

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6257847号
(P6257847)

(45) 発行日 平成30年1月10日(2018.1.10)

(24) 登録日 平成29年12月15日(2017.12.15)

(51) Int.Cl.		F I			
HO 1 L	31/0216	(2014.01)	HO 1 L	31/04	2 4 0
HO 1 L	31/0747	(2012.01)	HO 1 L	31/06	4 5 5
HO 1 L	31/0224	(2006.01)	HO 1 L	31/04	2 6 0

請求項の数 4 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2017-519697 (P2017-519697)	(73) 特許権者	000006013
(86) (22) 出願日	平成28年12月8日(2016.12.8)		三菱電機株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/086614		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
審査請求日	平成29年4月12日(2017.4.12)	(74) 代理人	100088672
(31) 優先権主張番号	特願2016-58027 (P2016-58027)		弁理士 吉竹 英俊
(32) 優先日	平成28年3月23日(2016.3.23)	(74) 代理人	100088845
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 有田 貴弘
早期審査対象出願		(72) 発明者	小林 裕美子
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
			菱電機株式会社内
		(72) 発明者	綿引 達郎
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
			菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 太陽電池の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体基板上に、トンネル酸化物層を形成し、前記トンネル酸化物層上に、第1の導電型の半導体層を形成し、前記半導体層に対し、725 以上 775 以下の温度で熱処理を行い、熱処理された前記半導体層上に、前記半導体層より水素濃度が高い保護膜を形成し、前記保護膜上に、ガラス粒子を含む電極を印刷し、焼成によって、前記電極と前記半導体層とを電気的に接続させるとともに前記保護膜から離脱した水素によって、前記半導体層中および前記半導体層と前記トンネル酸化物層との界面のダングリングボンドが水素によって終端され、前記半導体層に対して熱処理を行う際のピーク温度、および、焼成によって、前記電極と前記半導体層とを電気的に接続させる際のピーク温度が、前記保護膜を形成する際の温度よりも高い、太陽電池の製造方法。

10

【請求項2】

前記トンネル酸化物層上に、第1の導電型の前記半導体層を形成することは、前記トンネル酸化物層上に、真性半導体層を形成し、前記真性半導体層に対し 725 以上 775 以下の温度で熱処理を行うことによって、前記真性半導体層内に第1の導電型のドーパントを拡散させて、第1の導電型の前記半導体層を形成することである、請求項1に記載の太陽電池の製造方法。

【請求項3】

前記トンネル酸化物層を形成する前に、前記半導体基板上に、第1の導電型の不純物拡散領域を選択的に形成し、前記電極を、前記保護膜上の、平面視において前記不純物拡散

20

領域が形成された位置に対応する位置に印刷する、請求項 1 または請求項 2 に記載の太陽電池の製造方法。

【請求項 4】

前記トンネル酸化物層上に、第 1 の導電型の半導体層を形成し、同時に、前記半導体層に対し、725 以上 775 以下の温度で熱処理を行う、請求項 1 から請求項 3 のうちのいずれか 1 項に記載の太陽電池の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願明細書に開示される技術は、太陽電池、および、太陽電池の製造方法に関するもの
10
である。

【背景技術】

【0002】

結晶シリコンが用いられた太陽電池のパッシベーション技術として、半導体基板の上面に非常に薄い酸化物の層、すなわち、トンネル酸化物層を形成し、さらに、トンネル酸化物層の上面にシリコンドープ層を形成する方法がある。

【0003】

上記のように、トンネル酸化物層とシリコンドープ層とから形成されたトンネル接合層を用いる方法では、トンネル酸化物層が形成するバンド障壁、および、シリコンドープ層に起因する電界効果によって少数キャリアを追い返し、再結合を抑制する。これによって
20
、たとえば、700 mV を超える高い開放電圧を得ることができる。

【0004】

一方で、トンネル効果によって多数キャリアの輸送はスムーズに行われる。そのため、直列抵抗を増大させずに、高い開放電圧と大きい曲線因子とを両立させることができる。ここで、曲線因子とは、最適動作点での出力（最大出力）を、開放電圧と短絡電流との積で割った値である。

【0005】

たとえば、非特許文献 1 に開示された方法では、n 型のシリコン基板の裏面にトンネル酸化物層が形成され、さらに、トンネル酸化物層の裏面にリンドープシリコン層が形成される。そして、リンドープシリコン層が形成された後、600 以上、かつ、1000
30
未満で熱処理が行われる。その後、リンドープシリコン層の下面に直接、裏面電極が全面形成される。電極形成方法としては、Ti、Pd、および、Ag からなるシード層を熱蒸着した後、Ag めっきを行う方法が用いられる。

【0006】

また、たとえば、特許文献 1 に開示された方法では、トンネル酸化物層である酸化シリコン層の上面に半導体層が形成され、さらに、半導体層の上面に透明導電膜が形成される。そして、透明導電膜の上面にくし型の電極が形成される。

【0007】

透明導電膜は、シリコンドープ層である半導体層を電極形成ダメージから守る膜である。また、透明導電膜は、導電性を有するため、絶縁層のように開口処理を必要とせずに、
40
電極をコンタクトさせることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献 1】特開 2012 - 60080 号公報

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献 1】F. Feldmann et al., 「Passivated rear contacts for high-efficiency n-type Si solar cells providing high interface p
50

assivation quality and excellent transport characteristics」、Solar Energy Materials & Solar Cells 120 (2014) 270-274

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上記の非特許文献1、または、上記の特許文献1では、光電子に起因して生じる光電流を収集するため、トンネル接合層におけるシリコンドープ層に対して蒸着またはめっきによって電極を形成したり、シリコンドープ層に対して透明導電膜を挟んで電極とコンタクトさせたりする。

10

【0011】

しかしながら、装置の量産性を考慮すると、高温焼成プロセスを用いる焼成銀を印刷して電極コンタクトを形成する手法が、簡便で、かつ、生産性が高い。さらに、高温焼成プロセスを用いれば、焼成用銀ペーストは電極を低抵抗化ができ、コンタクト性もよく、さらに、信頼性も高い。

【0012】

一方で、焼成によって電極を形成する場合には、焼成銀の印刷に起因する物理的ダメージ、焼成プロセスに起因する熱ダメージ、または、焼成銀の浸食などによって、トンネル接合層の特性劣化が生じる場合がある。

20

【0013】

焼成に起因するトンネル接合層の特性劣化については、トンネル接合層に接触する電極を形成する場合であっても、トンネル接合層に接触しない電極を形成する場合であっても、焼成時の高温過程によってトンネル接合層の特性劣化が生じ得る。

【0014】

また、焼成に起因するトンネル接合層の特性劣化は、シリコンドープ層の上面に直接電極を形成する場合には、ファイアスルーによって電極が、たとえば、厚さが100nm以下であるシリコンドープ層を突き破って半導体基板を浸食することによって生じる。

【0015】

これを防ぐために、たとえば、焼成温度の低温化、または、低温焼結銀を用いるなどの手法が考えられるが、これらの場合には、銀電極の高抵抗化、または、電気的コンタクト性の悪化などを招く場合がある。

30

【0016】

また、電極印刷時の摩擦などの物理ダメージが、シリコンドープ層を傷つけることも問題である。

【0017】

また、特許文献1に開示されるように、シリコンドープ層と電極との間に透明導電膜が挟まれる構造であれば、上記のような電極の基板浸食、および、印刷時の物理ダメージは抑制することができると考えられる。

【0018】

しかしながら、透明導電膜は、キャリア濃度が高く、かつ、光吸収が大きい。そのため、電流ロスが増加する場合がある。また、透明導電膜は、焼成などの高温処理に対する耐性に乏しい。そのため、焼成による電気特性、または、構造の劣化が生じる。

40

【0019】

このため、透明導電膜を作製するプロセスは限定されてしまい、簡易で、量産性および信頼性の高いプロセスを選択することができないという問題がある。

【0020】

本願明細書に開示される技術は、以上に記載されたような問題を解決するためになされたものであり、焼成電極を備えつつ、焼成に起因するダメージを抑制することができる技術に関するものである。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 2 2 】

本願明細書に開示される技術の一の態様は、半導体基板の上に、トンネル酸化物層を形成し、前記トンネル酸化物層上に、第1の導電型の半導体層を形成し、前記半導体層に対し、725 以上775 以下の温度で熱処理を行い、熱処理された前記半導体層上に、前記半導体層より水素濃度が高い保護膜を形成し、前記保護膜上に、電極を印刷し、焼成によって、前記電極と前記半導体層とを電気的に接続させるとともに前記保護膜から離脱した水素によって、前記半導体層中および前記半導体層と前記トンネル酸化物層との界面のダングリングボンドが水素によって終端され、前記半導体層に対して熱処理を行う際のピーク温度、および、焼成によって、前記電極と前記半導体層とを電気的に接続させる際のピーク温度が、前記保護膜を形成する際の温度よりも高い。

10

【 発 明 の 効 果 】

【 0 0 2 4 】

本願明細書に開示される技術の一の態様は、半導体基板の上に、トンネル酸化物層を形成し、前記トンネル酸化物層上に、第1の導電型の半導体層を形成し、前記半導体層に対し、725 以上775 以下の温度で熱処理を行い、熱処理された前記半導体層上に、前記半導体層より水素濃度が高い保護膜を形成し、前記保護膜上に、電極を印刷し、焼成によって、前記電極と前記半導体層とを電気的に接続させるとともに前記保護膜から離脱した水素によって、前記半導体層中および前記半導体層と前記トンネル酸化物層との界面のダングリングボンドが水素によって終端され、前記半導体層に対して熱処理を行う際のピーク温度、および、焼成によって、前記電極と前記半導体層とを電気的に接続させる際のピーク温度が、前記保護膜を形成する際の温度よりも高い。このような構成によれば、焼成によって電極を形成する場合において、半導体層上に形成された保護膜が、焼成される電極によって半導体層が突き破られること、さらには、半導体層を突き破った電極が半導体基板にまで到達することを防ぐことができる。また、保護膜が高温処理にも耐えうるため、製造プロセスが限定されない。

20

【 0 0 2 5 】

本願明細書に開示される技術に関する目的と、特徴と、局面と、利点とは、以下に示される詳細な説明と添付図面とによって、さらに明白となる。

【 図 面 の 簡 単 な 説 明 】

【 0 0 2 6 】

30

【 図 1 】 実施の形態に関する太陽電池の製造方法で形成された、太陽電池の構造を概略的に例示する平面図である。

【 図 2 】 図 1 における A - A ' 断面図である。

【 図 3 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示するフローチャートである。

【 図 4 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

【 図 5 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

【 図 6 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

【 図 7 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

【 図 8 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

【 図 9 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

40

【 図 1 0 】 保護膜を形成しない場合、および、保護膜を形成する場合それぞれについての、n型の非晶質シリコン層の熱処理温度と、開放電圧の推定値 [m V] との関係性を例示する図である。

【 図 1 1 】 実施の形態に関する太陽電池の製造方法で形成された、太陽電池の構造を概略的に例示する平面図である。

【 図 1 2 】 図 1 1 における B - B ' 断面図である。

【 図 1 3 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示するフローチャートである。

【 図 1 4 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

【 図 1 5 】 実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である

50

- 。
- 【図 1 6】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である
- 。
- 【図 1 7】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である
- 。
- 【図 1 8】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である
- 。
- 【図 1 9】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である
- 。
- 【図 2 0】実施の形態に関する太陽電池の製造方法で形成された、太陽電池の構造を概略的に例示する断面図である。 10
- 【図 2 1】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示するフローチャートである。
- 【図 2 2】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である
- 。
- 【図 2 3】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である
- 。
- 【図 2 4】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である
- 。
- 【図 2 5】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である 20
- 。
- 【図 2 6】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である
- 。
- 【図 2 7】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である
- 。
- 【図 2 8】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法で形成された、太陽電池の構造を概略的に例示する断面図である。
- 【図 2 9】実施の形態に関する、太陽電池の製造方法を例示するフローチャートである。
- 【図 3 0】製造された太陽電池の開放電圧特性を例示する図である。
- 【発明を実施するための形態】
- 【0 0 2 7】 30
- 以下、添付される図面を参照しながら実施の形態について説明する。
- 【0 0 2 8】
- なお、図面は概略的に示されるものであり、異なる図面にそれぞれ示される画像の大きさと位置との相互関係は、必ずしも正確に記載されるものではなく、適宜変更され得るのである。
- 【0 0 2 9】
- また、以下に示される説明では、同様の構成要素には同じ符号を付して図示し、それらの名称と機能とについても同様のものとする。したがって、それらについての詳細な説明を省略する場合がある。
- 【0 0 3 0】 40
- また、以下に記載される説明において、「上」、「下」、「側」、「底」、「表」または「裏」などの特定の位置と方向とを意味する用語が用いられる場合があっても、これらの用語は、実施の形態の内容を理解することを容易にするために便宜上用いられるものであり、実際に実施される際の方向とは関係しないものである。
- 【0 0 3 1】
- < 第 1 の実施の形態 >
- 以下、本実施の形態に関する太陽電池、および、太陽電池の製造方法について説明する。
- 。
- 【0 0 3 2】
- < 太陽電池の構成について > 50

図1は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法で形成された、太陽電池の構造を概略的に例示する平面図である。また、図2は、図1におけるA-A'断面図である。

【0033】

全体の説明に先立ち、まず、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法の要旨を説明する。本実施の形態に関する太陽電池の製造方法では、図1、および、図2に例示されるように、結晶系の半導体基板として受光面100Aと裏面100Bとを有するn型の単結晶シリコン基板100を用いる。

【0034】

そして、n型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに、トンネル酸化層104を形成する。次に、トンネル酸化層104の下面に、n型のドーパントを含むn型の非晶質シリコン層105を形成する。

10

【0035】

その後、熱処理を行うことによって、シリコンドーパ層としてのn型の非晶質シリコン層105中に含まれるn型のドーパントを活性化するとともに、n型の非晶質シリコン層105の一部または全体を結晶化させることによって、n型の結晶系薄膜シリコン層106を形成する。トンネル酸化層104とn型の結晶系薄膜シリコン層106との積層構造を備えることによって、少数キャリアの再結合を抑制し、かつ、多数キャリアの収集効率を高めることができる。

【0036】

この後、n型の結晶系薄膜シリコン層106の下面に、保護膜107としての窒化シリコン層を形成する。そして、保護膜107の下面から裏面電極111を印刷し、さらに、焼成によって裏面電極111を保護膜107にファイアスルーさせることによって、裏面電極111の、n型の結晶系薄膜シリコン層106に対するコンタクトを形成する。

20

【0037】

n型の単結晶シリコン基板100の受光面100A側には、グリッド電極110Gとバス電極110Bとを備える受光面電極110が形成される。一方、n型の単結晶シリコン基板100の裏面100B側には、グリッド電極110Gとバス電極110Bとを備える裏面電極111が形成される。

【0038】

本実施の形態に関する太陽電池の製造方法では、n型の結晶系薄膜シリコン層106の下面に保護膜107を形成する。そして、保護膜107の下面から裏面電極111を印刷し、さらに、裏面電極111を焼成する。

30

【0039】

このように形成することによって、電極の印刷、および、電極の焼成に起因して、トンネル酸化層104の劣化、および、n型の結晶系薄膜シリコン層106の劣化を防ぐことができる。そのため、高い開放電圧を維持することができ、太陽電池の特性を維持することができる。

【0040】

これに対し、n型の結晶系薄膜シリコン層に直接電極を印刷し、さらに、当該電極を焼成する場合には、電極が、ファイアスルーによってトンネル酸化層、および、n型の結晶系薄膜シリコン層を突き破ってしまう。そのため、電極が、トンネル酸化層、さらには、シリコン基板に接触してしまい、再結合の増加によって開放電圧が低下する。

40

【0041】

また、n型の結晶系薄膜シリコン層に直接電極を印刷した場合には、印刷版との接触、または、摩擦などによってn型の結晶系薄膜シリコン層が傷ついてしまい、パッシベーション効果が低下するおそれがある。

【0042】

<太陽電池の製造方法について>

以下、図3から図9を参照しつつ、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を詳細に説明する。ここで、図3は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を例示するフロー

50

チャートである。また、図4から図9は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

【0043】

まず、図4に例示されるように、n型の単結晶シリコン基板100を用意する。n型の単結晶シリコン基板100は、シリコンインゴットをワイヤーソーなどによる機械的切断法を用いてカット、および、スライスすることによって製造される。そのため、表面には汚染、または、ダメージが残存する場合がある。

【0044】

そこで、水酸化ナトリウム溶液などのアルカリ溶液を用いたウェットエッチングプロセスを実施することによって、n型の単結晶シリコン基板100の表面に、テクスチャ構造と呼ばれる微小な凹凸構造を形成する。テクスチャ構造の形成には、アルカリ溶液、および、添加剤を用いる。

【0045】

n型の単結晶シリコン基板100の表面における微小な凹凸構造によって、n型の単結晶シリコン基板100に入射する光が、基板表面で多重反射する。したがって、光の反射損失を低減することができる。加えて、光路長の増加によって光吸収が増大する。その結果、短絡電流の向上が見込める。なお、簡単のため、図面にはテクスチャ構造は示されない。

【0046】

テクスチャ構造を形成した後に、たとえば、過酸化水素をベースに、アルカリまたは酸を加えた濃厚薬液を高温で用いる洗浄方法であるRCA洗浄、SPM(Sulfuric Acid Hydrogen Peroxide Mixture)洗浄、または、HPM(Hydrochloric Acid Hydrogen Peroxide Mixture)洗浄などを行い、n型の単結晶シリコン基板100の表面に付着している有機物、または、金属汚染などによる付着物を取り除く。

【0047】

次に、図4に例示されるように、n型の単結晶シリコン基板100の受光面100Aに、p型の不純物拡散層103を形成する(図3におけるステップST100を参照)。

【0048】

n型の単結晶シリコン基板100上に、たとえば、 BBr_3 を用いた気相反応、または、 B_2H_6 を用いた大気圧化学気相堆積(atmospheric pressure chemical vapor deposition、すなわち、APCVD)法などの気相法によって、p型の不純物拡散源101としてのボロンドープシリコンガラス(Boron Silicate Glass:BSG)膜を形成する。その後、拡散炉中でボロンを熱拡散することによって、p型の不純物拡散層103を形成する。

【0049】

なお、イオン注入によってn型の単結晶シリコン基板100の表面にボロンを打ち込み、その後、拡散炉中でボロンを熱拡散することによって、p型の不純物拡散層103を形成してもよい。

【0050】

この場合、形成されるp型の不純物拡散層103のシート抵抗は、たとえば、50 / 以上、かつ、150 / 未満とすることができる。シート抵抗は、拡散層内での少数キャリアの再結合、光吸収、および、電極とのコンタクト抵抗などを考慮して決定する。

【0051】

BSG膜からなるp型の不純物拡散源101を形成する際にAPCVDを用いる場合には、BSG膜をn型の単結晶シリコン基板100の受光面100Aのみに形成することができる。

【0052】

ただし、n型の単結晶シリコン基板100の端面、および、n型の単結晶シリコン基板100の裏面にもBSG膜が僅かに回り込むため、BSG膜を形成した後に、たとえば、

10

20

30

40

50

0.5%以上、かつ、1.0%以下のフッ酸で、n型の単結晶シリコン基板100の端面、および、n型の単結晶シリコン基板100の裏面に回り込んだ分のBSG膜を除去することができる。

【0053】

ここで、図4に例示されるように、p型の不純物拡散源101を形成した後は、誘電体膜としてノンドーピングシリコンガラス(Non doped Silicate Glass: NSG)膜102を形成することが好ましい。

【0054】

NSG膜102がキャップ層の働きをして、BSG膜からなるp型の不純物拡散源101中のボロンが気相中に脱離することを防ぐ。そのため、ボロンを効率的に拡散することができる。

10

【0055】

また、NSG膜102は、後でn型の単結晶シリコン基板100の裏面に形成するn型の非晶質シリコン層105のドーパント活性化のための熱処理時に、拡散バリア層としても働く。

【0056】

ここで、p型の不純物拡散源101であるBSG膜の膜厚は、たとえば、30nm以上、かつ、150nm未満である。p型の不純物拡散源101であるBSG膜の膜厚が薄すぎると、拡散源としての役割を果たすことができなくなる。一方で、p型の不純物拡散源101であるBSG膜の膜厚が厚すぎると、BSG膜の形成、および、BSG膜の除去が

20

【0057】

また、NSG膜102の膜厚は、たとえば、100nm以上、かつ、500nm未満である。NSG膜102の膜厚が薄すぎると、キャップ層としての役割、または、拡散バリア層としての役割を果たすことができなくなる。一方で、NSG膜102の膜厚が厚すぎると、NSG膜102の形成、および、NSG膜102の除去が困難となる。

【0058】

また、p型の不純物拡散源101としてのBSG膜の形成に BBr_3 気相反応を用いる場合には、BSG膜が受光面100Aだけではなく、n型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bにも形成される。

30

【0059】

そこで、n型の単結晶シリコン基板100の受光面100Aに形成されたBSG膜の上面に熱酸化膜または窒化膜によるバリア層を形成した後、n型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに形成されたBSG膜をフッ酸で除去する。その後、p型の不純物拡散層103をフッ硝酸、または、水酸化ナトリウムなどの処理剤で片面除去する。

【0060】

ここで、窒化膜は、たとえば、シランガス、窒素ガス、または、アンモニアガスなどを用いたプラズマCVD法を用いて形成することができる。なお、上記のバリア層は、後でドーパント活性化のための熱処理時にもバリア層として働くため、たとえば、50nm以上の厚さで形成しておくことが好ましい。

40

【0061】

次に、図5に例示されるように、n型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに、トンネル酸化物層104を形成する(図3におけるステップST101を参照)。

【0062】

トンネル酸化物層104の材料には、シリコン酸化膜、または、酸化アルミニウム膜などの誘電体材料を用いることができる。シリコン酸化膜の形成は、たとえば、オゾン水への浸漬によって行うことができる。この場合、所望の厚さの酸化膜が得られるように、オゾン濃度、および、浸漬時間を制御する。

【0063】

また、シリコン酸化膜の形成には、熱酸化、硝酸酸化、プラズマ化学気相堆積(Plasma

50

sma Enhanced Chemical Vapor Deposition: PECVD)法、原子層堆積(Atomic Layer Deposition:ALD)法、UV照射、または、オゾン照射などの方法も用いることができる。

【0064】

トンネル酸化物層104の膜厚は、たとえば、0.5nm以上、かつ、5nm未満である。トンネル酸化物層104の膜厚が薄すぎると、多数キャリアのみならず少数キャリアもトンネル酸化物層104を通過してしまう。そのため、再結合の増加によって開放電圧が低下する。また、トンネル酸化物層104の膜厚が厚すぎる場合であっても、多数キャリアのトンネル輸送が妨げられる。そのため、直列抵抗が増加することによって、電気的特性が劣化する。

10

【0065】

次に、図6に例示されるように、トンネル酸化物層104の下面にn型の非晶質シリコン層105を形成する(図3におけるステップST102を参照)。SiH₄、または、PH₃を用いたPECVD法などの化学気相堆積法によって、n型の非晶質シリコン層105を形成する。

【0066】

n型の非晶質シリコン層105の膜厚は、たとえば、5nm以上、かつ、100nm未満である。n型の非晶質シリコン層105の膜厚が薄すぎると、電界効果が弱くなる。そして、トンネル接合層における電気的抵抗が増大し、かつ、少数キャリアの追い返し効果も小さくなる。そのため、n型の非晶質シリコン層105の特性が劣化する。

20

【0067】

一方、n型の非晶質シリコン層105の膜厚が厚いと、熱歪みが大きくなる。そのため、n型の非晶質シリコン層105の膜厚が適正な範囲である場合に比べて、シリコン層のパッシベーション効果が低下することが分かっている。

【0068】

その後、図7に例示されるように、図6に例示された構造を拡散炉に導入し、窒素ガスを流しながら昇温する。そして、一定温度で一定時間保持して、熱処理を行う(図3におけるステップST103を参照)。

【0069】

これによって、n型の非晶質シリコン層105の一部、または、全体が結晶化し、n型の結晶系薄膜シリコン層106に変化する。n型の結晶系薄膜シリコン層106の膜厚は、たとえば、5nm以上、かつ、100nm未満である。また、上記の熱処理によって、n型の非晶質シリコン層105中のn型のドーパントが活性化する。そうすることによって、シート抵抗が低下する。

30

【0070】

最適なアニール温度は、シリコンドープ層に含まれるリン濃度、または、シリコンドープ層の厚さによって異なる。ここで、n型の非晶質シリコン層105の熱処理時における最も高い温度であるピーク温度は、400以上、かつ、900未満である。

【0071】

熱処理温度が低いと、n型の非晶質シリコン層105の結晶化が十分に促進されない。そのため、裏面100Bにおける電界効果が低下し、高いパッシベーション効果を得られない。また、n型の非晶質シリコン層105が高抵抗となるため、多数キャリアの輸送が妨げられる恐れがある。なお、熱処理温度が400を超える場合には、n型の非晶質シリコン層105中から水素が脱離し始めるため、結晶化が促進される。

40

【0072】

一方、熱処理温度が900を超えると、リン濃度に関係なくパッシベーション効果が著しく低下し始める。したがって、開放電圧の低下につながる。

【0073】

これは、高温の熱処理によってn型の非晶質シリコン層105中のn型のドーパントがトンネル酸化物層104を貫通してn型の単結晶シリコン基板100にまで多量に拡散す

50

ることによって、トンネル酸化層 104 の構造破壊、または、n 型の非晶質シリコン層 105 からドーパントが拡散してしまうことによって、n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 となった場合であっても電界効果の低下が起きるためである。

【0074】

なお、n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 は、ノンドープ（真性）非晶質シリコン層を形成した後に、n 型のドーパントを拡散させて形成してもよい。その場合、ステップ ST 102 において、 SiH_4 を用いた PECVD 法などの化学気相堆積法によって、ノンドープ非晶質シリコン層を形成する。その後、ステップ ST 103 において、 POCl_3 を用いた気相反応および熱拡散、または、リンのイオン注入および熱拡散によって、n 型のドーパントをノンドープ非晶質シリコン層中に拡散させる。

10

【0075】

また、n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 は、 SiH_4 、および、 PH_3 を用いた減圧化学気相堆積（low pressure chemical vapor deposition、すなわち、LPCVD）法などの化学気相堆積法によって、一工程で形成してもよい。その場合、たとえば、500 以上の温度で n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 の成膜を行い、成膜後の熱処理は必要に応じて行えばよい。

【0076】

次に、図 8 に例示されるように、n 型の単結晶シリコン基板 100 の受光面 100A に形成された p 型の不純物拡散源 101 である BSG 膜、および、NSG 膜 102 を、フッ酸を用いて完全に除去する。

20

【0077】

本工程は、ステップ ST 103 の熱処理工程前に行うことも可能である。その場合、熱処理中に p 型の不純物拡散源 101 である BSG 膜からボロンが雰囲気中に拡散することによって、当該ボロンが n 型の非晶質シリコン層 105 に付着し、さらに、拡散することを防ぐことができる。

【0078】

一方で、n 型の非晶質シリコン層 105 から n 型のドーパントが雰囲気中に拡散し、p 型の不純物拡散層 103 中に拡散してしまう可能性がある。ただし、p 型の不純物拡散源 101 である BSG 膜の上面にはキャップ層である NSG 膜 102 が形成されており、ボロンが n 型の非晶質シリコン層 105 中に拡散する可能性の方が低いため、ステップ ST 103 の熱処理後に BSG 膜、および、NSG 膜 102 を除去することが好ましい。

30

【0079】

次に、図 8 に例示されるように、n 型の単結晶シリコン基板 100 の裏面 100B における n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 の下面に、保護膜 107 を形成する（図 3 におけるステップ ST 104 を参照）。

【0080】

保護膜 107 の材料は、たとえば、窒化シリコン、酸化シリコン、窒酸化シリコン、非晶質シリコン、微結晶シリコン、または、ケイ化物などである。また、保護膜 107 は、複数の膜の積層構造であってもよい。

【0081】

ここで、保護膜 107 は、シリコンドープ層である n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 よりも高い硬度を有することが好ましい。これは、保護膜 107 上に電極をスクリーン印刷する際、版との接触または摩擦などによる物理ダメージから n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 を保護するためである。

40

【0082】

また、保護膜 107 の膜中水素濃度は、n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 中の水素濃度よりも高いことが好ましい。保護膜 107 中に十分な水素が含まれていると、熱処理時、および、電極焼成時に当該水素が脱離する。そして、形成された n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 中、および、トンネル酸化層 104 と単結晶シリコン基板 100 との界面のダングリングボンドが、保護膜 107 中から脱離した水素によって終端される。これに

50

よって、n型の結晶系薄膜シリコン層106のパッシベーション効果、および、トンネル酸化層104のパッシベーション効果が向上する。

【0083】

また、保護膜107の膜厚は、たとえば、5nm以上、かつ、200nm未満であることが好ましい。保護膜107の膜厚が薄すぎると、電極が焼成時にn型の結晶系薄膜シリコン層106を突き抜けてn型の単結晶シリコン基板100を浸食することを防げない。また、保護膜107の膜厚が薄すぎると、保護膜107から十分な水素を供給することができないため、n型の結晶系薄膜シリコン層106のパッシベーション効果が低下してしまう。

【0084】

一方で、保護膜107の膜厚が厚すぎる場合であっても、電極がn型の結晶系薄膜シリコン層106に接触しにくくなるため、コンタクト抵抗が増大してしまう。

【0085】

次に、図9に例示されるように、n型の単結晶シリコン基板100の受光面100Aにおけるp型の不純物拡散層103の上面に、受光面100A側の誘電体層108を形成する。そして、誘電体層108の上面に、反射防止膜109を形成する（図3におけるステップST105を参照）。

【0086】

誘電体層108として、たとえば、酸化膜を用いることができる。また、誘電体層108として、たとえば、原子層堆積法（Atomic Layer Deposition : ALD）、または、CVD法によって形成される酸化アルミニウム膜などの誘電体層を用いることができる。特に、酸化アルミニウム膜は負の固定電荷を有しているため、p型の不純物拡散層103に対して優れたパッシベーション効果を発揮することが知られている。誘電体層108の膜厚は、たとえば、2nm以上、かつ、50nm未満である。

【0087】

誘電体層108の上面には、反射防止膜109を形成する。反射防止膜109として、たとえば、プラズマCVD法によって形成される窒化シリコン膜を用いる。反射防止膜109の膜厚は、誘電体層108の厚さに応じて、太陽光スペクトルに対して最適な膜厚、たとえば、30nm以上、かつ、80nm未満程度の膜厚に設計する。

【0088】

最後に、n型の単結晶シリコン基板100の受光面100Aに、受光面電極110を形成する。また、n型の結晶系薄膜シリコン層106の下面に、裏面電極111を形成する（図3におけるステップST106を参照）。これによって、図1および図2に例示された太陽電池が形成される。

【0089】

それぞれの電極は、金属粒子およびガラス粒子を含むペーストをスクリーン印刷法などの塗布法によって、まず、それぞれ反射防止膜109上および保護膜107上に楕円パターン状に塗布する。そして、さらに、それらを乾燥させることによって形成される。

【0090】

ここで、ガラス粒子の含有量は、金属粒子の重量に基づいて、0.5重量%以上、かつ、10.0重量%以下、好ましくは、1.0重量%以上、かつ、3.0重量%以下である。

【0091】

上記のペーストの乾燥は、たとえば、200の乾燥オープン中で10分程度で行う。乾燥後、受光面電極110、および、裏面電極111を800程度の高温で同時に熱処理し、焼成する。

【0092】

この際、受光面100A側では、焼成によって、ガラス粒子が受光面100A側の誘電体層108、および、反射防止膜109をエッチングする。そして、p型の不純物拡散層103が露出し、さらに、受光面電極110がp型の不純物拡散層103に電気的に接続

10

20

30

40

50

する。

【0093】

また、裏面100B側においても同様に、ガラス粒子が保護膜107をエッチングする。そして、n型の結晶系薄膜シリコン層106が露出し、さらに、裏面電極111がn型の結晶系薄膜シリコン層106に電氣的に接続する。

【0094】

従来の裏面電極形成においては、n型の結晶系薄膜シリコン層の下面に直接、蒸着電極、または、めっき電極などを形成する方法、または、n型の結晶系薄膜シリコン層の下面に透明導電膜を成膜し、さらに、透明導電膜の下面に電極を形成する方法が用いられていた。

10

【0095】

これらの方法を本実施の形態に関する電極形成に適用しようとする、焼成時に裏面電極がn型の結晶系薄膜シリコン層を貫通してn型の単結晶シリコン基板を浸食する。また、焼成時の熱によってトンネル酸化物層、および、n型の結晶系薄膜シリコン層を備える構造が劣化する。

【0096】

また、n型の結晶系薄膜シリコン層の下面に直接電極を印刷すると、印刷時にn型の結晶系薄膜シリコン層が傷つき、特性低下が生じる恐れがあった。

【0097】

また、透明導電膜越しに電極を焼成する場合には、透明導電膜の光吸収が大きいため、電流低下が生じる可能性があった。また、透明導電膜越しに電極を焼成する場合、透明導電膜が焼成などの高温処理に対する耐性に乏しいため、電氣的特性の低下、たとえば、電圧低下が生じる可能性があった。

20

【0098】

一方、本実施の形態では、n型の結晶系薄膜シリコン層106上に保護膜107を形成し、保護膜107越しに電極の印刷、および、焼成を行う。そのため、焼成時に電極はn型の単結晶シリコン基板100内まで貫通せず、n型の結晶系薄膜シリコン層106内への浸食にとどめることができる。

【0099】

また、保護膜107は、n型の結晶系薄膜シリコン層106の下面をパッシベーションする。さらに、焼成時に保護膜107中の水素がn型の結晶系薄膜シリコン層106に供給され、n型の結晶系薄膜シリコン層106中、および、トンネル酸化物層104と単結晶シリコン基板100との界面のダングリングボンドを終端する。その結果、少数キャリアの再結合が抑制され、太陽電池特性の向上を見込むことができる。

30

【0100】

また、n型の非晶質シリコン層105の熱処理時のピーク温度、および、電極焼成時のピーク温度は、保護膜107の形成温度よりも高いことが好ましい。熱処理時のピーク温度、および、電極焼成時のピーク温度が保護膜107の形成温度よりも高ければ、熱処理時および電極焼成時に、保護膜107に含まれている水素がn型の結晶系薄膜シリコン層106中、および、トンネル酸化物層104と単結晶シリコン基板100との界面に拡散する。そのため、n型の結晶系薄膜シリコン層106のパッシベーション効果、および、トンネル酸化物層104のパッシベーション効果が向上する。

40

【0101】

図10は、保護膜を形成しない場合、および、保護膜を形成する場合それぞれについての、n型の非晶質シリコン層の熱処理温度[]と、少数キャリアライフタイムから求められる開放電圧の推定値[mV]との関係を例示する図である。

【0102】

まず、保護膜を形成しない場合は、n型の単結晶シリコン基板の上下面にトンネル酸化物層、および、n型の非晶質シリコン層をそれぞれ形成した後、熱処理および焼成を行った。熱処理温度は、たとえば、725 以上、かつ、825 以下とし、焼成は800

50

で行った。評価は、熱処理後および焼成後について、開放電圧の推定値の測定を行った。

【0103】

図10に例示されるように、熱処理後の開放電圧の推定値は、特定の温度までは、熱処理温度の増加に伴い向上した。そして、熱処理後の開放電圧の推定値は、熱処理温度が775の場合でピークとなり、それ以上の熱処理温度では減少していきことが分かった。

【0104】

その後、保護膜を形成せずに焼成を行うと、開放電圧の推定値は低下した。ただし、熱処理温度が低いほど、開放電圧の推定値の低下幅が大きかった。

【0105】

これは、熱処理温度が低い場合、熱処理温度と焼成温度である800との差が大きくなるため、焼成によってn型の結晶系薄膜シリコン層中の水素が多く脱離し、パッシベーション効果が大きく低下するためであると考えられる。

10

【0106】

そのため、保護膜が形成されない場合には、焼成によってパッシベーション効果が低下することを考慮し、熱処理温度を、パッシベーション効果がピークとなる温度よりも高く設定する必要がある。そうすると、最適なアニール温度に設定することができない場合が生じる。その場合、変換効率の低下を免れることができない。

【0107】

次に、保護膜を形成する場合は、熱処理温度は、たとえば、725以上、かつ、800以下とした。そして、800の熱処理後、保護膜の形成後、および、800の焼成処理後のそれぞれについて、開放電圧の推定値を測定した。

20

【0108】

まず、800の熱処理後については、保護膜を形成しない場合と同様に、熱処理後の開放電圧の推定値は、特定の温度までは、熱処理温度の増加に伴い向上した。そして、熱処理後の開放電圧の推定値は、ある温度でピークとなり、それ以上の熱処理温度では減少していきことが分かった。

【0109】

次に、保護膜の形成後では、熱処理温度が低い場合には、開放電圧の推定値が大きく向上した。一方で、熱処理温度が高い場合には、開放電圧の推定値はほとんど変化しなかった。

30

【0110】

この現象については、次のように考えることができる。

【0111】

保護膜の形成によって、n型の結晶系薄膜シリコン層の表面がパッシベーションされる。この状態で低温での熱処理を行った場合には、ドーパントの活性化が不十分となり、n型の結晶系薄膜シリコン層内の再結合サイトが少ない。それとともに、n型の結晶系薄膜シリコン層の電界効果が弱いため、保護膜のパッシベーション効果を得やすい。

【0112】

一方で、高温での熱処理を行った場合には、多くのドーパントが活性化するため、n型の結晶系薄膜シリコン層内の再結合サイトが多い。それとともに、n型の結晶系薄膜シリコン層の電界効果が強いため、保護膜のパッシベーション効果の影響を受けにくい。

40

【0113】

次に、800の焼成処理後では、開放電圧の推定値はわずかに上昇した。これは、保護膜がn型の結晶系薄膜シリコン層からの多量の水素脱離を防ぐとともに、n型の結晶系薄膜シリコン層内、および、トンネル酸化層と単結晶シリコン基板との界面に水素を供給しているためである。

【0114】

以上のことから、n型の結晶系薄膜シリコン層に接触して保護膜が形成されている場合には、n型の結晶系薄膜シリコン層の熱処理温度を、パッシベーション効果がピークとなる温度よりも高く設定する必要がない。

50

【0115】

また、n型の結晶系薄膜シリコン層に接触して保護膜が形成されている場合には、保護膜がキャップ層として機能するため、焼成時のn型の結晶系薄膜シリコン層からの水素脱離を防ぐことができる。そのため、n型の結晶系薄膜シリコン層のパッシベーション効果を最大限に発揮することができる。これによって、高い開放電圧を実現することができる。

【0116】

以上のように、焼成された電極を用いてセルを作製する場合、保護膜を形成しない場合よりも保護膜を形成する場合の方が、焼成ダメージだけでなく、電極浸食による開放電圧の低下も抑制することができる。具体的には、焼成された電極を用いてセルを作製した結果、保護膜を形成する場合、開放電圧の推定値の30mV以上、かつ、50mV以下の向上が見られた。ただし、保護膜の厚さ、および、シリコンドーブ層の厚さがそれぞれの設計範囲において作製されているものとする。

10

【0117】

<第2の実施の形態>

本実施の形態に関する太陽電池、および、太陽電池の製造方法について説明する。以下では、以上に記載された実施の形態で説明された構成と同様の構成については同じ符号を付して図示し、その詳細な説明については適宜省略するものとする。

【0118】

<太陽電池の構成について>

図11は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法で形成された、太陽電池の構造を概略的に例示する平面図である。また、図12は、図11におけるB-B'断面図である。

20

【0119】

また、図13は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を例示するフローチャートである。また、図14から図19は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

【0120】

本実施の形態では、図2におけるn型の単結晶シリコン基板100に代えて、p型の単結晶シリコン基板200を用いる。そのため、導電型が図2における構成と逆となる。

30

【0121】

本実施の形態の太陽電池の製造方法では、図14に例示されるように、p型の単結晶シリコン基板200の受光面200Aに、n型の不純物拡散層203を形成する。

【0122】

そして、図15、および、図16に例示されるように、p型の単結晶シリコン基板200の裏面200Bに、トンネル酸化層204を形成し、さらに、トンネル酸化層204の下面にp型の非晶質シリコン層205を形成する。

【0123】

その後、熱処理を行い、p型の非晶質シリコン層205中に含まれるp型のドーパントを活性化するとともに、p型の非晶質シリコン層205の一部、または、全体を結晶化させ、p型の結晶系薄膜シリコン層206を形成する(図17を参照)。

40

【0124】

この後、図18に例示されるように、p型の結晶系薄膜シリコン層206の下面に保護膜207を形成する。最後に、保護膜207の下面から裏面電極211を印刷し、焼成によって裏面電極211をp型の結晶系薄膜シリコン層206にファイアースルーさせてコンタクトを形成する。

【0125】

<太陽電池の製造方法について>

以下、図13から図19を参照しつつ、特に、第1の実施の形態と異なる点について、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を詳細に説明する。

50

【0126】

図14に例示されるように、p型の単結晶シリコン基板200の受光面200Aに、n型の不純物拡散層203を形成する(図13におけるステップST200を参照)。

【0127】

この工程では、 POCl_3 を用いた気相反応、または、 PH_3 を用いたAPCVD法などの気相法によって、n型の不純物拡散源201としてのPSG膜、および、NSG膜202を形成した後、拡散炉中でリンを熱拡散させる。また、イオン注入によってリンを打ち込み、熱拡散させてもよい。

【0128】

p型の単結晶シリコン基板200の裏面200Bには、図15に例示されるように、トンネル酸化物層204を形成する(図13におけるステップST201を参照)。

10

【0129】

その後、図16に例示されるように、トンネル酸化物層204の下面にp型の非晶質シリコン層205を形成する(図13におけるステップST202を参照)。この工程では、 SiH_4 、または、 B_2H_6 を用いたPECVDなどの化学気相堆積法によって、p型の非晶質シリコン層205を形成する。

【0130】

この後、図17に例示されるように、熱処理を行い、p型の結晶系薄膜シリコン層206を形成する(図13におけるステップST203を参照)。

【0131】

また、第1の実施の形態と同様に、p型の結晶系薄膜シリコン層206は、ノンドーブ非晶質シリコン層を形成した後に、p型のドーパントをドーピングして形成してもよい。また、LPCVDなどの化学気相堆積法によって、p型の結晶系薄膜シリコン層206を一工程で形成してもよい。

20

【0132】

次に、図18に例示されるように、n型の不純物拡散源201としてのPSG膜、および、NSG膜202をフッ酸で除去した後、p型の結晶系薄膜シリコン層206の下面に保護膜207を形成する(図13におけるステップST204を参照)。

【0133】

その後、図19に例示されるように、n型の不純物拡散層203の上面に誘電体層208を形成する。そして、誘電体層208の上面に、反射防止膜209を形成する(図13におけるステップST205を参照)。

30

【0134】

誘電体層208として、たとえば、酸化シリコン膜を用いることができる。また、反射防止膜209として、たとえば、窒化シリコン膜を用いることができる。

【0135】

最後に、p型の単結晶シリコン基板200の受光面200Aに、受光面電極210を形成する。また、p型の結晶系薄膜シリコン層206の下面に、裏面電極211を形成する(図13におけるステップST206を参照)。これによって、図11および図12に例示された太陽電池が形成される。

40

【0136】

それぞれの電極は、金属粒子およびガラス粒子を含むペーストをスクリーン印刷法などの塗布法によって櫛形パターン状に塗布し、さらに、それらを乾燥させることによって形成される。

【0137】

上記のペーストの乾燥は、たとえば、200の乾燥オープン中で10分程度で行う。乾燥後、受光面電極210、および、裏面電極211を800程度の高温で同時に熱処理し、焼成する。

【0138】

この際、受光面200A側では、焼成によって、ガラス粒子が受光面200A側の誘電

50

体層 208、および、反射防止膜 209 をエッチングする。そして、n 型の不純物拡散層 203 が露出し、さらに、受光面電極 210 が n 型の不純物拡散層 203 に電氣的に接続する。

【0139】

また、裏面 200B 側においても同様に、ガラス粒子が保護膜 207 をエッチングする。そして、p 型の結晶系薄膜シリコン層 206 が露出し、さらに、裏面電極 211 が p 型の結晶系薄膜シリコン層 206 に電氣的に接続する。

【0140】

本実施の形態においても、第 1 の実施の形態と同様の効果を奏する。それに加えて、本実施の形態においては、p 型の単結晶シリコン基板 200 を用いた p 型のセルであるため、n 型のセルである場合に比べ、基板が安価である。そのため、製造コストを低減することができる。

10

【0141】

< 第 3 の実施の形態 >

本実施の形態に関する太陽電池、および、太陽電池の製造方法について説明する。以下では、以上に記載された実施の形態で説明された構成と同様の構成については同じ符号を付して図示し、その詳細な説明については適宜省略するものとする。

【0142】

< 太陽電池の製造方法について >

図 20 は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法で形成された、太陽電池の構造を概略的に例示する断面図である。また、図 21 は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を例示するフローチャートである。

20

【0143】

また、図 22 から図 27 は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を例示する太陽電池の断面図である。

【0144】

本実施の形態では、エミッタ層が n 型の単結晶シリコン基板 100 の裏面 100B に設けられ、裏面電界層が n 型の単結晶シリコン基板 100 の受光面 100A に設けられる、バックエミッタ構造の太陽電池が作製される。

【0145】

本実施の形態の太陽電池の製造方法では、図 22 に例示されるように、n 型の単結晶シリコン基板 100 の裏面 100B に、p 型の不純物拡散源 101 として BSG 膜を形成する。そして、p 型の不純物拡散源 101 として BSG 膜の下面に、キャップ層として NSG 膜 102 を形成する。

30

【0146】

そして、n 型の単結晶シリコン基板 100 の裏面 100B に、熱拡散によって p 型の不純物拡散層 103 を形成する（図 21 におけるステップ ST300 を参照）。

【0147】

次に、図 23 に例示されるように、n 型の単結晶シリコン基板 100 の受光面 100A に、トンネル酸化物層 104 を形成する（図 21 におけるステップ ST301 を参照）。そして、図 24 に例示されるように、トンネル酸化物層 104 の上面に、n 型の非晶質シリコン層 105 を形成する（図 21 におけるステップ ST302 を参照）。

40

【0148】

その後、熱処理を行い、図 25 に例示されるように、n 型の非晶質シリコン層 105 から n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 を形成する（図 21 におけるステップ ST303 を参照）。

【0149】

そして、裏面 100B の p 型の不純物拡散源 101 である BSG 膜、および、NSG 膜 102 をフッ酸で除去した後、図 26 に例示されるように、n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 の上面に保護膜 107 を形成する（図 21 におけるステップ ST304 を参照）。

50

【 0 1 5 0 】

保護膜 1 0 7 は、受光面 1 0 0 A に設けられるため、低光吸収材料であることが望ましい。保護膜 1 0 7 としては、単層構造体、または、積層構造体であり、太陽光スペクトルに対して最適な反射率となるような材料を選択する。

【 0 1 5 1 】

また、保護膜 1 0 7 の厚さは、太陽光スペクトルに対して最適な反射率となるような厚さを選択する。たとえば、窒化シリコン膜の単層構造体であれば、6 0 n m 以上、かつ、1 0 0 n m 未満の厚さに設計する。

【 0 1 5 2 】

そして、図 2 7 に例示されるように、裏面 1 0 0 B の p 型の不純物拡散層 1 0 3 の下面に、誘電体層 1 0 8 を形成する。また、誘電体層 1 0 8 の下面に、反射防止膜 1 0 9 を形成する（図 2 1 におけるステップ S T 3 0 5 を参照）。

10

【 0 1 5 3 】

最後に、保護膜 1 0 7 の上面から受光面電極 1 1 0 を印刷し、焼成によって受光面電極 1 1 0 を n 型の結晶系薄膜シリコン層 1 0 6 にファイアスルーさせてコンタクトを形成する。一方、裏面 1 0 0 B にも裏面電極 1 1 1 を印刷し、焼成によって裏面電極 1 1 1 を p 型の不純物拡散層 1 0 3 に電氣的に接続させる（図 2 1 におけるステップ S T 3 0 6 を参照）。

【 0 1 5 4 】

本実施の形態においても、第 1 の実施の形態と同様の効果を奏する。それに加えて、エミッタ層を裏面 1 0 0 B に形成する構造であるため、エミッタ層の下面に形成されるグリッド電極の遮光ロスを考慮する必要がない。したがって、グリッド電極を狭ピッチ化することができ、エミッタ層の高抵抗化が実現することができるため、パッシベーション効果を向上させることができる。

20

【 0 1 5 5 】

< 第 4 の実施の形態 >

本実施の形態に関する太陽電池、および、太陽電池の製造方法について説明する。以下では、以上に記載された実施の形態で説明された構成と同様の構成については同じ符号を付して図示し、その詳細な説明については適宜省略するものとする。

【 0 1 5 6 】

< 太陽電池の構成について >

図 2 8 は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法で形成された、太陽電池の構造を概略的に例示する断面図である。また、図 2 9 は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を例示するフローチャートである。

30

【 0 1 5 7 】

本実施の形態に関する太陽電池は、第 1 の実施の形態における裏面電極 1 1 1 の直下の n 型の単結晶シリコン基板 1 0 0 に、選択的に不純物が拡散された構造である。

【 0 1 5 8 】

< 太陽電池の製造方法について >

以下、図 2 9 を参照しつつ、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を詳細に説明する。ここで、図 2 9 は、本実施の形態に関する太陽電池の製造方法を例示するフローチャートである。

40

【 0 1 5 9 】

まず、n 型の単結晶シリコン基板 1 0 0 を用意する。n 型の単結晶シリコン基板 1 0 0 は、シリコンインゴットをワイヤーソーなどによる機械的切断法を用いてカット、および、スライスすることによって製造される。そのため、表面には汚染、または、ダメージが残存する場合がある。

【 0 1 6 0 】

そこで、水酸化ナトリウム溶液などのアルカリ溶液を用いたウェットエッチングプロセスを実施することによって、n 型の単結晶シリコン基板 1 0 0 の表面に、テクスチャ構造

50

と呼ばれる微小な凹凸構造を形成する。テクスチャ構造の形成には、アルカリ溶液、および、添加剤を用いる。

【0161】

n型の単結晶シリコン基板100の表面における微小な凹凸構造によって、n型の単結晶シリコン基板100に入射する光が、基板表面で多重反射する。したがって、光の反射損失を低減することができる。加えて、光路長の増加によって光吸収が増大する。その結果、短絡電流の向上が見込める。なお、簡単のため、図面にはテクスチャ構造は示されない。

【0162】

テクスチャ構造を形成した後に、たとえば、過酸化水素をベースに、アルカリまたは酸を加えた濃厚薬液を高温で用いる洗浄方法であるRCA洗浄、SPM洗浄、または、HPM洗浄などを行い、n型の単結晶シリコン基板100の表面に付着している有機物、または、金属汚染などによる付着物を取り除く。

10

【0163】

次に、n型の単結晶シリコン基板100の受光面100Aに、p型の不純物拡散層103を形成する(図29におけるステップST400を参照)。

【0164】

n型の単結晶シリコン基板100上に、たとえば、 BBr_3 を用いた気相反応、または、 B_2H_6 を用いたAPCVD法などの気相法によって、p型の不純物拡散源101としてのBSG膜を形成する。その後、拡散炉中でボロンを熱拡散することによって、p型の不純物拡散層103を形成する。

20

【0165】

次に、p型の不純物拡散層103を形成した後に、n型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに、n型の不純物拡散領域112を選択的に形成する(図29におけるステップST407を参照)。n型の不純物拡散領域112は、後述する裏面電極111が形成される領域に対応する位置、たとえば、平面視において裏面電極111が形成される領域と少なくとも一部が重なる領域に形成される。

【0166】

n型の不純物拡散領域112の形成方法の一例としては、ペースト中にリン原子を含むドーパントペーストを用いる方法がある。

30

【0167】

まず、n型の単結晶シリコン基板100の、p型の不純物拡散層103が形成された面とは反対側の裏面100Bに、ドーパントペーストをスクリーン印刷する。

【0168】

ドーパントペーストを印刷する領域は、後に裏面電極111を印刷する領域とする。ドーパントペーストを印刷する領域の幅は、裏面電極111を印刷した際の裏面電極111のアライメントのずれを考慮して、裏面電極111の形成幅よりも広く設計する。

【0169】

ドーパントペーストを印刷した後は、ドーパントペースト中の有機溶媒を取り除くために熱乾燥を行う。その後、拡散炉において、たとえば、700以上の温度でアニールすることによって、印刷されたドーパントペーストからn型の単結晶シリコン基板100へリン原子を拡散させる。

40

【0170】

その後、ドーパントペーストを除去するために、n型の単結晶シリコン基板100をフッ酸溶液に浸漬する。p型の不純物拡散層103の形成する際に生じるBSG膜は、この時に同時に除去することができる。

【0171】

以上の工程によって、n型の不純物拡散領域112を選択的に形成することができる。

【0172】

次に、n型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに、トンネル酸化層104を

50

形成する（図29におけるステップST401を参照）。

【0173】

トンネル酸化物層104の材料には、シリコン酸化膜、または、酸化アルミニウム膜などの誘電体材料を用いることができる。シリコン酸化膜の形成は、たとえば、オゾン水への浸漬によって行うことができる。この場合、所望の厚さの酸化膜が得られるように、オゾン濃度、および、浸漬時間を制御する。

【0174】

また、シリコン酸化膜の形成には、熱酸化、硝酸酸化、PECVD法、ALD法、UV照射、または、オゾン照射などの方法も用いることができる。

【0175】

トンネル酸化物層104の膜厚は、たとえば、0.5nm以上、かつ、5nm未満である。トンネル酸化物層104の膜厚が薄すぎると、多数キャリアのみならず少数キャリアもトンネル酸化物層104を通過してしまう。そのため、再結合の増加によって開放電圧が低下する。また、トンネル酸化物層104の膜厚が厚すぎる場合であっても、多数キャリアのトンネル輸送が妨げられる。そのため、直列抵抗が増加することによって、電気的特性が劣化する。

【0176】

次に、トンネル酸化物層104の下面にn型の非晶質シリコン層105を形成する（図29におけるステップST402を参照）。 SiH_4 、または、 PH_3 を用いたPECVD法などの化学気相堆積法によって、n型の非晶質シリコン層105を形成する。

【0177】

n型の非晶質シリコン層105の膜厚は、たとえば、5nm以上、かつ、100nm未満である。n型の非晶質シリコン層105の膜厚が薄すぎると、電界効果が弱くなる。そして、トンネル接合層における電気的抵抗が増大し、かつ、少数キャリアの追い返し効果も小さくなる。そのため、n型の非晶質シリコン層105の特性が劣化する。

【0178】

一方、n型の非晶質シリコン層105の膜厚が厚いと、熱歪みが大きくなる。そのため、n型の非晶質シリコン層105の膜厚が適正な範囲である場合に比べて、シリコン層のパッシベーション効果が低下することが分かっている。

【0179】

その後、形成された構造を拡散炉に導入し、窒素ガスを流しながら昇温する。そして、一定温度で一定時間保持して、熱処理を行う（図29におけるステップST403を参照）。

【0180】

これによって、n型の非晶質シリコン層105の一部、または、全体が結晶化し、n型の結晶系薄膜シリコン層106に変化する。n型の結晶系薄膜シリコン層106の膜厚は、たとえば、5nm以上、かつ、100nm未満である。また、上記の熱処理によって、n型の非晶質シリコン層105中のn型のドーパントが活性化する。そうすることによって、シート抵抗が低下する。

【0181】

最適なアニール温度は、シリコンドープ層に含まれるリン濃度、または、シリコンドープ層の厚さによって異なる。ここで、n型の非晶質シリコン層105の熱処理時における最も高い温度であるピーク温度は、400以上、かつ、900未満である。

【0182】

熱処理温度が低いと、n型の非晶質シリコン層105の結晶化が十分に促進されない。そのため、裏面100Bにおける電界効果が低下し、高いパッシベーション効果を得られない。また、n型の非晶質シリコン層105が高抵抗となるため、多数キャリアの輸送が妨げられる恐れがある。なお、熱処理温度が400を超える場合には、n型の非晶質シリコン層105中から水素が脱離し始めるため、結晶化が促進される。

【0183】

10

20

30

40

50

一方、熱処理温度が900 を超えると、リン濃度に関係なくパッシベーション効果が著しく低下し始める。したがって、開放電圧の低下につながる。

【0184】

これは、高温の熱処理によってn型の非晶質シリコン層105中のn型のドーパントがトンネル酸化物層104を貫通してn型の単結晶シリコン基板100にまで多量に拡散することによって、トンネル酸化物層104の構造破壊、または、n型の非晶質シリコン層105からドーパントが拡散してしまうことによって、n型の結晶系薄膜シリコン層106となった場合であっても電界効果の低下が起きるためである。

【0185】

なお、n型の結晶系薄膜シリコン層106は、ノンドープ(真性)非晶質シリコン層を形成した後に、n型のドーパントを拡散させて形成してもよい。その場合、ステップST402において、 SiH_4 を用いたPECVD法などの化学気相堆積法によって、ノンドープ非晶質シリコン層を形成する。その後、ステップST403において、 POCl_3 を用いた気相反応および熱拡散、または、リンのイオン注入および熱拡散によって、n型のドーパントをノンドープ非晶質シリコン層中に拡散させる。

10

【0186】

また、n型の結晶系薄膜シリコン層106は、 SiH_4 、および、 PH_3 を用いたLPCVD法などの化学気相堆積法によって、一工程で形成してもよい。その場合、たとえば、500 以上の温度でn型の結晶系薄膜シリコン層106の成膜を行い、成膜後の熱処理は必要に応じて行えばよい。

20

【0187】

次に、n型の単結晶シリコン基板100の受光面100Aに形成されたp型の不純物拡散源101であるBSG膜、および、NSG膜102を、フッ酸を用いて完全に除去する。

【0188】

本工程は、ステップST403の熱処理工程前に行うことも可能である。その場合、熱処理中にp型の不純物拡散源101であるBSG膜からボロンが雰囲気中に拡散することによって、当該ボロンがn型の非晶質シリコン層105に付着し、さらに、拡散することを防ぐことができる。

【0189】

一方で、n型の非晶質シリコン層105からn型のドーパントが雰囲気中に拡散し、p型の不純物拡散層103中に拡散してしまう可能性がある。ただし、p型の不純物拡散源101であるBSG膜の上面にはキャップ層であるNSG膜102が形成されており、ボロンがn型の非晶質シリコン層105中に拡散する可能性の方が低いため、ステップST403の熱処理後にBSG膜、および、NSG膜102を除去することが好ましい。

30

【0190】

次に、n型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bにおけるn型の結晶系薄膜シリコン層106の下面に、保護膜107を形成する(図29におけるステップST404を参照)。

【0191】

保護膜107の材料は、たとえば、窒化シリコン、酸化シリコン、窒酸化シリコン、非晶質シリコン、または、微結晶シリコンなどである。また、保護膜107は、複数の膜の積層構造であってもよい。

40

【0192】

ここで、保護膜107は、シリコンドープ層であるn型の結晶系薄膜シリコン層106よりも高い硬度を有することが好ましい。これは、保護膜107上に電極をスクリーン印刷する際、版との接触または摩擦などによる物理ダメージからn型の結晶系薄膜シリコン層106を保護するためである。

【0193】

また、保護膜107の膜中水素濃度は、n型の結晶系薄膜シリコン層106中の水素濃

50

度よりも高いことが好ましい。保護膜 107 中に十分な水素が含まれていると、熱処理時、および、電極焼成時に当該水素が脱離する。そして、形成された n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 中、および、トンネル酸化層 104 と単結晶シリコン基板 100 との界面のダングリングボンドが、保護膜 107 中から脱離した水素によって終端される。これによって、n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 のパッシベーション効果、および、トンネル酸化層 104 のパッシベーション効果が向上する。

【0194】

また、保護膜 107 の膜厚は、たとえば、5 nm 以上、かつ、200 nm 未満であることが好ましい。保護膜 107 の膜厚が薄すぎると、電極が焼成時に n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 を突き抜けて n 型の単結晶シリコン基板 100 を浸食することを防げない。また、保護膜 107 の膜厚が薄すぎると、保護膜 107 から十分な水素を供給することができないため、n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 のパッシベーション効果が低下してしまう。

10

【0195】

一方で、保護膜 107 の膜厚が厚すぎる場合であっても、電極が n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 に接触しにくくなるため、コンタクト抵抗が増大してしまう。

【0196】

次に、n 型の単結晶シリコン基板 100 の受光面 100A における p 型の不純物拡散層 103 の上面に、受光面 100A 側の誘電体層 108 を形成する。そして、誘電体層 108 の上面に、反射防止膜 109 を形成する（図 29 におけるステップ ST405 を参照）

20

【0197】

誘電体層 108 として、たとえば、酸化膜を用いることができる。また、誘電体層 108 として、たとえば、ALD、または、CVD 法によって形成される酸化アルミニウム膜などの誘電体層を用いることができる。特に、酸化アルミニウム膜は負の固定電荷を有しているため、p 型の不純物拡散層 103 に対して優れたパッシベーション効果を発揮することが知られている。誘電体層 108 の膜厚は、たとえば、2 nm 以上、かつ、50 nm 未満である。

【0198】

誘電体層 108 の上面には、反射防止膜 109 を形成する。反射防止膜 109 として、たとえば、プラズマ CVD 法によって形成される窒化シリコン膜を用いる。反射防止膜 109 の膜厚は、誘電体層 108 の厚さに応じて、太陽光スペクトルに対して最適な膜厚、たとえば、30 nm 以上、かつ、80 nm 未満程度の膜厚に設計する。

30

【0199】

最後に、n 型の単結晶シリコン基板 100 の受光面 100A に、受光面電極 110 を形成する。また、n 型の結晶系薄膜シリコン層 106 の下面に、裏面電極 111 を形成する（図 29 におけるステップ ST406 を参照）。これによって、図 1 および図 2 に例示された太陽電池が形成される。

【0200】

それぞれの電極は、金属粒子およびガラス粒子を含むペーストをスクリーン印刷法などの塗布法によって、まず、それぞれ反射防止膜 109 上および保護膜 107 上に櫛形パターン状に塗布する。そして、さらに、それらを乾燥させることによって形成される。

40

【0201】

ここで、ガラス粒子の含有量は、金属粒子の重量に基づいて、0.5 重量% 以上、かつ、10.0 重量% 以下、好ましくは、1.0 重量% 以上、かつ、3.0 重量% 以下である。

【0202】

上記のペーストの乾燥は、たとえば、200 の乾燥オープン中で 10 分程度で行う。乾燥後、受光面電極 110、および、裏面電極 111 を 800 程度の高温で同時に熱処理し、焼成する。

50

【0203】

この際、受光面100A側では、焼成によって、ガラス粒子が受光面100A側の誘電体層108、および、反射防止膜109をエッチングする。そして、p型の不純物拡散層103が露出し、さらに、受光面電極110がp型の不純物拡散層103に電氣的に接続する。

【0204】

また、裏面100B側においても同様に、ガラス粒子が保護膜107をエッチングする。そして、n型の結晶系薄膜シリコン層106が露出し、さらに、裏面電極111がn型の結晶系薄膜シリコン層106に電氣的に接続する。

【0205】

また、不純物拡散領域112は、イオンインプランテーション法を用いて形成することによって、上記のドーパントペーストによる形成時の熱拡散または洗浄などの工程を省略することができる。

【0206】

また、不純物拡散領域112の他の形成方法としては、たとえば、POC13、または、APCVDによってPSG膜をn型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに形成し、その上から、不純物拡散領域112を形成したい領域にレーザーをスキャンする方法がある。当該方法は、局所的にn型の単結晶シリコン基板100を加熱することによって、不純物を拡散させるレーザードーピング法である。

【0207】

図30は、以上のような方法で製造された太陽電池の開放電圧特性を例示する図である。

【0208】

図30では、本実施の形態に関する太陽電池Cの比較例として、第1の実施の形態の構成と同様である不純物拡散領域112が形成されていない場合の太陽電池Aと、不純物拡散領域がn型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに均等に形成されている場合の太陽電池Bとを、同時に作製し評価する。

【0209】

本実施の形態に関する太陽電池Cは、開放電圧値が726mVであった。当該値は、太陽電池A、太陽電池B、および、太陽電池Cの中で最も高い値であった。一方で、不純物拡散領域がn型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに均等に形成されている場合の太陽電池Bにおいても、第1の実施の形態の構成と同様である不純物拡散領域112が形成されていない場合の太陽電池Aと比較して、高い開放電圧値が得られた。

【0210】

これらの結果は、保護膜107によって完全に緩和することのできなかつたn型の単結晶シリコン基板100へのダメージも、不純物拡散領域112によって緩和できていることを示している。

【0211】

不純物拡散領域112を設けることによって、少数キャリアがn型の単結晶シリコン基板100側へ追い返される。したがって、焼成する際に、一部でn型の単結晶シリコン基板100に侵食していた電極の、近傍におけるキャリア再結合は減少する。

【0212】

また、不純物拡散領域がn型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに均等に形成されている場合では、不純物の拡散領域においてはオージェ再結合が増加する。そのため、不純物の拡散領域は、裏面電極111の直下のみを選択的に形成されていることが好ましい。これらのことから、不純物拡散領域112を備える太陽電池Bにおいて、最も高い開放電圧値が得られる。

【0213】

<以上に記載された実施の形態によって生じる効果について>

以下に、以上に記載された実施の形態によって生じる効果を例示する。なお、以下では

10

20

30

40

50

、以上に記載された実施の形態に例示された具体的な構成に基づいて当該効果が記載されるが、同様の効果が生じる範囲で、本願明細書に例示される他の具体的な構成と置き換えられてもよい。

【0214】

また、当該置き換えは、複数の実施の形態に跨ってなされてもよい。すなわち、異なる実施の形態において例示されたそれぞれの構成が組み合わされて、同様の効果が生じる場合であってもよい。

【0215】

以上に記載された実施の形態によれば、太陽電池は、トンネル酸化層104と、第1の導電型の半導体層と、保護膜107と、電極とを備える。ここで、n型の結晶系薄膜シリコン層106は、第1の導電型の半導体層に対応するものである。また、裏面電極111は、電極に対応するものである。トンネル酸化層104は、半導体基板上、たとえば、半導体基板の裏面に形成される。ここで、n型の単結晶シリコン基板100は、半導体基板に対応するものである。n型の結晶系薄膜シリコン層106は、トンネル酸化層104上、たとえば、トンネル酸化層104の下面に形成される。保護膜107は、n型の結晶系薄膜シリコン層106上、たとえば、n型の結晶系薄膜シリコン層106の下面に形成される。裏面電極111は、保護膜107上から保護膜107を貫通し、かつ、n型の結晶系薄膜シリコン層106に接触して形成される。そして、裏面電極111は、ガラス粒子を含む焼成電極である。

【0216】

このような構成によれば、焼成によって裏面電極111を形成する場合において、n型の結晶系薄膜シリコン層106上に形成された保護膜107が、焼成される裏面電極111によってn型の結晶系薄膜シリコン層106が突き破られること、さらには、n型の結晶系薄膜シリコン層106を突き破った裏面電極111がn型の単結晶シリコン基板100にまで到達することを防ぐことができる。したがって、トンネル酸化層104、および、n型の結晶系薄膜シリコン層106を含むトンネル接合層の浸食ダメージ、印刷ダメージ、または、電流ロスなどの特性低下を抑制することができる。また、保護膜107が、熱処理、または、焼成によってn型の結晶系薄膜シリコン層106、トンネル酸化層104、および、単結晶シリコン基板100から水素が多量に脱離することを抑制することによって、n型の結晶系薄膜シリコン層106のパッシベーション効果、および、トンネル酸化層104のパッシベーション効果が低下することを抑制する。これらによって、量産性、および、信頼性の高い太陽電池を製造することができる。また、保護膜107が高温処理にも耐えうるため、製造プロセスが限定されない。また、焼成によって、信頼性が高く、かつ、低抵抗である銀電極を形成することができるため、太陽電池の変換効率の向上を実現することができる。

【0217】

なお、これらの構成以外の本願明細書に例示される他の構成については適宜省略することができる。すなわち、これらの構成のみで、以上に記載された効果を生じさせることができる。

【0218】

しかしながら、本願明細書に例示される他の構成のうち少なくとも1つを以上に記載された構成に適宜追加した場合、すなわち、以上に記載された構成としては記載されなかった本願明細書に例示される他の構成を以上に記載された構成に追加した場合でも、同様に以上に記載された効果を生じさせることができる。

【0219】

また、以上に記載された実施の形態によれば、n型の結晶系薄膜シリコン層106の膜厚が、5nm以上、かつ、100nm未満である。このような構成によれば、n型の結晶系薄膜シリコン層106が適正な膜厚であることによって、電極のn型の単結晶シリコン基板100への浸食を防ぐことができる。また、n型の結晶系薄膜シリコン層106が、高いパッシベーション効果を得ることができる。

【0220】

また、以上に記載された実施の形態によれば、保護膜107の膜厚が、5nm以上、かつ、200nm未満である。このような構成によれば、保護膜107の膜厚が5nm以上であることによって、電極が焼成時に、n型の結晶系薄膜シリコン層106を突き抜けてn型の単結晶シリコン基板100へ浸食することを抑制することができる。また、保護膜107の膜厚が200nm未満であることによって、ファイアスルー性を損なわず、直列抵抗の増加を抑えることができる。

【0221】

また、以上に記載された実施の形態によれば、保護膜107の硬度が、n型の結晶系薄膜シリコン層106の硬度よりも高い。このような構成によれば、保護膜107上に電極をスクリーン印刷する際、版との接触または摩擦などによる物理的なダメージからn型の結晶系薄膜シリコン層106を保護することができる。したがって、n型の結晶系薄膜シリコン層106の特性劣化を抑制することができる。

10

【0222】

また、以上に記載された実施の形態によれば、n型の単結晶シリコン基板100の導電型が、第1の導電型である。このような構成によれば、焼成によって裏面電極111を形成する場合において、n型の結晶系薄膜シリコン層106上に形成された保護膜107が、焼成される裏面電極111によってn型の結晶系薄膜シリコン層106が突き破られること、さらには、n型の結晶系薄膜シリコン層106を突き破った裏面電極111がn型の単結晶シリコン基板100にまで到達することを防ぐことができる。

20

【0223】

また、以上に記載された実施の形態によれば、太陽電池の製造方法において、n型の単結晶シリコン基板100上、たとえば、n型の単結晶シリコン基板100の裏面100Bに、トンネル酸化物層104を形成する。そして、トンネル酸化物層104上、たとえば、トンネル酸化物層104の下面に、第1の導電型の半導体層を形成する。ここで、n型の非晶質シリコン層105は、この段階、すなわち、熱処理される前の段階の第1の導電型の半導体層に対応するものである。そして、n型の非晶質シリコン層105に対し、400以上の温度で熱処理を行う。ここで、n型の結晶系薄膜シリコン層106は、熱処理された第1の導電型の半導体層に対応するものである。そして、熱処理されたn型の結晶系薄膜シリコン層106上、たとえば、n型の結晶系薄膜シリコン層106の下面に、保護膜107を形成する。そして、保護膜107上、たとえば、保護膜107の下面に、裏面電極111を印刷する。そして、焼成によって、裏面電極111とn型の結晶系薄膜シリコン層106とを電気的に接続させる。

30

【0224】

このような構成によれば、焼成によって裏面電極111を形成する場合において、n型の結晶系薄膜シリコン層106上に形成された保護膜107が、焼成される裏面電極111によってn型の結晶系薄膜シリコン層106が突き破られること、さらには、n型の結晶系薄膜シリコン層106を突き破った裏面電極111がn型の単結晶シリコン基板100にまで到達することを防ぐことができる。したがって、トンネル酸化物層104、および、n型の結晶系薄膜シリコン層106を含むトンネル接合層の浸食ダメージ、印刷ダメージ、または、電流ロスなどの特性低下を抑制することができる。また、保護膜107が高温処理にも耐えうるため、製造プロセスが限定されない。また、焼成によって、信頼性が高く、かつ、低抵抗である銀電極を形成することができるため、太陽電池の変換効率の向上を実現することができる。

40

【0225】

なお、これらの構成以外の本願明細書に例示される他の構成については適宜省略することができる。すなわち、これらの構成のみで、以上に記載された効果を生じさせることができる。

【0226】

しかしながら、本願明細書に例示される他の構成のうちの少なくとも1つを以上に記載

50

された構成に適宜追加した場合、すなわち、以上に記載された構成としては記載されなかった本願明細書に例示される他の構成を以上に記載された構成に追加した場合でも、同様に以上に記載された効果を生じさせることができる。

【0227】

また、特に制限がない限り、それぞれの処理の実施の順序は変更することができる。

【0228】

また、以上に記載された実施の形態によれば、太陽電池の製造方法において、トンネル酸化層104上に、n型の非晶質シリコン層105を形成することは、トンネル酸化層104上に、真性半導体層、すなわち、ノンドープの半導体層を形成し、ノンドープの半導体層に対し400以上の温度で熱処理を行うことによって、ノンドープの半導体層内に第1の導電型のドーパントを拡散させて、n型の非晶質シリコン層105を形成することである。このような構成によれば、焼成によって裏面電極111を形成する場合において、n型の結晶系薄膜シリコン層106上に形成された保護膜107が、焼成される裏面電極111によってn型の結晶系薄膜シリコン層106が突き破られること、さらには、n型の結晶系薄膜シリコン層106を突き破った裏面電極111がn型の単結晶シリコン基板100にまで到達することを防ぐことができる。

10

【0229】

また、以上に記載された実施の形態によれば、太陽電池の製造方法において、トンネル酸化層104上に、n型の非晶質シリコン層105を形成し、同時に、n型の非晶質シリコン層105に対し、400以上の温度で熱処理を行う。このような構成によれば、n型の結晶系薄膜シリコン層106が一工程で形成されるため、工程が簡便となる。

20

【0230】

また、以上に記載された実施の形態によれば、太陽電池の製造方法において、n型の非晶質シリコン層105に対して熱処理を行う際のピーク温度、および、焼成によって、裏面電極111とn型の結晶系薄膜シリコン層106とを電気的に接続させる際のピーク温度が、保護膜107を形成する際の温度よりも高い。このような構成によれば、熱処理時および電極焼成時に、保護膜107に含まれている水素がn型の結晶系薄膜シリコン層106中に拡散するため、n型の結晶系薄膜シリコン層106のパッシベーション効果が向上する。

【0231】

また、以上に記載された実施の形態によれば、太陽電池の製造方法において、保護膜107中の水素濃度が、熱処理されたn型の結晶系薄膜シリコン層106中の水素濃度よりも高い。このような構成によれば、保護膜107中に十分な水素が含まれていることによって、保護膜107から脱離した当該水素が、熱処理などによって形成されたn型の結晶系薄膜シリコン層106中のダングリングボンドを終端する。したがって、n型の結晶系薄膜シリコン層106のパッシベーション効果が向上する。また、焼成工程において、n型の結晶系薄膜シリコン層106から水素が多量に脱離することを抑制することができる。

30

【0232】

<以上に記載された実施の形態における変形例について>

以上に記載された実施の形態では、それぞれの構成要素の材質、材料、寸法、形状、相対的配置関係または実施の条件などについても記載する場合があるが、これらはすべての局面において例示であって、本願明細書に記載されたものに限られることはないものとする。

40

【0233】

したがって、例示されていない無数の変形例が、本願明細書に開示される技術の範囲内において想定される。たとえば、少なくとも1つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも1つの実施の形態における少なくとも1つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

50

【0234】

また、矛盾が生じない限り、以上に記載された実施の形態において「1つ」備えられるものとして記載された構成要素は、「1つ以上」備えられていてもよいものとする。

【0235】

さらに、以上に記載された実施の形態におけるそれぞれの構成要素は概念的な単位であって、本願明細書に開示される技術の範囲内には、1つの構成要素が複数の構造物から成る場合と、1つの構成要素がある構造物の一部に対応する場合と、さらには、複数の構成要素が1つの構造物に備えられる場合とを含むものとする。

【0236】

また、以上に記載された実施の形態におけるそれぞれの構成要素には、同一の機能を発揮する限り、他の構造または形状を有する構造物が含まれるものとする。

10

【0237】

また、本願明細書における説明は、本技術に関するすべての目的のために参照され、いずれも、従来技術であると認めるものではない。

【0238】

また、以上に記載された実施の形態において、特に指定されずに材料名などが記載された場合は、矛盾が生じない限り、当該材料に他の添加物が含まれた、たとえば、合金などが含まれるものとする。

【符号の説明】

【0239】

100, 200 単結晶シリコン基板、100A, 200A 受光面、100B, 200B 裏面、101, 201 不純物拡散源、102, 202 NSG膜、103, 203 不純物拡散層、104, 204 トンネル酸化物層、105, 205 非晶質シリコン層、106, 206 結晶系薄膜シリコン層、107, 207 保護膜、108, 208 誘電体層、109, 209 反射防止膜、110, 210 受光面電極、110B バス電極、110G グリッド電極、111, 211 裏面電極、112 不純物拡散領域。

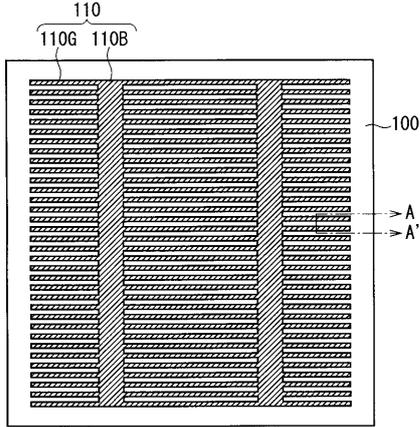
20

【要約】

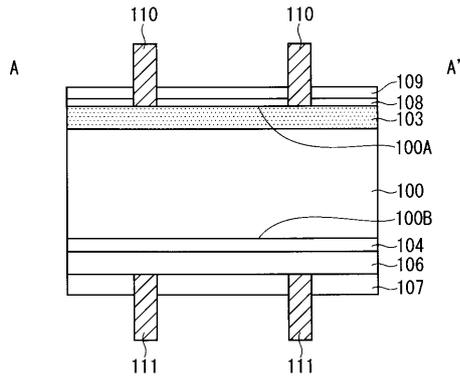
本願明細書に開示される技術は、焼成電極を備えつつ、焼成に起因するダメージを抑制することができる技術に関するものである。本技術に関する太陽電池は、半導体基板(100)上に形成されるトンネル酸化物層(104)と、トンネル酸化物層(104)上に形成される第1の導電型の半導体層(106)と、半導体層(106)上に形成される保護膜(107)と、保護膜(107)上から保護膜(107)を貫通し、かつ、半導体層(106)に接触して形成される電極(111)とを備え、電極(111)は、ガラス粒子を含む焼成電極である。

30

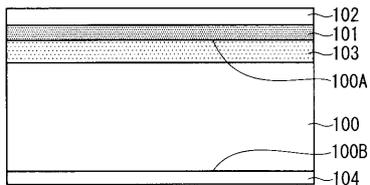
【図1】



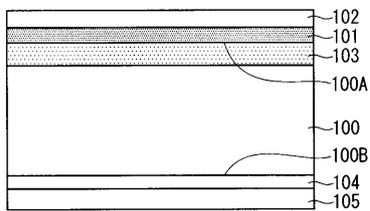
【図2】



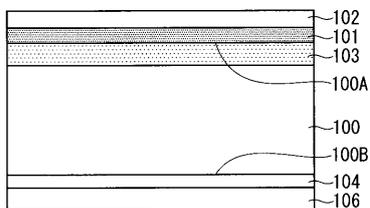
【図5】



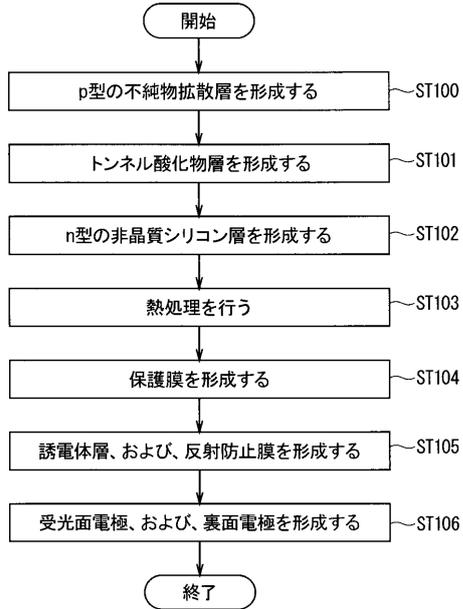
【図6】



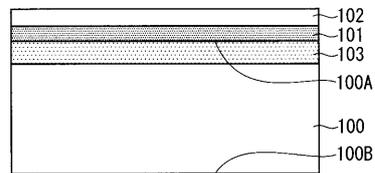
【図7】



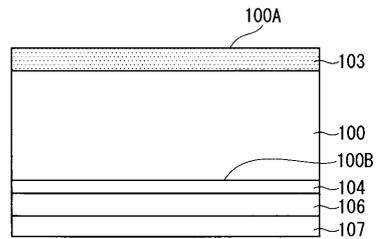
【図3】



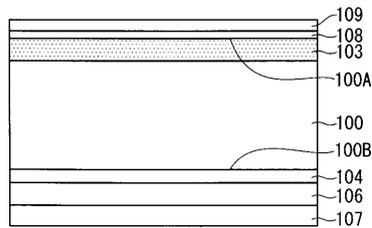
【図4】



【図8】



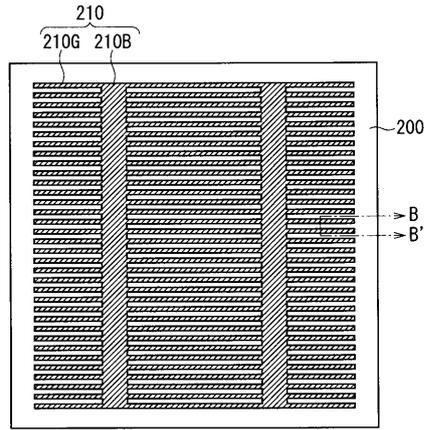
【図9】



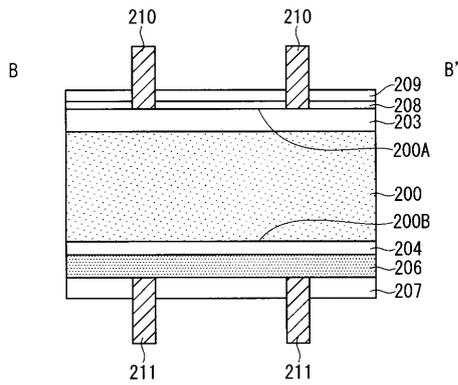
【図10】

	725	750	775	800	825
熱処理温度(°C)	725	750	775	800	825
保護膜なし	熱処理後	666	677	696	684
	焼成後	638	654	688	678
保護膜あり	熱処理後	676	694	670	
	保護膜形成後	707	712	693	
焼成後	712			672	
開放電圧の推定値(mV)					

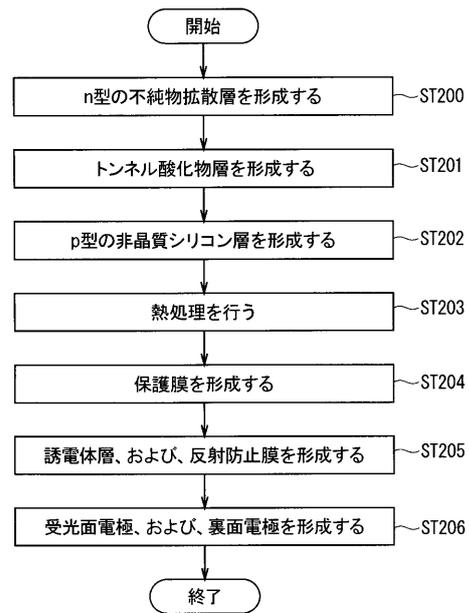
【図11】



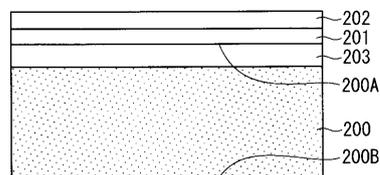
【図12】



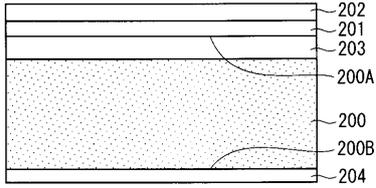
【図13】



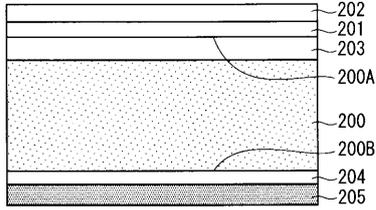
【図14】



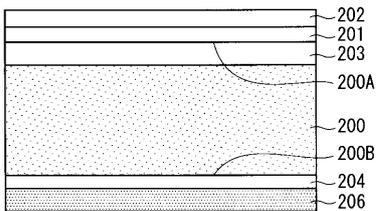
【図15】



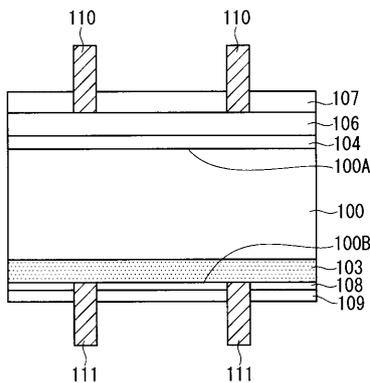
【図16】



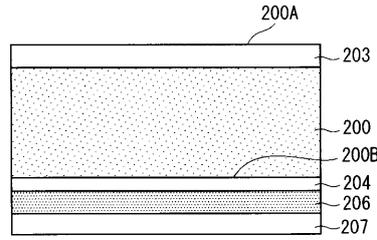
【図17】



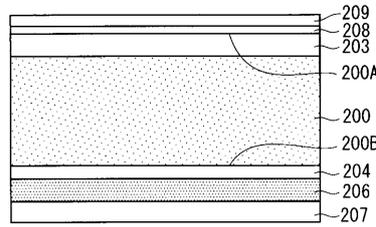
【図20】



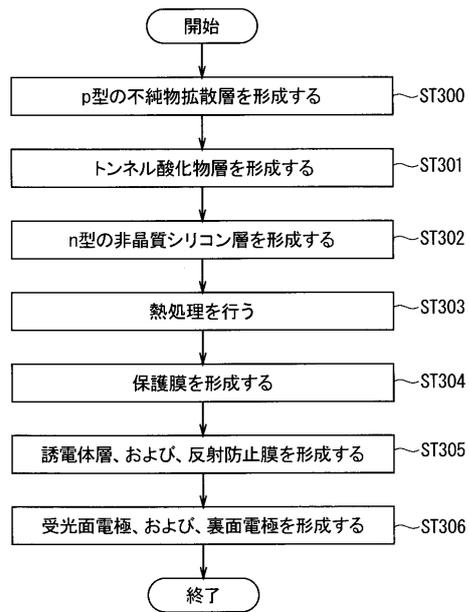
【図18】



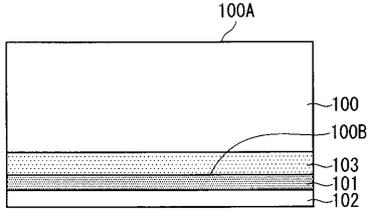
【図19】



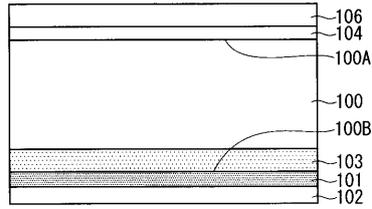
【図21】



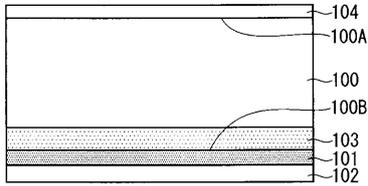
【図22】



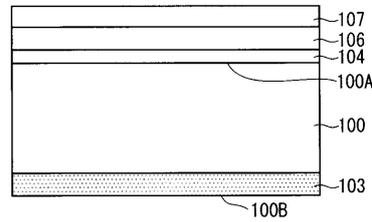
【図25】



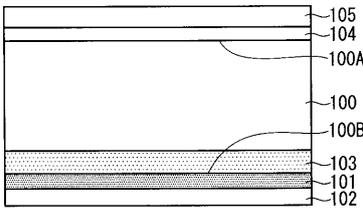
【図23】



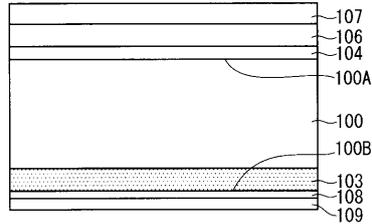
【図26】



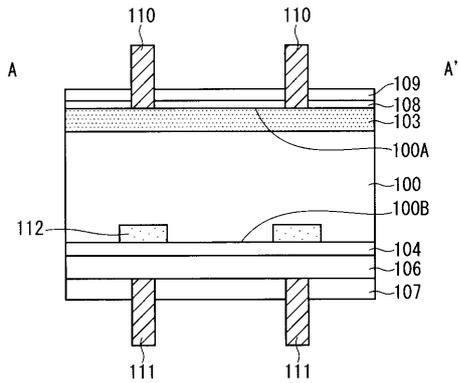
【図24】



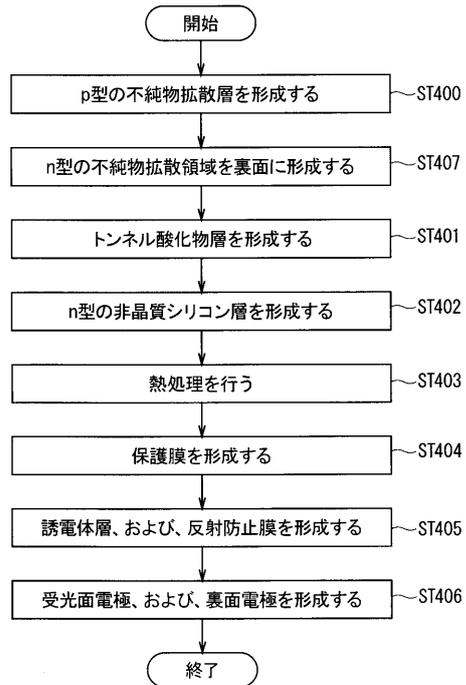
【図27】



【図28】



【図29】



【図30】

	太陽電池A	太陽電池B	太陽電池C
開放電圧 (mV)	692	720	726

フロントページの続き

(72)発明者 森岡 孝之
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 嵯峨根 多美

(56)参考文献 特開2016-005003(JP,A)
特開2014-204128(JP,A)
特開2013-150021(JP,A)
特開2014-112600(JP,A)
国際公開第2006/137322(WO,A1)
特開2014-007194(JP,A)
米国特許第07468485(US,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 31/0216
H01L 31/0224
H01L 31/0747