

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-228750

(P2017-228750A)

(43) 公開日 平成29年12月28日(2017.12.28)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
 HO 1 L 31/10 (2006.01) HO 1 L 31/10 A 5 F 8 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 2 書面 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2016-133730 (P2016-133730)
 (22) 出願日 平成28年6月20日 (2016.6.20)

(71) 出願人 502379505
 久保 征治
 東京都八王子市暁町2丁目29番8号
 (72) 発明者 久保 征治
 東京都八王子市暁町2丁目29番8号
 Fターム(参考) 5F849 AA02 AB03 BA05 BA21 CB10
 CB11 CB14 GA04 KA06 LA01
 LA03 XB15 XB41

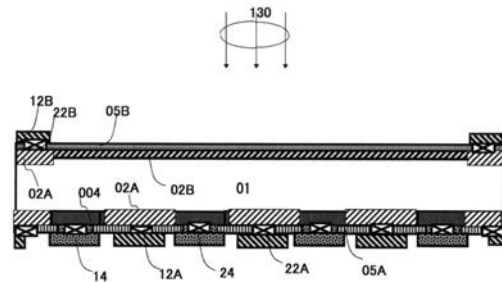
(54) 【発明の名称】 フォトダイオード並びにその製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 温度特性を改善し、コストを低減させたフォトダイオードを提供する。

【解決手段】 第一極性の単結晶シリコン基板 1 に基板と異なる極性を有する第一の半導体層 2 A と第二の半導体層 2 B を設けて、それぞれの半導体層が基板との間で形成される接合を有する。それらの接合で得られる出力電流もしくは出力電圧（幾何平均化出力電圧）との差を検出する。それによって、温度依存性が少ない光量に対応する出力が得られるフォトダイオードを実現できる。当該フォトダイオードは三端子である。

【選択図】 図 2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

単結晶もしくは多結晶シリコンを用いたフォトダイオードにおいて、

第一導電型の半導体基板と、

前記半導体基板の光透過面に形成されていて中長波長（赤外線を含む）のランプ、太陽光線などに基づく光生成キャリアを収集する第二導電型の第一半導体層と、

前記半導体基板の光入射面に形成されていて短波長（紫外線を含む）の光線に基づく光生成キャリアを収集するとともに前記中長波長（赤外線を含む）の光線に基づく光生成キャリアのうち第一半導体層に到達しない光生成キャリアを収集する第二導電型の第二半導体層と

前記それぞれの電極と接地電極を通じて外部と接続される三つの端子を備える、フォトダイオード。

【請求項 2】

単結晶もしくは多結晶シリコンを用いたフォトダイオードの製造方法において、

第一導電型で半導体基板の光透過面に中長波長（赤外線を含む）のランプ、太陽光線などに基づいて発生するキャリアを収集する第二導電型の第一半導体層を形成するステップと、

前記半導体基板の光入射面に短波長（紫外線を含む）の光線に基づいて発生するキャリアを収集するとともに前記中長波長（赤外線を含む）の光線に基づいて発生するキャリアのうち第一半導体層に到達しないキャリアを収集する第二導電型の第二半導体層を形成するステップと、

外部へ信号を外部へ取り出す為の前記第一半導体層の電極、第二半導体層の電極、電極の三端子を形成するステップ、

を含む、フォトダイオードの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光電変換装置、それを備えたフォトダイオードに関し、特に、単結晶シリコン及びもしくは多結晶シリコン等の結晶系半導体を用いた、フォトダイオード並びにその製造方法に関する。

前記フォトダイオードは、他に P I N フォトダイオード、放射線センサ、紫外線フォトダイオード（センサ）、半導体イメージセンサ、光検知器の装置全般を指す。

【背景技術】

【0002】

フォトダイオードは、例えば、単結晶シリコンのような半導体材料内に構成された接合近辺で

外部から入射する光源（例えば、ランプや太陽光）からの光（光子）から変換される、電子・正孔対（キャリア）を電気的手段で検出する、装置である。フォトダイオードは、大別して、 1 接合に逆バイアスを印加して空乏層を広げておいて、外部から入射する光が前記空乏層内でキャリアを発生させて、そのキャリアの値を信号電流として検出する方式、と 2 接合素子自身の起電力に基づく光・電気変換で生ずる電圧を信号電圧として利用する方式、もある。

従来フォトダイオードとしては、特許文献 1 には単結晶シリコン基板に設けた P I N 型フォトダイオードを用いた上記 1 の方式に基づくフォトダイオードに関する記載がある。

その特許文献 1 によれば、単結晶シリコンで且つその不純物濃度が非常に低い（例えば、 $10^{12} \text{ cm}^{-3} \sim 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ の結晶を用いる。そして、その半導体基板の表面に $0.1 \mu\text{m}$ 以下の深さでピーク濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の P + + 型不純物濃度を形成した P I N フォトダイオードを製作して 100 nm の波長の光で量子効率 50 % 以上を得ている。

10

20

30

40

50

特許文献 1：特開 平 7 - 2 4 0 5 3 4 号

【 0 0 0 3 】

しかしながら、この構造は、前記 1 の方式に基づくものであって、空乏層が広がり易い P I N 構造を利用している。従って、P I N 接合間には高い逆バイアスを印加する必要がある。その結果、前記のように不純物濃度が非常に低い結晶（特に F Z 結晶）が不可欠である。更に、逆バイアスの為には相対的に高い電圧源も必要である。

一方、2 の方式を利用したフォトダイオードは、P I N 用の基板よりも不純物濃度が相対的に高い不純物濃度 $1 0^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 1 0^{14} \text{ cm}^{-3}$ の基板を用いる。光量の検出原理は、太陽電池における開放電圧のように、光によって発生する電流値が、接合を逆方向に流れるリーク電流（暗電流）と相殺されて全体の電流値がゼロとなる時に接合にかかる電圧値が、光の強度と下記（1）式の関係で信号電圧が得られること、を利用した方式である。

$$V_{oc} = 2 \cdot 2 \times k T / q \times \log (I_{sc} / I_o) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、k：ボルツマン定数、q：電荷量、T：絶対温度、I_{sc}：短絡電流、I_o：飽和電流（暗電流） V_{oc}：開放電圧

【 0 0 0 4 】

従来技術のフォトダイオードは特許文献 1 を含めて、外部に信号を取り出す電極は二端子である。

即ち、特許文献 1 の実施例 2 で示されるように外部電極へ光電変換された信号を取り出すために、導体表面（受光面）に前記 P++ 型不純物濃度層（以下、P++ 第二半導体層と称する）と隣接して、且つ深さが 0.5 μm と厚い第一の P+ 型半導体層を設けて、その上部に形成した絶縁膜にコンタクト穴を設けて、アルミニウムなどの金属電極（アノード）を設けた構造である。

そして、その金属電極（アノード）は、当該文献には明記されていないが、当該第一、第二の半導体層 02A、02B を設けた表面側に別途ボンディングパッド部を設けてそこへ金属細線（ワイヤー）を經由して外部に取り出される端子 42A、42B に接続している、と推定される。裏面のカソード電極も同様な手段を講じて端子 44 に接続しており、それらの端子と共に、例えば、当該フォトダイオードを搭載したプリント基板上で更なる配線などを施している。

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかし、前記 1、2 のいずれの方式を用いても、フォトダイオードには接合自体に温度依存性があるので飽和電流（暗電流）が周囲温度の増大と共に増大する。この結果、低い光量に対応する信号（信号電流もしくは信号電圧）と前記飽和電流（暗電流）の増大に起因する雑音とを峻別する、のが困難であった。

【 0 0 0 6 】

前記のように、従来フォトダイオードは二端子構造であるので、検出する信号が微小な場合、信号とは無関係に変化する温度依存性の要因を分離するのが極めて困難である、課題があった。

【 0 0 0 7 】

特許文献 1 は、前記 1 の方式のフォトダイオードでは P I N 構造を実現する為に非常に低濃度の不純物基板を使っている。その結果、コスト面での課題もあった。

【 0 0 0 8 】

2 の方式は、測定すべき光量に比例する短絡電流 I_{sc} を飽和電流 I_o で除してそれらの比を対数値で得られる開放電圧の値を用いる方式である。2 の方式は、通常の不純物濃度の N-基板を用いた P N 構造でも実現できる。その利点としては、対数化した値を計測するのでダイナミックレンジが大幅に拡大できること、とフォトダイオード自体の起電力を利用するので、外部からのバイアス電源を必要としないこと、がある。その反面で、（1）式から明らかなように、開放電圧で測定することは、特に温度依存性が大きいこと、が従来課題であった。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明は温度特性を改善してしかもコストを低減させたフォトダイオードを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

上記課題を解決するために、本発明のフォトダイオードは、
第一導電型の半導体基板と、

前記半導体基板の光透過面に形成されていて中長波長（赤外を含む）のランプ、太陽光線などに基づく光生成キャリアを収集する第二導電型の第一半導体層と、

前記半導体基板の光入射面に形成されていて短波長（紫外を含む）光線に基づく光生成キャリアを収集するとともに前記中長波長（赤外を含む）の光線に基づく光生成キャリアのうち第一半導体層に到達しない光生成キャリアを収集する第二導電型の第二半導体層、
とにそれぞれの電極並びに接地電極を通じて外部と接続される三つの端子を備える。

10

【 0 0 1 1 】

また、本発明のフォトダイオードの製造方法は、

第一導電型で且つ不純物濃度が 100 cm 以下の半導体基板の光透過面に中長波長のランプ、太陽光線などに基づいて発生するキャリアを収集する第二導電型の第一半導体層を形成するステップと、

前記半導体基板の光入射面に短波長（紫外）の光線に基づいて発生するキャリアを収集するとともに前記中長波長（赤外を含む）の光線に基づいて発生するキャリアのうち第一半導体層に到達しないキャリアを収集する第二導電型の第二半導体層を形成するステップと、

20

外部へ信号を取り出す為の三端子を形成するステップ、
を含む。

【 0 0 1 2 】

前記、まず 1 の方式でダイナミックレンジを広げて（対数化して）アナログ計測してその後で 2 の方式でデジタル計測する手段、を提供する。

【 0 0 1 3 】

光量データの記録（積算記録、分光記録など）を計測する手段、を提供する。

【 0 0 1 4 】

レーザドーピングで後記の第一半導体層と第二半導体層とを接続する手段、を提供する。

30

【得られる効果】

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、前記、第一半導体層と第二第一半導体層との出力信号（出力電流もしくは出力電圧）の差分も検出できるので、当該フォトダイオードの温度依存性を大幅に低減できる。

【 0 0 1 6 】

PN型でPIN型よりも相対的に高い不純物濃度の結晶基板を利用できるので、コストが安価である。

【図面の簡単な説明】

40

【 0 0 1 7 】

【図1】 本発明の実施形態1のフォトダイオード100の光透過面側から見た模式的な斜視図である。

【図2】 図1及び図2の破線Aに沿った断面図である。

【図3】 図3に示すフォトダイオード100の製造工程図である。

【図4】 本発明のフォトダイオード100の製造工程図である。

【符号の説明】

【 0 0 1 8 】

0 0 1 フォトダイオード

0 1 N - 半導体基板

50

1 3 0	ランプもしくは太陽光の光源	
0 2 A	第一 P + 型半導体層	
0 2 B	第二 P + + 型半導体層	
0 4	N + 半導体層	
0 5 A , 0 5 B	絶縁膜	
1 2 A	電極 (第一 P + 半導体層用)	
1 2 B	電極 (第二 P + + 半導体層用)	
1 4	電極 (N + 半導体層用)	
2 2 A	コンタクト (第一 P + 半導体層用)	
2 2 B	コンタクト (第二 P + + 半導体層用)	10
2 4	コンタクト (N + 半導体層用)	
3 2 A	細金属線	
3 2 B	細金属線	
3 4	細金属線	
4 2 A	端子	
4 2 B	端子	
4 4	端子	
4 5	半導体基板抵抗	
4 6	オペアンプ	
4 7	オペアンプ出力端子	20
4 8 , 4 9	オペアンプ入力端子	
5 1 , 5 2	出力電圧 (オペアンプ入力電圧)	
6 1 , 6 2	出力電流	
7 1 , 7 2	オペアンプ 入力調整素子	
8 1 , 8 2	オペアンプ 出力調整素子 (帰還素子)	
9 1 , 9 2	接合 1、接合 2	

【発明を実施するための形態】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。

(実施形態 1)

【0019】

図 1 は、本発明の実施形態 1 において当該フォトダイオード 100 を光透過面側から見た模式的な斜視図である。図 1 には、当該フォトダイオード 100 から信号を取り出す為の細金属線 3 2 A , 3 2 B , 3 4 並びに端子 4 2 A , 4 2 B , 4 4 , 並びに光源、例えば、ランプ、太陽光など 1 3 0、も示されている。図 2 には、図 1 にも示す当該フォトダイオードの断面図である。図 1 , 2 において、0 1 は N - 型半導体基板、0 2 A は第一 P + 型半導体層、0 2 B は第二 P + + 型半導体層、0 4 は N + 型半導体層、1 2 A は電極 (第一 P + 半導体層用)、1 2 B は電極 (第二 P + + 半導体層用)、1 4 は電極 (N + 半導体層用)、2 2 A はコンタクト (第一 P + 半導体層用)、2 2 B はコンタクト (第二 P + + 半導体層用)、2 4 はコンタクト (N + 半導体層用) である。

また、0 5 A、0 5 B は酸化膜のような絶縁膜である。

【0020】

当該フォトダイオードのサイズは X 方向、Y 方向の長さともに 2 0 m m ~ 3 0 m m 程度、厚さは 2 0 0 μ m ~ 3 0 0 μ m 程度とすればよい。

【0021】

単結晶 N - 型半導体基板 0 1 は、その比抵抗が例えば 0 . 1 ・ c m ~ 1 ・ c m であり、その厚さが例えば 2 0 0 μ m ~ 3 0 0 μ m である。その不純物濃度が $1 0^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 1 0^{14} \text{ cm}^{-3}$ である。もっとも、単結晶 N - 型半導体基板 0 1 に代えて、多結晶の N - 型半導体基板を用いてもよく、以後、説明する半導体の導電型を逆型にすることで、単結晶又は多結晶の P 型半導体基板を用いても良い。

30

40

50

【 0 0 2 2 】

図 1, 2 に示すように、光透過面（裏面）沿いには第一 P + 型半導体層 0 2 A、光受光面（表面）沿いには第二 P + + 型半導体層 0 2 B、が形成される。ここで、0 2 A は厚さが約 $0.5 \mu\text{m}$ で不純物濃度は $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、0 2 B は厚さが約 $0.1 \mu\text{m}$ で不純物濃度は $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ である。

0 2 A は、N - 型半導体基板 0 1 において、主に中長波長領域の光線に基づく生成キャリア（正孔）を、一方 0 2 B は、主に短波長領域の光線に基づく生成キャリア（正孔）を集める。

そしてフォトダイオードの端子 4 2 A, 4 2 B, 4 4 から外部へ信号を取り出す。

即ち、当該フォトダイオードは三つの端子で構成されたフォトダイオードである。

10

【 0 0 2 3 】

なお、電極 1 2 A, 1 2 B, 1 4 の材料としては、例えば、アルミニウム、銀又は銅を用いることができる。これらの材料は、例えば、これらをペースト状にして用いてもよいし、単独で用いるだけでなく混合させて用いてもよい。

【 0 0 2 4 】

次に、図 3 を説明する。図 3 において、9 1, 9 2 は、夫々が第一 P + 半導体層 0 2 A, 第二 P + + 半導体層 0 2 B と N - 型基板 0 1 との間で構成される接合の等価的な表示である。図 3 で 4 5 は N - 型基板 0 1 の基板抵抗である。

【 0 0 2 5 】

図 3 において、5 1, 5 2 は、接合 9 1 と 9 2 のアノード端子 4 2 A, 4 2 B と接地端子 4 4 との間の端子電圧である。6 1, 6 2 は、接合 9 1, 9 2 を流れる電流である。これらの電流は、照射された光の量に対応する生成電流と周囲温度と接合端子電圧に起因する飽和電流（暗電流）とからなる。

20

【 0 0 2 6 】

前記の出力電流 6 1, 6 2 およびもしくは出力電圧 5 1, 5 2 とは、それぞれが、オペアンプ 4 6 の入力端子 4 8, 4 9 と接地 4 4 間を流れる、もしくは印加される。

図 3 に示すように、オペアンプ 4 6 と、入力調整素子 7 1, 7 2 並びに帰還調整素子 8 1, 8 2 とでオペアンプ・システムを構成する。4 7 はオペアンプの出力端子、4 8, 4 9 はオペアンプの入力端子である。

周知のように、オペアンプ 4 7 は、基本的には差動アンプであって、入力端子 4 8 と 4 9 との入力信号の差を増幅する。そして、また、入力調整素子 7 2 を短絡すると、帰還調整素子 8 2 によって、出力電流 6 2 が検知できる。出力電流 6 1 と 6 2 との和である全出力電流もしくは出力電圧 8 1 と 8 2 との幾何平均和の信号は、図 3 において、入力調整素子 7 1 を経て 7 2 と同じオペアンプの入力端子 4 9 に接続すると得られる。また、端子電圧 8 1 と 8 2 もしくは信号電流 6 1 と 6 2 のいずれかに重み係数を乗じる必要があるときには、その係数を入力調整素子 7 1 と 7 2 に反映して調整すれば良い。

30

従って、接合 9 1, 9 2 の飽和電流（暗電流）に起因して、不可避免的に出力電流 6 1 と 6 2 に混入する電流成分もしくは出力電圧 5 1, 5 2 に同相的に不可避免的に加算されている電圧成分は、上記で説明した入力調整素子を調整して出力電流 6 1 と 6 2 との差分をとれば打ち消すことが出来る。

40

そして、前記説明のように出力電流の和も得ることが出来るので、飽和電流（暗電流）に依存しない、全体の光量に比例した出力電流（つまり、6 1 と 6 2 の光に比例する成分の和である全体の生成電流）もしくは、5 1 と 5 2 とが幾何平均された出力電圧を求めることが出来る。

【 0 0 2 7 】

次に、当該フォトダイオードの製造方法について図 4 を用いて説明する。

【 0 0 2 8 】

まず、比抵抗が $1 \sim 10 \text{cm}$ であって、厚さが $200 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ 、ウエハー径が 60mm 、の単結晶シリコン N - 型 F Z 半導体基板 0 1 を準備する。そして、そのウエハーの欠陥層を除去するための化学エッチングでその両面を約 $10 \mu\text{m}$ を除去する。

50

(ステップ1)

【0029】

その後、単結晶シリコンN-型FZ半導体基板01の両面にボロンガラスもしくはボロシリケートガラスを塗布して、ホットエッチングにて所定の個所が01に接するように加工する。

(ステップ2)

【0030】

続いて、前記の単結晶シリコンN-型FZ半導体基板01の光透過面(裏面)にリンガラスを塗布して、ホットエッチングにて所定の個所が01に接するように加工する。

(ステップ3)

【0031】

続いて、前記のボロンとリンとをN-型FZ半導体基板01中に拡散させる。その条件は不純物濃度が、 10^{18} cm^{-3} で拡散深さが約 $0.5 \mu\text{m}$ となるように炉の温度と時間を設定する(第一P+半導体層02AとN+半導体層04の形成)。

(ステップ4)

【0032】

続いて、単結晶シリコンN-型FZ半導体基板01の受光面(表面)沿いにボロンを打ち込み濃度が 10^{20} cm^{-3} のドーズ量の条件でイオン打ち込みする。そして、750から850で30分程度アニールを行う。もしくは、RTAにて1050から1100で5秒から10秒アニールを行う、その池、BF2もしくはBF3をイオン源に用いて同量のドーズ量でイオン打ち込みをして、前記と同じ条件でアニール処理をしても良い。更に、化学的に活性な表面を露出させて、ガス状のボロン元素を含む化合物を固相もしくは液相拡散法を用いる(第二P++半導体層02Bの形成)。

(ステップ5)

【0033】

単結晶シリコンN-型FZ半導体基板01の両面に電極12A, 12B, 42と第一、第二半導体層02A, 02Bを接続するためのコンタクト穴をホットエッチング法などで設ける。

(ステップ6)

【0034】

アルミニウムもしくはシリコン含有アルミニウムを蒸着、スパッタで基板の両面に成膜する。

ホットエッチングで所定の電極部分以外は除去する。もしくはアルミニウムもしくは銀を含有するペーストを印刷法で所定部分(電極部分)に塗布して形成する。

(ステップ7)

【0035】

完成したウエハーでのペレット検査を行い、組み立て工程においてパッケージに実装する。

(ステップ8)

【0036】

以上の工程を経て当該フォトダイオードは完成する。図4において、ステップ2, 3, 7におけるホットエッチング工程の代わりに印刷法を用いることも出来る。更に、図4においてステップ7とステップ8との間に、レーザドーピングを利用して第一と第二半導体層を接続することも出来る。

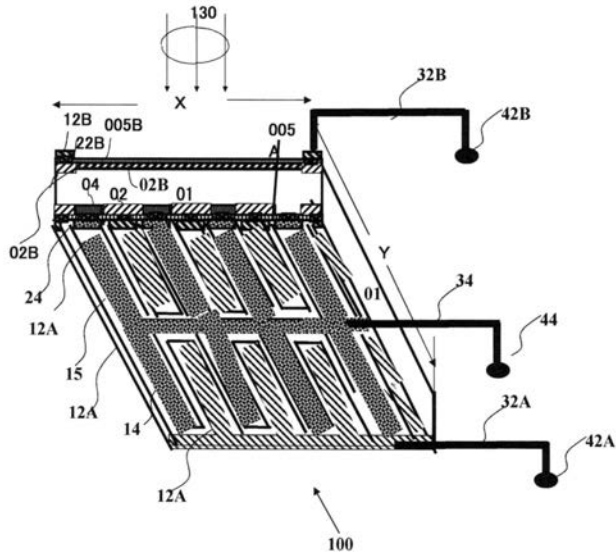
10

20

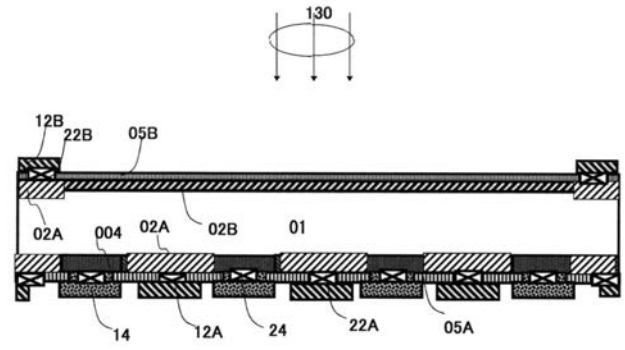
30

40

【 図 1 】

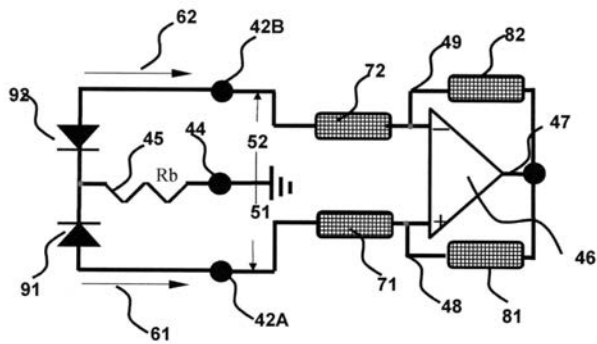


【 図 2 】



【 図 3 】

図面代用写真(カラー)



【 図 4 】

