明　細　書

発明の名称 ： 太陽電池素子の製造方法及び太陽電池素子

技術分野

[0001] 本発明は、太陽電池素子の製造方法及びこれにより得られる太陽電池素子に関する。

背景技術

[0002] 一般に、従来の太陽電池素子は、図１に示す構造を有する。図１において、１は、例えば大きさが１００～１５０ｍｍ角、厚みが０．１～０．３ｍｍの板状で、かつ、多結晶や単結晶シリコン等からなり、ボロン等のｐ型不純物がドープされたｐ型の半導体基板である。この基板１に、リン等のｎ型不純物をドープしてｎ型拡散層２を形成し、ＳｉＮ（窒化シリコン）などの反射防止膜３を設け、スクリーン印刷法を用いて、裏面に導電性アルミニウムペーストを印刷した後、乾燥・焼成することで裏面電極６とＢＳＦ（Ｂａｃｋ　Ｓｕｒｆａｃｅ　Ｆｉｅｌｄ）層４を同時に形成し、表面に導電性銀ペーストを印刷後、乾燥して焼成し、集電極（表面電極）５を形成することで製造される。なお、以下、太陽電池の受光面側となる基板の面を表面、受光面側と反対側になる基板の面を裏面とする。

このようなスクリーン印刷法による集電極形成にあっては、１回の印刷処理で１００μｍの線幅に対して３０μｍの厚さが限界であり、厚みのばらつきも大きい。このため、抵抗が高くなってしまい、変換効率の向上を阻害する要因となっている。

[0003] 上記のような集電極の抵抗値の低減化を図るため、複数回のスクリーン印刷により集電極を形成するにあたって、複数回のスクリーン印刷処理毎に、使用するスクリーンメッシュのパターンを異ならせるような方法が検討されている（例えば、特開２０１０－１０３５７２号公報参照）。このような方法により製造される太陽電池素子は、一般に図２に示す構造を有する。重ね合わせ印刷を行うことにより、表面電極の高さが高くなっている。なお、図

中７は二層目の表面電極を示す。

[0004] しかし、スクリーンメッシュのパターンが異なると、それぞれのパターンにより印圧をかけたときの伸びの具合などが異なるため、印刷精度に悪影響が出て、集電極を正確に重ね合わせることが困難になる。そのため集電極のズレが発生し、結果的に太陽電池素子の変換効率が低下したり、集電極の部分的な太りによる外観上の問題が発生したりする。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明は、上記事情に鑑みなされたもので、集電極を精度よく印刷することができると共に、抵抗値を低減させることができ、良好な電気特性を有し、しかも製造タクトを短縮することができる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

[0006] 本発明者らは、上記目的を達成するため鋭意検討を行った結果、複数回のスクリーン印刷による集電極形成において、二回目以降のスクリーン印刷時のスキージ速度を、一回目のスクリーン印刷時のスキージ速度以上に速くすることで、集電極の抵抗値の低減を可能にすることを見出した。これにより、スクリーンメッシュのパターン変更による集電極のズレなどを発生させることなく、更に製造タクトを短縮することが可能になり、このような信頼性及び外観を損ねることなく、更に製造タクトを短縮することのできるスクリーン印刷方法によって集電極を形成することが、太陽電池素子の製造に有利であることを知見し、本発明をなすに至った。

[0007] 従って、本発明は、集電極を有する太陽電池素子の製造方法であって、前記集電極の形成を、集電極形成位置における導電性ペーストのスクリーン印刷の重ね合わせを複数回行うと共に、該導電性ペーストの複数回の重ね印刷において、二回目以降のスクリーン印刷時のスキージ速度を一回目のスクリーン印刷時のスキージ速度以上で行うことを特徴とする太陽電池素子の製造方法、及びこれによって得られた太陽電池素子を提供する。

この場合、前記二回目以降のスクリーン印刷時のスキージ速度の値から、一回目のスクリーン印刷時のスキージ速度の値を引いた結果が、０ｍｍ／秒以上３００ｍｍ／秒以下であることが好ましい。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、太陽電池素子に対し集電極のスクリーン印刷を行うに際して、一回目の集電極印刷速度以上の速度で二回目以降の集電極印刷を行うことで、信頼性及び外観を損ねることなく太陽電池の電気特性を改善することができるのみならず、太陽電池素子の製造タクトを短縮することができる。これは高い電気特性を持つ太陽電池素子の製造方法に広く利用することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]太陽電池素子の構造を示す断面図である。

[図2]複数回のスクリーン印刷により表面電極を形成した太陽電池素子の構造を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の実施形態を詳細に説明する。しかし、本発明は下記説明に加えて広範な他の実施形態で実施することが可能であり、本発明の範囲は、下記に制限されるものではなく、特許請求の範囲に記載されるものである。更に、図面は原寸に比例して示されていない。本発明の説明や理解をより明瞭にするために、関連部材によっては寸法が拡大されており、また、重要でない部分については図示されていない。

[0011] 前述したように、図１は太陽電池素子の一般的な構造を示す断面図である。図１において、１は半導体基板、２は拡散層（拡散領域）、３は反射防止膜兼パッシベーション膜、４はＢＳＦ層、５は集電極（表面電極）、６は裏面電極を示す。

[0012] ここで、図１に示す太陽電池素子の製造工程を説明する。

まず、半導体基板１を用意する。この半導体基板１は、単結晶又は多結晶シリコンなどからなり、ｐ型、ｎ型のいずれでもよい。半導体基板１は、ボ

ロンなどのｐ型の半導体不純物を含み、比抵抗は０．１～４．０Ω・ｃｍのｐ型シリコン基板が用いられることが多い。

以下、ｐ型シリコン基板を用いた太陽電池素子の製造方法を例にとって説明する。大きさは１００～１５０ｍｍ角、厚みは０．０５～０．３０ｍｍの板状のものが好適に用いられる。そして、太陽電池素子の受光面となるｐ型シリコン基板の表面に、例えば酸性溶液中に浸漬してスライスなどによる表面のダメージを除去してから、更にアルカリ溶液で化学エッチングして洗浄、乾燥することで、テクスチャとよばれる凹凸構造を形成する。凹凸構造は、太陽電池素子受光面において光の多重反射を生じさせる。そのため、凹凸構造を形成することにより、実効的に反射率が低減し、変換効率が向上する。

[0013] その後、例えば$POCl_3$などを含む、約８５０℃以上の高温ガス中にｐ型シリコン基板を設置し、ｐ型シリコン基板の全面にリン等のｎ型不純物元素を拡散させる熱拡散法により、シート抵抗が３０～３００Ω／□程度のｎ型拡散層２を表面に形成する。なお、ｎ型拡散層を熱拡散法により形成する場合には、ｐ型シリコン基板の両面及び端面にもｎ型拡散層が形成されることがあるが、この場合には、必要なｎ型拡散層の表面を耐酸性樹脂で被覆したｐ型シリコン基板をフッ硝酸溶液中に浸漬することによって、不要なｎ型拡散層を除去することができる。その後、例えば希釈したフッ酸溶液などの薬品に浸漬させることにより、拡散時に半導体基板の表面に形成されたガラス層を除去し、純水で洗浄する。

[0014] 更に、上記ｐ型シリコン基板の表面側に反射防止膜兼パッシベーション膜３を形成する。この反射防止膜兼パッシベーション膜は、例えばＳｉＮなどからなり、例えばSiH_4とNH_3との混合ガスをN_2で希釈し、グロー放電分解でプラズマ化させて堆積させるプラズマＣＶＤ法などで形成される。この反射防止膜兼パッシベーション膜は、ｐ型シリコン基板との屈折率差などを考慮して、屈折率が１．８～２．３程度になるように形成され、厚み５００～１，０００Å程度の厚みに形成され、ｐ型シリコン基板の表面で光が反射す

るのを防止して、ｐ型シリコン基板内に光を有効に取り込むために設けられる。また、このＳｉＮは、形成の際にｎ型拡散層に対してパッシベーション効果があるパッシベーション膜としても機能し、反射防止の機能と併せて太陽電池素子の電気特性を向上させる効果がある。

[0015] 次に、裏面に、例えばアルミニウムとガラスフリットとワニスなどを含む導電性ペーストをスクリーン印刷し、乾燥させる。しかる後、表面に、例えば銀とガラスフリットとワニスなどを含む導電性ペーストをスクリーン印刷し、乾燥させる。この後、各電極用ペーストを５００～９５０℃程度の温度で焼成することで、ＢＳＦ層４と表面電極（即ち集電極）５と裏面電極６とを形成する。

[0016] 上記のような典型的な結晶シリコン太陽電池素子の製造方法においては、集電極の抵抗値が高いため、高い電気特性をもつ太陽電池素子が得られない。本発明にかかる太陽電池素子の製造方法は、上記スクリーン印刷法による集電極形成工程の後に、更に集電極形成位置における導電性ペーストのスクリーン印刷を、一回目のスキージ速度以上に速いスキージ速度で複数回行うことで形成することにより、上記太陽電池素子の電気特性を高めることを特徴とする。かかるスクリーン印刷工程による電気特性の向上は、以下の理由によるものである。

[0017] 典型的なスクリーン印刷法の場合、銀などを含む導電性ペーストにより一回目に集電極を形成する際のスキージ速度は５０～３００ｍｍ／秒である。これより遅いと、印刷対象物であるシリコン基板とペーストの版離れが悪くなってペーストがにじんだり、膜厚が不均等になったりという問題が生じる。一方、これより速いと、前記版離れが急速に発生してペーストが十分にシリコン基板に転写されず、集電極がかすれたり、膜厚が薄くなったりという問題が生じる。しかし、スクリーン印刷の重ね合わせによる集電極の形成を二回目以降に行う場合は、印刷対象物がシリコン基板でなく一層目の集電極であるため、印刷対象物とペーストの版離れの状態が一回目の時点と異なる。シリコン基板表面と比較すると、一層目の集電極は表面状態が粗く、ペー

ストに含まれるワニスなどが馴染みやすくなっている。そのため、一層目の集電極を印刷したとき以上にスキージ速度を速くして印刷することで、ペーストと下地の版離れが良くなり、ペースト塗布量が増大し、結果集電極の膜厚が厚くなって抵抗値が低減され、太陽電池素子の電気特性を高くすることができる。

この場合、前記二回目以降のスクリーン印刷時のスキージ速度の値から、一回目のスクリーン印刷時のスキージ速度の値を引いた結果が、０ｍｍ／秒以上３００ｍｍ／秒以下、好ましくは１０ｍｍ／秒～１００ｍｍ／秒、更に好ましくは４０ｍｍ／秒～８０ｍｍ／秒である。

また、三回目以降のスクリーン印刷を行う場合、その前のスクリーン印刷時のスキージ速度との差も同様に、好ましくは１０ｍｍ／秒～１００ｍｍ／秒、更に好ましくは４０ｍｍ／秒～８０ｍｍ／秒である。

更に、スクリーン印刷に用いるスクリーンメッシュのパターンは、各回のスクリーン印刷において同じとすることが好ましい。

[0018] なお、スクリーン印刷における集電極の形成において、各スクリーン印刷によって形成する集電極の厚さは５～５０μｍ、特に８～３５μｍとなるように形成することが好ましく、また集電極の総厚さは３層形成の場合は２５～７０μｍ、４層形成の場合は３０～９０μｍとなるように形成することが好ましい。

[0019] また、スクリーン印刷に用いるインキとしては、公知の導電性銀ペーストなど、公知のインキを用いることができ、上記スキージ速度を上記のように調整する以外は、常法によってスクリーン印刷を行うことができる。

実施例

[0020] 以下、実施例及び比較例を示し、本発明を具体的に説明するが、本発明は下記の実施例に制限されるものではない。

[0021] ［実施例１、比較例１］

まず、ボロンがドープされ、厚さ０．２ｍｍにスライスして作製された比抵抗が約１Ω・ｃｍのｐ型の単結晶シリコンからなるｐ型シリコン基板に外

径加工を行うことによって、一辺１５ｃｍ角の正方形の板状とした。そして、このｐ型シリコン基板をフッ硝酸溶液中に１５秒間浸漬させてダメージエッチングし、更に２質量％のＫＯＨと２質量％のＩＰＡを含む７０℃の溶液で５分間化学エッチングした後に純水で洗浄し、乾燥させることで、ｐ型シリコン基板表面にテクスチャ構造を形成した。次に、このｐ型シリコン基板に対し、$POCl_3$ガス雰囲気中において、８７０℃の温度で３０分間の条件で熱拡散法により、ｐ型シリコン基板にｎ層を形成した。ここで、ｎ層のシート抵抗は約４０Ω／□、深さは０．４μｍであった。そして、ｎ層上に耐酸性樹脂を形成した後に、ｐ型シリコン基板をフッ硝酸溶液中に１０秒間浸漬することによって、耐酸性樹脂が形成されていない部分のｎ層を除去した。その後、耐酸性樹脂を除去することによって、ｐ型シリコン基板の表面のみにｎ層を形成した。続いて、SiH_4とNH_3、N_2を用いたプラズマＣＶＤ法により、ｐ型シリコン基板のｎ層が形成されている表面上に、反射防止膜兼パッシベーション膜となるＳｉＮを厚さ１，０００Åで形成した。次に、ｐ型シリコン基板の裏面に、導電性アルミニウムペーストを印刷し、１５０℃で乾燥させた。

[0022] その後、ｐ型シリコン基板に対し、表面にスクリーン印刷法により、導電性銀ペーストを用いて、集電極をスキージ速度１５０ｍｍ／秒で２０μｍ形成し、１５０℃で乾燥させた。更に、集電極の重ね合わせ印刷を１００ｍｍ／秒で行った比較例と、２００ｍｍ／秒で行った実施例を作製し、それぞれ１５０℃で乾燥させて、最終的な印刷電極厚み３０μｍを得た。焼成炉にこれまでの処理済の基板を投入することにより、最高温度８００℃で導電性ペーストを焼成して電極を形成することで、太陽電池素子を作製した。これらの太陽電池素子の電気特性と印刷タクトタイムを測定した。

[0023] 表１に、上記方法で実施例と比較例それぞれ１０枚ずつの太陽電池素子を作製した際の太陽電池素子の電気特性と印刷タクトタイムの平均を示す。

[表1]

	短絡電流 (mA／cm^2)	開放電圧 (mV)	曲線因子 (%)	変換効率 (%)	印刷タクトタイム (秒／枚)
実施例1	34.4	625	78.0	16.8	6.0
比較例1	34.3	623	77.4	16.5	8.0

[0024] 表１に示すように、本発明によるスクリーン印刷法を用いることで、比較例と比べると太陽電池素子の電気特性の上昇が認められる（変換効率の絶対値にして０．３％）。この場合、スキージ速度条件の変更のみで０．３％の変換効率を改善したことは、様々な条件を積み重ねることで効率上昇をもたらす素子変換効率において、大きな貢献であると評価し得る。また、印刷タクトタイムも長くならないので、製造コストの低減にもつながる。

[0025] ［実施例２、比較例２］

実施例１と同様にしてｐ型シリコン基板を作製し、表面にスクリーン印刷法により、導電性銀ペーストを用いて集電極を形成した。この場合、一層目はスキージ速度１５０ｍｍ／秒で２０μｍを形成し、二層目はスキージ速度２００ｍｍ／秒で１２μｍを形成し、三層目はスキージ速度２５０ｍｍ／秒で８μｍを形成し、その最終的な印刷電極厚みは４０μｍとした。

得られた太陽電池素子の電気特性と印刷タクトタイムは表２の通りであった。

なお、比較のため、一層目のスキージ速度１５０ｍｍ／秒、二層目のスキージ速度１００ｍｍ／秒、三層目のスキージ速度９０ｍｍ／秒で総厚み４０μｍの電極を印刷、形成した。得られた電気特性と印刷タクトタイムの結果を表２に示す。

[表2]

	変換効率 (%)	印刷タクトタイム (秒／枚)
実施例2	16.7	8.0
比較例2	16.4	10.0

請求の範囲

［請求項1］ 集電極を有する太陽電池素子の製造方法であって、前記集電極の形成を、集電極形成位置における導電性ペーストのスクリーン印刷の重ね合わせを複数回行うと共に、該導電性ペーストの複数回の重ね印刷において、二回目以降のスクリーン印刷時のスキージ速度を一回目のスクリーン印刷時のスキージ速度以上で行うことを特徴とする太陽電池素子の製造方法。

［請求項2］ 前記二回目以降のスクリーン印刷時のスキージ速度の値から、一回目のスクリーン印刷時のスキージ速度の値を引いた結果が、０ｍｍ／秒以上３００ｍｍ／秒以下であることを特徴とする請求項１記載の太陽電池素子の製造方法。

［請求項3］ 前記二回目以降のスクリーン印刷時のスキージ速度の値から、一回目のスクリーン印刷時のスキージ速度の値を引いた結果が、１０ｍｍ／秒以上１００ｍｍ／秒以下であることを特徴とする請求項２記載の太陽電池素子の製造方法。

［請求項4］ 請求項１、２又は３記載の製造方法によって得られる太陽電池素子。