

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-513105
(P2025-513105A)

(43)公表日 令和7年4月23日(2025.4.23)

(51)国際特許分類		F I		テーマコード (参考)	
H 1 0 K	30/57 (2023.01)	H 1 0 K	30/57	3 K 1 0 7	
H 1 0 K	30/40 (2023.01)	H 1 0 K	30/40	5 F 2 5 1	
H 1 0 K	85/50 (2023.01)	H 1 0 K	85/50		
H 1 0 K	85/10 (2023.01)	H 1 0 K	85/10		
H 1 0 K	71/80 (2023.01)	H 1 0 K	71/80		
		審査請求	未請求	予備審査請求	未請求 (全43頁) 最終頁に続く
(21)出願番号	特願2024-554953(P2024-554953)	(71)出願人	590003283	コモンウェルス サイエнтиフィック アンド インダストリアル リサーチ オーガナイゼーション オーストラリア 2 6 0 1 オーストラリア ン・キャピタル・テリトリ、アクトン 、クルーニーズ・ロス・ストリート 100108453 弁理士 村山 靖彦 100188558 弁理士 飯田 雅人 100110364 弁理士 実広 信哉 (72)発明者 ドゥジン・バク オーストラリア・ビクトリア・3 1 6 8 最終頁に続く	
(86)(22)出願日	令和5年3月16日(2023.3.16)				
(85)翻訳文提出日	令和6年11月12日(2024.11.12)				
(86)国際出願番号	PCT/AU2023/050184				
(87)国際公開番号	WO2023/173171				
(87)国際公開日	令和5年9月21日(2023.9.21)				
(31)優先権主張番号	2022900663				
(32)優先日	令和4年3月17日(2022.3.17)				
(33)優先権主張国・地域又は機関	オーストラリア(AU)				
(81)指定国・地域	AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV				
		最終頁に続く		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 移転可能光起電力デバイス

(57)【要約】

本発明は、タンデム型光起電力セルを製作するために、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルへと移転するための移転可能光起電力デバイス構成であって、柔軟性剥離基材と、（i）柔軟性剥離基材の上方に位置させられる第1の透明伝導層、および、（i i）第1の透明伝導層の上方に位置させられる光活性層を備える薄膜光起電力デバイスとを備え、第1の透明伝導層は、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、活性化可能接着剤、および有機結合剤から選択される少なくとも1つを含む溶液処理層であり、柔軟性剥離基材は、薄膜光起電力デバイスが透明伝導性接着剤で下部光起電力サブセルに接着された後に薄膜光起電力デバイスから分離可能であり、それによって、薄膜光起電力デバイスの外側伝導表面において第1の透明伝導層を露出させる、移転可能光起電力デバイス構成を提供する。

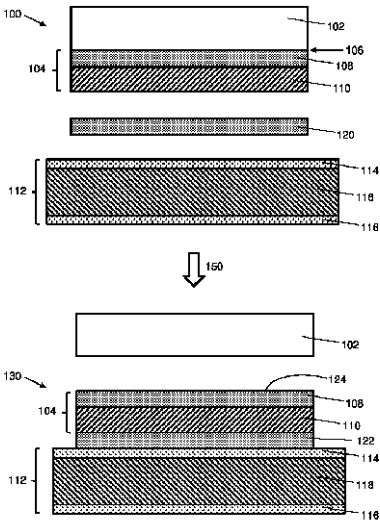


Figure 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

タンデム型光起電力セルを製作するために、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルへと移転するための移転可能光起電力デバイス構成であって、

柔軟性剥離基材と、

(i) 前記柔軟性剥離基材の上方に位置させられる第 1 の透明伝導層、および、(i i) 前記第 1 の透明伝導層の上方に位置させられる光活性層を備える薄膜光起電力デバイスとを備え、

前記第 1 の透明伝導層は、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、活性化可能接着剤、および有機結合剤から選択される少なくとも 1 つを含む溶液処理層であり、

前記柔軟性剥離基材は、前記薄膜光起電力デバイスが透明伝導性接着剤で前記下部光起電力サブセルに接着された後に前記薄膜光起電力デバイスから分離可能であり、それによって、前記薄膜光起電力デバイスの外側伝導表面において前記第 1 の透明伝導層を露出させる、移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 2】

前記第 1 の透明伝導層は第 1 の活性化可能接着剤を含み、前記柔軟性剥離基材は、前記第 1 の活性化可能接着剤が活性化させられるときに前記薄膜光起電力デバイスから分離可能である、請求項 1 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 3】

前記第 1 の活性化可能接着剤は熱活性化可能接着ポリマである、請求項 2 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 4】

前記柔軟性剥離基材は非貼付表面を備え、前記柔軟性剥離基材は、前記第 1 の透明伝導層を前記非貼付表面から層剥離することで前記薄膜光起電力デバイスから分離可能である、請求項 1 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 5】

前記非貼付表面は前記柔軟性剥離基材における非貼付被覆の表面である、請求項 4 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 6】

前記非貼付被覆は、フッ素化ポリマおよびシリコンポリマから成る群から選択される低表面エネルギーポリマを含む、請求項 5 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 7】

前記柔軟性剥離基材と前記第 1 の透明伝導層との間に介在させられる低粘着犠牲層を備え、前記低粘着犠牲層は、前記低粘着犠牲層を破ることで前記柔軟性剥離基材が前記薄膜光起電力デバイスから分離可能となるように、内在的に低い粘着を有する、または、活性化させられるときに低い粘着を有する、請求項 1 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 8】

前記低粘着犠牲層は第 3 の活性化可能接着剤を含み、前記柔軟性剥離基材は、(i) 熱または放射によって前記第 3 の活性化可能接着剤を活性化させることと、(i i) 前記低粘着犠牲層を破ることとによって、前記薄膜光起電力デバイスから分離可能である、請求項 6 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 9】

前記低粘着犠牲層は伝導性である、請求項 7 または 8 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 10】

前記低粘着犠牲層は 100 nm 未満の厚さを有する、請求項 7 から 9 のいずれか一項に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 11】

前記薄膜光起電力デバイスは、(i i i) 前記光活性層の上方に位置させられる第 2 の透明伝導層をさらに備え、前記第 2 の透明伝導層は、前記薄膜光起電力デバイスを前記下部光起電力サブセルに接着するための前記透明伝導性接着剤を含む、請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 1 2】

前記透明伝導性接着剤は第 2 の活性化可能接着剤を含み、前記第 2 の透明伝導層は、前記第 2 の活性化可能接着剤が活性化させられるときに前記下部光起電力サブセルに接着される、請求項 1 1 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 1 3】

前記第 2 の活性化可能接着剤は、活性化させられるとき、共有結合形成反応によって不可逆的に硬化する、請求項 1 2 に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 1 4】

前記透明伝導性接着剤は、前記柔軟性剥離基材を前記薄膜光起電力デバイスから解放するのに十分な温度で熱活性化可能である、請求項 1 1 から 1 3 のいずれか一項に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 1 5】

前記第 1 の透明伝導層は第 1 の熱活性化可能接着ポリマを含み、前記第 2 の透明伝導層は第 2 の熱活性化可能接着ポリマを含み、前記第 2 の熱活性化可能接着ポリマは前記第 1 の熱活性化可能接着ポリマよりも高い融点を有する、請求項 1 1 から 1 4 のいずれか一項に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 1 6】

前記光活性層は光活性ペロブスカイト層である、請求項 1 から 1 5 のいずれか一項に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 1 7】

前記薄膜光起電力デバイスが前記下部光起電力サブセル上に加圧され、前記柔軟性剥離基材が前記薄膜光起電力デバイスから分離されるロール積層処理のためのロールとして構成される、請求項 1 から 1 6 のいずれか一項に記載の移転可能光起電力デバイス構成。

【請求項 1 8】

下部光起電力サブセルと、請求項 1 から 1 7 のいずれか一項に記載の移転可能光起電力デバイス構成とを備え、前記薄膜光起電力デバイスは、透明伝導性接着剤を含む第 2 の透明伝導層を介して前記下部光起電力サブセルに接着される、タンデム型光起電力セル構成。

【請求項 1 9】

移転可能光起電力デバイス構成を製作する方法であって、

柔軟性剥離基材を提供するステップと、

連続的に、(i) 第 1 の透明伝導層を前記柔軟性剥離基材の上方に、(i i) 光活性層を前記第 1 の透明伝導層の上方に形成することによって、薄膜光起電力デバイスを前記柔軟性剥離基材上に製作するステップとを含み、

前記第 1 の透明伝導層は、溶液処理によって形成され、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、活性化可能接着剤、および有機結合剤から選択される少なくとも 1 つを含み、

前記柔軟性剥離基材は、前記薄膜光起電力デバイスの外側伝導表面において前記第 1 の透明伝導層を露出させるために、前記薄膜光起電力デバイスから分離可能である、方法。

【請求項 2 0】

前記第 1 の透明伝導層を前記柔軟性剥離基材の上方に形成することは、前記柔軟性剥離基材の上方に湿った膜を形成するために、第 1 の伝導性成分またはその反応性前駆体を含む第 1 の流体組成を適用することと、前記第 1 の透明伝導層を前記柔軟性剥離基材の上方に形成するために、前記湿った膜を固化させることとを含む、請求項 1 9 に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記第 1 の流体組成は第 1 の活性化可能接着剤を含む、請求項 1 9 または 2 0 に記載の

10

20

30

40

50

方法。

【請求項 22】

前記第 1 の活性化可能接着剤は熱活性化可能接着ポリマであり、前記柔軟性剥離基材は、前記第 1 の透明伝導層が加熱されるとき、前記薄膜光起電力デバイスから分離可能である、請求項 21 に記載の方法。

【請求項 23】

前記柔軟性剥離基材は非貼付表面を備え、前記第 1 の透明伝導層は前記非貼付表面上に直接形成される、請求項 19 または 20 に記載の方法。

【請求項 24】

前記柔軟性剥離基材はその表面上に低粘着犠牲層を含み、前記第 1 の透明伝導層は前記低粘着犠牲層上に直接形成される、請求項 19 または 20 に記載の方法。

【請求項 25】

前記薄膜光起電力デバイスを前記柔軟性剥離基材上に製作するステップは、(iii) 第 2 の透明伝導層を前記光活性層の上方に形成することをさらに含み、前記第 2 の透明伝導層は、前記薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着するための透明伝導性接着剤を含む、請求項 19 から 24 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 26】

前記第 2 の透明伝導層を形成することは、前記光活性層の上方に湿った膜を形成するために、第 2 の活性化可能接着剤と第 2 の伝導性成分またはその反応性前駆体とを含む第 2 の流体成分を適用することと、前記第 2 の透明伝導層を形成するために前記湿った膜を固化させることとを含む、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 27】

前記柔軟性剥離基材はロールとして構成され、前記薄膜光起電力デバイスは、ロールツーロール工程における被覆ステップおよび／または印刷ステップによって前記柔軟性剥離基材上に製作される、請求項 19 から 26 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 28】

タンデム型光起電力セルを製作する方法であって、

請求項 1 から 18 のいずれか一項に記載の移転可能光起電力デバイス構成、または、請求項 19 から 27 のいずれか一項に記載の方法によって製作されるような移転可能光起電力デバイス構成を提供するステップと、

透明伝導性接着剤によって前記移転可能光起電力デバイス構成の前記薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着するステップであって、それによって、第 2 の透明伝導層を介して前記薄膜光起電力デバイスと前記下部光起電力サブセルとを結合する、ステップと、

前記移転可能光起電力デバイス構成の前記柔軟性剥離基材を前記薄膜光起電力デバイスから分離するステップであって、それによって、外側伝導表面において、前記薄膜光起電力デバイスの前記第 1 の透明伝導層を有するタンデム型光起電力セルを製作する、ステップと

を含む、方法。

【請求項 29】

前記下部光起電力サブセルはシリコン光起電力セルである、請求項 28 に記載の方法。

【請求項 30】

前記移転可能光起電力デバイス構成はロールとして構成され、前記薄膜光起電力デバイスは前記下部光起電力サブセルに接着され、前記柔軟性剥離基材はロール積層処理において前記薄膜光起電力デバイスから分離される、請求項 28 または 29 に記載の方法。

【請求項 31】

前記薄膜光起電力デバイスを前記下部光起電力サブセルに接着するステップは、前記透明伝導性接着剤を熱、放射、または化学的処理で活性化させるステップを含む、請求項 28 から 30 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 32】

前記薄膜光起電力デバイスを前記下部光起電力サブセルに接着するステップは、前記透明伝導性接着剤を、熱によって、前記柔軟性剥離基材を前記薄膜光起電力デバイスから解放するのに十分な温度で活性化させるステップを含む、請求項 28 から 31 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

優先権相互参照

本出願は、2022年3月17日に出願されたオーストラリア仮特許出願第2022900663からの優先権を主張し、その内容は、この参照によって本明細書に組み込まれると理解されるべきである。

【0002】

本発明は、タンデム型光起電力セルを製作するために、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルへと移転するための移転可能光起電力デバイス構成に関する。移転可能光起電力デバイス構成は、柔軟性剥離基材と、その柔軟性剥離基材における薄膜光起電力デバイスとを備え、薄膜光起電力デバイスは、透明伝導性接着剤で下部光起電力サブセルに接着された後に薄膜光起電力デバイスから分離可能である。本発明は、移転可能光起電力デバイス構成を製作するための方法と、移転可能光起電力デバイス構成を使用してタンデム型光起電力セルを製作する方法とも関する。

【背景技術】

【0003】

シリコン系光起電力（PV）セルは、商業ベースの太陽光パネルにおいて現在使用されている圧倒的に支配的な光起電力技術である。このような太陽光パネルからの電気のコストは、向上した電力変換効率と、投入されるものと最終的な太陽光パネルモジュールとの両方を大規模に製造する便益とのおかげで、ここ何十年において非常に低下した。しかしながら、電荷収集電極の1つの対の間に介在させられた単一の光活性層を備える単接合PVセルは、低バンドギャップスペクトル損失と、バンド端への緩和によるエネルギー損失（熱化）とを含む様々なメカニズムのため、固有の効率限度を有する。単接合Si-PVセルを利用する最先端の太陽光パネルの電力変換効率（27%未満）は、現在では期待できる最大に近付いており、そのため、実質的なさらなる向上を提供するためには、光起電力セル技術に抜本的な変化が必要とされている。

【0004】

太陽光パネルの電力変換効率を向上させる1つの手法は、2つ（またはより多く）のPVサブセルが物理的に互いに重ねられる多接合PVセルを利用することである。上部サブセルの光活性層は、太陽光放射スペクトルの高いエネルギー領域からの光子を効率的に吸収するように設計され、下部サブセルの光活性層は、半透明の上部サブセルを通過するより低いエネルギーの光子を捕獲する。したがって、2つのサブセルが透明な伝導性中間層（再結合層またはトンネル結合）を介して電氣的に直列に接続されるタンデム型PVセルは、集中太陽光の下で最大で47%の電力変換効率を達成することができる。そのため、原則として、Si-PV下部サブセルを有するタンデム型PVセルは、現代のSi-PV製造技術からの恩恵をなおも受けつつ、単接合Si-PVセルに対して実質的に向上した電力変換効率を提供することができる。

【0005】

これらの理論的な利点にも拘らず、商業的に競争力のある多接合PVセル、特に、Si-PV下部サブセルを伴う多接合PVセルの発展は、上部サブセルの製作、およびその下部サブセルとの一体化による技術およびコストに関わる問題のため、難しい。Si-PV下部サブセルにおける上部サブセルの製作のための蒸着方法が、産業規模まで容易に改正することができていない。金属ハライドペロブスカイト半導体などの溶液処理可能な光活性層を含む薄膜上部サブセルは、バンドギャップを適切に合わせる能力のため、特に魅力的である。しかしながら、溶液処理方法によるSi-PV下部サブセル上に直接上部サ

10

20

30

40

50

ブセルの層ごとを製作することは、大きい面積の剛性基材において均一な薄い層を形成することの難しさ、および、バッチ処理の堆積方法の材料廃棄物の割合の多さのため、技術的および経済的に厳しいままである。

【0006】

タンデム型PVセルを1回の処理ステップで製作するために、薄膜上部サブセルを別で作ってから、この多層デバイスを下部サブセルに直接積層することでこの問題に対処することが、以前に提案されている。透明伝導性接着剤が、2つのデバイスを物理的に接着するために、および、最終的なタンデム型PVセルにおいて2つのサブセルの間に必要な電氣的相互接続（再結合層またはトンネル結合として）を提供するために、使用される。しかしながら、薄膜デバイスは自己支持ではなく、薄膜上部サブセルは、膜支持基材上に製作されなければならない。そのため、この基材は、上部サブセルと下部サブセルとを一体に積層した後、タンデム型PVセルの比較的厚い外側層を形成することになり、これは、太陽光放射の無視できない一部分を潜在的に吸収する可能性があり、したがって、電力変換効率に負の影響を与える可能性がある。さらに、薄膜電子デバイスが作られる膜支持基材は、典型的には電氣的に絶縁性である。絶縁性の外側層が小規模のデバイスに収容され得る一方で、太陽光パネルにおける内部抵抗を最小限にするために、電流が典型的には外側表面を通じて引き出される場合、より大きい表面積の光起電力セルにおいて望ましくない。

10

【0007】

下部サブセルへの後での積層のための、上部サブセルを製造する他の報告されている手法は、薄膜デバイスアーキテクチャを生み出すために、蒸気またはプラズマによる堆積技術および／または高温処理ステップに依拠している。そのため、上部サブセルは、タンデム型PVセルを製造するときに下部サブセルへのサブセルの移転性を含め、このような処理条件に耐えることができる支持基材上に製作されなければならない。薄膜上部サブセルが、下部サブセルへの移転のために適した基材上に直接、低コストで拡張可能な技術によって製作されることが望ましい。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】WO2016/115602A1

30

【特許文献2】WO2020/073082A1

【特許文献3】WO2016/090179

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】J. Ouyang、Y. Yang、Adv. Mater. 2006、18、2141

【非特許文献2】Naら、Advanced Functional Materials 2018、6、1805825

【非特許文献3】T. R. Kleinら、J. Phys. D: Appl. Phys. 2021、54、184002

40

【非特許文献4】D. Bryantら、Adv. Mater. 2014、26、7499～7504

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

そのため、前述の欠点のうちの1つまたは複数に少なくとも部分的に対処する、または、有用な代替を提供する、タンデム型光起電力セルを製作する方法、および、薄膜光起電力デバイスを下部サブセル上へと移転するための構成への継続的な要求がある。

【0011】

特許文献、または、先行技術として提供されている他の印刷物への本明細書における言

50

及は、その文献または印刷物が知られていること、または、含んでいる情報が、請求項のうちのいずれかの優先日において一般的な知識の一部であったことを、認めるとして解釈されることはない。

【課題を解決するための手段】

【0012】

そこで、本発明者は、支持剥離基材に初めに存在する薄膜光起電力上部サブセルを適合する下部サブセルへと移転し、その後、タンデム型PVセルに透明伝導層を外側表面において提供するために剥離基材を除去することで、タンデム型光起電力セルを製作する方法を開発した。透明伝導層は、溶液処理によって剥離基材において製作され、有機であって、典型的にはポリマの伝導性成分および／または結合剤成分を含むが、剥離基材と透明伝導層との間の境界面は、上部サブセルと下部サブセルとが接着された後、上部サブセルからの剥離基材の選択的な層剥離を許容し、タンデム型PVセルの伝導性外側表面において露出された透明伝導層を残す。これは、例えば、透明伝導層への内在的に(intrinsically)弱い接着に向けて剥離基材を設計することで、または、外部の刺激に反応して剥離基材から剥離されるように透明伝導層を策定することでなど、いくつかの方法で達成することができる。

10

【0013】

第1の透明伝導層における有機成分またはポリマ成分の存在は、第1の透明伝導層の柔軟性および弾性を向上させると期待され、第1の透明伝導層の物理的完全性および伝導性が、薄膜光起電力デバイスから下部光起電力サブセルへの移転の間に層に適用される屈曲および圧縮にも拘らず持続することを確保する。

20

【0014】

薄膜上部サブセルは、最終的にはタンデム型光起電力デバイスにおいて再結合層(トンネル結合としても知られている)を形成する透明伝導性接着剤層を介して、下部サブセルに接着される。いくつかの実施形態では、移転可能上部サブセルの外側層として初めに存在する透明伝導性接着剤層は、2つのサブセルの接着を容易にするために、活性化させられ、任意に硬化させられ得る。重要なことに、2つのサブセルの間の結果的な接着接合は、剥離基材が薄膜上部サブセルから分離されるときに剥離基材と上部サブセルとの間の接合よりも強い。

【0015】

有利には、本明細書に開示されている方法およびデバイスは、シリコン系光起電力(Si-PV)セルを伴うタンデム型光起電力セルを製作するために使用でき、Si-PVセルのための製造過程と、太陽光パネルモジュールにおけるSi-PVセルの共通の使用との両方と適合する。したがって、薄膜上部サブセルは、剥離基材のほぼ同時の分離および除去を含むロール積層処理において下部サブセル(例えば、Si-PVサブセル)上に加圧されて接着され得る。さらに、結果的にできたタンデム型光起電力セルは伝導性外側表面を有し、この外側表面は、典型的にSi-PVセルに適用されるような、印刷された金属グリッドなど、集電ネットワークでさらに機能させられ得る。

30

【0016】

第1の態様では、本発明は、タンデム型光起電力セルを製作するために、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルへと移転するための移転可能光起電力デバイス構成であって、柔軟性剥離基材と、(i)柔軟性剥離基材の上方に位置させられる第1の透明伝導層、および、(ii)第1の透明伝導層の上方に位置させられる光活性層を備える薄膜光起電力デバイスとを備え、第1の透明伝導層は、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、活性化可能接着剤、および有機結合剤から選択される少なくとも1つを含む溶液処理層であり、柔軟性剥離基材は、薄膜光起電力デバイスが透明伝導性接着剤で下部光起電力サブセルに接着された後に薄膜光起電力デバイスから分離可能であり、それによって、薄膜光起電力デバイスの外側伝導表面において第1の透明伝導層を露出させる、移転可能光起電力デバイス構成を提供する。

40

【0017】

50

いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は第1の活性化可能接着剤を含み、柔軟性剥離基材は、第1の活性化可能接着剤が活性化させられるときに薄膜光起電力デバイスから分離可能である。第1の活性化可能接着剤は熱活性化可能接着ポリマであり得る。熱活性化可能接着ポリマは、例えば、エチレン-酢酸ビニル（EVA）共重合体、ポリエチレン、ポリエチレンオキシド（PEO）、およびポリスチレン（PS）から成る群から選択される熱可塑性ポリマであり得る。

【0018】

いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材は非貼付（non-stick）表面を備え、柔軟性剥離基材は、第1の透明伝導層を非貼付表面から層剥離することで薄膜光起電力デバイスから分離可能である。非貼付表面は低表面エネルギーポリマによって提供され得る。非貼付表面は、柔軟性剥離基材における非貼付被覆の表面であり得る。非貼付被覆は、例えばフッ素化ポリマおよびシリコンポリマから成る群から選択される、低表面エネルギーポリマを含み得る。

【0019】

いくつかの実施形態では、移転可能光起電力デバイス構成は、柔軟性剥離基材と第1の透明伝導層との間に介在させられる低粘着犠牲層を備え、低粘着犠牲層は、低粘着犠牲層を破ることで柔軟性剥離基材が薄膜光起電力デバイスから分離可能となるように、内在的に低い粘着を有する、または、活性化させられるときに低い粘着を有する。

【0020】

いくつかの実施形態では、低粘着犠牲層は低粘着有機非ポリマ固体を含む。いくつかの実施形態では、低粘着犠牲層は第3の活性化可能接着剤を含み、柔軟性剥離基材は、（i）熱または放射によって前第3の活性化可能接着剤を活性化させることと、（ii）低粘着犠牲層を破ることによって、薄膜光起電力デバイスから分離可能である。第3の活性化可能接着剤は、例えば、エチレン-酢酸ビニル（EVA）共重合体、ポリエチレン、ポリエチレンオキシド（PEO）、およびポリスチレン（PS）から成る群から選択される熱可塑性ポリマ、または、例えば、光酸発生剤（PAG）と組み合わせたポリ（フタルアルデヒド）（PPHA）、PAGと組み合わせたポリ（アセタール）、およびTiO₂と組み合わせたポリ乳酸（PLA）からなる群から選択される光解重合可能ポリマ組成であり得る。

【0021】

いくつかの実施形態では、低粘着犠牲層は伝導性である。いくつかの実施形態では、低粘着犠牲層は、100nm未満、50nm未満、または20nm未満の厚さを有する。

【0022】

いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は、金属、金属酸化物、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、フラーレンまたはその官能性誘導体、炭素ナノ材料（グラフェンなど）、非ポリマ有機半導体、有機芳香族化合物、および非ポリマ共役有機化合物から成る群から選択される第1の伝導性成分を含む。

【0023】

いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスは、（iii）光活性層の上方に位置させられる第2の透明伝導層をさらに備え、第2の透明伝導層は、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着するための透明伝導性接着剤を含む。

【0024】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は、金属、金属酸化物、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、フラーレンまたはその官能性誘導体、炭素ナノ材料（グラフェンなど）、非ポリマ有機半導体、有機芳香族化合物、および非ポリマ共役有機化合物から成る群から選択される少なくとも1つを含む第2の伝導性成分を含む。

【0025】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は第2の活性化可能接着剤を含み、第2の透明伝導層は、第2の活性化可能接着剤が活性化させられるときに下部光起電力サブセルに接着される。第2の活性化可能接着剤は、熱、放射、または化学的処理によって活性化

10

20

30

40

50

可能とされ得る。いくつかの実施形態では、第2の活性化可能接着剤は、活性化させられるとき、共有結合形成反応によって不可逆的に硬化する。

【0026】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は、柔軟性剥離基材を薄膜光起電力デバイスから解放するのに十分な温度で熱活性化可能である。

【0027】

いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は第1の熱活性化可能接着ポリマを含み、第2の透明伝導層は第2の熱活性化可能接着ポリマを含み、第2の熱活性化可能接着ポリマは第1の熱活性化可能接着ポリマよりも高い融点を有する。

【0028】

いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスは、(iv)第1の透明伝導層と光活性層との間に介在させられる第1の電荷輸送層、および／または、(v)光活性層の上方に位置付けられる第2の電荷輸送層をさらに備える。

【0029】

いくつかの実施形態では、光活性層は光活性ペロブスカイト層である。

【0030】

いくつかの実施形態では、移転可能光起電力デバイス構成は、薄膜光起電力デバイスが下部光起電力サブセル上に加圧され、柔軟性剥離基材が薄膜光起電力デバイスから分離されるロール積層処理のためのロールとして構成される。

【0031】

いくつかの実施形態では、(i)第1の透明伝導層、(ii)光活性層、(iv)第1の透明伝導層と光活性層との間に介在させられる第1の電荷輸送層、および、(v)光活性層の上方に位置付けられる第2の電荷輸送層から選択される薄膜光起電力デバイスの各々の機能層が、柔軟性剥離基材上に形成される溶液処理層である。いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスの各々の機能層は、柔軟性剥離基材上に形成される溶液処理層である。

【0032】

第2の態様では、下部光起電力サブセルと、第1の態様のいずれかの実施形態による移転可能光起電力デバイス構成とを備えるタンデム型光起電力セル構成を本発明は提供し、薄膜光起電力デバイスは、透明伝導性接着剤を含む第2の透明伝導層を介して下部光起電力サブセルに接着される。

【0033】

いくつかの実施形態では、下部光起電力サブセルはシリコン光起電力セルである。

【0034】

いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材は、薄膜光起電力デバイスから部分的に分離され、それによって外側伝導表面において第1の透明伝導層を露出させる。

【0035】

第3の態様では、本発明は、移転可能光起電力デバイス構成を製作する方法であって、柔軟性剥離基材を提供するステップと、連続的に、(i)第1の透明伝導層を柔軟性剥離基材の上方に、(ii)光活性層を第1の透明伝導層の上方に形成することによって、薄膜光起電力デバイスを柔軟性剥離基材上に製作するステップとを含み、第1の透明伝導層は、溶液処理によって形成され、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、活性化可能接着剤、および有機結合剤から選択される少なくとも1つを含み、柔軟性剥離基材は、薄膜光起電力デバイスの外側伝導表面において第1の透明伝導層を露出させるために、薄膜光起電力デバイスから分離可能である、方法を提供する。

【0036】

いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層を柔軟性剥離基材の上方に形成することは、柔軟性剥離基材の上方に湿った膜を形成するために、第1の伝導性成分またはその反応性前駆体を含む第1の流体組成を適用することと、第1の透明伝導層を柔軟性剥離基材の上方に形成するために、湿った膜を固化させることとを含む。

10

20

30

40

50

【0037】

いくつかの実施形態では、第1の流体組成は溶媒をさらに含み、湿った膜を固化させることは溶媒を除去することを含む。

【0038】

いくつかの実施形態では、第1の流体組成は第1の活性化可能接着剤を含む。第1の活性化可能接着剤は熱活性化可能接着ポリマであり、柔軟性剥離基材は、第1の透明伝導層が加熱されるとき、薄膜光起電力デバイスから分離可能である。

【0039】

いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材は非貼付表面を備え、第1の透明伝導層は非貼付表面上に直接形成される。

10

【0040】

いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材はその表面上に低粘着犠牲層を含み、第1の透明伝導層は低粘着犠牲層上に直接形成される。

【0041】

いくつかの実施形態では、光活性層を第1の透明伝導層の上方に形成することは、第1の透明伝導層の上方に湿った膜を形成するために、溶媒において分散させられた1つまたは複数の光活性層成分またはその前駆体を含む流動性の組成を適用することと、溶媒を湿った膜から除去することで光活性層を形成することを含む。任意選択で、流動性の組成はペロブスカイト前駆体溶液である。

【0042】

いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスを柔軟性剥離基材上に製作するステップは、(iii) 第2の透明伝導層を光活性層の上方に形成することをさらに含み、第2の透明伝導層は、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着するための透明伝導性接着剤を含む。第2の透明伝導層を形成することは、光活性層の上方に湿った膜を形成するために、第2の活性化可能接着剤と第2の伝導性成分またはその反応性前駆体とを含む第2の流体成分を適用することと、第2の透明伝導層を形成するために湿った膜を固化させることとを含む得る。

20

【0043】

いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスを柔軟性剥離基材上に製作するステップは、(iv) 第1の透明伝導層と光活性層との間に介在させられる第1の電荷輸送層、および／または、(v) 光活性層の上方の第2の電荷輸送層を形成することをさらに含む。

30

【0044】

いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材はロールとして構成され、薄膜光起電力デバイスは、ロールツーロール工程における被覆ステップおよび／または印刷ステップによって柔軟性剥離基材上に製作される。

【0045】

第4の態様では、本発明は、タンデム型光起電力セルを製作する方法であって、第1の態様のいずれかの実施形態による移転可能光起電力デバイス構成、または、第3の態様のいずれかの実施形態による方法によって製作されるような移転可能光起電力デバイス構成を提供するステップと、透明伝導性接着剤によって移転可能光起電力デバイス構成の薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着するステップであって、それによって、第2の透明伝導層を介して薄膜光起電力デバイスと下部光起電力サブセルとを電氣的に結合する、ステップと、移転可能光起電力デバイス構成の柔軟性剥離基材を薄膜光起電力デバイスから分離するステップであって、それによって、外側伝導表面において、薄膜光起電力デバイスの第1の透明伝導層を有するタンデム型光起電力セルを製作する、ステップとを含む方法を提供する。

40

【0046】

いくつかの実施形態では、下部光起電力サブセルはシリコン光起電力セルである。

【0047】

50

いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスは、柔軟性剥離基材を薄膜光起電力デバイスから分離する前に、接着を容易にするために下部光起電力サブセル上加圧または圧縮される。

【0048】

いくつかの実施形態では、移転可能光起電力デバイス構成はロールとして構成され、薄膜光起電力デバイスは下部光起電力サブセルに接着され、柔軟性剥離基材はロール積層処理において薄膜光起電力デバイスから分離される。

【0049】

いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着するステップは、透明伝導性接着剤を熱、放射、または化学的処理で活性化させるステップを含む。

10

【0050】

いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着するステップは、透明伝導性接着剤を、熱によって、柔軟性剥離基材を薄膜光起電力デバイスから解放するのに十分な温度で活性化させるステップを含む。

【0051】

いくつかの実施形態では、方法は、タンデム型光起電力セルの外側伝導表面上に金属の集電ネットワークを製作するステップをさらに含む。

【0052】

第5の態様によれば、本発明は、第4の態様のいずれかの実施形態による方法によって製作されたタンデム型光起電力セルを提供する。

20

【0053】

本発明のさらなる態様が、以下における本発明の詳細な説明で明らかになる。

【0054】

本発明の実施形態は、本明細書において、添付の図面を参照して、例だけを用いて例示されることになる。

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】本発明による移転可能光起電力デバイス構成100、および、光起電力デバイス104を下部光起電力サブセル112へと移転することで、この移転可能光起電力デバイス構成を使用してタンデム型光起電力セル130を製作する方法150の概略図である。

30

【図2】本発明の実施形態による移転可能光起電力デバイス構成200、および、光起電力デバイス204を下部光起電力サブセル212へと移転することで、この移転可能光起電力デバイス構成を使用してタンデム型光起電力セル230を製作する方法250の概略図である。

【図3】本発明の実施形態による移転可能光起電力デバイス構成300、および、光起電力デバイス304を下部光起電力サブセル312へと移転することで、この移転可能光起電力デバイス構成を使用してタンデム型光起電力セル330を製作する方法350の概略図である。

【図4】本発明の実施形態による移転可能光起電力デバイス構成400、および、光起電力デバイス404を下部光起電力サブセル412へと移転することで、この移転可能光起電力デバイス構成を使用してタンデム型光起電力セル430を製作する方法450の概略図である。

40

【図5】本発明による移転可能光起電力デバイス構成を製作するための方法のステップを示すブロック流れ図である。

【図6】本発明の実施形態によるロール積層処理においてタンデム型光起電力セルを製作する方法の概略図である。

【図7】実施例3において実施されているような、溶液処理された薄膜光起電力デバイスを柔軟性剥離基材から伝導性基材へと移転する方法の概略図である。

【発明を実施するための形態】

50

【0056】

本発明は、タンデム型光起電力セルを製作するために、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルへと移転するための移転可能光起電力デバイス構成に関する。移転可能光起電力デバイス構成は、柔軟性剥離基材と、柔軟性剥離基材における薄膜光起電力デバイスとを備える。薄膜光起電力デバイスは、柔軟性剥離基材の上方に位置させられる第1の透明伝導層と、第1の透明伝導層の上方に位置させられる光活性層とを備える。第1の透明伝導層は、溶液処理層であり、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、活性化可能接着剤、および有機結合剤から選択される少なくとも1つを含む。使用中、柔軟性剥離基材は、薄膜光起電力デバイスが透明伝導性接着剤で下部光起電力サブセルに接着された後、薄膜光起電力デバイスから分離可能である。したがって、結果的にできたタンデム型光起電力セルは、外側伝導表面において露出された薄膜光起電力デバイスの第1の透明伝導層を有する。

10

【0057】

図1において見られるように、移転可能光起電力デバイス構成100は、柔軟性ポリマ膜を備え得る柔軟性剥離基材102を備える。薄膜光起電力デバイス104が、柔軟性剥離基材と光起電力デバイスとの間に境界面106を伴って、柔軟性剥離基材102に位置させられる。後でより詳細に説明されるように、境界面106は、光起電力デバイス104が下部光起電力サブセルに接着されると、光起電力デバイス104を解放するように設計されている。薄膜光起電力デバイス104は、柔軟性剥離基材の上方に位置させられる溶液処理された透明伝導層108と、層108の上方に位置させられた光活性層110とを少なくとも備える。透明伝導層108は、最終的にタンデム型光起電力太陽光セルの上電気接触面を形成することになり、光活性層110は、例えばペロブスカイト光活性層などのタンデム型光起電力太陽光セルの上部サブセル光活性層に適したバンドギャップを伴う光吸収半導体層である。薄膜光起電力デバイス104は、透明伝導層108と光活性層110との間に介在させられる、および／または光活性層110の上方に位置させられる電荷輸送層（つまり、電子選択層および／または正孔選択層）などの他の層（図示されていない）を、任意選択で備えてもよい。

20

【0058】

移転可能光起電力デバイス構成100は、同じく図1に示されているように、タンデム型光起電力セル130を製作するために、薄膜光起電力デバイス104を下部光起電力サブセル112に移転するように構成される。

30

【0059】

したがって、本発明は、タンデム型光起電力セルを製作する方法にさらに関する。方法は、本明細書において開示されているような移転可能光起電力デバイス構成を提供することと、透明伝導性接着剤によって移転可能光起電力デバイス構成の薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着することを含む。それによって、薄膜光起電力デバイスは、第2の透明伝導層を介して下部光起電力サブセルに機能的に結合される。次に、移転可能光起電力デバイス構成の柔軟性剥離基材は薄膜光起電力デバイスから分離される。結果的にできたタンデム型光起電力セルは、外側伝導表面において薄膜光起電力デバイスの第1の透明伝導層を有し、上部サブセルと下部サブセルとの間に再結合層またはトンネル結合として第2の透明伝導層を有する。

40

【0060】

引き続き図1を参照すると、移転可能光起電力デバイス構成100は、薄膜光起電力デバイス104を下部光起電力サブセル112へと移転するために、このような移転方法（矢印150によって描写されている）で使用される。下部光起電力サブセル112は、上伝導層114と、下電気接点116と、光活性半導体層118とを少なくとも備え、いくつかの実施形態では、従来のシリコン光起電力太陽光セルである。したがって、薄膜光起電力デバイス104は、薄膜光起電力デバイス104と下部光起電力サブセル112とが透明伝導層122を介して機能的に結合されるように、透明伝導性接着剤120によって下部サブセルの上伝導層114に接着される。したがって、透明伝導性接着剤120から

50

形成された透明伝導層 122 は、タンデム型光起電力セル 130 における上部サブセルと下部サブセルとの間に再結合層またはトンネル結合を形成する。

【0061】

いくつかの実施形態では、透明伝導層 122 は、光活性層 110 の上方に位置させられた、薄膜光起電力デバイス 104 のあらかじめ形成された外側層として初めは存在する。他の実施形態では、透明伝導層 122 は、上传導層 114 の上方にまたは上传導層 114 として位置付けられる、下部光起電力サブセル 112 のあらかじめ形成された外側層として初めは存在する。なおもさらなる実施形態では、透明伝導性接着剤 120 は、移転方法の一部として、薄膜光起電力デバイス 104 または下部光起電力サブセル 112 のいずれかの表面への被覆として適用されてもよい。

10

【0062】

移転方法は、柔軟性剥離基材 102 を薄膜光起電力デバイス 104 から分離するステップも含む。境界面 106 を徐々に破るために、柔軟性基材を剥がすことで典型的には起こる分離ステップは、下部光起電力サブセル 112 への薄膜光起電力デバイス 104 の接着とほぼ同時に行われてもよい、または、後の時間に別の動作として行われてもよい。いずれの場合でも、柔軟性基材の分離は、(i) 透明伝導層 122 を介しての下部光起電力サブセル 112 への薄膜光起電力デバイス 104 の接着、および、(b) タンデム型光起電力セル 130 における他の機能層同士の間および中における接着および粘着ではなく、少なくとも分離のとき、より弱くなっている境界面 106 における接着または粘着に依拠する。分離ステップに続いて、タンデム型光起電力セル 130 は、タンデム型セルが動作中

20

【0063】

定義

「備える」および「備えている」という用語が本明細書（特許請求の範囲を含む）で使用されている場合、それらは、述べられた特徴、整数、ステップ、または構成要素を明示するが、1つまたは複数の他の特徴、整数、ステップ、もしくは構成要素、またはそれらの群の存在を排除するとして解釈されるものではない。

【0064】

本明細書で使用されているように、開示されている構成、デバイス、および方法の様々な特徴に関する「第1の」、「第2の」、「第3の」などの用語は、任意に割り当てられた符号であり、様々な実施形態に組み込まれ得る2つ以上のこのような特徴の間で識別するように意図されているだけである。これらの用語は、それ自体で、何らかの具体的な配向または連続を指示することはない。さらに、「第1の」特徴の存在が、「第2の」特徴が存在することを暗示しないこと、「第2の」特徴の存在が、「第1の」特徴が存在することを暗示しないことなどは、理解されるものである。

30

【0065】

本明細書で使用されているように、「上」および「下」という用語が、第1の透明伝導層であるタンデム型光起電力セルにおける上受光表面に関連して言及される。

【0066】

本明細書で使用されているように、特には移転可能光起電力デバイス構成の機能層に関連して、「～の上方に」という用語は、「～と直接接触して」と「1つまたは複数の介在する機能層によって分離されて」との両方を含む多層デバイス構造における相対位置を指示している。したがって、層 B が層 A の上方にあり、層 C が層 B の上方にある場合、多層デバイス構造は、以下の層の連続、すなわち、A-B-C、A-X-B-C、A-B-X-C、および A-X-B-X-C を含むことができ、ここで、X は 1 つまたは複数の介在する機能層である。

40

【0067】

本明細書で使用されているように、「伝導層」という用語は、光子によって生成された電荷を、層を通じて輸送するのに十分な導電性を伴う薄膜を意味する。伝導層は導電体ま

50

たは半導体であり得る。「伝導層」は、電荷選択性を含む複数の機能を有し得る。

【0068】

本明細書で使用されているように、「活性化可能」な層、接着剤、または接着ポリマは、熱、放射（例えば、化学光）、または化学的処理などの外部の刺激によって、必要に応じて接着または剥離のための機能的に活性化させられるように適合される。

【0069】

移転可能光起電力デバイス構成

柔軟性剥離基材

移転可能光起電力デバイス構成は柔軟性剥離基材を備える。柔軟性剥離基材は、典型的には、引き剥がすことで薄膜光起電力デバイスから分離させることができる柔軟性の膜である。いくつかの実施形態では、柔軟性基材は、(i) ロールツーロール製造工程における薄膜光起電力デバイスの製作、および／または、(ii) ロール積層処理における下部光起電力サブセルへの薄膜光起電力デバイスの移転を容易にするために、膜またはテープのロールの形態である。代替で、剥離基材は柔軟性の膜の平坦なシートとして形成されてもよい。柔軟性剥離基材は、ロール製造工程における基板について典型的であるように、例えば、ポリエチレンテレフタレート（PET）またはポリエチレンナフタレート（PEN）などのポリエステル、ポリプロピレンなどのポリオレフィン、または、エチレンテトラフルオロエチレン（ETFE）などのフッ素化ポリマといった、柔軟性のポリマ膜を備え得る。しかしながら、柔軟性剥離基材が金属箔または紙などの他の材料から作ることができることは、排除されない。

【0070】

いくつかの実施形態では、剥離基材は、柔軟性剥離基材が、隣接の透明伝導層を非貼付表面から層剥離することで薄膜光起電力デバイスから容易に分離可能となるように、非貼付表面を備える。当業者によって理解されるように、非貼付表面は、その表面における低表面エネルギー組成により根本的に弱い接着とされ、そのため、非貼付特性を得るために熱活性化を必要としない。適切な非貼付表面は、例えばASTM D7490-13に従って測定されるとき、36 Dyne/cm未満で、好ましくは30 Dyne/cm未満の表面エネルギーを有し得る。非貼付被覆は、例えば、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）などのフッ素化ポリマ、および、ポリジメチルシロキサン（PDMS）などのシリコンポリマから成る群から選択されるポリマといった、低表面エネルギーポリマによって提供され得る。非貼付表面は、柔軟性剥離基材における非貼付被覆の表面であり得る。適切な非貼付被覆は、概して、先に記載されているような低表面エネルギーポリマの被覆である。代替で、柔軟性剥離基材は、適切な低表面エネルギーポリマの自己支持膜を備えてもよく、非貼付表面はその膜の表面である。

【0071】

低粘着犠牲層

いくつかの実施形態では、移転可能光起電力デバイス構成は、柔軟性剥離基材と薄膜光起電力デバイスの第1の透明伝導層との間に介在させられた低粘着犠牲層を含む。本明細書で使用されているように、低粘着犠牲層は、薄膜光起電力デバイスが透明伝導性接着剤の層を介して下部サブセルに接着されるときに得られる多層構造において、他の層同士の間の接着力および他の層の内部の粘着力よりも意図的に弱くなっている粘着力を内部に有する層である。低粘着犠牲層は、内在的に、つまり室温において、低い粘着の層であるか、または、活性化させられるときに適切に低い粘着を有するかのいずれかである。いずれの場合でも、柔軟性剥離基材は、低粘着犠牲層を選択的に破ることで、薄膜光起電力デバイスから分離可能である。しかしながら、低粘着犠牲層は、それでもなお、製作の間、および、薄膜光起電力デバイスを下部サブセルへと移転する間、柔軟性剥離基材が薄膜光起電力デバイスに接着して薄膜光起電力デバイスを支持することができるように、十分な粘着完全性および接着特性を必要とすることは、理解されるものである。

【0072】

透明な低粘着犠牲層は、好ましくは非常に薄い層であり、例えば、100 nm未満、5

10

20

30

40

50

0 nm未満、または20 nm未満の厚さを有する。いくつかの実施形態では、低粘着犠牲層は、金属、金属酸化物、および伝導性のポリマまたはポリマ複合材（ポリ（3，4-エチレンジオキシチオフェン）ポリスチレンスルホン酸塩、つまり、PEDOT：PSSなど）などの伝導性成分の組み込みのため、伝導性である。伝導性成分を含むことは、低粘着犠牲層の残留物が柔軟性剥離基材の分離および除去の後に第1の透明伝導層に留まる場合、第1の透明伝導層の表面を通じての導電性の損失を有利に軽減することができる。

【0073】

いくつかの実施形態では、低粘着犠牲層は、ワックスなどの低粘着有機非ポリマ固体を含む。いくつかの実施形態では、低粘着犠牲層は活性化可能接着剤を含む。活性化可能接着剤は、熱または放射など、命令で適用される任意の適切な外部刺激によって、犠牲層の粘着を十分に低減するために活性化させられ得る。そのため、柔軟性剥離基材は、熱または放射によって活性化可能接着剤を活性化させ、低粘着犠牲層を破ることで、薄膜光起電力デバイスから分離され得る。

10

【0074】

いくつかの実施形態では、犠牲層における熱活性化可能接着剤は、エチレン-酢酸ビニル（EVA）共重合体、ポリエチレン、ポリエチレンオキッド（PEO）、およびポリスチレン（PS）から成る群から選択される熱可塑性ポリマなど、熱で活性化可能な接着剤である。熱可塑性ポリマは、溶解または軟化によって熱の適用に反応することで、犠牲層の粘着を必要に応じて低下させる。好ましくは、活性化は、移転可能光起電力デバイス構成を下部サブセル上に加圧するときに達成され得る温度で、デバイスにおける他の層を損傷させることなく行われる。いくつかの実施形態では、犠牲層は、90℃～140℃の範囲など、50℃～170℃の範囲における温度でその粘着を十分に低下させるために、熱活性化可能である。

20

【0075】

他の実施形態では、犠牲層における活性化可能接着剤は、適切な光開始剤または光触媒を任意選択で含む光解重合可能ポリマ組成である。例には、光酸発生剤（PAG）と組み合わせられたポリ（フタルアルデヒド）（PPHA）と、PAGと組み合わせられたポリ（アセタール）、TiO₂と組み合わせられたポリ乳酸（PLA）なら成る群から選択されるポリマ組成がある。光解重合可能ポリマ組成は、解重合または解架橋によって、適切な波長光による放射に反応することで、犠牲層の粘着を必要に応じて低下させる。

30

【0076】

薄膜光起電力デバイス

移転可能光起電力デバイス構成は、柔軟性基材の分離を可能にするように構成される境界面で、柔軟性剥離基材の上方に位置させられる薄膜光起電力デバイスを備える。薄膜光起電力デバイスは、概して、薄膜機能層の連続によって形成された多層アーキテクチャを有する。いくつかの実施形態では、各々の機能層は、50 μm未満の乾燥層厚さを有する。実施形態では、各々の機能層は、10 μm未満、5 μm未満、または2 μm未満の乾燥層厚さを有する。

【0077】

このアーキテクチャのため、薄膜光起電力デバイスは、概して自己支持ではなく（つまり、物理的に不安定である）、そのため、以後において説明される方法によって、ここでは柔軟性剥離基材自体である支持基材上に、製作および取り扱いされなければならない。ひとたび下部サブセルへと移転されると、本明細書で開示されているように、薄膜光起電力デバイスは、結果的にできたタンデム型光起電力セルにおいて上部サブセルになる。

40

【0078】

第1の透明伝導層

薄膜光起電力デバイスは第1の透明伝導層を備え、第1の透明伝導層は、溶液処理層であり、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、活性化可能接着剤、および有機結合剤から選択される、有機であって典型的にはポリマの伝導性および／または結合剤の少なくとも1つの成分を含む。有利には、有機成分またはポリマ成分は、第1の透明伝導層の柔軟性お

50

よび弾性を向上させることもでき、第1の透明伝導層の物理的完全性および伝導性が、薄膜光起電力デバイスから下部光起電力サブセルへの移転の間に層に適用される屈曲および圧縮にも拘らず持続することを確保する。

【0079】

第1の透明伝導層は、タンデム型光起電力セルにおける上部サブセルの外側伝導層になるように設計される。しかしながら、移転可能光起電力デバイス構成では、第1の透明伝導層は、柔軟性剥離基材の上方に位置させられ、その基材と直接接触し得る、または、介在する犠牲層によってその基材から分離され得る。柔軟性剥離基材と溶液処理された第1の透明伝導層との間の境界面は、薄膜光起電力デバイスが下部サブセルに接着されると柔軟性剥離層の剥離および分離を容易にするように設計される。以後において開示される製作の好ましい方法と一致して、第1の透明伝導層は、被覆または印刷などの溶液処理技術によって、剥離基材上に製作することができる。

10

【0080】

必要な伝導性を提供するために、第1の透明伝導層は、任意選択で結合剤によって一緒に保持される少なくとも1つの伝導性成分を含む（例えば、伝導性成分が、強化を必要とする特には非ポリマ材料である場合）。いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は、金属、金属酸化物、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、フラーレンまたはその官能性誘導体、炭素ナノ材料（グラフェンなど）、非ポリマ有機半導体、有機芳香族化合物、および非ポリマ共役有機化合物から成る群から選択される伝導性成分を含む。いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は、金属、金属酸化物、および伝導性のポリマまたはポリマ複合材から成る群から選択される伝導性成分を含む。適切な金属および金属酸化物は、金属（銀など）のナノワイヤ、インジウムスズ酸化物、酸化亜鉛、酸化スズ、および酸化ニッケルなどの他の金属のナノ粒子およびナノ微粒子の透明伝導酸化物を含め、粒子状のナノ材料を含み得る。いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は、伝導性のポリマもしくはポリマ複合材を含む、または、伝導性のポリマもしくはポリマ複合材から成る。適切な伝導性ポリマ複合材はPEDOT:PSSである。

20

【0081】

いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は導電層（つまり、金属のような伝導性を伴う）である。適切な導電層は、Au、Ag、Al、Mg、Cu、またはそれらの適切な合金など、伝導性の金属組成を含み得る。例えば、このような金属組成は、透明な伝導性マトリックスにおける（つまり、伝導性ポリマの）ナノ粒子として存在することができる、または、有機結合剤によって強化させることができる。

30

【0082】

他の実施形態では、第1の透明伝導層は、上部サブセルの意図されている配向に依存する電子選択輸送層または正孔選択輸送層など、半導体電荷輸送層である。したがって、タンデム型光起電力セルにおける使用中、第1の透明伝導層は、光起電で励起された電子、または対応する正孔のいずれかを、上部サブセルの外側伝導表面へと選択的に抽出するために、上部サブセルの光活性層と協働することができる。

【0083】

第1の透明伝導層が電子選択輸送層であるとき、第1の透明伝導層は、酸化スズ、酸化ニッケル、酸化亜鉛、二酸化チタン、もしくは三酸化タングステンなどのうちの少なくとも1つの透明伝導性酸化物、[6, 6]-フェニル-C61-酪酸メチルエステル（PC60BM）もしくは[6, 6]-フェニル-C70-酪酸メチルエステル（PC70BM）などのフラーレン誘導体、C60もしくはC70などの純粋なフラーレン、または、ポリエチレンイミンエトキシ化物（PEIE）などの機能性ポリマなどを含み得る。

40

【0084】

第1の透明伝導層が正孔選択輸送層であるとき、第1の透明伝導層は、2, 2', 7, 7'-テトラキス-(N, N-dialkyl-4-methoxyphenylamino)-9, 9'-spirobifluorene（スピロ-OMeTAD）、ポリ[(2, 5-bis(2-hexyldesyl)oxy)phenylene]-alt-(5, 6-benzofluorene-4, 7-diyl)（チオフェン-2-イル

50

）ベンゾ〔c〕〔1, 2, 5〕チアジアゾール〕（PPDT2FBT）、ポリ（3, 4-エチレンジオキシチオフエン）（PEDOT）、ポリ（3, 4-エチレンジオキシチオフエン）およびポリスチレンスルホン酸の混合物（PEDOT:PSS）、ポリ（4, 4-ジオクチルシクロペンタジチオフエン）； P3HT、ドーブP3HT（ポリ（3-ヘキシルチオフエン-2, 5-ジイル））、ポリ（トリアリールアミン）（PTAA）、ポリ〔N-9', '-ヘプタデカニル-2, 7-カルバゾール-alt-5, 5-(4', 7'-ジ-2-チエニル-2', 1', 3'-ベンゾチアジアゾール)〕（PCDTBT）、ポリ〔2, 6-(4, 4-ビス-(2-エチルヘキシル)-4H-シクロペンタ〔2, 1-b; 3, 4-b'〕ジチオフエン)-alt-4, 7(2, 1, 3-ベンゾチアジアゾール)〕（PCPD TBT）、またはポリ（N-アルキルジケトピロロピロレジチエニルチエノ〔3, 2-b〕チオフエン）（DPP-DTT）などのうちの少なくとも1つなどの透明伝導性ポリマを含み得る。

10

【0085】

第1の透明伝導層は、以後においてより詳細に説明されるように、活性化可能接着剤成分を含む透明伝導性接着剤を含み得る。しかしながら、これは、非活性化可能または非粘着性の透明伝導層が、溶液処理方法によって、剥離基材の非貼付表面に、または剥離基材における低粘着犠牲層に適切に積層され得るため、必須ではない。そのため、剥離基材の分離は、第1の透明伝導層自体の活性化によって引き起こされる剥離に依拠する必要がない。例えば、本発明者は、PEDOT:PSS透明伝導層を備える薄膜光起電力デバイスが、透明伝導層において活性化可能接着剤成分がないにも拘らず、(i) 非貼付シリコーン被覆を伴う柔軟性剥離基材、または、(ii) 熱活性化された低粘着犠牲層を有する柔軟性剥離基材のいずれかから層剥離させることができることを見出した。

20

【0086】

いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は、透明伝導性接着剤を含む、または、透明伝導性接着剤から成る。したがって、第1の透明伝導層は、柔軟性剥離基材が、第1の活性化可能接着剤が活性化させられるときに薄膜光起電力デバイスから分離可能となるように、第1の活性化可能接着剤を含み得る。本明細書で使用されているように、活性化可能接着剤は、熱、放射、または化学的処理などの任意の適用された刺激によって、接着接合および／または剥離を可能とするように活性化可能である接着剤組成であって、典型的には接着ポリマ組成である。原則として、活性化可能接着剤を含む透明伝導層は、境界面の剥離が透明伝導性接着剤の活性化によって引き起こされるため、幅広い範囲の柔軟性剥離基材上に形成できる。したがって、活性化させられた第1の透明伝導層と柔軟性剥離基材との間の境界面は、好ましくは、活性化させられた透明伝導層が無傷で分離するように、活性化の後の構造において最も弱い部分になる。しかしながら、透明伝導性接着剤の適切に連続した層がその移転の後に薄膜光起電力デバイスに存在したままであるならば、活性化させられた透明伝導性接着剤のいくらかの残留物が柔軟性剥離基材上に残り得ることは、排除されない。

30

【0087】

いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は、例えば熱活性化可能接着ポリマといった熱活性化可能接着剤を含む。熱活性化可能接着ポリマは、エチレン-酢酸ビニル（EVA）共重合体、ポリエチレン、ポリエチレンオキシド（PEO）、およびポリスチレン（PS）から成る群から選択される熱可塑性ポリマであり得る。このような絶縁性ポリマが第1の透明伝導層のマトリックスとして存在するとき、必要な伝導性を確立するために伝導性成分も必要とされることは、理解されるものである。適切な伝導性成分は、伝導性の金属または金属酸化物を含む粒子と、PEDOT:PSS、ポリアニリン（PANI）、ポリアセチレン、ポリピロール、ポリチエニレンビニレン、ポリチオフエン、ポリフェニレンビニレン、ポリフェニレンスルフィドなどの伝導性ポリマとを含む。1つのこのような例では、第1の透明伝導層は、伝導性添加物としてAg被覆された伝導性マイクロスフェアを伴う熱可塑性EVA共重合体マトリックスから成る。他の手法では、第1の透明伝導層は、例えば、D-ソルビトールなどの多価アルコールとの組み合わせでのPEDOT

40

50

：PSSといった、熱活性化可能伝導性ポリマ組成を含む（例えば、J. Ouyang、Y. Yang、Adv. Mater. 2006、18、2141参照）。

【0088】

適切な熱活性化可能な第1の透明伝導層は、デバイスにおける他の機能層を損傷させることなく、移転可能光起電力デバイス構成を下部サブセル上加圧するときに提供され得る温度で活性化するように好ましくは適合させられる。いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層は、90℃～140℃の範囲など、50℃～170℃の範囲における温度で、柔軟性剥離基材からの剥離を引き起こすように熱活性化可能である。

【0089】

光活性層

薄膜光起電力デバイスは、タンデム型光起電力セルにおいて上部サブセルの光吸収層になるようにされている光活性層を含む。しかしながら、移転可能光起電力デバイス構成では、光活性層は、第1の透明伝導層の上方に、第1の透明伝導層と直接接触して、または、電荷輸送層などの1つまたは複数の介在する層によって第1の透明伝導層から分離されてのいずれかで位置させられる。以後において開示されているような好ましい製作の方法と一致して、光活性層は、溶液処理層であってもよく、剥離基材上に製作され得る。

【0090】

光活性層は、タンデム型光起電力セルにおいて使用される下部サブセルのバンドギャップよりも高いバンドギャップを伴う光吸収半導体を備える。シリコン系下部サブセルは約1.1 eVのバンドギャップを有する。Si-PVサブセルを伴うタンデム型セルの最も高い電力変換効率は、上部サブセルの光活性層のバンドギャップが1.6 eVから1.9 eVまでの間にあるときと考えられるが、この好ましい範囲より高いバンドギャップおよび低いバンドギャップも受け入れられ得ることは、理解されるものである。そのため、いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスにおける光活性層のバンドギャップは1.6 eVから1.9 eVまでの間である。

【0091】

いくつかの実施形態では、光活性層は金属ハライド半導体を備える。いくつかのこのような実施形態では、金属ハライド半導体は光活性ペロブスカイト層である。ペロブスカイト構造の組成を調整することでバンドギャップが所望の標的に調整され得るため、有機-無機ハイブリッドペロブスカイトが特に適していると考えられる。さらに、ペロブスカイト層が、ロールツーロール製造工程における柔軟性基材上を含め、溶液処理方法によって薄膜形式で製作できる。このような方法の例は、WO2016/115602A1およびWO2020/073082A1として発行されている国際特許出願において開示されている。ペロブスカイト電気特性は、溶液処理方法に起因し得る不具合に対して大きな耐性がある。ペロブスカイト光活性層は、0.5～1 μmの範囲での乾燥層厚さを典型的には有する。

【0092】

光活性ペロブスカイト層は、ペロブスカイトの晶子から本質的に成る光吸収ペロブスカイト半導体を備える。ペロブスカイト材料は式 AMX_3 によって表すことができ、ここで、Aは少なくとも1つのカチオンであり、Mは少なくとも1つのカチオンであり、Xは少なくとも1つのアニオンである。ペロブスカイトが2つ以上のAカチオンを備えるとき、異なるAカチオンが、Aサイトにわたって秩序化または無秩序化された方法で分配され得る。ペロブスカイトが2つ以上のMカチオンを備えるとき、異なるMカチオンが、Mサイトにわたって秩序化または無秩序化された方法で分配され得る。ペロブスカイトが2つ以上のXアニオンを備えるとき、異なるXアニオンが、Xサイトにわたって秩序化または無秩序化された方法で分配され得る。2つ以上のAカチオン、2つ以上のMカチオン、または2つ以上のXアニオンを含むペロブスカイトの対称性は、 $CaTiO_3$ の対称性よりも低くなる。ペロブスカイトは結晶化合物である。したがって、開放気孔のないペロブスカイト伝導体の層は、典型的には、ペロブスカイトの晶子から本質的に成る。光起電力セルなどのペロブスカイト式の光活性デバイスでは、光活性層は、有機-無機のペロブスカイ

10

20

30

40

50

ト構造とされた半導体を備え得る。しかしながら、いくつかの実施形態では、光活性層は、すべて無機の、例えば $\text{CsPb}(\text{I}_n\text{X}_{1-n})_3$ であってもよく、ここで、X は非ヨウ素ハライドであることを理解するものである。

【0093】

本明細書で使用されているような「ペロブスカイト」という用語は、(a) CaTiO_3 の三次元結晶構造に関連する三次元結晶構造を伴う材料、または、(b) 層が CaTiO_3 の構造に関連する構造を有する、材料の層を備える材料に言及している。ペロブスカイトのこれらの分類の両方が、本発明によるデバイスで使用できるが、いくつかの状況では、第1の分類(a)のペロブスカイト、つまり、三次元(3D)結晶構造を有するペロブスカイトを使用することが望ましい。このようなペロブスカイトは、典型的には、層同士の間に分離なしでペロブスカイト単位セルの3Dネットワークを備える。他方で、第2の分類(b)のペロブスカイトは、二次元(2D)の層構造を有するペロブスカイトを備える。2Dの層構造を有するペロブスカイトは、(層間された)分子によって分離されるペロブスカイト単位セルの層を備えることができ、このような2D層ペロブスカイトの例は、 $[\text{2-(1-シクロヘキセニル)エチルアンモニウム}]_2\text{PbBr}_4$ である。2D層ペロブスカイトは、光励起の下で、自由電荷担体ではなく、束縛された電子-正孔の対(励起子)の発生に有利に働く高い励起子結合エネルギーを有する傾向がある。束縛された電子-正孔の対は、移転(イオン化)し、自由電荷を生成することができるp型またはn型のコンタクトに達するだけの可動性がない可能性がある。結果として、自由電荷を発生させるためには、励起子束縛エネルギーに打ち勝つ必要があり、これは、電荷発生過程へのエネルギーの損失を表し、光起電力セルにおけるより低い電圧と、より低い効率とをもたらす。対照的に、3D結晶構造を有するペロブスカイトは、(熱エネルギーにおいて)はるかにより低い励起子束縛エネルギーを有し、それによって、光励起の直後に自由担体を発生させることができる。したがって、本発明のデバイスおよび過程で用いられるペロブスカイト半導体は、第1の分類のペロブスカイト、つまり、(a)三次元の結晶構造を有するペロブスカイトである。

【0094】

いくつかの実施形態では、ペロブスカイトは、形態 $\text{AM}(\text{I}_n\text{X}_{1-n})_3$ を有し、ここで、Aは、メチルアンモニウム($[\text{CH}_3\text{NH}_3]^+$)、ホルムアミジニウム($[\text{R}_2\text{N}-\text{CH}=\text{NR}_2]^+$)、およびセシウムから好ましくは選択される少なくとも1つのカチオンであり、Mは金属であり、Iはヨウ素であり、Xは、BrおよびClから好ましくは選択される非ヨウ素ハライドであり、nは、0~1の範囲にあり、Mは、Pb、Sn、Ge、Cs、Biから好ましくは選択される。有利には、このようなペロブスカイト半導体のバンドギャップは、 $\text{WO}2016/090179$ として発行されている国際特許出願において開示されているように、ヨウ素を臭素で置き替えることで1.6 eVから2.3 eVの範囲の中で連続的に調整させることができる。

【0095】

いくつかの実施形態では、光活性層は、例えばポリマ太陽光セルにおいて使用されているような有機光起電力活性層を備える。このような光活性層は、フェニル-C61-酪酸メチルエステル(PCBM)などのフラーレン系電子受容体材料、または、3,9-ビス(2-メチレン-(3-(1,1-ジシアノメチレン)-インダノン))-5,5,11,11-テトラキス(4-ヘキシルフェニル)-ジチエノ[2,3-d:2',3'-d']-s-インダセノ[1,2-b:5,6-b']ジチオフエン(ITIC)またはY6などの非フラーレン受容体と組み合わせられたポリ(3ヘキシルチオフエン)(P3HT)またはポリ[(2,6-(4,8-ビス(5-(2-エチルヘキシル)チオフエン-2-イル))-ベンゾ[1,2-b:4,5-b']ジチオフエン)-alt-(5,5-(1',3'-ジ-2-チエニル-5',7'-ビス(2-エチルヘキシル)ベンゾ[1',2'-c:4',5'-c']ジチオフエン-4,8-ジオン))] (PBDB-T)などの有機ポリマ電子供与体材料を概して含む。有機光活性層は、ロールツーロール製造工程における柔軟性基材上を含め、溶液処理方法による薄膜形式での製作にも有利に変更可能で

ある。このような方法の例は、Naら、Advanced Functional Materials 2018、6、1805825に開示されている。

【0096】

電荷輸送層

薄膜光起電力デバイスは、第1の透明伝導層および光活性層に加えて、1つまたは複数の透明機能層をさらに備え得る。以後において開示されているような好ましい製作の方法と一致して、透明機能層は、溶液処理層であってもよく、剥離基材上に製作され得る。

【0097】

いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスは、第1の透明伝導層と光活性層との間に介在させられ、例えばこれらの層の間に挟まれて直接接触する第1の電荷輸送層をさらに備える。いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスは、光活性層の上方に位置させられ、例えば光活性層と直接接触する第2の電荷輸送層をさらに備える。このような電荷輸送層は、典型的には、0.2 μm未満または0.1 μm未満の厚さを有する。

10

【0098】

第1の電荷輸送層は電子選択輸送層であり得、第2の電荷輸送層は正孔選択輸送層であり得、上部サブセルの意図されている配向に依存して、その逆であってもよい。このような電荷輸送層は、光起電力で励起された電子と、対応する正孔とを、上部サブセルの外側伝導表面と再結合層／トンネル結合とのそれぞれに向けて選択的に抽出するのを支援することができ、それによって、向上した光起電力性能を提供することができる。しかしながら、当業者は理解するように、電荷輸送層は太陽光セルアーキテクチャにとって必須ではなく、そのため、第1および第2の電荷輸送層のいずれかまたは両方がなくてもよい。

20

【0099】

適切な電子選択輸送層は、酸化スズ、酸化亜鉛、もしくは二酸化チタンなどのうちの少なくとも1つの透明伝導性酸化物、[6, 6]-フェニル-C61-酪酸メチルエステル(PC60BM)もしくは[6, 6]-フェニル-C70-酪酸メチルエステル(PC70BM)などのフラーレン誘導体、C60もしくはC70などの純粋なフラーレン混合物、または、ポリエチレンイミンエトキシ化合物(PEIE)などの透明伝導性ポリマなどを含み得る。

【0100】

適切な正孔選択輸送層は、2, 2', 7, 7'-テトラキス-(N, N-ジ-4-メトキシフェニルアミノ)-9, 9'-スピロビフルオレン(スピロ-OMeTAD)、ポリ[(2, 5-ビス(2-ヘキシルデシルオキシ)フェニレン)-alt-(5, 6-ジフルオロ-4, 7-ジ(チオフエン-2-イル)ベンゾ[c][1, 2, 5]-チアジアゾール)](PPDT2FBT)、ポリ(3, 4-エチレンジオキシチオフエン)(PEDOT)、ポリ(3, 4-エチレンジオキシチオフエン)およびポリスチレンスルホン酸の混合物(PEDOT:PSS)、ポリ(4, 4'-ジオクチルシクロペンタジチオフエン); P3HT、ドープP3HT(ポリ(3-ヘキシルチオフエン-2, 5-ジイル))、ポリ(トリアリールアミン)(PTAA)、ポリ[N-9', 9'-ヘプタデカニル-2, 7-カルバゾール-alt-5, 5'-(4', 7'-ジ-2-チエニル-2', 1', 3'-ベンゾチアジアゾール)](PCDTBT)、ポリ[2, 6-(4, 4'-ビス-(2-エチルヘキシル)-4H-シクロペンタ[2, 1-b; 3, 4-b']ジチオフエン)-alt-4, 7-(2, 1, 3-ベンゾチアジアゾール)](PCPDFTBT)、またはポリ(N-アルキルジケトピロロピロレジチエニルチエノ[3, 2-b]チオフエン)(DPP-DTT)、MoO₃などのうちの少なくとも1つなどの透明伝導性ポリマを含み得る。

30

40

【0101】

第2の透明伝導層

いくつかの実施形態では、移転可能光起電力デバイス構成の薄膜光起電力デバイスは第2の透明伝導層を備える。第2の透明伝導層は、光活性層の上方に位置させられ、光活性層と直接接触して、または、電荷輸送層などの1つまたは複数の介在する層によって光活性層から分離されてのいずれかで位置させられる。薄膜光起電力デバイスの外側層として

50

存在する第2の透明伝導層は、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着させるための透明伝導性接着剤を備える。したがって、有利には、薄膜光起電力デバイスは、透明伝導性接着剤が下部サブセルに接合する条件の下で2つの層を接触させるだけによって、シリコンに基づくセルなどの下部サブセルに接着させることができる。

【0102】

以後において開示されているような好ましい製作の方法と一致して、第2の透明伝導層は、溶液処理層であってもよく、剥離基材上に製作され得る。

【0103】

第2の透明伝導層のための好ましい透明伝導性接着剤は、以下の特性、すなわち、(i) 任意選択で初めに外部刺激によって活性化させられた後、柔軟性剥離基材が薄膜光起電力デバイスから剥がすことができる十分な接着強度で、下部サブセルに接着で接合することができること、(ii) 上部サブセルと下部サブセルとの間に頑丈な接着中間層を形成することで、モノリシックなタンデム型光起電力デバイスを形成することができること、(iii) 下部サブセルの光活性層における吸収のための、上部サブセルを通じて伝わる光子に対する高い光学的透明性、および、(iv) あるサブセルからの正孔電流を、低電圧損失を伴う他のサブセルからの電子電流と再結合させるのに適する電子的特性を有する。

【0104】

透明伝導性接着剤は、金属、金属酸化物、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、フラーレンまたはその官能性誘導体、炭素ナノ材料（グラフェンなど）、非ポリマ有機半導体、有機芳香族化合物、および非ポリマ共役有機化合物から成る群から選択される少なくとも1つを含み得る第2の伝導性成分を含む。いくつかの実施形態では、第2の伝導性成分は、金属、金属酸化物、および伝導性のポリマまたはポリマ複合材から成る群から選択される少なくとも1つを含む。

【0105】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は、活性化可能接着剤が活性化させられるときに第2の透明伝導層が下部光起電力サブセルに接着されるように、活性化可能接着剤を含む。活性化可能接着剤は、熱、放射、または化学的処理など、任意の適用される刺激によって活性化可能とされ得る。

【0106】

熱活性化可能な場合、第2の透明伝導層は、デバイスにおける他の機能層を損傷させることなく、移転可能光起電力デバイス構成を下部サブセル上に加圧するときに提供され得る温度で活性化するように好ましくは適合させられる。いくつかの実施形態では、第2の透明伝導層は、90℃～140℃の範囲など、50℃～170℃の範囲における温度で下部サブセルへの接着を容易にするように熱活性化可能である。

【0107】

いくつかの実施形態では、透明伝導層は、柔軟性剥離基材を薄膜光起電力デバイスから解放するのに十分に高い温度で熱活性化可能である。例えば、本明細書に記載されているような第1の透明伝導層または低粘着犠牲層のいずれかが第1の熱活性化可能接着ポリマを含んでもよく、第2の透明伝導層が第2の熱活性化可能接着ポリマを含む。2つの熱活性化可能接着ポリマは、単一の熱処理ステップが(i) 柔軟性剥離膜と薄膜光起電力デバイスとの間の境界面における剥離と、(ii) 下部光起電力サブセルへの第2の透明伝導層の活性化および接着とを引き起こすように選択される。例えば、第2の熱活性化可能接着ポリマは第1の熱活性化可能接着ポリマよりも高い融点を有することができる。したがって、移転可能光起電力デバイス構成が下部光起電力サブセル上にホットプレスされる場合、例えばロール積層処理では、柔軟性剥離基材の分離は、下部光起電力サブセルへの薄膜光起電力デバイスの接着とほぼ同時にもたらされ得る。

【0108】

いくつかの実施形態では、第2の透明伝導層の活性化可能接着剤は、エチレン-酢酸ビニル（EVA）共重合体、ポリエチレン、ポリエチレンオキシド（PEO）、およびポリ

スチレン（P S）から成る群から選択される熱可塑性ポリマである。このような絶縁性ポリマが第2の透明伝導層のマトリックスとして存在するとき、必要な伝導性を確立するために伝導性成分が必要とされる。伝導性成分は、第2の透明伝導層の厚さを通じて伝導性経路を確立する粒子伝導性要素を含み得る。1つのこのような例では、再結合層に適した透明伝導性接着剤は、伝導性添加物としてA g被覆された伝導性マイクロスフェアを伴う熱可塑性E V A共重合体マトリックスから成る（T．R．K l e i nら、J．P h y s．D：A p p l．P h y s． 2 0 2 1、5 4、1 8 4 0 0 2参照）。

【0109】

熱可塑性ポリマは、第2の透明伝導層の連続マトリックスを形成することができる、または、非連続形態で存在し得る。例えば、第2の透明伝導層は、粒子状熱可塑性ポリマと組み合わせたP E D O T：P S Sなど、伝導性のポリマまたは複合材を含むことができる。使用中に熱活性化されるとき、熱可塑性ポリマが流れ、層は下部光起電力サブセルに接着するようになる。

10

【0110】

他の実施形態では、第2の透明伝導層は、例えば、D－ソルビトールなどの多価アルコールとの組み合わせでのP E D O T：P S Sといった、熱活性化可能伝導性ポリマ組成を含む（例えば、J．O u y a n g、Y．Y a n g、A d v．M a t e r． 2 0 0 6、1 8、2 1 4 1参照）。

【0111】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は、活性化可能接着剤が適切な化学光で放射させられるときに第2の透明伝導層が下部光起電力サブセルに接着されるように、放射活性化可能接着剤を含む。

20

【0112】

第2の透明伝導層は、活性化させられて下部サブセルに接着させられると、固化する（s o l i d i f y）または硬くなる（h a r d e n）ように適合されてもよく、それによって、上部サブセルと下部サブセルとの間に頑丈な透明伝導性中間層を形成することができる。これは、熱活性化させられた接着剤を再び固めさせるために、その接着剤の冷却を伴うだけであり得る。しかしながら、いくつかの実施形態では、第2の透明伝導層は、例えば熱または放射によって、活性化させられたときに共有結合形成反応によって不可逆的に硬化する活性化可能接着剤を含む。このような伝導性接着剤量の例は、U l b r i c h tから入手可能なP a n a c o l E l e c o l i t 3 0 6 5である。

30

【0113】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は、薄膜光起電力デバイスが下部光起電力サブセルの上受入表面上に加圧されるときに第2の透明伝導層が下部光起電力サブセルに接着するように、感圧式接着剤を含む。例えば、第2の透明伝導層は、アクリルマイクロエマルジョン感圧式接着剤との組み合わせで、P E D O T：P S Sを備え得る（例えば、D．B r y a n tら、A d v．M a t e r． 2 0 1 4、2 6、7 4 9 9～7 5 0 4参照）。

【0114】

構成

40

移転可能光起電力デバイス構成は、薄膜光起電力デバイスが下部光起電力サブセルに加圧され、柔軟性剥離基材が薄膜光起電力デバイスから分離されるロール積層処理に適したロールとして構成され得る。したがって、柔軟性剥離基材は、巻き解されたとき、細長いフィルムまたはテープとして構成される。薄膜光起電力デバイスは、好ましくは特定の下部光起電力サブセルに合致するのに適した寸法で、細長いフィルムに沿って延びる連続または不連続な帯片として構成されてもよい。

【0115】

移転可能光起電力デバイス構成を製作する方法

本発明は、移転可能光起電力デバイス構成を製作する方法にも関する。方法は、柔軟性剥離基材を提供することと、薄膜光起電力デバイスを柔軟性剥離基材上に製作することと

50

を含む。これは、柔軟性剥離基材の上方の第1の透明伝導層と、第1の透明伝導層の上方の光活性層とを少なくとも備える機能層の連続を連続的に形成することで行われる。第1の透明伝導層は、溶液処理によって形成され、伝導性のポリマまたはポリマ複合材、活性化可能接着剤、および有機結合剤から選択される少なくとも1つを含む。柔軟性剥離基材と、柔軟性剥離基材上に製作される第1の透明伝導層との間の境界面は、柔軟性剥離基材が使用中に薄膜光起電力デバイスから分離可能であり、それによって第1の透明伝導層を薄膜光起電力デバイスの外側伝導表面において露出させるように設計される。

【0116】

本明細書において開示されている方法の具体的な利点は、低コストで容易に拡張可能な解決策の処理技術が、機能層を製作するために使用できることである。少なくとも第1の透明伝導層が溶液処理によって形成されるが、好ましい実施形態では、薄膜光起電力デバイスにおける機能層のうちの少なくとも1つ、少なくとも2つ、またはすべてが、溶液処理された機能層である。

【0117】

溶液処理された機能層は、層を形成する材料が溶液にある間に堆積させられる製作方法（「湿式」処理方法として知られている）で形成される。これは、このような材料が気相または蒸気相にある間に堆積させられる「乾式」処理方法と対照的である。溶液処理機能層は、層の機能性材料と、任意選択で有機結合剤とを典型的には備える。溶液処理された機能層を形成するために使用される湿式溶液は、機能性材料またはその前駆体と、溶媒の中で一緒に混合される任意選択の結合剤とを典型的には含む。

【0118】

有機結合剤は、溶液処理層の1つまたは複数の機能性材料が、適切に粘着または接着の層を形成するために固化を必要とする粒子状材料であるときに典型的には必要とされる。任意の適切な有機結合剤が使用できる。適切な有機結合剤の例は、エチルセルロース、ブチルセルロース、ニトロセルロース、ヒドロキシセルロース、セルロースアセテートブチレート、アルキド樹脂、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、アクリル樹脂、ブチルカルビトール、ブタジエンスチレンゴム、ポリビニルピロリドン、ポリアクリルアミド、およびセルロース誘導体のうちの1つまたは複数を含む。ポリマ有機結合剤が特に好ましいとされる。

【0119】

適切な溶媒には、制限なしで、ジメチルホルムアミド（DMF）、ジメチルスルホキシド（DMSO）、アセトニトリル、N-メチル-2-ピロリドン（NMP）、γ-ブチrolakton（GBL）、テルピネオール、ジブチルフタレート、ブチルカルビトール、ジブチルカルビトール、テレピン油、ブチルグリコールエーテル、ブチルカルビトールアセテート、エチレングリコールエーテルアセテート、トリブチルクエン酸およびトリブチルホスフェート、プロピレングリコールメチルエーテルアセテートトルエン、ジエチレングリコールブチルエーテル、プロパノール、ベンジルアルコール、イソプロピルアルコール、エタノール、メタノール、クロロホルム、ジエチレングリコール誘導体、トルエン、キシレンイソプロパノール、酢酸エチル、水、クロロベンゼン、またはそれらの組み合わせがある。

【0120】

各々の溶液処理された機能層を製作するための湿式溶液は、例えば、キャストリング、ドクターブレード、ブレードコーティング、バーコーティング、スクリーン印刷、インクジェット印刷、パッド印刷、ナイフコーティング、メニスカスコーティング、スロットダイコーティング、グラビア印刷、リバーグラビア印刷、キスクーティング、マイクロロールコーティング、カーテンコーティング、スライドコーティング、スプレーコーティング、フレキソ印刷、オフセット印刷、ロータリースクリーン印刷、またはディップコーティングのうちの少なくとも1つといった、任意の適切な方法を使用して直前の層上への湿った膜として適用できる。例示の実施形態では、機能層のうちの少なくとも1つ、少なくとも2つ、またはすべてが、ブレードコーティング、スクリーン印刷、スロットダイコー

ティング、グラビア印刷、またはリバースグラビアコーティング法のうちの少なくとも1つを使用して製作される。

【0121】

湿った膜が製作されると、溶媒は薄膜機能層を製作するために除去される。熱処理ステップ（アニーリングステップとしても知られている）が、典型的には、溶媒を湿った膜から除去することで機能層を乾燥させるために使用される。熱処理ステップは、好ましくは、各々の層が適用された後に好ましくは実施される。しかしながら、2つ以上の層が、組み合わせられた層が熱処理される前に適用されてもよいことは、理解されるべきである。様々な熱処理方法が、各々の機能層の特定の要件に依存して使用され得る。いくつかの実施形態では、熱処理は、湿った膜を、少なくとも80℃まで加熱し、好ましくは少なくとも100℃まで加熱し、より好ましくは少なくとも120℃まで加熱することを含む。実施形態では、熱処理方法は0～10分間にわたって実施される。

10

【0122】

溶液処理された機能層が、大規模での低コストおよび高スループットの生産に適したロールツーロール製造技術によって、柔軟性基材上に有利に製作できる。そのため、いくつかの実施形態では、第1の透明伝導層はロールツーロール処理によって製作される。いくつかの実施形態では、機能層のうちの少なくとも1つ、少なくとも2つ、またはすべてが、ロールツーロール処理によって製作される。

【0123】

ここで、移転可能光起電力デバイス構成を製作する方法が、図5を参照して説明される。方法は、移転可能光起電力デバイス構成に関連して本明細書において概して記載されているような柔軟性剥離基材を提供するステップ500を含む。適切な柔軟性剥離基材は市場の供給元から入手可能であり得る。いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材はロールとして構成され、そのため、薄膜光起電力デバイスは、ロールツーロール製造工程における被覆ステップおよび／または印刷ステップの連続によって柔軟性剥離基材上に製作され得る。

20

【0124】

いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材は、先に記載されているような非貼付表面を備える。そのため、第1の透明伝導層は非貼付表面上に直接形成されることになる。いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材は、本明細書において先に記載されているように、その表面に低粘着犠牲層を備える。

30

【0125】

したがって、方法は、低粘着犠牲層を柔軟性剥離基材上に形成する任意選択のステップ510を含み得る。これは、柔軟性剥離基材の上方に湿った膜を形成するために、犠牲層の成分を含む流体組成を適用することと、低粘着犠牲層を形成するために湿った膜を固化させることとによって行われ得る。流体組成は、低粘着犠牲層を形成するために、典型的には加熱によって、湿った膜から除去される溶媒を含むことができる。その固有の低粘着特性または活性化可能な低粘着特性にも拘らず、製作されるような犠牲層は、連続する層が製作されて支持され得るのに十分な粘着完全性および接着特性を有する。

【0126】

方法は、本明細書に記載されているような第1の透明伝導層を、溶液処理によって、柔軟性剥離基材の上方に形成するステップ520を含む。第1の透明伝導層は、柔軟性剥離基材上に直接、または、（例えば、任意選択でステップ510において形成されるような）介在する低粘着犠牲層上に、形成され得る。第1の透明伝導層は、柔軟性剥離基材の上方に湿った膜を形成するために流体組成を適用することと、第1の透明伝導層を柔軟性剥離基材の上方に形成するために湿った膜を固化させることとによって形成され得る。流体組成は、第1の透明伝導層を形成するために、典型的には加熱によって、湿った膜から除去される溶媒を含むことができる。

40

【0127】

流体組成は、本明細書において先に記載されているような必要な伝導性成分、またはそ

50

の反応性前駆体を含む。反応性前駆体は、水分と反応することでその場で透明伝導性金属酸化物を形成する金属ハライドまたは金属アルコキシドなどの反応性金属化合物を含み得る。このような塑性の例には、ドーパントありおよびなしで、塩化チタン溶液、チタン２－プロポキシド溶液、および酢酸亜鉛溶液がある。流体組成は、有機結合剤および／または活性化可能接着剤を含むことができ、伝導性成分がそれ自体でポリマでない場合、少なくとも１つのこのような成分を含むことになる。熱活性化可能接着ポリマといった適切な活性化可能接着剤が、第１の透明伝導層を下にある層に接着させることになるが、柔軟性剥離基材を薄膜光起電力デバイスから解放するために続けて活性化させることができる。

【０１２８】

方法は、本明細書において先に記載されているような電荷輸送層などの１つまたは複数の透明機能層を第１の透明伝導層上に形成する任意選択のステップ５３０を含み得る。電子選択輸送層または正孔選択輸送層が、第１の透明伝導層上に濡れた膜を形成するために、電荷輸送成分またはその反応性前駆体を含む流体組成を適用することと、電荷輸送層を形成するために湿った膜を固化させることとによって製作され得る。流体組成は、電荷輸送層を形成するために、典型的には加熱によって、湿った膜から除去される溶媒を含むことができる。

【０１２９】

方法は、本明細書に記載されているような光活性層を第１の透明伝導層の上方に形成するステップ５４０を含む。光活性層は、第１の透明伝導層上に直接、または、任意選択のステップ５３０において形成された電荷輸送層などの介在する透明機能層上に、形成されてもよい。光活性層は、第１の透明伝導層の上方に湿った膜を形成するために、溶媒において分散させられた１つまたは複数の光活性層成分またはその前駆体を含む流動性の組成を適用することと、溶媒を湿った膜から除去することで光活性層を形成することとによって製作され得る。

【０１３０】

流動性の組成はペロブスカイト前駆体溶液であり得、ペロブスカイト前駆体溶液は、ペロブスカイト前駆体溶液の湿った膜が乾燥によって濃縮されるときに光活性ペロブスカイト構造へと結晶化する溶解したイオン成分を含む。適切なペロブスカイト前駆体溶液を準備するための１つの方法は、ジメチルホルムアミドなどの十分に揮発性の極性溶媒に必要なペロブスカイト組成を溶解させるだけである。任意選択で、ペロブスカイト前駆体溶液は、WO2020/073082として発行されている国際特許出願において開示されているように、下にある層（例えば、電荷輸送層）の一部だけに適用され、極性ペロブスカイト前駆体溶液と親水性の下にある層との間の接着性に反応して、意図された設置面積にわたって広がるようにされる。

【０１３１】

光活性層は、光活性層と一緒に形成する２つ以上の流動性の組成を連続的に適用することで形成されてもよい。２つのペロブスカイト前駆体溶液がペロブスカイト光活性層を形成するために連続的に適用されるこの手法の例が、WO2016/115602として発行されている国際特許出願において開示されている。

【０１３２】

流動性の組成は、有機光起電力活性層を製作するためであり得、したがって、有機ポリマ電子供与体材料と、フラーレンまたは非フラーレンの受容体とを含む光活性層成分を含み得る。

【０１３３】

方法は、本明細書において先に記載されているような電荷輸送層などの１つまたは複数の透明機能層を光活性層上に形成する任意選択のステップ５５０を含み得る。電子選択輸送層または正孔選択輸送層が、光活性層上に濡れた膜を形成するために、電荷輸送成分またはその反応性前駆体を含む流体組成を適用することと、電荷輸送層を形成するために湿った膜を固化させることとによって製作され得る。流体組成は、電荷輸送層を形成するために、典型的には加熱によって、湿った膜から除去される溶媒を含むことができる。

【0134】

方法は、本明細書に記載されているような第2の透明伝導層を光活性層の上方に形成する任意選択のステップ560を含む。第2の透明伝導層は、薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着させるための透明伝導性接着剤を含む。本明細書において先に記載されているような第2の透明伝導層は、光活性層上に直接、または、任意選択のステップ550において形成された電荷輸送層などの介在する透明機能層上に形成されてもよい。第2の透明伝導層は、光活性層の上方に湿った膜を形成するために流体組成を適用することと、第2の透明伝導層を形成するために湿った膜を固化させることとによって形成され得る。流体組成は、第2の透明伝導層を形成するために、典型的には加熱によって、湿った膜から除去される溶媒を含むことができる。流体組成は、活性化可能接着剤などの透明伝導性接着剤の成分と、伝導性成分またはその反応性前駆体とを同じく含むことになる。

10

【0135】

タンデム型光起電力セルを製作する方法

本発明は、タンデム型光起電力セルを製作する方法にも関する。方法は、本明細書に開示されているような移転可能光起電力デバイス構成、または、本明細書に開示されているような方法によって製作されるような移転可能光起電力デバイス構成を提供することを含む。移転可能光起電力デバイス構成の薄膜光起電力デバイスは、透明伝導性接着剤で下部光起電力サブセルに接着させられる。それによって、薄膜光起電力デバイスと下部光起電力サブセルとは、タンデム型光起電力セルにおいて再結合層またはトンネル結合を形成する第2の透明伝導層を介して機能的に結合される。移転可能光起電力デバイス構成の柔軟性剥離基材は薄膜光起電力デバイスから分離されることで、第1の透明伝導層を露出させる。そのため、結果的にできたタンデム型光起電力セルは、外側伝導表面において薄膜光起電力デバイスの第1の透明伝導層を有する。

20

【0136】

下部光起電力サブセルは、原則として、シリコン光起電力セル、銅インジウムガリウム(d i)セレン化物(C I G S)光起電力セル、カドミウムテルル化物(C d T e)光起電力セル、またはペロブスカイト光起電力セルを含め、タンデム型光起電力セルの下部サブセルのための適切なバンドギャップを伴う任意の種類の光起電力セルであり得る。下部光起電力サブセルは、光活性(光吸収)層と下部電気接点(不透明であり得る)とを含む従来のアーキテクチャを概して有する。下部光起電力サブセルは、薄膜光起電力デバイスが接着される受入表面伴う伝導性外側層を有する。外側層は、高度にドーピングされたSi層(n型またはp型)または透明伝導性酸化物層であり得る。

30

【0137】

いくつかの実施形態では、下部光起電力サブセルはシリコン光起電力セルである。シリコン光起電力セルは、従来のp-nホモ接合セルまたはヘテロ接合シリコン光起電力セルであり得る。いくつかの実施形態では、下部光起電力サブセルは剛性で平面状の構造を有する。いくつかの実施形態では、下部光起電力サブセルは曲げ可能な薄い平面状の構造を有する。いくつかの実施形態では、下部光起電力サブセルはテクスチャード加工された結晶シリコン(c-Si)太陽光セルである。

40

【0138】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は、薄膜光起電力デバイスまたは下部光起電力サブセルのいずれかのあらかじめ形成された外側層として存在する。このような場合、薄膜光起電力デバイスと下部光起電力サブセルとは、第2の透明伝導層を介してそれらを接着させるために接触させられる。他の実施形態では、方法は、薄膜光起電力デバイスと下部光起電力サブセルとを接触させる前に、薄膜光起電力デバイスまたは下部光起電力サブセルのいずれかの表面への透明伝導性接着剤の被覆を適用する追加のステップを含む。

【0139】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は、第2の透明伝導層の接着および／また

50

は硬化を容易にするために活性化させられる。透明伝導性接着剤は、薄膜光起電力デバイスと下部光起電力サブセルとを接触させる前または後のいずれに、熱、放射、または化学的処理で活性化させることができる。

【0140】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は、任意選択で、90℃～140℃の範囲など、50℃～170℃の範囲における温度で、熱活性化させられる。例えば、移転可能光起電力デバイス構成は、透明伝導性接着剤における熱活性化された接着ポリマを流体化または軟化させるために、適切な温度および滞在時間で下部光起電力サブセル上にホットプレスされ得る。したがって、活性化された透明伝導性接着剤は、下部光起電力サブセルの受入表面に粘着して接着されるようになり得る。ホットプレスが除かれると、接着ポリマは冷却して固まることで、永久的な接着接合を提供する。

10

【0141】

いくつかの実施形態では、透明伝導性接着剤は放射で活性化させられる。例えば、移転可能光起電力デバイス構成には、下部サブセルへの初期の接着と、共有結合形成反応による続いての硬化とを容易にして永久的な接着接合を形成するために、紫外線光などの化学線が放射させられる。

【0142】

薄膜光起電力デバイスは、接着を容易にするために下部光起電力サブセル上に加圧または圧縮され得る。任意の適切な圧縮／加圧過程が使用できる。例えば、圧縮／加圧過程には、カレンダー加圧／ラミネータ、一軸加圧、または静水圧加圧などのロール加圧があり得る。実施形態では、薄膜光起電力デバイスは、圧縮によって、好ましくは加圧構成によって、より好ましくはカレンダー加圧によって、下部光起電力サブセルに適用される。

20

【0143】

いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスは、下部光起電力サブセルと徐々に接触させられる。これは、例えば、ロール積層処理において下部光起電力サブセル上への薄膜光起電力デバイス配置をカレンダー加圧することによって行うことができる。

【0144】

薄膜光起電力デバイスと下部光起電力サブセルとの間の十分な接着接合は、柔軟性剥離基材が望まれるときに柔軟性剥離基材から選択的に分離されることを確保するために必要とされる。しかしながら、薄膜光起電力デバイスと下部光起電力サブセルとは、柔軟性剥離膜の分離を始める前に、意図されている境界面全体にわたって接触させられる必要はないことを理解するものである。ロール積層処理では、例えば、薄膜光起電力デバイスと下部光起電力サブセルとは、柔軟性剥離基材と薄膜光起電力デバイスとの間の分離境界面の下だけで接触して接着させられる必要がある。さらに、薄膜光起電力デバイスと下部光起電力サブセルとの間の中間層の最終的な接着接合の強度は、柔軟性剥離基材が分離される時間までに完全に発達させられる必要がない。

30

【0145】

柔軟性剥離基材は、薄膜光起電力デバイスが分離境界面の下で下部光起電力サブセルに接着された後の任意の時間に薄膜光起電力デバイスから分離できる。いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材は、原理的に異なる時間および場所において実施され得る連続過程ステップにおいて、薄膜光起電力デバイスから分離される。例えば、薄膜光起電力デバイス構成は、1つの生産ライン上で下部光起電力サブセルに接着させることができ、柔軟性剥離基材は、異なる生産ラインにおいて、または、太陽光セルモジュールの組み立ての間であっても、分離されて除去される。他の実施形態では、薄膜光起電力デバイスは下部光起電力サブセルに接着させられ、柔軟性剥離基材は、2つのステップがほぼ同時に（つまり、数分間のうちに、好ましくはわずか数秒間のうちに）行われるように、単一の過程で薄膜光起電力デバイスから分離される。

40

【0146】

本明細書で開示されているように、分離ステップは、柔軟性剥離基材と薄膜光起電力デバイスとの間の境界面を選択的に破ることを含む。いくつかの実施形態では、例えば、柔

50

軟性剥離基材が非貼付表面を有するとき、または、内在的に低い粘着の犠牲層が薄膜光起電力デバイスと柔軟性剥離基材との間に介在させられるとき、柔軟性剥離基材は、薄膜光起電力デバイスが下部光起電力サブセルに接着させられると、剥離基材を徐々に剥がすことだけによって分離および除去できる。

【0147】

他の実施形態では、例えば、第1の透明伝導層が活性化可能であるとき、または、活性化可能低粘着犠牲層が薄膜光起電力デバイスと柔軟性剥離基材との間に介在させられるとき、柔軟性剥離基材を薄膜光起電力デバイスから分離することは活性化ステップを含む。活性化ステップは、例えば熱または放射によって、第1の透明伝導層または低粘着犠牲層のいずれかにおいて活性化可能接着剤を活性化することを含み得る。

10

【0148】

いくつかの実施形態では、活性化ステップは、90℃～140℃の範囲など、50℃～170℃の範囲における温度で、第1の透明伝導層または低粘着犠牲層を熱活性化することを含む。例えば、移転可能光起電力デバイス構成は、第1の透明伝導層または低粘着犠牲層における熱活性化された接着ポリマを流体化または軟化させるために、適切な温度および滞在時間で下部光起電力サブセル上にホットプレスされ得る。これは、柔軟性剥離基材と薄膜光起電力デバイスとの間の接着接合を解放し、柔軟性剥離基材を剥がすことを可能にする。他の実施形態では、柔軟性剥離基材は、例えば解重合メカニズムによって、活性化可能接着剤を活性化させるために、第1の透明伝導層または低粘着犠牲層を化学光で照射することで解放される。

20

【0149】

いくつかの実施形態では、単一の活性化ステップが、(i)柔軟性剥離層を薄膜光起電力デバイスから解放することで柔軟性剥離層の分離を可能とするために、および、(ii)透明伝導性接着剤を活性化させることで薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着させるために、使用される。いくつかの実施形態では、薄膜光起電力デバイスは、透明伝導性接着剤を、熱によって、柔軟性剥離基材を薄膜光起電力デバイスから解放するのに十分な温度で活性化させることで、下部光起電力サブセルに接着される。例えば、移転可能光起電力デバイス構成は、(i)透明伝導性接着剤を熱活性化させて薄膜光起電力デバイスを下部光起電力サブセルに接着させるために、および、(ii)第1の透明伝導層または低粘着犠牲層を熱活性化させて、柔軟性剥離基材と薄膜光起電力デバイスとの間の接着接合を解放するために、下部光起電力サブセル上に適切な温度および滞在時間でホットプレスされ得る。

30

【0150】

いくつかの実施形態では、移転可能光起電力デバイス構成はロールとして構成され、薄膜光起電力デバイスはロール積層処理において下部光起電力サブセルに移転される。

【0151】

ロール積層処理でタンデム型光起電力セルを製作する方法は、図6を参照して説明される。移転可能光起電力デバイス構成600が、柔軟性剥離基材602と、柔軟性剥離基材602上に連続的な帯片として配置される薄膜光起電力デバイス604（図6では柔軟性剥離基材602の見えない下側全体を覆う）とを備える。柔軟性剥離基材602と薄膜光起電力デバイス604の透明伝導内側層との間の境界面は、本明細書で開示されているように、分離を可能とするように設計される。薄膜光起電力デバイス604は、その外側表面上に透明伝導性接着剤の層を含む。

40

【0152】

複数の下部Si-PVサブセル608が剛性移動ステージ610上に保持されており、各々のSi-PVサブセルは、薄膜光起電力デバイス604を受け入れるための受入表面612を伴う伝導性外側表面を含む。移動ステージ610と移転可能光起電力デバイス構成600とは両方とも、矢印615によって指示されている方向においてカレンダープレス614を通過させられる。したがって、ロール（図示されていない）として初めに構成されている構成600は、巻き解され、下部Si-PVサブセル608と接触させられる

50

。カレンダーロール 616 は、透明伝導性接着剤の層を受入表面 612 に接着させるために、薄膜光起電力デバイス 604 を受入表面 612 上に十分な滞在時間にわたって押し付ける。任意選択で、カレンダーロール 616 は加熱させられ、透明伝導性接着剤を熱活性化させるのに十分な温度を適用することで、接着を容易にする。

【0153】

積層した構造がカレンダープレス 614 の反対側から現れた後、柔軟性剥離基材 602 は移動ステージ 610 から引き離され、任意選択で他のロール上へと再び巻き付けられる。柔軟性剥離基材 602 と薄膜光起電力デバイス 604 との間の境界面が、ロール積層の後の最も弱い境界面であるため、柔軟性剥離基材 602 は、薄膜光起電力デバイス 604 が下部 Si-PV サブセル 608 に接着される場所ではどこでも、つまり、柔軟性剥離基材 602 の切り取り領域 613 から、選択的に剥がされる。したがって、タンデム型光起電力セル 620 には、(i) 下部 Si-PV サブセルと、移転された薄膜光起電力デバイス 604a (上部サブセル) との間に再結合層またはトンネル結合を形成する透明伝導層 (つまり、透明伝導性接着剤) と、(ii) 外側表面において露出された薄膜光起電力デバイス 604a の透明伝導層 618 とが形成される。透明伝導層 618 からの柔軟性剥離基材 602 の剥離は、透明伝導層 618 自体または介在する低粘着犠牲層を熱活性化させるカレンダーロール 616 によって任意選択で適用される加熱によって、容易にされ得る。代替で、柔軟性剥離基材 602 は、柔軟性剥離基材 602 と透明伝導層 618 との間の境界面が根本的に引き離し可能 (つまり、活性化なし) となるように、非貼付表面を有してもよい。

【0154】

薄膜光起電力デバイスからの柔軟性剥離基材の分離は、タンデム型光起電力セルの外側伝導表面において第 1 の透明伝導層を露出させる。絶縁性の剥離基材の除去は、動作中に電流をタンデム型セルの外側表面を通じて有利に流すことができる。しかしながら、大きな表面積のタンデム型光起電力セル上には、外側の太陽光受入表面における金属の集電ネットワークを介して電流を集めることがなかも必要である。そのため、いくつかの実施形態では、方法は、例えば、商業的な大きさのシリコン光起電力セルの外側表面に典型的には適用されるような銀金属グリッドなど、金属の集電ネットワークをタンデム型光起電力セルの外側伝導表面上に製作することをなかも含む。任意選択で、1 つまたは複数の追加の透明伝導層 (例えば、真空処理された透明伝導性酸化物) が、タンデム型光起電力セルの第 1 の透明伝導層上に製作されてもよい。そのため、金属の集電ネットワークが、それによって提供された新たな伝導性表面上に製作されてもよい。

【0155】

タンデム型光起電力セル

本発明は、下部光起電力サブセルと、本明細書に開示されているような移転可能光起電力デバイス構成とを備えるタンデム型光起電力セル構成にも関し、薄膜光起電力デバイスは、透明伝導性接着剤を含む第 2 の透明伝導層を介して下部光起電力サブセルに接着される。下部光起電力サブセルは、本明細書において先に開示されているようなものであり得、いくつかの例示の実施形態ではシリコン光起電力セルである。

【0156】

いくつかの実施形態では、柔軟性剥離基材は薄膜光起電力デバイスから分離されないままである。しかしながら、柔軟性剥離基材と薄膜光起電力デバイスとの間の境界面は、任意選択で熱または放射などの適切な外部の刺激を適用することで初めに境界面を解放した後、柔軟性剥離基材を剥がすことによって、望まれるときに柔軟性剥離基材の除去を可能にするように設計される。

【0157】

他の実施形態では、柔軟性剥離基材は、薄膜光起電力デバイスから部分的に分離され、それによって外側伝導表面において第 1 の透明伝導層を露出させる。このような構成は、本明細書で開示されている方法に従ってタンデム型光起電力セルを製造するときに得られる中間構造であり得る。

【0158】

柔軟性剥離基材が完全に分離されると、タンデム型光起電力セルが製作される。したがって、本発明は、本明細書において開示されている方法によって製作されるタンデム型光起電力セルにも関する。

【0159】

実施形態

本発明の実施形態が、図2を参照して説明される。移転可能光起電力デバイス構成200は、薄膜光起電力デバイス204が位置させられる柔軟性剥離基材202を備える。薄膜光起電力デバイス204は、以下の機能層、すなわち、柔軟性剥離基材の上方の第1の透明伝導層208と、電荷輸送層226と、光活性層210と、電荷輸送層228と、第2の透明伝導層222とを連続して備える。第2の透明伝導層222は、本明細書において開示されているように、熱活性化可能な透明伝導性接着剤を含む。下部サブセルのアーキテクチャに合致するために必要とされるように、電荷輸送層226は電子選択輸送層であり得、電荷輸送層228は正孔選択輸送層であり、またはその逆である。

10

【0160】

移転可能光起電力デバイス構成200は、柔軟性剥離基材202と透明伝導層208との間に介在させられる低粘着犠牲層206を含む。犠牲層206は、熱活性化可能接着剤（PEOなど）を含み、任意選択で伝導性成分（PEDOT：PSSなど）を含む。加熱されるとき、熱活性化可能接着剤は、犠牲層が適切な低い粘着を発展させるように流体化または軟化する。したがって、犠牲層は、矢印250によって支持されている接着および分離の方法のステップにおいて、柔軟性剥離基材202を薄膜光起電力デバイス204から分離するときに選択的に破られる境界面を形成する。

20

【0161】

矢印250によって描写されている、タンデム型光起電力セルを製作する方法において、薄膜光起電力デバイス204は、シリコン光起電力セルであり得る下部光起電力サブセル212へと移転される。したがって、薄膜光起電力デバイス204は、(i)第2の透明伝導層222を下部サブセル212の受入表面と接触させることと、(ii)接着を誘導するために第2の透明伝導層222における透明伝導性接着剤を熱活性化させることとによって、下部サブセル212に接着させられる。任意選択で、これは、透明伝導性接着剤における熱活性化可能接着ポリマを流体化または軟化させるために、適切な温度および滞在時間で移転可能光起電力デバイス構成200を下部光起電力サブセル212上にホットプレスすることで行われる。熱活性化された接着ステップの後、薄膜光起電力デバイス204と下部光起電力サブセル212とは透明伝導層222を介して機能的に結合され、透明伝導層222は、タンデム型光起電力セル230において上部サブセルと下部サブセルとの間に再結合層またはトンネル結合を形成する。

30

【0162】

移転方法250は、柔軟性剥離基材202を薄膜光起電力デバイス204から分離するステップも含む。分離ステップは、(i)犠牲層206の粘着を低下させるために犠牲層206における熱活性化可能接着剤を熱活性化させることと、(ii)活性化させられた犠牲層を徐々に破るために柔軟性剥離基材202を剥がすこととを伴う。任意選択で、熱活性化は、下部光起電力サブセル212への薄膜光起電力デバイス204の接着とほぼ同時に柔軟性剥離基材202が分離されるように、移転可能光起電力デバイス構成200を下部光起電力サブセル212上にホットプレスするときに行われる。これは、図6を参照して本明細書において記載されているように、ロール積層処理において行われてもよい。

40

【0163】

分離ステップに続いて、タンデム型光起電力セル230は、タンデム型光起電力セル230が動作中であるときに電流が引き出され得る外側伝導表面224において、透明伝導層208を有する。犠牲層206は非常に薄い層であるため（任意選択で、伝導性であるため）、透明伝導層208に残る残留物206aは、外側伝導表面224の伝導性に許容可能な小さい影響しか有さない。

50

【0164】

本発明の他の実施形態が、図3を参照して説明される。移転可能光起電力デバイス構成300は、薄膜光起電力デバイス304が位置させられる柔軟性剥離基材302を備える。柔軟性剥離基材302は、非貼付被覆306（シロキサンポリマなどの低表面エネルギーポリマ）で被覆された柔軟性ポリマ膜303（PETなど）を備える。薄膜光起電力デバイス304は、以下の機能層、すなわち、第1の透明伝導層308と、電荷輸送層326と、光活性層310と、電荷輸送層328と、第2の透明伝導層322とを連続して備える。第2の透明伝導層322は、本明細書において開示されているように、活性化可能な透明伝導性接着剤を含む。

【0165】

第1の透明伝導層308は、非貼付被覆306と直接接触しており、したがって、矢印350によって支持されている接着および分離の方法のステップにおいて、柔軟性基材302を薄膜光起電力デバイス304から分離するときに選択的に破られる境界面を形成する。

【0166】

矢印350によって描写されている、タンデム型光起電力セルを製作する方法において、薄膜光起電力デバイス304は、シリコン光起電力セルであり得る下部光起電力サブセル312へと移転される。したがって、薄膜光起電力デバイス304は、(i)第2の透明伝導層322を下部サブセル312の受入表面と接触させることと、(ii)例えば熱または放射によって、接着を誘導するために第2の透明伝導層322における透明伝導性接着剤を活性化させることとによって、下部サブセル312に接着させられる。任意選択で、活性化は、移転可能光起電力デバイス構成300を下部光起電力サブセル312上に押し付ける間に実施される。

【0167】

移転方法350は、柔軟性剥離基材302を薄膜光起電力デバイス304から分離するステップも含む。分離ステップは、非貼付被覆306と第1の透明伝導層308との間の境界面を徐々に破るために柔軟性基材302を剥がすことを伴うだけである。柔軟性基材302は、図6を参照して本明細書で記載されているように、例えばロール積層処理において、下部光起電力サブセル312への薄膜光起電力デバイス304の接着とほぼ同時に分離され得る。

【0168】

本発明の他の実施形態が、図4を参照して説明される。移転可能光起電力デバイス構成400は、薄膜光起電力デバイス404が位置させられる柔軟性剥離基材402を備える。柔軟性剥離基材402はPETなどの柔軟性ポリマ膜であり得る。薄膜光起電力デバイス404は、以下の機能層、すなわち、第1の透明伝導層408と、電荷輸送層426と、光活性層410と、電荷輸送層428と、第2の透明伝導層422とを連続して備える。第2の透明伝導層422は、本明細書において開示されているように、熱活性化可能な透明伝導性接着剤を含む。

【0169】

第1の透明伝導層408は、柔軟性剥離基材402と直接接触しており、したがって、矢印450によって支持されている接着および分離の方法のステップにおいて、柔軟性基材402を薄膜光起電力デバイス404から分離するときに選択的に破られる境界面を形成する。第1の透明伝導層408は、熱活性化可能接着剤（例えば、熱可塑性ポリマ）と、適切な金属、金属酸化物、または、伝導性のポリマもしくはポリマ複合材（PEDOT：PSSなど）であり得る伝導性成分とを含む。

【0170】

矢印450によって描写されている、タンデム型光起電力セルを製作する方法において、薄膜光起電力デバイス404は、シリコン光起電力セルであり得る下部光起電力サブセル412へと移転される。したがって、薄膜光起電力デバイス404は、(i)第2の透明伝導層422を下部サブセル412の受入表面と接触させることと、(ii)接着を誘

10

20

30

40

50

導するために第2の透明伝導層422における透明伝導性接着剤を熱活性化させることとによって、下部サブセル412に接着させられる。任意選択で、これは、透明伝導性接着剤における熱活性化可能接着ポリマを流体化または軟化させるために、適切な温度および滞在時間で移転可能光起電力デバイス構成400を下部光起電力サブセル412にホットプレスすることで行われる。

【0171】

移転方法450は、柔軟性剥離基材402を薄膜光起電力デバイス404から分離するステップも含む。分離ステップは、(i)柔軟性剥離基材を解放(剥離)するために第1の透明伝導層408における熱活性化可能接着剤を熱活性化させることと、(ii)境界面を徐々に破るために柔軟性剥離基材402を剥がすこととを伴う。任意選択で、熱活性化は、下部光起電力サブセル412への薄膜光起電力デバイス404の接着とほぼ同時に柔軟性剥離基材402が分離されるように、移転可能光起電力デバイス構成400を下部光起電力サブセル412上にホットプレスするときに行われる。これは、図6を参照して本明細書において記載されているように、ロール積層処理において行われてもよい。

【0172】

(実施例)

本発明が、以下の実施例を参照して説明される。実施例が、本明細書に記載されている本発明の例示であり、本発明への限定ではないことは、理解されるものである。

【0173】

材料および手順

50 μm シムを伴うスロットダイヘッドを伴う特別に作られたロールツーロールスロットダイ被覆機械が、溶液処理された膜を作成するために使用された。機械は、研究の目的のために、最小の材料の使用で細い(25mmの幅)の膜を取り扱うように設計されている。膜のシート抵抗が、Jandel RM3000の4点式プローブシステムを使用して試験された。

【0174】

(実施例1)

非貼付表面における移転可能光起電力デバイス

透明伝導層は、非貼付シリコン剥離層(FRA 319、Fox River)で被覆された25mmの幅で50ミクロンの厚さのPET膜のロール上へのロールツーロールスロットダイ被覆によって、市販の水性1%のPEDOT:PSS溶液(S315、Agfa)を適用することによって製作された。水性PEDOT:PSS溶液を含む水性溶液は、非貼付の低表面エネルギー表面上にディウェッティングされ、この場合、連続層が形成されないことになる。そのため、PEDOT:PSS溶液は、溶液の表面張力を低下させ、溶媒の蒸発を加速させることでディウェッティングの問題を軽減する加熱ステージ(80°C)において、基材に堆積させられた。エアブレード(10L/min)も、ディウェッティングが起こる前に溶媒蒸発を促進させるために従事させた。PEDOT:PSS溶液は、0.3m/minの速度で、3.8 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ の付加において(したがって、約38ミクロンの湿った膜の厚さ)、13mmの幅の連続帯片で堆積させられ、130°Cにおいて30秒間にわたって乾燥させられた。

【0175】

それから、電子輸送層が、乾燥したPEDOT:PSS膜におけるロールツーロールスロットダイ被覆によって市販のZnO溶液(2.8%の2-プロパノール、Infity PV)を適用することで、第1の透明伝導層上に製作された。ZnO溶液は、0.3m/minの速度で、0.5 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ の付加において(したがって、約5ミクロンの湿った膜の厚さ)、PEDOT:PSS帯片にわたる13mmの幅の連続帯片で堆積させられ、130°Cにおいて30秒間にわたって乾燥させられた。

【0176】

次に、光活性層が、ロールツーロールスロットダイ被覆によって、1mlあたり8mgのPBF-Qx Fと12mgのY6のジクロロベンゼンとから成る溶液を適用することで

、電子輸送層上に製作された。溶液は、基材が 0.3 m/min の速度で、 $2\text{ }\mu\text{ l/cm}^2$ の付加において（したがって、約 $20\text{ }\mu\text{ m}$ の湿った膜の厚さ、約 260 nm の乾燥した膜の厚さ）、加熱されたステージ（ 130°C ）にある間、 ZnO 帯片にわたる 7 mm の幅の連続帯片において堆積させられた。

【0177】

透明伝導層、電子輸送層、および光活性層を備える多層光起電力デバイスの、剥離基材からの分離性が、単純なテープ剥がし試験（スコッチテープ試験としても知られている）によって調査された。デバイスは、多層光起電力デバイスがテープに対して無傷で移転させられるように、透明伝導層と剥離層の非貼付被覆との間の境界面において選択的に引き離せることが、観察された。

【0178】

（実施例2）

犠牲層を伴う移転可能光起電力デバイス

犠牲層を準備するための被覆組成が、 10 ml の市販の水性の $1.3\sim 1.7\%$ の PEDOT:PSS 溶液（Clevis AI 4083、Heraeus）と、 200 mg のポリエチレンオキシド（PEO）と、水溶性低融点ポリマ（分子重量 100000 ダルトン 、融点 65°C ）と、 10 ml の2-プロパノールとを混合することで準備された。犠牲層は、この混合物を、未被覆のポリエチレンテレフタレート（PET）膜のロール上へのロールツーロールスロットダイ被覆によって適用することで、製作された。混合物は、室温における $1\text{ }\mu\text{ l/cm}^2$ の溶液の付加において（したがって、約 $10\text{ }\mu\text{ m}$ の湿った膜の厚さ）、 25 mm の幅の連続帯片で堆積させられ、 130°C において 30 秒間 にわたって乾燥させられた。室温において非粘着であって乾燥膜は、 80°C を超えて加熱されるときに柔らかくなって粘着性になった。スコッチテープ試験では、テープは、室温においてしっかりと接着させられ、 80°C まで加熱されたときに容易に剥がせた。目視検査に基づいて、犠牲層は、取り外しの後にPET膜に存在したままであった。

【0179】

次に、透明伝導層が、犠牲層上へのロールツーロールスロットダイ被覆によって、市販の水性の 1% の PEDOT:PSS 溶液（S315、Agfa）を適用することで製作された。 PEDOT:PSS 溶液は、 0.3 m/min の速度で、 $3.8\text{ }\mu\text{ l/cm}^2$ の付加において（したがって、約 $38\text{ }\mu\text{ m}$ の湿った膜の厚さ）、 13 mm の幅の連続帯片で堆積させられ、 130°C において 30 秒間 にわたって乾燥させられた。透明伝導層のシート抵抗は約 $80\text{ }\Omega/\text{sq}$ であった。

【0180】

次に、光活性層が、ロールツーロールスロットダイ被覆によって、 1 ml あたり 8 mg の PBF-Qx と 12 mg の Y6 のジクロロベンゼンとから成る溶液を適用することで、透明伝導層上に製作された。溶液は、基材が 0.3 m/min の速度で、 $2\text{ }\mu\text{ l/cm}^2$ の付加において（したがって、約 $20\text{ }\mu\text{ m}$ の湿った膜の厚さ、約 260 nm の乾燥した膜の厚さ）、加熱されたステージ（ 130°C ）にある間、 PEDOT:PSS 帯片にわたる 7 mm の幅の連続帯片において堆積させられた。

【0181】

透明伝導層および光活性層を備える多層光起電力デバイスの、剥離基材からの分離性が、 80°C においてスコッチテープ試験によって調査された。デバイスは、熱活性化犠牲層の破れを介して、PET基材から容易に引き離せた。PET膜の除去の後に露出させられたように、透明伝導層のシート抵抗は $90\sim 100\text{ }\Omega/\text{sq}$ であった。

【0182】

PEDOT:PSS がいくつかの理由のため犠牲層に含まれた。第一に、 PEDOT:PSS は、被覆PEOの溶液だけをロールツーロールスロットダイ被覆するときに直面するディウェッティングの問題を克服する。第二に、伝導性 PEDOT:PSS は、透明伝導層の伝導性における犠牲層の残留物の影響を軽減すると考えられる。

【0183】

(実施例 3)

透明伝導性接着剤による接着および剥離基材の除去による光起電力デバイスの移転

犠牲層を可能にする分離を準備するための被覆組成が、50℃において30分間にわたって攪拌することで40mlのキシレンにおいて2gのエチレン酢酸ビニルを溶解させることによって準備された。犠牲層は、この溶液を、未被覆のポリエチレンテレフタレート(PET)膜のロール上へのロールツーロールスロットダイ被覆によって適用することで、製作された。混合物は、90℃における $0.8 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ の溶液の付加において(したがって、約8ミクロンの湿った膜の厚さ)、25mmの幅の連続帯片で堆積させられ、80℃の高温空気吹き付けによって30秒間にわたって乾燥させられた。室温において非粘着であって乾燥膜は、90℃を超えて加熱されるときに柔らかくなって粘着性になった。

10

【0184】

次に、透明伝導層が、犠牲層上へのロールツーロールスロットダイ被覆によって、市販の水性の1%のPEDOT:PSS溶液(S315、Agfa)を適用することで製作された。PEDOT:PSS溶液は、 $0.3 \text{m}/\text{min}$ の速度で、 $3.3 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ の付加において(したがって、約33ミクロンの湿った膜の厚さ)、25mmの幅のPET膜上に13mmの幅で堆積させられ、90℃において2分間にわたって乾燥させられた。比較的低い乾燥温度が、伝導層が固化させられる前に犠牲層を溶解させることを回避するために選択された。

20

【0185】

次に、電子輸送層が、 $0.2 \text{m}/\text{min}$ の速度で、 $0.58 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ の付加において(したがって、約5.8ミクロンの湿った膜の厚さ)、透明伝導層上へのロールツーロールスロットダイ被覆によって、市販のZnOナノ粒子溶液(InfinityPV、2.8%の2-プロパノール)を適用することで製作された。次に、膜は90℃の高温空気吹き付けによって2分間にわたって乾燥させられた。

【0186】

ペロブスカイト光活性層を準備するための被覆組成は、21.5mgのヨウ化ホルムアミジニウムと、139.1mgのメチルアンモニウムヨウ化物と、5.6mgのメチルアンモニウム臭化物と、507mgのヨウ化鉛と、1mlのアセトニトリルとを混合することで準備された。メチルアミンガスが、溶液がなくなるまで泡立てられた。次に、ペロブスカイト前駆体溶液が、 $0.6 \text{m}/\text{min}$ の速度で、 $0.58 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ の付加において(したがって、約5.8ミクロンの湿った膜の厚さ)、電子輸送層上へのロールツーロールスロットダイ被覆によって適用された。

30

【0187】

図7において概略的に描写されているような結果的にできた移転可能光起電力デバイス構成700は、PET柔軟性剥離基材702と、熱活性化可能低粘着犠牲層704と、PEDOT:PSS透明伝導層706と、ZnO電子輸送層708と、ペロブスカイト光活性層710とを備える。

【0188】

次に、移転可能光起電力デバイス構成700は、次の方法(図7において概略的に描写されている方法701)によって、薄膜光起電力デバイスを、インジウムスズ酸化物(ITO)714の層で被覆されたPET膜712を備える伝導性基材(Solutia OC50基材)へと移転するために使用された。透明伝導性接着剤(3M、導電性接着移転テープ)層716(25mmの幅)が、ITO層714への手作業の積層によって適用された。次に、ITOで被覆されたPET膜は高温ステージ(110℃)において配置され、移転可能光起電力デバイス構成700は、ペロブスカイト光活性層710が透明伝導性接着剤層716を介してITO層714に接着されるように、ITOで被覆されたPET膜に手作業で積層された。その直後、PET柔軟性剥離基材702は剥がされ、PEDOT:PSS透明伝導層706が外側表面において露出された状態で、透明伝導中間層716によって伝導性基材に接着された層706、708、710を備える薄膜光起電力デバ

40

50

イスを残す。薄膜光起電力デバイスは、熱活性化させられた犠牲層 704 の破れを介して、PET 柔軟性剥離基材 702 からきれいに引き離れた。

【0189】

当業者は、本明細書に記載されている本発明が、明確に記載されていること以外の変形および改良を受けやすいことを理解するものである。本発明が、本発明の精神および範囲の中にあるすべてのこのような変形および改良を含むことは、理解される。

【符号の説明】

【0190】

100	移転可能光起電力デバイス構成	
102	柔軟性剥離基材	10
104	光起電力デバイス	
106	境界面	
108	透明伝導層	
110	光活性層	
112	下部光起電力サブセル	
114	上伝導層	
116	下電気接点	
118	光活性半導体層	
120	透明伝導性接着剤	
122	透明伝導層	20
130	タンデム型光起電力セル	
150	移転方法	
200	移転可能光起電力デバイス構成	
202	柔軟性剥離基材	
204	薄膜光起電力デバイス	
206	低粘着犠牲層	
206 a	残留物	
208	第1の透明伝導層	
210	光活性層	
212	下部光起電力サブセル	30
222	第2の透明伝導層	
224	外側伝導表面	
226	電荷輸送層	
228	電荷輸送層	
230	タンデム型光起電力セル	
250	タンデム型光起電力セルを製作する方法	
300	移転可能光起電力デバイス構成	
302	柔軟性剥離基材	
303	柔軟性ポリマ膜	
304	薄膜光起電力デバイス	40
306	非貼付被覆	
308	第1の透明伝導層	
310	光活性層	
312	下部サブセル	
322	第2の透明伝導層	
326	電荷輸送層	
328	電荷輸送層	
350	タンデム型光起電力セルを製作する方法	
400	移転可能光起電力デバイス構成	
402	柔軟性剥離基材	50

4 0 4	薄膜光起電力デバイス	
4 0 8	第 1 の透明伝導層	
4 1 0	光活性層	
4 1 2	下部光起電力サブセル	
4 2 6	電荷輸送層	
4 2 8	電荷輸送層	
4 2 2	第 2 の透明伝導層	
4 5 0	タンデム型光起電力セルを製作する方法	
6 0 0	移転可能光起電力デバイス構成	
6 0 2	柔軟性剥離基材	10
6 0 4	薄膜光起電力デバイス	
6 0 4 a	移転された薄膜光起電力デバイス、上部サブセル	
6 0 8	下部 S i - P V サブセル	
6 1 0	剛性移動ステージ	
6 1 2	受入表面	
6 1 3	切り取り領域	
6 1 4	カレンダープレス	
6 1 5	方向	
6 1 6	カレンダーロール	
6 1 8	透明伝導層	20
7 0 0	移転可能光起電力デバイス構成	
7 0 1	方法	
7 0 2	P E T 柔軟性剥離基材	
7 0 4	熱活性化可能低粘着犠牲層	
7 0 6	P E D O T : P S S 透明伝導層	
7 0 8	Z n O 電子輸送層	
7 1 0	ペロブスカイト光活性層	
7 1 6	透明伝導性接着剤層	

30

40

50

【図面】
【図 1】

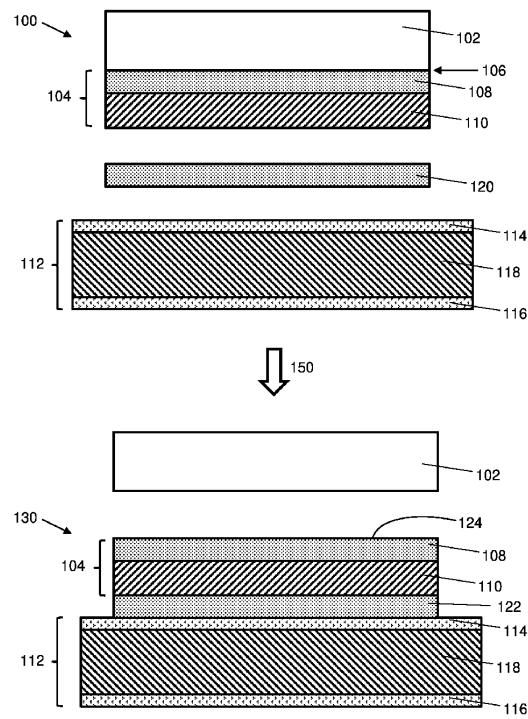


Figure 1

【図 2】

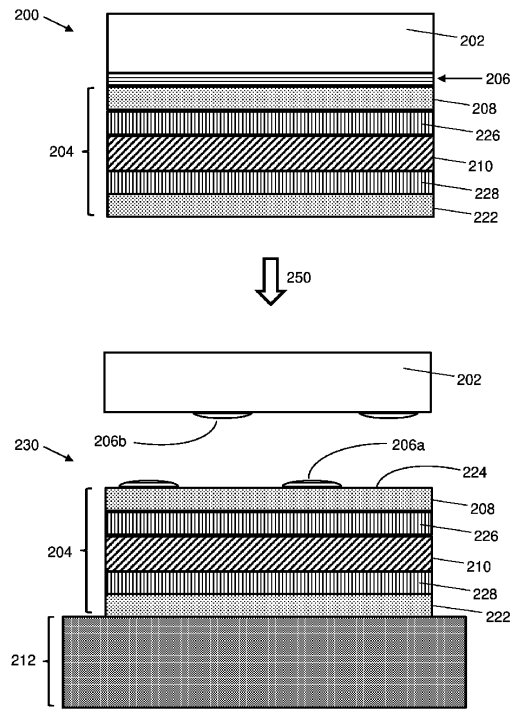


Figure 2

【図 3】

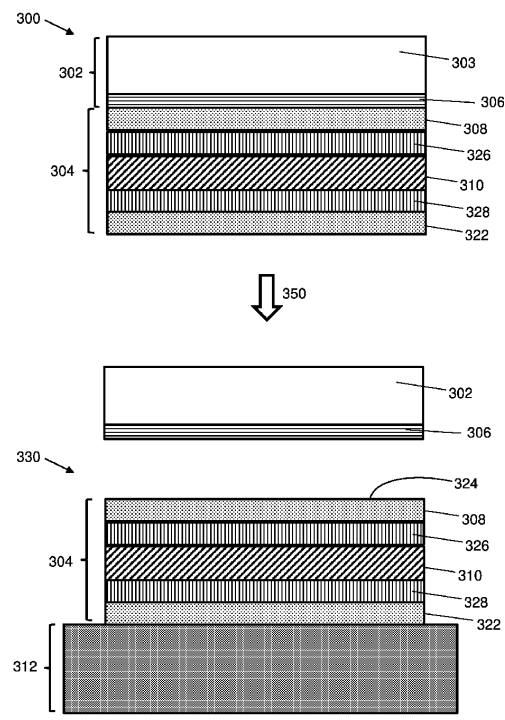


Figure 3

【図 4】

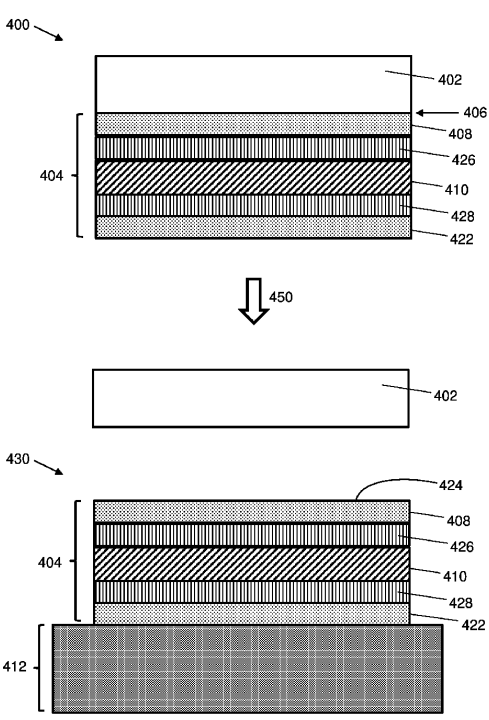


Figure 4

10

20

30

40

50

【 図 5 】

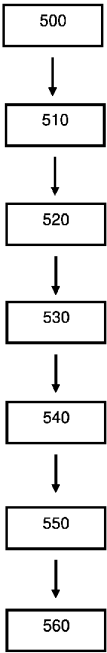


Figure 5

【 図 6 】

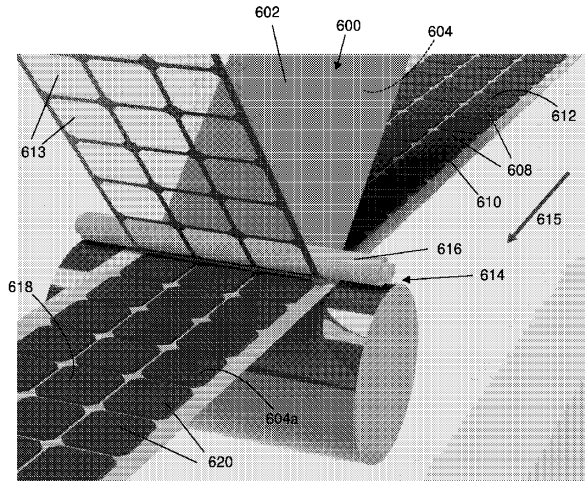


Figure 6

【 図 7 】

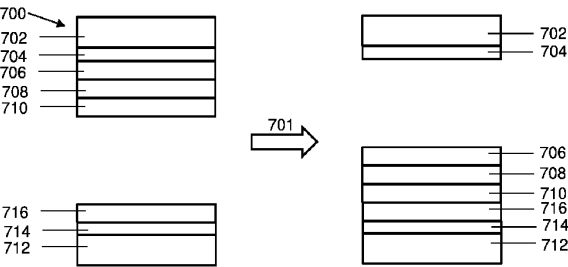


Figure 7

10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/AU2023/050184
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L 31/18 (2006.01) H01L 31/046 (2014.01) H01L 31/0687 (2012.01) H01L 31/0725 (2012.01) H02S 40/36 (2014.01)		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
Google Scholar/Google Patents/Espacenet: CSIRO, VAK Doojin, transfer, PV, solution, adhesive, polymer, transparent conductive layer, roll to roll, stacking, joining, bonding, tandem, top and bottom solar cells, photovoltaic cells, removing, releasing substrate and similar terms Patenw: IPC/CPC – H01L31/00, H01L27/302, Y02E10/50; photovoltaic, PV, solar, photoelectric, tandem, stack, sub-cell, multi-junction, adhesive, attach, adhere, bond, joining, laminating, plural, multiple, first, second, third, more, top, bottom, heat, press, compress, hot, thermal, radiation, temperature, UV, light, ultra-violet, roll to roll, detach, debonding, release, peeling, remove, transfer, delaminating, separating, substrate, carrier, layer, base, support, sheet, tape, film, sacrificial, release, conductive, solution, polymer, wet, spin-coat, binder and similar terms. IP Australia internal databases: inventor and applicant name search		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	Documents are listed in the continuation of Box C	
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C ☒ See patent family annex		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 18 April 2023		Date of mailing of the international search report 18 April 2023
Name and mailing address of the ISA/AU AUSTRALIAN PATENT OFFICE PO BOX 200, WODEN ACT 2606, AUSTRALIA Email address: pct@ipaustralia.gov.au		Authorised officer Pan Ma AUSTRALIAN PATENT OFFICE (ISO 9001 Quality Certified Service) Telephone No. +61 2 6283 2140

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No.
C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		PCT/AU2023/050184
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106024985 A (SUZHOU GCL SYSTEM INTEGRATION TECH IND APPLICATION RES INST CO LTD, et al.) 12 October 2016 EPO translation page 3, 4	2, 3, 7-10, 16, 18, 24, 28, 29
A	CN 110120435 A (SUZHOU INST NANO TECH & NANO BIONICS CAS) 13 August 2019	1-32
A	LAMANNA, ENRICO, et al., "Mechanically Stacked, Two-Terminal Graphene-Based Perovskite/Silicon Tandem Solar Cell with Efficiency over 26%", Joule, Vol. 4, 15 April 2020, pp. 865-881	16, 18, 28, 29
A	CHOI, IN YOUNG, et al., "Two-terminal mechanical perovskite/silicon tandem solar cells with transparent conductive adhesives", Nano Energy, Vol. 65, 22 August 2019, pp. 104044 page 2, Figure 1	13-16, 18, 20-22, 26, 28, 29, 31, 32
A	SCHNABEL, MANUEL, et al., "Three terminal III-V/Si tandem solar cells enabled by a transparent conductive adhesive," Sustain. Energy Fuels, Vol. 4, No. 2, 4 November 2019, pp. 549-558 page 551-552, Figure 2	13-16, 18, 20-22, 26, 28, 29, 31, 32
X	US 2015/0047697 A1 (NEW ENERGY TECHNOLOGIES, INC.) 19 February 2015 para [0009], [0010], [0014], [0015], [0021]-[0026], Figure 1-3	1-32
A	WO 2015/141620 A1 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) 24 September 2015	1-32
Form PCT/ISA/210 (fifth sheet) (July 2019)		

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No.	
Information on patent family members		PCT/AU2023/050184	
This Annex lists known patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The Australian Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.			
Patent Document/s Cited in Search Report		Patent Family Member/s	
Publication Number	Publication Date	Publication Number	Publication Date
CN 106024985 A	12 October 2016	CN 106024985 A	12 Oct 2016
		CN 106024985 B	31 May 2017
CN 110120435 A	13 August 2019	CN 110120435 A	13 Aug 2019
US 2015/0047697 A1	19 February 2015	US 2015047697 A1	19 Feb 2015
		CA 2953668 A1	02 Apr 2015
		CA 2953672 A1	02 Apr 2015
		CA 2953676 A1	31 Dec 2014
		CA 2953679 A1	31 Dec 2014
		CA 2953681 A1	02 Apr 2015
		CA 2953701 A1	31 Dec 2014
		CA 2953783 A1	31 Dec 2014
		EP 3013483 A2	04 May 2016
		EP 3013483 B1	26 May 2021
		EP 3013484 A2	04 May 2016
		EP 3013485 A2	04 May 2016
		EP 3013485 B1	04 Aug 2021
		EP 3014670 A1	04 May 2016
		EP 3014670 B1	05 Apr 2023
		EP 3014671 A1	04 May 2016
		EP 3014672 A2	04 May 2016
		EP 3014672 B1	20 Oct 2021
		EP 3014673 A2	04 May 2016
		US 2015047085 A1	19 Feb 2015
		US 2015047687 A1	19 Feb 2015
		US 2015047692 A1	19 Feb 2015
		US 2015047693 A1	19 Feb 2015
		US 2015083189 A1	26 Mar 2015
		US 2015083190 A1	26 Mar 2015
		WO 2014210503 A2	31 Dec 2014
		WO 2014210505 A1	31 Dec 2014
		WO 2014210507 A2	31 Dec 2014
Due to data integration issues this family listing may not include 10 digit Australian applications filed since May 2001.			
Form PCT/ISA/210 (Family Annex)(July 2019)			

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/AU2023/050184	
Information on patent family members			
This Annex lists known patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The Australian Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.			
Patent Document/s Cited in Search Report		Patent Family Member/s	
Publication Number	Publication Date	Publication Number	Publication Date
WO 2015/141620 A1	24 September 2015	WO 2014210508 A1	31 Dec 2014
		WO 2015047503 A2	02 Apr 2015
		WO 2015047504 A2	02 Apr 2015
		WO 2015047505 A2	02 Apr 2015
		WO 2015141620 A1	24 Sep 2015
		JP 2015179695 A	08 Oct 2015
		TW 201543698 A	16 Nov 2015
End of Annex			
Due to data integration issues this family listing may not include 10 digit Australian applications filed since May 2001. Form PCT/ISA/210 (Family Annex)(July 2019)			

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

H 1 0 K 77/00 (2023.01)

H 1 0 K 77/00

H 1 0 K 71/18 (2023.01)

H 1 0 K 71/18

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT, JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MU,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW
・クレイトン・ノーマンビー・ロード・シーエスアイアールオー内

(72)発明者

ハシタ・ウィーラシンヘ

オーストラリア・ビクトリア・ 3 1 6 8 ・クレイトン・ノーマンビー・ロード・シーエスアイアールオー内

(72)発明者

ルーク・サザーランド

オーストラリア・ビクトリア・ 3 1 6 8 ・クレイトン・ノーマンビー・ロード・シーエスアイアールオー内

(72)発明者

メイ・ガオ

オーストラリア・ビクトリア・ 3 1 6 8 ・クレイトン・ノーマンビー・ロード・シーエスアイアールオー内

F ターム (参考)

3K107 AA03

5F251 AA02 AA11 DA15 XA32