

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-12802

(P2006-12802A)

(43) 公開日 平成18年1月12日(2006.1.12)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 M 14/00 (2006.01)	HO 1 M 14/00 Z NMP	5 F O 5 1
HO 1 M 2/20 (2006.01)	HO 1 M 2/20 A	5 H O 3 2
HO 1 L 31/04 (2006.01)	HO 1 L 31/04 Z	5 H O 4 3

審査請求 未請求 請求項の数 194 O L 外国語出願 (全 109 頁)

(21) 出願番号 特願2005-158275 (P2005-158275) (22) 出願日 平成17年5月31日 (2005.5.31) (31) 優先権主張番号 60/575, 971 (32) 優先日 平成16年6月1日 (2004.6.1) (33) 優先権主張国 米国 (US) (31) 優先権主張番号 60/590, 312 (32) 優先日 平成16年7月22日 (2004.7.22) (33) 優先権主張国 米国 (US) (31) 優先権主張番号 60/590, 313 (32) 優先日 平成16年7月22日 (2004.7.22) (33) 優先権主張国 米国 (US) (31) 優先権主張番号 60/664, 115 (32) 優先日 平成17年3月21日 (2005.3.21) (33) 優先権主張国 米国 (US)	(71) 出願人 504455218 コナルカ テクノロジーズ インコーポレ イテッド KONARKA TECHNOLOGIE S, INC. アメリカ合衆国 O 1 8 5 2 マサチュー セッツ州 ローウェル フット オブ ジ ョン ストリート 1 0 0 プート ミル サウス サード フロア スイート 1 2 (74) 代理人 100068755 弁理士 恩田 博宣 (74) 代理人 100105957 弁理士 恩田 誠
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 太陽電池モジュール

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 光起電力セル同士の直列あるいは並列接続の相互接続に関する、接続方法の改良並びに低電気抵抗を目指した太陽電池モジュールを提供する。

【解決手段】 相互接続を金属ステッチ、ステーブル、グロメット或いは金属テープ、ワイヤなどにて、電氣的に接続される太陽電池モジュール。

【選択図】 なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

電極を備える第 1 光起電力セルと、

電極を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極とを接続するように、前記第 1 光起電力セルの前記電極中に配設され、かつ前記第 2 光起電力セルの前記電極中に配設された相互接続とを備える、モジュール。

## 【請求項 2】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はカソードである、請求項 1 に記載のモジュール。

10

## 【請求項 3】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はアノードである、請求項 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 4】

前記相互接続は金属ステッチである、請求項 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 5】

前記相互接続は金属ステーブルである、請求項 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 6】

前記相互接続は金属グロメットである、請求項 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 7】

前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極とを電氣的に接続する複数の相互接続を備える、請求項 1 に記載のモジュール。

20

## 【請求項 8】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは少なくとも 1 つの共通基板を共有する、請求項 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 9】

前記第 1 光起電力セルは、階段状構造物で前記第 2 光起電力セルに電氣的に接続される、請求項 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 10】

電極を備える第 3 光起電力セルと、

30

第 2 相互接続とをさらに備え、

前記第 2 光起電力セルは第 2 電極を備え、前記第 2 相互接続は、前記第 2 光起電力セルの前記第 2 電極中に配設され、かつ前記第 3 光起電力セルの前記電極中に配設されることによって前記第 3 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記第 2 電極とを接続する、請求項 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 11】

前記第 1 光起電力セルの前記電極に取り付けられた導電性端子接点をさらに備える、請求項 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 12】

前記導電性端子接点は金属テープである、請求項 11 に記載のモジュール。

40

## 【請求項 13】

前記導電性端子接点は、前記第 1 光起電力セルの前記電極を前記第 2 光起電力セルの前記電極と結合させるようにワイアを用いて縫い合わされる、請求項 11 に記載のモジュール。

## 【請求項 14】

電極を備える第 1 光起電力セルと、

電極を備える第 2 光起電力セルと、該第 2 光起電力セルの該電極の一部分が前記第 1 光起電力セルの前記電極の一部分と重なって重なり領域を形成することと、

前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極を接続する相互接続とを備える、モジュール。

50

## 【請求項 15】

前記相互接続は前記重なり領域内に配設される、請求項 14 に記載のモジュール。

## 【請求項 16】

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記電極中に配設され、かつ前記第 2 光起電力セルの前記電極中に配設される、請求項 15 に記載のモジュール。

## 【請求項 17】

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記電極中に配設され、かつ前記第 2 光起電力セルの前記電極中に配設される、請求項 14 に記載のモジュール。

## 【請求項 18】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はカソードである、請求項 14 に記載のモジュール。 10

## 【請求項 19】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はアノードである、請求項 14 に記載のモジュール。

## 【請求項 20】

前記相互接続は金属ステッチである、請求項 14 に記載のモジュール。

## 【請求項 21】

前記相互接続は金属ステーブルである、請求項 14 に記載のモジュール。

## 【請求項 22】

前記相互接続は金属グロメットである、請求項 14 に記載のモジュール。 20

## 【請求項 23】

前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極とを接続する複数の相互接続を備える、請求項 14 に記載のモジュール。

## 【請求項 24】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは少なくとも 1 つの共通基板を共有する、請求項 14 に記載のモジュール。

## 【請求項 25】

前記第 1 光起電力セルは、階段状構成で前記第 2 光起電力セルに接続される、請求項 14 に記載のモジュール。

## 【請求項 26】

電極を備える第 3 光起電力セルと、  
第 2 相互接続とをさらに備え、  
前記第 2 光起電力セルは第 2 電極を備え、前記第 2 は、前記第 2 光起電力セルの前記第 2 電極中に配設され、かつ前記第 3 光起電力セルの前記電極中に配設されることによって前記第 3 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記第 2 電極とを接続する、請求項 14 に記載のモジュール。 30

## 【請求項 27】

前記第 1 光起電力セルの前記電極に取り付けられた導電性端子接点をさらに備える、請求項 14 に記載のモジュール。

## 【請求項 28】

前記導電性端子接点は金属テープである、請求項 27 に記載のモジュール。 40

## 【請求項 29】

前記導電性端子接点は、前記第 1 光起電力セルの前記電極に縫い合わされ、ステーブル留めされ、または鳩目留めされる、請求項 27 に記載のモジュール。

## 【請求項 30】

カソードと、  
アノードと、  
該カソードと該アノードの間の光活性材料と  
を備える第 1 光起電力セルと、  
カソードと、

アノードと、  
該カソードと該アノードの間の光活性材料と  
を備える第 2 光起電力セルと、  
前記第 1 光起電力セルの前記カソード中に配設され、かつ前記第 2 光起電力セルの前記  
アノード中に配設されることによって、前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2  
光起電力セルの前記アノードとを接続する相互接続とを備える、モジュール。

【請求項 3 1】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは共通基板を共有する、請求項 3 0 に記載のモジュール。

【請求項 3 2】

前記第 1 光起電力セルの一部分と前記第 2 光起電力セルの一部分の間に絶縁材料をさらに  
備える、請求項 3 1 のモジュール。

【請求項 3 3】

前記絶縁材料は接着剤を含む、請求項 3 2 のモジュール。

【請求項 3 4】

前記第 1 光起電力セルは、階段状構成で前記第 2 光起電力セルに接続される、請求項 3 1  
に記載のモジュール。

【請求項 3 5】

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

を備える第 1 光起電力セルと、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記カソード中に配設され、かつ前記第 2 光起電力セルの前記  
カソード中に配設されることによって前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光  
起電力セルの前記カソードとを接続する相互接続とを備える、モジュール。

【請求項 3 6】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは共通基板を共有する、請求項 3 5 に記載のモジュール。

【請求項 3 7】

前記第 1 光起電力セルの一部分と前記第 2 光起電力セルの一部分の間に絶縁材料をさらに  
備える、請求項 3 6 のモジュール。

【請求項 3 8】

前記絶縁材料は接着剤を含む、請求項 3 7 のモジュール。

【請求項 3 9】

前記第 1 光起電力セルは、階段状構成で前記第 2 光起電力セルに接続される、請求項 3 5  
に記載のモジュール。

【請求項 4 0】

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

を備える第 1 光起電力セルと、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

を備える第 2 光起電力セルであって、前記第 2 光起電力セルの前記アノードの一部分が前  
記第 1 光起電力セルの前記カソードの一部分と重なって重なり領域を形成する第 2 光起電

10

20

30

40

50

カセルと、

前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記アノードとを接続する相互接続とを備える、モジュール。

【請求項 4 1】

前記相互接続は前記重なり領域内に配設される、請求項 4 0 に記載のモジュール。

【請求項 4 2】

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記カソード中に配設され、かつ前記第 2 光起電力セルの前記アノード中に配設される、請求項 4 1 に記載のモジュール。

【請求項 4 3】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは共通基板を共有する、請求項 4 0 に記載のモジュール。 10

【請求項 4 4】

前記第 1 光起電力セルの一部分と前記第 2 光起電力セルの一部分の間に絶縁材料をさらに備える、請求項 4 3 のモジュール。

【請求項 4 5】

前記絶縁材料は接着剤を含む、請求項 4 4 のモジュール。

【請求項 4 6】

前記第 1 光起電力セルは、階段状構成で前記第 2 光起電力セルに接続される、請求項 4 0 に記載のモジュール。

【請求項 4 7】

カソードと、 20

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料とを備える第 1 光起電力セルと、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料とを備える第 2 光起電力セルであって、前記第 2 光起電力セルの前記カソードの一部分が前記第 1 光起電力セルの前記カソードの一部分と重なって重なり領域を形成する第 2 光起電力セルと、 30

前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記カソードとを接続する相互接続とを備える、モジュール。

【請求項 4 8】

前記相互接続は前記重なり領域内に配設される、請求項 4 7 に記載のモジュール。

【請求項 4 9】

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記カソード中に配設され、かつ前記第 2 光起電力セルの前記カソード中に配設される、請求項 4 8 に記載のモジュール。

【請求項 5 0】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは共通基板を共有する、請求項 4 7 に記載のモジュール。 40

【請求項 5 1】

前記第 1 光起電力セルの一部分と前記第 2 光起電力セルの一部分の間に絶縁材料をさらに備える、請求項 5 0 のモジュール。

【請求項 5 2】

前記絶縁材料は接着剤である、請求項 5 1 のモジュール。

【請求項 5 3】

前記第 1 光起電力セルは、階段状構成で前記第 2 光起電力セルに接続される、請求項 4 7 に記載のモジュール。

【請求項 5 4】

第 1 光起電力セルと、 50

第 2 光起電力セルとを備え、

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは階段状構成に構成される、モジュール。

【請求項 5 5】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは接続される、請求項 5 4 に記載のモジュール。

【請求項 5 6】

第 1 および第 2 の光起電力セルを接続する方法であって、

前記第 1 光起電力セルの電極中および前記第 2 光起電力セルの電極中に相互接続を配設して前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極とを接続することを含む、方法。

【請求項 5 7】

前記第 1 光起電力セルの前記電極中および前記第 2 光起電力セルの前記電極中に前記導電性相互接続を配設して前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極とを接続することの前に、前記第 1 光起電力セルの前記電極を前記第 2 光起電力セルの前記電極と重ね合わせて重なり領域を形成することをさらに含む、請求項 5 6 に記載の方法。

【請求項 5 8】

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 1 に記載のモジュール。

【請求項 5 9】

前記第 1 光起電力セルの前記電極および前記第 2 光起電力セルの前記電極は電氣的に接続される、請求項 1 に記載のモジュール。

【請求項 6 0】

前記第 1 光起電力セルの前記電極および前記第 2 光起電力セルの前記電極は機械的に接続される、請求項 1 に記載のモジュール。

【請求項 6 1】

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 1 4 に記載のモジュール。

【請求項 6 2】

前記第 1 光起電力セルの前記電極および前記第 2 光起電力セルの前記電極は電氣的に接続される、請求項 1 4 に記載のモジュール。

【請求項 6 3】

前記第 1 光起電力セルの前記電極および前記第 2 光起電力セルの前記電極は機械的に接続される、請求項 1 4 に記載のモジュール。

【請求項 6 4】

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 3 0 に記載のモジュール。

【請求項 6 5】

前記第 1 光起電力セルの前記カソードおよび前記第 2 光起電力セルの前記アノードは電氣的に接続される、請求項 3 0 に記載のモジュール。

【請求項 6 6】

前記第 1 光起電力セルの前記カソードおよび前記第 2 光起電力セルの前記アノードは機械的に接続される、請求項 3 0 に記載のモジュール。

【請求項 6 7】

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 3 5 に記載のモジュール。

【請求項 6 8】

前記第 1 光起電力セルの前記カソードおよび前記第 2 光起電力セルの前記カソードは機械的に接続される、請求項 3 5 に記載のモジュール。

【請求項 6 9】

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 4 0 に記載のモジュール。

【請求項 7 0】

前記第 1 光起電力セルの前記カソードおよび前記第 2 光起電力セルの前記アノードは電氣的に接続される、請求項 4 0 に記載のモジュール。

【請求項 7 1】

10

20

30

40

50

前記第 1 光起電力セルの前記カソードおよび前記第 2 光起電力セルの前記アノードは機械的に接続される、請求項 40 に記載のモジュール。

【請求項 72】

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 47 に記載のモジュール。

【請求項 73】

前記第 1 光起電力セルの前記カソードおよび前記第 2 光起電力セルの前記カソードは電氣的に接続される、請求項 47 に記載のモジュール。

【請求項 74】

前記第 1 光起電力セルの前記カソードおよび前記第 2 光起電力セルの前記カソードは機械的に接続される、請求項 47 に記載のモジュール。

10

【請求項 75】

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 56 に記載の方法。

【請求項 76】

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 56 に記載の方法。

【請求項 77】

前記第 1 光起電力セルの前記電極および前記第 2 光起電力セルの前記電極は電氣的に接続される、請求項 56 に記載の方法。

【請求項 78】

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 57 に記載の方法。

【請求項 79】

20

前記相互接続は導電性相互接続である、請求項 57 に記載の方法。

【請求項 80】

前記第 1 光起電力セルの前記電極および前記第 2 光起電力セルの前記電極は電氣的に接続される、請求項 57 に記載の方法。

【請求項 81】

電極を備える第 1 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記電極に接続した湾曲端部を有する電極を備える第 2 光起電力セルとを備える、モジュール。

【請求項 82】

前記湾曲端部は前記第 1 光起電力セルの前記電極に電氣的に接続される、請求項 81 に記載のモジュール。

30

【請求項 83】

前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極との間に別個の相互接続がない、請求項 81 に記載のモジュール。

【請求項 84】

前記第 1 光起電力セルの前記電極および前記第 2 光起電力セルの前記電極と接触する接着材料をさらに備える、請求項 81 に記載のモジュール。

【請求項 85】

前記接着剤は導電性接着剤を含む、請求項 84 に記載のモジュール。

【請求項 86】

40

前記接着剤は電気絶縁性接着剤を含む、請求項 84 に記載のモジュール。

【請求項 87】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はアノードである、請求項 81 に記載のモジュール。

【請求項 88】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はアノードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はカソードである、請求項 81 に記載のモジュール。

【請求項 89】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はカソードである、請求項 81 に記載のモジュール。

50

## 【請求項 9 0】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はアノードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はアノードである、請求項 8 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 9 1】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは少なくとも 1 つの共通基板を共有する、請求項 8 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 9 2】

前記第 2 光起電力セルの前記電極に接続した湾曲端部を有する電極を備える第 3 光起電力セルをさらに備える、請求項 8 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 9 3】

第 1 および第 2 の端部を有し、該第 1 および第 2 の端部はシールされる、請求項 8 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 9 4】

前記第 1 光起電力セルの前記電極の一部分は前記第 2 光起電力セルの前記電極の一部分と重なる、請求項 8 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 9 5】

電極を備える第 1 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記電極に接続した成形部を有する電極を備える第 2 光起電力セルとを備える、モジュール。

## 【請求項 9 6】

前記成形部は前記第 1 光起電力セルの前記電極に電氣的に接続される、請求項 9 5 に記載のモジュール。

## 【請求項 9 7】

前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極との間に別個の相互接続がない、請求項 9 5 に記載のモジュール。

## 【請求項 9 8】

前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極の間に配設された部材をさらに備える、請求項 9 5 に記載のモジュール。

## 【請求項 9 9】

前記部材はコンプライアントである、請求項 9 8 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 0 0】

前記部材は導電性である、請求項 9 8 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 0 1】

前記第 1 光起電力セルの前記電極および前記第 2 光起電力セルの前記電極と接触する接着材料をさらに備える、請求項 9 5 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 0 2】

前記接着材料は少なくとも 2 つの部材の形態である、請求項 1 0 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 0 3】

前記少なくとも 2 つの部材は、前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極との間の接続部の両側上にシールを形成する、請求項 1 0 2 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 0 4】

前記接着材料は少なくとも 1 つの構造材料をさらに含む、請求項 1 0 2 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 0 5】

前記構造材料は非導電性である、請求項 1 0 4 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 0 6】

前記接着剤は導電性接着剤を含む、請求項 1 0 1 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 0 7】

前記接着剤は電気絶縁性接着剤を含む、請求項 1 0 1 に記載のモジュール。

10

20

30

40

50



## 【請求項 108】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はアノードである、請求項 95 に記載のモジュール。

## 【請求項 109】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はアノードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はカソードである、請求項 95 に記載のモジュール。

## 【請求項 110】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はカソードである、請求項 95 に記載のモジュール。

## 【請求項 111】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はアノードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はアノードである、請求項 95 に記載のモジュール。

## 【請求項 112】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは少なくとも 1 つの共通基板を共有する、請求項 95 に記載のモジュール。

## 【請求項 113】

前記第 2 光起電力セルの前記電極に電氣的に接続した成形部を有する電極を備える第 3 光起電力セルをさらに備える、請求項 95 に記載のモジュール。

## 【請求項 114】

第 1 および第 2 の端部を有し、該第 1 および第 2 の端部はシールされる、請求項 95 に記載のモジュール。

## 【請求項 115】

前記第 1 光起電力セルの前記電極の一部分は前記第 2 光起電力セルの前記電極の一部分と重なる、請求項 95 に記載のモジュール。

## 【請求項 116】

連続的なプロセスによってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

電極を備える第 1 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記電極に接続した湾曲端部を有する電極を備える第 2 光起電力セルとを備える、方法。

## 【請求項 117】

前記湾曲端部は前記第 1 光起電力セルの前記電極に電氣的に接続される、請求項 116 に記載の方法。

## 【請求項 118】

ロール・ツー・ロール法によってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

電極を備える第 1 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記電極に接続された湾曲端部を有する電極を備える第 2 光起電力セルとを備える、方法。

## 【請求項 119】

前記湾曲端部は前記第 1 光起電力セルの前記電極に電氣的に接続される、請求項 118 に記載の方法。

## 【請求項 120】

連続的なプロセスによってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

電極を備える第 1 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記電極に接続した成形部を有する電極を備える第 2 光起電力セルとを備える、方法。

## 【請求項 121】

前記湾曲端部は前記第 1 光起電力セルの前記電極に電氣的に接続される、請求項 120 に

10

20

30

40

50

記載の方法。

【請求項 1 2 2】

ロール・ツー・ロール法によってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

電極を備える第 1 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記電極に接続された成形部を有する電極を備える第 2 光起電力セルとを備える、方法。

【請求項 1 2 3】

前記湾曲端部は前記第 1 光起電力セルの前記電極に電氣的に接続される、請求項 1 2 2 に記載の方法。

10

【請求項 1 2 4】

電極を備える第 1 光起電力セルと、

電極を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前期電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極とを接続する相互接続とを備え、該相互接続は、

接着材料、および

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、モジュール。

【請求項 1 2 5】

前記接着剤は電気絶縁性接着剤を含む、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 2 6】

20

前記メッシュは導電性材料を含む、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 2 7】

前記メッシュは拡張メッシュを含む、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 2 8】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はアノードである、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 2 9】

前記第 1 光起電力セルの前記電極はカソードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はカソードである、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 3 0】

30

前記第 1 光起電力セルの前記電極はアノードであり、前記第 2 光起電力セルの前記電極はアノードである、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 3 1】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは少なくとも 1 つの共通基板を共有する、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 3 2】

電極を備える第 3 光起電力セルと、

前記第 2 光起電力セルの前記電極と前記第 3 光起電力セルの前記電極とを接続する第 2 相互接続とをさらに備え、該第 2 相互接続は、

接着材料、および

40

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 3 3】

第 1 および第 2 の端部を有し、該第 1 および第 2 の端部はシールされる、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 3 4】

前記第 1 光起電力セルの前記電極の一部分は前記第 2 光起電力セルの前記電極の一部分と重なる、請求項 1 2 4 に記載のモジュール。

【請求項 1 3 5】

カソードと、

50

アノードと、  
該カソードと該アノードの間の光活性材料と  
を備える第 1 光起電力セルと、  
カソードと、  
アノードと、  
該カソードと該アノードの間の光活性材料と  
を備える第 2 光起電力セルと、  
前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記アノードとを接続  
する相互接続とを備え、該相互接続は、  
接着材料、および  
前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える相互接続とを備える、モジュ  
ール。

10

【請求項 1 3 6】

前記接着剤は電気絶縁性接着剤を含む、請求項 1 3 5 に記載のモジュール。

【請求項 1 3 7】

前記メッシュは導電性接着剤を含む、請求項 1 3 5 に記載のモジュール。

【請求項 1 3 8】

前記メッシュは拡張メッシュを含む、請求項 1 3 5 に記載のモジュール。

【請求項 1 3 9】

カソードと、

20

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

を備える第 1 光起電力セルと、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記カソードとを接続  
する相互接続とを備え、該相互接続は、

接着材料、および

30

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、モジュール。

【請求項 1 4 0】

前記接着材料は電気絶縁性材料を含む、請求項 1 3 9 に記載のモジュール。

【請求項 1 4 1】

前記メッシュは導電性材料を含む、請求項 1 3 9 に記載のモジュール。

【請求項 1 4 2】

前記メッシュは拡張メッシュである、請求項 1 3 9 に記載のモジュール。

【請求項 1 4 3】

カソードと、

40

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

を備える第 1 光起電力セルと、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記アノードと前記第 2 光起電力セルの前記アノードとを接続  
する相互接続とを備え、該相互接続は、

接着材料、および

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、モジュール。

50

## 【請求項 1 4 4】

前記接着材料は電気絶縁性材料を含む、請求項 1 4 3 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 4 5】

前記メッシュは導電性材料を含む、請求項 1 4 3 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 4 6】

前記メッシュは拡張メッシュである、請求項 1 4 3 に記載のモジュール。

## 【請求項 1 4 7】

ロール・ツー・ロール法によってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

電極を備える第 1 光起電力セルと、

10

電極を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極とを接続する相互接続とを備え、該相互接続は、

接着材料、および

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、方法。

## 【請求項 1 4 8】

ロール・ツー・ロール法によってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

カソードと、

アノードと、

20

該カソードと該アノードの間の光活性材料

とを備える第 1 光起電力セルと、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料

とを備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記アノードとを接続する相互接続とを備え、該相互接続は、

接着材料、および

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、方法。

30

## 【請求項 1 4 9】

ロール・ツー・ロール法によってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

を備える第 1 光起電力セルと、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と

40

を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記カソードとを接続する相互接続とを備え、該相互接続は、

接着材料、および

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、方法。

## 【請求項 1 5 0】

連続的なプロセスによってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

電極を備える第 1 光起電力セルと、

電極を備える第 2 光起電力セルと、

50

前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極とを接続する相互接続とを備え、該相互接続は、

接着材料、および

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、方法。

【請求項 151】

連続的なプロセスによってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と  
を備える第 1 光起電力セルと、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と  
を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記アノードとを接続する相互接続とを備え、該相互接続は、

接着材料、および

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、方法。

【請求項 152】

連続的なプロセスによってモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と  
を備える第 1 光起電力セルと、

カソードと、

アノードと、

該カソードと該アノードの間の光活性材料と  
を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記カソードとを接続する相互接続とを備え、該相互接続は、

接着材料、および

前記接着材料中に部分的に配設されたメッシュを備える、方法。

【請求項 153】

前記第 1 光起電力セルの前記電極は前記第 2 光起電力セルの前記電極に電氣的に接続される、請求項 124 に記載のモジュール。

【請求項 154】

前記第 1 光起電力セルの前記電極は前記第 2 光起電力セルの前記電極に機械的に接続される、請求項 124 に記載のモジュール。

【請求項 155】

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記アノードとを電氣的に接続する、請求項 135 に記載のモジュール。

【請求項 156】

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記アノードとを機械的に接続する、請求項 135 に記載のモジュール。

【請求項 157】

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記カソードとを電氣的に接続する、請求項 139 に記載のモジュール。

【請求項 158】

10

20

30

40

50

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記カソードと前記第 2 光起電力セルの前記カソードとを機械的に接続する、請求項 1 3 9 に記載のモジュール。

【請求項 1 5 9】

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記アノードと前記第 2 光起電力セルの前記アノードとを電氣的に接続する、請求項 1 4 3 に記載のモジュール。

【請求項 1 6 0】

前記相互接続は、前記第 1 光起電力セルの前記アノードと前記第 2 光起電力セルの前記アノードとを機械的に接続する、請求項 1 4 3 に記載のモジュール。

【請求項 1 6 1】

電極を備える第 1 光起電力セルと、

10

電極を備える第 2 光起電力セルと、

相互接続とを備え、

前記第 1 光起電力セルの前記電極は前記第 2 光起電力セルの前記電極と重なり、

前記相互接続は前記第 1 光起電力セルの前記電極と前記第 2 光起電力セルの前記電極とを電氣的に接続し、

前記相互接続は前記第 1 および第 2 の光起電力セルを機械的に結合する、モジュール。

【請求項 1 6 2】

前記相互接続は導電性テープを含む、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

【請求項 1 6 3】

前記相互接続は導電性ペーストを含む、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

20

【請求項 1 6 4】

前記相互接続は導電性はんだを含む、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

【請求項 1 6 5】

前記相互接続は導電性繊維を含む、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

【請求項 1 6 6】

前記相互接続は、熱可塑性マトリックスにけん濁された粒子を含むリボンを含む、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

【請求項 1 6 7】

前記第 1 および第 2 のセルは直列構成に配列される、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

【請求項 1 6 8】

30

前記第 1 および第 2 のセルは並列構成に配列される、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

【請求項 1 6 9】

前記第 1 および第 2 のセルは、色素増感型チタニアを含む活性材料を備える、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

【請求項 1 7 0】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは階段状構成に配列される、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

【請求項 1 7 1】

前記第 2 光起電力セルと電氣的に接続した第 3 光起電力セルをさらに備える、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

40

【請求項 1 7 2】

前記相互接続は材料のビードの形態である、請求項 1 6 1 に記載のモジュール。

【請求項 1 7 3】

前記材料のビードは導電性ペーストを含む、請求項 1 7 2 に記載のモジュール。

【請求項 1 7 4】

電極を備える第 1 光起電力セルと、

電極を備え、前記第 1 光起電力セルに重なって重なり領域を画定する第 2 光起電力セルと、

前記第 1 および第 2 の光起電力セルを電氣的かつ機械的に接続するための、前記重なり領域に隣接する相互接続とを備える、モジュール。

50

## 【請求項 175】

第 1 表面を有する電極を備える第 1 光起電力セルと、  
第 2 表面を有する電極を備える第 2 光起電力セルと、  
前記第 1 および第 2 の光起電力セルを接続し、前記第 1 および第 2 の表面によって支えられる相互接続とを備える、モジュール。

## 【請求項 176】

前記相互接続はテープの形態である、請求項 175 に記載のモジュール。

## 【請求項 177】

前記テープは導電性テープである、請求項 176 に記載のモジュール。

## 【請求項 178】

前記相互接続は前記第 1 表面に配設される、請求項 175 に記載のモジュール。

## 【請求項 179】

前記相互接続は前記第 2 表面に配設される、請求項 178 に記載のモジュール。

## 【請求項 180】

前記相互接続は前記第 1 および第 2 の光起電力セルを電氣的に接続する、請求項 175 に記載のモジュール。

## 【請求項 181】

前記相互接続は前記第 1 および第 2 の光起電力セルを機械的に接続する、請求項 175 に記載のモジュール。

## 【請求項 182】

連続的なプロセスを用いてモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

電極を備える第 1 光起電力セルと、

電極を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 および第 2 の光起電力セルを接続する相互接続とを備える、方法。

## 【請求項 183】

前記プロセスはロール・ツー・ロール法を含む、請求項 182 に記載の方法。

## 【請求項 184】

前記相互接続は前記第 1 および第 2 の光起電力セルを電氣的に接続する、請求項 182 に記載の方法。

## 【請求項 185】

前記相互接続は前記第 1 および第 2 の光起電力セルを機械的に接続する、請求項 182 に記載の方法。

## 【請求項 186】

ロール・ツー・ロール法を用いてモジュールを作製することを含む方法であって、該モジュールは、

電極を備える第 1 光起電力セルと、

電極を備える第 2 光起電力セルと、

前記第 1 および第 2 の光起電力セルを接続する相互接続とを備える、方法。

## 【請求項 187】

前記相互接続は前記第 1 および第 2 の光起電力セルを電氣的に接続する、請求項 186 に記載の方法。

## 【請求項 188】

前記相互接続は前記第 1 および第 2 の光起電力セルを機械的に接続する、請求項 186 に記載の方法。

## 【請求項 189】

モジュール変換効率を有するモジュールであって、

第 1 の変換効率を有する第 1 光起電力セルと、

第 2 の変換効率を有し、前記第 1 光起電力セルに電氣的に接続される第 2 光起電力セルとを備え、

10

20

30

40

50

前記モジュール変換効率は前記第 1 の変換効率の少なくとも約 80% である、モジュール。

【請求項 190】

前記モジュール変換効率は前記第 2 の変換効率の少なくとも約 80% である、請求項 189 に記載のモジュール。

【請求項 191】

前記モジュール変換効率は前記第 1 の変換効率の少なくとも約 85% である、請求項 189 に記載のモジュール。

【請求項 192】

前記モジュール変換効率は前記第 1 の変換効率の少なくとも約 90% である、請求項 189 に記載のモジュール。

【請求項 193】

前記モジュール変換効率は前記第 1 の変換効率の少なくとも約 90% である、請求項 189 に記載のモジュール。

【請求項 194】

前記第 1 および第 2 の光起電力セルは相互接続によって電氣的に接続される、請求項 189 に記載のモジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書は、太陽電池モジュール、ならびに関連する装置、方法、および部品に関する。

〔関連出願の相互参照〕

本件出願は、2004 年 6 月 1 日に提出された「導電性相互接続を有する光起電力セル (Photovoltaic Cells with Conductive Interconnects)」という名称の米国特許仮出願第 60/575,971 号、2004 年 7 月 22 日に提出された「太陽電池モジュール (Photovoltaic Modules)」という名称の米国特許仮出願第 60/590,312 号、2004 年 7 月 22 日に提出された「導電性メッシュ相互接続を有する光起電力セル (Photovoltaic Cells with Conductive Mesh Interconnects)」という名称の米国特許仮出願第 60/590,313 号、および 2005 年 3 月 21 日に提出された「太陽電池モジュール構成 (Photovoltaic Module Architecture)」という名称の米国特許仮出願第 60/664,115 号に対して米国特許法 119 条 (e) 項の (1) の優先権を主張するが、これらの全ては参照により本明細書に援用されている。

【背景技術】

【0002】

光起電力セルは、しばしば太陽電池と呼ばれ、太陽光などの光を電気エネルギーに変換することができる。典型的な光起電力セルは、光活性材料の層とカソード-アノード間に配設された電荷キャリア材料の層とを備える。入射光が光活性材料を励起すると、電子が解放される。これらの解放された電子は、電気エネルギーの形でカソード-アノード間に作られた電子回路内に捕捉される。

【0003】

一般的に色素増感型太陽電池 (DSSC) と呼ばれる、一タイプの光起電力セルにおいては、光活性材料は、一般的に、チタニアなどの半導体材料と、たとえば、色素などの光増感剤とを含む。一般的に、色素は動作波長帯域内 (たとえば、太陽スペクトルの帯域内) の光子を吸収することができる。

【0004】

ポリマー薄膜セルと一般に呼ばれる別のタイプの光起電力セルにおいては、使用される光活性材料は、一般的に、2 つの構成要素、すなわち電子受容体と電子供与体を有する。電子受容体は、たとえば、ポリ (フェニレンビニレン) やポリ (3-ヘキシルチオフェン) などの p 型ポリマー導体材料でよい。電子供与体は、たとえば、フレレンの誘導体 (た

10

20

30

40

50



例えば、PCBMとして知られる1-(3-メトキシカルボニル)プロピル-1-1-フェニル(6,6)C<sub>60</sub>などのナノ粒子材料でよい。

【0005】

光起電力セルを電氣的に直列および/または並列に接続して太陽電池モジュールを作製することができる。2つの光起電力セルは、一般的に、一方のセルのカソードと他方のセルのカソードとを電氣的に接続し、一方のセルのアノードと他方のセルのアノードとを電氣的に接続することによって並列に接続することができる。2つの光起電力セルは、一般的に、一方のセルのアノードと他方のセルのカソードとを電氣的に接続することによって直列に接続することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0006】

一態様では、モジュールは、電極を有する第1光起電力セルと電極を有する第2光起電力セルとを備える。このモジュールは、さらに、第1光起電力セルの電極と第2光起電力セルの電極とを接続(たとえば、電氣的に接続および/または機械的に接続)するように第1光起電力セルの電極および第2光起電力セルの電極中に配設された相互接続(たとえば、導電性相互接続)を備える。

【0007】

別の態様では、モジュールは、電極を有する第1光起電力セルと電極を有する第2光起電力セルを備える。このモジュールは、さらに、第1光起電力セルの電極と第2光起電力セルの電極とを接続(たとえば、電氣的に接続および/または機械的に接続)する相互接続(たとえば、導電性相互接続)を備える。この光起電力セルは、第1光起電力セルの電極の一部分と第2光起電力セルの電極の一部分が重なるように構成される。

20

【0008】

さらに別の態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを含む。第1光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード-アノード間の光活性材料とを備える。第2光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード-アノード間の光活性材料とを備える。このモジュールは、さらに、第1光起電力セルのカソードと第2光起電力セルのアノードとを接続(たとえば、電氣的に接続および/または機械的に接続)するように第1光起電力セルのカソードおよび第2光起電力セルのアノード中に配設される相互接続(たとえば、導電性相互接続)を備える。

30

【0009】

さらなる態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを含む。第1光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード-アノード間の光活性材料とを備える。第2光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード-アノード間の光活性材料とを備える。このモジュールは、さらに、第1光起電力セルのカソードと第2光起電力セルのカソードとを接続(たとえば、電氣的に接続および/または機械的に接続)するように第1光起電力セルのカソードおよび第2光起電力セルのカソード中に配設される相互接続(たとえば、導電性相互接続)を備える。

【0010】

別の態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを含む。第1光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード-アノード間の光活性材料とを備える。第2光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード-アノード間の光活性材料とを備える。このモジュールは、さらに、第1光起電力セルのアノードと第2光起電力セルのアノードとを接続(たとえば、電氣的に接続および/または機械的に接続)するように第1光起電力セルのアノードおよび第2光起電力セルのアノード中に配設される相互接続(たとえば、導電性相互接続)を備える。

40

【0011】

他の態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを含む。第1光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード-アノード間の光活性材料とを備える。第2光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード-アノード間の光活性材料とを備える

50

。第2光起電力セルのアノードの一部分は、第1光起電力セルのカソードの一部分と重なる。このモジュールは、第1光起電力セルのカソードと第2光起電力セルのアノードとを接続（たとえば、電氣的に接続および／または機械的に接続）する相互接続（たとえば、導電性相互接続）も備える。

【0012】

さらなる態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを含む。第1光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード - アノード間の光活性材料とを備える。第2光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード - アノード間の光活性材料とを備える。第2光起電力セルのアノードの一部分は、第1光起電力セルのカソードの一部分と重なる。このモジュールは、第1光起電力セルのカソードと第2光起電力セルのカソードとを接続（たとえば、電氣的に接続および／または機械的に接続）する相互接続（たとえば、導電性相互接続）も備える。

10

【0013】

別の態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを含む。第1光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード - アノード間の光活性材料とを備える。第2光起電力セルは、カソードと、アノードと、カソード - アノード間の光活性材料とを備える。第2光起電力セルのアノードの一部分は、第1光起電力セルのカソードの一部分と重なる。このモジュールは、第1光起電力セルのアノードと第2光起電力セルのアノードとを接続（たとえば、電氣的に接続および／または機械的に接続）する相互接続（たとえば、導電性相互接続）も備える。

20

【0014】

他の態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを含み、第1および第2の光起電力セルが階段状構成に構成される。

さらなる態様では、光起電力セルを電氣的に接続する方法は、第1光起電力セルの電極と第2光起電力セルの電極とを接続（たとえば、電氣的に接続および／または機械的に接続）するように第1光起電力セルの電極中および第2光起電力セルの電極中に相互接続（たとえば、導電性相互接続）を配設することを含む。

【0015】

一態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを備える。このモジュールは、第1光起電力セルの電極と第2光起電力セルの電極とを接続（たとえば、電氣的に接続および／または機械的に接続）する相互接続（たとえば、導電性相互接続）も備える。この相互接続は、接着材料とこの接着材料中に部分的に配設されたメッシュとを備える。

30

【0016】

別の態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを備える。第1および第2の光起電力セルのそれぞれは、カソードと、アノードと、カソード - アノード間の光活性材料とを備える。このモジュールは、第1光起電力セルの電極と第2光起電力セルの電極とを接続（たとえば、電氣的に接続および／または機械的に接続）する相互接続（たとえば、導電性相互接続）も備える。これらの電氣的に接続される電極は、カソード / アノード、カソード / カソード、またはアノード / アノードとすることができる。この相互接続は、接着材料とこの接着材料中に部分的に配設されたメッシュとを備える。

40

【0017】

一態様では、モジュールは、電極を備える第1光起電力セルと、第1光起電力セルの電極に接続（たとえば、電氣的に接続）する湾曲端部を有する電極を備える第2光起電力セルとを備える。

【0018】

別の態様では、モジュールは、電極を備える第1光起電力セルと、電極を備える第2光起電力セルとを備える。第2光起電力セルの電極は、第1光起電力セルの電極に接続（たとえば、電氣的に接続）する成形（たとえば、ディンプル加工）または湾曲部分を有する。

【0019】

50

一態様では、モジュールは、電極を備える第1光起電力セルと、電極を備える第2光起電力セルと、導電性相互接続とを備える。第1光起電力セルの電極は第2光起電力セルの電極と重なる。この相互接続は、第1光起電力セルの電極と第2光起電力セルの電極とを電氣的に接続する。この相互接続は、第1および第2の光起電力セルを機械的に結合する。

【0020】

別の態様では、モジュールは、電極を備える第1光起電力セルと、電極を備え、第1光起電力セルに重なって重なり領域を画定する第2光起電力セルと、第1および第2の光起電力セルを電氣的かつ機械的に接続するための、重なり領域に隣接する相互接続とを備える。

10

【0021】

他の態様では、太陽電池モジュールは、第1表面を有する電極を備える第1光起電力セルと、第2表面を有する電極を備える第2光起電力セルと、第1および第2の光起電力セルを接続（たとえば、電氣的に接続および/または機械的に接続）する相互接続（たとえば、導電性相互接続）とを備える。この相互接続は第1および第2の表面によって支えられる。

【0022】

さらなる態様では、モジュールは、第1および第2の光起電力セルを備える。このモジュールの変換効率（efficiency）は、これらの光起電力セルの1つの変換効率の少なくとも約80%である。

20

【0023】

さらなる態様では、方法は、1つまたは複数の先のモジュールを連続的なプロセスによって作製することを含む。

別の態様では、方法は、1つまたは複数の先のモジュールをロール・ツー・ロール法によって作製することを含む。

【0024】

諸実施形態は以下の利点のうちの1つまたは複数を提供することができる。

いくつかの実施形態では、相互接続は、2つ以上の光起電力セルをオーム損をほとんど伴わずに接続（たとえば、直列に接続）することができる。これは、光起電力セルおよびモジュールからの電圧、アンペア数、および/またはパワー出力を最大にしようとするときに特に望ましくなり得る。

30

【0025】

或る実施形態では、相互接続は、単一の光起電力セルに比べて曲線因子の増加をほとんど伴わず、または全く伴わずに、かつ、変換効率の低下をほとんど伴わず、または全く伴わずに、2つ以上の光起電力セルと一緒に接続（たとえば、直列に接続）することができる。

【0026】

いくつかの実施形態では、相互接続は、隣接する光起電力セルを機械的に一緒に接続し、それによって、太陽電池モジュール内のシール（たとえば、接着剤を含むシール）の使用を低減（たとえば、省略）することができる。このため、たとえば、光起電力セル内に含まれる1つまたは複数の成分と反応する恐れがある1つまたは複数の材料の量および/または存在を減少させること、かつ/あるいは、たとえば、モジュール中に存在するリーク経路を減少（たとえば、省略）させることによってモジュールの実用寿命を延ばすことができる。

40

【0027】

或る実施形態では、相互接続は、第1光起電力セルの電力セルのカソードと第2光起電力セルのアノードとの間に頑丈な機械的接続および/または導電性の高い接続をもたらすことができる。

【0028】

メッシュ形状の相互接続を含む実施形態では、この相互接続中のメッシュは各電極と複

50

数の電気接点を形成することができる。電極間に複数の接点を有すると、相互接続によって電流が電極間を通過するためのより広い面積および体積がもたらされることによって電極間の電気伝導率を増大させることができる。代わりに、または追加的に、電極間に複数の接点を有すると、相互接続によって電極間の電子の流れの安定性を向上させることができる。たとえば、或る環境下では、モジュールが撓みまたは湾曲することがあるが、これは、一時的または永久に相互接続と電極の1つとの間の接点を破壊する恐れがある。この結果生じる電極間の電気伝導率の低下は、複数の電気接点が存在すると軽減される。

【0029】

メッシュ形状の相互接続を含む実施形態では、このメッシュは大きな困難を伴わずに比較的微細な繊維で形成することができる。

10

メッシュ形状の相互接続を含む実施形態では、金属メッシュの絶対高さを電極間の間隔／空間に設定することができ、この間隔／空間を比較的小さくすることが可能である。

【0030】

接着剤を含む相互接続を含む実施形態では、この接着剤は、たとえば、モジュールの隣接する光起電力セル中の電極間に複数の接着剤ボンディング点をもたらしことによって、相互接続の機械的な一体性を高めることができる。代わりに、または追加的に、この接着剤は、電気接触することが望ましくない、モジュールの或る構成部品間に電気絶縁をもたらしこともできる。

【0031】

いくつかの実施形態では、モジュールは、電気的な連絡をもたらしための別個の相互接続無しで、隣接する光起電力セル中の電極間に良好な電気接点をもたらしすることができる。このため、モジュールの製造に付随するコストおよび／または煩雑さを低減させることができる。たとえば、モジュールの製造プロセス中、カソード（および／またはアノード）の成形された（たとえば、ディンプル加工された）部分を形成することによって、モジュールの様々な部分を整列させる煩雑さを低下させることができる。

20

【0032】

或る実施形態では、処理（たとえば、チタニアの焼結）中に、カソードの表面上に酸化膜を形成することができる。このような実施形態では、カソードの一部を成形するプロセスは、この酸化膜を破ることができ、このため、カソード・アノード間の電気伝導率を高めることができる。

30

【0033】

いくつかの実施形態では、接着剤／基板ボンドの潜在的に可能な表面積は比較的高くなることができ、このため、光起電力セルのボンド強度および信頼性を高めることができる。

【0034】

或る実施形態では、モジュールはより少ない構成部品を備えることができ、このため、信頼性を高め、かつ／またはコストを低下させることができる。

いくつかの実施形態では、相互接続を形成する1つまたは複数の材料は、モジュールの他の成分（たとえば、電解質）と実質的に化学作用を起こさない組成で市販されている。

【0035】

40

或る実施形態では、モジュールは、電気的および機械的に結合して幅広い範囲での実施によく適した可撓性モジュールを形成する光起電力セルの可撓性基板を備えることができる。

【0036】

いくつかの実施形態では、相互接続は、1つまたは複数の光起電力セル（たとえば、1つまたは複数の隣接した光起電力セル）を電気的に相互接続および／または機械的に相互接続して、高安定性、高信頼性、光起電力セル（たとえば、隣接した光起電力セル）間の減少した不活性区域、および／または、光起電力セル（たとえば、隣接した光起電力セル）間の減少した不活性部体積を有する太陽電池モジュールを形成することができる。

【0037】

50

特徴および利点は、明細書、図面、および特許請求の範囲に記載する。

様々な図面中同様の参照記号は同様の要素を示す。

本明細書は、一般的に、1つまたは複数の相互接続を用いて1つまたは複数の光起電力セル（たとえば、1つ又は複数の隣接する光起電力セル）を電氣的に接続および/または機械的に接続することによって形成される太陽電池モジュールに関する。このようなモジュールの諸実施形態を以下に説明する。

#### 【0038】

いくつかの実施形態では、太陽電池モジュールの変換効率は、太陽電池モジュールに含まれる1つまたは複数の光起電力セルの変換効率の少なくとも約80%（たとえば、少なくとも約85%、少なくとも約90%、少なくとも約95%、および少なくとも約98%）である。 10

#### 【0039】

本明細書では、光起電力セルの変換効率を以下のように測定する。光起電力セルをA・M・1.5（単位平方センチメートル当たり100mW）光源（Oriel Solar Simulator）で30秒間露光する。光起電力セル内で発生した電流を測定し、電圧に対してプロットして光起電力セルの変換効率を決定する。

#### 【0040】

図1は、第1光起電力セル110を第2光起電力セル115に接続する導電性相互接続105を備える太陽電池モジュール100の断面図を示す。この導電性相互接続105は、一例としてステッチ（stitch）を含むことができる。光起電力セル110は、カソード120と、光活性層122と、電荷キャリア層124と、アノード126と、基板128とを備える。同様に光起電力セル115は、カソード140と、光活性層142と、電荷キャリア層144と、アノード146と、基板148とを備える。光起電力セル110および115は、互いに対して階段状構成に位置して、光起電力セル110の一部分155が光起電力セル115の一部分160に重なり、それによって重なり領域165が形成されるようにする。導電性相互接続105は重なり領域165内に配設されて、カソード120からアノード146までの導電性経路をもたらす。 20

#### 【0041】

導電性相互接続105は、一般的に、カソード120からアノード146までの導電性のかつ連続的な経路を形成するような大きさにする。たとえば、いくつかの実施形態では、導電性相互接続105を、重なり領域165内でカソード120、基板148、およびアノード146を貫通して延びるような大きさにする。或る実施形態では、導電性相互接続105の長さは、少なくとも約30ミクロンおよび/または最大で約500ミクロン（たとえば、約100ミクロン～約200ミクロン）である。 30

#### 【0042】

導電性相互接続105の幅は、一般的に、所望のように選択することができる。或る実施形態では、導電性相互接続105の幅を、重なり領域165の幅が相対的に小さくなるように選択する。たとえば、或る実施形態では、導電性相互接続105の幅は、約1500ミクロン未満（たとえば、約1000ミクロン未満、約500ミクロン未満）である。一般的には、導電性相互接続105の幅は、少なくとも約100ミクロンである。重なり領域165の幅の低減は、光起電力セル110および115内の利用可能な光活性区域の増加を図るとき特に望ましい。たとえば、重なり領域165の幅が減少するにつれて、モジュール100の活性領域の面積が増大する。 40

#### 【0043】

導電性相互接続105は、一般的に、任意の導電性材料で作ることができる。本明細書では、導電性材料は、少なくとも25で約10（ $\text{cm}^{-1}$ ）の伝導率を有する。一般的に、導電性相互接続105を形成するために使用する材料（複数可）は、光起電力セル110を光起電力セル115に固定するように比較的強い。導電性相互接続105を形成するための例示的な材料は、たとえば、銅やチタンなどの金属、およびスチール、スズ-鉛合金、スズ-ビスマス合金、鉛-ビスマス合金、スズ-ビスマス-鉛合金などの合金 50

を含む。或る実施形態では、導電性相互接続 105 を、金属または合金で被覆された材料（たとえば、ナイロン繊維、ポリエステル繊維、ケブラー繊維、オルロン（Orlon）繊維などのポリマー繊維）で形成することができる。いくつかの実施形態では、導電性相互接続 105 を、たとえば、スズ-鉛合金、スズ-ピスマス合金、鉛-ピスマス合金、またはスズ-ピスマス-鉛合金などの低温はんだで被覆された金属または合金で形成する。或る実施形態では、導電性相互接続を、たとえば、銀系エポキシなどのエポキシで被覆された金属または合金で形成する。

#### 【0044】

図 2 および図 3 を参照すると、導電性または電気絶縁性であり得る相互接続 200（たとえば、導電性および/または電気絶縁性のステッチ）を用いて、端子接点 205（たとえば、金属テープ、金属箔、および金属ブレード）を太陽電池モジュール 100 の端部（たとえば、アノード 126 およびカソード 140）で電極に固定することができる。一般的に、端子接点 205 を太陽電池モジュールと電気デバイスの間の接続サイトとして用い、太陽電池モジュール内で発生した電気を用いて、接続された電気デバイスを駆動させることができるようにする。

10

#### 【0045】

一般的に、相互接続 200 は、あらゆる所望の材料から作ることができる。一般的に、相互接続 200 を、端子接点を所望の電極に固定するのに十分強固の材料で作る。相互接続 200 を形成するために使用される例示的な材料は、導電性相互接続 105 に関して上記で述べたものおよびポリマーを含む。

20

#### 【0046】

太陽電池モジュール 100 を 2 つの光起電力セルを備えるものとして説明してきたが、太陽電池モジュールは、2 つ以上（たとえば、3、4、5、6、7）の光起電力セルを備えることができる。たとえば、図 4 で示すように、太陽電池モジュール 200 は、第 1 光起電力セル 180 と、第 2 光起電力セル 185 と、第 3 光起電力セル 190 とを備える。導電性相互接続 192 を用いて、光起電力セル 180 のカソードを光起電力セル 185 のアノードと接合し、第 2 導電性相互接続 194 を用いて、光起電力セル 185 のカソードを光起電力セル 190 のアノードと接合する。

#### 【0047】

光起電力セルを、階段状様式で互いに対して位置させて隣接するセルと重なり領域を形成してきたが、いくつかの実施形態では、太陽電池モジュール中の光起電力セルが異なる構成を有する。図 5 は、共通の基板 290 を共有する光起電力セル 210、212、および 214 を備える太陽電池モジュール 220 を示す。光起電力セル 210、212、および 214 は、それぞれカソード 270 とアノード 275 の間に配設される光活性層 280 と電荷キャリア層 285 を備える。（たとえば、接着剤で形成された）電気絶縁材料の領域 295 は、セル 210 と 212 の間、およびセル 212 と 214 の間に位置する。セル 210 のカソード 270 の一部分は、セル 212 のアノード 275 の一部分と重なって、導電性相互接続 105 が内部（基板 290 中、セル 212 のアノード 275 中、セル 210 と 212 の間の領域 295 中、セル 210 のカソード 270 中、および基板 300 中）に位置する重なり領域 265 を形成する。同様に、セル 212 のカソード 270 の一部分は、セル 214 のアノード 275 の一部分と重なって、導電性相互接続 105 が内部（基板 290 中、セル 214 のアノード 275 中、セル 212 と 214 の間の領域 295 中、セル 212 のカソード 270 中、および基板 300 中）に位置する重なり領域 267 を形成する。

30

40

#### 【0048】

図 6 は、共通の基板 340 および 345 を共有する光起電力セル 310、320、および 330 を備えるモジュール 300 を示す。各光起電力セルはカソード 350 と、光活性層 360 と、電荷キャリア層 370 と、アノード 380 とを備える。

#### 【0049】

図 7 および図 8 に示すように、相互接続 301 をメッシュ 305 および電気絶縁性材料

50

３９０で形成する。メッシュ３０５は導電性領域３８５と開口領域３８７を有し、電気絶縁性材料３９０がメッシュ３０５の開口領域３８７中に配設される。メッシュ３０５の上面３９３はアノード３８０に接触し、メッシュ３０５の下面３９５はカソード３５０に接触する。この構成で、隣接するセル中の電極３５０および３８０を、メッシュ３０５の領域３８５によって電極３５０と３８０の間の方向に電氣的に接続し、隣接する光起電力セルを垂直面内で接着材料３９７によって互いから電氣的に絶縁する。

#### 【００５０】

メッシュ３０５は様々な方法で準備することができる。いくつかの実施形態では、メッシュ３０５は拡張メッシュである。たとえば、材料（たとえば、金属や合金などの導電性材料）のシートから領域３８７（たとえば、レーザ除去、化学エッチング、打ち抜きによって）を除去し、その後でシートを伸ばす（たとえば、２次元的にシートを伸ばす）ことによって拡張金属メッシュを準備することができる。或る実施形態では、メッシュ３０５は、その後シートを引き伸ばさずに領域３８７を（たとえば、レーザ除去、化学エッチング、打ち抜きによって）除去することによって形成される金属シートである。いくつかの実施形態では、メッシュ３０５は、中実領域３８５を形成する材料のワイアを編むことによって形成される編みメッシュである。たとえば、平織、畳織、綾織、綾畳織、またはそれらの組合せによって、ワイアを編むことができる。或る実施形態では、メッシュ３０５は溶接金網で形成される。

#### 【００５１】

一般的に、中実領域３８５は全体を導電性材料で形成される（たとえば、領域３８５を導電性のほぼ均一な材料で形成する）。領域３８５に使用することができる導電性材料の例には、導電性金属、導電性合金、および導電性ポリマーを含む。例示的な導電性材料には、金、銀、銅、ニッケル、パラジウム、白金、およびチタンを含む。例示的な導電性合金には、ステンレス鋼（たとえば、３３２ - ステンレス鋼、３１６ - ステンレス鋼）、金合金、銀合金、銅合金、ニッケル合金、パラジウム合金、白金合金、およびチタン合金が含まれる。例示的な導電性ポリマーには、ポリチオフェン（たとえば、ポリ（３，４ - エチレンジオキシチオフェン）（PEDOT））、ポリアニリン（たとえば、ドーブポリアニリン）、ポリピロール（たとえば、ドーブポリピロール）を含む。いくつかの実施形態では、導電性材料の組合せを使用する。

#### 【００５２】

いくつかの実施形態では、中実領域３８５を異なる材料を被覆した材料で（たとえば、メタライゼーション、気相成長を用いて）形成する。一般的に、内側の材料は任意の希望の材料（たとえば、電気絶縁性材料、導電性材料、または半導電性材料）で形成することができ、外側の材料は導電性材料である。内側材料を形成することができる電気絶縁性材料の例には、織物、光ファイバ材料、ポリマー材料（たとえば、ナイロン）、および天然材料（たとえば、亜麻、綿、羊毛、絹）を含む。外側材料を形成することができる導電性材料の例には、上記で開示した導電性材料を含む。材料を形成することができる半導電性材料の例には、インジウムスズ酸化物、フッ素化酸化スズ、酸化スズ、および酸化亜鉛を含む。いくつかの実施形態では、内側材料はファイバの形態であり、外側材料は内側材料に被覆される導電性材料である。或る実施形態では、内側材料はメッシュの形態であり（上記の説明を参照のこと）、それはメッシュに形成された後、外側材料で被覆される。例としては、内側材料は拡張金属メッシュであってもよく、外側材料はこの拡張金属メッシュに被覆されるPEDOTであってもよい。

#### 【００５３】

一般的に、基板３４０および３４５の表面にほぼ垂直な方向のメッシュ３０５の最大厚は、最小で約１０ミクロン（たとえば、最小で約１５ミクロン、最小で約２５ミクロン、最小で約５０ミクロン）であり、かつ／または最大で約２５０ミクロン（たとえば、最大で約２００ミクロン、最大で約１５０ミクロン、最大で約１００ミクロン、最大で約７５ミクロン）である。

#### 【００５４】

10

20

30

40

50

図 8 に断面形状を示したが、開口領域 387 は、一般的に、あらゆる所望の形状（たとえば、正方形、円形、半円形、三角形、楕円形、台形、異形）を有することができる。いくつかの実施形態では、メッシュ 305 中の様々な開口領域 387 は様々な形状を有することができる。

【0055】

図 8 にダイヤモンド模様を形成する場合を示したが、中実領域 385 によって、一般的に、あらゆる所望の模様（たとえば、長方形、円形、半円形、三角形、楕円形、台形、異形）を形成することができる。

【0056】

図 9 および図 10 は、互いに階段状構成に位置する光起電力セル 505、510、および 515 を備える太陽電池モジュール 500 を示す。光起電力セル 515 の一部分 525 は光起電力セル 510 の一部分 520 と重なる。同様に、光起電力セル 510 の一部分 533 は光起電力セル 505 の一部分 535 と重なる。アノード 545 の端部に導電性テープ 547 を巻き付けることによって、セル 505 のカソード 540 を隣接するセル 505 のアノード 545 に電氣的に接続する。いくつかの実施形態では、テープ 547 をカソード 540 の裏面全体に接触するような大きさにすることができ、それによって、隣接するセル間を機械的に取り付け、またはカソード 540 の一部分のみを機械的に取り付ける。テープ 547 がカソード 540 の裏面を全ては覆わない実施形態では、隣接するセル 505 のアノード 545 への取り付けを補うように、随意に、カソード 540 の裏面の露出部分を非導電性接着剤で被覆することもできる。

【0057】

要素 547 を導電性テープとして説明してきたが、より一般的には、要素 547 は説明した一般的な構造を有するあらゆる種類の導電性要素であってもよい。いくつかの実施形態では、要素 547 は被覆の形態である。

【0058】

図 11 に、階段状構成に配置された 7 つの重なるセル 555a ~ 555g を備える太陽電池モジュール 550 を示す。隣接するセル 555b のカソード 570 に電氣的かつ機械的に接続するために、アノード 565a に沿ってセル 555a の端部に平行に、相互接続 560a を付ける。同様に相互接続 560b ~ 560f は、重なり合うセル 555b と 555c、555c と 555d、555d と 555e、555e と 555f、および 555f と 555g を接続する。図 12 は、隣接するセルを接続するように適所に押し込まれた相互接続 560 を示す。一般的に、任意の適切な導電性材料で、相互接続 560 を形成することができる。いくつかの実施形態では、1 つまたは複数の相互接続 560 を導電性ペーストのビードで形成することができる。随意に、1 つまたは複数の相互接続 560 を熱可塑性導電リボン、はんだ、および / またはファイバで形成することもできる。このような実施形態では、一般的に、相互接続 560 を形成する材料を 1 つのセルの端部に平行に位置させて、適切な量の熱および圧力を加えた後で、相互接続が 1 つのセルのカソードおよび隣接するセルのアノードの上に分布するようにする。

【0059】

熱または圧力の使用を伴わない方法（たとえば、インクジェット印刷、塗装 / 乾燥）によって、1 つまたは複数の相互接続 560a ~ 560f を形成することができる。随意に、熱転写法を用いて 1 つまたは複数の相互接続 560a ~ 560f を形成することもできる。

【0060】

或る実施形態では、本明細書に記載したようなメッシュ（たとえば、接着剤のメッシュ）で 1 つまたは複数の相互接続 560a ~ 560f を形成することもできる。

図 13 は、共通基板 3140 および 3145 を共有する光起電力セル 3110、3120、および 3130 を備える太陽電池モジュール 3100 を示す。各光起電力セルは接着剤 3147 と、カソード 3150 と、光活性層 3160 と、電荷キャリア層 3170 と、アノード 3180 と、接着剤 3190 とを備える。カソード 3150 は、接着剤 3190



を貫通して延び、アノード 3 1 8 0 と電気接触するように構成された（たとえば、ディンプル加工された、エンボス加工された）成形部 3 1 5 2 を備える。図 1 4 に示すように、カソード 3 1 5 0 は、複数の成形部 3 1 5 2 を有し、それらの間に非成形部がある。この構成では、カソード 3 1 5 0 の成形部 3 1 5 2 によって、別個の相互接続部品を使用せずにカソード 3 1 5 0 とアノード 3 1 8 0 間に電気接続が形成される。

#### 【0061】

図 1 4 に円形として示してあるが、成形部 3 1 5 2 は、より一般的には、あらゆる所望の形状（たとえば、正方形、円形、半円形、三角形、楕円形、台形、正弦波などの波形、異形）を有することができる。

#### 【0062】

カソード 3 1 5 0 は、一般的に、比較的薄い導電層で形成される。いくつかの実施形態では、金属箔または（たとえば、チタンまたはインジウムの）合金箔でカソード 3 1 5 0 を形成する。或る実施形態では、導電性材料（たとえば、金属、またはチタンやインジウムなどの合金）で被覆された表面を有するプラスチックの比較的薄い層でカソードを形成する（以下の、基板 3 1 4 0 および 3 1 4 5 に関する説明を参照のこと）。成形部 3 1 5 2 は、標準的な箔のエンボス加工技法を含む様々な技法を用いて形成することができる。たとえば、或る実施形態では、先が丸いミシン針を有するミシンの下に箔 3 1 5 0 を延在させることによって、成形部 3 1 5 2 を形成することができる。別の例として、いくつかの実施形態では、突起（たとえば、くぼみ）を有する回転ホイールの上に箔 3 1 5 0 を通過させることによって、成形部 3 1 5 2 を形成することができる。成形部 3 1 5 2 を、モジュール 3 1 0 0 中に組み込む前に箔 3 1 5 0 中に形成することができ、またはモジュール 3 1 0 0 が製造されるときに箔 3 1 5 0 中に成形部 3 1 5 2 を形成することもできる（以下の説明を参照のこと）。電極 3 1 5 0 は、一般的に、エンボス加工部 3 1 5 2 を除いてほぼ平坦である。エンボス加工部 3 1 5 2 は、一般的に、あらゆる所望の形状を有することができるが、一般的に（たとえば、エンボス加工部 3 1 5 2 の形成が電極 3 1 5 0 中への穴の形成によりもたらさないような）微小な半径を有する。

#### 【0063】

図 1 5 および図 1 6 は、光起電力セル 8 1 0 0、8 2 0 0、8 3 0 0、および 8 4 0 0 を含む太陽電池モジュール 8 0 0 0 の部分分解図を示す。各セルはカソード側 8 0 1 0 とアノード側 8 0 2 0 を備える。各カソード側 8 0 1 0 は、基板 8 0 1 2 と、接着剤層 8 0 1 4（たとえば、0.0254 ミリメートル（1 ミル）厚の箔接着剤などの箔接着剤）と、導電層 8 0 1 6（たとえば、0.0508 ミリメートル（2 ミル）厚のチタン箔などの金属層）と、光活性層 8 0 1 8（たとえば、色素増感型チタニア層）とを備える。各アノード側は、基板 8 0 2 0 と触媒層 8 0 2 2（たとえば、白金含有触媒層）を備える。層 8 0 1 6 の各部分の領域 8 0 1 7 はセル 8 1 0 0、8 2 0 0、および 8 3 0 0 中に成形（たとえば、エンボス加工、ディンプル加工）され、隣接する光起電力セル中の層 8 0 1 6 間にはギャップ 8 0 1 9 が存在する。

#### 【0064】

モジュール 8 0 0 0 は、モジュール 8 0 0 0 のアセンブリの後で対応する層 8 0 1 6 の対応する部分 8 0 1 7 と直接接触し、それによって電気接続をもたらす導電性架橋 8 0 2 6 をさらに備える。架橋 8 0 2 6 は、一般的に弾性的かつ導電性である。たとえば、導電性粒子を含有する弾性的なポリママトリックスで架橋 8 0 2 6 を形成することができる（たとえば、十分な導電性を架橋 8 0 2 6 に供与するのに十分な充填で）。いくつかの実施形態では、1 つまたは複数の架橋 8 0 2 6 にチタンを（たとえば、チタン複合材の形態で）含有させることができる。図 1 5 および図 1 6 の分解図に別個の構成部品として示したが、いくつかの実施形態では、対応する層 8 0 1 6 の対応する部分 8 0 1 7 上に架橋 8 0 2 6 を直接配設することができる。たとえば、対応する層 8 0 1 6 の対応する部分 8 0 1 7 上に架橋 8 0 2 6 を印刷することができる。

#### 【0065】

モジュール 8 0 0 0 は、シール 8 0 2 8 および 8 0 2 9 も備える。シール 8 0 2 8 およ

10

20

30

40

50

び 8029 は、構成部品（たとえば、隣接するセル間）の漏れを低下させ、かつ／または（たとえば、水分が 1 つまたは複数のセル内に入る場合）構成部品の腐食を減少させる。モジュール 8000 をアセンブリングするとき、シール 8029 の上端および下端はそれぞれ層 8014 および 8022 に接触し、シール 8028 の上端および下端はそれぞれ層 8026 および 8022 に接触する。シール 8028 および 8029 は、一般的に、本明細書に記載したような接着材料で形成され、随意に 1 つまたは複数の構造部品（たとえば、1 つまたは複数のビード）を含むこともできる。シール 8028 および／または 8029 が 1 つまたは複数の構造部品を含有する実施形態では、構造部品は、一般的に、非導電性であり、かつ／または、シール 8028 および／または 8029 が非導電性になるように充分低い充填状態にある。

10

#### 【0066】

モジュール 8000 は、さらに端部シール 8030 および 8032（たとえば、接着性端部シール）を備える。

理論によって縛られることは望まないが、図 15 および図 16 に示す一般的な設計を有するモジュールは、依然として良好な電力および変換効率をもたらす比較的薄い太陽電池モジュールを可能にすることができると考えられている。複数の接着性層（たとえば、シール 8028 および 8029）を使用することにより、接着剤を貫通して層の一部分を押し込まないでモジュールの構築が実現できるという点で、利点をもたらすことができると考えられている。これによって、電極の 1 つを引かく可能性を低下させることもできるが、この引っかけにより、導電性の低下した局所的な区域が生じる恐れがある。

20

#### 【0067】

図 17 は、カソード 3350 は、接着剤 3190 を貫通して延び、アノード 3180 と電気接触するように構成された湾曲端部 3352 を有する太陽電池モジュール 4000 を示す。図 18 に示すように、湾曲端部 3352 は線を形成するカソードを形成する。この構成で、カソード 3350 の湾曲端部 3352 は、別個の相互接続部品を使用せずに、カソード 3350 とアノード 3180 の間の電気接続を形成する。

#### 【0068】

図 18 に連続的なものとして示したが、いくつかの実施形態では、湾曲端部 3352 は非連続的であってもよい（たとえば、図 18 に示すように見たとき、湾曲端部を有するカソード 3350 の交互に入れ替わる部分があり得る）。

30

#### 【0069】

さらに、カソードが或る材料で形成された箔で形成されると説明してきたが、いくつかの実施形態では、1 つまたは複数の主要な箔を異なる材料で形成することもできる。いくつかの実施形態では、これらのカソードを透明な導電性材料の箔で形成することができる。このような材料の例としては、インジウムスズ酸化物（ITO）、酸化スズ、フッ素ドーパ酸化スズ、および酸化亜鉛などの或る金属酸化物が含まれる。

#### 【0070】

他の実施形態では、カソードは、導電メッシュなどの導電性材料の不連続層であってもよい。適切なメッシュ材料には、パラジウム、チタン、白金、ステンレス鋼およびそれらの合金などの金属を含む。このメッシュ材料は金属ワイアを含むことができる。この導電性メッシュ材料は、金属などの導電性材料で被覆された電気絶縁性材料を含むこともできる。この電気絶縁性材料は、編みファイバや光ファイバなどのファイバを含むことができる。編みファイバの例には、合成ポリマーファイバ（たとえば、ナイロン）と天然ファイバ（たとえば、亜麻、綿、羊毛、および絹）を含む。このメッシュ電極は、たとえば、連続的な製造プロセスによる光起電力セルの形成を促進するように可撓性であってもよい。

40

#### 【0071】

メッシュカソードは、たとえば、ワイア（またはファイバ）径、およびメッシュ密度（すなわち、メッシュの単位面積当たりのワイア（またはファイバ）数）に関して多種多様の形態をとり得る。メッシュは、たとえば、任意の数の開口形状（たとえば、正方形、円形、半円形、三角形、ダイヤモンド形状、楕円形、台形、および／または、異形）を有し

50

た、規則的なもの、あるいは不規則なものであってもよい。たとえば、メッシュのワイヤ（またはファイバ）の電気伝導率、所望の光透過率、可撓性、および／または機械的強度に基づいて、メッシュ形状因子（たとえば、ワイヤ径、メッシュ密度など）を選択することができる。メッシュ電極は、一般的に、約 1 ミクロンから約 400 ミクロンの範囲の平均ワイヤ（またはファイバ）径、および約 60 % から約 95 % の範囲のワイヤ（またはファイバ）間の平均開口面積を有するワイヤ（またはファイバ）メッシュを備える。たとえば、インクジェット印刷、リソグラフィ、および／またはアブレーション（たとえば、レーザアブレーション）などの様々な技法を用いてメッシュ電極を形成することができる。いくつかの実施形態では、メッシュ電極を拡張金属メッシュで形成することができる。メッシュ電極は、2003 年 3 月 23 日に出願された米国特許出願第 10 / 395, 823 号、および 2003 年 11 月 26 日に提出された米国特許出願第 10 / 723, 554 号に論じられている。

10

#### 【0072】

接着剤 3147 および 3190 は、一般的に、任意の電気絶縁性接着剤で形成することができる。このような接着剤の例には、オレフィン、アクリレート、およびウレタンのコポリマー、ならびに他のホットメルト接着剤を含む。市販されている接着剤の例には、バイネル（登録商標）接着剤（デュポンから入手可）、熱ボンド接着剤（thermobond adhesive）845（3M から入手可）、およびダイニオン（商標）（3M から入手可）を含む。

#### DSSC

20

いくつかの実施形態では、光起電力セルは DSSC である。図 19 は、基板 4310 および 4370 と、導電性層（電極）4320 および 4360 と、触媒層 4330 と、電荷キャリア層 4340 と、光活性層 4350 とを備える DSSC 4300 の断面図である。

#### 【0073】

光活性層 4350 は、一般的に、1 つまたは複数の色素とこの色素に関連する半導体材料とを含む。

色素の例には、黒色色素（たとえば、トリ（イソチオシアナート）ルテニウム（II）2, 2' : 6', 2" テルピリジン - 4, 4', 4" トリカルボン酸、トリテトラブチルアンモニウム塩）と、橙色素（たとえば、トリ（2, 2' ビピリジル 4, 4' ジカルボキシレート）ルテニウム（II）ジクロライド）と、紫色色素（たとえば、シスビス（イソチオシアナート）ビス（2, 2' ビピリジル - 4, 4' ジカルボキシレート）ルテニウム（II））と、赤色色素（たとえば、エオシン）と、緑色色素（たとえば、メロシアニン）と、青色色素（たとえば、シアニン）とを含む。さらなる色素の例には、アントシアニン、ポルフィリン、フタロシアニン、スクアラート（squarates）、および或る金属含有色素を含む。

30

#### 【0074】

いくつかの実施形態では、光活性層 4350 は、パターンを形成する複数の異なる色素を含むことができる。パターンの例には、迷彩パターン、瓦パターン、および屋根板パターンを含む。いくつかの実施形態では、このパターンは、携帯式電子デバイス（たとえば、ラップトップコンピュータ、携帯電話）の筐体のパターンを画定することができる。或る実施形態では、光起電力セルによってもたらされるパターンが自動車の車体上のパターンを画定することができる。パターン付き光起電力セルは、たとえば、参照により本明細書に援用されている、本願権利者が所有する同時係属中の、2004 年 12 月 21 日に提出された米国特許出願第 60 / 638, 070 号に開示されている。

40

#### 【0075】

半導体材料の例には、構造式  $M \times O_y$  を有する材料を含み、式中 M は、たとえば、チタン、ジルコニウム、タンゲステン、ニオブ、ランタン、タンタル、テルビウム、またはスズであってもよく、x および y は 0 より大きい整数である。他の適切な材料には、硫化物と、セレン化物と、テルル化物と、チタン、ジルコニウム、タンゲステン、ニオブ、ランタン、タンタル、テルビウム、スズ、またはそれらの組合せの酸化物とを含む。たとえば

50

、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{CaTiO}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{WO}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SnO}_2$ 、チタン酸ナトリウム、セレン化カドミウム ( $\text{CdSe}$ )、硫化カドミウム、およびニオブ酸カリウムは適切な材料であり得る。

【0076】

層4350内に含まれる半導体材料は、一般的に、ナノ粒子の形態である。いくつかの実施形態では、このナノ粒子の平均サイズは約2nm～約100nm（たとえば、約10nm～約40nm、約20nmなど）である。ナノ粒子半導体材料の例は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の、米国特許出願第10/351,249号に開示されている。

【0077】

このナノ粒子を、たとえば、高温焼結、または反応性架橋剤によって相互接続することができる。

或る実施形態では、この架橋剤は、非ポリマー化合物であってもよい。この架橋剤は、半導体粒子と同様な電気伝導率を示すことができる。たとえば、 $\text{TiO}_2$ 粒子の場合、この架橋剤は、チタンアルコキシド中に存在するもののようなTi-O結合を含むことができる。理論によって縛られることは望まないが、チタンテトラアルコキシド粒子は、 $\text{TiO}_2$ 粒子および基板上の導電性被覆と互いに反応して、この粒子を互いに接続させかつ導電性被覆（図示せず）と接続させるチタン酸化物架橋を形成することができると考えられる。その結果、この架橋剤は半導体層の安定性および完全性を高める。この架橋剤は、たとえば、金属アルコキシド、金属アセテート、または金属ハライドなどの有機金属類を含むことができる。いくつかの実施形態では、この架橋剤は、半導体中の金属と異なる金属を含むことができる。例示的な架橋ステップでは、ゾル-ゲル前駆体剤、たとえば、チタンテトラブトキシドなどのチタンテトラアルコキシドを、エタノール、プロパノール、ブタノール、あるいは、高次の1次、2次、または3次アルコールなどの溶媒と混合することによって、0～100%の重量比、たとえば、約5～約25%、または約20%の重量比で、架橋剤溶液を調製することができる。溶媒は、一般的に、前駆体剤に対して安定な、たとえば、この前駆体剤と反応して金属酸化物（たとえば、 $\text{TiO}_2$ ）を形成しないあらゆる材料であってもよい。この溶媒は、好ましくは、ほとんど水分を含まず、このため、 $\text{TiO}_2$ の沈殿を生じることができる。このような架橋剤は、たとえば、参照により本明細書に援用されている米国公開特許公報2003-0056821号に開示されている。

【0078】

いくつかの実施形態では、架橋剤は、ポリ(nブチルチタネート)などのポリマー架橋剤であってもよい。ポリマー架橋剤の例は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第10/350,913号に開示されている。

【0079】

架橋剤は、相互接続されたナノ粒子層の作製を、比較的低温（たとえば、約300未満）、およびいくつかの実施形態では室温で可能にすることができる。この比較的低温での相互接続法は、ポリマー基板を用いる連続的な（たとえば、ロール・ツー・ロール）製造プロセスに適用することができる。

【0080】

この相互接続されたナノ粒子は、一般的に、色素（複数可）によって光増感される。この色素は、入射光の電気への変換を促進して所望の光起電力効果を生じさせる。色素は入射光を吸収して、色素中での電子の励起をもたらすと考えられている。次いで、励起電子のエネルギーは、色素の励起準位から相互接続されたナノ粒子の伝導帯内へ移動される。この電子エネルギー移動は、電荷の効果的な分離および所望の光起電力効果をもたらす。したがって、相互接続されたナノ粒子の伝導帯中の電子が、外部負荷を駆動させることができるようにされる。

【0081】

10

20

30

40

50

色素（複数可）は、ナノ粒子上に吸着（たとえば、化学吸着および／または物理吸着）することができる。色素は、たとえば、動作波長帯域中（たとえば、可視スペクトル内）に光子を吸収する能力、ナノ粒子の伝導帯中に自由電子（または、正孔）を発生させる能力、ナノ粒子と複合材料を形成し、またはナノ粒子に吸着される能力、および／またはその色に基づいて選択することができる。

#### 【0082】

いくつかの実施形態では、光活性層4350は、相互接続された半導体酸化物ナノ粒子材料の表面に増感色素で吸着される1つまたは複数の補助増感剤をさらに含むことができ、これにより、（たとえば、電荷移動効率を向上させ、かつ／または相互接続された半導体酸化物ナノ粒子材料から増感色素までの電子の逆移動を減少させることによって）DSSCの変換効率を増大させることができる。光増感された相互接続ナノ粒子材料を形成するとき、これらの増感色素および補助増感剤を同時にまたは別個に加えることができる。この補助増感剤は、電子を受容体に供与して安定したカチオンラジカルを形成することができ、これにより、増感色素から半導体酸化物ナノ粒子材料までの電荷移動の変換効率を促進させ、かつ／または増感色素または補助増感剤までの電子の逆移動を減少させることができる。この補助増感剤は、（1）窒素原子が結合している芳香環の混成軌道を有する、窒素原子上の自由電子対の共役状態、および電子移動の後にこれらの混成軌道によってもたらされるカチオンラジカルの共鳴安定性、ならびに／または（2）補助増感剤を半導体酸化物にしっかりと固定する働きをする、カルボキシやリン酸塩などの配位基を含むことができる。適切な補助増感剤の例には、芳香族アミン（たとえば、トリフェニルアミンおよびその誘導体などの色）、カルバゾール、ならびに他の縮合環類似体を含む。補助増感剤を含む光活性層の例は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第10/350,919号に開示されている。

10

20

#### 【0083】

いくつかの実施形態では、光活性層4350は、半導体材料のマクロ粒子をさらに含むことができ、この半導体材料では、少なくともいくつかの半導体マクロ粒子が互いに化学的に結合し、少なくともいくつかの半導体ナノ粒子が半導体マクロ粒子に付着されている。色素（複数可）は、この半導体材料上に吸着（たとえば、化学吸着および／または物理吸着）される。マクロ粒子は、平均粒子サイズが少なくとも約100nm（たとえば、少なくとも約150nm、少なくとも約200nm、少なくとも約250nm）の粒子の凝集体を指す。光活性層中にマクロ粒子を含む光起電力セルの例は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第60/589,423号に開示されている。

30

#### 【0084】

或る実施形態では、DSSCは、（たとえば、約300 未満などの比較的低い処理温度を用いて）光起電力材料の基材への接着を促進することができる被覆を含むことができる。このような光起電力セルおよび方法は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第10/351,260号に開示されている。

#### 【0085】

導電性層4320の組成および厚さは、一般的に、所望の電気伝導率、光学特性、および／または層の機械的特性に基づいて選択される。いくつかの実施形態では、層4320は透明である。このような層を形成するのに適した透明材料の例には、インジウムスズ酸化物（ITO）、酸化スズ、フッ素ドープ酸化スズなどの或る金属酸化物を含む。いくつかの実施形態では、導電性層4320を箔（たとえば、チタン箔）で形成することができる。導電性層4320の厚さは、たとえば、約100nm～500nm（たとえば、約150nm～300nm）であってもよい。

40

#### 【0086】

或る実施形態では、導電性層4320は、不透明（すなわち、そこに入射する可視スペクトルエネルギーの約10%未満だけ透過できる）であってもよい。たとえば、層432

50

0 は、銅、アルミニウム、インジウム、または金などの不透明金属の連続層から形成することができる。いくつかの実施形態では、導電性層は、その上に形成された相互接続ナノ粒子材料を有することができる。そのような層は、たとえば、ストリップ（たとえば、第 1 および第 2 の可撓性基板間に制御された大きさおよび相対的な間隔を有する）の形態であってもよい。このような D S S C の例は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 1 0 / 3 5 1 , 2 5 1 号に開示されている。

#### 【 0 0 8 7 】

いくつかの実施形態では、導電性層 4 3 2 0 は、導電性材料の不連続層を含むことができる。たとえば、導電性層 4 3 2 0 は、導電性メッシュを含むことができる。適切なメッシュ材料には、パラジウム、チタン、白金、ステンレス鋼、およびそれらの合金などの金属を含む。いくつかの実施形態では、このメッシュ材料は金属ワイアを含む。この導電性メッシュ材料は、金属などの導電性材料で被覆された電気絶縁性材料を含むこともできる。この電気絶縁性材料は、織物ファイバやモノフィラメントなどのファイバを含むことができる。ファイバの例には、合成ポリマーファイバ（たとえば、ナイロン）、および天然ファイバ（たとえば、亜麻、綿、羊毛、絹）を含む。このメッシュ導電性層は、たとえば、連続的な製造プロセスによる D S S C の形成を促進させるために可撓性であってもよい。メッシュ導電性層を有する光起電力セルは、たとえば、それぞれ参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 1 0 / 3 9 5 , 8 2 3 号、1 0 / 7 2 3 , 5 5 4 号、および 1 0 / 4 9 4 , 5 6 0 号に開示されている。

10

20

#### 【 0 0 8 8 】

このメッシュ導電性層は、たとえば、線（またはファイバ）径およびメッシュ密度（すなわち、メッシュの単位面積当たりの線（またはファイバ）数）に関して、多種多様の形態をとることができる。このメッシュは、任意の数の開口形状について、たとえば、規則的であってもよく、または不規則であってもよい。たとえば、メッシュの線（またはファイバ）の電気伝導率、所望の光透過率、可撓性、および/または機械的強度に基づいて、メッシュ形状因子（たとえば、ワイア径、メッシュ密度など）を選択することができる。メッシュ導電性層は、一般的に、約 1 ミクロン～約 4 0 0 ミクロンの範囲の平均ワイア（またはファイバ）径、および約 6 0 % ～約 9 5 % の範囲のワイア（またはファイバ）間の平均開口面積を有するワイア（またはファイバ）メッシュを備える。

30

#### 【 0 0 8 9 】

触媒層 4 3 3 0 は、一般的に、下に位置する電荷キャリア層中での酸化還元反応を触媒することができる材料で形成される。触媒層を形成することができる材料の例には、白金、ならびにポリチオフェン、ポリピロール、ポリアニリン、およびそれらの誘導体などのポリマーを含む。ポリチオフェン誘導体の例には、ポリ（3, 4 - エチレンジオキシチオフェン）（「P E D O T」）、ポリ（3 - ブチルチオフェン）、ポリ[ 3 \_（4 - オクチルフェニル）チオフェン]、ポリ（チエノ[ 3, 4 - b ]チオフェン）（「P T 3 4 b T」）、およびポリ（チエノ[ 3, 4 - b ]チオフェン - コ - 3, 4 - エチレンジオキシチオフェン）（「P T 3 4 b T - P E D O T」）を含む。1 つまたは複数のポリマーを含む触媒層の例は、たとえば、両方とも参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 1 0 / 8 9 7 , 2 6 8 号、および 6 0 / 6 3 7 , 8 4 4 号に開示されている。

40

#### 【 0 0 9 0 】

基板 4 3 1 0 は、可撓性ポリマーなどの機械的に可撓性材料、またはガラスなどの剛性材料から形成することができる。可撓性基板の形成に使用することができるポリマーの例には、ポリエチレンナフタレート（P E N）、ポリエチレンテレフタレート（P E T）、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリアミド、ポリメチルメタクリレート、ポリカーボネート、および/またはポリウレタンを含む。可撓性基板は、織物ベースの被覆および積層などの連続的な製造プロセスを促進させることができる。しかし、たとえば、参照により本明細書に援用されている、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 1 0 / 3

50

5 1, 2 6 5 号に開示されているような剛性基板材料を用いることもできる。

【0091】

基板4310の厚さは、所望のように変えることができる。一般的に、基板厚およびその種類は、DSSCが製造、配設、および使用の困難性に耐えるのに十分な機械的支持をもたらすように選択される。基板4310は、約6ミクロン～約5000ミクロン（たとえば、約6ミクロン～約50ミクロン、約50ミクロン～約5000ミクロン、約100ミクロン～約1000ミクロン）の厚さを有することができる。

【0092】

導電性層4320が透明な実施形態では、基板4310が透明材料で形成される。基板4310を、たとえば、シリカ系ガラスなどの透明ガラス、または上記で挙げたポリマーなどのポリマーから形成することができる。このような実施形態では、導電性層4320も透明であってもよい。

【0093】

基板4370および導電性層4360はそれぞれ、基板4310および導電性層4320に関して上記で説明したとおりであってもよい。たとえば、基板4370を、基板4310と同じ材料から形成し、基板4310と同じ厚さを有することができる。しかし、いくつかの実施形態では、基板4370が1つまたは複数の点で4310と異なることが望ましいことがある。たとえば、DSSCを異なる応力を加えるプロセスを使用して異なる基板上に製造する場合、基板4370が基板4310よりいくらか機械的に頑丈であることが望ましい場合がある。したがって、基板4370は異なる材料から形成され、または基板4310と異なる厚さを有することがある。さらに、使用の際、1つの基板のみが照明源に曝されている実施形態では、基板および/または導電性層の両方が透明である必要はない。したがって、基板および/または対応する導電性層の一方は不透明であってもよい。

【0094】

電荷キャリア層4340は、一般的に、接地電位または電流源から光活性層4350までの電荷移動を促進させる材料を含む。適切な電荷キャリア材料の一般的な種類には、溶媒系の液体電解質と、多価電解質と、ポリマー電解質と、固体電解質と、n型およびp型の運搬物質（たとえば、導電ポリマー）と、ゲル電解質とを含む。ゲル電解質の例は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第10/350,912号に開示されている。電荷キャリア媒質の他の選択も可能である。たとえば、電荷キャリア層は、構造式LiXを有するリチウム塩を含むことができ、式中、Xは、ヨウ化物、臭化物、塩化物、過塩素酸塩、チオシアン酸塩、トリフルオロメチルスルホン酸塩、またはヘキサフルオロリン酸塩である。

【0095】

電荷キャリア媒質は、一般的に、酸化還元システムを備える。適切な酸化還元システムは、有機および/または無機酸化還元システムを備え得る。これらのシステムの例には、セリウム(III)サルフェート/セリウム(IV)、臭化ナトリウム/臭素、ヨウ化リチウム/ヨウ素、 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$ 、およびビオロゲンを含む。さらに、電解質溶液は、構造式 $\text{MiXj}$ を有し、式中、iおよびjは1以上であり、Xは陰イオン、Mはリチウム、銅、バリウム、亜鉛、ニッケル、ランタニド元素、コバルト、カルシウム、アルミニウム、またはマグネシウムである。適切な陰イオンには、塩化物、過塩素酸塩、チオシアン酸塩、トリフルオロメチルスルホン酸塩、およびヘキサフルオロリン酸塩を含む。

【0096】

いくつかの実施形態では、電荷キャリア媒質はポリマー電解質を含む。たとえば、このポリマー電解質は、ポリ(ビニルハロゲン化イミダゾリウム)、ならびにヨウ化リチウムおよび/またはポリビニルピリジニウム塩を含むことができる。実施形態では、この電荷キャリア媒質は、ヨウ化リチウム、ヨウ化ピリジニウム、および/または置換ヨウ化イミダゾリウムを含むことができる。

10

20

30

40

50

## 【0097】

この電荷キャリア媒質は、様々なタイプのポリマー多価電解質を含むことができる。たとえば、適切な多価電解質は、重量が約5%～約95%（たとえば、5～60%、5～40%、または5～20%）のポリマー（たとえば、イオン導電ポリマー）、および重量が約5%～約95%（たとえば、35～95%、60～95%、または80～95%）の可塑剤と、約0.05M～約10M（たとえば、約0.05～2M、0.05～1M、または0.05～0.5M）の、有機または無機ヨウ化物の酸化還元電解質と、約0.01M～約1M（たとえば、約0.05～0.5M、0.05～0.2M、または0.05～0.1M）のヨウ化物とを含むことができる。このイオン導電ポリマーは、たとえば、ポリエチレンオキシド（PEO）、ポリアクリロニトリル（PAN）、ポリメタクリル酸メチル（PMMA）、ポリエーテル、およびポリフェノールを含むことができる。適切な可塑剤の例には、炭酸エチル、プロピレンカーボネート、炭酸塩の混合物、有機リン酸塩、ブチロラクトン、およびジアルキルフタレートを含む。

10

## 【0098】

いくつかの実施形態では、電荷キャリア層4340は、1つまたは複数の両性化合物を含むことができる。1つまたは複数の両性化合物を含む電荷キャリア層は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第11/000,276号に開示されている。

## 【0099】

図20は、基板5100をローラ5150間に進めることによってDSSCを製造するためのプロセス（ロール・ツー・ロール法）5000を示す。基板5100は、製造稼働中、連続的、周期的、または不規則にローラ5150間に進めることができる。

20

## 【0100】

導電性層5200（たとえば、チタン箔）を、基板5100に隣接する位置5120に取り付ける。

次いで、相互接続ナノ粒子材料を導電性層に隣接する位置5130上に形成する。この相互接続ナノ粒子材料は、架橋剤（たとえば、ポリ（n-ブチルチタネート）などのポリマー架橋剤）と、金属酸化物ナノ粒子（たとえば、チタニア）とを含有する溶液を塗布することによって形成することができる。いくつかの実施形態では、これらのポリマー架橋剤および金属酸化物ナノ粒子を別個に塗布して相互接続ナノ粒子材料を形成する。これらのポリマー架橋剤および金属酸化物ナノ粒子を（たとえば、ロール・ツー・ロール法に使用される装置に存在するオープン中で）加熱して、相互接続ナノ粒子材料を形成することができる。

30

## 【0101】

次いで、1つまたは複数の色素を相互接続ナノ粒子材料に隣接する位置5350に（たとえば、スクリーン印刷、インクジェット印刷、またはグラビア印刷を用いて）塗布して光活性層を形成する。

## 【0102】

電荷キャリア層をパターン付光活性層に隣接する位置5160に堆積させる。この電荷キャリア層を上記で挙げたもののような既知の技法を用いて堆積させることができる。

40

導電性層5600（たとえば、ITO）を基板5700に隣接する位置5190に取り付ける。

## 【0103】

触媒層前駆体を導電性層5600に隣接する位置5180に堆積させる。この触媒層前駆体は、たとえば、電気化学セル中のヘキサクロロ白金酸を用いる電気化学析出、または白金化合物（たとえば、ヘキサクロロ白金酸）を含有する被覆の熱分解を用いて、導電性層5600上に堆積させることができる。一般的に、触媒層前駆体を、スピンコーティング、ディップコーティング、ナイフコーティング、バーコーティング、吹き付けコーティング、ローラコーティング、スロットコーティング、グラビアコーティング、スクリーンコーティング、および/またはインクジェット印刷などの既知のコーティング技法を用い

50



て堆積させることができる。次いで、この触媒層前駆体を（たとえば、ロール・ツー・ロール法に使用される装置に存在するオープン中で）加熱して触媒層を形成する。いくつかの実施形態では、導電性材料 5600 を、先に進む基板 5700 に取り付けの前に少なくとも部分的にこの触媒層で被覆することができる。或る実施形態では、触媒層を、導電性層 5600 に（たとえば、前駆体の存在無しで）直接塗布する。

#### 【0104】

いくつかの実施形態では、この方法は、被覆を切断し第 1 被覆基材の少なくとも一部分を溶かすのに十分な高温で第 1 被覆基材の被覆に引っかき傷をつけ、かつ / または被覆を切断し第 2 被覆基材の少なくとも一部分を溶かすのに十分な高温で第 2 被覆基材の被覆に引っかき傷をつけること、および随意にこれらの第 1 および第 2 の基材を接合して太陽電池モジュールを形成することを含むことができる。金属箔付の DSSC およびその製造方法は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 10 / 351, 264 号に開示されている。

10

#### 【0105】

或る実施形態では、この方法は、光起電力セルおよび / またはモジュールの端部を切り取りかつ / またはシールする（たとえば、光活性部品を実質的に鈍感な環境で雰囲気中に封止する）ために切断（たとえば、超音波切断）することを含むことができる。このような方法の例は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 10 / 351, 250 号に開示されている。

ポリマー光起電力セル

20

或る実施形態では、光起電力セルはポリマー光起電力セルである。図 21 は、基板 6610 および 6670 と、導電性層 6620 および 6660 と、正孔遮断層 6630 と、光活性層 6640 と、正孔キャリア層 6650 とを備えるポリマー光起電力セル 6600 を示す。

#### 【0106】

一般的に、基板 6610 および / または基板 6670 は、DSSC 中の基板に関して上に記載したとおりであってもよい。例示的な材料には、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリエチレンナフタレート（PEN）、またはポリイミドを含む。ポリイミドの例は、カプトン（KAPTON）（登録商標）ポリイミド被膜（E. I. デュポン・ド・ヌムール社から入手可能）である。

30

#### 【0107】

一般的に、導電性層 6620 および / または導電性層 6660 は、DSSC 中の導電性層に関して上に記載したとおりであってもよい。

一般的に、正孔遮断層 6630 は、光起電力セル 6600 中で使用される厚さで、電子を導電性層 6620 へ輸送し正孔の導電性層 6620 への輸送をほぼ遮断する材料で形成される。層 6630 を形成することができる材料の例には、LiF 金属酸化物（たとえば、酸化亜鉛、酸化チタン）およびそれらの組み合わせを含む。層 6630 の厚さは、一般的に、所望のように変えることができるが、この厚さは一般的に最小で 0.02 ミクロン（たとえば、最小で約 0.03 ミクロン、最小で約 0.04 ミクロン、最小で約 0.05 ミクロン）の厚さ、および / または最大で約 0.5 ミクロン（たとえば、最大で約 0.4 ミクロン、最大で約 0.3 ミクロン、最大で約 0.2 ミクロン、最大で約 0.1 ミクロン）の厚さである。いくつかの実施形態では、この間隔は 0.01 ミクロン ~ 約 0.5 ミクロンである。いくつかの実施形態では、層 6630 は薄い LiF 層である。このような層は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 10 / 258, 708 号に開示されている。

40

#### 【0108】

一般的に、正孔キャリア層 6650 は、光起電力セル 6600 中で使用される厚さで、正孔を導電性層 6660 へ輸送し電子の導電性層 6660 への輸送をほぼ遮断する材料で形成される。層 6650 を形成することができる材料の例には、ポリチオフェン（たとえば、PEDOT）、ポリアニレン、ポリビニルカルバゾール、ポリフェニレン、ポリフェ

50

ニルビニレン、ポリシラン、ポリチエニレンビニレン、ポリイソチアナフタレンおよびそれらの組み合わせを含む。層 6 6 5 0 の厚さは、一般的に、所望のように変えることができるが、この厚さは一般的に最小で 0 . 0 1 ミクロン（たとえば、最小で約 0 . 0 5 ミクロン、最小で約 0 . 1 ミクロン、最小で約 0 . 2 ミクロン、最小で約 0 . 3 ミクロン、最小で約 0 . 5 ミクロン）、および / または最大で約 5 ミクロン（たとえば、最大で約 3 ミクロン、最大で約 2 ミクロン、最大で約 1 ミクロン）である。いくつかの実施形態では、この間隔は 0 . 0 1 ミクロン ~ 約 0 . 5 ミクロンである。

#### 【 0 1 0 9 】

光活性層 6 6 4 0 は、一般的に、電子受容体材料と電子供与体材料を含む。

電子受容体材料の例には、フラレン、オキサジアゾール、カーボンナノロッド、ディスコティック液晶、無機ナノ粒子（たとえば、酸化亜鉛、酸化タングステン、リン化インジウム、セレン化カドミウム、および / または硫化鉛で形成された無機ナノ粒子）、無機ナノロッド（たとえば、酸化亜鉛、酸化タングステン、リン化インジウム、セレン化カドミウム、および / または硫化鉛で形成された無機ナノロッド）、あるいは電子の受容または安定した陰イオンの形成が可能な残基を含むポリマー（たとえば、CN 基を含むポリマー、CF<sub>3</sub> 基を含むポリマー）を含む。いくつかの実施形態では、電子受容体材料は置換フラレン（たとえば、PCBM）である。いくつかの実施形態では、フラレンを誘導体化できる。たとえば、フラレン誘導体は、フラレン（たとえば、PCBG）と、ペンダント基（たとえば、エポキシ、オキセタン、またはフランなどの環状エーテル）と、ペンダント基をフラレンから離して配置する架橋基とを含むことができる。ペンダント基は、一般的に、十分に反応性が高いので、フラレン誘導体が別の化合物（たとえば、別のフラレン誘導体）と反応して反応生成物を調製することができる。誘導体化フラレンを含む光活性層は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 6 0 / 5 7 6 , 0 3 3 号に開示されている。電子受容体材料の組合せを用いることもできる。

#### 【 0 1 1 0 】

電子供与体材料の例には、ディスコティック液晶、ポリチオフェン、ポリフェニレン、ポリフェニルビニレン、ポリシラン、ポリチエニルビニレン、およびポリイソチアナフタレンを含む。いくつかの実施形態では、この電子供与体材料は、ポリ（3 - ヘキシルチオフェン）である。或る実施形態では、光活性層 6 6 4 0 は電子供与体材料の組合せを含むことができる。

#### 【 0 1 1 1 】

いくつかの実施形態では、光活性層 6 6 4 0 は、配向した電子供与体材料（たとえば、液晶（LC）材料）と、電子活性ポリマーバインダキャリア（たとえば、ポリ（3 - ヘキシルチオフェン）（P3HT）材料）と、複数のナノ結晶体（たとえば、ZnO、WO<sub>3</sub>、またはTiO<sub>2</sub>のうちの少なくとも1つを含む配向したナノロッド）とを含む。液晶（LC）材料は、たとえば、複数のディスコティックメソゲンユニットを含むディスコティックネマチックLC材料であってもよい。各ユニットは、中心基と複数の電気活性なアームを備えることができる。この中心基は、少なくとも1つの芳香環（たとえば、アントラセン基）を含むことができる。電気活性な各アームは、複数のチオフェン残基と複数のアルキル残基を含むことができる。光活性層内部で、これらのユニットは層をなし列をなして整列することができる。隣接する列のユニットの電気活性アームは互いにかみ合ってユニット間の電子移動を促進させることができる。また、この電気活性なポリマーキャリアをLC材料間に分配して、電子移動をさらに促進させることもできる。ナノ結晶体のそれぞれの表面は、複数の電気活性な界面活性剤基を含んで、LC材料およびポリマーキャリアからナノ結晶体までの電子移動を促進させることができる。各界面活性剤基は複数のチオフェン基を含むことができる。各界面活性剤を、たとえば、ホスホン末端基によってナノ結晶体に結合することができる。また、各界面活性剤基は複数のアルキル残基を含んで、ナノ結晶体の光活性層中への溶解度を高めることができる。光起電力セルの例は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願

第 6 0 / 6 6 4 , 3 3 6 号に開示されている。

【 0 1 1 2 】

或る実施形態では、層 6 6 4 0 中のこれらの電子供与体材料および電子受容体材料を、電子供与体材料、電子受容体材料およびそれらの混合相が層 6 6 4 0 中の少なくともいくつかの部分で 5 0 0 n m 未満の平均最大粒径を有するように選択することができる。このような実施形態では、層 6 6 4 0 の調製は、分散剤（たとえば、クロロベンゼン）を電子供与体および電子受容体の両方にとっての溶媒として用いることを含むことができる。このような光活性層は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 1 0 / 2 5 8 , 7 1 3 号に開示されている。

【 0 1 1 3 】

一般的に、光活性層 6 6 4 0 は、その上に衝突する光子に対応する電子および正孔を形成するように吸収することが比較的効率的なように十分厚く、かつ、これらの正孔および電子をデバイスの導電性層に移動させることが比較的効率的なように充分薄い。或る実施形態では、層 6 6 4 0 の厚さは、最小で 0 . 0 5 ミクロン（たとえば、最小で約 0 . 1 ミクロン、最小で約 0 . 2 ミクロン、最小で約 0 . 3 ミクロン）、および / または最大で約 1 ミクロン（たとえば、最大で約 0 . 5 ミクロン、最大で約 0 . 4 ミクロン）である。いくつかの実施形態では、層 6 6 4 0 の厚さは、0 . 1 ミクロン ~ 約 0 . 2 ミクロンである。

【 0 1 1 4 】

いくつかの実施形態では、光活性層 6 6 4 0 の透過率は、層 6 6 4 0 が曝される電場が変化するにつれて変化することができる。このような光起電力セルは、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 1 0 / 4 8 6 , 1 1 6 号に開示されている。

【 0 1 1 5 】

いくつかの実施形態では、セル 6 6 0 0 は、光活性層 6 6 4 0 と導電性層 6 6 2 0 の間の（たとえば、ドーパポリ（3 - アルキルチオフェン）などの共役ポリマーで形成された）さらなる層、および / または光活性層 6 6 4 0 と導電性層 6 6 6 0 の間の（たとえば、共役ポリマーで形成された）さらなる層をさらに含むことができる。これらのさらなる層（複数可）は、（たとえば、適切なドーピングによって実現される）1 . 8 e V のバンドギャップを有することができる。このような光起電力セルは、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許第 6 , 8 1 2 , 3 9 9 号に開示されている。

【 0 1 1 6 】

セル 6 6 0 0 は、随意に、光活性層 6 6 4 0 と導電性層 6 6 6 0 の間に薄い L i F 層をさらに含むことができる。このような層は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 1 0 / 2 5 8 , 7 0 8 号に開示されている。

【 0 1 1 7 】

いくつかの実施形態では、セル 6 6 0 0 を以下のように調製することができる。導電性層 6 6 2 0 を、従来の技法を用いて基板 6 6 1 0 上に形成することができる。導電性層 6 6 2 0 を、外部負荷と電気接続可能になるように構成する。層 6 6 3 0 を、たとえば、スロットコーティング、スピンコーティング、またはグラビアコーティングなどの溶液コーティング法を用いて、導電性層 6 6 2 0 上に形成する。光活性層 6 6 4 0 を、たとえば、溶液コーティング法を用いて層 6 6 3 0 上に形成する。層 6 6 5 0 を、たとえば、スロットコーティング、スピンコーティング、またはグラビアコーティングなどの溶液コーティング法を用いて光活性層 6 6 4 0 上に形成する。導電性層 6 6 2 0 を、たとえば、蒸着やスパッタリングなどの真空コーティング法を用いて層 6 6 5 0 上に形成する。

【 0 1 1 8 】

或る実施形態では、セル 6 6 0 0 の調製には、電子供与体材料の、所定の処理時間の間のガラス転移温度以上での熱処理を含むことができる。変換効率を向上させるために、処

10

20

30

40

50

理時間の少なくとも一部分で、光起電力セルの導電性層に印加されその無負荷電圧より大きい界磁誘起電圧 ( field voltage ) によって誘導される電場の影響下で、光起電力セルの熱処理を実施することができる。このような方法は、たとえば、参照により本明細書に援用された、本願権利者が所有する同時係属中の米国特許出願第 10 / 509 , 935 号に開示されている。

#### 【 0 1 1 9 】

##### 他の実施形態

或る実施形態を開示してきたが、他の実施形態も可能である。

例として、導電性相互接続がステッチである実施形態を説明してきたが、或る実施形態では、導電性相互接続はステーブルまたはグロメットの形態であってもよい。ステーブルおよび / またはグロメットを形成するために使用される適切な材料の例には、導電性ステッチ相互接続に関して上記で述べたものを含む。

10

#### 【 0 1 2 0 】

別の例として、隣接する光起電力セル間の重なり領域が 1 つの導電性相互接続で固定された実施形態を説明してきたが、いくつかの実施形態では、1 を超える (たとえば、2 以上、3 以上、4 以上、5 以上、6 以上、7 以上の) 導電性相互接続を用いて重なり領域を固定することができる。

#### 【 0 1 2 1 】

他の例として、カソードがアノードとの電気接続を形成する成形部または湾曲部を有する実施形態を説明してきたが、いくつかの実施形態では、アノードがカソードとの電気接続を形成する湾曲部または成形部を有する。或る実施形態では、カソードとアノードが共にこのような湾曲部または成形部を有する。

20

#### 【 0 1 2 2 】

さらなる例として、いくつかの実施形態では、カソードの成形部または湾曲部とアノードの成形部または湾曲部との間に、電気伝導性接着剤などの導電性材料を配設することができる。

#### 【 0 1 2 3 】

他の例として、太陽電池モジュールは 3 つの光起電力セルを備えるとして説明してきたが、太陽電池モジュールは 3 を超える (たとえば、4、5、6、7) 光起電力セルを含むことができる。

30

#### 【 0 1 2 4 】

別の例として、接着剤を、一般的に、任意の電気絶縁性接着剤で形成することができる。このような接着剤の例には、オレフィン、アクリレート、およびウレタンのコポリマー、ならびに他のホットメルト接着剤を含む。市販された接着剤の例には、バイネル (登録商標) 接着剤 (デュポンから入手可)、熱ボンド接着剤 845 (3M から入手可)、およびダイニオン (商標) THV 220 フッ素ポリマー接着剤 (3M から入手可) を含む。

#### 【 0 1 2 5 】

さらなる例として、電荷キャリア層中の材料は光活性層を形成する材料とは異なるとして上記で説明してきたが、いくつかの実施形態では、電荷キャリア層内の 1 つまたは複数の材料を光活性層内に少なくとも部分的に配設する (たとえば、混ぜる) ことができる。或る実施形態では、電荷キャリア層内の材料および光活性層内の材料を結合して、複合層を形成することができる。

40

#### 【 0 1 2 6 】

他の例として、保護層を上部基板および / または下部基板に塗布することができる。保護層を、たとえば、汚染物質 (たとえば、ごみ、水分、酸素、化学物質) を光起電力セルから締め出し、かつ / またはセルを機械的に強化するために使用することができる。保護層をポリマー (たとえば、フッ素化ポリマー) で形成することができる。

#### 【 0 1 2 7 】

さらなる例として、電荷キャリア層中の材料は光活性層を形成する材料とは異なるとして上記で説明してきたが、いくつかの実施形態では、電荷キャリア層内の 1 つまたは複数

50

の材料を少なくとも部分的に光活性層内に配設する（たとえば、混ぜる）ことができる。或る実施形態では、電荷キャリア層内の材料および光活性層内の材料を結合して、複合層を形成することができる。

#### 【0128】

他の例として、保護層を上部基板および／または下部基板に塗布することができる。保護層を、たとえば、汚染物質（たとえば、ごみ、水分、酸素、化学物質）を光起電力セルから締め出し、かつ／またはセルを機械的に強化するために使用することができる。保護層をポリマー（たとえば、フッ素化ポリマー）で形成することができる。

#### 【0129】

別の例では、1つまたは複数の導電性相互接続が使用される実施形態を説明してきたが、いくつかの実施形態では、導電性ではない1つまたは複数の相互接続を使用することができる。或る実施形態では、導電性ではない相互接続（たとえば、1つ以上の相互接続、2つ以上の相互接続、3つ以上の相互接続、4つ以上の相互接続、5つ以上の相互接続、6つ以上の相互接続）のみが使用される。いくつかの実施形態では、1つまたは複数の導電性相互接続および1つまたは複数の導電性ではない相互接続を使用する。

#### 【0130】

さらに、あるタイプの、相互接続を有する太陽電池モジュールを説明してきたが、相互接続を他のタイプのモジュールに用いることもできる。例には、アモルファスシリコン、セレン化カドミウム、テルル化カドミウム、硫化銅インジウム、および／またはヒ化銅インジウムガリウムで形成された活性材料を有する光起電力セルを備える太陽電池モジュールを含む。

#### 【0131】

太陽電池モジュールは、一般的に、あらゆる所望の用途の構成部品として使用することができる。図22は、外壁パネルまたは波型構造に適合した外装内に援用された太陽電池モジュールを示す。図23は、天幕内に援用された太陽電池モジュールを示す。図24は、携帯型電子デバイスの充電器に援用された太陽電池モジュールを示す。他の用途には、たとえば、パッケージ標識、センサ、窓の日よけ、窓のブラインド、および／または窓（たとえば、不透明な窓、半透明な窓）を含む。

#### 【0132】

以下の例は例示的なものであり、限定する意図はない。

#### 実施例1

光起電力セルを以下のように調製した。

#### 【0133】

厚50ミクロンのチタン箔を切断して、光起電力セルのカソードを形成するために0.7cm×7cmの大きさを有するようにした。光活性層の一部を形成するためにスロットコーティングを用いて、厚15ミクロンの $\text{TiO}_2$ の多孔質層をカソードの表面の1つに堆積させた。この $\text{TiO}_2$ 層を30～50mg/m<sup>2</sup>の光増感剤で被覆して光活性層を完成させた。

#### 【0134】

次いで、この光活性層に、酸化還元対 $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ を含む0.3～1.0g/m<sup>2</sup>の電解質を吸収させて、光起電力セル層内に電荷キャリア層を形成した。

光起電力セルのアノードは、厚300nmのITO層を長さ8cm、幅2cm、厚さ200ミクロンのPEN基板の表面にスパッタリングすることによって調製した。次いで、厚1nm未満の白金層をITO層の上面にスパッタリングして触媒層を形成した。THV接着剤（ダイニオンから入手可）を用いて、電解質を吸収した光活性層にこの触媒層を接合することによって光起電力セルを完成させた。

#### 【0135】

同じプロセスを用いて別の光起電力セルを調製した。

2つの光起電力セルのそれぞれをA.M.1.5（単位平方センチメートル当たり100mW）光源（Oriel Solar Simulator）で30秒間露光した。2つの光起電力セルそれ

ぞれの内部に発生した電流を測定し、電圧に対してプロットした。得られた結果を図 2 5 に示す。第 1 セルの変換効率は 4 . 5 7 % であり、第 2 セルの変換効率は 4 . 6 2 % であった。

【 0 1 3 6 】

第 1 セルの曲線因子は 6 0 . 4 % であり、第 2 セルの曲線因子は 5 8 . 9 % であった。

次いで、これら 2 つの光起電力セルを結合して図 5 に示す設計 ( 2 m m 幅の重なり領域 ) の太陽電池モジュールを作製した。スチールステーブル ( 互いから約 5 m m 離れた ) をこの重なり領域を貫通して打ち込んで 2 つの光起電力セルと一緒に電氣的に接続し、固定してモジュールを形成した。

【 0 1 3 7 】

このモジュールを上記で述べたのと同じ光源に同じ条件で 3 0 秒間露光させた。モジュール内に発生した電流を測定し、電圧に対してプロットした。得られた電流と電圧の関係を図 2 5 に示す。

【 0 1 3 8 】

モジュールの変換効率 4 . 6 7 % は、上記で述べたようにして決定した。モジュール曲線因子は 5 8 . 7 % であった。

すなわち、モジュールの曲線因子は、それぞれのセルの曲線因子よりほんの少しだけ高く、モジュールの変換効率は、それぞれのセルの個々の変換効率よりほんの少しだけ低かった。

【 0 1 3 9 】

他の実施形態は特許請求の範囲に記載される。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 4 0 】

【 図 1 】 2 つの光起電力セルを備える太陽電池モジュールの一実施形態の断面図。

【 図 2 】 太陽電池モジュールの別の実施形態の断面図。

【 図 3 】 図 2 の太陽電池モジュールの底面図。

【 図 4 】 3 つの光起電力セルを備える太陽電池モジュールの一実施形態の断面図。

【 図 5 】 3 つの光起電力セルを備える太陽電池モジュールの別の実施形態の断面図。

【 図 6 】 太陽電池モジュールの一実施形態の断面図。

【 図 7 】 図 6 の太陽電池モジュールの一部分の断面図。

【 図 8 】 太陽電池モジュール中の相互接続の一部分の、図 6 および図 7 に示した断面に垂直な方向における断面図。

【 図 9 】 直列構成の 3 つのセルを備える太陽電池モジュールの側面図。

【 図 1 0 】 図 9 の隣接するセル間の相互接続の詳細図。

【 図 1 1 】 1 つのセルのアノードと隣接するセルのカソードとの間に位置する相互接続ペーストを含む直列構成の 7 つのセルを備える太陽電池モジュールの側面図。

【 図 1 2 】 ペーストが適所に押し込まれた図 1 1 の側面図。

【 図 1 3 】 太陽電池モジュールの一実施形態の断面図。

【 図 1 4 】 太陽電池モジュール中のカソードの、図 1 3 の断面に垂直な方向における斜視図。

【 図 1 5 】 太陽電池モジュールの一実施形態の断面図。

【 図 1 6 】 図 1 5 に示した光起電力セルの一部分の断面図。

【 図 1 7 】 太陽電池モジュールの別の実施形態の断面図。

【 図 1 8 】 太陽電池モジュール中のカソードの、図 1 7 の断面に垂直な方向における斜視図。

【 図 1 9 】 D S S C の一実施形態の断面図。

【 図 2 0 】 D S S C の製造方法の一実施形態の概略図。

【 図 2 1 】 ポリマー光起電力セルの断面図。

【 図 2 2 】 太陽電池モジュールを備える構造を示す図。

【 図 2 3 】 太陽電池モジュールを備える構造を示す図。

10

20

30

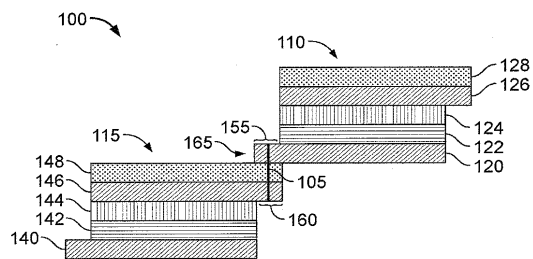
40

50

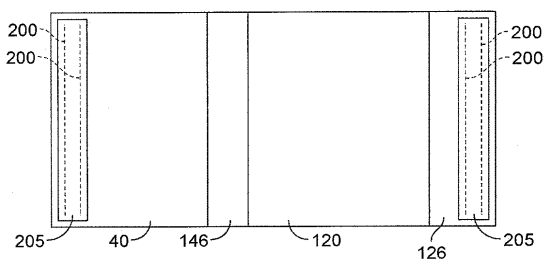
【図 2 4】太陽電池モジュールを備える構造を示す図。

【図 2 5】2つの個々のセル、およびこれら2つのセルの合成物によって形成されたモジュールの変換効率を示すグラフ。

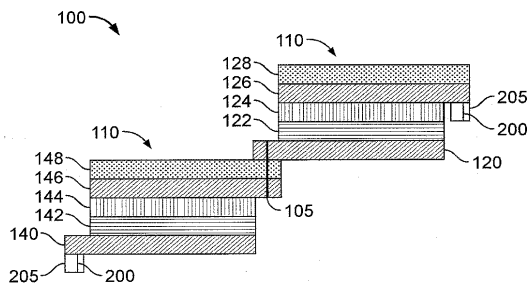
【図 1】



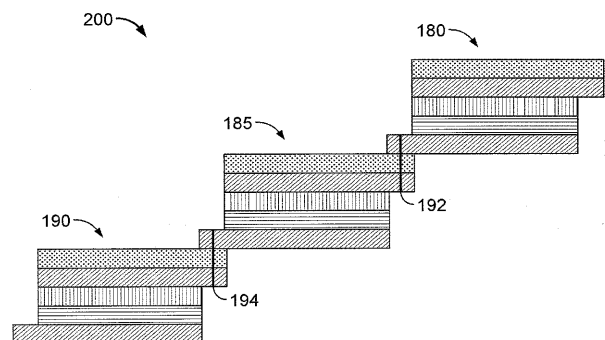
【図 3】



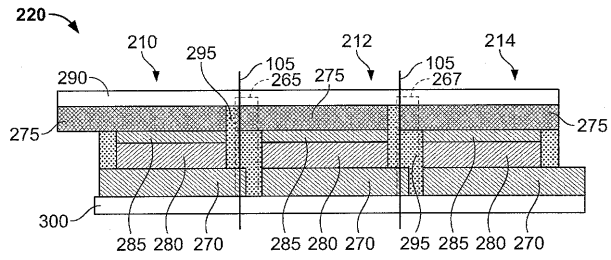
【図 2】



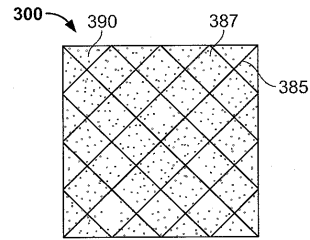
【図 4】



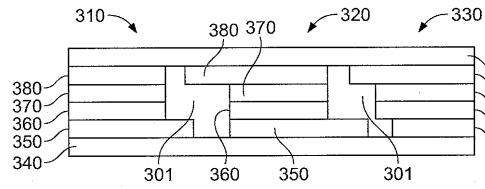
【図 5】



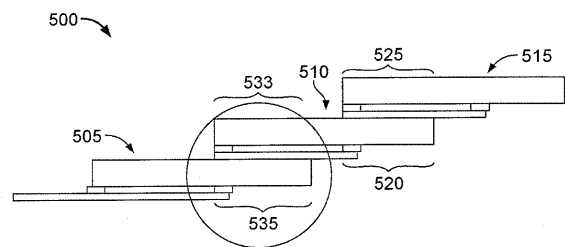
【図 8】



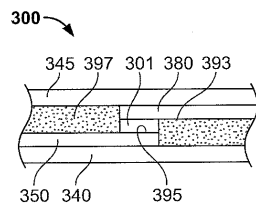
【図 6】



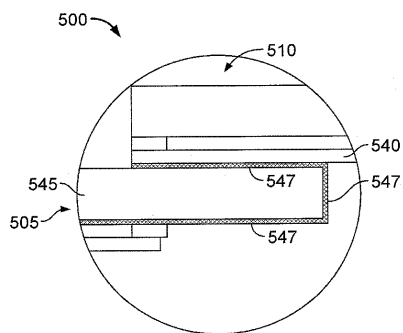
【図 9】



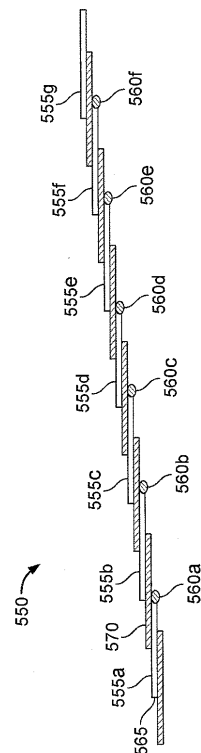
【図 7】



【図 10】

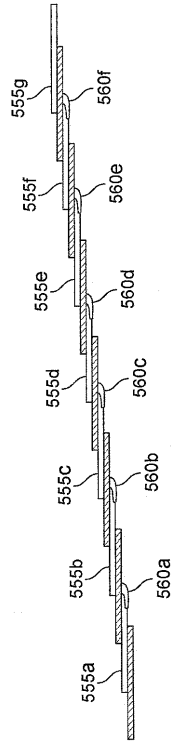


【図 11】

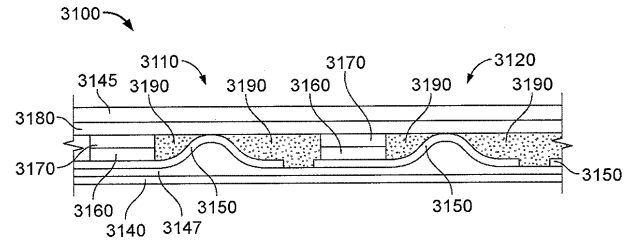




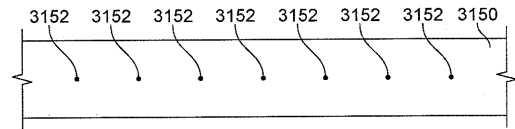
【 図 1 2 】



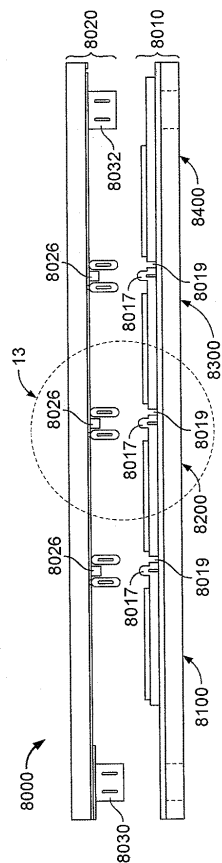
【 図 1 3 】



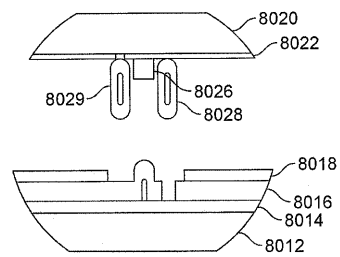
【 図 1 4 】



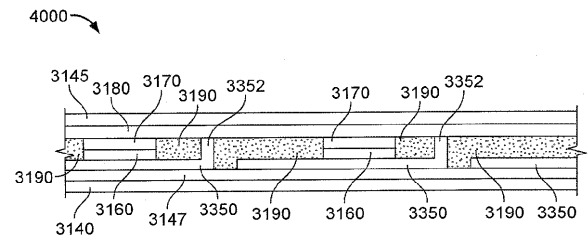
【 図 1 5 】



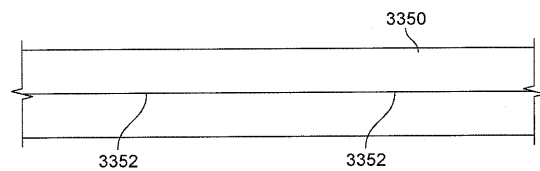
【 図 1 6 】



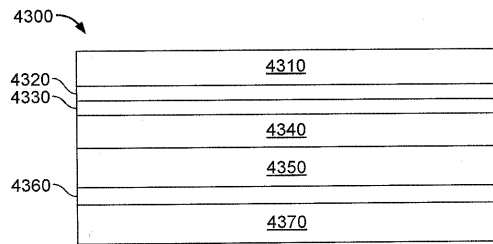
【 図 1 7 】



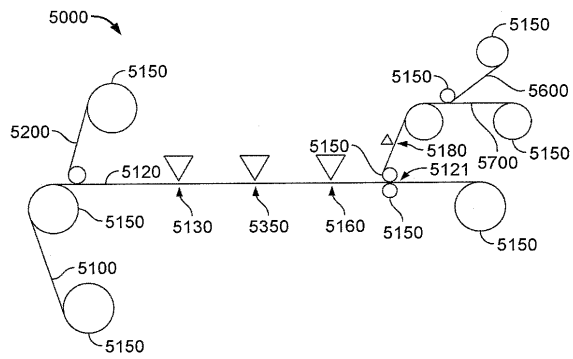
【 図 1 8 】



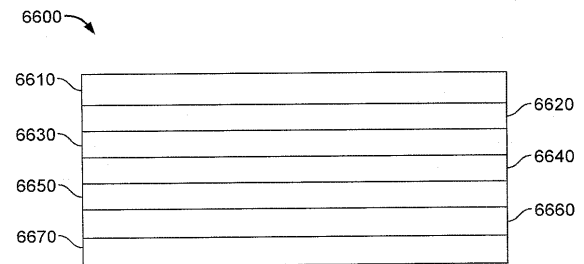
【図 19】



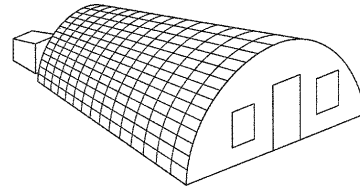
【図 20】



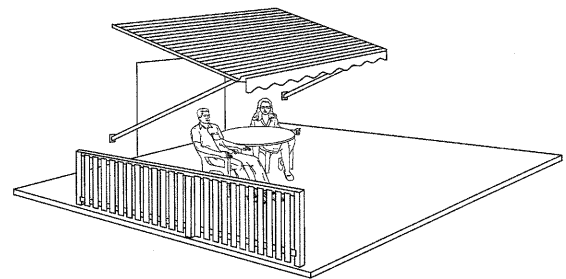
【図 21】



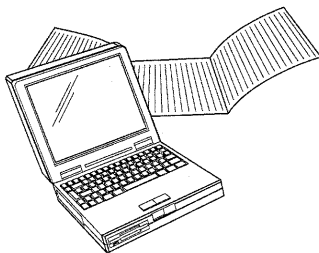
【図 22】



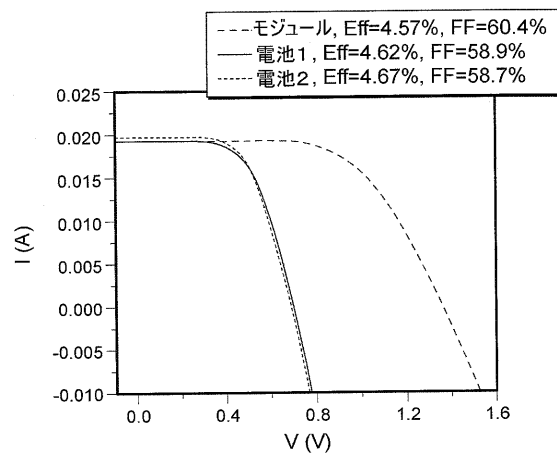
【図 23】



【図 24】



【図 25】



## フロントページの続き

- (72)発明者 リエン リ  
アメリカ合衆国 01863 マサチューセッツ州 エヌ・チェルムスフォード ウェルマン ア  
ベニュー 733
- (72)発明者 アラン モンテロ  
アメリカ合衆国 01985 マサチューセッツ州 ウェスト ニューバリー アルピオン レー  
ン 10
- (72)発明者 エドモンド モンテロ  
アメリカ合衆国 01966 マサチューセッツ州 ロックポート バック ビーチ ウェイ 1
- (72)発明者 ラッセル ゴーディアナ  
アメリカ合衆国 03054 ニューハンプシャー州 メリマック ペンローズ レーン 2
- (72)発明者 ケビン オリバー  
アメリカ合衆国 01867 マサチューセッツ州 リーディング ハイ ストリート 71
- (72)発明者 ケティンニ ジー・チティバブ  
アメリカ合衆国 03063 ニューハンプシャー州 ナシュア ハンプシャー ドライブ 46  
シー

F ターム(参考) 5F051 AA11 AA14 EA03 EA05 EA17 FA04 FA06 FA07 FA11 FA30  
GA05  
5H032 AA06 AS09 AS16 BB04 BB10 CC09 EE01 HH01  
5H043 AA03 AA19 BA26 CA08 CA13 CA21 DA05 FA02 FA24 FA26  
FA37 HA12D HA23D JA13D JA16D

【 外国語明細書 】

## **PHOTOVOLTAIC MODULE ARCHITECTURE**

### **CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS**

This application claims priority under 35 U.S.C. §119(e)(1) to U.S. Provisional Patent Application Serial No. 60/575,971, filed on June 1, 2004, and entitled “Photovoltaic Cells with Conductive Interconnects”; U.S. Provisional Patent Application Serial No. 60/590,312, filed on July 22, 2004, and entitled “Photovoltaic Modules”; U.S. Provisional Patent Application No. 60/590,313, filed on July 22, 2004, and entitled “Photovoltaic Cells with Conductive Mesh Interconnects”; and U.S. Provisional Patent Application Serial No. 60/664,115, filed on March 21, 2005, and entitled “Photovoltaic Module Architecture”, all of which are hereby incorporated by reference.

### **TECHNICAL FIELD**

This description relates to photovoltaic modules, as well as related systems, methods and components.

### **BACKGROUND**

Photovoltaic cells, sometimes called solar cells, can convert light, such as sunlight, into electrical energy. A typical photovoltaic cell includes a layer of a photoactive material and a layer of a charge carrier material disposed between a cathode and an anode. When incident light excites the photoactive material, electrons are released. The released electrons are captured in the form of electrical energy within the electric circuit created between the cathode and the anode.

In one type of photovoltaic cell, commonly called a dye-sensitized solar cell (DSSC), the photoactive material typically includes a semiconductor material, such as titania, and a photosensitizing agent, such as, for example, a dye. In general, the dye is capable of absorbing photons within a wavelength range of operation (e.g., within the solar spectrum).

In another type of photovoltaic cell, commonly referred to as a polymer thin film cell, the photoactive material used generally has two components, an electron acceptor and an electron donor. The electron acceptor can be a p-type polymeric conductor material, such as, for example poly(phenylene vinylene) or poly(3-hexylthiophene). The

electron donor can be a nanoparticulate material, such as for example, a derivative of fullerene (e.g., 1-(3-methoxy carbonyl)-propyl-1-1-phenyl-(6,6) C<sub>61</sub>, known as PCBM).

Photovoltaic cells can be electrically connected together in series and/or in parallel to create a photovoltaic module. Typically, two photovoltaic cells are connected in parallel by electrically connecting the cathode of one cell with the cathode of the other cell, and the anode of one cell with the anode of the other cell. In general, two photovoltaic cells are connected in series by electrically connecting the anode of one cell with the cathode of the other cell.

### SUMMARY

In one aspect, a module includes a first photovoltaic cell having an electrode and a second photovoltaic cell having an electrode. The module further includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that is disposed in the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell so that the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell are connected (e.g., electrically and/or mechanically connected).

In another aspect, a module includes a first photovoltaic cell having an electrode and a second photovoltaic cell having an electrode. The module further includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that connects (e.g., electrically connects and/or mechanically connects) the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell. The photovoltaic cells are configured so that a portion of the electrode of the first photovoltaic cell overlaps a portion of the electrode of the second photovoltaic cell.

In a further aspect, a module includes first and second photovoltaic cells. The first photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The second photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The module further includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that is disposed in the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell so that the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell are connected (e.g., electrically and/or mechanically connected).

In an additional aspect, a module includes first and second photovoltaic cells. The first photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The second photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The module further includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that is disposed in the cathode of the first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell so that the cathode of the first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell are connected (e.g., electrically and/or mechanically connected).

In another aspect, a module includes first and second photovoltaic cells. The first photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The second photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The module further includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that is disposed in the anode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell so that the anode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell are connected (e.g., electrically and/or mechanically connected).

In a further aspect, a module includes first and second photovoltaic cells. The first photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The second photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. A portion of the anode of the second photovoltaic cell overlaps a portion of the cathode of the first photovoltaic cell. The module also includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that connects (e.g., electrically connects and/or mechanically connects) the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell.

In an additional aspect, a module includes first and second photovoltaic cells. The first photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The second photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. A portion of the anode of the second photovoltaic cell overlaps a portion of the cathode of the first photovoltaic cell. The module also includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that connects (e.g., electrically connects and/or mechanically

connects) the cathode of the first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell.

In another aspect, a module includes first and second photovoltaic cells. The first photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The second photovoltaic cell includes a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. A portion of the anode of the second photovoltaic cell overlaps a portion of the cathode of the first photovoltaic cell. The module also includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that connects (e.g., electrically connects and/or mechanically connects) the anode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell.

In a further aspect, a module includes first and photovoltaic cells, where the first and second photovoltaic cells are configured in a step-wise configuration.

In an additional aspect, a method of electrically connecting photovoltaic cells includes disposing an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) in an electrode of a first photovoltaic cell and in an electrode of a second photovoltaic cell to connect (e.g., electrically connect and/or mechanically connect) the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell.

In one aspect, a module includes first and second photovoltaic cells. The module also includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that connects (e.g., electrically connects and/or mechanically connects) an electrode of the first photovoltaic cell and an electrode of the second photovoltaic cell. The interconnect includes an adhesive material and a mesh partially disposed in the adhesive material.

In another aspect, a module includes first and second photovoltaic cells. The first and second photovoltaic cells each include a cathode, an anode and a photoactive material between the cathode and the anode. The module also includes an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that electrically connects (e.g., electrically connects and/or mechanically connects) an electrode of the first photovoltaic cell and an electrode of the second photovoltaic cell. The electrically connected electrodes can be cathode/anode, cathode/cathode or anode/anode. The interconnect includes an adhesive material and a mesh partially disposed in the adhesive material.

In one aspect, a module includes a first photovoltaic cell including an electrode, and a second photovoltaic cell including an electrode having a bent end connected (e.g., electrically connected) to the electrode of the first photovoltaic cell.

In another aspect, a module includes a first photovoltaic cell including an electrode, and a second photovoltaic cell including an electrode. The electrode in the second photovoltaic cell has a shaped (e.g., dimpled) or bent portion that is connected (e.g., electrically connected) to the electrode of the first photovoltaic cell.

In one aspect, a module includes a first photovoltaic cell including an electrode, a second photovoltaic cell including an electrode, and an electrically conductive interconnect. The electrode of the first photovoltaic cell overlaps the electrode of the second photovoltaic cell. The interconnect electrically connects the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell. The interconnect mechanically couples the first and second photovoltaic cells.

In another aspect, a module includes a first photovoltaic cell including an electrode, a second photovoltaic cell including an electrode, the second photovoltaic cell overlapping the first photovoltaic cell to define an overlapping region, and an interconnect adjacent the overlapping region to electrically and mechanically connect the first and second photovoltaic cells.

In a further aspect, a photovoltaic module includes a first photovoltaic cell including an electrode with a first surface, a second photovoltaic cell including an electrode with a second surface, and an interconnect (e.g., an electrically conductive interconnect) that connects (e.g., electrically connects and/or mechanically connects) the first and second photovoltaic cells. The interconnect is supported by the first and second surfaces.

In an additional aspect, a module includes first and second photovoltaic cells. The efficiency of the module is at least about 80% of the efficiency of one of the photovoltaic cells.

In an additional aspect, a method includes making one or more of the preceding modules via a continuous process.

In another aspect, a method includes making one or more of the preceding modules via a roll-to-roll process.



Embodiments can provide one or more of the following advantages.

In some embodiments, the interconnects can connect (e.g., serially connect) two or more photovoltaic cells with little ohmic loss. This can be particularly desirable when trying to maximize voltage, amperage and/or power output from photovoltaic cells and modules.

In certain embodiments, the interconnects can connect (e.g., serially connect) two or more photovoltaic cells together with little or no increase in fill-factor and little or no decrease in efficiency as compared to a single photovoltaic cell.

In some embodiments, the interconnects can mechanically connect adjacent photovoltaic cells together, thereby reducing (e.g., eliminating) the use seals (e.g., seals including) adhesives within photovoltaic modules. This can enhance the useful lifetime of a module by, for example, reducing the amount and/or presence of one or more materials that can be reactive with one or more of the components contained in a photovoltaic cell, and/or by, for example, reducing (e.g., eliminating) leak paths present in a module.

In certain embodiments, the interconnects can provide a robust mechanical and/or highly electrically conductive connection between the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell.

In embodiments that include an interconnect in the shape of a mesh, the mesh in the interconnect can form multiple points of electrical contact with each electrode. Having multiple points of contact between the electrodes can increase the electrical conductivity between electrodes by providing a larger area and volume for electrical current to pass between electrodes via the interconnect. Alternatively or additionally, having multiple points of contact between the electrodes can enhance the stability of the flow of electrons between electrodes via the interconnect. For example, under certain circumstances, a module may be flexed or bent, which can temporarily or permanently break a point of contact between the interconnect and one of the electrodes. The resulting reduction in electrical conductivity between electrodes is reduced when multiple points of electrical contact are present.

In embodiments that include an interconnect in the shape of a mesh, the mesh can be formed of relatively fine strands without substantial difficulty.

In embodiments that include an interconnect in the shape of a mesh, the absolute height of the metal mesh can set the gap/space between the electrodes, and allow for this gap/space to be relatively small.

In embodiments that include an interconnect that includes an adhesive, the adhesive can enhance the mechanical integrity of the interconnect by, for example, providing multiple points of adhesive bonding between the electrodes in adjacent photovoltaic cells in the module. Alternatively or additionally, the adhesive can provide electrical insulation between certain components of the module that are not desired to be in electrical contact.

In some embodiments, the modules can provide good electrical contact between electrodes in adjacent photovoltaic cells without the presence of a separate interconnect to provide the electrical communication. This can reduce the cost and/or complexity associated with manufacture of the modules. For example, by forming the shaped (e.g., dimpled) portions of the cathode (and/or anode) during the process of manufacturing the module, the complexity of aligning various portions of the module can be reduced.

In certain embodiments, an oxide film can form on the surface of the cathode during processing (e.g., sintering of the titania). In such embodiments, the process of shaping the portions of the cathode can break the oxide film, which can enhance the electrical conductivity between the cathode and the anode.

In some embodiments, the potential surface area of the adhesive/substrate bond can be relatively high, which can enhance the bond strength and reliability of the photovoltaic cell.

In certain embodiments, a module can include fewer components, which can enhance reliability and/or reduce cost.

In some embodiments, one or more of the materials that form an interconnect are commercially available in compositions that are substantially inert to other components of the module (e.g., the electrolyte(s)).

In certain embodiments, a module can include flexible substrates of photovoltaic cells are electrically and mechanically connected to form a flexible module which is well suited for wide-ranging implementations.

In some embodiments, an interconnect can electrically and/or mechanically interconnect one or more photovoltaic cells (e.g., one or more adjacent photovoltaic cells) to form a photovoltaic module having enhanced stability, enhanced reliability, reduced inactive area between photovoltaic cells (e.g., adjacent photovoltaic cells), and/or reduced inactive volume between photovoltaic cells (e.g., adjacent photovoltaic cells).

Features and advantages are set forth in the description, drawings and claims.

### **DESCRIPTION OF DRAWINGS**

FIG. 1 is a cross-sectional view of an embodiment of a photovoltaic module including two photovoltaic cells.

FIG. 2A is a cross-sectional view of another embodiment of a photovoltaic module.

FIG. 2B is a bottom view of the photovoltaic module of FIG. 2A.

FIG. 3 is a cross-sectional view of an embodiment of a photovoltaic module including three photovoltaic cells.

FIG. 4 is a cross-sectional view of another embodiment of a photovoltaic module including three photovoltaic cells.

FIG. 5 is a cross-sectional view of an embodiment of a photovoltaic module.

FIG. 6 is a cross-sectional view of a portion of the photovoltaic module of FIG. 5.

FIG. 7 is a cross-sectional view through a portion of the interconnect in the photovoltaic module in a direction perpendicular to the cross-section shown in FIGs. 5 and 6.

FIG. 8A is a side view of a photovoltaic module including three cells in a series configuration.

FIG. 8B is a detail view of the interconnect between adjacent cell in FIG. 8A.

FIG. 9A is a side view of a photovoltaic module including seven cells in a series configuration including an interconnect paste positioned between the anode of one cell and the cathode of an adjacent cell.

FIG. 9B is a side view of FIG. 9A with the paste pressed into place.

FIG. 10 is a cross-sectional view of an embodiment of a photovoltaic module.

FIG. 11 is a perspective view of the cathode in the photovoltaic module in a direction perpendicular to the cross-section in FIG. 10.

FIG. 12 is a cross-sectional view of an embodiment of a photovoltaic module.

FIG. 13 is a cross-section view of a portion of the photovoltaic cell shown in FIG. 12.

FIG. 14 is a cross-sectional view of another embodiment of a photovoltaic module.

FIG. 15 is a perspective view of the cathode in the photovoltaic module in a direction perpendicular to the cross-section in FIG. 14.

FIG. 16 is a cross-sectional view of an embodiment of a DSSC.

FIG. 17 is a schematic representation of an embodiment of a method of making a DSSC.

FIG. 18 is a cross-sectional view of a polymer photovoltaic cell.

FIG. 19 shows a structure including a photovoltaic module.

FIG. 20 shows a structure including a photovoltaic module.

FIG. 21 shows a structure including a photovoltaic module.

FIG. 22 graphically depict the efficiencies for two individual cells and a module formed by the composite of the two cells.

Like reference symbols in the various drawings indicate like elements.

### **DETAILED DESCRIPTION**

In general, the description relates to photovoltaic modules formed by electrically and/or mechanically connecting one or more photovoltaic cells (e.g., one or more adjacent photovoltaic cells) using one or more interconnects. Embodiments of such modules are described below.

In some embodiments, the efficiency of a photovoltaic module can be at least about 80% (e.g., at least about 85%, at least about 90%, at least about 95%, at least about 98%) of the efficiency of one or more of the photovoltaic cells contained in the photovoltaic module.

As referred to herein, the efficiency of a photovoltaic cell is measured as follows. The photovoltaic cell is exposed to an A.M. 1.5 (100 mW per square cm) light source (Oriel Solar Simulator) for 30 seconds. The current generated within the photovoltaic

cell is measured and plotted against voltage to determine the efficiency of the photovoltaic cell.

As used herein, the efficiency of a photovoltaic module is measured as follows. The photovoltaic module is exposed to an A.M. 1.5 (100 mW per square cm) light source (Oriel Solar Simulator) for 30 seconds. The current generated within the photovoltaic module is measured and plotted against voltage to determine the efficiency of the photovoltaic module.

FIG. 1 shows a cross-sectional view of a photovoltaic module 100 that includes an electrically conductive interconnect 105 that connects a first photovoltaic cell 110 to a second photovoltaic cell 115. The electrically conductive interconnect 105 can include a stitch, in one example. Photovoltaic cell 110 includes a cathode 120, a photoactive layer 122, a charge carrier layer 124, an anode 126, and a substrate 128. Similarly, photovoltaic cell 115 includes a cathode 140, a photoactive layer 142, a charge carrier layer 144, an anode 146, and a substrate 148. Photovoltaic cells 110 and 115 are positioned with respect to each other in a step-wise configuration, such that a portion 155 of photovoltaic cell 110 overlaps a portion 160 of photovoltaic cell 115, thereby forming an overlapping region 165. An electrically conductive interconnect 105 is disposed within overlapping region 165 to provide an electrically conductive path from cathode 120 to anode 146.

In general, electrically conductive interconnect 105 is sized to create an electrically conductive and continuous path from cathode 120 to anode 146. For example, in some embodiments, electrically conductive interconnect 105 is sized to extend through cathode 120, substrate 148 and anode 146 within overlapping region 165. In certain embodiments, electrically conductive interconnect 105 has a length of at least about 30 microns and/or at most about 500 microns (e.g., a length of from about 100 microns to about 200 microns).

Generally, the width of electrically conductive interconnect 105 can be selected as desired. In some embodiments, the width of electrically conductive interconnect 105 is selected so that the width of overlapping region 165 is relatively small. For example, in certain embodiments, the width of electrically conductive interconnect 105 is less than about 1500 microns (e.g., less than about 1000 microns, less than about 500 microns).

Typically, electrically conductive interconnect 105 is at least about 100 microns wide. Reducing the width of the overlapping region 165 can be particularly desirable when trying to increase the available photoactive area within photovoltaic cells 110 and 115. For example, as the width of overlapping region 165 decreases, the area of the active region of module 100 increases.

In general, electrically conductive interconnect 105 can be made from any electrically conductive material. As referred to herein, an electrically conductive material has a conductivity of at least about  $10 (\Omega\text{-cm})^{-1}$  at 25°C. Typically, the material(s) used to form electrically conductive interconnect 105 is relatively strong so as to secure photovoltaic cell 110 to photovoltaic cell 115. Exemplary materials for forming electrically conductive interconnects 105 include, for example, metals, such as, copper and titanium, and alloys, such as, steel, tin-lead alloys, tin-bismuth alloys, lead-bismuth alloys, tin-bismuth-lead alloys. In certain embodiments, electrically conductive interconnect 105 can be formed of a material (e.g., a polymer fiber, such a nylon fiber, a polyester fiber, a Kevlar fiber, an Orlon fiber) that is coated with a metal or an alloy. In some embodiments, electrically conductive interconnect 105 is formed of a metal or an alloy coated with a low temperature solder, such as, for example, a tin-lead alloy, a tin-bismuth alloy, a lead-bismuth alloy, or a tin-bismuth-lead alloy. In certain embodiments, electrically conductive interconnect is formed of a metal or an alloy that is coated with an epoxy, such as, for example, a silver based epoxy.

Referring to FIGS. 2A and 2B, interconnects 200, which may be electrically conductive or electrically insulating, (e.g., electrically conductive and/or electrically insulating stitches) can be used to secure terminal contacts 205 (e.g., metal tapes, thin metal foils, and metal braids) to the electrodes at the ends of photovoltaic module 100 (e.g., at anode 126 and at cathode 140). Terminal contacts 205 are typically used as a connection site between photovoltaic modules and electric devices, so that the electricity generated within the photovoltaic module can be used to drive connected electric devices.

In general, interconnects 200 can be made from any desired material. Typically, interconnects 200 are made from a material that is strong enough to secure the terminal contact to the desired electrode. Exemplary materials used for forming interconnects 200

include those noted above with respect to electrically conductive interconnect 105, and polymers.

While photovoltaic module 100 has been described as including two photovoltaic cells, a photovoltaic module can include more than two (e.g., three, four, five, six, seven) photovoltaic cells. For example, as shown in FIG. 3, a photovoltaic module 200 includes a first photovoltaic cell 180, a second photovoltaic cell 185 and a third photovoltaic cell 190. An electrically conductive interconnect 192 is used to join the cathode of photovoltaic cell 180 with the anode of photovoltaic cell 185, and a second electrically conductive interconnect 194 is used to join the cathode of photovoltaic cell 185 with the anode of photovoltaic cell 190.

While photovoltaic cells have been described as being positioned in a step-wise fashion with respect to each other to form an overlapping region in adjacent cells, in some embodiments, the photovoltaic cells in a photovoltaic module have a different arrangement. FIG. 4 shows a photovoltaic module 220 that includes photovoltaic cells 210, 212, and 214 that share a common substrate 290. Photovoltaic cells 210, 212, and 214 each include a photoactive layer 280 and a charge carrier layer 285 disposed between a cathode 270 and an anode 275. Regions 295 of electrically insulating material (e.g., formed of an adhesive) are positioned between cells 210 and 212 and between cells 212 and 214. A portion of cathode 270 of cell 210 overlaps a portion of anode 275 of cell 212 to form an overlapping region 265 within which electrically conductive interconnect 105 is positioned (in substrate 290, in anode 275 of cell 212, in region 295 between cells 210 and 212, in cathode 270 of cell 210, and in substrate 300). Likewise, a portion of cathode 270 of cell 212 overlaps a portion of anode 275 of cell 214 to form an overlapping region 267 within which electrically conductive interconnect 105 is positioned (in substrate 290, in anode 275 of cell 214, in region 295 between cells 212 and 214, in cathode 270 of cell 212, and in substrate 300).

FIG. 5 shows a module 300 that includes photovoltaic cells 310, 320 and 330 that share common substrates 340 and 345. Each photovoltaic cell includes cathode 350, a photoactive layer 360, a charge carrier layer 370 and an anode 380.

As shown in FIGs. 6 and 7, interconnect 301 is formed of a mesh 305 and an electrically insulative material 390. Mesh 305 has electrically conductive regions 385

and open regions 387, and electrically insulative material 390 is disposed in open regions 387 of mesh 305. An upper surface 393 of mesh 305 contacts anode 380, and a lower surface 395 of mesh 305 contacts cathode 350. With this arrangement, electrodes 350 and 380 in adjacent cells are electrically connected in the direction between electrodes 350 and 380 via regions 385 of mesh 305, while adjacent photovoltaic cells are electrically insulated from each other by adhesive material 397 in the perpendicular plane.

Mesh 305 can be prepared in various ways. In some embodiments, mesh 305 is an expanded mesh. An expanded metal mesh can be prepared, for example, by removing regions 387 (e.g., via laser removal, via chemical etching, via puncturing) from a sheet of material (e.g., an electrically conductive material, such as a metal or an alloy), followed by stretching the sheet (e.g., stretching the sheet in two dimensions). In certain embodiments, mesh 305 is a metal sheet formed by removing regions 387 (e.g., via laser removal, via chemical etching, via puncturing) without subsequently stretching the sheet. In some embodiments, mesh 305 is a woven mesh formed by weaving wires of material that form solid regions 385. The wires can be woven using, for example, a plain weave, a Dutch, weave, a twill weave, a Dutch twill weave, or combinations thereof. In certain embodiments, mesh 305 is formed of a welded wire mesh.

In general, solid regions 385 are formed entirely of an electrically conductive material (e.g., regions 385 are formed of a substantially homogeneous material that is electrically conductive). Examples of electrically conductive materials that can be used in regions 385 include electrically conductive metals, electrically conductive alloys and electrically conductive polymers. Exemplary electrically conductive metals include gold, silver, copper, nickel, palladium, platinum and titanium. Exemplary electrically conductive alloys include stainless steel (e.g., 332-stainless steel, 316-stainless steel), alloys of gold, alloys of silver, alloys of copper, alloys of nickel, alloys of palladium, alloys of platinum and alloys of titanium. Exemplary electrically conducting polymers include polythiophenes (e.g., poly(3,4-ethelnynedioxythiophene) (PEDOT)), polyanilines (e.g., doped polyanilines), polypyrroles (e.g., doped polypyrroles). In some embodiments, combinations of electrically conductive materials are used.

In some embodiments, solid regions 385 are formed of a material that is coated with a different material (e.g., using metallization, using vapor deposition). In general,



the inner material can be formed of any desired material (e.g., an electrically insulative material, an electrically conductive material, or a semiconductive material), and the outer material is an electrically conductive material. Examples of electrically insulative material from which the inner material can be formed include textiles, optical fiber materials, polymeric materials (e.g., a nylon) and natural materials (e.g., flax, cotton, wool, silk). Examples of electrically conductive materials from which the outer material can be formed include the electrically conductive materials disclosed above. Examples of semiconductive materials from which the outer material can be formed include indium tin oxide, fluorinated tin oxide, tin oxide and zinc oxide. In some embodiments, the inner material is in the form of a fiber, and the outer material is an electrically conductive material that is coated on the inner material. In certain embodiments, the inner material is in the form of a mesh (see discussion above) that, after being formed into a mesh, is coated with the outer material. As an example, the inner material can be an expanded metal mesh, and the outer material can be PEDOT that is coated on the expanded metal mesh.

Typically, the maximum thickness of mesh 305 in a direction substantially perpendicular to the surfaces of substrates 340 and 345 is at least 10 microns (e.g., at least about 15 microns, at least about 25 microns, at least about 50 microns) and/or at most about 250 microns (e.g., at most about 200 microns, at most about 150 microns, at most about 100 microns, at most about 75 microns).

While shown in FIG. 7 cross-sectional shape, open regions 387 can generally have any desired shape (e.g., square, circle, semicircle, triangle, ellipse, trapezoid, irregular shape). In some embodiments, different open regions 387 in mesh 305 can have different shapes.

Although shown in FIG. 7 as forming a diamond design, solid regions 385 can generally form any desired design (e.g., rectangle, circle, semicircle, triangle, ellipse, trapezoid, irregular shape). In some embodiments, different solid regions 385 in mesh 305 can have different shapes.

FIGs. 8A and 8B show a photovoltaic module 500 that includes photovoltaic cells 505, 510 and 515 that are positioned in a step-wise configuration with respect to each other. A portion 525 of photovoltaic cell 515 overlaps a portion 520 of photovoltaic cell

510. Similarly, a portion 533 of photovoltaic cell 510 overlaps a portion 535 of photovoltaic cell 505. A cathode 540 of cell 505 is electrically connected to an anode 545 of adjacent cell 505 by wrapping the edge of the anode 545 with an electrically conductive tape 547. In some embodiments, the tape 547 can be sized to contact the entire back face of the cathode 540 and thus provide a mechanical attachment between adjacent cells or only a portion of the cathode 540. In embodiments in which the tape 547 does not cover all of the back face of the cathode 540, the exposed portion of the back face of the cathode 540 can be optionally coated with a non-conductive adhesive to supplement the attachment to the anode 545 to the adjacent cell 505.

While element 547 has been described as a conductive tape, more generally, element 547 can be any kind of electrically conductive element having the general structure described. In some embodiments, element 547 is in the form of a coating.

FIG. 9A shows a photovoltaic module 550 that includes seven overlapping cells 555a-555g arranged in step-wise configuration. Interconnect 560a is applied parallel to an edge of the cell 555a along the anode 565a for electrical and mechanical connection to the cathode 570 of adjacent cell 555b. Similarly, interconnects 560b-560f connect overlapping cells 555b and 555c, 555c and 555d, 555d and 555e, 555e and 555f, and 555f and 555g. FIG 9B shows the interconnects 560 pressed into place to connect adjacent cells. In general, interconnects 560 can be formed of any appropriate electrically conductive material. In some embodiments, one or more interconnects 560 are formed of a bead of a conductive paste. Optionally, one or more of the interconnects 560 can be formed with a thermoplastic conductive ribbon, solder and/or fiber. Typically, in such embodiments, the material forming interconnect 560 is positioned parallel to the edge of one cell so that after applying the appropriate amount of heat and pressure, the interconnect is distributed over the cathode of one cell and the anode of an adjacent cell.

One or more of interconnects 560a-560f can be formed by a process that does not involve the use of heat or pressure (e.g., ink jet printing, painting/drying). Optionally, a thermal transfer process can be used to form one or more of interconnects 560a-560f.

In certain embodiments, one or more of interconnects 560a-560f can be formed of a mesh (e.g., an adhesive mesh), as described herein.

FIG. 10 shows a photovoltaic module 3100 that includes photovoltaic cells 3110,

3120, and 3130 that share common substrates 3140 and 3145. Each photovoltaic cell includes an adhesive 3147, a cathode 3150, a photoactive layer 3160, a charge carrier layer 3170, an anode 3180 and an adhesive 3190. Cathode 3150 includes a shaped (e.g., dimpled, embossed) portion 3152 configured to extend through adhesive 190 and make electrical contact with anode 3180. As shown in FIG. 11, cathode 3150 has multiple shaped portions 3152 with non-shaped portions therebetween. With this arrangement, shaped portions 3152 of cathode 3150 form an electrical connection between cathode 3150 and anode 3180 without using a separate interconnect component.

Although shown in FIG. 11 as being circular, more generally shaped portions 3152 can have any desired shape (e.g., square, circle, semicircle, triangle, ellipse, trapezoid, corrugated, such as sinusoidally corrugated, irregular shape).

Generally, cathodes 3150 are formed of a relatively thin, electrically conductive layer. In some embodiments, cathodes 3150 are formed of a metal or an alloy (e.g., titanium or indium) foil. In certain embodiments, cathodes are formed of a relatively thin layer of a plastic (see discussion regarding substrates 3140 and 3145 below) that has a surface coated with an electrically conductive material (e.g., a metal or an alloy, such as titanium or indium). Shaped portions 3152 can be formed using a variety of techniques, including standard foil embossing techniques. For example, in certain embodiments, shaped portions 3152 can be formed by running foil 150 under a sewing machine with a blunted needle. As another example, in some embodiments, shaped portions 3152 can be formed by passing foil 3150 over a spinning wheel having protrusions (e.g., dimples). Shaped portions 3152 can be formed in foil 3150 before being incorporated into module 3100, or shaped portions 3152 can be formed in foil 3150 as module 3100 is being manufactured (see discussion below). In general electrode 3150 is substantially flat, except for embossments 3152. Although embossments 3152 can generally have any desired shape, embossments 3152 typically have a slight radius (e.g., so that forming embossments 3152 does not result in the formation of holes in electrode 3150).

FIGs. 12 and 13 show a partially exploded view of a photovoltaic module 8000 that includes photovoltaic cells 8100, 8200, 8300 and 8400. Each cell includes a cathode side 8010 and an anode side 8020. Each cathode side 8010 includes substrate 8012, an adhesive layer 8014 (e.g., a foil adhesive, such as a one mil thick foil adhesive), an

electrically conductive layer 8016 (e.g., a metal layer, such as a two mils thick titanium foil) and a photoactive layer 8018 (e.g., a dye sensitized titania layer). Each anode side includes substrate 8020 and a catalyst layer 8022 (e.g., a platinum-containing catalyst layer). In cells 8100, 8200 and 8300, a region 8017 of each portion of layer 8016 is shaped (e.g., embossed, dimpled) and there is a gap 8019 between layers 8016 in adjacent photovoltaic cells.

Module 8000 further includes an electrically conductive bridge 8026 that, after assembly of module 8000, is in direct contact with corresponding portion 8017 of corresponding layer 8016, thereby providing an electrical connection. Bridges 8026 are typically compliant and electrically conductive. For example, bridges 8026 can be formed of a compliant polymer matrix containing electrically conductive particles (e.g., at sufficient loading to impart sufficient electrical conductivity to bridges 8026). In some embodiments, one or more bridges 8026 can contain titanium (e.g., in the form of a titanium composite). Although shown as separate components in the exploded views of FIGs. 12 and 13, in some embodiments, bridges 8026 can be disposed directly on corresponding portions 8017 of corresponding layers 8016. For example, a bridge 8026 can be printed onto a corresponding portion 8017 of corresponding layer 8016.

Module 8000 also includes seals 8028 and 8029. Seals 8028 and 8029 reduce leaking of components (e.g., between adjacent cells) and/or reduce corrosion of components (e.g., if moisture gets into one or more cells). When module 8000 is assembled, the upper and lower ends of seal 8029 contact layers 8014 and 8022, respectively, and the upper and lower ends of seal 8028 contacts layers 8026 and 8022, respectively. Seals 8028 and 8029 are generally formed of an adhesive material, such as those described herein, and may optionally containing one or more structural components (e.g., one more beads). In embodiments, in which seals 8028 and/or 8029 contain one or more structural components, the structural components are typically electrically nonconductive and/or at sufficiently low loading so that seals 8028 and/or 8029 are electrically nonconductive.

Module 8000 further includes end seals 8030 and 8032 (e.g., adhesive end seals).

Without wishing to be bound by theory, it is believed that modules having the general design illustrates in FIGs. 12 and 13 can allow for a relatively thin photovoltaic

module, that still provides good electrical power and efficiency. It is believed that the use of multiple adhesive layers (e.g., seals 8028 and 8029) can provide an advantage in that construction of the module can be achieved without pushing a portion of a layer through an adhesive. This can also reduce the possibility of scratching one of the electrodes, which can result in a localized area of reduced electrical conductivity.

FIG. 14 shows a photovoltaic module 4000 in which cathode 3350 has a bent end 3352 configured to extend through adhesive 3190 and make electrical contact with anode 3180. As shown in FIG. 15, bent end 3352 forms a cathode forms a line. With this arrangement, bent end 3352 of cathode 3350 form an electrical connection between cathode 3350 and anode 3180 without using a separate interconnect component.

Although shown in FIG. 15 as being continuous, in some embodiments, bent end 3352 can be noncontinuous (e.g., when viewed as shown in FIG. 15, there can be alternating portions of cathode 3350 having a bent end).

Further, although the cathodes have been described as being formed of a foil formed of certain materials, in some embodiments, one or more of the primary foils can be formed of a different material. In some embodiments, the cathodes can be formed of a foil of a transparent electrically conductive material, such as. Examples of such materials include certain metal oxides, such as indium tin oxide (ITO), tin oxide, a fluorine-doped tin oxide, and zinc-oxide.

In certain other embodiments, the cathodes can be a discontinuous layer of an electrically conductive material, such as an electrically conducting mesh. Suitable mesh materials include metals, such as palladium, titanium, platinum, stainless steel and alloys thereof. The mesh material can include a metal wire. The electrically conductive mesh material can also include an electrically insulating material that has been coated with an electrically conductive material, such as metal. The electrically insulating material can include a fiber, such as a textile fiber or an optical fiber. Examples of textile fibers include synthetic polymer fibers (e.g., nylons) and natural fibers (e.g., flax, cotton, wool, and silk). The mesh electrode can be flexible to facilitate, for example, formation of a photovoltaic cell by a continuous manufacturing process.

A mesh cathode can take a wide variety of forms with respect to, for example, wire (or fiber) diameters and mesh densities (i.e., the number of wire (or fiber) per unit

area of the mesh). The mesh can be, for example, regular or irregular, with any number of opening shapes (e.g., square, circle, semicircle, triangular, diamond, ellipse, trapezoid, and/or irregular shapes). Mesh form factors (such as, e.g., wire diameter and mesh density) can be chosen, for example, based on the electrical conductivity of the wire (or fibers) of the mesh, the desired optical transmissivity, based on the electrical conductivity of the wires (or fibers) of the mesh, the desired optical transmissivity, flexibility, and/or mechanical strength. Typically, the mesh electrode includes a wire (or fiber) mesh with an average wire (or fiber) diameter in the range from about 1 micron to about 400 microns, and an average open area between wires (or fibers) in the range from about 60% to about 95%. A mesh electrode can be formed using a variety of techniques, such as, for example, ink jet printing, lithography and/or ablation (e.g., laser ablation). In some embodiments, a mesh electrode can be formed of an expanded metal mesh. Mesh electrodes are discussed in U.S. Patent Application Serial No. 10/395,823, filed March 23, 2003 and in U.S. Patent Application Serial No. 10/723,554, filed November 26, 2003.

Adhesives 3147 and 3190 can generally be formed of any electrically insulative adhesive. Examples of such adhesives include co-polymers of olefins, acrylates, and urethanes, and other hotmelt adhesives. Examples of commercially available adhesives include Bynel<sup>®</sup> adhesives (available from DuPont), thermobond adhesive 845 (available from 3M) and Dyneon<sup>™</sup> THV220 fluoropolymer adhesive (available from 3M).

### **DSSCs**

In some embodiments, a photovoltaic cell is a DSSC. FIG. 16 is a cross-sectional view of a DSSC 4300 including substrates 4310 and 4370, electrically conductive layers (electrodes) 4320 and 4360, a catalyst layer 4330, a charge carrier layer 4340, and a photoactive layer 4350.

Photoactive layer 4350 generally includes one or more dyes and a semiconductor material associated with the dye.

Examples of dyes include black dyes (e.g., tris(isothiocyanato)-ruthenium (II)-2,2':6',2''-terpyridine-4,4',4''-tricarboxylic acid, tris-tetrabutylammonium salt), orange dyes (e.g., tris(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato) ruthenium (II) dichloride, purple dyes (e.g., cis-bis(isothiocyanato)bis-(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato)-ruthenium (II)), red dyes (e.g., an eosin), green dyes (e.g., a merocyanine) and blue dyes (e.g., a cyanine).

Examples of additional dyes include anthocyanines, porphyrins, phthalocyanines, squarates, and certain metal-containing dyes.

In some embodiments, photoactive layer 4350 can include multiple different dyes that form a pattern. Examples of patterns include camouflage patterns, roof tile patterns and shingle patterns. In some embodiments, the pattern can define the pattern of the housing a portable electronic device (e.g., a laptop computer, a cell phone). In certain embodiments, the pattern provided by the photovoltaic cell can define the pattern on the body of an automobile. Patterned photovoltaic cells are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 60/638,070, filed December 21, 2004, which is hereby incorporated by reference.

Examples of semiconductor materials include materials having the formula  $M_xO_y$ , where M may be, for example, titanium, zirconium, tungsten, niobium, lanthanum, tantalum, terbium, or tin and x and y are integers greater than zero. Other suitable materials include sulfides, selenides, tellurides, and oxides of titanium, zirconium, tungsten, niobium, lanthanum, tantalum, terbium, tin, or combinations thereof. For example,  $TiO_2$ ,  $SrTiO_3$ ,  $CaTiO_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $WO_3$ ,  $La_2O_3$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $SnO_2$ , sodium titanate, cadmium selenide (CdSe), cadmium sulphides, and potassium niobate may be suitable materials.

Typically, the semiconductor material contained within layer 4350 is in the form of nanoparticles. In some embodiments, the nanoparticles have an average size between about two nm and about 100 nm (e.g., between about 10 nm and 40 nm, such as about 20 nm). Examples of nanoparticle semiconductor materials are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/351,249, which is hereby incorporated by reference.

The nanoparticles can be interconnected, for example, by high temperature sintering, or by a reactive linking agent.

In certain embodiments, the linking agent can be a non-polymeric compound. The linking agent can exhibit similar electronic conductivity as the semiconductor particles. For example, for  $TiO_2$  particles, the agent can include Ti—O bonds, such as those present in titanium alkoxides. Without wishing to be bound by theory, it is believed that titanium tetraalkoxide particles can react with each other, with  $TiO_2$

particles, and with a conductive coating on a substrate, to form titanium oxide bridges that connect the particles with each other and with the conductive coating (not shown). As a result, the cross-linking agent enhances the stability and integrity of the semiconductor layer. The cross-linking agent can include, for example, an organometallic species such as a metal alkoxide, a metal acetate, or a metal halide. In some embodiments, the cross-linking agent can include a different metal than the metal in the semiconductor. In an exemplary cross-linking step, a cross-linking agent solution is prepared by mixing a sol-gel precursor agent, e.g., a titanium tetra-alkoxide such as titanium tetrabutoxide, with a solvent, such as ethanol, propanol, butanol, or higher primary, secondary, or tertiary alcohols, in a weight ratio of 0-100%, e.g., about 5 to about 25%, or about 20%. Generally, the solvent can be any material that is stable with respect to the precursor agent, e.g., does not react with the agent to form metal oxides (e.g.  $\text{TiO}_2$ ). The solvent preferably is substantially free of water, which can cause precipitation of  $\text{TiO}_2$ . Such linking agents are disclosed, for example, in published U.S. Patent Application 2003-0056821, which is hereby incorporated by reference.

In some embodiments, a linking agent can be a polymeric linking agent, such as poly(n-butyl titanate). Examples of polymeric linking agents are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/350,913, which is hereby incorporated by reference.

Linking agents can allow for the fabrication of an interconnected nanoparticle layer at relatively low temperatures (e.g., less than about  $300^\circ\text{C}$ ) and in some embodiments at room temperature. The relatively low temperature interconnection process may be amenable to continuous (e.g., roll-to-roll) manufacturing processes using polymer substrates.

The interconnected nanoparticles are generally photosensitized by the dye(s). The dyes facilitates conversion of incident light into electricity to produce the desired photovoltaic effect. It is believed that a dye absorbs incident light resulting in the excitation of electrons in the dye. The energy of the excited electrons is then transferred from the excitation levels of the dye into a conduction band of the interconnected nanoparticles. This electron transfer results in an effective separation of charge and the



desired photovoltaic effect. Accordingly, the electrons in the conduction band of the interconnected nanoparticles are made available to drive an external load.

The dye(s) can be sorbed (e.g., chemisorbed and/or physisorbed) on the nanoparticles. A dye can be selected, for example, based on its ability to absorb photons in a wavelength range of operation (e.g., within the visible spectrum), its ability to produce free electrons (or electron holes) in a conduction band of the nanoparticles, its effectiveness in complexing with or sorbing to the nanoparticles, and/or its color.

In some embodiments, photoactive layer 4350 can further include one or more co-sensitizers that adsorb with a sensitizing dye to the surface of an interconnected semiconductor oxide nanoparticle material, which can increase the efficiency of a DSSC (e.g., by improving charge transfer efficiency and/or reducing back transfer of electrons from the interconnected semiconductor oxide nanoparticle material to the sensitizing dye). The sensitizing dye and the co-sensitizer may be added together or separately when forming the photosensitized interconnected nanoparticle material. The co-sensitizer can donate electrons to an acceptor to form stable cation radicals, which can enhance the efficiency of charge transfer from the sensitizing dye to the semiconductor oxide nanoparticle material and/or can reduce back electron transfer to the sensitizing dye or co-sensitizer. The co-sensitizer can include (1) conjugation of the free electron pair on a nitrogen atom with the hybridized orbitals of the aromatic rings to which the nitrogen atom is bonded and, subsequent to electron transfer, the resulting resonance stabilization of the cation radicals by these hybridized orbitals; and/or (2) a coordinating group, such as a carboxy or a phosphate, the function of which is to anchor the co-sensitizer to the semiconductor oxide. Examples of suitable co-sensitizers include aromatic amines (e.g., color.such as triphenylamine and its derivatives), carbazoles, and other fused-ring analogues. Examples of photoactive layers including co-sensitizers are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/350,919, which is hereby incorporated by reference.

In some embodiments, photoactive layer 4350 can further include macroparticles of the semiconductor material, where at least some of the semiconductor macroparticles are chemically bonded to each other, and at least some of the semiconductor nanoparticles are bonded to semiconductor macroparticles. The dye(s) are sorbed (e.g.,

chemisorbed and/or physisorbed) on the semiconductor material. Macroparticles refers to a collection of particles having an average particle size of at least about 100 nanometers (e.g., at least about 150 nanometers, at least about 200 nanometers, at least about 250 nanometers). Examples of photovoltaic cells including macroparticles in the photoactive layer are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 60/589,423, which is hereby incorporated by reference.

In certain embodiments, a DSSC can include a coating that can enhance the adhesion of a photovoltaic material to a base material (e.g., using relatively low process temperatures, such as less than about 300°C). Such photovoltaic cells and methods are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/351,260, which is hereby incorporated by reference.

The composition and thickness of electrically conductive layer 4320 is generally selected based on desired electrical conductivity, optical properties, and/or mechanical properties of the layer. In some embodiments, layer 4320 is transparent. Examples of transparent materials suitable for forming such a layer include certain metal oxides, such as indium tin oxide (ITO), tin oxide, and a fluorine-doped tin oxide. In some embodiments, electrically conductive layer 4320 can be formed of a foil (e.g., a titanium foil). Electrically conductive layer 4320 may be, for example, between about 100 nm and 500 nm thick, (e.g., between about 150 nm and 300 nm thick).

In certain embodiments, electrically conductive layer 4320 can be opaque (i.e., can transmit less than about 10% of the visible spectrum energy incident thereon). For example, layer 4320 can be formed from a continuous layer of an opaque metal, such as copper, aluminum, indium, or gold. In some embodiments, an electrically conductive layer can have an interconnected nanoparticle material formed thereon. Such layers can be, for example, in the form of strips (e.g., having a controlled size and relative spacing, between first and second flexible substrates). Examples of such DSSCs are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/351,251, which is hereby incorporated by reference.

In some embodiments, electrically conductive layer 4320 can include a discontinuous layer of an electrically conductive material. For example, electrically conductive layer 4320 can include an electrically conducting mesh. Suitable mesh

materials include metals, such as palladium, titanium, platinum, stainless steels and alloys thereof. In some embodiments, the mesh material includes a metal wire. The electrically conductive mesh material can also include an electrically insulating material that has been coated with an electrically conducting material, such as a metal. The electrically insulating material can include a fiber, such as a textile fiber or monofilament. Examples of fibers include synthetic polymeric fibers (e.g., nylons) and natural fibers (e.g., flax, cotton, wool, and silk). The mesh electrically conductive layer can be flexible to facilitate, for example, formation of the DSSC by a continuous manufacturing process. Photovoltaic cells having mesh electrically conductive layers are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N.s 10/395,823; 10/723,554 and 10/494,560, each of which is hereby incorporated by reference.

The mesh electrically conductive layer may take a wide variety of forms with respect to, for example, wire (or fiber) diameters and mesh densities (i.e., the number of wires (or fibers) per unit area of the mesh). The mesh can be, for example, regular or irregular, with any number of opening shapes. Mesh form factors (such as, e.g., wire diameter and mesh density) can be chosen, for example, based on the conductivity of the wire (or fibers) of the mesh, the desired optical transmissivity, flexibility, and/or mechanical strength. Typically, the mesh electrically conductive layer includes a wire (or fiber) mesh with an average wire (or fiber) diameter in the range from about one micron to about 400 microns, and an average open area between wires (or fibers) in the range from about 60% to about 95%.

Catalyst layer 4330 is generally formed of a material that can catalyze a redox reaction in the charge carrier layer positioned below. Examples of materials from which catalyst layer can be formed include platinum and polymers, such as polythiophenes, polypyrroles, polyanilines and their derivatives. Examples of polythiophene derivatives include poly(3,4-ethylenedioxythiophene) ("PEDOT"), poly(3-butylthiophene), poly[3-(4-octylphenyl)thiophene], poly(thieno[3,4-b]thiophene) ("PT34bT"), and poly(thieno[3,4-b]thiophene-co-3,4-ethylenedioxythiophene) ("PT34bT-PEDOT"). Examples of catalyst layers containing one or more polymers are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N.s 10/897,268 and 60/637,844, both of which are hereby incorporated by reference.

Substrate 4310 can be formed from a mechanically-flexible material, such as a flexible polymer, or a rigid material, such as a glass. Examples of polymers that can be used to form a flexible substrate include polyethylene naphthalates (PEN), polyethylene terephthalates (PET), polyethylenes, polypropylenes, polyamides, polymethylmethacrylate, polycarbonate, and/or polyurethanes. Flexible substrates can facilitate continuous manufacturing processes such as web-based coating and lamination. However, rigid substrate materials may also be used, such as disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/351,265, which is hereby incorporated by reference.

The thickness of substrate 4310 can vary as desired. Typically, substrate thickness and type are selected to provide mechanical support sufficient for the DSSC to withstand the rigors of manufacturing, deployment, and use. Substrate 4310 can have a thickness of from about six microns to about 5,000 microns (e.g., from about 6 microns to about 50 microns, from about 50 microns to about 5,000 microns, from about 100 microns to about 1,000 microns).

In embodiments where electrically conductive layer 4320 is transparent, substrate 310 is formed from a transparent material. For example, substrate 4310 can be formed from a transparent glass or polymer, such as a silica-based glass or a polymer, such as those listed above. In such embodiments, electrically conductive layer 4320 may also be transparent.

Substrate 4370 and electrically conductive layer 4360 can be as described above regarding substrate 4310 and electrically conductive layer 4320, respectively. For example, substrate 4370 can be formed from the same materials and can have the same thickness as substrate 4310. In some embodiments however, it may be desirable for substrate 4370 to be different from 4310 in one or more aspects. For example, where the DSSC is manufactured using a process that places different stresses on the different substrates, it may be desirable for substrate 4370 to be more or less mechanically robust than substrate 4310. Accordingly, substrate 4370 may be formed from a different material, or may have a different thickness than substrate 4310. Furthermore, in embodiments where only one substrate is exposed to an illumination source during use, it is not necessary for both substrates and/or electrically conducting layers to be transparent.

Accordingly, one of substrates and/or corresponding electrically conducting layer can be opaque.

Generally, charge carrier layer 4340 includes a material that facilitates the transfer of electrical charge from a ground potential or a current source to photoactive layer 4350. A general class of suitable charge carrier materials include solvent-based liquid electrolytes, polyelectrolytes, polymeric electrolytes, solid electrolytes, n-type and p-type transporting materials (e.g., conducting polymers) and gel electrolytes. Examples of gel electrolytes are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/350,912, which is hereby incorporated by reference. Other choices for charge carrier media are possible. For example, the charge carrier layer can include a lithium salt that has the formula  $\text{LiX}$ , where X is an iodide, bromide, chloride, perchlorate, thiocyanate, trifluoromethyl sulfonate, or hexafluorophosphate.

The charge carrier media typically includes a redox system. Suitable redox systems may include organic and/or inorganic redox systems. Examples of such systems include cerium(III) sulphate/cerium(IV), sodium bromide/bromine, lithium iodide/iodine,  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$ , and viologens. Furthermore, an electrolyte solution may have the formula  $\text{M}_i\text{X}_j$ , where i and j are greater than or equal to one, where X is an anion, and M is lithium, copper, barium, zinc, nickel, a lanthanide, cobalt, calcium, aluminum, or magnesium. Suitable anions include chloride, perchlorate, thiocyanate, trifluoromethyl sulfonate, and hexafluorophosphate.

In some embodiments, the charge carrier media includes a polymeric electrolyte. For example, the polymeric electrolyte can include poly(vinyl imidazolium halide) and lithium iodide and/or polyvinyl pyridinium salts. In embodiments, the charge carrier media can include a solid electrolyte, such as lithium iodide, pyridinium iodide, and/or substituted imidazolium iodide.

The charge carrier media can include various types of polymeric polyelectrolytes. For example, suitable polyelectrolytes can include between about 5% and about 95% (e.g., 5-60%, 5-40%, or 5-20%) by weight of a polymer, e.g., an ion-conducting polymer, and about 5% to about 95% (e.g., about 35-95%, 60-95%, or 80-95%) by weight of a plasticizer, about 0.05 M to about 10 M of a redox electrolyte of organic or inorganic iodides (e.g., about 0.05-2 M, 0.05-1 M, or 0.05-0.5 M), and about 0.01 M to about 1 M

(e.g., about 0.05-0.5 M, 0.05-0.2 M, or 0.05-0.1 M) of iodine. The ion-conducting polymer may include, for example, polyethylene oxide (PEO), polyacrylonitrile (PAN), polymethylmethacrylate (PMMA), polyethers, and polyphenols. Examples of suitable plasticizers include ethyl carbonate, propylene carbonate, mixtures of carbonates, organic phosphates, butyrolactone, and dialkylphthalates.

In some embodiments, charge carrier layer 4340 can include one or more zwitterionic compounds. Charge carrier layers including one or more zwitterionic compounds are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 11/000,276, which is hereby incorporated by reference.

FIG. 17 shows a process (a roll-to-roll process) 5000 for manufacturing a DSSC by advancing a substrate 5100 between rollers 5150. Substrate 5100 can be advanced between rollers 5150 continuously, periodically, or irregularly during a manufacturing run.

An electrically conductive layer 5200 (e.g., a titanium foil) is attached to substrate 5100 adjacent location 5120.

An interconnected nanoparticle material is then formed on the electrically conductive layer adjacent location 5130. The interconnected nanoparticle material can be formed by applying a solution containing a linking agent (e.g., polymeric linking agent, such as poly(n-butyl titanate)) and metal oxide nanoparticles (e.g., titania). In some embodiments, the polymeric linking agent and the metal oxide nanoparticles are separately applied to form the interconnected nanoparticle material. The polymeric linking agent and metal oxide nanoparticles can be heated (e.g., in an oven present in the system used in the roll-to-roll process) to form the interconnected nanoparticle material.

One or more dyes are then applied (e.g., using silk screening, ink jet printing, or gravure printing) to the interconnected nanoparticle material adjacent location 5350 to form a photoactive layer.

A charge carrier layer is deposited onto the patterned photoactive layer adjacent location 5160. The charge carrier layer can be deposited using known techniques, such as those noted above.

An electrically conductive layer 5600 (e.g., ITO) is attached to substrate 5700 adjacent location 5190.

A catalyst layer precursor is deposited on electrically conductive layer 5600 adjacent location 5180. The catalyst layer precursor can be deposited on electrically conductive layer 5600 using, for example, electrochemical deposition using chloroplatinic acid in an electrochemical cell, or pyrolysis of a coating containing a platinum compound (e.g., chloroplatinic acid). In general, the catalyst layer precursor can be deposited using known coating techniques, such as spin coating, dip coating, knife coating, bar coating, spray coating, roller coating, slot coating, gravure coating, screen coating, and/or ink jet printing. The catalyst layer precursor is then heated (e.g., in an oven present in the system used in the roll-to-roll process) to form the catalyst layer. In some embodiments, electrically conductive material 5600 can be at least partially coated with the catalyst layer before attaching to advancing substrate 5700. In certain embodiments, the catalyst layer is applied directly to electrically conductive layer 5600 (e.g., without the presence of a precursor).

In some embodiments, the method can include scoring the coating of a first coated base material at a temperature sufficiently elevated to part the coating and melt at least a portion of the first base material, and/or scoring a coating of a second coated base material at a temperature sufficiently elevated to part the coating and at least a portion of the second base material, and optionally joining the first and second base materials to form a photovoltaic module. DSSCs with metal foil and methods for the manufacture are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/351,264, which is hereby incorporated by reference.

In certain embodiments, the method can include slitting (e.g., ultrasonic slitting) to cut and/or seal edges of photovoltaic cells and/or modules (e.g., to encapsulate the photoactive components in an environment substantially impervious to the atmosphere). Examples of such methods are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/351,250, which is hereby incorporated by reference.

### **Polymer Photovoltaic Cells**

In certain embodiments, a photovoltaic cell is a polymer photovoltaic cell. FIG. 18 shows a polymer photovoltaic cell 6600 that includes substrates 6610 and 6670, electrically conductive layers 6620 and 6660, a hole blocking layer 6630, a photoactive layer 6640, and a hole carrier layer 6650.

In general, substrate 6610 and/or substrate 6670 can be as described above with respect to the substrates in a DSSC. Exemplary materials include polyethylene terephthalate (PET), polyethylene naphthalate (PEN), or a polyimide. An example of a polyimide is a KAPTON<sup>®</sup> polyimide film (available from E. I. du Pont de Nemours and Co.).

Generally, electrically conductive layer 6620 and/or electrically conductive layer 6670 can be as described with respect to the electrically conductive layers in a DSSC.

Hole blocking layer 6630 is generally formed of a material that, at the thickness used in photovoltaic cell 6600, transports electrons to electrically conductive layer 6620 and substantially blocks the transport of holes to electrically conductive layer 6620. Examples of materials from which layer 6630 can be formed include LiF, metal oxides (e.g., zinc oxide, titanium oxide) and combinations thereof. While the thickness of layer 6630 can generally be varied as desired, this thickness is typically at least 0.02 micron (e.g., at least about 0.03 micron, at least about 0.04 micron, at least about 0.05 micron) thick and/or at most about 0.5 micron (e.g., at most about 0.4 micron, at most about 0.3 micron, at most about 0.2 micron, at most about 0.1 micron) thick. In some embodiments, this distance is from 0.01 micron to about 0.5 micron. In some embodiments, layer 6630 is a thin LiF layer. Such layers are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/258,708, which is hereby incorporated by reference.

Hole carrier layer 6650 is generally formed of a material that, at the thickness used in photovoltaic cell 6600, transports holes to electrically conductive layer 6660 and substantially blocks the transport of electrons to electrically conductive layer 6660. Examples of materials from which layer 6650 can be formed include polythiophenes (e.g., PEDOT), polyanilines, polyvinylcarbazoles, polyphenylenes, polyphenylvinyls, polysilanes, polythienylenevinyls, polyisothianaphthenes and combinations thereof. While the thickness of layer 6650 can generally be varied as desired, this thickness is typically at least 0.01 micron (e.g., at least about 0.05 micron, at least about 0.1 micron, at least about 0.2 micron, at least about 0.3 micron, at least about 0.5 micron) and/or at most about five microns (e.g., at most about three microns, at most about two microns, at most about one micron). In some embodiments, this distance is from 0.01 micron to about 0.5 micron.



Photoactive layer 6640 generally includes an electron acceptor material and an electron donor material.

Examples of electron acceptor materials include formed of fullerenes, oxadiazoles, carbon nanorods, discotic liquid crystals, inorganic nanoparticles (e.g., nanoparticles formed of zinc oxide, tungsten oxide, indium phosphide, cadmium selenide and/or lead sulphide), inorganic nanorods (e.g., nanorods formed of zinc oxide, tungsten oxide, indium phosphide, cadmium selenide and/or lead sulphide), or polymers containing moieties capable of accepting electrons or forming stable anions (e.g., polymers containing CN groups, polymers containing CF<sub>3</sub> groups). In some embodiments, the electron acceptor material is a substituted fullerene (e.g., PCBM). In some embodiments, the fullerenes can be derivatized. For example, a fullerene derivative can include a fullerene (e.g., PCBG), a pendant group (e.g., a cyclic ether such as epoxy, oxetane, or furan) and a linking group that spaces the pendant group apart from the fullerene. The pendant group is generally sufficiently reactive that fullerene derivative may be reacted with another compound (e.g., another fullerene derivative) to prepare a reaction product. Photoactive layers including derivatized fullerenes are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 60/576,033, which is hereby incorporated by reference. Combinations of electron acceptor materials can be used.

Examples of electron donor materials include discotic liquid crystals, polythiophenes, polyphenylenes, polyphenylvinylenes, polysilanes, polythienylvinylenes, and polyisothianaphthalenes. In some embodiments, the electron donor material is poly(3-hexylthiophene). In certain embodiments, photoactive layer 6640 can include a combination of electron donor materials.

In some embodiments, photoactive layer 6640 includes an oriented electron donor material (e.g., a liquid crystal (LC) material), an electroactive polymeric binder carrier (e.g., a poly(3-hexylthiophene) (P3HT) material), and a plurality of nanocrystals (e.g., oriented nanorods including at least one of ZnO, WO<sub>3</sub>, or TiO<sub>2</sub>). The liquid crystal (LC) material can be, for example, a discotic nematic LC material, including a plurality of discotic mesogen units. Each unit can include a central group and a plurality of electroactive arms. The central group can include at least one aromatic ring (e.g., an anthracene group). Each electroactive arm can include a plurality of thiophene moieties

and a plurality of alkyl moieties. Within the photoactive layer, the units can align in layers and columns. Electroactive arms of units in adjacent columns can interdigitate with one another facilitating electron transfer between units. Also, the electroactive polymeric carrier can be distributed amongst the LC material to further facilitate electron transfer. The surface of each nanocrystal can include a plurality of electroactive surfactant groups to facilitate electron transfer from the LC material and polymeric carrier to the nanocrystals. Each surfactant group can include a plurality of thiophene groups. Each surfactant can be bound to the nanocrystal via, for example, a phosphonic end-group. Each surfactant group also can include a plurality of alkyl moieties to enhance solubility of the nanocrystals in the photoactive layer. Examples of photovoltaic cells are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 60/664,336, which is hereby incorporated by reference.

In certain embodiments, the electron donor and electron acceptor materials in layer 6640 can be selected so that the electron donor material, the electron acceptor material and their mixed phases have an average largest grain size of less than 500 nanometers in at least some sections of layer 6640. In such embodiments, preparation of layer 6640 can include using a dispersion agent (e.g., chlorobenzene) as a solvent for both the electron donor and the electron acceptor. Such photoactive layers are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/258,713, which is hereby incorporated by reference.

Generally, photoactive layer 6640 is sufficiently thick to be relatively efficient at absorbing photons impinging thereon to form corresponding electrons and holes, and sufficiently thin to be relatively efficient at transporting the holes and electrons to the electrically conductive layers of the device. In certain embodiments, layer 6640 is at least 0.05 micron (e.g., at least about 0.1 micron, at least about 0.2 micron, at least about 0.3 micron) thick and/or at most about one micron (e.g., at most about 0.5 micron, at most about 0.4 micron) thick. In some embodiments, layer 6640 is from 0.1 micron to about 0.2 micron thick.

In some embodiments, the transparency of photoactive layer 6640 can change as an electric field to which layer 6640 is exposed changes. Such photovoltaic cells are

disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/486,116, which is hereby incorporated by reference.

In some embodiments, cell 6600 can further include an additional layer (e.g., formed of a conjugated polymer, such as a doped poly(3-alkylthiophene)) between photoactive layer 6640 and electrically conductive layer 6620, and/or an additional layer (e.g., formed of a conjugated polymer) between photoactive layer 6640 and electrically conductive layer 6660. The additional layer(s) can have a band gap (e.g., achieved by appropriate doping) of 1.8 eV. Such photovoltaic cells are disclosed, for example, in U.S. Patent No. 6,812,399, which is hereby incorporated by reference.

Optionally, cell 6600 can further include a thin LiF layer between photoactive layer 6640 and electrically conductive layer 6660. Such layers are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/258,708, which is hereby incorporated by reference.

In some embodiments, cell 6600 can be prepared as follows. Electrically conductive layer 6620 is formed upon substrate 6610 using conventional techniques. Electrically conductive layer 6620 is configured to allow an electrical connection to be made with an external load. Layer 6630 is formed upon electrically conductive layer 6620 using, for example, a solution coating process, such as slot coating, spin coating or gravure coating. Photoactive layer 6640 is formed upon layer 6630 using, for example, a solution coating process. Layer 6650 is formed on photoactive layer 6640 using, for example, a solution coating process, such as slot coating, spin coating or gravure coating. Electrically conductive layer 6620 is formed upon layer 6650 using, for example, a vacuum coating process, such as evaporation or sputtering.

In certain embodiments, preparation of cell 6600 can include a heat treatment above the glass transition temperature of the electron donor material for a predetermined treatment time. To increase efficiency, the heat treatment of the photovoltaic cell can be carried out for at least a portion of the treatment time under the influence of an electric field induced by a field voltage applied to the electrically conductive layers of the photovoltaic cell and exceeding the no-load voltage thereof. Such methods are disclosed, for example, in co-pending and commonly owned U.S.S.N. 10/509,935, which is hereby incorporated by reference.

### **Other Embodiments**

While certain embodiments have been disclosed, others are also possible.

As an example, although embodiments have been described in which an electrically conductive interconnect is a stitch, in certain embodiments an electrically conductive interconnect can be in the form of a staple or a grommet. Examples of suitable material used to form the staples and/or grommets include those noted above with respect to a staple conductive interconnect.

As another example, although embodiments have been described in which the overlapping region between adjacent photovoltaic cells is secured with one electrically conductive interconnect, in certain embodiments, in some embodiments more than one (e.g., two or more, three or more, four or more, five or more, six or more, seven or more) electrically conductive interconnects can be used to secure the overlapping region.

As a further example, while embodiments have been described in which the cathode has a shaped or bent portion that forms an electrical connection with the anode, in some embodiments, the anode has a bent or shaped portion that forms an electrical connection with the cathode. In certain embodiments, both the cathodes and anodes have such bent or shaped portions.

As an additional example, in some embodiments, an electrically conductive material, such as an electrically conductive adhesive, can be disposed between the shaped or bent portion of the cathode and the anode.

As a further example, while photovoltaic modules have been described as including three photovoltaic cells, a photovoltaic module can include more than three (e.g., four, five, six, seven) photovoltaic cells.

As another example, the adhesive can generally be formed of any electrically insulative adhesive. Examples of such adhesives include co-polymers of olefins, acrylates, and urethanes, and other hotmelt adhesives. Examples of commercially available adhesives include Bynel<sup>®</sup> adhesives (available from DuPont), thermobond adhesive 845 (available from 3M) and Dyneon<sup>™</sup> THV220 fluoropolymer adhesive (available from 3M).

As an additional example, although the materials in the charge carrier layers have been described above as being distinct from the materials forming the photoactive layer,

in some embodiments, one or more materials within the charge carrier layer can be at least partially disposed within (e.g., intermixed with) the photoactive layer. In certain embodiments, the materials within the charge carrier layer and the photoactive layer can be combined to form a composite layer.

As a further example, a protective layer can be applied to the upper and/or lower substrates. A protective layer can be used to, for example, keep contaminants (e.g., dirt, water, oxygen, chemicals) out of a photovoltaic cell and/or to mechanically strengthen the cell. A protective layer can be formed of a polymer (e.g., a fluorinated polymer).

As an additional example, although the materials in the charge carrier layers have been described above as being distinct from the materials forming the photoactive layer, in some embodiments, one or more materials within the charge carrier layer can be at least partially disposed within (e.g., intermixed with) the photoactive layer. In certain embodiments, the materials within the charge carrier layer and the photoactive layer can be combined to form a composite layer.

As a further example, a protective layer can be applied to the upper and/or lower substrates. A protective layer can be used to, for example, keep contaminants (e.g., dirt, water, oxygen, chemicals) out of a photovoltaic cell and/or to mechanically strengthen the cell. A protective layer can be formed of a polymer (e.g., a fluorinated polymer).

Another example, while embodiments have been described in which one or more electrically conductive interconnects are used, in some embodiments, one or more interconnects that are not electrically conductive can be used. In certain embodiments, only interconnects (e.g., one or more interconnects, two or more interconnects, three or more interconnects, four or more interconnects, five or more interconnects, six or more interconnects) that are not electrically conductive are used. In some embodiments, one or more electrically conductive interconnects and one or more interconnects that are not electrically conductive are used.

Further, while certain types of photovoltaic modules with interconnects have been described, interconnects can also be used in other types of modules. Examples include photovoltaic modules that include photovoltaic cells with active material formed of amorphous silicon, cadmium selenide, cadmium telluride, copper indium sulfide, and/or copper indium gallium arsenide.

A photovoltaic module can generally be used as a component in any desired application. FIG. 19 shows a photovoltaic module incorporated into exterior wall panels or exterior cladding fitted to a corrugated structure. FIG 20 shows a photovoltaic module incorporated into an awning.. FIG. 21 shows a photovoltaic module incorporated into a battery charger a portable electronic device. Other applications include, for example, package labeling, sensors, window shades, window blinds, and/or windows (e.g., opaque windows, semitransparent windows).

The following example is illustrative and not intended to be limiting.

#### **Example 1**

A photovoltaic cell was prepared as follows.

A 50 micron thick titanium foil was cut to have a size of 0.7 cm by 7 cm to form the cathode of the photovoltaic cell. A 15 micron thick porous layer of  $\text{TiO}_2$  was deposited on one of the surfaces of the cathode using slot coating to form a portion of the photoactive layer. The  $\text{TiO}_2$  layer was coated with 30-50  $\text{mgs/m}^2$  of a photosensitizing agent to complete the photoactive layer.

The photoactive layer was then imbibed with 0.3-1.0  $\text{g/m}^2$  of an electrolyte that contains the redox couple  $\text{I/I}_3^-$  to form the charge carrier layer within the photovoltaic cell.

The anode of the photovoltaic cell was prepared by sputtering a 300 nm thick layer of ITO onto a surface of a PEN substrate that was 8 cm long, 2 cm wide, and 200 microns thick. A less than one nm thick layer of platinum was then sputtered on top of the ITO layer to form the catalyst layer. The photovoltaic cell was completed by joining the catalyst layer to the photoactive layer imbibed with electrolyte using THV adhesive (available from Dyneon).

Another photovoltaic cell was prepared using the same process.

Each of the two photovoltaic cells was exposed to an A.M. 1.5 (100 mW per square cm) light source (Oriel Solar Simulator) for 30 seconds. The current generated within each of the two photovoltaic cells was measured and plotted against voltage, the results of which are shown in FIG. 22. The efficiency of the first cell was 4.57%, and the efficiency of the second cell was 4.62%.

The fill factor of the first cell was 60.4%, and the fill factor of the second cell was 58.9%.

The two photovoltaic cells were then combined to create a photovoltaic module having the design shown in FIG. 4 (2 mm wide overlapping region). Steel staples (spaced approximately 5 mm from each other) were driven through the overlapping region to electrically connect and secure the two photovoltaic cells together to form a module.

The module was exposed to the same light source noted above and under the same conditions for 30 seconds. The current generated within the module was measured and plotted against voltage. The current versus voltage results are shown in FIG. 22.

The efficiency of the module was 4.67% was determined as described above. The fill factor of the module was 58.7%.

Thus, the fill factor of the module was only slightly higher than the fill factor of either cell, and the efficiency of the module was only slightly lower than the individual efficiency of either cell.

Other embodiments are in the claims.

**WHAT IS CLAIMED IS:**

1. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including an electrode;  
a second photovoltaic cell including an electrode; and  
an interconnect disposed in the electrode of the first photovoltaic cell and  
disposed in the electrode of the second photovoltaic cell so that the electrode of the first  
photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell are connected.
2. The module of claim 1, wherein the electrode of the first photovoltaic cell  
is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is a cathode.
3. The module of claim 1, wherein the electrode of the first photovoltaic cell  
is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is an anode.
4. The module of claim 1, wherein the interconnect is a metal stitch.
5. The module of claim 1, wherein the interconnect is a metal staple.
6. The module of claim 1, wherein the interconnect is a metal grommet.
7. The module of claim 1, wherein the module includes a plurality of  
interconnects that electrically connect the electrode of the first photovoltaic cell and the  
electrode of the second photovoltaic cell.
8. The module of claim 1, wherein the first and second photovoltaic cells  
share at least one common substrate.



9. The module of claim 1, wherein the first photovoltaic cell is electrically connected to the second photovoltaic cell in a step-wise configuration.

10. The module of claim 1, further comprising:  
a third photovoltaic cell including an electrode; and  
a second interconnect,  
wherein the second photovoltaic cell includes a second electrode, and the second interconnect is disposed in the second electrode of the second photovoltaic cell and disposed in the electrode of the third photovoltaic cell so that the electrode of the third photovoltaic cell and the second electrode of the second photovoltaic cell are connected.

11. The module of claim 1, further comprising an electrically conductive terminal contact attached to the electrode of the first photovoltaic cell.

12. The module of claim 11, wherein the electrically conductive terminal contact is a metal tape.

13. The module of claim 11, wherein the electrically conductive terminal contact is stitched using wire to connect the electrode of the first photovoltaic cell with the electrode of the second photovoltaic cell.

14. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including an electrode;  
a second photovoltaic cell including an electrode, a portion of the electrode of the second photovoltaic cell overlapping a portion of the electrode of the first photovoltaic cell to form an overlapping region; and  
an interconnect that connects the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell.

15. The module of claim 14, wherein the interconnect is disposed within the overlapping region.

16. The module of claim 15, wherein the interconnect is disposed in the electrode of the first photovoltaic cell and disposed in the electrode of the second photovoltaic cell.

17. The module of claim 14, wherein the interconnect is disposed in the electrode of the first photovoltaic cell and disposed in the electrode of the second photovoltaic cell.

18. The module of claim 14, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is a cathode.

19. The module of claim 14, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is an anode.

20. The module of claim 14, wherein the interconnect is a metal stitch.

21. The module of claim 14, wherein the interconnect is a metal staple.

22. The module of claim 14, wherein the interconnect is a metal grommet.

23. The module of claim 14, wherein the module includes a plurality of interconnects that connect the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell.

24. The module of claim 14, wherein the first and second photovoltaic cells share at least one common substrate.

25. The module of claim 14, wherein the first photovoltaic cell is connected to the second photovoltaic cell in a step-wise configuration.

26. The module of claim 14, further comprising:

a third photovoltaic cell including an electrode; and

a second interconnect,

wherein the second photovoltaic cell includes a second electrode, and the second is disposed in the second electrode of the second photovoltaic cell and disposed in the electrode of the third photovoltaic cell so that the electrode of the third photovoltaic cell and the second electrode of the second photovoltaic cell are connected.

27. The module of claim 14, further comprising an electrically conductive terminal contact attached to the electrode of the first photovoltaic cell.

28. The module of claim 27, wherein the electrically conductive terminal contact is a metal tape.

29. The module of claim 27, wherein the electrically conductive terminal contact is stitched, stapled or grommited to the electrode of the first photovoltaic cell.

30. A module, comprising:

a first photovoltaic cell including:

a cathode;

an anode; and

a photoactive material between the cathode and the anode;

a second photovoltaic cell including:

a cathode;

an anode; and

a photoactive material between the cathode and the anode; and

an interconnect disposed in the cathode of the first photovoltaic cell and disposed in the anode of the second photovoltaic cell so that the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell are connected.

31. The module of claim 30, wherein the first and second photovoltaic cells share a common substrate.

32. The module of claim 31, further comprising an insulating material between a portion of the first photovoltaic cell and a portion of the second photovoltaic cell.

33. The module of claim 32, wherein the insulating material comprises an adhesive.

34. The module of claim 31, wherein the first photovoltaic cell is connected to the second photovoltaic cell in a step-wise configuration.

35. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode;  
a second photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode; and  
an interconnect disposed in the cathode of the first photovoltaic cell and disposed in the cathode of the second photovoltaic cell so that the cathode of the first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell are connected.

36. The module of claim 35, wherein the first and second photovoltaic cells share a common substrate.

37. The module of claim 36, further comprising an insulating material between a portion of the first photovoltaic cell and a portion of the second photovoltaic cell.

38. The module of claim 37, wherein the insulating material comprises an adhesive.

39. The module of claim 35, wherein the first photovoltaic cell is connected to the second photovoltaic cell in a step-wise configuration.

40. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode;  
a second photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode, a portion of the anode of the second photovoltaic cell overlapping a portion of the cathode of the first photovoltaic cell to form an overlapping region; and  
an interconnect that connects the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell.

41. The module of claim 40, wherein the interconnect is disposed within the overlapping region.

42. The module of claim 41, wherein the interconnect disposed in the cathode of the first photovoltaic cell and disposed in the anode of the second photovoltaic cell.

43. The module of claim 40, wherein the first and second photovoltaic cells share a common substrate.

44. The module of claim 43, further comprising an insulating material between a portion of the first photovoltaic cell and a portion of the second photovoltaic cell.

45. The module of claim 44, wherein the insulating material comprises an adhesive.

46. The module of claim 40, wherein the first photovoltaic cell is connected to the second photovoltaic cell in a step-wise configuration.

47. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including:  
    a cathode;  
    an anode; and  
    a photoactive material between the cathode and the anode;  
a second photovoltaic cell including:  
    a cathode;  
    an anode; and  
    a photoactive material between the cathode and the anode, a portion of the cathode of the second photovoltaic cell overlapping a portion of the cathode of the first photovoltaic cell to form an overlapping region; and  
    an interconnect that connects the cathode of the first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell.

48. The module of claim 47, wherein the interconnect is disposed within the overlapping region.

49. The module of claim 48, wherein the interconnect disposed in the cathode of the first photovoltaic cell and disposed in the cathode of the second photovoltaic cell.

50. The module of claim 47, wherein the first and second photovoltaic cells share a common substrate.

51. The module of claim 50, further comprising an insulating material between a portion of the first photovoltaic cell and a portion of the second photovoltaic cell.

52. The module of claim 51, wherein the insulating material is an adhesive.

53. The module of claim 47, wherein the first photovoltaic cell is connected to the second photovoltaic cell in a step-wise configuration.

54. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell; and  
a second photovoltaic cell,  
wherein the first and second photovoltaic cells are configured in a step-wise configuration.

55. The module of claim 54, wherein the first and second photovoltaic cells are connected.

56. A method of connecting first and second photovoltaic cells, the method comprising:  
disposing an interconnect in an electrode of the first photovoltaic cell and in an electrode of the second photovoltaic cell to connect the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell.

57. The method of claim 56, further comprising overlapping the electrode of the first photovoltaic cell with the electrode of the second photovoltaic cell to create an overlapping region before disposing the conductive interconnect in the electrode of the first photovoltaic cell and in the electrode of the second photovoltaic cell to connect the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell.

58. The module of claim 1, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

59. The module of claim 1, wherein the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell are electrically connected.

60. The module of claim 1, wherein the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell are mechanically connected.

61. The module of claim 14, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

62. The module of claim 14, wherein the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell are electrically connected.

63. The module of claim 14, wherein the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell are mechanically connected.

64. The module of claim 30, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

65. The module of claim 30, wherein the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell are electrically connected.



66. The module of claim 30, wherein the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell are mechanically connected.

67. The module of claim 35, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

68. The module of claim 35, wherein the cathode of the first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell are electrically connected.

69. The module of claim 35, wherein the cathode of the first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell are mechanically connected.

70. The module of claim 40, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

71. The module of claim 40, wherein the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell are electrically connected.

72. The module of claim 40, wherein the cathode of the first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell are mechanically connected.

73. The module of claim 47, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

74. The module of claim 47, wherein the cathode of the first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell are electrically connected.

75. The module of claim 47, wherein the cathode of the first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell are mechanically connected.

76. The method of claim 56, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

77. The method of claim 56, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

78. The method of claim 56, wherein the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell are electrically connected.

79. The method of claim 57, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

80. The method of claim 57, wherein the interconnect is an electrically conductive interconnect.

81. The method of claim 57, wherein the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell are electrically connected.

82. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including an electrode; and  
a second photovoltaic cell including an electrode having a bent end connected to the electrode of the first photovoltaic cell.

83. The module of claim 82, wherein the bent end is electrically connected the electrode of the first photovoltaic cell.

84. The module of claim 82, wherein there is no separate interconnect between the electrodes of the first and second photovoltaic cells.

85. The module of claim 82, further comprising an adhesive material in contact with the electrodes of the first and second photovoltaic cell.

86. The module of claim 85, wherein the adhesive comprises an electrically conductive adhesive.

87. The module of claim 85, wherein the adhesive comprises an electrically insulative adhesive.

88. The module of claim 82, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is an anode.

89. The module of claim 82, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is an anode and the electrode of the second photovoltaic cell is a cathode.

90. The module of claim 82, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is a cathode.

91. The module of claim 82, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is an anode and the electrode of the second photovoltaic cell is an anode.

92. The module of claim 82, wherein the first and second photovoltaic cells share at least one common substrate.

93. The module of claim 82, further comprising:  
a third photovoltaic cell including an electrode having a bent end that is connected to the electrode of the second photovoltaic cell.

94. The module of claim 82, wherein the module has first and second ends, and the first and second ends are sealed.

95. The module of claim 82, wherein a portion of the electrode of the first photovoltaic cell overlaps a portion of the electrode of the second photovoltaic cell.

96. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including an electrode; and  
a second photovoltaic cell including an electrode having a shaped portion  
connected to the electrode of the first photovoltaic cell.
97. The module of claim 96, wherein the shaped portion is electrically  
connected to the electrode of the first photovoltaic cell.
98. The module of claim 96, wherein there is no separate interconnect  
between the electrodes of the first and second photovoltaic cells.
99. The module of claim 96, further comprising a member disposed between  
the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic  
cell.
100. The module of claim 99, wherein the member is compliant.
101. The module of claim 99, wherein the member is electrically conductive.
102. The module of claim 96, further comprising an adhesive material in  
contact with the electrodes of the first and second photovoltaic cell.
103. The module of claim 102, wherein the adhesive material is in the form of  
at least two members.
104. The module of claim 103, wherein the at least two members form seals on  
either side of the connection between the electrode of the first photovoltaic cell and the  
electrode of the second photovoltaic cell.
105. The module of claim 103, wherein the adhesive material further comprises  
at least one structural material.

106. The module of claim 105, wherein the structural material is electrically nonconductive.
107. The module of claim 102, wherein the adhesive is an electrically conductive adhesive.
108. The module of claim 102, wherein the adhesive is an electrically insulative adhesive.
109. The module of claim 96, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is an anode.
110. The module of claim 96, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is an anode and the electrode of the second photovoltaic cell is a cathode.
111. The module of claim 96, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is a cathode.
112. The module of claim 96, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is an anode and the electrode of the second photovoltaic cell is an anode.
113. The module of claim 96, wherein the first and second photovoltaic cells share at least one common substrate.
114. The module of claim 96, further comprising:  
a third photovoltaic cell including an electrode having a shaped portion that is electrically connected to the electrode of the second photovoltaic cell.
115. The module of claim 96, wherein the module has first and second ends, and the first and second ends are sealed.

116. The module of claim 96, wherein a portion of the electrode of the first photovoltaic cell overlaps a portion of the electrode of the second photovoltaic cell.

117. A method, comprising:  
making a module via a continuous process, wherein the module comprises:  
a first photovoltaic cell including an electrode; and  
a second photovoltaic cell including an electrode having a bent end connected to the electrode of the first photovoltaic cell.

118. The method of claim 117, wherein the bent end is electrically connected the electrode of the first photovoltaic cell.

119. A method, comprising:  
making a module via a roll-to-roll process, wherein the module comprises:  
a first photovoltaic cell including an electrode; and  
a second photovoltaic cell including an electrode having a bent end connected to the electrode of the first photovoltaic cell.

120. The method of claim 119, wherein the bent end is electrically connected the electrode of the first photovoltaic cell.

121. A method, comprising:  
making a module via a continuous process, wherein the module comprises:  
a first photovoltaic cell including an electrode; and  
a second photovoltaic cell including an electrode having a shaped portion connected to the electrode of the first photovoltaic cell.

122. The method of claim 121, wherein the bent end is electrically connected the electrode of the first photovoltaic cell.

123. A method, comprising:  
making a module via a roll-to-roll process, wherein the module comprises:  
a first photovoltaic cell including an electrode; and  
a second photovoltaic cell including an electrode having a shaped portion  
connected to the electrode of the first photovoltaic cell.
124. The method of claim 123, wherein the bent end is electrically connected  
the electrode of the first photovoltaic cell.
125. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including an electrode;  
a second photovoltaic cell including an electrode; and  
an interconnect that connects the electrodes of first and second photovoltaic cells,  
wherein the interconnect comprises:  
an adhesive material; and  
a mesh partially disposed in the adhesive material.
126. The module of claim 125, wherein the adhesive material comprises an  
electrically insulative material.
127. The module of claim 125, wherein the mesh comprises an electrically  
conductive material.
128. The module of claim 125, wherein the mesh is an expanded mesh.
129. The module of claim 125, wherein the electrode of the first photovoltaic  
cell is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is an anode.
130. The module of claim 125, wherein the electrode of the first photovoltaic  
cell is a cathode and the electrode of the second photovoltaic cell is a cathode.

131. The module of claim 125, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is an anode and the electrode of the second photovoltaic cell is an anode.

132. The module of claim 125, wherein the first and second photovoltaic cells share at least one common substrate.

133. The module of claim 125, further comprising:  
a third photovoltaic cell including an electrode; and  
a second interconnect that connects the electrodes of the second and third photovoltaic cells,  
wherein the second interconnect comprises:  
an adhesive material; and  
a mesh partially disposed in the adhesive material.

134. The module of claim 125, wherein the module has first and second ends, and the first and second ends are sealed.

135. The module of claim 125, wherein a portion of the electrode of the first photovoltaic cell overlaps a portion of the electrode of the second photovoltaic cell.

136. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode;  
a second photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode; and  
an interconnect that connects the cathode of first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell,



wherein the interconnect comprises:

- an adhesive material; and
- a mesh partially disposed in the adhesive material.

137. The module of claim 136, wherein the adhesive material comprises an electrically insulative material.

138. The module of claim 136, wherein the mesh comprises an electrically conductive material.

139. The module of claim 136, wherein the mesh is an expanded mesh.

140. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including:  
    a cathode;  
    an anode; and  
    a photoactive material between the cathode and the anode;  
a second photovoltaic cell including:  
    a cathode;  
    an anode; and  
    a photoactive material between the cathode and the anode; and  
an interconnect that connects the cathode of first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell,  
wherein the interconnect comprises:  
    an adhesive material; and  
    a mesh partially disposed in the adhesive material.

141. The module of claim 140, wherein the adhesive material comprises an electrically insulative material.

142. The module of claim 140, wherein the mesh comprises an electrically conductive material.

143. The module of claim 140, wherein the mesh is an expanded mesh.

144. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode;  
a second photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode; and  
an interconnect that connects the anode of first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell,  
wherein the interconnect comprises:  
an adhesive material; and  
a mesh partially disposed in the adhesive material.

145. The module of claim 144, wherein the adhesive material comprises an electrically insulative material.

146. The module of claim 144, wherein the mesh comprises an electrically conductive material.

147. The module of claim 144, wherein the mesh is an expanded mesh.

148. A method, comprising:  
making a module via a roll-to-roll process, wherein the module comprises:  
a first photovoltaic cell including an electrode;

a second photovoltaic cell including an electrode; and  
an interconnect that connects the electrodes of first and second  
photovoltaic cells,

wherein the interconnect comprises:

an adhesive material; and  
a mesh partially disposed in the adhesive material.

149. A method, comprising:

making a module via a roll-to-roll process, wherein the module comprises:

a first photovoltaic cell including:

a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode;

a second photovoltaic cell including:

a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode; and

an interconnect that connects the cathode of first photovoltaic cell and the  
anode of the second photovoltaic cell,

wherein the interconnect comprises:

an adhesive material; and  
a mesh partially disposed in the adhesive material.

150. A method, comprising:

making a module via a roll-to-roll process, wherein the module comprises:

a first photovoltaic cell including:

a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode;

a second photovoltaic cell including:

a cathode;

- an anode; and
- a photoactive material between the cathode and the anode; and
- an interconnect that connects the cathode of first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell,

wherein the interconnect comprises:

- an adhesive material; and
- a mesh partially disposed in the adhesive material.

151. A method, comprising:

making a module via a continuous process, wherein the module comprises:

- a first photovoltaic cell including an electrode;
- a second photovoltaic cell including an electrode; and
- an interconnect that connects the electrodes of first and second photovoltaic cells,

wherein the interconnect comprises:

- an adhesive material; and
- a mesh partially disposed in the adhesive material.

152. A method, comprising:

making a module via a continuous process, wherein the module comprises:

- a first photovoltaic cell including:
  - a cathode;
  - an anode; and
  - a photoactive material between the cathode and the anode;
- a second photovoltaic cell including:
  - a cathode;
  - an anode; and
  - a photoactive material between the cathode and the anode; and
- an interconnect that connects the cathode of first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell,

wherein the interconnect comprises:

an adhesive material; and  
a mesh partially disposed in the adhesive material.

153. A method, comprising:  
making a module via a continuous process, wherein the module comprises:  
a first photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode;  
a second photovoltaic cell including:  
a cathode;  
an anode; and  
a photoactive material between the cathode and the anode; and  
an interconnect that connects the cathode of first photovoltaic cell and the  
cathode of the second photovoltaic cell,  
wherein the interconnect comprises:  
an adhesive material; and  
a mesh partially disposed in the adhesive material.

154. The module of claim 125, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is electrically connected to the electrode of the second photovoltaic cell.

155. The module of claim 125, wherein the electrode of the first photovoltaic cell is mechanically connected to the electrode of the second photovoltaic cell.

156. The module of claim 136, wherein the interconnect electrically connects the cathode of first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell.

157. The module of claim 136, wherein the interconnect mechanically connects the cathode of first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell.

158. The module of claim 140, wherein the interconnect electrically connects the cathode of first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell.

159. The module of claim 140, wherein the interconnect mechanically connects the cathode of first photovoltaic cell and the cathode of the second photovoltaic cell.

160. The module of claim 144, wherein the interconnect electrically connects the anode of first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell.

161. The module of claim 144, wherein the interconnect mechanically connects the anode of first photovoltaic cell and the anode of the second photovoltaic cell.

162. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell including an electrode;  
a second photovoltaic cell including an electrode; and  
an interconnect,  
wherein:  
the electrode of the first photovoltaic cell overlaps the electrode of the second photovoltaic cell;  
the interconnect electrically connects the electrode of the first photovoltaic cell and the electrode of the second photovoltaic cell; and  
the interconnect mechanically couples the first and second photovoltaic cells.

163. The module of claim 162, wherein the interconnect comprises a conductive tape.

164. The module of claim 162, wherein the interconnect comprises a conductive paste.

165. The module of claim 162, wherein the interconnect comprises a conductive solder.

166. The module of claim 162, wherein the interconnect comprises a conductive fiber.

167. The module of claim 162, wherein the interconnect comprises a ribbon including particles suspended on thermoplastic matrix.

168. The module of claim 162, wherein the first and second cells are arranged in a series configuration.

169. The module of claim 162, wherein the first and second cells are arranged in a parallel configuration.

170. The module of claim 162, wherein the first and second cells comprise an active material including a dye sensitized titania.

171. The module of claim 162, wherein the first and second photovoltaic cells are arranged in a step-wise configuration.

172. The module of claim 162, further comprising a third photovoltaic cell electrically connected to the second photovoltaic cell.

173. The module of claim 162, wherein the interconnect is in the form of a bead of material.

174. The module of claim 173, wherein the bead of material comprises a conductive paste.

175. A module comprising:

a first photovoltaic cell including an electrode;  
a second photovoltaic cell including an electrode, the second photovoltaic cell overlapping the first photovoltaic cell to define an overlapping region; and  
an interconnect adjacent the overlapping region to electrically and mechanically connect the first and second photovoltaic cells.

176. A module, comprising:  
a first photovoltaic cell comprising an electrode with a first surface;  
a second photovoltaic cell comprising an electrode with a second surface; and  
an interconnect that connects the first and second photovoltaic cells, the interconnect being supported by the first and second surfaces.
177. The module of claim 176, wherein the interconnect is in the form of a tape.
178. The module of claim 177, wherein the tape is an electrically conductive tape.
179. The module of claim 176, wherein interconnect is disposed on the first surface.
180. The module of claim 179, wherein interconnect is disposed on the second surface.
181. The module of claim 176, wherein the interconnect electrically connects the first and second photovoltaic cells.
182. The module of claim 176, wherein the interconnect mechanically connects the first and second photovoltaic cells.

183. A method, comprising:  
making a module using a continuous process, the module comprising:



a first photovoltaic cell including an electrode;  
a second photovoltaic cell including an electrode; and  
an interconnect that connects the first and second photovoltaic cells.

184. The method of claim 183, wherein the process comprises a roll-to-roll process.

185. The method of claim 183, wherein the interconnect electrically connects the first and second photovoltaic cells.

186. The method of claim 183, wherein the interconnect mechanically connects the first and second photovoltaic cells.

187. A method, comprising:  
making a module using a roll-to-roll process, the module comprising:  
a first photovoltaic cell including an electrode;  
a second photovoltaic cell including an electrode; and  
an interconnect that connects the first and second photovoltaic cells.

188. The method of claim 187, wherein the interconnect electrically connects the first and second photovoltaic cells.

189. The method of claim 187, wherein the interconnect mechanically connects the first and second photovoltaic cells.

190. A module having a module efficiency, comprising:  
a first photovoltaic cell having a first efficiency;  
a second photovoltaic cell having a second efficiency, the second photovoltaic cell being electrically connected to the first photovoltaic cell,  
wherein the module efficiency is at least about 80% of the first efficiency.

191. The module of claim 190, wherein the module efficiency is at least about 80% of the second efficiency.

192. The module of claim 190, wherein the module efficiency is at least about 85% of the first efficiency.

193. The module of claim 190, wherein the module efficiency is at least about 90% of the first efficiency.

194. The module of claim 190, wherein the module efficiency is at least about 90% of the first efficiency.

195. The module of claim 190, wherein the first and second photovoltaic cells are electrically connected by an interconnect.

#### **ABSTRACT**

Photovoltaic modules, as well as related systems, methods and components are disclosed.

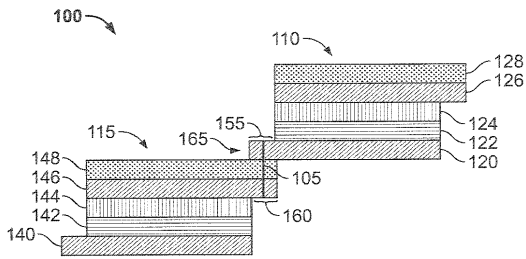


FIG. 1

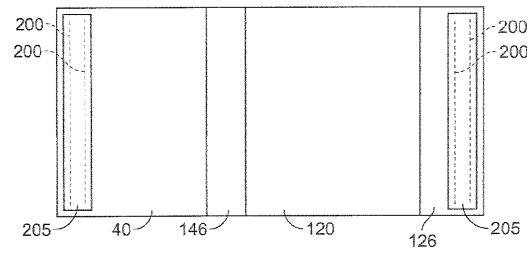


FIG. 2B

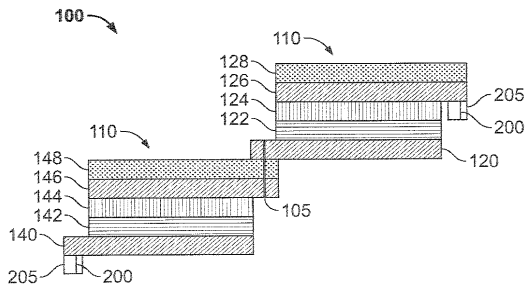


FIG. 2A

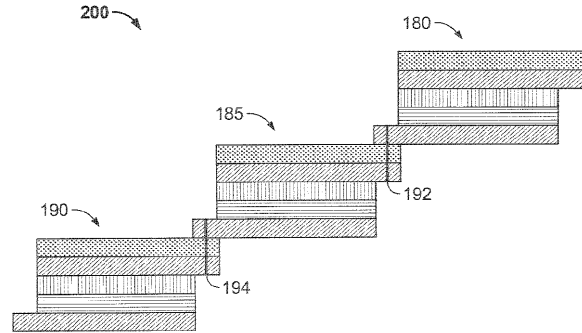


FIG. 3

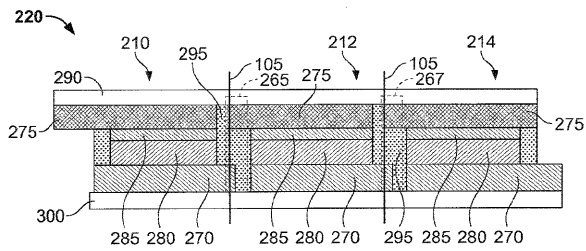


FIG. 4

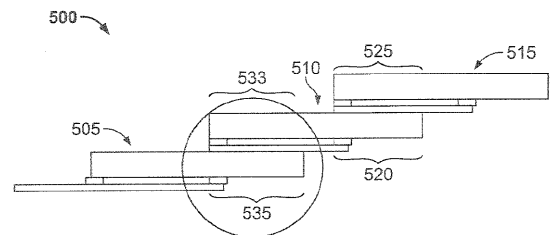


FIG. 8A

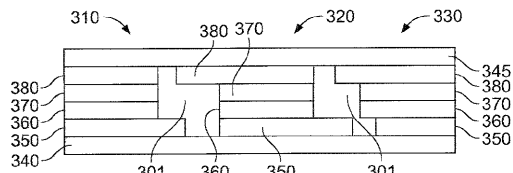


FIG. 5

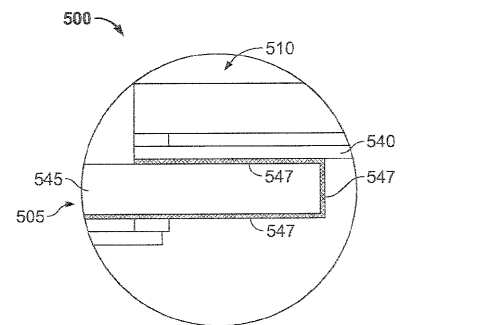


FIG. 8B

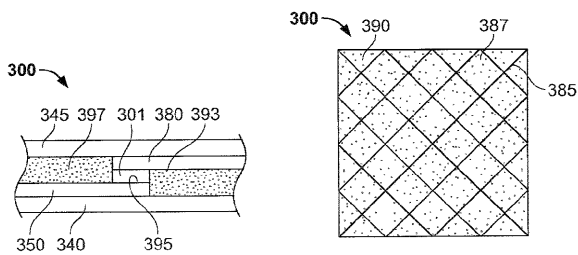


FIG. 6

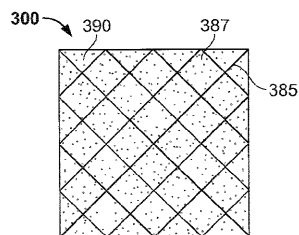


FIG. 7

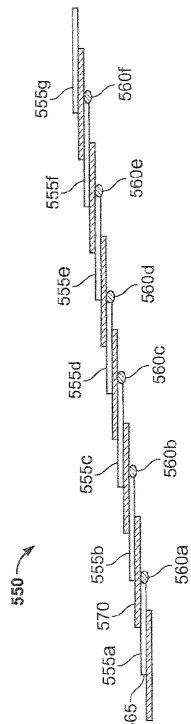


FIG. 9A

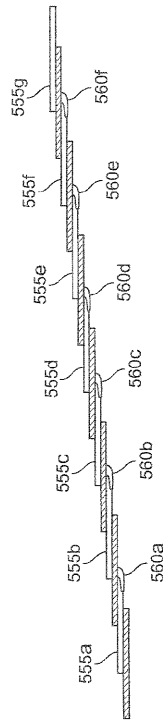


FIG. 9B

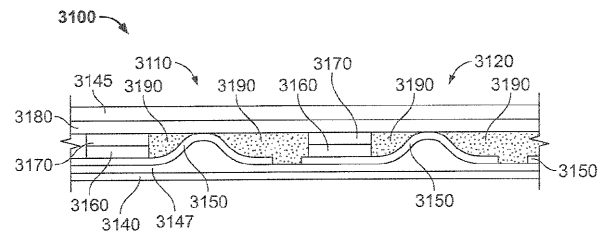


FIG. 10

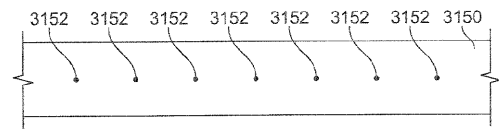


FIG. 11

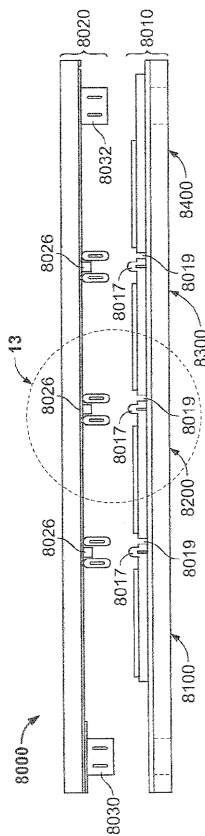


FIG. 12

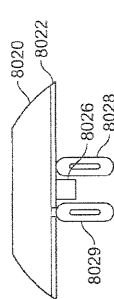


FIG. 13

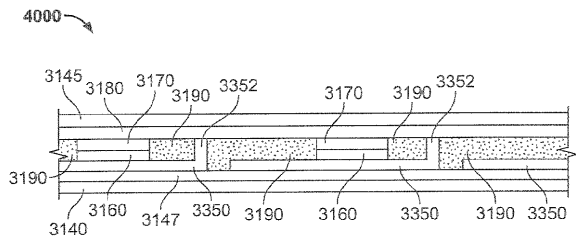


FIG. 14

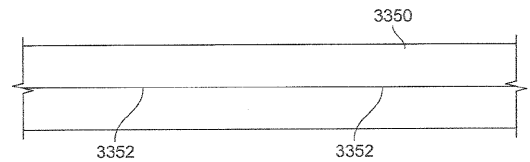


FIG. 15

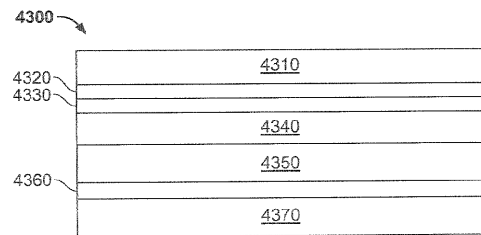


FIG. 16

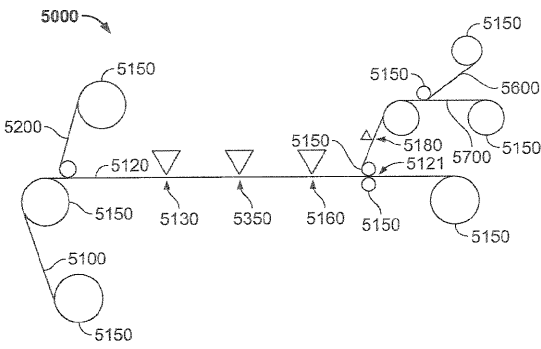


FIG. 17

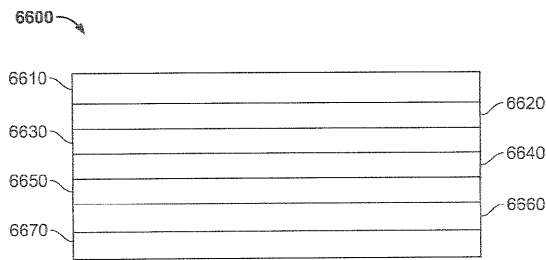


FIG. 18

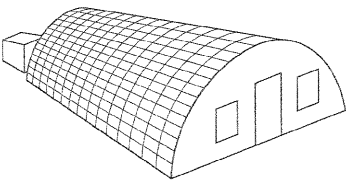


FIG. 19

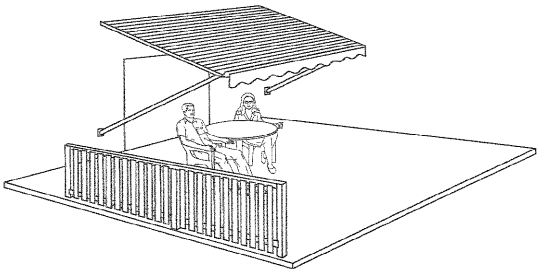


FIG. 20

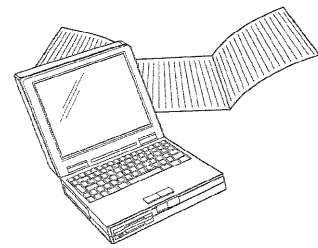


FIG. 21

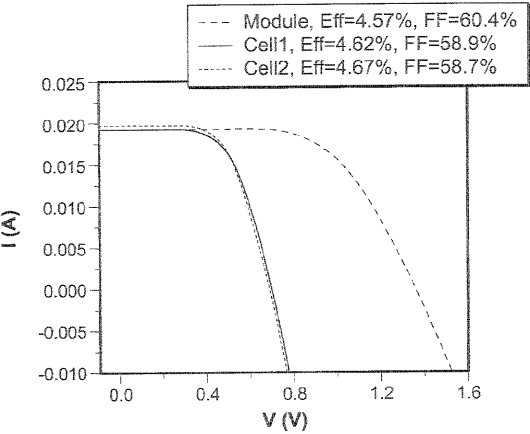


FIG. 22