

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5753445号  
(P5753445)

(45) 発行日 平成27年7月22日(2015.7.22)

(24) 登録日 平成27年5月29日(2015.5.29)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 31/04 260

H01L 31/0725 (2012.01)

H01L 31/06 410

H01L 31/0687 (2012.01)

H01L 31/06 310

請求項の数 7 (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願2011-132820 (P2011-132820)

(22) 出願日

平成23年6月15日(2011.6.15)

(65) 公開番号

特開2012-23351 (P2012-23351A)

(43) 公開日

平成24年2月2日(2012.2.2)

審査請求日

平成26年5月9日(2014.5.9)

(31) 優先権主張番号

特願2010-138889 (P2010-138889)

(32) 優先日

平成22年6月18日(2010.6.18)

(33) 優先権主張国

日本国(JP)

(73) 特許権者 000153878

株式会社半導体エネルギー研究所

神奈川県厚木市長谷398番地

(72) 発明者 浅見 良信

神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社  
半導体エネルギー研究所内

審査官 森江 健蔵

(56) 参考文献 特開平11-274532 (JP, A)

特開2000-196114 (JP, A  
)

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の光電変換層を含む第1のセルと、

前記第1のセルの一方の面と接し、且つ第2の光電変換層を含む第2のセルと、

前記第1のセルの他方の面側に設けられた、第1の電極及び第2の電極と、

前記第2のセルの、前記第1のセルと接する面と反対側の面に設けられた第3の電極と、を有し、

前記第2の光電変換層は、前記第1の光電変換層に含まれる第1の材料よりもバンドギャップが大きい第2の材料を含み、

前記第1のセル及び前記第2のセルが接する接触部は、p n接合が形成されており、

前記第1のセルは、第1のn型半導体層及び第1のp型半導体層を含む第2のn型半導体層と、第2のp型半導体層と、を有し、

前記第1のn型半導体層及び前記第1のp型半導体層は、前記第2のn型半導体層の一方の面側に設けられており、

前記第1のn型半導体層は、前記第1の電極と接する領域を有し、

前記第1のp型半導体層は、前記第2の電極と接する領域を有し、

前記第2のn型半導体層の他方の面は、前記第2のp型半導体層の一方の面と接し、

前記第2のp型半導体層の他方の面は、前記第2のセルと接し、

前記第1のn型半導体層と前記第1のp型半導体層とは、互いに分離されて設けられ、

前記第1の電極と前記第2の電極とは、互いに電気的に分離されており、

10

20

前記第2のセルは、前記第3の電極と電気的に接続されていることを特徴とする光電変換装置。

【請求項2】

第1の光電変換層を含む第1のセルと、

第2の光電変換層を含む第2のセルと、

前記第1のセル及び前記第2のセルの間に設けられた、開口を有する絶縁層と、

前記第1のセルを挟んで前記開口を有する絶縁層と対向する前記第1のセルの一方の面側に設けられた、第1の電極及び第2の電極と、

前記第2のセルを挟んで前記開口を有する絶縁層と対向する前記第2のセルの一方の面側に設けられた、第3の電極と、を有し、

前記第2の光電変換層は、前記第1の光電変換層に含まれる第1の材料よりもバンドギャップが大きい第2の材料を含み、

前記第1のセルは、前記開口を介して前記第2のセルと接する領域を有し、

前記第1のセル及び前記第2のセルが接する接触部は、p n接合が形成されており、

前記第1のセルは、第1のn型半導体層及び第1のp型半導体層を含む第2のn型半導体層と、第2のp型半導体層と、を有し、

前記第1のn型半導体層及び前記第1のp型半導体層は、前記第2のn型半導体層の一方の面側に設けられており、

前記第1のn型半導体層は、前記第1の電極と接する領域を有し、

前記第1のp型半導体層は、前記第2の電極と接する領域を有し、

前記第2のn型半導体層の他方の面は、前記第2のp型半導体層の一方の面と接し、

前記第2のp型半導体層の他方の面は、前記第2のセルと接し、

前記第1のn型半導体層と前記第1のp型半導体層とは、互いに分離されて設けられ、

前記第1の電極と前記第2の電極とは、互いに電気的に分離されており、

前記第2のセルは、前記第3の電極と電気的に接続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2のp型半導体層は、第1の領域と、前記第1の領域の不純物濃度よりも高い不純物濃度を有する第2の領域と、を有することを特徴とする光電変換装置。

【請求項4】

請求項3において、

前記第2の領域は、前記第2のセルと接するように設けられていることを特徴とする光電変換装置。

【請求項5】

請求項1乃至4のいずれか一において、

前記第1のn型半導体層の不純物濃度は、前記第2のn型半導体層の不純物濃度よりも高いことを特徴とする光電変換装置。

【請求項6】

請求項1乃至5のいずれか一において、

前記第1の材料は、単結晶シリコン又は多結晶シリコンであり、

前記第2の材料は、アモルファスシリコンであることを特徴とする光電変換装置。

【請求項7】

請求項1乃至6のいずれか一において、

前記第2のセル及び前記第3の電極の間に設けられた透明導電膜を有す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】

技術分野は、光電変換装置及びその作製方法に関する。

10

20

30

40

50

**【背景技術】****【0002】**

地球温暖化が深刻さを増し、温室効果ガスを発生しないクリーンエネルギーが注目されている。太陽電池などの光電変換装置はクリーンエネルギーの代表格となっており、世界中で盛んに開発され、実用化が進んでいる。

**【0003】**

しかし、現状の太陽電池は、性能の面では十分満足するものに至っていない。太陽電池の性能向上を図るため、複数のセルを積層させたタンデム型太陽電池は広く知られている。また、発電効率の向上を図るため、特許文献1に記載のようなタンデム型太陽電池も提案されている。

10

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0004】****【特許文献1】特開平11-274532号公報****【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

本発明の一態様は、光電変換効率が向上した光電変換装置を提供することを課題の一とする。

**【0006】**

20

または、本発明の一態様は、出力する電圧が高い光電変換装置を提供することを課題の一とする。

**【0007】**

または、本発明の一態様は、出力する電流が大きい光電変換装置を提供することを課題の一とする。

**【0008】**

または、本発明の一態様は、出力特性（電流・電圧特性）の向上した光電変換装置を提供することを課題の一とする。

**【課題を解決するための手段】****【0009】**

30

本発明の一態様は、光電変換層を含む第1のセルと、第1のセル上に積層され、第1のセルよりも広いバンドギャップを有する材料で形成された光電変換層を含む第2のセルと、第1のセルの第2のセルとは反対側の面に設けられた第1の電極及び第2の電極と、第2のセルの第1のセルとは反対側の面に設けられた第3の電極と、を有する光電変換装置である。第1のセル及び第2のセルは、それぞれセル内にp-n接合又はp-i-n接合を有し、第1のセルと第2のセルとは接触し、接触部はp-n接合を形成しており、第1のセルは第1の電極及び第2の電極と電気的に接続してバックコンタクト構造を形成し、第2のセルは第3の電極と電気的に接続している。

**【0010】**

または、本発明の他の態様は、光電変換層を含む第1のセルと、第1のセル上に積層され、第1のセルよりも広いバンドギャップを有する材料で形成された光電変換層を含む第2のセルと、第1のセルと第2のセルとの間に設けられ、開口を有する絶縁層と、第1のセルの第2のセルとは反対側の面に設けられた第1の電極及び第2の電極と、第2のセルの第1のセルとは反対側の面に設けられた第3の電極と、を有する光電変換装置である。第1のセル及び第2のセルは、それぞれセル内にp-n接合又はp-i-n接合を有し、第1のセルと第2のセルとは絶縁層が有する開口を介して接触し、接触部はp-n接合を形成しており、第1のセルは第1の電極及び第2の電極と電気的に接続してバックコンタクト構造を形成し、第2のセルは第3の電極と電気的に接続している。

40

**【0011】**

上記構成において、第1のセルが有する光電変換層は単結晶シリコンまたは多結晶シリコ

50

ンで形成し、第2のセルが有する光電変換層はアモルファスシリコンで形成することができる。

【0012】

上記構成において、第1の電極及び第3の電極間と、第1の電極及び第2の電極間と、から、それぞれ、電圧を取り出すことができる。

【0013】

上記構成において第1の電極及び第3の電極間と、第1の電極及び第2の電極間と、から、それぞれ、電流を取り出すことができる。

【0014】

なお、本明細書における「光電変換層」とは、光電効果（内部光電効果）を発現する半導体層（半導体領域）を含む他、内部電界や半導体接合を形成するために接合された不純物半導体層（不純物半導体領域）を含めたものをいう。すなわち、本明細書における光電変換層は、p i n接合などを代表例とする接合が形成された半導体層を示す。10

【0015】

また、本明細書における「p i n接合」は、光入射側からp型半導体層、i型半導体層、n型半導体層の積層順で配置されるものと、光入射側からn型半導体層、i型半導体層、p型半導体層の積層順で配置されるものを含むものとする。

【0016】

また、本明細書において、「第1」、「第2」、「第3」などの数詞の付く用語は、要素を区別するために便宜的に付与しているものである。したがって、数的に限定するものではなく、配置および段階の順序を限定するものでもない。20

【発明の効果】

【0017】

本発明の一態様によれば、光電変換効率の向上した光電変換装置を提供することができる。または、本発明の一態様によれば、出力する電圧が高い光電変換装置を提供することができる。または、本発明の一態様によれば、出力する電流が大きい光電変換装置を提供することができる。または、本発明の一態様によれば、出力特性（電流 - 電圧特性）の向上した光電変換装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】光電変換装置の一例を示す断面模式図。

【図2】光電変換装置の一例を示す平面模式図。

【図3】光電変換装置の従来例を示す図。

【図4】光電変換装置の特性の一例を示す図。

【図5】光電変換装置のエネルギー・バンド構造を説明する図。

【図6】光電変換装置のエネルギー・バンド構造を説明する図。

【図7】光電変換装置のエネルギー・バンド構造を説明する図。

【図8】従来例の光電変換装置のエネルギー・バンド構造を説明する図。

【図9】従来例の光電変換装置のエネルギー・バンド構造を説明する図。

【図10】従来例の光電変換装置のエネルギー・バンド構造を説明する図。

【図11】光電変換装置の他の例を示す断面模式図。

【図12】電子機器の例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下に、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、以下の実施の形態は多くの異なる態様で実施することが可能であり、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うることは、当業者であれば容易に理解される。したがって、以下に示す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。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一部分又は同様な機能を有する部分には同一符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。40

## 【0020】

## (実施の形態1)

本形態では、本発明の一態様である光電変換装置の構成について説明する。

## 【0021】

図1は、本形態に係る光電変換装置の断面模式図の一例を示している。また、図2(A)は、本形態に係る光電変換装置の平面模式図の一例を示している。図1は、図2(A)中的一点鎖線x-yの断面に対応する。

## 【0022】

光電変換装置100は、第1のセル120と、第1のセル120上に積層された第2のセル140と、第1のセル120と電気的に接続される第1の電極101a及び第2の電極101bと、第2のセル140と電気的に接続される第3の電極107と、を有している。第1の電極101a及び第2の電極101bは、第1のセル120の第2のセル140とは反対側の面で接続されるように設けられている。第3の電極107は、第2のセル140の第1のセル120とは反対側の面で接続されるように設けられている。第1の電極101a及び第2の電極101bは裏面電極として機能し、第3の電極107はグリッド電極として機能する。

10

## 【0023】

第1のセル120は、一方の面が第2のセル140と接し、他方の面には第1の電極101a及び第2の電極101bが設けられている。なお、第1の電極101a及び第2の電極101bは、互いに電気的に分離されている。第1の電極101a及び第2の電極101bは、それぞれ、第1のセル120と電気的に接続されている。

20

## 【0024】

第2のセル140は、一方の面が第1のセル120と接し、他方の面には第3の電極107が設けられている。ここでは、第2のセル140の他方の面には透明導電膜109が設けられている。第3の電極107は、透明導電膜109を介して、第2のセル140の他方の面に設けられている。第3の電極107は、第2のセル140と電気的に接続されている。

## 【0025】

第1のセル120及び第2のセル140は、それぞれ、セル内にp-n接合又はp-i-n接合を有する。また、第1のセル120と第2のセル140とは接触し、接触部はp-n接合を形成している。

30

## 【0026】

また、第1のセル120と第2のセル140は、両者の光電変換層を構成する材料のバンドギャップを比較したときに、第1のセル120を狭いバンドギャップ材料(ナローギャップ材料ともいう)、第2のセル140を広いバンドギャップ材料(ワイドギャップ材料ともいう)で形成する。受光側に配置する第2のセル140を、第1のセル120よりも広いバンドギャップを有する材料で形成することで、効率良く光電変換を行うことができる。例えば、第1のセル120を単結晶シリコン(バンドギャップは約1.12eV)又は多結晶シリコンで形成し、第2のセル140をアモルファスシリコン(バンドギャップは1.6eV乃至1.8eV程度)で形成する。

40

## 【0027】

なお、短波長域(可視光域を含む)の光は、長波長域の光よりも高いエネルギーを有しているため吸収されやすい。そのため、光の進入深さを比較すると、短波長域の光は進入深さが浅く、長波長域の光は進入深さが深い。また、エネルギーを比較すると、短波長域の光は高いエネルギーを有し、長波長域の光は低いエネルギーを有するため、短波長域の光は広いバンドギャップを持つ第2のセル140で吸収させ、長波長域の光は狭いバンドギャップを持つ第1のセル120で吸収させることが好ましい。これらのことから、受光側にワイドギャップ材料で形成される第2のセル140を設け、ナローギャップ材料で形成される第1のセル120を裏面側に設けてタンデム接合にすることが好ましい。このようにすることで、光電変換装置の光電変換層が光吸収したエネルギーであって、光電変換装

50

置の光電変換層のエネルギー・バンドギャップ以上のエネルギーを熱エネルギーとして損失することを防ぎ、効率的に電力を取り出すことが可能となる。

【0028】

第1のセル120は、部分的に設けられた第1の不純物半導体領域121n+及び第2の不純物半導体領域123p+を有する第3の不純物半導体層125nと、第4の不純物半導体層127pと、で構成される。第1のセル120において、部分的に設けられた第1の不純物半導体領域121n+及び第2の不純物半導体領域123p+を有する第3の不純物半導体層125nと、第4の不純物半導体層127pと、で光電変換層が形成される。

【0029】

第1の不純物半導体領域121n+と第2の不純物半導体領域123p+は、互いに分離されている。例えば、図2(C)に示すように、第1の不純物半導体領域121n+と第2の不純物半導体領域123p+を互いに分離して設ける。第4の不純物半導体層127pは、第3の不純物半導体層125n上に積層されている。

【0030】

第3の不純物半導体層125nの一方の面は第4の不純物半導体層127pと接し、他方の面は第1の不純物半導体領域121n+と第2の不純物半導体領域123p+が設けられている。

【0031】

第1の不純物半導体領域121n+と第2の不純物半導体領域123p+は、一方がn型半導体領域であり、他方がp型半導体領域である。n型半導体領域(又はn型半導体層)は、n型を付与する不純物元素(例えば、リン等の周期表第15族元素)を含む半導体領域(又は半導体層)である。第1の不純物半導体領域121n+、第2の不純物半導体領域123p+は、被不純物添加半導体層として単結晶シリコン、多結晶シリコンを用いることができる。また、第1の不純物半導体層121n+、第2の不純物半導体領域123p+は、被不純物半導体層として、単結晶シリコン、多結晶シリコン以外に、アモルファスシリコン、微結晶シリコンを用いてもよい。また、アモルファスシリコン、微結晶シリコン中に炭素や窒素を添加してもよい。p型半導体領域(又はp型半導体層)は、p型を付与する不純物元素(例えばボロン等の周期表第13族元素)を含む半導体領域(又は半導体層)である。本形態では、第1の不純物半導体領域121n+は結晶シリコンで構成されたn型半導体領域とし、第2の不純物半導体領域123p+は結晶シリコンで構成されたp型半導体領域とする例を説明する。

【0032】

第3の不純物半導体層125nと第4の不純物半導体層127pは、一方がn型半導体層であり、他方がp型半導体層である。上述のとおり、n型半導体層は例えばリン等を含む半導体層であり、p型半導体層は例えばボロン等を含む半導体層である。また、第3の不純物半導体層125nと第4の不純物半導体層127pは、被不純物添加半導体層として単結晶シリコン、多結晶シリコンを用いることができる。また、透過率を上げるために、被不純物添加半導体層として、単結晶シリコン、多結晶シリコン以外に、アモルファスシリコン、微結晶シリコンを用いてもよい。また、アモルファスシリコン、微結晶シリコン中に炭素や窒素を添加してもよい。本形態では、第3の不純物半導体層125nはn型半導体層の結晶シリコンとし、第4の不純物半導体層127pはp型半導体層の結晶シリコンとする例を説明する。

【0033】

第1の不純物半導体領域121n+は、第1の電極101aと電気的に接続する。第2の不純物半導体領域123p+は、第2の電極101bと電気的に接続する。例えば、図2(B)に示すような開口が設けられた絶縁層105を第1の不純物半導体領域121n+と第2の不純物半導体領域123p+上に設け、絶縁層105に設けられた開口において第1の不純物半導体領域121n+と第1の電極101aとを接続する。同様に、第2の不純物半導体領域123p+と第2の電極101bとを接続する。絶縁層105を設ける

10

20

30

40

50

ことで、第1の不純物半導体領域121n+及び第1の電極101aの電気的接続と、第2の不純物半導体領域123p+及び第2の電極101bの電気的接続とを、容易に分離させることができる。

【0034】

例えば、第1の電極101aと第2の電極101bをアルミニウムで、絶縁層105を酸化シリコンで形成する。第1の電極101aと第2の電極101bは、電気的に接触しない範囲内で可能な限り裏面全体を覆うように配置する。また、絶縁層105は、膜厚10nm以上160nm以下で形成し、より好ましくは膜厚60nm以上140nm以下で形成する。このようにすることで、第1の不純物半導体領域121n+と第2の不純物半導体領域123p+との電気的な分離の他に、裏面側に設けられた第1の電極101a、第2の電極101bの光の反射率を上げることができ、光電変換層の光吸収量を増やし、光電流を増やすことができる。10

【0035】

第1の電極101a及び第2の電極101bは、光電変換装置100の受光面と反対側に位置するように配置する。図1及び図2(A)に示すような第1の電極101a及び第2の電極101bの構成は、いわゆるバックコンタクト構造又は裏面電極型と言われる。

【0036】

第2のセル140は、第5の不純物半導体層141nと、第6の半導体層143iと、第7の不純物半導体層145pと、で構成される。第2のセル140において、第5の不純物半導体層141nと、第6の半導体層143iと、第7の不純物半導体層145pと、で光電変換層が形成される。第5の不純物半導体層141n上に第6の半導体層143iが積層され、第6の半導体層143i上に第7の不純物半導体層145pが積層されている。20

【0037】

第5の不純物半導体層141nは、一方の面が第1のセル120の第4の不純物半導体層127pと接し、他方の面は第6の半導体層143iと接する。ここで、第5の不純物半導体層141nは、第4の不純物半導体層127pとpn接合を形成する。すなわち、第2のセル140と第1のセル120との接触面はpn接合を形成する。

【0038】

本形態では、第4の不純物半導体層127pはp型半導体層とする例を示している。したがって、第5の不純物半導体層141nはn型半導体層とする。もちろん、第4の不純物半導体層127pがn型半導体層であれば、第5の不純物半導体層141nはp型半導体層とすればよい。30

【0039】

第6の半導体層143iは、真性又は実質的に真性な半導体層とする。具体的には、第6の半導体層143i中に含まれるn型を付与する不純物元素若しくはp型を付与する不純物元素が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下の濃度であり、暗伝導度に対して光伝導度が100倍以上である半導体を指す。なお、第6の半導体層143iを非晶質半導体層とした場合、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きに弱いn型の電気伝導性を示す場合がある。そのため、非晶質半導体層の成膜中、或いは成膜後にp型を付与する不純物元素を添加することもある。このような場合、非晶質半導体層に含まれるp型不純物元素の濃度は概略 $1 \times 10^{14} / \text{cm}^3 \sim 6 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ である。40

【0040】

第7の不純物半導体層145pは、一方の面が第6の半導体層143iと接し、他方の面は第3の電極107が設けられる。なお、本形態では、他方の面に透明導電膜109が設けられ、透明導電膜109を介して第3の電極107が設けられる例を示している。

【0041】

第7の不純物半導体層145pは、第5の不純物半導体層141nと逆の導電型を示す不純物半導体層とする。本形態では第5の不純物半導体層141nはn型半導体層とする例を示しているため、第7の不純物半導体層145pはp型半導体層とする。50

## 【0042】

第3の電極107は、光電変換装置100の受光側に位置するように配置する。なお、受光面側は、極力広い面積で光（太陽光）を受光できることが望ましい。そのため、受光面側には部分的に第3の電極107を設け、第3の電極107と第2のセル140（第7の不純物半導体層145p）との間に透明導電膜109を設ける構成とする。透明導電膜109を設けることで、受光を妨げることなく、効率良く電力を取り出すことができる。また、第3の電極107を設けることで直列抵抗を低減することができる。

## 【0043】

また、受光面側の反射率を下げる目的のために、第3の電極107が設けられていない透明導電膜109の領域上に、空気と透明導電膜109の屈折率の間の屈折率を持つ材料を用いて反射防止膜を設けてもよい。反射防止膜は、単層膜としてもよく、積層膜としてもよい。また、透明導電膜109の表面形状を凹凸にしたテクスチャー構造を設けてもよい。テクスチャー構造を設けることで、受光面側の反射率低減が可能となる。それにより、受光表面における光の反射損失を低減し、光電変換層での光吸収を増やすことで光電流の増加、光電変換効率の向上を図ることができる。

10

## 【0044】

図1、図2に示す光電変換装置100は、第1の電極101a及び第3の電極107間に加え、第1の電極101a及び第2の電極101b間で電圧及び電流を取り出すことができる。第1の電極101a及び第3の電極107間で取り出した電圧及び電流と、第1の電極101a及び第2の電極101b間で取り出した電圧及び電流は、それぞれ使用することができる。したがって、光電変換装置100全体の出力を大きくすることができ、出力特性（電流-電圧特性）が向上し、光電変換効率の高い光電変換装置を提供することができる。

20

## 【0045】

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。

## 【0046】

## (実施の形態2)

本形態では、上記実施の形態1で説明した光電変換装置100の特性について説明する。また、適宜、上述の特許文献1に示された3端子構造の太陽電池と比較して説明する。

## 【0047】

30

まず、上述の特許文献1の図1に対応する太陽電池10の断面図を図3に示す。太陽電池10は、バンドギャップの広い上部セル12と、バンドギャップの狭い下部セル14と、の積層構造である。上部セル12は、n+層（46n）、p層（44p）、p+層（42p+）が積層されている。上部セル12のn+層（46n）に、絶縁膜24を介して、上部電極18が設けられている。

## 【0048】

下部セル14は、p層（36p）裏面にn+層（32n+）、p+層（34p+）が交互に設けられている。n+層（32n+）に負極26が、p+層（34p+）に正極28がそれぞれ独立して接続される。

## 【0049】

40

図3に示す太陽電池10は、上部セル12のn+層（46n）に上部電極18、下部セル14のn+層（32n+）に負極26、p+層（34p+）に正極28が接続された3端子構造となっている。また、下部セル14のp層（36p）と上部セル12のp+層（42p+）が接している。

## 【0050】

上記実施の形態1の図1に示す光電変換装置100は、第1のセル120において順に積層されたn層及びp層と、第2のセル140において順に積層されたn層、i層及びp層と、で構成される。これに対し、図3に示す太陽電池10は、第1のセルに相当する下部セル14のp層と、第2のセルに相当する上部セル12において順に積層されたp+層、p層及びn層と、で構成されている。

50

## 【0051】

図1に示す光電変換装置100は、第1のセル120と第2のセル140、それぞれのセルが縦方向のダイオード接合を形成している。これに対し、図3の太陽電池10は、上部セル12はn層及びp層を形成しているが、下部セル14はp層のみである点で、図1に示す光電変換装置と構造的に異なっている。また、図1に示す光電変換装置100は第1のセル120と第2のセル140との接合部でp-n接合を形成しているのに対し、図3に示す太陽電池10は上部セル12と下部セル14との接合部はp+層とp層とで接する点で構造的に異なっている。

## 【0052】

次に、図1に示す光電変換装置100で想定されるI-V特性と、図3に示す太陽電池10で想定されるI-V特性と、を図4に示す。図4中の特性(I)は図1中の(I)部分(第3の電極107及び第1の電極101a間)における特性に対応し、特性(III)は図1中の(III)部分(第1の電極101a及び第2の電極101b間)における特性に対応している。図4中の特性(i)は図3中の(i)部分(正極28及び上部電極18間)における特性に対応し、特性(iii)は図3中の(iii)部分(正極28及び負極26間)における特性に対応している。

## 【0053】

図1に示す光電変換装置100は、ダイオード接合を有する第1のセル120と、ダイオード接合を有する第2のセル140と、が積層されたダイオード接合同士のタンデム接合となっている。これに対し、図3に示す太陽電池10は、下部セル14が片極性(p層)しか有しておらず、上部セル12と下部セル14全体で1つのダイオード接合を有するタンデム接合となっている。そのため、図3の太陽電池10は、ダイオード接合同士が接合したタンデム接合の場合よりも、取り出せる電圧が低い。具体的には、図4の(I)と(i)からわかるように、出力電圧に差が現れる。光電変換装置100は、太陽電池10と比較して、(I)部分で高い電圧を得ることが可能である。

## 【0054】

図5に、図1の光電変換装置100における(I)部分に対応するエネルギー・バンド構造を示す。図5(A)は平衡状態でのエネルギー・バンド構造を示し、図5(B)は光照射時のエネルギー・バンド構造を示している。ここでは、第2のセル140側から光が入射される例を図示している。また、図1の第1のセル120を単結晶シリコン又は多結晶シリコンで形成し、第2のセル140をアモルファスシリコンで形成する例を説明する。

## 【0055】

図5(B)において、光電変換装置100の(I)部分で取り出せる電圧Vは、第1のセル120でシングル接合の光電変換装置を作製し得られる電圧と、第2のセル140でシングル接合の光電変換装置を作製し得られる電圧との和に相当する(図5(B)のV(101a~107)参照)。

## 【0056】

比較として、図3の太陽電池10における(i)部分に対応するエネルギー・バンド構造を図8に示す。図8(A)は平衡状態でのエネルギー・バンド構造を示し、図8(B)は光照射時のエネルギー・バンド構造を示す。

## 【0057】

図8において、太陽電池10の(i)部分で得られる電圧Vは、上部セル12でシングル接合の光電変換装置を作製し得られる電圧に相当する(図8(B)のV(28~18)参照)。

## 【0058】

上述の図5に示すとおり、図1に示す光電変換装置100の(I)部分は、第1のセル120をシングル接合の光電変換装置としたときに得られる電圧と、第2のセル140をシングル接合の光電変換装置としたときに得られる電圧との和に相当する電圧を得ることができる。これに対し、図8に示すとおり、図3に示す太陽電池10の(i)部分で得られる電圧は、第2のセルに相当する上部セル12をシングル接合の光電変換装置としたとき

10

20

30

40

50

に得られる電圧のみとほぼ同じである。

【0059】

以上により、図1に示す光電変換装置100は、図3に示す太陽電池10よりも高い電圧を得ることが可能である。また、図1に示す光電変換装置100は高い電圧を得ることができるために、光電変換効率の向上に寄与することができる。

【0060】

また、図1の光電変換装置100における(II)部分(第3の電極107及び第2の電極101b間)、(III)部分にそれぞれ対応するエネルギー・バンド構造を図6、図7に示す。図6(A)及び図7(A)は平衡状態でのエネルギー・バンド構造を示し、図6(B)及び図7(B)は光照射時のエネルギー・バンド構造を示す。さらに、比較として、図3の太陽電池10における(iii)部分(負極26及び上部電極18間)、(iii)部分にそれぞれ対応するエネルギー・バンド構造を図9、10に示す。図9(A)及び図10(A)は平衡状態でのエネルギー・バンド構造を示し、図9(B)及び図10(B)は光照射時のエネルギー・バンド構造を示す。

【0061】

光電変換装置100の(III)部分で取り出せる電圧Vは、第1のセル120でシングル接合の光電変換装置を作製し得られる電圧に相当する(図7(B)のV(101a~101b)参照)。

【0062】

太陽電池10の(iii)部分で得られる電圧Vは、下部セル14でシングル接合の光電変換装置を作製し得られる電圧に相当する(図10(B)のV(28~26)参照)。

【0063】

図7及び図10とから、裏面電極間(図1に示す光電変換装置100であれば第1の電極101a及び第2の電極101b間、図3に示す太陽電池10であれば正極28及び負極26間)で取り出せる電圧は、両者ともに裏面側に配置されたセルでシングル接合の光電変換装置を作製し得られる電圧と同程度である。しかし、図1に示す光電変換装置100は、上述のとおり、(I)部分において高い電圧を得ることができる。したがって、図1に示す光電変換装置100全体としては、図3に示す太陽電池10よりも高い電圧を得ることができ、光電変換装置100全体の出力を大きくすることができます。

【0064】

次に、図1の光電変換装置100における光照射時の動作メカニズムについて説明する。

【0065】

光電変換装置100としては、受光側から、ワイドギャップ材料で形成されたダイオード接合を有する第2のセル140と、ナローギャップ材料で形成されたダイオード接合を有する第1のセル120と、を配置する。第2のセル140と第1のセル120とは直列に接続される。光を効率良く吸収させるため、光電変換装置の受光側のセルはワイドギャップ材料で形成し、裏面側のセルはナローギャップ材料で形成することが好ましい。

【0066】

ここで、短波長域(可視光域を含む)の光は、長波長域の光よりも吸収されやすい。そのため、光の進入深さを比較すると、短波長域の光は進入深さが浅く、長波長域の光は進入深さが深い。また、エネルギーを比較すると、短波長域の光は高いエネルギーを有し、長波長域の光は低いエネルギーを有するため、短波長域の光は広いバンドギャップを持つ第2のセル140で吸収させ、長波長域の光は狭いバンドギャップを持つ第1のセル120で吸収させることができが好ましい。これらのことから、受光側にワイドギャップ材料で形成される第2のセル140を設け、ナローギャップ材料で形成される第1のセル120を裏面側に設けてタンデム接合にすることが好ましい。このようにすることで、光電変換装置の光電変換層が光吸収したエネルギーであって、光電変換装置を構成する光電変換層のエネルギー・バンドギャップ以上のエネルギーを熱エネルギーとして損失することを防ぎ、効率的に電力を取り出すことが可能となる。

【0067】

10

20

30

40

50

第3の電極107及び第1の電極101a間で取り出せる電流I(101a~107)は、第1のセル120で得られる電流又は第2のセル140で得られる電流のいずれか低い電流と同程度になる。これは、第1のセル120と第2のセル140の接合部分でpn接合を形成し、第1のセル120と第2のセル140の接合部分でそれぞれのキャリア同士が再結合され、直列に接続された第1のセル120と第2のセル140間を流れる電流が一定になるためである。

#### 【0068】

受光側から、ワイドギャップ材料で形成された第2のセル140と、ナローギャップ材料で形成された第1のセル120と、を配置する場合、第2のセル140は、第1のセル120と比べて吸収できる光の波長領域が狭くなり、得られる電流が少なくなる。そのため、第3の電極107及び第1の電極101a間で取り出せる電流Iは、第2のセル140で得られる電流とほぼ同程度となる。

#### 【0069】

一方で、ナローギャップ材料で形成された第1のセル120は、第2のセル140と比べて吸収できる光の波長領域が広くなり、得られる電流が大きいことになる。第1のセル120において、第2のセル140と同等である電流は第1のセル120と第2のセル140の接合部分で再結合して流れ、第3の電極107及び第1の電極101a間((I)の経路)で取り出される。第1のセル120において第2のセル140との接合部分で再結合せず余った分の電流は、第1の電極101a及び第2の電極101b間((III)の経路)で取り出すことが可能である。このような構成、特に3端子構造とし(III)の経路をつくり出すことで、余すことなく電流を取り出すことが可能である。光電変換装置100全体で見て、取り出せる電流量を大きくできるため、光電変換効率の向上に寄与することができる。

#### 【0070】

図1の光電変換装置100における(I)、(II)、(III)部分にそれぞれ対応するエネルギーバンド構造を示す図5、図6、図7を用いて、光電変換装置100の動作メカニズムについて説明する。

#### 【0071】

図5(B)に示す光電変換装置100の光照射時において、第2のセル140で光吸収により生成される正孔は、第3の電極107から電流として取り出しが可能である。第2のセル140で光吸収により生成される電子は、第1のセル120で生成される正孔の一部と、セル同士の接合部分で再結合して流れ。第1のセル120で光吸収により生成される電子は、第1の電極101aから電流として取り出しが可能である。第1のセル120で光吸収により生成される正孔の一部であって、セル同士の接合部分で再結合しない分は、図1の(III)の経路を通して第2の電極101bから電流として取り出しが可能である。

#### 【0072】

図5(B)に示すエネルギーバンド構造から、第3の電極107及び第1の電極101a間で取り出しが可能な電流は、実質的に第2のセル140で光吸収して生成された電流に相当することがわかる。

#### 【0073】

図6(B)に示す光照射時において、第2のセル140で光吸収により生成される正孔は、第3の電極107から電流として取り出しが可能である。第2のセル140で光吸収により生成される電子は、第1のセル120で光吸収により生成される正孔の一部と、セル同士の接合部分で再結合して流れ。第1のセル120で光吸収により生成される電子は、(III)の経路を通して、第1の電極101aから電流として取り出しが可能である。第1のセル120で光吸収により生成される正孔の一部であって、セル同士の接合部分で再結合しない分は、(III)の経路を通して第2の電極101bから電流として取り出しが可能である。

#### 【0074】

10

20

30

40

50

図7(B)に示す光照射時において、第1のセル120で光吸収により生成される正孔は第2の電極101bから電流として取り出すことが可能であり、電子は第1の電極101aから電流として取り出すことが可能である。

【0075】

図5(B)、図6(B)及び図7(B)に示すエネルギー・バンド構造から、第1の電極101a及び第2の電極101b間で、第1のセル120において第2のセル140との接合部分でキャリア同士が再結合せず余った分の電流を取り出せることがわかる。

【0076】

したがって、図1の光電変換装置100のような構成とし、余すことなく電流を取り出すことで、光電変換装置100全体で取り出せる電流量を大きくでき、光電変換効率を向上させることができる。

10

【0077】

なお、比較として、図3に示す太陽電池10の動作メカニズムとの違いについて説明する。図3の太陽電池10における(i)、(ii)、(iii)部分にそれぞれ対応するエネルギー・バンド構造を図8、図9、図10に示す。

【0078】

太陽電池10の上部セル12は、光電変換装置100の第2のセル140に対応する。同様に、下部セル14は第1のセル120、上部電極18は第3の電極107、正極28は第1の電極101a、負極26は第2の電極101bに対応する。

【0079】

図8(B)に示す太陽電池10の光照射時において、上部セル12で光吸収により生成される正孔は、正極28から電流として取り出される。上部セル12で光吸収により生成される電子は、上部電極18から電流として取り出される。下部セル14で光吸収により生成される正孔は、正極28から電流として取り出される。下部セル14で光吸収により生成される電子は、(iii)の経路を通して負極26から電流として取り出される。

20

【0080】

図8(B)に示すエネルギー・バンド構造から、図3に示す太陽電池10の(i)部分では、下部セル14を片極性(p層)とし、下部セル14と上部セル12との接合部分でpn接合を形成しないことで、正孔が正極28及び上部電極18間で電流として取り出されることがわかる。下部セル14のp層と上部セル12のp+層(42p+)のフェルミレベル及び電位がそろい、下部セル14のp層と上部セル12のp+層(42p+)のエネルギー障壁も小さいため、正孔が下部セル14と上部セル12の接合部分で再結合せずに移動させている。

30

【0081】

図9(B)に示す光照射時において、上部セル12で光吸収により生成される正孔は、(i)の経路を通して正極28から電流として取り出される。上部セル12で光吸収により生成される電子は、上部電極18から電流として取り出される。下部セル14で光吸収により生成される正孔は、正極28から電流として取り出される。下部セル14で光吸収により生成される電子は、負極26から電流として取り出される。

【0082】

40

図10(B)に示す光照射時において、下部セル14で光吸収により生成される正孔は正極28から電流として取り出され、電子は負極26から電流として取り出される。

【0083】

図5～図7と、図8～図10とを比較することで、図1における光電変換装置100と図3における太陽電池10では、動作メカニズムが異なることがわかる。

【0084】

図1に示す光電変換装置100は、図5～図7に示すエネルギー・バンド構造とすることで、図4(I)及び(II)に示す特性を有することができる。光電変換装置100は、第3の電極107及び第1の電極101a間と、第1の電極101a及び第2の電極101b間と、のそれぞれから取り出した電流及び電圧を出力し、電力として使用することが

50

できる。図1に示す光電変換装置100は、セル同士の接合部分をp n接合のダイオード接合にして順方向と同じ向きで光励起されたキャリアを再結合して流すことで、接合部分での光起電力が発生せずフェルミレベルと電位がそろっている。そのため、第1のセル120と第2のセル140とで発生するそれぞれの光起電力を独立に維持することができる。したがって、第1のセル120と第2のセル140の接合部分のp n接合で再結合した電子及び正孔は、第3の電極107及び第1の電極101a間の電圧として取り出されることに寄与し、活用することが可能である。その結果、光電変換効率の向上を図ることができる。

【0085】

本実施の形態は、他の実施の形態に記載した構成と適宜組み合わせることができる。

10

【0086】

(実施の形態3)

本形態では、上記実施の形態で説明した図1の光電変換装置100と異なる構成について説明する。具体的には、第1のセル120の第2のセル140と対向する側の面に、濃度の異なる不純物半導体領域を設けたエミッタ構造の例を説明する。なお、図1と同じ構成については同じ符号を付し、詳細な説明は省略する。

【0087】

図11に示す光電変換装置200は、図1に示す光電変換装置100と同じく、第1のセル120と、第2のセル140と、が順に積層されたタンデム型光電変換装置とする。

20

【0088】

第1のセル120の第2のセル140と対向する面において、一様な不純物濃度である半導体層ではなく、不純物濃度の異なる半導体領域を含む不純物半導体層を設ける。例えば、図11に示すように、第4の不純物半導体層228pに、第4の高濃度不純物半導体領域226p+及び第4の低濃度不純物半導体領域227p-を設けたエミッタ構造とする。第4の高濃度不純物半導体領域226p+と第4の低濃度不純物半導体領域227p-は、例えば同じ不純物元素を異なる濃度で含む。ここでは、第4の高濃度不純物半導体領域226p+は、第4の低濃度不純物半導体領域227p-と比べて高濃度に不純物元素を含むものとする。本形態では、第4の高濃度不純物半導体領域226p+及び第4の低濃度不純物半導体領域227p-をp型半導体領域とする例を説明する。

【0089】

30

第1のセル120と第2のセル140との間には、絶縁層230が設けられている。絶縁層230には、開口が設けられている。

【0090】

第1のセル120と第2のセル140とは、絶縁層230に設けられた開口を介して接触し、接触部はp n接合を形成している。具体的には、第1のセル120が有する第4の高濃度不純物半導体領域226p+が露出するように、絶縁層230に開口を設ける。絶縁層230に設けられた開口を埋めるように第2のセル140が有する第5の不純物半導体層141nを設ける。このような構成にすることで、第4の高濃度不純物半導体領域226p+と第5の不純物半導体層141nとが接触する。接触部はp n接合となるように、第4の高濃度不純物半導体領域226p+と第5の不純物半導体層141nの一方をp型半導体で形成し、他方をn型半導体で形成する。

40

【0091】

なお、図11に示す光電変換装置200についても、基本的な動作メカニズムは図5～図7のエネルギー・バンド構造の説明に準じる。

【0092】

第4の不純物半導体層228pにおいて、第2のセル140の第5の不純物半導体層141nと接合する部分にのみ第4の高濃度不純物半導体領域226p+を設けて、その他の領域を第4の低濃度不純物半導体領域227p-とすることで、第4の不純物半導体層228p内で光励起して発生されるキャリアの再結合損失を低減することができる。また、第2のセル140と第1のセル120の間に位置する絶縁層230を設けることで、第5

50

の不純物半導体層 141n の反射率を高くすることができ、第 2 のセル 140 での光吸收增加による光電流の増加、光閉じ込めによる第 2 のセル 140 の薄膜化を図ることができる。

【 0093 】

エミッタ構造を組み込むことで、光電変換効率の向上を図ることができる。また、本形態に係る光電変換装置は、エミッタ構造を組み込んだタンデム型光電変換装置としても、高い電圧及び電流を取り出すことが可能となり、光電変換効率を向上させることができるもの。

【 0094 】

本実施の形態は、他の実施の形態に記載した構成と適宜組み合わせることができる。

10

【 0095 】

( 実施の形態 4 )

上記実施の形態に示す光電変換装置は、さまざまな電子機器に用いることができる。なお、上記実施の形態に示す光電変換装置は、複数個を接続して集積化させて用いることもできる。本実施の形態では、一例として、電子書籍の電源として用いる例を説明する。

【 0096 】

図 12 ( A ) は電子書籍 ( E - book ともいう ) の模式図を示している。電子書籍 9000 は、筐体 9630 、表示部 9631 、操作キー 9632 、光電変換装置 9633 、充放電制御回路 9634 を有する構成とすることができる。図 12 ( A ) に示した電子書籍 9000 は、様々な情報 ( 静止画、動画、テキスト画像など ) を表示する機能、カレンダー、日付または時刻などを表示部に表示する機能、表示部に表示した情報を操作または編集する機能、様々なソフトウェア ( プログラム ) によって処理を制御する機能、等を有することができる。なお、図 12 ( A ) では充放電制御回路 9634 の一例としてバッテリー 9635 、 D C D C コンバータ 9636 、 D C D C コンバータ 9637 を有する構成について示している。光電変換装置 9633 として、上記実施の形態で示した光電変換装置を用いることにより、効率良く発電することができる。

20

【 0097 】

なお、光電変換装置 9633 は、図示した領域に限らず、筐体 9630 の空きスペース ( 表面や裏面 ) に適宜設けることができる。バッテリー 9635 としては、リチウムイオン電池を用いると、小型化を図れる等の利点がある。

30

【 0098 】

また、図 12 ( A ) に示す充放電制御回路 9634 の構成及び動作について、図 12 ( B ) のブロック図を用いて説明する。図 12 ( B ) には、光電変換装置 9633 、充放電制御回路 9634 、表示部 9631 について示している。ここで、充放電制御回路 9634 は、バッテリー 9635 、 D C D C コンバータ 9636 、 D C D C コンバータ 9637 、スイッチ SW1 乃至 SW3 を含んでいる。

【 0099 】

外光により光電変換装置 9633 が発電する場合の動作の例について説明する。光電変換装置で発電した電力は、バッテリー 9635 を充電するための好適な電圧となるよう、 D C D C コンバータ 9636 で昇圧または降圧がなされる。そして、表示部 9631 で表示を行う際には、スイッチ SW1 をオンし、 D C D C コンバータ 9637 で表示部 9631 に必要な電圧に昇圧または降圧して、表示部 9631 に電力供給を行う。一方、表示部 9631 での表示を行わない際には、 SW1 をオフ、 SW2 をオンにしてバッテリー 9635 の充電を行う構成とすればよい。

40

【 0100 】

また、外光が乏しく、光電変換装置 9633 による発電がされない場合の動作の例について説明する。バッテリー 9635 に蓄電された電力は、スイッチ SW3 をオンにすることで D C D C コンバータ 9637 により表示部 9631 に必要な電圧に昇圧または降圧がなされ、表示部 9631 に供給される。

【 0101 】

50

なお、本実施の形態では、光電変換装置と表示部との間に D C D C コンバータを 2 つ設けた構成としているが、光電変換装置から表示部への電源供給、光電変換装置からバッテリーへの充電、またはバッテリーから表示部への電源供給が直接行える様な構成では、その間の D C D C コンバータを省いても良い。

【 0 1 0 2 】

なお、発電手段の一例として光電変換装置 9 6 3 3 のみを用いる例を示したが、光電変換装置 9 6 3 3 と構成の異なる光電変換装置との組み合わせによりバッテリー 9 6 3 5 を充電する構成であっても良い。また、光電変換装置 9 6 3 3 と他の発電手段との組み合わせであっても良い。

【 0 1 0 3 】

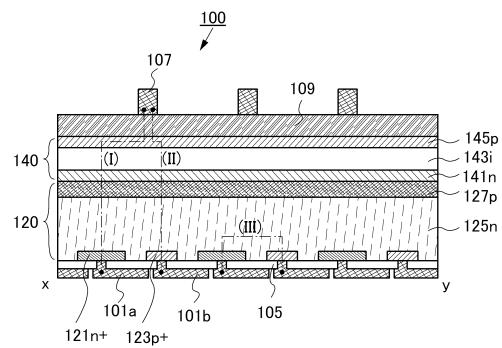
本実施の形態は、他の実施の形態に記載した構成と適宜組み合わせることができる。

【 符号の説明 】

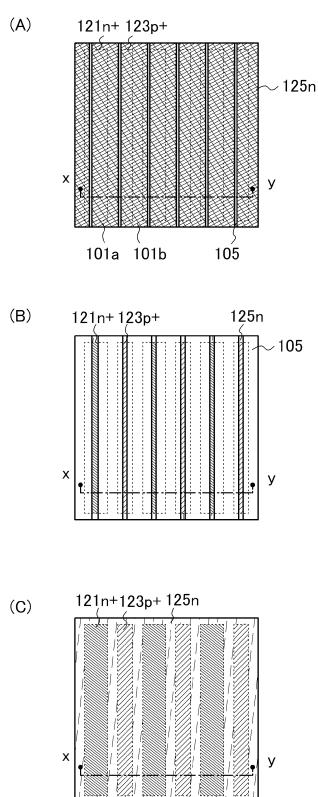
【 0 1 0 4 】

|         |                  |    |
|---------|------------------|----|
| 1 0     | 太陽電池             | 10 |
| 1 2     | 上部セル             |    |
| 1 4     | 下部セル             |    |
| 1 8     | 上部電極             |    |
| 2 4     | 絶縁膜              |    |
| 2 6     | 負極               |    |
| 2 8     | 正極               | 20 |
| 1 0 0   | 光電変換装置           |    |
| 1 0 5   | 絶縁層              |    |
| 1 0 7   | 第 3 の電極          |    |
| 1 0 9   | 透明導電膜            |    |
| 1 2 0   | 第 1 のセル          |    |
| 1 4 0   | 第 2 のセル          |    |
| 2 0 0   | 光電変換装置           |    |
| 2 3 0   | 絶縁層              |    |
| 1 0 1 a | 第 1 の電極          | 30 |
| 1 0 1 b | 第 2 の電極          |    |
| 1 2 1 n | 第 1 の不純物半導体領域    |    |
| 1 2 3 p | 第 2 の不純物半導体領域    |    |
| 1 2 5 n | 第 3 の不純物半導体層     |    |
| 1 2 7 p | 第 4 の不純物半導体層     |    |
| 1 4 1 n | 第 5 の不純物半導体層     |    |
| 1 4 3 i | 第 6 の半導体層        |    |
| 1 4 5 p | 第 7 の不純物半導体層     |    |
| 2 2 6 p | 第 4 の高濃度不純物半導体領域 |    |
| 2 2 7 p | 第 4 の低濃度不純物半導体領域 |    |
| 2 2 8 p | 第 4 の不純物半導体層     | 40 |
| 9 0 0 0 | 電子書籍             |    |
| 9 6 3 0 | 筐体               |    |
| 9 6 3 1 | 表示部              |    |
| 9 6 3 2 | 操作キー             |    |
| 9 6 3 3 | 光電変換装置           |    |
| 9 6 3 4 | 充放電制御回路          |    |
| 9 6 3 5 | バッテリー            |    |
| 9 6 3 6 | D C D C コンバータ    |    |
| 9 6 3 7 | D C D C コンバータ    |    |

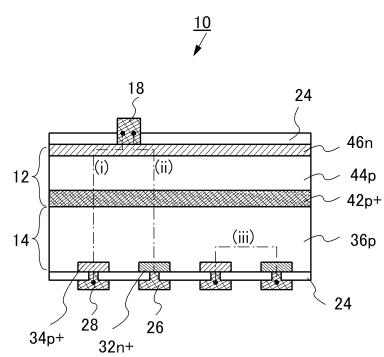
【図1】



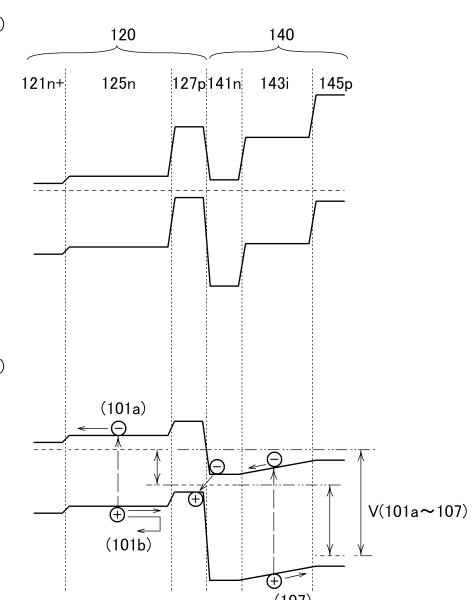
【図2】



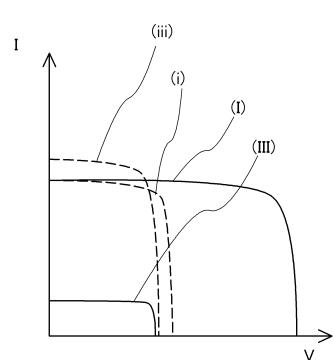
【図3】



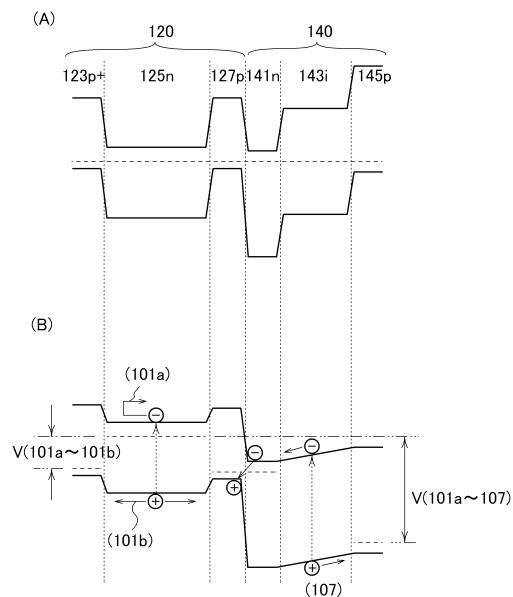
【図5】



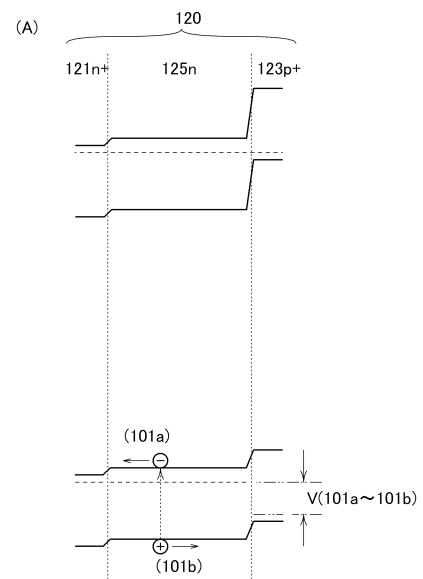
【図4】



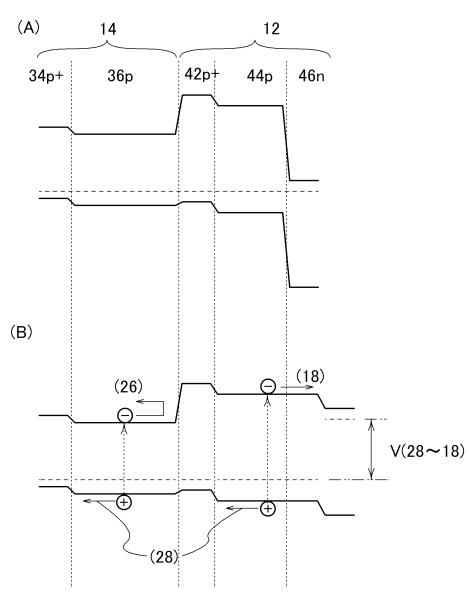
【図6】



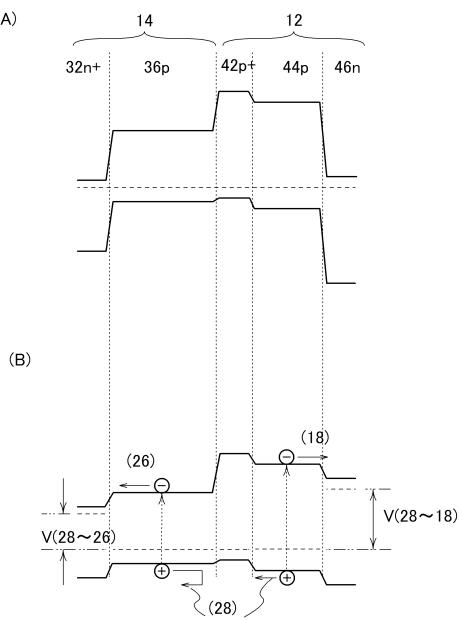
【図7】



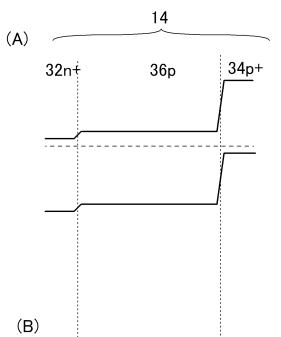
【図8】



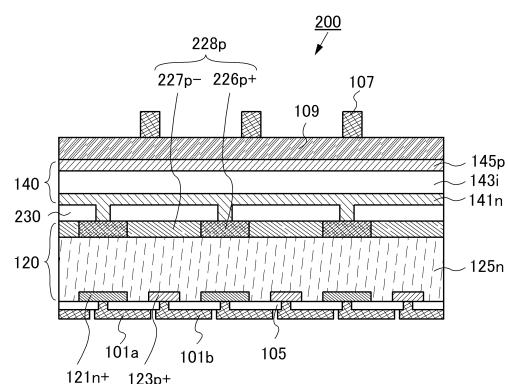
【図9】



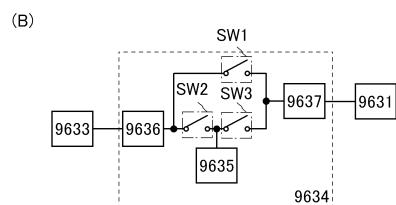
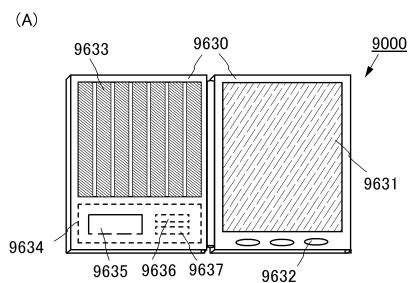
【図10】



【図11】



【図12】



---

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H 01 L 31 / 0224

H 01 L 31 / 0687

H 01 L 31 / 0725