

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5530807号  
(P5530807)

(45) 発行日 平成26年6月25日 (2014. 6. 25)

(24) 登録日 平成26年4月25日 (2014. 4. 25)

(51) Int. Cl. F I  
**H O 1 L 31/06 (2012.01)**  
H O 1 L 31/04 W  
H O 1 L 31/04 Y

請求項の数 4 (全 53 頁)

(21) 出願番号	特願2010-124666 (P2010-124666)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成22年5月31日 (2010. 5. 31)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2011-14889 (P2011-14889A)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地
(43) 公開日	平成23年1月20日 (2011. 1. 20)	(72) 発明者	山崎 舜平
審査請求日	平成25年3月21日 (2013. 3. 21)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2009-136672 (P2009-136672)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成21年6月5日 (2009. 6. 5)	(72) 発明者	鈴木 幸恵
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
			半導体エネルギー研究所内
		(72) 発明者	西 和夫
			神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
			半導体エネルギー研究所内
		(72) 発明者	荒井 康行
			神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
			半導体エネルギー研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光電変換装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の光電変換セルが設けられた第 1 の基板と、  
第 2 の光電変換セルが設けられた第 2 の基板と、  
前記第 1 の基板と前記第 2 の基板を、前記第 1 の光電変換セルと前記第 2 の光電変換セルとを内向させて固着する構造体とを有し、  
前記構造体は、積層構造を有する繊維体と、前記繊維体に含浸された有機樹脂とを有し

、  
前記第 1 の基板は、可撓性を有し、

前記第 2 の基板は、可撓性を有することを特徴とする光電変換装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記第 1 の光電変換セルは、前記第 1 の基板側から、透明電極、光電変換層、透明電極がこの順で積層され、

第 2 の光電変換セルは、前記構造体側から、透明電極、光電変換層、金属電極がこの順で積層されていることを特徴とする光電変換装置。

【請求項 3】

請求項 2 において、

前記第 1 の光電変換セル及び前記第 2 の光電変換セルの前記光電変換層は、p n 接合又は p i n 接合を含むことを特徴とする光電変換装置。

20

## 【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項において、

前記第 1 の光電変換セルと前記第 2 の光電変換セルとは、前記構造体と重畳しない領域において、電氣的に並列に接続されていることを特徴とする光電変換装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、光から電気エネルギーを生成することができる光電変換装置および光電変換装置の作製方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

光起電力効果により、受けた光を直接電力に変換して出力する光電変換装置の一種である太陽電池は、従来の発電方式のように、途中で熱エネルギーや運動エネルギーへのエネルギー変換の必要がない。そのため、太陽電池の生産または設置などの際に燃料が消費されることを見越しても、二酸化炭素に代表される温室効果ガスや有害物質を含む排出ガスの、発電量あたりの排出量が、化石燃料に基づくエネルギー源に比べて著しく少ないという利点を有する。また、太陽から地球上に 1 時間に降り注ぐ光のエネルギーは、人類が 1 年間に消費するエネルギーに相当する。太陽電池の生産に必要な原料も基本的に豊富であり、例えばシリコンの資源量は無限に近い。太陽光発電は世界のエネルギー需要をまかなえる大きな可能性を有しており、埋蔵量に限りがある化石燃料の代替エネルギーとして、期待を担っている。

## 【0003】

p n 接合または p i n 接合などの半導体接合を用いた光電変換装置は、半導体接合が 1 つの単接合タイプのもものと、複数の半導体接合を用いた多接合タイプのもものとに分類できる。バンドギャップの異なる複数の半導体接合を、光の進行方向において重なるよう配置した多接合タイプの太陽電池は、紫外線から赤外線まで幅広い波長の光を含んでいる太陽光を、より高い変換効率で無駄なく電気エネルギーに変換することが出来る。

## 【0004】

光電変換装置の製造方法としては、例えば、p i n 接合（または p n 接合）を形成した二つの基板を、当該基板が外側に位置するように互いに対向させて貼り合わせることにより、いわゆるメカニカル・スタック構造を形成する方法が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。このような構造を採用することにより、積層構造に起因する製造プロセスの制限を解消して、より変換効率の高い光電変換装置を実現することができる。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献 1】特開 2 0 0 4 - 1 1 1 5 5 7 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

しかし、特許文献 1 に示される光電変換装置では、p i n 接合と p i n 接合とを絶縁性の樹脂をもって貼り合わせているため、その貼り合わせ強度や機械的強度に問題が生じうる。特に、p i n 接合を形成するための基板としてフレキシブルな基板を用いる場合には、機械的強度の向上は極めて重要な課題となる。

## 【0007】

上述の課題に鑑み、開示する発明の一態様は、製造工程を複雑化させることなく、機械的強度を向上させた光電変換装置を提供することを目的の一とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

開示する本発明の一態様は、光電変換機能を備えた第 1 のセルと、光電変換機能を備えた

10

20

30

40

50

第２のセルと、第１のセルおよび第２のセルを固着した、繊維体を含む構造体と、を有する光電変換装置である。

【０００９】

開示する本発明の一態様は、第１の基板上に形成された光電変換機能を備えた第１のセルと、第２の基板上に形成された光電変換機能を備えた第２のセルと、第１のセルおよび第２のセルを固着した繊維体を含む構造体と、を有する光電変換装置である。

【００１０】

開示する本発明の一態様は、第１のセルが、第１の導電膜と第２の導電膜とに挟持された第１の光電変換層、を有し、第２のセルが、第３の導電膜と第４の導電膜とに挟持された第２の光電変換層、を有する光電変換装置でもよい。

10

【００１１】

開示する本発明の一態様は、第１の光電変換層が、第１のｐ型半導体層及び第１のｎ型半導体層を有し、第２の光電変換層が、第２のｐ型半導体層及び第２のｎ型半導体層を有する光電変換装置でもよい。

【００１２】

開示する本発明の一態様は、第１のｐ型半導体層と第１のｎ型半導体層との間に、第１のｉ型半導体層を有し、第２のｐ型半導体層と第２のｎ型半導体層との間に、第２のｉ型半導体層を有する光電変換装置でもよい。

【００１３】

開示する本発明の一態様は、第１の基板及び第２の基板が、可撓性を有する基板である光電変換装置でもよい。

20

【００１４】

開示する本発明の一態様は、第１のセル及び第２のセルが、構造体を介して、第１の基板及び第２の基板が外側に位置するように互いに対向させた光電変換装置でもよい。

【００１５】

開示する本発明の一態様は、第１のセルまたは第２のセルには、非晶質シリコン、結晶性シリコン、単結晶シリコンのいずれかを含む光電変換装置でもよい。

【００１６】

開示する本発明の一態様は、光電変換機能を備えた第１のセルを形成し、光電変換機能を備えた第２のセルを形成し、繊維体を含む構造体によって、第１のセルと第２のセルとを固着する光電変換装置の作製方法である。

30

【００１７】

開示する本発明の一態様は、第１の基板上に光電変換機能を備えた第１のセルを形成し、第２の基板上に光電変換機能を備えた第２のセルを形成し、繊維体を含む構造体によって、第１のセルと第２のセルとを固着し、且つ電氣的に接続する光電変換装置の作製方法である。

【００１８】

開示する本発明の一態様は、第１のセルとして、第１の導電膜と、第１の光電変換層と、第２の導電膜と、の積層構造を形成し、第２のセルとして、第３の導電膜と、第２の光電変換層と、第４の導電膜と、の積層構造を形成する光電変換装置の作製方法でもよい。

40

【００１９】

開示する本発明の一態様は、第１の光電変換層が、第１のｐ型半導体層と、第１のｎ型半導体層と、を積層して形成し、第２の光電変換層が、第２のｐ型半導体層と、第２のｎ型半導体層と、を積層して形成する光電変換装置の作製方法でもよい。

【００２０】

開示する本発明の一態様は、第１のｐ型半導体層と第１のｎ型半導体層との間に、第１のｉ型半導体層を形成し、第２のｐ型半導体層と第２のｎ型半導体層との間に、第２のｉ型半導体層を形成する光電変換装置の作製方法でもよい。

【００２１】

開示する本発明の一態様は、第１のセル及び第２のセルが、可撓性を有する第１の基板及

50

び第2の基板を用いて作製される光電変換装置の作製方法でもよい。

【0022】

開示する本発明の一態様は、第1のセル及び第2のセルが、構造体を介して、第1の基板及び第2の基板が外側に位置するように互いに対向させて貼り合わされて作製される光電変換装置の作製方法でもよい。

【0023】

開示する本発明の一態様は、第1のセルまたは第2のセルを、非晶質シリコン、結晶性シリコン、単結晶シリコンのいずれかを含んで作製する光電変換装置の作製方法でもよい。

【発明の効果】

【0024】

開示する発明の一態様では、p i n接合とp i n接合との貼り合わせを繊維体に有機樹脂を含浸させた構造体、所謂プリプレグによって行っているため、製造コストを抑制しつつも、機械的強度を向上した光電変換装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】光電変換装置の断面図。

【図2】光電変換装置の断面図。

【図3】光電変換装置の断面図。

【図4】光電変換装置の断面図。

【図5】織布の上面図。

【図6】光電変換装置の作製方法を示す図。

【図7】光電変換装置の作製方法を示す図。

【図8】光電変換装置の作製方法を示す図。

【図9】光電変換装置の作製方法を示す図。

【図10】単結晶シリコンウェーハの加工方法を示す図。

【図11】光電変換装置の作製方法を示す図。

【図12】光電変換装置の断面図。

【図13】光電変換層の作製に用いる装置の構成を示す図。

【図14】光電変換層の作製に用いる装置の構成を示す図。

【図15】太陽光発電モジュールの構成を示す図。

【図16】太陽光発電システムの構成を示す図。

【図17】太陽光発電モジュールを用いた車両の構成を示す図。

【図18】インバータの一態様を示す図である。

【図19】スイッチングレギュレータのブロック図である。

【図20】光電変換装置からの出力電圧を示す図である。

【図21】光発電システムの一例を示す図である。

【図22】光電変換モジュールの周辺部分を示す図である。

【図23】光電変換モジュールの周辺部分を示す図である。

【図24】非晶質シリコン(a - S i)と単結晶シリコン(c - S i)の吸収係数の波長依存を示す図である。

【図25】非晶質シリコン(a - S i)を用いた光電変換層の量子効率の波長依存を示す図である。

【図26】単結晶シリコン(c - S i)を用いた光電変換層の量子効率の波長依存を示す図である。

【図27】光電変換層を積層した構造における量子効率の波長依存を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下では、実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。ただし、発明は以下の説明に限定されず、発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及び詳細を様々に変更し得ることは、当業者であれば容易に理解される。したがって、発明は、以下に示す

10

20

30

40

50

実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。

【0027】

なお、単数または複数の太陽電池（セル）を、電力を外部に取り出すための端子に接続したものが太陽電池モジュールまたは太陽電池パネルに相当する。太陽電池モジュールは、さらに、湿気、汚れ、紫外線、物理的な応力などからセルを保護するために、樹脂、強化ガラス、金属枠等の保護材で補強したものであってもよい。また、所望の電力が得られるように、複数の太陽電池モジュールを直列に接続したものが、太陽電池ストリングに相当する。さらに、複数の太陽電池ストリングを並列に並べたものが、太陽電池アレイに相当する。本発明の光電変換装置は、セル、太陽電池モジュール、太陽電池ストリング、太陽電池アレイを全てその範疇に含める。また、光電変換層とは、光照射により光起電力を得るための半導体層を含む層をいう。すなわち、光電変換層とは、 $p-n$ 接合、 $p-i-n$ 接合などを代表例とする半導体接合が形成された半導体層のことをいう。

10

【0028】

なお、各実施の形態の図面等において示す各構成の、大きさ、層の厚さ、又は領域は、明瞭化のために誇張されて表記している場合がある。よって、必ずしもそのスケールに限定されない。

【0029】

なお、本明細書にて用いる「第1」、「第2」、「第3」等などの序数詞は、構成要素の混同を避けるために付したものであり、数的に限定するものではないことを付記する。また、本明細書において発明を特定するための事項として固有の名称を示すものではないことを付記する。

20

【0030】

（実施の形態1）

発明の一態様にかかる光電変換装置は、少なくとも二つのセルを備える。当該セルは、光電変換機能を有する最小単位である光電変換層の単層構造又は積層構造で構成される。さらに光電変換装置は、繊維体に樹脂を含浸することで形成される少なくとも1つの構造体を有し、該構造体が二つのセルの間に挟まれている。図1を用いて、発明の一態様にかかる光電変換装置の構成について説明する。

【0031】

図1に示す光電変換装置は、基板101（第1の基板ともいう）に支持されているセル102（第1のセルともいう）と、構造体103と、基板104（第2の基板ともいう）に支持されているセル105（第2のセルともいう）とを有する。セル102とセル105の間には、構造体103が挟まれている。セル102とセル105は、それぞれ単数の光電変換層、または積層された複数の光電変換層を有している。セル102が有する光電変換層と、構造体103と、セル105が有する光電変換層とは、矢印で示す光の進行方向において重なるように、順に配置されている。セル102とセル105とは、構造体103と重畳する領域において、構造体103により電氣的に絶縁されている。セル102とセル105とは、構造体103と重畳しない領域において、セル102及びセル105の $p-n$ 接合または $p-i-n$ 接合が電氣的に並列になるよう接続されている。

30

【0032】

光電変換層は、半導体接合を1つ有している。なお、開示する発明の光電変換装置で用いることが出来る光電変換層は、必ずしも半導体接合を有している必要はない。例えば、光を吸収する有機色素を用いて光起電力を得る色素増感タイプの光電変換層であっても良い。

40

【0033】

構造体103は、有機化合物または無機化合物の繊維体106に有機樹脂107を含浸することで、形成することができる。基板101に支持された状態のセル102と、基板104に支持された状態のセル105の間に構造体103を挟み、加熱圧着させることで、セル102と、構造体103と、セル105とを固着させることができる。或いは、セル102と構造体103の間に、セル102と構造体103とを固着させるための層を設け

50

ても良いし、構造体103とセル105の間に、構造体103とセル105とを固着させるための層を設けても良い。もしくは、セル102とセル105の一方に繊維体106を重ねた後、該繊維体106に有機樹脂107を含浸させて構造体103を形成し、次に他方を該構造体103上に重ねることで、セル102と、構造体103と、セル105とを固着させても良い。なお基板101及び基板104が外側（構造体103のある側とそれぞれ反対側の方向）に位置するように、構造体103を挟んで互に対向させるように配置することで、基板101及び基板104でセル102とセル105を保護する構成とすることができるため好適である。

#### 【0034】

繊維体106は、有機化合物または無機化合物の高強度繊維を用いた織布または不織布を用いることができる。高強度繊維とは、具体的には引張弾性率またはヤング率が高い繊維である。繊維体106として高強度繊維を用いることにより、局所的な圧力がセルにかかったとしても、当該圧力が繊維体106全体に分散し、セルの一部が延伸することを防ぐことができる。即ち、一部の延伸に伴う配線、セル等の破壊を防止することが可能である。また、有機樹脂107としては、熱可塑性樹脂または熱硬化性樹脂を用いることができる。

#### 【0035】

なお、図1では、構造体103が単層の繊維体106を有する場合を例示しているが、開示する発明の光電変換装置はこの構成に限定されない。構造体103内において、2層以上の繊維体が積層されていても良い。特に構造体103において3層以上の繊維体を用いることで、基板101及び基板104に可撓性を有する基板を用いた場合において、外力、特に押圧に対する光電変換装置の信頼性をより高めることができる。なお、当該構成の効果については実験結果によって確認している。

#### 【0036】

構造体103の膜厚は、10 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下、さらには10 $\mu$ m以上30 $\mu$ mであることが望ましい。基板101及び基板104に可撓性を有する基板を用いた場合、上記厚さの構造体103を用いることで、薄型で湾曲することが可能な光電変換装置を作製することができる。

#### 【0037】

次いで、基板101に支持されているセル102、及び基板104に支持されているセル105について説明する。なおセル102とセル105とが有する光電変換層は、半導体接合を有する場合、該半導体接合はp i n接合であっても良いし、p n接合であっても良い。図2(A)、図2(B)に、セル102とセル105とがp i n接合を有する光電変換装置の断面図を、一例として示す。

#### 【0038】

図2(A)に示す光電変換装置において、セル102（第1のセル）は、電極として機能する導電膜110（第1の導電膜ともいう）と、光電変換層111（第1の光電変換層ともいう）と、電極として機能する導電膜112（第2の導電膜ともいう）とを有する。導電膜110と、光電変換層111と、導電膜112とは、基板101側から順に積層されている。さらに光電変換層111は、p層113（第1のp型半導体層ともいう）と、i層114（第1のi型半導体層ともいう）と、n層115（第1のn型半導体層ともいう）とを有する。p層113と、i層114と、n層115とは、導電膜110側から順に積層されることで、p i n接合を形成している。また、セル105（第2のセル）は、電極として機能する導電膜120（第3の導電膜ともいう）と、光電変換層121a（第2の光電変換層ともいう）と、電極として機能する導電膜122（第4の導電層ともいう）とを有する。導電膜120と、光電変換層121aと、導電膜122とは、基板104側から順に積層されている。さらに光電変換層121aは、p層125（第2のp型半導体層ともいう）と、i層124（第2のi型半導体層ともいう）と、n層123（第2のn型半導体層ともいう）とを有する。n層123と、i層124と、p層125とは、導電膜120側から順に積層されることで、p i n接合を形成している。

10

20

30

40

50

## 【0039】

なおp層は、p型半導体層のことであり、i層は、i型半導体層のことであり、n層は、n型半導体層のことである。

## 【0040】

よって、図2(A)に示す光電変換装置は、光電変換層111と、光電変換層121aのみに着目すると、基板101側から順に、p層113、i層114、n層115、p層125、i層124、n層123が積層された構造を有している。従って、セル102及びセル105のそれぞれのpin接合を電氣的に並列に配した光電変換装置とすることができる。構造体103には繊維体106を含んでおり、機械的強度を向上した光電変換装置を実現することができる。

10

## 【0041】

一方、図2(B)に示す光電変換装置は、光電変換層121bが有するp層125、i層124、n層123が、図2(A)に示す光電変換層121aとは、逆の順序に積層されている。

## 【0042】

具体的に、図2(B)に示す光電変換装置において、セル102は、電極として機能する導電膜110と、光電変換層111と、電極として機能する導電膜112とを有する。導電膜110と、光電変換層111と、導電膜112とは、基板101側から順に積層されている。さらに光電変換層111は、p層113と、i層114と、n層115とを有する。p層113と、i層114と、n層115とは、導電膜110側から順に積層されることで、pin接合を形成している。また、セル105は、電極として機能する導電膜120と、光電変換層121bと、電極として機能する導電膜122とを有する。導電膜120と、光電変換層121bと、導電膜122とは、基板104側から順に積層されている。さらに光電変換層121bは、p層125と、i層124と、n層123とを有する。p層125と、i層124と、n層123とは、導電膜120側から順に積層されることで、pin接合を形成している。

20

## 【0043】

よって、図2(B)に示す光電変換装置は、光電変換層111と、光電変換層121bのみに着目すると、基板101側から順に、p層113、i層114、n層115、n層123、i層124、p層125が積層された構造を有している。従って、セル102及びセル105のそれぞれのpin接合を電氣的に並列に配した光電変換装置とすることができる。構造体103には繊維体106を含んでおり、機械的強度を向上した光電変換装置を実現することができる。

30

## 【0044】

なお、図2(B)では、n層115よりもp層113が基板101により近い側に形成されており、なおかつ、n層123よりもp層125が基板104により近い側に形成されているが、開示する発明はこの構成に限定されない。開示する発明の一態様にかかる光電変換装置は、p層113よりもn層115が基板101により近い側に形成され、なおかつ、p層125よりもn層123が基板104により近い側に形成されていても良い。

## 【0045】

なお、図2(A)、図2(B)に示した光電変換装置において、光は基板101側から入射させても良いし、逆に基板104側から入射させても良い。ただし、p層113をn層115よりも、光が入射される側に近くなるよう配置することが望ましい。ホールのキャリアとしての寿命は、電子のキャリアとしての寿命の約半分と短い。pin接合を有する光電変換層111に光が照射されると、i層114内において多量の電子とホールが形成され、電子はn層115側へ、ホールはp層113側へ移動し、起電力を得ることができる。光の照射をp層113側から行くと、電子とホールの形成が、i層114内のn層115よりもp層113に近い側において多く行われる。そのため、寿命が短いホールがp層113へ移動する距離を、短くすることができ、その結果、高い起電力を得ることができる。p層125をn層123よりも、光が入射される側に近くなるよう配置することが

40

50

望ましい理由も、これに同じである。

【0046】

また、図2(A)、図2(B)に示した光電変換装置では、セル102とセル105とが、1つのユニットセル、すなわち1つの光電変換層をそれぞれ有する場合を例示したが、開示する発明はこの構成に限定されない。セル102とセル105とが有する光電変換層は、複数であっても単数であっても良い。ただし、セル102が複数の光電変換層を有する場合、上記複数の光電変換層は基板101側から順に積層されており、なおかつ各光電変換層が有するp層、i層、n層は、基板101と構造体103間の光電変換層においてp層、i層、n層の順序で電氣的に直列になるよう積層されている。

【0047】

次に、図3(A)、図3(B)に、セル102とセル105とがpn接合を有する光電変換装置の断面図を、一例として示す。

【0048】

図3(A)に示す光電変換装置において、セル102は、電極として機能する導電膜110と、光電変換層131と、電極として機能する導電膜112とを有する。導電膜110と、光電変換層131(第1の光電変換層ともいう)と、導電膜112とは、基板101側から順に積層されている。さらに光電変換層131は、p層133と、n層135とを有する。p層133(第1のp型半導体層ともいう)と、n層135(第1のn型半導体層ともいう)とは、導電膜110側から順に積層されることで、pn接合を形成している。また、セル105は、電極として機能する導電膜120と、光電変換層141a(第2の光電変換層ともいう)と、電極として機能する導電膜122とを有する。導電膜120と、光電変換層141aと、導電膜122とは、基板104側から順に積層されている。さらに光電変換層141aは、p層143(第2のp型半導体層ともいう)と、n層145(第2のn型半導体層ともいう)とを有する。n層145と、p層143とは、導電膜120側から順に積層されることで、pn接合を形成している。

【0049】

よって、図3(A)に示す光電変換装置は、光電変換層131と、光電変換層141aのみに着目すると、基板101側から順に、p層133、n層135、p層143、n層145が積層された構造を有している。従って、セル102及びセル105のそれぞれのpn接合を電氣的に並列に配した光電変換装置とすることができる。構造体103には繊維体106を含んでおり、機械的強度を向上した光電変換装置を実現することができる。

【0050】

一方、図3(B)に示す光電変換装置は、光電変換層141bが有するp層143、n層145が、図3(A)に示す光電変換層141aとは、逆の順序に積層されている。

【0051】

具体的に、図3(B)に示す光電変換装置において、セル102は、電極として機能する導電膜110と、光電変換層131と、電極として機能する導電膜112とを有する。導電膜110と、光電変換層131と、導電膜112とは、基板101側から順に積層されている。さらに光電変換層131は、p層133と、n層135とを有する。p層133と、n層135とは、導電膜110側から順に積層されることで、pn接合を形成している。また、セル105は、電極として機能する導電膜120と、光電変換層141bと、電極として機能する導電膜122とを有する。導電膜120と、光電変換層141bと、導電膜122とは、基板104側から順に積層されている。さらに光電変換層141bは、p層143と、n層145とを有する。p層143と、n層145とは、導電膜120側から順に積層されることで、pn接合を形成している。

【0052】

よって、図3(B)に示す光電変換装置は、光電変換層131と、光電変換層141bのみに着目すると、基板101側から順に、p層133、n層135、n層145、p層143が積層された構造を有している。従って、セル102及びセル105のそれぞれのpn接合を電氣的に並列に配した光電変換装置とすることができる。構造体103には繊維

10

20

30

40

50



体 1 0 6 を含んでおり、機械的強度を向上した光電変換装置を実現することができる。

【 0 0 5 3 】

なお、図 3 ( B ) では、n 層 1 3 5 よりも p 層 1 3 3 が基板 1 0 1 により近い側に形成されており、なおかつ、n 層 1 4 5 よりも p 層 1 4 3 が基板 1 0 4 により近い側に形成されているが、開示する発明はこの構成に限定されない。開示する発明の一態様にかかる光電変換装置は、p 層 1 3 3 よりも n 層 1 3 5 が基板 1 0 1 により近い側に形成され、なおかつ、p 層 1 4 3 よりも n 層 1 4 5 が基板 1 0 4 により近い側に形成されていても良い。

【 0 0 5 4 】

なお、図 3 ( A )、図 3 ( B ) に示した光電変換装置において、光は基板 1 0 1 側から入射させても良いし、逆に基板 1 0 4 側から入射させても良い。

10

【 0 0 5 5 】

また、図 3 ( A )、図 3 ( B ) に示した光電変換装置では、セル 1 0 2 とセル 1 0 5 とが、1 つのユニットセル、すなわち 1 つの光電変換層をそれぞれ有する場合を例示したが、開示する発明はこの構成に限定されない。セル 1 0 2 とセル 1 0 5 とが有する光電変換層は、複数であっても単数であっても良い。ただし、セル 1 0 2 が複数の光電変換層を有する場合、上記複数の光電変換層は基板 1 0 1 側から順に積層されており、なおかつ各光電変換層が有する p 層、n 層は、基板 1 0 1 と構造体 1 0 3 の間の光電変換層において p 層、n 層の順序で電氣的に直列になるよう積層されている。

【 0 0 5 6 】

次に、図 4 ( A )、図 4 ( B ) に、セル 1 0 2 が p i n 接合を複数有する光電変換装置の断面図を、一例として示す。

20

【 0 0 5 7 】

図 4 ( A ) に示す光電変換装置において、セル 1 0 2 は、電極として機能する導電膜 1 1 0 と、光電変換層 1 5 1 ( 第 1 の光電変換層ともいう ) と、光電変換層 1 5 2 ( 第 2 の光電変換層ともいう ) と、電極として機能する導電膜 1 1 2 とを有する。導電膜 1 1 0 と、光電変換層 1 5 1 と、光電変換層 1 5 2 と、導電膜 1 1 2 とは、基板 1 0 1 側から順に積層されている。さらに光電変換層 1 5 1 は、p 層 1 5 3 ( 第 1 の p 型半導体層ともいう ) と、i 層 1 5 4 ( 第 1 の i 型半導体層ともいう ) と、n 層 1 5 5 ( 第 1 の n 型半導体層ともいう ) とを有する。p 層 1 5 3 と、i 層 1 5 4 と、n 層 1 5 5 とは、導電膜 1 1 0 側から順に積層されることで、p i n 接合を形成している。また、光電変換層 1 5 2 は、p 層 1 5 6 ( 第 2 の p 型半導体層ともいう ) と、i 層 1 5 7 ( 第 2 の i 型半導体層ともいう ) と、n 層 1 5 8 ( 第 2 の n 型半導体層ともいう ) とを有する。p 層 1 5 6 と、i 層 1 5 7 と、n 層 1 5 8 とは、導電膜 1 1 0 側から順に積層されることで、p i n 接合を形成している。

30

【 0 0 5 8 】

よって、図 4 ( A ) に示す光電変換装置は、セル 1 0 2 として、積層された 2 つのユニットセル、すなわち、光電変換層 1 5 1 と光電変換層 1 5 2 とを有する、多接合タイプのセルを用いている。

【 0 0 5 9 】

また、セル 1 0 5 は、電極として機能する導電膜 1 2 0 と、光電変換層 1 5 9 ( 第 3 の光電変換層ともいう ) と、電極として機能する導電膜 1 2 2 とを有する。導電膜 1 2 0 と、光電変換層 1 5 9 と、導電膜 1 2 2 とは、基板 1 0 4 側から順に積層されている。さらに光電変換層 1 5 9 は、p 層 1 6 0 ( 第 3 の p 型半導体層ともいう ) と、i 層 1 6 1 ( 第 3 の i 型半導体層ともいう ) と、n 層 1 6 2 ( 第 3 の n 型半導体層ともいう ) とを有する。n 層 1 6 2 と、i 層 1 6 1 と、p 層 1 6 0 とは、導電膜 1 2 0 側から順に積層されることで、p i n 接合を形成している。従って、セル 1 0 2 及びセル 1 0 5 のそれぞれの p i n 接合を電氣的に並列に配した光電変換装置とすることができる。構造体 1 0 3 には繊維体 1 0 6 を含んでおり、機械的強度を向上した光電変換装置を実現することができる。

40

【 0 0 6 0 】

なお、図 4 ( A ) に示す光電変換装置では、光電変換層 1 5 1 と、光電変換層 1 5 2 とが

50

直接積層されているが、開示する発明はこの構成に限定されない。セルが複数の光電変換層を有する場合において、光電変換層と光電変換層の間に、導電性を有する中間層を設けるようにしても良い。

【0061】

図4(B)に、光電変換層151と、光電変換層152の間に中間層を有する、光電変換装置の断面図の一例を示す。具体的に、図4(B)に示す光電変換装置では、セル102は、電極として機能する導電膜110と、光電変換層151と、中間層163と、光電変換層152と、電極として機能する導電膜112とを有する。導電膜110と、光電変換層151と、中間層163と、光電変換層152と、導電膜112とは、基板101側から順に積層されている。さらに光電変換層151は、p層153と、i層154と、n層155とを有する。p層153と、i層154と、n層155とは、導電膜110側から順に積層されることで、pin接合を形成している。また、光電変換層152は、p層156と、i層157と、n層158とを有する。p層156と、i層157と、n層158とは、導電膜110側から順に積層されることで、pin接合を形成している。従って、中間層163でpin接合とpin接合間の十分な導電性を確保し、且つセル102及びセル105のそれぞれのpin接合を電氣的に並列に配した光電変換装置とすることができる。構造体103には繊維体106を含んでおり、機械的強度を向上した光電変換装置を実現することができる。

10

【0062】

中間層163は、透光性を有する導電膜を用いて形成することが出来る。具体的に、中間層163として、酸化亜鉛、酸化チタン、酸化マグネシウム亜鉛、酸化カドミウム亜鉛、酸化カドミウム、 $\text{InGaO}_3\text{ZnO}_5$  及び  $\text{In-Ga-Zn-O}$  系のアモルファス酸化物半導体などを用いることが出来る。また、酸化亜鉛と窒化アルミニウムとの混合材料を含む導電性材料( $\text{Zn-O-Al-N}$ 系導電性材料と記す。なお、各元素の構成比率は特に限定されない。)を用いても良い。なお、中間層163が導電性を有しているので、図4(B)に示した光電変換装置が有するセル102も、図4(A)と同じく、積層された2つのユニットセル、すなわち、光電変換層151と光電変換層152とを有する、多接合タイプのセルに相当する。

20

【0063】

なお、図4(A)、図4(B)に示す光電変換装置は、光電変換層151と、光電変換層152と、光電変換層159のみに着目すると、基板101側から順に、p層153、i層154、n層155、p層156、i層157、n層158、p層160、i層161、n層162が積層された構造を有している。しかし、開示する発明はこの構成に限定されず、図2(B)や図3(B)に示した光電変換装置と同様に、光電変換層159が有するp層160、i層161、n層162が、図4(A)、図4(B)に示す光電変換層159とは、逆の順序に積層されていてもよい。或いは、光電変換層151が有するp層153、i層154、n層155、及び光電変換層152が有するp層156、i層157、n層158が、図4(A)、図4(B)とは逆の順に積層されていてもよい。

30

【0064】

なお、図4(A)、図4(B)に示した光電変換装置において、光は基板101側から入射させても良いし、逆に基板104側から入射させても良い。ただし、p層153をn層155よりも、光が入射される側に近くなるよう配置することが望ましい。ホールのキャリアとしての寿命は、電子のキャリアとしての寿命の約半分と短い。pin接合を有する光電変換層151に光が照射されると、i層154内において多量の電子とホールが形成され、電子はn層155側へ、ホールはp層153側へ移動し、起電力を得ることができる。よって、光の照射をp層153側から行くと、電子とホールの形成が、i層154内のn層155よりもp層153に近い側においてより多く行われる。そのため、寿命が短いホールがp層153へ移動する距離を、短くすることができ、その結果、高い起電力を得ることができる。p層156をn層158よりも光が入射される側に近くなるよう配置し、また、p層160をn層162よりも光が入射される側に近くなるよう配置すること

40

50

が望ましい理由も、これに同じである。

【 0 0 6 5 】

また、図 4 ( A )、図 4 ( B ) では、セル 1 0 2 が 2 つの光電変換層 ( ユニットセル ) を有する場合について例示したが、セル 1 0 2 が有する光電変換層の数は 3 つ以上であっても良い。また、図 4 ( A )、図 4 ( B ) では、セル 1 0 5 が有する光電変換層 ( ユニットセル ) が 1 つである場合を例示したが、セル 1 0 5 が有する光電変換層も、セル 1 0 2 と同様に複数であっても良い。ただし、各セルが有する複数の光電変換層は、順に積層されており、なおかつ各光電変換層が有する p 層、i 層、n 層は、基板 1 0 1 と 1 0 4 の一方と構造体 1 0 3 間の光電変換層において、p 層、i 層、n 層の順序で電氣的に直列になるよう積層されている。このように複数の光電変換層 ( ユニットセル ) が直列に接続される場合には、より高い起電力を得ることが出来る。

10

【 0 0 6 6 】

なお、短波長の光は、長波長の光よりも高いエネルギーを有している。よって、図 1 乃至図 4 に示した光電変換装置において、セル 1 0 2 が有するユニットセルと、セル 1 0 5 が有するユニットセルのうち、短波長域光を利用して光電変換を行うユニットセルを、光が入射する側により近くなるように配置することで、光電変換装置内において生じる短波長域の光の損失を抑えることができ、変換効率をより高めることができる。

【 0 0 6 7 】

また、図 1 乃至図 4 に示した光電変換装置において、基板 1 0 1、基板 1 0 4 は青板ガラス、白板ガラス、鉛ガラス、強化ガラス、セラミックガラスなどのガラス基板を用いることができる。また、アルミノシリケート酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラス、アルミノホウケイ酸ガラスなどの無アルカリガラス基板、石英基板、セラミック基板、ステンレスなどの金属基板を用いることができる。プラスチック等の可撓性を有する合成樹脂からなる基板は、上記基板と比較して耐熱温度が一般的に低い傾向にあるが、作製工程における処理温度に耐え得るのであれば用いることが可能である。なお基板 1 0 1、基板 1 0 4 の光入射面には、反射防止膜が設けられていても良い。例えば、酸化チタン又は、銅、マンガ、ニッケル、コバルト、鉄、亜鉛から選択される少なくとも一種の金属元素が添加された酸化チタン膜を設けることで反射防止膜とすることができる。この反射防止膜は、酸化チタン若しくは前記金属元素及び酸化チタンを含む有機溶剤をガラス基板に塗布し、基板の種類に応じて、例えば 6 0 から 3 0 0 の温度で焼成することで表面に 1 0 n m から 2 0 n m の凹凸構造 ( 単に凹凸、凹凸部、テクスチャ構造ともいう ) を有する被膜を形成することができる。ガラス基板の光入射面に設けられた、このような反射防止膜は、入射光の反射を低減し、2 μ m から 1 0 μ m 程度の浮遊微粒子 ( 砂塵など ) の付着を低減し、光電変換装置の変換効率が向上するように作用する。

20

30

【 0 0 6 8 】

プラスチック基板として、ポリエチレンテレフタレート ( P E T ) に代表されるポリエステル、ポリエーテルスルホン ( P E S )、ポリエチレンナフタレート ( P E N )、ポリカーボネート ( P C )、ポリアミド系合成繊維、ポリエーテルエーテルケトン ( P E E K )、ポリスルホン ( P S F )、ポリエーテルイミド ( P E I )、ポリアリレート ( P A R )、ポリブチレンテレフタレート ( P B T )、ポリイミド、アクリロニトリルブタジエンスチレン樹脂、ポリ塩化ビニル、ポリプロピレン、ポリ酢酸ビニル、アクリル樹脂などの材料を含む基板が挙げられる。

40

【 0 0 6 9 】

また、光電変換層が有する p 層、i 層、n 層は、単結晶半導体、多結晶半導体、微結晶半導体などの結晶性を有する半導体を用いていても良いし、非晶質半導体を用いていても良い。また、光電変換層として、シリコン、シリコンゲルマニウム、ゲルマニウム、炭化シリコンなどを用いることが出来る。

【 0 0 7 0 】

なお、微結晶半導体とは、非晶質と結晶質 ( 単結晶、多結晶を含む ) の中間的な構造の半導体である。微結晶半導体は、自由エネルギー的に安定な第 3 の状態を有する半導体であ

50

る。例示的には、結晶粒径が2 nm以上200 nm以下、好ましくは10 nm以上80 nm以下、より好ましくは20 nm以上50 nm以下である半導体を含む層である。微結晶半導体の代表例である微結晶シリコンのラマンスペクトルは、単結晶シリコンを示す $520\text{ cm}^{-1}$ よりも低波長側にシフトしている。即ち、単結晶シリコンを示す $520\text{ cm}^{-1}$ と非晶質シリコンを示す $480\text{ cm}^{-1}$ の間に微結晶シリコンのラマンスペクトルのピークがある。また、未結合手（ダングリングボンド）を終端するため水素またはハロゲンを少なくとも1原子%またはそれ以上含ませている。さらに、ヘリウム、アルゴン、クリプトン、またはネオンなどの希ガス元素を含ませて格子歪みをさらに助長させることで、安定性が増し良好な微結晶半導体が得られる。このような微結晶半導体は格子歪みを有し、該格子歪みにより光学特性が、単結晶シリコンの間接遷移型から直接遷移型に変化する。少なくとも10%の格子歪みがあれば、光学特性が直接遷移型に変化する。なお、歪みが局部的に存在することにより、直接遷移と間接遷移の混在した光学特性を呈することもできる。

10

#### 【0071】

また、i層に用いる半導体は、例えば、p型若しくはn型を付与する不純物元素が $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下の濃度であり、酸素及び窒素が $9 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下の濃度であり、暗伝導度に対して光伝導度が100倍以上とする。i層には、硼素が1 ppm~1000 ppm添加されていてもよい。i層は、価電子制御を目的とした不純物元素を意図的に添加しないと、弱いn型の電気伝導性を示すことがある。この現象は、i層を非晶質半導体で形成する場合において、顕著に現れる。よって、pin接合を有する光電変換層を形成する場合には、p型を付与する不純物元素を成膜と同時に、或いは成膜後に、i層に添加すると良い。p型を付与する不純物元素としては、代表的には硼素であり、 $\text{B}_2\text{H}_6$ 、 $\text{BF}_3$ などの不純物気体を1 ppm~1000 ppmの割合で半導体材料ガスに混入させると良い。そして硼素の濃度を、例えば $1 \times 10^{14} / \text{cm}^3 \sim 6 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ とすると良い。

20

#### 【0072】

或いは、p層を形成した後にi層を形成することで、p層中に含まれているp型を付与する不純物元素を、i層中に拡散させることが出来る。上記構成により、意図的にp型を付与する不純物元素をi層に添加しなくても、i層の価電子制御を行うことが出来る。

#### 【0073】

また、光が入射する側の層は、光の吸収係数の小さい材料を用いることが望ましい。例えば、炭化シリコンはシリコン単体に比べて光の吸収係数が小さい。よって、p層またはn層のうち、光の入射側により近い層に炭化シリコンを用いることで、i層に届く光の入射光量を高くすることができ、結果、太陽電池の起電力を高めることが出来る。

30

#### 【0074】

なお、セル102及びセル105の光電変換層には、シリコンやゲルマニウム等の材料を用いることができるが、開示する発明はこの構成に限定されない。例えば、セル102またはセル105として、Cu、In、Ga、Al、Se、Sなどを光電変換層に用いた、CIS系、CIGS系またはカルコパイライト系と呼ばれるセルを用いていても良い。或いは、光電変換層にCd化合物を用いたCdTe-CdS系セルを、セル102またはセル105として用いていても良い。色素増感セル、有機半導体セルのように、光電変換層に有機系材料を用いた有機系セルを、セル102またはセル105として用いていても良い。

40

#### 【0075】

また、基板101側から光電変換装置に光が入射すると仮定するならば、基板101に支持されているセル102は、導電膜110及び導電膜112に透光性を有する透明導電材料、具体的には酸化インジウム、酸化インジウム・スズ合金（ITO）、酸化亜鉛などを用いる。また、Zn-O-Al-N系導電性材料を用いても良い。また、基板104に支持されているセル105は、光源に最も近い側に配置された導電膜122に、導電膜110及び導電膜112と同様に、透光性を有する透明導電材料を用いる。そして、基板10

50

4に支持されているセル105は、光源に最も遠い側に配置された導電膜120に、光を反射しやすい導電材料、具体的にはアルミニウム、銀、チタン、タンタルなどを用いる。なお、導電膜120に上述したような透明導電材料を用いていても良い。この場合は、セル105を透過した光を、セル105側に反射させることが出来るような膜（反射膜）を、基板104に形成することが望ましい。反射膜には、アルミニウム、銀、チタン、タンタルなどの光を反射しやすい材料を用いることが望ましい。

#### 【0076】

光を反射しやすい導電材料を用いて導電膜120を形成する場合、光電変換層と接する側の表面に凹凸を形成すると、導電膜120の表面において光が乱反射するため、光電変換層において光の吸収率を高め、変換効率を高めることが出来る。同様に、反射膜を形成する場合、反射膜の光が入射する側の面に凹凸を形成することで、変換効率を高めることが出来る。

10

#### 【0077】

なお、透明導電材料としては、酸化インジウムなどの酸化物金属に代えて、導電性高分子材料（導電性ポリマーともいう）を用いることができる。導電性高分子材料としては、電子共役系導電性高分子を用いることができる。例えば、ポリアニリン及び又はその誘導体、ポリピロール及び又はその誘導体、ポリチオフェン及び又はその誘導体、これらの2種以上の共重合体などがあげられる。

#### 【0078】

また構造体103が有する有機樹脂107は、透光性を有しており、セル102とセル105間の光の透過を確保することが出来る材料を用いる。例えば有機樹脂107として、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ポリイミド樹脂、ビスマレイミドトリアジン樹脂、またはシアネート樹脂等の熱硬化性樹脂を用いることができる。或いは有機樹脂107として、ポリフェニレンオキシド樹脂、ポリエーテルイミド樹脂、またはフッ素樹脂等の熱可塑性樹脂を用いることができる。また有機樹脂107として、上記熱可塑性樹脂及び上記熱硬化性樹脂の複数を併用してもよい。上記有機樹脂を用いることで、熱処理により繊維体106をセル102及びセル105に固着することが可能である。なお、有機樹脂107のガラス転移温度が高いほど、局所的押圧に対するセル102及びセル105の機械的強度を向上させることができるため好ましい。

20

#### 【0079】

有機樹脂107または繊維体106の系束内に高熱伝導性フィラーを分散させてもよい。高熱伝導性フィラーとしては、窒化アルミニウム、窒化ホウ素、窒化シリコン、アルミナ等が挙げられる。また、高熱伝導性フィラーとしては、銀、銅等の金属粒子がある。導電性フィラーが有機樹脂または繊維体の系束内に含まれることによりセル102及びセル105での発熱を外部に放出しやすくなるため、光電変換装置の蓄熱を抑制することが可能であり、光電変換効率の低下および光電変換装置の破壊を抑制することができる。

30

#### 【0080】

繊維体106は、有機化合物または無機化合物の高強度繊維を用いた織布または不織布であり、セル102及びセル105と重なるように配置する。高強度繊維としては、具体的には引張弾性率またはヤング率の高い繊維である。高強度繊維の代表例としては、ポリビニルアルコール系繊維、ポリエステル系繊維、ポリアミド系繊維、ポリエチレン系繊維、アラミド系繊維、ポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール繊維、ガラス繊維、または炭素繊維が挙げられる。ガラス繊維としては、Eガラス、Sガラス、Dガラス、Qガラス等を用いたガラス繊維が挙げられる。なお、繊維体106は、一種類の上記高強度繊維で形成されてもよい。また、複数の上記高強度繊維で形成されてもよい。

40

#### 【0081】

また、繊維体106は、繊維（単系）の束（以下、系束と呼ぶ）を経系及び緯系に使う製織した織布、または複数種の繊維の系束をランダムまたは一方向に堆積させた不織布であってもよい。織布の場合、平織り、綾織り、しゅす織り等を適宜用いることができる。

#### 【0082】

50

糸束の断面は、円形でもよいし楕円形でもよい。繊維糸束として、高圧水流、液体を媒体とした高周波の振動、連続超音波の振動、ロールによる押圧等によって、開繊加工をした繊維糸束を用いてもよい。開繊加工をした繊維糸束は、糸束幅が広くなり、厚み方向の単糸数を削減することが可能であり、糸束の断面が楕円形または矩形となる。また、繊維糸束として低撚糸を用いることで、糸束が扁平化やすく、糸束の断面形状が楕円形状または矩形状となる。このように、断面が楕円形または矩形の糸束を用いることで、繊維体 106 を薄くすることが可能である。このため、構造体 103 を薄くすることが可能であり、薄型の光電変換装置を作製することができる。繊維の糸束径は  $4\text{ }\mu\text{m}$  以上  $400\text{ }\mu\text{m}$  以下（好ましくは  $4\text{ }\mu\text{m}$  以上  $200\text{ }\mu\text{m}$  以下）であれば、押圧による光電変換装置の破壊を抑制する効果を十分に得ることができ、原理上は更に薄くても上記効果を得ることができる。具体的な繊維の太さは、繊維の材料に依存するため上記数値範囲に限定されない。

10

#### 【0083】

なお、図面において、繊維体 106 は、断面が楕円形の糸束で平織りした織布で示されている。

#### 【0084】

次に、繊維体 106 が繊維糸束を経糸及び緯糸として製織した織布の上面図を図 5 に示す。

#### 【0085】

図 5 (A) に示すように、繊維体 106 は、一定間隔をあけた経糸 250 と、一定間隔をあけた緯糸 251 とで織られている。このような経糸 250 及び緯糸 251 を用いて製織された繊維体 106 には、経糸 250 及び緯糸 251 が存在しない領域（バスケットホール 252）を有する。このような繊維体 106 では、有機樹脂 107 が含浸される割合が高まり、繊維体 106 とセル 102 及びセル 105 との密着性を高めることができる。

20

#### 【0086】

また繊維体 106 は、図 5 (B) に示すように、経糸 250 及び緯糸 251 の密度が高く、バスケットホール 252 の占める面積が小さいものでもよい。代表的には、バスケットホール 252 の面積が、局所的に押圧される面積より小さいことが好ましい。代表的にはバスケットホール 252 の一辺が  $0.01\text{ mm}$  以上  $0.2\text{ mm}$  以下の矩形であることが好ましい。繊維体 106 のバスケットホール 252 の面積がこのように小さいと、先端の細い部材により押圧されても、当該圧力を繊維体 106 全体で吸収することが可能であり、セルの機械的強度を効果的に向上することができる。

30

#### 【0087】

また、繊維糸束内部への有機樹脂の浸透率を高めるため、繊維に表面処理が施されても良い。例えば、繊維表面を活性化させるためのコロナ放電処理、プラズマ放電処理等がある。また、シランカップリング剤、チタネートカップリング剤を用いた表面処理がある。

#### 【0088】

開示する発明で用いられる構造体 103 は、引っ張り弾性率またはヤング率の高い高強度繊維を繊維体 106 として用いている。よって、点圧や線圧等の局所的な圧力がかかっても、押圧による力が繊維体 106 全体に分散され、セルを構成する光電変換層、導電膜、中間層、またはセルどうしを接続する配線等の亀裂等の発生を抑制し、光電変換装置の機械的強度を向上することができる。

40

#### 【0089】

開示する発明の一態様にかかる光電変換装置は、複数のセル間に繊維体に有機樹脂を含浸させた構造体、所謂プリプレグを挿入することで、セルへの光の入射を確保しつつ、光電変換装置の押圧に対する機械的強度を向上することができ、信頼性を高めることが出来る。なおかつ、複数のセルを直列に接続させることで、単数のセルを用いた場合に比べて、より高い起電力を有する光電変換装置を形成することが出来る。また、異なる波長の光を吸収する複数のセルを用いることで、紫外線から赤外線まで幅広い波長の光を含んでいる太陽光を、より高い変換効率で無駄なく電気エネルギーに変換することが出来る光電変換装置を、より簡単なプロセスで形成することが出来る。

50

## 【0090】

また、1つの基板上に連続的に形成することがプロセス的に困難な、種類の異なるセルを、より簡単なプロセスにより、光の進行方向において重ねることができる。よって、異なる波長の光を吸収する複数のセルを重ねることができ、紫外線から赤外線まで幅広い波長の光を含んでいる太陽光を、より高い変換効率で無駄なく電気エネルギーに変換することが出来る光電変換装置を、より簡単なプロセスで形成することが出来る。そのため、光電変換装置を製造するための製造コストを抑制することができる。

## 【0091】

(実施の形態2)

本実施の形態では、開示する発明の光電変換装置の作製方法について、図2(A)に示した光電変換装置を例に挙げて説明する。

10

## 【0092】

まず、基板101上におけるセル102の形成について説明する。図6(A)に示すように、基板101上にパターンニング(所定の形状に加工)された導電膜110を形成する。本実施の形態では、基板101側から光が入射することを想定した光電変換装置を例にあげて説明しているので、基板101は可視光に対して透光性を有していることが望ましい。例えば、基板101として、青板ガラス、白板ガラス、鉛ガラス、強化ガラス、セラミックガラスなど市販されている様々なガラス板を用いることができる。また、アルミノシリケート酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラス、アルミノホウケイ酸ガラスなどの無アルカリガラス基板、石英基板、セラミック基板を用いることができる。プラスチック等の可撓性を有する合成樹脂からなる基板(プラスチック基板)は、上記基板と比較して耐熱温度が一般的に低い傾向にあるが、作製工程における処理温度に耐え得るのであれば用いることが可能である。

20

## 【0093】

プラスチック基板として、ポリエチレンテレフタレート(PET)に代表されるポリエステル、ポリエーテルスルホン(PES)、ポリエチレンナフタレート(PEN)、ポリカーボネート(PC)、ポリアミド系合成繊維、ポリエーテルエーテルケトン(PEEK)、ポリスルホン(PSF)、ポリエーテルイミド(PEI)、ポリアリレート(PAR)、ポリブチレンテレフタレート(PBT)、ポリイミド、アクリロニトリルブタジエンスチレン樹脂、ポリ塩化ビニル、ポリプロピレン、ポリ酢酸ビニル、アクリル樹脂などが挙げられる。

30

## 【0094】

また、本実施の形態では、基板101側から光が入射することを想定した光電変換装置を例にあげて説明しているので、導電膜110は、可視光に対して透光性を有する導電材料、例えば、インジウム錫酸化物(ITO)、酸化シリコンを含むインジウム錫酸化物(ITSO)、有機インジウム、有機スズ、酸化亜鉛(ZnO)、酸化亜鉛を含むインジウム酸化物(IZO(Indium Zinc Oxide))、ガリウム(Ga)をドーブしたZnO、酸化スズ(SnO<sub>2</sub>)、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物などを用いて形成することができる。また、透光性を有する導電材料として、導電性高分子材料(導電性ポリマーともいう)を用いることができる。導電性高分子材料としては、電子共役系導電性高分子を用いることができる。例えば、ポリアニリン及び又はその誘導体、ポリピロール及び又はその誘導体、ポリチオフェン及び又はその誘導体、これらの2種以上の共重合体などがあげられる。

40

## 【0095】

導電膜110は、40nm乃至800nm、好ましくは400nm乃至700nmの膜厚となるように形成する。また、導電膜110のシート抵抗は、20 / 乃至200 / 程度とすれば良い。

## 【0096】

本実施の形態では、厚さ1.1mmのソーダガラスの基板101上に、膜厚150nmの

50

酸化シリコン膜、表面に凹凸を有する膜厚約600nmの酸化スズを用いた導電膜が順に積層された旭硝子社製の基板（商品名：Asahi-U）を用いる。そして、上記導電膜をパターニングすることで、後に形成される複数の光電変換層を電氣的に接続する導電膜110を形成することが出来る。なお、導電膜110は、導電膜をエッチングやレーザ等でパターニングする方法の他にも、メタルマスクを用いた蒸着法、液滴吐出法などを用いて形成することができる。なお液滴吐出法とは、所定の組成物を含む液滴を細孔から吐出または噴出することで所定のパターンを形成する方法を意味し、インクジェット法などがその範疇に含まれる。

【0097】

また、導電膜110の、光電変換層111側の面に凹凸を形成しておくことで、導電膜110において光が屈折または乱反射するため、光電変換層111内における光の吸収率を高め、変換効率を高めることが出来る。

【0098】

次に、導電膜110上に、p層113、i層114、n層115が順に積層された光電変換層111を形成する。なお、光電変換層111を形成する前に、導電膜110の表面における清浄度を向上させるため、ブラシ洗浄、具体的には、薬液などを用いた洗浄を行い、異物を除去しておいても良い。また、フッ酸などを含む薬液を用いて、表面を洗浄しておいても良い。本実施の形態では、上記薬液を用いて導電膜110の表面を洗浄した後、0.5%のフッ化水素水溶液を用いて導電膜110の表面を洗浄する。

【0099】

p層113、i層114、n層115は、スパッタ法、LP-CVD法、またはプラズマCVD法等により、非晶質半導体、多結晶半導体、微結晶半導体などを用いて形成することができる。また、p層113、i層114、n層115は、その界面にゴミなどが付着するのを防ぐために、大気に曝さずに連続して形成することが望ましい。

【0100】

または、SOI法で形成された単結晶半導体薄膜を、p層113、i層114、n層115として用いても良い。単結晶半導体薄膜を用いる場合、光電変換層111内において、キャリアの移動を阻害する要因となる結晶欠陥が少ないので、変換効率を高めることが出来る。

【0101】

本実施の形態では、p層113に炭化シリコンを有する非晶質半導体、i層114にシリコンを有する非晶質半導体、n層115にシリコンを有する微結晶半導体を用いる。

【0102】

炭化シリコンを有する非晶質半導体は、炭素を含む気体とシリコンを含む気体とを、グロー放電分解することにより得ることができる。炭素を含む気体としては、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ などが挙げられる。シリコンを含む気体としては、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ が挙げられる。シリコンを含む気体を、水素、水素及びヘリウムで希釈して用いても良い。またp型を付与する不純物元素として例えばボロンを用いる場合、ボラン、ジボラン、三フッ化ホウ素などを、炭素を含む気体とシリコンを含む気体とに加えることで、p型の導電型を非晶質半導体に与えることができる。具体的に本実施の形態では、メタン、モノシラン、水素、ジボランを、それぞれ18sccm、6sccm、150sccm、40sccmの流量とし、反応圧力67Pa、基板温度250、高周波(13.56MHz)として、プラズマCVD法で、炭化シリコンを有するp型の非晶質半導体を用いた、膜厚10nmのp層113を形成する。

【0103】

また、シリコンを有する非晶質半導体は、上述したシリコンを含む気体をグロー放電分解することにより得ることができる。具体的に本実施の形態では、モノシラン、水素を、それぞれ25sccm、25sccmの流量とし、反応圧力40Pa、基板温度250、高周波(60MHz)として、プラズマCVD法で、シリコンを有する非晶質半導体を用いた、膜厚60nmのi層114を形成する。



## 【0104】

なお、i層114を形成する前に、p層113の表面に水素を用いてプラズマ処理を施すことで、p層113とi層114の界面における結晶欠陥の数を減らし、変換効率を高めることができる。具体的に本実施の形態では、水素の流量を175 sccmとし、反応圧力67 Pa、基板温度250、高周波(13.56 MHz)とし、p層113の表面にプラズマ処理を行う。上記プラズマ処理において、水素にアルゴンを加えても良い。アルゴンを加える場合、その流量を、例えば60 sccmとすることができる。

## 【0105】

また、シリコンを有する微結晶半導体は、周波数が数十MHz乃至数百MHzの高周波プラズマCVD法、または周波数が1 GHz以上のマイクロ波プラズマCVD装置により形成することができる。代表的には、シラン、ジシランなどの水素化シリコン、フッ化シリコンまたは塩化シリコンを、水素で希釈して用いることで、微結晶半導体膜を形成することができる。また、水素に加え、ヘリウム、アルゴン、クリプトン、ネオンから選ばれた一種または複数種の希ガスで希釈してもよい。珪化水素などのシリコンを含む化合物に対して、水素の流量比を5倍以上200倍以下、好ましくは50倍以上150倍以下、更に好ましくは100倍とする。またn型を付与する不純物元素として例えばリンを用いる場合、ホスフィンなどを、シリコンを含む気体に加えることで、n型の導電型を微結晶半導体に与えることができる。具体的に本実施の形態では、モノシラン、水素、ホスフィンを、それぞれ5 sccm、950 sccm、40 sccmの流量とし、反応圧力133 Pa、基板温度250、高周波(13.56 MHz)として、プラズマCVD法で、シリコンを有する非晶質半導体を用いた、膜厚10 nmのn層115を形成する。

## 【0106】

なお、導電膜110にインジウム錫酸化物を用いる場合、導電膜110上に非晶質半導体であるi層114を形成すると、i層114形成の際に水素が導電膜110中のインジウム錫酸化物を還元してしまうため、導電膜110の膜質が劣化することがある。インジウム錫酸化物を導電膜110に用いる場合、インジウム錫酸化物が還元されるのを防ぐために、インジウム錫酸化物を用いた導電膜上に、酸化スズを用いた導電膜、または、酸化亜鉛と窒化アルミニウムとの混合材料を含む導電性材料を用いた導電膜を、数十nmの膜厚で積層したものを、導電膜110として用いることが好ましい。

## 【0107】

また、光電変換層111に用いられる半導体の材料として、シリコン、炭化シリコンの他、ゲルマニウム、ガリウムヒ素、リン化インジウム、セレン化亜鉛、窒化ガリウム、シリコンゲルマニウムなどのような化合物半導体も用いることができる。

## 【0108】

また、多結晶半導体を用いて光電変換層111を形成する場合、非晶質半導体膜または微結晶半導体膜を、レーザ結晶化法、熱結晶化法、またはニッケルなどの結晶化を助長する触媒元素を用いた熱結晶化法等を単独で、或いは複数組み合わせで結晶化することで、形成することができる。また、多結晶半導体を、スパッタ法、プラズマCVD法、熱CVD法などを用いて、直接形成しても良い。

## 【0109】

そして、図6(B)に示すように、p層113、i層114、n層115が順に積層された光電変換層111をエッチング、レーザ等を用いてパターンニングする。パターンニングされることで切り離された複数の光電変換層111は、少なくとも1つの導電膜110と、p層113側においてそれぞれ電氣的に接続されている。

## 【0110】

次に、図6(C)に示すように、光電変換層111上にパターンニングされた導電膜112を形成する。本実施の形態では、基板101側から光が入射することを想定した光電変換装置を例にあげて説明しているので、導電膜112は、導電膜110と同様に、可視光に対して透光性を有する上記導電材料を用いることが望ましい。導電膜112は、40 nm乃至800 nm、好ましくは400 nm乃至700 nmの膜厚となるように形成する。ま

た、導電膜 112 のシート抵抗は、 $20 \text{ } \Omega / \square$  乃至  $200 \text{ } \Omega / \square$  程度とすれば良い。本実施の形態では、酸化スズを用いて、膜厚約  $600 \text{ nm}$  の導電膜 112 を形成した。

#### 【0111】

なお、パターンニングされた導電膜 112 は、光電変換層 111 上に導電膜を形成した後、該導電膜をパターンニングすることで、形成することが出来る。なお、導電膜 112 は、導電膜をエッチングやレーザ等でパターンニングする方法の他にも、メタルマスクを用いた蒸着法、液滴吐出法などを用いて形成することができる。導電膜 112 は、パターンニングされることで切り離された複数の光電変換層 111 の少なくとも 1 つと、 $n$  層 115 側において電氣的に接続されている。そして、1 つの光電変換層 111 の、 $p$  層 113 側において電氣的に接続されている導電膜 110 は、上記 1 つの光電変換層 111 とは異なる光電変換層 111 の、 $n$  層 115 側において電氣的に接続されている導電膜 112 と、電氣的に接続されている。

10

#### 【0112】

なお、導電膜 112 の光電変換層 111 とは反対側の面に、凹凸を形成しておいても良い。上記構成により、導電膜 112 において光が屈折または乱反射するため、光電変換層 111 内及び後に形成される光電変換層 121a 内における、光の吸収率を高め、変換効率を高めることが出来る。

#### 【0113】

次に、基板 104 上におけるセル 105 の形成について説明する。図 6 (D) に示すように、基板 104 上にパターンニングされた導電膜 120 を形成する。本実施の形態では、基板 101 側から光が入射することを想定した光電変換装置を例にあげて説明しているので、基板 104 は、基板 101 において用いることが出来る上述した基板の他に、絶縁表面を有する金属基板など、透光性の低い基板も用いることが出来る。

20

#### 【0114】

導電膜 120 は、光を反射しやすい導電材料、具体的にはアルミニウム、銀、チタン、タンタルなどを用いる。なお、導電膜 120 に上述したような透光性を有する導電材料を用いていても良い。この場合は、基板 104 に光を反射しやすい材料を用いるか、セル 105 を透過した光を、セル 105 側に反射させることが出来るような膜 (反射膜) を、基板 104 に形成することが望ましい。反射膜は、アルミニウム、銀、チタン、タンタルなどを用いることが出来る。

30

#### 【0115】

光を反射しやすい導電材料を用いて導電膜 120 を形成する場合、光電変換層 121a と接する側の表面に凹凸を形成すると、導電膜 120 の表面において光が乱反射するため、光電変換層 111 及び光電変換層 121a における光の吸収率を高め、変換効率を高めることが出来る。同様に、反射膜を形成する場合、反射膜の光が入射する側の面に凹凸を形成することで、変換効率を高めることが出来る。

#### 【0116】

導電膜 120 は、 $40 \text{ nm}$  乃至  $800 \text{ nm}$ 、好ましくは  $400 \text{ nm}$  乃至  $700 \text{ nm}$  の膜厚となるように形成する。また、導電膜 120 のシート抵抗は、 $20 \text{ } \Omega / \square$  乃至  $200 \text{ } \Omega / \square$  程度とすれば良い。具体的に本実施の形態では、スパッタ法で、アルミニウムを用いた膜厚  $300 \text{ nm}$  の導電膜と、銀を用いた膜厚  $100 \text{ nm}$  の導電膜と、アルミニウムを含む酸化亜鉛を用いた膜厚  $60 \text{ nm}$  の導電膜とを積層し、導電膜 120 として用いる。

40

#### 【0117】

パターンニングされた導電膜 120 は、基板 104 上に導電膜を形成した後、該導電膜をパターンニングすることで、形成することが出来る。なお、導電膜 120 は、導電膜 110、導電膜 112 と同様に、導電膜をエッチングやレーザ等でパターンニングする方法の他にも、メタルマスクを用いた蒸着法、液滴吐出法などを用いて形成することができる。上記パターンニングにより、後に形成される複数の光電変換層を電氣的に接続する導電膜 120 を形成することが出来る。

#### 【0118】

50

次に、導電膜 120 上に、n 層 123、i 層 124、p 層 125 が順に積層された、光電変換層 121a を形成する。なお、光電変換層 121a を形成する前に、導電膜 120 の表面における清浄度を向上させるため、ブラシ洗浄、具体的には、薬液などを用いた洗浄を行い、異物を除去しておいても良い。また、フッ酸などを含む薬液を用いて、表面を洗浄しておいても良い。本実施の形態では、上記薬液を用いて導電膜 120 の表面を洗浄した後、0.5% のフッ化水素水溶液を用いて導電膜 120 の表面を洗浄する。

#### 【0119】

n 層 123、i 層 124、p 層 125 は、n 層 115、i 層 114、p 層 113 と積層する順序が逆であるが、n 層 123 は n 層 115 と同様に、i 層 124 は i 層 114 と同様に、p 層 125 は p 層 113 と同様に形成することが出来る。すなわち、スパッタ法、LPCVD 法、またはプラズマ CVD 法等により、非晶質半導体、多結晶半導体、微結晶半導体などを用いて形成することができる。また、n 層 123、i 層 124、p 層 125 は、その界面にゴミなどが付着するのを防ぐために、大気に曝さずに連続して形成することが望ましい。

#### 【0120】

または、SOI 法で形成された単結晶半導体薄膜を、n 層 123、i 層 124、p 層 125 として用いても良い。単結晶半導体薄膜を用いる場合、光電変換層 121a 内において、キャリアの移動を阻害する要因となる結晶欠陥が少ないので、変換効率を高めることが出来る。本実施の形態では、p 層 125 に炭化シリコンを有する非晶質半導体、i 層 124 にシリコンを有する非晶質半導体、n 層 123 にシリコンを有する微結晶半導体を用いる。

#### 【0121】

また、光電変換層 111 の作製においては、i 層 114 を形成する前に、p 層 113 の表面に水素を用いてプラズマ処理を施しているが、光電変換層 121a の作製においては、i 層 124 を形成した後に、i 層 124 の表面に水素を用いてプラズマ処理を施した後、p 層 125 を形成するのが望ましい。上記構成により、p 層 125 と i 層 124 の界面における結晶欠陥の数を減らし、変換効率を高めることが出来る。具体的に本実施の形態では、水素の流量を 175 sccm とし、反応圧力 67 Pa、基板温度 250、高周波 (13.56 MHz) とし、i 層 124 の表面にプラズマ処理を行う。上記プラズマ処理において、水素にアルゴンを加えても良い。アルゴンを加える場合、その流量を、例えば 60 sccm とすることができる。

#### 【0122】

また、本実施の形態では基板 101 側から光が入射することを想定しているため、光源に近い光電変換層 111 が有する i 層 114 を、光源から遠い光電変換層 121a が有する i 層 124 よりも、その膜厚が小さくなるように形成する。本実施の形態では、導電膜 120 上に、シリコンを有する非晶質半導体を用いた、膜厚 10 nm の n 層 123、シリコンを有する非晶質半導体を用いた、膜厚 300 nm の i 層 124、炭化シリコンを有する p 型の非晶質半導体を用いた、膜厚 10 nm の p 層 125 を、順に積層するように形成する。

#### 【0123】

なお、i 層 114 がシリコンを用いた非晶質半導体である場合、その膜厚は 20 nm 乃至 100 nm 程度、より好ましくは 50 nm 乃至 70 nm とすることが望ましい。i 層 114 がシリコンを用いた微結晶半導体である場合、その膜厚は 100 nm 乃至 400 nm 程度、より好ましくは 150 nm 乃至 250 nm とすることが望ましい。i 層 114 がシリコンを用いた単結晶半導体である場合、その膜厚は 200 nm 乃至 500 nm 程度、より好ましくは 250 nm 乃至 350 nm とすることが望ましい。

#### 【0124】

また、i 層 124 がシリコンを用いた非晶質半導体である場合、その膜厚は 200 nm 乃至 500 nm 程度、より好ましくは 250 nm 乃至 350 nm とすることが望ましい。i 層 124 がシリコンを用いた微結晶半導体である場合、その膜厚は 0.7  $\mu$ m 乃至 3  $\mu$ m

10

20

30

40

50

程度、より好ましくは $1\ \mu\text{m}$ 乃至 $2\ \mu\text{m}$ とすることが望ましい。 $i$ 層 $124$ がシリコンを用いた単結晶半導体である場合、その膜厚は $1\ \mu\text{m}$ 乃至 $100\ \mu\text{m}$ 程度、より好ましくは $8\ \mu\text{m}$ 乃至 $12\ \mu\text{m}$ とすることが望ましい。

#### 【0125】

そして、図6(D)に示すように、 $n$ 層 $123$ 、 $i$ 層 $124$ 、 $p$ 層 $125$ が順に積層された光電変換層 $121a$ をエッチング、レーザ等を用いてパターンニングする。パターンニングされることで切り離された複数の光電変換層 $121a$ は、少なくとも1つの導電膜 $120$ と、 $n$ 層 $123$ 側においてそれぞれ電氣的に接続されている。

#### 【0126】

次に、光電変換層 $121a$ 上にパターンニングされた導電膜 $122$ を形成する。本実施の形態では、基板 $101$ 側から光が入射することを想定した光電変換装置を例にあげて説明している。導電膜 $122$ は、導電膜 $110$ 、導電膜 $112$ と同様に、可視光に対して透光性を有する上記導電材料を用いることが望ましい。導電膜 $122$ は、 $40\ \text{nm}$ 乃至 $800\ \text{nm}$ 、好ましくは $400\ \text{nm}$ 乃至 $700\ \text{nm}$ の膜厚となるように形成する。また、導電膜 $122$ のシート抵抗は、 $20\ \Omega/\square$ 乃至 $200\ \Omega/\square$ 程度とすれば良い。本実施の形態では、酸化スズを用いて、膜厚約 $600\ \text{nm}$ の導電膜 $122$ を形成した。

#### 【0127】

なお、パターンニングされた導電膜 $122$ は、光電変換層 $121a$ 上に導電膜を形成した後、該導電膜をパターンニングすることで、形成することが出来る。なお、導電膜 $122$ は、導電膜をエッチングやレーザ等でパターンニングする方法の他にも、メタルマスクを用いた蒸着法、液滴吐出法などを用いて形成することができる。導電膜 $122$ は、パターンニングされることで切り離された複数の光電変換層 $121a$ の少なくとも1つと、 $p$ 層 $125$ 側において電氣的に接続されている。そして、1つの光電変換層 $121a$ の、 $n$ 層 $123$ 側において電氣的に接続されている導電膜 $120$ は、上記1つの光電変換層 $121a$ とは異なる光電変換層 $121a$ の、 $p$ 層 $125$ 側において電氣的に接続されている導電膜 $122$ と、電氣的に接続されている。

#### 【0128】

次に、繊維体 $106$ に有機樹脂 $107$ が含浸された構造体 $103$ を中心にして、セル $102$ とセル $105$ とが向き合うように、基板 $101$ と、構造体 $103$ と、基板 $104$ とを重ねる。構造体 $103$ は、プリプレグとも呼ばれる。プリプレグは、具体的には繊維体 $106$ にマトリックス樹脂を有機溶剤で希釈したワニスを含浸させた後、乾燥して有機溶剤を揮発させてマトリックス樹脂を半硬化させたものである。構造体 $103$ の厚さは、 $10\ \mu\text{m}$ 以上 $100\ \mu\text{m}$ 以下、さらには $10\ \mu\text{m}$ 以上 $30\ \mu\text{m}$ が好ましい。このような厚さの構造体を用いることで、基板 $101$ 及び基板 $104$ が可撓性を有する場合、薄型で湾曲することが可能な光電変換装置を作製することができる。

#### 【0129】

なお本実施の形態では、単層の繊維体 $106$ に有機樹脂が含浸された構造体 $103$ を用いているが、開示する発明はこの構成に限定されない。複数の積層された繊維体 $106$ に有機樹脂を含浸させた構造体を用いても良い。また、単層の繊維体 $106$ に有機樹脂が含浸された構造体を複数積層させる際、各構造体間に別の層を挟むようにしても良い。

#### 【0130】

そして、図6(E)に示すように、構造体 $103$ を加熱し圧着して、構造体 $103$ の有機樹脂 $107$ を可塑化または硬化する。なお、有機樹脂 $107$ が可塑性有機樹脂の場合、この後、室温に冷却することにより可塑化した有機樹脂を硬化する。有機樹脂 $107$ は加熱及び圧着により、セル $102$ 及びセル $105$ に密着するように均一に広がり、硬化する。上記構造体 $103$ を圧着する工程は、大気圧下または減圧下で行う。

#### 【0131】

上記作製方法を用いることで、図2(A)に示した光電変換装置を作製することが出来る。また、上記作製方法を用いることで作製した光電変換装置において、セル $102$ は、導電膜 $110$ 、光電変換層 $111$ 、及び導電膜 $112$ を含む第1の積層体を複数有し、複数

10

20

30

40

50

の第1の積層体のpn接合またはpin接合が電氣的に直列になるよう接続されている。セル105は、導電膜120、光電変換層121a及び導電膜122を含む第2の積層体を複数有し、複数の第2の積層体のpn接合またはpin接合が電氣的に直列になるよう接続されている。複数の第1の積層体と複数の第2の積層体とは、構造体103と重畳しない領域において、複数の第1の積層体及び複数の第2の積層体のpn接合またはpin接合が電氣的に並列になるよう接続されている。

#### 【0132】

なお、本実施の形態では、あらかじめ用意した構造体103を、セル102及びセル105に固着させる例について説明したが、開示する発明はこの構成に限定されない。セル102上に繊維体を乗せてから、該繊維体に有機樹脂を含浸させて構造体103を形成する

10

#### 【0133】

セル102上において構造体103を形成する場合、まず図7(A)に示すように、セル102上に繊維体106を乗せる。そして、図7(B)に示すように、繊維体106に有機樹脂107を含浸させる。有機樹脂107を含浸させる方法として、印刷法、キャスト法、液滴吐出法、ディップコート法等を用いることができる。なお、図7(C)では、構造体103が単層の繊維体106を有する例を示しているが、開示する発明はこの構成に限定されない。構造体103が2層以上の繊維体106を有していても良い。

#### 【0134】

次に、繊維体106及び有機樹脂107にセル105が接するように、基板101に基板104を重ね合わせる。そして、有機樹脂107を加熱して可塑化または硬化することで、図7(C)に示すように、セル102及びセル105に固着された構造体103を形成することができる。なお、有機樹脂が可塑性有機樹脂の場合、この後、室温に冷却することにより可塑化した有機樹脂を硬化する。

20

#### 【0135】

本実施の形態では、図2(A)に示した光電変換装置の作製方法を例に挙げて説明したが、開示する発明はこの構成に限定されない。図2(B)、図3、図4に示した光電変換装置も、本実施の形態で示した作製方法を参照して作製することが可能である。

#### 【0136】

##### (実施の形態3)

本実施の形態では、光電変換層を具備するセルを、プラスチック基板(可撓性を有する基板)上に接着して作製する構成について説明する。具体的には、ガラスやセラミックなど耐熱性の高い支持基板上に剥離層及び絶縁層を介して光電変換層を含む被剥離層を形成した後、剥離層から支持基板と被剥離層とを分離して、分離した被剥離層をプラスチック基板上に接着することで、プラスチック基板上にセルを作製する構成について一例を示し説明する。なお本実施の形態では、光入射面とは反対側の面に配置されるセル(ボトムセル)の作製について説明を行う。光入射面に配置されるセル(トップセル)に本実施の形態で説明する作製方法で作製するセルを作製する場合は、電極及び光電変換層を構成する層の積層順序を適宜変更すればよい。

30

#### 【0137】

また、本実施の形態における光電変換層とは、光照射により光起電力を得るための半導体層を含む層をいう。すなわち、光電変換層とは、pn接合、pin接合などを代表例とする半導体接合が形成された半導体層のことをいう。

40

#### 【0138】

支持基板上に形成する被剥離層には、一方の電極(裏面電極)となる導電膜上に第1の半導体層(一例としてp型半導体層)、第2の半導体層(一例としてi型半導体層)、第3の半導体層(一例としてn型半導体層)を積層した光電変換層を形成する。なお光電変換層としては、第1の半導体層(一例としてp型半導体層)、第3の半導体層(一例としてn型半導体層)を積層した構成でもよい。光電変換層に用いる半導体層としては、アモルファスシリコン、微結晶シリコンなど高い熱をかけずに作製できるものはもちろん、耐熱

50

性の高い支持基板を用いることによって結晶質シリコンなど、ある程度の加熱やレーザー処理が必要な結晶質半導体層を用いた半導体層も作製することができる。そのため、分光感度特性の異なる半導体層をプラスチック基板上に形成することができるため、変換効率の向上及び基板の軽量化に伴う可搬性の向上を図ることが出来る。

#### 【0139】

n型半導体層とするために半導体層に導入される不純物元素としては、代表的には周期表第15族元素であるリン、ヒ素、またはアンチモンなどが挙げられる。またp型半導体層とするために半導体層に導入される不純物元素としては、代表的には周期表第13族元素であるボロンまたはアルミニウムなどが挙げられる。

#### 【0140】

なお本実施の形態で、一例として示す光電変換層の断面図では第1の半導体層、第2の半導体層、第3の半導体層は同数、同形状で示してあるが、第2の半導体層の導電型がp型またはn型が付与されている場合、pn接合が形成される領域は、第1の半導体層と第2の半導体層との間、または第2の半導体層と第3の半導体層との間のどちらか一方である。光誘起されたキャリアを再結合させないようにpn接合まで移動させるには、pn接合面積が大きい方が望ましい。従って、第1の半導体層、第3の半導体層は同数、同形状である必要は無い。また、第2の半導体層の導電型がi型半導体層である場合においても、ホールの寿命が電子より短いため、pi接合の面積が大きい方が望ましく、上述したpn接合の場合と同様に第1の半導体層、第3の半導体層を同数、同形状で形成する必要は無い。

#### 【0141】

図8(A)乃至(E)に光電変換層を具備するセルの作製工程の一例を表す図を示す。

#### 【0142】

まず、絶縁表面を有する支持基板1201上に剥離層1202を介して絶縁層1203、導電膜1204、及び第1の半導体層1205(一例としてp型半導体層)、第2の半導体層1206(一例としてi型半導体層)、並びに第3の半導体層1207(一例としてn型半導体層)等を含む光電変換層1221を形成する。(図8(A)参照。)

#### 【0143】

支持基板1201としては、ガラス基板、石英基板、サファイア基板、セラミック基板、表面に絶縁層が形成された金属基板など、耐熱性の高い基板を用いることができる。

#### 【0144】

剥離層1202は、スパッタリング法やプラズマCVD法、塗布法、印刷法等により、タングステン(W)、モリブデン(Mo)、チタン(Ti)、タンタル(Ta)、ニオブ(Nb)、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、ジルコニウム(Zr)、亜鉛(Zn)、ルテニウム(Ru)、ロジウム(Rh)、パラジウム(Pd)、オスミウム(Os)、イリジウム(Ir)、シリコン(Si)から選択された元素、又は元素を主成分とする合金材料、又は元素を主成分とする化合物材料からなる層を、単層又は積層して形成する。シリコンを含む層の結晶構造は、非晶質、微結晶、多結晶のいずれの場合でもよい。なお、ここでは、塗布法は、スピンコーティング法、液滴吐出法、ディスペンス法、ノズルプリンティング法、スロットダイコーティング法を含む。

#### 【0145】

剥離層1202が単層構造の場合、好ましくは、タングステン層、モリブデン層、又はタングステンとモリブデンの混合物を含む層を形成する。又は、タングステンの酸化物若しくは酸化窒化物を含む層、モリブデンの酸化物若しくは酸化窒化物を含む層、又はタングステンとモリブデンの混合物の酸化物若しくは酸化窒化物を含む層を形成する。なお、タングステンとモリブデンの混合物とは、例えば、タングステンとモリブデンの合金に相当する。

#### 【0146】

剥離層1202が積層構造の場合、好ましくは、1層目としてタングステン層、モリブデン層、又はタングステンとモリブデンの混合物を含む層を形成し、2層目として、タング

10

20

30

40

50

ステン、モリブデン又はタングステンとモリブデンの混合物の酸化物、窒化物、酸化窒化物又は窒化酸化物を形成する。

【0147】

剥離層1202として、タングステンを含む層とタングステンの酸化物を含む層の積層構造を形成する場合、タングステンを含む層を形成し、その上層に酸化物で形成される絶縁層を形成することで、タングステン層と絶縁層との界面に、タングステンの酸化物を含む層が形成されることを活用してもよい。さらには、タングステンを含む層の表面を、熱酸化処理、酸素プラズマ処理、オゾン水等の酸化力の強い溶液での処理等を行ってタングステンの酸化物を含む層を形成してもよい。またプラズマ処理や加熱処理は、酸素、一酸化二窒素、あるいはガスとその他のガスとの混合気体雰囲気下で行ってもよい。これは、タングステンの窒化物、酸化窒化物及び窒化酸化物を含む層を形成する場合も同様であり、タングステンを含む層を形成後、その上層に窒化シリコン層、酸化窒化シリコン層、窒化酸化シリコン層を形成するとよい。

10

【0148】

また下地となる絶縁層1203は、酸化ケイ素や窒化ケイ素、酸化窒化ケイ素、窒化酸化ケイ素などの無機絶縁膜を用い、単層若しくは複数層にて作製することができる。

【0149】

ここで、酸化窒化シリコンとは、その組成において、窒素よりも酸素の含有量が多いものを示し、例えば、酸素が50原子%以上70原子%以下、窒素が0.5原子%以上15原子%以下、シリコンが25原子%以上35原子%以下、水素が0.1原子%以上10原子%以下の範囲で含まれるものをいう。また、窒化酸化シリコンとは、その組成において、酸素よりも窒素の含有量が多いものを示し、例えば、酸素が5原子%以上30原子%以下、窒素が20原子%以上55原子%以下、シリコンが25原子%以上35原子%以下、水素が10原子%以上25原子%以下の範囲で含まれるものをいう。但し、上記範囲は、ラザフォード後方散乱法(RBS: Rutherford Backscattering Spectrometry)や、水素前方散乱法(HFS: Hydrogen Forward Scattering)を用いて測定した場合のものである。また、構成元素の含有比率の合計は、100原子%を超えない。

20

【0150】

また導電膜1204は、光反射率の高い金属膜を用いることが好ましい。例えば、アルミニウム、銀、チタン、タンタルなどを用いることができる。なお、導電膜1204は、蒸着法やスパッタリング法を用いて形成することができる。また導電膜1204は、複数の層で構成されていてもよく、一例としては、第1の半導体層1205との密着性を向上するためのバッファ層等を金属膜、金属の酸化膜、または金属の窒化膜等で形成し、積層して設ける構成としてもよい。また、導電膜1204の表面をエッチング処理等の加工を施してテクスチャ構造(凹凸構造)としてもよい。導電膜1204の表面をテクスチャ構造とすることにより、光の乱反射をおこなうことができるため、入射光を効率よく電気エネルギーに変換することが出来る。なおテクスチャ構造とは、入射される光が反射しないように形成された凹凸構造のことをいい、凹凸構造により光を乱反射することで光電変換層に入射する光の量を向上させ、変換効率を高めるための構造のことをいう。

30

40

【0151】

また第1の半導体層1205、第2の半導体層1206、及び第3の半導体層1207は、シランやゲルマンに代表される半導体材料ガスをを用いた気相成長法やスパッタリング法で作製される非晶質(アモルファス)半導体、該非晶質半導体を光エネルギーや熱エネルギーを利用して結晶化させた多結晶半導体、或いは微結晶(セミアモルファス若しくはマイクロクリスタルとも呼ばれる。)半導体などを用いることができる。半導体層はスパッタ法、LPCVD法、またはプラズマCVD法等により成膜することができる。

【0152】

微結晶半導体膜は、ギブスの自由エネルギーを考慮すれば非晶質と単結晶の中間的な準安定状態に属するものである。すなわち、自由エネルギー的に安定な第3の状態を有する半

50

導体であって、短距離秩序を持ち格子歪みを有する。柱状または針状結晶が基板表面に対して法線方向に成長している。微結晶半導体の代表例である微結晶シリコンは、そのラマンスペクトルが単結晶シリコンを示す  $520\text{ cm}^{-1}$  よりも低波数側に、シフトしている。即ち、単結晶シリコンを示す  $520\text{ cm}^{-1}$  とアモルファスシリコンを示す  $480\text{ cm}^{-1}$  の間に微結晶シリコンのラマンスペクトルのピークがある。また、未結合手（ダングリングボンド）を終端するため水素またはハロゲンを少なくとも1原子%またはそれ以上含ませている。さらに、ヘリウム、アルゴン、クリプトン、ネオンなどの希ガス元素を含ませて格子歪みをさらに助長させることで、安定性が増し良好な微結晶半導体膜が得られる。

#### 【0153】

アモルファス半導体としては、代表的には水素化アモルファスシリコン、結晶性半導体としては代表的にはポリシリコンなどがあげられる。ポリシリコン（多結晶シリコン）には、 $800^\circ\text{C}$  以上のプロセス温度を経て形成されるポリシリコンを主材料として用いた所謂高温ポリシリコンや、 $600^\circ\text{C}$  以下のプロセス温度で形成されるポリシリコンを主材料として用いた所謂低温ポリシリコン、また結晶化を促進する元素などを用いて、非晶質シリコンを結晶化させたポリシリコンなどを含んでいる。もちろん、前述したように、微結晶半導体又は半導体層の一部に結晶相を含む半導体を用いることもできる。

#### 【0154】

また、第1の半導体層1205、第2の半導体層1206、及び第3の半導体層1207の材料としてはシリコン、炭化シリコンの他、ゲルマニウム、ガリウムヒ素、リン化インジウム、セレン化亜鉛、窒化ガリウム、シリコンゲルマニウムなどのような化合物半導体も用いることができる。

#### 【0155】

半導体層に、結晶性半導体層を用いる場合、その結晶性半導体層の作製方法は、種々の方法（レーザ結晶化法、熱結晶化法）を用いれば良い。なお、非晶質半導体層の結晶化は、熱処理とレーザ光照射による結晶化を組み合わせてもよく、熱処理やレーザ光照射を単独で、複数回行って良い。

#### 【0156】

また、結晶性半導体層を、直接基板にプラズマCVD法により形成しても良い。また、プラズマCVD法を用いて、結晶性半導体層を選択的に基板に形成してもよい。なお結晶性半導体層は、支持基板1201上に、結晶が柱状に成長した柱状構造を有するように成膜することが好ましい。

#### 【0157】

なお第1の半導体層1205と第3の半導体層1207とは、一方が第1導電型（例えばp型の導電型）を付与する不純物元素が導入され、他方が第2導電型（例えばn型の導電型）を付与する不純物元素が導入された層となるようにする。また第2の半導体層1206は、真性半導体層、または第1導電型または第2導電型を付与する不純物元素のいずれかが付与された層であることが好ましい。本実施の形態では、光電変換層として半導体層がp-i-n接合となるように半導体層を3層積層する例について示しているがp-n接合等の他の接合が多層にわたって形成された半導体層であってもよい。

#### 【0158】

以上のような工程により、剥離層1202及び絶縁層1203上に導電膜1204、及び第1の半導体層1205、第2の半導体層1206、並びに第3の半導体層1207等を含む光電変換層1221を形成することができる。

#### 【0159】

続いて、絶縁層1203上の導電膜1204、及び第1の半導体層1205、第2の半導体層1206、並びに第3の半導体層1207でなる被剥離層と仮支持基板1208とを剥離用接着材1209を用いて接着し、剥離層1202を用いて被剥離層を支持基板1201より剥離する。これにより被剥離層は、仮支持基板1208側に設けられる（図8（B）参照）。

10

20

30

40

50



## 【0160】

仮支持基板1208は、ガラス基板、石英基板、サファイア基板、セラミック基板、金属基板などを用いることができる。また、本実施の形態の処理温度に耐えうる耐熱性を有するプラスチック基板を用いてもよいし、フィルムのような可撓性基板を用いても良い。

## 【0161】

また、ここで用いる剥離用接着材1209は、水や溶媒に可溶なものや、紫外線などの照射により可塑化させることが可能であるような、必要時に仮支持基板1208と被剥離層とを化学的もしくは物理的に分離することが可能な接着材を用いる。

## 【0162】

なお、上記一例として示した仮支持基板への転置工程は、他の方法であってもよい。例えば、基板と被剥離層の間に剥離層を形成し、剥離層と被剥離層との間に金属酸化膜を設け、当該金属酸化膜を結晶化により脆弱化して、当該被剥離層を剥離する方法、耐熱性の高い支持基板と被剥離層の間に水素を含む非晶質シリコン膜を設け、レーザ光の照射またはエッチングにより当該非晶質シリコン膜を除去することで、当該被剥離層を剥離する方法、支持基板と被剥離層の間に剥離層を形成し、剥離層と被剥離層との間に金属酸化膜を設け、当該金属酸化膜を結晶化により脆弱化し、さらに剥離層の一部を溶液や $\text{NF}_3$ 、 $\text{BrF}_3$ 、 $\text{ClF}_3$ 等のフッ化ハロゲンガスによりエッチングで除去した後、脆弱化された金属酸化膜において剥離する方法、被剥離層が形成された支持基板を機械的に削除又は溶液や $\text{NF}_3$ 、 $\text{BrF}_3$ 、 $\text{ClF}_3$ 等のフッ化ハロゲンガスによるエッチングで除去する方法等を適宜用いることができる。また、剥離層として窒素、酸素や水素等を含む膜（例えば、水素を含む非晶質シリコン膜、水素含有合金膜、酸素含有合金膜など）を用い、剥離層にレーザ光を照射して剥離層内に含有する窒素、酸素や水素をガスとして放出させ被剥離層と基板との剥離を促進する方法を用いてもよい。

## 【0163】

また、上記剥離方法を複数組み合わせることにより容易に転置工程を行うことができる。つまり、レーザ光の照射、ガスや溶液などによる剥離層へのエッチング、鋭いナイフやメスなどによる機械的な削除を行い、剥離層と被剥離層とを剥離しやすい状態にしてから、物理的な力（機械等による）によって剥離を行うこともできる。

## 【0164】

また、剥離層と被剥離層との界面に液体を浸透させて支持基板から被剥離層を剥離してもよいし、または剥離を行う際に水、エタノールなどの液体をかけたりしながら剥離してもよい。

## 【0165】

その他の剥離方法としては、剥離層1202をタングステンで形成した場合は、アンモニア水と過酸化水素水の混合溶液により剥離層をエッチングしながら剥離を行うと良い。

## 【0166】

つづいて、支持基板1201から剥離され、剥離層1202、若しくは絶縁層1203が露出した被剥離層に接着材層1210を用いてプラスチック基板1211を接着する（図8（C）参照）。

## 【0167】

接着材層1210の材料としては、反応硬化型接着剤、熱硬化型接着剤、紫外線硬化型接着剤など光硬化型の接着剤や嫌気型接着剤など各種硬化型接着剤を用いることができる。

## 【0168】

プラスチック基板1211としては、可撓性及び可視光に対する透過性を有する各種基板を用いることができ、有機樹脂のフィルムなどを好適に使用できる。有機樹脂としては、例えばアクリル樹脂や、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）等のポリエステル樹脂、ポリアクリルニトリル樹脂、ポリイミド樹脂、ポリメチルメタクリレート樹脂、ポリカーボネート樹脂（PC）、ポリエーテルスルホン樹脂（PES）、ポリアミド樹脂、シクロオレフィン樹脂、ポリスチレン樹脂、ポリアミドイミド樹脂、ポリ塩化ビニル樹脂等を用いることが出来る。

## 【0169】

プラスチック基板1211には予め窒化ケイ素や酸化窒化ケイ素等の窒素とケイ素を含む膜や窒化アルミニウム等の窒素とアルミニウムを含む膜のような透水性の低い保護層を成膜しておいても良い。

## 【0170】

その後、剥離用接着材1209を溶解若しくは可塑化させて、仮支持基板1208を取り除く(図8(D)参照)。次いで光電変換層1221の形状加工等の後、第3の半導体層1207上に、他方の電極(表面電極)となる導電膜1212を形成する(図8(E)参照)。

## 【0171】

以上により、光電変換層を具備するセルを、プラスチック基板等の別の基板に転載して作製することができる。本実施の形態で光電変換層を具備するセルは、上記実施の形態で示すように繊維体に有機樹脂を含浸させて構造体(プリプレグ)を介して別の光電変換層を具備するセルと貼り合わせることで、光電変換装置を作製することが出来る。

## 【0172】

なお導電膜1212は、スパッタリング法や真空蒸着法を用いて形成することができる。また、導電膜1212は光を十分に透過する材料を用いて形成することが好ましい。上記材料としては例えば、インジウム錫酸化物(ITO)、酸化シリコンを含むインジウム錫酸化物(ITSO)、有機インジウム、有機スズ、酸化亜鉛(ZnO)、酸化亜鉛を含むインジウム酸化物(IZO(Indium Zinc Oxide))、ガリウム(Ga)をドーブしたZnO、酸化スズ(SnO<sub>2</sub>)、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物などを用いて形成することができる。また、透光性を有する導電材料として、導電性高分子材料(導電性ポリマーともいう)を用いることができる。導電性高分子材料としては、電子共役系導電性高分子を用いることができる。例えば、ポリアニリン及び又はその誘導体、ポリピロール及び又はその誘導体、ポリチオフェン及び又はその誘導体、これらの2種以上の共重合体などがあげられる。

## 【0173】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

## 【0174】

(実施の形態4)

本実施の形態では、単結晶半導体基板をガラスやセラミックなどの支持基板上に貼り合わせて作製する光電変換層を具備するセルの作製方法に関し、一例を示し説明する。なお本実施の形態では、光入射面とは反対側の面に配置されるセル(ボトムセル)の作製について説明を行う。光入射面に配置されるセル(トップセル)に本実施の形態で説明する作製方法で作製するセルを作製する場合は、電極及び光電変換層を構成する層の積層順序を適宜変更すればよい。

## 【0175】

支持基板に貼り合わせる単結晶半導体基板は内部に脆化層を形成し、単結晶半導体基板上に、一方の電極(裏面電極)となる導電膜、第1の半導体層、第2の半導体層、第3の半導体層を積層した光電変換層、及び支持基板と接合するための絶縁層を予め形成する。そして支持基板と絶縁層を密着させた後に脆化層付近で分断させ、光電変換層に用いる半導体層として単結晶半導体層を用いた光電変換装置を支持基板上に作製することができる。そのため、キャリアの移動を阻害する要因となる結晶欠陥が少ない光電変換層を具備するセルを作製でき、変換効率に優れた光電変換装置とすることができる。

## 【0176】

なお本実施の形態で、一例として示す光電変換層の断面図では第1の半導体層、第2の半導体層、第3の半導体層は同数、同形状で示してあるが、第2の半導体層の導電型がp型またはn型が付与されている場合、pn接合が形成される領域は、第1の半導体層と第2の半導体層との間、または第2の半導体層と第3の半導体層との間のどちらか一方である

10

20

30

40

50

。光誘起されたキャリアを再結合させないように p n 接合まで移動させるには、p n 接合面積が大きい方が望ましい。従って、第 1 の半導体層、第 3 の半導体層は同数、同形状である必要は無い。また、第 2 の半導体層の導電型が i 型半導体層である場合においても、ホールの寿命が電子より短いため、p i 接合の面積が大きい方が望ましく、上述した p n 接合の場合と同様に第 1 の半導体層、第 3 の半導体層を同数、同形状で形成する必要は無い。

#### 【 0 1 7 7 】

なお第 1 の半導体層と第 3 の半導体層とは、一方が第 1 導電型（例えば p 型の導電型）を付与する不純物元素が導入され、他方が第 2 導電型（例えば n 型の導電型）を付与する不純物元素が導入された層となるようにする。また第 2 の半導体層は、真性半導体層、または第 1 導電型または第 2 導電型を付与する不純物元素のいずれかが付与された層であることが好ましい。本実施の形態では、光電変換層として半導体層を 3 層積層する例について示しているが p n 接合等の他の接合が多層にわたって形成された半導体層であってもよい。

10

#### 【 0 1 7 8 】

なおここでいう脆化層とは、分割工程で、単結晶半導体基板が、単結晶半導体層と剥離基板（単結晶半導体基板）とに分割される領域及びその近傍のことを示す。脆化層の状態は、脆化層を形成する手段によって異なる。例えば、脆化層は、局所的に結晶構造が乱されることで脆弱化された層のことをいう。なお、単結晶半導体基板の一表面から脆化層までの領域も多少脆弱化される場合がありえるものの、脆化層は後に分割される領域及びその付近の層を指すものとする。

20

#### 【 0 1 7 9 】

なおここでいう単結晶半導体とは、結晶面、結晶軸が揃っており、構成している原子または分子が空間的に規則正しい配列になっている半導体のことをいう。なお単結晶半導体において、一部にこの配列の乱れがある格子欠陥を含むもの、意図的または非意図的に格子歪みを有するものなどの規則性の乱れのある半導体を除外するものではない。

#### 【 0 1 8 0 】

図 9（A）乃至（F）に本実施の形態における光電変換層を具備するセルの作製工程の一例を表す図を示す。

#### 【 0 1 8 1 】

まず、第 1 導電型が付与された単結晶半導体基板 1 1 0 1 の一表面上に、保護層 1 1 0 2 を形成する（図 9（A）参照）。そして、保護層 1 1 0 2 の表面より第一導電型を付与する不純物元素を導入して、不純物元素が導入された第 1 の半導体層 1 1 0 3 を形成する（図 9（B）参照）。

30

#### 【 0 1 8 2 】

なお、単結晶半導体基板 1 1 0 1 の導電型を第 1 導電型が付与されるものとしたが、導電型は特に限定されない。単結晶半導体基板 1 1 0 1 に導入される不純物元素の濃度は、後に形成される第 1 の半導体層及び第 3 の半導体層に導入される導電型を付与する不純物元素の濃度より低い濃度の不純物元素の濃度とすることが好ましい。

#### 【 0 1 8 3 】

単結晶半導体基板 1 1 0 1 としては、シリコンやゲルマニウムなどの半導体ウェーハ、ガリウムヒ素やインジウムリンなどの化合物半導体ウェーハなどを用いることができる。中でも、単結晶シリコンウェーハを用いることが好ましい。単結晶半導体基板 1 1 0 1 の平面形状は特に限定されないが、後に固定する支持基板が矩形の場合には、単結晶半導体基板 1 1 0 1 も矩形とすることが望ましい。また、単結晶半導体基板 1 1 0 1 の表面は、鏡面研磨されていることが望ましい。

40

#### 【 0 1 8 4 】

なお、市場に流通している単結晶シリコンウェーハは円形のものが多いが、このような円形のウェーハを用いる場合には、矩形又は多角形となるように加工すればよい。例えば、図 10 に示すように、円形の単結晶半導体基板 1 1 0 1（図 10（A）参照）より矩形の

50

単結晶半導体基板 1101a (図10(B)参照)、多角形の単結晶半導体基板 1101b (図10(C)参照)を切り出すことができる。

【0185】

なお、図10(B)には、円形の単結晶半導体基板 1101に内接し、面積が最大となる矩形の単結晶半導体基板 1101aを切り出す場合について示している。ここで、単結晶半導体基板 1101aの角部(頂点)の角度は略90度である。また、図10(C)には、上記単結晶半導体基板 1101aよりも対辺の間隔が長い単結晶半導体基板 1101bを切り出す場合について示している。この場合、単結晶半導体基板 1101bの角部(頂点)の角度は90度とはならず、該単結晶半導体基板 1101bは矩形ではなく多角形となる。

10

【0186】

保護層 1102としては、酸化シリコン又は窒化シリコンを用いることが好ましい。作製方法としては、例えば、プラズマCVD法やスパッタリング法などを用いればよい。また、酸化性の薬液や酸素ラジカルにより単結晶半導体基板 1101を酸化処理することで、保護層 1102を形成することもできる。さらに、熱酸化法により単結晶半導体基板 1101表面を酸化して保護層 1102を形成しても良い。保護層 1102を形成することで、単結晶半導体基板 1101に脆化層を形成する際、或いは単結晶半導体基板 1101に一導電型を付与する不純物元素を添加する際に、基板表面が損傷するのを防ぐことができる。

【0187】

20

第1の半導体層 1103は、単結晶半導体基板 1101に第1導電型を付与する不純物元素を導入することで形成される。なお、単結晶半導体基板 1101上には保護層 1102が形成されているため、第1導電型を付与する不純物元素は保護層 1102を通過して単結晶半導体基板 1101に導入されることになる。

【0188】

上記第1導電型を付与する不純物元素としては周期表第13族元素、例えば、ホウ素を用いる。これにより、p型の第1の半導体層 1103を形成することができる。なお、第1の半導体層 1103は、熱拡散法により形成することもできる。ただし、熱拡散法では、900 程度又はそれ以上の高温処理が行われるため、脆化層を形成する前に行うことが必要となる。

30

【0189】

上記の方法で形成される第1の半導体層 1103は、光入射面とは反対側の面に配置されることになる。ここで、単結晶半導体基板 1101としてp型基板を用いる場合には、第1の半導体層 1103は、高濃度のp型領域とする。これにより、光入射面とは反対側から、高濃度p型領域と低濃度p型領域が順に配置されることになり、裏面電界(BSF; Back Surface Field)が形成される。すなわち、高濃度のp型領域には電子が入り込むことができず、光励起により生じたキャリアの再結合を低減することができる。

【0190】

次に、保護層 1102の表面にイオンを照射して、単結晶半導体基板 1101中に脆化層 1104を形成する(図9(C)参照)。ここで、上記イオンとしては、水素を含む原料ガスを用いて生成するイオン(特に、 $H^+$ 、 $H_2^+$ 、 $H_3^+$ など)を用いることが好ましい。なお、脆化層 1104が形成される深さは、イオンを照射する際の加速電圧によって制御される。また、脆化層 1104を形成する深さによって単結晶半導体基板 1101から分離される単結晶半導体層の厚さが決定される。

40

【0191】

脆化層 1104は、単結晶半導体基板 1101の表面(正確には、第1の半導体層 1103の表面)から500nm以下の深さ、好ましくは400nm以下の深さ、より好ましくは50nm以上300nm以下の深さに形成する。脆化層 1104を浅い領域に形成することで、分離後の単結晶半導体基板が厚く残存するため、単結晶半導体基板の繰り返し利

50

用回数を増加させることができる。

【0192】

上記イオンの照射は、イオンドーピング装置やイオン注入装置を用いて行うことができる。イオンドーピング装置は通常、質量分離を伴わないため、単結晶半導体基板1101を大型化しても、単結晶半導体基板1101の全面に均一にイオンを照射することができる。なお、イオン照射を利用して単結晶半導体基板1101に脆化層1104を形成する場合、分離する単結晶半導体層を厚くするには、イオンドーピング装置またはイオン注入装置の加速電圧を高めればよい。

【0193】

なお、イオン注入装置は原料ガスから生成されるイオンを質量分離して対象物に照射し、該イオンを構成する元素を添加する装置である。また、イオンドーピング装置は原料ガスから生成されるイオンを質量分離せず対象物に照射し、該イオンを構成する元素を添加する装置である。

10

【0194】

上記脆化層1104の形成後、保護層1102を除去して、第1の半導体層1103上に一方の電極となる導電膜1105を形成する。

【0195】

ここで、導電膜1105は、後の工程における熱処理に耐え得るものが好ましい。導電膜1105は、例えば、チタン、モリブデン、タングステン、タンタル、クロム、ニッケルなどを用いることができる。また、前述の金属材料と、金属材料の窒化物との積層構造としても良い。例えば、窒化チタン層とチタン層の積層構造、窒化タンタル層とタンタル層の積層構造、窒化タングステン層とタングステン層の積層構造などを用いることができる。上記のような窒化物との積層構造とする場合には、第1の半導体層1103と接するように窒化物を形成すると良い。このように窒化物を形成することで、導電膜1105と第1の半導体層1103との密着性を向上させることができる。なお、導電膜1105は、蒸着法やスパッタリング法を用いて形成することができる。

20

【0196】

次に、導電膜1105上に絶縁層1106を形成する(図9(D)参照)。絶縁層1106は単層構造でも2層以上の積層構造でもよいが、その表面は高い平坦性を有することが好ましい。また、最表面は、親水性を有していることが望ましい。上記絶縁層1106としては、例えば、酸化シリコン層、窒化シリコン層、酸化窒化シリコン層、窒化酸化シリコン層などを形成することができる。絶縁層1106の形成方法としては、プラズマCVD法、光CVD法、熱CVD法などのCVD法を挙げることができる。特に、プラズマCVD法を適用することで、平均面粗さ(Ra)が0.5nm以下(好ましくは0.3nm以下)の平坦な絶縁層1106を形成することができる。

30

【0197】

なお、上記絶縁層1106としては、特に、有機シランを用いて化学気相成長法により作製される酸化シリコン層を用いると良い。有機シランとしては、珪酸エチル( $\text{TEOS: Si(OC}_2\text{H}_5)_4$ )、トリメチルシラン( $\text{TMS: (CH}_3)_3\text{SiH}$ )、テトラメチルシクロテトラシロキサン( $\text{TMCTS}$ )、オクタメチルシクロテトラシロキサン( $\text{OMCTS}$ )、ヘキサメチルジシラザン( $\text{HMDS}$ )、トリエトキシシラン( $\text{SiH(OC}_2\text{H}_5)_3$ )、トリスジメチルアミノシラン( $\text{SiH(N(CH}_3)_2)_3$ )等を用いることができる。もちろん、モノシラン、ジシラン、又はトリシラン等の無機シランを用いて、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化シリコン、窒化酸化シリコンなどを形成しても良い。

40

【0198】

また、絶縁層1106を積層構造とする場合には、窒化シリコン層や窒化酸化シリコン層などの窒素を含有するシリコン絶縁層を含む積層構造とすることが好ましい。これにより、支持基板からのアルカリ金属やアルカリ土類金属などによる半導体の汚染を防止できる。

50

## 【0199】

なお、導電膜1105の表面が一定の平坦性を有する場合、具体的には、平均面粗さ(Ra)が0.5nm以下(好ましくは0.3nm以下)である場合には、絶縁層1106を形成しなくとも貼り合わせ可能な場合がある。この場合には、絶縁層1106を形成しない構成としても良い。

## 【0200】

次に、上記絶縁層1106の一表面と支持基板1107の一表面を密着させて加圧することで、単結晶半導体基板1101上の積層構造と、支持基板1107とを貼り合わせる(図9(E)参照)。

## 【0201】

この際、貼り合わせに係る面(ここでは、絶縁層1106の一表面と支持基板1107の一表面)は十分に清浄化しておく。貼り合わせに係る面に微小なゴミなどが存在すると、貼り合わせ不良の発生確率が高まるためである。なお、貼り合わせ不良を低減するために、貼り合わせに係る面を活性化しておいても良い。例えば、貼り合わせに係る面の一方又は双方に原子ビーム又はイオンビームを照射することでその表面を活性化することができる。その他、プラズマ処理や薬液処理などを用いて活性化を行っても良い。このように、貼り合わせに係る面を活性化することで、400以下の温度であっても良好に貼り合わせることができる。

## 【0202】

なお、支持基板1107上に窒化シリコン層や窒化酸化シリコン層などの窒素を含有するシリコン絶縁層を形成し、これを絶縁層1106と密着させる構成としても良い。この場合にも、支持基板1107からのアルカリ金属やアルカリ土類金属などによる半導体の汚染を防止できる。

## 【0203】

次に、熱処理を施して、貼り合わせを強化する。この際の温度は、脆化層1104における分離が進行しない条件とする必要がある。例えば、400未満、好ましくは300以下とすることができる。熱処理時間については特に限定されず、処理速度と貼り合わせ強度との関係から最適な条件を適宜設定すればよい。一例としては、200、2時間の程度の熱処理条件を採用することができる。ここで、貼り合わせに係る領域のみにマイクロ波を照射して、局所的な熱処理を行うことも可能である。なお、貼り合わせ強度に問題

## 【0204】

次に、脆化層1104にて、単結晶半導体基板1101を、分離基板1108と単結晶半導体となる第2の半導体層1109とに分離する(図9(F)参照)。単結晶半導体基板1101の分離は、熱処理により行う。該熱処理の温度は、支持基板1107の耐熱温度を目安にすることができる。例えば、支持基板1107としてガラス基板を用いる場合には、熱処理温度は400以上650以下とすることが好ましい。ただし、短時間であれば、400以上700以下の熱処理を行っても良い。もちろん、ガラス基板の耐熱温度が700より高い場合には、熱処理温度を700より高く設定しても良い。

## 【0205】

上述のような熱処理を行うことで、脆化層1104に形成された微小な空孔の体積変化が生じ、脆化層1104に亀裂が生ずる。その結果、脆化層1104に沿って単結晶半導体基板1101が分割される。絶縁層1106は支持基板1107と貼り合わせられているので、支持基板1107上には単結晶半導体基板1101から分離された単結晶半導体となる第2の半導体層1109が残存することになる。また、この熱処理で、支持基板1107と絶縁層1106の貼り合わせに係る界面が加熱されるため、貼り合わせに係る界面に共有結合が形成され、支持基板1107と絶縁層1106の結合力が一層向上する。

## 【0206】

なお、第2の半導体層1109と第1の半導体層1103を合わせた厚さは、脆化層1104が形成される深さにほぼ対応するものとなる。

## 【0207】

また、脆化層1104を境として単結晶半導体基板1101を分割することで、第2の半導体層1109の分割面（分離面）に凹凸が生じる場合がある。また、その様な凹凸面はイオンダメージによって結晶性や平坦性が損なわれている場合があり、後に第2の半導体層1109を、エピタキシャル成長を行う際のシード層として機能させる際には、表面の結晶性及び平坦性を回復させることが好ましい。一例としては、レーザ処理による結晶性の回復やエッチングによってダメージ層を取り除くと共に、正常な平坦化された表面を取り戻す工程を行えばよい。なお、このときレーザ処理と組み合わせて、熱処理を行うことにより、結晶性やダメージの回復を図ることも可能である。熱処理は、加熱炉、RTAなどにより、脆化層1104を境として単結晶半導体基板1101の分割のための熱処理よりも高温及び/または長時間行うことが好ましい。もちろん、支持基板1107の歪み点は超えない程度の温度で熱処理を行う。

10

## 【0208】

以上の工程により、支持基板1107上に固定された単結晶半導体でなる第2の半導体層1109を得ることができる。なお、分離基板1108は、再生処理を行った後、再利用することができる。再生処理後の分離基板1108は、単結晶半導体層を得るための基板（本実施の形態においては、単結晶半導体基板1101に対応）として用いてもよいし、その他の用途に用いても良い。単結晶半導体層を得るための基板として用いる場合には、1枚の単結晶半導体基板から複数の光電変換装置を製造できることになる。

## 【0209】

20

次いで、第2の半導体層1109上に第3の半導体層1110を形成し、第1の半導体層1103、第2の半導体層1109、第3の半導体層1110でなる光電変換層1111を形成する。つづいて光電変換層1111の形状加工等の後、第3の半導体層1110上に他方の電極（表面電極）となる導電膜1112を形成される（図9（G）参照）。

## 【0210】

以上により、単結晶半導体層で形成された光電変換層を具備するセルを作製することができる。本実施の形態で光電変換層を具備するセルは、上記実施の形態で示すように繊維体に有機樹脂を含浸させて構造体（プリプレグ）を介して別の光電変換層を具備するセルと貼り合わせるることにより、光電変換装置を作製することが出来る。

## 【0211】

30

なお単結晶半導体の代表例である単結晶シリコンは間接遷移型の半導体であるため、直接遷移型の非晶質シリコンよりも光吸収係数が低い。そのため、十分に太陽光を吸収するためには、非晶質シリコンを用いた光電変換層よりも、少なくとも数倍以上の膜厚を要することが好ましい。

## 【0212】

単結晶半導体でなる第2の半導体層1109の厚膜化については、一例としては第2の半導体層1109上に隙間を埋めるように覆うように非単結晶半導体層を形成した後熱処理を行い、第2の半導体層1109をシード層として固相エピタキシャル成長させて形成すればよい。または、プラズマCVD法等を用いて気相エピタキシャル成長で形成することができる。固相エピタキシャル成長を行う熱処理は、RTA、炉、高周波発生装置などの熱処理装置を用いて行うことができる。

40

## 【0213】

なお導電膜1112は、スパッタリング法や真空蒸着法を用いて形成することができる。また、導電膜1112は光を十分に透過する材料を用いて形成することが好ましい。上記材料としては例えば、インジウム錫酸化物（ITO）、酸化シリコンを含むインジウム錫酸化物（ITSO）、有機インジウム、有機スズ、酸化亜鉛（ZnO）、酸化亜鉛を含むインジウム酸化物（IZO（Indium Zinc Oxide））、ガリウム（Ga）をドーブしたZnO、酸化スズ（SnO<sub>2</sub>）、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物などを用いて形成することができる。また、透光

50

性を有する導電材料として、導電性高分子材料（導電性ポリマーともいう）を用いることができる。導電性高分子材料としては、電子共役系導電性高分子を用いることができる。例えば、ポリアニリン及び又はその誘導体、ポリピロール及び又はその誘導体、ポリチオフェン及び又はその誘導体、これらの２種以上の共重合体などがあげられる。

【０２１４】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

【０２１５】

（実施の形態５）

本実施の形態では、単結晶半導体基板を用いて作製される光電変換層を具備するセルの作製方法に関し、一例を示し説明する。なお本実施の形態では、光入射面とは反対側の面に配置されるセル（ボトムセル）の作製について説明を行う。光入射面に配置されるセル（トップセル）に本実施の形態で説明する作製方法で作製するセルを作製する場合は、電極及び光電変換層を構成する層の積層順序を適宜変更すればよい。

【０２１６】

単結晶半導体基板を用いて作製される光電変換層は、一例として単結晶半導体基板内に半導体接合を有し、一方の電極（裏面電極）となる導電膜上に、第１の半導体層、第２の半導体層、第３の半導体層を積層した光電変換層が形成される。そして光電変換層の表面をテクスチャ構造（凹凸構造）として光電変換層上に電極が形成され、単結晶半導体基板を用いて作製されるセルが得られる。

【０２１７】

なお第１の半導体層と第３の半導体層とは、一方が第１導電型（例えばｎ型の導電型）を付与する不純物元素が導入され、他方が第２導電型（例えばｐ型の導電型）を付与する不純物元素が導入された層となるようにする。また第２の半導体層は、真性半導体層、または第１導電型または第２導電型を付与する不純物元素のいずれかが導入された層であることが好ましい。本実施の形態では、光電変換層として半導体層を３層積層する例について示しているがｐｎ接合等の他の接合が多層にわたって形成された半導体層であってもよい。

【０２１８】

なお本実施の形態で、一例として示す光電変換層の断面図では第１の半導体層、第２の半導体層、第３の半導体層は同数で示してあるが、第２の半導体層の導電型がｐ型またはｎ型が付与されている場合、ｐｎ接合が形成される領域は、第１の半導体層と第２の半導体層との間、または第２の半導体層と第３の半導体層との間のどちらか一方である。光誘起されたキャリアを再結合させないようにｐｎ接合まで移動させるには、ｐｎ接合面積が大きい方が望ましい。従って、第１の半導体層、第３の半導体層は同数、同形状である必要は無い。また、第２の半導体層の導電型がｉ型半導体層である場合においても、ホール寿命が電子より短いため、ｐｉ接合の面積が大きい方が望ましく、上述したｐｎ接合の場合と同様に第１の半導体層、第３の半導体層を同数、同形状で形成する必要は無い。

【０２１９】

なおここでの単結晶半導体とは、結晶面、結晶軸が揃っており、構成している原子または分子が空間的に規則正しい配列になっている半導体のことをいう。なお単結晶半導体において、一部にこの配列の乱れがある格子欠陥を含むもの、意図的または非意図的に格子歪みを有するものなどの規則性の乱れのある半導体を除外するものではない。

【０２２０】

図１１（Ａ）乃至（Ｃ）に本実施の形態における光電変換層を具備するセルの作製工程の一例を表す図を示す。

【０２２１】

まず、第１導電型が付与された単結晶半導体基板１３０１の一表面をエッチング処理等の加工を施してテクスチャ構造１３０２（凹凸構造）を形成する（図１１（Ａ）参照）。単結晶半導体基板１３０１の表面をテクスチャ構造とすることにより、光の乱反射をおこなうことができるため、後に形成する半導体接合に入射される光を効率よく電気エネルギー



に変換することが出来る。

【0222】

なお、単結晶半導体基板1301の導電型を第1導電型（例えばp型）が付与されるものとしたが、導電型は特に限定されない。単結晶半導体基板1301に導入される不純物元素の濃度は、後に形成される第1の半導体層及び第3の半導体層に導入される導電型を付与する不純物元素の濃度より低い濃度の不純物元素の濃度とすることが好ましい。

【0223】

単結晶半導体基板1301としては、シリコンやゲルマニウムなどの半導体ウェーハ、ガリウムヒ素やインジウムリンなどの化合物半導体ウェーハなどを用いることができる。中でも、単結晶シリコンウェーハを用いることが好ましい。

10

【0224】

なお、市場に流通している単結晶シリコンウェーハは円形のものが多いが、このような円形のウェーハを用いる場合には、上記実施の形態の図10で説明したように、矩形又は多角形となるように加工すればよい。

【0225】

次いで単結晶半導体基板1301のテクスチャ構造1302上に、第1の半導体層1303を形成する。第1の半導体層1303は、熱拡散法等により単結晶半導体基板1301に第2導電型を付与する不純物元素を導入することで形成しても良いし、テクスチャ構造1302が形成された単結晶半導体基板1301上に成膜して形成してもよい。なお第2導電型を付与する不純物元素としては周期表第15族元素、例えば、リンを用いればよい。

20

【0226】

次いで、第1の半導体層1303上に、表面電極となる導電膜1304を形成する（図11（B）参照）。なお第1の半導体層1303上と導電膜1304との間に反射防止膜等の他の膜が形成されていてもよい。

【0227】

なお導電膜1304は、スパッタリング法や真空蒸着法を用いて形成することができる。また、導電膜1304は光を十分に透過する材料を用いて形成することが好ましい。上記材料としては例えば、インジウム錫酸化物（ITO）、酸化シリコンを含むインジウム錫酸化物（ITSO）、有機インジウム、有機スズ、酸化亜鉛（ZnO）、酸化亜鉛を含むインジウム酸化物（IZO（Indium Zinc Oxide））、ガリウム（Ga）をドーブしたZnO、酸化スズ（SnO<sub>2</sub>）、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物などを用いて形成することができる。また、透光性を有する導電材料として、導電性高分子材料（導電性ポリマーともいう）を用いることができる。導電性高分子材料としては、電子共役系導電性高分子を用いることができる。例えば、ポリアニリン及び又はその誘導体、ポリピロール及び又はその誘導体、ポリチオフェン及び又はその誘導体、これらの2種以上の共重合体などがあげられる。

30

【0228】

なお導電膜1304は、スクリーン印刷等の印刷法により、銀ペースト等の金属を含む溶媒を塗布し、焼き付けることによって、形成してもよい。なお導電膜1304が設けられる面は受光面となるため、光が十分透過するよう導電膜は全面に形成せず、網目状となるよう形成する。

40

【0229】

次いで、単結晶半導体基板1301のテクスチャ構造1302及び導電膜1304が設けられた側と反対側の表面に、第3の半導体層1305、裏面電極となる導電膜1306を形成する（図11（C）参照）。第3の半導体層1305は、熱拡散法等により単結晶半導体基板1301に第1導電型を付与する不純物元素を導入することで形成しても良いし、単結晶半導体基板1301に接して成膜して形成してもよい。なお第1導電型を付与する不純物元素としては周期表第13族元素、例えば、ホウ素を用いればよい。

50

## 【0230】

また導電膜1306は、光反射率の高い金属膜を用いることが好ましい。例えば、アルミニウム、銀、チタン、タンタルなどを用いることができる。なお、導電膜1306は、蒸着法やスパッタリング法を用いて形成することができる。また導電膜1306は、複数の層で構成されていてもよく、一例としては、第3の半導体層1305との密着性を向上するためのバッファ層等を金属膜、金属の酸化膜、または金属の窒化膜等で形成し、積層して設ける構成としてもよい。または、光反射率の高い金属膜と、光反射率の低い金属膜とを積層して形成してもよい。

## 【0231】

以上の工程により、導電膜1304及び導電膜1306で挟持された、第1の半導体層1303、第2の半導体層となる単結晶半導体基板1301、及び第3の半導体層1305でなる光電変換層1307が得られ、単結晶半導体基板を用いて作製された光電変換層を具備するセルを作製することができる。本実施の形態で光電変換層を具備するセルは、上記実施の形態で示すように繊維体に有機樹脂を含浸させて構造体（プリプレグ）を介して別の光電変換層を具備するセルと貼り合わせることで、光電変換装置を作製することができる。

10

## 【0232】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

## 【0233】

（実施の形態6）

20

本実施の形態では、セルを直列に接続した光電変換装置の例について説明する（図12参照）。

## 【0234】

図12に示す光電変換装置は、光電変換層が直列接続された構成のセル102を基板101上に有し、光電変換層が直列接続された構成のセル105を基板104上に有する。

## 【0235】

具体的には、光電変換層の一部に設けられた導通部612を介して第1の導電層と第2の導電層とが電気的に接続されることにより、光電変換領域610における光電変換層と、隣接する光電変換領域における光電変換層とが直列接続されている。また、光電変換層の一部に設けられた導通部616を介して第1の導電層と第2の導電層とが電気的に接続されることにより、光電変換領域614における光電変換層と、隣接する光電変換領域における光電変換層とが直列接続されている。

30

## 【0236】

製造方法について特に限定はないが、例えば、次のような方法を採用することが可能である。基板101上に所定のパターンの第1の導電層を形成し、光電変換層を形成し、光電変換層をパターニングして上記第1の導電層に達するコンタクトホールを形成し、光電変換層を覆って第2の導電層を形成し、少なくとも第2の導電層をパターニングすることによって基板101上にセル102を形成する。同様の方法で基板104にセル105を形成し、これらを、構造体103を用いて貼り合わせることで光電変換装置が完成する。なお、各工程の詳細については、先の実施の形態を参照すればよい。

40

## 【0237】

上述のような構成を採用することで、多数の光電変換層を直列に接続することが可能になる。つまり、大きな電圧が必要とされる用途においても、必要十分な電圧を供給することができる光電変換装置を提供することができる。

## 【0238】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。

## 【0239】

（実施の形態7）

本実施の形態では、光電変換装置の作製に用いることができる装置の例について、図面を参照して説明する。

50

## 【 0 2 4 0 】

図 1 3 には、光電変換装置、特に、光電変換層の作製に用いることができる装置の一例を示す。図 1 3 に示す装置は、トランスファー室 1 0 0 0、ロード・アンロード室 1 0 0 2、第 1 の成膜室 1 0 0 4、第 2 の成膜室 1 0 0 6、第 3 の成膜室 1 0 0 8、第 4 の成膜室 1 0 1 0、第 5 の成膜室 1 0 1 2、および搬送ロボット 1 0 2 0 を備える。

## 【 0 2 4 1 】

トランスファー室 1 0 0 0 に備えられた搬送ロボット 1 0 2 0 によって、ロード・アンロード室 1 0 0 2、および各成膜室間における基板の搬送が行われる。また、各成膜室においては、光電変換層を構成する半導体層が形成される。以下において、当該装置を用いた光電変換層の成膜工程の一例について説明する。

10

## 【 0 2 4 2 】

まず、搬送ロボット 1 0 2 0 によって、ロード・アンロード室 1 0 0 2 に投入された基板が第 1 の成膜室 1 0 0 4 に搬送される。当該基板には、あらかじめ、電極または配線として機能する導電膜が形成されていることが望ましい。導電膜の材質や形状（パターン）等は、要求される光学特性や電気特性に応じて、適宜変更することができる。なお、ここでは、基板としてガラス基板を用い、導電膜として光透過性を有する導電膜を形成する場合であって、当該導電膜から光電変換層に光が入射する場合を例に挙げて説明する。

## 【 0 2 4 3 】

第 1 の成膜室 1 0 0 4 では、導電膜に接する第 1 の半導体層が形成される。ここでは、第 1 の半導体層として、p 型を付与する不純物元素が添加された半導体層（p 層）を形成する場合について説明するが、開示する発明の一態様はこれに限定されない。n 型を付与する不純物元素が添加された半導体層（n 層）を形成しても良い。成膜方法としては、代表的には C V D 法などを挙げることができるが、これに限定する必要はない。例えば、スパッタ法などを用いて第 1 の半導体層を形成しても良い。なお、C V D 法を用いて成膜を行う場合には、成膜室を C V D 室と呼ぶこともできる。

20

## 【 0 2 4 4 】

次に、上記第 1 の半導体層が形成された基板が、第 2 の成膜室 1 0 0 6、第 3 の成膜室 1 0 0 8、または第 4 の成膜室 1 0 1 0 のいずれかに搬送される。第 2 の成膜室 1 0 0 6、第 3 の成膜室 1 0 0 8、または第 4 の成膜室 1 0 1 0 では、第 1 の半導体層に接して導電性を付与する不純物元素が添加されていない第 2 の半導体層（i 層）が形成される。

30

## 【 0 2 4 5 】

ここで、第 2 の半導体層を形成するために、第 2 の成膜室 1 0 0 6、第 3 の成膜室 1 0 0 8、および第 4 の成膜室 1 0 1 0 の三つを用意しているのは、第 1 の半導体層と比較して第 2 の半導体層を厚く形成する必要があるためである。第 2 の半導体層を第 1 の半導体層より厚く形成する場合、第 1 の半導体層と第 2 の半導体層の成膜速度を考慮すると、第 2 の半導体層の形成工程では、第 1 の半導体層の形成工程と比較して多くの時間を要することになる。このため、第 2 の半導体層の形成を一の成膜室でのみ行う場合には、第 2 の半導体層の成膜工程が律速となる。このような理由から、図 1 3 に示す装置では、第 2 の半導体層の成膜室を三つ用意した構成を採用している。なお、光電変換層の形成に用いることができる装置の構成をこれに限定する必要はない。また、成膜方法としては、第 1 の半導体層と同様に C V D 法などを用いることができるが、これに限定する必要はない。

40

## 【 0 2 4 6 】

次に、上記第 2 の半導体層が形成された基板が、第 5 の成膜室 1 0 1 2 に搬送される。第 5 の成膜室 1 0 1 2 では、第 2 の半導体層に接して、第 1 の半導体層とは異なる導電型を付与する不純物元素が添加された第 3 の半導体層が形成される。ここでは、第 3 の半導体層として、n 型を付与する不純物元素が添加された半導体層（n 層）を形成する場合について説明するが、開示する発明の一態様はこれに限定されない。また、成膜方法としては、第 1 の半導体層と同様に C V D 法などを用いることができるが、これに限定する必要はない。

## 【 0 2 4 7 】

50

以上により、導電膜上に、第1の半導体層、第2の半導体層、および第3の半導体層が積層された構造の光電変換層を形成することができる。

【0248】

なお、図13では、ロード・アンロード室1002、第1の半導体層を形成するための第1の成膜室1004、第2の半導体層を形成するための第2の成膜室1006、第2の半導体層を形成するための第3の成膜室1008、第2の半導体層を形成するための第4の成膜室1010、第3の半導体層を形成するための第5の成膜室1012を備える装置について説明したが、開示に係る光電変換装置の製造に用いることができる装置は当該構成に限定されない。例えば、第4の成膜室1010を、第3の半導体層を形成するために用いても良い。

10

【0249】

また、図13では、6つのチャンバーを備えた装置の例について説明したが、開示に係る光電変換装置の製造に用いることができる装置は当該構成に限定されない。例えば、導電膜を形成するための成膜室や、各種表面処理を行う表面処理室、膜質などを調査するための分析室などを備えていても良い。

【0250】

図14には、複数の光電変換層の積層構造を作製する際に用いることができる装置の一例を示す。図14に示す装置は、トランスファー室2100、分析室2102、表面処理室2104、第1の成膜室2106、ロード室2108、第2の成膜室2110、第3の成膜室2112、第4の成膜室2114、および搬送ロボット2120と、トランスファー室2140、第1の成膜室2142、第2の成膜室2144、第3の成膜室2146、アンロード室2148、第4の成膜室2150、第5の成膜室2152、第6の成膜室2154、および搬送ロボット2160と、を備え、トランスファー室2100とトランスファー室2140とが、連結室2180によって連結された構成を有している。

20

【0251】

トランスファー室2100に備えられた搬送ロボット2120によって、ロード室2108、分析室2102、表面処理室2104、および各成膜室間における基板の搬送が行われる。また、トランスファー室2140に備えられた搬送ロボット2160によって、アンロード室2148、および各成膜室間における基板の搬送が行われる。また、各成膜室においては、光電変換層を構成する半導体層や光電変換装置の導電膜などが形成される。以下において、当該装置を用いた光電変換層の成膜工程の一例について説明する。

30

【0252】

まず、搬送ロボット2120によって、ロード室2108に投入された基板が第1の成膜室2106に搬送される。第1の成膜室2106では、基板上に、電極または配線として機能する導電膜が形成される。導電膜の材質や形状(パターン)等は、要求される光学特性や電気特性に応じて、適宜変更することができる。なお、導電膜の成膜方法としては、代表的にはスパッタ法を用いることができるが、これに限定する必要はない。例えば、蒸着法などを用いても良い。スパッタ法を用いて成膜を行う場合には、上記成膜室をスパッタ室と呼ぶこともできる。なお、ここでは、基板としてガラス基板を用い、導電膜として光透過性を有する導電膜を形成する場合であって、当該導電膜から光電変換層に光が入射する場合を例に挙げて説明する。

40

【0253】

次に、上記導電膜が形成された基板が、表面処理室2104に搬送される。表面処理室2104では、導電膜の表面に凹凸形状(テクスチャ構造)を形成する処理が行われる。これにより、光電変換層中への光閉じ込めが実現されるため、光電変換装置の光電変換効率を向上させることができる。凹凸形状の形成方法としては、例えば、エッチング処理を挙げることができるが、これに限定する必要はない。

【0254】

次に、上記基板が、第2の成膜室2110に搬送される。第2の成膜室2110では、導電膜に接する第1の光電変換層の第1の半導体層が形成される。ここでは、第1の半導体

50

層として、p型を付与する不純物元素が添加された半導体層（p層）を形成する場合について説明するが、開示する発明の一態様はこれに限定されない。n型を付与する不純物元素が添加された半導体層（n層）を形成しても良い。成膜方法としては、代表的にはCVD法などを挙げることができるが、これに限定する必要はない。例えば、スパッタ法などを用いて第1の半導体層を形成しても良い。

【0255】

次に、上記第1の半導体層が形成された基板が、第3の成膜室2112に搬送される。第3の成膜室2112では、第1の半導体層に接して導電性を付与する不純物元素が添加されていない第2の半導体層（i層）が形成される。成膜方法としては、第1の半導体層の場合と同様に、CVD法などを挙げることができるが、これに限定する必要はない。

10

【0256】

次に、上記第2の半導体層が形成された基板が、第4の成膜室2114に搬送される。第4の成膜室2114では、第2の半導体層に接して、第1の半導体層とは異なる導電性を付与する不純物元素が添加された第3の半導体層が形成される。ここでは、第3の半導体層として、n型を付与する不純物元素が添加された半導体層（n層）を形成する場合について説明するが、開示する発明の一態様はこれに限定されない。また、成膜方法としては、第1の半導体層と同様にCVD法などを用いることができるが、これに限定する必要はない。

【0257】

以上により、導電膜上に、第1の半導体層、第2の半導体層、および第3の半導体層が積層された構造の第1の光電変換層を形成することができる。

20

【0258】

次に、上記第1の光電変換層が形成された基板が、再度、第1の成膜室2106に搬送される。第1の成膜室2106では、第1の光電変換層上に、導電性を有する中間層が形成される。中間層の材質や形状（パターン）等は、要求される光学特性や電気特性に応じて適宜変更することができるが、作製プロセス上は、導電膜と同様の構成とすることが望ましい。

【0259】

次に、連結室2180を通じて、中間層が形成された基板を搬送ロボット2160に受け渡す。搬送ロボット2160は、当該基板を第1の成膜室2142に搬送する。第1の成膜室2142では、中間層に接する第2の光電変換層の第1の半導体層が形成される。ここでは、第1の半導体層として、p型を付与する不純物元素が添加された半導体層（p層）を形成する場合について説明するが、開示する発明の一態様はこれに限定されない。成膜方法としては、代表的にはCVD法などを挙げることができるが、これに限定する必要はない。

30

【0260】

次に、上記第1の半導体層が形成された基板が、第4の成膜室2150、第5の成膜室2152、第6の成膜室2154のいずれかに搬送される。第4の成膜室2150、第5の成膜室2152、第6の成膜室2154では、第1の半導体層に接して導電性を付与する不純物元素が添加されていない第2の半導体層（i層）が形成される。成膜方法としては、第1の半導体層の場合と同様に、CVD法などを挙げることができるが、これに限定する必要はない。

40

【0261】

ここで、第2の半導体層を形成するために、第4の成膜室2150、第5の成膜室2152、第6の成膜室2154の三つを用意している理由は、図13に係る装置の場合と同様である。すなわち、第2の光電変換層における第2の半導体層（i層）は、第1の光電変換層における第2の半導体層（i層）よりも厚く形成される。なお、光電変換層の形成に用いることができる装置の構成をこれに限定する必要はない。また、成膜方法としては、第1の半導体層と同様にCVD法などを用いることができるが、これに限定する必要はない。

50

## 【 0 2 6 2 】

次に、上記第 2 の半導体層が形成された基板が、第 2 の成膜室 2 1 4 4 に搬送される。第 2 の成膜室 2 1 4 4 では、第 2 の半導体層に接して、第 1 の半導体層とは異なる導電型を付与する不純物元素が添加された第 3 の半導体層が形成される。ここでは、第 3 の半導体層として、n 型を付与する不純物元素が添加された半導体層 ( n 層 ) を形成する場合について説明するが、開示する発明の一態様はこれに限定されない。また、成膜方法としては、第 1 の半導体層と同様に C V D 法などを用いることができるが、これに限定する必要はない。

## 【 0 2 6 3 】

以上により、中間層上に、第 1 の半導体層、第 2 の半導体層、および第 3 の半導体層が積層された構造の第 2 の光電変換層を形成することができる。

10

## 【 0 2 6 4 】

次に、上記第 2 の光電変換層が形成された基板が、第 3 の成膜室 2 1 4 6 に搬送される。第 3 の成膜室 2 1 4 6 では、第 2 の光電変換層上に、電極または配線として機能する導電膜が形成される。導電膜の材質や形状 ( パターン ) 等は、要求される光学特性や電気特性に応じて、適宜変更することができる。なお、導電膜の成膜方法としては、代表的にはスパッタ法を用いることができるが、これに限定する必要はない。例えば、蒸着法などを用いても良い。スパッタ法を用いて成膜を行う場合には、上記成膜室をスパッタ室と呼ぶこともできる。なお、ここでは、導電膜として光反射性を有する導電膜を形成する場合について説明するが、これに限定する必要はない。例えば、光透過性を有する導電膜と、光反

20

## 【 0 2 6 5 】

その後、上記基板は、アンロード室 2 1 4 8 から外部に取り出される。

## 【 0 2 6 6 】

以上により、基板上に、導電膜、第 1 の光電変換層、中間層、第 2 の光電変換層、導電膜が順に積層された構造の光電変換装置を作製することができる。

## 【 0 2 6 7 】

なお、トランスファー室 2 1 0 0 およびトランスファー室 2 1 4 0 に接続されたチャンバーの構成は、図 1 4 で示す構成に限定されない。また、チャンバー数の増減も可能である。

30

## 【 0 2 6 8 】

なお、各導電膜等の表面処理のタイミングや回数についても、上記した構成に限定されない。例えば、導電膜の形成後などに表面処理を行う構成としても良い。また、各層の形成前または後において、パターン形成のためのエッチング処理等を行っても良い。

## 【 0 2 6 9 】

## ( 実施の形態 8 )

実施の形態 1 乃至 7 などにより得られる光電変換装置を用いて、太陽光発電モジュールを製造することができる。本実施の形態では、実施の形態 1 に示す光電変換装置を用いた太陽光発電モジュールの例を図 1 5 ( A ) に示す。太陽光発電モジュール 5 0 2 8 は、支持基板 4 0 0 2 上に設けられた複数のユニットセル 4 0 2 0 により構成されている。支持基板 4 0 0 2 上のユニットセル 4 0 2 0 は、支持基板 4 0 0 2 側から、2 つの導電膜に挟持された第 1 のセル、構造体、2 つの導電膜に挟持された第 2 のセル、が積層して設けられている。また、第 1 のセル及び第 2 のセルの一方の導電膜は第 1 の電極 4 0 1 6 と接続し、第 1 のセル及び第 2 のセルの他方の導電膜は第 2 の電極 4 0 1 8 と接続している。

40

## 【 0 2 7 0 】

なお図 1 5 では、特に図示していないが、第 1 のセルの一方の導電膜と第 2 のセルの一方の導電膜とは予め接続しておいて第 1 の電極 4 0 1 6 に接続する構成としてもよいし、複数の第 1 の電極 4 0 1 6 を設け、別々に接続する構成としてもよい。同様に、第 1 のセルの他方の導電膜と第 2 のセルの他方の導電膜とは予め接続しておいて第 2 の電極 4 0 1 8 に接続する構成としてもよいし、複数の第 2 の電極 4 0 1 8 を設け、別々に接続する構成

50

としてもよい。

【0271】

第1の電極4016及び第2の電極4018は支持基板4002の一表面側(ユニットセル4020が形成されている側)に形成され、支持基板4002の端部で外部端子コネクタ用の裏面電極5026及び裏面電極5027とそれぞれ接続する。図15(B)は、図15(A)のC-Dに対応する断面図であり、支持基板4002の貫通口を通じて、第1の電極4016が裏面電極5026と接続し、第2の電極4018が裏面電極5027と接続する様子を示している。

【0272】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせて用いることができる。

10

【0273】

(実施の形態9)

図16に、実施の形態8で示した太陽光発電モジュール5028を用いた太陽光発電システムの例を示す。DC-DCコンバータ等を具備する充電制御回路5029は、一又は複数の太陽光発電モジュール5028から供給される電力を制御して、蓄電池5030を充電する。また充電制御回路5029は、蓄電池5030が十分に充電されている場合、太陽光発電モジュール5028から供給される電力を負荷5031に直接出力するように制御する。

【0274】

蓄電池5030として電気二重層キャパシタを用いると、充電に化学反応を必要としないため、急速な充電が可能である。また、化学反応を利用する鉛蓄電池などに比べ、寿命を8倍程度、充放電効率を1.5倍程度に高めることができる。本実施の形態において示す太陽光発電システムは、照明、電子機器など、電力を使用する様々な負荷5031に対して用いることができる。

20

【0275】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせて用いることができる。

【0276】

(実施の形態10)

図17(A)および図17(B)に、実施の形態8で示した太陽光発電モジュール5028をルーフ部分に用いた車両6000(乗用自動車)の例を示す。太陽光発電モジュール5028は、コンバータ6002を介してバッテリーまたはキャパシタ6004に接続されている。すなわち、バッテリーまたはキャパシタ6004は、太陽光発電モジュール5028から供給される電力を用いて充電される。また、エンジン6006の動作状況をモニタ6008で監視して、その状況に応じて充電・放電を選択させる構成としても良い。

30

【0277】

太陽光発電モジュール5028は、熱によって光電変換効率が低下する傾向にある。このような光電変換効率の低下を抑制するために、太陽光発電モジュール5028内に冷却用の液体などを循環させる構成としても良い。例えば、ラジエータ6010の冷却水を循環ポンプ6012によって循環させる構成とすることができる。もちろん、冷却用の液体をラジエータ6010と共用することには限定されない。また、光電変換効率の低下が深刻でない場合には、液体を循環させる構成は不要である。

40

【0278】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせて用いることができる。

【0279】

(実施の形態11)

一実施形態に係る光電変換装置の出力から、外部電源を用いることなく、交流電力を安定的に取り出すことのできるインバータの一態様を図18に示す。

【0280】

光電変換装置の出力は入射光量によって変動するため、出力電圧をそのまま利用しようとすると安定な出力が得られない場合がある。図18で例示されるインバータは、安定化用

50

のコンデンサ 7004、スイッチングレギュレータ 7006 が設けられ、安定な直流電圧を作り出すように動作する。

【0281】

例えば、光電変換装置 7002 の出力電圧が 10V ~ 15V であるとする、スイッチングレギュレータ 7006 により 30V の安定な直流電圧を作り出すことができる。

【0282】

図 19 にスイッチングレギュレータ 7006 のブロック図を示す。スイッチングレギュレータ 7006 は、アッテネータ 7012、三角波発生回路 7014、コンパレータ 7016、スイッチングトランジスタ 7020、平滑容量 7021 を含んで構成されている。

【0283】

三角波発生回路 7014 の信号がコンパレータ 7016 に入力されると、スイッチングトランジスタ 7020 がオンし、インダクタ 7022 にエネルギーが蓄えられる。それにより、光電変換装置 7002 の出力電圧  $V_1$  以上の電圧  $V_2$  がスイッチングレギュレータ 7006 の出力に発生する。この電圧は、アッテネータ 7012 を介してコンパレータ 7016 に帰還し、発生する電圧がリファレンス電圧 7018 と等しくなるように制御される。

【0284】

例えば、リファレンス電圧を 5V、アッテネータを  $1/6$  にすると、 $V_2$  は 30V になるように制御される。

【0285】

ダイオード 7024 は逆流防止用であり、平滑容量 7021 によってスイッチングレギュレータ 7006 の出力電圧を平滑化する。

【0286】

図 18 において、スイッチングレギュレータ 7006 の出力電圧  $V_2$  を用いて、パルス幅変調回路 7008 を動作させる。パルス幅変調回路 7008 において、パルス幅変調波はデジタル的にマイコンで生成することも可能であるし、アナログ的に発生させても良い。

【0287】

パルス幅変調波  $V_3$ 、 $V_4$  は、パルス幅変調回路 7008 の出力をスイッチングトランジスタ 7026 ~ 7029 に入力することによって生成する。パルス幅変調波  $V_3$ 、 $V_4$  は、バンドパスフィルタ 7010 を通すことによって正弦波に変換される。

【0288】

すなわち、図 20 に示すように、パルス幅変調波 7030 は特定の周期でデューティ比が変わる矩形波であり、これをバンドパスフィルタ 7010 に通すことによって正弦波 7032 を得ることができる。

【0289】

このようにして、光電変換装置 7002 の出力を用いて、外部電源を用いることなく交流電力  $V_5$ 、 $V_6$  を生成することができる。

【0290】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせる用いることができる。

【0291】

(実施の形態 12)

本形態は、図 21 を参照して、光発電システムの一例を示す。この光発電システムは、住宅等に設置される構成を示す。

【0292】

この光発電システムは、光電変換装置 7050 で発電した電力を、蓄電装置 7056 に充電し、或いは発電した電力をインバータ 7058 で交流電力として消費することができるように構成されている。また、光電変換装置 7050 で発電した余剰電力は、電力会社等に買い取ってもらうように構成されている。一方、住宅等で、電力が不足する夜間や雨天時には配電線 7068 から、電力の供給を受けるように構成されている。

【0293】

10

20

30

40

50



光電変換装置 7050 で発電された電力を消費する場合と、配電線 7068 から電力の供給を受ける場合の切り替えは、光電変換装置 7050 側に接続する直流開閉器 7052 と、配電線 7068 側に接続する交流開閉器 7062 により行われる。

【0294】

充電制御回路 7054 は、蓄電装置 7056 への充電制御と、蓄電装置 7056 からインバータ 7058 への電力の供給を制御する。

【0295】

蓄電装置 7056 は、リチウムイオン電池などの二次電池又はリチウムイオンキャパシタなどのキャパシタなどで構成される。これらの蓄電手段において、電極材料としてリチウムに替えてナトリウムを利用した二次電池若しくはキャパシタを適用しても良い。

10

【0296】

インバータ 7058 から出力される交流電力は、各種の電気器具 7070 を動作させる電力として使用される。

【0297】

光電変換装置 7050 が発電した余剰電力は、配電線 7068 に繋いで、電力会社に売却することも可能である。交流開閉器 7062 はトランス 7064 を介して配電線 7068 と分電盤 7060 との接続又は遮断を選択するために設けられている。

【0298】

このように、本形態の光発電システムは、一実施形態に係る光電変換装置を用いて環境負荷の少ない住宅等を提供することができる。

20

【0299】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせ用いることができる。

【0300】

(実施の形態 13)

図 22 で示すように、セル 7096 が形成された第 1 の面を内側に対向させ、繊維体 7100 及び有機樹脂 7102 を間に挟むように重ね合わせた一对の基板 7098 の周辺部分は、機械的強度を持たせるために枠体 7088 が設けられている。

【0301】

枠体 7088 の内側には封止樹脂 7084 を封入し、水の浸入を防ぐようにすることが好ましい。各セル 7096 の端子部には、配線部材 7082 の接触部分に半田若しくは導電性ペーストなどの導電性部材 7080 を設けて接着強度を高めるようにする。配線部材 7082 は、枠体 7088 内において、基板 7098 の第 1 の面から第 2 の面に引き回されている。

30

【0302】

このように、セル 7096 の支持部材である基板 7098 が外側になるようにして、一对のセル 7096 を貼り合わせることにより、当該基板 7098 を表裏の封止部材とすることができ、光電変換装置の発電量を 1.5 倍から理想的には 2 倍に高めつつ、薄型化を図ることができる。

【0303】

図 23 は、光電変換装置の枠体 7088 の内側に蓄電装置 7090 を設けた構成を示す。蓄電装置 7090 の端子 7092 は、配線部材 7082 の少なくとも一つと接触するように設けられる。この場合、セル 7096 を形成する半導体層及び導電膜を用いて形成した逆流防止ダイオード 7094 を、セル 7096 と蓄電装置 7090 の間に形成しておくことが好ましい。

40

【0304】

なお、蓄電装置 7090 としては、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池などの二次電池又はリチウムイオンキャパシタなどのキャパシタなどを用いることができる。これらの蓄電手段において、電極材料としてリチウムに替えてナトリウムを利用した二次電池若しくはキャパシタを適用しても良い。また、蓄電装置 7090 は、フィルム状とすることで、薄型化及び軽量化を図ることができ、枠体 7088 は蓄電装置 7090 の補強部材とし

50

ても機能させることができる。

【0305】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせ用いることができる。

【0306】

(実施の形態14)

本実施の形態では、複数の光電変換層を有することによる光電変換効率の向上の様子を確認した。具体的には、計算機シミュレーションにより、非晶質シリコンを用いた光電変換層と単結晶シリコンを用いた光電変換層についての光電変換効率(量子効率)の波長依存性を求めた。計算ソフトとしてはデバイスシュミレータ(Silvaco社製Atlas)を用いた。

10

【0307】

計算に用いた光電変換層の構造は、pin接合型とした。非晶質シリコンを用いた光電変換層では、p層の厚さは10nm、i層の厚さは200nm、n層の厚さは10nmとした。単結晶シリコンを用いた光電変換層では、p層の厚さは10nm、i層の厚さは30μm、n層の厚さは10nmとした。なお、p層およびn層における不純物元素の濃度はいずれも $1 \times 10^{19} (\text{cm}^{-3})$ とし、それが100%活性化した状態の元で計算を行った。また、電極または中間層として機能する導電層およびその界面における、光の反射や散乱、吸収などについては考慮しないものとした。

【0308】

また、本実施の形態では、簡単のため、非晶質シリコンを用いた光電変換層への入射光の光量と、単結晶シリコンを用いた光電変換層への入射光の光量が等しいという条件のもとに、各光電変換層の量子効率を個別に計算した。

20

【0309】

図24に、計算の前提に用いた非晶質シリコン(a-Si)と単結晶シリコン(c-Si)の吸収係数を示す。図中、横軸は波長(μm)を示し、縦軸は対応する波長における吸収係数( $\text{cm}^{-1}$ )を示している。

【0310】

上記データを元に計算した、非晶質シリコン(a-Si)を用いた光電変換層の量子効率を図25に示す。ここで横軸は波長(μm)を示し、縦軸は対応する波長における量子効率を示している。量子効率は、分母を入射光の全てが電流に変換された場合の電流とし、分子を負極における電流とすることにより求まる値である。

30

【0311】

図25から、非晶質シリコンを用いた光電変換層では、短波長側(0.4μm~0.6μm)における光電変換効率が高いことが分かる。非晶質シリコンを用いた光電変換層では、その厚さが100nm前後であっても、十分な光電変換を行うことが可能である。また、上述の厚さにより、長波長側の光を十分に透過させることができるという点で、トップセルとしては好適である。

【0312】

図26には、単結晶シリコン(c-Si)を用いた光電変換層の量子効率を示す。図25と同様、横軸は波長(μm)を示し、縦軸は対応する波長における量子効率を示している。

40

【0313】

図26から、単結晶シリコンを用いた光電変換層では、広い波長帯域(0.4μm~0.9μm)において光電変換効率が高いことが分かる。単結晶シリコンを用いた光電変換層では、好適な厚さは数十μmであるから、ボトムセルとして用いるのが好適である。

【0314】

図27に、図25および図26に示す結果を用いて求めた、非晶質シリコンを用いた光電変換層と、単結晶シリコンを用いた光電変換層を積層した構造における量子効率を示す。なお、図27では、非晶質シリコンを用いた光電変換層をトップセルとし、単結晶シリコンを用いた光電変換層をボトムセルとして用いた場合の量子効率を示している。ここでは

50

簡単のため、上記光電変換層以外の要素を除外して計算を行った。つまり、トップセルとボトムセルとを接続する中間層などの影響は考慮していない。

【 0 3 1 5 】

以上、本実施の形態における計算結果から、非晶質シリコンを用いた光電変換層と単結晶シリコンを用いた光電変換層の光電変換に適した波長が異なることが分かる。つまり、これらの光電変換層を積層させることにより、光電変換効率を高めることができるといえる。

【 0 3 1 6 】

なお、本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせ用いることができる。

【 符号の説明 】

10

【 0 3 1 7 】

1 0 1	基板	
1 0 2	セル	
1 0 3	構造体	
1 0 4	基板	
1 0 5	セル	
1 0 6	繊維体	
1 0 7	有機樹脂	
1 1 0	導電膜	
1 1 1	光電変換層	20
1 1 2	導電膜	
1 1 3	p 層	
1 1 4	i 層	
1 1 5	n 層	
1 2 0	導電膜	
1 2 1	光電変換層	
1 2 2	導電膜	
1 2 3	n 層	
1 2 4	i 層	
1 2 5	p 層	30
1 3 1	光電変換層	
1 3 3	p 層	
1 3 5	n 層	
1 4 3	p 層	
1 4 5	n 層	
1 5 1	光電変換層	
1 5 2	光電変換層	
1 5 3	p 層	
1 5 4	i 層	
1 5 5	n 層	40
1 5 6	p 層	
1 5 7	i 層	
1 5 8	n 層	
1 5 9	光電変換層	
1 6 0	p 層	
1 6 1	i 層	
1 6 2	n 層	
1 6 3	中間層	
2 5 0	経糸	
2 5 1	緯糸	50

2 5 2	バスケットホール	
6 0 2	光電変換領域	
6 1 0	光電変換領域	
6 1 2	導通部	
6 1 4	光電変換領域	
6 1 6	導通部	
1 0 0 0	トランスファース室	
1 0 0 2	ロード・アンロード室	
1 0 0 4	成膜室	
1 0 0 6	成膜室	10
1 0 0 8	成膜室	
1 0 1 0	成膜室	
1 0 1 2	成膜室	
1 0 2 0	搬送ロボット	
1 1 0 1	単結晶半導体基板	
1 1 0 2	保護層	
1 1 0 3	第1の半導体層	
1 1 0 4	脆化層	
1 1 0 5	導電膜	
1 1 0 6	絶縁層	20
1 1 0 7	支持基板	
1 1 0 8	分離基板	
1 1 0 9	第2の半導体層	
1 1 1 0	第3の半導体層	
1 1 1 1	光電変換層	
1 1 1 2	導電膜	
1 1 0 1 a	単結晶半導体基板	
1 1 0 1 b	単結晶半導体基板	
1 2 0 1	支持基板	
1 2 0 2	剥離層	30
1 2 0 3	絶縁層	
1 2 0 4	導電膜	
1 2 0 5	第1の半導体層	
1 2 0 6	第2の半導体層	
1 2 0 7	第3の半導体層	
1 2 0 8	仮支持基板	
1 2 0 9	剥離用接着材	
1 2 1 0	接着材層	
1 2 1 1	プラスチック基板	
1 2 1 2	導電膜	40
1 3 0 1	単結晶半導体基板	
1 3 0 2	テクスチャ構造	
1 3 0 3	第1の半導体層	
1 3 0 4	導電膜	
1 3 0 5	第3の半導体層	
1 3 0 6	導電膜	
1 3 0 7	光電変換層	
1 2 1 a	光電変換層	
1 2 1 b	光電変換層	
1 2 2 1	光電変換層	50

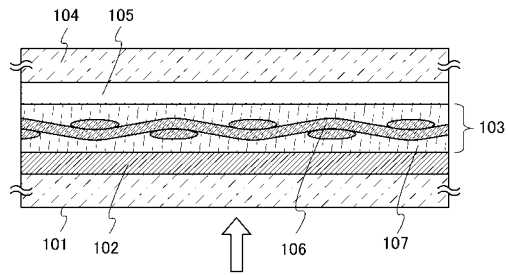
1 4 1 a	光電変換層	
1 4 1 b	光電変換層	
2 1 0 0	トランスファー室	
2 1 0 2	分析室	
2 1 0 4	表面処理室	
2 1 0 6	成膜室	
2 1 0 8	ロード室	
2 1 1 0	成膜室	
2 1 1 2	成膜室	
2 1 1 4	成膜室	10
2 1 2 0	搬送ロボット	
2 1 4 0	トランスファー室	
2 1 4 2	成膜室	
2 1 4 4	成膜室	
2 1 4 6	成膜室	
2 1 4 8	アンロード室	
2 1 5 0	成膜室	
2 1 5 2	成膜室	
2 1 5 4	成膜室	
2 1 6 0	搬送ロボット	20
2 1 8 0	連結室	
4 0 0 2	支持基板	
4 0 0 4	絶縁層	
4 0 0 6	電極	
4 0 1 6	補助電極	
4 0 1 8	電極	
4 0 2 0	ユニットセル	
5 0 2 6	裏面電極	
5 0 2 7	裏面電極	
5 0 2 8	太陽光発電モジュール	30
5 0 2 9	充電制御回路	
5 0 3 0	蓄電池	
5 0 3 1	負荷	
6 0 0 0	車両	
6 0 0 2	コンバータ	
6 0 0 4	キャパシタ	
6 0 0 6	エンジン	
6 0 0 8	モニタ	
6 0 1 0	ラジエータ	
6 0 1 2	循環ポンプ	40
7 0 0 2	光電変換装置	
7 0 0 4	コンデンサ	
7 0 0 6	スイッチングレギュレータ	
7 0 0 8	パルス幅変調回路	
7 0 1 0	バンドパスフィルタ	
7 0 1 2	アッテネータ	
7 0 1 4	三角波発生回路	
7 0 1 6	コンパレータ	
7 0 2 0	スイッチングトランジスタ	
7 0 2 1	平滑容量	50

7 0 2 2 インダクタ  
7 0 2 4 ダイオード  
7 0 2 6 スイッチングトランジスタ  
7 0 2 7 スイッチングトランジスタ  
7 0 2 8 スイッチングトランジスタ  
7 0 2 9 スイッチングトランジスタ  
7 0 3 0 パルス幅変調波  
7 0 3 2 正弦波  
7 0 5 0 光電変換装置  
7 0 5 2 直流開閉器  
7 0 5 4 充電制御回路  
7 0 5 6 蓄電装置  
7 0 5 8 インバータ  
7 0 6 0 分電盤  
7 0 6 2 交流開閉器  
7 0 6 4 トランス  
7 0 6 8 配電線  
7 0 7 0 電気器具  
7 0 9 6 セル  
7 0 8 0 導電性部材  
7 0 8 2 配線部材  
7 0 8 4 封止樹脂  
7 0 8 8 枠体  
7 0 9 0 蓄電装置  
7 0 9 2 端子  
7 0 9 4 逆流防止ダイオード  
7 0 9 8 基板  
7 1 0 0 繊維体  
7 1 0 2 有機樹脂

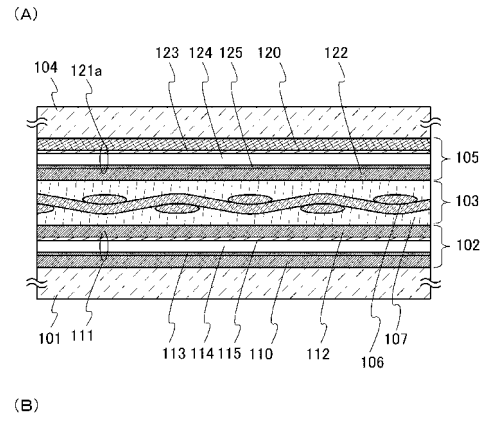
10

20

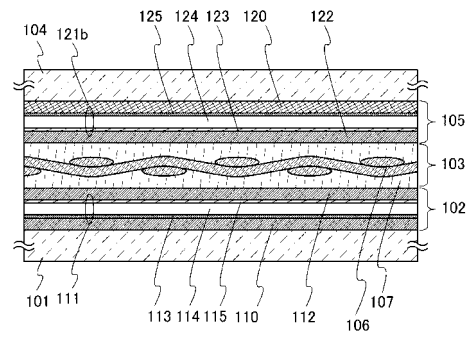
【図 1】



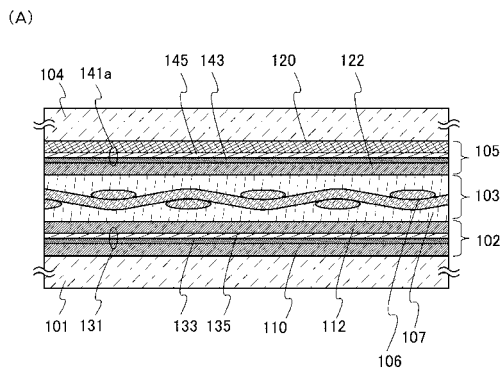
【図 2】



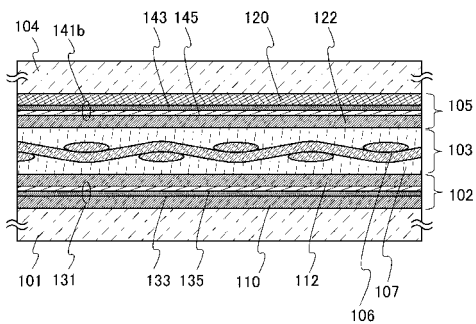
(B)



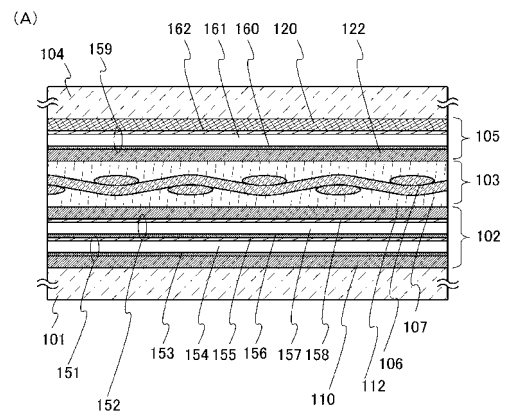
【図 3】



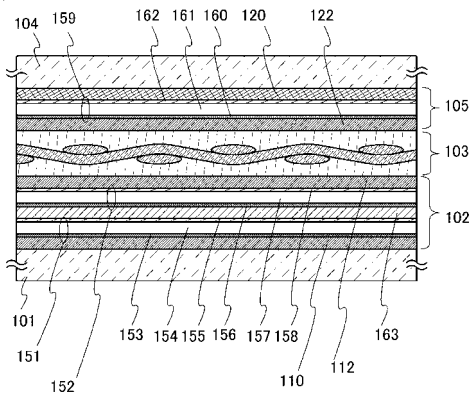
(B)



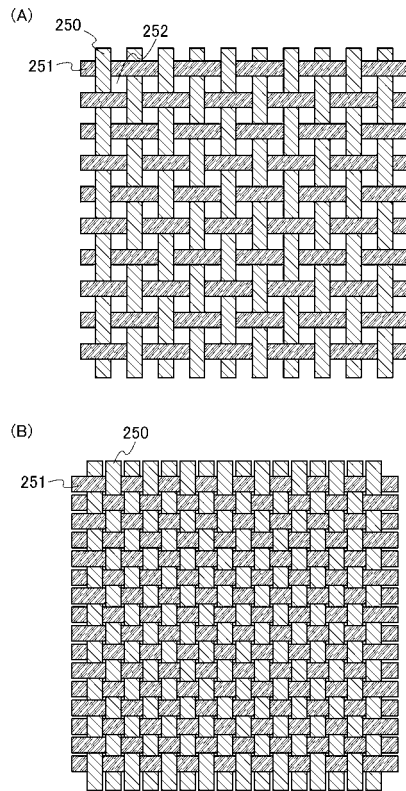
【図 4】



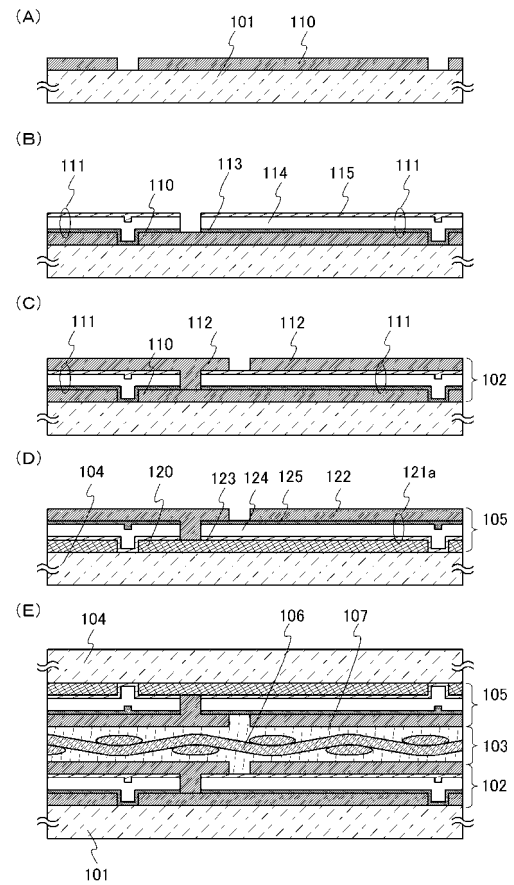
(B)



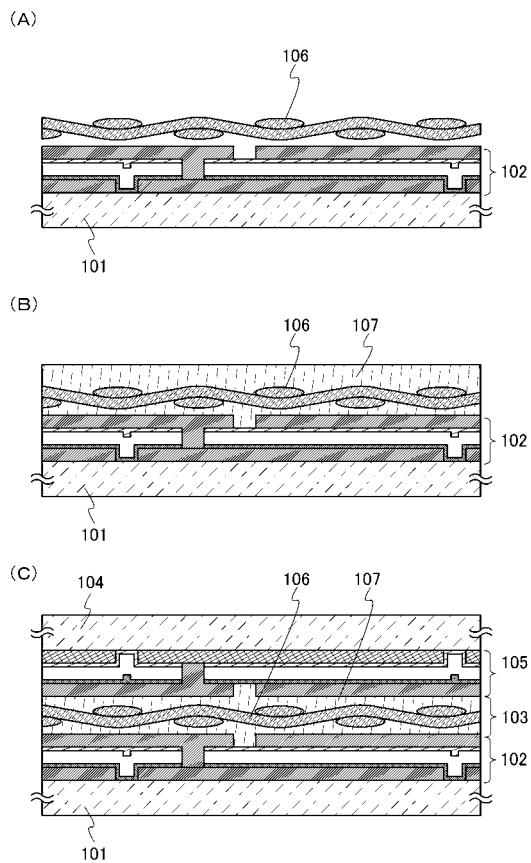
【図 5】



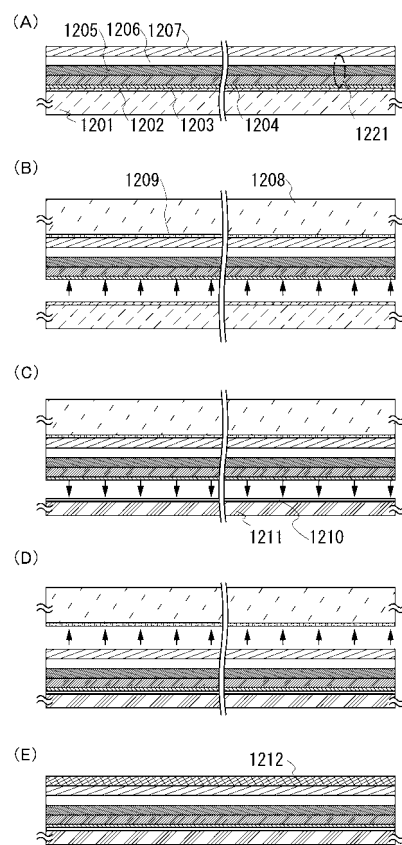
【図 6】



【図 7】

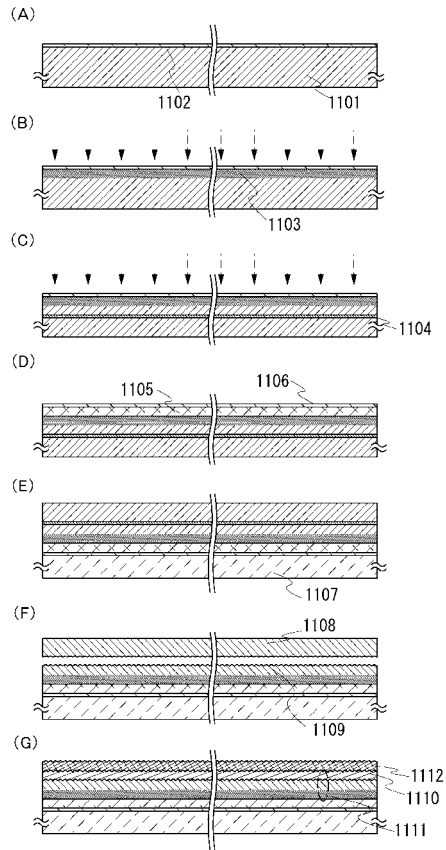


【図 8】

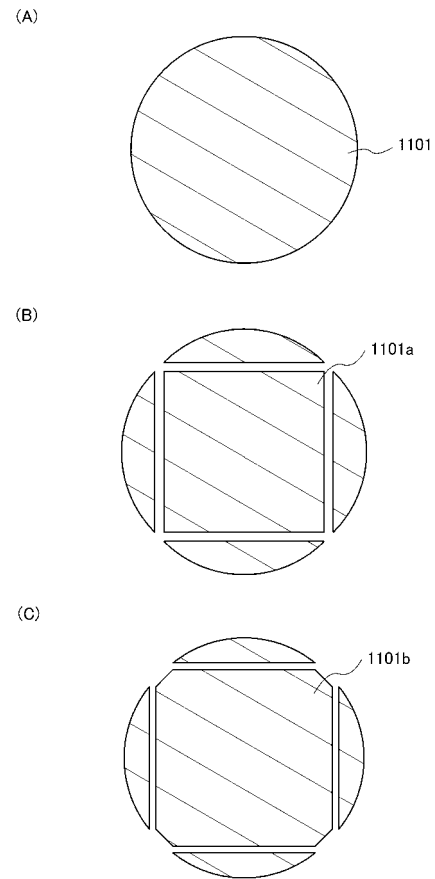




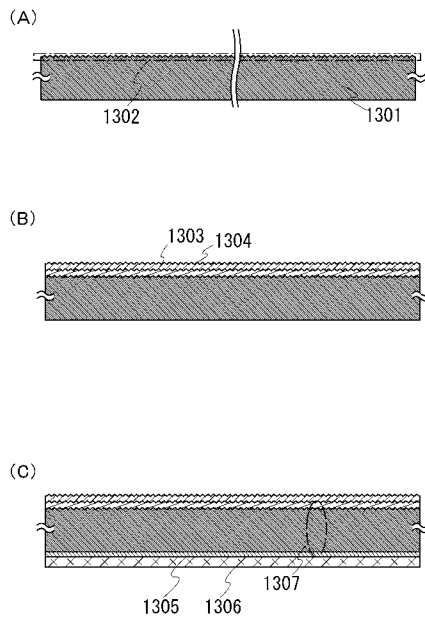
【図 9】



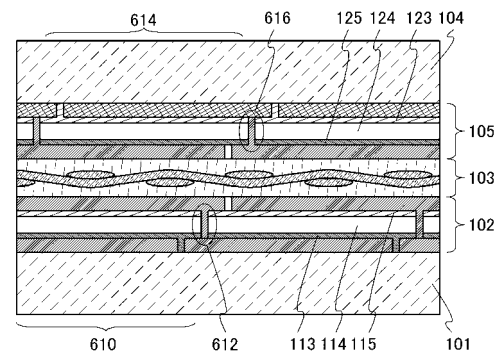
【図 10】



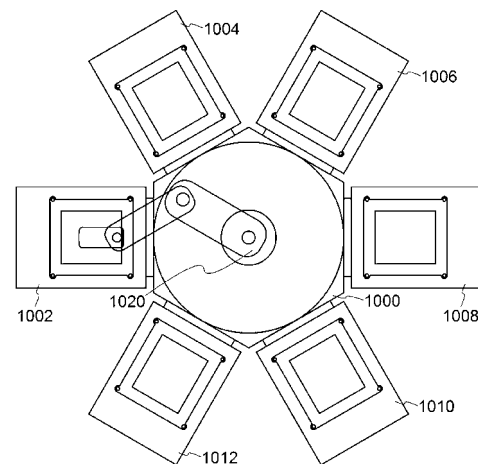
【図 11】



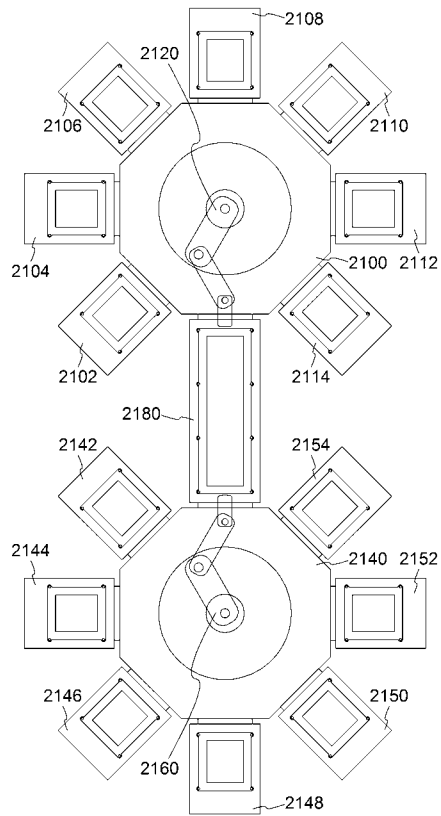
【図 12】



【図 13】

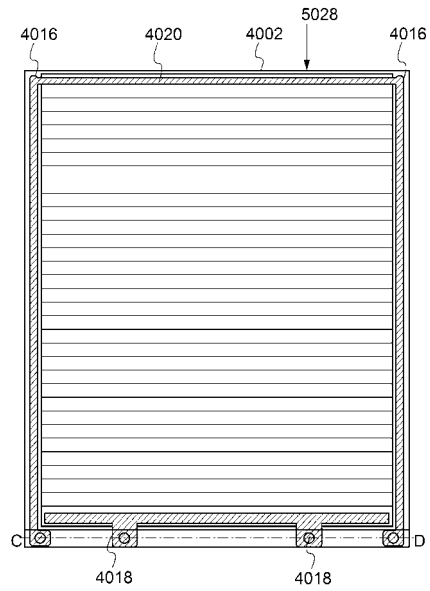


【図 14】

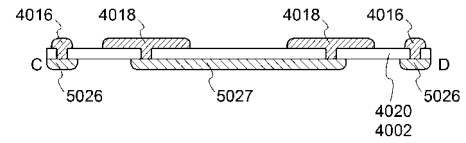


【図 15】

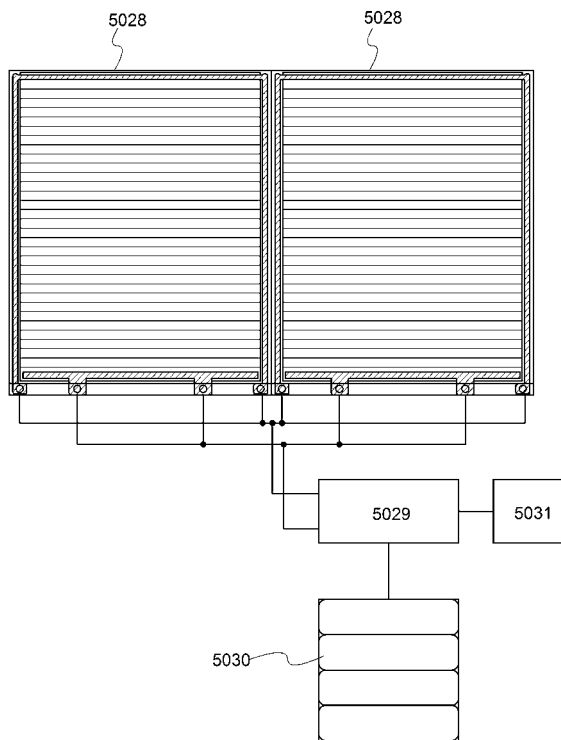
(A)



(B)

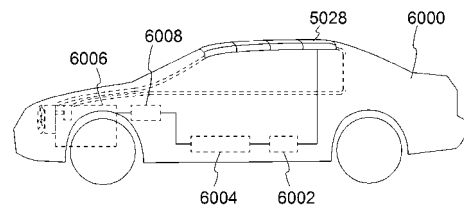


【図 16】

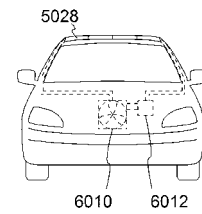


【図 17】

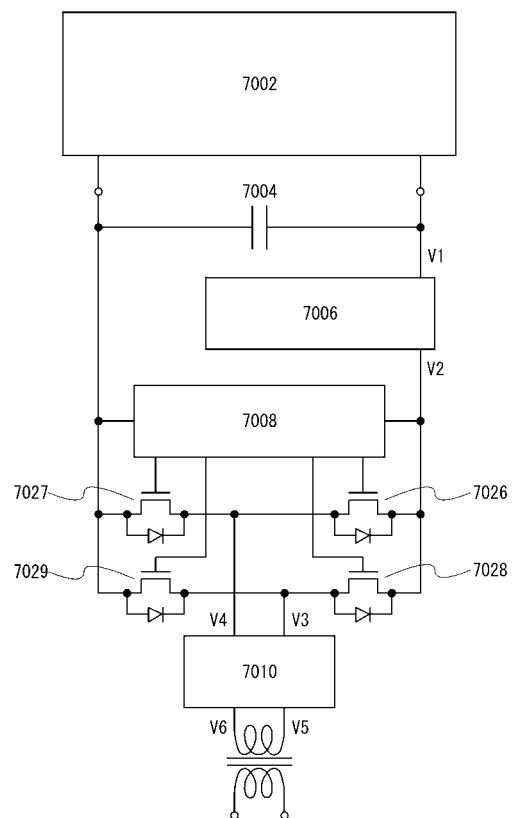
(A)



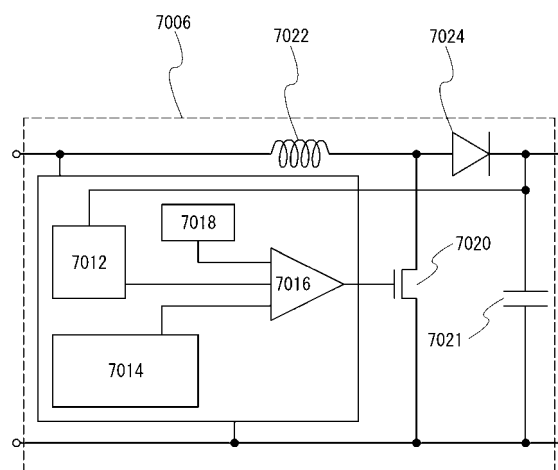
(B)



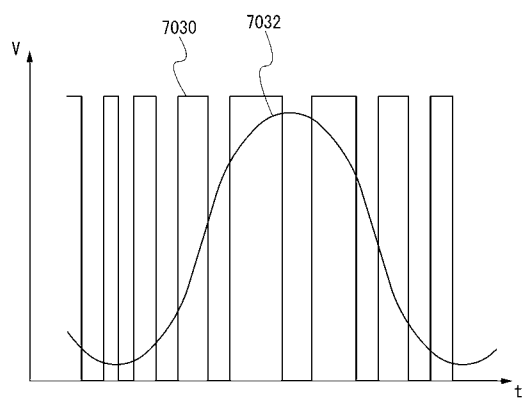
【 図 1 8 】



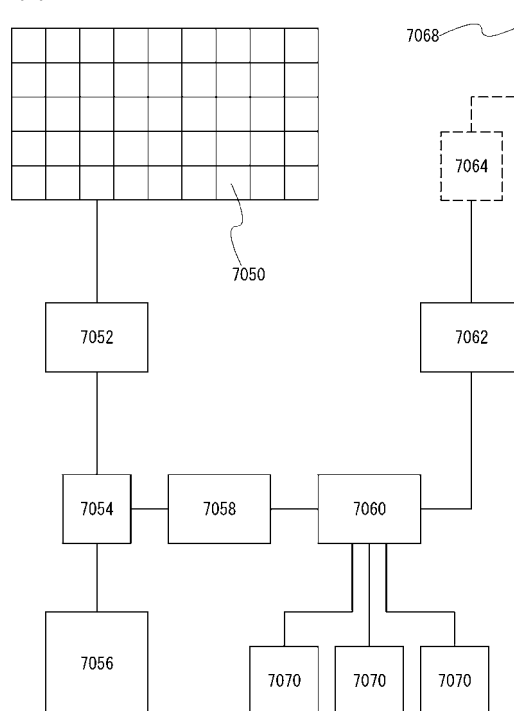
【 図 1 9 】



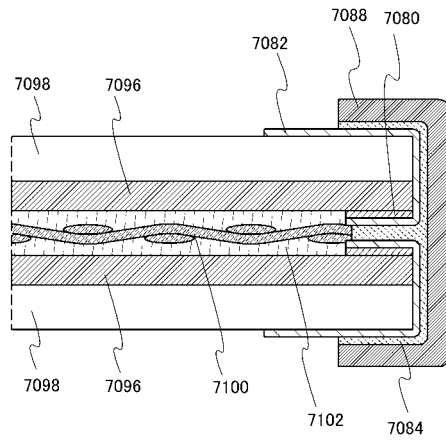
【 図 2 0 】



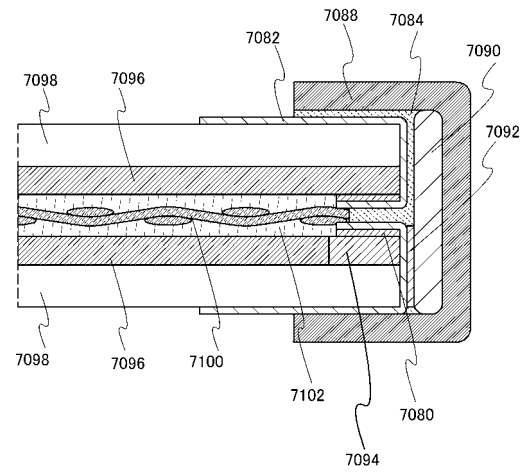
【 図 2 1 】



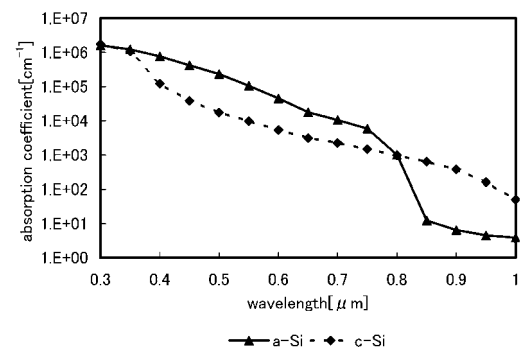
【図 2 2】



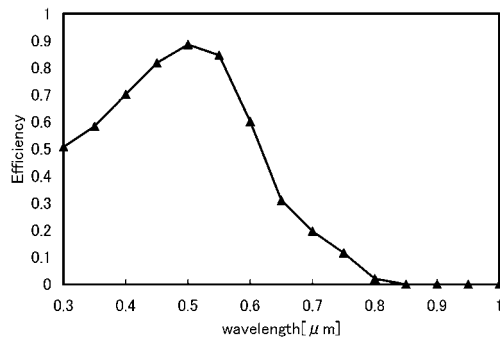
【図 2 3】



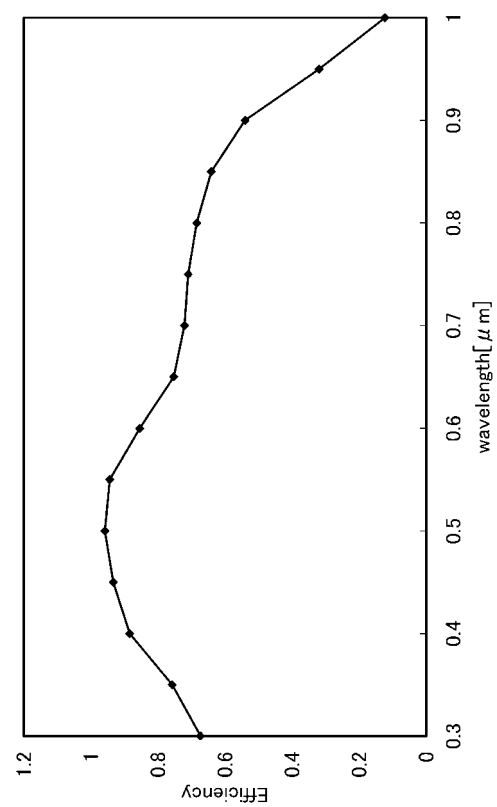
【図 2 4】



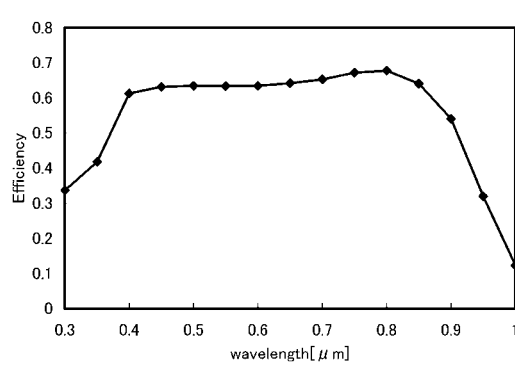
【図 2 5】



【図 2 7】



【図 2 6】



---

フロントページの続き

審査官 門 良成

(56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 1 7 9 5 6 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 8 - 2 7 0 7 6 1 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 L 3 1 / 0 6 8 7  
H 0 1 L 5 1 / 4 4