

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5286046号  
(P5286046)

(45) 発行日 平成25年9月11日(2013.9.11)

(24) 登録日 平成25年6月7日(2013.6.7)

(51) Int.Cl.

H01L 31/04 (2006.01)

F 1

H01L 31/04

H

H01L 31/04

M

請求項の数 6 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2008-295951 (P2008-295951)  
 (22) 出願日 平成20年11月19日 (2008.11.19)  
 (65) 公開番号 特開2009-152569 (P2009-152569A)  
 (43) 公開日 平成21年7月9日 (2009.7.9)  
 審査請求日 平成23年10月12日 (2011.10.12)  
 (31) 優先権主張番号 特願2007-309770 (P2007-309770)  
 (32) 優先日 平成19年11月30日 (2007.11.30)  
 (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  
 (74) 代理人 100082669  
 弁理士 福田 賢三  
 (74) 代理人 100095337  
 弁理士 福田 伸一  
 (74) 代理人 100095061  
 弁理士 加藤 恒介  
 (72) 発明者 荒井 康行  
 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 岡田 吉美

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光電変換装置の製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

単結晶半導体基板の一面に電極を形成し、  
前記電極を通して、前記単結晶半導体基板に、一導電型を付与する不純物元素を添加し  
て第1不純物半導体層を形成し、  
前記電極を通して、前記単結晶半導体基板に、質量が水素分子よりも重い水素のクラスマ  
ターイオンを70%以上含むイオンビームを注入して損傷層を形成し、  
前記電極に接する絶縁層を形成し、

支持基板と、前記単結晶半導体基板の前記絶縁層とを接着し、  
熱処理を行って、前記損傷層を劈開させることにより、前記単結晶半導体基板から単結  
晶半導体層を分離し、前記支持基板上に前記単結晶半導体層を残存させたまま前記単結晶  
半導体基板を除去し、 10

不活性気体及び酸素を含む雰囲気中で、前記単結晶半導体層の劈開面にパルスレーザビームを照射して、前記単結晶半導体層の表面を凹凸化し、

前記単結晶半導体層の劈開面側に、前記一導電型とは逆の導電型を付与する不純物元素を添加して第2不純物半導体層を形成することを特徴とする光電変換装置の製造方法。

## 【請求項 2】

単結晶半導体基板の一面に電極を形成し、  
前記電極を通して、前記単結晶半導体基板に、質量が水素分子よりも重い水素のクラスマ  
ターイオンを70%以上含むイオンビームを注入して損傷層を形成し、

10

20

前記電極を通して、前記単結晶半導体基板に、一導電型を付与する不純物元素を添加して第1不純物半導体層を形成し、

前記電極に接する絶縁層を形成し、

支持基板と、前記単結晶半導体基板の前記絶縁層とを接着し、

熱処理を行って、前記損傷層を劈開させることにより、前記単結晶半導体基板から単結晶半導体層を分離し、前記支持基板上に前記単結晶半導体層を残存させたまま前記単結晶半導体基板を除去し、

不活性気体及び酸素を含む雰囲気中で、前記単結晶半導体層の劈開面にパルスレーザビームを照射して、前記単結晶半導体層の表面を凹凸化し、

前記単結晶半導体層の劈開面側に、前記一導電型とは逆の導電型を付与する不純物元素を添加して第2不純物半導体層を形成することを特徴とする光電変換装置の製造方法。 10

#### 【請求項3】

請求項1又は2において、

前記不活性気体及び酸素を含む雰囲気における酸素濃度は、0.1体積%乃至25体積%であることを特徴とする光電変換装置の製造方法。

#### 【請求項4】

請求項1乃至3のいずれか一項において、

前記パルスレーザビームの照射時に照射領域の前記単結晶半導体層は、250から600の温度に加熱されていることを特徴とする光電変換装置の製造方法。

#### 【請求項5】

請求項1乃至4のいずれか一項において、

前記クラスターイオンは、 $H_3^+$ であることを特徴とする光電変換装置の製造方法。

#### 【請求項6】

請求項1乃至5のいずれか一項において、

前記損傷層は、前記単結晶半導体基板の表面から10μm未満の深さに形成されることを特徴とする光電変換装置の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

単結晶又は多結晶半導体を用いた光電変換装置の製造方法に関する。 30

#### 【背景技術】

#### 【0002】

太陽電池の全世界生産量は、2005年において1,759MWが報告されており、対前年度比で147%の増加である。この太陽電池の生産量の大部分は、単結晶シリコン太陽電池又は多結晶シリコン太陽電池で占められている。

#### 【0003】

シリコン半導体は、太陽電池産業だけでなく、メモリやマイクロプロセッサーなどの半導体産業でも広く使われる資源である。そのため、太陽電池の生産量が年々増加するにつれ、シリコンの原料である多結晶シリコンの供給不足と、それによるシリコンウエハの価格の高騰が産業界の問題となっている。 40

#### 【0004】

ところで、シリコンを材料とする結晶系太陽電池は、太陽光を吸収するために10μm程度の厚さがあれば十分であるが、実際のシリコンウエハは200μmから300μm程度の厚さを有している。つまり、結晶系太陽電池では光電変換に必要な厚さよりも10倍以上厚く形成されていることになり、シリコンウエハを有効利用しているとは言い難い状況にある。極端に言えば、シリコンウエハの殆どは太陽電池の形状を維持するための構造体として機能しているにすぎない。

#### 【0005】

上記のように、十分厚いシリコンウエハを使いながらも、結晶系太陽電池では入射光を有効利用するために光閉じこめ用の表面凹凸構造が設けられている。表面凹凸構造は、Na 50

O H、K OHなどアルカリ溶液のエッティング速度がシリコンの結晶面方位によって違う性質を利用して形成している。しかし、アルカリ溶液のエッティングでは理想的な表面凹凸構造を形成するのは難しいことから、レーザ加工技術と化学エッティングを組み合わせた方法が開示されている（例えば、特許文献1参照）。

【特許文献1】特開2003-258285号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記のように、太陽電池の生産量は、原材料である多結晶シリコンの生産量に律速されている。すなわち、生産能力に余裕があっても、原材料が足りなくなつて、供給が必要に追いつかないといった問題が顕在化している。或いは、シリコンウエハの調達コストが増大して、太陽電池の生産工場の収益を悪化させることが問題となっている。10

【0007】

このような状況に鑑み、シリコン半導体材料を有効に利用して光電変換特性に優れた、太陽電池に代表される光電変換装置の製造方法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】

本発明は光電変換装置に係り、支持基板に接合させた単結晶半導体層の表面にパルスレーザビームを照射して、該単結晶半導体層の表面を凹凸化させることを要旨とする。

【0009】

この光電変換装置の製造方法には、次に示す処理が含まれている。一面に一導電型の第1不純物半導体層、該第1不純物半導体層に接する電極、及び質量が水素分子よりも重い水素のクラスターイオンを70%以上含むイオンビームを一面から注入することによって形成される損傷層を有する単結晶半導体基板と、絶縁表面を有する支持基板と、を接合層を介して接着する。熱処理を行い、損傷層を劈開させ、単結晶半導体基板から単結晶半導体層を分離し、支持基板上に単結晶半導体層を残存させる。単結晶半導体層の劈開面に、不活性気体と酸素を含む雰囲気中でパルスレーザビームを照射して単結晶半導体層の表面を凹凸化する。単結晶半導体層の劈開面側に、一導電型とは逆の導電型の第2不純物半導体層を形成する。20

【0010】

その後、第2不純物半導体層の上に、一導電型の第3不純物半導体層、非単結晶半導体層及び一導電型とは逆の導電型の第4不純物半導体層を堆積する場合も含む。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、支持基板上に接合した単結晶半導体層に、酸素を含む雰囲気中でレーザビームを照射することにより、該単結晶半導体層の表面を凹凸化することができる。それにより、単結晶半導体層の表面反射率を低減することができる。この単結晶半導体層を光電変換層として、光閉じ込め効果が発揮され、変換効率を向上させることができる。30

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明の実施の形態について、図面を用いて以下に説明する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、本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さまざまに変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は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。以下に説明する本発明の構成において、同じものを指す符号は異なる図面間で共通して用いる。40

【0013】

(実施形態1)

単結晶半導体基板から薄い単結晶半導体層を分離して、絶縁表面を有する基板若しくは絶縁性の支持基板に該単結晶半導体層を転置して光電変換装置を製造する方法について図面50

を参照して説明する。

**【0014】**

図1は本形態に係る光電変換装置10の平面図を示す。この光電変換装置10は、支持基板101上に固着された単結晶半導体層106に光が入射することで光電効果を発現する。単結晶半導体層106には、内蔵電界を形成するための不純物半導体層が形成されている。単結晶半導体層106としては、代表的には単結晶シリコンが適用される。また、単結晶半導体層106に代えて多結晶半導体層を適用することができる。この場合、多結晶シリコンが適用される。

**【0015】**

図1では、単結晶半導体層106の表面側に、網状の第2補助電極114が設けられ、裏面側に第1電極(平面図では表示されない)が設けられている。第1補助電極113は裏面に設けられる第1電極と接続する電極である。本形態の光電変換装置10は、絶縁表面を有する支持基板101に単結晶半導体層106が接着される構成なので、正極とそれに対する負極の電極は、支持基板101の同じ面に配設されている。

10

**【0016】**

図1のA-B切断線に対応する光電変換装置10の断面構造を図2に示す。図2は、支持基板101に単結晶半導体層106が接合された光電変換装置を示す。支持基板101は絶縁表面を有する基板若しくは絶縁基板であり、例えば、アルミノシリケートガラス、アルミノホウケイ酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラスのような電子工業用に使われる各種ガラス基板が適用される。

20

**【0017】**

支持基板101と単結晶半導体層106の間には絶縁層102が設けられている。絶縁層102と単結晶半導体層106の間には第1電極103が設けられている。絶縁層102は支持基板101と接合しており、さらに第1電極103と密着していることにより、単結晶半導体層106が支持基板101上に固定される。絶縁層102は、支持基板101と接合するために、平滑面を有し親水性表面を有している絶縁膜で形成される。

**【0018】**

単結晶半導体層106は、代表的には単結晶シリコンが適用される。また、単結晶半導体層に代えて多結晶半導体層(代表的には多結晶シリコン)を適用することもできる。一導電型の第1不純物半導体層107と、一導電型とは逆の導電型の第2不純物半導体層108は、所定の元素を単結晶半導体層106に添加することにより形成される。第1不純物半導体層107をp型とする場合、第2不純物半導体層108はn型であり、その逆の選択も可能である。p型不純物元素としては硼素などの元素周期表第13族の元素が適用され、n型不純物元素としてはリン、砒素など元素周期表第15族の元素が適用される。不純物元素の添加は、イオン注入若しくはイオンドーピングで行うことができる。本明細書では、イオン注入とはイオン化したガスを質量分離して半導体に注入する方式を指し、イオンドーピングとはイオン化したガスを質量分離せず半導体に注入する方式をいう。

30

**【0019】**

単結晶半導体層106に第1不純物半導体層107と第2不純物半導体層108を形成することにより内蔵電界が形成され、光照射により起電力を発生させることができる。すなわち、単結晶半導体層106に第1不純物半導体層107と第2不純物半導体層108でユニットセル(以下、第1ユニットセル104ともいう)を形成していることになる。なお、単結晶半導体層106にp型若しくはn型の単結晶半導体が適用される場合、第1不純物半導体層107は省略することが可能である。

40

**【0020】**

単結晶半導体層106は単結晶半導体基板を薄片化して形成される。例えば、単結晶半導体基板として単結晶シリコンウエハを用い、所定の深さに水素イオンを高濃度に注入し、その後、熱処理を行って表層の単結晶シリコン層を分離する水素イオン注入分離法で単結晶半導体層106を形成する。また、ポーラスシリコン上に単結晶半導体をエピタキシャル成長させた後、ポーラスシリコン層をウォータージェットで劈開して分離する方法を適

50

用しても良い。単結晶半導体基板として、代表的には単結晶シリコンウエハが適用される。単結晶半導体層106の厚さは0.1μm以上、10μm以下、好ましくは1μm以上5μm以下とする。単結晶半導体層106として単結晶シリコン半導体を適用する場合には、エネルギーギャップが1.12eVであり、間接遷移型の半導体であることから、太陽光を吸収するためにはこのような厚さが要求される。

#### 【0021】

単結晶半導体層106の表面は凹凸構造を有している。この凹凸構造は、最大高低差(P-V)で300nm~500nmの値を有している。なお、ここでいう山谷の最大高低差とは、山頂と谷底の高さの差を示す。また、ここでいう山頂と谷底とはJIS B0601で定義されている「山頂」「谷底」を三次元に拡張したものであり、山頂とは指定面の山において最も標高の高いところ、谷底とは指定面の谷において最も標高の低いところと表現される。この単結晶半導体層106の表面における凹凸構造は、酸素を含む雰囲気中でパルスレーザビームを照射することにより調整されている。10

#### 【0022】

第1電極103は、単結晶半導体層106の周辺端部領域で第1補助電極113と接触し、第2補助電極114は第2不純物半導体層108と接触している。この構成により、単結晶半導体層106の凹凸構造を有する面から光が入射することにより、第1電極103(第1補助電極113)と第2補助電極114の間に起電力が発生する。このとき、単結晶半導体層106の表面に凹凸構造があることにより光の反射が押さえられ、単結晶半導体層106に入射した光を閉じ込める効果を奏する。それにより、単結晶半導体層106の厚さが、0.1μm以上、10μm以下、好ましくは1μm以上5μm以下であっても入射光の光路長が実質的に増大し、光の吸収量を増やすことができる。すなわち、単結晶半導体層106に形成された凹凸構造は、光電変換装置10の変換効率を向上させる作用を奏する。20

#### 【0023】

図3はタンデム型光電変換装置20を示す。図2で示す第1ユニットセル104上に第2ユニットセル105を積層したものである。第2ユニットセル105は、非単結晶半導体層109を用いて作製される。非単結晶半導体層109は、代表的には非晶質半導体である非晶質シリコンが適用される。また、非晶質シリコンに代えて非晶質シリコンゲルマニウムを適用してもよいし、非単結晶半導体層109に微結晶半導体層(代表的には微結晶シリコン)を適用することも可能である。一導電型の第3不純物半導体層110と、一導電型とは逆の導電型の第4不純物半導体層111は所定の不純物元素を含んで形成された非晶質半導体層又は微結晶半導体層で作製される。代表的には、所定の不純物元素を含んだ非晶質シリコン又は微結晶シリコンであり、その他、所定の不純物元素を含んだ非晶質シリコンカーバイトが適用される。第3不純物半導体層110をp型とする場合、第4不純物半導体層111はn型であり、その逆の選択も可能である。30

#### 【0024】

非単結晶半導体層109は、半導体材料ガスを含む反応性ガスを電磁エネルギーにより分解して形成する。半導体材料ガスとしては、シラン若しくはジシランに代表されるシリコンの水素化物であり、その他シリコンのフッ化物又はシリコンの塩化物によるガスを用いる。このような半導体材料ガス、又は半導体材料ガスに水素、不活性ガスを混合して反応性ガスとして用いる。非単結晶半導体層109は、この反応性ガスを用い、電磁エネルギーとして、10MHzから200MHzの高周波電力を印加して薄膜の形成を行うプラズマCVD法により形成する。電磁エネルギーとしては、高周波電力に代えて1GHzから5GHz、代表的には2.45GHzのマイクロ波電力を印加しても良い。第3不純物半導体層110及び第4不純物半導体層111も同様にプラズマCVD法で形成されるものであり、前記した反応性ガスに、p型化する場合には不純物としてジボランを、n型化する場合には不純物としてフォスフィンを添加して成膜を行う。非単結晶半導体層109として、代表的には非晶質シリコン層が適用される。非単結晶半導体層109の厚さは50nm以上、300nm以下、好ましくは100nm以上、200nm以下とする。非単結4050

晶半導体層 109 として非晶質シリコン半導体を適用する場合には、エネルギーギャップが 1.75 eV であり、この厚さにすることで、600 nm よりも短い波長領域の光を吸収して光電変換することができる。

#### 【0025】

第 2 ユニットセル 105 の非単結晶半導体層 109 において、微結晶半導体層（代表的には微結晶シリコン層）を適用することもできる。微結晶半導体層を形成するために用いられる代表的な半導体材料ガスは、シラン（SiH<sub>4</sub>）であり、その他にもジシラン（Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>）が適用される。また、シラン（SiH<sub>4</sub>）にジクロロシラン（SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>）、トリクロロシラン（SiHCl<sub>3</sub>）、テトラクロロシラン（SiCl<sub>4</sub>）、テトラフルオロシラン（SiF<sub>4</sub>）などを適宜混合して用いても良い。この半導体材料ガスを水素若しくはフッ素、水素若しくはフッ素とヘリウム、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元素で希釈して用いることで微結晶半導体層をプラズマ CVD 法で作製する。希釈率は 10 倍～3000 倍の範囲で半導体材料ガスを希釈することが好ましい。成膜は、概略 0.1 Pa～133 Pa の減圧下で生成されるグロー放電プラズマで成膜が行われる。プラズマを形成するための電力は 10 MHz から 200 MHz の高周波電力又は、高周波電力に代えて 1 GHz から 5 GHz、代表的には 2.45 GHz のマイクロ波電力が印加される。また、半導体材料ガス中に、メタン（CH<sub>4</sub>）、エタン（C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>）などの炭化物気体、ゲルマン（GeH<sub>4</sub>）、四フッ化ゲルマニウム（GeF<sub>4</sub>）などのゲルマニウム化気体を混入させて、エネルギー・バンド幅を 1.5～2.4 eV、若しくは 0.9～1.1 eV に調節しても良い。微結晶半導体層は格子歪みを有し、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% の格子歪みにより、光学特性が直接遷移型に変化するが、局部的な歪みが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。微結晶シリコン層では、エネルギー・ギャップが概略 1.45 eV であり、単結晶シリコンよりもエネルギー・ギャップが広がるので、600 nm よりも短い波長領域の光を吸収して光電変換することができる。

#### 【0026】

本形態の光電変換装置は、第 2 電極 112 側から光を入射する構成である。第 2 電極 112 は、酸化インジウムスズ、酸化スズ、酸化亜鉛などの透明導電材料を用いて形成する。第 1 電極 103 は、チタン、モリブデン、タングステン、タンタル、クロム、ニッケルから選択された金属材料で形成する。また、第 1 電極 103 は、チタン、モリブデン、タングステン、タンタルの窒化物層を有し、該窒化物層が第 1 不純物半導体層 107 と接触する構成とする。半導体層と金属層の間に金属窒化物を介在させることにより、密着性を向上させることができる。

#### 【0027】

第 2 ユニットセル 105 は、単結晶半導体層 106 の凹凸表面上に形成されることにより、その凹凸構造の影響を受けて、第 2 電極 112 の表面も凹凸化される。第 2 電極 112 の表面が凹凸化されていることにより、入射光の反射が低減する。すなわち、光入射側から下層に位置する単結晶半導体層 106 の凹凸構造と互いに作用しあって、第 1 ユニットセル 104 と第 2 ユニットセル 105 に光閉じ込め効果を発現させることができる。この効果により、タンデム型光電変換装置 20 の変換効率を向上させることができる。

#### 【0028】

図 4 は、エネルギー・ギャップ 1.12 eV の単結晶半導体層 106 を有する第 1 ユニットセル 104 と、エネルギー・ギャップ 1.75 eV の非単結晶半導体層 109 を有する第 2 ユニットセル 105 を用いた場合のエネルギー・バンド図を示す。光入射側にエネルギー・ギャップの広い非単結晶半導体層 109 を有する第 2 ユニットセル 105 が位置しており、その後方にエネルギー・ギャップの狭い単結晶半導体層 106 を有する第 1 ユニットセル 104 が配置している。なお、第 1 不純物半導体層 107 と第 3 不純物半導体層 110 は p 型半導体、第 2 不純物半導体層 108 と第 4 不純物半導体層 111 は n 型半導体の場合を示している。

10

20

30

40

50

**【0029】**

図4のバンドモデル図で示すように光を吸収して励起された電子はn型半導体側に流れ、ホールはp型半導体側に流れる。その結果、第1ユニットセル104と第2ユニットセル105の接続部では、第1ユニットセル104側の電子及び第2ユニットセル側のホールがトラップされる形になる。この場合、第2不純物半導体層108と第3不純物半導体層110の接合界面に再結合中心が形成されるようにして、この接合界面で再結合電流が流れるようになる。第2不純物半導体層108は単結晶半導体であり、その上に第3不純物半導体層110として、非晶質半導体層又は微結晶半導体層をプラズマCVD法などで堆積することにより、接合界面で再結合電流が流れるような接合を形成することができる。

**【0030】**

図3のタンデム型の光電変換装置によれば、単結晶半導体層106で形成される第1ユニットセル104をボトムセルとして用いることで、800nm以上の長波長光の吸収をして光電変換することが可能となり、光電変換効率の向上に寄与する。この場合、単結晶半導体層106が10μm以下と薄層化されていることにより、光生成キャリアの再結合による損失を低減することができる。この場合において、光入射側から下層に位置する単結晶半導体層106の凹凸構造と互いに作用しあって、第1ユニットセル104と第2ユニットセル105に光閉じ込め効果を発現させることができる。この効果により、タンデム型光電変換装置20の変換効率を向上させることができる。

**【0031】****(実施形態2)**

次に、実施の形態1において示す図1のA-B切断線に対応する断面構造として、図2の場合を前提として光電変換装置10の製造方法について説明する。

**【0032】**

図5(A)に示す半導体基板115は円形の単結晶半導体基板より略四辺形に切り出されたものである。半導体基板115は、代表的には単結晶シリコンであって、表面が鏡面研磨されたものが好ましい。保護膜116は酸化シリコン又は窒化シリコンで形成することが好ましく化学気相成長法により形成する。

**【0033】**

半導体基板115の一面に一導電型の第1不純物半導体層107を形成する。例えば、一導電型の不純物として硼素を添加して、第1不純物半導体層107をp型に形成する。第1不純物半導体層107は、本形態の光電変換装置において、光入射側と反対側の面に配置され、裏面電界(BSF: Back Surface Field)を形成する。硼素の添加は、ジボラン( $B_2H_6$ )、三フッ化硼素( $BF_3$ )をソースガスとして、生成されたイオンを質量分離しないで電界で加速して、生成されるイオン流を基板に照射するイオンドーピング装置を用いて行う。

**【0034】**

図5(B)は、保護膜116を除去して、第1不純物半導体層107上に第1電極103を形成している。第1電極103は耐熱性金属で形成することが好ましい。耐熱性金属としては、チタン、モリブデン、タングステン、クロムなどの金属材料が適用される。これらの金属材料の窒化物を第1不純物半導体層107に接して形成し、さらに該金属層を積層して第1電極103を二層構造としても良い。金属窒化物を形成することで、第1電極103の密着性を向上させることができる。第1電極103は真空蒸着法又はスパッタリング法で形成する。

**【0035】**

図5(C)は、第1電極103が形成された面から、水素イオンを含むイオンビームを半導体基板115に照射して、損傷層117を形成する段階を示している。水素イオンは、好ましくは $H_3^+$ に代表されるようなクラスターイオンを打ち込んで、表面から一定の深さの領域に損傷層117を形成する。損傷層117の深さは、イオンの加速エネルギーによって制御される。損傷層117の深さにより半導体基板115から分離される単結晶半導体層の厚さが決まるので、クラスターイオンを加速する電界強度はそのことを考慮して

10

20

30

40

50

決められる。損傷層 117 は半導体基板 115 の表面から  $10 \mu\text{m}$  未満の深さ、すなわち  $50 \text{ nm}$  以上  $10000 \text{ nm}$  未満、好ましくは  $100 \text{ nm}$  から  $5000 \text{ nm}$  の深さに損傷層を形成することが好ましい。第 1 電極 103 を通してクラスターイオンを半導体基板 115 に打ち込むことで、イオンの照射により表面が損傷を受けてしまうことを防止することができる。

#### 【0036】

水素イオンである  $\text{H}_3^+$  イオンに代表されるようなクラスターイオンの注入は、水素プラズマを生成し、該プラズマ中に生成されるイオンを質量分離せず、そのまま電界で加速することにより注入するイオンドーピング装置を用いて行うことができる。イオンドーピング装置を用いることにより、面積の大きい半導体基板 115 に対しても容易に行うことができる。10

#### 【0037】

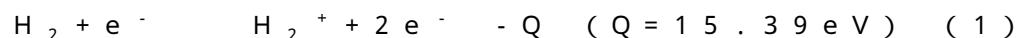
図 9 は、イオンドーピング装置の構成を示す。イオン源 200 では質量の異なる複数種のイオンが生成される。イオン源 200 にはガス供給部 204 から水素等の所定のガスが供給される。イオン源 200 に水素等が導入された後、イオン源 200 のフィラメント 201 に電圧を印加してアーク放電を発生させる。これにより、水素がイオン化して、質量の異なる複数種のイオンが生成される。

#### 【0038】

イオン源 200 で生成されたイオンは、引出し電極系 205 によってイオンビームを形成する。イオンビームは載置台 206 に置かれた半導体基板 115 に照射される。イオンビームに含まれるイオン種の割合は載置台 206 の近傍に設けられた質量分析管 207 によって計量される。質量分析管 207 によって計数されたイオン密度は質量分析計 208 で信号変換され、その結果を電源制御部 203 にフィードバックさせるようにしても良い。電源制御部 203 はイオン密度の計数結果に従って、フィラメント電源 202 を制御することができる。20

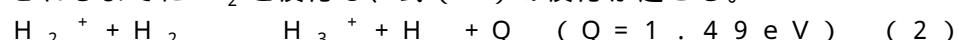
#### 【0039】

ガス供給部 204 から供給された水素等のガスは、イオンドーピング装置のチャンバー内を流れる。イオン源 200 に供給された水素は、式(1)の反応によりイオン化する。



#### 【0040】

イオンドーピング装置のチャンバー内の圧力は  $1 \times 10^{-2} \text{ Pa}$  から  $1 \times 10^{-1} \text{ Pa}$  であり、電離度があまり高くないことから  $\text{H}_2^+$  イオンより原料ガスである  $\text{H}_2$  が多く存在している。従って、イオン源で生成された  $\text{H}_2^+$  イオンは、引出し電極系 205 で引き出されるまでに  $\text{H}_2$  と反応し、式(2)の反応が起こる。30



#### 【0041】

$\text{H}_3^+$  は、 $\text{H}^+$  及び  $\text{H}_2^+$  よりも安定な分子として存在するため、 $\text{H}_2$  と衝突する割合が高ければ  $\text{H}_3^+$  が多量に生成されることになる。このことは、質量分析管 207 を用いて載置台 206 に照射されるイオンビームの質量分析結果を見れば明らかである。イオン種  $\text{H}^+$ 、 $\text{H}_2^+$ 、 $\text{H}_3^+$  の総量に対して  $\text{H}_3^+$  イオンの割合は 70% 以上となっている。それにより、クラスターイオンである  $\text{H}_3^+$  を多量に発生させたイオンビームを基板に照射することで、 $\text{H}^+$ 、 $\text{H}_2^+$  を注入するよりも水素原子の注入効率が向上し、ドーズ量が少なくとも水素を半導体基板 115 に高濃度に注入することができる。40

#### 【0042】

クラスターイオンとして  $\text{H}_3^+$  の割合を高めておくことで、損傷層 117 には  $1 \times 10^2 \text{ atoms/cm}^3$  以上の水素を含ませることが可能である。半導体基板 115 に形成される損傷層 117 は結晶構造が失われ微小な空孔が形成され、多孔質構造となっている。そのため、比較的低温(600 以下)の熱処理によって損傷層 117 に形成された微小な空洞の体積変化が起り、損傷層 117 に沿って単結晶半導体層を分離することができる。50

**【 0 0 4 3 】**

図5(D)は、第1電極103上に絶縁層102を形成する段階を示す。絶縁層102は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコンなどの絶縁膜で形成する。絶縁層102は平滑で親水性の表面を有するものであれば良い。絶縁層102の平滑性でいえば、平均面粗さRa値が1nm以下、好ましくは0.5nm以下であることが好ましい。なお、ここでいう平均面粗さとは、JIS B0601で定義されている中心線平均粗さを面に対して適用できるよう三次元に拡張したものである。

**【 0 0 4 4 】**

平滑面を有し親水性表面を形成できる絶縁層としては、水素を含有する酸化シリコン、水素を含有する窒化シリコン、酸素と水素を含有する窒化シリコン、水素を含有する酸化窒化シリコン、水素を含有する窒化酸化シリコン等を適用することができる。10

**【 0 0 4 5 】**

なお、酸化窒化シリコン膜とは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多いものであって、濃度範囲として酸素が55～65原子%、窒素が0.5～20原子%、シリコンが25～35原子%、水素が0.1～10原子%の範囲で含まれるものという。また、窒化酸化シリコン膜とは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多いものであって、濃度範囲として酸素が15～30原子%、窒素が20～50原子%、シリコンが25～35原子%、水素が15～25原子%の範囲で含まれるものという。

**【 0 0 4 6 】**

水素を含有する酸化シリコンとしては、例えば有機シランを用いた化学気相成長法により作製される酸化シリコンが好ましい。有機シランを用いて形成された絶縁層102として、酸化シリコン膜を用いることによって、支持基板と転置用半導体層との接合を強固にすることができるためである。有機シランとしては、テトラエトキシシラン(TEOS:化学式Si(OCH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>)、テトラメチルシラン(TMS:化学式Si(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>)、テトラメチルシクロテトラシロキサン(TMCTS)、オクタメチルシクロテトラシロキサン(OMCTS)、ヘキサメチルジシラザン(HMDS)、トリエトキシシラン(SiH(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)、トリスジメチルアミノシラン(SiH(N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>3</sub>)等のシリコン含有化合物を用いることができる。20

**【 0 0 4 7 】**

水素を含有する窒化シリコンは、シランガスとアンモニアガスを用いたプラズマCVD法により作製することができる。前記ガスに水素が加えられても良い。酸素と水素を含有する窒化シリコンは、シランガスとアンモニアガスと亜酸化窒素ガスを用いたプラズマCVD法で作製することができる。いずれにしても、プラズマCVD法、減圧CVD法、常圧CVD法等の化学気相成長法により、シランガス等を原料ガスとして用いて作製される酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコンであって水素が含まれるものであれば適用することができる。絶縁層102の成膜温度は、単結晶半導体基板に形成した損傷層117から水素が脱離しない温度として、350以下の成膜温度が推奨される。30

**【 0 0 4 8 】**

図6(A)は支持基板101と半導体基板115とを接着する段階を示す。この接着は、平滑であり親水性表面を有する絶縁層102が支持基板101に密着することによりなされる。この接合は、水素結合やファン・デル・ワールス力が作用している。接合は、半導体基板115及び支持基板101の表面の水酸基や水分子が接着剤として働くことによって起きる。熱処理によって、水分子が拡散し、残留成分のシラノール基(Si-OH)同士が水素結合で結合する。さらにこの接合部は、水素が抜けることでシロキサン結合(Si-O-Si)が形成されることで共有結合になり、半導体基板115と支持基板101の接合が強固なものとなる。なお、支持基板101の接着面にも、バリア層118として窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜などを形成しておいても良い。バリア層118を形成することで、支持基板101からの不純物汚染を防止することができる。40

**【 0 0 4 9 】**

図6(B)は、加熱処理により損傷層117を劈開して半導体基板115を支持基板1050

1から分離する段階を示す。加熱処理の温度は絶縁層102の成膜温度以上、支持基板101の耐熱温度以下で行うことが好ましい。例えば400から600の加熱処理を行うことにより、損傷層117に形成された微小な空洞の堆積変化が起こり、その領域に沿って劈開する。絶縁層102は支持基板101と接着しているので、支持基板101には単結晶半導体層106と第1電極103が残存する。このとき、単結晶半導体層106の厚さは、損傷層の深さにほぼ対応し、50nm以上10000nm未満、好ましくは100nmから5000nmの厚さに形成される。以上の工程により、支持基板101上に絶縁層102により固定された単結晶半導体層106を設けることができる。

#### 【0050】

図7(A)は、結晶欠陥の残留する単結晶半導体層106の修復と、表面に凹凸構造を形成するために、単結晶半導体層106の劈開面にレーザ処理をする段階を示している。レーザビームを単結晶半導体層106の劈開面に照射することで、単結晶半導体層106の少なくとも劈開面側は溶融し固相状態の下層部を種結晶として、その後の冷却過程で再単結晶化する。その過程で単結晶半導体層106の表面を凹凸化させることができる。

10

#### 【0051】

このレーザ処理は酸素を含む雰囲気中で、パルスレーザビームを単結晶半導体層106の劈開面に照射することにより行われる。このレーザ処理のとき、少なくともレーザビームの照射領域は、250から600の温度に加熱されていることが好ましい。照射領域を加熱しておくことで、レーザビームの照射による溶融時間を長くすることができ、表面の凹凸化と同時に結晶欠陥の修復を効果的に行うことができる。レーザビームは単結晶半導体層106の劈開面側を溶融させるものの、支持基板101は殆ど加熱されないので、ガラス基板のような耐熱性の低い支持基板を用いることが可能になる。また、第1電極103は耐熱性金属で形成されているので、上記温度で加熱されても単結晶半導体層106に悪影響を及ぼすことがない。当該耐熱性金属と第1不純物半導体層107の界面ではシリサイドが形成され、より電流が流れ易くなる。

20

#### 【0052】

単結晶半導体層106の表面を凹凸化させるレーザ処理は、窒素又はアルゴンに代表される不活性気体に酸素が0.1体積%から25体積%含まれる雰囲気中で行う。また、窒素又はアルゴンに代表される不活性気体に酸素若しくは酸化物気体が0.1体積%から50体積%含まれる雰囲気中で行ってもよい。酸化物気体としては、二酸化炭素、亜酸化窒素などが適用可能である。その他、上記雰囲気に代えて、空气中、好ましくは乾燥空气中で行っても良い。

30

#### 【0053】

パルスレーザビームは、光源(レーザ発振器)として、エキシマレーザ(XeCl(308nm)、KrF(248nm)、ArF(193nm))、YAG、YVO<sub>4</sub>レーザに代表される固体レーザ(第2高調波(532nm)、第3高調波(355nm)第4高調波(266nm))を用いる。例えば、波長308nmのエキシマレーザビームを照射する場合には、発振周波数5～50Hz、エネルギー密度100～500mJ/cm<sup>2</sup>、線状ビームのオーバーラップ割合を80～98%として、単結晶半導体層106を処理する。

40

#### 【0054】

また、パルスレーザビームの波長と照射回数を制御することにより、規則性のある凹凸構造を単結晶半導体層106の表面に形成することができる。例えば、波長308nmのエキシマレーザビームを、350mJ/cm<sup>2</sup>～450mJ/cm<sup>2</sup>として、同じ領域に、パルス幅10nsec～30nsecで繰り返し周波数が10Hz～50Hzのパルスレーザビームを20回～50回照射することで、凸部が格子状に整列した凹凸構造を形成することができる。この凸部の整列間隔は照射するパルスレーザビームの波長を選択することによって制御することができる。例えば、波長308nmのエキシマレーザを照射することで、凸部のピッチを概ね308nmとすることができる。また、波長527nmのYLFレーザを用いると凸部のピッチは概ね527nmとなり、Nd:YAGレーザの第2

50

高調波（発振波長：532 nm）を用いると凸部のピッチは概ね532 nmとすることができる。

#### 【0055】

レーザ処理を行うためのレーザ処理装置の一例を図10を参照して説明する。レーザ処理装置は、レーザ発振器210、レーザ光を細い線状ビームに集光伸張させる光学系211、レーザ照射領域の雰囲気を制御するガス噴射筒212、該ガス噴射筒212に雰囲気制御ガスを供給するガス供給部213、流量制御部214、ガス加熱部215、支持基板101を浮遊させ搬送する基板ステージ222、基板の両端を支持して搬送するガイドレール223、基板ステージ222に浮遊用にガスを供給するガス供給部216を備えている。

10

#### 【0056】

レーザ発振器210は、その発振波長が、紫外光域乃至可視光域にあるものが選択される。レーザ発振器210は、パルス発振型のArF、KrF又はXeClエキシマレーザ、或いはNd:YAGレーザ、YLFレーザなどの固体レーザで、繰り返し周波数1MHz以下、パルス幅10n秒以上500n秒以下のものが好ましい。例えば、繰り返し周波数10Hz～300Hz、パルス幅10～30ns、波長308nmのXeClエキシマレーザを用いる。

#### 【0057】

光学系211はレーザ光を集光及び伸張して、被照射面に断面形状が線状となるレーザビームを形成する。線状ビームを形成する光学系211は、シリンドリカルレンズアレイ217、シリンドリカルレンズ218、ミラー219、ダブレットシリンドリカルレンズ220により構成される。レンズの大きさにもよるが、長手方向は100mm～700mm、短手方向は100μm～500μm程度の線状レーザ光を照射することが可能である。

20

#### 【0058】

線状に集光されたレーザビームはガス噴射筒212の光導入窓221を通して支持基板101に照射される。ガス噴射筒212は支持基板101と近接して配置されている。ガス噴射筒212にはガス供給部213から窒素等の不活性ガスと酸素を含むガスが供給されている。当該ガスはガス噴射筒212の支持基板101に面した開口部から噴出する。ガス噴射筒212の開口部は、光導入窓221から入射したレーザビームが支持基板101に照射されるように、線状レーザビームの光軸に合わせて配置されている。ガス噴射筒212の開口部から噴射する酸化性気体により、レーザビームの照射領域の雰囲気制御を行う。

30

#### 【0059】

ガス噴射筒212に供給する窒素等の不活性ガスと酸素を含むガスは、ガス加熱部215を250から700に制御することにより、支持基板101のレーザビームの照射面の温度を100から600に制御でき、上記のようにレーザビームの照射による溶融時間を制御することができる。

#### 【0060】

基板ステージ222には、ガス供給部216から空気又は窒素が流量制御部214を通して供給される。ガス供給部216から供給される気体は、基板ステージ222の上面から、支持基板101の下面を吹き付けるように噴出させて、該支持基板101を浮遊させる。支持基板101は両端がガイドレール223上を動くスライダ224に載せられて搬送されるが、基板ステージ222側からガスが吹き付けられることにより、湾曲せずに浮遊した状態で搬送することができる。本形態のレーザ処理装置では、支持基板101の上面にガス噴射筒212から窒素ガスが噴出するので、その裏側からもガスを吹き付けることにより、支持基板101の撓みを防ぐことができる。このような基板ステージ222の構成は、一辺が500mmを超える、厚さが1mm以下の支持基板を処理する場合に有効である。例えば、600mm×720mm乃至730mm×920mmで厚さが0.7mm以下の支持基板を処理することができる。

40

#### 【0061】

50

基板ステージ 222 は、レーザ照射部近傍と、それ以外の領域に区画されていても良い。基板ステージ 222 のレーザ照射部近傍では、ガス加熱部 215 により加熱された窒素ガスを吹き付けるようにしても良い。それにより、支持基板 101 を加熱することができる。

#### 【0062】

なお、図 10 で示すレーザ処理装置は一例であり、レーザビーム照射時の雰囲気を窒素等の不活性ガスと酸素を含む雰囲気に制御できるものであれば他の構成を適用することもできる。例えば、レーザビームを導入可能な窓を備えた密閉可能な処理室に支持基板を保持し、該処理室に窒素等の不活性ガスと酸素を含むガスを導入して雰囲気制御しても良い。

#### 【0063】

図 7 (B) は、単結晶半導体層 106 に第 1 不純物半導体層 107 とは逆の導電型の不純物元素を添加して、第 2 不純物半導体層 108 を形成する。例えば、リン又は砒素を添加して第 2 不純物半導体層 108 を n 型に形成する。この場合、先の工程でレーザ処理により表面の結晶欠陥が修復されているので、第 2 不純物半導体層 108 の不純物濃度を精密に制御することができる。すなわち、レーザビームを照射して、単結晶半導体層の表面を処理し、その後、不純物領域を形成することにより、不純物濃度を高濃度化することができ、浅い接合を形成することができる。それにより、光生成キャリアの収集効率の高い光電変換装置を得ることができる。

#### 【0064】

図 7 (C) は、単結晶半導体層 106 の端部をエッティングして第 1 電極 103 を露出させる段階を示している。エッティングは単結晶半導体層 106 にマスクを形成し、三フッ化窒素 (NF<sub>3</sub>)、六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) などのガスを用いてドライエッティングを行う。

#### 【0065】

図 8 (A) は、第 1 電極 103 に接する第 1 補助電極 113 と、第 2 不純物半導体層 108 上の第 2 補助電極 114 を形成する段階を示している。第 1 補助電極 113 は図 7 (C) でエッティングにより露出した第 1 電極 103 に接触するように形成する。第 2 補助電極 114 は、図 1 の平面図で示すように櫛型又は格子状の電極である。第 1 補助電極 113 及び第 2 補助電極 114 は、アルミニウム、銀、鉛錫 (半田) などで形成すれば良い。例えば、銀ペーストを用いてスクリーン印刷法で形成する。

#### 【0066】

その後、図 8 (B) で示すように、パッシベーション膜を兼ねた反射防止膜 119 を形成する。反射防止膜 119 は、窒化シリコン膜で形成することが好ましく、窒化シリコンと窒化酸化シリコンの積層膜で形成しても良い。

#### 【0067】

このようにして図 1 で示す光電変換装置 10 を製造することができる。本工程によれば、異種材料間の接合技術と、レーザ処理技術を用いることにより、700 以下 (好適には 500 以下) のプロセス温度で 10 μm 以下の単結晶半導体層を有する光電変換装置を製造することができる。すなわち、耐熱温度が 700 以上の大面積ガラス基板に、単結晶半導体層を設けた光電変換装置を製造することができる。単結晶半導体層は単結晶半導体基板の表層を分離することにより得られるが、当該単結晶半導体基板は繰り返し利用することができるので資源を有効に利用することができる。なお、同様の工程により第 2 ユニットセルを作製することで、図 3 に示すタンデム型光電変換装置を製造することができる。

#### 【0068】

##### (実施形態 3)

本形態は、実施形態 2 と異なる製造工程を図 11 に示す。図 11において、(A) 保護膜 116 を形成して第 1 不純物半導体層 107 を半導体基板 115 の一面に形成した後、(B) 保護膜 116 をそのまま残して損傷層 117 を形成する。その後、(C) 保護膜 116 を除去して第 1 電極 103 を形成する。本形態の工程によれば保護膜 116 を有効に利用することができる。すなわち、保護膜 116 を損傷層 117 形成後に除去することで、

10

20

30

40

50

半導体基板 115 の表面の接合表面を平坦なものとすることができます。保護膜 116 は 50 nm から 200 nm の厚さで設けることが好ましい。また、第 1 不純物半導体層 107 を通して水素のクラスターイオンが打ち込まれる損傷層 117 を形成することにより、第 1 不純物半導体層 107 の水素化を兼ねることができる。

#### 【0069】

##### (実施形態 4)

本形態は、実施形態 2 と異なる製造工程を図 12 に示す。図 12において、(A) 半導体基板 115 の一面に第 1 電極 103 を形成し、(B) 第 1 電極 103 を通して一導電型の不純物元素を添加して第 1 不純物半導体層 107 を形成する。そして、(C) 第 1 電極 103 を通して水素のクラスターイオンを打ち込み損傷層 117 を形成する。本工程では、  
10 第 1 電極 103 の形成後にイオンドーピングを行うことにより、第 1 電極 103 をイオンドーピングにおける損傷防止層として利用することができる。それによりイオンドーピングのために保護膜を形成する工程を省略することができる。

#### 【0070】

##### (実施形態 5)

本形態は、実施形態 2 と異なる製造工程を図 13 に示す。図 13において、(A) 半導体基板 115 の一面に第 1 電極 103 を形成し、(B) 第 1 電極 103 を通して水素のクラスターイオンを打ち込み損傷層 117 を形成する。そして、(C) 第 1 電極 103 を通して一導電型の不純物元素を添加して第 1 不純物半導体層 107 を形成する。本工程では、  
20 第 1 電極 103 を最初に形成することにより、第 1 電極 103 をイオンドーピングにおける損傷防止層として利用することができる。本形態では、イオンドーピングのために保護膜を形成する工程を省略することができる。

#### 【0071】

##### (実施形態 6)

本形態は、実施形態 2 と異なる製造工程を図 14 に示す。図 14において、(A) 保護膜 116 を形成して水素のクラスターイオンを半導体基板 115 の一面に打ち込んで損傷層 117 を形成し、(B) 保護膜 116 をそのまま残して第 1 不純物半導体層 107 を形成する。そして、(C) 保護膜 116 を除去して第 1 電極 103 を形成する。本工程は保護膜 116 をイオンドーピング時の損傷防止膜として、さらに第 1 不純物半導体層 107 を形成するときのドーピング深さを調節する膜として有効に利用している。また、損傷層 1  
30 17 を形成した後に、第 1 不純物半導体層 107 を形成することにより、該第 1 不純物半導体層 107 の不純物濃度を高濃度化することができ、浅い接合を形成することができる。それにより、裏面電界 (BSF : Back Surface Field) 効果を発現させ、光生成キャリアの収集効率を高めることができる。

#### 【0072】

##### (実施形態 7)

本形態は、実施形態 2 と異なる製造工程を図 15 に示す。図 15において、(A) 保護膜 116 を形成して水素のクラスターイオンを打ち込み損傷層 117 を形成し、(B) 保護膜 116 を除去して第 1 電極 103 を形成する。そして、(C) 第 1 電極 103 を通して一導電型の不純物元素を添加して第 1 不純物半導体層 107 を形成する。第 1 電極 103 を通して第 1 不純物半導体層 107 を形成することにより、第 1 不純物半導体層 107 の厚さを制御することが容易となる。  
40

#### 【0073】

##### (実施形態 8)

本形態は、実施形態 2 と異なる製造工程を図 16 に示す。支持基板 101 上に単結晶半導体層 106 を接着し(図 6 (B))、図 16 (A) で示すように結晶欠陥の残留する単結晶半導体層 106 の修復と、表面に凹凸構造を形成するレーザ処理を行う。そして図 16 (B) で示すように、単結晶半導体層 106 に第 1 不純物半導体層 107 とは逆の導電型の不純物元素を添加して第 2 不純物半導体層 108 を形成する。その後、図 16 (C) に示すように第 2 不純物半導体層 108 上に反射防止膜 119 を形成する。  
50

**【0074】**

その後、図17(A)で示すように、単結晶半導体層106の端部をエッティングして第1電極103を露出させ、図17(B)で示すように第1補助電極113及び第2補助電極114を形成する。第2補助電極114は反射防止膜119上に形成し、その後、絶縁破壊電圧を瞬間に印加することにより第2不純物半導体層108と導通をとることができ、補助電極として機能させることができる。

**【0075】**

本形態によれば、単結晶半導体層106に第2不純物半導体層108を形成した後にパッシベーション膜としても機能する反射防止膜119を形成することで、表面再結合速度を低くすることができ、光電変換装置の変換効率を高めることができる。

10

**【0076】**

本形態は、実施形態2～7と自由に組み合わせることができる。

**【0077】****(実施形態9)**

本形態は、実施形態2と異なる製造工程を図18に示す。支持基板101上に単結晶半導体層106を接着した後(図6(B))、図18(A)において示すように、結晶欠陥の残留する単結晶半導体層106の修復と、表面に凹凸構造を形成するレーザ処理を行う。その後、図18(B)で示すように反射防止膜119を形成し、図18(C)で示すように第2不純物半導体層108を形成する。本形態によれば、第2不純物半導体層108の形成前にレーザ処理を行うので、レーザビームの照射による溶融領域を単結晶半導体層106の内部まで広げることができ、再単結晶化による欠陥修復の効果をより高めることができる。

20

**【0078】**

その後、図7(C)のように単結晶半導体層106の周辺部をエッティングして第1電極103を露出させ、第1補助電極113及び第2補助電極114を形成すれば良い。第2補助電極114は反射防止膜119上に形成されるが、絶縁破壊電圧を瞬間に印加してバーンインコンタクトを形成することにより電極として機能させることができる。

**【0079】**

本形態は、実施形態2～7と自由に組み合わせることができる。

**【0080】**

30

**(実施形態10)**

本形態は、実施形態2と異なる製造工程を図19に示す。支持基板101上の単結晶半導体層106にレーザ処理を行い、再単結晶化と表面に凹凸構造を形成する。そして図19(A)で示すように、単結晶半導体層106を覆うように絶縁層120を形成する。そして、図19(B)で示すように、絶縁層120に開口部を形成して単結晶半導体層106を露出させ、その開口部に第2不純物半導体層108を形成する。その後、図19(C)で示すように、絶縁層120と単結晶半導体層106を貫通し第1電極103に達する開口部を形成し、第1補助電極113及び第2補助電極114を形成する。さらに反射防止膜119を形成する。本形態のように、単結晶半導体層106の内側に開口部を形成して第1電極103と導通する第1補助電極113を形成することにより、光電変換装置の小型化を図ることができる。

40

**【0081】**

本形態は、実施形態2～7と自由に組み合わせることができる。

**【0082】****(実施形態11)**

実施形態1～10により製造される光電変換装置を用いた太陽光発電モジュールの一例を図20(A)に示す。この太陽光発電モジュール30は、支持基板101に設けられた単結晶半導体層106により光電変換装置10が構成されている。単結晶半導体層106には光電変換機能を発現させる第1不純物半導体層、第2不純物半導体層などが形成されている。

50

**【0083】**

第1補助電極113は単結晶半導体層106の裏面側に形成されている第1電極と接続する電極であり、第2補助電極114は櫛形又は格子状の電極である。第1補助電極113と第2補助電極114は支持基板101の一面に形成され、支持基板101の端部領域でコネクタ用の第1裏面電極121と第2裏面電極122とそれぞれ接続する。図20(B)は、C-D切断線に対応する断面図であり、支持基板101の貫通りを通して第1補助電極113と第2補助電極114が第1裏面電極121と第2裏面電極122とそれぞれ接続している。

**【0084】**

このように、支持基板101に単結晶半導体層106を接合して光電変換装置10を形成することにより、太陽光発電モジュールの薄型化を図ることができる。なお、本形態において、光電変換装置10に代えて、図3で示すタンデム型光電変換装置20を適用しても良い。

**【0085】****(実施形態12)**

図21は太陽光発電モジュール30を用いた太陽光発電システムの一例を示す。一又は複数の太陽光発電モジュール30の出力電力は、充電制御回路123により蓄電池124を充電する。蓄電池124の充電量が多い場合には、負荷125に直接出力される場合もある。

**【0086】**

蓄電池124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せず、急速に充電することができる。また、化学反応を利用する鉛蓄電池などに比べ、寿命を約8倍、充放電効率を1.5倍に高めることができる。負荷125としては、蛍光灯、発光ダイオード、エレクトロルミネッセンスパネルなどの照明、小型の電子機器など、さまざまな用途に応用することができる。

**【図面の簡単な説明】****【0087】**

【図1】光電変換装置の構成を示す平面図。

【図2】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図3】タンデム型光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図4】タンデム型光電変換装置の動作を説明するエネルギーバンド図。

【図5】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図6】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図7】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図8】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図9】イオンドーピング装置の構成を説明する図。

【図10】レーザ処理装置の構成を説明する図。

【図11】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図12】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図13】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図14】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図15】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図16】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図17】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図18】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図19】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図20】(A)太陽光発電モジュールの構成を説明する平面図。(B)切断線C-Dによる図20(A)の断面図。

【図21】太陽光発電システムの一例を説明する図。

**【符号の説明】**

10

20

30

40

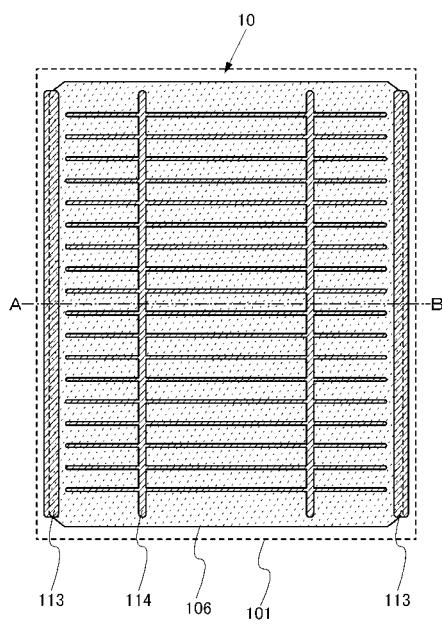
50

## 【0088】

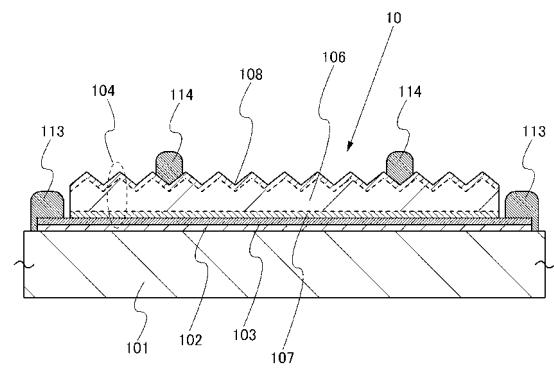
1 0	光電変換装置	
2 0	タンデム型光電変換装置	
3 0	太陽光発電モジュール	
1 0 1	支持基板	
1 0 2	絶縁層	
1 0 3	第1電極	
1 0 4	第1ユニットセル	
1 0 5	第2ユニットセル	
1 0 6	単結晶半導体層	10
1 0 7	第1不純物半導体層	
1 0 8	第2不純物半導体層	
1 0 9	非単結晶半導体層	
1 1 0	第3不純物半導体層	
1 1 1	第4不純物半導体層	
1 1 2	第2電極	
1 1 3	第1補助電極	
1 1 4	第2補助電極	
1 1 5	半導体基板	
1 1 6	保護膜	20
1 1 7	損傷層	
1 1 8	バリア層	
1 1 9	反射防止膜	
1 2 0	絶縁層	
1 2 1	第1裏面電極	
1 2 2	第2裏面電極	
1 2 3	充電制御回路	
1 2 4	蓄電池	
1 2 5	負荷	
2 0 0	イオン源	30
2 0 1	フィラメント	
2 0 2	フィラメント電源	
2 0 3	電源制御部	
2 0 4	ガス供給部	
2 0 5	引出し電極系	
2 0 6	載置台	
2 0 7	質量分析管	
2 0 8	質量分析計	
2 1 0	レーザ発振器	
2 1 1	光学系	40
2 1 2	ガス噴射筒	
2 1 3	ガス供給部	
2 1 4	流量制御部	
2 1 5	ガス加熱部	
2 1 6	ガス供給部	
2 1 7	シリンドリカルレンズアレイ	
2 1 8	シリンドリカルレンズ	
2 1 9	ミラー	
2 2 0	ダブルレットシリンドリカルレンズ	
2 2 1	光導入窓	50

- 2 2 2 基板ステージ  
 2 2 3 ガイドレール  
 2 2 4 スライダ

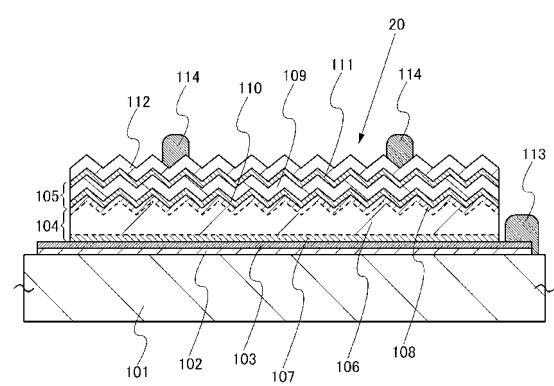
【図 1】



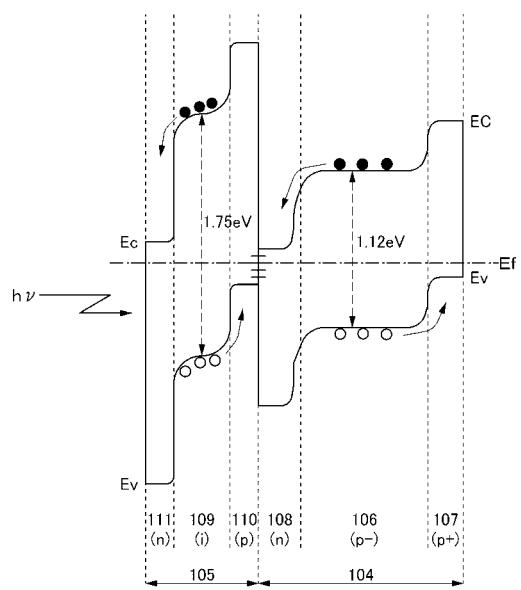
【図 2】



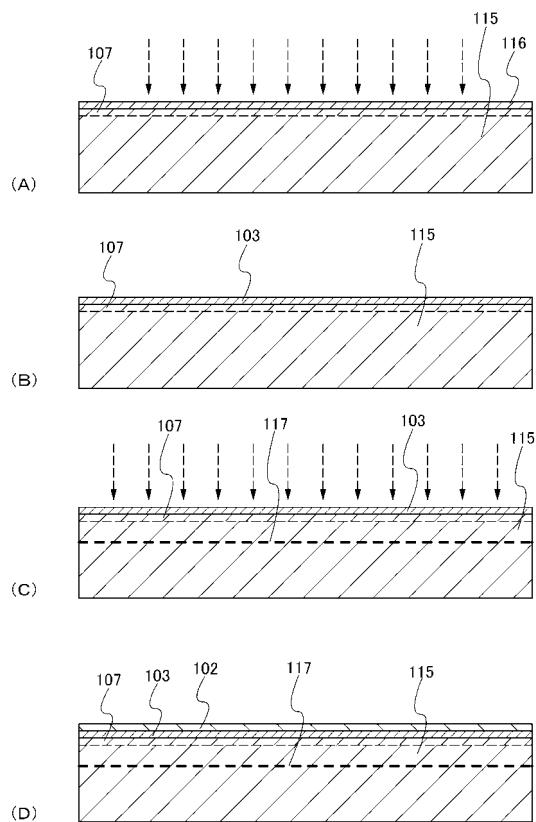
【図 3】



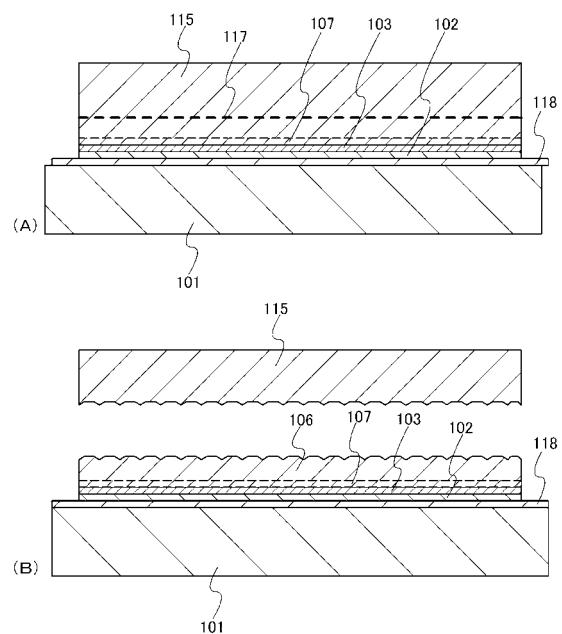
【図4】



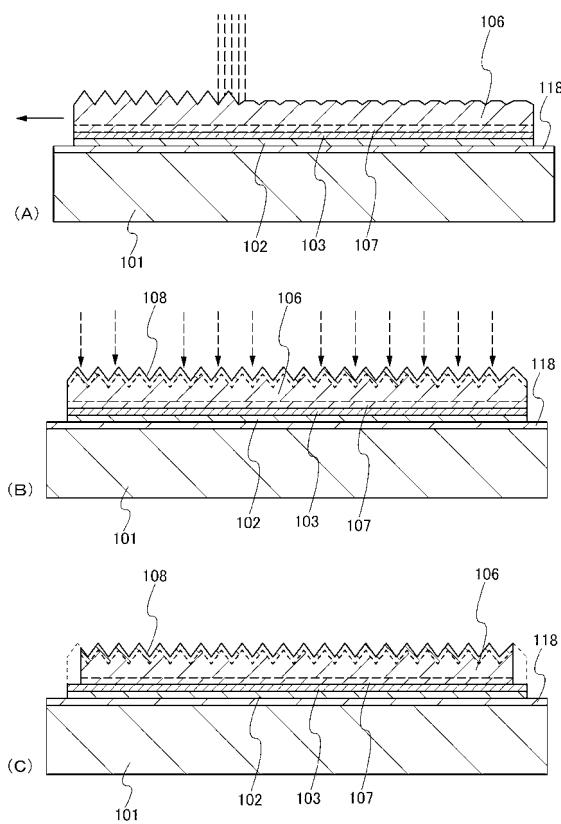
【図5】



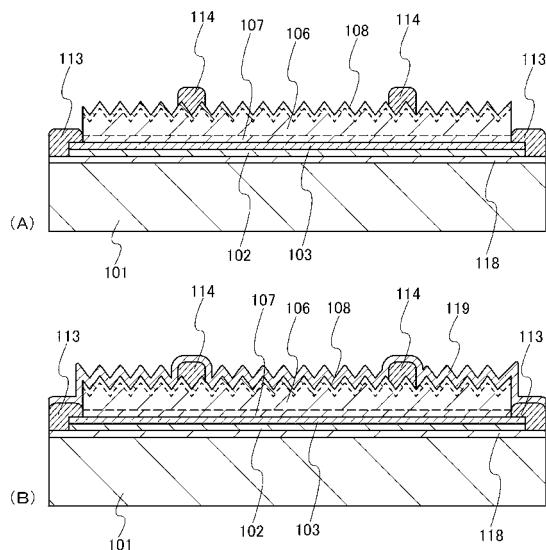
【図6】



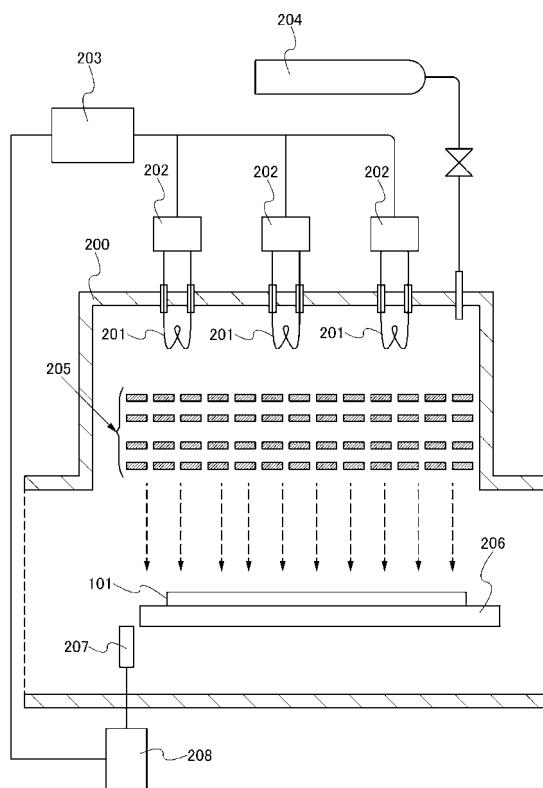
【図7】



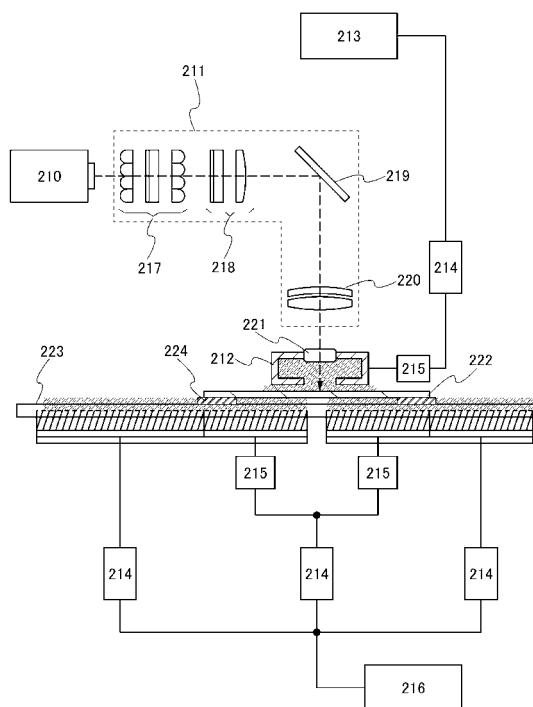
【図8】



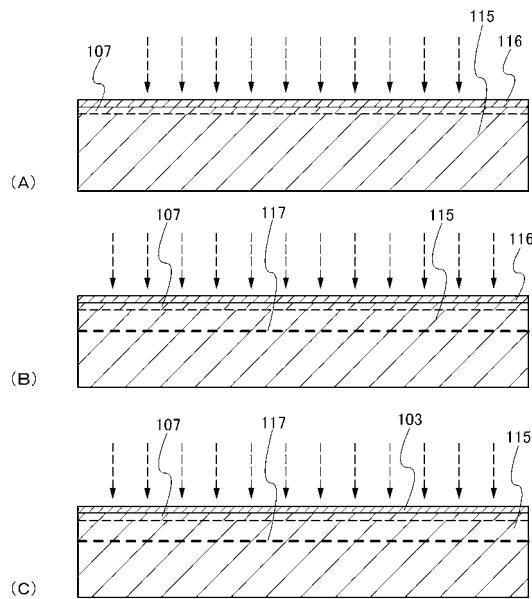
【図9】



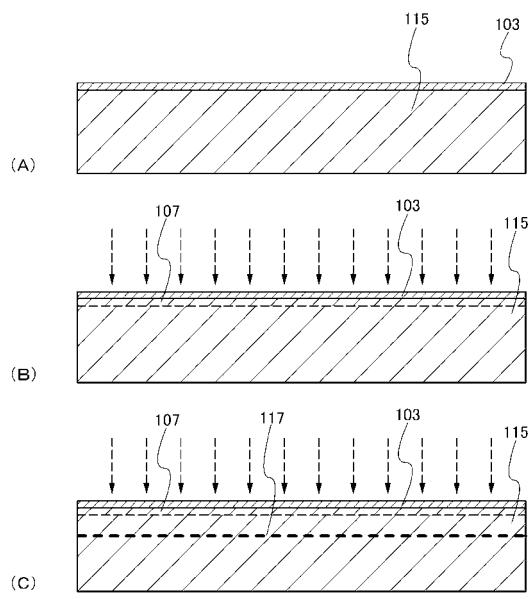
【図10】



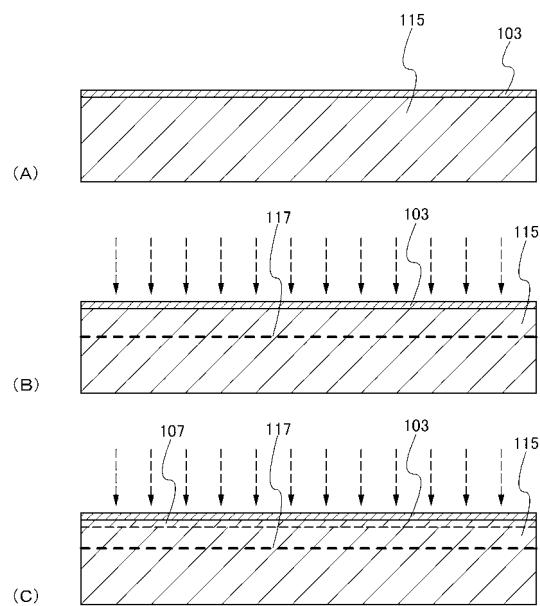
【図11】



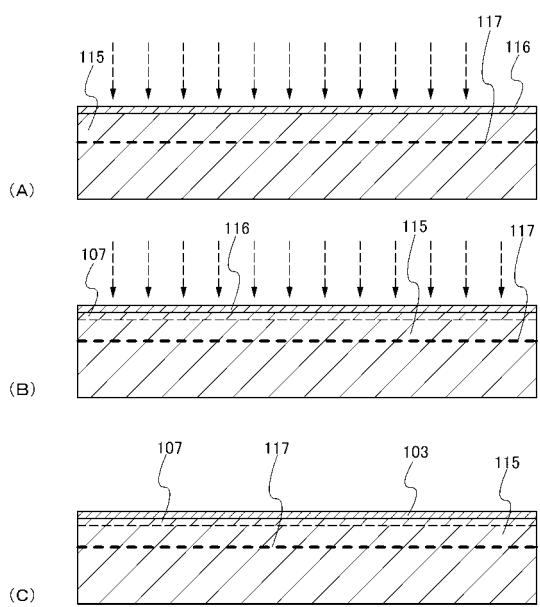
【図12】



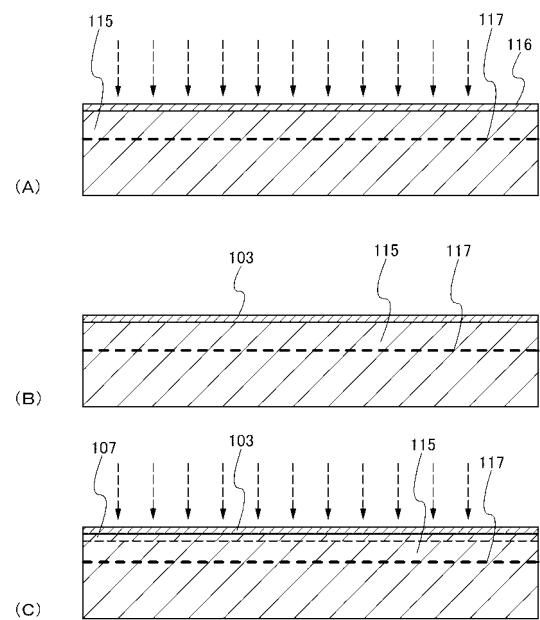
【図13】



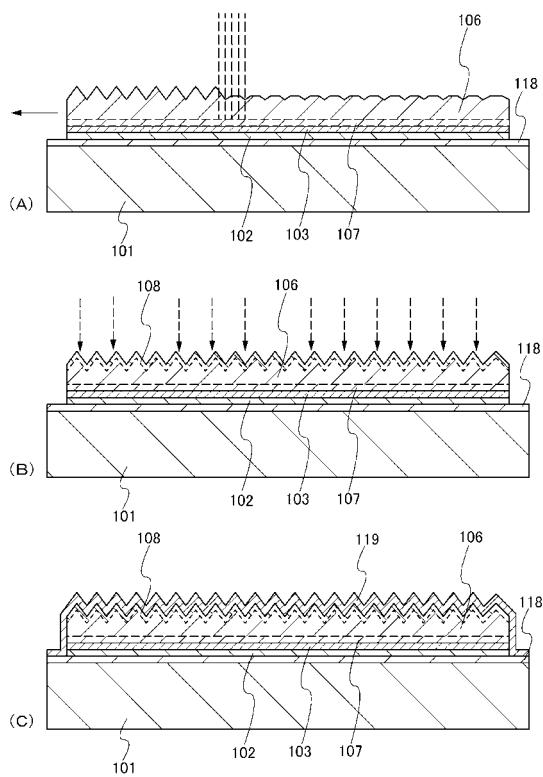
【図14】



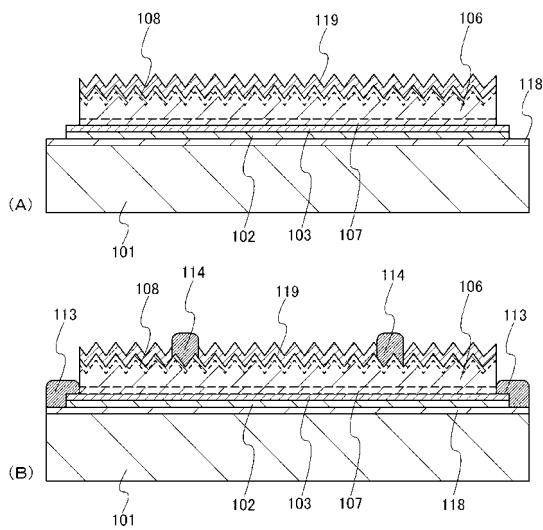
【図15】



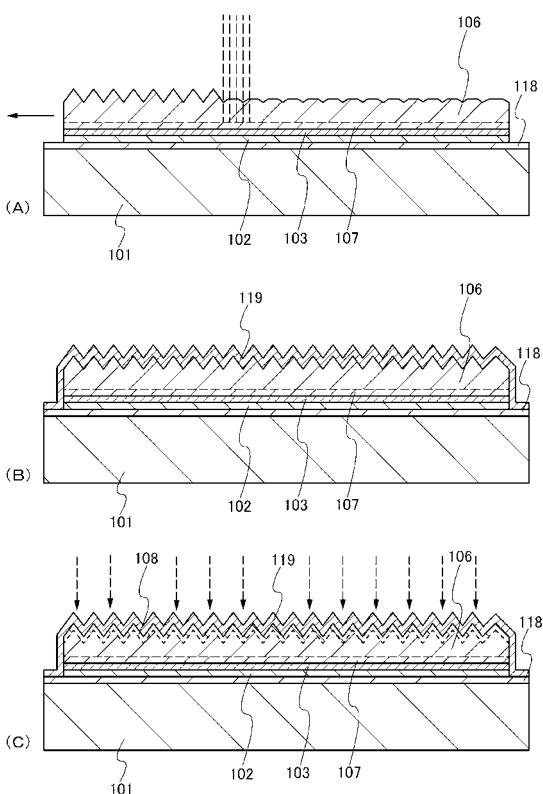
【図16】



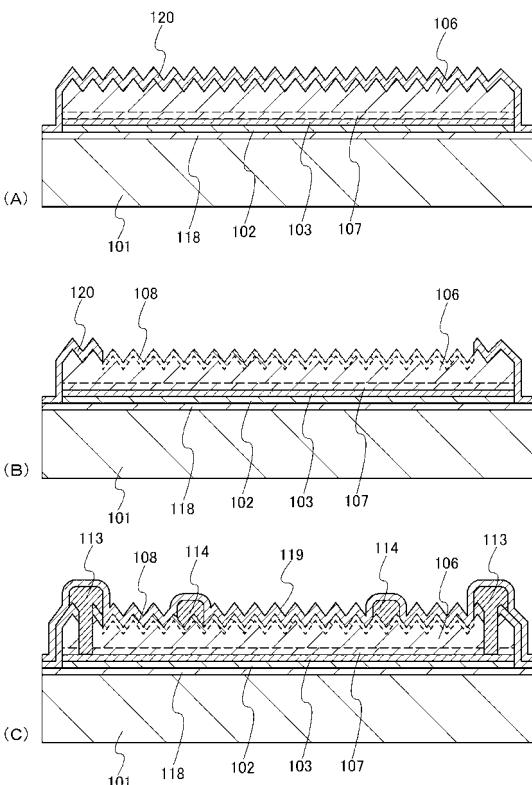
【図17】



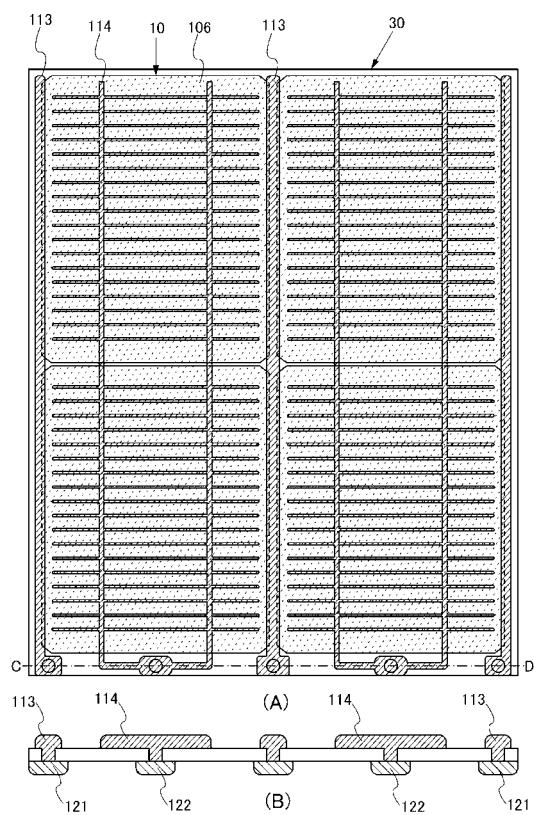
【図18】



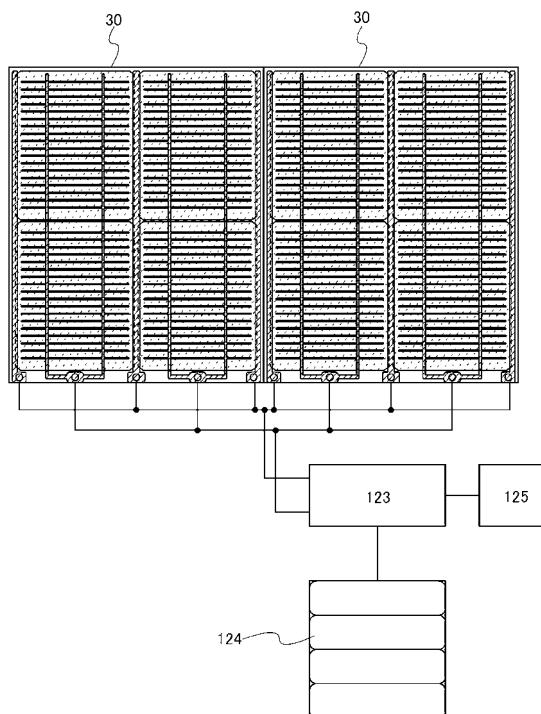
【図19】



【図20】



【図21】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平10-335683(JP,A)  
特開平10-093122(JP,A)  
特開2000-150940(JP,A)  
特開2001-127313(JP,A)  
特開2001-168363(JP,A)  
特開昭61-228679(JP,A)  
特開平08-255762(JP,A)  
特開2002-231628(JP,A)  
特開2001-077044(JP,A)  
特開2004-296650(JP,A)  
特開2000-357808(JP,A)  
特開平05-129639(JP,A)  
特開2003-258285(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 31/04 - 31/078