

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5901755号
(P5901755)

(45) 発行日 平成28年4月13日(2016.4.13)

(24) 登録日 平成28年3月18日(2016.3.18)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 31/0749 (2012.01) H O 1 L 31/06 4 6 0

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2014-517648 (P2014-517648)	(73) 特許権者	512212885
(86) (22) 出願日	平成24年6月26日 (2012.6.26)		サンゴバン グラス フランス
(65) 公表番号	特表2014-523226 (P2014-523226A)		Saint-Gobain Glass
(43) 公表日	平成26年9月8日 (2014.9.8)		France
(86) 国際出願番号	PCT/EP2012/062323		フランス国 クールブヴォア アヴニュ
(87) 国際公開番号	W02013/000894		ダルザス 18
(87) 国際公開日	平成25年1月3日 (2013.1.3)		18, avenue d'Alsace
審査請求日	平成26年2月21日 (2014.2.21)		, F-92400 Courbevoie,
(31) 優先権主張番号	11171706.2	(74) 代理人	100114890
(32) 優先日	平成23年6月28日 (2011.6.28)		弁理士 アインゼル・フェリックス＝ライ
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(74) 代理人	100099483
			弁理士 久野 琢也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜ソーラーモジュールの定格出力を迅速に安定させるための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも一つの接着層(9)によって相互に結合されている二つの基板(2, 10)を有し、且つ、該二つの基板(2, 10)間には直列に接続されている複数のカルコパイライトの太陽電池(11)が設けられている積層結合体(12)を備えている薄膜ソーラーモジュール(1)の定格出力を安定させる方法において、

前記積層結合体(12)は直列に接続されている複数の薄膜太陽電池を備えている結合パネル構造を有しており、前記薄膜太陽電池は、カルコパイライト化合物から成る半導体層を有しており、

第1の太陽電池(11)の前面電極層(8)は、前記第1の太陽電池(11)の吸収層(6)の間の経路を介して、前記第1の太陽電池(11)に隣接する第2の太陽電池(11)の背面電極層(5)に接続されており、

前記積層結合体(12)と人工光源(19)とを相互に対して並進移動させ、

前記積層結合体(12)を、少なくとも5 kW/m²の照明強度を有する人工光で最大で4分の照明期間で線形に照明し、線形の光ビーム線幅は、1~10 cmの範囲にあり、前記人工光源(19)に対する前記薄膜ソーラーモジュール(1)の移動速度は、0.001 cm/秒~10 cm/秒であり、

前記照明後の前記薄膜ソーラーモジュール(1)の定格出力を規定する、方法。

【請求項 2】

10

20

前記積層結合体(12)を最大で 15 kW/m^2 の照明強度でもって照明する、
請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記積層結合体(12)を、固定の光源(19)の前を通過するように移動させる、
請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記照明中に、接続されている前記複数の太陽電池(11)に阻止方向及び/又は順方向において電圧を印加する、
請求項1乃至3のいずれか一項に記載の方法。

【請求項5】

前記人工光のスペクトルは少なくとも近似的に、太陽光のスペクトルの少なくとも一部に対応する、
請求項1乃至4のいずれか一項に記載の方法。

【請求項6】

少なくとも一つの接着層(9)によって相互に結合されている二つの基板(2,10)を有し、且つ、該二つの基板(2,10)間には直列に接続されている複数の太陽電池(11)が設けられている積層結合体(12)を備えている薄膜ソーラーモジュール(1)の製造方法において、

前記積層結合体(12)を準備するステップと、

請求項1乃至5のいずれか一項に記載の方法によって、前記薄膜ソーラーモジュール(1)の定格出力を安定させるステップと、
を備えている製造方法。

【請求項7】

薄膜ソーラーモジュール(1)の定格出力を安定させるために、前記薄膜ソーラーモジュール(1)の積層結合体(12)の複数のカルコパイライトの太陽電池(11)を線形に照明するための人工光源(19)からの人工光の使用方法であって、

前記積層結合体(12)は、少なくとも一つの接着層(9)によって相互に結合されている二つの基板(2,10)を有し、且つ、該二つの基板(2,10)間には直列に接続されている前記複数の太陽電池(11)が設けられており、

第1の太陽電池(11)の前面電極層(8)は、前記第1の太陽電池(11)の吸収層(6)の間の経路を介して、前記第1の太陽電池(11)に隣接する第2の太陽電池(11)の背面電極層(5)に接続されており、

前記積層結合体(12)は、少なくとも 5 kW/m^2 の照明強度を有する人工光で最大で4分の照明期間で照明され、線形の光ビーム線幅は、 $1\sim 10\text{ cm}$ の範囲にあり、前記人工光源(19)に対する前記薄膜ソーラーモジュール(1)の移動速度は、 $0.001\text{ cm/秒}\sim 10\text{ cm/秒}$ であり、

前記積層結合体(12)を照明することは、前記積層結合体(12)と前記人工光源(19)とを相互に対して並進移動させることを含む、
使用方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光起電力によるエネルギー形成の技術分野に属し、また、薄膜ソーラーモジュールの定格出力又は効率を迅速に安定させるための方法に関する。

【背景技術】

【0002】

太陽光を電気エネルギーに直接的に変換するための光起電力層システムは十分に公知である。面状に広がっている層システムは、一般的に、「太陽電池」と称される。「薄膜太陽電池」という特別な術語は、僅か数 μm の厚さを有する光起電力層システムを表す。薄膜太陽電池は、十分な機械的安定性を提供するために、支持体基板を必要とする。公知の支

10

20

30

40

50

持体基板は、無機ガラス、プラスチック（ポリマー）又は金属、特に金属合金を含み、また、それぞれの層厚及び特別な材料特性に応じて、硬質のパネル又は可撓性のフィルムとして形成することができる。支持体基板は広範に利用可能であり、また簡単にモノリシックに集積できることから、薄膜太陽電池の大面积の装置を廉価に製造することができる。そのような薄膜太陽電池においては、半導体層が通常の場合、支持体基板、特にガラスの上に直接的に被着される。技術的な処理の容易性及び効率に関して、アモルファス、マイクロモルファス又は多結晶のシリコン、テルル化カドミウム（ $CdTe$ ）、ヒ化ガリウム（ $GaAs$ ）又はカルコパイライト化合物、特に、銅 - インジウム / ガリウム - 硫黄 / セレン（ $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$ ）から成る半導体層を備えている薄膜態様電池が有利であることが判明しており、特に、銅 - インジウム - ジセレニド（ $CuInSe_2$ ）又は CIS ）は、太陽光のスペクトルに適合されたバンドギャップに基づき、吸収効率が高い点で優れている。

10

【0003】

技術的に有用な出力電圧を得るために、通常の場合、多数の太陽電池が直列に接続されており、特に支持体基板上に被着されている複数の太陽電池は通常の場合、前面側の透過性のカバー層、特にカバーパネルと、接着を仲介する少なくとも一つの接着フィルムとを用いて接続され（「ラミネーション」）、耐候性のある一つの光起電力モジュール又はソーラーモジュールが形成されている。カバー層の材料に対して、例えば、低鉄のソーダ石灰ガラスが選択される。接着を仲介する接着フィルムは、例えば、エチレンビニルアセテート（ EVA ）、ポリビニルブチラル（ PVB ）、ポリエチレン（ PE ）、ポリエチレンアクリルコポリマー又はポリアクリルアミド（ PA ）から成る。 EVA は架橋可能なゴム弾性材料として、可塑性が非常に良好である点において優れており、従って頻繁に使用されている。以前は、結合パネル構造を備えている薄膜ソーラーモジュールにおいて、 PVB が使用されることが多かった。 PVB は熱可塑性プラスチックに属し、この熱可塑性プラスチックは熱作用下で溶解するが、その際に架橋は行われず、また化学的な組成も変化しない。

20

【0004】

ソーラーモジュールの製造時には、不利なことに内部電力損失を惹起し、従って、ソーラーモジュールの定格出力又は効率を低下させる、様々な種類の欠陥が発生する可能性がある。そのような欠陥の例として、電荷キャリアの再結合率を局所的に高める短絡（シャント）、又は、亀裂、破損及び離層のような機械的な欠陥、又は、材料品質の変動が挙げられる。

30

【0005】

多くのソーラーモジュールでは、ラミネーションプロセスによって、定格出力の少なくとも十分に可逆性の（一過性の）低下が生じることは非常に不利である。一つの理論に限定する必要無く、ラミネーション時の熱、圧力及び湿気の影響によって、半導体層内に欠陥が生じることが想定されるが、それらの欠陥は時間の経過と共に少なくとも部分的に、しかしながら通常は大部分が再び回復する。実験によって証明されたように、カルコパイライト半導体を基礎とする薄膜ソーラーモジュールはラミネーション後に、ラミネーション前の太陽電池の定格出力と比較して約5～20%低い、一時的に低下した定格出力を有している。

40

【0006】

これによって、ソーラーモジュールには、誤認されたより低い電力に合わせた価格が設定されるので、これは状況次第でメーカーにとっての財務上の損失を意味することになる。ソーラーモジュールに関して工場側で示された定格出力が、回復後に生じる実際の定格出力よりも遙かに低い場合、これによって、太陽光発電装置の電気系統の設計が場合によっては最適でなくなる虞がある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

50

従って本発明の課題は、ラミネーションに起因する、薄膜ソーラーモジュールの定格出力の(一時的な)低下を、通常の生産サイクルの枠内で既に少なくとも十分に解消することができる、定格出力を迅速に安定させるための、薄膜ソーラーモジュールの大量生産に適した方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この課題及び別の課題は、本願の提案に応じて、独立請求項の特徴部分に記載の構成を備えている方法によって解決される。本発明の有利な実施の形態は、従属請求項の特徴部分に記載されている。

【0009】

本発明によれば、薄膜ソーラーモジュールの定格出力又は効率を迅速に安定させるための方法が提供される。

【0010】

薄膜ソーラーモジュールは、少なくとも一つの(プラスチック)接着層によって相互に結合されている二つの基板から成る積層結合体を含んでおり、二つの基板間には直列に接続されている複数の(薄膜)太陽電池が設けられている。各太陽電池は、ヘテロ接合部又はpn接合部、即ち、異なる導電性を有する領域から成る一連の領域を形成する、少なくとも一つの半導体層を含んでいる。積層結合体は、典型的には、少なくとも一つの(背面側の)支持体基板、例えばガラス基板を含んでおり、この支持体基板上には太陽電池が設けられている。このために通常は、第1の電極層、第2の電極層、及び、それら二つの電極層間に配置されている少なくとも一つの半導体層が支持体基板上に設けられている。一般的に、半導体層はドーパントがドーブされている。有利には、半導体層はカルコパイライト化合物から成るものであり、その主のカルコパイライト化合物として、特に、銅-インジウム/ガリウム-二硫黄/二セレン化物($Cu(In/Ga)(S/Se)_2$)、例えば、銅-インジウム-二セレン化物($CuInSe_2$ 又はCIS)、若しくは、類似の化合物のグループから選択されたI-III-V族半導体が挙げられる。典型的には、積層結合体において、太陽電池が設けられている支持体基板は接着層によって、太陽光に対して可能な限り透過性である(前面側の)カバー層、例えばガラスパネルに接着されており、その場合、太陽電池は接着層内に埋設されている。

【0011】

薄膜ソーラーモジュールの定格出力は、それ自体公知のやり方で、光起電力(IEC 904-3規格)のいわゆる標準試験条件(STC = Standard Test Conditions)下で決定することができる。STCが存在しない場合には、 1 kW/m^2 の照明強度及び25のモジュール温度での太陽光の所定のスペクトルのもとで垂直方向の照射が行われる。 1 kW/m^2 の照明強度は、特に太陽光(とりわけ南欧の国における太陽光)によっても達成することができる。

【0012】

本発明による方法においては、積層結合体、又は薄膜ソーラーモジュールの接続された太陽電池が、少なくとも一つの光源の人工光によって照明される。この場合、照度は、結合体が少なくとも 5 kW/m^2 (キロワット毎平方メートル)の照明強度でもって照明されるように選定されている。

【0013】

本発明の範囲において照明強度又は放射電流密度とは、結合体の表面に入射する電磁放射のパワーであると介される。本明細書において使用されているように、「安定させる」という語句は、ラミネーションされた薄膜ソーラーモジュールの一時的に低下した(一過性の)定格出力(効率)が、ラミネーションの際に半導体層内に生じた欠陥の回復によって増加又は上昇することを意味する。

【0014】

本出願人の実験によって証明されたように、少なくとも 5 kW/m^2 の非常に高い照明強度でもって太陽電池を照明することによって、有利には、ラミネーションによって生じ

10

20

30

40

50

る太陽電池の欠陥を迅速に回復させることができる。実際には、数分の期間、例えば一桁の分範囲又はそれよりも短い期間の照明によって、既に薄膜ソーラーモジュールの定格出力を顕著に安定させることができる。これによって達成される、薄膜ソーラーモジュールの一時的に低下した定格出力の上昇は、驚くべきことに、例えば標準試験条件（STC）下での48時間にわたるライトソーキングによって達成される定格出力の上昇と比較しても悪いものではない、又は、それほど悪いものではない。つまり本発明によれば、相応の効果を遙かに短い時間で達成することができる。

【0015】

本出願人が証明できたように、一時的に低下した定格出力の上昇にとっては、照明時間が重要なのでは無く、むしろその際に使用される照明強度が重要である。照明強度と照明時間の一定の積を考察した際に、意外にも、何倍もの照明強度及び相応に短縮された照明時間でもって改善された効果を達成できることが分かった。しかしながら、照明強度の上昇と共に、この効果の飽和も生じる。特に、カルコパイライト化合物を基礎とする太陽電池を備えている薄膜ソーラーモジュールにおいては、照明強度が約 5 kW/m^2 を超えると、定格出力の更なる増大に関して飽和を観測することができる。積層結合体が最大で 15 kW/m^2 の照明強度でもって照明される場合には有利である。この場合、上記においても述べたように、照明強度が約 5 kW/m^2 を超えると、定格出力の上昇の飽和が生じる。

【0016】

少なくとも 5 kW/m^2 の照明強度でもって、例えば数分又はそれ以下の比較的短い期間にわたり太陽電池を照明することによって、薄膜ソーラーモジュールの一時的に低下した定格出力の上昇を達成できることによって、本発明による方法は、ソーラーモジュール毎に一桁の分範囲にあるクロックサイクルが一般的である薄膜ソーラーモジュールの工業大量生産において、定格出力を安定させることもできる。従って、薄膜ソーラーモジュールを既に工場側において回復させることができ、また、より高い定格出力を有するものとして規定することができるので、従って薄膜ソーラーモジュールの価値はより高くなる。更には、太陽光発電装置の電気系統をより適切に且つより正確に調整することができる。

【0017】

本発明の意味において、薄膜ソーラーモジュールの照明に関する各時間表記は、（面全体が照明される場合には）薄膜ソーラーモジュールの面全体が照明される期間に関するか、又は、（部分的に照明される場合には）薄膜ソーラーモジュールの一区画又は一部が部分的に（即ち局所的に）照明される期間に関する。部分的な照明が行われる場合にも、薄膜ソーラーモジュールは面全体が照明されるが、その場合、例えば、光源と薄膜ソーラーモジュールが相互に相対的に移動され、それにより、特に線形の光ビームが薄膜ソーラーモジュールを走査し、その際に、薄膜ソーラーモジュールの各区画を照明することによって、ソーラーモジュールの種々の区画が時間差で照明される。

【0018】

太陽電池を実際に十分に回復させるために、即ち、定格出力の顕著な安定による所望の効果を達成するために、薄膜ソーラーモジュール及び人工光の使用される照明強度に応じて、積層結合体又は積層結合体の少なくとも一つの区画が最大で10分、最大で4分、最大で2分、最大で1分又は最大で30秒の照明期間にわたり照明される場合には有利であると考えられる。上記の説明の意味において、それらの記載は、薄膜ソーラーモジュールの面全体の照明（全ての太陽電池が照明される）の場合には、薄膜ソーラーモジュールの総照明時間に関し、また択一的には、薄膜ソーラーモジュールが部分的な照明（太陽電池の一部のみがその都度照明される、又は、全ての太陽電池は同時に照明されない）の場合には、薄膜ソーラーモジュールの各区画が局所的に照明される時間に関する。

【0019】

いずれにせよ、相応の効果を達成するためには 1 kW/m^2 の照明強度での約48時間の照明を必要とする太陽光による自然な回復とは異なり、薄膜ソーラーモジュールの一時的に低下した定格出力の十分な上昇は少なくとも数分内の照明によって達成することがで

10

20

30

40

50

きる。その他の点では、少なくとも北欧では太陽光の入射による $1 \text{ kW} / \text{m}^2$ の照明強度は極稀にしか達成されないことを言及しておく。特に、カルコパイライト化合物を基礎とする半導体層を有する薄膜太陽電池を備えている薄膜ソーラーモジュールにおいては、照明時間が約2分を過ぎると、定格出力の更なる増大に関して飽和が生じるので、従って有利には、その種のもジュールの照明は2分の照明時間に制限される。

【0020】

薄膜ソーラーモジュールの製造時には、本発明による照明を例えばラミネーションの直後に行うことができるが、しかしながらこの照明を後の時点においても、更には薄膜ソーラーモジュールの動作開始前においても行うことができる。

【0021】

本発明による方法の特に有利な実施の形態においては、積層結合体又は太陽電池が部分的(局所的)に、特に線形に照明される。技術的に簡単な実現形態においては、積層結合体及び光源がこのために相互に相対的に並進移動され、特に、積層結合体が固定の光源を通過するように移動される。特に線形の光ビームは薄膜ソーラーモジュールの表面を走査し、少なくとも $5 \text{ kW} / \text{m}^2$ の照明強度でもって薄膜ソーラーモジュールの局所的な区画をその都度照明する。線形の光ビーム線幅(その延在方向に対して垂直方向における寸法)は例えば $1 \sim 10 \text{ cm}$ の範囲にある。有利には、この線幅において、少なくとも $5 \text{ kW} / \text{m}^2$ の照明強度でもって薄膜ソーラーモジュールを局所的に照明することによって、また薄膜ソーラーモジュールの表面全体を走査することによって所望の効果を達成するためには、薄膜ソーラーモジュールの表面上での光ビームのシフト速度(即ち、光源に相対的な薄膜ソーラーモジュールの移動速度)は $0.001 \text{ cm} / \text{秒} \sim 10 \text{ cm} / \text{秒}$ である。移動速度は線幅には依存しない。特に、比較的太い線幅は比較的速い移動速度を実現し、またその逆に、比較的速い移動速度は比較的太い線幅を実現するという関係が該当する。薄膜ソーラーモジュールを照明するために光ビームを線形に構成することによって、薄膜ソーラーモジュールの定格出力を上昇させることができ、それと同時に有利には、光源のエネルギー消費量も薄膜ソーラーモジュールの面全体を照明する場合の数分の一に低減することができる。更には、薄膜ソーラーモジュールを照明するための装置が大幅に簡略化される。また特に有利には、照明中の薄膜ソーラーモジュールの能動的な冷却を省略することができる。何故ならば、薄膜ソーラーモジュールの面全体を照明する場合には、必要に応じて、薄膜ソーラーモジュールに悪影響を及ぼす可能性があるか、それどころか薄膜ソーラーモジュールに損傷を及ぼす可能性がある複雑な薄膜ソーラーモジュールの過剰な加熱を事前に考慮することが必要になるからである。他方では、薄膜ソーラーモジュールの部分的な照明によって、薄膜ソーラーモジュールの所望の局所的な十分な加熱を達成ことができ、そのような加熱は有利には定格出力の更なる改善に寄与する。

【0022】

本発明による方法の別の有利な実施の形態においては、照明中に、接続されている複数の太陽電池に阻止方向及び/又は順方向において電圧が印加され、それによって一時的に低下した定格出力を更に上昇させることができるか、又は安定させることができる。

【0023】

一般的に、薄膜ソーラーモジュールを照明するための光源は自由に選択可能なスペクトルを有する光を送出するように、光源を構成することができる。有利には、光源のスペクトルは少なくとも近似的に太陽光のスペクトル、又は太陽光のスペクトルの少なくとも一部に相当しており(又は太陽光のスペクトルに近似されており)、それによって薄膜ソーラーモジュールの一時的に低下した定格出力を非常に効果的に上昇させることができる。

【0024】

本発明による方法の別の有利な実施の形態においては、特にカルコパイライト化合物、とりわけ $\text{Cu}(\text{In} / \text{Ga})(\text{S} / \text{Se})_2$ から成る半導体層を有している、直列に接続されている複数の薄膜太陽電池を有する結合パネル構造を備えている積層結合体が照明される。

【0025】

更に本発明は、少なくとも一つの接着層によって相互に結合されている二つの基板から成り、それらの基板間には直列に接続されている複数の太陽電池が設けられている、積層結合体を備えている薄膜ソーラーモジュールの製造方法に関し、この製造方法は、

- 積層結合体を準備するステップと、
- 少なくとも $5 \text{ kW} / \text{m}^2$ の照明強度を有する人工光でもって太陽電池を照明する上述の方法によって、薄膜ソーラーモジュールの定格出力を安定させるステップとを備えている。

【0026】

ソーラーモジュールのその種の製造方法は、薄膜ソーラーモジュールの一時的に低下した定格出力を上昇させるための上述の方法の別の特徴を含むことができる。

10

【0027】

更に本発明は、積層結合体から製造される、特にカルコパイライト化合物、とりわけ $\text{Cu}(\text{In}/\text{Ga})(\text{S}/\text{Se})_2$ から成る半導体層を有している薄膜ソーラーモジュールの一時的に低下した定格出力を上昇させるために、積層結合体の太陽電池を少なくとも $5 \text{ kW} / \text{m}^2$ の照明強度の光でもって照明するための人工光の使用方法に関する。

【0028】

以下では、添付の図面を参照しながら、複数の実施例に基づき本発明を詳細に説明する。図面は簡略化されたものであり、縮尺通りに描かれたものではない。

【図面の簡単な説明】

【0029】

20

【図1】例示的な薄膜ソーラーモジュールの概略図を示す。

【図2】図1に示した薄膜ソーラーモジュールのラミネーションプロセスを説明するための概略図を示す。

【図3】図1に示した薄膜ソーラーモジュールを照明するための照明装置の概略図を示す。

。

【図4A】種々の照度での回復作用を説明するためのグラフを示す。

【図4B】照度を変更しなかった場合の回復作用と時間の関係を表すグラフを示す。

【発明を実施するための形態】

【0030】

図1には、全体に参照番号1が付されている、薄膜ソーラーモジュールが示されている。薄膜ソーラーモジュール1は、集積された形態で直列に接続されている複数の太陽電池11を含んでいるが、図1においては図面を見やすくするために、薄膜太陽電池11は二つしか示していない。薄膜ソーラーモジュール11において、多数(例えば約100個)の薄膜太陽電池を直列に接続できることは明らかである。

30

【0031】

薄膜ソーラーモジュール1は結合パネル構造を有している。つまり、薄膜ソーラーモジュール1は、絶縁性の第1の基板2と、その第1の基板2の上に被着されている、複数の薄い層から成る層構造3とを有しており、その層構造3は第1の基板2の光入射側の表面上に配置されている。第1の基板2はここでは、光透過率が比較的低い硬質のガラスパネルとして形成されており、同様に、実施されるプロセスステップに対する所望の安定性及び内部特性を備えている他の絶縁性の材料も使用することができる。

40

【0032】

層構造3は、第1の基板2の光入射側の表面上に配置されている背面電極層5を有しており、この背面電極層5は例えば光非透過性の金属、例えばモリブデン(Mo)から成り、また、背面電極層5を析出又は磁界支援による陰極蒸着(スパッタリング)によって第1の基板2上に被着させることができる。背面電極層5は300nmから600nmまでの層厚、ここでは例えば500nmである層厚を有している。

【0033】

背面電極層5上には、光起電活性半導体層又は吸収層6が例えばスパッタリングによって析出されており、この層は金属イオンがドーピングされている半導体から成り、そのバ

50

ンドギャップによって有利には、太陽光を可能な限り多く吸収することができる。吸収層 6 は例えば p 導電型のカルコパイライト半導体から成り、例えば $\text{Cu}(\text{In}/\text{Ga})(\text{S}/\text{Se})_2$ 、特にナトリウム (Na) ドープされた $\text{Cu}(\text{In}/\text{Ga})(\text{S}/\text{Se})_2$ のグループの化合物から成る。吸収層 6 は、例えば 1 ~ 5 μm の範囲にあり、特に約 2 μm の範囲にある層厚を有している。背面電極層 5 と吸収層 6 との間には、ドーパントとして使用される吸収層の金属イオンのための拡散バリアとして機能する、例えば窒化ケイ素から成るバリア層が設けられているが、これは図 1 では詳細に図示していない。種々の材料の半導体材料への変換は、炉内の加熱によって行われる (RTP = Rapid Thermal Processing)。

【 0 0 3 4 】

吸収層 6 上にはバッファ層 7 が析出されている。ここでは、バッファ層 7 が単層の硫化カドミウム (CdS) 及び単層の真性酸化亜鉛 (i - ZnO) から構成されているが、これは図 1 では詳細に図示していない。

【 0 0 3 5 】

バッファ層 7 上には前面電極層 8 が例えばスパッタリングによって被着されている。前面電極層 8 は、可視スペクトル領域の放射に対して透過性であり (「窓電極」)、それにより、入射する太陽光 (図 1 においては平行な四つの矢印によって示唆されている) は極僅かにしか減少しない。前面電極層 8 は例えばドープされた金属酸化物、例えば n 導電型のアルミニウム (Al) がドープされた酸化亜鉛 (ZnO) を基礎としている。その種の前面電極層 8 は一般的に TCO (Transparent Conductive Oxide) 層と称される。前面電極層 8 の層厚は例えば約 5 0 0 nm である。

【 0 0 3 6 】

前面電極層 8 によって、バッファ層 7 及び吸収層 6 と共にヘテロ接合 (即ち、相互に反対の導電型の層から成る一連の層) が形成される。バッファ層 7 は吸収層 6 の半導体材料と前面電極層 8 の材料との電子的な整合を行うことができる。

【 0 0 3 7 】

第 1 の基板 2 上の層構造 3 の種々の層は、レーザー書き込みのような適切な構造化技術を使用して構造化されており、それによって、直列に接続されている集積された薄膜太陽電池 1 1 が生じる。その種の構造化は、典型的には、各太陽電池に対して三つの構造化ステップ (P 1 , P 2 , P 3) を含んでいる。つまり、先ず背面電極層 5 が構造化され (P 1)、続いて半導体層 6 が構造化され (P 2)、最後に全面電極層 8 及び半導体層 6 が構造化される (P 3)。その種の構造化は当業者には公知であるので、ここでの詳細な説明は省略する。

【 0 0 3 8 】

ここで示した実施例においては、結果として生じる正の電圧端子 (+) も、結果として生じる負の電圧端子 (-) も背面電極 5 を介して案内されており、また、そこにおいて電氣的に接触接続されている。薄膜太陽電池 1 1 の照明によって、二つの電圧端子に電圧が生じる。結果として生じる電流経路は図 1 において連続する矢印によって示唆されている。

【 0 0 3 9 】

周囲環境の影響から保護するために、前面電極層 8 上には (プラスチック) 接着層 9 が被着されており、この接着層 9 は層構造 3 の封止に使用される。更に、層構造 3 は前面側のカバー層として、太陽光に対して透過性である第 2 の基板 1 0 を含んでおり、この第 2 の基板 1 0 は例えば、鉄の含有量が少ないエクストラ・ホワイトガラス (extra white glass) から成るガラスパネルの形態で形成されており、同様に、実施されるプロセスステップに対する所望の安定性及び内部特性を備えている他の絶縁性の材料も使用することができる。第 2 の基板 1 0 は層構造 3 のシーリング及び機械的な保護のために使用される。電気エネルギーを形成するために、第 2 の基板 1 0 の前面側の表面 4 を介して、薄膜ソーラーモジュールを照明することができる。

【 0 0 4 0 】

10

20

30

40

50

二つの基板 2, 10 は接着層 9 によって相互に固く結合されており（「ラミネート化」）、接着層 9 はここでは例えば熱可塑性の接着層として形成されており、加熱によって可塑性に変形され、また冷却時には二つの基板 20 及び 10 を相互に固く結合させる。接着層 9 はここでは例えば PVB から形成されている。二つの基板 2, 10 は接着層 9 内に埋込まれている薄膜太陽電池 11 と共に、共通の一つのラミネート結合体 12 を形成している。薄膜ソーラーモジュール 1 の矩形の前面側の表面 4 の大きさはここでは例えば $1.6 \times 0.7 \text{ m}^2$ である。

【0041】

薄膜ソーラーモジュール 1 を製造する際にラミネーションが行われ、このラミネーション時に二つの基板 2, 10 がその間に配置されている薄膜太陽電池 11 と共に接着層 9 によって接着される。大量生産においては、これに関して一般的な二つの異なるラミネーション法が使用され、それらを図 2 において詳細に説明する。

10

【0042】

二つのラミネーション法においては、薄膜太陽電池 11 が構造化されて被着されている第 1 の基板 2 と、第 2 の基板 10 と、接着層 9 として使用されるフィルムとが相互に重ねられて配置される。続いて、その層構造はローラ式貼り合わせ機 13 へと供給され、そのローラ式貼り合わせ機 13 において加熱エレメント 15 を介して加熱され、更にローラ 16 によって圧力が加えられ、それにより、PVB フィルムは溶解し、冷却後にはラミネート化された結合体 12 が得られる。更に、オートクレーブ 17 における処理が行われる。択一的に、層構造を真空式貼り合わせ機 14 へと供給し、その真空式貼り合わせ機 14 において同様に加熱エレメントを介して加熱し、更にダイアフラム（図示せず）によって圧力を加えることもでき、それにより、やはり PVB フィルムが溶解し、ラミネート化された結合体 12 が得られる。ラミネーションによって、薄膜太陽電池 11 において、薄膜ソーラーモジュール 1 の定格出力を一時的に低下させる、可逆性の（回復する）欠陥が発生する可能性がある。

20

【0043】

薄膜ソーラーモジュール 1 の大量生産の枠内で、効率の迅速且つ効率的な回復、即ち、ラミネーションに起因する薄膜太陽電池 11 の半導体層における欠陥の完全な解消を達成するために、ラミネート化された結合体 12 又は薄膜ソーラーモジュール 1 が、特別な照明装置 18 において人工光でもって照明される。以下ではこの薄膜ソーラーモジュール 1 の照明について説明する。また、薄膜ソーラーモジュール 1 の製造時の中間製品でもありと考えられるラミネート化された結合体 12（例えば電圧端子は未だ設けられていない）も同様に照明できると考えられる。

30

【0044】

照明装置 18 は、薄膜太陽電池 11 を照明するための、太陽光のスペクトルに近似するスペクトルを有する光ビーム 20 を形成する少なくとも一つの人工光源 19、例えばハロゲンランプを含んでいる。遮光装置又は絞り 23 によって、第 2 の基板 10 の矩形の前面側の表面 4 の寸法（幅又は長さ）全体にわたり延在する、帯状又は線形の光ビーム 20 が形成される。この実施例において、光ビーム 20 は第 2 の基板 10 の表面 4 上で例えば約 1.5 cm の幅を有しており、また、第 2 の基板 10 の表面 4 に少なくともほぼ垂直に入射する。冒頭で述べたように、線幅は一般的に例えば $1 \sim 10 \text{ cm}$ の範囲にあると考えられる。

40

【0045】

薄膜ソーラーモジュール 1 は、フレーム 22 上のローラ 21 によって並進的に（単方向に）固定の光源 19 の下を通過するように案内され、固定的な線形の光ビーム 20 が第 2 の基板 10 の表面 4 を走査し、また薄膜ソーラーモジュール 1 を部分的に照明する。この実施例において、光ビーム 20 の幅は薄膜ソーラーモジュール 1 の移動方向において測定されている。上述のように、光ビーム 20 は移動方向に対して垂直方向において、薄膜ソーラーモジュール 1 の縁部に平行な寸法全体にわたり、例えばこの実施例では薄膜ソーラーモジュール 1 の幅全体にわたり延在している。薄膜ソーラーモジュール 1 は光ビーム 2

50

0に相対的に移動されるので、従って、薄膜ソーラーモジュール1又は薄膜太陽電池11は少なくとも 5 kW/m^2 の照明強度で照明される。光源19は相応に高い照度を有しており、また光源19と薄膜ソーラーモジュール1の間隔は相応に調整されている。光源19に相対的な薄膜ソーラーモジュール1の移動速度は例えば毎秒 0.001 cm ～毎秒 10 cm の範囲にあり、またこの移動速度は一般的に光ビームの線幅に依存する。

【0046】

下記の表1には、カルコパイライト化合物を基礎とする半導体層を有する薄膜ソーラーモジュール1が種々に処理された際の効率(定格出力)の低下が示されている。

【表1】

表1

		$\Delta\eta$ (%)
# 1	ラミネーション後	-11.8
# 2	線形の照明 8 kW/m^2 , 10分	-2.4
# 3	線形の照明 5 kW/m^2 , 10分	-2.2
# 4	ライトソーキング 1 kW/m^2 , 48時間	-0.6

10

【0047】

表1には、接続されている複数の太陽電池のラミネーション前の効率との関係において、薄膜ソーラーモジュールの効率のパーセント単位の差が (%)で表されている。

【0048】

1は、薄膜ソーラーモジュールに対して熱処理も、人工光を用いた特別な照明も行われていない、ラミネーション直後の(未だカプセル化されていない)薄膜ソーラーモジュールにおける効率の測定に関する。従って、ラミネーションによって効率が -11.8% 低下し、それによって、工場渡しのその種の薄膜ソーラーモジュールの定格出力は、時間が経過して欠陥が完全に解消することにより生じる実際の定格出力よりも低くなっている。2は、例えば照明装置18において 8 kW/m^2 の照明強度でもって10分間にわたり線形の光ビームを用いた照明が実施された、ラミネーション後の薄膜ソーラーモジュールにおける効率の測定に関する。従って、この照明によって効率の著しい上昇が達成され、照明後の効率の低下は僅か -2.6% である。3は、2と同様の処理が実施されたが、照明は 5 kW/m^2 の照明強度で実施された、薄膜ソーラーモジュールにおける効率の測定に関する。この場合においても、効率は著しく上昇しており、照明後の効率の低下は -2.4% であり、従って2と同一オーダーにある。最後に、4は、 1 kW/m^2 の照明強度でもって48時間にわたる面全体の照明でもっていわゆる光老化(ライトソーキング)が実施された、ラミネーション後の薄膜ソーラーモジュールにおける効率の測定に関する。従って、このライトソーキングによっても効率の著しい上昇が達成され、ライトソーキング後の効率の低下は -0.6% である。一桁の分範囲にあるクロックサイクルを有する大量生産においては、照明時間が長いことからその種のライトソーキングを実施することはできない。

20

30

【0049】

従って、10分間の比較的短い照明時間にわたる、 5 kW/m^2 又は 8 kW/m^2 での線形の光ビームを用いた薄膜ソーラーモジュールの本発明による照明によって、一時的に低下している効率を顕著に高めることができ、これは48時間にわたるライトソーキング後の効率と実質的に異なる。

40

【0050】

下記の表2には、カルコパイライト化合物(CIS)を基礎とする半導体層を有する別の薄膜ソーラーモジュールに関する結果が示されている。

【表 2】

表2

		$\Delta\eta$ (%)
# 1	ラミネーション後	-16.3
# 3	線形の照明 10 kW/m ² , 1分	-5.6
# 5	ライトソーキング 1 kW/m ² , 48時間	-4.0

【0051】

表2においても、接続されている複数の太陽電池のラミネーション前の効率との関係において、薄膜ソーラーモジュールの効率のパーセント単位の差が (%) で表されている。

10

【0052】

1は、熱処理又は人工光を用いた特別な照明が行われていない、ラミネーション直後の(未だカプセル化されていない)薄膜ソーラーモジュールにおける効率の測定に関する。この薄膜ソーラーモジュールに関しては、効率が - 16.3 % 低下している。2は、10 kW/m²の照明強度でもって1分間にわたり線形の光ビームを用いた照明が実施された、ラミネーション後の薄膜ソーラーモジュールにおける効率の測定に関する。従って、この照明によって効率の著しい上昇が達成され、照明後の効率の低下は僅か - 5.6 % である。3は、1 kW/m²の照明強度でもって48時間にわたる面全体の照明でもってライトソーキングが実施された、ラミネーション後の薄膜ソーラーモジュールにおける

20

【0053】

表2のデータからも明らかなように、高い照度での照明によって、10.7%の出力損失の低下(即ち、定格出力の上昇)を達成することができ、この対比において、ライトソーキングによっては、1.6%の極僅かな更なる上昇しか達成できなかった。従って、ラミネーションによって生じる電力損失を著しく低減することができる。48時間のライトソーキングと比べると2880倍も時間が短縮されることも見て取れ、それにも係わらず、照明強度は10倍しか高まっておらず、また、使用されるエネルギーも約20倍低くなっている。以下では、計算の例を示す。

【0054】

ハロゲンランプが使用される場合、1.6 × 0.7 m²(長さ×幅)の大きさの矩形の薄膜ソーラーモジュールでは、1 kW/m²の照明強度での面全体の照明には、例えば40.5 kWの接続負荷が必要とされる。10 kW/m²での面全体の照明が行われる場合には、接続負荷は典型的には5~10倍の値に高まり、即ち約202.5~405 kWとなり、このことは実際には著しく高いコストに結びつく。他方では、0.7 mの幅及び10 kW/m²の照明強度での薄膜ソーラーモジュールの線形の照明を行った際の接続負荷は約2.1 kWである。従って、線形の照明によるエネルギーの節約は、1 kW/m²での面全体の照明と比べると約20倍であり、10 kW/m²での面全体の照明と比べると約100~200倍である。

30

【0055】

つまり、薄膜ソーラーモジュールの線形の照明によって著しくエネルギーを節約することができる。これは特に、面全体の照明が通常は薄膜ソーラーモジュールの能動的な冷却を必要とするからである。

40

【0056】

図4Aには、種々の照度又は照明強度B(W/m²)での回復作用を説明するためのグラフが示されている。カルコパイライト化合物を基礎とする半導体層を有している薄膜ソーラーモジュールが30秒の期間にわたり線形の光ビームで照明され、その際、薄膜ソーラーモジュールは光ビームに相対的に移動された。接続されている複数の太陽電池のラミネーション前の効率との関係において、種々の照明強度に対する、薄膜ソーラーモジュールの効率のパーセント単位の差が (%) で表されている。効率のパーセント単位の変

50

化は、約 5 kW/m^2 において飽和状態になるまで差し当たり大きく上昇していることが見て取れる。

【0057】

図4Bには、種々の照明時間 T (s) での回復作用を説明するためのグラフが示されている。カルコパイライト化合物を基礎とする半導体層を有している薄膜ソーラーモジュールが線形の光ビーム及び 8 kW/m^2 の照明強度で照明され、その際、薄膜ソーラーモジュールは光ビームに相対的に移動された。接続されている複数の太陽電池のラミネーション前の効率との関係において、種々の照明時間に対する、薄膜ソーラーモジュールの効率のパーセント単位の差が (%) で表されている。短時間の経過後に既に大幅な上昇が達成され、その後はほぼ対数的に平坦な経過を取っていることが見て取れる。約2分の照明時間で飽和状態になっている。

10

【0058】

本発明は、一桁の分範囲にあるクロックサイクルを有する、薄膜ソーラーモジュールの工業大量生産において、ラミネーションによって生じる欠陥を少なくとも十分に回復させるために使用することができる、薄膜ソーラーモジュールの定格出力を安定させるための方法を提供する。

【符号の説明】

【0059】

1 薄膜ソーラーモジュール、 2 第1の基板、 3 層構造、 4 表面、 5 背面電極層、 6 半導体層、 7 バッファ層、 8 前面電極層、 9 接着層、 10 第2の基板、 11 薄膜太陽電池、 12 結合体、 13 ローラ式貼り合わせ機、 14 真空式貼り合わせ機、 15 加熱エレメント、 16 ローラ、 17 オートクレーブ、 18 照明装置、 19 光源、 20 光ビーム、 21 ローラ、 22 フレーム、 23 絞り

20

【図1】

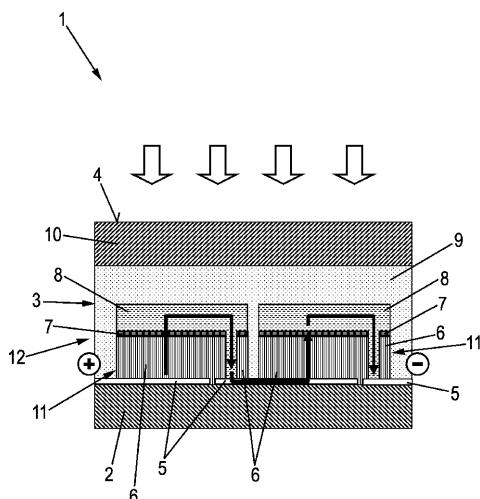


FIG. 1

【図2】

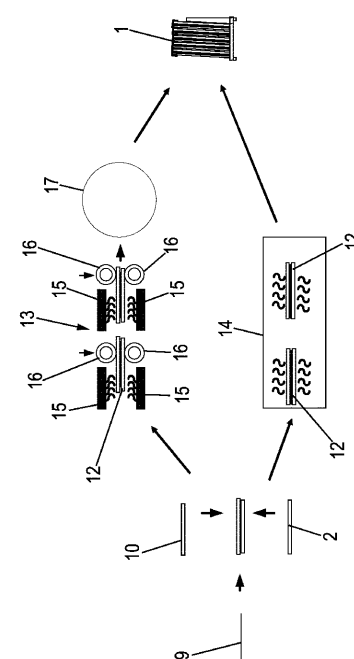


FIG. 2

【 図 3 】

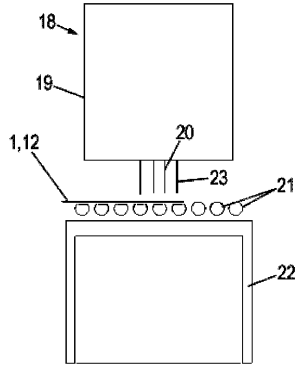


FIG. 3

【 図 4 A 】

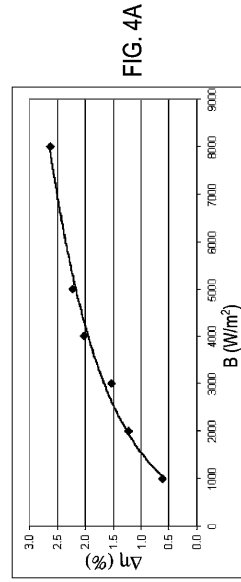


FIG. 4A

【 図 4 B 】

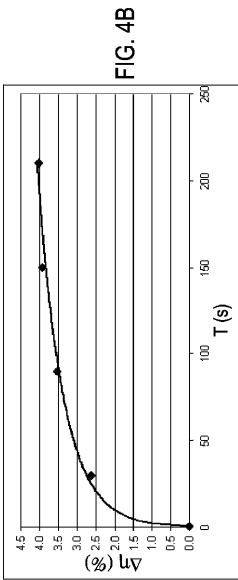


FIG. 4B

フロントページの続き

- (72)発明者 アレハンドロ アヴェラン
ドイツ連邦共和国 ミュンヘン ヴァイセンブアガー プラッツ 1
- (72)発明者 マンフレート グリュナーベル
ドイツ連邦共和国 ミュンヘン ネットツァーシュトラッセ 66

審査官 井上 徹

- (56)参考文献 特開2003-332597(JP,A)
特開2011-103425(JP,A)
特開2005-333080(JP,A)
特開2002-261015(JP,A)
特開2011-096845(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- H01L 31/02 - 31/078、31/18 - 31/20、
51/42 - 51/48
- H02S 10/00 - 50/15