(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2013-105883
(P2013-105883A)
(43)公開日　平成25年5月30日(2013.5.30)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H01L 31/04	***(2006.01)***	H01L 31/04	F		5F151
		H01L 31/04	A		

審査請求 未請求　請求項の数 16　ＯＬ　（全 40 頁）

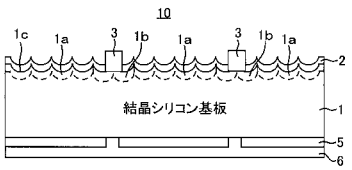
(21)出願番号　特願2011-248679 (P2011-248679)
(22)出願日　平成23年11月14日 (2011.11.14)

(71)出願人　000005049
シャープ株式会社
大阪府大阪市阿倍野区長池町２２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　生野　利典
大阪府大阪市阿倍野区長池町２２番２２号
シャープ株式会社内

Ｆターム(参考)　5F151 AA02 AA03 BA18 CA15 CB12
CB15 CB20 CB22 CB24 CB27
DA03 FA02 FA06 GA04 GA15
HA03 HA07 HA19

(54)【発明の名称】光電変換素子

(57)【要約】
【課題】結晶シリコンの表面をパッシベートできる光電変換素子を提供する。
【解決手段】光電変換素子１０は、結晶シリコン基板１と、非晶質膜２と、電極３，６と、パッシベーション膜５とを備える。結晶シリコン基板１は、太陽光の入射方向に突出した凹部１ｃを含む凹凸構造を一方の表面に有する。結晶シリコン基板１は、太陽光の入射側に拡散領域１ａ，１ｂを含む。非晶質膜２は、非晶質相からなり、結晶シリコン基板１の凹部１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。電極３は、結晶シリコン基板１の拡散領域１ｂに接して形成される。パッシベーション膜５は、結晶シリコン基板１の裏面に接して形成される。電極６は、結晶シリコン基板１の裏面およびパッシベーション膜５に接して形成される。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１の導電型を有し、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造が一方の表面に形成された結晶シリコン基板と、
前記結晶シリコン基板の前記半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成され、非晶質相からなる第１の非晶質膜と、
前記結晶シリコン基板の前記一方の表面側または前記結晶シリコン基板の他方の表面側に形成されたｐ／ｎ接合部とを備える光電変換素子。
【請求項２】
前記ｐ／ｎ接合部は、
前記結晶シリコン基板のバルク領域と、
前記結晶シリコン基板の前記一方の表面側に前記バルク領域に接して設けられ、前記第１の導電型と反対の第２の導電型を有する拡散領域とを含む、請求項１に記載の光電変換素子。
【請求項３】
前記結晶シリコン基板は、単結晶シリコン基板からなる、請求項２に記載の光電変換素子。
【請求項４】
前記結晶シリコン基板は、多結晶シリコン基板からなる、請求項２に記載の光電変換素子。
【請求項５】
前記結晶シリコン基板は、単結晶シリコン基板からなり、
前記ｐ／ｎ接合部は、
前記単結晶シリコン基板のバルク領域と、
前記単結晶シリコン基板の前記他方の表面側に前記バルク領域に接して設けられ、前記第１の導電型と反対の第２の導電型を有する第１の拡散領域と、
前記単結晶シリコン基板の面内方向において前記第１の拡散領域に隣接するとともに前記バルク領域に接して前記単結晶シリコン基板の前記他方の表面側に設けられ、前記第１の導電型を有する第２の拡散領域とを含む、請求項１に記載の光電変換素子。
【請求項６】
前記第１の導電型は、ｎ型であり、
前記第２の導電型は、ｐ型である、請求項２から請求項５のいずれか１項に記載の光電変換素子。
【請求項７】
前記第１の導電型は、ｐ型であり、
前記第２の導電型は、ｎ型である、請求項２から請求項５のいずれか１項に記載の光電変換素子。
【請求項８】
第１の導電型を有し、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造が一方の表面に形成された単結晶シリコン基板と、
前記単結晶シリコン基板の前記半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成され、非晶質相からなる第１の非晶質膜と、
前記単結晶シリコン基板の他方の表面に接して形成され、ノンドープかつ非晶質相からなる第２の非晶質膜と、
前記第２の非晶質膜に接して配置されるとともに、前記第１の導電型と反対の第２の導電型を有し、非晶質相からなる第３の非晶質膜と、
前記第３の非晶質膜に隣接するとともに前記第２の非晶質膜に接して配置され、前記第１の導電型を有し、かつ、非晶質相からなる第４の非晶質膜とを備える光電変換素子。
【請求項９】
前記第１の導電型は、ｎ型であり、

前記第２の導電型は、ｐ型である、請求項８に記載の光電変換素子。
【請求項１０】
前記第１の非晶質膜は、ｎ型アモルファスシリコンゲルマニウム、ｎ型アモルファスシリコン、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バイド、ｎ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ゲルマニウム、ｉ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｉ型アモルファスシリコンカーボンナイトライドのいずれかからなり、
前記第２の非晶質膜は、ｉ型アモルファスシリコンゲルマニウム、ｉ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｉ型アモルファスシリコンカーボンナイトライド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ゲルマニウム、ｐ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｐ型アモルファスシリコンカーボンナイトライドのいずれかからなり、
前記第４の非晶質膜は、ｎ型アモルファスシリコンゲルマニウム、ｎ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｎ型アモルファスシリコンカーボンナイトライドのいずれかからなる、請求項９に記載の光電変換素子。
【請求項１１】
前記第１の導電型は、ｐ型であり、
前記第２の導電型は、ｎ型である、請求項８に記載の光電変換素子。
【請求項１２】
前記第１の非晶質膜は、ｐ型アモルファスシリコンゲルマニウム、ｐ型アモルファスシリコン、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バイド、ｐ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ゲルマニウム、ｉ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｉ型アモルファスシリコンカーボンナイトライドのいずれかからなり、
前記第２の非晶質膜は、ｉ型アモルファスシリコンゲルマニウム、ｉ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｉ型アモルファスシリコンカーボンナイトライド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ゲルマニウム、ｎ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｎ型アモルファスシリコンカーボンナイトライドのいずれかからなり、
前記第４の非晶質膜は、ｐ型アモルファスシリコンゲルマニウム、ｐ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｐ型アモルファスシリコンカーボンナイトライドのいずれかからなる、請求項１１に記載の光電変換素子。
【請求項１３】
第１の導電型を有し、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造が一方の表面に形成された結晶シリコン基板と、
前記結晶シリコン基板の前記半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成され、ノンドープかつ非晶質相からなる第１の非晶質膜と、
前記第１の非晶質膜に接して形成されるとともに、前記第１の導電型と反対の第２の導電型を有し、かつ、非晶質相からなる第２の非晶質膜とを備える光電変換素子。
【請求項１４】
前記第１の非晶質膜は、ｉ型アモルファスシリコンゲルマニウム、ｉ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｉ型アモルファスシリコンカーボンナイトライドのいずれかからなる、請求項１３に記載の光電変換素子。

【請求項１５】
前記結晶シリコン基板は、ｎ型単結晶シリコン基板またはｎ型多結晶シリコン基板からなり、
前記第２の非晶質膜は、ｐ型アモルファスシリコンゲルマニウム、ｐ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｐ型アモルファスシリコンカーボンナイトライドのいずれかからなる、請求項１３または請求項１４に記載の光電変換素子。
【請求項１６】
前記結晶シリコン基板は、ｐ型単結晶シリコン基板またはｐ型多結晶シリコン基板からなり、
前記第２の非晶質膜は、ｎ型アモルファスシリコンゲルマニウム、ｎ型アモルファスシリコン、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バイドおよびｎ型アモルファスシリコンカーボンナイトライドのいずれかからなる、請求項１３または請求項１４に記載の光電変換素子。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
この発明は、光電変換素子に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
バックコンタクト型の太陽電池は、従来、受光面側にあったｐｎ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、受光量を増やして変換効率を向上させるものである。
【０００３】
そして、バックコンタクト型の太陽電池として、結晶系の半導体材料の裏面にｉｐ接合と、ｉｎ接合とを形成した太陽電池が知られている（特許文献１）。
【０００４】
ｉｐ接合は、ｉ型アモルファスシリコンと、ｐ型アモルファスシリコンとからなる。また、ｉｎ接合は、ｉ型アモルファスシリコンと、ｎ型アモルファスシリコンとからなる。そして、ｐ型アモルファスシリコン、ｉ型アモルファスシリコンおよびｎ型アモルファスシリコンは、プラズマＣＶＤ（Ｃｈｅｍｉｃａｌ　Ｖａｐｕｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法によって形成される。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】特開２０１０－８０８８７号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
しかし、単結晶シリコンの表面にアモルファスシリコンをパッシベーション膜としてプラズマＣＶＤ法によって形成する場合、単結晶シリコンの表面がテクスチャ化されていれば、単結晶シリコンの表面が（１１１）面からなるため、シリコンがエピタキシャル成長し、単結晶シリコンに対するパッシベーションが困難であるという問題がある。
【０００７】
そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、結晶シリコンの表面をパッシベートできる光電変換素子を提供するものである。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
この発明の実施の形態によれば、光電変換素子は、結晶シリコン基板と、第１の非晶質膜と、ｐ／ｎ接合とを備える。結晶シリコン基板は、第１の導電型を有し、太陽光の入射

方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造が一方の表面に形成されている。第１の非晶質膜は、結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成され、非晶質相からなる。ｐ／ｎ接合は、結晶シリコン基板の一方の表面側または結晶シリコン基板の他方の表面側に形成されている。

【０００９】

また、この発明の実施の形態によれば、光電変換素子は、単結晶シリコン基板と、第１から第４の非晶質膜とを備える。

【００１０】

単結晶シリコン基板は、第１の導電型を有し、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造が一方の表面に形成されている。第１の非晶質膜は、単結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成され、非晶質相からなる。第２の非晶質膜は、単結晶シリコン基板の他方の表面に接して形成され、ノンドープかつ非晶質相からなる。第３の非晶質膜は、第２の非晶質膜に接して配置されるとともに、第１の導電型と反対の第２の導電型を有し、非晶質相からなる。第４の非晶質膜は、第３の非晶質膜に隣接するとともに第２の非晶質膜に接して配置され、第１の導電型を有し、かつ、非晶質相からなる。

【００１１】

更に、この発明の実施の形態によれば、光電変換素子は、結晶シリコン基板と、第１および第２の非晶質膜とを備える。結晶シリコン基板は、第１の導電型を有し、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造が一方の表面に形成されている。第１の非晶質膜は、結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成され、ノンドープかつ非晶質相からなる。第２の非晶質膜は、第１の非晶質膜に接して形成されるとともに、第１の導電型と反対の第２の導電型を有し、かつ、非晶質相からなる。

【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、結晶シリコン基板は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造を一方の表面に有する。そして、結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造上に薄膜を堆積すると、この凹凸構造は、（１１１）以外の面方位を有するので、薄膜は、エピタキシャル成長せず、非晶質相からなる。その結果、非晶質相からなる第１の非晶質膜が結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成される。

【００１３】

従って、結晶シリコン基板の表面をパッシベートできる。

【００１４】

また、この発明の実施の形態による光電変換素子においては、単結晶シリコン基板は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造を一方の表面に有する。そして、単結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造上に薄膜を堆積すると、この凹凸構造は、（１１１）以外の面方位を有するので、薄膜は、エピタキシャル成長せず、非晶質相からなる。その結果、非晶質相からなる第１の非晶質膜が半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成される。また、単結晶シリコン基板の凹部が形成された面と反対側には、単結晶シリコン基板と第２から第４の非晶質膜とによってｐｉｎ接合が形成されている。

【００１５】

従って、裏面コンタクト型の光電変換素子において、第１の非晶質膜によって単結晶シリコン基板の表面をパッシベートできる。

【００１６】

更に、この発明の実施の形態による光電変換素子においては、結晶シリコン基板は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造を一方の表面に有する。そして、結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造上に薄膜を堆積すると、この凹凸構造は、（１１１）以外の面方位を有するので、薄膜は、エピタキシャル成長せず、非晶質相からなる。その結果、非晶質相からなる第１の非晶質膜が結晶シリコン基板の半球状の凹部

を含む凹凸構造に接して形成される。また、第２の非晶質膜が第１の非晶質膜に接して形成されている。

【００１７】

従って、太陽光の入射側にｐｉｎ接合が形成された光電変換素子において、第１の非晶質膜によって単結晶シリコン基板の表面をパッシベートできる。

【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。
【図２】実施例１における光電変換素子の構成を示す断面図である。
【図３】図２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４】図２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５】実施例２における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２による光電変換素子の構成を示す断面図である。
【図７】実施例３における光電変換素子の構成を示す断面図である。
【図８】図７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９】図７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１０】実施例４における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３による光電変換素子の構成を示す断面図である。
【図１２】実施例５における光電変換素子の構成を示す断面図である。
【図１３】図１２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１４】図１２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１５】実施例６における光電変換素子の構成を示す断面図である。
【図１６】実施の形態４による光電変換素子の構成を示す断面図である。
【図１７】実施例７における光電変換素子の構成を示す断面図である。
【図１８】図１７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１９】図１７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２０】図１７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２１】実施例８における光電変換素子の構成を示す断面図である。

【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。更に、「結晶シリコン基板」とは、単結晶シリコン基板または多結晶シリコン基板を言う。

【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１０は、結晶シリコン基板１と、非晶質膜２と、電極３，６と、パッシベーション膜５とを備える。

【００２２】

結晶シリコン基板１は、ｎ型単結晶シリコン基板またはｐ型単結晶シリコン基板からなる。また、結晶シリコン基板１は、ｎ型多結晶シリコン基板またはｐ型多結晶シリコン基板からなる。

【００２３】
ｎ型単結晶シリコン基板およびｐ型単結晶シリコン基板の各々は、例えば、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。また、ｎ型単結晶シリコン基板およびｐ型単結晶シリコン基板の各々は、例えば、１００～３００μｍの厚みを有し、好ましくは、１００～２００μｍの厚みを有する。ｎ型多結晶シリコン基板またはｐ型多結晶シリコン基板についても、面方位を除いて同様である。
【００２４】
そして、結晶シリコン基板１は、その一方の表面側に拡散領域１ａ，１ｂを含む。拡散領域１ａ，１ｂの各々は、結晶シリコン基板１と反対の導電型を有し、深さは、例えば、２００ｎｍである。また、拡散領域１ｂのドーパント濃度は、拡散領域１ａのドーパント濃度よりも高い。例えば、拡散領域１ａは、$1\times10^{19}\ cm^{-3}$のドーパント濃度を有し、拡散領域１ｂは、$1\times10^{20}\ cm^{-3}$のドーパント濃度を有する。
【００２５】
更に、結晶シリコン基板１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部１ｃを含む凹凸構造が一方の表面に形成されている。この凹凸構造は、所謂、「ハニカムテクスチャ」と呼ばれるものである。そして、凹部１ｃは、結晶シリコン基板１の面内方向において、例えば、数μｍの幅を有する。
【００２６】
非晶質膜２は、非晶質相からなり、結晶シリコン基板１の凹部１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。非晶質膜２は、結晶シリコン基板１がｎ型の導電型を有する場合、ｎ型非晶質膜またはｉ型非晶質膜からなる。また、非晶質膜２は、結晶シリコン基板１がｐ型の導電型を有する場合、ｐ型非晶質膜またはｉ型非晶質膜からなる。そして、非晶質膜２は、例えば、１０ｎｍの膜厚を有する。
【００２７】
電極３は、結晶シリコン基板１の拡散領域１ｂに接して形成される。そして、電極３は、例えば、銀（Ａｇ）からなる。
【００２８】
パッシベーション膜５は、結晶シリコン基板１の他方の面（＝凹部１ｃが形成された面と反対の面）に接して形成される。パッシベーション膜５は、シリコン酸化膜からなり、例えば、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。
【００２９】
電極６は、結晶シリコン基板１およびパッシベーション膜５に接して形成される。そして、電極６は、例えば、アルミニウム（Ａｌ）からなる。
【００３０】
結晶シリコン基板１の一方の面には、上述したように、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部１ｃを含む凹凸構造が形成されているので、結晶シリコン基板１の表面は、（１１１）の面方位と異なる面方位を有する。
【００３１】
その結果、薄膜を結晶シリコン基板１の表面（＝凹部１ｃが形成された面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長せず、非晶質相からなる非晶質膜２が結晶シリコン基板１の表面（＝凹部１ｃが形成された面）に形成される。
【００３２】
従って、結晶シリコン基板１の表面をパッシベートできる。
【００３３】
以下、光電変換素子１０の実施例について説明する。
【００３４】
（実施例１）
図２は、実施例１における光電変換素子の構成を示す断面図である。図２を参照して、光電変換素子１０Ａは、ｎ型単結晶シリコン基板１１と、ｎ型非晶質膜１２と、電極１３，１６と、パッシベーション膜１５とを備える。

【００３５】
ｎ型単結晶シリコン基板１１は、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。また、ｎ型単結晶シリコン基板１１の厚みは、例えば、２００μｍである。そして、ｎ型単結晶シリコン基板１１の一方の面には、凹部１１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成されている。また、ｎ型単結晶シリコン基板１１は、一方の面側に拡散領域１１ａ，１１ｂを有する。拡散領域１１ａ，１１ｂの各々は、ｐ型の導電型を有し、例えば、ボロン（Ｂ）をドーパントして含む。拡散領域１１ａのＢ濃度は、例えば、1×10^{19} ｃｍ$^{-3}$であり、拡散領域１１ｂのＢ濃度は、例えば、1×10^{20} ｃｍ$^{-3}$である。

【００３６】
ｎ型非晶質膜１２は、ｎ型単結晶シリコン基板１１の凹部１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。ｎ型非晶質膜１２は、ｎ型ａ－Ｓｉからなる。そして、ｎ型非晶質膜１２の膜厚は、例えば、１０ｎｍであり、ｎ型非晶質膜１２中のリン（Ｐ）濃度は、例えば、1×10^{17} ｃｍ$^{-3}$～1×10^{19} ｃｍ$^{-3}$の範囲である。

【００３７】
電極１３は、ｎ型単結晶シリコン基板１１の拡散領域１１ｂに接して形成される。そして、電極１３は、Ａｇからなる。

【００３８】
パッシベーション膜１５は、ｎ型単結晶シリコン基板１１の他方の面（凹部１１ｃが形成された面と反対の面）に接して形成される。そして、パッシベーション膜１５は、例えば、二酸化シリコン（SiO_2）からなり、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。

【００３９】
電極１６は、ｎ型単結晶シリコン基板１１およびパッシベーション膜１５に接して形成される。そして、電極１６は、Ａｌからなる。

【００４０】
図３および図４は、それぞれ、図２に示す光電変換素子１０Ａの製造方法を示す第１および第２の工程図である。

【００４１】
（１００）の面方位を有するｎ型単結晶シリコン基板１１をエタノール等で超音波洗浄して脱脂する。そして、ｎ型単結晶シリコン基板１１の一方の表面にシリコンナイトライド（ＳｉＮ）膜を形成し、その形成したＳｉＮ膜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、マスク２０を作製する（図３の工程（ａ）参照）。マスク２０は、例えば、直径が２～３μｍ程度である小孔２１を有する。

【００４２】
工程（ａ）の後、フッ酸（ＨＦ）と硝酸（HNO_3）との混酸を用いてマスク２０を介してｎ型単結晶シリコン基板１１を等方性エッチングし、マスク２０を除去する。これによって、凹部１１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）がｎ型単結晶シリコン基板１の一方の表面側に形成される（図３の工程（ｂ）参照）。

【００４３】
そして、ｐ型のドーパントであるボロン（Ｂ）を含むＢＳＧ（Boron Silicate Glass）膜２２をｎ型単結晶シリコン基板１１の表面（＝凹部１１ｃが形成された表面）にＡＰＣＶＤ（Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition）法によって形成する（図３の工程（ｃ）参照）。

【００４４】
その後、ＢＳＧ膜２２／ｎ型単結晶シリコン基板１１を窒素ガス雰囲気中で８００℃の温度で、１時間、熱処理する。そして、熱処理後、ＢＳＧ膜２２を除去する。これによって、ｎ型単結晶シリコン基板１１の表面側に拡散領域２３が形成される（図３の工程（ｄ）参照）。

【００４５】
引き続いて、拡散領域２３を覆うようにＢＳＧ膜をＡＰＣＶＤ法によって形成するとと

もに、その形成したＢＳＧ膜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、レジストパターンを作製する。そして、その作製したレジストパターンをマスクとしてＢＳＧ膜をエッチングし、ＢＳＧ膜２４を形成する（図３の工程（ｅ）参照）。

【００４６】

そして、ＢＳＧ膜２４／ｎ型単結晶シリコン基板１１を窒素ガス雰囲気中で９５０℃の温度で、５０分、熱処理する。そして、熱処理後、ＢＳＧ膜２４を除去する。これによって、拡散領域１１ａ，１１ｂがｎ型単結晶シリコン基板１１の表面側に形成される（図４の工程（ｆ）参照）。拡散領域１１ｂは、ＢＳＧ膜の２回の熱処理によって形成されるので、Ｂ濃度が拡散領域１１ａよりも高く、拡散領域１１ｂの深さは、拡散領域１１ａよりも深い。

【００４７】

工程（ｆ）の後、ｎ型単結晶シリコン基板１１を酸素雰囲気中で１０００℃の温度で熱処理してSiO_2からなるパッシベーション膜１５をｎ型単結晶シリコン基板１１の裏面（＝凹部１１ｃが形成された面と反対の面）に形成する（図４の工程（ｇ）参照）。なお、凹部１１ｃが形成された面にも、SiO_2が形成されるが、このSiO_2は、ＨＦによって除去される。

【００４８】

そして、ｎ型単結晶シリコン基板１１の表面にｎ型ａ－Ｓｉからなるｎ型非晶質膜１２をプラズマＣＶＤ法によって形成する（図４の工程（ｈ）参照）。この場合、ｎ型ａ－Ｓｉを形成する条件は、シラン（SiH_4）ガスの流量が２０ｓｃｃｍであり、水素（H_2）ガスの流量が１５０ｓｃｃｍであり、ホスフィン（PH_3）ガスの流量が１００ｓｃｃｍであり、１３．５６ＭＨｚのＲＦパワーが１６～８０ｍＷ／ｃｍ^{2}であり、反応圧力が１３．３Ｐａ～６６５Ｐａである。なお、PH_3ガスは、H_2ガスによって希釈されており、その濃度は、０．２％である。

【００４９】

工程（ｈ）の後、フォトリソグラフィおよびエッチングによってｎ型非晶質膜１２およびパッシベーション膜１６にそれぞれコンタクトホール２５，２６を形成する（図４の工程（ｉ）参照）。

【００５０】

そして、電極１３をｎ型非晶質膜１２側に形成し、電極１６をパッシベーション膜１５側に形成する。これによって、光電変換素子１０Ａが完成する（図４の工程（ｊ）参照）。

【００５１】

工程（ｈ）において、ｎ型ａ－Ｓｉからなるｎ型非晶質膜１２をｎ型単結晶シリコン基板１１上に堆積する場合、ｎ型単結晶シリコン基板１１の表面（＝凹部１１ｃが形成された表面）には、凹部１１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成されているので、ｎ型単結晶シリコン基板１１の表面は、（１１１）以外の面方位を有する。その結果、薄膜をｎ型単結晶シリコン基板１１の表面（＝凹部１１ｃが形成された表面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長しない。従って、ｎ型ａ－Ｓｉからなるｎ型非晶質膜１２をｎ型単結晶シリコン基板１１の表面（＝凹部１１ｃが形成された表面）に形成できる。

【００５２】

光電変換素子１０Ａにおいては、太陽光は、ｎ型非晶質膜１２側から光電変換素子１０Ａに照射される。そして、太陽光は、ハニカムテクスチャによって反射が抑制され、ｎ型非晶質膜１２を介してｎ型単結晶シリコン基板１１へ入射する。

【００５３】

そうすると、ｎ型単結晶シリコン基板１１中で正孔および電子が光励起される。そして、光励起された正孔は、拡散領域１１ａ，１１ｂとｎ型単結晶シリコン基板１１のバルク領域（＝ｎ型単結晶シリコン基板１１の拡散領域１１ａ，１１ｂ以外の領域）とによって

形成されるｐ／ｎ接合の方向へ拡散によって移動し、ｐ／ｎ接合による内部電界によって拡散領域１１ａ，１１ｂへ到達する。拡散領域１１ａに到達した正孔は、拡散領域１１ａとｎ型非晶質膜１２との界面で再結合が抑制され、拡散によって拡散領域１１ｂへ到達する。このように、ｎ型非晶質膜１２は、ｎ型単結晶シリコン基板１１の表面に対してパッシベーション膜として機能する。そして、正孔は、拡散領域１１ｂから電極１３に至る。

【００５４】

一方、光励起された電子は、拡散によってｎ型単結晶シリコン基板１１の裏面側へ移動する。そして、ｎ型単結晶シリコン基板１１とパッシベーション膜１５との界面へ到達した電子は、再結合が抑制され、拡散によって電極１６に到達する。電極１６に到達した電子は、電極１６から負荷を介して電極１３に到達し、正孔と再結合する。

【００５５】

このように、光電変換素子１０Ａは、光入射側の表面の面方位が（１１１）以外であるｎ型単結晶シリコン基板１１を備えるので、非晶質相からなるｎ型非晶質膜１２がｎ型単結晶シリコン基板１１の表面（＝凹部１１ｃが形成された表面）に接して形成される。その結果、光生成された正孔および電子のうち、少数キャリアである正孔の再結合がｎ型非晶質膜１２によって抑制される。

【００５６】

従って、ｎ型単結晶シリコン１１の表面をパッシベートできる。

【００５７】

上記においては、ｎ型非晶質膜１２は、ｎ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子１０Ａにおいては、これに限らず、ｎ型非晶質膜１２は、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。

【００５８】

ｎ型ａ－ＳｉＧｅは、SiH_4ガス、ゲルマン（GeH_4）ガス、H_2ガスおよびPH_3ガスを材料ガスとしてプラズマＣＶＤ法によって形成される。ｎ型ａ－ＳｉＮは、SiH_4ガス、アンモニア（NH_3）ガス、H_2ガスおよびPH_3ガスを材料ガスとしてプラズマＣＶＤ法によって形成される。ｎ型ａ－ＳｉＣは、SiH_4ガス、メタン（CH_4）ガス、H_2ガスおよびPH_3ガスを材料ガスとしてプラズマ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、H_2ガスおよびPH_3ガスを材料ガスとしてプラズマＣＶＤ法によって形成される。

【００５９】

ｎ型非晶質膜１２がｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなる場合も、ｎ型非晶質膜１２は、非晶質相からなるので、ｎ型単結晶シリコン基板１１の表面をパッシベートできる。

【００６０】

また、光電変換素子１０Ａは、ｎ型非晶質膜１２に代えてｉ型非晶質膜を備えていてもよい。この場合、ｉ型非晶質膜は、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。

【００６１】

ｉ型ａ－Ｓｉは、SiH_4ガスおよびH_2ガスを材料ガスとしてプラズマ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プラズマＣＶＤ法によって形成される。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プラズマＣＶＤ法によって形成される。

【００６２】

更に、光電変換素子１０Ａは、ｎ型単結晶シリコン基板１１に代えてｎ型多結晶シリコン基板を備えていてもよい。ｎ型多結晶シリコン基板は、０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有シ、例えば、２００μｍの厚みを有する。そして、ｎ型多結晶シリコン基板の表面

は、図３の工程（ａ）に示すマスク２０を用いてドライエッチングによってハニカムテクスチャ化される。

【００６３】

なお、光電変換素子１０Ａがｎ型多結晶シリコン基板を備えている場合も、非晶質相からなるｎ型非晶質膜１２がｎ型単結晶シリコン基板上に堆積され、ｎ型非晶質膜１２は、上述した各種の材料からなる。また、光電変換素子１０Ａがｎ型多結晶シリコン基板を備えている場合も、光電変換素子１０Ａは、ｎ型非晶質膜１２に代えてｉ型非晶質膜を備えていてもよく、ｉ型非晶質膜は、上述した各種の材料からなる。

【００６４】

また、光電変換素子１０Ａは、ｎ型非晶質膜１２に接して反射防止膜を更に備えていてもよい。この場合、反射防止膜は、例えば、シリコン窒化膜からなり、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。

【００６５】

（実施例２）

図５は、実施例２における光電変換素子の構成を示す断面図である。図５を参照して、光電変換素子１０Ｂは、ｐ型単結晶シリコン基板３１と、ｐ型非晶質膜３２と、電極３３，３６と、パッシベーション膜３５とを備える。

【００６６】

ｐ型単結晶シリコン基板３１は、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。また、ｐ型単結晶シリコン基板３１の厚みは、例えば、２００μｍである。そして、ｐ型単結晶シリコン基板３１の一方の面には、凹部３１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成されている。また、ｐ型単結晶シリコン基板３１は、一方の面側に拡散領域３１ａ，３１ｂを有する。拡散領域３１ａ，３１ｂの各々は、ｎ型の導電型を有し、例えば、Ｐをドーパントして含む。拡散領域３１ａのＰ濃度は、例えば、$1\times10^{19}cm^{-3}$であり、拡散領域１１ｂのＰ濃度は、例えば、$1\times10^{20}cm^{-3}$である。

【００６７】

ｐ型非晶質膜３２は、ｐ型単結晶シリコン基板３１の凹部３１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。ｐ型非晶質膜３２は、ｐ型ａ－Ｓｉからなる。そして、ｐ型非晶質膜３２の膜厚は、例えば、１０ｎｍであり、ｐ型非晶質膜３２中のＢ濃度は、例えば、$1\times10^{17}cm^{-3}$～$1\times10^{19}cm^{-3}$の範囲である。

【００６８】

電極３３は、ｐ型単結晶シリコン基板３１の拡散領域３１ｂに接して形成される。そして、電極３３は、Ａｇからなる。

【００６９】

パッシベーション膜３５は、ｐ型単結晶シリコン基板３１の他方の面（凹部３１ｃが形成された面と反対の面）に接して形成される。そして、パッシベーション膜３５は、例えば、SiO_2からなり、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。

【００７０】

電極３６は、ｐ型単結晶シリコン基板３１およびパッシベーション膜３５に接して形成される。そして、電極３６は、Ａｌからなる。

【００７１】

光電変換素子１０Ｂは、図３および図４に示す工程（ａ）～工程（ｊ）に従って製造される。この場合、工程（ａ），（ｂ）において、ｐ型単結晶シリコン基板３１の一方の表面に凹部３１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成される。

【００７２】

また、工程（ｃ）～工程（ｆ）において、拡散領域３１ａ，３１ｂが形成される。なお、Ｐのドーパント源は、ＰＳＧ（Phosphorus Silicate Glass）膜である。

【００７３】

更に、工程（ｇ）において、パッシベーション膜３５がｐ型単結晶シリコン基板３１の

裏面に形成され、工程（ｈ）において、ｐ型非晶質膜３２がｐ型単結晶シリコン基板３１の一方の表面（凹部３１ｃが形成された面）に形成される。

【００７４】

更に、工程（ｉ），（ｊ）において電極３３，３６が形成される。

【００７５】

工程（ｈ）において、ｐ型ａ－Ｓｉからなるｐ型非晶質膜３２をｐ型単結晶シリコン基板３１上に堆積する場合、ｐ型単結晶シリコン基板３１の表面（＝凹部３１ｃが形成された表面）には、凹部３１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成されているので、ｐ型単結晶シリコン基板３１の表面は、（１１１）以外の面方位を有する。その結果、薄膜をｐ型単結晶シリコン基板３１の表面（＝凹部３１ｃが形成された表面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長しない。従って、ｐ型ａ－Ｓｉからなるｐ型非晶質膜３２をｐ型単結晶シリコン基板３１の表面（＝凹部３１ｃが形成された表面）に形成できる。

【００７６】

光電変換素子１０Ｂにおいては、太陽光は、ｐ型非晶質膜３２側から光電変換素子１０Ｂに照射される。そして、太陽光は、ハニカムテクスチャによって反射が抑制され、ｐ型非晶質膜３２を介してｐ型単結晶シリコン基板３１へ入射する。

【００７７】

そうすると、ｐ型単結晶シリコン基板３１中で正孔および電子が光励起される。そして、光励起された電子は、拡散領域３１ａ，３１ｂとｐ型単結晶シリコン基板３１のバルク領域（＝ｐ型単結晶シリコン基板３１の拡散領域３１ａ，３１ｂ以外の領域）とによって形成されるｐ／ｎ接合の方向へ拡散によって移動し、ｐ／ｎ接合による内部電界によって拡散領域３１ａ，３１ｂへ到達する。拡散領域３１ａに到達した電子は、拡散領域３１ａとｐ型非晶質膜３２との界面で再結合が抑制され、拡散によって拡散領域３１ｂへ到達する。このように、ｐ型非晶質膜３２は、ｐ型単結晶シリコン基板３１の表面に対してパッシベーション膜として機能する。そして、電子は、拡散領域３１ｂから電極３３に至る。

【００７８】

一方、光励起された正孔は、拡散によってｐ型単結晶シリコン基板３１の裏面側へ移動する。ｐ型単結晶シリコン基板３１とパッシベーション膜３５との界面へ到達した正孔は、再結合が抑制され、拡散によって電極３６に到達する。そして、電子は、電極３３から負荷を介して電極３６に到達し、正孔と再結合する。

【００７９】

このように、光電変換素子１０Ｂは、光入射側の表面の面方位が（１１１）以外であるｐ型単結晶シリコン基板３１を備えるので、非晶質相からなるｐ型非晶質膜３２がｐ型単結晶シリコン基板３１の表面（＝凹部３１ｃが形成された表面）に接して形成される。その結果、光生成された正孔および電子のうち、少数キャリアである電子の再結合がｐ型非晶質膜３２によって抑制される。

【００８０】

従って、ｐ型単結晶シリコン３１の表面をパッシベートできる。

【００８１】

上記においては、ｐ型非晶質膜３２は、ｐ型ａ－Ｓｉであると説明したが、光電変換素子１０Ｂにおいては、これに限らず、ｐ型非晶質膜３２は、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。

【００８２】

ｐ型ａ－ＳｉＧｅは、SiH_4ガス、GeH_4ガス、H_2ガスおよびジボラン（B_2H_6）ガスを材料ガスとしてプラズマＣＶＤ法によって形成される。ｐ型ａ－ＳｉＮは、SiH_4ガス、NH_3ガス、H_2ガスおよびB_2H_6ガスを材料ガスとしてプラズマＣＶＤ法によって形成される。ｐ型ａ－ＳｉＣは、SiH_4ガス、CH_4ガス、H_2ガスおよびB_2H_6ガスを材料ガスとしてプラズマＣＶＤ法によって形成される。ｐ型ａ－ＳｉＣＮは、SiH_4ガス、CH_4ガス、NH_3ガス、H_2ガスおよびB_2H_6ガスを材料ガスと

してプラズマＣＶＤ法によって形成される。
【００８３】
ｐ型非晶質膜３２がｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなる場合も、ｐ型非晶質膜３２は、非晶質相からなるので、ｐ型単結晶シリコン基板３１の表面をパッシベートできる。
【００８４】
また、光電変換素子１０Ｂは、ｐ型非晶質膜３２に代えてｉ型非晶質膜を備えていてもよい。この場合、ｉ型非晶質膜は、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。
【００８５】
ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮハ、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。
【００８６】
更に、光電変換素子１０Ｂは、ｐ型単結晶シリコン基板３１に代えてｐ型多結晶シリコン基板を備えていてもよい。ｐ型多結晶シリコン基板は、０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有し、例えば、２００μｍの厚みを有する。そして、ｐ型多結晶シリコン基板の表面は、図３の工程（ａ）に示すマスク２０を用いてドライエッチングによってハニカムテクスチャ化される。
【００８７】
なお、光電変換素子１０Ｂがｐ型多結晶シリコン基板を備えている場合も、ｐ型非晶質膜３２は、上述した各種の材料からなる。また、光電変換素子１０Ｂがｐ型多結晶シリコン基板を備えている場合も、光電変換素子１０Ｂは、ｐ型非晶質膜３２に代えてｉ型非晶質膜を備えていてもよく、ｉ型非晶質膜は、上述した各種の材料からなる。
【００８８】
また、光電変換素子１０Ｂは、ｐ型非晶質膜３２に接して反射防止膜を更に備えていてもよい。この場合、反射防止膜は、例えば、シリコン窒化膜からなり、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。
【００８９】
上述したように、実施の形態１によれば、ｐ／ｎ接合が光入射側に存在する光電変換素子１０は、結晶シリコン基板１の光入射側の表面に（１１１）以外の面方位を有する凹部１ｃを含む凹凸構造を有する結晶シリコン基板１を備える。その結果、非晶質膜２は、結晶相ではなく、非晶質相からなる。従って、結晶シリコン基板１をパッシベートできる。
【００９０】
そして、光電変換素子１０においては、少数キャリアは、非晶質膜２と拡散領域１ａとの界面に存在する内部電界によっても再結合が抑制され、電極３に到達し易くなる。従って、光電変換素子１０の変換効率を向上できる。
【００９１】
［実施の形態２］
図６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６を参照して、実施の形態２による光電変換素子１００は、単結晶シリコン基板４１と、非晶質膜４２と、酸化膜４３と、電極４４１～４４ｎとを備える。
【００９２】
単結晶シリコン基板４１は、ｎ型単結晶シリコン基板またはｐ型単結晶シリコン基板からなる。
【００９３】
ｎ型単結晶シリコン基板およびｐ型単結晶シリコン基板の各々は、例えば、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。また、ｎ型単結晶シリコン基板およびｐ型単結晶シリコン基板の各々は、例えば、１００～３００μｍの厚みを有し、好ましくは、１００～２００μｍの厚みを有する。
【００９４】

そして、単結晶シリコン基板４１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部４１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が一方の表面に形成されている。凹部４１ｃは、単結晶シリコン基板４１の面内方向において、例えば、数μｍの幅を有する。

【００９５】

また、単結晶シリコン基板４１は、他方の表面側に拡散領域４１１～４１ｎを含む。拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎは、単結晶シリコン基板４１がｎ型の導電型を有する場合、ｎ型の導電型を有し、単結晶シリコン基板４１がｐ型の導電型を有する場合、ｐ型の導電型を有する。拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１は、単結晶シリコン基板４１がｎ型の導電型を有する場合、ｐ型の導電型を有し、単結晶シリコン基板４１がｐ型の導電型を有する場合、ｎ型の導電型を有する。

【００９６】

このように、拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎは、単結晶シリコン基板４１の導電型と同じ導電型を有し、拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１は、単結晶シリコン基板４１の導電型と反対の導電型を有する。

【００９７】

拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎおよび拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１は、単結晶シリコン基板４１の面内方向において交互に配置される。

【００９８】

拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎの各々におけるドーパント濃度は、例えば、$1\times10^{19}cm^{-3}$～$1\times10^{20}cm^{-3}$であり、拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１の各々におけるドーパント濃度は、例えば、$1\times10^{19}cm^{-3}$～$1\times10^{20}cm^{-3}$である。

【００９９】

また、拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎおよび拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１の深さは、例えば、２００ｎｍ～４００ｎｍである。

【０１００】

非晶質膜４２は、非晶質相からなり、単結晶シリコン基板４１の凹部４１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。非晶質膜４２は、単結晶シリコン基板４１がｎ型の導電型を有する場合、ｎ型非晶質膜またはｉ型非晶質膜からなる。また、非晶質膜４２は、単結晶シリコン基板４１がｐ型の導電型を有する場合、ｐ型非晶質膜またはｉ型非晶質膜からなる。そして、非晶質膜４２は、例えば、１０ｎｍの膜厚を有する。

【０１０１】

酸化膜４３は、単結晶シリコン基板４１の裏面（凹部４１ｃが形成された面と反対の面）に接して設けられる。そして、酸化膜４３は、例えば、SiO_2からなり、その膜厚は、例えば、１０ｎｍ～１００ｎｍである。

【０１０２】

電極４４１～４４ｎの各々は、例えば、Ａｇからなる。そして、電極４４１，４４３，・・・，４４ｎ－２，４４ｎは、酸化膜４３を介してそれぞれ拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎに接するように形成される。また、電極４４２，４４４，・・・，４４ｎ－１は、酸化膜４３を介してそれぞれ拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１に接するように形成される。

【０１０３】

拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎおよび拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１は、図６の紙面に垂直な方向において同じ長さを有する。そして、拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１の全体の面積が単結晶シリコン基板４１の面積に占める割合である面積占有率は、６０～９３％であり、拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎの全体の面積が単結晶シリコン基板４１の面積に占める割合である面積占有率は、５～２０％である。

【０１０４】

このように、拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１の面積占有率を拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎの面積占有率よりも大きくするのは、単結晶シリコン基板４１中で光励起された電子および正孔がｐｎ接合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。

【０１０５】

単結晶シリコン基板４１の一方の面には、上述したように、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部４１ｃを含む凹凸構造が形成されているので、単結晶シリコン基板４１の表面は、（１１１）の面方位と異なる面方位を有する。

【０１０６】

その結果、薄膜を単結晶シリコン基板４１の表面（凹部４１ｃが形成された面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長せず、非晶質相からなる非晶質膜４２が単結晶シリコン基板４１の表面に形成される。

【０１０７】

従って、単結晶シリコン基板４１の表面をパッシベートできる。

【０１０８】

以下、光電変換素子１００の実施例について説明する。

【０１０９】

（実施例３）

図７は、実施例３における光電変換素子の構成を示す断面図である。図７を参照して、光電変換素子１００Ａは、ｎ型単結晶シリコン基板５１と、ｎ型非晶質膜５２と、酸化膜５３と、電極５４１～５４ｎとを備える。

【０１１０】

ｎ型単結晶シリコン基板５１は、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。そして、ｎ型単結晶シリコン基板５１の厚みは、例えば、２００μｍである。

【０１１１】

また、ｎ型単結晶シリコン基板５１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部５１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が一方の表面に形成されている。凹部５１ｃは、ｎ型単結晶シリコン基板５１の面内方向において、数μｍの幅を有する。

【０１１２】

更に、ｎ型単結晶シリコン基板５１は、ｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１－２，５１ｎと、ｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１とを他方の表面側に含む。ｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１－２，５１ｎおよびｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１は、ｎ型単結晶シリコン基板５１の面内方向において交互に配置される。

【０１１３】

ｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１－２，５１ｎの各々におけるＰ濃度は、例えば、$5\times10^{19}cm^{-3}$である。また、ｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１の各々におけるＢ濃度は、例えば、$8\times10^{19}cm^{-3}$である。その結果、ｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１－２，５１ｎおよびｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１は、約2×10^{-3}Ω・ｃｍの比抵抗を有する。

【０１１４】

ｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１－２，５ｎの深さは、例えば、２００ｎｍであり、ｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１の深さは、例えば、２００ｎｍである。

【０１１５】

ｎ型非晶質膜５２は、非晶質相からなり、ｎ型単結晶シリコン基板５１の凹部５１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。ｎ型非晶質膜５２は、例えば、ｎ型ａ－Ｓｉからなり、１０ｎｍの膜厚を有する。そして、ｎ型非晶質膜５２中におけるＰ濃度は、例えば、$1\times10^{17}cm^{-3}$～$1\times10^{19}cm^{-3}$である。

【０１１６】
酸化膜５３は、ｎ型単結晶シリコン基板５１の裏面（凹部５１ｃが形成された面と反対の面）に接して形成される。そして、酸化膜５３は、例えば、SiO_2からなり、その膜厚は、例えば、１０ｎｍ～１００ｎｍである。
【０１１７】
電極５４１～５４ｎの各々は、例えば、Ａｇからなる。そして、電極５４１，５４３，・・・，５４ｎ－２，５４ｎは、酸化膜５３を介してそれぞれｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１ｎ－２，５１ｎに接するように形成される。また、電極５４２，５４４，・・・，５４ｎ－１は、酸化膜５３を介してそれぞれｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１に接するように形成される。
【０１１８】
ｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１ｎ－２，５１ｎおよびｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１は、図７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型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１の全体の面積がｎ型単結晶シリコン基板５１の面積に占める割合である面積占有率は、６０～９３％であり、ｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１ｎ－２，５１ｎの全体の面積がｎ型単結晶シリコン基板５１の面積に占める割合である面積占有率は、５～２０％である。
【０１１９】
ｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１およびｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１ｎ－２，５１ｎの面積占有率がこのような値に設定される理由は、光電変換素子１００において拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１および拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎの面積占有率がそれぞれ６０～９３％および５～２０％に設定される理由と同じである。
【０１２０】
図８および図９は、それぞれ、図７に示す光電変換素子１００Ａの製造方法を示す第１および第２の工程図である。
【０１２１】
光電変換素子１００Ａの製造が開始されると、図３の工程（ａ），（ｂ）と同じ工程に従って、凹部５１ｃを含む凹凸構造（＝ハニカムテクスチャ）がｎ型単結晶シリコン基板５１の一方の表面に形成される（図８の工程（ａ），（ｂ）参照）。この場合、直径が２～３μｍである小孔２１を有するマスク２０が用いられる。
【０１２２】
工程（ｂ）の後、ＰＳＧ膜をｎ型単結晶シリコン基板５１の裏面（凹部５１ｃが形成された面と反対側の面）にＡＰＣＶＤ法によって形成する。そして、その形成したＰＳＧ膜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、ＰＳＧ膜５５を形成する（図８の工程（ｃ）参照）。
【０１２３】
その後、ＰＳＧ膜５５／ｎ型単結晶シリコン基板５１を窒素雰囲気中で８００℃の温度で、１時間、熱処理し、ＰＳＧ膜５５を除去する。これによって、ｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１ｎ－２，５１ｎが形成される（図８の工程（ｄ）参照）。
【０１２４】
引き続いて、ＢＳＧ膜をｎ型単結晶シリコン基板５１の裏面（凹部５１ｃが形成された面と反対側の面）にＡＰＣＶＤ法によって形成する。そして、その形成したＢＳＧ膜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、ＢＳＧ膜５６を形成する（図８の工程（ｅ）参照）。
【０１２５】
そして、ＢＳＧ膜５６／ｎ型単結晶シリコン基板５１を窒素雰囲気中で８００℃の温度で、１時間、熱処理し、ＢＳＧ膜５６を除去する。これによって、ｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１が形成される（図９の工程（ｆ）参照）。
【０１２６】

その後、ｎ型単結晶シリコン基板５１を酸素ガス雰囲気中で９７５℃の温度で、１０分間、酸化し、酸化膜５３をｎ型単結晶シリコン基板５１の裏面（凹部５１ｃが形成された面と反対側の面）に形成する（図９の工程（ｇ）参照）。この場合、ｎ型単結晶シリコン基板５１の一方の表面（凹部５１ｃが形成された面）にも酸化膜が形成されるが、この酸化膜をＨＦによって除去する。

【０１２７】

そして、ｎ型ａ－Ｓｉからなるｎ型非晶質膜５２をプラズマＣＶＤ法によってｎ型単結晶シリコン基板５１の一方の表面（凹部５１ｃが形成された面）に形成する（図９の工程（ｈ）参照）。この場合、ｎ型ａ－Ｓｉを形成する条件は、SiH_4ガスの流量が２０ｓｃｃｍであり、H_2ガスの流量が１５０ｓｃｃｍであり、PH_3ガスの流量が１００ｓｃｃｍであり、１３．５６ＭＨｚのＲＦパワーが１６～８０ｍＷ／ｃｍ^{2}であり、反応圧力が１３．３Ｐａ～６６５Ｐａである。なお、PH_3ガスは、H_2ガスによって希釈されており、その濃度は、０．２％である。

【０１２８】

工程（ｈ）の後、フォトリソグラフィおよびエッチングによってｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１ｎ－２，５１ｎおよびｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５ｎ－１に達するようにコンタクトホールを酸化膜５３に形成し、電極５４１～５４ｎを形成する。これによって、光電変換素子１００Ａが完成する（図９の工程（ｉ）参照）。

【０１２９】

工程（ｈ）において、ｎ型ａ－Ｓｉからなるｎ型非晶質膜５２をｎ型単結晶シリコン基板５１上に堆積する場合、ｎ型単結晶シリコン基板５１の表面（＝凹部５１ｃが形成された表面）には、凹部５１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成されているので、ｎ型単結晶シリコン基板５１の表面は、（１１１）以外の面方位を有する。その結果、薄膜をｎ型単結晶シリコン基板５１の表面（＝凹部５１ｃが形成された表面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長しない。従って、ｎ型ａ－Ｓｉからなるｎ型非晶質膜５２をｎ型単結晶シリコン基板５１の表面（＝凹部５１ｃが形成された表面）に形成できる。

【０１３０】

光電変換素子１００Ａにおいては、太陽光は、ｎ型非晶質膜５２側から光電変換素子１００Ａに照射される。そして、太陽光は、ハニカムテクスチャによって反射が抑制され、ｎ型非晶質膜５２を介してｎ型単結晶シリコン基板５１へ入射する。

【０１３１】

そうすると、ｎ型単結晶シリコン基板５１中で正孔および電子が光励起される。そして、ｎ型単結晶シリコン基板５１とｎ型非晶質膜５２との界面近傍で光励起された正孔は、拡散によってｎ型単結晶シリコン基板５１とｎ型非晶質膜５２との界面に到達する。

【０１３２】

ｎ型単結晶シリコン基板５１は、約１．１ｅＶの光学バンドギャップおよび０．１４～０．１９ｅＶの活性化エネルギーを有する。また、ｎ型非晶質膜５２（ｎ型ａ－Ｓｉ）は、約１．８４ｅＶの光学バンドギャップおよび０．２ｅＶの活性化エネルギーを有する。従って、ｎ型非晶質膜５２（ｎ型ａ－Ｓｉ）の価電子帯端は、ｎ型単結晶シリコン基板５１の価電子帯端よりも０．６８～０．７３ｅＶだけエネルギー的に高くなる。即ち、ｎ型単結晶シリコン基板５１とｎ型非晶質膜５２との界面には、正孔に対して高さが０．６８～０．７３ｅＶである障壁B_hが存在する。

【０１３３】

その結果、ｎ型単結晶シリコン基板５１とｎ型非晶質膜５２との界面に到達した正孔は、この障壁B_hによってｎ型非晶質膜５２（ｎ型ａ－Ｓｉ）中への移動が阻止されるとともに、ｎ型非晶質膜５２（ｎ型ａ－Ｓｉ）のｎ型単結晶シリコン基板５１の表面に対するパッシベーション効果によって再結合が抑制され、ｎ型単結晶シリコン基板５１の裏面側への拡散が促進される。そして、正孔は、ｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１に到達し、ｐ型拡散領域５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１から電極５４２，５４

４，・・・，５４ｎ－１に至る。
【０１３４】
一方、光励起された電子は、拡散によってｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１ｎ－２，５１ｎに到達し、ｎ型拡散領域５１１，５１３，・・・，５１ｎ－２，５１ｎから電極５４１，５４３，・・・，５４ｎ－２，５４ｎに至る。
【０１３５】
そして、電子は、電極５４１，５４３，・・・，５４ｎ－２，５４ｎから負荷を介して電極５４２，５４４，・・・，５４ｎ－１へ到達し、正孔と再結合する。
【０１３６】
このように、光電変換素子１００Ａは、電子および正孔がｎ型単結晶シリコン基板５１の裏面側から取り出される裏面コンタクト型の光電変換素子である。また、光電変換素子１００Ａは、光入射側の表面の面方位が（１１１）以外であるｎ型単結晶シリコン基板５１を備えるので、非晶質相からなるｎ型非晶質膜５２がｎ型単結晶シリコン基板５１の表面（＝凹部５１ｃが形成された表面）に接して形成される。その結果、光生成された正孔および電子のうち、少数キャリアである正孔の再結合がｎ型非晶質膜５２によって抑制される。
【０１３７】
従って、裏面コンタクト型の光電変換素子１００Ａにおいて、ｎ型単結晶シリコン基板５１の表面をパッシベートできる。
【０１３８】
上記においては、ｎ型非晶質膜５２は、ｎ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子１００Ａにおいては、これに限らず、ｎ型非晶質膜５２は、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮ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。
【０１３９】
ｎ型非晶質膜５２がｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなる場合も、ｎ型非晶質膜５２は、非晶質相からなるので、ｎ型単結晶シリコン基板５１の表面をパッシベートできる。
【０１４０】
また、光電変換素子１００Ａは、ｎ型非晶質膜５２に代えてｉ型非晶質膜を備えていてもよい。この場合、ｉ型非晶質膜は、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮ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。
【０１４１】
更に、光電変換素子１００Ａは、ｎ型非晶質膜５２に接して反射防止膜を更に備えていてもよい。この場合、反射防止膜は、例えば、シリコン窒化膜からなり、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。
【０１４２】
（実施例４）
図１０は、実施例４における光電変換素子の構成を示す断面図である。図１０を参照して、光電変換素子１００Ｂは、ｐ型単結晶シリコン基板６１と、ｐ型非晶質膜６２と、酸化膜６３と、電極６４１～６４ｎとを備える。
【０１４３】
ｐ型単結晶シリコン基板６１は、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。そして、ｐ型単結晶シリコン基板６１の厚みは、例えば、２００μｍである。
【０１４４】
また、ｐ型単結晶シリコン基板６１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部６１

ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が一方の表面に形成されている。凹部６１ｃは、ｎ型単結晶シリコン基板６１の面内方向において、数μｍの幅を有する。

【０１４５】

更に、ｐ型単結晶シリコン基板６１は、ｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１－２，６１ｎと、ｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１とを他方の表面側に含む。ｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１－２，６１ｎおよびｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１は、ｐ型単結晶シリコン基板６１の面内方向において交互に配置される。

【０１４６】

ｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１－２，６１ｎの各々におけるＢ濃度は、例えば、$8\times10^{19}cm^{-3}$である。また、ｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１の各々におけるＰ濃度は、例えば、$5\times10^{19}cm^{-3}$である。その結果、ｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１－２，６１ｎおよびｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１は、約$2\times10^{-3}\Omega\cdot cm$の比抵抗を有する。

【０１４７】

ｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１－２，６１ｎの深さは、例えば、２００ｎｍであり、ｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１の深さは、例えば、２００ｎｍである。

【０１４８】

ｐ型非晶質膜６２は、非晶質相からなり、ｐ型単結晶シリコン基板６１の凹部６１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。ｐ型非晶質膜６２は、例えば、ｐ型ａ－Ｓｉからなり、１０ｎｍの膜厚を有する。そして、ｐ型非晶質膜６２中におけるＢ濃度は、例えば、1×10^{17}～$1\times10^{19}cm^{-3}$である。

【０１４９】

酸化膜６３は、ｐ型単結晶シリコン基板６１の裏面（凹部６１ｃが形成された面と反対の面）に接して設けられる。そして、酸化膜６３は、例えば、SiO_2からなり、その膜厚は、例えば、１０ｎｍ～１００ｎｍである。

【０１５０】

電極６４１～６４ｎの各々は、例えば、Ａｇからなる。そして、電極６４１，６４３，・・・，６４ｎ－２，６４ｎは、酸化膜６３を介してそれぞれｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１－２，６１ｎに接するように形成される。また、電極６４２，６４４，・・・，６４ｎ－１は、酸化膜６３を介してそれぞれｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１に接するように形成される。

【０１５１】

ｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１－２，６１ｎおよびｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１は、図１０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型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１の全体の面積がｐ型単結晶シリコン基板６１の面積に占める割合である面積占有率は、６０～９３％であり、ｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１－２，６１ｎの全体の面積がｐ型単結晶シリコン基板６１の面積に占める割合である面積占有率は、５～２０％である。

【０１５２】

ｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１およびｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１－２，６１ｎの面積占有率がこのような値に設定される理由は、光電変換素子１００において拡散領域４１２，４１４，・・・，４１ｎ－１および拡散領域４１１，４１３，・・・，４１ｎ－２，４１ｎの面積占有率がそれぞれ６０～９３％および５～２０％に設定される理由と同じである。

【０１５３】

光電変換素子１００Ｂは、図８および図９に示す工程（ａ）～工程（ｉ）に従って製造される。この場合、図８の工程（ａ），（ｂ）において、凹部６１ｃを有する凹凸構造（ハニカムテクスチャ）がｐ型単結晶シリコン基板６１の一方の表面に形成される。

【０１５４】
また、図８の工程（ｃ），（ｄ）において、ｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１ｎが形成され、図８の工程（ｅ）および図９の工程（ｆ）において、ｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１が形成される。
【０１５５】
更に、図９の工程（ｇ）において、酸化膜６３が形成され、図９の工程（ｈ）において、ｐ型非晶質膜６２が形成され、図９の工程（ｉ）において、電極６４１～６４ｎが形成される。
【０１５６】
工程（ｈ）において、ｐ型ａ－Ｓｉからなるｐ型非晶質膜６２をｐ型単結晶シリコン基板６１上に堆積する場合、ｐ型単結晶シリコン基板６１の表面（＝凹部６１ｃが形成された表面）には、凹部６１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成されているので、ｐ型単結晶シリコン基板６１の表面は、（１１１）以外の面方位を有する。その結果、薄膜をｐ型単結晶シリコン基板６１の表面（＝凹部６１ｃが形成された表面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長しない。従って、ｐ型ａ－Ｓｉからなるｐ型非晶質膜６２をｐ型単結晶シリコン基板６１の表面（＝凹部６１ｃが形成された表面）に形成できる。
【０１５７】
光電変換素子１００Ｂにおいては、太陽光は、ｐ型非晶質膜６２側から光電変換素子１００Ｂに照射される。そして、太陽光は、ハニカムテクスチャによって反射が抑制され、ｐ型非晶質膜６２を介してｐ型単結晶シリコン基板６１へ入射する。
【０１５８】
そうすると、ｐ型単結晶シリコン基板６１中で正孔および電子が光励起される。そして、ｐ型単結晶シリコン基板６１とｐ型非晶質膜６２との界面近傍で光励起された電子は、拡散によってｐ型単結晶シリコン基板６１とｐ型非晶質膜６２との界面に到達する。
【０１５９】
ｐ型単結晶シリコン基板６１は、約１．１ｅＶの光学バンドギャップおよび０．１４～０．１９ｅＶの活性化エネルギーを有する。また、ｐ型非晶質膜６２（ｐ型ａ－Ｓｉ）は、約１．８４ｅＶの光学バンドギャップおよび０．３ｅＶの活性化エネルギーを有する。従って、ｐ型非晶質膜６２（ｐ型ａ－Ｓｉ）の伝導帯端は、ｐ型単結晶シリコン基板６１の伝導帯端よりも０．５８～０．６３ｅＶだけエネルギー的に高くなる。即ち、ｐ型単結晶シリコン基板６１とｐ型非晶質膜６２との界面には、電子に対して高さが０．５８～０．６３ｅＶである障壁B_eが存在する。
【０１６０】
その結果、ｐ型単結晶シリコン基板６１とｐ型非晶質膜６２との界面に到達した電子は、この障壁B_eによってｐ型非晶質膜６２（ｐ型ａ－Ｓｉ）中への移動が阻止されるとともに、ｐ型非晶質膜６２（ｐ型ａ－Ｓｉ）のｐ型単結晶シリコン基板６１の表面に対するパッシベーション効果によって再結合が抑制され、ｐ型単結晶シリコン基板６１の裏面側への拡散が促進される。そして、電子は、ｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１に到達し、ｎ型拡散領域６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１から電極６４２，６４４，・・・，６４ｎ－１に至る。
【０１６１】
一方、光励起された正孔は、拡散によってｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１ｎ－２，６１ｎに到達し、ｐ型拡散領域６１１，６１３，・・・，６１ｎ－２，６１ｎから電極６４１，６４３，・・・，６４ｎ－２，６４ｎに至る。
【０１６２】
そして、電子は、電極６４２，６４４，・・・，６４ｎ－１から負荷を介して電極６４１，６４３，・・・，６４ｎ－２，６４ｎへ到達し、正孔と再結合する。
【０１６３】
このように、光電変換素子１００Ｂは、電子および正孔がｐ型単結晶シリコン基板６１

の裏面側から取り出される裏面コンタクト型の光電変換素子である。また、光電変換素子１００Ｂは、光入射側の表面の面方位が（１１１）以外であるｐ型単結晶シリコン基板６１を備えるので、非晶質相からなるｐ型非晶質膜６２がｐ型単結晶シリコン基板６１の表面（＝凹部６１ｃが形成された表面）に接して形成される。その結果、光生成された正孔および電子のうち、少数キャリアである電子の再結合がｐ型非晶質膜６２によって抑制される。

【０１６４】

従って、裏面コンタクト型の光電変換素子１００Ｂにおいて、ｐ型単結晶シリコン基板６１の表面をパッシベートできる。

【０１６５】

上記においては、ｐ型非晶質膜６２は、ｐ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子１００Ｂにおいては、これに限らず、ｐ型非晶質膜６２は、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０１６６】

ｐ型非晶質膜６２がｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなる場合も、ｐ型非晶質膜６２は、非晶質相からなるので、ｐ型単結晶シリコン基板６１の表面をパッシベートできる。

【０１６７】

また、光電変換素子１００Ｂは、ｐ型非晶質膜６２に代えてｉ型非晶質膜を備えていてもよい。この場合、ｉ型非晶質膜は、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０１６８】

更に、光電変換素子１００Ｂは、ｐ型非晶質膜６２に接して反射防止膜を更に備えていてもよい。この場合、反射防止膜は、例えば、シリコン窒化膜からなり、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。

【０１６９】

［実施の形態３］

図１１は、実施の形態３による光電変換素子２００の構成を示す断面図である。図１１を参照して、実施の形態３による光電変換素子２００は、結晶シリコン基板７１と、ｉ型非晶質膜７２と、非晶質膜７３と、透明導電膜７４と、電極７５，７７と、パッシベーション膜７６とを備える。

【０１７０】

結晶シリコン基板７１は、ｎ型単結晶シリコン基板またはｐ型単結晶シリコン基板からなる。また、結晶シリコン基板７１は、ｎ型多結晶シリコン基板またはｐ型多結晶シリコン基板からなる。

【０１７１】

ｎ型単結晶シリコン基板およびｐ型単結晶シリコン基板の各々は、例えば、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。また、ｎ型単結晶シリコン基板およびｐ型単結晶シリコン基板の各々は、例えば、１００～３００μｍの厚みを有し、好ましくは、１００～２００μｍの厚みを有する。ｎ型多結晶シリコン基板またはｐ型多結晶シリコン基板についても、面方位を除いて同様である。

【０１７２】

また、結晶シリコン基板７１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部７１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が一方の表面に形成されている。そして、凹部７１ｃは、結晶シリコン基板７１の面内方向において、例えば、数μｍの幅を有する。

【０１７３】

ｉ型非晶質膜７２は、非晶質相からなり、結晶シリコン基板７１の凹部７１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。そして、ｉ型非晶質膜７２は、例えば、１０ｎｍの膜厚を有する。

【０１７４】

非晶質膜７３は、結晶シリコン基板７１がｎ型の導電型を有する場合、ｐ型非晶質膜からなる。また、非晶質膜７３は、結晶シリコン基板７１がｐ型の導電型を有する場合、ｎ型非晶質膜からなる。そして、非晶質膜７３は、ｉ型非晶質膜７２に接して形成され、例えば、１０ｎｍの膜厚を有する。

【０１７５】

透明導電膜７４は、非晶質膜７３に接して形成される。透明導電膜７４は、ＩＴＯ（Ｉｎｄｉｕｍ　Ｔｉｎ　Ｏｘｅｉｄｅ）、SnO_2およびＺｎＯのいずれかからなる。

【０１７６】

電極７５は、透明導電膜７４に接して形成される。そして、電極７５は、例えば、Ａｇからなる。

【０１７７】

パッシベーション膜７６は、結晶シリコン基板７１の他方の面（＝凹部７１ｃが形成された面と反対の面）に接して形成される。パッシベーション膜７６は、シリコン酸化膜からなり、例えば、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。

【０１７８】

電極７７は、結晶シリコン基板７１およびパッシベーション膜７６に接して形成される。そして、電極７７は、例えば、Ａｌからなる。

【０１７９】

光電変換素子２００は、太陽光が透明導電膜７４側から入射される。そして、光電変換素子２００は、ｉ型非晶質膜７２および非晶質膜７３（ｎ型非晶質膜またはｐ型非晶質膜からなる）を結晶シリコン基板７１上に順次積層した構造からなる。その結果、光電変換素子２００においては、光励起された電子および正孔を相互に分離するｐｉｎ接合は、太陽光の入射側に設けられる。

【０１８０】

結晶シリコン基板７１の一方の面には、上述したように、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部７１ｃを含む凹凸構造が形成されているので、結晶シリコン基板７１の表面は、（１１１）の面方位と異なる面方位を有する。

【０１８１】

その結果、薄膜を結晶シリコン基板７１の表面＝凹部７１ｃが形成された面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長せず、非晶質相からなるｉ型非晶質膜７２が結晶シリコン基板７１の表面に形成される。

【０１８２】

従って、結晶シリコン基板７１の表面をパッシベートできる。

【０１８３】

以下、光電変換素子２００の実施例について説明する。

【０１８４】

（実施例５）

図１２は、実施例５における光電変換素子の構成を示す断面図である。図１２を参照して、光電変換素子２００Ａは、ｎ型単結晶シリコン基板８１と、ｉ型非晶質膜８２と、ｐ型非晶質膜８３と、透明導電膜８４と、電極８５，８７と、パッシベーション膜８６とを備える。

【０１８５】

ｎ型単結晶シリコン基板８１は、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。そして、ｎ型単結晶シリコン基板８１は、例えば、２００μｍの厚みを有する。

【０１８６】

また、ｎ型単結晶シリコン基板８１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部８１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が一方の表面に形成されている。そして、凹部８１ｃは、ｎ型単結晶シリコン基板８１の面内方向において、例えば、数μｍの幅を有する。

【０１８７】

ｉ型非晶質膜８２は、非晶質相からなり、ｎ型単結晶シリコン基板８１の凹部８１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。そして、ｉ型非晶質膜８２は、例えば、ｉ型ａ－Ｓｉからなり、１０ｎｍの膜厚を有する。

【０１８８】

ｐ型非晶質膜８３は、非晶質相からなり、ｉ型非晶質膜８２に接して形成される。そして、ｐ型非晶質膜８３は、例えば、ｐ型ａ－Ｓｉからなり、１０ｎｍの膜厚を有する。

【０１８９】

透明導電膜８４は、ｐ型非晶質膜８３に接して形成される。そして、透明導電膜８４は、ＩＴＯ，SnO_2，ＺｎＯのいずれかからなる。

【０１９０】

電極８５は、透明導電膜８４に接して櫛型に形成される。そして、電極８５は、例えば、Ａｇからなる。

【０１９１】

パッシベーション膜８６は、ｎ型単結晶シリコン基板８１の他方の面（＝凹部８１ｃが形成された面と反対の面）に接して形成される。パッシベーション膜８６は、SiO_2からなり、例えば、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。

【０１９２】

電極８７は、ｎ型単結晶シリコン基板８１およびパッシベーション膜８６に接して形成される。そして、電極８７は、例えば、Ａｌからなる。

【０１９３】

図１３および図１４は、それぞれ、図１２に示す光電変換素子２００Ａの製造方法を示す第１および第２の工程図である。

【０１９４】

光電変換素子２００Ａの製造が開始されると、図３の工程（ａ），（ｂ）と同じ工程に従って凹部８１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）がｎ型単結晶シリコン基板８１の一方の表面に形成される（図１３の工程（ａ），（ｂ）参照）。この場合、小孔２１を有するマスク２０が用いられる。

【０１９５】

工程（ｂ）の後、ｎ型単結晶シリコン基板８１を酸素ガス雰囲気中で９７５℃の温度で、１０分間、酸化し、SiO_2からなるパッシベーション膜８６をｎ型単結晶シリコン基板８１の裏面（凹部８１ｃが形成された面と反対の面）に形成する（図１３の工程（ｃ）参照）。

【０１９６】

工程（ｃ）においては、ｎ型単結晶シリコン基板８１の一方の表面（凹部８１ｃが形成された面）にも酸化膜（SiO_2）が形成される。従って、ｎ型単結晶シリコン基板８１の一方の表面に形成された酸化膜をＨＦによって除去し、ｎ型単結晶シリコン基板８１の一方の表面を水素で終端する。

【０１９７】

そして、ｉ型ａ－Ｓｉからなるｉ型非晶質膜８２およびｐ型ａ－Ｓｉからなるｐ型非晶質膜８３をプラズマＣＶＤ法によってｎ型単結晶シリコン基板８１の一方の表面に順次積層する（図１３の工程（ｄ）参照）。

【０１９８】

この場合、ｉ型ａ－Ｓｉの形成条件は、SiH_4ガスの流量が１０ｓｃｃｍであり、H_2ガスの流量が１００ｓｃｃｍであり、１３．５６ＭＨｚのＲＦパワーが１６～８０ｍＷ／cm^2であり、反応圧力が１３．３Ｐａ～６６５Ｐａである。また、ｐ型ａ－Ｓｉの形

成条件は、SiH_4ガスの流量が２ｓｃｃｍであり、H_2ガスの流量が４２ｓｃｃｍであり、B_2H_6ガスの流量が１２ｓｃｃｍであり、１３．５６ＭＨｚのＲＦパワーが１６～８０ｍＷ／ｃｍ^{2}であり、反応圧力が１３．３Ｐａ～６６５Ｐａである。なお、B_2H_6ガスは、H_2ガスによって希釈されており、その濃度は、０．１％である。

【０１９９】

工程（ｄ）の後、透明導電膜８４がスパッタリングによってｐ型非晶質膜８３に接して形成される（図１３の工程（ｅ）参照）。

【０２００】

そして、電極８５が透明導電膜８４に接して形成される（図１４の工程（ｆ）参照）。その後、フォトリソグラフィおよびエッチングによってコンタクトホールがパッシベーション膜８６に形成され、電極８７が形成される。これによって、光電変換素子２００Ａが完成する（図１４の工程（ｇ）参照）。

【０２０１】

工程（ｄ）において、ｉ型ａ－Ｓｉからなるｉ型非晶質膜８２がｎ型単結晶シリコン基板８１の一方の表面（凹部８１ｃが形成された面）に形成される場合、ｎ型単結晶シリコン基板８１は、その一方の表面に凹部８１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）を含むので、ｎ型単結晶シリコン基板８１の表面は、（１１１）以外の面方位を有する。その結果、薄膜をｎ型単結晶シリコン基板８１の表面（＝凹部８１ｃが形成された表面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長しない。従って、ｉ型ａ－Ｓｉからなるｉ型非晶質膜８２をｎ型単結晶シリコン基板８１の表面（＝凹部８１ｃが形成された表面）に形成できる。

【０２０２】

光電変換素子２００Ａにおいては、太陽光は、透明導電膜８４側から光電変換素子２００Ａに照射される。そして、太陽光は、ハニカムテクスチャによって反射が抑制され、透明導電膜８４、ｐ型非晶質膜８３およびｉ型非晶質膜８２を介してｎ型単結晶シリコン基板８１へ入射する。

【０２０３】

そうすると、ｎ型単結晶シリコン基板８１中で正孔および電子が光励起される。そして、光励起された正孔は、ｉ型非晶質膜８２とｎ型単結晶シリコン基板８１との界面の方向へ拡散によって移動し、ｉ型非晶質膜８２とｎ型単結晶シリコン基板８１との界面に到達する。

【０２０４】

ｉ型非晶質膜８２は、上述したように非晶質相からなるので、ｎ型単結晶シリコン基板８１の表面をパッシベートする。その結果、正孔は、ｉ型非晶質膜８２とｎ型単結晶シリコン基板８１との界面において再結合が抑制され、ｐ型非晶質膜８３とｉ型非晶質膜８２とｎ型単結晶シリコン基板８１とによって形成されるｐｉｎ接合の内部電界によってｐ型非晶質膜８３へ到達し、透明導電膜８４を介して電極８５に至る。

【０２０５】

一方、光励起された電子は、拡散によってｎ型単結晶シリコン基板８１の裏面側へ移動する。そして、ｎ型単結晶シリコン基板８１とパッシベーション膜８６との界面へ到達した電子は、再結合が抑制され、拡散によって電極８７に到達する。電極８７に到達した電子は、電極８７から負荷を介して電極８５に到達し、正孔と再結合する。

【０２０６】

このように、光電変換素子２００Ａは、光入射側の表面の面方位が（１１１）以外であるｎ型単結晶シリコン基板８１を備えるので、非晶質相からなるｉ型非晶質膜８２がｎ型単結晶シリコン基板８１の表面（＝凹部８１ｃが形成された表面）に接して形成される。その結果、光生成された正孔および電子のうち、少数キャリアである正孔の再結合がｉ型非晶質膜８２によって抑制され、ｐｉｎ接合の内部電界によってｐ型非晶質膜８３に到達し易くなる。

【０２０７】

従って、ｎ型単結晶シリコン基板８１の表面をパッシベートできる。

【０２０８】

上記においては、ｉ型非晶質膜８２は、ｉ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子２００Ａにおいては、これに限らず、ｉ型非晶質膜８２は、ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣおよびｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣおよびｉ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０２０９】

ｉ型非晶質膜８２がｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣおよびｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなる場合も、ｉ型非晶質膜８２は、非晶質相からなるので、ｎ型単結晶シリコン基板８１の表面をパッシベートできる。

【０２１０】

また、上記においては、ｐ型非晶質膜８３は、ｐ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子２００Ａにおいては、これに限らず、ｐ型非晶質膜８３は、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０２１１】

更に、光電変換素子２００Ａは、ｎ型単結晶シリコン基板８１に代えてｎ型多結晶シリコン基板を備えていてもよい。ｎ型多結晶シリコン基板は、０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有し、例えば、２００μｍの厚みを有する。そして、ｎ型多結晶シリコン基板の表面は、図１３の工程（ａ）に示すマスク２０を用いてドライエッチングによってハニカムテクスチャ化される。

【０２１２】

なお、光電変換素子２００Ａがｎ型多結晶シリコン基板を備えている場合も、ｉ型非晶質膜８２およびｐ型非晶質膜８３は、上述した各種の材料からなる。そして、ｉ型非晶質膜８２は、ｎ型多結晶シリコン基板に接して形成されても、非晶質相からなり、ｎ型多結晶シリコン基板の表面をパッシベートできる。

【０２１３】

（実施例６）

図１５は、実施例６における光電変換素子の構成を示す断面図である。図１５を参照して、光電変換素子２００Ｂは、ｐ型単結晶シリコン基板９１と、ｉ型非晶質膜９２と、ｎ型非晶質膜９３と、透明導電膜９４と、電極９５，９７と、パッシベーション膜９６とを備える。

【０２１４】

ｐ型単結晶シリコン基板９１は、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。そして、ｐ型単結晶シリコン基板９１は、例えば、２００μｍの厚みを有する。

【０２１５】

また、ｐ型単結晶シリコン基板９１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部９１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が一方の表面に形成されている。そして、凹部９１ｃは、ｐ型単結晶シリコン基板９１の面内方向において、例えば、数μｍの幅を有する。

【０２１６】

ｉ型非晶質膜９２は、非晶質相からなり、ｐ型単結晶シリコン基板９１の凹部９１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。そして、ｉ型非晶質膜９２は、例えば、ｉ型ａ－Ｓｉからなり、１０ｎｍの膜厚を有する。

【０２１７】

ｎ型非晶質膜９３は、非晶質相からなり、ｉ型非晶質膜９２に接して形成される。そして、ｎ型非晶質膜９３は、例えば、ｎ型ａ－Ｓｉからなり、１０ｎｍの膜厚を有する。

【０２１８】
透明導電膜９４は、ｎ型非晶質膜９３に接して形成される。そして、透明導電膜９４は、ＩＴＯ，SnO_2，ＺｎＯのいずれかからなる。
【０２１９】
電極９５は、透明導電膜９４に接して櫛型に形成される。そして、電極９５は、例えば、Ａｇからなる。
【０２２０】
パッシベーション膜９６は、ｐ型単結晶シリコン基板９１の他方の面（＝凹部９１ｃが形成された面と反対の面）に接して形成される。パッシベーション膜９６は、SiO_2からなり、例えば、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。
【０２２１】
電極９７は、ｐ型単結晶シリコン基板９１およびパッシベーション膜９６に接して形成される。そして、電極９７は、例えば、Ａｌからなる。
【０２２２】
光電変換素子２００Ｂは、図１３および図１４に示す工程（ａ）～工程（ｇ）に従って製造される。
【０２２３】
この場合、図１３の工程（ａ），（ｂ）において、ｐ型単結晶シリコン基板９１の一方の表面に凹部９１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成される。
【０２２４】
また、図１３の工程（ｃ）において、パッシベーション膜９６がｐ型単結晶シリコン基板９１の裏面（凹部９１ｃが形成された面と反対の面）に形成される。
【０２２５】
更に、図１３の工程（ｄ）において、ｉ型非晶質膜９２（ｉ型ａ－Ｓｉ）およびｎ型非晶質膜９３（ｎ型ａ－Ｓｉ）がｐ型単結晶シリコン基板９１の一方の表面（凹部９１ｃが形成された面）に順次積層される。
【０２２６】
更に、図１３の工程（ｅ）において、透明導電膜９４がｎ型非晶質膜９３に接して形成される。
【０２２７】
更に、図１４の工程（ｆ）において、電極９５が透明導電膜９４に接して形成され、図１４の工程（ｇ）において、電極９７がｐ型単結晶シリコン基板９１およびパッシベーション膜９６に接して形成される。
【０２２８】
工程（ｄ）において、ｉ型ａ－Ｓｉからなるｉ型非晶質膜９２がｐ型単結晶シリコン基板９１の一方の表面に形成される場合、ｐ型単結晶シリコン基板９１は、その一方の表面に凹部９１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）を有するので、ｐ型単結晶シリコン基板９１の表面は、（１１１）以外の面方位を有する。その結果、薄膜をｐ型単結晶シリコン基板９１の表面（＝凹部９１ｃが形成された表面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長しない。従って、非晶質相からなるｉ型非晶質膜９２をｐ型単結晶シリコン基板９１の表面（＝凹部９１ｃが形成された表面）に形成できる。
【０２２９】
光電変換素子２００Ｂにおいては、太陽光は、透明導電膜９４側から光電変換素子２００Ｂに照射される。そして、太陽光は、ハニカムテクスチャによって反射が抑制され、透明導電膜９４、ｎ型非晶質膜９３およびｉ型非晶質膜９２を介してｐ型単結晶シリコン基板９１へ入射する。
【０２３０】
そうすると、ｐ型単結晶シリコン基板９１中で正孔および電子が光励起される。そして、光励起された電子は、ｉ型非晶質膜９２とｐ型単結晶シリコン基板９１との界面の方向へ拡散によって移動し、ｉ型非晶質膜９２とｐ型単結晶シリコン基板９１との界面に到達

する。
【０２３１】
ｉ型非晶質膜９２は、上述したように非晶質相からなるので、ｐ型単結晶シリコン基板９１の表面をパッシベートする。その結果、正孔は、ｉ型非晶質膜９２とｐ型単結晶シリコン基板９１との界面において再結合が抑制され、ｎ型非晶質膜９３とｉ型非晶質膜９２とｐ型単結晶シリコン基板９１とによって形成されるｐｉｎ接合の内部電界によってｎ型非晶質膜９３へ到達し、透明導電膜９４を介して電極９５に至る。
【０２３２】
一方、光励起された正孔は、拡散によってｐ型単結晶シリコン基板９１の裏面側へ移動する。そして、ｐ型単結晶シリコン基板９１とパッシベーション膜９６との界面へ到達した正孔は、再結合が抑制され、拡散によって電極９７に到達する。電極９５に到達した電子は、電極９５から負荷を介して電極９７に到達し、正孔と再結合する。
【０２３３】
このように、光電変換素子２００Ｂは、光入射側の表面の面方位が（１１１）以外であるｐ型単結晶シリコン基板９１を備えるので、非晶質相からなるｉ型非晶質膜９２がｐ型単結晶シリコン基板９１の表面（＝凹部９１ｃが形成された表面）に接して形成される。その結果、光生成された正孔および電子のうち、少数キャリアである電子は、ｉ型非晶質膜９２によって再結合が抑制され、ｐｉｎ接合の内部電界によってｎ型非晶質膜９３に到達し易くなる。
【０２３４】
従って、ｐ型単結晶シリコン基板９１の表面をパッシベートできる。
【０２３５】
上記においては、ｉ型非晶質膜９２は、ｉ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子２００Ｂにおいては、これに限らず、ｉ型非晶質膜９２は、ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣおよびｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣおよびｉ型ａ－ＳｉＣＮ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。
【０２３６】
ｉ型非晶質膜９２がｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣおよびｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなる場合も、ｉ型非晶質膜９２は、非晶質相からなるので、ｐ型単結晶シリコン基板９１の表面をパッシベートできる。
【０２３７】
また、上記においては、ｎ型非晶質膜９３は、ｎ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子２００Ｂにおいては、これに限らず、ｎ型非晶質膜９３は、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮ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。
【０２３８】
更に、光電変換素子２００Ｂは、ｐ型単結晶シリコン基板９１に代えてｐ型多結晶シリコン基板を備えていてもよい。ｐ型多結晶シリコン基板は、０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有し、例えば、２００μｍの厚みを有する。そして、ｐ型多結晶シリコン基板の表面は、図１３の工程（ａ）に示すマスク２０を用いてドライエッチングによってハニカムテクスチャ化される。
【０２３９】
なお、光電変換素子２００Ｂがｐ型多結晶シリコン基板を備えている場合も、ｉ型非晶質膜９２およびｎ型非晶質膜９３は、上述した各種の材料からなる。そして、ｉ型非晶質膜９２は、ｐ型多結晶シリコン基板に接して形成されても、非晶質相からなり、ｐ型多結晶シリコン基板の表面をパッシベートできる。
【０２４０】
［実施の形態４］

図１６は、実施の形態４による光電変換素子の構成を示す断面図である。図１６を参照して、実施の形態４による光電変換素子３００は、単結晶シリコン基板１０１と、非晶質膜１０２と、ｉ型非晶質膜１１１～１１ｎと、非晶質膜１２１～１２ｍ，１３１～１３ｍ－１と、電極１４１～１４ｎとを備える。

【０２４１】

単結晶シリコン基板１０１は、例えば、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。また、単結晶シリコン基板１０１は、例えば、１００～３００μｍの厚みを有し、好ましくは、１００～２００μｍの厚みを有する。

【０２４２】

更に、単結晶シリコン基板１０１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部１０１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）を一方の表面に有する。そして、凹部１０１ｃは、単結晶シリコン基板１０１の面内方向において数μｍの幅を有する。

【０２４３】

非晶質膜１０２は、単結晶シリコン基板１０１の凹部１０１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）に接して設けられる。そして、非晶質膜１０２は、単結晶シリコン基板１０１がｎ型の導電型を有する場合、ｎ型またはｉ型の導電型を有し、単結晶シリコン基板１０１がｐ型の導電型を有する場合、ｐ型またはｉ型の導電型を有する。

【０２４４】

ｉ型非晶質膜１１１～１１ｎの各々は、単結晶シリコン基板１０１の裏面（凹部１０１ｃが形成された面と反対の面）に接して設けられる。そして、ｉ型非晶質膜１１１～１１ｎ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。

【０２４５】

非晶質膜１２１～１２ｍは、単結晶シリコン基板１０１がｎ型の導電型を有する場合、ｎ型の導電型を有し、単結晶シリコン基板１０１がｐ型の導電型を有する場合、ｐ型の導電型を有する。このように、非晶質膜１２１～１２ｍは、単結晶シリコン基板１０１の導電型と同じ導電型を有する。

【０２４６】

そして、非晶質膜１２１～１２ｍは、それぞれ、ｉ型非晶質膜１１１，１１３，・・・，１１ｎ－２，１１ｎに接して設けられる。

【０２４７】

非晶質膜１３１～１３ｍ－１は、単結晶シリコン基板１０１がｎ型の導電型を有する場合、ｐ型の導電型を有し、単結晶シリコン基板１０１がｐ型の導電型を有する場合、ｎ型の導電型を有する。このように、非晶質膜１３１～１３ｍは、単結晶シリコン基板１０１の導電型と反対の導電型を有する。

【０２４８】

そして、非晶質膜１３１～１３ｍ－１は、それぞれ、ｉ型非晶質膜１１２，１１４，・・・，１１ｎ－１に接して設けられる。

【０２４９】

電極１４１，１４３，・・・，１４ｎ－２，１４ｎは、それぞれ、非晶質膜１２１～１２ｍに接して設けられる。電極１４２，１４４，・・・，１４ｎ－１は、それぞれ、非晶質膜１３１～１３ｍ－１に接して設けられる。そして、電極１４１～１４ｎの各々は、例えば、Ａｇからなる。

【０２５０】

ｉ型非晶質膜１１１～１１ｎ、非晶質膜１２１～１２ｍおよび非晶質膜１３１～１３ｍ－１は、図１６の紙面に垂直な方向において同じ長さを有する。また、非晶質膜１２１～１２ｍは、単結晶シリコン基板１０１の面内方向において、それぞれ、ｉ型非晶質膜１１１，１１３，・・・，１１ｎ－２，１１ｎの幅と同じ幅を有する。更に、非晶質膜１３１～１３ｍ－１は、単結晶シリコン基板１０１の面内方向において、それぞれ、ｉ型非晶質膜１１２，１１４，・・・，１１ｎ－１の幅と同じ幅を有する。そして、非晶質膜１３１～１３ｍ－１の全体の面積が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、非晶質膜１２１～１２ｍの全体の面積が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。

【０２５１】

このように、非晶質膜１３１～１３ｍ－１の面積占有率を非晶質膜１２１～１２ｍの面積占有率よりも大きくするのは、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ｐｉｎ接合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。

【０２５２】

単結晶シリコン基板１０１の一方の面には、上述したように、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部１０１ｃを含む凹凸構造が形成されているので、単結晶シリコン基板１０１の表面は、（１１１）の面方位と異なる面方位を有する。

【０２５３】

その結果、薄膜を単結晶シリコン基板１０１の表面に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長せず、非晶質相からなる非晶質膜１０２が単結晶シリコン基板１０１の表面に形成される。

【０２５４】

従って、単結晶シリコン基板１０１の表面をパッシベートできる。

【０２５５】

以下、光電変換素子３００の実施例について説明する。

【０２５６】

（実施例７）

図１７は、実施例７における光電変換素子の構成を示す断面図である。図１７を参照して、光電変換素子３００Ａは、ｎ型単結晶シリコン基板２０１と、ｎ型非晶質膜２０２，２２１～２２ｍと、ｉ型非晶質膜２１１～２１ｎと、ｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１と、電極２４１～２４ｎとを備える。

【０２５７】

ｎ型単結晶シリコン基板２０１は、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。そして、ｎ型単結晶シリコン基板２０１は、例えば、２００μｍの厚みを有する。

【０２５８】

また、ｎ型単結晶シリコン基板２０１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部２０１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が一方の表面に形成されている。そして、凹部２０１ｃは、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の面内方向において、例えば、数μｍの幅を有する。

【０２５９】

ｎ型非晶質膜２０２は、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の凹部２０１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。そして、ｎ型非晶質膜２０２は、例えば、ｎ型ａ－Ｓｉからなり、１０ｎｍの膜厚を有する。

【０２６０】

ｉ型非晶質膜２１１～２１ｎは、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の裏面（凹部２０１ｃが形成された面と反対の面）に接して設けられる。そして、ｉ型非晶質膜２１１～２１ｎ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。

【０２６１】

ｎ型非晶質膜２２１～２２ｍは、それぞれ、ｉ型非晶質膜２１１，２１３，・・・，２１ｎ－２，２１ｎに接して設けられる。

【０２６２】

ｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１は、それぞれ、ｉ型非晶質膜２１２，２１４，・・・，２１ｎ－１に接して設けられる。

【０２６３】

電極２４１，２４３，・・・，２４ｎ－２，２４ｎは、それぞれ、ｎ型非晶質膜２２１

～２２ｍに接して設けられる。電極２４２，２４４，・・・，２４ｎ－１は、それぞれ、ｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１に接して設けられる。そして、電極２４１～２４ｎの各々は、例えば、Ａｇからなる。

【０２６４】

ｉ型非晶質膜２１１～２１ｎ、ｎ型非晶質膜２２１～２２ｍおよびｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１は、図１７の紙面に垂直な方向において同じ長さを有する。また、ｎ型非晶質膜２２１～２２ｍは、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の面内方向において、それぞれ、ｉ型非晶質膜２１１，２１３，・・・，２１ｎ－２，２１ｎの幅と同じ幅を有する。更に、ｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１は、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の面内方向において、それぞれ、ｉ型非晶質膜２１２，２１４，・・・，２１ｎ－１の幅と同じ幅を有する。そして、ｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１の全体の面積がｎ型単結晶シリコン基板２０１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２２１～２２ｍの全体の面積がｎ型単結晶シリコン基板２０１の面積に占める割合である面積占有率は、５～２０％である。

【０２６５】

面積占有率がこのように設定される理由は、上述したとおりである。

【０２６６】

図１８から図２０は、それぞれ、図１７に示す光電変換素子３００Ａの製造方法を示す第１～第３の工程図である。

【０２６７】

光電変換素子３００Ａの製造が開始されると、図３の工程（ａ），（ｂ）と同じ工程によって凹部２０１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）がｎ型単結晶シリコン基板２０１の一方の表面に形成される（図１８の工程（ａ），（ｂ）参照）。この場合、小孔２１を有するマスク２０が用いられる。

【０２６８】

そして、ｉ型ａ－Ｓｉ膜２２０およびｎ型ａ－Ｓｉ膜２３０をｎ型単結晶シリコン基板２０１の他方の表面（凹部２０１ｃが形成された面と反対の面）上にプラズマＣＶＤ法によって順次積層する（図１８の工程（ｃ）参照）。この場合、ｉ型ａ－Ｓｉ膜２２０およびｎ型ａ－Ｓｉ膜２３０の各々は、１０ｎｍの膜厚を有する。また、ｉ型ａ－Ｓｉ膜２２０の形成条件は、SiH_4ガスの流量が１０ｓｃｃｍであり、H_2ガスの流量が１００ｓｃｃｍであり、１３．５６ＭＨｚのＲＦパワーが１６～８０ｍＷ／ｃｍ^{2}であり、反応圧力が１３．３Ｐａ～６６５Ｐａである。また、ｎ型ａ－Ｓｉ膜２３０の形成条件は、SiH_4ガスの流量が２０ｓｃｃｍであり、H_2ガスの流量が１５０ｓｃｃｍであり、PH_3ガスの流量が１００ｓｃｃｍであり、１３．５６ＭＨｚのＲＦパワーが１６～８０ｍＷ／ｃｍ^{2}であり、反応圧力が１３．３Ｐａ～６６５Ｐａである。なお、PH_3ガスは、H_2ガスによって希釈されており、その濃度は、０．２％である。

【０２６９】

工程（ｃ）の後、ｎ型非晶質膜２０２（ｎ型ａ－Ｓｉ）をｎ型単結晶シリコン基板２０１の一方の表面（凹部２０１ｃが形成された面）上にプラズマＣＶＤ法によって形成する（図１８の工程（ｄ）参照）。この場合、ｎ型非晶質膜２０２の形成条件は、ｎ型ａ－Ｓｉ膜２３０の形成条件と同じである。

【０２７０】

工程（ｄ）の後、ｎ型ａ－Ｓｉ膜２３０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２４０を形成する（図１８の工程（ｅ）参照）。

【０２７１】

そして、レジストパターン２４０をマスクとしてｎ型ａ－Ｓｉ膜２３０をエッチングする。これによって、ｎ型非晶質膜２２１～２２ｍが形成される（図１９の工程（ｆ）参照）。

【０２７２】

その後、ｐ型ａ－Ｓｉ膜２５０をｎ型単結晶シリコン基板２０１の他方の表面（凹部２０１ｃが形成された面と反対の面）上にプラズマＣＶＤ法によって形成する（図１９の工程（ｇ）参照）。この場合、ｐ型ａ－Ｓｉ膜２６０がレジストパターン２４０上に形成される。また、ｐ型ａ－Ｓｉ膜２５０，２６０の形成条件は、SiH_4ガスの流量が２ｓｃｃｍであり、H_2ガスの流量が４２ｓｃｃｍであり、B_2H_6ガスの流量が１２ｓｃｃｍであり、１３．５６ＭＨｚのＲＦパワーが１６～８０ｍＷ／ｃｍ^{2}であり、反応圧力が１３．３Ｐａ～６６５Ｐａである。なお、B_2H_6ガスは、H_2ガスによって希釈されており、その濃度は、０．１％である。

【０２７３】

そして、レジストパターン２４０を除去する。この場合、ｐ型ａ－Ｓｉ膜２６０は、リフトオフによって除去される（図１９の工程（ｈ）参照）。

【０２７４】

引き続いて、ｎ型非晶質膜２２１～２２ｍおよびｐ型ａ－Ｓｉ膜２５０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２７０を形成する（図１９の工程（ｉ）参照）。

【０２７５】

そして、レジストパターン２７０をマスクとしてｉ型ａ－Ｓｉ膜２２０およびｐ型ａ－Ｓｉ膜２５０をエッチングし、レジストパターン２７０を除去する。これによって、ｉ型非晶質膜２１１～２１ｎおよびｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１が形成される（図２０の工程（ｊ）参照）。

【０２７６】

その後、ｎ型非晶質膜２２１～２２ｍおよびｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１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２８０を形成する（図２０の工程（ｋ）参照）。

【０２７７】

そして、レジストパターン２８０をマスクとしてＡｇを蒸着またはスパッタリングによってｎ型非晶質膜２２１～２２ｍおよびｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１上に形成し、レジストパターン２８０を除去する。これによって、電極２４１～２４ｎが形成され、光電変換素子３００Ａが完成する（図２０の工程（ｌ）参照）。

【０２７８】

図１８の工程（ｄ）において、ｎ型ａ－Ｓｉからなるｎ型非晶質膜２０２をｎ型単結晶シリコン基板２０１上に堆積する場合、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の一方の表面には、凹部２０１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成されているので、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の表面は、（１１１）以外の面方位を有する。その結果、薄膜をｎ型単結晶シリコン基板２０１の表面（＝凹部２０１ｃが形成された表面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長しない。従って、ｎ型ａ－Ｓｉからなるｎ型非晶質膜２０２をｎ型単結晶シリコン基板２０１の表面（＝凹部２０１ｃが形成された表面）に形成できる。

【０２７９】

光電変換素子３００Ａにおいては、太陽光は、ｎ型非晶質膜２０２側から光電変換素子３００Ａに照射される。そして、太陽光は、ハニカムテクスチャによって反射が抑制され、ｎ型非晶質膜２０２を介してｎ型単結晶シリコン基板２０１へ入射する。

【０２８０】

そうすると、ｎ型単結晶シリコン基板２０１中で正孔および電子が光励起される。そして、ｎ型単結晶シリコン基板２０１とｎ型非晶質膜２０２との界面近傍で光励起された正孔は、拡散によってｎ型単結晶シリコン基板２０１とｎ型非晶質膜２０２との界面に到達する。

【０２８１】

ｎ型単結晶シリコン基板２０１は、約１．１ｅＶの光学バンドギャップおよび０．１４～０．１９ｅＶの活性化エネルギーを有する。また、ｎ型非晶質膜２０２（ｎ型ａ－Ｓｉ

）は、約１．８４ｅＶの光学バンドギャップおよび０．２ｅＶの活性化エネルギーを有する。従って、ｎ型単結晶シリコン基板５１とｎ型非晶質膜５２との界面には、上述したように、正孔に対して高さが０．６８～０．７３ｅＶである障壁$Ｂ_{h}$が存在する。

【０２８２】

その結果、ｎ型単結晶シリコン基板２０１とｎ型非晶質膜２０２との界面に到達した正孔は、この障壁$Ｂ_{h}$によってｎ型非晶質膜２０２（ｎ型ａ－Ｓｉ）中への移動が阻止されるとともに、ｎ型非晶質膜２０２（ｎ型ａ－Ｓｉ）のｎ型単結晶シリコン基板２０１の表面に対するパッシベーション効果によって再結合が抑制され、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の裏面側への拡散が促進される。そして、正孔は、ｉ型非晶質膜２１２，２１４，・・・，２１ｎ－１の近傍へ到達し、ｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１とｉ型非晶質膜２１２，２１４，・・・，２１ｎ－１とｎ型単結晶シリコン基板２０１とによって構成されるｐｉｎ接合の内部電界によってｉ型非晶質膜２１２，２１４，・・・，２１ｎ－１およびｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１を介して電極２４２，２４４，・・・，２４ｎ－１に至る。

【０２８３】

一方、光励起された電子は、拡散によってｉ型非晶質膜２１１，２１３，・・・，２１ｎ－２，２１ｎの近傍へ到達し、ｉ型非晶質膜２１１，２１３，・・・，２１ｎ－２，２１ｎおよびｎ型非晶質膜２２１～２２ｍを介して電極２４１，２４３，・・・，２４ｎ－２，２４ｎに至る。

【０２８４】

そして、電子は、電極２４１，２４３，・・・，２４ｎ－２，２４ｎから負荷を介して電極２４２，２４４，・・・，２４ｎ－１へ到達し、正孔と再結合する。

【０２８５】

このように、光電変換素子３００Ａは、電子および正孔がｎ型単結晶シリコン基板２０１の裏面側から取り出される裏面コンタクト型の光電変換素子である。また、光電変換素子２００Ａは、光入射側の表面の面方位が（１１１）以外であるｎ型単結晶シリコン基板２０１を備えるので、非晶質相からなるｎ型非晶質膜２０２がｎ型単結晶シリコン基板２０１の表面（＝凹部２０１ｃが形成された表面）に接して形成される。その結果、光生成された正孔および電子のうち、少数キャリアである正孔の再結合がｎ型非晶質膜２０２によって抑制される。

【０２８６】

従って、裏面コンタクト型の光電変換素子３００Ａにおいて、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の表面をパッシベートできる。

【０２８７】

上記においては、ｎ型非晶質膜２０２は、ｎ型ａ－Ｓｉであると説明したが、光電変換素子３００Ａにおいては、これに限らず、ｎ型非晶質膜２０２は、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０２８８】

ｎ型非晶質膜２０２がｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなる場合も、ｎ型非晶質膜２０２は、非晶質相からなるので、ｎ型単結晶シリコン基板２０１の表面をパッシベートできる。

【０２８９】

また、光電変換素子３００Ａは、ｎ型非晶質膜２０２に代えてｉ型非晶質膜を備えていてもよい。この場合、ｉ型非晶質膜は、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０２９０】

更に、ｉ型非晶質膜２１１～２１ｎは、ｉ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子３００Ａにおいては、これに限らず、ｉ型非晶質膜２１１～２１ｎは、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０２９１】

更に、ｎ型非晶質膜２２１～２２ｍは、ｎ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子３００Ａにおいては、これに限らず、ｎ型非晶質膜２２１～２２ｍは、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０２９２】

更に、ｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１は、ｐ型ａ－ＳｉであるとＳ明したが、光電変換素子３００Ａにおいては、これに限らず、ｐ型非晶質膜２３１～２３ｍ－１は、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０２９３】

更に、光電変換素子３００Ａは、ｎ型非晶質膜２０２に接して反射防止膜を更に備えていてもよい。この場合、反射防止膜は、例えば、シリコン窒化膜からなり、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。

【０２９４】

（実施例８）

図２１は、実施例８における光電変換素子の構成を示す断面図である。図２１を参照して、光電変換素子３００Ｂは、ｐ型単結晶シリコン基板３０１と、ｐ型非晶質膜３０２と、ｉ型非晶質膜３１１～３１ｎと、ｐ型非晶質膜３２１～３２ｍと、ｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１と、電極３４１～３４ｎとを備える。

【０２９５】

ｐ型単結晶シリコン基板３０１は、（１００）の面方位および０．１～１．０Ω・ｃｍの比抵抗を有する。そして、ｐ型単結晶シリコン基板３０１は、例えば、２００μｍの厚みを有する。

【０２９６】

また、ｐ型単結晶シリコン基板３０１は、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部３０１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が一方の表面に形成されている。そして、凹部３０１ｃは、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の面内方向において、例えば、数μｍの幅を有する。

【０２９７】

ｐ型非晶質膜３０２は、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の凹部３０１ｃを含む凹凸構造に接して形成される。そして、ｐ型非晶質膜３０２は、例えば、ｐ型ａ－Ｓｉからなり、１０ｎｍの膜厚を有する。

【０２９８】

ｉ型非晶質膜３１１～３１ｎは、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の裏面（凹部３０１ｃが形成された面と反対の面）に接して設けられる。そして、ｉ型非晶質膜３１１～３１ｎ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。

【０２９９】

ｐ型非晶質膜３２１～３２ｍは、それぞれ、ｉ型非晶質膜３１１，３１３，・・・，３１ｎ－２，３１ｎに接して設けられる。

【０３００】

ｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１は、それぞれ、ｉ型非晶質膜３１２，３１４，・・・

，３１ｎ－１に接して設けられる。
【０３０１】
電極３４１，３４３，・・・，３４ｎ－２，３４ｎは、それぞれ、ｐ型非晶質膜３２１～３２ｍに接して設けられる。電極３４２，３４４，・・・，３４ｎ－１は、それぞれ、ｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１に接して設けられる。そして、電極３４１～３４ｎの各々は、例えば、Ａｇからなる。
【０３０２】
ｉ型非晶質膜３１１～３１ｎ、ｐ型非晶質膜３２１～３２ｍおよびｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１は、図２１の紙面に垂直な方向において同じ長さを有する。また、ｐ型非晶質膜３２１～３２ｍは、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の面内方向において、それぞれ、ｉ型非晶質膜３１１，３１３，・・・，３１ｎ－２，３１ｎの幅と同じ幅を有する。更に、ｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１は、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の面内方向において、それぞれ、ｉ型非晶質膜３１２，３１４，・・・，３１ｎ－１の幅と同じ幅を有する。そして、ｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１の全体の面積がｐ型単結晶シリコン基板３０１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３２１～３２ｍの全体の面積がｐ型単結晶シリコン基板３０１の面積に占める割合である面積占有率は、５～２０％である。
【０３０３】
面積占有率がこのように設定される理由は、上述したとおりである。
【０３０４】
光電変換素子３００Ｂは、図１８から図２０に示す工程（ａ）～工程（ｌ）に従って製造される。
【０３０５】
この場合、図１８の工程（ａ），（ｂ）において、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の一方の表面に凹部３０１ｃを含む凹凸部分（ハニカムテクスチャ）が形成される。
【０３０６】
また、図１８に示す工程（ｄ）において、ｐ型非晶質膜３０２がプラズマＣＶＤ法によって形成される。
【０３０７】
更に、図１８に示す工程（ｃ）～図２０の工程（ｊ）において、ｉ型非晶質膜３１１～３１ｎ、ｐ型非晶質膜３２１～３２ｍおよびｎ型非晶質膜３３１～３３ｍが形成される。
【０３０８】
更に、図２０の工程（ｋ），（ｌ）において、電極３４１～３４ｎが形成される。
【０３０９】
図１８の工程（ｄ）において、ｐ型ａ－Ｓｉからなるｐ型非晶質膜３０２をｐ型単結晶シリコン基板３０１上に堆積する場合、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の一方の表面には、凹部３０１ｃを含む凹凸構造（ハニカムテクスチャ）が形成されているので、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の表面は、（１１１）以外の面方位を有する。その結果、薄膜をｐ型単結晶シリコン基板３０１の表面（＝凹部３０１ｃが形成された表面）に堆積しても、薄膜は、エピタキシャル成長しない。従って、ｐ型ａ－Ｓｉからなるｐ型非晶質膜３０２をｐ型単結晶シリコン基板３０１の表面（＝凹部３０１ｃが形成された表面）に形成できる。
【０３１０】
光電変換素子３００Ｂにおいては、太陽光は、ｐ型非晶質膜３０２側から光電変換素子３００Ｂに照射される。そして、太陽光は、ハニカムテクスチャによって反射が抑制され、ｐ型非晶質膜３０２を介してｐ型単結晶シリコン基板３０１へ入射する。
【０３１１】
そうすると、ｐ型単結晶シリコン基板３０１中で正孔および電子が光励起される。そして、ｐ型単結晶シリコン基板３０１とｐ型非晶質膜３０２との界面近傍で光励起された電子は、拡散によってｐ型単結晶シリコン基板３０１とｐ型非晶質膜３０２との界面に到達

する。
【０３１２】
ｐ型単結晶シリコン基板３０１は、約１．１ｅＶの光学バンドギャップおよび０．１４～０．１９ｅＶの活性化エネルギーを有する。また、ｐ型非晶質膜３０２（ｐ型ａ－Ｓｉ）は、約１．８４ｅＶの光学バンドギャップおよび０．３ｅＶの活性化エネルギーを有する。従って、ｐ型単結晶シリコン基板３０１とｐ型非晶質膜３０２との界面には、上述したように、電子に対して高さが０．５８～０．６３ｅＶである障壁Ｂ$_e$が存在する。
【０３１３】
その結果、ｐ型単結晶シリコン基板３０１とｐ型非晶質膜３０２との界面に到達した電子は、この障壁Ｂ$_e$によってｐ型非晶質膜３０２（ｐ型ａ－Ｓｉ）中への移動が阻止されるとともに、ｐ型非晶質膜３０２（ｐ型ａ－Ｓｉ）のｐ型単結晶シリコン基板３０１の表面に対するパッシベーション効果によって再結合が抑制され、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の裏面側への拡散が促進される。そして、電子は、ｉ型非晶質膜３１２，３１４，・・・，３１ｎ－１の近傍へ到達し、ｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１とｉ型非晶質膜３１２，３１４，・・・，３１ｎ－１とｐ型単結晶シリコン基板３０１とによって構成されるｐｉｎ接合の内部電界によってｉ型非晶質膜３１２，３１４，・・・，３１ｎ－１およびｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１を介して電極３４２，３４４，・・・，３４ｎ－１に至る。
【０３１４】
一方、光励起された正孔は、拡散によってｉ型非晶質膜３１１，３１３，・・・，３１ｎ－２，３１ｎの近傍へ到達し、ｉ型非晶質膜３１１，３１３，・・・，３１ｎ－２，３１ｎおよびｐ型非晶質膜３２１～３２ｍを介して電極３４１，３４３，・・・，３４ｎ－２，３４ｎに至る。
【０３１５】
そして、電子は、電極３４２，３４４，・・・，３４ｎ－１から負荷を介して電極電極３４１，３４３，・・・，３４ｎ－２，３４ｎへ到達し、正孔と再結合する。
【０３１６】
このように、光電変換素子３００Ｂは、電子および正孔がｐ型単結晶シリコン基板３０１の裏面側から取り出される裏面コンタクト型の光電変換素子である。また、光電変換素子３００Ｂは、光入射側の表面の面方位が（１１１）以外であるｐ型単結晶シリコン基板３０１を備えるので、非晶質相からなるｐ型非晶質膜３０２がｐ型単結晶シリコン基板３０１の表面（＝凹部３０１ｃが形成された表面）に接して形成される。その結果、光生成された正孔および電子のうち、少数キャリアである電子の再結合がｐ型非晶質膜３０２によって抑制される。
【０３１７】
従って、裏面コンタクト型の光電変換素子３００Ｂにおいて、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の表面をパッシベーションできる。
【０３１８】
上記においては、ｐ型非晶質膜３０２は、ｐ型ａ－Ｓｉであると説明したが、光電変換素子３００Ｂにおいては、これに限らず、ｐ型非晶質膜３０２は、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮ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。
【０３１９】
ｐ型非晶質膜３０２がｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなる場合も、ｐ型非晶質膜３０２は、非晶質相からなるので、ｐ型単結晶シリコン基板３０１の表面をパッシベーションできる。
【０３２０】
また、光電変換素子３００Ｂは、ｐ型非晶質膜３０２に代えてｉ型非晶質膜を備えていてもよい。この場合、ｉ型非晶質膜は、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－Ｓｉ

Ｎ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０３２１】

更に、ｉ型非晶質膜３１１～３１ｎは、ｉ型ａ－Ｓｉであると説明したが、光電変換素子３００Ｂにおいては、これに限らず、ｉ型非晶質膜３１１～３１ｎは、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｉ型ａ－Ｓｉ，ｉ型ａ－ＳｉＧｅ，ｉ型ａ－ＳｉＮ，ｉ型ａ－ＳｉＣ，ｉ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０３２２】

更に、ｐ型非晶質膜３２１～３２ｍは、ｐ型ａ－Ｓｉであると説明したが、光電変換素子３００Ｂにおいては、これに限らず、ｐ型非晶質膜３２１～３２ｍは、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｐ型ａ－ＳｉＧｅ，ｐ型ａ－ＳｉＮ，ｐ型ａ－ＳｉＣおよびｐ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０３２３】

更に、ｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１は、ｎ型ａ－Ｓｉであると説明したが、光電変換素子３００Ｂにおいては、これに限らず、ｎ型非晶質膜３３１～３３ｍ－１は、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮのいずれかからなっていてもよい。そして、ｎ型ａ－ＳｉＧｅ，ｎ型ａ－ＳｉＮ，ｎ型ａ－ＳｉＣおよびｎ型ａ－ＳｉＣＮ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。

【０３２４】

更に、光電変換素子３００Ｂは、ｐ型非晶質膜３０２に接して反射防止膜を更に備えていてもよい。この場合、反射防止膜は、例えば、シリコン窒化膜からなり、１０～１００ｎｍの膜厚を有する。

【０３２５】

上述した光電変換素子１０は、結晶シリコン基板１の光入射側にｐ／ｎ接合を有する光電変換素子であり、光電変換素子１００は、単結晶シリコン基板４１の光入射側と反対側にｐ／ｎ接合を有する光電変換素子である。

【０３２６】

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の導電型を有し、太陽光の入射方向に突出した半球状の凹部を含む凹凸構造が一方の表面に形成された結晶シリコン基板と、結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成され、非晶質相からなる第１の非晶質膜と、結晶シリコン基板の一方の表面側または結晶シリコン基板の他方の表面側に形成されたｐ／ｎ接合部とを備えていればよい。

【０３２７】

このような構成からなる光電変換素子を製造する場合、結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造上に薄膜を堆積すると、薄膜は、エピタキシャル成長せず、非晶質相からなる。その結果、非晶質相からなる第１の非晶質膜が結晶シリコン基板の半球状の凹部を含む凹凸構造に接して形成される。従って、結晶シリコン基板の表面をパッシベートできるので、この発明の実施の形態による光電変換素子は、上述した構成からなっていればよい。

【０３２８】

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】

【０３２９】

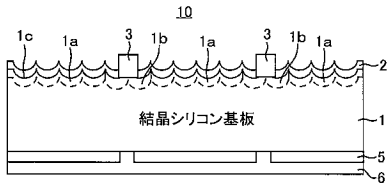
この発明は、光電変換素子に適用される。

【符号の説明】

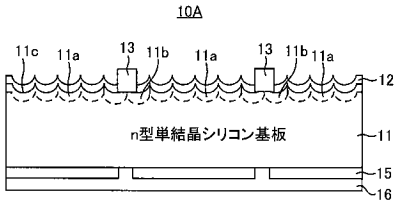
【０３３０】

１，７１　結晶シリコン基板、１ａ，１ｂ，１１ａ，１１ｂ，３１ａ，３１ｂ，４１１～４１ｎ　拡散領域、１ｃ，１１ｃ，３１ｃ，４１ｃ，５１ｃ，６１ｃ　凹部、２，７３，１０２，１２１～１２ｍ，１３１～１３ｍ－１　非晶質膜、３，６，１３，１６，３６，７５，７７，８５，８７，９５，９７，１４１～１４ｎ，２４１～２４ｎ，３４１～３４ｎ，４４１～４４ｎ　電極、５，１５，３５，７６，８６，９６　パッシベーション膜、１０，１０Ａ，１０Ｂ，１００，１００Ａ，１００Ｂ，２００，２００Ａ，２００Ｂ，３００，３００Ａ，３００Ｂ　光電変換素子、１１，５１，８１，２０１　ｎ型単結晶シリコン基板、１２，５２，９３，２２１～２２ｍ，３３１～３３ｍ－１　ｎ型非晶質膜、２０　マスク、２１　小孔、３１，６１，９１，３０１　ｐ型単結晶シリコン基板、３２，６２，２３１～２３ｍ－１，３０２，３２１～３２ｍ　ｐ型非晶質膜、４１，１０１　単結晶シリコン基板、４２　非晶質膜、４３，５３，６３　酸化膜、７２，８２，９２，１１１～１１ｎ，２１１～２１ｎ，３１１～３１ｎ　ｉ型非晶質膜、７４，８４，９４　透明導電膜、８３，２０２　ｐ型非晶質膜、５１１，５１３，・・・，５１ｎ－２，５１ｎ，６１２，６１４，・・・，６１ｎ－１　ｎ型拡散領域、５１２，５１４，・・・，５１ｎ－１，６１１，６１３，・・・，６１ｎ－２，６１ｎ　ｐ型拡散領域。

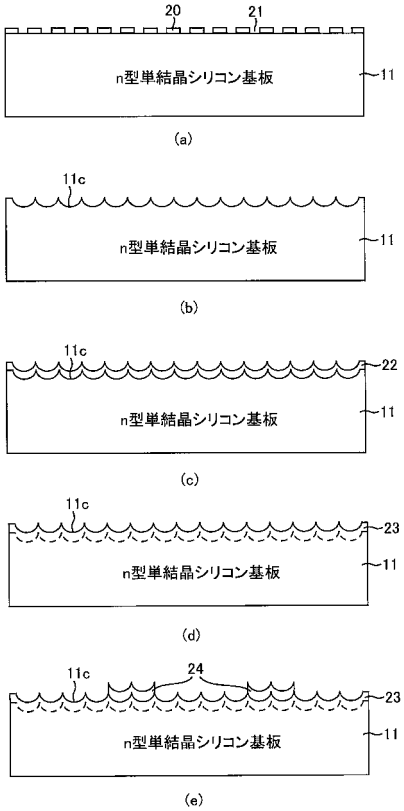
【図１】



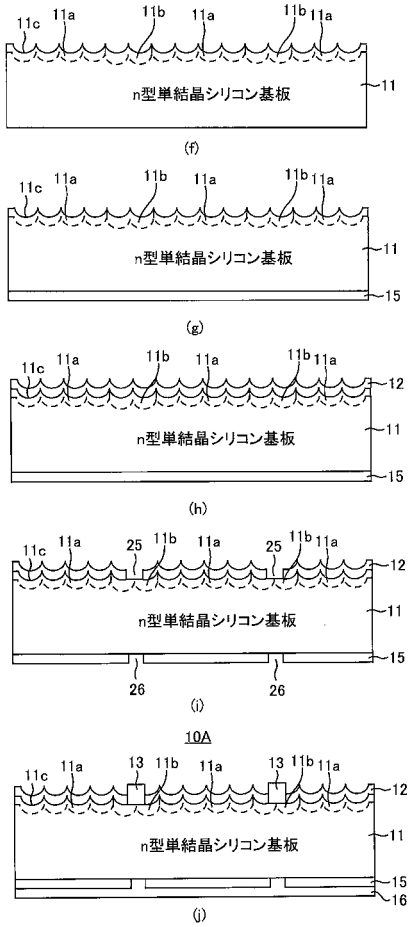
【図２】



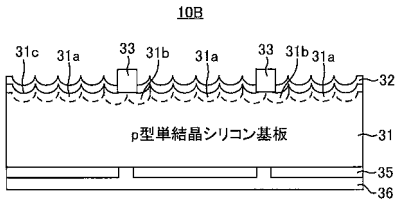
【図３】



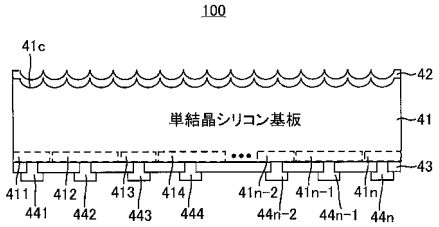
【図４】



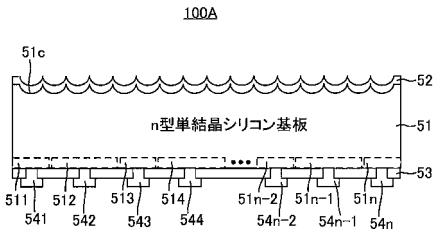
【図５】



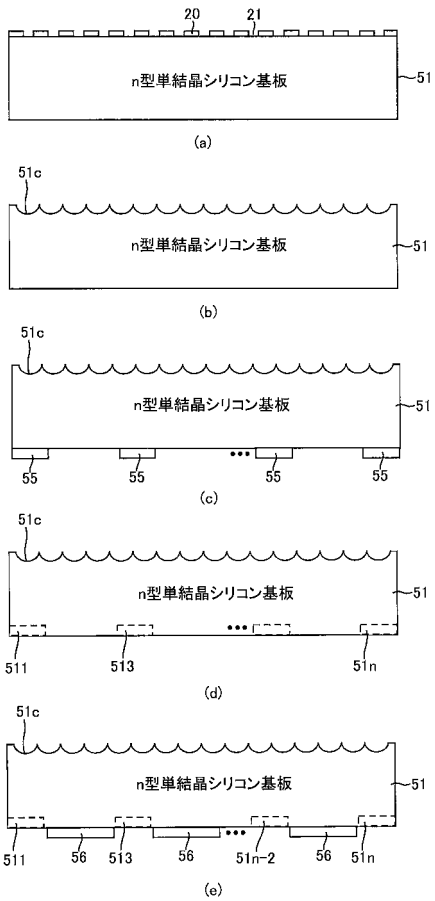
【図６】



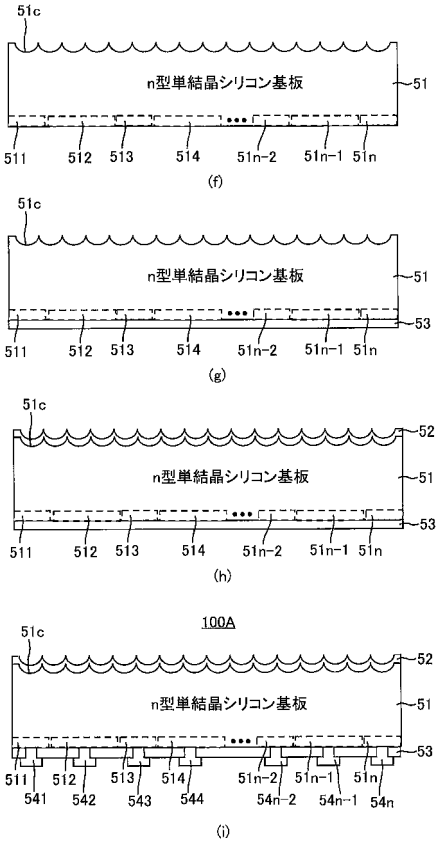
【図７】



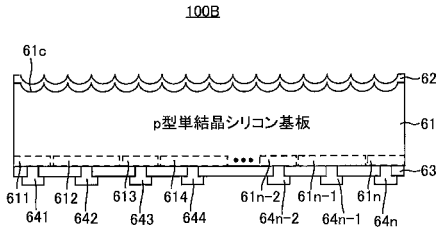
【図８】



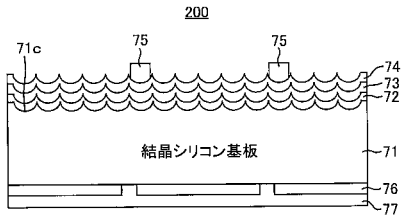
【図９】



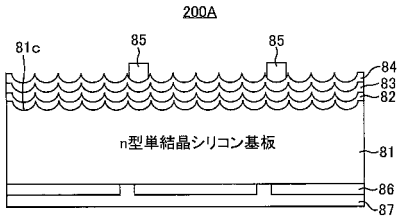
【図１０】



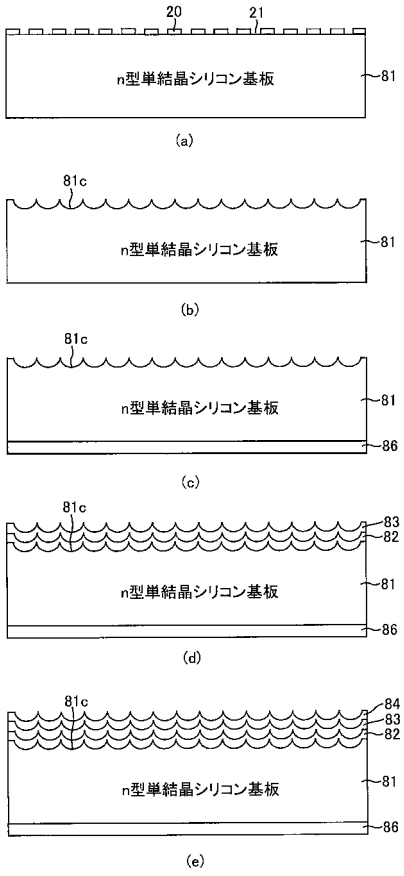
【図１１】



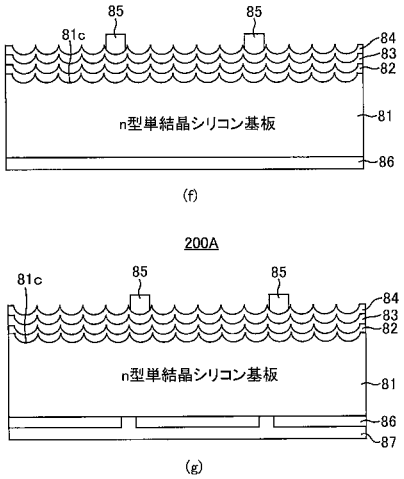
【図１２】



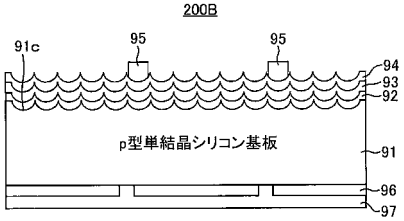
【図１３】



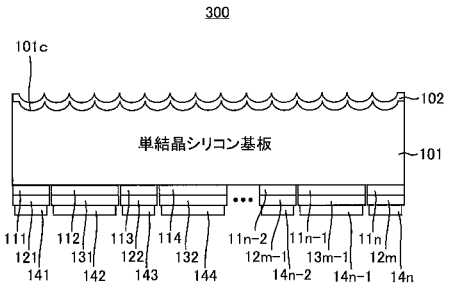
【図１４】



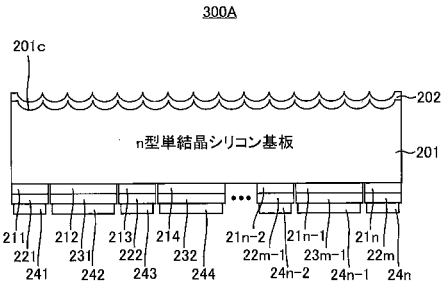
【図１５】



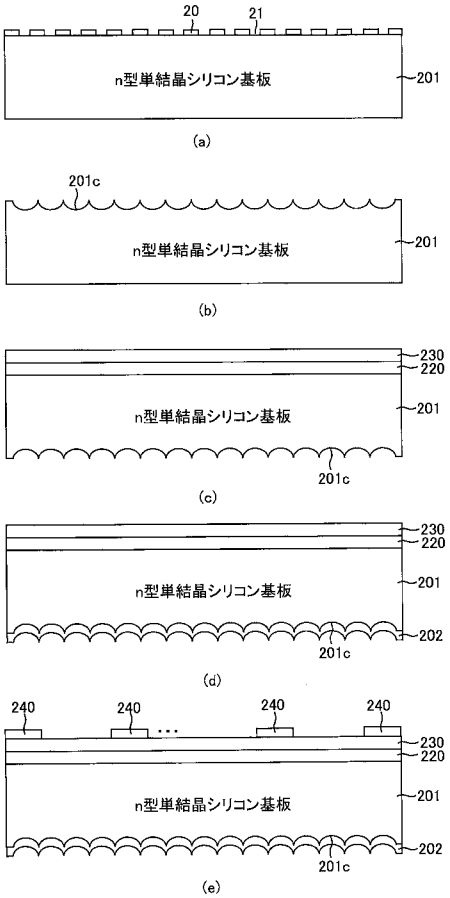
【図１６】



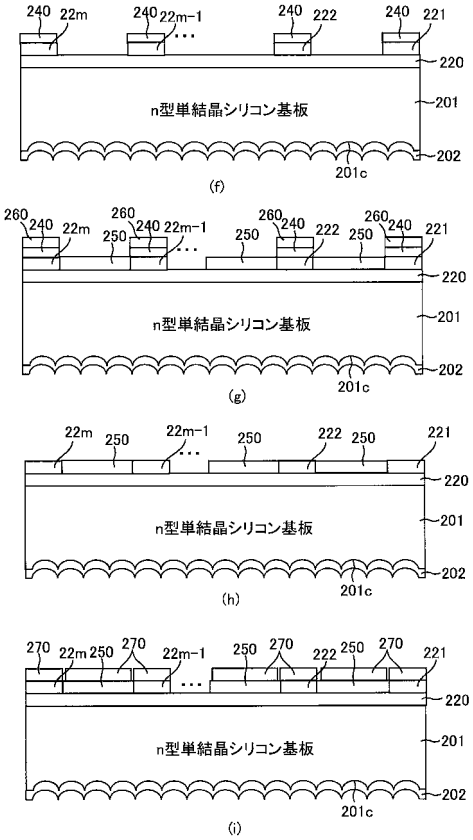
【図１７】



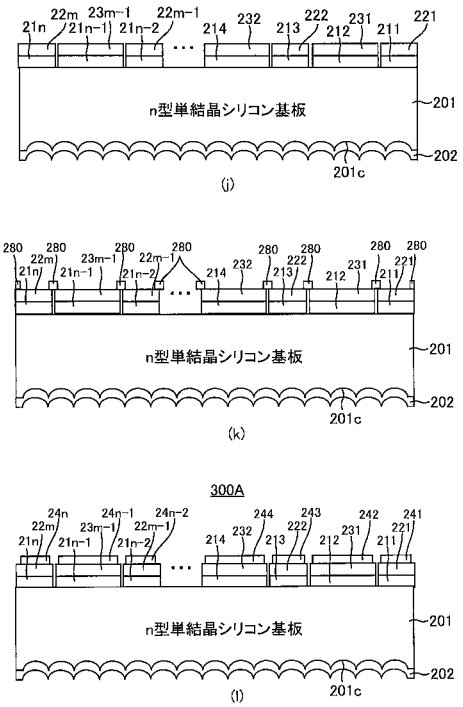
【図１８】



【図１９】



【図２０】



【図２１】

