

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5871786号
(P5871786)

(45) 発行日 平成28年3月1日 (2016.3.1)

(24) 登録日 平成28年1月22日 (2016.1.22)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 31/055 (2014.01)

H O 1 L 31/04 6 2 2

H O 1 L 31/056 (2014.01)

H O 1 L 31/04 6 2 4

請求項の数 8 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2012-264284 (P2012-264284)
 (22) 出願日 平成24年12月3日 (2012.12.3)
 (65) 公開番号 特開2014-110330 (P2014-110330A)
 (43) 公開日 平成26年6月12日 (2014.6.12)
 審査請求日 平成26年9月29日 (2014.9.29)

(73) 特許権者 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74) 代理人 100089118
 弁理士 酒井 宏明
 (72) 発明者 井上 敦文
 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 時岡 秀忠
 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 小西 博文
 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】 太陽電池モジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも二つの太陽電池素子が、
 前記太陽電池素子の受光面を被う受光面封止材と、
 前記太陽電池素子の受光面に対向する面である裏面側を被う裏面封止材とで一体的に封
 止された太陽電池モジュールであって、
 前記裏面封止材の表面或いは内部に、
 隣接する前記太陽電池素子の素子間領域で、ダウンシフト又はダウンコンバージョンの
 波長変換層を設ける一方で、
 前記太陽電池素子の直下領域で、アップコンバージョンの波長変換層を設けることを特
 徴とする太陽電池モジュール。

10

【請求項 2】

前記ダウンシフトの波長変換層は、前記素子間領域において、前記裏面封止材の最外層
 に形成されており、
 熱可塑性樹脂とダウンシフト材料との混合物で構成されることを特徴とする請求項 1 に
 記載の太陽電池モジュール。

【請求項 3】

前記裏面封止材の裏面側にバックフィルムが装着されており、
 前記裏面封止材のうち前記波長変換層は前記バックフィルムよりも薄く形成されたこと
 を特徴とする請求項 1 または 2 に記載の太陽電池モジュール。

20

【請求項 4】

前記バックフィルムは、
前記太陽電池素子の直下領域で、正反射率がより高く、
前記太陽電池素子の素子間領域では、散乱反射率がより高いことを特徴とする請求項 3
に記載の太陽電池モジュール。

【請求項 5】

前記バックフィルムは、
前記太陽電池素子の直下領域で、表面に金属層からなる反射層を有し、
前記太陽電池素子の素子間領域では、熱可塑性樹脂中に散乱物質が分散されたことを特
徴とする請求項 4 に記載の太陽電池モジュール。

10

【請求項 6】

前記バックフィルムは、
前記太陽電池素子の素子間領域では、表面が凹凸形状を有することを特徴とする請求項
4 または 5 に記載の太陽電池モジュール。

【請求項 7】

前記受光面封止材は
前記太陽電池素子の素子間領域に、波長変換材料を有することを特徴とする請求項 1 から
6 のいずれか 1 項に記載の太陽電池モジュール。

【請求項 8】

前記受光面封止材は、
透光性基板に装着され、
前記波長変換材料は、前記透光性基板に当接するように配置されたことを特徴とする請
求項 7 に記載の太陽電池モジュール。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、太陽電池モジュールに関する。

【背景技術】

30

【0002】

太陽電池に代表される光電変換装置は、光電変換作用により電子及び正孔を対生成させ
る光電変換層と、光電変換層内に拡散電位を生じさせ、対生成した電子及び正孔を収集す
る導電型層を具備している。光電変換層は二つの異なる導電型を示す導電型層を含む構造
が一般的である。この光電変換層が二つの異なる導電型層の間に挟まれた構造を光電変換
ユニットと呼ぶ。

【0003】

光電変換効率向上のための手段の一つに、入射光を制御することで有効利用する方法が
ある。例えば、光電変換層の表面に施した微小な凹凸構造により、入射光が光電変換層内
部で散乱され、光路長が伸び、光を閉じ込めることができることが知られている。

40

【0004】

ところで近年、光電変換ユニットはそのまま、太陽光のスペクトル自体を、使用する
光電変換ユニットに最適な波長域に変換し、光電変換装置に吸収させる方法（以下、波長
変換という）が提案されている。波長変換は、現在有効利用されていない高エネルギーフ
ォトンに関しては、1 フォトン複数の低エネルギーフォトンに変換する量子カッティン
グ現象や、1 フォトン1 つの低エネルギーフォトンに変換するダウンシフト、複数のフ
ォトン光電変換に有効な低エネルギーフォトンに変換するダウンコンバージョン、複数
の低エネルギーフォトンのエネルギーを用いて光電変換に有効なエネルギーフォトンに変
換するアップコンバージョン等に、分類できる。

【0005】

50

例えば、特許文献 1 には光電変換層上に希土類元素を含む波長変換層を配置し、光入射を波長変換層の側からおこなうことで、高エネルギーフォトンが光電変換においてより適した複数の低エネルギーフォトンに波長変換する方法が示されている。

【 0 0 0 6 】

さらに、太陽電池モジュールに関しても、波長変換層を配置する方法が示されている。例えば、特許文献 2 には、太陽電池素子の受光面とは反対側の面に、太陽電池素子側から順に波長変換層及び光反射層を設けた太陽電池モジュールを構成し、太陽電池素子で発電に利用されずに裏面に漏れた短波長の光を、波長変換層で発電に利用される長波長の光に変換し、光反射層で太陽電池素子に向かって反射させることにより、太陽電池モジュールの発電量を増加させる技術が開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 1 - 1 5 1 0 6 8 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 1 2 - 1 2 9 3 9 1 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

しかしながら、上記特許文献 2 では単に、太陽電池素子の受光面とは反対側のモジュール裏面全体に、短波長光を可視光に近い長波長光に変換するダウシフト波長変換層を設けるものである。一般に太陽電池モジュールにおいては、隣接する太陽電池素子の間では太陽電池モジュールに入射したあらゆる波長の光がモジュールの裏面まで到達するが、太陽電池素子の直下ではモジュールの裏面まで到達する光のほとんどは 1 0 0 0 n m 以上の波長の光である。そのため、太陽電池素子領域直下と太陽電池素子領域以外の直下とで同一の波長変換材料を使用すると波長変換による効果的な電流増加が見込めないという問題があった。

20

【 0 0 0 9 】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、短絡電流が大きく、発電特性に優れた太陽電池モジュールを得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

30

【 0 0 1 0 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、隣接する太陽電池素子間の裏面封止材の表面或いは内部に、ダウシフト又はダウコンバージョンの波長変換層を設ける一方で、太陽電池素子の直下の裏面封止材の表面或いは内部に、アップコンバージョンの波長変換層を設けることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、太陽電池素子間領域における入射光では、紫外光を多く含む短波長光を可視の長波長光に変換し、太陽電池素子の直下では、赤外光を多く含む長波長光を可視の短波長光に変換する。可視光は太陽電池素子の分光感度が高く、吸収により発電する電流が多い。このようにして、太陽電池素子領域と太陽電池素子領域以外とで選択的な波長変換材料を設けることにより、発電電流を増加させることが可能となるという効果を奏する。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】図 1 は、本発明の実施の形態 1 の太陽電池モジュールの構造を示す上面図である。

【図 2】図 2 は、本発明の実施の形態 1 の太陽電池モジュールの構造を示す断面図である。

【図 3 - 1】図 3 - 1 は、本発明の実施の形態 1 の太陽電池モジュールにおけるアップコ

50

ンバージョン波長変換層の構造を示す断面図である。

【図３－２】図３－２は、本発明の実施の形態１の太陽電池モジュールにおけるダウンシフト波長変換層の構造を示す断面図である。

【図４】図４は、本発明の実施の形態１の太陽電池素子の構造を示す断面図である。

【図５－１】図５－１は、本発明の実施の形態１の太陽電池素子の製造方法を説明する部分断面図である。

【図５－２】図５－２は、本発明の実施の形態１の太陽電池素子の製造方法を説明する部分断面図である。

【図５－３】図５－３は、本発明の実施の形態１の太陽電池素子の製造方法を説明する部分断面図である。

【図５－４】図５－４は、本発明の実施の形態１の太陽電池素子の製造方法を説明する部分断面図である。

【図５－５】図５－５は、本発明の実施の形態１の太陽電池素子の製造方法を説明する部分断面図である。

【図５－６】図５－６は、本発明の実施の形態１の太陽電池素子の製造方法を説明する部分断面図である。

【図６】図６は、本発明の実施の形態１の太陽電池モジュールの構成の一部を示した断面図である。

【図７】図７は、本発明の実施の形態１の太陽電池モジュールにおける波長変換層の構成例と光電変換の動作を示す図である。

【図８】図８は、典型的なシリコンモジュールの量子効率を示す図である。

【図９】図９は、本発明の実施の形態２の太陽電池モジュールにおける波長変換層の構成例と光電変換の動作を示す図である。

【図１０】図１０は、本発明の実施の形態３による太陽電池モジュールの構成の一部を示した断面図である。

【図１１】図１１は、本発明の実施の形態４による太陽電池モジュールの構成の一部を示した断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１３】

以下に、本発明にかかる太陽電池モジュールの実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、本発明は以下の記述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適宜変更可能である。また、以下に示す図面においては、理解の容易のため、各部材の縮尺が実際とは異なる場合がある。各図面間においても同様である。

【００１４】

実施の形態１．

図１は本実施の形態１の太陽電池モジュールの構造を示す上面図である。図１は太陽光の受光面側から見た図である。図２は本実施の形態１の太陽電池モジュールの断面図であり、図１の点線Ａ－Ｂ間の断面である。本実施の形態の太陽電池モジュール１００は、太陽電池素子の受光面を覆う受光面封止材と、受光面に対向する面である裏面側を被う裏面封止材とで一体的に封止されている。そしてこの裏面封止材が、隣接する太陽電池素子の素子間領域で、ダウンシフトの波長変換層を有し、太陽電池素子の直下領域で、アップコンバージョンの波長変換層を有する。本実施の形態では、アップコンバージョンの波長変換層として、ガラス板８とバックフィルム１１との間に太陽電池素子１０が封止樹脂７と波長変換材料１８で構成された封止層９ａを配し、ダウンシフトの波長変換層として、前記封止樹脂７の内部に波長変換材料１８を粒子状にして混合した封止層９ｂからなる。

【００１５】

なお、図３－１及び図３－２はそれぞれアップコンバージョン波長変換層である封止層９ａとダウンシフト波長変換層である封止層９ｂについて模式的に示したものである。図３－１では、封止層９ａがバックフィルム１１上に波長変換材料１８ａを薄く塗布して一成分で構成されている。これに対して、図３－２では、封止層９ｂはバックフィルム１１

上に封止樹脂 7 の材料と同様の熱可塑性樹脂と波長変換材料 18 b の粒子の混合物で構成されている。波長変換材料 18 a は 900 nm 程度より長い波長の光を、400 ~ 900 nm 程度の光に変換するもので、2 光子吸収の特性を有する色素としてポルフィリンやフタロシアニンなどの化合物、およびフルオレン系などの発光ポリマーなどからなる。一例として、 Tm^{3+} と Yb^{3+} とを含有する蛍光体では、1000 nm 程度の近赤外波長の光を吸収して 400 ~ 500 nm 程度の青色の波長の光を発することが知られている。また、Er などの希土類元素を Y_2O_3 、 $YAlO_3$ 、 YF_3 などに添加して得られる焼結粒子であってもよい。シリコンを主成分とする光電変換層からなる太陽電池素子では裏面側に 1000 nm 以上の波長の光が比較的多く透過するので、これらの波長域にある光をシリコンが吸収しやすい 400 ~ 700 nm に変換するものであることが望ましい。

10

【0016】

これらのアップコンバージョン材料は、アクリル樹脂やシリコン樹脂などの透光性なポリマーなどの材料中に分散してもよい。適当な溶媒を用いて溶液とし、スパッタ法、印刷法、スプレー塗布法等によって形成することができる。波長変換材料 18 b は波長 300 ~ 400 nm 程度の光を、波長 400 ~ 900 nm 程度の光に変換するもので、例えば、励起波長が紫外光に近い 300 ~ 500 nm 程度にあり、発光波長が可視光の 500 ~ 700 nm 程度にある $CaAlSiN_3:Eu^{2+}$ を用いる。また、これ以外の無機蛍光剤として酸化亜鉛 (ZnO)、硫化亜鉛 (ZnS)、セレン化亜鉛 ($ZnSe$)、硫化カドミウム (CdS) ; Er^{3+} 、 Yb^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Pr^{3+} 、 Eu^{3+} などの希土類元素を含む希土類含有 YAG (イットリウム・アルミニウム・ガーネット) などの無機蛍光剤を用いる。また、有機蛍光体などを用いても良い。太陽電池素子 10 は受光面側の表面と裏側の表面とに集電電極を備え、配列されて隣り合う太陽電池素子 10 の電極間はインターコネクタ 19 で直列接続されている。なお、図 1 は 12 個の太陽電池素子 10 を直列接続した太陽電池モジュール 100 を示す図であるが、個数および配置は任意に変更可能であり、並列接続を組み合わせてもよい。また、太陽電池モジュール 100 の裏面側に電力を取り出すためのリード線 20 が、直列接続された太陽電池素子 10 の両端のものに接続される。

20

【0017】

ガラス板 8 としては例えば、ソーダ石灰ガラスなどの材料を用いることができる。屋外で使用する太陽電池モジュールでは、ガラス板 8 として熱強化または化学強化したものを
用いるとよい。ガラス板 8 のサイズは太陽電池素子 10 の数により種々に変更可能であるが、典型的な厚みは 0.5 ~ 3 mm である。バックフィルム 11 は水分の侵入などにより太陽電池素子が劣化しないように透湿性の低いフィルム、または受光面側と同様なガラス板を用いる。太陽電池素子 10 およびそれらの隙間を通過した光を太陽電池素子 10 側に反射させるために、バックフィルム 11 として白色や金属色の光反射性の材料を用いてもよい。封止樹脂 7 は透光性なエチレン酢酸ビニル共重合樹脂 (EVA) または紫外光の透過性が高いシリコン樹脂などを用いるとよい。インターコネクタ 19 は例えば、はんだで被覆した銅線などを用いることができる。

30

【0018】

図 4 は本発明の実施の形態 1 による太陽電池素子 10 の概略構成を示す断面図である。
n 型半導体基板は、単結晶シリコン、多結晶シリコンなどの結晶シリコン、化合物半導体等からなる薄い半導体基板である。本実施の形態では、n 型単結晶シリコン基板 1 を用いている。結晶シリコンの場合、典型的な基板サイズは 10 ~ 15 cm 角の略正方形、厚みは 0.1 ~ 0.3 mm などである。

40

【0019】

n 型単結晶シリコン基板 1 の両側の表面に i 型非晶質シリコン層 2 a, 2 b が形成されている。前記 i 型非晶質シリコン層 2 a 上には n 型単結晶シリコン基板 1 と逆導電型の不純物を含む p 型非晶質シリコン層 3 が形成されている。前記 p 型非晶質シリコン層 3 が形成されている側と反対側の基板表面に形成された前記 i 型非晶質シリコン層 2 b 上には n 型単結晶シリコン基板 1 と同じ導電型の不純物を含む n 型非晶質シリコン層 4 が形成され

50

ている。p型非晶質シリコン層3、n型非晶質シリコン層4上に透光性電極5a、5bが形成されている。前記透光性電極5a上には集電電極6aが、また前記透光性電極5b上には集電電極6bが形成されている。前記集電電極6a、6bは太陽電池素子10のそれぞれ受光面と裏面の表面に形成された細線状の電極である。前記集電電極6a、6bはn型単結晶シリコン基板1の両面に銀または銅などの金属微粒子と樹脂を混合した金属ペーストの印刷等で形成することができ、蒸着法、スパッタ法などの成膜技術、めっき法などで形成され、n型単結晶シリコン基板1面内で発生した電流を収集する。前記集電電極6a、6bは、図のように直線状に伸びた細線が間隔をあけて平行に並んだグリッド状のパターンとすると良いが、網の目状または樹枝状としてもよい。前記集電電極6a、6bは、その形状からグリッド電極、ファイガー電極とも呼ばれることがある。

10

【0020】

n型単結晶シリコン基板1は図4のように両面に反射防止用の微細な凹凸が形成されている。図ではn型単結晶シリコン基板1の両面を凹凸としたが、裏側に平坦層を形成してもよく、また両側を平坦としてもよい。

【0021】

次に本実施の形態1の太陽電池素子の製造方法について説明する。図5-1~5-6は本発明の実施の形態1の製造方法の手順を説明する断面図である。まず図5-1に示すようにn型単結晶シリコン基板1を用意し、図5-2に示すようにこのn型単結晶シリコン基板1の表面にテクスチャ1Tと呼ばれる凹凸構造を形成する。凹凸の形成には、酸性或いはアルカリ性のエッチング溶液を用いる。凹凸形成は光入射側だけでも良い。また凹凸形成前に、基板表面のダメージ層を除去する工程を実施しても良い。加えてダメージ層除去工程後に、基板内不純物のゲッタリング処理を施すと性能向上に望ましい。ゲッタリング処理としては、リン拡散処理などを用いる。受光面側の表面のみ凹凸を形成して裏面側の表面を平坦に保つには、受光面側の表面のみにエッチング液を接触させる処理、または裏面側に保護膜を形成した状態でn型単結晶シリコン基板1をエッチングする処理を行う。

20

【0022】

凹凸を形成した後、図5-3に示すように基板の片面にi型非晶質シリコン層2a、p型非晶質シリコン層3をこの順番で化学気相成長(CVD)法を用いて形成する。i型非晶質シリコン層2aの層厚は数nm程度、p型非晶質シリコン層3の層厚は数~20nm程度とするとよい。CVDとしてはプラズマCVD、熱CVD法などを用いることが望ましい。光電変換層であるn型単結晶シリコン基板1に対して十分な内蔵電界を発生する太陽電池素子のためには、p型非晶質シリコン層3のバンドギャップ、活性化エネルギーはそれぞれ1.7eV以上、0.4eV以下であることが必要である。なおi型非晶質シリコン層2aの代わりに、i型非晶質炭化シリコン層、i型非晶質酸化シリコン層或いはそれらを積層した多層膜を用いても良い。またp型非晶質シリコン層3の代わりにp型非晶質炭化シリコン層、p型非晶質酸化シリコン層、p型微結晶シリコン層或いはそれらを積層した多層膜などを用いても良い。

30

【0023】

n型結晶シリコン基板1の片面にi型非晶質シリコン層2a、p型非晶質シリコン層3を形成した後、図5-4に示すように基板の反対側にi型非晶質シリコン層2b、n型非晶質シリコン層4をこの順番で化学気相成長法を用いて形成する。i型非晶質シリコン層2bの層厚は数nm程度、n型非晶質シリコン層4の層厚は数~20nm程度とするとよい。CVDとしてはプラズマCVD、熱CVD法などを用いることが望ましい。光電変換層であるn型単結晶シリコン基板1に対して十分な内蔵電界を発生させるためには、n型非晶質シリコン層4のバンドギャップ、活性化エネルギーはそれぞれ1.7eV以上、0.3eV以下であることが必要である。なおi型非晶質シリコン層2bの代わりに、i型非晶質炭化シリコン層、i型非晶質酸化シリコン層或いはそれらを積層した多層膜を用いても良い。またn型非晶質シリコン層4の代わりにn型非晶質炭化シリコン層、n型非晶質酸化シリコン層、n型微結晶シリコン層或いはそれらを積層した多層膜などを用いても

40

50

良い。

【0024】

n型単結晶シリコン基板1の片面にi型非晶質シリコン層2b、n型非晶質シリコン層4を形成した後、i型非晶質シリコン層2a、2bとn型単結晶シリコン基板1の界面欠陥低減のため、不活性ガス或いは不活性ガスで希釈した水素ガス中で熱アニール処理を施しても良い。アニール温度は200以下が望ましい。

【0025】

熱アニール処理の後、図5-5に示すようにp型非晶質シリコン層3、n型非晶質シリコン層4の上にそれぞれ、透光性電極5a、5bをスパッタ法或いは蒸着法などで形成する。透光性電極5a、5bの膜厚は干渉効果により太陽光スペクトルのピーク波長で反射率が低下する膜厚とすることが望ましい。透光性電極材料としてはITOあるいは酸化インジウム(In_2O_3 : Indium Oxide)、 SnO_2 、 ZnO などを用いるとよい。また透光性電極の抵抗率は低いことが望ましいが、導電性を担うキャリア密度が高いと光吸収率が増加してしまう。そのため透光性電極として用いた材料は高移動度である必要がある。

【0026】

p型非晶質シリコン層3、n型非晶質シリコン層4の上に透光性電極5a、5bを形成した後、図5-6に示すように透光性電極5a、5b上に金属ペーストで構成される集電電極6a、6bをスクリーン印刷法で形成する。集電電極の幅は遮光を押さえるため狭いほどよいが、抵抗が増加してしまう。従って集電電極6a、6bは層厚が大きいことが望ましく、同じパターンで繰り返して重ねるようにスクリーン印刷する方法を用いてもよい。本実施の形態では幅を70 μm 、層厚を40 μm とした。なおスクリーン印刷の他に、メッキ法などで集電電極を形成してもよい。集電電極の印刷後、焼成をおこなう。高温熱処理では、i型非晶質シリコン層2a、2bが結晶化するため、スクリーン印刷後の焼成温度は200以下とすることが望ましい。以上の工程を実施することにより、図4に示した太陽電池素子10が得られる。

【0027】

次に本実施の形態1の太陽電池モジュールの製造方法について説明する。太陽電池素子としては、本実施の形態1の太陽電池素子を用いる。図6は図2の太陽電池モジュールのうち、隣接する2つの太陽電池素子を含む部分を取り出して示した部分断面図である。次に、太陽電池素子10どうしをインターコネクタ19で接続する。インターコネクタ19の接続には、低融点の半田などを用いる。次に、ガラス板8、封止樹脂7、インターコネクタ19で相互に接続した太陽電池素子10、封止樹脂7、波長変換材料10a、10bをそれぞれ含む封止層9a、9b、バックフィルム11を順に積み重ねて、真空中で加熱とともに押圧する封止処理を行う。封止樹脂7は溶融して受光面側のガラス板8と裏面側のバックフィルム11の間の隙間を埋めて、太陽電池素子10を固定する。このようにして図2のような太陽電池モジュール100が完成する。

【0028】

次に、太陽電池モジュール100に入射した光の軌跡に関して説明する。図7は図6のうち、前記封止層9aと封止層9bとを含む部分を取り出し、受光面側からの入射光とその入射光のうち前記封止層9aと封止層9bでの光の軌跡を示したものである。本実施の形態1の太陽電池モジュールにおいて、隣接する太陽電池素子の間に入射した入射光12に含まれる波長300~400nm程度の光は、封止層9b内部の波長変換材料18にて波長400~900nm程度の光に変換されたうえで散乱反射して反射光13a、13bのように太陽電池素子に入射する。反射光13a、13bは分光感度が高いため光電変換において適している。一方、太陽電池素子受光面の直上から入射し、太陽電池素子裏面に透過した透過光14に含まれる波長900nm程度以上の光は、封止層9aを構成する波長変換材料にて波長400~900nm程度の光に変換されたうえで、入射方向に正反射して反射光15のように太陽電池素子に再入射する。反射光15は分光感度が高いため光電変換において適している。また、裏面封止材は裏面側に装着されるバックフィルム11

10

20

30

40

50

よりも薄く形成されるのが望ましい。少なくとも裏面封止材のうち波長変換層である封止層 9 a , 9 b はバックフィルム 1 1 よりも薄く形成されるのが望ましい。太陽電池素子 1 0 の裏面に透過した光の正反射光の太陽電池素子への再入射確率を高めるために、太陽電池素子 1 0 の裏面の下側に配置した封止樹脂 7 を耐衝撃性が失われない程度に可能な限り薄くするのが望ましい。そして、同時にバックフィルム 1 1 を厚くし、耐衝撃性を高めるようにするとなお良い。以上のようにして、封止材をできる限り薄く、バックフィルムをできる限り厚くするのが望ましい。太陽電池素子 1 0 の直下に透過した光は、波長変換の後にできるだけ真上すなわち、元の透過経路に近い経路で、正反射させるのが望ましい。そのようにしないと裏面のグリッド電極に入射し、太陽電池素子での吸収がなされない場合がある。以上のように、封止材を薄くすることで、太陽電池素子までの反射経路を短くして太陽電池素子での吸収確率を高める一方で、バックフィルムを厚くして耐衝撃性を維持する。

10

【 0 0 2 9 】

典型的なシリコンモジュールの量子効率を図 8 に示す。最大値を 1 として規格化してある。紫外光を中心とする波長 3 0 0 ~ 4 0 0 n m 程度と赤外光域の波長 9 0 0 ~ 1 2 0 0 n m 程度の分光感度が低く、可視光を中心とする波長 4 0 0 ~ 9 0 0 n m 程度の分光感度が高いことがわかる。上述したように、実施の形態 1 にかかる太陽電池モジュール 1 0 0 は、隣接する太陽電池素子の間に位置する裏面封止材の表面或いは内部では、波長 3 0 0 ~ 4 0 0 n m 程度の光を波長 4 0 0 ~ 9 0 0 n m 程度の光に変換するダウシフトの波長変換層（封止層 9 b ）を有する一方で、太陽電池素子の直下に位置する裏面封止材の表面或いは内部では、9 0 0 n m 程度より長い波長の光を波長 4 0 0 ~ 9 0 0 n m 程度の光に変換するアップコンバージョン波長変換層（封止層 9 a ）を有することを特徴とし、太陽電池素子の直下と隣接する太陽電池素子の間とで選択的な波長変換材料を用いることにより、発電電流を増加させることが可能となる。その結果、光電変換装置の短絡電流が増加し、変換効率が向上する。

20

【 0 0 3 0 】

以下に期待される変換効率の向上見積もりを示す。先にアップコンバージョン波長変換層による利得を見積もる。モジュールへ入射する太陽光のうち、波長 1 0 0 0 ~ 1 2 0 0 n m の光はおおむね 1 5 % 程度が太陽電池素子の直下に到達し、前記波長 1 0 0 0 ~ 1 2 0 0 n m の光は、バックフィルム上のアップコンバージョン波長変換層（封止層 9 a ）により波長 4 0 0 ~ 9 0 0 n m の光に変換される。バックフィルムでの波長 4 0 0 ~ 9 0 0 n m の光の反射率をおおむね 7 0 % とすれば、結局モジュールへ入射する太陽光の波長 1 0 0 0 ~ 1 2 0 0 n m の光量のうちの 1 0 % 程度が太陽電池素子の裏面から再入射される。

30

【 0 0 3 1 】

なお、封止樹脂 7 として E V A を用いた場合には、波長 4 0 0 ~ 1 2 0 0 n m 程度の光の透過率はおおむね 1 0 0 % であることを考慮した。さらに、バックフィルムによる反射は 1 0 0 % 正反射とした。地上に降り注ぐ太陽光線エアマス 1 . 5 において、典型的なシリコンモジュールにおける発電電流のうち、波長 1 0 0 0 ~ 1 2 0 0 n m の光による電流はおおむね 1 2 % 程度であり、また、波長 4 0 0 ~ 9 0 0 n m の単位波長当たりの光の発電電流は波長 1 0 0 0 ~ 1 2 0 0 n m の単位波長当たりの光の発電電流と比較しておおよそ 2 . 5 倍程度と見積もられる。したがって、アップコンバージョン波長変換層である封止層 9 a が存在することによりおおよそ 1 . 8 % 程度発電電流と変換効率が上昇すると見積もられる。

40

【 0 0 3 2 】

次にダウシフト波長変換層による利得を見積もる。モジュールへ入射する太陽光のうち、紫外光を中心とする波長 3 5 0 ~ 4 0 0 n m の光はおおむね 2 5 % 程度が裏面のバックフィルム 1 1 上のダウシフトの波長変換層である封止層 9 b に入射し、波長 4 0 0 ~ 9 0 0 n m の光に変換される。バックフィルム 1 1 での波長 4 0 0 ~ 9 0 0 n m の光の反射率をおおむね 7 0 % とすれば、結局モジュールへ入射する太陽光の波長 3 5 0 ~ 4 0 0

50

nmの光のうちの18%程度が太陽電池素子に裏面から入射される。なお、封止樹脂7としてEVAを用いた場合には、波長400～1200nm程度の光の透過率はおおむね100%であることを考慮した。さらに、バックフィルム11による反射は100%散乱反射とした。また裏面には集電電極が施されているため、太陽電池素子に裏面から入射される光のうちの75%程度が発電に寄与することとする。地上に降り注ぐ太陽光線エアマス1.5において、典型的なシリコン太陽電池モジュールにおける発電電流のうち、波長350～400nmの光による電流はおおむね1.1%程度であり、また、波長400～900nmの単位波長当たりの光の発電電流は波長350～400nmの単位波長当たりの光の発電電流と比較しておおよそ4倍程度と見積もられる。したがって、ダウンシフト波長変換層が存在することによりおおよそ0.5%程度発電電流と変換効率が上昇すると見積もられる。ここで太陽光線エアマスとは、大気通過量を指し、AM1.0とは光の入射角が90度(真上)から入射した光を意味し、AM1.5はその通過量が1.5倍(入射角41.8度)での到達光を表す。太陽光は大気圏を通過することにより大気中のオゾンや水蒸気などにより、光の一部が吸収される。そこで入射角によって光量を規定する。

【0033】

実施の形態2.

図9は本発明の実施の形態2による太陽電池モジュールの構成の一部を示した断面図である。本実施の形態2の太陽電池モジュールは実施の形態1と類似するが、バックフィルム11の受光面側に設けられた波長変換材料の含まれる封止層9a, 9bの位置に対応して、前記バックフィルム11の種類に違いがある点が異なる。封止層9aの直下に位置するバックフィルム部分11aはPET(ポリエチレンテレフタレート)などの表面に、正反射率が高くなるように例えば金属を蒸着して反射層Mを形成する一方、封止層9bの直下に位置するバックフィルム部分11bは散乱反射率の高くなるように例えばPETなど熱可塑性樹脂R中に酸化チタンなどの粒子からなる散乱物質Dを埋め込むことで形成する。バックフィルム部分11a, 11bはそれぞれ太陽電池素子10の封止の前にあらかじめPETなどの表面に位置合わせをして構成すればよい。つまりバックフィルム11は、太陽電池素子の直下領域で、表面に金属層からなる反射層Mを有し、太陽電池素子10の素子間領域では、熱可塑性樹脂R中に散乱物質Dが分散された構成をとる。なおこの散乱物質Dは熱可塑性樹脂Rの表面のみに分散された構成でもよい。

【0034】

実施の形態1で述べたように、封止層9aは直上から入射した光を波長変換の後に正反射させることで太陽電池素子に入射させて発電に寄与させ、一方、封止層9bは直上から入射した光を波長変換の後に散乱反射させることで太陽電池素子に再入射させて発電に寄与させるが、バックフィルム部分11a, 11bはそれぞれこれらの2つの効果を高める効果がある。すなわち、封止層9aの直下に位置するバックフィルム部分11aは正反射率が高いことで裏面に設けたグリッド電極を避けて太陽電池素子10に入射させて発電に寄与させる確率を高め、封止層9bの直下に位置するバックフィルム部分11bは散乱反射率が高いことでモジュール受光面の太陽電池素子10間から入射した光を、再度太陽電池素子10間を通過させることなく太陽電池素子10に入射させて発電に寄与させる確率を高める。なお、図9では太陽電池素子10どうしのグリッド電極を接続するインターコネクタは省略して表記していない。

【0035】

実施の形態3.

図10は本発明の実施の形態3による太陽電池モジュールの構成の一部を示した断面図である。本実施の形態3の太陽電池モジュールは実施の形態1と類似するが、封止層9bの直下のバックフィルム部分11dの形成方法が異なる。なお、図10では太陽電池素子10どうしのグリッド電極を接続するインターコネクタは省略して表記していない。太陽電池モジュールを実施の形態1と同様に加熱とともに押圧する封止処理を施した後に、封止層9bの直下のバックフィルム部分11dに対して受光側からレーザー光16を照射し、バックフィルム表面に凹凸形状STを作製する。レーザーの波長は、赤に近い波長また

10

20

30

40

50

は赤より長い波長の光を使用することで、バックフィルム 11 直上で波長 300 ~ 400 nm 程度の光を吸収しやすい波長変換材料に吸収されることなく、バックフィルム 11 表面の加工が可能になる。なお、太陽電池素子 10 の真下に位置する封止層 9a の直下のバックフィルム部分 11c は通常の PET などの熱可塑性樹脂で構成される。

【0036】

このようにバックフィルム 11 のうち太陽電池素子間領域に相当するバックフィルム部分 11d 表面に凹凸形状 ST を形成させることで、バックフィルム部分 11d 表面に入射した光を散乱させ、封止層 9b による散乱反射の効果をより高めることが可能になる。また、本実施の形態では、封止処理を施した後に隣接する太陽電池素子の間にレーザーを照射することが可能なためあらかじめ高精度な位置合わせをする必要がなく、またあらかじめ位置合わせを行った場合に生じる封止処理後の位置ずれが起こらず、散乱反射効果を高めたい領域を正確に位置づけることが可能になる。

10

【0037】

実施の形態 4 .

図 11 は本発明の実施の形態 4 による太陽電池モジュールのうち、隣接する 2 つの太陽電池素子を含む部分を取り出して示した部分断面図である。なお、図 11 では太陽電池素子 10 どちらのグリッド電極を接続するインターコネクタは省略して表記していない。本実施の形態 4 の太陽電池モジュールは実施の形態 1 と類似するが、封止層 9b の真上でかつ、ガラス板 8 の受光側とは反対側に波長変換材料 17 を設けてある点が異なる。波長変換材料 17 はガラス板 8 にあらかじめスクリーン印刷法などにより塗布したものを作製した後に封止処理すると良い。波長変換材料 17 は波長 300 ~ 400 nm 程度の光を、波長 400 ~ 900 nm 程度の光に変換するもので、例えば実施の形態 1 の波長変換材料 18b と同様のものを用いるとよい。

20

【0038】

封止層 9b の真上には EVA など構成された封止樹脂 7 が存在し、このような封止樹脂は一般に、波長 350 nm 程度以下の光をほぼ 100 % 吸収することが多い。このため、波長変換材料 17 が存在しない場合には、封止層 9b に入射する光には 350 nm 程度以下の波長の光は含まれず、波長 350 nm 程度以下の光は層封止 9b において波長 400 ~ 900 nm 程度の光に波長変換されない。波長変換材料 17 を設けた場合には、波長 350 nm 程度以下の光も波長 400 ~ 900 nm 程度の光に波長変換されて、そのうち多くの光は散乱して太陽電池素子 10 の受光面に入射し、またそれ以外の光の多くは封止樹脂 7 を透過し、封止層 9b やバックフィルム 11 に入射して散乱されて太陽電池素子 10 に吸収されて発電に寄与するという効果が得られる。

30

【0039】

なお、前記実施の形態 1 ~ 4 においては、隣接する前記太陽電池素子の素子間領域に、ダウンシフトの波長変換層を形成する例について説明したが、ダウンシフトの波長変換層に代えて、ダウンコンバージョンの波長変換層を配してもよい。すなわち、1 つの高エネルギーフォトンエネルギーを用いて光電変換に有効なエネルギーフォトンに変換する、ダウンシフトの波長変換層に代えて、複数の高エネルギーフォトンエネルギーを用いて光電変換に有効なエネルギーフォトンに変換する、ダウンコンバージョンの波長変換層を配してもよい。

40

【0040】

また、太陽電池の構成については前記実施の形態で用いたヘテロ接合型太陽電池に限定されることなく、拡散型太陽電池など、適宜選択可能である。

【産業上の利用可能性】

【0041】

以上のように、本発明にかかる太陽電池モジュールは、集光効率に優れており、特に、反射板などの集光補助材を用いるのが難しい場所に設置される太陽電池モジュールに適している。

【符号の説明】

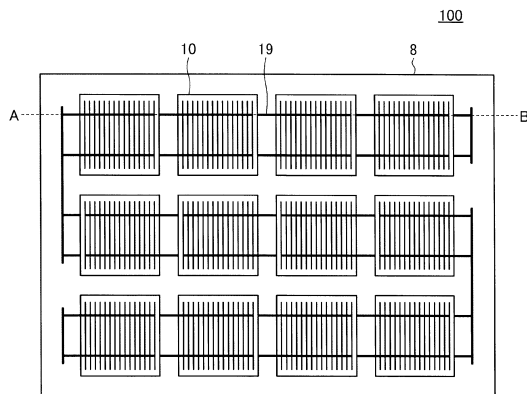
50

【 0 0 4 2 】

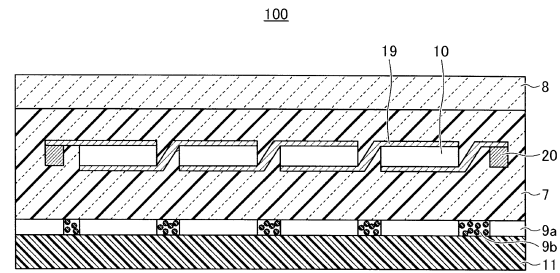
1 n型単結晶シリコン基板、2 a, 2 b i型非晶質シリコン層、3 p型非晶質シリコン層、4 n型非晶質シリコン層、5 a, 5 b 透光性電極、6 a, 6 b 集電電極、7 封止樹脂、8 ガラス板、9 a 封止層（太陽電池素子直下で波長変換材料を含む層）、9 b 封止層（隣接する太陽電池素子の間の直下で波長変換材料を含む層）、10 太陽電池素子、11 バックフィルム、11 a, 11 b, 11 c, 11 d バックフィルム部分、12 入射光、13 a, 13 b 反射光、14 透過光、15 反射光、16 レーザー光、17 波長変換材料、18, 18 a, 18 b 波長変換材料、19 インターコネクタ、20 リード線、R 熱可塑性樹脂、M 反射層、D 散乱物質。

10

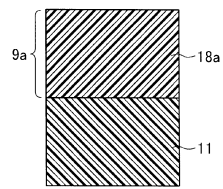
【 図 1 】



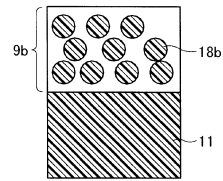
【 図 2 】



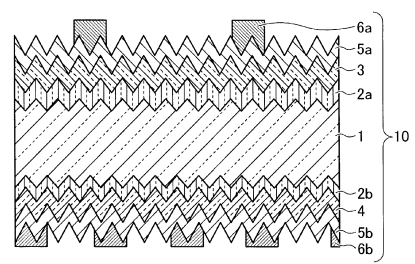
【図 3 - 1】



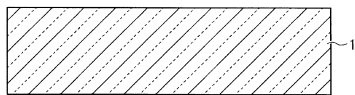
【図 3 - 2】



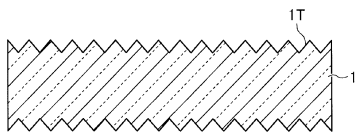
【図 4】



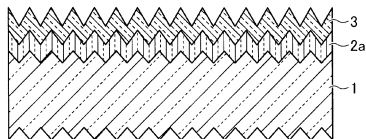
【図 5 - 1】



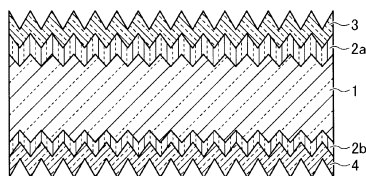
【図 5 - 2】



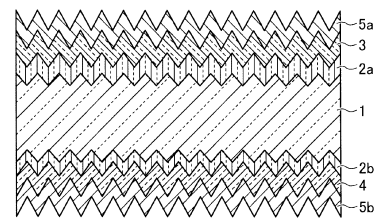
【図 5 - 3】



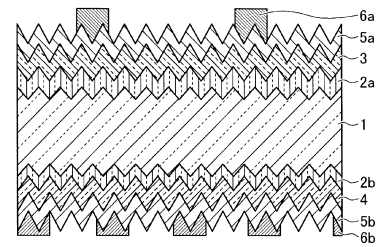
【図 5 - 4】



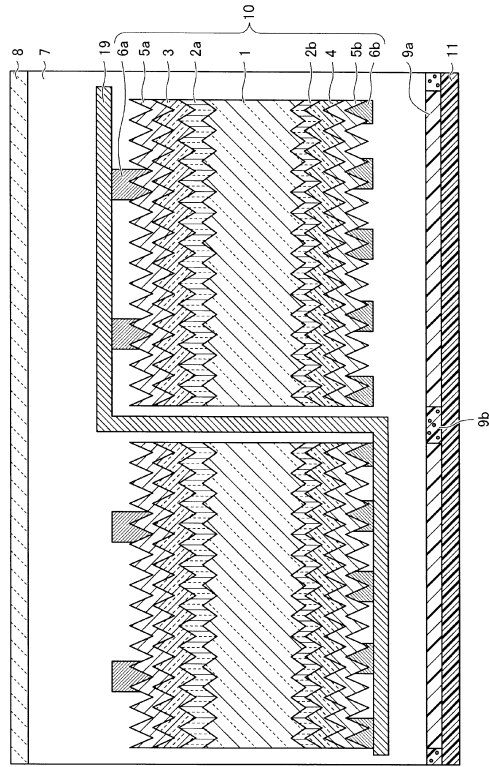
【図 5 - 5】



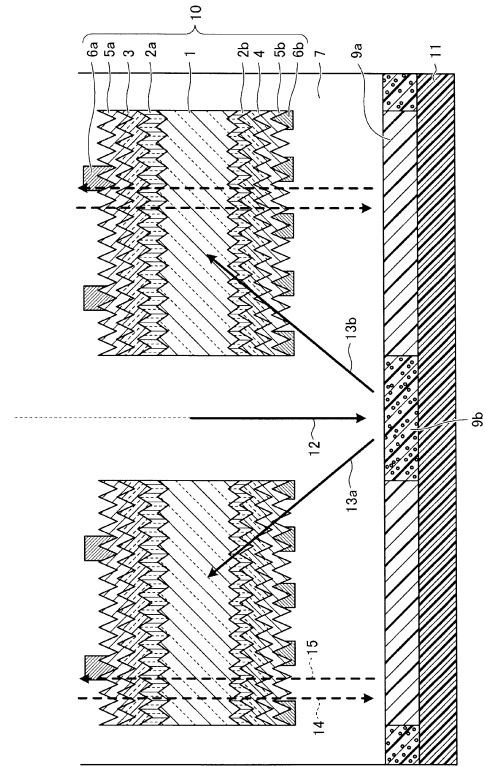
【図 5 - 6】



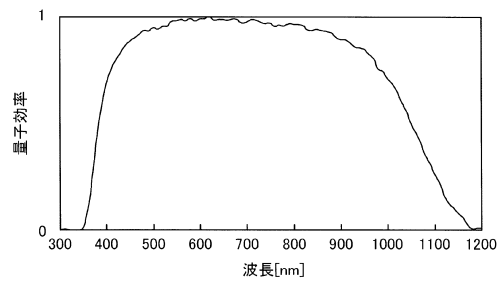
【図 6】



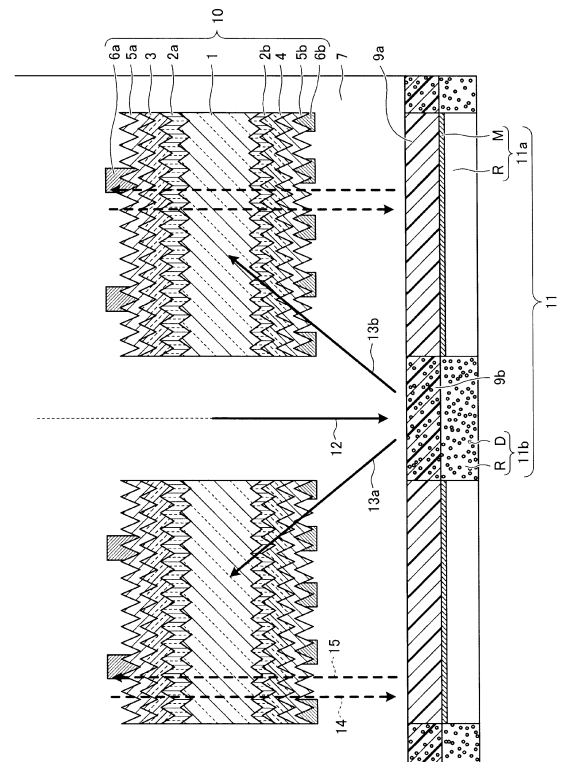
【図 7】



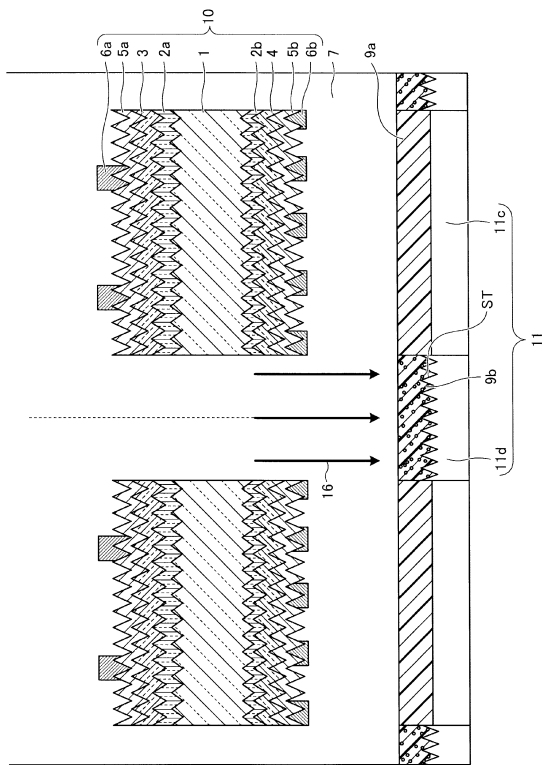
【図 8】



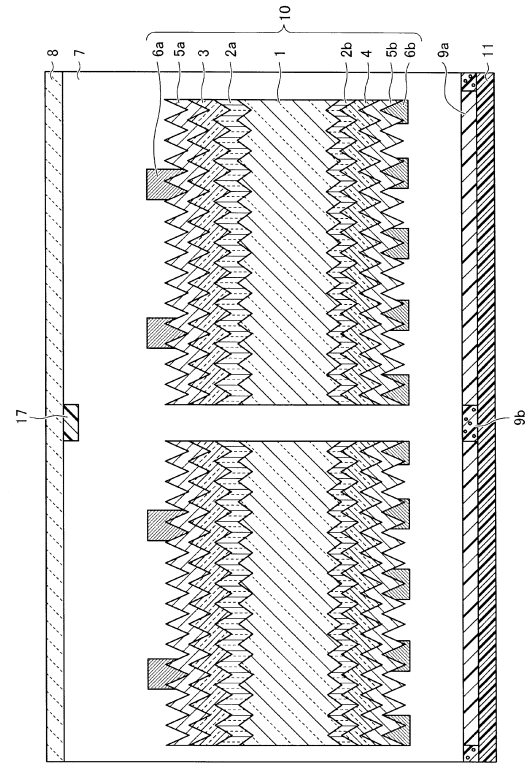
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

審査官 池谷 香次郎

- (56)参考文献 特表2011-525714(JP,A)
米国特許出願公開第2009/0095341(US,A1)
特開2012-033667(JP,A)
特開2011-151068(JP,A)
特開2012-129391(JP,A)
特開2013-084872(JP,A)
特開2010-225977(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 31/055 - 31/056