

(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2013-125890

(P2013-125890A)

(43) 公開日 平成25年6月24日(2013.6.24)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
H O 1 L 31/04 (2006.01) H O 1 L 31/04 A 5 F 1 5 1

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2011-274354 (P2011-274354)	(71) 出願人	000005049
(22) 出願日	平成23年12月15日 (2011.12.15)		シャープ株式会社
			大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号
		(74) 代理人	100120662
			弁理士 川上 桂子
		(74) 代理人	100112715
			弁理士 松山 隆夫
		(74) 代理人	100125704
			弁理士 坂根 剛
		(72) 発明者	中村 淳一
			大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号
			シャープ株式会社内
		Fターム(参考)	5F151 AA02 AA03 AA05 CB11 DA07 DA20

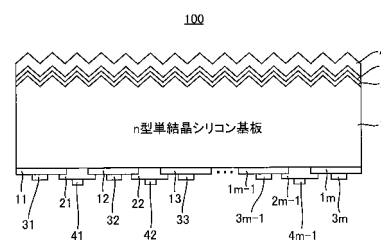
(54) 【発明の名称】 光電変換素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】半導体基板に対するパッシベーションの効果を向上可能な光電変換素子を提供する。

【解決手段】光電変換素子100は、n型単結晶シリコン基板1と、酸化膜2と、n型非晶質膜3、21～2m-1と、反射防止膜4と、p型非晶質膜11～1mと、電極31～3m、41～4m-1とを備える。酸化膜2、n型非晶質膜3および反射防止膜4は、n型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面に順次積層される。p型非晶質膜11～1mおよびn型非晶質膜21～2m-1は、n型単結晶シリコン基板1の裏面に接してn型単結晶シリコン基板1の面内方向に交互に配置される。電極31～3mは、それぞれ、p型非晶質膜11～1mに接して配置され、電極41～4m-1は、それぞれ、n型非晶質膜21～2m-1に接して配置される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の導電型を有する単結晶シリコンからなる半導体基板と、
前記半導体基板の光入射側の表面に接して設けられた酸化膜と、
前記酸化膜に接して設けられ、前記第 1 の導電型を有する第 1 の非晶質膜と、
前記半導体基板の光入射側の表面と反対側に設けられ、前記第 1 の導電型と反対の第 2 の導電型を有する第 2 の非晶質膜と、
前記半導体基板の面内方向において前記第 2 の非晶質膜に隣接して前記半導体基板の光入射側の表面と反対側に設けられ、前記第 1 の導電型を有する第 3 の非晶質膜とを備える光電変換素子。

10

【請求項 2】

前記半導体基板と前記第 2 の非晶質層との間に設けられ、i 型の導電型を有する第 4 の非晶質膜を更に備える、請求項 1 に記載の光電変換素子。

【請求項 3】

前記半導体基板と前記第 3 の非晶質層との間に設けられ、i 型の導電型を有する第 4 の非晶質膜を更に備える、請求項 1 に記載の光電変換素子。

【請求項 4】

前記第 4 の非晶質膜は、i 型アモルファスシリコンカーバイド、i 型アモルファスシリコンナイトライド、i 型アモルファスシリコンカーボンナイトライド、i 型アモルファスシリコンオキサイド、i 型アモルファスシリコンおよび i 型アモルファスシリコンゲルマニウムのいずれかからなる、請求項 2 または請求項 3 に記載の光電変換素子。

20

【請求項 5】

前記半導体基板と前記第 2 の非晶質層との間に設けられ、i 型の導電型を有する第 4 の非晶質膜と、

前記半導体基板と前記第 3 の非晶質層との間に設けられ、i 型の導電型を有する第 5 の非晶質膜とを更に備える、請求項 1 に記載の光電変換素子。

【請求項 6】

前記第 4 および第 5 の非晶質膜の各々は、i 型アモルファスシリコンカーバイド、i 型アモルファスシリコンナイトライド、i 型アモルファスシリコンカーボンナイトライド、i 型アモルファスシリコンオキサイド、i 型アモルファスシリコンおよび i 型アモルファスシリコンゲルマニウムのいずれかからなる、請求項 5 に記載の光電変換素子。

30

【請求項 7】

前記酸化膜は、自然酸化膜からなる、請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の光電変換素子。

【請求項 8】

前記半導体基板は、n 型単結晶シリコンからなり、

前記第 1 の非晶質膜は、n 型非晶質膜からなり、

前記第 2 の非晶質膜は、p 型非晶質膜からなり、

前記第 3 の非晶質膜は、n 型非晶質膜からなる、請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の光電変換素子。

40

【請求項 9】

前記第 1 の非晶質膜は、n 型アモルファスシリコンカーバイド、n 型アモルファスシリコンナイトライド、n 型アモルファスシリコンカーボンナイトライド、n 型アモルファスシリコンオキサイド、n 型アモルファスシリコン、n 型アモルファスシリコンゲルマニウムおよび n 型アモルファスゲルマニウムのいずれかからなり、

前記第 2 の非晶質膜は、p 型アモルファスシリコンカーバイド、p 型アモルファスシリコンナイトライド、p 型アモルファスシリコンカーボンナイトライド、p 型アモルファスシリコンオキサイド、p 型アモルファスシリコン、p 型アモルファスシリコンゲルマニウムおよび p 型アモルファスゲルマニウムのいずれかからなり、

前記第 3 の非晶質膜は、n 型アモルファスシリコンカーバイド、n 型アモルファスシリ

50

コンナイトライド、 n 型アモルファスシリコンカーボンナイトライド、 n 型アモルファスシリコンオキサイド、 n 型アモルファスシリコン、 n 型アモルファスシリコンゲルマニウムおよび n 型アモルファスゲルマニウムのいずれかからなる、請求項 8 に記載の光電変換素子。

【請求項 10】

前記半導体基板は、 p 型単結晶シリコンからなり、
前記第 1 の非晶質膜は、 p 型非晶質膜からなり、
前記第 2 の非晶質膜は、 n 型非晶質膜からなり、
前記第 3 の非晶質膜は、 p 型非晶質膜からなる、請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の光電変換素子。

10

【請求項 11】

前記第 1 の非晶質膜は、 p 型アモルファスシリコンカーバイド、 p 型アモルファスシリコンナイトライド、 p 型アモルファスシリコンカーボンナイトライド、 p 型アモルファスシリコンオキサイド、 p 型アモルファスシリコン、 p 型アモルファスシリコンゲルマニウムおよび p 型アモルファスゲルマニウムのいずれかからなり、

前記第 2 の非晶質膜は、 n 型アモルファスシリコンカーバイド、 n 型アモルファスシリコンナイトライド、 n 型アモルファスシリコンカーボンナイトライド、 n 型アモルファスシリコンオキサイド、 n 型アモルファスシリコン、 n 型アモルファスシリコンゲルマニウムおよび n 型アモルファスゲルマニウムのいずれかからなり、

前記第 3 の非晶質膜は、 p 型アモルファスシリコンカーバイド、 p 型アモルファスシリコンナイトライド、 p 型アモルファスシリコンカーボンナイトライド、 p 型アモルファスシリコンオキサイド、 p 型アモルファスシリコン、 p 型アモルファスシリコンゲルマニウムおよび p 型アモルファスゲルマニウムのいずれかからなる、請求項 10 に記載の光電変換素子。

20

【請求項 12】

第 1 の導電性を有する単結晶シリコンからなる半導体基板の光入射側の表面に接して酸化膜を形成する第 1 の工程と、

前記第 1 の工程の後、前記酸化膜に接して前記第 1 の導電性を有する第 1 の非晶質膜を堆積する第 2 の工程と、

前記第 1 の工程の後、前記半導体基板の光入射側の表面と反対側に前記第 1 の導電性と反対の第 2 の導電性を有する第 2 の非晶質膜を堆積する第 3 の工程と、

前記半導体基板の面内方向において前記第 2 の非晶質膜に隣接して前記半導体基板の光入射側の表面と反対側に前記第 1 の導電性を有する第 3 の非晶質膜を堆積する第 4 の工程とを備える光電変換素子の製造方法。

30

【請求項 13】

前記第 1 の工程において、化学堆積法、熱酸化法、ウェット酸化法、水中酸化法および自然酸化法のいずれかの方法によって前記酸化膜が形成される、請求項 12 に記載の光電変換素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

この発明は、光電変換素子およびその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

バックコンタクト型太陽電池は、従来、受光面側にあった p n 接合および電極を裏面側に形成することで、受光面側の電極による影を無くし、太陽光をより吸収させることで、高効率を得る太陽電池である。

【0003】

そして、この種の太陽電池においては、 p n 接合としてヘテロ接合を用いる太陽電池も提案されている（特許文献 1）。この太陽電池は、半導体基板の裏面に i 型アモルファス

50

シリコン (a-Si) および n 型 a-Si を順次積層し、その積層した i 型 a-Si および n 型 a-Si の一部分を除去し、その除去した一部分に i 型 a-Si および p 型 a-Si を順次積層した構造からなる。

【0004】

また、受光面側の構造に関しては、ヘテロ接合を用いないバックコンタクト型の太陽電池において用いられている F S F 拡散層、シリコンナイトライド (SiN) および二酸化シリコン (SiO₂) のようなパッシベーション膜に加えて、アモルファスシリコン膜によってパッシベーションする方法が提案されている (非特許文献 1)。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0005】

【特許文献 1】特開 2010-80887 号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献 1】23rd EUPVSEC Session Code: 2CV.5.53(p1749).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、従来の太陽電池のように、単結晶シリコン基板の光入射側の表面をアモルファスシリコン膜によってパッシベーションした場合、単結晶シリコン基板に対するパッシベーションの効果が低いという問題がある。

20

【0008】

そこで、この発明の実施の形態によれば、半導体基板に対するパッシベーションの効果を向上可能な光電変換素子を提供する。

【0009】

また、この発明の実施の形態によれば、半導体基板に対するパッシベーションの効果を向上可能な光電変換素子の製造方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

この発明の実施の形態によれば、光電変換素子は、半導体基板と、酸化膜と、第 1 から第 3 の非晶質膜とを備える。半導体基板は、第 1 の導電型を有する単結晶シリコンからなる。酸化膜は、半導体基板の光入射側の表面に接して設けられる。第 1 の非晶質膜は、酸化膜に接して設けられ、第 1 の導電型を有する。第 2 の非晶質膜は、半導体基板の光入射側の表面と反対側に設けられ、第 1 の導電型と反対の第 2 の導電型を有する。第 3 の非晶質膜は、半導体基板の面内方向において第 2 の非晶質膜に隣接して半導体基板の光入射側の表面と反対側に設けられ、第 1 の導電型を有する。

30

【0011】

また、この発明の実施の形態によれば、光電変換素子の製造方法は、第 1 の導電型を有する単結晶シリコンからなる半導体基板の光入射側の表面に接して酸化膜を形成する第 1 の工程と、第 1 の工程の後、酸化膜に接して第 1 の導電型を有する第 1 の非晶質膜を堆積する第 2 の工程と、第 1 の工程の後、半導体基板の光入射側の表面と反対側に第 1 の導電型と反対の第 2 の導電型を有する第 2 の非晶質膜を堆積する第 3 の工程と、半導体基板の面内方向において第 2 の非晶質膜に隣接して半導体基板の光入射側の表面と反対側に第 1 の導電型を有する第 3 の非晶質膜を堆積する第 4 の工程とを備える。

40

【発明の効果】

【0012】

この発明の実施の形態による光電変換素子においては、半導体基板の光入射側の表面に接して酸化膜が設けられ、第 1 の非晶質膜が酸化膜に接して設けられる。その結果、半導体基板の光入射側の表面付近に存在するキャリア (電子および正孔) は、酸化膜による半導体基板のパッシベーション効果と、第 1 の非晶質膜による F S F 効果 (表面電界効果)

50

とによって再結合が抑制される。

【0013】

従って、半導体基板に対するパッシベーションの効果を向上できる。

【0014】

また、この発明の実施の形態による光電変換素子の製造方法においては、酸化膜が半導体基板の光入射側の表面に接して設けられ、第1の非晶質膜が酸化膜に接して設けられる。その結果、半導体基板の光入射側の表面付近に存在するキャリア（電子および正孔）は、上述したように、再結合が抑制される。

【0015】

従って、半導体基板に対するパッシベーションの効果を向上できる。

10

【0016】

更に、この発明の実施の形態による光電変換素子の製造方法においては、最初に、酸化膜が半導体基板の光入射側の表面に接して設けられ、その後、第1から第3の非晶質膜が形成される。

【0017】

従って、光電変換素子の製造プロセスにおいて、半導体基板の光入射側の表面を保護できる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】この発明の実施の形態1による光電変換素子の構成を示す断面図である。

20

【図2】図1に示す光電変換素子の製造方法を示す第1の工程図である。

【図3】図1に示す光電変換素子の製造方法を示す第2の工程図である。

【図4】図1に示す光電変換素子の製造方法を示す第3の工程図である。

【図5】実施の形態1による他の光電変換素子の構成を示す断面図である。

【図6】実施の形態1による更に他の光電変換素子の構成を示す断面図である。

【図7】実施の形態1による更に他の光電変換素子の構成を示す断面図である。

【図8】実施の形態2による光電変換素子の構成を示す断面図である。

【図9】実施の形態2による他の光電変換素子の構成を示す断面図である。

【図10】実施の形態2による更に他の光電変換素子の構成を示す断面図である。

【図11】実施の形態2による更に他の光電変換素子の構成を示す断面図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0019】

本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0020】

この明細書において、「非晶質相」とは、シリコン（Si）原子等がランダムに配列された状態を言う。また、アモルファスシリコンを「a-Si」と表記するが、この表記は、実際には、水素（H）原子が含まれていることを意味する。アモルファスシリコンカーバイド（a-SiC）、アモルファスシリコンオキシド（a-SiO）、アモルファスシリコンナイトライド（a-SiN）、アモルファスシリコンカーボンナイトライド（a-SiCN）、アモルファスシリコンゲルマニウム（a-SiGe）およびアモルファスゲルマニウム（a-Ge）についても、同様に、H原子が含まれていることを意味する。

40

【0021】

〔実施の形態1〕

図1は、この発明の実施の形態1による光電変換素子の構成を示す断面図である。図1を参照して、この発明の実施の形態1による光電変換素子100は、n型単結晶シリコン基板1と、酸化膜2と、n型非晶質膜3、21～2m-1（mは2以上の整数）と、反射防止膜4と、p型非晶質膜11～1mと、電極31～3m、41～4m-1とを備える。

【0022】

n型単結晶シリコン基板1は、例えば、（100）の面方位および0.1～1.0Ω・

50

cmの比抵抗を有する。また、n型単結晶シリコン基板1は、例えば、100～300 μmの厚みを有し、好ましくは、100～200 μmの厚みを有する。そして、n型単結晶シリコン基板1は、光入射側の表面がテクスチャ化されている。

【0023】

酸化膜2は、二酸化シリコン(SiO₂)からなり、n型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面に接して設けられる。そして、酸化膜2は、例えば、数nmの膜厚を有する。

【0024】

n型非晶質膜3は、非晶質相からなり、例えば、n型a-Siからなる。また、n型非晶質膜3は、例えば、10nm～数十nmの膜厚を有する。更に、n型非晶質層3のリン(P)濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。そして、n型非晶質膜3は、酸化膜2に接して形成される。

10

【0025】

反射防止膜4は、例えば、シリコンナイトライド(Si₃N₄)からなり、膜厚は、例えば、100nmである。そして、反射防止膜4は、n型非晶質膜3に接して設けられる。

【0026】

p型非晶質膜11～1mの各々は、非晶質相からなり、n型単結晶シリコン基板1の光入射側と反対側の表面に接して設けられる。そして、p型非晶質膜11～1mの各々は、例えば、p型a-Siからなり、膜厚は、例えば、10nmである。また、p型非晶質膜11～1mは、n型単結晶シリコン基板1の面内方向において所望の間隔で配置される。更に、p型非晶質膜11～1mの各々におけるボロン(B)濃度は、例えば、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。

20

【0027】

n型非晶質膜21～2m-1の各々は、非晶質相からなる。n型非晶質膜21は、p型非晶質膜11、12およびn型単結晶シリコン基板1に接して配置され、n型非晶質膜22は、p型非晶質膜12、13およびn型単結晶シリコン基板1に接して配置され、以下、同様にして、n型非晶質膜2m-1は、p型非晶質膜1m-1、1mおよびn型単結晶シリコン基板1に接して配置される。

【0028】

そして、n型非晶質膜21～2m-1の各々は、例えば、n型a-Siからなり、膜厚は、例えば、10nmである。また、n型非晶質膜21～2m-1の各々におけるP濃度は、例えば、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。

30

【0029】

電極31～3mは、それぞれ、p型非晶質膜11～1mに接して設けられる。電極41～4m-1は、それぞれ、n型非晶質膜21～2m-1に接して設けられる。そして、電極31～3m、41～4m-1の各々は、例えば、銀(Ag)からなる。

【0030】

p型非晶質膜11～1mおよびn型非晶質膜21～2m-1は、図1の紙面に垂直な方向において同じ長さを有する。そして、p型非晶質膜11～1mの全体の面積がn型単結晶シリコン基板1の面積に占める割合である面積占有率は、60～93%であり、n型非晶質膜21～2m-1の全体の面積がn型単結晶シリコン基板1の面積に占める割合である面積占有率は、5～20%である。

40

【0031】

このように、p型非晶質膜11～1mの面積占有率をn型非晶質膜21～2m-1の面積占有率よりも大きくするのは、n型単結晶シリコン基板1中で光励起された電子および正孔がpn接合(p型非晶質膜11～1m/n型単結晶シリコン基板1)によって分離され易くし、光励起された電子および正孔の発電への寄与率を高くするためである。

【0032】

図2～図4は、それぞれ、図1に示す光電変換素子100の製造方法を示す第1～第3の工程図である。

50

【0033】

光電変換素子100の製造方法について説明する。光電変換素子100は、プラズマ装置を主に用いてプラズマCVD法によって製造される。

【0034】

プラズマ装置は、仕込室と、反応室CB1～CB3と、取出室と、整合器と、RF電源とを備える。仕込室、反応室CB1～CB3および取出室は、直列に配置されている。そして、仕込室と反応室CB1との間、反応室CB1と反応室CB2との間、反応室CB2と反応室CB3との間、および反応室CB3と取出室との間は、仕切バルブで仕切られている。また、仕込室から反応室CB1、反応室CB2、反応室CB3および取出室へ単結晶シリコン基板を順次搬送する搬送機構がプラズマ装置に備えられている。

10

【0035】

仕込室は、加熱機構と排気機構とを備える。加熱機構は、単結晶シリコン基板を所定の温度に昇温する。排気機構は、仕込室内のガスを排気し、仕込室の到達圧力を、例えば、 1×10^{-5} Pa以下に設定する。

【0036】

反応室CB1～CB3の各々は、平行平板電極と、加熱機構と、排気機構とを備える。加熱機構は、単結晶シリコン基板を所定の温度に昇温する。排気機構は、反応室CB1～CB3内のガスを排気し、反応室CB1～CB3の到達圧力を、例えば、 1×10^{-5} Pa以下に設定する。平行平板電極は、整合器を介してRF電源に接続される。なお、反応室CB1は、p型a-Siを堆積するための反応室であり、反応室CB2は、n型a-Siを堆積するための反応室であり、反応室CB3は、i型a-Siを堆積するための反応室である。

20

【0037】

取出室は、排気機構を備える。排気機構は、取出室内のガスを排気し、取出室の到達圧力を、例えば、 1×10^{-5} Pa以下に設定する。

【0038】

仕込室、反応室CB1～CB3および取出室の各排気機構は、ターボ分子ポンプ、メカニカルブースタポンプおよびロータリーポンプからなる。ターボ分子ポンプ、メカニカルブースタポンプおよびロータリーポンプは、ターボ分子ポンプが仕込室、反応室CB1～CB3および取出室に最も近くなるように、それぞれ、仕込室、反応室CB1～CB3および取出室に直列的に連結されている。そして、各排気機構は、ターボ分子ポンプ、メカニカルブースタポンプおよびロータリーポンプによって、それぞれ、仕込室、反応室CB1～CB3および取出室内のガスを排気し、またはメカニカルブースタポンプおよびロータリーポンプによって、それぞれ、仕込室、反応室CB1～CB3および取出室内のガスを排気する。

30

【0039】

RF電源は、例えば、13.56 MHzのRF電力を整合器を介して反応室CB1～CB3の平行平板電極に印加する。

【0040】

光電変換素子100の製造が開始されると、n型単結晶シリコン基板1をエタノール等で超音波洗浄して脱脂し（図2の工程（a）参照）、n型単結晶シリコン基板1の表面をアルカリを用いて化学的に異方性エッチングし、n型単結晶シリコン基板1の表面をテクスチャ化する（図2の工程（b）参照）。

40

【0041】

その後、n型単結晶シリコン基板1をフッ酸中に浸漬してn型単結晶シリコン基板1の表面に形成された自然酸化膜を除去するとともに、n型単結晶シリコン基板1の表面を水素で終端する。

【0042】

n型単結晶シリコン基板1の洗浄が終了すると、n型単結晶シリコン基板1を酸化炉に入れ、1000℃の温度で酸素雰囲気中でn型単結晶シリコン基板1を熱酸化する。この

50

場合、酸化時間は、例えば、数分である。そして、 n 型単結晶シリコン基板 1 の片側の表面および端面に形成された SiO_2 をフッ酸によって除去し、 n 型単結晶シリコン基板 1 のテクスチャ化された表面に SiO_2 からなる酸化膜 2 を形成する（図 2 の工程（c）参照）。

【0043】

そして、 n 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 をプラズマ装置の仕込室の基板ホルダー上に配置する。

【0044】

その後、仕込室の排気機構は、 $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 以下に仕込室内のガスを排気し、仕込室の加熱機構は、 n 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 の温度を 200°C に設定するように基板ホルダーを加熱する。また、反応室 CB 1 ~ CB 3 の加熱機構も、 n 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 の温度を 200°C に設定するように基板ホルダーを加熱する。

【0045】

n 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 の温度が 200°C に達すると、仕込室と反応室 CB 1 との間の仕切バルブが開けられ、 n 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 は、仕込室から反応室 CB 1 へ搬送される。

【0046】

p 型非晶質膜 11 ~ 1m および n 型非晶質膜 3, 21 ~ 2m-1 を形成するときの材料ガスの流量を表 1 に示す。

【0047】

【表 1】

	SiH_4 [sccm]	N_2O [sccm]	H_2 [sccm]	PH_3/H_2 [sccm]	$\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$ [sccm]
p型非晶質膜11~1m	2	-----	42	-----	12
n型非晶質膜3, 21~2m-1	20	-----	150	50	-----
i型非晶質膜51~5m	10	-----	100	-----	-----

【0048】

n 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 が反応室 CB 1 へ搬送されると、 2 sccm のシラン (SiH_4) ガスと、 42 sccm の水素 (H_2) ガスと、水素希釈された 12 sccm のジボラン (B_2H_6) ガスとを反応室 CB 1 に流し、反応室 CB 1 の圧力を $1.3 \times 10^{-5} \text{ Pa} \sim 6.65 \text{ Pa}$ の範囲に設定する。そして、RF 電源は、 $16 \sim 80 \text{ mW/cm}^2$ の範囲の RF パワーを整合器を介して平行平板電極に印加する。これによって、反応室 CB 1 内でプラズマが発生し、 p 型 $a\text{-Si}$ からなる p 型非晶質膜 20 が n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面（＝酸化膜 2 が形成された面と反対側の表面）に堆積される（図 2 の工程（d）参照）。なお、水素希釈された B_2H_6 ガスの濃度は、 0.1% である。

【0049】

p 型非晶質膜 20 の膜厚が 10 nm になると、反応室 CB 1 の平行平板電極への RF パワーの印加を停止するとともに、 SiH_4 ガス、 H_2 ガスおよび B_2H_6 ガスの反応室 CB 1 への供給を停止し、排気機構によって $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 以下に反応室 CB 1 を真空引きする。そして、仕切バルブを開け、 p 型非晶質膜 20 / n 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 を反応室 CB 1 から取出室へ搬送し、 p 型非晶質膜 20 / n 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 を室温まで冷却した後、取り出す。

【0050】

そして、取り出した p 型非晶質膜 20 / n 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 の p 型非晶質膜 20 の全面にレジストを塗布し、その塗布したレジストをフォトリソグラフィによってパターンニングしてレジストパターン 30 を形成する（図 2 の工程（e）参照）。

【0051】

その後、レジストパターン30をマスクとしてp型非晶質膜20をドライエッチングまたはウェットエッチングによってエッチングし、p型非晶質膜11～1mを形成する（図3の工程（f）参照）。

【0052】

p型非晶質膜11～1mを形成すると、p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2のp型非晶質膜11～1m側をフッ酸で洗浄し、p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2をプラズマ装置の仕込室の基板ホルダー上に配置する。

【0053】

そして、仕込室の排気機構は、 1×10^{-5} Pa以下に仕込室内のガスを排気し、仕込室の加熱機構は、p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2の温度を200℃に設定するように基板ホルダーを加熱する。

【0054】

p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2の温度が200℃に達すると、p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2を仕込室から反応室CB2へ搬送する。

【0055】

p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2が反応室CB2へ搬送されると、20sccmのSiH₄ガスと、150sccmのH₂ガスと、水素希釈された50sccmのフォスフィン（PH₃）ガスとを反応室CB2に流し（表1参照）、反応室CB2の圧力を13.3Pa～665Paの範囲に設定する。そして、RF電源は、16～80mW/cm²の範囲のRFパワーを整合器を介して平行平板電極に印加する。これによって、反応室CB2内でプラズマが発生し、n型a-Siからなるn型非晶質膜40がp型非晶質膜11～1mおよびn型単結晶シリコン基板1の表面に堆積される（図3の工程（g）参照）。なお、水素希釈されたPH₃ガスの濃度は、0.2%である。

【0056】

n型非晶質膜40の膜厚が10nmになると、反応室CB2の平行平板電極へのRFパワーの印加を停止するとともに、SiH₄ガス、H₂ガスおよびPH₃ガスの反応室CB2への供給を停止し、排気機構によって 1×10^{-5} Pa以下に反応室CB2を真空引きする。そして、仕切バルブを開け、n型非晶質膜40／p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2を反応室CB2から取出室へ搬送する。そして、n型非晶質膜40／p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2を室温まで冷却し、取出室から取出す。

【0057】

その後、n型非晶質膜40／p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2のn型非晶質膜40上にレジストを塗布し、その塗布したレジストをフォトリソグラフィによってパターンニングしてレジストパターン50を形成する（図3の工程（h）参照）。

【0058】

その後、レジストパターン50をマスクとしてn型非晶質膜40をドライエッチングまたはウェットエッチングによってエッチングし、n型非晶質膜21～2m-1を形成する（図3の工程（i）参照）。

【0059】

そして、n型非晶質膜21～2m-1／p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2をフッ酸で洗浄し、n型非晶質膜21～2m-1／p型非晶質膜11～1m／n型単結晶シリコン基板1／酸化膜2をプラズマ装置の仕込室の基板ホルダー上に配置する。なお、酸化膜2は、フッ酸によってエッチングされるが、フッ酸の濃度を薄くすることによって酸化膜2をエッチングすることなしに酸化膜2を洗浄できる。

【0060】

その後、仕込室の排気機構は、 1×10^{-5} Pa以下に仕込室内のガスを排気し、仕込

10

20

30

40

50

室の加熱機構は、 n 型非晶質膜 2 $1 \sim 2 \text{ m} - 1$ / p 型非晶質膜 1 $1 \sim 1 \text{ m} / n$ 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 の温度を 200°C に設定するように基板ホルダーを加熱する。

【0061】

n 型非晶質膜 2 $1 \sim 2 \text{ m} - 1$ / p 型非晶質膜 1 $1 \sim 1 \text{ m} / n$ 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 の温度が 200°C に達すると、 n 型非晶質膜 2 $1 \sim 2 \text{ m} - 1$ / p 型非晶質膜 1 $1 \sim 1 \text{ m} / n$ 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 を仕込室から反応室 CB 2 へ搬送する。

【0062】

n 型非晶質膜 2 $1 \sim 2 \text{ m} - 1$ / p 型非晶質膜 1 $1 \sim 1 \text{ m} / n$ 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 が反応室 CB 2 へ搬送されると、 20 sccm の SiH_4 ガスと、 150 sccm の H_2 ガスと、水素希釈された 50 sccm の PH_3 ガスとを反応室 CB 2 に流し（表 1 参照）、反応室 CB 2 の圧力を $13.3 \text{ Pa} \sim 665 \text{ Pa}$ の範囲に設定する。そして、RF 電源は、 $16 \sim 80 \text{ mW} / \text{cm}^2$ の範囲の RF パワーを整合器を介して平行平板電極に印加する。これによって、反応室 CB 2 内でプラズマが発生し、 n 型 $a\text{-Si}$ からなる n 型非晶質膜 3 が酸化膜 2 上に堆積される（図 4 の工程（j）参照）。

【0063】

n 型非晶質膜 3 の膜厚が $10 \text{ nm} \sim$ 数十 nm になると、反応室 CB 2 の平行平板電極への RF パワーの印加を停止するとともに、 SiH_4 ガス、 H_2 ガスおよび PH_3 ガスの反応室 CB 2 への供給を停止し、排気機構によって $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 以下に反応室 CB 2 を真空引きする。そして、仕切バルブを開け、 n 型非晶質膜 2 $1 \sim 2 \text{ m} - 1$ / p 型非晶質膜 1 $1 \sim 1 \text{ m} / n$ 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 / n 型非晶質膜 3 を反応室 CB 2 から取出室へ搬送する。そして、 n 型非晶質膜 2 $1 \sim 2 \text{ m} - 1$ / p 型非晶質膜 1 $1 \sim 1 \text{ m} / n$ 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 / n 型非晶質膜 3 を室温まで冷却し、取出室から取出す。

【0064】

その後、 n 型非晶質膜 2 $1 \sim 2 \text{ m} - 1$ / p 型非晶質膜 1 $1 \sim 1 \text{ m} / n$ 型単結晶シリコン基板 1 / 酸化膜 2 / n 型非晶質膜 3 の n 型非晶質膜 3 上に Si_3N_4 からなる反射防止膜 4 をスパッタリングによって形成する（図 4 の工程（k）参照）。

【0065】

引き続き、 n 型非晶質膜 2 $1 \sim 2 \text{ m} - 1$ および p 型非晶質膜 1 $1 \sim 1 \text{ m}$ 側に Ag を蒸着し、その蒸着した Ag をフォトリソグラフィおよびエッチングによってパターンニングし、電極 3 $1 \sim 3 \text{ m}$ 、4 $1 \sim 4 \text{ m} - 1$ を形成する。これによって、光電変換素子 100 が完成する（図 4 の工程（l）参照）。

【0066】

光電変換素子 100 の製造方法においては、図 2 の工程（c）において、化学堆積法（CVD: Chemical Vapour Deposition）によって酸化膜 2 を形成してもよく、酸化液を用いた酸化によって酸化膜 2 を形成してもよく、室温で水中に浸漬する、または沸騰水中に浸漬する水中酸化法によって酸化膜 2 を形成してもよく、自然酸化法によって酸化膜 2 を形成してもよい。自然酸化法によって酸化膜 2 を形成する場合、即ち、酸化膜 2 が自然酸化膜からなる場合、 n 型単結晶シリコン基板 1 の一方の表面をテクスチャ化した後、そのテクスチャ化した表面を除いて n 型単結晶シリコン基板 1 をフッ酸で洗浄し、その後、工程（d）～工程（l）を順次実行する。

【0067】

また、光電変換素子 100 の製造方法においては、酸化膜 2 を形成した後、 n 型非晶質膜 3、2 $1 \sim 2 \text{ m} - 1$ 、 p 型非晶質膜 1 $1 \sim 1 \text{ m}$ 、反射防止膜 4 および電極 3 $1 \sim 3 \text{ m}$ 、4 $1 \sim 4 \text{ m} - 1$ を形成する順序は、上述した工程（a）～工程（l）において説明した順序に限らず、任意の順序であってもよい。

【0068】

光電変換素子 100 において、太陽光が反射防止膜 4 側から光電変換素子 100 に照射されると、 n 型単結晶シリコン基板 1 中で電子および正孔が光励起される。

【0069】

10

20

30

40

50

光励起された電子および正孔は、酸化膜 2 側へ拡散しても、酸化膜 2 による n 型単結晶シリコン基板 1 のパッシベーション効果および n 型非晶質膜 3 による F S F 効果（表面電界効果）によって再結合し難くなり、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m および n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m - 1 側へ拡散し易くなる。

【0070】

より具体的には、n 型単結晶シリコン基板 1 のテクスチャ化された表面に酸化膜 2（= SiO_2 ）が接しているので、n 型単結晶シリコン基板 1 と酸化膜 2（= SiO_2 ）との界面における界面準位密度は、 $10^{10} \text{ cm}^{-2} \sim 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ と非常に低い。その結果、キャリア（電子および正孔）は、n 型単結晶シリコン基板 1 のテクスチャ化された表面において殆ど再結合しない。また、酸化膜 2 の膜厚は、上述したように数 nm であるので、キャリア（電子および正孔）は、n 型非晶質膜 3 による F S F 効果によって n 型単結晶シリコン基板 1 と酸化膜 2 との界面へ到達し難くなり、再結合が更に抑制される。特に、少数キャリアである正孔の再結合が抑制される。即ち、n 型非晶質膜 3 を構成する n 型 a - S i の光学バンドギャップ（= 約 1.7 eV）および活性化エネルギー（= 約 0.2 eV ~ 0.3 eV）と n 型単結晶シリコン基板 1 の光学バンドギャップ（= 1.1 eV）および活性化エネルギー（= 0.1 eV ~ 0.2 eV）とを考慮すると、n 型 a - S i の価電子帯の端は、n 型単結晶シリコン基板 1 の価電子帯の端よりも、0.4 eV ~ 0.6 eV だけ高エネルギー側に存在するので、n 型非晶質膜 3 は、n 型単結晶シリコン基板 1 の表面近傍において表面電界を発生する。その結果、n 型単結晶シリコン基板 1 の表面近傍へ拡散した正孔は、n 型非晶質膜 3 による表面電界によって n 型単結晶シリコン基板 1 と酸化膜 2 との界面へ到達し難くなる。従って、少数キャリアである正孔の再結合が F S F 効果によって抑制される。

【0071】

このように、キャリア（電子および正孔）は、酸化膜 2 および n 型非晶質膜 3 によって n 型単結晶シリコン基板 1 の表面における再結合が抑制され、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m および n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m - 1 側へ拡散し易くなる。

【0072】

そして、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m および n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m - 1 側へ拡散した電子および正孔は、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m / n 型単結晶シリコン基板 1（= p n 接合）による内部電界によって分離され、正孔は、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m を介して電極 3 1 ~ 3 m へ到達し、電子は、n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m - 1 を介して電極 4 1 ~ 4 m - 1 へ到達する。

【0073】

電極 4 1 ~ 4 m - 1 へ到達した電子は、電極 3 1 ~ 3 m と電極 4 1 ~ 4 m - 1 との間に接続された負荷を介して電極 3 1 ~ 3 m へ到達し、正孔と再結合する。

【0074】

このように、光電変換素子 100 は、n 型単結晶シリコン基板 1 中で光励起された電子および正孔を n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面（= 酸化膜 2 が形成された n 型単結晶シリコン基板 1 の表面と反対側の面）から取り出すバックコンタクト型の光電変換素子である。

【0075】

そして、光電変換素子 100 は、光入射側に、酸化膜 2 および n 型非晶質膜 3 を備えるので、上述したように、n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側の表面においてキャリアの再結合が抑制され、n 型単結晶シリコン基板 1 に対するパッシベーション効果を向上できる。

【0076】

また、光電変換素子 100 の製造方法において説明したように、酸化膜 2 を形成した後に、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m、n 型非晶質膜 3、2 1 ~ 2 m - 1、反射防止膜 4 および電極 3 1 ~ 3 m、4 1 ~ 4 m - 1 を形成するので（図 2 の工程（d）~ 図 4 の工程（k）参照）、光電変換素子 100 の製造プロセスにおいて、n 型単結晶シリコン基板 1 の受光面

側の表面を保護できる。

【0077】

図5は、実施の形態1による他の光電変換素子の構成を示す断面図である。実施の形態1による光電変換素子は、図5に示す光電変換素子100Aであってもよい。

【0078】

図5を参照して、光電変換素子100Aは、図1に示す光電変換素子100にi型非晶質膜51～5mを追加したものであり、その他は、光電変換素子100と同じである。

【0079】

i型非晶質膜51～5mは、非晶質相からなり、それぞれ、n型単結晶シリコン基板1およびp型非晶質膜11～1mに接し、n型単結晶シリコン基板1とp型非晶質膜11～1mとの間に配置される。そして、i型非晶質膜51～5mの各々は、例えば、i型a-Siからなり、膜厚は、例えば、10nmである。また、i型非晶質膜51～5mは、n型単結晶シリコン基板1の面内方向（図5の紙面における左右方向）において、それぞれ、p型非晶質膜11～1mと同じ幅を有する。更に、i型非晶質膜51～5mは、図5の紙面に垂直な方向において、それぞれ、p型非晶質膜11～1mと同じ長さを有する。

【0080】

光電変換素子100Aにおいては、n型非晶質膜21～2m-1の各々の膜厚は、p型非晶質膜11～1mの膜厚とi型非晶質膜61～6mの膜厚との合計膜厚からなる。

【0081】

また、光電変換素子100Aにおいては、i型非晶質膜51の端面は、n型非晶質膜21に接し、i型非晶質膜52の端面は、n型非晶質膜21、22に接し、i型非晶質膜53の端面は、n型非晶質膜22、23に接し、以下、同様にして、i型非晶質膜5m-1の端面は、n型非晶質膜2m-2、2m-1に接し、i型非晶質膜5mの端面は、n型非晶質膜2m-1に接する。

【0082】

光電変換素子100Aは、図2～図4に示す工程(a)～工程(l)によって製造される。この場合、図2の工程(d)において、i型非晶質膜51～5m用のi型非晶質膜がプラズマCVD法によってn型単結晶シリコン基板1上に堆積され、その後、p型非晶質膜11～1m用のp型非晶質膜20がプラズマCVD法によってi型非晶質膜51～5m用のi型非晶質膜上に堆積される。そして、i型非晶質膜51～5m用のi型非晶質膜を堆積するときのガス流量は、表1に示すとおりである。また、i型非晶質膜51～5m用のi型非晶質膜を堆積するときの圧力およびRFパワーは、p型非晶質膜11～1mおよびn型非晶質膜21～2m-1を形成するときの圧力およびRFパワーと同じである。

【0083】

光電変換素子100Aにおける発電機構は、光電変換素子100の発電機構と概ね同じであり、光電変換素子100において説明したように、電子および正孔は、n型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面（テクスチャ化された表面）における再結合が抑制され、p型非晶質膜11～1mおよびn型非晶質膜21～2m-1側へ拡散し易くなる。そして、p型非晶質膜11～1mおよびn型非晶質膜21～2m-1側へ拡散した電子および正孔は、p型非晶質膜11～1m/i型非晶質膜51～5m/n型単結晶シリコン基板1（=pin接合）による内部電界によって分離され、正孔は、i型非晶質膜51～5mおよびp型非晶質膜11～1mを介して電極31～3mへ到達し、電子は、n型非晶質膜21～2m-1を介して電極41～4m-1へ到達する。

【0084】

電極41～4m-1へ到達した電子は、電極31～3mと電極41～4m-1との間に接続された負荷を介して電極31～3mへ到達し、正孔と再結合する。

【0085】

このように、光電変換素子100Aは、n型単結晶シリコン基板1中で光励起された電子および正孔をn型単結晶シリコン基板1の裏面（=酸化膜2が形成されたn型単結晶シリコン基板1の表面と反対側の面）から取り出すバックコンタクト型の光電変換素子であ

10

20

30

40

50

る。

【0086】

そして、光電変換素子100Aは、n型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面（テクスチャ化された表面）に接して設けられた酸化膜2と、酸化膜2に接して設けられたn型非晶質膜3とを備えるので、光電変換素子100において説明したように、n型単結晶シリコン基板1に対するパッシベーション効果を向上できる。

【0087】

また、光電変換素子100Aにおいては、n型単結晶シリコン基板1とp型非晶質膜11～1mとの間にi型非晶質膜51～5mが存在するので、n型単結晶シリコン基板1とp型非晶質膜11～1mとの界面における正孔の再結合が抑制される。その結果、短絡光電流が増加し、光電変換素子100Aの変換効率を向上できる。

10

【0088】

光電変換素子100Aについてのその他の説明は、光電変換素子100についての説明と同じである。

【0089】

図6は、実施の形態1による更に他の光電変換素子の構成を示す断面図である。実施の形態1による光電変換素子は、図6に示す光電変換素子100Bであってもよい。

【0090】

図6を参照して、光電変換素子100Bは、図1に示す光電変換素子100にi型非晶質膜61～6m-1を追加したものであり、その他は、光電変換素子100と同じである。

20

【0091】

i型非晶質膜61～6m-1は、非晶質相からなり、それぞれ、n型単結晶シリコン基板1およびn型非晶質膜21～2m-1に接し、n型単結晶シリコン基板1とn型非晶質膜21～2m-1との間に配置される。そして、i型非晶質膜61～6m-1の各々は、例えば、i型a-Siからなり、膜厚は、例えば、10nmである。また、i型非晶質膜61～6m-1は、図6の紙面に垂直な方向において、それぞれ、n型非晶質膜21～2m-1と同じ長さを有する。

【0092】

光電変換素子100Bにおいては、p型非晶質膜11～1mの各々の膜厚は、n型非晶質膜21～2m-1の膜厚とi型非晶質膜61～6m-1の膜厚との合計膜厚からなる。

30

【0093】

また、光電変換素子100Bにおいては、p型非晶質膜11の端面は、i型非晶質膜61およびn型非晶質膜21に接し、p型非晶質膜12の端面は、i型非晶質膜61およびn型非晶質膜21とi型非晶質膜62およびn型非晶質膜22とに接し、p型非晶質膜13の端面は、i型非晶質膜62およびn型非晶質膜22とi型非晶質膜63およびn型非晶質膜23とに接し、以下、同様にして、p型非晶質膜1m-1の端面は、i型非晶質膜6m-2およびn型非晶質膜2m-2とi型非晶質膜6m-1およびn型非晶質膜2m-1とに接し、p型非晶質膜1mの端面は、i型非晶質膜6m-1およびn型非晶質膜2m-1に接する。

40

【0094】

光電変換素子100Bは、図2～図4に示す工程(a)～工程(l)によって製造される。この場合、図3の工程(i)において、i型非晶質膜61～6m-1用のi型非晶質膜がプラズマCVD法によってn型単結晶シリコン基板1およびp型非晶質膜11～1m上に堆積され、その後、n型非晶質膜60がプラズマCVD法によってi型非晶質膜61～6m-1用のi型非晶質膜上に堆積される。そして、i型非晶質膜61～6m-1用のi型非晶質膜を堆積するときのガス流量は、表1に示すi型非晶質膜51～5mのガス流量と同じである。

【0095】

光電変換素子100Bにおける発電機構は、光電変換素子100の発電機構と概ね同じ

50

であり、光電変換素子100において説明したように、電子および正孔は、n型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面（テクスチャ化された表面）における再結合が抑制され、p型非晶質膜11～1mおよびn型非晶質膜21～2m-1側へ拡散し易くなる。そして、p型非晶質膜11～1mおよびn型非晶質膜21～2m-1側へ拡散した電子および正孔は、p型非晶質膜11～1m/n型単結晶シリコン基板1（=pn接合）による内部電界によって分離され、正孔は、p型非晶質膜11～1mを介して電極31～3mへ到達し、電子は、i型非晶質膜61～6m-1およびn型非晶質膜21～2m-1を介して電極41～4m-1へ到達する。

【0096】

電極41～4m-1へ到達した電子は、電極31～3mと電極41～4m-1との間に接続された負荷を介して電極31～3mへ到達し、正孔と再結合する。

10

【0097】

このように、光電変換素子100Bは、n型単結晶シリコン基板1中で光励起された電子および正孔をn型単結晶シリコン基板1の裏面（=酸化膜2が形成されたn型単結晶シリコン基板1の表面と反対側の面）から取り出すバックコンタクト型の光電変換素子である。

【0098】

そして、光電変換素子100Bは、n型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面（テクスチャ化された表面）に接して設けられた酸化膜2と、酸化膜2に接して設けられたn型非晶質膜3とを備えるので、光電変換素子100において説明したように、n型単結晶シリコン基板1に対するパッシベーション効果を向上できる。

20

【0099】

また、光電変換素子100Bにおいては、n型単結晶シリコン基板1とn型非晶質膜21～2m-1との間にi型非晶質膜61～6m-1が存在するので、n型単結晶シリコン基板1とn型非晶質膜21～2m-1との界面における電子の再結合が抑制される。その結果、短絡光電流が増加し、光電変換素子100Bの変換効率を向上できる。

【0100】

光電変換素子100Bについてのその他の説明は、光電変換素子100についての説明と同じである。

【0101】

図7は、実施の形態1による更に他の光電変換素子の構成を示す断面図である。実施の形態1による光電変換素子は、図7に示す光電変換素子100Cであってもよい。

30

【0102】

図7を参照して、光電変換素子100Cは、図1に示す光電変換素子100にi型非晶質膜51～5m、61～6m-1を追加したものであり、その他は、光電変換素子100と同じである。

【0103】

i型非晶質膜51～5m、61～6m-1については、上述したとおりである。

【0104】

光電変換素子100Cにおいては、i型非晶質膜61の端面は、i型非晶質膜51、52に接し、i型非晶質膜62の端面は、i型非晶質膜52、53に接し、以下、同様にして、i型非晶質膜6m-1の端面は、i型非晶質膜5m-1、5mに接する。また、n型非晶質膜21の端面は、p型非晶質膜11、12に接し、n型非晶質膜22の端面は、p型非晶質膜12、13に接し、以下、同様にして、n型非晶質膜2m-1の端面は、p型非晶質膜1m-1、1mに接する。

40

【0105】

光電変換素子100Cは、図2～図4に示す工程(a)～工程(l)によって製造される。この場合、図2の工程(d)において、i型非晶質膜51～5m用のi型非晶質膜がプラズマCVD法によってn型単結晶シリコン基板1上に堆積され、その後、p型非晶質膜11～1m用のp型非晶質膜20がプラズマCVD法によってi型非晶質膜51～5m

50

用の i 型非晶質膜上に堆積される。また、図 3 の工程 (i) において、i 型非晶質膜 6 1 ~ 6 m-1 用の i 型非晶質膜がプラズマ CVD 法によって n 型単結晶シリコン基板 1 および p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m 上に堆積され、その後、n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m-1 用の n 型非晶質膜 6 0 がプラズマ CVD 法によって i 型非晶質膜 6 1 ~ 6 m-1 用の i 型非晶質膜上に堆積される。そして、i 型非晶質膜 5 1 ~ 5 m 用の i 型非晶質膜および i 型非晶質膜 6 1 ~ 6 m-1 用の i 型非晶質膜を堆積するときのガス流量は、同じであり、表 1 に示すとおりである。

【0106】

光電変換素子 100C における発電機構は、光電変換素子 100 の発電機構と概ね同じであり、光電変換素子 100 において説明したように、電子および正孔は、n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側の表面（テクスチャ化された表面）における再結合が抑制され、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m および n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m-1 側へ拡散し易くなる。そして、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m および n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m-1 側へ拡散した電子および正孔は、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m / i 型非晶質膜 5 1 ~ 5 m / n 型単結晶シリコン基板 1 (= pin 接合) による内部電界によって分離され、正孔は、i 型非晶質膜 5 1 ~ 5 m および p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m を介して電極 3 1 ~ 3 m へ到達し、電子は、i 型非晶質膜 6 1 ~ 6 m-1 および n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m-1 を介して電極 4 1 ~ 4 m-1 へ到達する。

【0107】

電極 4 1 ~ 4 m-1 へ到達した電子は、電極 3 1 ~ 3 m と電極 4 1 ~ 4 m-1 との間に接続された負荷を介して電極 3 1 ~ 3 m へ到達し、正孔と再結合する。

【0108】

このように、光電変換素子 100C は、n 型単結晶シリコン基板 1 中で光励起された電子および正孔を n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面 (= 酸化膜 2 が形成された n 型単結晶シリコン基板 1 の表面と反対側の面) から取り出すバックコンタクト型の光電変換素子である。

【0109】

そして、光電変換素子 100C は、n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側の表面（テクスチャ化された表面）に接して設けられた酸化膜 2 と、酸化膜 2 に接して設けられた n 型非晶質膜 3 とを備えるので、光電変換素子 100 において説明したように、n 型単結晶シリコン基板 1 に対するパッシベーション効果を向上できる。

【0110】

また、光電変換素子 100C においては、n 型単結晶シリコン基板 1 と p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m との間に i 型非晶質膜 5 1 ~ 5 m が存在するので、n 型単結晶シリコン基板 1 と p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m との界面における正孔の再結合が抑制される。更に、光電変換素子 100C においては、n 型単結晶シリコン基板 1 と n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m-1 との間に i 型非晶質膜 6 1 ~ 6 m-1 が存在するので、n 型単結晶シリコン基板 1 と n 型非晶質膜 2 1 ~ 2 m-1 との界面における電子の再結合が抑制される。

【0111】

その結果、短絡光電流が増加し、光電変換素子 100C の変換効率を向上できる。

【0112】

光電変換素子 100C についてのその他の説明は、光電変換素子 100 についての説明と同じである。

【0113】

光電変換素子 100, 100A, 100B, 100C においては、n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側の表面 (= 酸化膜 2 が形成された表面) がテクスチャ構造になっていなくてもよい。この場合、図 2 の工程 (b) が省略される。

【0114】

また、光電変換素子 100, 100A, 100B, 100C においては、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m は、p 型 a-Si からなると説明したが、実施の形態 1 においては、これに限らず、p 型非晶質膜 1 1 ~ 1 m は、p 型 a-SiC、p 型 a-SiO、p 型 a-SiN、

10

20

30

40

50

p型a-SiCN、p型a-SiGeおよびp型a-Geのいずれかからなっているもよい。

【0115】

更に、光電変換素子100、100A、100B、100Cにおいては、n型非晶質膜3、21~2m-1は、n型a-Siからなると説明したが、実施の形態1においては、これに限らず、n型非晶質膜21~2m-1は、n型a-SiC、n型a-SiO、n型a-SiN、n型a-SiCN、n型a-SiGeおよびn型a-Geのいずれかからなっているもよい。

【0116】

更に、光電変換素子100A、100Cにおいては、i型非晶質膜51~5mは、i型a-Siからなると説明したが、実施の形態1においては、これに限らず、i型非晶質膜51~5mは、i型a-SiC、i型a-SiO、i型a-SiN、i型a-SiCNおよびi型a-SiGeのいずれかからなっているもよい。

【0117】

更に、光電変換素子100B、100Cにおいては、i型非晶質膜61~6m-1は、i型a-Siからなると説明したが、実施の形態1においては、これに限らず、i型非晶質膜61~6m-1は、i型a-SiC、i型a-SiO、i型a-SiN、i型a-SiCNおよびi型a-SiGeのいずれかからなっているもよい。

【0118】

即ち、光電変換素子100、100A、100B、100Cにおいては、p型非晶質膜11~1mおよびn型非晶質膜3、21~2m-1は、それぞれ、表2に示す材料のいずれかからなっているもよく、光電変換素子100A、100B、100Cにおいては、i型非晶質膜51~5mおよび／またはi型非晶質膜61~6m-1は、それぞれ、表2に示す材料のいずれかからなっているもよい。

【0119】

【表2】

p型非晶質膜11~1m	n型非晶質膜3, 21~2m-1	i型非晶質膜51~5m, 61~6m-1
p型a-SiC	n型a-SiC	i型a-SiC
p型a-SiO	n型a-SiO	i型a-SiO
p型a-SiN	n型a-SiN	i型a-SiN
p型a-SiCN	n型a-SiCN	i型a-SiCN
p型a-Si	n型a-Si	i型a-Si
p型a-SiGe	n型a-SiGe	i型a-SiGe
p型a-Ge	n型a-Ge	

【0120】

この場合、p型a-SiCは、SiH₄ガス、メタン(CH₄)ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスを材料ガスとして、上述したプラズマCVD法によって形成される。p型a-SiOは、SiH₄ガス、酸素(O₂)ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスを材料ガスとして、上述したプラズマCVD法によって形成される。p型a-SiNは、SiH₄ガス、アンモニア(NH₃)ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスを材料ガスとして、上述したプラズマCVD法によって形成される。p型a-SiCNは、SiH₄ガス、CH₄ガス、NH₃ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスを材料ガスとして、上述したプラズマCVD法によって形成される。p型a-SiGeは、SiH₄ガス、ゲルマン(GeH₄)ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスを材料ガスとして、上述したプラズマCVD法によって形成される。p型a-Geは、GeH₄ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスを材料ガスとして、上述したプラズマCVD法によって形成される。

【0121】

また、 n 型 $a-SiC$ は、 SiH_4 ガス、 CH_4 ガス、 PH_3 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。 n 型 $a-SiO$ は、 SiH_4 ガス、 O_2 ガス、 PH_3 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。 n 型 $a-SiN$ は、 SiH_4 ガス、 NH_3 ガス、 PH_3 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。 n 型 $a-SiCN$ は、 SiH_4 ガス、 CH_4 ガス、 NH_3 ガス、 PH_3 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。 n 型 $a-SiGe$ は、 SiH_4 ガス、 GeH_4 ガス、 PH_3 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。 n 型 $a-Ge$ は、 GeH_4 ガス、 PH_3 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。

10

【0122】

更に、 i 型 $a-SiC$ は、 SiH_4 ガス、 CH_4 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。 i 型 $a-SiO$ は、 SiH_4 ガス、 O_2 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。 i 型 $a-SiN$ は、 SiH_4 ガス、 NH_3 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。 i 型 $a-SiCN$ は、 SiH_4 ガス、 CH_4 ガス、 NH_3 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。 i 型 $a-SiGe$ は、 SiH_4 ガス、 GeH_4 ガスおよび H_2 ガスを材料ガスとして、上述したプラズマ CVD 法によって形成される。

【0123】

なお、 i 型非晶質膜 51～5m、61～6m-1 としては、 i 型 $a-Ge$ も想定されるが、 i 型 $a-Ge$ は、 n 型単結晶シリコン基板 1 よりも光学バンドギャップが小さいので、 i 型 $a-Ge$ を i 型非晶質膜 51～5m、61～6m-1 として用いた場合、開放電圧 V_{oc} の向上が困難である。光電変換素子 100、100A、100B、100C においては、 i 型非晶質膜 51～5m、61～6m-1 の光学バンドギャップが開放電圧 V_{oc} を支配的に決定するからである。

20

【0124】

そこで、実施の形態 1 においては、 n 型単結晶シリコン基板 1 の光学バンドギャップよりも大きい i 型 $a-SiC$ 、 i 型 $a-SiO$ 、 i 型 $a-SiN$ 、 i 型 $a-SiCN$ 、 i 型 $a-Si$ 、 i 型 $a-SiGe$ を i 型非晶質膜 51～5m、61～6m-1 として用いることにした。

30

【0125】

上述したように、実施の形態 1 による光電変換素子は、 n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面にヘテロ接合を形成したバックコンタクト型の光電変換素子であり、 n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側の表面に酸化膜 2 および n 型非晶質膜 3 を順次積層した構造からなる。従って、 n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側の表面におけるキャリア（特に、正孔）の再結合を酸化膜 2 による界面準位の低下と、 n 型非晶質膜 3 による F S F 効果とによって抑制し、 n 型単結晶シリコン基板 1 に対するパッシベーション効果を向上できる。

【0126】

[実施の形態 2]

図 8 は、実施の形態 2 による光電変換素子の構成を示す断面図である。図 8 を参照して、実施の形態 2 による光電変換素子 200 は、 p 型単結晶シリコン基板 101 と、酸化膜 102 と、 p 型非晶質膜 103、121～12m-1 と、反射防止膜 104 と、 n 型非晶質膜 111～11m と、電極 131～13m、141～14m-1 とを備える。

40

【0127】

p 型単結晶シリコン基板 101 は、例えば、(100) の面方位および $0.1 \sim 1.0 \Omega \cdot cm$ の比抵抗を有する。また、 p 型単結晶シリコン基板 101 は、例えば、 $100 \sim 300 \mu m$ の厚みを有し、好ましくは、 $100 \sim 200 \mu m$ の厚みを有する。更に、 p 型単結晶シリコン基板 101 は、光入射側の表面がテクスチャ化されている。

【0128】

50

酸化膜 102 は、例えば、 SiO_2 からなり、p 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側の表面に接して設けられる。そして、酸化膜 102 は、例えば、数 nm の膜厚を有する。

【0129】

p 型非晶質膜 103 は、非晶質相からなり、例えば、p 型 a-Si からなる。また、p 型非晶質膜 103 は、例えば、10 nm ～数十 nm の膜厚を有する。更に、p 型非晶質膜 103 の B 濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。そして、p 型非晶質膜 103 は、酸化膜 102 に接して形成される。

【0130】

反射防止膜 104 は、例えば、 Si_3N_4 からなり、膜厚は、例えば、100 nm である。そして、反射防止膜 104 は、p 型非晶質膜 103 に接して設けられる。

10

【0131】

n 型非晶質膜 111 ～ 11m の各々は、非晶質相からなり、p 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側と反対側の表面に接して設けられる。そして、n 型非晶質膜 111 ～ 11m の各々は、例えば、n 型 a-Si からなり、膜厚は、例えば、10 nm である。また、n 型非晶質膜 111 ～ 11m は、p 型単結晶シリコン基板 101 の面内方向において所望の間隔で配置される。更に、n 型非晶質膜 111 ～ 11m の各々における P 濃度は、例えば、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0132】

p 型非晶質膜 121 ～ 12m-1 の各々は、非晶質相からなる。p 型非晶質膜 121 は、n 型非晶質膜 111, 112 および p 型単結晶シリコン基板 101 に接して配置され、p 型非晶質膜 122 は、n 型非晶質膜 112, 113 および p 型単結晶シリコン基板 101 に接して配置され、以下、同様にして、p 型非晶質膜 12m-1 は、n 型非晶質膜 11m-1, 11m および p 型単結晶シリコン基板 101 に接して配置される。

20

【0133】

そして、p 型非晶質膜 121 ～ 12m-1 の各々は、例えば、p 型 a-Si からなり、膜厚は、例えば、10 nm である。また、p 型非晶質膜 121 ～ 12m-1 の各々における B 濃度は、例えば、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0134】

電極 131 ～ 13m は、それぞれ、n 型非晶質膜 111 ～ 11m に接して設けられる。電極 141 ～ 14m-1 は、それぞれ、p 型非晶質膜 121 ～ 12m-1 に接して設けられる。そして、電極 131 ～ 13m, 141 ～ 14m-1 の各々は、例えば、Ag からなる。

30

【0135】

n 型非晶質膜 111 ～ 11m および p 型非晶質膜 121 ～ 12m-1 は、図 8 の紙面に垂直な方向において同じ長さを有する。そして、n 型非晶質膜 111 ～ 11m の全体の面積が p 型単結晶シリコン基板 101 の面積に占める割合である面積占有率は、60 ～ 93 % であり、p 型非晶質膜 121 ～ 12m-1 の全体の面積が p 型単結晶シリコン基板 101 の面積に占める割合である面積占有率は、5 ～ 20 % である。

【0136】

このように、n 型非晶質膜 111 ～ 11m の面積占有率を p 型非晶質膜 121 ～ 12m-1 の面積占有率よりも大きくするのは、p 型単結晶シリコン基板 101 中で光励起された電子および正孔が pn 接合 (n 型非晶質膜 111 ～ 11m / p 型単結晶シリコン基板 101) によって分離され易くし、光励起された電子および正孔の発電への寄与率を高くするためである。

40

【0137】

光電変換素子 200 は、図 2 から図 4 に示す工程 (a) ～ 工程 (l) に従って製造される。この場合、n 型単結晶シリコン基板 1、酸化膜 2、n 型非晶質膜 3、反射防止膜 4、p 型非晶質膜 11 ～ 1m、n 型非晶質膜 21 ～ 2m-1 および電極 31 ～ 3m, 41 ～ 4m-1 をそれぞれ p 型単結晶シリコン基板 101、酸化膜 102、p 型非晶質膜 103、

50

反射防止膜 104、n 型非晶質膜 111～11m、p 型非晶質膜 121～12m-1 および電極 131～13m、141～14m-1 に読み替えればよい。そして、酸化膜 102 は、酸化膜 2 と同じ方法によって形成され、p 型非晶質膜 103、121～12m-1 は、表 1 に示す p 型非晶質膜 11～1m と同じ材料ガスおよび p 型非晶質膜 11～1m の条件と同じ条件を用いてプラズマ CVD 法によって形成される。n 型非晶質膜 111～11m は、表 1 に示す n 型非晶質膜 21～2m-1 と同じ材料ガスおよび n 型非晶質膜 21～2m-1 の条件と同じ条件を用いてプラズマ CVD 法によって形成される。また、反射防止膜 104 は、反射防止膜 4 と同じ方法によって形成される。

【0138】

光電変換素子 200 において、太陽光が反射防止膜 104 側から光電変換素子 200 に照射されると、p 型単結晶シリコン基板 101 中で電子および正孔が光励起される。

【0139】

光励起された電子および正孔は、酸化膜 102 側へ拡散しても、酸化膜 102 による p 型単結晶シリコン基板 101 のバッシベーション効果および p 型非晶質膜 103 による F S F 効果（表面電界効果）によって再結合し難くなり、n 型非晶質膜 111～11m および p 型非晶質膜 121～12m-1 側へ拡散し易くなる。

【0140】

より具体的には、p 型単結晶シリコン基板 101 のテクスチャ化された表面に酸化膜 102 ($=\text{SiO}_2$) が接しているので、p 型単結晶シリコン基板 101 と酸化膜 102 ($=\text{SiO}_2$) との界面における界面準位密度は、 $10^{10} \text{ cm}^{-2} \sim 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ と非常に低い。その結果、キャリア（電子および正孔）は、p 型単結晶シリコン基板 101 のテクスチャ化された表面において殆ど再結合しない。また、酸化膜 102 の膜厚は、上述したように数 nm であるので、キャリア（電子および正孔）は、p 型非晶質膜 103 による F S F 効果によって p 型単結晶シリコン基板 101 と酸化膜 102 との界面へ到達し難くなり、再結合が更に抑制される。特に、少数キャリアである電子の再結合が抑制される。即ち、p 型非晶質膜 103 を構成する p 型 a-Si の光学バンドギャップ（ $\approx 1.7 \text{ eV}$ ）および活性化エネルギー（ $\approx 0.3 \text{ eV} \sim 0.4 \text{ eV}$ ）と p 型単結晶シリコン基板 101 の光学バンドギャップ（ $= 1.1 \text{ eV}$ ）および活性化エネルギー（ $= 0.2 \text{ eV} \sim 0.3 \text{ eV}$ ）とを考慮すると、p 型 a-Si の伝導帯の端は、p 型単結晶シリコン基板 101 の伝導帯の端よりも、 $0.4 \text{ eV} \sim 0.6 \text{ eV}$ だけ高エネルギー側に存在するので、p 型非晶質膜 103 は、p 型単結晶シリコン基板 101 の表面近傍において表面電界を発生する。その結果、p 型単結晶シリコン基板 101 の表面近傍へ拡散した電子は、p 型非晶質膜 103 による表面電界によって p 型単結晶シリコン基板 101 と酸化膜 102 との界面へ到達し難くなる。従って、少数キャリアである電子の再結合が F S F 効果によって抑制される。

【0141】

このように、キャリア（電子および正孔）は、酸化膜 102 および p 型非晶質膜 103 によって p 型単結晶シリコン基板 101 の表面における再結合が抑制され、n 型非晶質膜 111～11m および p 型非晶質膜 121～12m-1 側へ拡散し易くなる。

【0142】

そして、n 型非晶質膜 111～11m および p 型非晶質膜 121～12m-1 側へ拡散した電子および正孔は、n 型非晶質膜 111～11m / p 型単結晶シリコン基板 101 ($=\text{pn}$ 接合) による内部電界によって分離され、電子は、n 型非晶質膜 111～11m を介して電極 131～13m へ到達し、正孔は、p 型非晶質膜 121～12m-1 を介して電極 141～14m-1 へ到達する。

【0143】

電極 131～13m へ到達した電子は、電極 131～13m と電極 141～14m-1 との間に接続された負荷を介して電極 141～14m-1 へ到達し、正孔と再結合する。

【0144】

このように、光電変換素子 200 は、p 型単結晶シリコン基板 101 中で光励起された

10

20

30

40

50

電子および正孔を p 型単結晶シリコン基板 101 の裏面 (=酸化膜 102 が形成された p 型単結晶シリコン基板 101 の表面と反対側の面) から取り出すバックコンタクト型の光電変換素子である。

【0145】

そして、光電変換素子 200 は、光入射側に、酸化膜 102 および p 型非晶質膜 103 を備えるので、上述したように、p 型単結晶シリコン基板 101 に対するパッシベーション効果を向上できる。

【0146】

また、光電変換素子 100 において説明したように、光電変換素子 200 の製造工程において、p 型単結晶シリコン基板 101 の受光面側の表面を保護できる。

10

【0147】

図 9 は、実施の形態 2 による他の光電変換素子の構成を示す断面図である。実施の形態 2 による光電変換素子は、図 9 に示す光電変換素子 200A であってもよい。

【0148】

図 9 を参照して、光電変換素子 200A は、図 8 に示す光電変換素子 200 に i 型非晶質膜 151 ~ 15m を追加したものであり、その他は、光電変換素子 200 と同じである。

【0149】

i 型非晶質膜 151 ~ 15m は、非晶質相からなり、それぞれ、p 型単結晶シリコン基板 101 および n 型非晶質膜 111 ~ 11m に接し、p 型単結晶シリコン基板 101 と n 型非晶質膜 111 ~ 11m との間に配置される。そして、i 型非晶質膜 151 ~ 15m の各々は、例えば、i 型 a-Si からなり、膜厚は、例えば、10nm である。また、i 型非晶質膜 151 ~ 15m は、p 型単結晶シリコン基板 101 の面内方向 (図 9 の紙面における左右方向) において、それぞれ、n 型非晶質膜 111 ~ 11m と同じ幅を有する。更に、i 型非晶質膜 151 ~ 15m は、図 9 の紙面に垂直な方向において、それぞれ、n 型非晶質膜 111 ~ 11m と同じ長さを有する。

20

【0150】

光電変換素子 200A においては、p 型非晶質膜 121 ~ 12m-1 の各々の膜厚は、n 型非晶質膜 111 ~ 11m の膜厚と i 型非晶質膜 151 ~ 15m の膜厚との合計膜厚からなる。

30

【0151】

また、光電変換素子 200A においては、i 型非晶質膜 151 の端面は、p 型非晶質膜 121 に接し、i 型非晶質膜 152 の端面は、p 型非晶質膜 121, 122 に接し、i 型非晶質膜 153 の端面は、p 型非晶質膜 122, 123 に接し、以下、同様にして、i 型非晶質膜 15m-1 の端面は、p 型非晶質膜 12m-2, 12m-1 に接し、i 型非晶質膜 15m の端面は、p 型非晶質膜 12m-1 に接する。

【0152】

光電変換素子 200A は、図 2 ~ 図 4 に示す工程 (a) ~ 工程 (l) によって製造される。この場合、図 2 の工程 (d) において、i 型非晶質膜 151 ~ 15m 用の i 型非晶質膜がプラズマ CVD 法によって p 型単結晶シリコン基板 101 上に堆積され、その後、n 型非晶質膜 111 ~ 11m 用の n 型非晶質膜がプラズマ CVD 法によって i 型非晶質膜 151 ~ 15m 用の i 型非晶質膜上に堆積される。そして、i 型非晶質膜 151 ~ 15m 用の i 型非晶質膜を堆積するときのガス流量は、表 1 に示す i 型非晶質膜 51 ~ 5m のガス流量と同じであり、n 型非晶質膜 111 ~ 11m 用の n 型非晶質膜を堆積するときのガス流量は、表 1 に示す n 型非晶質膜 21 ~ 2m-1 のガス流量と同じである。

40

【0153】

光電変換素子 200A における発電機構は、光電変換素子 200 の発電機構と概ね同じであり、光電変換素子 200 において説明したように、電子および正孔は、p 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側の表面 (テクスチャ化された表面) における再結合が抑制され、n 型非晶質膜 111 ~ 11m および p 型非晶質膜 121 ~ 12m-1 側へ拡散し易く

50

なる。そして、 n 型非晶質膜 111 ~ 11m および p 型非晶質膜 121 ~ 12m-1 側へ拡散した電子および正孔は、 n 型非晶質膜 111 ~ 11m / i 型非晶質膜 151 ~ 15m / p 型単結晶シリコン基板 101 (= $p-i-n$ 接合) による内部電界によって分離され、電子は、 i 型非晶質膜 151 ~ 15m および n 型非晶質膜 111 ~ 11m を介して電極 131 ~ 13m へ到達し、正孔は、 p 型非晶質膜 121 ~ 12m-1 を介して電極 141 ~ 14m-1 へ到達する。

【0154】

電極 131 ~ 13m へ到達した電子は、電極 131 ~ 13m と電極 141 ~ 14m-1 との間に接続された負荷を介して電極 141 ~ 14m-1 へ到達し、正孔と再結合する。

【0155】

このように、光電変換素子 200A は、 p 型単結晶シリコン基板 101 中で光励起された電子および正孔を p 型単結晶シリコン基板 101 の裏面 (= 酸化膜 102 が形成された p 型単結晶シリコン基板 101 の表面と反対側の面) から取り出すバックコンタクト型の光電変換素子である。

【0156】

そして、光電変換素子 200A は、 p 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側の表面 (テクスチャ化された表面) に接して設けられた酸化膜 102 と、酸化膜 102 に接して設けられた p 型非晶質膜 103 とを備えるので、光電変換素子 200 において説明したように、 p 型単結晶シリコン基板 101 に対するパッシベーション効果を向上できる。

【0157】

また、光電変換素子 200A においては、 p 型単結晶シリコン基板 101 と n 型非晶質膜 111 ~ 11m との間に i 型非晶質膜 151 ~ 15m が存在するので、 p 型単結晶シリコン基板 101 と n 型非晶質膜 111 ~ 11m との界面における電子の再結合が抑制される。その結果、短絡光電流が増加し、光電変換素子 200A の変換効率を向上できる。

【0158】

光電変換素子 200A についてのその他の説明は、光電変換素子 200 についての説明と同じである。

【0159】

図 10 は、実施の形態 2 による更に他の光電変換素子の構成を示す断面図である。実施の形態 2 による光電変換素子は、図 10 に示す光電変換素子 200B であってもよい。

【0160】

図 10 を参照して、光電変換素子 200B は、図 8 に示す光電変換素子 200 に i 型非晶質膜 161 ~ 16m-1 を追加したものであり、その他は、光電変換素子 200 と同じである。

【0161】

i 型非晶質膜 161 ~ 16m-1 は、非晶質相からなり、それぞれ、 p 型単結晶シリコン基板 101 および p 型非晶質膜 121 ~ 12m-1 に接し、 p 型単結晶シリコン基板 101 と p 型非晶質膜 121 ~ 12m-1 との間に配置される。そして、 i 型非晶質膜 161 ~ 16m-1 の各々は、例えば、 i 型 $a-Si$ からなり、膜厚は、例えば、10nm である。また、 i 型非晶質膜 161 ~ 16m-1 は、図 10 の紙面に垂直な方向において、それぞれ、 p 型非晶質膜 121 ~ 12m-1 と同じ長さを有する。

【0162】

光電変換素子 200B においては、 n 型非晶質膜 111 ~ 11m の各々の膜厚は、 p 型非晶質膜 121 ~ 12m-1 の膜厚と i 型非晶質膜 161 ~ 16m-1 の膜厚との合計膜厚からなる。

【0163】

また、光電変換素子 200B においては、 n 型非晶質膜 111 の端面は、 i 型非晶質膜 161 および p 型非晶質膜 121 に接し、 n 型非晶質膜 112 の端面は、 i 型非晶質膜 161 および p 型非晶質膜 121 と i 型非晶質膜 162 および p 型非晶質膜 122 とに接し、 n 型非晶質膜 113 の端面は、 i 型非晶質膜 162 および p 型非晶質膜 122 と i 型非

10

20

30

40

50

晶質膜 163 および p 型非晶質膜 123 とに接し、以下、同様にして、n 型非晶質膜 11m-1 の端面は、i 型非晶質膜 16m-2 および p 型非晶質膜 12m-2 と i 型非晶質膜 16m-1 および p 型非晶質膜 12m-1 とに接し、n 型非晶質膜 11m の端面は、i 型非晶質膜 16m-1 および p 型非晶質膜 12m-1 に接する。

【0164】

光電変換素子 200B は、図 2～図 4 に示す工程 (a)～工程 (l) によって製造される。この場合、図 3 の工程 (i) において、i 型非晶質膜 161～16m-1 用の i 型非晶質膜がプラズマ CVD 法によって p 型単結晶シリコン基板 101 および n 型非晶質膜 111～11m 上に堆積され、その後、p 型非晶質膜 121～12m-1 用の p 型非晶質膜がプラズマ CVD 法によって i 型非晶質膜 161～16m-1 用の i 型非晶質膜上に堆積される。そして、i 型非晶質膜 161～16m-1 用の i 型非晶質膜を堆積するときのガス流量は、表 1 に示す i 型非晶質膜 51～5m のガス流量と同じであり、p 型非晶質膜 121～12m-1 用の p 型非晶質膜を堆積するときのガス流量は、表 1 に示す p 型非晶質膜 11～1m のガス流量と同じである。

【0165】

光電変換素子 200B における発電機構は、光電変換素子 200 の発電機構と概ね同じであり、光電変換素子 200 において説明したように、電子および正孔は、p 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側の表面（テクスチャ化された表面）における再結合が抑制され、n 型非晶質膜 111～11m および p 型非晶質膜 121～12m-1 側へ拡散し易くなる。そして、n 型非晶質膜 111～11m および p 型非晶質膜 121～12m-1 側へ拡散した電子および正孔は、n 型非晶質膜 111～11m / p 型単結晶シリコン基板 101 (=pn 接合) による内部電界によって分離され、電子は、n 型非晶質膜 111～11m を介して電極 131～13m へ到達し、正孔は、i 型非晶質膜 161～16m-1 および p 型非晶質膜 121～12m-1 を介して電極 141～14m-1 へ到達する。

【0166】

電極 131～13m-1 へ到達した電子は、電極 131～13m-1 と電極 141～14m-1 との間に接続された負荷を介して電極 141～14m-1 へ到達し、正孔と再結合する。

【0167】

このように、光電変換素子 200B は、p 型単結晶シリコン基板 101 中で光励起された電子および正孔を p 型単結晶シリコン基板 101 の裏面 (=酸化膜 102 が形成された p 型単結晶シリコン基板 101 の表面と反対側の面) から取り出すバックコンタクト型の光電変換素子である。

【0168】

そして、光電変換素子 200B は、p 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側の表面（テクスチャ化された表面）に接して設けられた酸化膜 102 と、酸化膜 102 に接して設けられた p 型非晶質膜 103 とを備えるので、光電変換素子 200 において説明したように、p 型単結晶シリコン基板 101 に対するパッシベーション効果を向上できる。

【0169】

また、光電変換素子 200B においては、p 型単結晶シリコン基板 101 と p 型非晶質膜 121～12m-1 との間に i 型非晶質膜 161～16m-1 が存在するので、p 型単結晶シリコン基板 101 と p 型非晶質膜 121～12m-1 との界面における正孔の再結合が抑制される。その結果、短絡光電流が増加し、光電変換素子 200B の変換効率を向上できる。

【0170】

光電変換素子 200B についてのその他の説明は、光電変換素子 200 についての説明と同じである。

【0171】

図 11 は、実施の形態 2 による更に他の光電変換素子の構成を示す断面図である。実施の形態 2 による光電変換素子は、図 11 に示す光電変換素子 200C であってもよい。

10

20

30

40

50

【0172】

図11を参照して、光電変換素子200Cは、図8に示す光電変換素子200にi型非晶質膜151～15m、161～16m-1を追加したものであり、その他は、光電変換素子200と同じである。

【0173】

i型非晶質膜151～15m、161～16m-1については、上述したとおりである。

【0174】

光電変換素子200Cにおいては、i型非晶質膜161の端面は、i型非晶質膜151、152に接し、i型非晶質膜162の端面は、i型非晶質膜152、153に接し、以下、同様にして、i型非晶質膜16m-1の端面は、i型非晶質膜15m-1、15mに接する。また、p型非晶質膜121の端面は、n型非晶質膜111、112に接し、p型非晶質膜122の端面は、n型非晶質膜112、113に接し、以下、同様にして、p型非晶質膜12m-1の端面は、n型非晶質膜11m-1、11mに接する。

【0175】

光電変換素子200Cは、図2～図4に示す工程(a)～工程(l)によって製造される。この場合、図2の工程(d)において、i型非晶質膜151～15m用のi型非晶質膜がプラズマCVD法によってp型単結晶シリコン基板101上に堆積され、その後、n型非晶質膜111～11m用のn型非晶質膜がプラズマCVD法によってi型非晶質膜151～15m用のi型非晶質膜上に堆積される。また、図3の工程(i)において、i型非晶質膜161～16m-1用のi型非晶質膜がプラズマCVD法によってp型単結晶シリコン基板101およびn型非晶質膜111～11m上に堆積され、その後、p型非晶質膜121～12m-1用のp型非晶質膜がプラズマCVD法によってi型非晶質膜161～16m-1用のi型非晶質膜上に堆積される。そして、i型非晶質膜151～15m用のi型非晶質膜と、i型非晶質膜161～16m-1用のi型非晶質膜とを堆積するときのガス流量は、表1に示すi型非晶質膜51～5mを堆積するときのガス流量と同じであり、n型非晶質膜111～11m用のn型非晶質膜を堆積するときのガス流量は、表1に示すn型非晶質膜21～2m-1を堆積するときのガス流量と同じであり、p型非晶質膜121～12m-1用のp型非晶質膜を堆積するときのガス流量は、表1に示すp型非晶質膜11～1mを堆積するときのガス流量と同じである。

【0176】

光電変換素子200Cにおける発電機構は、光電変換素子200の発電機構と概ね同じであり、光電変換素子200において説明したように、電子および正孔は、p型単結晶シリコン基板101の光入射側の表面(テクスチャ化された表面)における再結合が抑制され、n型非晶質膜111～11mおよびp型非晶質膜121～12m-1側へ拡散し易くなる。そして、n型非晶質膜111～11mおよびp型非晶質膜121～12m-1側へ拡散した電子および正孔は、n型非晶質膜111～11m/i型非晶質膜151～15m/p型単結晶シリコン基板101(=pin接合)による内部電界によって分離され、電子は、i型非晶質膜151～15mおよびn型非晶質膜111～11mを介して電極131～13mへ到達し、正孔は、i型非晶質膜161～16m-1およびp型非晶質膜121～12m-1を介して電極141～14m-1へ到達する。

【0177】

電極131～13mへ到達した電子は、電極131～13mと電極141～14m-1との間に接続された負荷を介して電極141～14m-1へ到達し、正孔と再結合する。

【0178】

このように、光電変換素子200Cは、p型単結晶シリコン基板101中で光励起された電子および正孔をp型単結晶シリコン基板101の裏面(=酸化膜102が形成されたp型単結晶シリコン基板101の表面と反対側の面)から取り出すバックコンタクト型の光電変換素子である。

【0179】

10

20

30

40

50

そして、光電変換素子 200C は、p 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側の表面（テクスチャ化された表面）に接して設けられた酸化膜 102 と、酸化膜 102 に接して設けられた p 型非晶質膜 103 とを備えるので、光電変換素子 200 において説明したように、p 型単結晶シリコン基板 101 に対するパッシベーション効果を向上できる。

【0180】

また、光電変換素子 200C においては、p 型単結晶シリコン基板 101 と n 型非晶質膜 111～11m との間に i 型非晶質膜 151～15m が存在するので、p 型単結晶シリコン基板 101 と n 型非晶質膜 111～11m との界面における電子の再結合が抑制される。更に、光電変換素子 200C においては、p 型単結晶シリコン基板 101 と p 型非晶質膜 121～12m-1 との間に i 型非晶質膜 161～16m-1 が存在するので、p 型単結晶シリコン基板 101 と p 型非晶質膜 121～12m-1 との界面における正孔の再結合が抑制される。

10

【0181】

その結果、短絡光電流が増加し、光電変換素子 200C の変換効率を向上できる。

【0182】

光電変換素子 200C についてのその他の説明は、光電変換素子 200 についての説明と同じである。

【0183】

光電変換素子 200, 200A, 200B, 200C においては、p 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側の表面（＝酸化膜 102 が形成された表面）がテクスチャ構造になっていなくてもよい。この場合、図 2 の工程（b）が省略される。

20

【0184】

また、光電変換素子 200, 200A, 200B, 200C においては、n 型非晶質膜 111～11m-1 は、n 型 a-Si からなると説明したが、実施の形態 2 においては、これに限らず、n 型非晶質膜 111～11m-1 は、n 型 a-SiC、n 型 a-SiO、n 型 a-SiN、n 型 a-SiCN、n 型 a-SiGe および n 型 a-Ge のいずれかからなってもよい。

【0185】

更に、光電変換素子 200, 200A, 200B, 200C においては、p 型非晶質膜 103, 121～12m は、p 型 a-Si からなると説明したが、実施の形態 2 においては、これに限らず、p 型非晶質膜 103, 121～12m は、p 型 a-SiC、p 型 a-SiO、p 型 a-SiN、p 型 a-SiCN、p 型 a-SiGe および p 型 a-Ge のいずれかからなってもよい。

30

【0186】

更に、光電変換素子 200A, 200C においては、i 型非晶質膜 151～15m は、i 型 a-Si からなると説明したが、実施の形態 2 においては、これに限らず、i 型非晶質膜 151～15m は、i 型 a-SiC、i 型 a-SiO、i 型 a-SiN、i 型 a-SiCN、および i 型 a-SiGe のいずれかからなってもよい。

【0187】

更に、光電変換素子 200B, 200C においては、i 型非晶質膜 161～16m-1 は、i 型 a-Si からなると説明したが、実施の形態 2 においては、これに限らず、i 型非晶質膜 161～16m-1 は、i 型 a-SiC、i 型 a-SiO、i 型 a-SiN、i 型 a-SiCN、および i 型 a-SiGe のいずれかからなってもよい。

40

【0188】

即ち、光電変換素子 200, 200A, 200B, 200C においては、n 型非晶質膜 111～11m および p 型非晶質膜 103, 121～12m-1 は、それぞれ、表 2 に示す n 型非晶質膜 21～2m-1 および p 型非晶質膜 11～1m を構成する材料のいずれかからなってもよく、光電変換素子 200A, 200B, 200C においては、i 型非晶質膜 151～15m および／または i 型非晶質膜 161～16m-1 は、それぞれ、表 2 に示す i 型非晶質膜 51～5m, 61～6m-1 を構成する材料のいずれかからなっ

50

いてもよい。

【0189】

そして、 n 型 $a-SiC$ 、 n 型 $a-SiO$ 、 n 型 $a-SiN$ 、 n 型 $a-SiCN$ 、 n 型 $a-SiGe$ 、 n 型 $a-Ge$ 、 p 型 $a-SiC$ 、 p 型 $a-SiO$ 、 p 型 $a-SiN$ 、 p 型 $a-SiCN$ 、 p 型 $a-SiGe$ 、 p 型 $a-Ge$ 、 i 型 $a-SiC$ 、 i 型 $a-SiO$ 、 i 型 $a-SiN$ 、 i 型 $a-SiCN$ 、および i 型 $a-SiGe$ は、上述した材料ガスを用いてプラズマCVD法によって形成される。

【0190】

なお、 i 型非晶質膜151～15m、161～16m-1用の材料として i 型 $a-Ge$ が除外されるのは、上述した i 型非晶質膜51～5m、61～6m-1用の材料として i 型 $a-Ge$ が除外される理由と同じである。

10

【0191】

このように、実施の形態2による光電変換素子は、 p 型単結晶シリコン基板101の裏面にヘテロ接合を形成したバックコンタクト型の光電変換素子であり、 p 型単結晶シリコン基板101の光入射側の表面に酸化膜102および p 型非晶質膜103を順次積層した構造からなる。従って、 p 型単結晶シリコン基板101の光入射側の表面におけるキャリア（特に、電子）の再結合を酸化膜102による界面準位の低下と、 p 型非晶質膜103によるFSF効果とによって抑制し、 p 型単結晶シリコン基板101に対するパッシベーション効果を向上できる。

【0192】

20

上述したように、実施の形態1においては、 n 型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面に酸化膜2と n 型非晶質膜3とを備える光電変換素子100、100A、100B、100Cについて説明した。また、実施の形態2においては、 p 型単結晶シリコン基板101の光入射側の表面に酸化膜102と n 型非晶質膜103とを備える光電変換素子200、200A、200B、200Cについて説明した。

【0193】

従って、この発明の実施の形態による光電変換素子は、第1の導電型を有する単結晶シリコン基板と、半導体基板の光入射側の表面に接して設けられた酸化膜と、酸化膜に接して設けられ、第1の導電型を有する第1の非晶質膜と、半導体基板の光入射側の表面と反対側に設けられ、第1の導電型と反対の第2の導電型を有する第2の非晶質膜と、半導体基板の面内方向において第2の非晶質膜に隣接して半導体基板の光入射側の表面と反対側に設けられ、第1の導電型を有する第3の非晶質膜とを備えていればよい。

30

【0194】

また、実施の形態1においては、 n 型単結晶シリコン基板1と p 型非晶質膜11～1mとの間に配置された i 型非晶質膜51～5mを備える光電変換素子100A、 n 型単結晶シリコン基板1と n 型非晶質膜21～2m-1との間に配置された i 型非晶質膜61～6m-1を備える光電変換素子100B、および n 型単結晶シリコン基板1と p 型非晶質膜11～1mとの間に配置された i 型非晶質膜51～5mと、 n 型単結晶シリコン基板1と n 型非晶質膜21～2m-1との間に配置された i 型非晶質膜61～6m-1とを備える光電変換素子100Cについて説明した。

40

【0195】

更に、実施の形態2においては、 p 型単結晶シリコン基板101と n 型非晶質膜111～11mとの間に配置された i 型非晶質膜151～15mを備える光電変換素子200A、 p 型単結晶シリコン基板101と p 型非晶質膜121～12m-1との間に配置された i 型非晶質膜161～16m-1を備える光電変換素子200B、および p 型単結晶シリコン基板101と n 型非晶質膜111～11mとの間に配置された i 型非晶質膜151～15mと、 p 型単結晶シリコン基板101と p 型非晶質膜121～12m-1との間に配置された i 型非晶質膜161～16m-1とを備える光電変換素子200Cについて説明した。

【0196】

50

従って、この発明の実施の形態による光電変換素子は、第1の導電型を有する単結晶シリコン基板と、半導体基板の光入射側の表面に接して設けられた酸化膜と、酸化膜に接して設けられ、第1の導電型を有する第1の非晶質膜と、半導体基板の光入射側の表面と反対側に設けられ、第1の導電型と反対の第2の導電型を有する第2の非晶質膜と、半導体基板の面内方向において第2の非晶質膜に隣接して半導体基板の光入射側の表面と反対側に設けられ、第1の導電型を有する第3の非晶質膜と、単結晶シリコン基板と第2および第3の非晶質膜の少なくとも一方との間に設けられ、i型の導電型を有する非晶質膜とを備えていればよい。そして、単結晶シリコン基板と第2および第3の非晶質膜の両方との間にi型の導電型を有する非晶質膜が設けられる場合、i型の導電型を有する非晶質膜は、単結晶シリコン基板と第2の非晶質膜との間に設けられ、i型の導電型を有する第4の非晶質膜と、単結晶シリコン基板と第3の非晶質膜との間に設けられ、i型の導電型を有する第5の非晶質膜とからなる。

10

【0197】

更に、この発明の実施の形態による光電変換素子の製造方法は、単結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して酸化膜2（または酸化膜102）を形成する工程と、酸化膜2（または酸化膜102）を形成する工程の後にp型非晶質膜11～1m、n型非晶質膜3，21～2m-1、反射防止膜4および電極31～3m，41～4m-1（またはn型非晶質膜111～11m、p型非晶質膜103，121～12m-1、反射防止膜104および電極131～13m，141～14m-1）を形成する工程とを備えていればよい。

【0198】

20

従って、この発明の実施の形態による光電変換素子の製造方法は、第1の導電型を有する単結晶シリコンからなる半導体基板の光入射側の表面に接して酸化膜を形成する第1の工程と、第1の工程の後、酸化膜に接して第1の導電型を有する第1の非晶質膜を堆積する第2の工程と、第1の工程の後、半導体基板の光入射側の表面と反対側に第1の導電型と反対の第2の導電型を有する第2の非晶質膜を堆積する第3の工程と、半導体基板の面内方向において第2の非晶質膜に隣接して半導体基板の光入射側の表面と反対側に第1の導電型を有する第3の非晶質膜を堆積する第4の工程とを備えていればよい。

【0199】

なお、実施の形態1においては、第1の導電型は、n型であり、第2の導電型は、p型である。また、実施の形態2においては、第1の導電型は、p型であり、第2の導電型は、n型である。

30

【0200】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【産業上の利用可能性】

【0201】

この発明は、光電変換素子およびその製造方法に適用される。

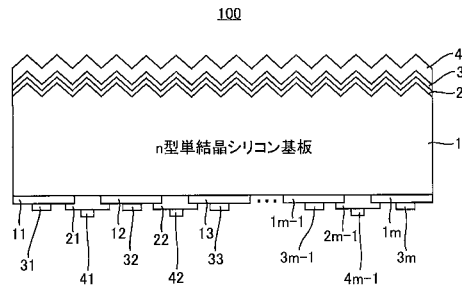
【符号の説明】

40

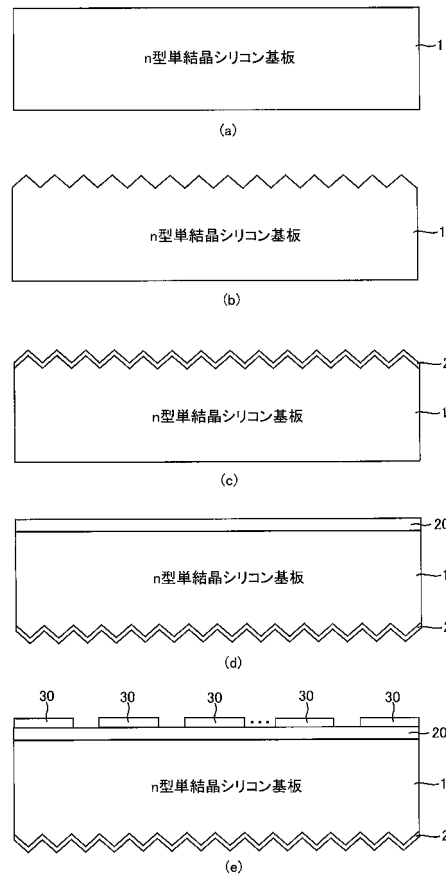
【0202】

1 n型単結晶シリコン基板、2，102 酸化膜、11～1m，20，121～12m-1 p型非晶質膜、21～2m-1，40，111～11m n型非晶質膜、30，50 レジストパターン、31～3m，41～4m-1，131～13m，141～14m-1 電極、100，100A，100B，100C，200，200A，200B，200C，200C 光電変換素子、51～5m，61～6m-1，151～15m，161～16m-1 i型非晶質膜、101 p型単結晶シリコン基板。

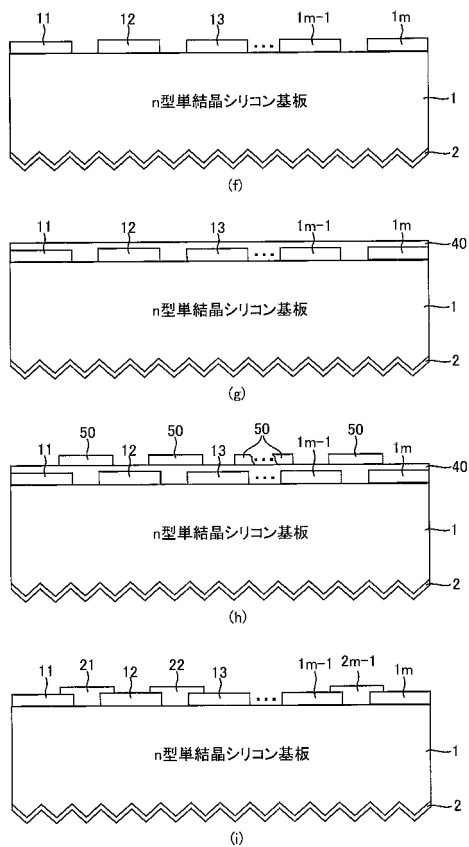
【図 1】



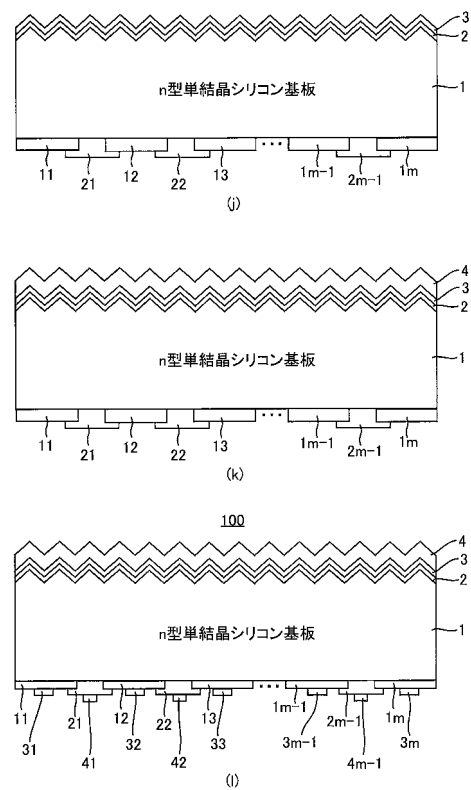
【図 2】



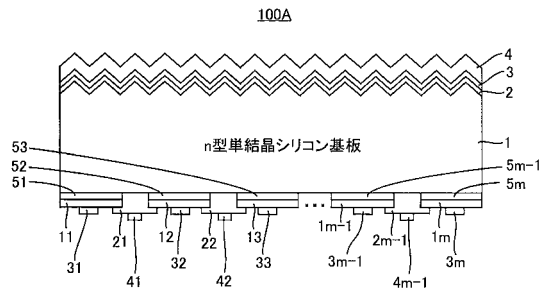
【図 3】



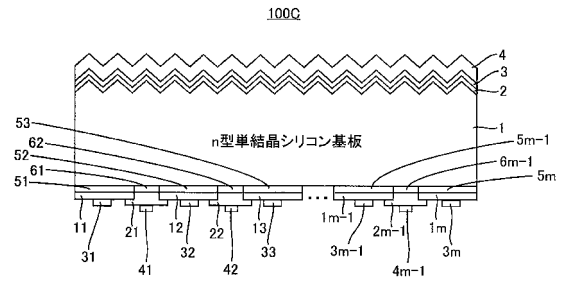
【図 4】



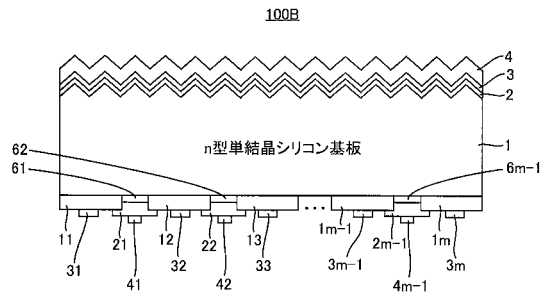
【図 5】



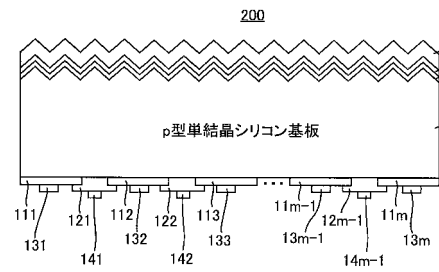
【図 7】



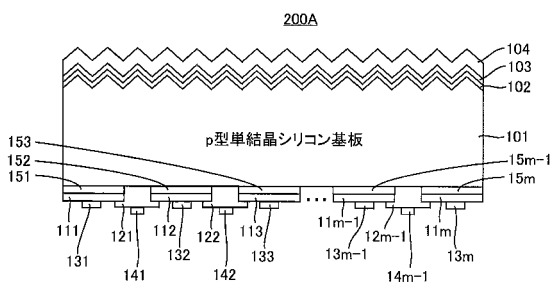
【図 6】



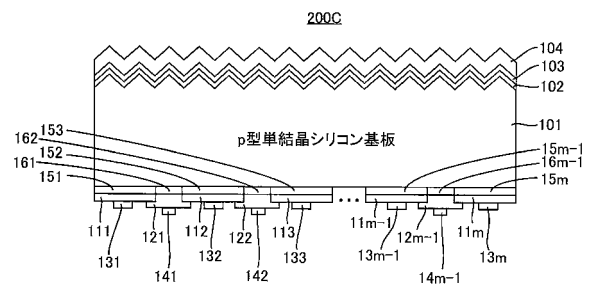
【図 8】



【図 9】



【図 1 1】



【図 1 0】

