

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4171428号
(P4171428)

(45) 発行日 平成20年10月22日(2008.10.22)

(24) 登録日 平成20年8月15日(2008.8.15)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 31/04 (2006.01) H O 1 L 31/04 A

請求項の数 11 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2004-5071 (P2004-5071)	(73) 特許権者	000001889 三洋電機株式会社
(22) 出願日	平成16年1月13日(2004.1.13)		大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
(65) 公開番号	特開2004-304160 (P2004-304160A)	(74) 代理人	100104433 弁理士 官園 博一
(43) 公開日	平成16年10月28日(2004.10.28)	(72) 発明者	寺川 朗 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
審査請求日	平成16年7月2日(2004.7.2)	(72) 発明者	浅海 利夫 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2003-78115 (P2003-78115)	審査官	吉野 三寛
(32) 優先日	平成15年3月20日(2003.3.20)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光起電力装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

n型の結晶系半導体と、
前記結晶系半導体の表面上に形成され、実質的に発電に寄与しない小さい厚みを有する実質的に真性な第1非晶質半導体層と、

前記第1非晶質半導体層の表面上に形成されたp型の第2非晶質半導体層とを備え、
前記第1非晶質半導体層中に水素濃度のピークを有する、光起電力装置。

【請求項2】

p型の結晶系半導体と、
前記結晶系半導体の表面上に形成され、実質的に発電に寄与しない小さい厚みを有する実質的に真性な第1非晶質半導体層と、

前記第1非晶質半導体層の表面上に形成されたn型の第2非晶質半導体層とを備え、
前記第1非晶質半導体層中に水素濃度のピークを有する、光起電力装置。

【請求項3】

前記第1非晶質半導体層と前記第2非晶質半導体層との界面の水素濃度は、前記第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークよりも低い濃度に設定されている、請求項1又は2に記載の光起電力装置。

【請求項4】

前記第1非晶質半導体層の水素濃度のピーク値と、前記第1非晶質半導体層の水素濃度の最小値との差は、 9×10^{20} 原子/cm³以上である、請求項1～3いずれか1項に

記載の光起電力装置。

【請求項 5】

前記第 1 非晶質半導体層中の水素濃度のピークは、前記第 1 非晶質半導体層の厚み方向の中央部近傍に位置する、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の光起電力装置。

【請求項 6】

前記第 1 非晶質半導体層中の水素濃度のピークは、前記第 1 非晶質半導体層の厚み方向の中央部よりも、前記第 1 非晶質半導体層と前記第 2 非晶質半導体層との界面に近い側に位置する、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の光起電力装置。

【請求項 7】

前記第 1 非晶質半導体層中の水素濃度のピークは、前記第 1 非晶質半導体層の前記第 2 非晶質半導体層との界面近傍に位置する、請求項 6 に記載の光起電力装置。

10

【請求項 8】

前記第 1 非晶質半導体層中の水素濃度のピークは、2 つのピークを有する、請求項 6 に記載の光起電力装置。

【請求項 9】

前記 n 型の結晶系半導体の裏面上に形成され、実質的に発電に寄与しない小さい厚みを有する実質的に真性な第 3 非晶質半導体層と、

前記第 3 非晶質半導体層の裏面上に形成された n 型の第 4 非晶質半導体層とをさらに備え、

前記第 3 非晶質半導体層中に水素濃度のピークを有する、請求項 1、3 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の光起電力装置。

20

【請求項 10】

前記 p 型の結晶系半導体の裏面上に形成され、実質的に発電に寄与しない小さい厚みを有する実質的に真性な第 3 非晶質半導体層と、

前記第 3 非晶質半導体層の裏面上に形成された p 型の第 4 非晶質半導体層とをさらに備え、

前記第 3 非晶質半導体層中に水素濃度のピークを有する、請求項 2 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の光起電力装置。

【請求項 11】

前記第 3 非晶質半導体層と前記第 4 非晶質半導体層との界面の水素濃度は、前記第 3 非晶質半導体層中の水素濃度のピークよりも低い濃度に設定されている、請求項 9 又は 10 に記載の光起電力装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光起電力装置に関し、特に、結晶系半導体上に、非晶質半導体層が形成された光起電力装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、第 1 導電型の結晶系シリコン基板の表面上に、第 2 導電型の非晶質シリコン膜を形成することにより p n 接合が形成される光起電力装置において、第 1 導電型の結晶系シリコン基板と第 2 導電型の非晶質シリコン層との間に、実質的に真性な非晶質シリコン層を挿入することにより接合特性を改善する技術が知られている（たとえば、特許文献 1 参照）。

40

【0003】

上記特許文献 1 には、n 型の単結晶シリコン基板上に、実質的に真性な非晶質シリコン層および p 型の非晶質シリコン層が順次形成されるとともに、n 型の単結晶シリコン基板と実質的に真性な非晶質シリコン層との間にボロンが導入された光起電力装置が開示されている。この特許文献 1 では、プラズマ CVD 法を用いて、約 200 以下の低温で、n

50

型の単結晶シリコン基板上に、実質的に真性なノンドープの非晶質シリコン層およびp型の非晶質シリコン層が形成されるので、約800以上の高温による熱拡散法を用いてn型の単結晶シリコン基板の表面からp型の不純物を拡散させることによりpn接合を形成する場合と異なり、熱ダメージを抑制することができるとともに、p型の不純物とn型の不純物との相互拡散を抑制することができる。その結果、良好な接合特性が得られる。

【特許文献1】特開2001-345463号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記特許文献1に開示された光起電力装置では、単結晶シリコン基板で生成されたキャリアが実質的に真性な非晶質シリコン層を介してp型の非晶質シリコン層へ移動される際に、実質的に真性な非晶質シリコン層中の欠陥であるダングリングボンドによるキャリア再結合を抑制するための対策が充分にはなされていない。このため、実質的に真性な非晶質シリコン層中で光生成キャリアが再結合により消失するので、光起電力装置の出力特性を向上させるのが困難であるという問題点があった。

【0005】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の1つの目的は、出力特性を向上させることが可能な光起電力装置を提供することである。

【課題を解決するための手段および発明の効果】

【0006】

上記目的を達成するために、この発明の一の局面における光起電力装置は、結晶系半導体と、結晶系半導体の表面上に形成され、実質的に真性な第1非晶質半導体層と、第1非晶質半導体層の表面上に形成された第1導電型の第2非晶質半導体層とを備え、第1非晶質半導体層中に水素濃度のピークを有する。なお、本発明における結晶系半導体は、結晶系半導体基板や基板上に形成した薄膜多結晶半導体などを含む広い概念である。また、本発明における非晶質半導体は、微結晶半導体も含む広い概念である。

【0007】

この一の局面による光起電力装置では、上記のように、第1非晶質半導体層中に水素濃度のピークを有するように、第1非晶質半導体層を形成することによって、第1非晶質半導体層中の水素原子(H)の量が増加するので、その増加した水素原子が第1非晶質半導体層中の欠陥であるシリコン原子(Si)のダングリングボンドと結合することにより、ダングリングボンドを不活性化することができる。これにより、第1非晶質半導体層中の欠陥を低減することができるので、結晶系半導体で生成されたキャリアが第1非晶質半導体層を介して第2非晶質半導体層へ移動される際に、第1非晶質半導体層中の欠陥にキャリアが捕獲されるのを抑制することができる。その結果、第1非晶質半導体層中でキャリアが再結合するのを抑制することができるので、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。また、第1非晶質半導体層中の水素原子(H)の量が増加することにより、第1非晶質半導体層中のSi-H結合を増加させることができる。この場合、Si-H結合は、Si-Si結合よりも大きな結合エネルギーを有するので、第1非晶質半導体層中の原子間の結合エネルギーの総和を増大させることができる。これにより、第1非晶質半導体層のバンドギャップを大きくすることができるので、pin接合における内蔵電界を大きくすることができる。このため、光起電力装置の開放電圧を大きくすることができる。また、第1非晶質半導体層のバンドギャップを大きくすることができるので、第1非晶質半導体層の光の吸収損失を小さくすることができる。これにより、結晶系半導体への光の入射量を増加することができるので、結晶系半導体での発電量を増加させることができる。このため、光起電力装置の短絡電流を増加することができる。このように、開放電圧および短絡電流を大きくすることができるので、光起電力装置のセル出力を大きくすることができる。その結果、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。また、第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークの第2非晶質半導体層側の領域を第1非晶質半導体層の水素濃度のピーク値よりも低い水素濃度に設定した場合には、第1非晶質半導体層と

10

20

30

40

50

第2非晶質半導体層との界面の水素濃度を第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークよりも低い濃度にすることができる。これにより、第1非晶質半導体層と第2非晶質半導体層との界面の水素濃度が第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークよりも高い場合に比べて、第1非晶質半導体層と第2非晶質半導体層との界面から第2非晶質半導体層中へ拡散される水素原子の量を減少させることができる。このため、その拡散される水素原子に起因して第2非晶質半導体層中の第1導電型の不純物の活性化率が低下するのを抑制することができるので、光起電力装置の出力特性が低下するのを抑制することができる。

【0008】

上記一の局面による光起電力装置において、好ましくは、第1非晶質半導体層は、実質的に発電に寄与しない小さい厚みを有する。このように構成すれば、第1非晶質半導体層の厚みが大きいことに起因して第1非晶質半導体層の厚み方向の抵抗が増大するのを抑制することができる。これにより、結晶系半導体で生成されたキャリアが第1非晶質半導体層を介して第2非晶質半導体層へ移動しにくくなるのを抑制することができる。このため、光起電力装置の出力特性が低下するのを抑制することができる。なお、第1非晶質半導体層の実質的に発電に寄与しない厚みとは、数/10nm~約25nmの範囲の厚みである。

10

【0009】

上記一の局面による光起電力装置において、好ましくは、第1非晶質半導体層と第2非晶質半導体層との界面の水素濃度は、第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークよりも低い濃度に設定されている。このように構成すれば、第1非晶質半導体層と第2非晶質半導体層との界面の水素濃度が第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークよりも高い場合に比べて、第1非晶質半導体層と第2非晶質半導体層との界面から第2非晶質半導体層中へ拡散される水素原子の量を減少させることができる。これにより、その拡散される水素原子に起因して第2非晶質半導体層中の第1導電型の不純物の活性化率が低下するのを抑制することができるので、光起電力装置の出力特性が低下するのを抑制することができる。

20

【0010】

上記一の局面による光起電力装置において、好ましくは、第1非晶質半導体層の水素濃度のピーク値と、第1非晶質半導体層の水素濃度の最小値との差は、 9×10^{20} 原子/cm³以上である。このように構成すれば、光起電力装置の出力特性を向上させるのに十分な量の水素原子を第1非晶質半導体層中に存在させることができる。

30

【0011】

上記一の局面による光起電力装置において、好ましくは、第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークは、第1非晶質半導体層の厚み方向の中央部近傍に位置する。このように構成すれば、第1非晶質半導体層の厚み方向の中央部近傍の水素原子の量が増加するので、第1非晶質半導体層の厚み方向の中央部近傍の欠陥を低減することができる。その結果、第1非晶質半導体層の厚み方向の中央部近傍でキャリアが再結合するのを抑制することができる。

【0012】

上記一の局面による光起電力装置において、好ましくは、第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークは、第1非晶質半導体層の厚み方向の中央部よりも、第1非晶質半導体層と第2非晶質半導体層との界面に近い側に位置する。このように構成すれば、水素濃度のピークの形状を反映するように形成される第1非晶質半導体層の価電子帯の傾きは、結晶系半導体側の領域で小さくなる。このように価電子帯の傾きが小さくなると、正孔(ホール)を結晶系半導体から第1非晶質半導体層を介して、第2非晶質半導体層へ移動させやすくすることができる。その結果、正孔(ホール)が収集されやすくなるので、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。

40

【0013】

この場合、好ましくは、第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークは、第1非晶質半導体層の第2非晶質半導体層との界面近傍に位置する。このように構成すれば、水素濃度のピークの形状を反映するように形成される第1非晶質半導体層の価電子帯の傾きは、結晶

50

系半導体側の領域でより小さくなる。このように価電子帯の傾きがより小さくなると、正孔（ホール）を結晶系半導体から第1非晶質半導体層を介して、第2非晶質半導体層へ、より移動させやすくすることができる。その結果、正孔（ホール）がより収集されやすくなるので、光起電力装置の出力特性をより向上させることができる。

【0014】

また、この場合、好ましくは、第1非晶質半導体層中の水素濃度のピークは、2つのピークを有する。このように構成すれば、たとえば、第2非晶質半導体層側の水素濃度のピークを結晶系半導体側の水素濃度のピークよりも大きくすることにより、水素濃度の2つのピークの形状を反映するように形成される第1非晶質半導体層の価電子帯は、階段状になる。これにより、水素濃度のピークが1つの場合と比べて、正孔（ホール）を結晶系半導体から第1非晶質半導体層を介して、第2非晶質半導体層へ、より移動させやすくすることができる。その結果、正孔（ホール）がより収集されやすくなるので、光起電力装置の出力特性をより向上させることができる。

10

【0015】

上記一の局面による光起電力装置において、好ましくは、結晶系半導体の裏面上に形成され、実質的に真性な第3非晶質半導体層と、第3非晶質半導体層の裏面上に形成された第2導電型の第4非晶質半導体層とをさらに備え、第3非晶質半導体層中に水素濃度のピークを有する。このように構成すれば、第3非晶質半導体層中の水素原子（H）の量が増加するので、その増加した水素原子が第3非晶質半導体層中の欠陥であるシリコン原子（Si）のダングリングボンドと結合することにより、ダングリングボンドを不活性化することができる。これにより、第3非晶質半導体層中の欠陥を低減することができるので、欠陥にキャリアが捕獲されるのを抑制することができる。その結果、第3非晶質半導体層中でキャリアが再結合するのを抑制することができる。

20

【0016】

上記第3非晶質半導体層を含む構成において、好ましくは、第3非晶質半導体層は、実質的に発電に寄与しない小さい厚みを有する。このように構成すれば、第3非晶質半導体層の厚みが大きいことに起因して第3非晶質半導体層の厚み方向の抵抗が増大するのを抑制することができる。これにより、結晶系半導体で生成されたキャリアが第3非晶質半導体層を介して第4非晶質半導体層へ移動しにくくなるのを抑制することができる。このため、光起電力装置の出力特性が低下するのを抑制することができる。なお、第3非晶質半導体層の実質的に発電に寄与しない厚みとは、数/10nm～約25nmの範囲の厚みである。

30

【0017】

上記第3非晶質半導体層および第4非晶質半導体層を含む構成において、好ましくは、第3非晶質半導体層と第4非晶質半導体層との界面の水素濃度は、第3非晶質半導体層中の水素濃度のピークよりも低い濃度に設定されている。このように構成すれば、第3非晶質半導体層と第4非晶質半導体層との界面の水素濃度が第3非晶質半導体層中の水素濃度のピークよりも高い場合に比べて、第3非晶質半導体層と第4非晶質半導体層との界面から第4非晶質半導体層中へ拡散される水素原子の量を減少させることができる。これにより、その拡散される水素原子に起因して第4非晶質半導体層中の第2導電型の不純物の活性化率が低下するのを抑制することができるので、光起電力装置の出力特性が低下するのを抑制することができる。

40

【0018】

上記一の局面による光起電力装置において、好ましくは、結晶系半導体は、第2導電型である。このように構成すれば、第2導電型の結晶系半導体の上に実質的に真性の第1非晶質半導体層と第1導電型の第2非晶質半導体層とが積層された光起電力装置において、第1非晶質半導体層中でキャリアが再結合するのを抑制することができるのと同時に、第1非晶質半導体層のバンドギャップを大きくすることができるので、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。

【0019】

50

上記一の局面による光起電力装置において、好ましくは、第2非晶質半導体層は、p型であり、結晶系半導体は、n型である。このように構成すれば、n型の結晶系半導体の上に実質的に真性の第1非晶質半導体層とp型の第2非晶質半導体層とが積層された光起電力装置において、第1非晶質半導体層中でキャリアが再結合するのを抑制することができるとともに、第1非晶質半導体層のバンドギャップを大きくすることができるので、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。

【0020】

上記第4非晶質半導体層を含む構成において、好ましくは、第4非晶質半導体層は、n型である。このように構成すれば、n型の結晶系半導体の裏面上に実質的に真性の第3非晶質半導体層とn型の第4非晶質半導体層とが積層された光起電力装置において、第3非晶質半導体層中でキャリアが再結合するのを抑制することができるとともに、第3非晶質半導体層のバンドギャップを大きくすることができるので、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0022】

図1は、本発明の一実施形態による光起電力装置の構造を示した断面図である。まず、図1を参照して、本実施形態による光起電力装置の構造について説明する。

【0023】

20

本実施形態による光起電力装置では、図1に示すように、水素処理されたn型単結晶シリコン基板1の表面上に、非晶質シリコン層2、約70nm～約100nmの厚みを有するITO（酸化インジウム錫）からなる表面電極3、および、数十μmの厚みを有する銀からなる集電極4が順次形成されている。非晶質シリコン層2は、n型単結晶シリコン基板1の表面上に形成された約9nm～約13nmの小さい厚みを有する実質的に真性なi型非晶質シリコン層2aと、i型非晶質シリコン層2a上に形成された約2nm～約5nmの厚みを有するボロン（B）がドーパされたp型非晶質シリコン層2bとによって構成されている。なお、i型非晶質シリコン層2aの主な機能は、n型単結晶シリコン基板1のp型非晶質シリコン層2bとの界面準位を低減することである。また、i型非晶質シリコン層2aの約9nm～約13nmの厚みは、i型非晶質シリコン層2aが実質的に発電に寄与しない小さい厚みである。

30

【0024】

ここで、本実施形態では、光入射側のi型非晶質シリコン層2aは、i型非晶質シリコン層2a中に、水素濃度のピークを有するように形成されている。また、i型非晶質シリコン層2aとp型非晶質シリコン層2bとの界面の水素濃度は、i型非晶質シリコン層2a中の水素濃度のピークよりも低い濃度に設定されている。なお、n型単結晶シリコン基板1は、本発明の「結晶系半導体」の一例である。また、i型非晶質シリコン層2aは、本発明の「第1非晶質半導体層」の一例である。また、p型非晶質シリコン層2bは、本発明の「第2非晶質半導体層」の一例である。

【0025】

40

また、n型単結晶シリコン基板1の裏面上には、n型単結晶シリコン基板1の裏面に近い方から順に、非晶質シリコン層12、約70nm～約100nmの厚みを有するITOからなる裏面電極13、および、数十μmの厚みを有する銀からなる集電極14が形成されている。非晶質シリコン層12は、n型単結晶シリコン基板1の裏面上に形成された約9nm～約13nmの小さい厚みを有する実質的に真性なi型非晶質シリコン層12aと、i型非晶質シリコン層12aの裏面上に形成された約10nm～約20nmの厚みを有するリン（P）がドーパされたn型非晶質シリコン層12bとによって構成されている。なお、i型非晶質シリコン層12aの主な機能は、n型単結晶シリコン基板1のn型非晶質シリコン層12bとの界面準位を低減することである。また、i型非晶質シリコン層12aの約9nm～約13nmの厚みは、i型非晶質シリコン層12aが実質的に発電に寄

50

与しない小さい厚みである。そして、i型非晶質シリコン層12a、n型非晶質シリコン層12bおよび裏面電極13によって、いわゆるBSF(Back Surface Field)構造が構成される。なお、i型非晶質シリコン層12aは、本発明の「第3非晶質半導体層」の一例であり、n型非晶質シリコン層12bは、本発明の「第4非晶質半導体層」の一例である。

【0026】

次に、図1を参照して、本実施形態による光起電力装置の製造プロセスについて説明する。まず、図1に示すように、洗浄したn型単結晶シリコン基板1を真空チャンバ(図示せず)内に設置した後、約200以下の温度条件下で、n型単結晶シリコン基板1を加熱することによって、n型単結晶シリコン基板1の表面に付着した水分を極力除去する。これにより、n型単結晶シリコン基板1の表面に付着した水分中の酸素がシリコンと結合して欠陥になるのが抑制される。

10

【0027】

次に、基板温度を約170に保持した状態で、水素(H₂)ガスを導入するとともに、プラズマ放電を行うことによって、n型単結晶シリコン基板1の上面を水素処理する。これにより、n型単結晶シリコン基板1の上面がクリーニングされるとともに、n型単結晶シリコン基板1の上面近傍に水素原子が吸着される。この吸着した水素原子によって、n型単結晶シリコン基板1の上面の欠陥は不活性化される。

【0028】

この後、RFプラズマCVD法を用いて、n型単結晶シリコン基板1の上面上に、約9nm~約13nmの厚みを有するi型非晶質シリコン層2aを形成する。この際、本実施形態では、i型非晶質シリコン層2aの形成条件を(1)低水素条件、(2)高水素条件および(3)低水素条件の順で変化させる。ここで、高水素条件とは、i型非晶質シリコン層2a中に多くの水素原子を導入することが可能な条件であり、低水素条件とは、i型非晶質シリコン層2a中に高水素条件よりも少ない水素原子を導入可能な条件である。具体的には、高水素条件は、基板温度：約170、水素(H₂)ガス流量：0sccm~約1000sccm、シラン(SiH₄)ガス流量：約40sccm、圧力：約40Pa、RFパワー密度：約8.33mW/cm²~約80mW/cm²である。また、低水素条件は、基板温度：約170、水素(H₂)ガス流量：0sccm、シラン(SiH₄)ガス流量：約40sccm、圧力：約40Pa、RFパワー密度：約8.33mW/cm²である。

20

30

【0029】

なお、低水素条件では、水素ガス流量は0sccmであるが、シラン(SiH₄)ガスに水素が含まれているので、i型非晶質シリコン層2a中に水素原子を導入可能である。また、上記した実施形態では、高水素条件の水素ガス流量およびRFパワー密度を変化させてi型非晶質シリコン層2aを形成することによって、水素濃度のピークの高さを制御することが可能である。

【0030】

続いて、RFプラズマCVD法を用いて、基板温度：約170、水素(H₂)ガス流量：0sccm~約1000sccm、シラン(SiH₄)ガス流量：約40sccm、ジボラン(B₂H₆)/H₂(H₂に対するB₂H₆ガスの濃度：約2%)ガス流量：約40sccm、圧力：約40Pa、および、RFパワー密度：約8.33mW/cm²の条件下で、i型非晶質シリコン層2a上に、約2nm~約5nmの厚みを有するボロン(B)がドーパされたp型非晶質シリコン層2bを形成する。なお、上記したように、i型非晶質シリコン層2aのp型非晶質シリコン層2b側の領域を低水素条件により形成するとともに、p型非晶質シリコン層2bを上記した条件により形成することによって、i型非晶質シリコン層2aとp型非晶質シリコン層2bとの界面の水素濃度は、i型非晶質シリコン層2a中の水素濃度のピークよりも低い濃度になる。

40

【0031】

次に、スパッタリング法を用いて、p型非晶質シリコン層2bの上面上に、約70nm

50

～約100nmの厚みを有するITO（酸化インジウム錫）からなる表面電極3を形成する。この後、スクリーン印刷法を用いて、表面電極3上の所定領域に、数十μmの厚みを有する銀からなる集電極4を形成する。

【0032】

次に、RFプラズマCVD法を用いて、基板温度：約170℃、水素（H₂）ガス流量：0sccm～約1000sccm：シラン（SiH₄）ガス流量：約40sccm、圧力：約40Pa、および、RFパワー密度：約8.33mW/cm²の条件下で、n型単結晶シリコン基板1の裏面上に、約9nm～約13nmの厚みを有するi型非晶質シリコン層12aを形成する。

【0033】

続いて、RFプラズマCVD法を用いて、基板温度：約170℃、水素（H₂）ガス流量：0sccm～約1000sccm、シラン（SiH₄）ガス流量：約40sccm、ホスフィン（PH₃）/H₂（H₂に対するPH₃の濃度：約1%）ガス流量：約40sccm、圧力：約40Pa、および、RFパワー密度：約8.33mW/cm²の条件下で、i型非晶質シリコン層12aの裏面上に、約10nm～約20nmの厚みを有するリン（P）がドーパされたn型非晶質シリコン層12bを形成する。

【0034】

最後に、スパッタリング法を用いて、n型非晶質シリコン層12bの裏面上に、約70nm～約100nmの厚みを有するITOからなる裏面電極13を形成した後、裏面電極13上の所定領域に、数十μmの厚みを有する銀からなる集電極14を形成する。このようにして、図1に示した本実施形態による光起電力装置が形成される。

【0035】

次に、上記の製造プロセスに沿って作製した本実施形態による光起電力装置（実施形態）、および、従来の一例による光起電力装置（従来例）について、水素原子の濃度プロファイルを測定した。従来の一例による光起電力装置（従来例）では、i型非晶質シリコン層を上記した低水素条件で一定に保持しながら形成した。これ以外の部分の構造および作製プロセスは、本実施形態による光起電力装置（実施形態）と同様である。

【0036】

水素原子の濃度プロファイルの測定には、SIMS（Secondary Ion Mass Spectrometer：Physical electronic Incorporation製ADEPT1010）を用いた。このときの測定条件は、照射イオン種：Cs⁺イオン、イオン照射エネルギー：1keV、照射角度：60°、検出二次イオン源：H⁻イオン、リファレンス二次イオン種：Si⁻イオンであった。なお、SIMSによる測定では、光起電力装置にCs⁺イオンを照射して、たたき出された二次イオン（H⁻イオンおよびSi⁻イオン）の数を測定するとともに、Si⁻イオンの数[Si⁻]に対するH⁻イオンの数[H⁻]の比（[H⁻]/[Si⁻]）を計算することにより、水素濃度が求められる。

【0037】

図2には、SIMSにより測定した実施形態および従来例による光起電力装置の表側（n型単結晶シリコン基板の上面近傍）の水素原子の濃度プロファイルが示されている。図2を参照して、実施形態による光起電力装置では、i型非晶質シリコン層の厚み方向の中央部近傍（深さ：10nm付近）に水素濃度のピークを有することがわかる。また、i型非晶質シリコン層とp型非晶質シリコン層との界面（深さ：5nm付近）の水素濃度は、i型非晶質シリコン層中の水素濃度のピーク値よりも低いことがわかる。その一方、従来例による光起電力装置では、水素濃度がi型非晶質シリコン層の厚み方向でほぼ一定であるとともに、実施形態による光起電力装置の水素濃度のピーク値よりも低いことがわかる。

【0038】

以上のような結果が得られたのは、次の理由によると考えられる。すなわち、実施形態による光起電力装置では、i型非晶質シリコン層を、（1）低水素条件、（2）高水素条

10

20

30

40

50

件、(3)低水素条件の順に変化させて形成することにより、i型非晶質シリコン層の厚み方向で導入される水素原子の量が変化する。また、高水素条件により、i型非晶質シリコン層の厚み方向の中央部近傍に水素原子の量の多い領域が形成される。また、この領域の水素原子の量は、i型非晶質シリコン層とp型非晶質シリコン層との界面に存在する水素原子の量よりも多くなる。これにより、実施形態による光起電力装置では、図2に示したような水素原子の濃度プロファイルが得られたと考えられる。その一方、従来例による光起電力装置では、i型非晶質シリコン層が低水素条件で一定に保持しながら形成されるので、i型非晶質シリコン層の厚み方向で存在する水素原子の量がほぼ一定で、かつ、実施形態による水素濃度のピーク値よりも低くなる。このため、従来例による光起電力装置では、図2のような水素原子の濃度プロファイルが得られたと考えられる。

10

【0039】

本実施形態では、上記のように、i型非晶質シリコン層2a中に水素濃度のピークを有するように、i型非晶質シリコン層2aを形成することによって、i型非晶質シリコン層2a中の水素原子(H)の量が増加するので、その増加した水素原子がi型非晶質シリコン層2a中の欠陥であるシリコン原子(Si)のダングリングボンドと結合することにより、ダングリングボンドを不活性化することができる。これにより、i型非晶質シリコン層2a中の欠陥を低減することができるので、欠陥にキャリアが捕獲されるのを抑制することができる。その結果、i型非晶質シリコン層2a中でキャリアが再結合するのを抑制することができるので、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。

【0040】

また、本実施形態では、i型非晶質シリコン層2a中の水素原子(H)の量が増加することにより、i型非晶質シリコン層2a中のSi-H結合を増加させることができる。この場合、Si-H結合は、Si-Si結合よりも大きな結合エネルギーを有するので、i型非晶質シリコン層2a中の原子間の結合エネルギーの総和を増大させることができる。これにより、i型非晶質シリコン層2aのバンドギャップを大きくすることができるので、pin接合における内蔵電界を大きくすることができる。このため、光起電力装置の開放電圧(Voc)を大きくすることができる。また、i型非晶質シリコン層2aのバンドギャップを大きくすることができるので、i型非晶質シリコン層2aの光の吸収損失を小さくすることができる。これにより、n型単結晶シリコン基板1への光の入射量を増加することができるので、n型単結晶シリコン基板1での発電量を増加させることができる。このため、光起電力装置の短絡電流(Isc)を増加することができる。また、上記のようにi型非晶質シリコン層2aを形成することによって、光起電力装置の曲線因子(FF)を大きくすることができる。以上のように、開放電圧(Voc)、短絡電流(Isc)および曲線因子(FF)を大きくすることができるので、光起電力装置のセル出力(Pmax)を大きくすることができる。その結果、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。

20

30

【0041】

また、本実施形態では、i型非晶質シリコン層2aの水素濃度のピーク値と、i型非晶質シリコン層2aの水素濃度の最小値との差が 9×10^{20} 原子/cm³以上になるように、i型非晶質シリコン層2aを形成することによって、光起電力装置の出力特性を向上させるのに十分な量の水素原子をi型非晶質シリコン層2a中に存在させることができる。

40

【0042】

また、本実施形態では、i型非晶質シリコン層2aおよび12aを実質的に発電に寄与しない小さい厚みに形成することによって、i型非晶質シリコン層2aおよび12aの厚みが大きいことに起因してi型非晶質シリコン層2aおよび12aの厚み方向の抵抗が増大するのを抑制することができる。これにより、n型単結晶シリコン基板1で生成されたキャリアがi型非晶質シリコン層2aを介してp型非晶質シリコン層2bへ移動しにくくなるのを抑制できるとともに、キャリアがi型非晶質シリコン層12aを介してn型非晶質シリコン層12bへ移動しにくくなるのを抑制することができる。このため

50

、光起電力装置の出力特性が低下するのを抑制することができる。

【0043】

また、本実施形態では、i型非晶質シリコン層2aとp型非晶質シリコン層2bとの界面の水素濃度をi型非晶質シリコン層2a中の水素濃度のピークよりも低い濃度に設定することによって、i型非晶質シリコン層2aとp型非晶質シリコン層2bとの界面の水素濃度がi型非晶質シリコン層2a中の水素濃度のピークよりも高い場合に比べて、i型非晶質シリコン層2aとp型非晶質シリコン層2bとの界面からp型非晶質シリコン層2b中へ拡散される水素原子の量を減少させることができる。これにより、その拡散される水素原子に起因してp型非晶質シリコン層2b中のp型不純物（ボロン）の活性化率が低下するのを抑制することができる。このため、i型非晶質シリコン層2aとp型非晶質シリコン層2bとの界面の水素濃度がi型非晶質シリコン層2a中の水素濃度のピークよりも高い場合に比べて、光起電力装置の出力特性が低下するのを抑制することができる。

10

【0044】

また、本実施形態では、i型非晶質シリコン層2a中の水素濃度のピークがi型非晶質シリコン層2aの厚み方向の中央部近傍に位置するようにi型非晶質シリコン層2aを形成することによって、i型非晶質シリコン層2aの厚み方向の中央部近傍の水素原子の量が増加するので、i型非晶質シリコン層2aの厚み方向の中央部近傍の欠陥を低減することができる。その結果、i型非晶質シリコン層2aの厚み方向の中央部近傍でキャリアが再結合するのを抑制することができる。

【0045】

20

次に、上記実施形態の第1変形例、第2変形例および第3変形例について説明する。図3は、本発明の一実施形態の第1変形例による水素濃度プロファイルを示した図である。図3を参照して、この第1変形例では、(1)低水素条件、(2)高水素条件、(3)低水素条件および(4)高水素条件の順に変化させてi型非晶質シリコン層を形成している。つまり、図3には、低水素条件および高水素条件を、2回繰り返してi型非晶質シリコン層を形成した場合の水素原子の濃度プロファイルが示されている。この第1変形例では、i型非晶質シリコン層の水素濃度のピークが、6nm付近および10nm付近に、2つ形成されていることがわかる。これは、低水素条件および高水素条件を2回繰り返してi型非晶質シリコン層を形成したことにより、水素原子の量の多い領域が、i型非晶質シリコン層の厚み方向にわたって2箇所形成されたためであると考えられる。

30

【0046】

なお、図3に示した2つの水素濃度ピークを有する第1変形例においては、1回目の高水素条件よりも2回目の高水素条件でより多くの水素を導入することも可能である。この場合には、p型非晶質シリコン層2b側の水素濃度のピークがn型単結晶シリコン基板1側の水素濃度のピークよりも大きくなるので、水素濃度の2つのピークの形状を反映するように形成されるi型非晶質シリコン層2aの価電子帯は、階段状になる。これにより、水素濃度のピークが1つの場合と比べて、正孔（ホール）をn型単結晶シリコン基板1からi型非晶質シリコン層2aを介して、p型非晶質シリコン層2bへ移動させやすくすることができる。その結果、正孔（ホール）がより収集されやすくなるので、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。

40

【0047】

図4は、本発明の一実施形態の第2変形例による光起電力装置の水素濃度プロファイルを示した図である。図4を参照して、この第2変形例では、上記実施形態の(1)~(3)の水素条件中の(2)の高水素条件を用いるタイミングを上記実施形態に比べて後の方にずらしてi型非晶質シリコン層を形成した場合の水素原子の濃度プロファイルが示されている。図4を参照して、この第2変形例では、i型非晶質シリコン層の水素濃度のピーク（深さ：3.5nm付近）が、i型非晶質シリコン層とp型非晶質シリコン層との界面（深さ：2nm付近）近傍に位置することがわかる。これは、高水素条件を用いるタイミングを後の方にずらしてi型非晶質シリコン層を形成したことにより、水素原子の量の多い領域が、i型非晶質シリコン層とp型非晶質シリコン層との界面近傍に

50

形成されたためであると考えられる。

【0048】

本実施形態の第2変形例では、上記した実施形態の効果に加えて、次のような効果を得ることができる。具体的には、i型非晶質シリコン層2a中の水素濃度のピークがi型非晶質シリコン層2aのp型非晶質シリコン層2bとの界面近傍に位置するようにi型非晶質シリコン層2aを形成することによって、水素濃度のピークの形状を反映するように形成されるi型非晶質シリコン層2aの価電子帯の傾きは、n型単結晶シリコン基板1側の領域で小さくなる。このように価電子帯の傾きが小さくなると、正孔(ホール)をn型単結晶シリコン基板1からi型非晶質シリコン層2aを介して、p型非晶質シリコン層2bへ移動させやすくすることができる。その結果、正孔(ホール)が収集されやすくなるので、光起電力装置の出力特性を向上させることができる。

10

【0049】

また、本実施形態の第3変形例として、図1に示したn型単結晶シリコン基板1の裏面側のi型非晶質シリコン層12a中に水素濃度のピークを有するようにしてもよい。このようにすれば、n型単結晶シリコン基板1の裏面側のi型非晶質シリコン層12a中の水素原子(H)の量が増加するので、その増加した水素原子がi型非晶質シリコン層12a中の欠陥であるシリコン原子(Si)のダングリングボンドと結合することにより、ダングリングボンドを不活性化することができる。これにより、裏面側のi型非晶質シリコン層12a中の欠陥を低減することができるので、欠陥にキャリアが捕獲されるのを抑制することができる。その結果、裏面側のi型非晶質シリコン層12a中でキャリアが再結合

20

【0050】

また、この第3変形例において、i型非晶質シリコン層12aとn型非晶質シリコン層12bとの界面の水素濃度をi型非晶質シリコン層12aの水素濃度のピークよりも低い濃度に設定してもよい。このようにすれば、i型非晶質シリコン層12aとn型非晶質シリコン層12bとの界面の水素濃度がi型非晶質シリコン層12a中の水素濃度のピークよりも高い場合に比べて、i型非晶質シリコン層12aとn型非晶質シリコン層12bとの界面からn型非晶質シリコン層12b中へ拡散される水素原子の量を減少させることができる。これにより、その拡散される水素原子に起因してn型非晶質シリコン層12b中のn型不純物(リン)の活性化率が低下するのを抑制することができる。このため、i型非晶質シリコン層12aとn型非晶質シリコン層12bとの界面の水素濃度がi型非晶質シリコン層12a中の水素濃度のピークよりも高い場合に比べて、光起電力装置の出力特性が低下するのを抑制することができる。

30

【0051】

次に、上記した実施形態および第1変形例~第3変形例による効果を確認するために、光起電力装置の出力特性を実際に測定した実験(実施例)について説明する。まず、本発明を光起電力装置の表側に適用した場合(一実施形態)の効果を確認するための実験を行った。具体的には、上記した光起電力装置の製造プロセスに沿って、図2に示した実施形態のような水素原子の濃度プロファイルを表側に有する光起電力装置(実施例1-1および実施例1-2)を作製した。このときの表側のi型非晶質シリコン層、p型非晶質シリ

40

【0052】

【表 1】

処理		形成条件			
		基板温度 (°C)	使用ガス	圧力 (Pa)	RFパワー密度 (mW/cm ²)
表側	i型非晶質シリコン層	170	H ₂ :0sccm~1000sccm SiH ₄ :40sccm	40	8.33
	p型非晶質シリコン層	170	H ₂ :0sccm~1000sccm SiH ₄ :40sccm B ₂ H ₆ (2%):40sccm	40	8.33
裏側	i型非晶質シリコン層	170	H ₂ :0sccm~1000sccm SiH ₄ :40sccm	40	8.33
	n型非晶質シリコン層	170	H ₂ :0sccm~1000sccm SiH ₄ :40sccm PH ₃ (1%):40sccm	40	8.33

10

【 0 0 5 3 】

上記表 1 の形成条件下で、RF プラズマ CVD 法を用いて、n 型単結晶シリコン基板の表面上に、12 nm の厚みを有する i 型非晶質シリコン層、および、5 nm の厚みを有する p 型非晶質シリコン層を形成した。また、n 型単結晶シリコン基板の裏面上に 12 nm の厚みを有する i 型非晶質シリコン層、および、20 nm の厚みを有する n 型非晶質シリコン層を形成した。なお、これら以外の部分の構造および作製プロセスは、上記した本実施形態による光起電力装置と同様である。

20

【 0 0 5 4 】

ここで、実施例 1 - 1 および実施例 1 - 2 では、表側の i 型非晶質シリコン層を、以下の表 2 に示すように、(1) 低水素条件、(2) 高水素条件、(3) 低水素条件の順に変化させて形成した。

【 0 0 5 5 】

【表 2】

30

処理		形成条件			
		基板温度 (°C)	使用ガス	圧力 (Pa)	RFパワー密度 (mW/cm ²)
表側i型非晶質シリコン層	低水素条件	170	H ₂ :0sccm SiH ₄ :40sccm	40	8.33
	高水素条件	170	H ₂ :0sccm~1000sccm SiH ₄ :40sccm	40	8.33~80
	低水素条件	170	H ₂ :0sccm SiH ₄ :40sccm	40	8.33

40

【 0 0 5 6 】

また、実施例 1 - 2 では、上記表 2 中の高水素条件の範囲内で、実施例 1 - 1 よりも多くの水素原子を導入可能な高水素条件に設定して表側の i 型非晶質シリコン層を形成した。具体的には、実施例 1 - 2 では、実施例 1 - 1 の高水素条件よりも水素 (H₂) ガス流量および RF パワー密度が大きくなるように設定した。

【 0 0 5 7 】

また、上記した光起電力装置の製造プロセスに沿って、図 2 に示した従来例のような水素原子の濃度プロファイルを表側に有する光起電力装置 (従来例 1 - 1) を作製した。従

50

来例 1 - 1 では、上記表 1 と同様の条件下で、RF プラズマ CVD 法を用いて表側の i 型非晶質シリコン層、p 型非晶質シリコン層、裏側の i 型非晶質シリコン層および n 型非晶質シリコン層を形成した。また、従来例 1 - 1 では、表側の i 型非晶質シリコン層は、上記表 2 の低水素条件で一定に保持しながら形成した。なお、これら以外の部分の構造および作製プロセスは、上記した本実施形態による光起電力装置と同様である。

【0058】

以上のように作製した光起電力装置（実施例 1 - 1、実施例 1 - 2 および従来例 1 - 1）について、出力特性（開放電圧（ V_{oc} ）、短絡電流（ I_{sc} ）、曲線因子（ FF ）、セル出力（ P_{max} ））を測定した。その結果を以下の表 3 に示す。なお、表 3 中の水素濃度分布は、SIMS を用いて測定した水素原子の濃度プロファイルにおける i 型非晶質シリコン層の水素濃度のピーク値と水素濃度の最小値との差を表している。

10

【0059】

【表 3】

	水素濃度分布 (原子/cm ³)	Voc (V)	Isc (A)	FF	Pmax (W)
従来例 1-1	4.5×10^{20}	0.685	3.724	0.746	1.90
実施例 1-1	10.0×10^{20}	0.714	3.730	0.766	2.04
実施例 1-2	18.5×10^{20}	0.707	3.735	0.760	2.01

20

【0060】

上記表 3 から、実施例 1 - 1 の開放電圧（ V_{oc} : 0.714 V）および実施例 1 - 2 の開放電圧（ V_{oc} : 0.707 V）は、従来例 1 - 1 の開放電圧（ V_{oc} : 0.685 V）よりも大きいことがわかる。これは、実施例 1 - 1 および 1 - 2 の方が、従来例 1 - 1 よりも i 型非晶質シリコン層中に多くの水素原子が導入されているのに伴って、i 型非晶質シリコン層のバンドギャップが大きくなることにより、pin 接合における内蔵電界が大きくなることに起因すると考えられる。

【0061】

また、上記表 3 から、実施例 1 - 1 の短絡電流（ I_{sc} : 3.730 A）および実施例 1 - 2 の短絡電流（ I_{sc} : 3.735 A）は、従来例 1 - 1 の短絡電流（ I_{sc} : 3.724 A）よりも大きいことがわかる。これは、実施例 1 - 1 および実施例 1 - 2 では、i 型非晶質シリコン層のバンドギャップが大きくなるのに伴って、i 型非晶質シリコン層の光の吸収損失が小さくなるので、i 型非晶質シリコン層の下側に位置する n 型単結晶シリコン基板への光の入射量が増加される。その結果、n 型単結晶シリコン基板での発電量が増加するので、実施例 1 - 1 および実施例 1 - 2 では、従来例 1 - 1 よりも短絡電流（ I_{sc} ）が大きくなると考えられる。また、上記表 3 から、実施例 1 - 1 の曲線因子（ FF : 0.766）および実施例 1 - 2 の曲線因子（ FF : 0.760）は、従来例 1 - 1 の曲線因子（ FF : 0.746）よりも大きいこともわかる。

30

【0062】

また、上記表 3 から、実施例 1 - 1 のセル出力（ P_{max} : 2.04 W）および実施例 1 - 2 のセル出力（ P_{max} : 2.01 W）は、従来例 1 - 1 のセル出力（ P_{max} : 1.90 W）よりも大きいことがわかる。これは、実施例 1 - 1 および実施例 1 - 2 では、従来例 1 - 1 よりも開放電圧（ V_{oc} ）、短絡電流（ I_{sc} ）および曲線因子（ FF ）が大きくなることに起因すると考えられる。また、実施例 1 - 1 よりも水素ガス流量および RF パワー密度が大きい条件下で形成した実施例 1 - 2 では、実施例 1 - 1 よりもセル出力が大きくなっていることがわかる。これは、実施例 1 - 2 の方が実施例 1 - 1 よりも、より多くの水素が導入されていることに起因すると考えられる。

40

【0063】

次に、本発明を光起電力装置の裏側に適用した場合（第 3 変形例）の効果を確認するための実験を行った。具体的には、図 2 に示した実施形態のような水素原子の濃度プロファ

50

イルを裏側に有する光起電力装置（実施例 1 - 3 および実施例 1 - 4）、および、図 2 に示した従来例のような水素原子の濃度プロファイルを裏側に有する光起電力装置（従来例 1 - 2）を作製して、それらの出力特性を測定した。この際、光起電力装置の表側（光入射側）の i 型非晶質シリコン層、p 型非晶質シリコン層、裏側の i 型非晶質シリコン層および n 型非晶質シリコン層は、上記表 1 と同様の条件下で R F プラズマ C V D 法を用いて形成した。

【 0 0 6 4 】

なお、実施例 1 - 3 および実施例 1 - 4 では、裏側の i 型非晶質シリコン層を上記表 2 のように、（ 1 ）低水素条件、（ 2 ）高水素条件、（ 3 ）低水素条件の順に変化させて形成した。また、実施例 1 - 4 では、上記表 2 中の高水素条件の範囲内で、実施例 1 - 3 よりも多くの水素原子を導入可能な高水素条件に設定して裏側の i 型非晶質シリコン層を形成した。具体的には、実施例 1 - 3 の高水素条件よりも水素（ H_2 ）ガス流量および R F パワー密度が大きくなるように設定した。実施例 1 - 3 および実施例 1 - 4 の表側の i 型非晶質シリコン層、p 型非晶質シリコン層、裏側の i 型非晶質シリコン層および n 型非晶質シリコン層の厚みは、上記実施例 1 - 1 および 1 - 2 と同様に形成した。これら以外の部分の構造および作製プロセスは、上記した本実施形態による光起電力装置と同様である。また、従来例 1 - 2 は、上記の従来例 1 - 1 と全く同様に作製した。以上のように作製した実施例 1 - 3、実施例 1 - 4 および従来例 1 - 2 についての出力特性の測定結果を以下の表 4 に示す。

【 0 0 6 5 】

【表 4】

	水素濃度分布 (原子/cm ³)	Voc (V)	Isc (A)	FF	Pmax (W)
従来例 1 - 2	4.5×10^{20}	0.685	3.724	0.746	1.90
実施例 1 - 3	9.0×10^{20}	0.692	3.723	0.759	1.96
実施例 1 - 4	20.5×10^{20}	0.691	3.727	0.755	1.94

【 0 0 6 6 】

上記表 4 から、実施例 1 - 3 の出力特性（開放電圧（Voc）：0.692 V、短絡電流（Isc）：3.723 A、曲線因子（FF）：0.759、セル出力（Pmax）：1.96 W）および実施例 1 - 4 の出力特性（開放電圧（Voc）：0.691 V、短絡電流（Isc）：3.727 A、曲線因子（FF）：0.755、セル出力（Pmax）：1.94 W）は、従来例 1 - 2 の出力特性（開放電圧（Voc）：0.685 V、短絡電流（Isc）：3.724 A、曲線因子（FF）：0.746、セル出力（Pmax）：1.90 W）と比べて、実施例 1 - 3 の短絡電流（Isc）を除いて向上していることがわかる。これは、前述した実施例 1 - 1 および実施例 1 - 2 と同様に、実施例 1 - 3 および実施例 1 - 4 でも、増加した水素原子によって実施例 1 - 3 および 1 - 4 の裏側の i 型非晶質シリコン層中の欠陥が低減されたことに起因すると考えられる。

【 0 0 6 7 】

また、上記表 4 から、実施例 1 - 3 および実施例 1 - 4 の従来例 1 - 2 に対する出力特性の向上の程度が、上記表 3 の実施例 1 - 1 および実施例 1 - 2 の出力特性の向上と比べて小さいことがわかる。これは、裏側の構造の光起電力装置の発電に対する寄与が、表側の構造の寄与に比べて小さいためであると考えられる。

【 0 0 6 8 】

また、上記表 3 および表 4 から、本実施形態による実施例 1 - 1 ~ 実施例 1 - 4 では、i 型非晶質シリコン層中の水素濃度のピーク値と水素濃度の最小値との差（水素濃度分布）が 9×10^{20} 原子/cm³ 以上あることがわかる。これにより、水素濃度分布が、 9×10^{20} 原子/cm³ 以上であれば、光起電力装置の出力特性を向上させることが可能であることがわかる。これは、水素濃度分布がこの値以上であれば、出力特性を向上させ

るのに十分な量の水素原子を i 型非晶質シリコン層中に存在させることが可能であるためと考えられる。

【0069】

次に、図3に示した実施形態の第1変形例のような2つのピークを有する水素原子の濃度プロファイルを表側に有する光起電力装置(実施例2-1)を作製して、その出力特性を測定した。この実施例2-1では、上記表2の低水素条件および高水素条件を2回繰り返して表側の i 型非晶質シリコン層を形成した。これ以外は、上記実施例1-1と同様にして実施例2-1を作製した。出力特性の測定結果を以下の表5に示す。

【0070】

【表5】

	Voc (V)	Isc (A)	FF	Pmax (W)
実施例2-1	0.703	3.714	0.747	1.951

【0071】

上記表5から、実施例2-1の出力特性(開放電圧(Voc): 0.703V、短絡電流(Isc): 3.714A、曲線因子(FF): 0.747、セル出力(Pmax): 1.951W)は、上記従来例1-1の出力特性(表3参照)(開放電圧(Voc): 0.685V、短絡電流(Isc): 3.724A、曲線因子(FF): 0.746、セル出力(Pmax): 1.90W)と比べて、短絡電流(Isc)を除いて向上していることがわかる。実施例2-1で出力特性が向上したのは、前述した実施例1-1および実施例1-2で出力特性が向上したのと同様の理由によるものと考えられる。

【0072】

また、図4に示した実施形態の第2変形例のような i 型非晶質シリコン層と p 型非晶質シリコン層との界面近傍にピークを有する水素原子の濃度プロファイルを表側に有する光起電力装置(実施例3-1)を作製して、その出力特性を測定した。この実施例3-1では、上記表2の高水素条件を用いるタイミングを後の方にずらして表側の i 型非晶質シリコン層を形成した。これ以外は、上記実施例1-1と同様にして実施例3-1を作製した。この実施例3-1でも、上記の従来例1-1と比べて、出力特性の向上が得られることが本願発明者により確認された。

【0073】

なお、今回開示された実施形態および実施例は、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、上記した実施形態および実施例の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに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。

【0074】

たとえば、上記実施形態では、n型単結晶シリコン基板1の上面上に、実質的に真性な i 型非晶質シリコン層2aを介して p 型非晶質シリコン層2bを形成するようにしたが、本発明はこれに限らず、p型単結晶シリコン基板の上面上に、実質的に真性な i 型非晶質シリコン層を介して n 型非晶質シリコン層を形成するようにしてもよい。この場合、p型単結晶シリコン基板の裏面上に、実質的に真性な i 型非晶質シリコン層を介して p 型非晶質シリコン層を形成してもよい。

【0075】

また、上記実施形態では、n型単結晶シリコン基板1の裏面上に、非晶質シリコン層12(i型非晶質シリコン層12aおよびn型非晶質シリコン層12b)が形成されたBSF構造を有するようにしたが、本発明はこれに限らず、n型単結晶シリコン基板の裏面上に、n側(裏側)の非晶質シリコン層を形成せずに、裏面電極を形成するようにしてもよい。

【0076】

また、上記実施形態では、p側(表側)の膜形成を先に行うようにしたが、本発明はこ

10

20

30

40

50

れに限らず、n側（裏側）の膜形成を先に行うようにしてもよい。

【0077】

また、上記実施形態および変形例では、p側（表側）のi型非晶質シリコン層2a、または、n側（裏側）のi型非晶質シリコン層12aのどちらか一方のみが水素濃度のピークを有する場合を例にとって説明したが、本発明はこれに限らず、p側（表側）およびn側（裏側）のi型非晶質シリコン層2aおよび12aの両方が水素濃度のピークを有するように構成してもよい。これに伴って、表側のi型非晶質シリコン層2aとp型非晶質シリコン層2bとの界面の水素濃度を表側のi型非晶質シリコン層2a中の水素濃度のピークよりも低い濃度に設定するとともに、裏側のi型非晶質シリコン層12aとn型非晶質シリコン層12bとの界面の水素濃度を裏側のi型非晶質シリコン層12a中の水素濃度のピークよりも低い濃度に設定してもよい。

10

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図1】本発明の一実施形態による光起電力装置の構造を示した断面図である。

【図2】SIMSにより測定した実施形態および従来例による光起電力装置の表側（n型単結晶シリコン基板の上面近傍）の水素原子の濃度プロファイルを示した図である。

【図3】本発明の一実施形態の第1変形例による水素濃度プロファイルを示した図である。

【図4】本発明の一実施形態の第2変形例による光起電力装置の水素濃度プロファイルを示した図である。

20

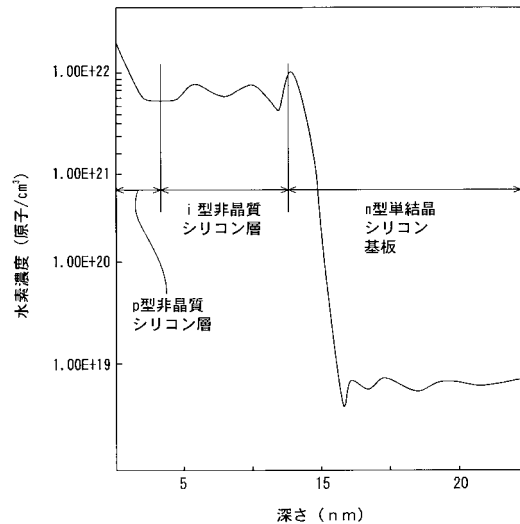
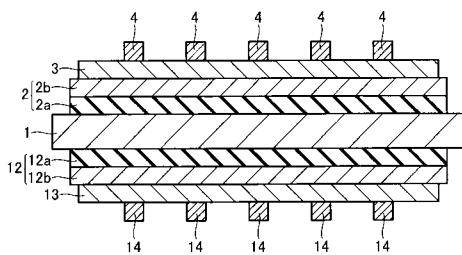
【符号の説明】

【0079】

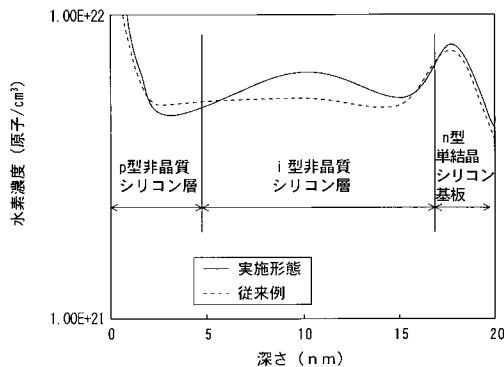
- 1 n型単結晶シリコン基板（結晶系半導体）
- 2a i型非晶質シリコン層（第1非晶質半導体層）
- 2b p型非晶質シリコン層（第2非晶質半導体層）

【図1】

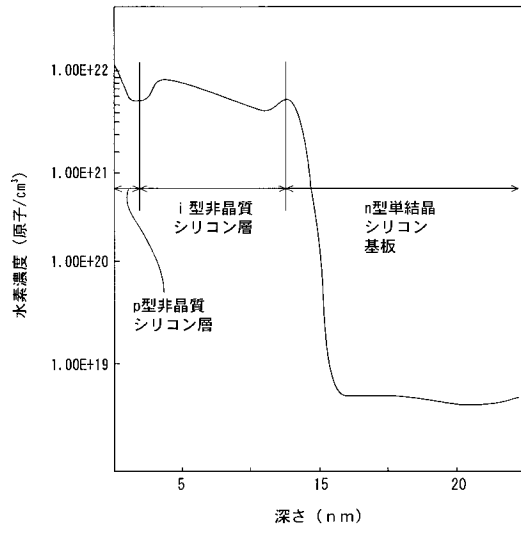
【図3】



【図2】



【 図 4 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平06-077512(JP,A)
特開平06-125099(JP,A)
特開2001-345463(JP,A)
特開2002-076409(JP,A)
特開平08-298333(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 31/04 - 31/06、51/42