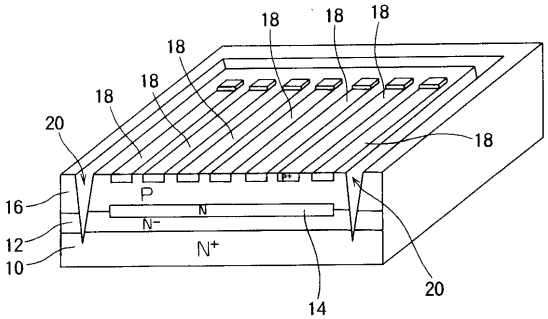
【図３】


(e)
18
20
16
P+
18
20
18
P+
P+
P
N
N
N
14
14
N−
14
12
N+
10
(f)
18
P+
18
22
P+
P+
16
N
N
N
14
14
N−
14
12
N+
10
(g)
24
22
24
28
P+
24
22
28
24
22
P+
P+
18
16
N
N
N
14
14
N−
14
12
N+
10
26

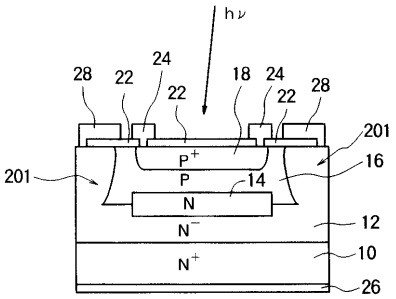
【図４】


P+
P
N
N−
N+
A.U
μm
アバランシェ領域
Ea
V／cm
電界強度
(a)
(b)

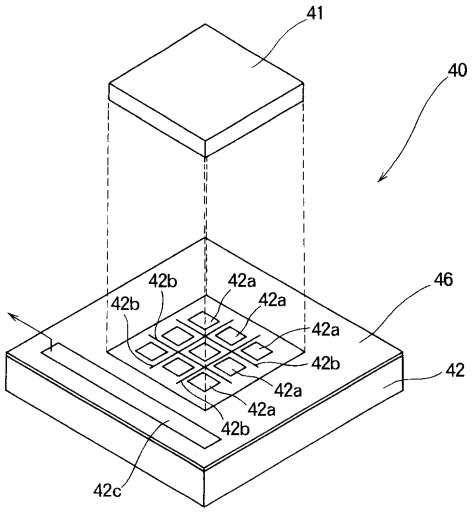
【図５】


18
18
18
18
18
18
20
18
16
P
N
N−
12
N+
10
14
20

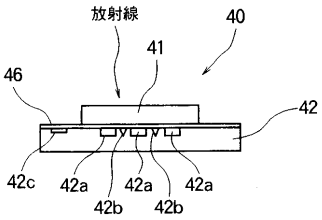
【図６】


hν
28
22
24
22
18
24
22
28
201
201
16
P+
P
14
N
N−
12
N+
10
26

【図７】


41
40
46
42
42b
42a
42a
42a
42b
42a
42a
42b
42b
42c

(a)


放射線
40
41
46
42
42c
42a
42a
42a
42b
42b

(b)

フロントページの続き

(72)発明者　石川　嘉隆
静岡県浜松市市野町１１２６番地の１　浜松ホトニクス株式会社内
(72)発明者　加藤　昌宏
静岡県浜松市市野町１１２６番地の１　浜松ホトニクス株式会社内

審査官　濱田　聖司

(56)参考文献　特開平７－３８１４０（ＪＰ，Ａ）
特開平６－２９１３５２（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－１１６４７４（ＪＰ，Ａ）
特開昭６１－２２５８７８（ＪＰ，Ａ）
特開平４－２５６３７６（ＪＰ，Ａ）
特開昭５９－１１２６６４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H01L 31/10-31/119