

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-135464

(P2009-135464A)

(43) 公開日 平成21年6月18日(2009.6.18)

(51) Int.Cl.
H01L 31/04 (2006.01)F I
H01L 31/04テーマコード (参考)
5F051

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2008-277605 (P2008-277605)
 (22) 出願日 平成20年10月29日 (2008.10.29)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-285252 (P2007-285252)
 (32) 優先日 平成19年11月1日 (2007.11.1)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-285253 (P2007-285253)
 (32) 優先日 平成19年11月1日 (2007.11.1)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 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 山崎 舜平
 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
 (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
 Fターム(参考) 5F051 AA02 CB19 CB25 DA03 FA06
 FA10 GA04 GA20

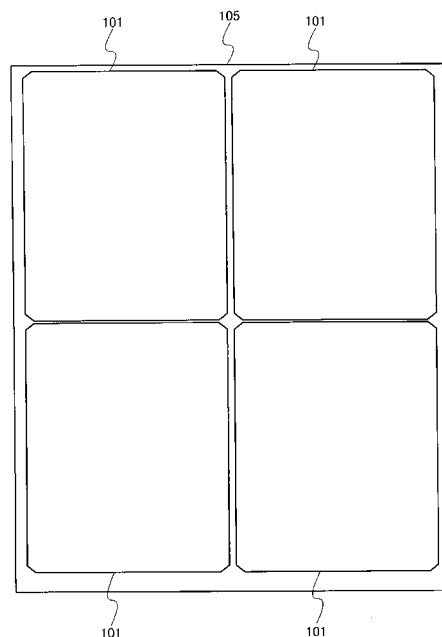
(54) 【発明の名称】 光電変換装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】シリコン半導体材料を有効に利用して、光電変換特性の優れた光電変換装置の製造方法を提供する。

【解決手段】太陽電池を用いた光電変換装置の製造方法に関し、絶縁表面を有する支持基板に、所定の深さに損傷層が形成された複数の単結晶半導体基板を配列し、損傷層を境界として単結晶半導体基板の表層部を薄く分離することにより支持基板の一面に単結晶半導体層を形成し、単結晶半導体層の分離により露出した面側からレーザービームを照射して、単結晶半導体層の表面を平坦化する。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水素のクラスターイオンを 70% 以上含むイオンビームを単結晶半導体基板に照射して、前記単結晶半導体基板の表面から所定の深さに損傷層を形成し、

前記単結晶半導体基板の前記イオンビームの照射面側に少なくとも一導電型の第 1 不純物半導体層と、前記第 1 不純物半導体層に接する第 1 電極と、前記第 1 電極上に接合層と、を形成し、

絶縁表面を有する支持基板の一面に、複数の前記単結晶半導体基板を、前記接合層を密接させて配列し、

加熱処理を行うことにより、前記支持基板上に単結晶半導体層を残存させたまま、前記損傷層を境界として前記単結晶半導体基板の一部を分離し、

前記単結晶半導体層の、前記単結晶半導体基板の一部の分離により露出した面側に、前記一導電型とは逆の導電型の第 2 不純物半導体層を形成し、

前記第 2 不純物半導体層側から前記単結晶半導体層にレーザビームを照射して、前記単結晶半導体層の表面を平坦化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】

請求項 1 において、

前記単結晶半導体層にレーザビームを照射した後に、前記単結晶半導体層の一部を除去して前記第 1 電極を露出させ、

前記第 1 電極に接する補助電極と、前記第 2 不純物半導体層上に第 2 電極と、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 3】

水素のクラスターイオンを 70% 以上含むイオンビームを単結晶半導体基板に照射して、前記単結晶半導体基板の表面から所定の深さに損傷層を形成し、

前記単結晶半導体基板の前記イオンビームの照射面側に少なくとも一導電型の第 1 不純物半導体層と、前記第 1 不純物半導体層に接する第 1 電極と、前記第 1 電極上に接合層と、を形成し、

絶縁表面を有する支持基板の一面に、複数の前記単結晶半導体基板を、前記接合層を密接させて配列し、

加熱処理を行うことにより、前記支持基板上に単結晶半導体層を残存させたまま、前記損傷層を境界として前記単結晶半導体基板の一部を分離し、

前記単結晶半導体層の、前記単結晶半導体基板の一部の分離により露出した面側から前記単結晶半導体層にレーザビームを照射して、前記単結晶半導体層の表面を平坦化し、

前記レーザビームを照射した面側に、前記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 3 において、

前記第 2 不純物半導体層を形成した後に、前記単結晶半導体層の一部を除去して前記第 1 電極を露出させ、

前記第 1 電極に接する補助電極と、前記第 2 不純物半導体層上に第 2 電極と、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 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項において、

前記単結晶半導体層の前記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 乃至請求項 5 のいずれか一項において、

前記水素のクラスターイオンは、水素イオンであって質量が水素分子よりも重いクラスターイオン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 7】

10

20

30

40

50

請求項 1 乃至請求項 6 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 8】

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項において、
前記レーザビームの照射は、窒素雰囲気中で行われることを特徴とする光電変換装置の製造方法。

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一項において、
前記損傷層を、前記単結晶半導体基板の表面から $10\mu m$ 未満の深さに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 10】

請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか一項において、
前記支持基板は、一辺が $500mm$ 以上の四辺形のガラス基板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 11】

請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか一項において、
前記単結晶半導体基板の直径が $300mm$ 以上であ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】

20

【0001】

本発明は、半導体層を用いた光電変換装置の製造方法に関する。特に、単結晶半導体層を用いた光電変換装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

地球温暖化防止対策として、世界各国で太陽光発電の普及が進んでいる。例えば、2005 年における太陽電池の全世界生産量は $1759MW$ であり、前年度に比べて 147% 増加している。普及が進んでいる太陽電池としては結晶系太陽電池があり、単結晶シリコンを用いた太陽電池又は多結晶シリコンを用いた太陽電池が生産量の大部分を占めている。これらの太陽電池は、大型のシリコンインゴットを輪切りにして製造されるシリコンウエハを基体として用いている。

30

【0003】

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 $10\mu m$ 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 $200\mu m$ から $300\mu m$ 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のである。

【0004】

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。2007 年の多結晶シリコンの生産量は約 36000 トンが見込まれているのに対し、半導体 (LSI) 向けに 25000 トン以上、太陽電池用に 20000 トン以上が必要とされ、約 10000 トンの供給不足になると見込まれている。そして、このような供給不足は今後も続くものと予想されている。

40

【0005】

尤も、このような状況を予想して、これまで結晶系薄膜シリコン太陽電池の開発が進められてきた。例えば、プラズマ CVD 法で、 $27MHz$ 以上の VHF 周波数を用い、これをさらにパルス変調して結晶性シリコン膜を基板上に堆積するシリコン薄膜太陽電池の製造方法が開示されている (特許文献 1 参照)。また、テクスチャー電極と呼ばれる微細な

50

凹凸形状を持った特殊な電極の上に、多結晶シリコン薄膜をプラズマCVD法で成膜するときに、結晶粒と結晶粒界へのドーパントの添加を最適化するために、プラズマ処理条件を制御する技術が開示されている（特許文献2参照）。

【特許文献1】特開2005-50905号公報

【特許文献2】特開2004-14958号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、結晶系薄膜シリコン太陽電池は単結晶シリコン太陽電池に比べて結晶の質が悪く、光電変換特性が依然劣っている。また、結晶性シリコン膜を化学気相成長法によって、1 μ m以上の厚さで堆積する必要がある生産性が悪いといった問題がある。また、成膜に必要なガスの収率が悪く、経済的にも十分なメリットを見いだせないでいる。

10

【0007】

すなわち、結晶系薄膜シリコン太陽電池では、プラズマCVD法などの成膜技術によって光電変換層を形成するが、成膜速度を高めるために半導体材料ガスを多量に流す必要があり、生産性が悪いといった問題がある。一方、シリコンウエハの需要はひっ迫しており、供給が需要に追いつかないといった問題がある。

【0008】

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、光電変換特性の優れた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。

20

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、太陽電池を用いた光電変換装置の製造方法に関し、絶縁表面を有する支持基板に、所定の深さに損傷層が形成された複数の単結晶半導体基板を配列し、損傷層を境界として単結晶半導体基板の表層部を薄く分離することにより支持基板の一面に単結晶半導体層を形成し、単結晶半導体層の分離により露出した面側からレーザビームを照射して、少なくともレーザビームの照射領域の表層を溶融させ、再単結晶化させることを要旨とする。

【0010】

本発明に係る光電変換装置の製造方法の一は、水素イオンであって質量が水素分子よりも重いクラスターイオンを70%以上含むイオンビームを単結晶半導体基板に照射して、単結晶半導体基板の表面から所定の深さに損傷層を形成し、単結晶半導体基板のイオンビームの照射面側に、少なくとも一導電型の第1不純物半導体層、第1不純物半導体層に接する第1電極、及び第1電極上の接合層を形成する。絶縁表面を有する支持基板の一面に、複数の単結晶半導体基板を、接合層を密接させて配列し、加熱処理を行うことにより、支持基板上に単結晶半導体層を残存させたまま、損傷層を境界として単結晶半導体基板の一部を分離して除去する。単結晶半導体基板の一部の分離により露出した面側に、一導電型とは逆の導電型の第2不純物半導体層を形成し、第2不純物半導体層側から単結晶半導体層に窒素雰囲気中でレーザビームを照射して、第2不純物半導体層の表面を処理するものが含まれる。

30

40

【0011】

本発明に係る光電変換装置の製造方法の一は、水素イオンであって質量が水素分子よりも重いクラスターイオンを70%以上含むイオンビームを単結晶半導体基板に照射して、単結晶半導体基板の表面から所定の深さに損傷層を形成し、単結晶半導体基板のイオンビームの照射面側に、少なくとも一導電型の第1不純物半導体層、第1不純物半導体層に接する第1電極、及び第1電極上の接合層を形成する。絶縁表面を有する支持基板の一面に、複数の単結晶半導体基板を、接合層を密接させて配列し、加熱処理を行うことにより、支持基板上に単結晶半導体層を残存させたまま、損傷層を境界として単結晶半導体基板の一部を分離して除去する。単結晶半導体層の一部の分離により露出した面側から単結晶半導体層に窒素雰囲気中で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

50

後レーザービームを照射した面側に、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ものが含まれる。

【0012】

ここで、単結晶とは、結晶面、結晶軸が揃っている結晶であり、それを構成している原子又は分子が空間的に規則正しい配列になっているものをいう。もっとも、単結晶は原子が規則正しく配列することによって構成されるものであるが、一部にこの配列の乱れがある格子欠陥を含むもの、意図的又は非意図的に格子歪みを有するものも含まれる。

【発明の効果】

【0013】

単結晶半導体基板の一部を分離することにより露出した面にレーザービームを照射して、少なくともその照射領域の表層を溶融させ、再単結晶化させることにより、単結晶半導体層の表面を平坦化することができる。また、レーザー処理により単結晶半導体層に残留する結晶欠陥の修復を行うことができる。単結晶半導体基板の一部の分離により支持基板上に残存した単結晶半導体層を光電変換層として用いることにより、光電変換特性の優れた光電変換装置を製造することができる。

10

【0014】

さらに、レーザービームを照射して、単結晶半導体層の表面を処理し、その後不純物半導体層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製造することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

本発明の実施形態について、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。

【0016】

(単結晶半導体基板の加工1)

本発明に係る光電変換装置は、光エネルギーを吸収して光励起キャリアを生成する半導体層、すなわち光電変換層を単結晶半導体、代表的には単結晶シリコンで形成する。この光電変換層は、インゴット又はウエハ状の単結晶半導体基体の表層部を分離して絶縁表面を有する基板上に固定したものから形成される。

30

【0017】

図1は、あるサイズの円形の単結晶半導体基板から、光電変換層を形成するために、所定の外形寸法の転置用半導体基板を切り出す態様を示す。単結晶半導体基板100の代表例は単結晶シリコンウエハであり、その他多結晶シリコンウエハも適用可能である。転置用半導体基板101は、各頂点が単結晶半導体基板100の円周に内接する正方形とすることで面積を最大にすることができるが、必ずしも正方形とする必要はない。例えば、光電変換装置を用いた太陽光発電モジュールを製造する場合、転置用半導体基板101は、モジュールのサイズに合わせて受光面積が最大になる形状とすれば良い。なお、シリコンウエハのサイズは直径300mm以上が好ましく、例えば、直径400mm若しくは直径450mmのシリコンウエハ(18インチシリコンウエハ)を適用することが好ましい。太陽光発電モジュールを製造する場合、複数のユニットセルを配列させた時に生じる隙間(非発電領域)の面積を縮小できるからである。

40

【0018】

図2は、円形の単結晶半導体基板から切り出した転置用半導体基板の態様を示す。図1で示すように、転置用半導体基板101を、頂点が単結晶半導体基板100の円周に内接する四辺形とし、切断線102と切断線103に沿って切り出した場合、図2に丸点線で示す角部104の頂点の角度が略90度となる。これは、転置用半導体基板101を単結

50

晶半導体基板 100 の外周内側から切り出す場合にも同様である。

【0019】

この場合、角部 104 が鋭端にならないように曲面加工することが好ましい。図 3 (A)、(B) は、転置用半導体基板の構成を示す。図 3 (A) は角部 104 の拡大図であり、このように曲面加工することで転置用半導体基板 101 の破損を防止することができる。また、図 3 (B) に示すように、転置用半導体基板 101 の周辺端部の稜角を削る面取加工を施して、断面形状を曲面形状又は多段角形状にすることが好ましい。これにより、基板の破損が防止されシリコン資源の無駄使いを減らすことができる。なお、切り出した後の端材は、溶融して再生することができる。

【0020】

(単結晶半導体基板の加工 2)

図 4 は、あるサイズの円形の単結晶半導体基板から、光電変換層を形成するために、所定の外形寸法の転置用半導体基板を切り出す態様として、図 1 とは異なるものを示す。単結晶半導体基板 100 の代表例は単結晶シリコンウエハであり、その他多結晶シリコンウエハも適用可能である。転置用半導体基板 101 は、各頂点が単結晶半導体基板 100 の円周に内接する正方形とすることで面積を最大にすることができるが、必ずしも正方形とする必要はないのは図 1 の場合と同様である。

【0021】

図 4 で示すように、転置用半導体基板 101 を、円周に内接する矩形領域 126 よりも対辺の間隔が長くなるように切り出す。すなわち、切断線 102 と切断線 103 に沿って切断することにより、矩形の転置用半導体基板 101 の頂点が 90 度とならないように切り出すことができる。このように加工することで、図 5 で示すように、転置用半導体基板 101 において、表示パネルの製造に必要な面積を確保しつつ、角部が 90 度や鋭角とならない基板を作製することができる。転置用半導体基板 101 の角部が直角とならないことで、基板をハンドリングする際に破損することを防止できる。また、図 3 (B) で説明したように、転置用半導体基板 101 の周辺端部の稜角を削る面取加工を施して、断面形状を曲面形状又は多段角形状にすることが好ましい。これにより、基板の破損が防止されシリコン資源の無駄使いを減らすことができる。なお、切り出した後の端材は、溶融して再生することができる。

【0022】

(単結晶半導体層の配列)

図 6 は、転置用半導体基板 101 を支持基板 105 に貼り合わせるときの配置について、その一例を示している。

【0023】

支持基板 105 は、ガラス基板、セラミックス基板などの耐熱性絶縁基板を用いることが好ましい。例えば、支持基板 105 としてガラス基板を用いる場合には、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を用いる。ガラス基板としては、液晶パネルなどの用途に適用されるガラス基板を転用することができる。支持基板 105 は、一辺が 500 mm 以上の四辺形のガラス基板を用いることができる。例えば、第 3 . 5 世代 (600 mm × 720 mm、又は 620 mm × 750 mm)、第 4 世代 (680 mm × 880 mm、又は 730 mm × 920 mm) のガラス基板を用いる。さらに、第 6 世代 (1500 mm × 1850 mm)、第 7 世代 (1870 mm × 2200 mm)、第 8 世代 (2200 mm × 2400 mm) といわれる大面積のマザーガラス基板を用いることも可能である。

【0024】

大面積のガラス基板を支持基板 105 として用いることで、光電変換装置を用いた太陽光発電モジュールの大面積化が可能となり、生産性を向上させることができる。例えば、600 mm × 720 mm のガラス基板を支持基板 105 とした場合には、直径 450 mm のシリコンウエハを使うことにより、280 mm × 350 mm の転置用半導体基板 101 を 4 枚貼り合わせることができる。円形のシリコンウエハから前記した寸法の矩形の転置

10

20

30

40

50

用半導体基板 101 を切り出すことにより、シリコンウエハの端材は残るが、矩形のガラス基板に密に転置用半導体基板 101 を配置させることが可能となる。また、730 mm × 920 mm のガラス基板を用いた支持基板 105 の場合には、335 mm × 300 mm の転置用半導体基板 101 を 6 枚貼り合わせることができる。

【0025】

転置用半導体基板 101 には表面から 10 μm 未満の領域、すなわち 50 nm 以上 10000 nm 未満、好ましくは 100 nm から 5000 nm の深さに損傷層が形成されている。この損傷層を境界として転置用半導体基板 101 から単結晶半導体層を分離して、支持基板 105 上に単結晶半導体層を形成する。転置用半導体基板 101 をから剥離した単結晶半導体層を用いて光電変換装置を製造する工程の詳細は、以下に示す実施形態によって明らかにされる。

10

【0026】

(実施形態 1)

本形態では、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基板上に単結晶半導体層を転置することによって、太陽電池を用いた光電変換装置を製造する方法について図面を参照して説明する。

【0027】

図 7 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 105 上に貼り付けられた単結晶半導体層 112 に光が入射することで発電をする。単結晶半導体層 112 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 112 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 112 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。

20

【0028】

図 7 の例では、単結晶半導体層 112 の表面側に、網状の第 2 電極 115 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。補助電極 114 は裏面側に設けられる第 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 105 に単結晶半導体層 112 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 105 の同じ面側に設けられる構成が主として採用される。

30

【0029】

次に、図 7 の A - B 切断線に対応する断面図を参照しながらこの光電変換装置 10 の製造工程について説明する。

【0030】

図 8 (A) に示す転置用半導体基板 101 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。転置用半導体基板 101 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 106 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。転置用半導体基板 101 に第 1 不純物半導体層を形成する際、表面にイオンが照射されて平坦性が損なわれてしまうため、保護膜 106 を設けることが好ましい。保護膜 106 は 50 nm から 200 nm の厚さで設けることが好ましい。

40

【0031】

そして、転置用半導体基板 101 に一導電型の第 1 不純物半導体層 107 を形成する。例えば、一導電型を付与する不純物として硼素を添加して、第 1 不純物半導体層 107 として p 型の半導体層を形成する。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、 B_2H_6 、 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。保護膜 106 を通してイオンを第 1 不純物半導体層 107 に添加することにより、イオンの照射による表面の損傷を防止することができる。

50

。

【0032】

図8(B)は、保護膜106を除去して、第1不純物半導体層107上に第1電極108を形成している。第1電極108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。また、これらの金属材料の窒化物を第1不純物半導体層107に接して形成して、第1電極108を金属材料の窒化物で形成した層と耐熱性金属で形成した層との二層構造としても良い。金属材料の窒化物で形成した層を設けることで、第1電極108と第1不純物半導体層107との密着性を向上させることができる。第1電極108は真空蒸着法又はスパッタリング法で形成する。

10

【0033】

図8(C)は、第1電極108が形成された面から、水素イオンを含むイオンビームを転置用半導体基板101に照射して、損傷層109を形成する段階を示している。水素イオン、好ましくは H_3^+ に代表されるような、質量が水素分子よりも重い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109を形成する。損傷層109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109の深さにより転置用半導体基板101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決められる。損傷層109は、転置用半導体基板101の表面から10 μm 未満の深さ、すなわち50nm以上10000nm未満、好ましくは100nmから5000nmの深さに形成することが好ましい。また、第1電極108を通してクラスターイオンを転置用半導体基板101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。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を打ち込んで損傷層109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。

20

【0034】

水素イオンであって H_3^+ に代表されるようなクラスターイオンは、水素プラズマを生成する。水素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転置用半導体基板101に照射するイオンドーピング装置を用いて、損傷層109を形成することができる。イオンドーピング装置を用いることにより、面積の大きい転置用半導体基板101であっても容易に損傷層109を形成することができる。

30

【0035】

図13は、イオン源200において生成された複数のイオンを、質量分離しないで転置用半導体基板101に照射するイオンドーピング装置の構成を説明する概略図である。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にはフィラメント201が備えられている。フィラメント電源202はフィラメント201へアーク放電電圧を印加し、フィラメント201に流れる電流を調節する。ガス供給部204から供給されたガスは、排気系209により排気される。

【0036】

イオン源200で生成されたイオンは、引出し電極系205によって引き出され、イオンビーム117を形成する。イオンビーム117は載置台206に置かれた転置用半導体基板101に照射される。イオンビーム117に含まれるイオンの割合は載置台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。

40

【0037】

図13で示すように、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、排気系209によって排出される構成となっている。

【0038】

このことは、質量分析管207を用いて載置台206に流れ込んでくるイオンビーム1

50

17の質量分析結果を見れば明らかであり、水素イオンである H^+ 、 H_2^+ 、 H_3^+ の総量に対して H_3^+ の割合は70%以上となっている。それにより、多量に生成されたクラスターイオンである H_3^+ を含むイオンビーム117を転置用半導体基板101に照射することで、 H^+ 、 H_2^+ を照射するよりも水素の添加効率が向上し、ドーズ量が少なくても水素を転置用半導体基板101に高濃度に含ませることができるという有意な効果を奏する。

【0039】

このように H_3^+ の割合を高めておくことで、損傷層109には $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の水素を含ませることが可能である。転置用半導体基板101に形成される損傷層109は結晶構造が失われ微小な空洞が形成され、多孔質構造となっている。そのため、比較的低温(600以下)の加熱処理によって損傷層109に形成された微小な空洞の体積変化が起こり、損傷層109に沿って分離した単結晶半導体層を得ることができる。

10

【0040】

なお、略四辺形で形成される転置用半導体基板101の一辺の長さよりも長い線状イオンビームを、転置用半導体基板101の表面に走査して照射して、転置用半導体基板101にクラスターイオンを打ち込むことによって、深さが均一な損傷層109を形成することができる。

【0041】

図8(D)は、第1電極108上に接着層110を形成する段階を示す。接着層110は、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化シリコン膜などの絶縁膜で形成する。接着層110は絶縁性の被膜を形成するものであれば、材料は限定されない。また、接着層110は平滑であり親水性の表面を有する膜で形成すれば良い。接着層110の平滑性でいえば、平均面粗さ(Ra)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。

20

【0042】

平滑であり親水性の表面を形成する絶縁膜としては、水素を含有する酸化シリコン膜、水素を含有する窒化シリコン膜、酸素と水素を含有する窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜等を適用することができる。

30

【0043】

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、ラザフォード後方散乱法(RBS: Rutherford Backscattering Spectrometry)及び水素前方散乱法(HFS: Hydrogen Forward Scattering)を用いて測定した場合に、濃度範囲として酸素が50~70原子%、窒素が0.5~15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をいう。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、RBS及びHFSを用いて測定した場合に、濃度範囲として酸素が5~30原子%、窒素が20~55原子%、シリコンが25~35原子%、水素が10~30原子%の範囲で含まれるものをいう。ただし、酸化窒化シリコンまたは窒化酸化シリコンを構成する原子の合計を100原子%としたとき、窒素、酸素、シリコン及び水素の含有比率が上記の範囲内に含まれるものとする。

40

【0044】

水素を含有する酸化シリコン膜としては、例えば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膜を用いることが好ましい。接着層110として、例えば有機シランを用いて形成された酸化シリコン膜を用いることによって、支持基板と転置した単結晶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 $Si(OC_2H_5)_4$)、テトラメチルシラン(

50

TMS：化学式 $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ ）、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（ $\text{SiH}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ ）、トリスジメチルアミノシラン（ $\text{SiH}(\text{N}(\text{CH}_3)_2)_3$ ）等のシリコン含有化合物を用いることができる。

【0045】

水素を含有する窒化シリコン膜は、シランガスとアンモニアガスを用いてプラズマ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いても良い。酸素と水素を含有する窒化シリコン膜は、シランガスとアンモニアガスと亜酸化窒素ガスを用いてプラズマ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、窒化酸化シリコンなどの絶縁膜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。接着層110は、単結晶半導体基板に形成した損傷層109から水素が脱離しない温度である350以下で形成することが推奨される。

10

【0046】

図9（A）は支持基板105と転置用半導体基板101とを接着する段階を示す。この接着は、平滑であり親水性の表面を有する接着層110が支持基板105に密着することにより成される。この接合には、水素結合やファン・デル・ワールス力が作用している。接着層110の表面が親水性を有すると、水酸基や水分子が接着剤として働き、後の加熱処理によって水分子が拡散し、残留成分によってシラノール基（ $\text{Si}-\text{OH}$ ）が形成され、シラノール基が作用して水素結合により接合を形成する。さらにこの水素結合による接合は、水素が抜けることでシロキサン結合（ $\text{O}-\text{Si}-\text{O}$ ）が形成されて共有結合になり、転置用半導体基板101と支持基板105の接合が強固なものとなる。なお、支持基板105の接着面にも、バリア層111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111を形成することで、支持基板105からの不純物汚染を防止することができる。

20

【0047】

また、支持基板105と接着層110との接着を良好に行うために、接着面を活性化しておくことは好ましい。例えば、接着面の一方又は双方に原子ビーム若しくはイオンビームを照射する。原子ビーム若しくはイオンビームを利用する場合には、アルゴン等の不活性ガス中性原子ビーム若しくは不活性ガスイオンビームを用いることができる。その他に、プラズマ照射若しくはラジカル処理を行うことで接着面を活性化することもできる。このような表面処理により、後の加熱処理の温度が400以下であっても異種材料間の接合を形成することが容易となる。

30

【0048】

図9（B）は、加熱処理により損傷層109を境界として転置用半導体基板101の表層部を分離して支持基板105に転置する段階を示す。加熱処理は接着層110の成膜温度以上、支持基板105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109に形成された微小な空洞の堆積変化が起こり、その領域に沿って分離する。接着層110は支持基板105と接着しているので、支持基板105には単結晶半導体層112と第1電極108が残存する。このとき、単結晶半導体層112の厚さは、損傷層の深さにほぼ対応し、50nm以上1000nm未満、好ましくは100nmから5000nmの厚さに形成される。

40

【0049】

以上の工程により、支持基板105上に接着層110により固定された単結晶半導体層112を設けることができる。単結晶半導体層112の分離された面は、平均面粗さ（Ra）が7nm～10nm、最大高低差（P-V）が300nm～400nmの値を有している。なお、ここでいう最大高低差とは、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

50

谷において最も標高の低いところと表現される。また、損傷層 109 を形成するために打ち込まれたイオンによって、単結晶半導体層 112 に結晶欠陥が形成されている。

【0050】

なお図 10 で示すように、単結晶半導体層 112 は、支持基板 105 上に複数個を一度に接着することができる。例えば、600 mm × 720 mm の支持基板 105 に、280 mm × 350 mm の転置用半導体基板 101 を 4 枚貼り合わせることができる。

【0051】

図 11 (A) は、単結晶半導体層 112 に第 1 不純物半導体層 107 とは逆の導電型を付与する不純物を添加して、第 2 不純物半導体層 113 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 113 として n 型の半導体層を形成する。

10

【0052】

なお、単結晶半導体層 112 の表面は損傷層 109 に最も近い領域、又は損傷層 109 の一部を含む領域であるので、後のレーザ処理の前に表層をエッチングにより除去しておくことが好ましい。エッチングとしてドライエッチング又はウエットエッチングを行えば良い。

【0053】

図 11 (B) は、単結晶半導体層 112 に残留する結晶欠陥の修復をするために、レーザ処理をする段階を示している。レーザビーム 118 を単結晶半導体層 112 に照射することで、単結晶半導体層 112 の少なくとも表面側 (単結晶半導体層 112 の表層) は溶融し、後の冷却過程で固相状態の下層部を種結晶として再単結晶化する。その過程で単結晶半導体層 112 の表面は平坦化されて単結晶半導体層 112 a を得ることができる。また、第 2 不純物半導体層 113 のレーザ処理によって、不純物元素が表面側に高濃度に分布した第 2 不純物半導体層 113 a を得ることができる。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、欠陥の修復をより効果的に行うことができる。レーザビーム 118 の照射により単結晶半導体層 112 の表面側は溶融するものの、支持基板 105 は殆ど加熱されない。ガラス基板のような耐熱性の低い基板を支持基板 105 として用いることが可能になる。また、第 1 電極 108 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 112 に悪影響を及ぼすことがない。第 1 電極 108 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。このレーザ処理は第 2 不純物半導体層 113 の活性化を兼ねている。

20

30

【0054】

このレーザ処理を行うためのレーザ処理装置の一例を、図 14 を参照して説明する。レーザ処理装置は、レーザ発振器 210、レーザ光を集光及び伸長して断面形状が細い線状のレーザビームを形成する光学系 211、レーザビームの照射領域の雰囲気制御するガス噴射筒 212、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 105 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 に浮遊用のガスを供給するガス供給部 216 を備えている。

40

【0055】

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 Ar F、Kr F 又は Xe Cl 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 1 MHz 以下、パルス幅 10 ns 以上 500 ns 以下のものが好ましい。例えば、繰り返し周波数 10 Hz ~ 300 Hz、パルス幅 25 ns 秒、波長 308 nm の Xe Cl エキシマレーザを用いる。

【0056】

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のレーザビームを形成する。線状レーザ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

50

イ 2 1 7、シリンドリカルレンズ 2 1 8、ミラー 2 1 9、ダブレットシリンドリカルレンズ 2 2 0 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 1 0 0 mm ~ 7 0 0 mm、短手方向は 1 0 0 ~ 5 0 0 μ m 程度の線状レーザビームを形成することが可能である。

【 0 0 5 7 】

線状に集光及び伸長されたレーザビームはガス噴射筒 2 1 2 の光導入窓 2 2 1 を通して支持基板 1 0 5 に照射される。ガス噴射筒 2 1 2 は支持基板 1 0 5 と近接して配置されている。ガス噴射筒 2 1 2 にはガス供給部 2 1 3 から窒素ガスが供給されている。窒素ガスはガス噴射筒 2 1 2 の支持基板 1 0 5 に面した開口部から噴射する。ガス噴射筒 2 1 2 の開口部は、光導入窓 2 2 1 から入射したレーザビームが支持基板 1 0 5 に照射されるように、線状のレーザビーム 1 1 8 の光軸に合わせて配置されている。ガス噴射筒 2 1 2 の開口部から噴射する窒素ガスにより、レーザビームの照射領域は窒素雰囲気となる。

10

【 0 0 5 8 】

ガス噴射筒 2 1 2 に供給する窒素ガスをガス加熱部 2 1 5 で 2 5 0 から 6 0 0 に加熱することにより、加熱された窒素ガスで支持基板 1 0 5 の、レーザビーム照射面の温度を制御することができる。照射領域を加熱しておくことで、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。

【 0 0 5 9 】

基板ステージ 2 2 2 には、ガス供給部 2 1 6 から空気又は窒素が流量制御部 2 1 4 を通して供給される。ガス供給部 2 1 6 から供給される気体は、基板ステージ 2 2 2 の主面から、支持基板 1 0 5 の下面を吹き付けるように噴出させて、支持基板 1 0 5 を浮遊させる。支持基板 1 0 5 は両端がガイドレール 2 2 3 上を動くスライダ 2 2 4 に載せられて搬送されるが、基板ステージ 2 2 2 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 1 0 5 の上面にガス噴射筒 2 1 2 から窒素ガスを噴出させ、その下面にもガスを吹き付けることにより、支持基板 1 0 5 の撓みを防ぐことができる。このような基板ステージ 2 2 2 の構成は、一辺が 5 0 0 mm を超え、厚さが 1 mm 以下のガラス基板を処理する場合に有効である。例えば、6 0 0 mm \times 7 2 0 mm ないし 7 3 0 mm \times 9 2 0 mm で厚さが 0 . 7 mm 以下のガラス基板を処理することができる。

20

【 0 0 6 0 】

基板ステージ 2 2 2 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 2 2 2 のレーザ照射部近傍では、ガス加熱部 2 1 5 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 1 0 5 を加熱することができる。

30

【 0 0 6 1 】

図 1 5 はこのようなレーザ処理装置によって、支持基板 1 0 5 上の単結晶半導体層 1 1 2 に対しレーザ処理をする態様を示している。複数の単結晶半導体層 1 1 2 が支持基板 1 0 5 上に接着されており、線状に集光および伸長されたレーザビーム 1 1 8 は、支持基板 1 0 5 が移動することにより全面に照射することができる。

【 0 0 6 2 】

図 1 1 (C) は、単結晶半導体層 1 1 2 a の端部をエッチングして第 1 電極 1 0 8 を露出させる段階を示している。エッチングは単結晶半導体層 1 1 2 a にマスクを形成し、N F₃、S F₆などのガスを用いてドライエッチングを行えば良い。

40

【 0 0 6 3 】

図 1 2 (A) は、第 1 電極 1 0 8 に接する補助電極 1 1 4 と、第 2 不純物半導体層 1 1 3 a 上の第 2 電極 1 1 5 を形成する段階を示している。補助電極 1 1 4 は図 1 1 (C) でエッチングにより露出した第 1 電極 1 0 8 に接触するように形成する。第 2 電極 1 1 5 は、図 7 の平面図で示すように櫛型又は格子状の電極である。補助電極 1 1 4 及び第 2 電極 1 1 5 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。

50

【 0 0 6 4 】

その後、図 1 2 (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 1 1 6 を形成する。反射防止膜 1 1 6 は、窒化シリコン膜で形成することが好ましく、窒化シリコン膜と窒化酸化シリコン膜との積層で形成しても良い。

【 0 0 6 5 】

このようにして図 7 で示す光電変換装置 1 0 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、7 0 0 以下（好適には 5 0 0 以下）のプロセス温度で 1 0 μ m 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 7 0 0 以下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部を分離することにより得られるが、単結晶半導体層の表層部を分離した後の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。

10

【 0 0 6 6 】

(実施形態 2)

本形態は、実施形態 1 と異なる製造工程を図 1 6 (A) ~ (C) に示す。図 1 6 (A) に示すように、転置用半導体基板 1 0 1 に保護膜 1 0 6 を形成し、保護膜 1 0 6 を通して一導電型を付与する不純物を添加して第 1 不純物半導体層 1 0 7 を形成した後、図 1 6 (B) に示すように、保護膜 1 0 6 をそのまま残して、水素のクラスターイオンを打ち込み損傷層 1 0 9 を形成する。その後、図 1 6 (C) に示すように、保護膜 1 0 6 を除去し、第 1 電極 1 0 8 を形成する。

20

【 0 0 6 7 】

このような工程とすることで、保護膜 1 0 6 をイオンドーピングにおける損傷防止層として有効に利用することができる。すなわち、イオンの照射で損傷を受けた保護膜 1 0 6 を、第 1 電極 1 0 8 の形成前に除去することで、転置用半導体基板 1 0 1 の表面の損傷を防止することができる。また、第 1 不純物半導体層 1 0 7 を通して水素のクラスターイオンを打ち込んで損傷層 1 0 9 を形成することにより、第 1 不純物半導体層 1 0 7 の水素化を兼ねることができる。

【 0 0 6 8 】

(実施形態 3)

本形態は、実施形態 1 と異なる製造工程を図 1 7 (A) ~ (C) に示す。図 1 7 (A) に示すように、転置用半導体基板 1 0 1 に第 1 電極 1 0 8 を形成し、図 1 7 (B) に示すように、第 1 電極 1 0 8 を通して一導電型を付与する不純物を添加して第 1 不純物半導体層 1 0 7 を形成する。そして、図 1 7 (C) に示すように、第 1 電極 1 0 8 と第 1 不純物半導体層 1 0 7 を通して水素のクラスターイオンを打ち込み損傷層 1 0 9 を形成する。

30

【 0 0 6 9 】

本工程では、第 1 電極 1 0 8 を通して第 1 不純物半導体層 1 0 7 を形成することにより、第 1 不純物半導体層 1 0 7 の厚さを制御することが容易となる。また、第 1 電極 1 0 8 を形成した後に、損傷層 1 0 9 を形成することにより、第 1 電極 1 0 8 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。これにより、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。さらに、第 1 不純物半導体層 1 0 7 を通して水素のクラスターイオンを打ち込んで損傷層 1 0 9 を形成することにより、第 1 不純物半導体層 1 0 7 の水素化を兼ねることができる。

40

【 0 0 7 0 】

(実施形態 4)

本形態は、実施形態 1 と異なる製造工程を図 1 8 (A) ~ (C) に示す。図 1 8 (A) に示すように、転置用半導体基板 1 0 1 に第 1 電極 1 0 8 を形成し、図 1 8 (B) に示すように、第 1 電極 1 0 8 を通して水素のクラスターイオンを打ち込み損傷層 1 0 9 を形成する。そして、図 1 8 (C) に示すように、第 1 電極 1 0 8 を通して一導電型を付与する不純物を添加して第 1 不純物半導体層 1 0 7 を形成する。

50

【0071】

本工程では、第1電極108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。また、第1電極108を形成した後に、損傷層109を形成することにより、第1電極108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。これにより、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。さらに、損傷層109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、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。これにより、裏面電界(BSF: Back Surface Field)効果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製造することができる。

10

【0072】

(実施形態5)

本形態は、実施形態1と異なる製造工程を図19(A)~(C)に示す。図19(A)に示すように、転置用半導体基板101に保護膜106を形成し、水素のクラスターイオンを打ち込み損傷層109を形成し、図19(B)に示すように、保護膜106をそのまま残して、一導電型を付与する不純物を添加して第1不純物半導体層107を形成する。そして、図19(C)に示すように、保護膜106を除去し、第1電極108を形成する。

【0073】

このような工程とすることで、保護膜106をイオンドーピングにおける損傷防止層として有効に利用することができる。すなわち、イオンの照射で損傷を受けた保護膜106を、第1電極108の形成前に除去することで、転置用半導体基板101の表面の損傷を防止することができる。また、損傷層109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、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。これにより、裏面電界(BSF: Back Surface Field)効果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製造することができる。

20

【0074】

(実施形態6)

本形態は、実施形態1と異なる製造工程を図20(A)~(C)に示す。図20(A)に示すように、転置用半導体基板101に保護膜106を形成し、保護膜106を通して水素のクラスターイオンを打ち込み損傷層109を形成し、図20(B)に示すように、保護膜106を除去し、第1電極108を形成する。そして、図20(C)に示すように、第1電極108を通して一導電型を付与する不純物を添加して第1不純物半導体層107を形成する。

30

【0075】

保護膜106をイオンドーピングにおける損傷防止層として有効に利用することができる。すなわち、イオンの照射で損傷を受けた保護膜106を、第1電極108の形成前に除去することで、転置用半導体基板101の表面の損傷を防止することができる。また、損傷層109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、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。これにより、裏面電界(BSF: Back Surface Field)効果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製造することができる。さらに、第1電極108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

【0076】

(実施形態7)

本形態は、実施形態1と異なる製造工程を図21(A)~(C)に示す。支持基板105上に単結晶半導体層112を接着し、第2不純物半導体層113を形成し、レーザ処理を行った後(図11(B))、図21(A)に示すように反射防止膜116を形成する。

50

その後、図 2 1 (B) で示すように、単結晶半導体層 1 1 2 a の端部をエッチングして第 1 電極 1 0 8 を露出させ、図 2 1 (C) で示すように第 2 電極 1 1 5 及び補助電極 1 1 4 を形成する。第 2 電極 1 1 5 は反射防止膜 1 1 6 上に形成されるが、絶縁破壊電圧を瞬間的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。

【 0 0 7 7 】

本形態は、実施形態 2 ~ 6 と自由に組み合わせることができる。

【 0 0 7 8 】

(実施形態 8)

本形態では、実施形態 1 と異なる製造方法を図 2 2 (A) ~ (C)、図 2 3 (A)、(B) に示す。支持基板 1 0 5 上に単結晶半導体層 1 1 2 を接着した後 (図 9 (B))、図 2 2 (A) で示すように、単結晶半導体層 1 1 2 に残留する結晶欠陥の修復をするために、レーザ処理を行う。レーザビーム 1 1 8 を単結晶半導体層 1 1 2 に照射することで、単結晶半導体層 1 1 2 の少なくとも表面側は溶融し、後の冷却過程で固相状態の下層部を種結晶として再単結晶化する。その過程で単結晶半導体層 1 1 2 の表面は平坦化されて単結晶半導体層 1 1 2 b を得ることができる。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、欠陥の修復をより効果的に行うことができる。レーザビーム 1 1 8 の照射により単結晶半導体層 1 1 2 の表面側は溶融するものの、支持基板 1 0 5 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基板を支持基板 1 0 5 として用いることが可能になる。また、第 1 電極 1 0 8 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 1 1 2 に悪影響を及ぼすことがない。第 1 電極 1 0 8 と第 1 不純物半導体層 1 0 7 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。

【 0 0 7 9 】

なお、単結晶半導体層 1 1 2 の表面は損傷層 1 0 9 に最も近い領域、又は損傷層 1 0 9 の一部を含む領域であるので、レーザ処理の前に表層をエッチングにより除去しておくことが好ましい。エッチングとしてドライエッチング又はウエットエッチングを行えば良い。

【 0 0 8 0 】

レーザ処理には、一例として図 1 4 に示すレーザ処理装置を用いることができる。また、このようなレーザ処理装置によって、図 1 5 に示すように、支持基板 1 0 5 上の単結晶半導体層 1 1 2 のレーザ処理を行うことができる。

【 0 0 8 1 】

その後、図 2 2 (B) で示すように、単結晶半導体層 1 1 2 b に第 1 不純物半導体層 1 0 7 とは逆の導電型を付与する不純物を添加して、第 2 不純物半導体層 1 1 3 b 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 1 1 3 b として n 型の半導体層を形成する。この場合、単結晶半導体層 1 1 2 b は、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、平坦化されているので、第 2 不純物半導体層 1 1 3 b の不純物濃度と、添加深さ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 1 1 2 の表面を処理し、その後不純物を添加して第 2 不純物半導体層 1 1 3 b を形成することにより、第 2 不純物半導体層 1 1 3 b に含まれる不純物の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。また、第 2 不純物半導体層 1 1 3 b の形成前にレーザ処理を行うことにより、レーザビームの照射による溶融領域を単結晶半導体層 1 1 2 の内部深く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。

【 0 0 8 2 】

図 2 2 (C) は、単結晶半導体層 1 1 2 b の端部をエッチングして第 1 電極 1 0 8 を露出させる段階を示している。エッチングは単結晶半導体層 1 1 2 b にマスクを形成し、N

10

20

30

40

50

F₃、SF₆などのガスを用いてドライエッチングを行えば良い。

【0083】

図23(A)は、第1電極108に接する補助電極114と、第2不純物半導体層113b上の第2電極115を形成する段階を示している。補助電極114は図11(C)でエッチングにより露出した第1電極108に接触するように形成する。第2電極115は、図7の平面図で示すように櫛型又は格子状の電極である。補助電極114及び第2電極115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。

【0084】

その後、図23(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116を形成する。反射防止膜116は、窒化シリコン膜で形成することが好ましく、窒化シリコン膜と窒化酸化シリコン膜との積層膜で形成しても良い。

【0085】

このようにして図7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10μm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以下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部を分離することにより得られるが、単結晶半導体層の表層部を分離した後の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。

【0086】

本形態は、実施形態2~6と自由に組み合わせることができる。

【0087】

(実施形態9)

本形態は、実施形態1と異なる製造工程を図24(A)~(C)、図25(A)、図25(B)に示す。支持基板105上に単結晶半導体層112を接着した後(図9(B))、図22(A)で説明したように、図24(A)で示すように、単結晶半導体層112に残留する結晶欠陥の修復をするためにレーザ処理を行う。

【0088】

その後、図22(B)で説明したように、図24(B)で示すように、単結晶半導体層112bに第1不純物半導体層107とは逆の導電型を付与する不純物を添加して、第2不純物半導体層113bを形成する。第2不純物半導体層113bの形成前にレーザ処理を行うことにより、レーザビームの照射による溶融領域を単結晶半導体層112の内部深く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。

【0089】

そして、図24(C)に示すように反射防止膜116を形成する。

【0090】

その後、図25(A)で示すように、単結晶半導体層112bの端部をエッチングして第1電極108を露出させ、図25(B)で示すように第2電極115及び補助電極114を形成する。第2電極115は反射防止膜116上に形成されるが、絶縁破壊電圧を瞬間的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。

【0091】

本形態によれば、単結晶半導体層112bに第2不純物半導体層113b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116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。

【0092】

本形態は、実施形態2~6と自由に組み合わせることができる。

【0093】

10

20

30

40

50

(実施形態 10)

本形態は、実施形態 1 と異なる製造工程を図 26 (A) ~ (C) に示す。支持基板 105 上に単結晶半導体層 112 を接着した後 (図 9 (B))、図 22 (A) で説明したように、図 26 (A) で示すように、単結晶半導体層 112 に残留する結晶欠陥の修復をするために、レーザ処理を行う。レーザビーム 118 を単結晶半導体層 112 に照射することで、単結晶半導体層 112 の少なくとも表面側は溶融し、後の冷却過程で固相状態の下層部を種結晶として再単結晶化する。その過程で単結晶半導体層 112 の表面は平坦化されて単結晶半導体層 112 b を得ることができる。

【0094】

その後、図 26 (B) で示すように反射防止膜 116 を形成する。

10

【0095】

そして、図 26 (C) で示すように、単結晶半導体層 112 b に第 1 不純物半導体層 107 とは逆の導電型を付与する不純物を添加して、第 2 不純物半導体層 113 b を形成する。本形態によれば、第 2 不純物半導体層 113 b の形成前にレーザ処理を行うことにより、レーザビームの照射による溶融領域を単結晶半導体層 112 の内部深く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。

【0096】

その後、図 25 (A) のように単結晶半導体層 112 b の端部をエッチングして第 1 電極 108 を露出させ、図 25 (B) で示すように第 2 電極 115 及び補助電極 114 を形成する。第 2 電極 115 は反射防止膜 116 上に形成されるが、絶縁破壊電圧を瞬間的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。

20

【0097】

本形態は、実施形態 2 ~ 6 と自由に組み合わせることができる。

【0098】

(実施形態 11)

本形態は、実施形態 1 と異なる製造工程を図 27 (A) ~ (C) に示す。支持基板 105 上に単結晶半導体層 112 を接着し (図 9 (B))、単結晶半導体層 112 に残留する結晶欠陥の修復をするために、レーザ処理を行った後 (図 22 (A))、図 27 (A) で示すように、単結晶半導体層 112 b に絶縁層 119 を形成する。

30

【0099】

そして、図 27 (B) で示すように、絶縁層 119 に開口部を形成して単結晶半導体層 112 b を露出させた後、第 1 不純物半導体層 107 とは逆の導電型を付与する不純物を添加して、その開口部に第 2 不純物半導体層 113 b を形成する。第 2 不純物半導体層 113 b の形成前にレーザ処理を行うことにより、レーザビーム 118 の照射による溶融領域を単結晶半導体層 112 の内部深く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。

【0100】

その後、図 27 (C) で示すように、絶縁層 119 と単結晶半導体層 112 b を貫通し第 1 電極 108 に達する開口部を形成し、補助電極 114 及び第 2 電極 115 を形成する。さらに反射防止膜 116 を形成する。本形態のように、単結晶半導体層 112 b の内側に開口部を形成して第 1 電極 108 と導通する補助電極 114 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

【0101】

本形態は、実施形態 2 ~ 6 と自由に組み合わせることができる。

【実施例 1】

【0102】

本実施例では、本発明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と、太陽光発電モジュールを用いた太陽光発電システムの一例について説明する。

【0103】

50

図 28 (A)、(B) に、太陽光発電モジュールの構成を示す。図 28 (A) の太陽光発電モジュール 12 は、支持基板 105 に接着された単結晶半導体層 112 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 112 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。

【0104】

補助電極 114 は単結晶半導体層 112 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 電極 115 は櫛形又は格子状の電極である。補助電極 114 と第 2 電極 115 は支持基板 105 の一面に形成され、支持基板 105 の端部領域でコネクタ用の第 1 裏面電極 120 と第 2 裏面電極 121 とそれぞれ接続する。図 28 (B) は、図 28 (A) の C - D 切断線に対応する断面図であり、支持基板 105 の貫通口を通して補助電極 114 と第 2 電極 115 が第 1 裏面電極 120 と第 2 裏面電極 121 にそれぞれ接続している。

【0105】

このように、支持基板 105 に単結晶半導体層 112 を接着して光電変換装置 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。

【0106】

図 29 に、太陽光発電モジュール 12 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 12 の出力電力は、充電制御回路 122 により蓄電池 123 を充電する。蓄電池 123 の充電量が多い場合には、負荷 124 に直接出力される場合もある。

【0107】

蓄電池 123 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 124 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】

【0108】

【図 1】円形の単結晶半導体基板から、所定の外形寸法の転置用半導体基板を切り出す態様を示す図。

【図 2】円形の単結晶半導体基板から切り出した転置用半導体基板の態様を示す図。

【図 3】転置用半導体基板の構成を示しており、角部の拡大図及び周辺端部の断面形状を説明する図。

【図 4】円形の単結晶半導体基板から、所定の外形寸法の転置用半導体基板を切り出す態様を示す図。

【図 5】円形の単結晶半導体基板から切り出した転置用半導体基板の態様を示す図。

【図 6】転置用半導体基板を支持基板に貼り合わせるときの配置を説明する平面図。

【図 7】光電変換装置の構成を示す平面図。

【図 8】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図 9】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。

【図 10】支持基板上の単結晶半導体層の配置を説明する平面図。

【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】イオンドーピング装置の構成を説明する概略図。

【図 14】レーザ処理装置の構成を説明する概念図。

【図 15】支持基板上の単結晶半導体層に対しレーザ処理をする態様を説明する平面図。

【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。

10

20

30

40

50

- 【図 2 0】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。
- 【図 2 1】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。
- 【図 2 2】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。
- 【図 2 3】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。
- 【図 2 4】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。
- 【図 2 5】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。
- 【図 2 6】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。
- 【図 2 7】光電変換装置の製造工程を説明する断面図。
- 【図 2 8】太陽光発電モジュールの構成を説明する平面図。
- 【図 2 9】太陽光発電システムの一例を説明する図。

10

【符号の説明】

【 0 1 0 9 】

- 1 0 光電変換装置
- 1 2 太陽光発電モジュール
- 1 0 0 単結晶半導体基板
- 1 0 1 転置用半導体基板
- 1 0 2 切断線
- 1 0 3 切断線
- 1 0 4 角部
- 1 0 5 支持基板
- 1 0 6 保護膜
- 1 0 7 第 1 不純物半導体層
- 1 0 8 第 1 電極
- 1 0 9 損傷層
- 1 1 0 接着層
- 1 1 1 バリア層
- 1 1 2 単結晶半導体層
- 1 1 2 a 単結晶半導体層
- 1 1 2 b 単結晶半導体層
- 1 1 3 第 2 不純物半導体層
- 1 1 3 a 第 2 不純物半導体層
- 1 1 3 b 第 2 不純物半導体層
- 1 1 4 補助電極
- 1 1 5 第 2 電極
- 1 1 6 反射防止膜
- 1 1 7 イオンビーム
- 1 1 8 レーザビーム
- 1 1 9 絶縁層
- 1 2 0 第 1 裏面電極
- 1 2 1 第 2 裏面電極
- 1 2 2 充電制御回路
- 1 2 3 蓄電池
- 1 2 4 負荷
- 1 2 6 矩形領域
- 2 0 0 イオン源
- 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

20

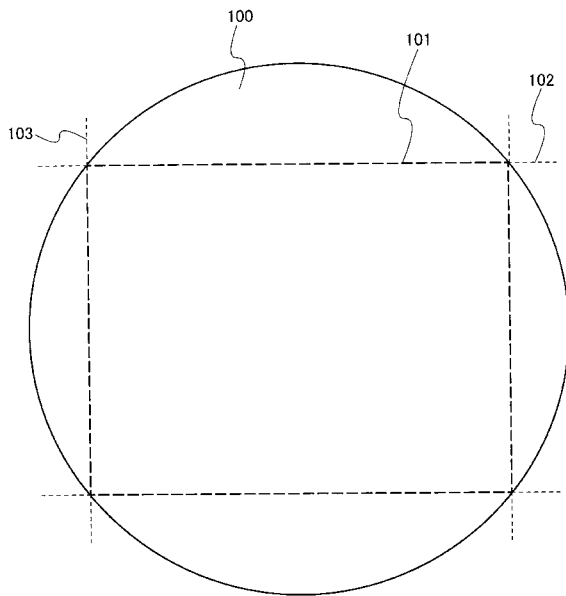
30

40

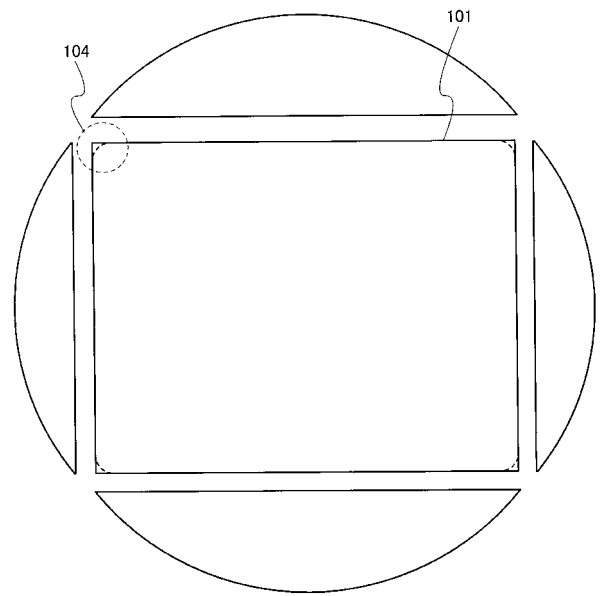
50

- 2 0 6 載置台
- 2 0 7 質量分析管
- 2 0 8 質量分析計
- 2 0 9 排気系
- 2 1 0 レーザ発振器
- 2 1 1 光学系
- 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
- 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

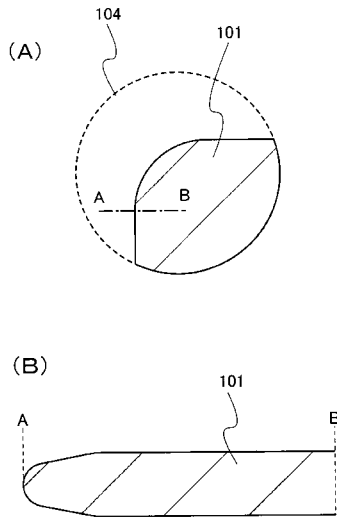
【 図 1 】



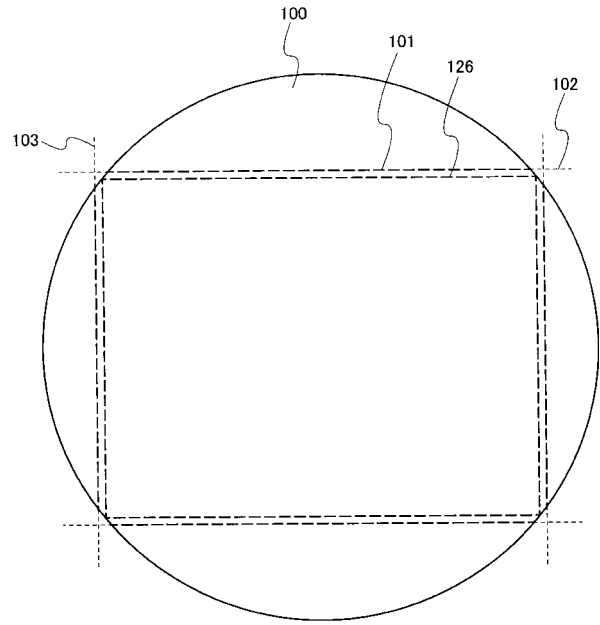
【 図 2 】



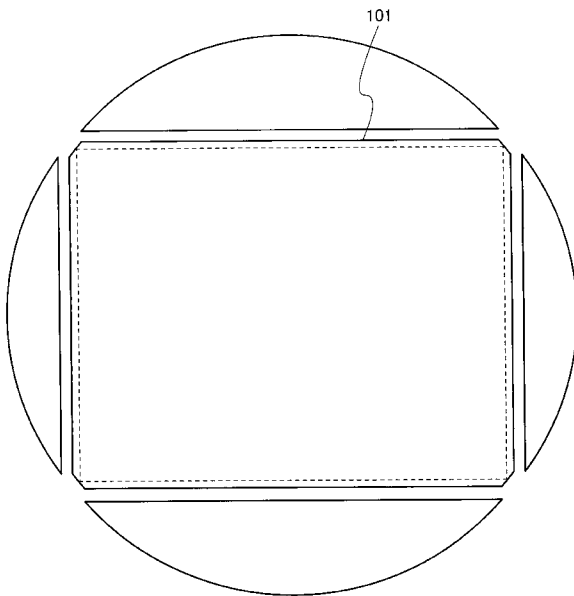
【図 3】



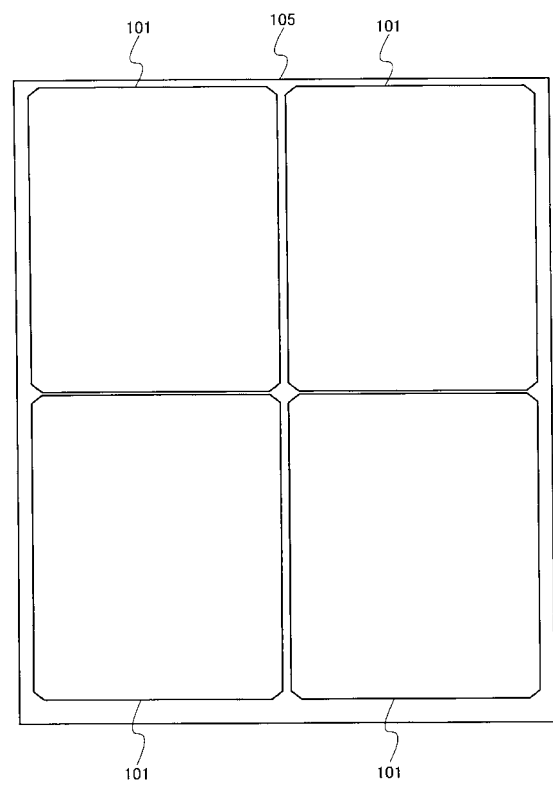
【図 4】



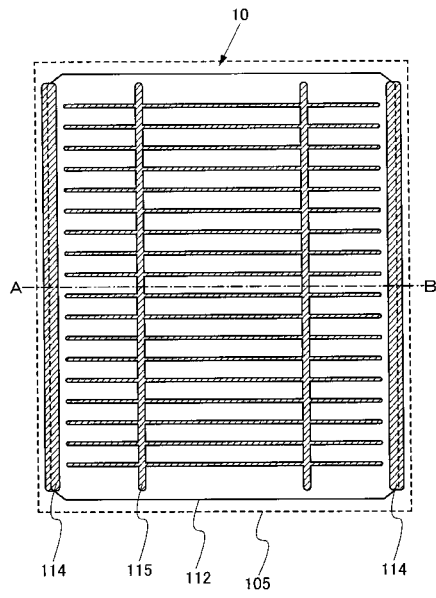
【図 5】



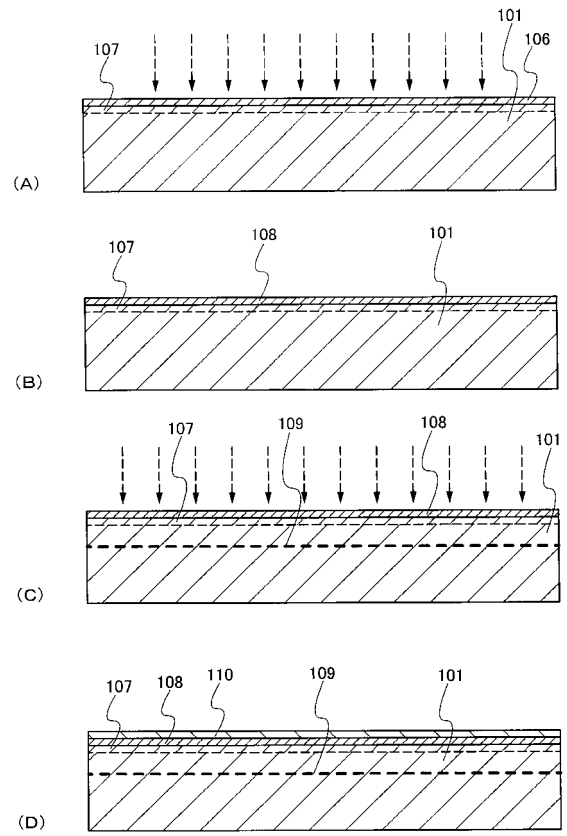
【図 6】



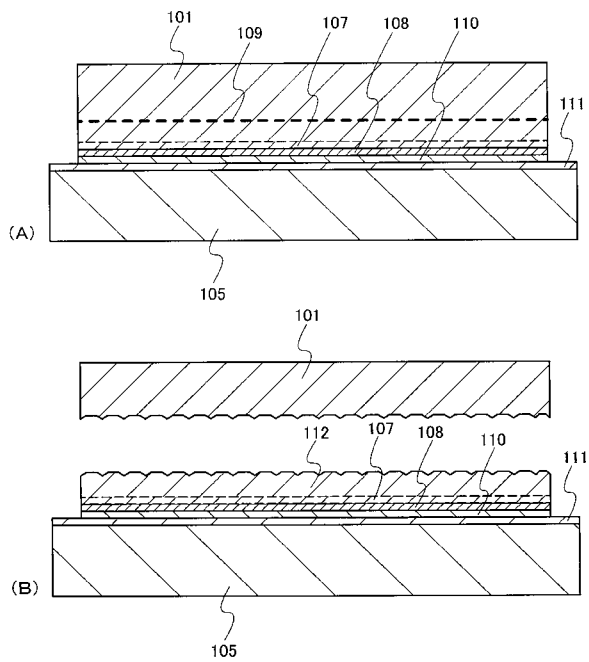
【図 7】



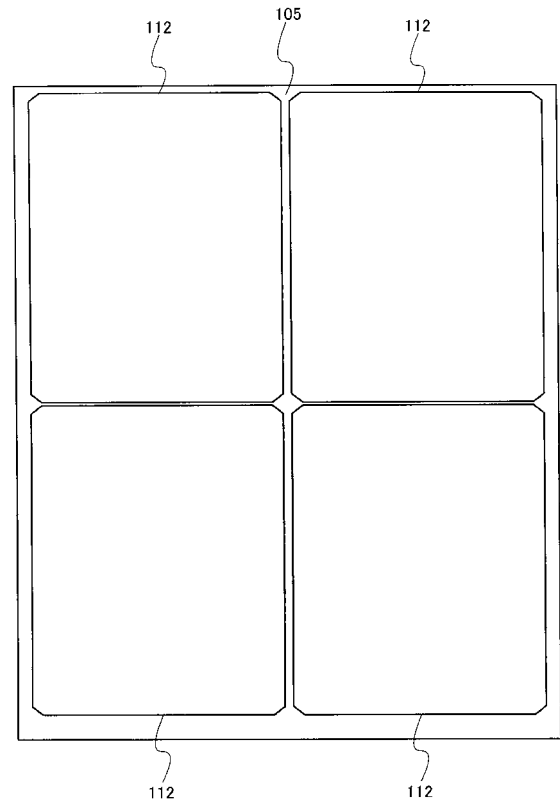
【図 8】



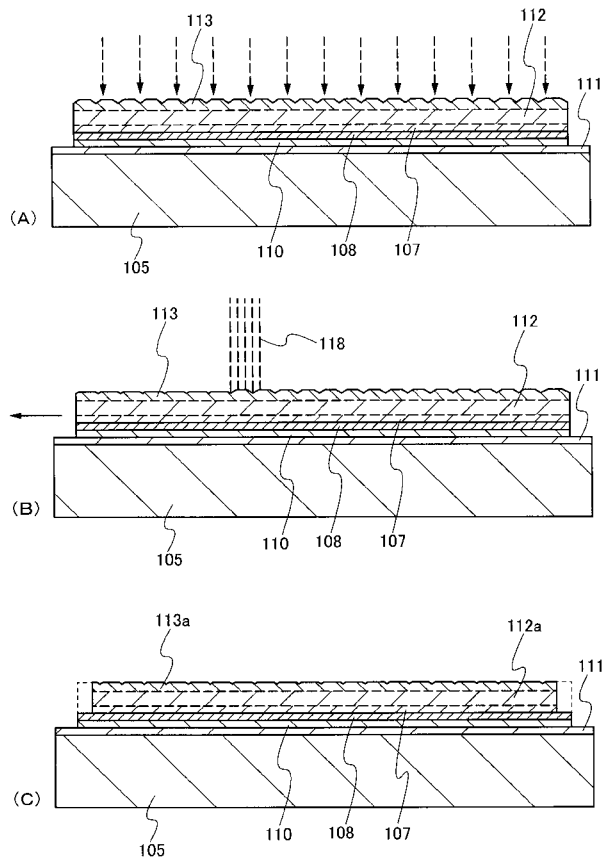
【図 9】



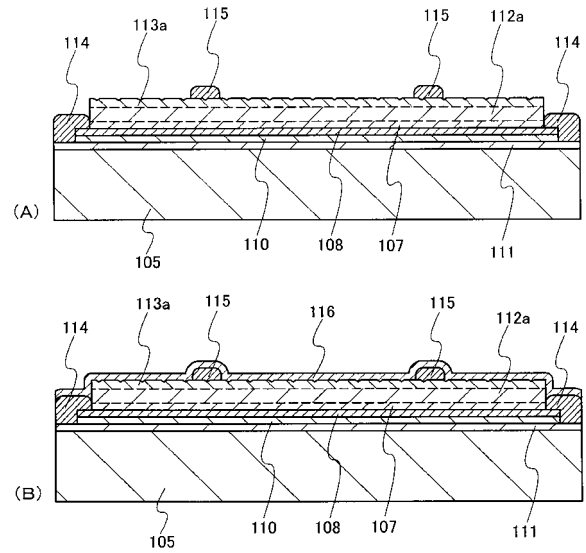
【図 10】



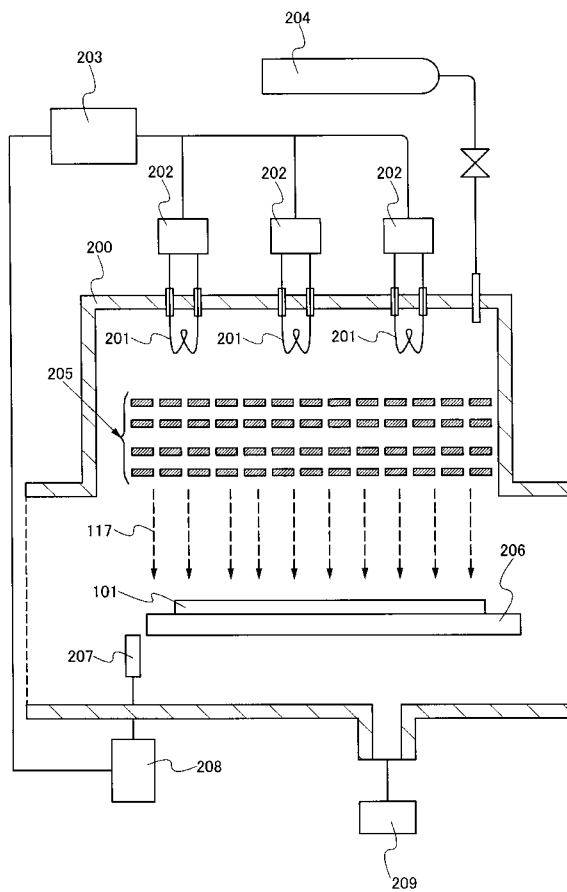
【図 1 1】



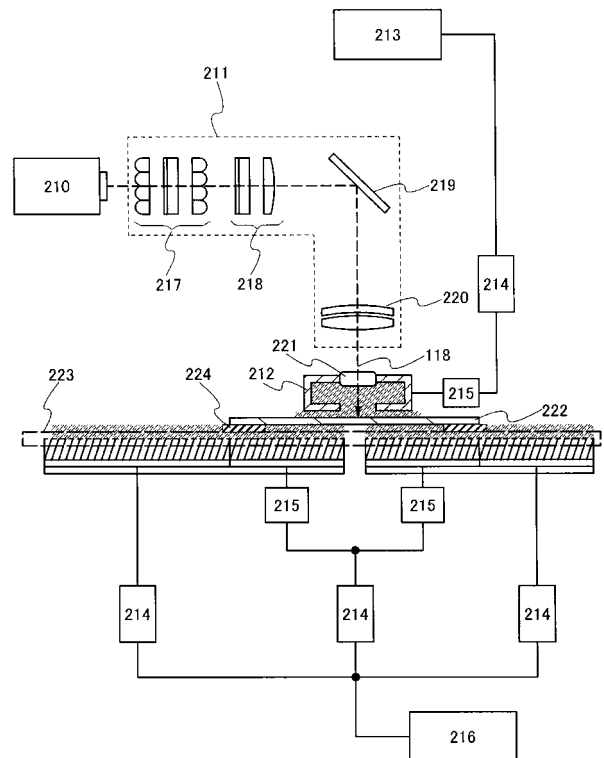
【図 1 2】



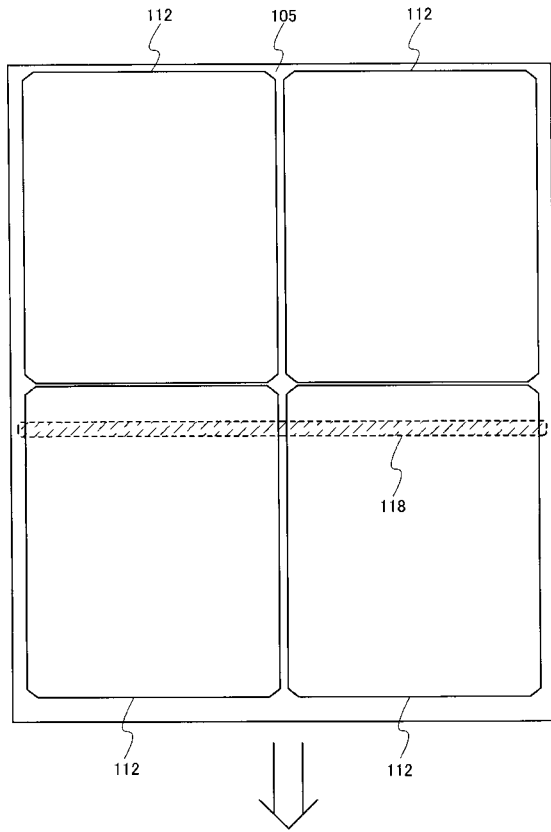
【図 1 3】



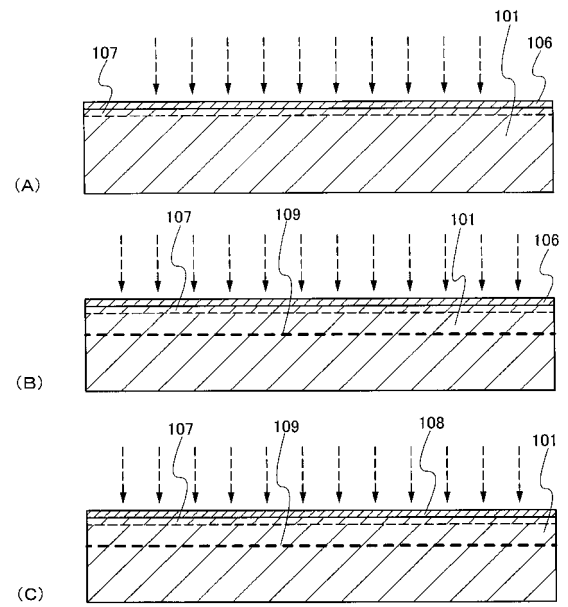
【図 1 4】



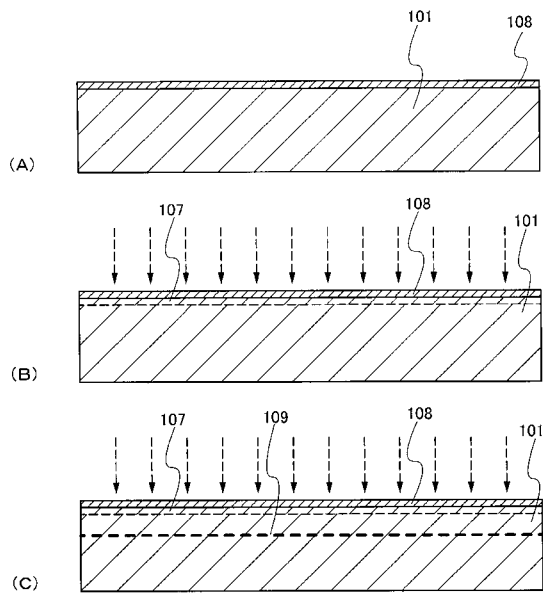
【図 15】



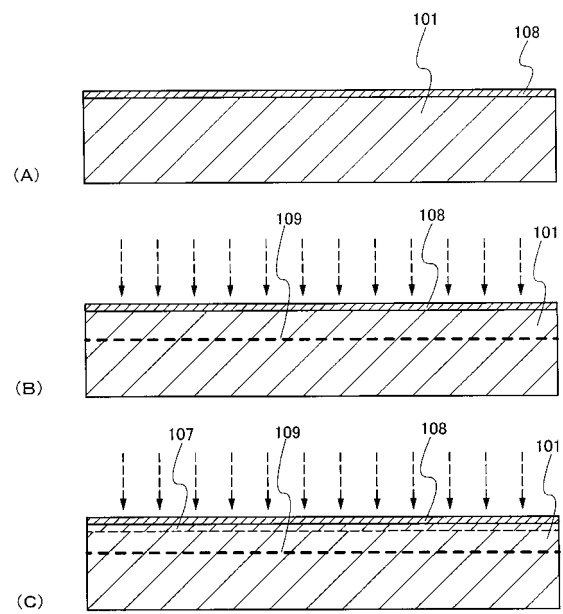
【図 16】



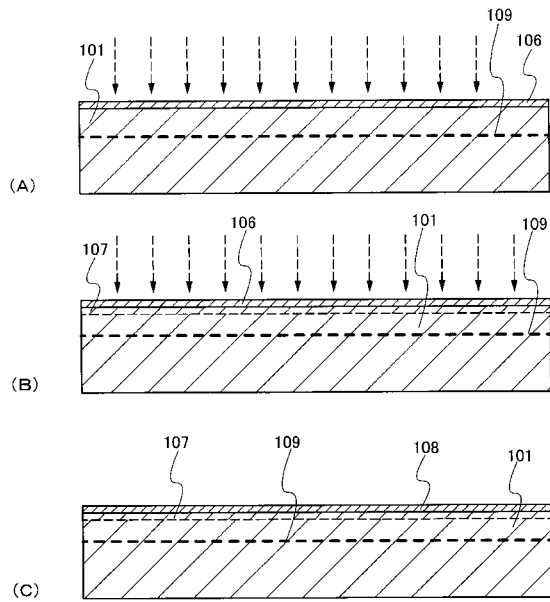
【図 17】



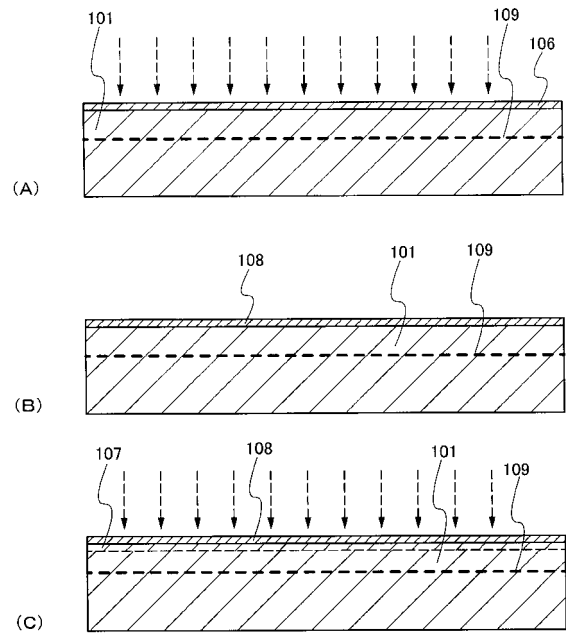
【図 18】



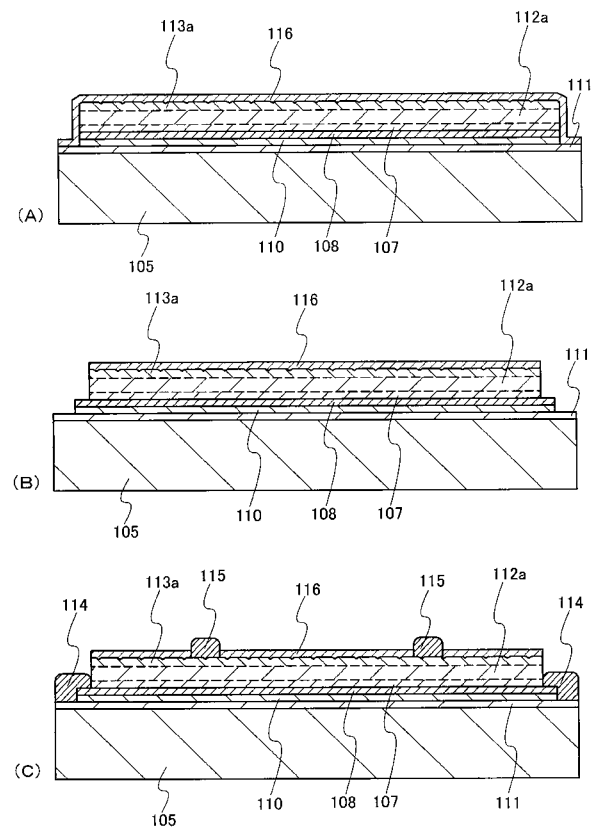
【図 19】



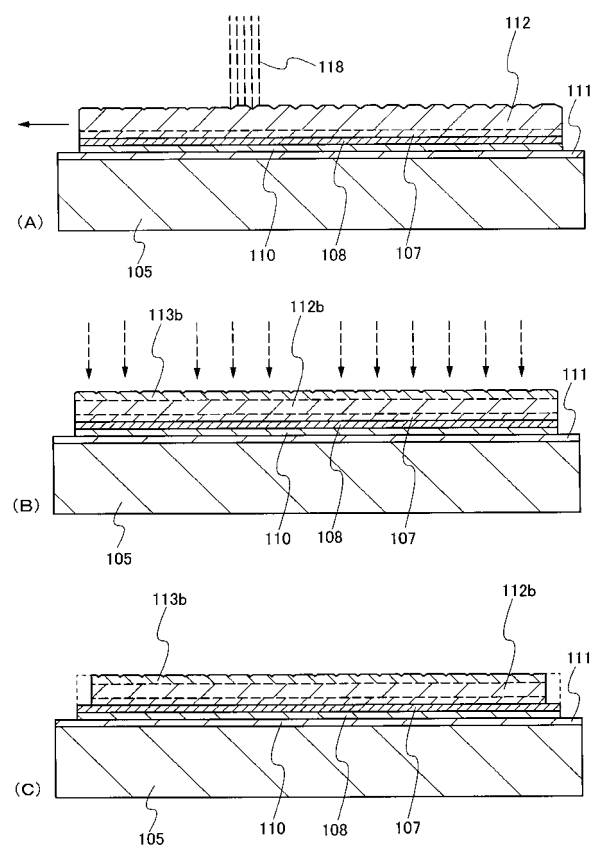
【図 20】



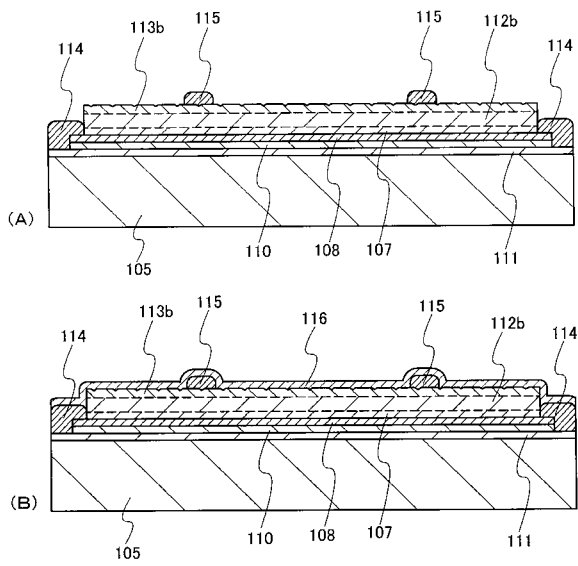
【図 21】



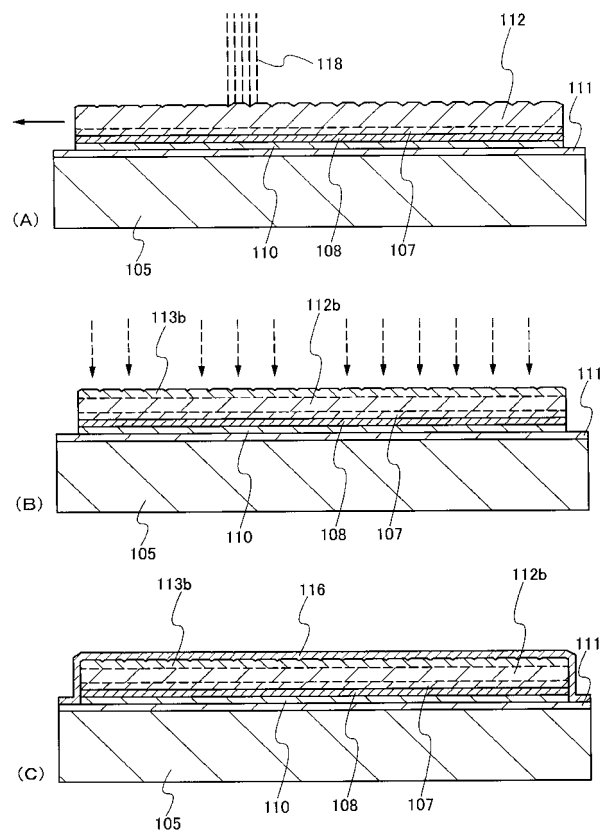
【図 22】



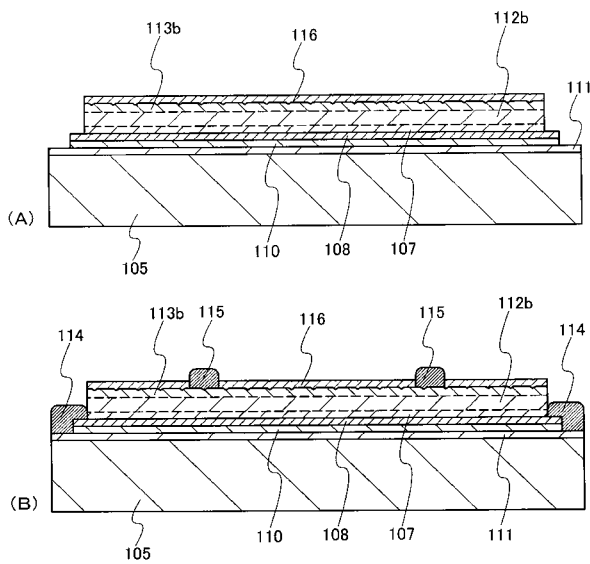
【図 2 3】



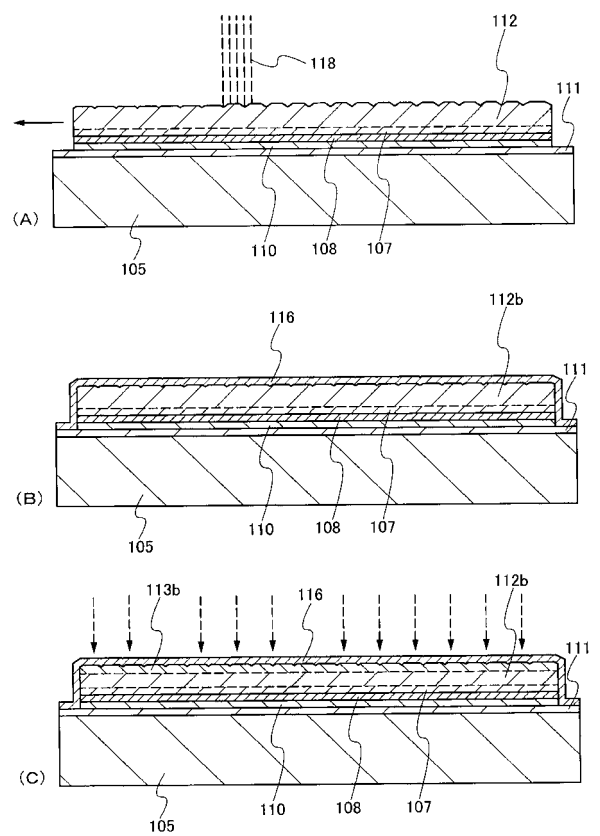
【図 2 4】



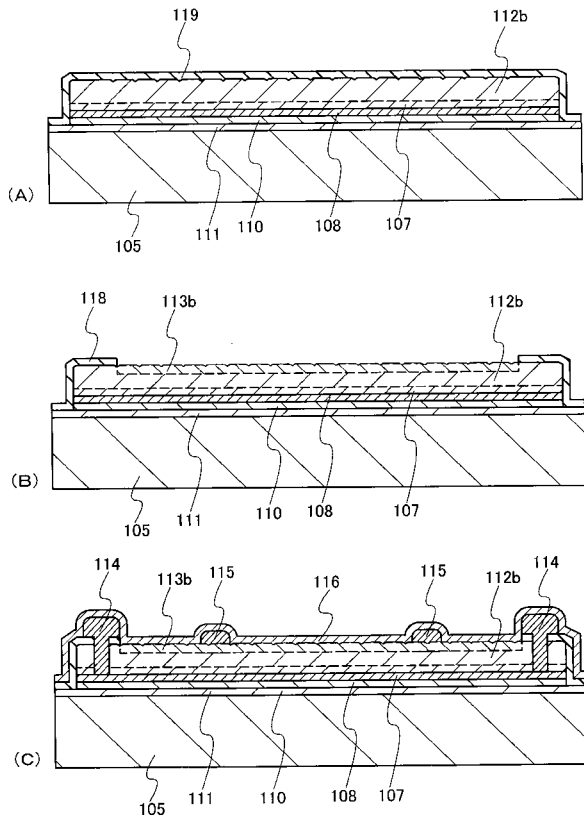
【図 2 5】



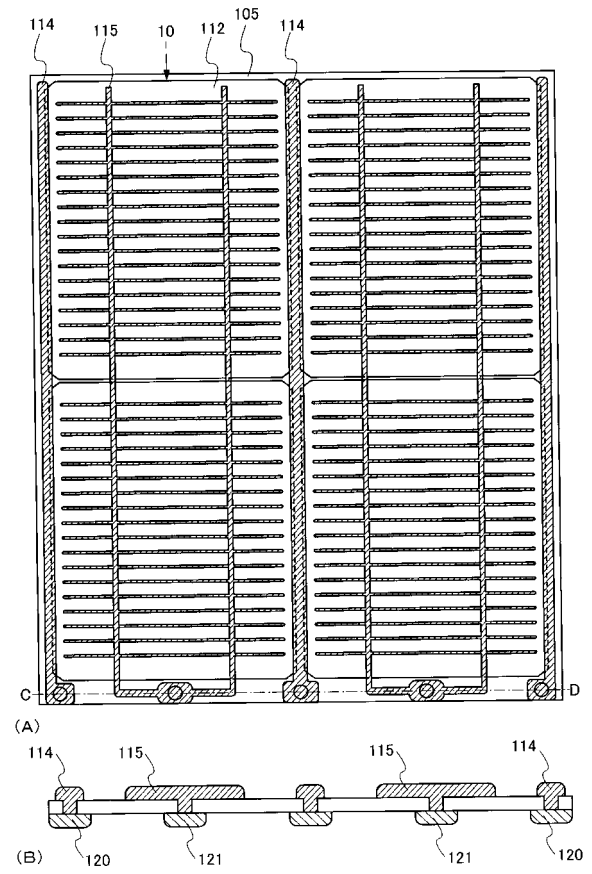
【図 2 6】



【図 27】



【図 28】



【図 29】

