

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5274277号
(P5274277)

(45) 発行日 平成25年8月28日(2013.8.28)

(24) 登録日 平成25年5月24日(2013.5.24)

(51) Int.Cl.

H01L 31/04 (2006.01)

F I

H01L 31/04

H

請求項の数 3 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2009-15508 (P2009-15508)
 (22) 出願日 平成21年1月27日(2009.1.27)
 (65) 公開番号 特開2010-177264 (P2010-177264A)
 (43) 公開日 平成22年8月12日(2010.8.12)
 審査請求日 平成23年9月15日(2011.9.15)

(73) 特許権者 000006633
 京セラ株式会社
 京都市伏見区竹田烏羽殿町6番地
 (72) 発明者 新楽 浩一郎
 滋賀県東近江市蛇溝町1166番地の6
 京セラ株式会社滋賀八日市工場内
 (72) 発明者 古茂田 学
 滋賀県東近江市蛇溝町1166番地の6
 京セラ株式会社滋賀八日市工場内

審査官 井上 徹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 太陽電池素子の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

受光面と該受光面の裏面とを含み、結晶粒の長手方向が基板の厚み方向に対してほぼ垂直となるn型を有する多結晶シリコン基板を備え、該多結晶シリコン基板の裏面側にアモルファスシリコンである真性の第一薄膜層を備え、前記多結晶シリコン基板の裏面側の第一領域では、前記第一薄膜層の上にp型を示す第二薄膜層と、第一電極とを有し、前記多結晶シリコン基板の裏面側の第二領域では、前記第一薄膜層の上にn型を示す第三薄膜層と、第二電極とを有し、前記第一電極と前記第二電極とはそれぞれ、前記多結晶シリコン基板の前記裏面側に複数の電極指を有する櫛歯状電極として形成されており、前記第一電極および前記第二電極の前記電極指の延びる方向が、結晶粒の長手方向に対してほぼ垂直となる太陽電池素子の製造方法であって、

キャスト法によって、結晶成長方向の高さが前記多結晶シリコン基板の1辺の長さよりも大きく、ドーパント元素がPである多結晶シリコンインゴットを得て、該多結晶シリコンインゴットの前記結晶成長方向の高さにおける上部を除去して、下部を前記結晶成長方向に対して平行にスライスして、受光面と該受光面の裏面とを含み、結晶粒の長手方向が基板の厚み方向に対してほぼ垂直であって、比抵抗の範囲が最小 b 最大 $b/2$ であるn型の多結晶シリコン基板を準備する工程と、

前記多結晶シリコン基板の裏面側にアモルファスシリコンである真性の第一薄膜層を形成する工程と、

前記多結晶シリコン基板の裏面側の第一領域に、前記第一薄膜層の上にp型を示す第二

10

20

薄膜層を形成する工程と、

前記多結晶シリコン基板の裏面側の第二領域に、前記第一薄膜層の上に n 型 を示す第三薄膜層を形成する工程と、

前記第二薄膜層の上に複数の電極指を有する櫛歯状電極である第一電極を前記電極指の延びる方向が、結晶粒の長手方向に対してほぼ垂直となるように形成する工程と、

前記第三薄膜層の上に複数の電極指を有する櫛歯状電極である第二電極を前記電極指の延びる方向が、結晶粒の長手方向に対してほぼ垂直となるように形成する工程と、

を有することを特徴とする太陽電池素子の製造方法。

【請求項 2】

前記多結晶シリコン基板を準備する工程において、前記多結晶シリコン基板は、その受光面側に R I E 法によってテクスチャ構造を形成したものを準備することを特徴とする請求項 1 に記載の太陽電池素子の製造方法。

10

【請求項 3】

前記第一薄膜層を形成する工程において、C a t - P E C V D 法を用いることを特徴とする請求項 1 に記載の太陽電池素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は太陽電池素子の製造方法に関する。

【背景技術】

20

【0002】

現在、太陽電池素子の主流製品は、結晶シリコン基板を用いたバルク型の結晶シリコン太陽電池素子である。この結晶シリコン太陽電池素子は、結晶シリコン基板が素子化工程により加工されることで作製される。この結晶シリコン太陽電池素子を複数個接続した構成を有するのが、結晶シリコン太陽電池モジュールである。

【0003】

結晶シリコン太陽電池素子には、受光面に金属からなる表電極（多くはバスバー及びフィンガーと呼ばれる金属電極からなる）を有するタイプのほか、受光面には電極を設けず、正・負の両電極を非受光面側に配置したいわゆる B C（バックコンタクト）型太陽電池素子がある。

30

【0004】

従来の B C 型太陽電池素子には、光生成キャリアが結晶粒界に衝突することを抑制でき、さらに出力特性を大きくすることを目的として、多結晶シリコン基板の結晶粒の長手方向が基板の厚さ方向に対して、ほぼ垂直になるように形成した B C 型太陽電池素子があった（例えば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2005 - 333016 号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記構造において電極および拡散領域は櫛歯状に形成され、p 型領域と n 型領域がかなり近接した状態で設けられる。そのため、それぞれ対極の電極が同じ結晶粒界と直接接触することにより、結晶粒界が電極間の橋渡しとなることからリークが起こり易い。また、基板内部にそれぞれ導電型の異なる拡散領域が同じ結晶粒界内に存在することにより、結晶粒界では不純物拡散速度が速いため、それぞれのドーパントが結晶粒界へ拡散して結晶粒界で高濃度の p 型領域と n 型領域が接触することからトンネル電流が増大するといった問題があり、十分な出力特性の向上が得られなかった。

【0007】

50

本発明は、出力特性の高いＢＣ型の太陽電池素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

本発明の太陽電池素子の製造方法は、受光面と該受光面の裏面とを含み、結晶粒の長手方向が基板の厚み方向に対してほぼ垂直となるｎ型を有する多結晶シリコン基板を備え、該多結晶シリコン基板の裏面側にアモルファスシリコンである真性の第一薄膜層を備え、前記多結晶シリコン基板の裏面側の第一領域では、前記第一薄膜層の上にｐ型を示す第二薄膜層と、第一電極とを有し、前記多結晶シリコン基板の裏面側の第二領域では、前記第一薄膜層の上にｎ型を示す第三薄膜層と、第二電極とを有し、前記第一電極と前記第二電極とはそれぞれ、前記多結晶シリコン基板の前記裏面側に複数の電極指を有する櫛歯状電極として形成されており、前記第一電極および前記第二電極の前記電極指の延びる方向が、結晶粒の長手方向に対してほぼ垂直となる太陽電池素子の製造方法であって、キャスト法によって、結晶成長方向の高さが前記多結晶シリコン基板の１辺の長さよりも大きく、ドーパント元素がＰである多結晶シリコンインゴットを得て、該多結晶シリコンインゴットの前記結晶成長方向の高さにおける上部を除去して、下部を前記結晶成長方向に対して平行にスライスして、受光面と該受光面の裏面とを含み、結晶粒の長手方向が基板の厚み方向に対してほぼ垂直であって、比抵抗の範囲が最小　ｂ　最大　ｂ／２であるｎ型の多結晶シリコン基板を準備する工程と、前記多結晶シリコン基板の裏面側にアモルファスシリコンである真性の第一薄膜層を形成する工程と、前記多結晶シリコン基板の裏面側の第一領域に、前記第一薄膜層の上にｐ型を示す第二薄膜層を形成する工程と、前記多結晶シリコン基板の裏面側の第二領域に、前記第一薄膜層の上にｎ型を示す第三薄膜層を形成する工程と、前記第二薄膜層の上に複数の電極指を有する櫛歯状電極である第一電極を前記電極指の延びる方向が、結晶粒の長手方向に対してほぼ垂直となるように形成する工程と、前記第三薄膜層の上に複数の電極指を有する櫛歯状電極である第二電極を前記電極指の延びる方向が、結晶粒の長手方向に対してほぼ垂直となるように形成する工程と、を有する。

【発明の効果】

【００１０】

本発明の太陽電池素子の製造方法によれば、電極と結晶粒界とが隔離されるためリークが生じる問題を低減することができる。さらに、接合領域がヘテロ接合により形成されるため、少なくとも一方のドーパントが結晶粒界へ拡散しないことから、トンネル電流が増大するといった問題を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】本発明の第一の実施形態の太陽電池素子の構造を示す断面模式図である。

【図２】（ａ）本発明の一実施形態の太陽電池素子を表面（受光面）側から見た図、（ｂ）は（ａ）の太陽電池素子を裏側から見た図、（ｃ）は（ｂ）の領域Ｒを拡大して模式図である。

【図３】本発明の第二の実施形態の太陽電池素子の構造を示す断面模式図である。

【図４】（ａ）、（ｂ）、（ｃ）は本発明の第二の実施形態の太陽電池素子の構造の変形例を示す断面模式図である。

【図５】多結晶シリコンインゴットを示す模式図である。

【図６】（ａ）は太陽電池モジュールの一実施形態を示す断面図であり、（ｂ）は（ａ）の太陽電池モジュールを表面（受光面）側から見た平面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１２】

本明細書において、 $a \times 10^n$ という表記は、 $a \times 10^n$ を表すものとする。

【００１３】

< 第一の実施の形態 >

太陽電池素子

図1は、第一の実施形態の太陽電池素子の構造を部分的に示す断面模式図である。図2(a)は図1に示す太陽電池素子20を表面(受光面)側から見た図、図2(b)は太陽電池素子を裏面側から見た図、図2(c)は図2(b)のR部分拡大図である。なお、図1、図2をはじめ、各図において図示される構成要素同士のサイズの大小関係は、必ずしも実際の関係を反映しているわけではない。

【0014】

本実施形態の太陽電池素子は、シリコン基板1の裏面側(図1においては下面側)に、不純物がドーピングされていない真性の第一薄膜層2(i型シリコン薄膜層)が設けられている。また、第一薄膜層2上には、逆導電型を有する第二薄膜層3と一導電型を有する第三薄膜層4とが設けられている。第二薄膜層3上には第一電極5が形成されており、第一薄膜層4上には第二電極6が形成されている。このように本実施形態の太陽電池素子はBC型太陽電池素子である。そして、シリコン基板1の結晶粒9は、その長手方向がシリコン基板1の厚み方向aに対してほぼ垂直となるように形成されている。本実施形態において、第一領域7とは第一薄膜層2上において、第二薄膜層3と第一電極5が形成された領域をいい、第二領域8とは第一薄膜層2上において、第三薄膜層4が形成された領域をいう。

【0015】

図1に示した太陽電池素子のシリコン基板1としては、例えば所定のドーパント元素(導電型制御用の不純物)を有して一導電型を有する多結晶シリコン基板1が用いられる。p型の結晶シリコン基板1が用いられる場合、例えばドーパント元素としてBあるいはGaが $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 程度ドーピングされて成る。n型の結晶シリコン基板1が用いられる場合は、例えばドーパント元素としてPが $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 程度ドーピングされて成る。なお、板状シリコンが用いられてもよい。このようなシリコン基板1の厚みは、 $300 \mu\text{m}$ 以下であるのが好ましく、 $250 \mu\text{m}$ 以下であるのがより好ましく、 $150 \mu\text{m}$ 以下であるのがさらに好ましい。そして、多結晶シリコンインゴットの結晶成長方向に対して平行にスライスすることにより、結晶粒9の長手方向が基板の厚み方向に対してほぼ垂直となるように形成される。以下、本実施の形態においては、半導体基板1としてn型シリコン基板が用いられる場合を対象に説明を行う。

【0016】

図1において、太陽電池素子のシリコン基板1の受光面側(図1においては上面側)はテクスチャ構造(凹凸構造)1aとされてもよい。

テクスチャ構造(凹凸構造)1aは、シリコン基板1の表面において入射光の反射率を低減する役割を有しており、シリコン基板1の受光面側に多数の微細な突起1bからなる凹凸面を構成する。係る突起1bは、幅と高さがそれぞれ $2 \mu\text{m}$ 以下であり、かつアスペクト比(高さ/幅)が0.1以上2以下であるのが好適である。

【0017】

反射防止層11は、入射光の反射を低減する役割を有するものであり、シリコン基板1の受光面上に形成されている。反射防止層11は、窒化珪素膜(SiN_x 膜(Si_3N_4 ストイキオメトリを中心にして組成比(x)には幅がある))あるいは酸化物材料膜(TiO_2 膜、 MgO 膜、 ITO 膜、 SnO_2 膜、 ZnO 膜、 SiO_x 膜)などによって形成されるのが好適である。なお、反射防止層11を構成する膜に表面パッシベーション効果を有する膜を使用してもよく、または、シリコン基板と反射防止膜の間に水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)膜あるいは水素化微結晶シリコン($\mu\text{c-Si:H}$)膜、 SiC 膜、窒化シリコン膜、酸化シリコン膜の単層または積層によって形成されるパッシベーション膜を設けてもよい。

【0018】

i型シリコン薄膜層2は、i型の水素化アモルファスシリコン膜(a-Si:H(i)膜)あるいはi型の水素化微結晶シリコン薄膜($\mu\text{c-Si:H(i)}$ 膜)によって、厚みが $0.5 \sim 10 \text{ nm}$ 程度で形成されるのが好適である。

【0019】

第二薄膜層（p型シリコン薄膜層）3は、第一領域（p型領域）7となるi型シリコン薄膜層2a上に、例えばドーパントとしてBがドーピングされてなるp型の水素化アモルファスシリコン膜（a-Si:H（p）膜）あるいはp型の水素化微結晶シリコン膜（ $\mu\text{c-Si:H}$ （p）膜）によって、厚みが5～50nm程度、ドーパント濃度が $1\text{E}18\sim1\text{E}21\text{atoms}/\text{cm}^3$ 程度で形成されるのが好適である。

【0020】

第三薄膜層（n型シリコン薄膜層）4は、第二領域（n型領域）8となるi型シリコン薄膜層2b上に、例えばドーパントとしてPがドーピングされてなるn型の水素化アモルファスシリコン膜（a-Si:H（n）膜）あるいはn型の水素化微結晶シリコン膜（ $\mu\text{c-Si:H}$ （n）膜）によって、厚みが5～50nm程度、ドーパント濃度が $1\text{E}18\sim1\text{E}21\text{atoms}/\text{cm}^3$ 程度で形成されるのが好適である。

なお、本明細書における微結晶シリコンとは、結晶シリコン粒の結晶粒界をアモルファスシリコンが埋めている状態のシリコンを指し示すものとする。

【0021】

これによって、n型である多結晶シリコン基板1とi型シリコン薄膜層2及びp型シリコン薄膜層3、n型シリコン薄膜層4によって、いわゆるヘテロ接合が形成される。

【0022】

第一電極（正電極）5および第二電極（負電極）6は、図2（b）に示す半導体基板1の裏面側に、複数の電極指を有する櫛歯状の出力取出電極として設けられている。第一電極5は、第二薄膜層3上に設けられており、第二電極6は第三薄膜層4上に設けられており、それぞれ、太陽電池素子をモジュール化する際に異なる太陽電池素子と接続するための配線が接続されるバスバー部5a、6aと、それぞれのバスバー部5a、6aから延在し、所定間隔で交互に位置する複数のフィンガー部5b、6bとを含んで構成される。第一電極のフィンガー部5bと第二電極のフィンガー部6bの幅は、0.1～2mmとされ、第一電極のフィンガー部5bと第二電極のフィンガー部6bとの間隔は、0.1～0.5mmとされる。

【0023】

また、正電極5および負電極6は、例えば、シリコン薄膜層上に透光性導電層を形成し、さらに導電層を形成した構成を有する。透光性導電層はシリコン薄膜層と導電層との接着強度を高める役割を有する。さらに、受光面側から入射する入射光のうちシリコン基板1を透過する成分、例えば900nm以上の長波長光をより高い反射率で反射させて、シリコン基板1に再入射させる役割も有する。透光性導電層として、例えば、ITO膜、 SnO_2 膜、ZnO膜などが用いられ、その厚みは5～100nm程度であるのが好適である。導電層は、例えば、Al、Ag、Cu等を主成分として単層または複層に形成される。導電層の厚みは0.1～3 μm 程度であるのが好適であるが、さらに抵抗を低減するために厚く形成しても構わない。

【0024】

また、必要に応じて、正電極5及び負電極6の上に、半田領域を形成してもよい。

【0025】

第一の実施形態の太陽電池素子は、図2（a）に示されるように、シリコン基板1の結晶粒9の長手方向が基板の厚み方向aに対してほぼ垂直となるように形成されている。また、図2（c）に示されるように第一電極のフィンガー部5bおよび第二電極のフィンガー部6bの延びる方向が、結晶粒9の長手方向に対してほぼ垂直となるように形成されている。光生成キャリアはシリコン基板1の内部を横方向に拡散および移動して、接合部分に到達しなければ、光電流として取出すことができないが、基板の主表面にほぼ垂直に結晶粒界10を設けないように形成されていることから、光生成キャリアが結晶粒界10に衝突することを減少させることができる。すなわち、形成された光生成キャリアのうち、結晶粒界に衝突せずに接合の部分に到達する光生成キャリアを多くすることができる。

【0026】

そして、第一電極 5 および第二電極 6 はシリコン基板 1 との間に第一薄膜層 2 が介在していることから、第一電極 5 および第二電極 6 が結晶粒界 10 と隔離されるためにリークが生じる問題を低減することができる。さらに、接合領域がヘテロ接合により形成されるため、従来のようにドーパントが接合領域内に拡散しないため、高濃度の p 型領域と n 型領域とが結晶粒界 10 を通して接触することがなく、トンネル電流の増大を低減することができる。さらには、基板裏面表面に水素化アモルファスシリコン膜（第一薄膜層 2）を形成することによって、水素を拡散し、結晶粒界 10 を水素パッシベーションすることができるため、さらに出力特性を向上させることができる。

【0027】

以上の理由から、第一の実施形態の太陽電池素子は出力特性が高い高効率な太陽電池素子を得ることができる。

【0028】

太陽電池素子の製造方法

第一の実施形態に係る太陽電池素子の製造方法は、結晶粒の長手方向が基板の厚み方向に対してほぼ垂直となる一導電型を有する多結晶シリコン基板を準備し、シリコン基板 1 の裏面側に真性の第一薄膜層 2 を形成する工程と、シリコン基板 1 の裏面側の第一領域 7 に、第一薄膜層 2 の上に逆導電型を示す第二薄膜層 3 を形成する工程と、シリコン基板 1 の裏面側の第二領域 8 に、第一薄膜層 2 の上に一導電型を示す第三薄膜層 4 を形成する工程と、第二薄膜層 3 の上に第一電極 5 を形成する工程と、第三薄膜層 4 の上に第二電極 6 を形成する工程と、を有する。

【0029】

<シリコン基板の準備工程>

まず n 型の導電型を有するシリコン基板 1 を準備する。図 5 に示されるようにキャスト法や鋳型内凝固法などにより作製された多結晶シリコンインゴット 14 を結晶成長方向に対して平行に切り出すことで、結晶粒 9 の長手方向が基板の厚み方向に対してほぼ垂直となる多結晶シリコン基板を得ることができる。このような n 型の導電型を有する結晶シリコン基板は、ドーパント元素として P を $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 、より好ましくは $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 程度ドーピングされて成る。

【0030】

しかし、シリコン融液中のドーパント元素は凝固成長に際して偏析現象により一定の比率でシリコン固体結晶中に取り込まれていくため、結晶成長方向において比抵抗値（ b ）の変動を生じる。特に、P の偏析係数は 0.35 と B の偏析係数に比べかなり小さく、多結晶シリコンインゴット 14 の高さ方向において大きく比抵抗が異なる。つまり、切り出した多結晶シリコン基板は比抵抗のバラツキが大きくなる。そのため、多結晶シリコン基板の比抵抗の範囲が最小 b 最大 $b/2$ となるように、多結晶シリコンインゴット 14 の高さを多結晶シリコン基板の 1 辺の長さよりも大きく調整し、多結晶シリコンインゴット 14 の上部を除去して、多結晶シリコンインゴット 14 の下部を結晶成長方向に対して平行にスライスする。なお、多結晶シリコンインゴット 14 の上部は、ウェットエッチングやブラスト処理などにより、最表面に偏析している不純物を除去して、次のシリコンインゴットを作製する原料として再利用される。

【0031】

なお、切り出し（スライス）に伴うシリコン基板 1 の表層部の機械的ダメージ層や汚染層を除去するために、切り出したシリコン基板 1 の表面側及び裏面側の表層部を NaOH や KOH、あるいはフッ酸と硝酸の混合液などでそれぞれ $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度エッチングし、その後、純水などで洗浄することで、有機成分や金属成分を除去しておくようにする。加えて、希フッ酸処理 + 純水リンス処理によって、次述する工程でシリコン薄膜層が形成される側の面を水素で終端させておくことが好ましい。係る場合、シリコン基板 1 とシリコン薄膜層との間に、品質の優れたヘテロ接合界面をより容易に形成することができる。

【0032】

10

20

30

40

50

< 第一薄膜層の形成工程 >

次に、シリコン基板の非受光面側に、真性の第一薄膜層である i 型シリコン薄膜層 2 を形成する。具体的には、i 型シリコン薄膜層 2 として、 $a-Si:H(i)$ 膜あるいは $\mu c-Si:H(i)$ 膜を形成する。なお、必要に応じて、i 型シリコン薄膜層 2 が形成される基板面をクリーニングガスで処理する態様であってもよい。例えば、 CF_4 、 SF_6 等のガスプラズマで基板上の該形成面を微量エッチング処理すると、表面を好適に清浄化することができる。

【0033】

i 型シリコン薄膜層 2 の形成方法としては、CVD 法、特に、プラズマ CVD (PECVD) 法や Cat-CVD 法などを好適に用いることができる。特に、Cat-PECVD 法を用いれば、極めて品質の高いシリコン薄膜層を形成することが可能であるので、シリコン基板 1 とシリコン薄膜層との間に形成されるヘテロ接合の品質が向上する。これにより、太陽電池素子の高特性・高歩留まりをより実現し易くなる。

【0034】

これら CVD 法を用いる場合、シランと水素とを原料ガスとして用いればよい。

【0035】

また、その際の成膜条件としては、プラズマ CVD 法を用いる場合、電力密度を調整し、Cat-CVD 法を用いる場合、熱触媒体の種類、温度を調整し、Cat-PECVD 法を用いる場合、電力密度および熱触媒体の種類、温度を調整する。具体的には、基板温度を $100 \sim 300$ (例えば 200 程度)、ガス圧力を $10 Pa \sim 500 Pa$ 、熱触媒体としてタングステン等を使用する場合、熱触媒体の温度を $1500 \sim 2000$ 、電力密度を $0.01 W/cm^2 \sim 1 W/cm^2$ とする。これにより、極めて品質の高いシリコン薄膜層を 200 程度という比較的低温でかつ短時間で形成することができる。

【0036】

< 第二薄膜層の形成工程 >

次に、i 型シリコン薄膜層 2 の上に、逆導電型を有する第二薄膜層である p 型シリコン薄膜層 3 を形成する。具体的には、p 型シリコン薄膜層 3 として、 $a-Si:H(p)$ 膜あるいは $\mu c-Si:H(p)$ 膜を形成する。これによって基板 / 薄膜層間にヘテロ接合が形成される。

【0037】

p 型シリコン薄膜層の形成方法としては、第一薄膜層 2 と同様に、CVD 法、特に、プラズマ CVD (PECVD) 法や Cat-CVD 法などを第一薄膜層の形成工程と同様の条件で好適に用いることができる。

【0038】

なお、第一領域 7 のみに第二薄膜層 3 を形成する場合には形成領域以外を覆うようにメタルマスクを形成し、第二薄膜層形成後、不必要な薄膜層をメタルマスクとともに除去すればよい。

【0039】

< 第三薄膜層の形成工程 >

次に、i 型シリコン薄膜層 2 の上に、一導電型を有する第三薄膜層である n 型シリコン薄膜層 4 を形成する。具体的には、n 型シリコン薄膜層 4 として、 $a-Si:H(n)$ 膜あるいは $\mu c-Si:H(n)$ 膜を形成する。

【0040】

n 型シリコン薄膜層 4 の形成方法としては、第一薄膜層 2 と同様に、CVD 法、特に、プラズマ CVD (PECVD) 法や Cat-CVD 法などを第一薄膜層の形成工程と同様の条件で好適に用いることができる。

【0041】

なお、第二領域 8 のみに第三薄膜層 4 を形成する場合には形成領域以外を覆うようにメタルマスクを形成し、第三薄膜層形成後、不必要な薄膜層をメタルマスクとともに除去すればよい。

10

20

30

40

50

【0042】

< 第一電極、第二電極の形成工程 >

次に、p型シリコン薄膜層3、n型シリコン薄膜層4上に導電層を形成する。特に、上述した透光性導電層を形成した上で、導電層を形成すると、光学的反射率が向上するため好ましい。

【0043】

透光性導電層は、スパッタ法、蒸着法、イオンプレーティング法、熱CVD法、MOCVD法、ゾルゲル法、あるいは液状にした原料を噴霧加熱する方法やインクジェット法などを用いて形成することができる。例えば、透光性導電層としてのITO膜、またはZnO膜をスパッタ法により形成する場合であれば、 SnO_2 を0.5wt%~4wt%ドープしたITOターゲット、またはAlを0.5wt%~4wt%ドープしたZnOターゲットを用いて、ArガスまたはArガスと O_2 ガスの混合ガスを流し、基板温度が25~250、ガス圧力が0.1~1.5Pa、電力が0.01kW~2kWという条件でスパッタ処理を行うのが好適な一例である。なお、第一電極と第二電極を隔離するために、形成領域以外を覆うようにメタルマスクを形成し、透光性導電膜形成後、不必要な透光性導電膜をメタルマスクとともに除去すればよく、または形成後エッチングにより除去しても良い。

【0044】

導電層は、スパッタ法、蒸着法、イオンプレーティング法、インクジェット法等を用いて形成することができる。特に、加熱温度を低く抑えることができ、また、加熱時間を短くでき、接着力が高いという観点から、スパッタ法を用いることが好ましい。例えば、導電層としてのAg膜、またはAl膜をスパッタ法により形成する場合、それぞれ銀またはアルミニウムのターゲットを用いて、ArガスまたはArガスと O_2 ガスの混合ガスを流し、基板温度が25~250、ガス圧力が0.1~1.5Pa、電力が0.01kW~2kWという条件でスパッタ処理を行うのが好適な一例である。なお、第一電極と第二電極を隔離するために、上記と同様にメタルマスクを形成するか、形成後エッチングにて除去すればよい。また、印刷法などの塗布法によってAgやAl等の金属粉末と有機成分とを混成した金属ペーストからなる電極パターンを形成し、その後焼成することによって形成してもよい。このときシリコン薄膜層にダメージを与えないために、200近傍で硬化する樹脂系のバインダを使用する。このような樹脂系のバインダとしては、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、ウレタン樹脂、ポリエステル樹脂の中の一つまたは複数のものを使用できる。焼成は約1時間程度行えばよい。また、メッキ法によってCu膜を形成してもよく、上記製法を組み合わせることで形成しても構わない。

【0045】

< テクスチャ構造の形成工程 >

次に、シリコン基板1の表面(受光面)側に、エッチング法によりテクスチャ構造1aを形成することが好ましい。

【0046】

テクスチャ構造1aの形成方法としては、アルカリ水溶液によるウェットエッチング法や、エッチングガスを用いるドライエッチング法を用いることができる。なお、ウェットエッチング法の場合は、上記薄膜層を形成する前に行う方が好ましい。

【0047】

ドライエッチング法を用いる場合は、処理面側(受光面側)にだけ微細なテクスチャ構造1aを形成することができる。本実施の形態に係る太陽電池素子20AのようなBC型太陽電池素子の場合、ドライエッチング法を用いることによって半導体基板1の受光面側にのみテクスチャ構造が形成されるようにすれば、n/pあるいはp/p⁺接合の形成箇所にテクスチャ構造が形成されることはないので、これらの接合部に起因するダイオード電流の電流密度(暗電流密度)や、導電層界面起源のダイオード電流の電流密度が小さい、より特性の優れた太陽電池素子を得ることができる。また、ウェットエッチング法を用いる場合、裏面側にマスクを形成した後、エッチングを行っても良い。

【0048】

ここで、ドライエッチング法には様々な手法があるが、特に、R I E 法 (R e a c t i v e I o n E t c h i n g 法) を用いると、広い波長域に渡って極めて低い光反射率に抑えられる微細なテクスチャ構造 1 a を広い面積に渡って短時間で形成することができる。

【0049】

R I E 法を用いる場合、例えば、塩素ガス (Cl_2)、酸素ガス (O_2)、及び六フッ化硫黄ガス (SF_6) を、1 : 5 : 5 程度の混合比となるようにエッチング装置のエッチング室 (チャンバー) に処理対象の基板を導入し、反応ガス圧力を 7 P a 程度、プラズマ生成のため R F パワー密度を 5 kW/m^2 程度として、5 分間程度エッチング処理を行うことで、テクスチャ構造 1 a を良好に形成することができる。なお、ガス流量等の示量変数はチャンバーのサイズに依存する。なお、必要に応じて、上記の混合ガスにさらに三フッ化メタンガス (CHF_3) や H_2O ガスを適量混合させてもよい。

10

【0050】

なお、テクスチャ構造 1 a の形成をこの段階で行うことは必須の態様ではなく、例えば、シリコン薄膜層の形成前に行ってもよいし、電極を形成した後に行う態様であっても構わない。なお、ウェットエッチング法を用いる場合は、先に述べた基板表層部のダメージ層を除去するプロセスに連続してテクスチャ構造 1 a を形成することができる。

【0051】

< 反射防止層の形成工程 >

次にシリコン基板 1 の受光面側に反射防止層 1 1 を形成する。

反射防止層 1 1 は、P E C V D 法、蒸着法、スパッタ法などを用いて形成することができる。反射防止層 1 1 を形成する場合、成膜温度は、400 以下、より好ましくは 300 以下とする。なお、反射防止層 1 1 がパッシベーション層を兼用するようにしてもよい。

20

【0052】

< 半田の形成工程 >

必要であれば、さらに、半田ディップ処理によって、第一電極 5 及び第二電極 6 上に半田領域を形成する態様であってもよい。

以上のような手順によって、太陽電池素子が作製される。

30

【0053】

< 第二の実施の形態 >

図 3 は、第二の実施形態の太陽電池素子の構造を部分的に示す断面模式図である。なお、太陽電池素子の構成要素のうち、第一の実施の形態に係る太陽電池素子の構成要素と同様の作用効果を奏するものについては、同一の符号を付してその説明を省略する。

【0054】

本実施形態の太陽電池素子のシリコン基板 1 は、裏面側 (図 3 においては下面側) の第二の領域 8 において、内部に拡散層 1 2 を有する。また、シリコン基板 1 の裏面側には、第一薄膜層 2 (i 型シリコン薄膜層) が設けられており、第一領域 7 における第一薄膜層 2 上には、逆導電型を有する第二薄膜層 3 と第一電極 5 とが順次積層されている。また、第一薄膜層 2 は、第二領域 8 において、第一薄膜層 2 は貫通孔を有しており、貫通孔内に露出した拡散層 1 2 上と第一薄膜層 2 上とに第二電極 6 が形成されている。このように本実施形態の太陽電池素子は B C 型太陽電池素子である。

40

以下、本実施の形態においては、半導体基板 1 として n 型シリコン基板が用いられる場合を対象に説明を行う。

【0055】

n 型拡散層 1 2 は、第二領域 8 となるシリコン基板表面に、例えばドーパントとして P (リン) が基板内部にドーブされ、深さが $0.2 \mu\text{m} \sim 0.5 \mu\text{m}$ 程度、ドーパント濃度が $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ 程度で形成されるのが好適である。

【0056】

50

これによって、 n 型である多結晶シリコン基板 1 と i 型シリコン薄膜層 2 及び p 型シリコン薄膜層 3 によって、いわゆるヘテロ接合が形成される。

【0057】

第二の実施形態の太陽電池素子は、第一の実施形態の太陽電池素子と同様に、シリコン基板 1 の結晶粒 9 の長手方向が基板の厚み方向に対してほぼ垂直となるように形成されている。また、第一電極の第二の線部 5 b および第二電極の第二の線部 6 b の延びる方向が、結晶粒 9 の長手方向に対してほぼ垂直となるように形成されている。上記構成により形成された光生成キャリアのうち、結晶粒界に衝突せずに接合の部分に到達する光生成キャリアを多くすることができる。

【0058】

そして、第一電極 5 はシリコン基板 1 との間に第一薄膜層 2 が介在していることから、第二電極 6 が結晶粒界 10 と接触しているものの第一電極 5 が結晶粒界 10 と隔離されるためにリークが生じる問題を低減することができる。さらに、接合領域がヘテロ接合により形成されるため、逆導電型のドーパント (p 型) は接合領域内に拡散しないため、高濃度 n 型領域は形成されるものの結晶粒界 10 を通して p 型領域と接触することがなく、トンネル電流の増大を低減することができる。さらには、基板裏面表面に水素化アモルファスシリコン膜 (第一薄膜層 2) を形成することによって、水素を拡散し、結晶粒界 10 を水素パッシベーションすることができるため、さらに出力特性を向上させることができる。

【0059】

また、第二電極 6 は第一薄膜層 2 を介して第一拡散層 12 と接続してもよい。

【0060】

また、図 3 においては第一拡散層 12 上に第一薄膜層 2 が形成されているが、図 4 (a) に示すように、第一拡散層 12 上に第一薄膜層 2 を設けなくてもよい。さらに、図 4 (b) に示すように、シリコン基板 1 の受光面側に第二拡散層 13 を形成してもよく、受光面側に移動してきた光生成キャリアを反射し、接合領域に到達するキャリア量を増加させることができる。さらに、図 4 (c) に示すように、第一拡散層の上に第三薄膜層 4 を形成し、その上に第二電極 6 を形成してもよく、BSF 効果が高まり少数キャリアの再結合を低減することができる。

【0061】

以上の理由から、第二の実施形態の太陽電池素子は出力特性が高い高効率な太陽電池素子を得ることができる。

【0062】

第二の実施形態に係る太陽電池素子の製造方法は、結晶粒の長手方向が基板の厚み方向に対してほぼ垂直となる一導電型を有する多結晶シリコン基板 1 を準備し、シリコン基板 1 の裏面側の第二領域 8 に、一導電型を示す第一拡散層 12 を形成する工程と、シリコン基板 1 の裏面側に真性の第一薄膜層 2 を形成する工程と、多結晶シリコン基板の裏面側の第一領域 7 に、第一薄膜層 2 の上に逆導電型を示す第二薄膜層 3 を形成する工程と、第二薄膜層の上に第一電極 5 を形成する工程と、第一拡散層 12 の上に第二電極 6 を形成する工程と、を有する。なお、以下第一の実施形態と同様の内容については省略し、変更部分のみ説明を行う。

【0063】

< 第一拡散層の形成工程 >

第一の実施形態と同様にシリコン基板を準備した後、シリコン基板 1 の非受光面側に、第一拡散層である n 型拡散層 11 を形成する。具体的にはシリコン基板中に P を拡散させる。

【0064】

n 型拡散層 11 の形成方法として、ペースト状態にした P_2O_5 をシリコン基板 1 表面に塗布して熱拡散させる塗布熱拡散法、ガス状態にした $POCl_3$ (オキシ塩化リン) を拡散源とした気相熱拡散法、及び直接拡散させるイオン打ち込み法などによって形成され

10

20

30

40

50

る。なお、第二領域 8 のみに拡散層を形成する場合には、形成領域以外に予め拡散防止膜を形成したり、その部分を後からエッチングして除去すればよい。

【0065】

また、シリコン基板 1 の受光面側に第二拡散層 13 を形成する場合においても、上記と同様の方法を用いればよく、気相熱拡散法であれば受光面と非受光面の両方同時に拡散層を形成することができる。

【0066】

次に、第一の実施形態と同様にシリコン基板 1 の非受光面側に、第二領域 8 の少なくとも一部を除いて i 型シリコン薄膜層 2 を形成し、第一領域 7 において i 型シリコン薄膜層 2 の上に p 型シリコン薄膜層 3 を形成する。そして、p 型シリコン薄膜層 3、n 型拡散層 11 上に導電層を設けて第一電極 5、第二電極 6 とが形成されることによって、太陽電池素子が作製される。

【0067】

太陽電池モジュール

太陽電池モジュールは、複数の太陽電池素子を直列および並列に接続することで構成される。

【0068】

図 6 は、図 1 の太陽電池素子 20 を複数用いて構成された太陽電池モジュール 30 の構成を概略的に示す図である。図 6 (a) は太陽電池モジュール 30 の断面図であり、図 6 (b) は太陽電池モジュール 30 を表面 (受光面) 側から見た平面図である。

【0069】

図 6 (a) に示すように、太陽電池モジュール 30 は、例えば、ガラスなどの透明部材 22 と、透明のエチレンビニルアセテート共重合体 (EVA) などからなる表側充填材 24 と、配線部材 21 によって隣接する太陽電池素子の第一電極 11 と第二電極 12 とを交互に接続して成る複数の太陽電池素子 20 と、EVA などからなる裏側充填材 25 と、ポリエチレンテレフタレート (PET) や金属箔をポリフッ化ビニル樹脂 (PVF) で挟みこんだ裏面保護材 23 と、を主として備える。隣接する太陽電池素子 20 同士は、例えば、厚さ 0.1 ~ 0.2 mm 程度、幅 2 mm 程度の銅箔の全面を半田材料によって被覆された配線部材 21 が用いられる。

【0070】

また、直列接続された複数の太陽電池素子 20 のうち、最初の太陽電池素子 20 と最後の太陽電池素子 20 の電極の一端は、出力取出部である端子ボックス 27 に、出力取出配線 26 によって接続される。また、図 6 (a) では図示を省略しているが、図 6 (b) に示すように、本実施形態の太陽電池モジュール 30 は、アルミニウムなどの枠 28 を備える。

【0071】

本実施形態の太陽電池モジュール 30 は、従来よりも低コストかつ高効率な光電変換素子及び光電変換モジュールとなる。

【0072】

<変形例>

尚、本発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更、改良等が可能である。

【0073】

たとえば、上述の実施形態においては、n 型の導電型を有するシリコン基板を用いた場合について説明しているが、これに代えて p 型の導電型を有するシリコン基板を用いることもできる。この場合、各層の極性を逆にすれば、上述の実施形態と同様の工程で、同様の作用効果を奏する太陽電池素子を得ることができる。

【0074】

また、上述の実施形態においては、シリコン基板 1 および薄膜層としてシリコンを例に挙げて説明しているが、本発明においてシリコン基板 1 および薄膜層の材料はこれに限定

10

20

30

40

50

されるわけではなく、 SiC 、 SiGe 、 Ge などの他の半導体材料を用いる場合についても適用することができる。

【0075】

また、太陽電池素子の形成順序は上記順序に限定されるものではなく、まず受光面側のテクスチャ構造の形成工程、反射防止膜の形成工程を行った後、非受光面側の薄膜形成工程および導電層形成工程を行っても構わない。

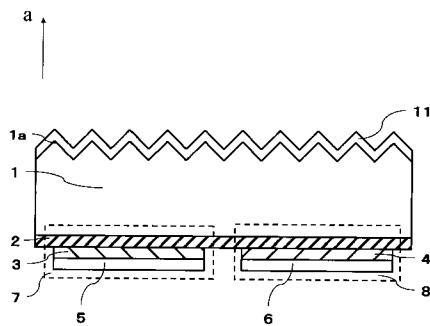
【符号の説明】

【0076】

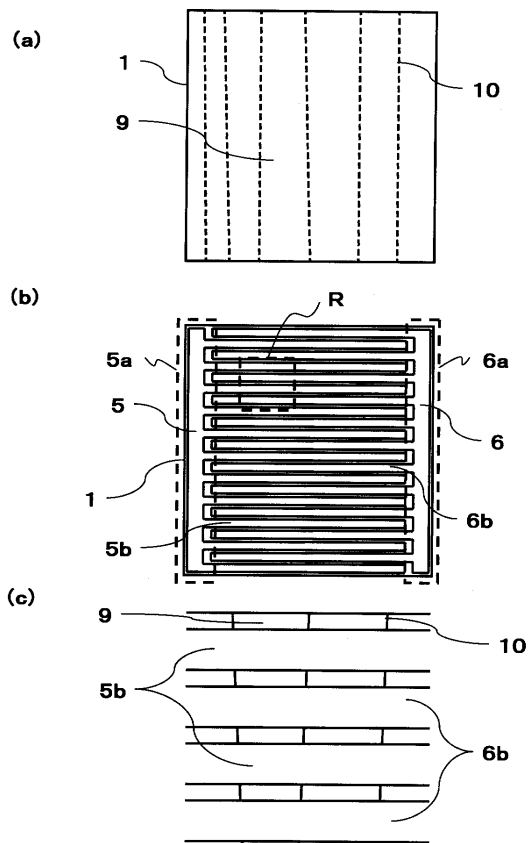
- 1 : シリコン基板
- 2 : 第一薄膜層 (i 型シリコン薄膜層)
- 3 : 第二薄膜層 (p 型シリコン薄膜層)
- 4 : 第三薄膜層 (n 型シリコン薄膜層)
- 5 : 第一電極 (正電極)
- 6 : 第二電極 (負電極)
- 12 : 第一拡散層 (n 型拡散層)
- 20 : 太陽電池素子

10

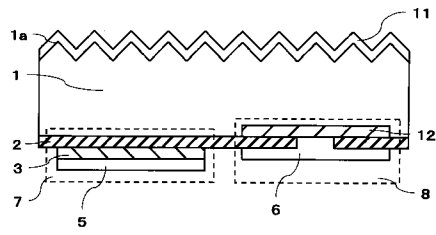
【図 1】



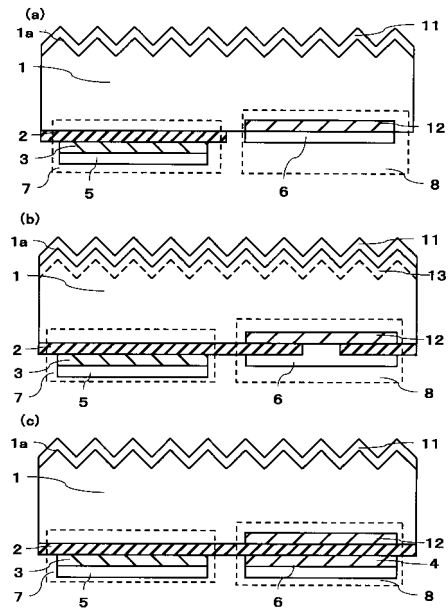
【図 2】



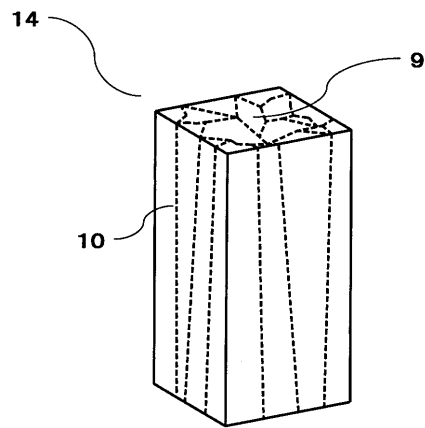
【図 3】



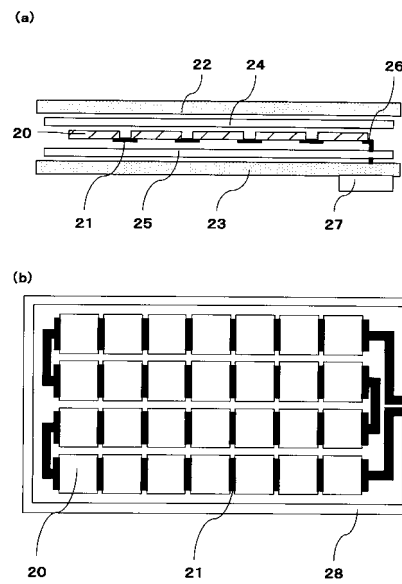
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第08/050889(WO,A1)

特開2005-101240(JP,A)

特開2005-101427(JP,A)

特開2005-101151(JP,A)

特開昭56-017080(JP,A)

特開2005-333016(JP,A)

特開2006-273668(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H01L 31/04-31/078、51/42