

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 10 月 9 日(09.10.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/162979 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 31/06 (2012.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/058888
- (22) 国際出願日: 2014 年 3 月 27 日(27.03.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-076307 2013 年 4 月 1 日(01.04.2013) JP
- (71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 辻埜 和也(TSUJINO Kazuya). 酒井 敏彦(SAKAI Toshihiko). 小出 直城(KOIDE Naoki).
- (74) 代理人: 川上 桂子, 外(KAWAKAMI Keiko et al.); 〒5300004 大阪府大阪市北区堂島浜 2 丁目 2 番 2 8 号堂島アクシビル インテリクス特許法律事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

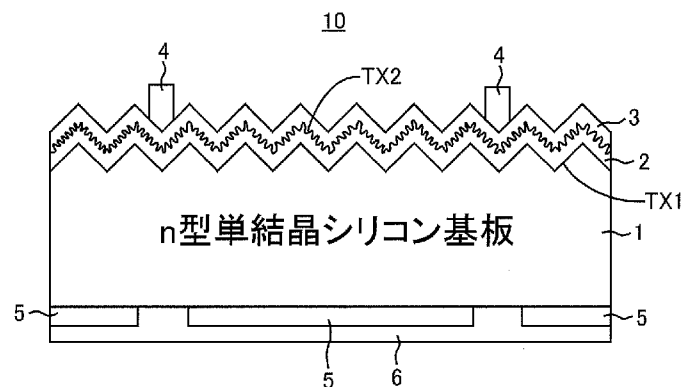
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: PHOTOELECTRIC CONVERSION DEVICE

(54) 発明の名称: 光電変換装置



1 n-type single crystal silicon substrate

(57) Abstract: A photoelectric conversion device (10) is provided with an n-type single crystal silicon substrate (1), an amorphous thin film (2), a transparent conductive film (3), and electrodes (4). The n-type single crystal silicon substrate (1) has a recessed and projected structure (TX1) on the light incident-side surface. The amorphous thin film (2) is arranged on the n-type single crystal silicon substrate (1) in contact with the recessed and projected structure (TX1) of the n-type single crystal silicon substrate (1), and is provided with a recessed and projected structure (TX2) on the light incident-side surface. The recessed and projected structure (TX2) is smaller in the sizes of recesses and projections than the recessed and projected structure (TX1). The amorphous thin film (2) is formed of an i-type amorphous thin film/p-type amorphous thin film or a p-type amorphous thin film. The transparent conductive film (3) is arranged on the amorphous thin film (2) in contact with the amorphous thin film (2). The electrodes (4) are arranged at a desired distance from each other on the transparent conductive film (3) in contact with the transparent conductive film (3).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/162979 A1



光電変換装置（１０）は、 n 型単結晶シリコン基板（１）と、非晶質薄膜（２）と、透明導電膜（３）と、電極（４）とを備える。 n 型単結晶シリコン基板（１）は、光入射側の表面に凹凸構造（ $TX1$ ）を有する。非晶質薄膜（２）は、 n 型単結晶シリコン基板（１）の凹凸構造（ $TX1$ ）に接して n 型単結晶シリコン基板（１）上に配置され、光入射側の表面に凹凸構造（ $TX2$ ）を有する。凹凸構造（ $TX2$ ）は、凹凸サイズが凹凸構造（ $TX1$ ）よりも小さい。非晶質薄膜（２）は、 i 型非晶質薄膜／ p 型非晶質薄膜、または p 型非晶質薄膜からなる。透明導電膜（３）は、非晶質薄膜（２）に接して非晶質薄膜（２）上に配置される。電極（４）は、所望の間隔で透明導電膜（３）に接して透明導電膜（３）上に配置される。

明 細 書

発明の名称：光電変換装置

技術分野

[0001] この発明は、光電変換装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、凹凸サイズが異なる2つの凹凸構造を光入射側に設けた光電変換装置が知られている（特許文献1，2）。

[0003] 特許文献1では、結晶シリコン基板は、第1の凹凸構造と、第1の凹凸構造の表面に形成された第2の凹凸構造とを有する。そして、第2の凹凸構造は、第1の凹凸構造よりも小さい凹凸サイズを有する。これにより、光入射側における反射率が低下する。

[0004] また、特許文献2では、結晶シリコン系太陽電池は、光入射側の表面に第1の凹凸構造を有する結晶シリコン基板と、結晶シリコン基板の光入射側の表面上に形成され、第2の凹凸構造を有する透明導電膜とを備える。そして、第2の凹凸構造は、第1の凹凸構造よりも小さい凹凸サイズを有する。

特許文献1：特開2012-222300号公報

特許文献2：国際公開第2011/002086号パンフレット

発明の開示

[0005] しかし、特許文献1では、結晶シリコン基板は、光入射側の表面に2つの凹凸構造を有するため、結晶シリコン基板と電極との接触面積が大きくなり、キャリアの再結合が起こり易くなるという問題がある。

[0006] また、特許文献2では、結晶シリコン基板は、光入射側の表面に凹凸構造を有するため、結晶シリコン基板と透明導電膜との接触面積が大きくなり、キャリアの再結合が起こり易いという問題がある。

[0007] そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、光入射側の反射率を低下させ、かつ、キャリアの再結合を低減可能な光電変換装置を提供することである。

- [0008] (1) この発明の実施の形態による光電変換装置は、光を電気に変換する光電変換装置であって、結晶シリコン基板と、非晶質薄膜とを備える。結晶シリコン基板は、第1の凹凸サイズを有する第1の凹凸構造が光入射側の表面に設けられる。非晶質薄膜は、第1の凹凸サイズと異なる第2の凹凸サイズを有する第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられるとともに結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して結晶シリコン基板上に設けられ、ⅠⅤ族元素を含む。
- [0009] (2) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(1)に記載の光電変換装置において、第1の凹凸サイズは、第2の凹凸サイズよりも小さい。
- [0010] (3) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(1)に記載の光電変換装置において、第1の凹凸サイズは、第2の凹凸サイズよりも大きい。
- [0011] (4) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(1)から(3)のいずれか1つに記載の光電変換装置において、非晶質薄膜は、第1の非晶質薄膜および第2の非晶質薄膜のいずれかからなる。そして、第1の非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して結晶シリコン基板上に設けられるとともに結晶シリコン基板の導電型と反対の導電型を有し、第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた第1の非晶質層からなる。また、第2の非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して結晶シリコン基板上に設けられ、i型の導電型を有する第2の非晶質層と、第2の非晶質層に接して第2の非晶質層上に設けられるとともに結晶シリコン基板の導電型と反対の導電型を有し、第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた第3の非晶質層とを含む。
- [0012] (5) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(4)に記載の光電変換装置において、結晶シリコン基板は、n型の導電型を有し、第1の非晶質層は、p型非晶質シリコンからなり、第2の非晶質層は、i型非晶質シリコンからなり、第3の非晶質層は、p型非晶質シリコンからな

る。

[0013] (6) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(4) に記載の光電変換装置において、前記結晶シリコン基板は、p型の導電型を有し、第1の非晶質層は、n型非晶質シリコンからなり、第2の非晶質層は、i型非晶質シリコンからなり、第3の非晶質層は、n型非晶質シリコンからなる。

[0014] (7) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(4) から(6)のいずれか1つに記載の光電変換装置において、光入射側に配置された電極をさらに備え、結晶シリコン基板の光入射側の表面のうち、電極に対向する部分は、平坦である。

[0015] (8) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(1) から(3)のいずれか1つに記載の光電変換装置において、結晶シリコン基板は、バルク領域と、光入射側の表面に接して設けられ、かつ、バルク領域の導電型と反対の導電型を有する拡散領域とを含む。

[0016] (9) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(8) に記載の光電変換装置において、結晶シリコン基板の前記拡散領域の一部に接して設けられた電極をさらに備え、拡散領域の一部は、平坦な平面からなる。

[0017] (10) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(1) から(9)のいずれか1つに記載の光電変換装置において、結晶シリコン基板は、単結晶シリコン基板または多結晶シリコン基板からなる。

[0018] (11) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(1) から(3)のいずれか1つに記載の光電変換装置において、複数の第1の非晶質薄膜と、複数の第2の非晶質薄膜とをさらに備える。複数の第1の非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の光入射側と反対側に設けられ、結晶シリコン基板の導電型と反対の導電型を有する。複数の第2の非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の光入射側と反対側に設けられるとともに結晶シリコン基板の導電型と同じ導電型を有し、結晶シリコン基板の面内方向において複数の第

1 の非晶質薄膜と交互に配置される。そして、結晶シリコン基板は、単結晶シリコン基板からなる。

[0019] (12) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(11)に記載の光電変換装置において、複数の第1の非晶質薄膜および複数の第2の非晶質薄膜と、単結晶シリコン基板との間に複数の第1の非晶質薄膜、複数の第2の非晶質薄膜および単結晶シリコン基板に接して設けられ、i型の導電型を有する第3の非晶質薄膜をさらに備える。

[0020] (13) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(12)に記載の光電変換装置において、第1の非晶質薄膜は、単結晶シリコン基板がn型の導電型を有する場合、p型非晶質シリコンからなり、単結晶シリコン基板がp型の導電型を有する場合、n型非晶質シリコンからなり、第2の非晶質薄膜は、単結晶シリコン基板がn型の導電型を有する場合、n型非晶質シリコンからなり、単結晶シリコン基板がp型の導電型を有する場合、p型非晶質シリコンからなり、第3の非晶質薄膜は、i型非晶質シリコンからなる。

[0021] (14) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(1)から(3)のいずれか1つに記載の光電変換装置において、結晶シリコン基板は、複数の第1の拡散領域と、複数の第2の拡散領域とを含む。複数の第1の拡散領域は、単結晶シリコンからなるバルク領域と、単結晶シリコンからなるとともに結晶シリコン基板の光入射側と反対側の裏面に接して設けられ、バルク領域の導電型と反対の導電型を有する。複数の第2の拡散領域は、単結晶シリコンからなるとともにバルク領域の導電型と同じ導電型を有し、結晶シリコン基板の面内方向において複数の第1の拡散領域と交互に裏面に接して配置される。

[0022] (15) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(8)から(14)のいずれか1つに記載の光電変換装置において、非晶質薄膜は、第1の非晶質薄膜、第2の非晶質薄膜、第3の非晶質薄膜、第4の非晶質薄膜および第5の非晶質薄膜のいずれかからなる。第1の非晶質薄膜は、

結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して設けられるとともに第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられ、i型の導電性を有する第1の非晶質層からなる。第2の非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して設けられるとともに第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられ、n型の導電性を有する第2の非晶質層からなる。第3の非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して設けられるとともに第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられ、p型の導電性を有する第3の非晶質層からなる。第4の非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して設けられ、かつ、i型の導電性を有する第4の非晶質層と、第4の非晶質層に接して設けられるとともに第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられ、n型の導電性を有する第5の非晶質層とからなる。第5の非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して設けられ、かつ、i型の導電性を有する第6の非晶質層と、第6の非晶質層に接して設けられるとともに第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられ、p型の導電性を有する第7の非晶質層とからなる。

[0023] (16) 好ましくは、この発明の実施の形態による光電変換装置は、(15)に記載の光電変換装置において、第1、第4および第6の非晶質層の各々は、i型非晶質シリコンからなり、第2および第5の非晶質層の各々は、n型非晶質シリコンからなり、第3および第7の非晶質層の各々は、p型非晶質シリコンからなる。

[0024] この発明の実施の形態による光電変換装置においては、凹凸サイズが異なる2つの凹凸構造が光入射側に配置され、結晶シリコン基板の光入射側の表面は、IⅤ族元素を含む非晶質薄膜によって覆われる。その結果、入射光は、2つの凹凸構造によって散乱されて結晶シリコン基板へ入射する。また、結晶シリコン基板の光入射側の表面は、非晶質薄膜によってパッシベートされる。

[0025] 従って、光入射側の反射率を低下でき、非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面におけるキャリアの再結合を低減できる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]この発明の実施の形態1による光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図2]図1に示すn型単結晶シリコン基板および非晶質薄膜の一部を拡大した拡大図である。

[図3]図1に示す非晶質薄膜の構成を示す概略図である。

[図4]図1に示す光電変換装置の製造方法を示す第1の工程図である。

[図5]図1に示す光電変換装置の製造方法を示す第2の工程図である。

[図6]図1に示す光電変換装置の製造方法を示す第3の工程図である。

[図7]実施の形態1による別の光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図8]図7に示す非晶質薄膜の構成を示す概略図である。

[図9]図7に示す光電変換装置の製造方法を示す第1の工程図である。

[図10]図7に示す光電変換装置の製造方法を示す第2の工程図である。

[図11]図7に示す光電変換装置の製造方法を示す第3の工程図である。

[図12]実施の形態1による更に別の光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図13]実施の形態2による光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図14]図13に示す非晶質薄膜の構成を示す概略図である。

[図15]図13に示す光電変換装置の製造方法を示す第1の工程図である。

[図16]図13に示す光電変換装置の製造方法を示す第2の工程図である。

[図17]図13に示す光電変換装置の製造方法を示す第3の工程図である。

[図18]実施の形態2による別の光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図19]実施の形態3による光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図20]図19に示す非晶質薄膜の構成を示す概略図である。

[図21]図19に示す別の非晶質薄膜の構成を示す概略図である。

[図22]図19に示す光電変換装置の製造方法を示す第1の工程図である。

[図23]図19に示す光電変換装置の製造方法を示す第2の工程図である。

[図24]図19に示す光電変換装置の製造方法を示す第3の工程図である。

[図25]図 1 9 に示す光電変換装置の製造方法を示す第 4 の工程図である。

[図26]実施の形態 4 による光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図27]図 2 6 に示す光電変換装置の製造方法を示す第 1 の工程図である。

[図28]図 2 6 に示す光電変換装置の製造方法を示す第 2 の工程図である。

[図29]図 2 6 に示す光電変換装置の製造方法を示す第 3 の工程図である。

[図30]図 2 6 に示す光電変換装置の製造方法を示す第 4 の工程図である。

[図31]実施の形態 5 による光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図32]実施の形態 5 による別の光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図33]実施の形態 6 による光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図34]実施の形態 6 による別の光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図35]実施の形態 7 による光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図36]実施の形態 8 による光電変換装置の構成を示す概略図である。

[図37]この実施の形態による光電変換装置を備える光電変換モジュールの構成を示す概略図である。

[図38]この実施の形態による光電変換装置を備える太陽光発電システムの構成を示す概略図である。

[図39]図 3 8 に示す光電変換モジュールアレイの構成を示す概略図である。

[図40]この実施の形態による光電変換装置を備える別の太陽光発電システムの構成を示す概略図である。

[図41]この実施の形態による光電変換装置を備える更に別の太陽光発電システムの構成を示す概略図である。

[図42]この実施の形態による光電変換装置を備える更に別の太陽光発電システムの構成を示す概略図である。

発明を実施するための最良の形態

[0027] 本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

[0028] この明細書においては、「非晶質」とは、ラマン散乱におけるアモルファスに基づくピーク強度に対する結晶に基づくピーク強度の比が 0.1 以下で

あることを言う。また、非晶質シリコンを「a-Si」と表記するが、この表記は、実際には、水素（H）原子が含まれていることを意味する。非晶質ゲルマニウム（a-Ge）、非晶質シリコンゲルマニウム（a-SiGe）、非晶質シリコンカーバイド（a-SiC）、非晶質シリコンナイトライド（a-SiN）、非晶質シリコンオキサイド（a-SiO）、および非晶質シリコンカーボンオキサイド（a-SiCO）、についても、同様に、H原子が含まれていることを意味する。

[0029] [実施の形態1]

図1は、この発明の実施の形態1による光電変換装置の構成を示す概略図である。図1を参照して、この発明の実施の形態1による光電変換装置10は、n型単結晶シリコン基板1と、非晶質薄膜2と、透明導電膜3と、電極4、6と、パッシベーション膜5とを備える。

[0030] n型単結晶シリコン基板1は、 $0.1 \sim 10 \Omega \text{cm}$ の比抵抗および $100 \sim 300 \mu\text{m}$ の厚みを有する。また、n型単結晶シリコン基板1は、(100)の面方位を有する。そして、n型単結晶シリコン基板1は、光入射側の表面に凹凸構造TX1を有する。

[0031] 非晶質薄膜2は、n型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面に接してn型単結晶シリコン基板1上に配置される。そして、非晶質薄膜2は、光入射側の表面に凹凸構造TX2を有する。

[0032] 透明導電膜3は、非晶質薄膜2に接して非晶質薄膜2上に配置される。そして、透明導電膜3は、ITO (Indium Tin Oxide)、 SnO_2 、およびZnO等からなる。

[0033] 電極4は、透明導電膜3に接して透明導電膜3上に所望の間隔で配置される。そして、電極4は、例えば、銀（Ag）からなる。

[0034] パッシベーション膜5は、n型単結晶シリコン基板1の裏面（＝凹凸構造TX1が形成された面と反対側の面を言う。以下、同じ）に接して配置される。そして、パッシベーション膜5は、例えば、酸化シリコン（ SiO_2 ）からなり、 $100 \text{nm} \sim 200 \text{nm}$ の膜厚を有する。

- [0035] 電極 6 は、 n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面およびパッシベーション膜 5 に接して配置される。そして、電極 6 は、例えば、アルミニウム (Al) からなる。
- [0036] 図 2 は、図 1 に示す n 型単結晶シリコン基板 1 および非晶質薄膜 2 の一部を拡大した拡大図である。
- [0037] 図 2 を参照して、凹凸構造 $T \times 1$ において、高さ $H 1$ は、谷と山との距離として定義され、幅 $W 1$ は、隣接する 2 つの谷間の距離または隣接する 2 つの山間の距離として定義される。凹凸構造 $T \times 2$ においても、同様にして、高さ $H 2$ および幅 $W 2$ が定義される。
- [0038] 凹凸構造 $T \times 1$ において、高さ $H 1$ は、例えば、 $1 \mu m \sim 10 \mu m$ であり、幅 $W 1$ は、 $1 \mu m \sim 10 \mu m$ である。
- [0039] 凹凸構造 $T \times 2$ において、高さ $H 2$ は、例えば、 $1 nm \sim 200 nm$ であり、幅 $W 2$ は、 $1 nm \sim 200 nm$ である。
- [0040] そして、凹凸構造 $T \times 1$ の凹凸サイズは、高さ $H 1$ および／または幅 $W 1$ によって定義される。凹凸構造 $T \times 2$ についても同様である。
- [0041] 従って、凹凸構造 $T \times 1$ は、凹凸構造 $T \times 2$ よりも大きい凹凸サイズを有する。
- [0042] このように、光電変換装置 10 は、 n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側の表面に凹凸構造 $T \times 1$ を設け、凹凸サイズが凹凸構造 $T \times 1$ よりも小さい凹凸構造 $T \times 2$ を凹凸構造 $T \times 1$ よりも光入射側に設けたことを特徴とする。
- [0043] その結果、入射光は、凹凸構造 $T \times 2$ によって散乱され、その散乱された光は、凹凸構造 $T \times 1$ によって更に散乱される。従って、光電変換装置 10 の光入射側において、1 つの凹凸構造のみを設けた場合よりも入射光の反射率を低減できる。
- [0044] 図 3 は、図 1 に示す非晶質薄膜 2 の構成を示す概略図である。図 3 を参照して、非晶質薄膜 2 は、 i 型非晶質薄膜 21 と、 p 型非晶質薄膜 22 とを含む（(a) 参照）。

- [0045] i 型非晶質薄膜 2 1 は、n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側の凹凸構造 T X 1 に沿って配置される。p 型非晶質薄膜 2 2 は、i 型非晶質薄膜 2 1 に接して i 型非晶質薄膜 2 1 上に配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 2 を有する。
- [0046] i 型非晶質薄膜 2 1 は、i 型非晶質シリコン (i 型 a-Si)、i 型非晶質シリコンゲルマニウム (i 型 a-SiGe)、i 型非晶質ゲルマニウム (i 型 a-Ge)、i 型非晶質シリコンカーバイド (i 型 a-SiC)、i 型非晶質シリコンナイトライド (i 型 a-SiN)、i 型非晶質シリコンオキサイド (i 型 a-SiO) および i 型非晶質シリコンカーボンオキサイド (i 型 a-SiCO) 等のいずれかからなり、一般的には、I V 族元素を含む i 型非晶質薄膜からなる。そして、i 型非晶質薄膜 2 1 は、10~20 nm の膜厚を有する。
- [0047] p 型非晶質薄膜 2 2 は、p 型非晶質シリコン (p 型 a-Si)、p 型非晶質シリコンゲルマニウム (p 型 a-SiGe)、p 型非晶質ゲルマニウム (p 型 a-Ge)、p 型非晶質シリコンカーバイド (p 型 a-SiC)、p 型非晶質シリコンナイトライド (p 型 a-SiN)、p 型非晶質シリコンオキサイド (p 型 a-SiO) および p 型非晶質シリコンカーボンオキサイド (p 型 a-SiCO) 等のいずれかからなり、一般的には、I V 族元素を含む p 型非晶質薄膜からなる。
- [0048] そして、p 型非晶質薄膜 2 2 は、1~200 nm の膜厚を有する。また、p 型非晶質薄膜 2 2 は、例えば、p 型ドーパントとしてボロン (B) を含み、B の濃度は、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。
- [0049] i 型非晶質薄膜 2 1 の材料と p 型非晶質薄膜 2 2 の材料との組合せは、任意であるが、i 型非晶質薄膜 2 1 が i 型 a-Si からなり、p 型非晶質薄膜 2 2 が p 型 a-Si からなる組合せが好ましい。
- [0050] 非晶質薄膜 2 は、p 型非晶質薄膜 2 3 からなってもよい (図 3 の (b) 参照)。p 型非晶質薄膜 2 3 は、n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側の凹凸構造 T X 1 に沿って配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 2 を有す

る。

[0051] p型非晶質薄膜23は、上述したp型非晶質薄膜22と同じ材料からなり、濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であるBをp型ドーパントとして含む。そして、p型非晶質薄膜23は、1～200nmの膜厚を有する。

[0052] p型非晶質薄膜23においては、B濃度は、n型単結晶シリコン基板1とp型非晶質薄膜23との界面から透明導電膜3に向かって徐々に高くなっていてもよい。これにより、p型非晶質薄膜23によるn型単結晶シリコン基板1の表面のパッシベーション効果が更に大きくなり、n型単結晶シリコン基板1とp型非晶質薄膜23との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を更に低減できる。

[0053] このように、非晶質薄膜2は、少なくともp型非晶質薄膜（p型非晶質薄膜22またはp型非晶質薄膜23）を含む。

[0054] そして、光電変換装置10は、n型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1が形成された表面に接して非晶質薄膜2を設けた構造からなるので、n型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1が形成された表面は、非晶質薄膜2によってパッシベートされる。

[0055] 従って、凹凸構造TX1が形成されることによってn型単結晶シリコン基板1と非晶質薄膜2との接触面積が大きくなっても、n型単結晶シリコン基板1と非晶質薄膜2との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

[0056] i型非晶質薄膜21は、p型非晶質薄膜22、23よりもn型単結晶シリコン基板1の表面に対するパッシベーション効果が大きい。

[0057] 従って、非晶質薄膜2をi型非晶質薄膜21およびp型非晶質薄膜22によって構成することによって、n型単結晶シリコン基板1と非晶質薄膜2との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を更に低減できる。

[0058] 非晶質薄膜2がi型非晶質薄膜21およびp型非晶質薄膜22からなる場合、光電変換装置10は、pin接合を有し、非晶質薄膜2がp型非晶質薄

膜 2 3 からなる場合、光電変換装置 1 0 は、p n 接合を有する。

[0059] その結果、主に、n 型単結晶シリコン基板 1 中で光励起された電子および正孔は、p i n 接合または p n 接合によって分離され、正孔は、非晶質薄膜 2 および透明導電膜 3 を介して電極 4 に到達し、電子は、電極 6 に到達する。これによって、光電変換装置 1 0 は、発電する。

[0060] 上述したように、i 型非晶質薄膜 2 1 は、I V 族元素を含む i 型非晶質薄膜からなり、p 型非晶質薄膜 2 2, 2 3 の各々は、I V 族元素を含む p 型非晶質薄膜からなるので、非晶質薄膜 2 は、I V 族元素を含む非晶質薄膜からなる。そして、非晶質薄膜 2 は、n 型単結晶シリコン基板 1 の表面に対するパッシベーション効果を有するとともに、n 型単結晶シリコン基板 1 との間で p n 接合または p i n 接合を形成する。また、非晶質薄膜 2 は、n 型単結晶シリコン基板 1 の凹凸構造 T X 1 とともに光電変換装置 1 0 の光入射側における光の反射率を低減する。

[0061] 図 4 から図 6 は、それぞれ、図 1 に示す光電変換装置 1 0 の製造方法を示す第 1 から第 3 の工程図である。

[0062] なお、図 4 から図 6 に示す工程図においては、非晶質薄膜 2 が i 型非晶質シリコン (i 型 a - S i) および p 型非晶質シリコン (p 型 a - S i) からなる場合を例にして光電変換装置 1 0 の製造方法を説明する。

[0063] 図 4 を参照して、光電変換装置 1 0 の製造が開始されると、n 型単結晶シリコン基板 3 0 をアルコールを用いて超音波洗浄し、その後、純水で洗浄する。そして、n 型単結晶シリコン基板 3 0 をフッ酸 (H F) によって洗浄して自然酸化膜を除去し、n 型単結晶シリコン基板 3 0 の表面を水素によって終端する (工程 (a))。n 型単結晶シリコン基板 3 0 は、(1 0 0) の面方位、0. 1 ~ 1 0 Ω c m の比抵抗および 1 0 0 ~ 3 0 0 μ m の厚みを有する。

[0064] 工程 (a) の後、スパッタリングによって S i O 2 からなるパッシベーション膜 2 0 を n 型単結晶シリコン基板 3 0 の裏面に形成する (工程 (b))。

- [0065] そして、 n 型単結晶シリコン基板30の表面をアルカリを用いて化学的に異方性エッチングし、 n 型単結晶シリコン30の表面に凹凸構造TX1を形成する（工程（c））。これにより、 n 型単結晶シリコン基板1が形成される。その後、上述したようにHFを用いて自然酸化膜を除去するとともに、 n 型単結晶シリコン基板1の表面を水素で終端する。
- [0066] n 型単結晶シリコン基板1の洗浄が終了すると、 i 型非晶質シリコン（ i 型a-Si）および p 型非晶質シリコン（ p 型a-Si）をプラズマCVD（Chemical Vapour Deposition）法によって n 型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1上に順次堆積する。これによって、 i 型非晶質薄膜21および p 型非晶質薄膜24が n 型単結晶シリコン基板1上に順次堆積される（工程（d））。
- [0067] この場合、 i 型非晶質シリコンは、例えば、シラン（ SiH_4 ）ガスおよび水素（ H_2 ）ガスを用いて形成され、 p 型非晶質シリコンは、例えば、 SiH_4 ガス、 H_2 ガスおよびジボラン（ B_2H_6 ）ガスを用いて形成される。
- [0068] そして、 i 型非晶質シリコンを形成する場合、 $[\text{H}_2\text{ガスの流量}] / [\text{H}_2\text{ガスの流量} + \text{SiH}_4\text{ガスの流量}]$ が0.2以下になるように、 SiH_4 ガスの流量および H_2 ガスの流量を決定する。
- [0069] また、 p 型非晶質シリコンを形成する場合、 $[\text{H}_2\text{ガスの流量}] / [\text{H}_2\text{ガスの流量} + \text{SiH}_4\text{ガスの流量} + \text{B}_2\text{H}_6\text{ガスの流量}]$ が0.2以下になるように、 SiH_4 ガスの流量、 H_2 ガスの流量および B_2H_6 ガスの流量を決定する。
- [0070] このように、 SiH_4 ガスまたは SiH_4 ガスおよび B_2H_6 ガスを H_2 ガスによって水素希釈することによって、 i 型非晶質シリコンおよび p 型非晶質シリコンは、凹凸構造TX1を覆うように凹凸構造TX1上に均一に形成される。
- [0071] 図5を参照して、工程（d）の後、試料の温度をエッチングガスの沸点以上の温度に昇温し、エッチングガスを300KPa以下の圧力で p 型非晶質薄膜24の表面に吹き付けて p 型非晶質薄膜24の表面をエッチングする

(工程 (e))。

[0072] この場合、エッチングガスは、例えば、 ClF_3 、 XeF_2 、 BrF_3 、 BrF_5 および NF_3 等のフッ素原子を含むガスからなる。フッ素原子を含むガスを用いることによって、p型非晶質薄膜24の表面でシリコンのフッ化物が形成され、p型非晶質薄膜24の表面をエッチングできる。

[0073] また、エッチングガスは、フッ素原子を含むガスに加え、分子内に酸素原子を含むガスを含んでいてもよい。分子内に酸素原子を含むガスは、例えば、 O_2 、二酸化炭素(CO_2)、および二酸化窒素(NO_2)等からなる。酸素原子を含むガスを用いることによって、エッチングされやすい領域(Si-Si)とエッチングされ難い領域(Si-O)とを形成でき、各領域のエッチングレートの差によって凹凸構造を形成できる。

[0074] さらに、エッチングガスは、不活性ガスを含んでいてもよい。不活性ガスは、例えば、窒素(N_2)ガス、アルゴン(Ar)ガスおよびヘリウム(He)ガス等からなり、一般的には、シリコンと反応しないガスからなる。 ClF_3 等のエッチングガスの濃度が高い場合、エッチングが等方的に進行し易い場合があるので、これを防止するために不活性ガスを用いる。

[0075] そして、エッチングガスによるp型非晶質薄膜24の表面のエッチングが終了すると、 H_2 ガスを流してp型非晶質薄膜24の表面に残留したエッチングガスまたはその分解物を除去する。

[0076] 工程(e)が終了すると、光入射側の表面に凹凸構造TX2が形成されたp型非晶質薄膜22(p型a-Si)が形成される(工程(f))。これによって、非晶質薄膜2がn型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1に沿って形成される。

[0077] そして、工程(f)の後、スパッタリングによってITOからなる透明導電膜3をp型非晶質薄膜22上に堆積する(工程(g))。

[0078] 図6を参照して、工程(g)の後、スクリーン印刷によってAgペーストを塗布し、その塗布したAgペーストを焼成して電極4を透明導電膜3上に形成する(工程(h))。

- [0079] そして、パッシベーション膜20をフォトリソグラフィおよびエッチングによってパターンニングし、パッシベーション膜20に貫通孔を形成する。これによって、パッシベーション膜5が形成される（工程（i））。
- [0080] その後、パッシベーション膜5を覆うようにAlを蒸着し、電極6を形成する。これによって、光電変換装置10が完成する（工程（j））。
- [0081] このように、光電変換装置10は、プラズマCVD法およびスパッタリング等の低温プロセスを用いて製造されるため、n型単結晶シリコン基板1に熱歪が発生するのを抑制できる。その結果、n型単結晶シリコン基板1中のキャリアのライフタイムを長くできる。
- [0082] なお、図4から図6における工程図においては、非晶質薄膜2がi型非晶質薄膜21およびp型非晶質薄膜22からなる場合を例にして光電変換装置10の製造方法を説明したが、非晶質薄膜2がp型非晶質薄膜23からなる場合、光電変換装置10は、図4に示す工程（d）を、p型非晶質シリコンをプラズマCVD法によってn型単結晶シリコン基板1上に堆積する工程に代え、図5に示す工程（e）を、p型非晶質シリコンをエッチングガスによってエッチングする工程に代えた工程図に従って製造される。
- [0083] また、i型非晶質薄膜21がi型a-Si以外の材料からなり、p型非晶質薄膜22、23がp型a-Si以外の材料からなる場合も、光電変換装置10は、図4から図6に示す工程図に従って製造される。
- [0084] そして、i型非晶質薄膜21がi型a-SiGeからなる場合、SiH₄ガス、ゲルマン（GeH₄）ガスおよびH₂ガスが用いられ、i型非晶質薄膜21がi型a-Geからなる場合、GeH₄ガスおよびH₂ガスが用いられ、i型非晶質薄膜21がi型a-SiCからなる場合、SiH₄ガス、メタン（CH₄）ガスおよびH₂ガスが用いられ、i型非晶質薄膜21がi型a-SiNからなる場合、SiH₄ガス、アンモニア（NH₃）ガスおよびH₂ガスが用いられ、i型非晶質薄膜21がi型a-SiOからなる場合、SiH₄ガス、O₂ガスおよびH₂ガスが用いられ、i型非晶質薄膜21がi型a-SiCOからなる場合、SiH₄ガス、CH₄ガス、O₂ガスおよびH₂ガスが用いられる。

。

[0085] また、p型非晶質薄膜22, 23がp型a-SiGeからなる場合、SiH₄ガス、GeH₄ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスが用いられ、p型非晶質薄膜22, 23がp型a-Geからなる場合、GeH₄ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスが用いられ、p型非晶質薄膜22, 23がp型a-SiCからなる場合、SiH₄ガス、CH₄ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスが用いられ、p型非晶質薄膜22, 23がp型a-SiNからなる場合、SiH₄ガス、NH₃ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスが用いられ、p型非晶質薄膜22, 23がp型a-SiOからなる場合、SiH₄ガス、O₂ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスが用いられ、p型非晶質薄膜22, 23がp型a-SiCOからなる場合、SiH₄ガス、CH₄ガス、O₂ガス、B₂H₆ガスおよびH₂ガスが用いられる。

。

[0086] 図7は、実施の形態1による別の光電変換装置の構成を示す概略図である。実施の形態1による光電変換装置は、図7に示す光電変換装置10Aであってもよい。

[0087] 図7を参照して、光電変換装置10Aは、図1に示す光電変換装置10のパッシベーション膜5および電極6を非晶質薄膜7および電極8に代えたものであり、その他は、光電変換装置10と同じである。

[0088] 非晶質薄膜7は、n型単結晶シリコン基板1の裏面に接して配置される。電極8は、非晶質薄膜7に接して配置される。そして、電極8は、例えば、Alからなる。

[0089] 図8は、図7に示す非晶質薄膜7の構成を示す概略図である。図8を参照して、非晶質薄膜7は、i型非晶質薄膜71と、n型非晶質薄膜72とを含む（（a）参照）。

[0090] i型非晶質薄膜71は、上述したi型非晶質薄膜21と同じ材料からなる。また、i型非晶質薄膜71は、10～20nmの膜厚を有する。

[0091] n型非晶質薄膜72は、i型非晶質薄膜71に接して配置される。そして、n型非晶質薄膜72は、n型a-SiGe、n型a-Ge、n型a-Si

C、n型a-SiN、n型a-SiOおよびn型a-SiCO等のいずれからなり、一般的には、I V族元素を含むn型非晶質薄膜からなる。また、n型非晶質薄膜72は、10~20nmの膜厚を有する。さらに、n型非晶質薄膜72は、n型ドーパントしてリン(P)を含み、P濃度は、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。

[0092] i型非晶質薄膜71の材料とn型非晶質薄膜72の材料との組合せは、任意であるが、i型非晶質薄膜71がi型a-Siからなり、n型非晶質薄膜72がn型a-Siからなる組合せが好ましい。

[0093] 非晶質薄膜7は、n型非晶質薄膜73からなっている（図8の(b)参照）。n型非晶質薄膜73は、n型単結晶シリコン基板1の裏面に接して配置される。そして、n型非晶質薄膜73は、n型非晶質薄膜72と同じ材料からなり、濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であるPをn型ドーパントして含む。また、n型非晶質薄膜73は、20~40nmの膜厚を有する。

[0094] このように、非晶質薄膜7は、n型非晶質薄膜（n型非晶質薄膜72またはn型非晶質薄膜73）を少なくとも含む。

[0095] そして、光電変換装置10Aは、n型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1が形成された表面に接して非晶質薄膜2を設け、n型単結晶シリコン基板1の裏面に接して非晶質薄膜7を設けた構造からなるので、n型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1が形成された表面は、非晶質薄膜2によってパッシベートされ、n型単結晶シリコン基板1の裏面は、非晶質薄膜7によってパッシベートされる。

[0096] 従って、n型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面および裏面の両方においてキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

[0097] また、i型非晶質薄膜71は、n型非晶質薄膜72、73よりもn型単結晶シリコン基板1の裏面に対するパッシベーション効果が大きい。

[0098] 従って、非晶質薄膜7をi型非晶質薄膜71およびn型非晶質薄膜72によって構成することによって、n型単結晶シリコン基板1と非晶質薄膜7と

の界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を更に低減できる。

[0099] 更に、光電変換装置 10A は、n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側および裏面側にそれぞれ非晶質薄膜 2, 7 を配置した構造からなるので、光電変換装置 10A を製造するときに n 型単結晶シリコン基板 1 に印加される熱歪が厚み方向で均等になり、n 型単結晶シリコン基板 1 の反りを抑制できる。

[0100] その他、光電変換装置 10A においては、光電変換装置 10 における効果と同じ効果を得ることができる。

[0101] 図 9 から図 11 は、それぞれ、図 7 に示す光電変換装置 10A の製造方法を示す第 1 から第 3 の工程図である。

[0102] なお、図 9 から図 11 に示す工程図においては、非晶質薄膜 2 が i 型非晶質シリコンおよび p 型非晶質シリコンからなり、非晶質薄膜 7 が i 型非晶質シリコンおよび n 型非晶質シリコンからなる場合を例にして光電変換装置 10A の製造方法を説明する。

[0103] 図 9 を参照して、光電変換装置 10A の製造が開始されると、図 4 に示す工程 (a) と同じ工程が実行され、n 型単結晶シリコン基板 30 が洗浄される (工程 (a))。

[0104] そして、図 4 に示す工程 (c) と同じ工程が実行され、光入射側の表面に凹凸構造 TX1 を有する n 型単結晶シリコン基板 1 が作製される (工程 (b))。

[0105] その後、図 4 に示す工程 (d) と同じ工程が実行され、i 型非晶質薄膜 21 および p 型非晶質薄膜 24 が n 型単結晶シリコン基板 1 の凹凸構造 TX1 に沿って順次積層される (工程 (c))。

[0106] 引き続いて、i 型非晶質シリコンおよび n 型非晶質シリコンをプラズマ CVD 法によって n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面に順次積層する。これによって、i 型非晶質薄膜 71 および n 型非晶質薄膜 72 が n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面に順次堆積される (工程 (d))。

[0107] この場合、i 型非晶質シリコンは、例えば、 SiH_4 ガスおよび H_2 ガスを用いて形成され、n 型非晶質シリコンは、例えば、 SiH_4 ガス、 H_2 ガスお

よびフォスフィン（ PH_3 ）ガスを用いて形成される。

[0108] 図10を参照して、工程（d）の後、図5に示す工程（e）と同じ工程を実行し、p型非晶質薄膜24の表面をエッチングし、凹凸構造 $\text{TX}2$ を形成する（工程（e））。これによって、i型非晶質薄膜21およびp型非晶質薄膜22からなる非晶質薄膜2が形成される（工程（f））。

[0109] そして、スパッタリングによってITOからなる透明導電膜3をp型非晶質薄膜22に接してp型非晶質薄膜22上に形成する（工程（g））。

[0110] 図11を参照して、工程（g）の後、スクリーン印刷によってAgペーストを塗布し、その塗布したAgペーストを焼成して電極4を透明導電膜3上に形成する。また、n型非晶質薄膜72上にAlを蒸着し、電極8を形成する。これによって、光電変換装置10Aが完成する（工程（h））。

[0111] このように、光電変換装置10Aは、n型単結晶シリコン基板1の両面にそれぞれ非晶質薄膜2、7をプラズマCVD法によって形成することによって製造される。

[0112] その結果、厚み方向からn型単結晶シリコン基板1に印加される熱歪が均等になり、n型単結晶シリコン基板1の反りを抑制できる。

[0113] なお、図9から図11における工程図においては、非晶質薄膜2がi型非晶質薄膜21およびp型非晶質薄膜22からなり、非晶質薄膜7がi型非晶質薄膜71およびn型非晶質薄膜72からなる場合を例にして光電変換装置10Aの製造方法を説明したが、非晶質薄膜2がp型非晶質薄膜23からなり、非晶質薄膜7がn型非晶質薄膜73からなる場合、光電変換装置10Aは、図9に示す工程（c）を、p型非晶質薄膜23をプラズマCVD法によってn型単結晶シリコン基板1の光入射側の表面上に堆積する工程に代え、図9に示す工程（d）を、n型非晶質薄膜73をプラズマCVD法によってn型単結晶シリコン基板1の裏面上に堆積する工程に代え、図10に示す工程（e）を、p型非晶質薄膜23をエッチングガスによってエッチングする工程に代えた工程図に従って製造される。

[0114] また、i型非晶質薄膜71がi型a-Si以外の材料からなり、n型非晶

質薄膜 72, 73 が p 型 a-Si 以外の材料からなる場合も、光電変換装置 10A は、図 9 から図 11 に示す工程図に従って製造される。

[0115] そして、i 型非晶質薄膜 71 が i 型 a-SiGe、i 型 a-Ge、i 型 a-SiC、i 型 a-SiN、i 型 a-SiO および i 型 a-SiCO のいずれからなる場合、材料ガスは、上述したとおりである。

[0116] また、n 型非晶質薄膜 72, 73 が n 型 a-SiGe からなる場合、SiH₄ ガス、GeH₄ ガス、PH₃ ガスおよび H₂ ガスが用いられ、n 型非晶質薄膜 72, 73 が n 型 a-Ge からなる場合、GeH₄ ガス、PH₃ ガスおよび H₂ ガスが用いられ、n 型非晶質薄膜 72, 73 が n 型 a-SiC からなる場合、SiH₄ ガス、CH₄ ガス、PH₃ ガスおよび H₂ ガスが用いられ、n 型非晶質薄膜 72, 73 が n 型 a-SiN からなる場合、SiH₄ ガス、NH₃ ガス、PH₃ ガスおよび H₂ ガスが用いられ、n 型非晶質薄膜 72, 73 が n 型 a-SiO からなる場合、SiH₄ ガス、O₂ ガス、PH₃ ガスおよび H₂ ガスが用いられ、n 型非晶質薄膜 72, 73 が n 型 a-SiCO からなる場合、SiH₄ ガス、CH₄ ガス、O₂ ガス、PH₃ ガスおよび H₂ ガスが用いられる。

[0117] 光電変換装置 10A の製造方法についてのその他の説明は、光電変換装置 10 の製造方法についての説明と同じである。

[0118] 図 12 は、実施の形態 1 による更に別の光電変換装置の構成を示す概略図である。実施の形態 1 による光電変換装置は、図 12 に示す光電変換装置 10B であってもよい。

[0119] 図 12 を参照して、光電変換装置 10B は、図 1 に示す光電変換装置 10 の n 型単結晶シリコン基板 1 を n 型単結晶シリコン基板 11 に代え、電極 4 を電極 9 に代えたものであり、その他は、光電変換装置 10 と同じである。

[0120] n 型単結晶シリコン基板 11 は、(100) の面方位、0.1~10Ωcm の比抵抗および 100μm~300μm の厚みを有する。そして、n 型単結晶シリコン基板 11 は、光入射側の表面に設けられた凹凸構造 TX3 と、光入射側の表面のうち、電極 9 に対向する部分に設けられた平坦面 FT1 とを有する。

- [0121] 凹凸構造 T X 3 は、図 1 に示す凹凸構造 T X 1 と同じ凹凸サイズを有する。
- [0122] 電極 9 は、平坦面 F T 1 に対向する透明導電膜 3 の平坦面 F T 2 に接して配置される。
- [0123] 光電変換装置 1 0 B においては、非晶質薄膜 2 は、n 型単結晶シリコン基板 1 1 の凹凸構造 T X 3 および平坦面 F T 1 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 2 を有する。
- [0124] また、光電変換装置 1 0 B においては、透明導電膜 3 は、n 型単結晶シリコン基板 1 1 の凹凸構造 T X 3 および平坦面 F T 1 に沿って配置され、光入射側の表面のうち、平坦面 F T 1 に対向する一部分に平坦面 F T 2 を有する。
- [0125] 光電変換装置 1 0 B においては、電極 9 の下側において、非晶質薄膜 2 は、平坦面 F T 1 で n 型単結晶シリコン基板 1 1 に接する。その結果、電極 9 の下側において、非晶質薄膜 2 と n 型単結晶シリコン基板 1 1 との接触面積が減少する。従って、n 型単結晶シリコン基板 1 を用いた場合よりも、非晶質薄膜 2 と n 型単結晶シリコン基板 1 1 との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を更に低減できる。
- [0126] 光電変換装置 1 0 B においては、その他、光電変換装置 1 0 と同じ効果が得られる。
- [0127] 光電変換装置 1 0 B は、図 4 から図 6 に示す工程図において、図 4 に示す工程（c）を、n 型単結晶シリコン基板 1 1 の光入射側の表面のうち、電極 9 に対向する n 型単結晶シリコン基板 1 1 の一部分をレジストで覆い、レジストによって覆われていない光入射側の表面をアルカリを用いてエッチングする工程に代えた工程図に従って製造される。
- [0128] なお、実施の形態 1 による光電変換装置は、光電変換装置 1 0 から光電変換装置 1 0 B への変更と同じ変更が光電変換装置 1 0 A に適用されたものであってもよい。この場合、光電変換装置は、図 9 から図 1 1 に示す工程図において、図 9 に示す工程（b）を、n 型単結晶シリコン基板 1 1 の光入射側

の表面のうち、電極 9 に対向する n 型単結晶シリコン基板 11 の一部分をレジストで覆い、レジストによって覆われていない光入射側の表面をアルカリを用いてエッチングする工程に代えた工程図に従って製造される。

[0129] この光電変換装置においても、光電変換装置 10B と同様に、n 型単結晶シリコン基板 1 を用いた場合よりも、非晶質薄膜 2 と n 型単結晶シリコン基板 11 との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を更に低減できる。

[0130] また、実施の形態 1 による光電変換装置は、n 型単結晶シリコン基板 1, 11 を n 型多結晶シリコン基板に代えたものであってもよい。この場合、n 型多結晶シリコン基板の光入射側の表面は、ドライエッチングによって凹凸化される。そして、n 型多結晶シリコン基板を備える光電変換装置は、上述した光電変換装置 10, 10A, 10B のいずれかの製造方法と同じ製造方法に従って製造される。

[0131] 更に、実施の形態 1 による光電変換装置は、光電変換装置 10, 10A, 10B の n 型単結晶シリコン基板 1, 11 を p 型単結晶シリコン基板または p 型多結晶シリコン基板に代えたものであってもよい。

[0132] この場合、p 型単結晶シリコン基板は、(100) の面方位、 $0.1 \sim 10 \Omega \text{cm}$ の比抵抗、および $100 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ の厚みを有する。p 型多結晶シリコン基板は、 $0.1 \sim 10 \Omega \text{cm}$ の比抵抗、および $100 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ の厚みを有し、光入射側の表面は、ドライエッチングによって凹凸化される。

[0133] また、非晶質薄膜 2 は、i 型非晶質薄膜および n 型非晶質薄膜からなり、または n 型非晶質薄膜からなる。そして、i 型非晶質薄膜および n 型非晶質薄膜の具体例は、上述したとおりである。

[0134] 更に、非晶質薄膜 7 は、i 型非晶質薄膜および p 型非晶質薄膜からなり、または p 型非晶質薄膜からなる。そして、i 型非晶質薄膜および p 型非晶質薄膜の具体例は、上述したとおりである。

[0135] p 型単結晶シリコン基板または p 型多結晶シリコン基板を備える光電変換

装置は、上述した光電変換装置 10, 10A, 10B のいずれかの製造方法において、n 型非晶質薄膜を p 型非晶質薄膜に読み替え、p 型非晶質薄膜を n 型非晶質薄膜に読み替えた製造方法に従って製造される。

[0136] 従って、実施の形態 1 による光電変換装置は、第 1 の凹凸サイズを有する第 1 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた結晶シリコン基板と、第 1 の凹凸構造に接して配置され、第 1 の凹凸サイズよりも小さい第 2 の凹凸サイズを有する第 2 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた非晶質薄膜とを備え、非晶質薄膜と結晶シリコン基板とによって p n 接合または p i n 接合が形成されるものであればよい。

[0137] [実施の形態 2]

図 13 は、実施の形態 2 による光電変換装置の構成を示す概略図である。図 13 を参照して、実施の形態 2 による光電変換装置 100 は、図 1 に示す光電変換装置 10 の n 型単結晶シリコン基板 1 を n 型単結晶シリコン基板 101 に代え、非晶質薄膜 2 を非晶質薄膜 102 に代え、電極 4 を電極 104 に代えたものであり、その他は、光電変換装置 10 と同じである。

[0138] n 型単結晶シリコン基板 101 は、光入射側に p 型拡散領域 101p を有する。p 型拡散領域 101p は、例えば、 $0.01\mu\text{m} \sim 0.1\mu\text{m}$ の拡散深さを有し、凹凸構造 TX1 に接して配置される。そして、p 型拡散領域 101p は、p 型ドーパントとしての B を含み、B の濃度は、例えば、 $10^{17}\text{cm}^{-3} \sim 10^{18}\text{cm}^{-3}$ である。

[0139] このように、n 型単結晶シリコン基板 101 は、n 型の導電型を有するバルク領域 101b と、p 型の導電型を有する p 型拡散領域 101p とからなり、光入射側に p n 接合を内蔵する。

[0140] n 型単結晶シリコン基板 101 についてのその他の説明は、n 型単結晶シリコン基板 1 についての説明と同じである。

[0141] 非晶質薄膜 102 は、n 型単結晶シリコン基板 101 の p 型拡散領域 101p に接して p 型拡散領域 101p 上に配置される。そして、非晶質薄膜 102 は、光入射側の表面に凹凸構造 TX2 を有する。

- [0142] 電極 104 は、例えば、Ag からなる。そして、電極 104 は、透明導電膜 3 および非晶質薄膜 102 を貫通し、n 型単結晶シリコン基板 101 の p 型拡散領域 101p の一部に接して配置される。
- [0143] 光電変換装置 100 においては、透明導電膜 3 は、非晶質薄膜 102 に接して非晶質薄膜 102 上に配置される。
- [0144] 図 14 は、図 13 に示す非晶質薄膜 102 の構成を示す概略図である。図 14 を参照して、非晶質薄膜 102 は、非晶質薄膜 102A ~ 102E のいずれかからなる。
- [0145] 非晶質薄膜 102A は、i 型非晶質薄膜 102i と、p 型非晶質薄膜 102p とからなる（(a) 参照）。
- [0146] i 型非晶質薄膜 102i は、n 型単結晶シリコン基板 101 の凹凸構造 TX1 に接して配置される。そして、i 型非晶質薄膜 102i は、例えば、10 ~ 20 nm の膜厚を有する。
- [0147] p 型非晶質薄膜 102p は、i 型非晶質薄膜 102i に接して i 型非晶質薄膜 102i 上に配置され、光入射側の表面に凹凸構造 TX2 を有する。そして、p 型非晶質薄膜 102p は、1 ~ 200 nm の膜厚を有する。また、p 型非晶質薄膜 102p は、任意の B 濃度を有する。
- [0148] i 型非晶質薄膜 102i は、上述した i 型非晶質薄膜 21 と同じ材料からなる。また、p 型非晶質薄膜 102p は、上述した p 型非晶質薄膜 22 と同じ材料からなる。
- [0149] そして、i 型非晶質薄膜 102i と p 型非晶質薄膜 102p との材料の組み合わせは、任意であるが、i 型非晶質薄膜 102i が i 型 a-Si からなり、p 型非晶質薄膜 102p が p 型 a-Si からなる組み合わせが好ましい。
- [0150] 非晶質薄膜 102B は、i 型非晶質薄膜 103i からなる（図 14 の (b) 参照）。i 型非晶質薄膜 103i は、n 型単結晶シリコン基板 101 の凹凸構造 TX1 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 TX2 を有する。そして、i 型非晶質薄膜 103i は、例えば、1 ~ 200 nm の膜厚を有する。

する。また、*i*型非晶質薄膜103*i*は、上述した*i*型非晶質薄膜21と同じ材料からなる。

[0151] 非晶質薄膜102Cは、*p*型非晶質薄膜103*p*からなる（図14の（c）参照）。*p*型非晶質薄膜103*p*は、*n*型単結晶シリコン基板101の凹凸構造TX1に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX2を有する。そして、*p*型非晶質薄膜103*p*は、例えば、1～200nmの膜厚を有する。また、*p*型非晶質薄膜103*p*は、上述した*p*型非晶質薄膜22と同じ材料からなる。

[0152] 非晶質薄膜102Dは、*i*型非晶質薄膜102*i*と、*n*型非晶質薄膜102*n*とからなる（図14の（d）参照）。*n*型非晶質薄膜102*n*は、*i*型非晶質薄膜102*i*に接して*i*型非晶質薄膜102*i*上に配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX2を有する。そして、*n*型非晶質薄膜102*n*は、例えば、1～200nmの膜厚および任意のP濃度を有する。また、*n*型非晶質薄膜102*n*は、上述した*n*型非晶質薄膜72と同じ材料からなる。

[0153] そして、*i*型非晶質薄膜102*i*と*n*型非晶質薄膜102*n*との材料の組み合わせは、任意であるが、*i*型非晶質薄膜102*i*が*i*型a-Siからなり、*n*型非晶質薄膜102*n*が*n*型a-Siからなる組み合わせが好ましい。

[0154] 非晶質薄膜102Eは、*n*型非晶質薄膜103*n*からなる（図14の（e）参照）。*n*型非晶質薄膜103*n*は、*n*型単結晶シリコン基板101の凹凸構造TX1に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX2を有する。そして、*n*型非晶質薄膜103*n*は、例えば、1～200nmの膜厚を有する。また、*n*型非晶質薄膜103*n*は、上述した*n*型非晶質薄膜72と同じ材料からなる。

[0155] このように、光電変換装置100においては、非晶質薄膜102は、接合を形成せず、光入射側における光の反射率低下および*n*型単結晶シリコン基板101の光入射側の表面のパッシベーション効果に寄与すればよいので、上述した各種の材料からなる。

[0156] 図15から図17は、それぞれ、図13に示す光電変換装置100の製造方法を示す第1から第3の工程図である。

[0157] なお、図15から図17においては、非晶質薄膜102がi型非晶質薄膜102i（i型a-Si）およびp型非晶質薄膜102p（p型a-Si）からなる場合を例にして光電変換装置100の製造方法を説明する。

[0158] 図15を参照して、光電変換装置100の製造が開始されると、図4に示す工程（a）～工程（c）と同じ工程が実行され、パッシベーション膜20を裏面に有するn型単結晶シリコン基板1が作製される（工程（a）～工程（c））。

[0159] そして、工程（c）の後、n型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1が形成された面側からBを拡散させ、p型拡散領域101pをn型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1に接して形成する（工程（d））。これによって、n型単結晶シリコン基板101が作製される。

[0160] 工程（d）におけるBの拡散は、より詳細には、例えば、B源としてBSG（B-doped Silicate Glass）膜をAPCVD（Atmospheric Chemical Vapour Deposition）法によってn型単結晶シリコン基板1上に堆積し、その堆積したBSG膜を窒素ガス雰囲気中で800℃程度の温度で熱処理し、その後、BSG膜を除去することによって行われる。

[0161] 工程（d）の後、i型非晶質薄膜102i（=i型a-Si）およびp型非晶質薄膜104p（=p型a-Si）がプラズマCVD法によってn型単結晶シリコン基板101上に順次堆積される（工程（e））。この場合、材料ガスは、上述したとおりである。

[0162] 図16を参照して、工程（e）の後、図5に示す工程（e）と同じ工程を実行し、p型非晶質薄膜104pの光入射側の表面をエッチングし（工程（f））、光入射側の表面に凹凸構造TX2を有するp型非晶質薄膜102pを形成する（工程（g））。これによって、非晶質薄膜102がn型単結晶シリコン基板101上に形成される。

- [0163] 工程（g）の後、スパッタリング法によって透明導電膜3を非晶質薄膜102上に堆積する（工程（h））。
- [0164] そして、フォトリソグラフィおよびエッチングを用いて透明導電膜3および非晶質薄膜102の一部を所望の間隔でエッチングし、n型単結晶シリコン基板101の一部を露出させる（工程（i））。
- [0165] 図17を参照して、工程（i）の後、Agペーストをn型単結晶シリコン基板101の露出部に塗布し、その塗布したAgペーストを焼成する。これによって電極104が形成される（工程（j））。
- [0166] その後、図6に示す工程（i）、（j）と同じ工程を順次実行し、光電変換装置100が完成する（工程（k）、（l））。
- [0167] なお、非晶質薄膜102の構成として、非晶質薄膜102B～102E（図14の（b）～（e）参照）のいずれかが用いられる場合も、光電変換装置100は、図15から図17に示す工程図に従って製造される。
- [0168] そして、非晶質薄膜102が非晶質薄膜102B（＝i型非晶質薄膜103i）からなる場合（図14の（b）参照）、図15に示す工程（e）において、i型非晶質薄膜103i（＝i型a-Si）のみがn型単結晶シリコン基板101上に堆積される。
- [0169] また、非晶質薄膜102が非晶質薄膜102C（＝p型非晶質薄膜103p）からなる場合（図14の（c）参照）、図15に示す工程（e）において、p型非晶質薄膜103p（＝p型a-Si）のみがn型単結晶シリコン基板101上に堆積される。
- [0170] 更に、非晶質薄膜102が非晶質薄膜102D（＝i型非晶質薄膜102i／n型非晶質薄膜102n）からなる場合（図14の（d）参照）、図15に示す工程（e）において、i型非晶質薄膜102i（＝i型a-Si）およびn型非晶質薄膜102n（＝n型a-Si）がn型単結晶シリコン基板101上に順次堆積される。
- [0171] 更に、非晶質薄膜102が非晶質薄膜102E（＝n型非晶質薄膜103n）からなる場合（図14の（e）参照）、図15に示す工程（e）におい

て、 n 型非晶質薄膜 103n のみが n 型単結晶シリコン基板 101 上に堆積される。

[0172] また、 i 型非晶質薄膜 102i, 103i が i 型 $a-Si$ 以外の材料からなり、 p 型非晶質薄膜 102p, 103p が p 型 $a-Si$ 以外の材料からなり、 n 型非晶質薄膜 102n, 103n が n 型 $a-Si$ 以外の材料からなる場合も、光電変換装置 100 は、図 15 から図 17 に示す工程図に従って製造される。

[0173] この場合、 i 型非晶質薄膜 102i, 103i、 p 型非晶質薄膜 102p, 103p および n 型非晶質薄膜 102n, 103n を堆積するときの材料ガスは、上述したとおりである。

[0174] 光電変換装置 100 は、光入射側の表面に凹凸構造 TX1 を有する n 型単結晶シリコン基板 101 と、 n 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側の表面に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 TX2 を有する非晶質薄膜 102 とを備えるので、光入射側の表面における光の反射率を低下できるとともに、 n 型単結晶シリコン基板 101 の光入射側の表面をパッシベートして n 型単結晶シリコン基板 101 と非晶質薄膜 102 との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

[0175] また、光電変換装置 100 においては、光励起された正孔は、 p 型拡散領域 101p を介して電極 104 へ到達するので、非晶質薄膜 102 は、光励起された正孔を電極 104 へ伝導させるよりも、 p 型拡散領域 101p との界面における正孔の再結合の低減および光の反射率低下に寄与する。

[0176] 従って、非晶質薄膜 102 を非晶質薄膜 102A, 102B, 102D のいずれかによって構成するのが好ましい。 i 型非晶質薄膜 102i, 103i は、ドーパントを含む p 型非晶質薄膜 103p および n 型非晶質薄膜 103n よりも n 型単結晶シリコン基板 101 の表面に対するパッシベーション効果が大きいからである。また、パッシベーション効果、製造工程の簡略化および材料コストの低コスト化の観点から、非晶質薄膜 102 を i 型非晶質薄膜 103i のみによって構成するのが最も好ましい。

- [0177] また、非晶質薄膜 102 として、p 型非晶質薄膜 102p, 103p または n 型非晶質薄膜 102n, 103n を用いた場合、ドーパント濃度を $10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と比較的 low に設定することが好ましい。ドーパント濃度の低下によって、非晶質薄膜 102 と n 型単結晶シリコン基板 101 の p 型拡散領域 101p との界面における欠陥密度を低減でき、非晶質薄膜 102 と p 型拡散領域 101p との界面における再結合を低減できるからである。
- [0178] 更に、非晶質薄膜 102 として、n 型非晶質薄膜 102n, 103n を用いた場合、非晶質薄膜 102 におけるドーパント濃度を n 型単結晶シリコン基板 101 から透明導電膜 3 へ向かうに従って徐々に高くしてもよい。
- [0179] これにより、非晶質薄膜 102 と p 型拡散領域 101p との界面における再結合を低減できるとともに、価電子帯側における非晶質薄膜 102 と p 型拡散領域 101p とのバンドの不連続によって少数キャリア（正孔）の透明導電膜 3 への流出を抑制できる。
- [0180] 図 18 は、実施の形態 2 による別の光電変換装置の構成を示す概略図である。実施の形態 2 による光電変換装置は、図 18 に示す光電変換装置 100A であってもよい。
- [0181] 図 18 を参照して、光電変換装置 100A は、図 13 に示す光電変換装置 100 の n 型単結晶シリコン基板 101 を n 型単結晶シリコン基板 111 に代え、電極 104 を電極 114 に代えたものであり、その他は、光電変換装置 100 と同じである。
- [0182] n 型単結晶シリコン基板 111 は、(100) の面方位、 $0.1 \sim 10 \Omega \text{ cm}$ の比抵抗および $100 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ の厚みを有する。そして、n 型単結晶シリコン基板 111 は、光入射側の表面に設けられた凹凸構造 TX3 と、光入射側の表面のうち、電極 114 に接する部分に設けられた平坦面 FT3 とを有する。凹凸構造 TX3 は、図 1 に示す凹凸構造 TX1 と同じ凹凸サイズを有する。
- [0183] また、n 型単結晶シリコン基板 111 は、光入射面側に p 型拡散領域 11

1 pを有する。p型拡散領域111pは、n型単結晶シリコン基板111の光入射側において凹凸構造T×3に接して配置される。そして、p型拡散領域111pは、光電変換装置100のp型拡散領域101p（図13参照）と同じ拡散深さおよびB濃度を有する。その結果、n型単結晶シリコン基板111は、n型の導電型を有するバルク領域111bとp型の導電型を有するp型拡散領域111pとからなり、光入射側にpn接合を内蔵する。

[0184] 電極114は、例えば、Agからなる。そして、電極114は、透明導電膜3および非晶質薄膜102を貫通し、n型単結晶シリコン基板111のp型拡散領域111pの平坦面FT3に接して配置される。

[0185] 光電変換装置100Aにおいては、電極114は、n型単結晶シリコン基板111の平坦面FT3に接するので、n型単結晶シリコン基板111と電極114との接触面積が光電変換装置100よりも小さくなる。従って、n型単結晶シリコン基板111と電極114との界面における少数キャリア（正孔）の再結合を光電変換装置100よりも更に低減できる。光電変換装置100Aにおいては、その他、光電変換装置100と同じ効果を得ることができる。

[0186] なお、光電変換装置100Aは、図15から図17に示す工程図において、図15に示す工程（c）を、n型単結晶シリコン基板111の光入射側の表面のうち、電極114に接するn型単結晶シリコン基板111の一部をレジストで覆い、レジストによって覆われていない光入射側の表面をアルカリを用いてエッチングする工程に代えた工程図に従って製造される。

[0187] 上記においては、n型単結晶シリコン基板101, 111を用いた光電変換装置100, 100Aについて説明したが、実施の形態2においては、これに限らず、実施の形態2による光電変換装置は、n型単結晶シリコン基板101, 111をn型多結晶シリコン基板に代えたものであってもよい。この場合、n型多結晶シリコン基板の光入射側の表面は、ドライエッチングによって凹凸化される。そして、n型多結晶シリコン基板を備える光電変換装置は、上述した光電変換装置100, 100Aのいずれかの製造方法と同じ

製造方法に従って製造される。

[0188] また、実施の形態2による光電変換装置は、光電変換装置100、100Aのn型単結晶シリコン基板101、111をp型単結晶シリコン基板またはp型多結晶シリコン基板に代えたものであってもよい。

[0189] この場合、p型単結晶シリコン基板は、(100)の面方位、0.1~10Ωcmの比抵抗、および100μm~300μmの厚みを有する。p型多結晶シリコン基板は、0.1~10Ωcmの比抵抗、および100μm~300μmの厚みを有し、光入射側の表面は、ドライエッチングによって凹凸化される。

[0190] p型単結晶シリコン基板またはp型多結晶シリコン基板を備える光電変換装置は、上述した光電変換装置100、100Aのいずれかの製造方法において、p型拡散領域をn型拡散領域に読み替えた製造方法に従って製造される。

[0191] このように、実施の形態2による光電変換装置は、各種の光電変換装置からなる。従って、実施の形態2による光電変換装置は、第1の凹凸サイズを有する第1の凹凸構造が光入射側の表面に設けられるとともに、光入射側の表面に接して設けられ、かつ、バルク領域の導電型と反対の導電型を有する拡散領域と、バルク領域とを含む結晶シリコン基板と、第1の凹凸構造に接して配置され、第1の凹凸サイズよりも小さい第2の凹凸サイズを有する第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた非晶質薄膜とを備えるものであればよい。

[0192] [実施の形態3]

図19は、実施の形態3による光電変換装置の構成を示す概略図である。図19を参照して、実施の形態3による光電変換装置200は、図1に示す光電変換装置10の電極4を削除し、非晶質薄膜2を非晶質薄膜102に代え、パッシベーション膜5および電極6を非晶質薄膜201~20n(nは2以上の整数)、211~21n-1および電極221~22n、231~23n-1に代えたものであり、その他は、光電変換装置10と同じである。

。

[0193] 非晶質薄膜102は、n型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX2を有する。そして、非晶質薄膜102は、上述したように、非晶質薄膜102A~102E（図14の（a）~（e）参照）のいずれかからなる。また、非晶質薄膜102は、例えば、1~200nmの膜厚を有する。

[0194] 非晶質薄膜201~20nは、n型単結晶シリコン基板1の裏面に接するとともに、n型単結晶シリコン基板1の面内方向DR1において非晶質薄膜211~21n-1と交互に配置される。

[0195] 非晶質薄膜211~21n-1は、n型単結晶シリコン基板1の裏面に接するとともに、面内方向DR1において非晶質薄膜201~20nと交互に配置される。そして、非晶質薄膜211~21n-1は、面内方向DR1に垂直な方向（=図19の紙面上、手前から奥へ向かう方向）において、非晶質薄膜201~20nと同じ長さを有する。

[0196] 電極221~22nは、それぞれ、非晶質薄膜201~20nに接して配置される。電極231~23n-1は、それぞれ、非晶質薄膜211~21n-1に接して配置される。そして、電極221~22n、231~23n-1の各々は、例えば、A1からなる。

[0197] 図20は、図19に示す非晶質薄膜201の構成を示す概略図である。図20を参照して、非晶質薄膜201は、非晶質薄膜201Aまたは非晶質薄膜201Bからなる。

[0198] 非晶質薄膜201Aは、i型非晶質薄膜201iとn型非晶質薄膜201nとを含む（図20の（a）参照）。i型非晶質薄膜201iは、n型単結晶シリコン基板1の裏面に接して配置される。i型非晶質薄膜201iは、例えば、10~20nmの膜厚を有する。そして、i型非晶質薄膜201iは、上述したi型非晶質薄膜21と同じ材料からなる。

[0199] n型非晶質薄膜201nは、i型非晶質薄膜201iに接して配置される。n型非晶質薄膜201nは、例えば、10~20nmの膜厚を有する。ま

た、 n 型非晶質薄膜 201n は、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の P 濃度を有する。そして、 n 型非晶質薄膜 201n は、上述した n 型非晶質薄膜 72 と同じ材料からなる。

[0200] i 型非晶質薄膜 201i の材料と n 型非晶質薄膜 201n の材料との組み合わせは、任意であるが、 i 型非晶質薄膜 201i が i 型 $a-Si$ からなり、 n 型非晶質薄膜 201n が n 型 $a-Si$ からなる組み合わせが好ましい。

[0201] 非晶質薄膜 201B は、 n 型非晶質薄膜 201n' からなる（図 20 の（b）参照）。 n 型非晶質薄膜 201n' は、 n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面に接して配置される。 n 型非晶質薄膜 201n' は、例えば、20～40 nm の膜厚を有する。また、 n 型非晶質薄膜 201n' は、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の P 濃度を有する。そして、 n 型非晶質薄膜 201n' は、上述した n 型非晶質薄膜 72 と同じ材料からなる。

[0202] このように、非晶質薄膜 201 は、少なくとも n 型非晶質薄膜を含む構成からなる。

[0203] なお、図 19 に示す非晶質薄膜 202～20n の各々も、非晶質薄膜 201 と同じように、図 20 に示す非晶質薄膜 201A、201B のいずれかからなる。

[0204] 図 21 は、図 19 に示す別の非晶質薄膜 211 の構成を示す概略図である。図 21 を参照して、非晶質薄膜 211 は、非晶質薄膜 211A または非晶質薄膜 211B からなる。

[0205] 非晶質薄膜 211A は、 i 型非晶質薄膜 211i と p 型非晶質薄膜 211p とを含む（図 21 の（a）参照）。 i 型非晶質薄膜 211i は、 n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面に接して配置される。 i 型非晶質薄膜 211i は、例えば、10～20 nm の膜厚を有する。そして、 i 型非晶質薄膜 211i は、上述した i 型非晶質薄膜 21 と同じ材料からなる。

[0206] p 型非晶質薄膜 211p は、 i 型非晶質薄膜 211i に接して配置される。 p 型非晶質薄膜 211p は、例えば、10～20 nm の膜厚を有する。また、 p 型非晶質薄膜 211p は、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の P 濃度を有する。

m^{-3} のB濃度を有する。そして、p型非晶質薄膜211pは、上述したp型非晶質薄膜22と同じ材料からなる。

[0207] i型非晶質薄膜211iの材料とp型非晶質薄膜211pの材料との組み合わせは、任意であるが、i型非晶質薄膜211iがi型a-Siからなり、p型非晶質薄膜211pがp型a-Siからなる組み合わせが好ましい。

[0208] 非晶質薄膜211Bは、p型非晶質薄膜211p'からなる(図21の(b)参照)。p型非晶質薄膜211p'は、n型単結晶シリコン基板1の裏面に接して配置される。p型非晶質薄膜211p'は、例えば、20~40nmの膜厚を有する。また、p型非晶質薄膜211p'は、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のB濃度を有する。そして、p型非晶質薄膜211p'は、上述したp型非晶質薄膜22と同じ材料からなる。

[0209] このように、非晶質薄膜211は、少なくともp型非晶質薄膜を含む構成からなる。

[0210] なお、図19に示す非晶質薄膜212~21n-1の各々も、非晶質薄膜211と同じように、図21に示す非晶質薄膜211A, 211Bのいずれかからなる。

[0211] 光電変換装置200においては、非晶質薄膜211~21n-1の全体の面積がn型単結晶シリコン基板1の面積に占める割合である面積占有率は、60~93%であり、非晶質薄膜201~20nの全体の面積がn型単結晶シリコン基板1の面積に占める割合である面積占有率は、5~20%である。

[0212] このように、非晶質薄膜211~21n-1の面積占有率を非晶質薄膜201~20nの面積占有率よりも大きくするのは、n型単結晶シリコン基板1中で光励起された電子および正孔がpn接合(少なくともp型非晶質薄膜を含む非晶質薄膜211~21n-1/n型単結晶シリコン基板1)によって分離され易くし、光励起された電子および正孔の発電への寄与率を高くするためである。

[0213] 光電変換装置200においては、入射光が透明導電膜3側からn型単結晶

シリコン基板 1 へ入射する。この場合、光入射側には、電極が存在せず、凹凸サイズが異なる 2 つの凹凸構造 $T \times 1$, $T \times 2$ が存在するので、光の反射率が低下し、より多くの入射光が n 型単結晶シリコン基板 1 へ入射する。

[0214] そして、 n 型単結晶シリコン基板 1 において、電子および正孔が光励起される。

[0215] 光励起された電子は、拡散によって非晶質薄膜 201 ~ 20n に到達し、非晶質薄膜 201 ~ 20n を介して電極 221 ~ 22n へ到る。この場合、 n 型単結晶シリコン基板 1 の凹凸構造 $T \times 1$ の近傍で光励起された電子は、非晶質薄膜 102 による n 型単結晶シリコン基板 1 の表面のパッシベーション効果によって、非晶質薄膜 102 と n 型単結晶シリコン基板 1 との界面で再結合し難くなり、非晶質薄膜 201 ~ 20n へ拡散し易くなる。

[0216] 一方、光励起された正孔は、拡散によって非晶質薄膜 211 ~ 21n-1 に到達し、非晶質薄膜 211 ~ 21n-1 を介して電極 231 ~ 23n-1 に到る。この場合、 n 型単結晶シリコン基板 1 の凹凸構造 $T \times 1$ の近傍で光励起された正孔は、非晶質薄膜 102 による n 型単結晶シリコン基板 1 の表面のパッシベーション効果によって、非晶質薄膜 102 と n 型単結晶シリコン基板 1 との界面で再結合し難くなり、非晶質薄膜 211 ~ 21n-1 へ拡散し易くなる。

[0217] そして、電子は、電極 221 ~ 22n と電極 231 ~ 23n-1 との間に接続された負荷を流れ、電極 231 ~ 23n-1 において正孔と再結合する。

[0218] このように、光電変換装置 200 は、光励起されたキャリア（電子および正孔）を裏面から取出すバックコンタクト型の光電変換装置である。

[0219] 上述したように、光電変換装置 200 は、凹凸構造 $T \times 1$ が形成された n 型単結晶シリコン基板 1 と、凹凸構造 $T \times 1$ に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 $T \times 2$ が形成された非晶質薄膜 102 とを備えるので、光入射側の表面において入射光に対する反射率を低下させることができるとともに、非晶質薄膜 102 と n 型単結晶シリコン基板 1 の凹凸構造 $T \times 1$ との界

面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

[0220] 図22から図25は、それぞれ、図19に示す光電変換装置200の製造方法を示す第1から第4の工程図である。

[0221] なお、図22から図25においては、非晶質薄膜102がi型非晶質薄膜102iおよびn型非晶質薄膜102nからなり（図14の（d）参照）、非晶質薄膜201～20nの各々がi型非晶質薄膜201iおよびn型非晶質薄膜201nからなり（図20の（a）参照）、非晶質薄膜211～21n-1の各々がi型非晶質薄膜211iおよびp型非晶質薄膜211pからなる場合（図21の（a）参照）を例にして光電変換装置200の製造方法について説明する。

[0222] 図22を参照して、光電変換装置200の製造が開始されると、上述したように、n型単結晶シリコン基板30を洗浄する（工程（a））。

[0223] そして、n型単結晶シリコン基板30の一方の表面をアルカリで異方性エッチングして凹凸構造TX1を形成する（工程（b））。これにより、n型単結晶シリコン基板1が形成される。

[0224] その後、n型単結晶シリコン基板1の凹凸構造TX1を形成した表面上に、i型非晶質薄膜（=i型a-Si）およびn型非晶質薄膜104n（=n型a-Si）をプラズマCVD法によって順次堆積する（工程（c））。

[0225] 引き続いて、n型単結晶シリコン基板1の裏面にi型非晶質薄膜201i（=i型a-Si）およびp型非晶質薄膜240p（=p型a-Si）を順次堆積する（工程（d））。

[0226] 図23を参照して、工程（d）の後、p型非晶質薄膜240pの全面にレジストを塗布し、その塗布したレジストをフォトリソグラフィによってパターンニングしてレジストパターン250を形成する（工程（e））。

[0227] そして、レジストパターン250をマスクとしてp型非晶質薄膜240pをエッチングし、n-1個のp型非晶質薄膜201pを形成する（工程（f））。

[0228] その後、レジストパターン250をマスクとしてn型非晶質薄膜201n

(n 型 $a-Si$) を、露出した i 型非晶質薄膜 201 i ($=i$ 型 $a-Si$) 上にプラズマ CVD 法によって堆積する (工程 (g))。この場合、レジストパターン 250 上に、 n 型非晶質薄膜 260 ($=n$ 型 $a-Si$) が堆積される。

[0229] 図 24 を参照して、工程 (g) の後、レジストパターン 250 を除去する。そうすると、 n 型非晶質薄膜 260 は、リフトオフにより除去される。その結果、非晶質薄膜 201 $\sim$ 20 n および非晶質薄膜 211 $\sim$ 21 $n-1$ が n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面に形成される。

[0230] そして、図 5 に示す工程 (e) と同じ工程を実行し、 n 型非晶質薄膜 104 n の光入射側の表面をエッチングする (工程 (h))。これによって、凹凸構造 $T \times 2$ を光入射側の表面に有する n 型非晶質薄膜 102 n が形成される (工程 (i))。

[0231] その後、スパッタリング法によって透明導電膜 3 を非晶質薄膜 102 上に形成する (工程 (j))。

[0232] 図 25 を参照して、工程 (j) の後、非晶質薄膜 201 $\sim$ 20 n および非晶質薄膜 211 $\sim$ 21 $n-1$ 上に A1 ペーストを塗布し、その塗布した A1 ペーストを焼成し、電極 221 $\sim$ 22 n , 231 $\sim$ 23 $n-1$ を形成する。これによって、光電変換装置 200 が完成する (工程 (k))。

[0233] 非晶質薄膜 102 が非晶質薄膜 102 A $\sim$ 102 C, 102 E (図 14 の (a) $\sim$ (c), (e) 参照) のいずれかからなる場合も、光電変換装置 200 は、図 22 から図 25 に示す工程図に従って製造される。そして、非晶質薄膜 102 が図 14 の (b) に示す i 型非晶質薄膜 103 i からなる場合、図 22 に示す工程 (c) において、 i 型非晶質薄膜のみが堆積され、その堆積された i 型非晶質薄膜は、図 24 に示す工程 (h) において、光入射側の表面がエッチングされる。

[0234] また、非晶質薄膜 102 が図 14 の (c) に示す p 型非晶質薄膜 103 p からなる場合、図 22 に示す工程 (c) において、 p 型非晶質薄膜のみが堆積され、その堆積された p 型非晶質薄膜は、図 24 に示す工程 (h) におい

て、光入射側の表面がエッチングされる。

[0235] 更に、非晶質薄膜 102 が図 14 の (a) に示す i 型非晶質薄膜 102 i / p 型非晶質薄膜 102 p からなる場合、図 22 に示す工程 (c) において、i 型非晶質薄膜 102 i および p 型非晶質薄膜が順次堆積され、その堆積された p 型非晶質薄膜は、図 24 に示す工程 (h) において、光入射側の表面がエッチングされる。

[0236] 更に、非晶質薄膜 102 が図 14 の (e) に示す n 型非晶質薄膜 103 n からなる場合、図 22 に示す工程 (c) において、n 型非晶質薄膜のみが堆積され、その堆積された n 型非晶質薄膜は、図 24 に示す工程 (h) において、光入射側の表面がエッチングされる。

[0237] 非晶質薄膜 201 ~ 20 n が n 型非晶質薄膜からなり、非晶質薄膜 211 ~ 21 n - 1 が p 型非晶質薄膜からなる場合も、光電変換装置 200 は、図 22 から図 25 に示す工程図に従って製造される。この場合、図 22 の工程 (d) において、i 型非晶質薄膜の堆積が省略される。

[0238] また、光電変換装置 200 においては、非晶質薄膜 201 ~ 20 n が i 型非晶質薄膜 201 i / n 型非晶質薄膜 201 n からなり、非晶質薄膜 211 ~ 21 n - 1 が p 型非晶質薄膜 211 p' のみからなっているとしてもよく、非晶質薄膜 201 ~ 20 n が n 型非晶質薄膜 201 n' のみからなり、非晶質薄膜 211 ~ 21 n - 1 が i 型非晶質薄膜 211 i / p 型非晶質薄膜 211 p からなっているともよい。この場合も、光電変換装置 200 は、図 22 から図 25 に示す工程図に従って製造される。

[0239] そして、非晶質薄膜 201 ~ 20 n が n 型非晶質薄膜 201 n' のみからなり、非晶質薄膜 211 ~ 21 n - 1 が i 型非晶質薄膜 211 i / p 型非晶質薄膜 211 p からなる場合、図 23 の工程 (f) において、レジストパターン 250 をマスクとして i 型非晶質薄膜 102 i および p 型非晶質薄膜 104 p の両方がエッチングされる。

[0240] 一方、非晶質薄膜 201 ~ 20 n が i 型非晶質薄膜 201 i / n 型非晶質薄膜 201 n からなり、非晶質薄膜 211 ~ 21 n - 1 が p 型非晶質薄膜 2

1 1 p' のみからなる場合、図 2 2 の工程 (d) において、i 型非晶質薄膜 1 0 2 i および n 型非晶質薄膜 1 0 4 n が順次積層され、図 2 3 の工程 (f) において、レジストパターン 2 5 0 をマスクとして i 型非晶質薄膜 1 0 2 i および n 型非晶質薄膜 1 0 4 n の両方がエッチングされ、図 2 3 の工程 (g) において、p 型非晶質薄膜が堆積される。

[0241] このように、非晶質薄膜 1 0 2、非晶質薄膜 2 0 1 ~ 2 0 n および非晶質薄膜 2 1 1 ~ 2 1 n - 1 が各種の材料からなっている、光電変換装置 2 0 0 は、図 2 2 から図 2 5 に示す工程図に従って製造される。

[0242] 光電変換装置 2 0 0 は、n 型単結晶シリコン基板 1 の光入射側に非晶質薄膜 1 0 2 を備え、n 型単結晶シリコン基板 1 の裏面側に非晶質薄膜 2 0 1 ~ 2 0 n および非晶質薄膜 2 1 1 ~ 2 1 n - 1 を備えるので、製造工程において、n 型単結晶シリコン基板 1 に印加される歪は、厚み方向において均等になる。従って、n 型単結晶シリコン基板 1 の反りを抑制できる。

[0243] なお、光電変換装置 2 0 0 は、n 型単結晶シリコン基板 1 を備えると説明したが、実施の形態 3 においては、これに限らず、光電変換装置 2 0 0 は、p 型単結晶シリコン基板を備えていてもよい。この場合、非晶質薄膜 2 0 1 ~ 2 0 n は、i 型非晶質薄膜 / p 型非晶質薄膜、または p 型非晶質薄膜からなり、非晶質薄膜 2 1 1 ~ 2 1 n - 1 は、i 型非晶質薄膜 / n 型非晶質薄膜、または n 型非晶質薄膜からなる。

[0244] そして、光電変換装置 2 0 0 は、p 型単結晶シリコン基板を備える場合も、図 2 2 から図 2 5 に示す工程図に従って製造される。

[0245] 上記においては、n 型単結晶シリコン基板または p 型単結晶シリコン基板の光入射側の表面に形成された凹凸構造 T X 1 に接して非晶質薄膜 1 0 2 を配置するとともに、非晶質薄膜 1 0 2 の光入射側の表面に凹凸構造 T X 2 を配置し、n 型単結晶シリコン基板または p 型単結晶シリコン基板の裏面にバックコンタクト用の非晶質薄膜 2 0 1 ~ 2 0 n, 2 1 1 ~ 2 1 n - 1 を形成した光電変換装置について説明した。

[0246] 従って、実施の形態 3 による光電変換装置は、光入射側の表面に凹凸構造

T X 1 を有する単結晶シリコン基板と、凹凸構造 T X 1 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 2 を有する非晶質薄膜 1 0 2 と、バックコンタクトを形成するための非晶質薄膜 2 0 1 ~ 2 0 n, 2 1 1 ~ 2 1 n - 1 とを備えていればよい。

[0247] [実施の形態 4]

図 2 6 は、実施の形態 4 による光電変換装置の構成を示す概略図である。図 2 6 を参照して、実施の形態 4 による光電変換装置 3 0 0 は、図 1 9 に示す光電変換装置 2 0 0 の非晶質薄膜 2 0 1 ~ 2 0 n, 2 1 1 ~ 2 1 n - 1 を削除し、n 型単結晶シリコン基板 1 を n 型単結晶シリコン基板 3 0 1 に代え、電極 2 2 1 ~ 2 2 n, 2 3 1 ~ 2 3 n - 1 を電極 3 3 1 ~ 3 3 n, 3 4 1 ~ 3 4 n - 1 に代えたものであり、その他は、光電変換装置 2 0 0 と同じである。

[0248] n 型単結晶シリコン基板 3 0 1 は、光入射側の表面に凹凸構造 T X 1 を有し、裏面側に n 型拡散領域 3 1 1 ~ 3 1 n および p 型拡散領域 3 2 1 ~ 3 2 n - 1 を有する。その結果、n 型単結晶シリコン基板 3 0 1 は、バルク領域 3 0 1 b と、n 型拡散領域 3 1 1 ~ 3 1 n および p 型拡散領域 3 2 1 ~ 3 2 n - 1 とを含み、pn 接合 (p 型拡散領域 3 2 1 ~ 3 2 n - 1 / n 型単結晶シリコン基板 3 0 1) を裏面側に内蔵する。

[0249] n 型単結晶シリコン基板 3 0 1 についてのその他の説明は、n 型単結晶シリコン基板 1 と同じである。

[0250] n 型拡散領域 3 1 1 ~ 3 1 n および p 型拡散領域 3 2 1 ~ 3 2 n - 1 は、n 型単結晶シリコン基板 3 0 1 の裏面に接して、n 型単結晶シリコン基板 3 0 1 の面内方向 D R 1 に交互に配置される。

[0251] n 型拡散領域 3 1 1 ~ 3 1 n は、例えば、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の P 濃度を有し、p 型拡散領域 3 2 1 ~ 3 2 n - 1 は、例えば、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の B 濃度を有する。

[0252] また、n 型拡散領域 3 1 1 ~ 3 1 n および p 型拡散領域 3 2 1 ~ 3 2 n - 1 は、 $0.01 \mu\text{m} \sim 0.1 \mu\text{m}$ の拡散深さを有する。

- [0253] 更に、面内方向DR1に垂直な方向（＝図26の紙面上、手前から奥へ向かう方向）において、n型拡散領域311～31nは、p型拡散領域321～32n-1と同じ長さを有する。
- [0254] 更に、p型拡散領域321～32n-1の全体の面積がn型単結晶シリコン基板301の面積に占める割合である面積占有率は、60～93%であり、n型拡散領域311～31nの全体の面積がn型単結晶シリコン基板301の面積に占める割合である面積占有率は、5～20%である。
- [0255] このように、p型拡散領域321～32n-1の面積占有率をn型拡散領域311～31nの面積占有率よりも大きくするのは、n型単結晶シリコン基板301中で光励起された電子および正孔がpn接合（p型拡散領域321～32n-1／n型単結晶シリコン基板301）によって分離され易くし、光励起された電子および正孔の発電への寄与率を高くするためである。
- [0256] 電極331～33nは、それぞれ、n型拡散領域311～31nに接して配置される。電極341～34n-1は、それぞれ、p型拡散領域341～34n-1に接して配置される。電極331～33n、341～34n-1は、例えば、Alからなる。
- [0257] 光電変換装置300の発電原理は、上述した光電変換装置200の発電原理と同じである。従って、光電変換装置300も、光励起されたキャリア（電子および正孔）を裏面から取出すバックコンタクト型の光電変換装置である。
- [0258] 光電変換装置300は、凹凸構造TX1が形成されたn型単結晶シリコン基板301と、凹凸構造TX1に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX2が形成された非晶質薄膜102とを備えるので、光入射側の表面において入射光に対する反射率を低下させることができるとともに、非晶質薄膜102とn型単結晶シリコン基板301の凹凸構造TX1との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。
- [0259] 図27から図30は、それぞれ、図26に示す光電変換装置300の製造方法を示す第1から第4の工程図である。

- [0260] なお、図27から図30においては、非晶質薄膜102がi型非晶質薄膜102iおよびn型非晶質薄膜102nからなる場合を例にして光電変換装置300の製造方法を説明する。
- [0261] 図27を参照して、光電変換装置300の製造が開始されると、上述したように、n型単結晶シリコン基板30が洗浄される（工程（a））。
- [0262] そして、BSG膜350BおよびNSG（Non-doped Silicate Glass）膜350NをAPCVD法によってn型単結晶シリコン基板30の裏面に順次積層する（工程（b））。
- [0263] その後、レジストをNSG膜350Nの全面に塗布し、その塗布したレジストをフォトリソグラフィおよびエッチングによってパターンニングし、レジストパターン360を形成する（工程（c））。
- [0264] そうすると、レジストパターン360をマスクとしてNSG膜350NおよびBSG膜350Bをエッチングし、その後、レジストパターン360を除去する。これによって、BSG膜350B-1～350B-n-1およびNSG膜350N-1～350N-n-1が形成される（工程（d））。
- [0265] 図28を参照して、工程（d）の後、n型単結晶シリコン基板30の裏面およびNSG膜350N-1～350N-n-1を覆うようにPSG（Phosphorus Silicate Glass）膜350PをAPCVD法によって形成する（工程（e））。
- [0266] そうすると、n型単結晶シリコン基板30、BSG膜350B-1～350B-n-1、NSG膜350N-1～350N-n-1およびPSG膜350Pを窒素ガス雰囲気中で800℃の温度で熱処理する（工程（f））。
- [0267] これにより、BSG膜350B-1～350B-n-1からBがn型単結晶シリコン基板30中へ拡散し、PSG膜350Pのうち、n型単結晶シリコン基板30に接する部分からPがn型単結晶シリコン基板30中へ拡散する。
- [0268] なお、BSG膜350B-1～350B-n-1とPSG膜350Pとが積層されている部分では、BSG膜350B-1～350B-n-1とPS

G膜350Pとの間にNSG膜350N-1~350N-n-1が存在するため、PSG膜350PからPがn型単結晶シリコン基板30中へ拡散することはない。

[0269] 熱処理が終了すると、BSG膜350B-1~350B-n-1、NSG膜350N-1~350N-n-1およびPSG膜350Pを除去する。これによって、n型単結晶シリコン基板30の裏面側に、n型拡散領域311~31nおよびp型拡散領域321~32n-1が形成される（工程（g））。

[0270] その後、n型単結晶シリコン基板30の光入射側の表面をアルカリで異方性エッチングし、凹凸構造TX1を形成する（工程（h））。これによって、n型単結晶シリコン基板301が作製される。

[0271] 図29を参照して、工程（h）の後、n型単結晶シリコン基板301の凹凸構造TX1が形成された表面上に、i型非晶質薄膜102i（=i型a-Si）およびn型非晶質薄膜104n（=n型a-Si）をプラズマCVD法によって順次積層する（工程（i））。

[0272] その後、図5の工程（e）と同じ工程を実行し、n型非晶質薄膜104nの光入射側の表面をエッチングする（工程（j））。その結果、光入射側の表面に凹凸構造TX2を有するn型非晶質薄膜102nが形成され、非晶質薄膜102がn型単結晶シリコン基板301の凹凸構造TX1に接して配置される（工程（k））。

[0273] 図30を参照して、工程（k）の後、スパッタリング法によって透明導電膜3を非晶質薄膜102上に堆積する（工程（l））。

[0274] そして、n型拡散領域311~31nおよびp型拡散領域321~32n-1上にAlペーストを塗布し、その塗布したAlペーストを焼成する。これによって、電極331~33n、341~34n-1が形成され、光電変換装置300が完成する（工程（m））。

[0275] 非晶質薄膜102が非晶質薄膜102A~102C、102E（図14の（a）~（c）、（e）参照）のいずれかからなる場合も、光電変換装置3

00は、図27から図30に示す工程図に従って製造される。そして、非晶質薄膜102が図14の(b)に示すi型非晶質薄膜103iからなる場合、図29に示す工程(i)において、i型非晶質薄膜のみが堆積され、その堆積されたi型非晶質薄膜は、図29に示す工程(j)において、光入射側の表面がエッチングされる。

[0276] また、非晶質薄膜102が図14の(c)に示すp型非晶質薄膜103pからなる場合、図29に示す工程(i)において、p型非晶質薄膜のみが堆積され、その堆積されたp型非晶質薄膜は、図29に示す工程(j)において、光入射側の表面がエッチングされる。

[0277] 更に、非晶質薄膜102が図14の(a)に示すi型非晶質薄膜102i／p型非晶質薄膜102pからなる場合、図29に示す工程(i)において、i型非晶質薄膜102iおよびp型非晶質薄膜が順次堆積され、その堆積されたp型非晶質薄膜は、図29に示す工程(j)において、光入射側の表面がエッチングされる。

[0278] 更に、非晶質薄膜102が図14の(e)に示すn型非晶質薄膜103nからなる場合、図29に示す工程(i)において、n型非晶質薄膜のみが堆積され、その堆積されたn型非晶質薄膜は、図29に示す工程(j)において、光入射側の表面がエッチングされる。

[0279] なお、光電変換装置300は、n型単結晶シリコン基板301を備えると説明したが、実施の形態4においては、これに限らず、光電変換装置300は、p型単結晶シリコン基板を備えていてもよい。

[0280] そして、光電変換装置300は、p型単結晶シリコン基板を備える場合も、図27から図30に示す工程図に従って製造される。

[0281] 上記においては、n型単結晶シリコン基板またはp型単結晶シリコン基板の光入射側の表面に形成された凹凸構造TX1に接して非晶質薄膜102を配置するとともに、非晶質薄膜102の光入射側の表面に凹凸構造TX2を配置し、n型単結晶シリコン基板またはp型単結晶シリコン基板の裏面側にバックコンタクト用のn型拡散領域311～31nおよびp型拡散領域32

1 ~ 3 2 n - 1 を形成した光電変換装置について説明した。

[0282] 従って、実施の形態 4 による光電変換装置は、光入射側の表面に凹凸構造 T X 1 を有する単結晶シリコン基板と、凹凸構造 T X 1 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 2 を有する非晶質薄膜 1 0 2 と、バックコンタクトを形成するための拡散領域とを備えていればよい。

[0283] [実施の形態 5]

図 3 1 は、実施の形態 5 による光電変換装置の構成を示す概略図である。図 3 1 を参照して、実施の形態 5 による光電変換装置 4 0 0 は、図 1 に示す光電変換装置 1 0 の n 型単結晶シリコン基板 1 を n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 に代え、非晶質薄膜 2 を非晶質薄膜 4 0 2 に代えたものであり、その他は、光電変換装置 1 0 と同じである。

[0284] n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 は、光入射側の表面に凹凸構造 T X 5 を有する。凹凸構造 T X 5 において、高さ H 3 および幅 W 3 は、図 2 に示す高さ H 2 および幅 W 2 と同じように定義される。そして、高さ H 3 は、例えば、1 n m ~ 4 0 n m であり、幅 W 3 は、1 n m ~ 4 0 n m である。n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 についてのその他の説明は、n 型単結晶シリコン基板 1 と同じである。

[0285] 非晶質薄膜 4 0 2 は、n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 の凹凸構造 T X 5 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有する。凹凸構造 T X 4 において、高さ H 4 および幅 W 4 は、図 2 に示す高さ H 1 および幅 W 1 と同じように定義される。そして、高さ H 4 は、例えば、5 0 n m ~ 1 μ m であり、幅 W 4 は、5 0 n m ~ 1 μ m である。このように、凹凸構造 T X 4 は、凹凸構造 T X 5 よりも大きい凹凸サイズを有する。

[0286] 非晶質薄膜 4 0 2 は、図 3 の (a) または (b) に示す構成からなる。非晶質薄膜 4 0 2 が図 3 の (a) に示す構成 (i 型非晶質薄膜 2 1 / p 型非晶質薄膜 2 2) からなる場合、i 型非晶質薄膜 2 1 は、n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 の凹凸構造 T X 5 に接して配置され、p 型非晶質薄膜 2 2 は、i 型非晶質薄膜 2 1 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有す

る。

[0287] また、非晶質薄膜402が図3の(b)に示す構成(p型非晶質薄膜23)からなる場合、p型非晶質薄膜23は、n型単結晶シリコン基板401の凹凸構造TX5に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX4を有する。

[0288] 光電変換装置400においては、透明導電膜3は、非晶質薄膜402の凹凸構造TX4に沿って配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX4を有する。

[0289] また、パッシベーション膜5は、n型単結晶シリコン基板401の裏面に接して配置され、電極6は、パッシベーション膜5およびn型単結晶シリコン基板401の裏面に接して配置される。

[0290] 光電変換装置400においては、光が入射する方向に対して、大きい凹凸サイズから小さい凹凸サイズへ変化するように2つの凹凸構造TX4, TX5が配置される。

[0291] その結果、入射光は、大きい凹凸サイズを有する凹凸構造TX4で散乱され、その散乱された光は、小さい凹凸サイズを有する凹凸構造TX5によって更に散乱される。

[0292] 従って、光が入射する方向に対して、大きい凹凸サイズから小さい凹凸サイズへ変化するように2つの凹凸構造TX4, TX5を配置しても、光電変換装置400の光入射側において光の反射率を低下できる。

[0293] また、非晶質薄膜402は、図3の(a)または(b)に示す構成からなるので、i型a-Si等がn型単結晶シリコン基板401の凹凸構造TX5に接して配置される。そして、i型a-Si等は、プラズマCVD法によって形成されるので、上述した凹凸サイズを有する凹凸構造TX5を覆うように凹凸構造TX5上に均一に成膜される。その結果、n型単結晶シリコン基板401の凹凸構造TX5が形成された面は、非晶質薄膜402によってパッシベートされる。

[0294] 従って、n型単結晶シリコン基板401と非晶質薄膜402との界面にお

けるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

- [0295] 光電変換装置400は、図4から図6に示す工程図に従って製造される。この場合、n型単結晶シリコン基板401は、図4の工程(c)において、光入射側の表面に凹凸構造TX5が形成される。この場合、アルカリによる異方性エッチングの時間を短くすることによって、凹凸サイズが小さい凹凸構造TX5が形成される。あるいは、ドライエッチングを用いて凹凸構造TX5を形成してもよい。
- [0296] また、図5の工程(e)において、非晶質薄膜402の光入射側の表面に凹凸構造TX4が形成される。この場合、フッ素原子を含むガスによるエッチング時間を長くすることによって、凹凸サイズが大きい凹凸構造TX4が形成される。
- [0297] 光電変換装置400についてのその他の説明は、実施の形態1における光電変換装置10についての説明と同じである。
- [0298] 図32は、実施の形態5による別の光電変換装置の構成を示す概略図である。実施の形態5による光電変換装置は、図32の(a), (b)に示す光電変換装置400A, 400Bであってもよい。
- [0299] 光電変換装置400Aは、図7に示す光電変換装置10Aのn型単結晶シリコン基板1をn型単結晶シリコン基板401に代え、非晶質薄膜2を非晶質薄膜402に代えたものであり、その他は、光電変換装置10Aと同じである（図32の(a)参照）。
- [0300] n型単結晶シリコン基板401および非晶質薄膜402については、図31において説明したとおりである。
- [0301] 光電変換装置400Aにおいても、透明導電膜3は、非晶質薄膜402の凹凸構造TX4に沿って配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX4を有する。
- [0302] また、非晶質薄膜7は、n型単結晶シリコン基板401の裏面に接して配置される。
- [0303] 光電変換装置400Aは、図9から図11に示す製造方法に従って製造さ

れる。この場合、 n 型単結晶シリコン基板401は、図9の工程(b)において、光入射側の表面に凹凸構造TX5が形成される。この場合も、アルカリによる異方性エッチングの時間を短くすることによって、凹凸サイズが小さい凹凸構造TX5が形成される。あるいは、ドライエッチングを用いて凹凸構造TX5を形成してもよい。

[0304] また、図10の工程(e)において、非晶質薄膜402の光入射側の表面に凹凸構造TX4が形成される。この場合も、フッ素原子を含むガスによるエッチング時間を長くすることによって、凹凸サイズが大きい凹凸構造TX4が形成される。

[0305] 光電変換装置400Aは、光入射側において、光電変換装置400と同じ構造を有するので、上述したように、入射光の反射率を低下できるとともに、 n 型単結晶シリコン基板401と非晶質薄膜402との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

[0306] 光電変換装置400Aについてのその他の説明は、実施の形態1における光電変換装置10Aについての説明と同じである。

[0307] 光電変換装置400Bは、図12に示す光電変換装置10Bの n 型単結晶シリコン基板11を n 型単結晶シリコン基板411に代え、非晶質薄膜2を非晶質薄膜412に代えたものであり、その他は、光電変換装置10Bと同じである（図32の(b)参照）。

[0308] n 型単結晶シリコン基板411は、光入射側の表面に凹凸構造TX7と平坦面FT4とを有する。凹凸構造TX7は、凹凸構造TX5と同じ凹凸サイズを有する。 n 型単結晶シリコン基板411についてのその他の説明は、 n 型単結晶シリコン基板1についての説明と同じである。

[0309] 非晶質薄膜412は、 n 型単結晶シリコン基板411の凹凸構造TX7および平坦面FT4に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX6および平坦面FT5を有する。凹凸構造TX6は、凹凸構造TX4と同じ凹凸サイズを有し、平坦面FT5は、平坦面FT4に対向して配置される。

[0310] 非晶質薄膜412は、図3の(a)または(b)に示す構成からなる。非

晶質薄膜 4 1 2 が図 3 の (a) に示す構成 (i 型非晶質薄膜 2 1 / p 型非晶質薄膜 2 2) からなる場合、i 型非晶質薄膜 2 1 は、n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 の凹凸構造 T X 7 および平坦面 F T 4 に接して配置され、p 型非晶質薄膜 2 2 は、i 型非晶質薄膜 2 1 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 6 および平坦面 F T 5 を有する。

[0311] また、非晶質薄膜 4 1 2 が図 3 の (b) に示す構成 (p 型非晶質薄膜 2 3) からなる場合、p 型非晶質薄膜 2 3 は、n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 の凹凸構造 T X 7 および平坦面 F T 4 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 6 および平坦面 F T 5 を有する。

[0312] 光電変換装置 4 0 0 B においては、透明導電膜 3 は、非晶質薄膜 4 1 2 の凹凸構造 T X 6 および平坦面 F T 5 に沿って配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 6 および平坦面 F T 6 を有する。平坦面 F T 6 は、平坦面 F T 5 に対向する。そして、電極 9 は、透明導電膜 3 の平坦面 F T 6 に接して配置される。

[0313] 光電変換装置 4 0 0 B は、図 4 から図 6 に示す工程図において、図 4 に示す工程 (c) を、n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 の光入射側の表面のうち、電極 9 に対向する n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 の一部分をレジストで覆い、レジストによって覆われていない光入射側の表面をアルカリを用いてエッチングする工程に代えた工程図に従って製造される。

[0314] 光電変換装置 4 0 0 B においては、電極 9 の下側において、非晶質薄膜 4 1 2 は、平坦面 F T 4 で n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 に接する。その結果、電極 9 の下側において、非晶質薄膜 4 1 2 と n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 との接触面積が減少する。従って、n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 を用いた場合よりも、非晶質薄膜 4 1 2 と n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 との界面におけるキャリア (電子および正孔) の再結合を低減できる。

[0315] 光電変換装置 4 0 0 B においては、その他、光電変換装置 4 0 0 と同じ効果が得られる。

[0316] 実施の形態 5 による光電変換装置は、光電変換装置 4 0 0 から光電変換装

置 4 0 0 B への変更と同じ変更が光電変換装置 4 0 0 A に適用されたものであってもよい。

[0317] この場合、光電変換装置は、図 9 から図 1 1 に示す工程図において、図 9 に示す工程 (b) を、n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 の光入射側の表面のうち、電極 9 に対向する n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 の一部分をレジストで覆い、レジストによって覆われていない光入射側の表面をアルカリを用いてエッチングする工程に代えた工程図に従って製造される。

[0318] この光電変換装置においても、光電変換装置 4 0 0 B と同様に、n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 を用いた場合よりも、非晶質薄膜 4 1 2 と n 型単結晶シリコン基板 4 1 1 との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

[0319] また、実施の形態 5 による光電変換装置は、n 型単結晶シリコン基板 4 0 1, 4 1 1 を n 型多結晶シリコン基板に代えたものであってもよい。この場合、n 型多結晶シリコン基板の光入射側の表面は、ドライエッチングによって凹凸化される。そして、n 型多結晶シリコン基板を備える光電変換装置は、上述した光電変換装置 4 0 0, 4 0 0 A, 4 0 0 B のいずれかの製造方法と同じ製造方法に従って製造される。

[0320] 更に、実施の形態 5 による光電変換装置は、光電変換装置 4 0 0, 4 0 0 A, 4 0 0 B の n 型単結晶シリコン基板 4 0 1, 4 1 1 を p 型単結晶シリコン基板または p 型多結晶シリコン基板に代えたものであってもよい。

[0321] この場合、p 型単結晶シリコン基板は、(1 0 0) の面方位、0.1 ~ 1 $\Omega \text{ cm}$ の比抵抗、および 1 0 0 $\mu \text{ m}$ ~ 3 0 0 $\mu \text{ m}$ の厚みを有する。p 型多結晶シリコン基板は、0.1 ~ 1 0 $\Omega \text{ cm}$ の比抵抗、および 1 0 0 $\mu \text{ m}$ ~ 3 0 0 $\mu \text{ m}$ の厚みを有し、光入射側の表面は、ドライエッチングによって凹凸化される。

[0322] また、非晶質薄膜 4 1 2 は、i 型非晶質薄膜および n 型非晶質薄膜からなり、または n 型非晶質薄膜からなる。そして、i 型非晶質薄膜および n 型非晶質薄膜の具体例は、上述したとおりである。

[0323] 更に、非晶質薄膜 7 は、i 型非晶質薄膜および p 型非晶質薄膜からなり、または p 型非晶質薄膜からなる。そして、i 型非晶質薄膜および p 型非晶質薄膜の具体例は、上述したとおりである。

[0324] p 型単結晶シリコン基板または p 型多結晶シリコン基板を備える光電変換装置は、上述した光電変換装置 400、400A、400B のいずれかの製造方法において、n 型非晶質薄膜を p 型非晶質薄膜に読み替え、p 型非晶質薄膜を n 型非晶質薄膜に読み替えた製造方法に従って製造される。

[0325] 従って、実施の形態 5 による光電変換装置は、第 3 の凹凸サイズを有する第 3 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた結晶シリコン基板と、第 3 の凹凸構造に接して結晶シリコン基板上に配置され、第 3 の凹凸サイズよりも大きい第 4 の凹凸サイズを有する第 4 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた非晶質薄膜とを備え、非晶質薄膜と結晶シリコン基板とによって p n 接合または p i n 接合が形成されるものであればよい。そして、非晶質薄膜は、I V 族元素を含む。

[0326] [実施の形態 6]

図 33 は、実施の形態 6 による光電変換装置の構成を示す概略図である。図 33 を参照して、実施の形態 6 による光電変換装置 500 は、図 13 に示す光電変換装置 100 の n 型単結晶シリコン基板 101 を n 型単結晶シリコン基板 501 に代え、非晶質薄膜 102 を非晶質薄膜 502 に代えたものであり、その他は、光電変換装置 100 と同じである。

[0327] n 型単結晶シリコン基板 501 は、光入射側の表面に凹凸構造 TX5 を有する。また、n 型単結晶シリコン基板 501 は、光入射側に p 型拡散領域 501p を有する。p 型拡散領域 501p は、例えば、 $0.01\mu\text{m} \sim 0.1\mu\text{m}$ の拡散深さを有し、凹凸構造 TX5 に接して配置される。そして、p 型拡散領域 501p は、p 型ドーパントとしての B を含み、B の濃度は、例えば、 $10^{17}\text{cm}^{-3} \sim 10^{18}\text{cm}^{-3}$ である。

[0328] このように、n 型単結晶シリコン基板 501 は、n 型の導電型を有するバルク領域 501b と、p 型の導電型を有する p 型拡散領域 501p とからな

り、光入射側に p n 接合を内蔵する。

[0329] n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 は、その他、n 型単結晶シリコン基板 1 と同じである。

[0330] 非晶質薄膜 5 0 2 は、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 の p 型拡散領域 5 0 1 p に接して p 型拡散領域 5 0 1 p 上に配置される。そして、非晶質薄膜 5 0 2 は、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有する。

[0331] 非晶質薄膜 5 0 2 は、非晶質薄膜 1 0 2 A ~ 1 0 2 E (図 1 4 の (a) ~ (e) 参照) のいずれかからなる。

[0332] 非晶質薄膜 5 0 2 が図 1 4 の (a) に示す i 型非晶質薄膜 1 0 2 i / p 型非晶質薄膜 1 0 2 p からなる場合、i 型非晶質薄膜 1 0 2 i は、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 の凹凸構造 T X 5 に接して配置され、p 型非晶質薄膜 1 0 2 p は、i 型非晶質薄膜 1 0 2 i に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有する。

[0333] また、非晶質薄膜 5 0 2 が図 1 4 の (b) に示す i 型非晶質薄膜 1 0 3 i からなる場合、i 型非晶質薄膜 1 0 3 i は、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 の凹凸構造 T X 5 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有する。

[0334] 更に、非晶質薄膜 5 0 2 が図 1 4 の (c) に示す p 型非晶質薄膜 1 0 3 p からなる場合、p 型非晶質薄膜 1 0 3 p は、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 の凹凸構造 T X 5 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有する。

[0335] 更に、非晶質薄膜 5 0 2 が図 1 4 の (d) に示す i 型非晶質薄膜 1 0 2 i / n 型非晶質薄膜 1 0 2 n からなる場合、i 型非晶質薄膜 1 0 2 i は、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 の凹凸構造 T X 5 に接して配置され、n 型非晶質薄膜 1 0 2 n は、i 型非晶質薄膜 1 0 2 i に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有する。

[0336] 更に、非晶質薄膜 5 0 2 が図 1 4 の (e) に示す n 型非晶質薄膜 1 0 3 n からなる場合、n 型非晶質薄膜 1 0 3 n は、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1

の凹凸構造 T X 5 に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有する。

[0337] なお、光電変換装置 5 0 0 においては、電極 1 0 4 は、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 の p 型拡散領域 5 0 1 p の一部に接して配置される。

[0338] 光電変換装置 5 0 0 は、図 1 5 から図 1 7 に示す工程図に従って製造される。この場合、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 は、図 1 5 の工程 (c) において、光入射側の表面に凹凸構造 T X 5 が形成される。より具体的には、アルカリによる異方性エッチングの時間を短くすることによって、凹凸サイズが小さい凹凸構造 T X 5 が形成される。あるいは、ドライエッチングを用いて凹凸構造 T X 5 を形成してもよい。

[0339] また、図 1 6 の工程 (f) において、非晶質薄膜 5 0 2 の光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 が形成される。より具体的には、フッ素原子を含むガスによるエッチング時間を長くすることによって、凹凸サイズが大きい凹凸構造 T X 4 が形成される。

[0340] 光電変換装置 5 0 0 は、光入射側の表面に凹凸構造 T X 5 を有する n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 と、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 の光入射側の表面に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有する非晶質薄膜 5 0 2 とを備えるので、光入射側の表面における光の反射率を低下できるとともに、n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 の光入射側の表面をパッシベートして n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 と非晶質薄膜 5 0 2 との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

[0341] 光電変換装置 5 0 0 においては、その他、光電変換装置 1 0 0 と同じ効果が得られる。

[0342] 図 3 4 は、実施の形態 6 による別の光電変換装置の構成を示す概略図である。実施の形態 6 による光電変換装置は、図 3 4 に示す光電変換装置 5 0 0 A であってもよい。

[0343] 図 3 4 を参照して、光電変換装置 5 0 0 A は、図 3 3 に示す光電変換装置 5 0 0 の n 型単結晶シリコン基板 5 0 1 を n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 に

代え、電極 1 0 4 を電極 1 1 4 に代えたものであり、その他は、光電変換装置 5 0 0 と同じである。

[0344] n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 は、光入射側の表面に凹凸構造 T X 7 および平坦面 F T 7 を有する。凹凸構造 T X 7 は、凹凸構造 T X 5 と同じ凹凸サイズを有する。

[0345] n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 は、p 型拡散領域 5 1 1 p を有する。p 型拡散領域 5 1 1 p は、凹凸構造 T X 7 および平坦面 F T 7 に接して配置される。また、p 型拡散領域 5 1 1 p は、p 型拡散領域 5 0 1 p と同じ拡散深さおよび B 濃度を有する。

[0346] このように、n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 は、n 型の導電型を有するバルク領域 5 1 1 b と、p 型の導電型を有する p 型拡散領域 5 1 1 p とからなり、光入射側に p n 接合を内蔵する。

[0347] n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 についてのその他の説明は、n 型単結晶シリコン基板 1 についての説明と同じである。

[0348] 光電変換装置 5 0 0 A においては、電極 1 1 4 は、n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 の p 型拡散領域 5 1 1 p の平坦面 F T 7 に接して配置される。

[0349] 光電変換装置 5 0 0 A は、図 1 5 から図 1 7 に示す工程図において、図 1 5 に示す工程 (c) を、n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 の光入射側の表面のうち、電極 1 1 4 に接する n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 の一部分をレジストで覆い、レジストによって覆われていない光入射側の表面をアルカリを用いてエッチングする工程に代えた工程図に従って製造される。

[0350] 光電変換装置 5 0 0 A においては、電極 1 1 4 は、n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 の平坦面 F T 7 に接するので、n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 と電極 1 1 4 との接触面積が光電変換装置 5 0 0 よりも小さくなる。従って、n 型単結晶シリコン基板 5 1 1 と電極 1 1 4 との界面における少数キャリア（正孔）の再結合を光電変換装置 5 0 0 よりも更に低減できる。光電変換装置 5 0 0 A においては、その他、光電変換装置 1 0 0 と同じ効果を得ることができる。

[0351] 上記においては、 n 型単結晶シリコン基板501, 511を用いた光電変換装置500, 500Aについて説明したが、実施の形態6においては、これに限らず、実施の形態6による光電変換装置は、 n 型単結晶シリコン基板501, 511を n 型多結晶シリコン基板に代えたものであってもよい。この場合、 n 型多結晶シリコン基板の光入射側の表面は、ドライエッチングによって凹凸化される。そして、 n 型多結晶シリコン基板を備える光電変換装置は、上述した光電変換装置500, 500Aのいずれかの製造方法と同じ製造方法に従って製造される。

[0352] また、実施の形態6による光電変換装置は、光電変換装置500, 500Aの n 型単結晶シリコン基板501, 511を p 型単結晶シリコン基板または p 型多結晶シリコン基板に代えたものであってもよい。

[0353] この場合、 p 型単結晶シリコン基板は、(100)の面方位、 $0.1 \sim 10 \Omega \text{cm}$ の比抵抗、および $100 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ の厚みを有する。また、 p 型多結晶シリコン基板は、 $0.1 \sim 10 \Omega \text{cm}$ の比抵抗、および $100 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ の厚みを有し、光入射側の表面は、ドライエッチングによって凹凸化される。

[0354] p 型単結晶シリコン基板または p 型多結晶シリコン基板を備える光電変換装置は、上述した光電変換装置500, 500Aのいずれかの製造方法において、 p 型拡散領域を n 型拡散領域に読み替えた製造方法に従って製造される。

[0355] このように、実施の形態6による光電変換装置は、各種の光電変換装置からなる。従って、実施の形態6による光電変換装置は、第3の凹凸サイズを有する第3の凹凸構造が光入射側の表面に設けられるとともに、光入射側の表面に接して設けられ、かつ、バルク領域の導電型と反対の導電型を有する拡散領域と、バルク領域とを含む結晶シリコン基板と、第3の凹凸構造に接して結晶シリコン基板上に配置され、第3の凹凸サイズよりも大きい第4の凹凸サイズを有する第4の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた非晶質薄膜とを備えるものであればよい。そして、非晶質薄膜は、I V族元素を含む

。

[0356] [実施の形態 7]

図 3 5 は、実施の形態 7 による光電変換装置の構成を示す概略図である。
図 3 5 を参照して、実施の形態 7 による光電変換装置 6 0 0 は、図 1 9 に示す光電変換装置 2 0 0 の n 型単結晶シリコン基板 1 を n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 に代え、非晶質薄膜 1 0 2 を非晶質薄膜 5 0 2 に代えたものであり、その他は、光電変換装置 2 0 0 と同じである。

[0357] n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 については、図 3 1 において説明したとおりである。また、非晶質薄膜 5 0 2 については、図 3 3 において説明したとおりである。そして、光電変換装置 6 0 0 においては、非晶質薄膜 5 0 2 は、n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 の凹凸構造 T X 5 に接して配置される。

[0358] 光電変換装置 6 0 0 は、図 2 2 から図 2 5 に示す工程図に従って製造される。この場合、n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 は、図 2 2 の工程 (b) において、光入射側の表面に凹凸構造 T X 5 が形成される。より具体的には、アルカリによる異方性エッチングの時間を短くすることによって、凹凸サイズが小さい凹凸構造 T X 5 が形成される。あるいは、ドライエッチングを用いて凹凸構造 T X 5 を形成してもよい。

[0359] また、図 2 4 の工程 (h) において、非晶質薄膜 5 0 2 の光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 が形成される。より具体的には、フッ素原子を含むガスによるエッチング時間を長くすることによって、凹凸サイズが大きい凹凸構造 T X 4 が形成される。

[0360] 光電変換装置 6 0 0 は、光入射側の表面に凹凸構造 T X 5 を有する n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 と、n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 の光入射側の表面に接して配置され、光入射側の表面に凹凸構造 T X 4 を有する非晶質薄膜 5 0 2 とを備えるので、光入射側の表面における光の反射率を低下できるとともに、n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 の光入射側の表面をパッシベートして n 型単結晶シリコン基板 4 0 1 と非晶質薄膜 5 0 2 との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

[0361] また、光電変換装置 600 は、 n 型単結晶シリコン基板 401 の光入射側に非晶質薄膜 502 を備え、 n 型単結晶シリコン基板 401 の裏面側に非晶質薄膜 201 ~ 20n および非晶質薄膜 211 ~ 21n-1 を備えるので、製造工程において、 n 型単結晶シリコン基板 401 に印加される熱歪は、厚み方向において均等になる。従って、 n 型単結晶シリコン基板 401 の反りを抑制できる。

[0362] なお、光電変換装置 600 は、 n 型単結晶シリコン基板 401 を備えると説明したが、実施の形態 7 においては、これに限らず、光電変換装置 600 は、 p 型単結晶シリコン基板を備えていてもよい。この場合、非晶質薄膜 201 ~ 20n は、 i 型非晶質薄膜 / p 型非晶質薄膜、または p 型非晶質薄膜からなり、非晶質薄膜 211 ~ 21n-1 は、 i 型非晶質薄膜 / n 型非晶質薄膜、または n 型非晶質薄膜からなる。

[0363] そして、光電変換装置 600 は、 p 型単結晶シリコン基板を備える場合も、図 22 から図 25 に示す工程図に従って製造される。

[0364] 上記においては、 n 型単結晶シリコン基板または p 型単結晶シリコン基板の光入射側の表面に形成された凹凸構造 TX5 に接して非晶質薄膜 502 を配置するとともに、非晶質薄膜 502 の光入射側の表面に凹凸構造 TX4 を配置し、 n 型単結晶シリコン基板または p 型単結晶シリコン基板の裏面にバックコンタクト用の非晶質薄膜 201 ~ 20n, 211 ~ 21n-1 を形成した光電変換装置について説明した。

[0365] 従って、実施の形態 7 による光電変換装置は、光入射側の表面に凹凸構造 TX5 を有する単結晶シリコン基板と、凹凸構造 TX5 に接して単結晶シリコン基板上に配置され、光入射側の表面に凹凸構造 TX4 を有する非晶質薄膜 502 と、バックコンタクトを形成するための非晶質薄膜 201 ~ 20n, 211 ~ 21n-1 とを備えていればよい。

[0366] [実施の形態 8]

図 36 は、実施の形態 8 による光電変換装置の構成を示す概略図である。図 36 を参照して、実施の形態 8 による光電変換装置 700 は、図 26 に示

す光電変換装置300のn型単結晶シリコン基板301をn型単結晶シリコン基板601に代え、非晶質薄膜102を非晶質薄膜502に代えたものであり、その他は、光電変換装置300と同じである。

[0367] n型単結晶シリコン基板601は、光入射側の表面に凹凸構造TX5を有する。n型単結晶シリコン基板601についてのその他の説明は、n型単結晶シリコン基板301についての説明と同じである。その結果、n型単結晶シリコン基板601は、バルク領域601bと、n型拡散領域311～31nと、p型拡散領域321～32n-1を含む。

[0368] 非晶質薄膜502の構成については、図33において説明したとおりである。そして、光電変換装置700においては、非晶質薄膜502は、n型単結晶シリコン基板601の凹凸構造TX5に接して配置される。

[0369] 光電変換装置700は、図27から図30に示す工程図に従って製造される。この場合、n型単結晶シリコン基板601は、図28の工程(h)において、光入射側の表面に凹凸構造TX5が形成される。また、非晶質薄膜502は、図29の工程(j)において、光入射側の表面に凹凸構造TX4が形成される。

[0370] 光電変換装置700は、光入射側の表面に凹凸構造TX5を有するn型単結晶シリコン基板601と、n型単結晶シリコン基板601の光入射側の表面に接してn型単結晶シリコン基板601上に配置され、光入射側の表面に凹凸構造TX4を有する非晶質薄膜502とを備えるので、光入射側の表面における光の反射率を低下できるとともに、n型単結晶シリコン基板601の光入射側の表面をパッシベートしてn型単結晶シリコン基板601と非晶質薄膜502との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できる。

[0371] なお、光電変換装置700は、n型単結晶シリコン基板601を備えると説明したが、実施の形態8においては、これに限らず、光電変換装置700は、p型単結晶シリコン基板を備えていてもよい。

[0372] そして、光電変換装置700は、p型単結晶シリコン基板を備える場合も

、図27から図30に示す工程図に従って製造される。

[0373] 上記においては、 n 型単結晶シリコン基板または p 型単結晶シリコン基板の光入射側の表面に形成された凹凸構造 $T \times 5$ に接して非晶質薄膜502を配置するとともに、非晶質薄膜502の光入射側の表面に凹凸構造 $T \times 4$ を配置し、 n 型単結晶シリコン基板または p 型単結晶シリコン基板の裏面側にバックコンタクト用の n 型拡散領域311～31 n および p 型拡散領域321～32 $n-1$ を形成した光電変換装置について説明した。

[0374] 従って、実施の形態8による光電変換装置は、光入射側の表面に凹凸構造 $T \times 5$ を有する単結晶シリコン基板と、凹凸構造 $T \times 5$ に接して単結晶シリコン基板上に配置され、光入射側の表面に凹凸構造 $T \times 4$ を有する非晶質薄膜502と、バックコンタクトを形成するための拡散領域とを備えていればよい。

[0375] [実施の形態9]

図37は、この実施の形態による光電変換装置を備える光電変換モジュールの構成を示す概略図である。図37を参照して、光電変換モジュール1000は、複数の光電変換装置1001と、カバー1002と、出力端子1003、1004とを備える。

[0376] 複数の光電変換装置1001は、アレイ状に配置され、直列に接続される。なお、複数の光電変換装置1001は、直列に接続される代わりに、並列に接続されてもよく、直列と並列を組み合わせで接続されてもよい。

[0377] そして、複数の光電変換装置1001の各々は、光電変換装置10、10A、10B、100、100A、200、300、400、400A、400B、500、500A、600、700のいずれかからなる。

[0378] カバー1002は、耐候性のカバーからなり、複数の光電変換装置1001を覆う。

[0379] 出力端子1003は、直列に接続された複数の光電変換装置1001の一方端に配置される光電変換装置1001に接続される。

[0380] 出力端子1004は、直列に接続された複数の光電変換装置1001の他

方端に配置される光電変換装置１００１に接続される。

[0381] 上述したように、光電変換装置１０、１０Ａ、１０Ｂ、１００、１００Ａ、２００、３００、４００、４００Ａ、４００Ｂ、５００、５００Ａ、６００、７００は、光入射側の反射率を低下させ、かつ、キャリアの再結合を低減して高い変換効率を有する。

[0382] 従って、光電変換モジュール１０００の変換効率を向上できる。

[0383] なお、実施の形態９による光電変換モジュールは、図３７に示す構成に限らず、光電変換素子１０、１０Ａ、１０Ｂ、１００、１００Ａ、２００、３００、４００、４００Ａ、４００Ｂ、５００、５００Ａ、６００、７００の少なくとも１つを用いる限り、どのような構成であってもよい。

[0384] [実施の形態１０]

図３８は、この実施の形態による光電変換装置を備える太陽光発電システムの構成を示す概略図である。

[0385] 図３８を参照して、太陽光発電システム１１００は、光電変換モジュールアレイ１１０１と、接続箱１１０２と、パワーコンディショナー１１０３と、分電盤１１０４と、電力メーター１１０５とを備える。

[0386] 接続箱１１０２は、光電変換モジュールアレイ１１０１に接続される。パワーコンディショナー１１０３は、接続箱１１０２に接続される。分電盤１１０４は、パワーコンディショナー１１０３および電気機器類１１１０に接続される。電力メーター１１０５は、分電盤１１０４および商用電力系統に接続される。

[0387] 光電変換モジュールアレイ１１０１は、太陽光を電気に変換して直流電力を発電し、その発電した直流電力を接続箱１１０２に供給する。

[0388] 接続箱１１０２は、光電変換モジュールアレイ１１０１が発電した直流電力を受け、その受けた直流電力をパワーコンディショナー１１０３へ供給する。

[0389] パワーコンディショナー１１０３は、接続箱１１０２から受けた直流電力を交流電力に変換し、その変換した交流電力を分電盤１１０４に供給する。

また、パワーコンディショナー１１０３は、接続箱１１０２から受けた直流電力の一部を交流電力に変換せずに、直流電力のままで分電盤１１０４に供給してもよい。

[0390] 分電盤１１０４は、パワーコンディショナー１１０３から受けた交流電力および／または電力メーター１１０５を介して受けた商用電力を電気機器類１１１０へ供給する。また、分電盤１１０４は、パワーコンディショナー１１０３から受けた交流電力が電気機器類１１１０の消費電力よりも多いとき、余った交流電力を電力メーター１１０５を介して商用電力系統へ供給する。

[0391] 電力メーター１１０５は、商用電力系統から分電盤１１０４へ向かう方向の電力を計測するとともに、分電盤１１０４から商用電力系統へ向かう方向の電力を計測する。

[0392] 図３９は、図３８に示す光電変換モジュールアレイ１１０１の構成を示す概略図である。

[0393] 図３９を参照して、光電変換モジュールアレイ１１０１は、複数の光電変換モジュール１１２０と、出力端子１１２１，１１２２とを含む。

[0394] 複数の光電変換モジュール１１２０は、アレイ状に配列され、直列に接続される。なお、複数の光電変換モジュール１１２０は、直列に接続される代わりに、並列に接続されてもよく、直列と並列を組み合わせで接続されてもよい。そして、複数の光電変換モジュール１１２０の各々は、図３７に示す光電変換モジュール１０００からなる。

[0395] 出力端子１１２１は、直列に接続された複数の光電変換モジュール１１２０の一方端に位置する光電変換モジュール１１２０に接続される。

[0396] 出力端子１１２２は、直列に接続された複数の光電変換モジュール１１２０の他方端に位置する光電変換モジュール１１２０に接続される。

[0397] 太陽光発電システム１１００における動作を説明する。光電変換モジュールアレイ１１０１は、太陽光を電気に変換して直流電力を発電し、その発電した直流電力を接続箱１１０２を介してパワーコンディショナー１１０３へ

供給する。

[0398] パワーコンディショナー 1103 は、光電変換モジュールアレイ 1101 から受けた直流電力を交流電力に変換し、その変換した交流電力を分電盤 1104 へ供給する。

[0399] 分電盤 1104 は、パワーコンディショナー 1103 から受けた交流電力が電気機器類 1110 の消費電力以上であるとき、パワーコンディショナー 1103 から受けた交流電力を電気機器類 1110 に供給する。そして、分電盤 1104 は、余った交流電力を電力メーター 1105 を介して商用電力系統へ供給する。

[0400] また、分電盤 1104 は、パワーコンディショナー 1103 から受けた交流電力が電気機器類 1110 の消費電力よりも少ないとき、商用電力系統から受けた交流電力およびパワーコンディショナー 1103 から受けた交流電力を電気機器類 1110 へ供給する。

[0401] 太陽光発電システム 1100 は、上述したように、高い変換効率を有する光電変換装置 10, 10A, 10B, 100, 100A, 200, 300, 400, 400A, 400B, 500, 500A, 600, 700 の少なくとも 1 つを備えている。

[0402] 従って、太陽光発電システム 1100 の変換効率を向上できる。

[0403] 図 40 は、この実施の形態による光電変換装置を備える別の太陽光発電システムの構成を示す概略図である。

[0404] 図 40 を参照して、太陽光発電システム 1100A は、図 38 に示す太陽光発電システム 1100 に蓄電池 1106 を追加したものであり、その他は、太陽光発電システム 1100 と同じである。

[0405] 蓄電池 1106 は、パワーコンディショナー 1103 に接続される。蓄電池 1106 は、パワーコンディショナー 1103 から供給された直流電力を蓄積するとともに、直流電力をパワーコンディショナー 1103 へ出力する。

[0406] 太陽光発電システム 1100A における動作を説明する。光電変換モジュ

ールアレイ 1101 は、太陽光を電気に変換して直流電力を発電し、その発電した直流電力を接続箱 1102 を介してパワーコンディショナー 1103 へ供給する。

[0407] パワーコンディショナー 1103 は、光電変換モジュールアレイ 1101 から受けた直流電力の一部または全部を適切に変換して蓄電池 1106 に蓄積する。蓄電池 1106 は、光電変換モジュールアレイ 1101 の発電量および電気機器類 1110 の電力消費量の状況に応じて、適宜、直流電力をパワーコンディショナー 1103 へ供給する。そして、パワーコンディショナー 1103 は、光電変換モジュールアレイ 1101 および／または蓄電池 1106 から受けた直流電力を交流電力に変換し、その変換した交流電力を分電盤 1104 へ供給する。

[0408] そして、分電盤 1104 は、上述したように、パワーコンディショナー 1103 および／または商用電力系統から受けた交流電力を電気機器類 1110 に供給し、またはパワーコンディショナー 1103 から受けた交流電力を電気機器類 1110 および／または商用電力系統へ供給する。

[0409] なお、太陽光発電システム 1100A においては、蓄電池 1106 は、パワーコンディショナー 1103 に内蔵されていてもよい。これにより、日照量の変動によるパワーコンディショナー 1103 からの出力変動を抑制できるとともに、日照のない時間帯であっても、蓄電池 1106 に蓄電された電力を電気機器類 1110 へ供給することができる。

[0410] 太陽光発電システム 1100, 1100A には、一般に、「ホーム・エネルギー・マネジメント・システム (HEMS : Home Energy Management System)」、および「ビルディング・エネルギー・マネジメント・システム (BEMS : Building Energy Management System)」等と呼ばれる機能を付加してもよい。

[0411] これにより、太陽光発電システム 1100, 1100A の発電量の監視、太陽光発電システム 1100, 1100A に接続される各電気機器類の消費電力量の監視・制御等を行うことにより、エネルギー消費量を削減できる。

[0412] なお、実施の形態 10 による太陽光発電システムは、図 38～図 40 に示す構成に限らず、光電変換装置 10, 10A, 10B, 100, 100A, 200, 300, 400, 400A, 400B, 500, 500A, 600, 700 の少なくとも 1 つを用いる限り、どのような構成であってもよい。

[0413] [実施の形態 11]

図 41 は、この実施の形態による光電変換装置を備える更に別の太陽光発電システムの構成を示す概略図である。

[0414] 図 41 を参照して、太陽光発電システム 1200 は、サブシステム 1201～120n (n は 2 以上の整数) と、パワーコンディショナー 1211～121n と、変圧器 1221 とを備える。太陽光発電システム 1200 は、図 38 に示す太陽光発電システム 1100 および図 40 に示す太陽光発電システム 1100A よりも規模が大きい太陽光発電システムである。

[0415] パワーコンディショナー 1211～121n は、それぞれ、サブシステム 1201～120n に接続される。

[0416] 変圧器 1221 は、パワーコンディショナー 1211～121n および商用電力系統に接続される。

[0417] サブシステム 1201～120n の各々は、モジュールシステム 1231～123j (j は 2 以上の整数) からなる。

[0418] モジュールシステム 1231～123j の各々は、光電変換モジュールアレイ 1301～130i (i は 2 以上の整数) と、接続箱 1311～131i と、集電箱 1321 とを含む。

[0419] 光電変換モジュールアレイ 1301～130i の各々は、図 39 に示す光電変換モジュールアレイ 1101 と同じ構成からなる。

[0420] 接続箱 1311～131i は、それぞれ、光電変換モジュールアレイ 1301～130i に接続される。

[0421] 集電箱 1321 は、接続箱 1311～131i に接続される。また、サブシステム 1201 の j 個の集電箱 1321 は、パワーコンディショナー 1211 に接続される。サブシステム 1202 の j 個の集電箱 1321 は、パワ

ーコンディショナー 1212 に接続される。以下、同様にして、サブシステム 120n の j 個の集電箱 1321 は、パワーコンディショナー 121n に接続される。

[0422] モジュールシステム 1231 の i 個の光電変換モジュールアレイ 1301 ~ 130i は、太陽光を電気に変換して直流電力を発電し、その発電した直流電力をそれぞれ接続箱 1311 ~ 131i を介して集電箱 1321 へ供給する。モジュールシステム 1232 の i 個の光電変換モジュールアレイ 1301 ~ 130i は、太陽光を電気に変換して直流電力を発電し、その発電した直流電力をそれぞれ接続箱 1311 ~ 131i を介して集電箱 1321 へ供給する。以下、同様にして、モジュールシステム 123j の i 個の光電変換モジュールアレイ 1301 ~ 130i は、太陽光を電気に変換して直流電力を発電し、その発電した直流電力をそれぞれ接続箱 1311 ~ 131i を介して集電箱 1321 へ供給する。

[0423] そして、サブシステム 1201 の j 個の集電箱 1321 は、直流電力をパワーコンディショナー 1211 へ供給する。

[0424] サブシステム 1202 の j 個の集電箱 1321 は、同様にして直流電力をパワーコンディショナー 1212 へ供給する。

[0425] 以下、同様にして、サブシステム 120n の j 個の集電箱 1321 は、直流電力をパワーコンディショナー 121n へ供給する。

[0426] パワーコンディショナー 1211 ~ 121n は、それぞれ、サブシステム 1201 ~ 120n から受けた直流電力を交流電力に変換し、その変換した交流電力を変圧器 1221 へ供給する。

[0427] 変圧器 1221 は、パワーコンディショナー 1211 ~ 121n から交流電力を受け、その受けた交流電力の電圧レベルを変換して商用電力系統へ供給する。

[0428] 太陽光発電システム 1200 は、上述したように、高い変換効率を有する光電変換装置 10, 10A, 10B, 100, 100A, 200, 300, 400, 400A, 400B, 500, 500A, 600, 700 のいずれ

かを備えている。

[0429] 従って、太陽光発電システム 1200 の変換効率を向上できる。

[0430] 図 42 は、この実施の形態による光電変換装置を備える更に別の太陽光発電システムの構成を示す概略図である。

[0431] 図 42 に示す太陽光発電システム 1200A は、図 41 に示す太陽光発電システム 1200 に蓄電池 1311 ~ 131n を追加したものであり、その他は、太陽光発電システム 1200 と同じである。

[0432] 蓄電池 1311 ~ 131n は、それぞれ、パワーコンディショナー 1211 ~ 121n に接続される。

[0433] パワーコンディショナー 1211 ~ 121n は、それぞれ、サブシステム 1201 ~ 120n から受けた直流電力の一部または全部を適切に電力変換してそれぞれ蓄電池 1311 ~ 131n に蓄積する。蓄電池 1311 ~ 131n は、その蓄積した電力をそれぞれサブシステム 1201 ~ 120n の発電量に応じて、適宜、それぞれパワーコンディショナー 1211 ~ 121n に供給する。パワーコンディショナー 1211 ~ 121n は、それぞれ、蓄電池 1311 ~ 131n から受けた直流電力を交流電力に変換し、その変換した交流電力を変圧器 1221 へ供給する。

[0434] 変圧器 1221 は、パワーコンディショナー 1211 ~ 121n から受けた交流電力の電圧レベルを変換して商用電力系統へ供給する。

[0435] なお、太陽光発電システム 1200A においては、蓄電池 1311 ~ 131n は、それぞれ、パワーコンディショナー 1211 ~ 121n に内蔵されていてもよい。これにより、日照量の変動によるパワーコンディショナー 1211 ~ 121n からの出力変動を抑制できるとともに、日照のない時間帯であっても、蓄電池 1311 ~ 131n に蓄電された電力を商用電力系統へ供給することができる。

[0436] また、実施の形態 11 による太陽光発電システムは、図 41 または図 42 に示す構成に限らず、光電変換装置 10, 10A, 10B, 100, 100A, 200, 300, 400, 400A, 400B, 500, 500A, 6

00, 700の少なくとも1つを用いる限り、どのような構成であってもよい。

[0437] 上述したように、太陽光発電システム1200, 1200Aは、上述したように、高い変換効率を有する光電変換装置10, 10A, 10B, 100, 100A, 200, 300, 400, 400A, 400B, 500, 500A, 600, 700の少なくとも1つを備えている。

[0438] 従って、太陽光発電システム1200, 1200Aの変換効率を向上できる。

[0439] 上述した実施の形態1から実施の形態4においては、光入射側の表面に凹凸構造T×1を有する結晶シリコン基板と、凹凸構造T×1に接して結晶シリコン基板上に配置され、凹凸サイズが凹凸構造T×1よりも小さい凹凸構造T×2を光入射側の表面に有する非晶質薄膜とを備える光電変換装置について説明した。そして、非晶質薄膜は、IⅤ族元素を含む。

[0440] また、上述した実施の形態5から実施の形態8においては、光入射側の表面に凹凸構造T×5を有する結晶シリコン基板と、凹凸構造T×5に接して結晶シリコン基板上に配置され、凹凸サイズが凹凸構造T×5よりも大きい凹凸構造T×4を光入射側の表面に有する非晶質薄膜とを備える光電変換装置について説明した。そして、非晶質薄膜は、IⅤ族元素を含む。

[0441] 従って、この発明の実施の形態による光電変換装置は、第1の凹凸サイズを有する第1の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた結晶シリコン基板と、第1の凹凸サイズと異なる第2の凹凸サイズを有する第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられるとともに結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して結晶シリコン基板上に設けられ、IⅤ族元素を含む非晶質薄膜とを備えていればよい。

[0442] 凹凸サイズが異なる2つの凹凸構造が光電変換装置の光入射側に配置されていれば、入射光が2つの凹凸構造によって散乱されるので、入射光の反射率を低下でき、IⅤ族元素を含む非晶質薄膜が結晶シリコン基板の光入射側の表面に接していれば、凹凸構造が結晶シリコン基板の表面に形成されてい

ても、結晶シリコン基板の表面をパッシベートして非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面におけるキャリア（電子および正孔）の再結合を低減できるからである。

[0443] また、実施の形態 1 から実施の形態 4 に基づけば、この発明の実施の形態による光電変換装置は、第 1 の凹凸サイズを有する第 1 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた結晶シリコン基板と、第 1 の凹凸サイズよりも小さい第 2 の凹凸サイズを有する第 2 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられるとともに結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して結晶シリコン基板上に設けられ、ⅠⅤ族元素を含む非晶質薄膜とを備えていればよい。

[0444] 更に、実施の形態 5 から実施の形態 8 に基づけば、この発明の実施の形態による光電変換装置は、第 1 の凹凸サイズを有する第 1 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた結晶シリコン基板と、第 1 の凹凸サイズよりも大きい第 2 の凹凸サイズを有する第 2 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられるとともに結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して結晶シリコン基板上に設けられ、ⅠⅤ族元素を含む非晶質薄膜とを備えていればよい。

[0445] 更に、実施の形態 1, 2, 5, 6 に基づけば、この発明の実施の形態による光電変換装置は、 $p-n$ 接合または $p-i-n$ 接合が光入射側に形成された光電変換装置であって、第 1 の凹凸サイズを有する第 1 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた結晶シリコン基板と、第 1 の凹凸サイズと異なる第 2 の凹凸サイズを有する第 2 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられるとともに結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して結晶シリコン基板上に設けられ、ⅠⅤ族元素を含む非晶質薄膜とを備えていればよい。

[0446] 更に、実施の形態 3, 4, 7, 8 に基づけば、この発明の実施の形態による光電変換装置は、 $p-n$ 接合または $p-i-n$ 接合が光入射側と反対の裏面側に形成された光電変換装置であって、第 1 の凹凸サイズを有する第 1 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた単結晶シリコン基板と、第 1 の凹凸サイズと異なる第 2 の凹凸サイズを有する第 2 の凹凸構造が光入射側の表面に設けられるとともに単結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して単結晶シリコ

ン基板上に設けられ、ⅠⅤ族元素を含む非晶質薄膜とを備えていればよい。

[0447] 本発明は、以下の構成を有する。

[0448] (1) 光を電気に変換する光電変換装置(10, 10A, 10B, 100, 100A, 200, 300, 400, 400A, 400B, 500, 500A, 600, 700)であって、

第1の凹凸サイズを有する第1の凹凸構造(TX1, TX3, TX5, TX7)が光入射側の表面に設けられた結晶シリコン基板(1, 11, 101, 111, 401, 411, 501, 511, 601)と、

前記第1の凹凸サイズと異なる第2の凹凸サイズを有する第2の凹凸構造(TX2, TX4, TX6)が光入射側の表面に設けられるとともに前記結晶シリコン基板(1, 11, 101, 111, 401, 411, 501, 511, 601)の光入射側の表面に接して前記結晶シリコン基板(1, 11, 101, 111, 401, 411, 501, 511, 601)上に設けられ、ⅠⅤ族元素を含む非晶質薄膜(2, 7, 102, 402, 412, 502)とを備える光電変換装置。

[0449] この光電変換装置においては、入射光は、入射光の進行方向に配置された凹凸サイズが異なる2つの凹凸構造によって散乱されて結晶シリコン基板に入射する。また、結晶シリコン基板の第1の凹凸構造が形成された表面は、ⅠⅤ族元素を含む非晶質薄膜によってパッシベートされる。従って、光電変換装置の光入射側において入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。

[0450] (2) 前記第1の凹凸サイズは、前記第2の凹凸サイズよりも小さい、(1)に記載の光電変換装置。

[0451] この光電変換装置においては、入射光は、第2の凹凸構造によって散乱され、その散乱された光は、凹凸サイズが第2の凹凸構造よりも小さい第1の凹凸構造によって散乱されて結晶シリコン基板に入射する。また、結晶シリコン基板の第1の凹凸構造が形成された表面は、ⅠⅤ族元素を含む非晶質薄膜によってパッシベートされる。従って、入射光の進行方向に対して凹凸サ

イズが小さくなるように2つの凹凸構造を配置しても、光電変換装置の光入射側において入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。

[0452] (3) 前記第1の凹凸サイズは、前記第2の凹凸サイズよりも大きい、(1)に記載の光電変換装置。

[0453] この光電変換装置においては、入射光は、第2の凹凸構造によって散乱され、その散乱された光は、凹凸サイズが第2の凹凸構造よりも大きい第1の凹凸構造によって散乱されて結晶シリコン基板に入射する。また、結晶シリコン基板の第1の凹凸構造が形成された表面は、I V族元素を含む非晶質薄膜によってパッシベートされる。従って、入射光の進行方向に対して凹凸サイズが大きくなるように2つの凹凸構造を配置しても、光電変換装置の光入射側において入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。

[0454] (4) 前記非晶質薄膜(2, 402, 412)は、第1の非晶質薄膜および第2の非晶質薄膜のいずれかからなり、

前記第1の非晶質薄膜は、前記結晶シリコン基板(1, 11, 401, 411)の光入射側の表面に接して前記結晶シリコン基板(1, 11, 401, 411)上に設けられるとともに前記結晶シリコン基板(1, 11, 401, 411)の導電型と反対の導電型を有し、前記第2の凹凸構造(TX2, , TX4, TX6)が光入射側の表面に設けられた第1の非晶質層(23)からなり、

前記第2の非晶質薄膜は、

前記結晶シリコン基板(1, 11, 401, 411)の光入射側の表面に接して前記結晶シリコン基板(1, 11, 401, 411)上に設けられ、i型の導電型を有する第2の非晶質層(21)と、

前記第2の非晶質層(21)に接して前記第2の非晶質層(21)上に設けられるとともに前記結晶シリコン基板(1, 11, 401, 411)の導電型と反対の導電型を有し、前記第2の凹凸構造(TX2, , TX4, TX

6) が光入射側の表面に設けられた第3の非晶質層(22)とを含む、(1) から(3)のいずれか1つに記載の光電変換装置。

[0455] この光電変換装置においては、非晶質薄膜は、結晶シリコン基板との間でpn接合またはpin接合を形成するとともに、結晶シリコン基板の第1の凹凸構造が形成された表面をパッシベートし、入射光を第2の凹凸構造によって散乱して結晶シリコン基板の第1の凹凸構造に導く。また、結晶シリコン基板の第1の凹凸構造は、非晶質薄膜の第2の凹凸構造によって散乱された光を更に散乱して結晶シリコン基板中へ導く。

[0456] 従って、ヘテロ接合からなるpn接合またはpin接合が光入射側に形成された光電変換装置において、入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。

[0457] (5) 前記結晶シリコン基板(1, 11, 401, 411)は、n型の導電型を有し、

前記第1の非晶質層(23)は、p型非晶質シリコンからなり、

前記第2の非晶質層(21)は、i型非晶質シリコンからなり、

前記第3の非晶質層(22)は、p型非晶質シリコンからなる、(4)に記載の光電変換装置。

[0458] この光電変換装置においては、非晶質薄膜は、非晶質シリコンからなり、n型の導電型を有する結晶シリコン基板とpn接合またはpin接合を形成する。

[0459] 従って、ヘテロ接合からなるpn接合またはpin接合がn型の導電型を有する結晶シリコン基板の光入射側に形成された光電変換装置において、入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。

[0460] (6) 前記結晶シリコン基板(1, 11, 401, 411)は、p型の導電型を有し、

前記第1の非晶質層(23)は、n型非晶質シリコンからなり、

前記第2の非晶質層(21)は、i型非晶質シリコンからなり、

前記第3の非晶質層（22）は、n型非晶質シリコンからなる、（4）に記載の光電変換装置。

[0461] この光電変換装置においては、非晶質薄膜は、非晶質シリコンからなり、p型の導電型を有する結晶シリコン基板とpn接合またはpin接合を形成する。

[0462] 従って、ヘテロ接合からなるpn接合またはpin接合がp型の導電型を有する結晶シリコン基板の光入射側に形成された光電変換装置において、入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。

[0463] （7）光入射側に配置された電極（9）をさらに備え、
前記結晶シリコン基板（11，411）の光入射側の表面のうち、前記電極（9）に対向する部分は、平坦である、（4）から（6）のいずれか1つに記載の光電変換装置。

[0464] この光電変換装置においては、電極の下側において、非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の平坦な平面に接する。その結果、電極の下側において、非晶質薄膜と結晶シリコン基板との接触面積が小さくなる。

[0465] 従って、結晶シリコン基板の光入射側の表面の全体を凹凸化した場合よりも、電極の下側において、非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面におけるキャリアの再結合を低減できる。

[0466] （8）前記結晶シリコン基板（101，111，501，511）は、バルク領域（101b，111b，501b，511b）と、前記光入射側の表面に接して設けられ、かつ、前記バルク領域（101b，111b，501b，511b）の導電型と反対の導電型を有する拡散領域（101p，111p，501p，511p）とを含む、（1）から（3）のいずれか1つに記載の光電変換装置。

[0467] この光電変換装置においては、結晶シリコン基板は、光入射側にpn接合を内蔵し、非晶質薄膜は、結晶シリコン基板の拡散領域に接して配置される。

- [0468] 従って、拡散による p n 接合が光入射側に形成された光電変換装置において、入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。
- [0469] (9) 前記結晶シリコン基板 (1 1 1, 5 1 1) の前記拡散領域 (1 1 1 p, 5 1 1 p) の一部に接して設けられた電極 (1 1 4) をさらに備え、
前記拡散領域 (1 1 1 p, 5 1 1 p) の一部は、平坦な平面 (F T 3, F T 7) からなる、(8) に記載の光電変換装置。
- [0470] この光電変換装置においては、電極は、結晶シリコン基板の拡散領域の平坦な平面に接する。その結果、電極と結晶シリコン基板の拡散領域との接触面積が小さくなる。
- [0471] 従って、結晶シリコン基板の光入射側の表面の全体を凹凸化した場合よりも、電極と拡散領域との界面におけるキャリアの再結合を低減できる。
- [0472] (10) 前記結晶シリコン基板 (1 0 1, 1 1 1, 5 0 1, 5 1 1) は、単結晶シリコン基板または多結晶シリコン基板からなる、(1) から (9) のいずれか 1 つに記載の光電変換装置。
- [0473] 単結晶シリコン基板および多結晶シリコン基板のいずれかを用了光電変換装置において、入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。
- [0474] (11) 前記結晶シリコン基板 (1, 4 0 1) の光入射側と反対側に設けられ、前記結晶シリコン基板 (1, 4 0 1) の導電型と反対の導電型を有する複数の第 1 の非晶質薄膜 (2 1 1 ~ 2 1 n - 1) と、
前記結晶シリコン基板 (1, 4 0 1) の光入射側と反対側に設けられるとともに前記結晶シリコン基板 (1, 4 0 1) の導電型と同じ導電型を有し、前記結晶シリコン基板 (1, 4 0 1) の面内方向において前記複数の第 1 の非晶質薄膜 (2 1 1 ~ 2 1 n - 1) と交互に配置された複数の第 2 の非晶質薄膜 (2 0 1 ~ 2 0 n) とをさらに備え、
前記結晶シリコン基板 (1, 4 0 1) は、単結晶シリコン基板からなる、(1) から (3) のいずれか 1 つに記載の光電変換装置。

[0475] この光電変換装置においては、複数の第1の非晶質薄膜および複数の第2の非晶質薄膜は、単結晶シリコン基板の裏面側で単結晶シリコン基板との間でp n接合を形成する。

[0476] 従って、ヘテロ接合からなるp n接合が単結晶シリコン基板の裏面側に形成された光電変換装置において、入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と単結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。

[0477] (12) 前記複数の第1の非晶質薄膜(211~21n-1, 211p)および前記複数の第2の非晶質薄膜(201~20n, 201n)と、前記単結晶シリコン基板(1, 401)との間に前記複数の第1の非晶質薄膜(211~21n-1, 211p)、前記複数の第2の非晶質薄膜(201~20n, 201n)および前記単結晶シリコン基板(1, 401)に接して設けられ、i型の導電型を有する第3の非晶質薄膜(201i, 211i)をさらに備える、(11)に記載の光電変換装置。

[0478] この光電変換装置においては、複数の第1の非晶質薄膜、複数の第2の非晶質薄膜および第3の非晶質薄膜は、単結晶シリコン基板の裏面側で単結晶シリコン基板との間でp i n接合を形成する。

[0479] 従って、ヘテロ接合からなるp i n接合が単結晶シリコン基板の裏面側に形成された光電変換装置において、入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と単結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。

[0480] (13) 前記第1の非晶質薄膜(211~21n-1)は、前記単結晶シリコン基板(1, 401)がn型の導電型を有する場合、p型非晶質シリコンからなり、前記単結晶シリコン基板(1, 401)がp型の導電型を有する場合、n型非晶質シリコンからなり、

前記第2の非晶質薄膜(201~20n)は、前記単結晶シリコン基板(1, 401)がn型の導電型を有する場合、n型非晶質シリコンからなり、前記単結晶シリコン基板(1, 401)がp型の導電型を有する場合、p型

非晶質シリコンからなり、

前記第3の非晶質薄膜（201i, 211i）は、i型非晶質シリコンからなる、（12）に記載の光電変換装置。

[0481] この光電変換装置においては、i型非晶質シリコンが単結晶シリコン基板の裏面に接するように、pin接合が単結晶シリコン基板の裏面側に形成される。

[0482] 従って、p型非晶質シリコンおよびn型非晶質シリコンが単結晶シリコン基板の裏面に接する場合よりも、単結晶シリコン基板の裏面におけるキャリアの再結合を更に低減できる。

[0483] （14）前記結晶シリコン基板（301, 601）は、
単結晶シリコンからなるバルク領域（301b, 601b）と、
前記単結晶シリコンからなるとともに前記結晶シリコン基板（301, 601）の光入射側と反対側の裏面に接して設けられ、前記バルク領域（301b, 601b）の導電型と反対の導電型を有する複数の第1の拡散領域（321～32n-1）と、

前記単結晶シリコンからなるとともに前記バルク領域（301b, 601b）の導電型と同じ導電型を有し、前記結晶シリコン基板（301, 601）の面内方向において複数の第1の拡散領域（321～32n-1）と交互に前記裏面に接して配置された複数の第2の拡散領域（311～31n）とを含む、（1）から（3）のいずれか1つに記載の光電変換装置。

[0484] この光電変換装置においては、複数の第1の拡散領域および複数の第2の拡散領域は、単結晶シリコン基板の裏面側においてpn接合を形成する。

[0485] 従って、pn接合が単結晶シリコン基板の裏面側に形成された光電変換装置において、入射光の反射率を低減できるとともに非晶質薄膜と単結晶シリコン基板との界面においてキャリアの再結合を低減できる。

[0486] （15）前記非晶質薄膜（102, 502）は、第1の非晶質薄膜（102B）、第2の非晶質薄膜（102E）、第3の非晶質薄膜（102C）、第4の非晶質薄膜（102D）および第5の非晶質薄膜（102A）のいずれ

れかからなり、

前記第1の非晶質薄膜(102B)は、前記結晶シリコン基板(101, 111, 301, 501, 511, 601)の光入射側の表面に接して設けられるとともに前記第2の凹凸構造(TX2, TX4)が光入射側の表面に設けられ、i型の導電型を有する第1の非晶質層(103i)からなり、

前記第2の非晶質薄膜(102E)は、前記結晶シリコン基板(101, 111, 301, 501, 511, 601)の光入射側の表面に接して設けられるとともに前記第2の凹凸構造(TX2, TX4)が光入射側の表面に設けられ、n型の導電型を有する第2の非晶質層(103n)からなり、

前記第3の非晶質薄膜(102C)は、前記結晶シリコン基板(101, 111, 301, 501, 511, 601)の光入射側の表面に接して設けられるとともに前記第2の凹凸構造(TX2, TX4)が光入射側の表面に設けられ、p型の導電型を有する第3の非晶質層(103p)からなり、

前記第4の非晶質薄膜(102D)は、前記結晶シリコン基板(101, 111, 301, 501, 511, 601)の光入射側の表面に接して設けられ、かつ、i型の導電型を有する第4の非晶質層(102i)と、前記第4の非晶質層(102i)に接して設けられるとともに前記第2の凹凸構造(TX2, TX4)が光入射側の表面に設けられ、n型の導電型を有する第5の非晶質層(102n)とからなり、

前記第5の非晶質薄膜(102A)は、前記結晶シリコン基板(101, 111, 301, 501, 511, 601)の光入射側の表面に接して設けられ、かつ、i型の導電型を有する第6の非晶質層(102i)と、前記第6の非晶質層(102i)に接して設けられるとともに前記第2の凹凸構造(TX2, TX4)が光入射側の表面に設けられ、p型の導電型を有する第7の非晶質層(102p)とからなる、(8)から(14)のいずれか1つに記載の光電変換装置。

[0487] この光電変換装置においては、pn接合またはpin接合は、結晶シリコン基板に内蔵され、または単結晶シリコン基板の裏面側に配置される。その

結果、結晶シリコン基板または単結晶シリコン基板の光入射側の表面上に形成された非晶質薄膜は、 $p\ n$ 接合または $p\ i\ n$ 接合を構成しない。

[0488] 従って、結晶シリコン基板または単結晶シリコン基板の光入射側の表面上に形成された非晶質薄膜を各種の非晶質薄膜によって構成できる。

[0489] (16) 前記第1、第4および第6の非晶質層(102i, 103i)の各々は、 i 型非晶質シリコンからなり、

前記第2および第5の非晶質層(102n, 103n)の各々は、 n 型非晶質シリコンからなり、

前記第3および第7の非晶質層(102p, 103p)の各々は、 p 型非晶質シリコンからなる、(15)に記載の光電変換装置。

[0490] この光電変換装置においては、結晶シリコン基板または単結晶シリコン基板の光入射側の表面上に形成された非晶質薄膜は、 i 型非晶質シリコン、 p 型非晶質シリコンおよび n 型非晶質シリコンのいずれかが結晶シリコン基板または単結晶シリコン基板の第1の凹凸構造に接するように配置される。

[0491] 従って、結晶シリコン基板または単結晶シリコン基板の光入射側の表面に凹凸構造が形成されていても、結晶シリコン基板または単結晶シリコン基板の光入射側の表面をパッシベートできる。

[0492] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

産業上の利用可能性

[0493] この発明は、光電変換装置に適用される。

請求の範囲

- [請求項1] 光を電気に変換する光電変換装置であって、
第1の凹凸サイズを有する第1の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた結晶シリコン基板と、
前記第1の凹凸サイズと異なる第2の凹凸サイズを有する第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられるとともに前記結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して前記結晶シリコン基板上に設けられ、ⅠⅤ族元素を含む非晶質薄膜とを備える光電変換装置。
- [請求項2] 前記第1の凹凸サイズは、前記第2の凹凸サイズよりも大きい、請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項3] 前記非晶質薄膜は、第1の非晶質薄膜および第2の非晶質薄膜のいずれかからなり、
前記第1の非晶質薄膜は、前記結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して前記結晶シリコン基板上に設けられるとともに前記結晶シリコン基板の導電型と反対の導電型を有し、前記第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた第1の非晶質層からなり、
前記第2の非晶質薄膜は、
前記結晶シリコン基板の光入射側の表面に接して前記結晶シリコン基板上に設けられ、i型の導電型を有する第2の非晶質層と、
前記第2の非晶質層に接して前記第2の非晶質層上に設けられるとともに前記結晶シリコン基板の導電型と反対の導電型を有し、前記第2の凹凸構造が光入射側の表面に設けられた第3の非晶質層とを含む、請求項1または請求項2に記載の光電変換装置。
- [請求項4] 前記結晶シリコン基板の光入射側と反対側に設けられ、前記結晶シリコン基板の導電型と反対の導電型を有する複数の第1の非晶質薄膜と、
前記結晶シリコン基板の光入射側と反対側に設けられるとともに前記結晶シリコン基板の導電型と同じ導電型を有し、前記結晶シリコン

基板の面内方向において前記複数の第1の非晶質薄膜と交互に配置された複数の第2の非晶質薄膜とをさらに備え、

前記結晶シリコン基板は、単結晶シリコン基板からなる、請求項1または請求項2に記載の光電変換装置。

[請求項5]

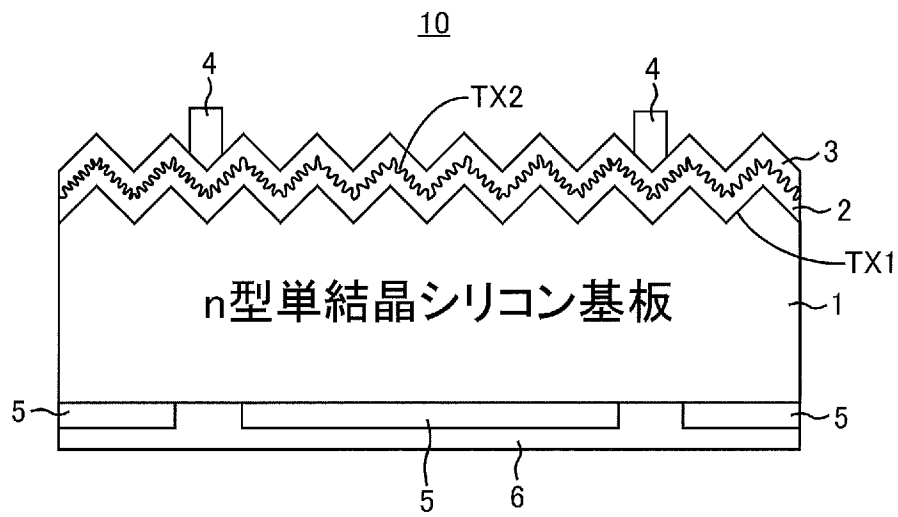
前記結晶シリコン基板は、

単結晶シリコンからなるバルク領域と、

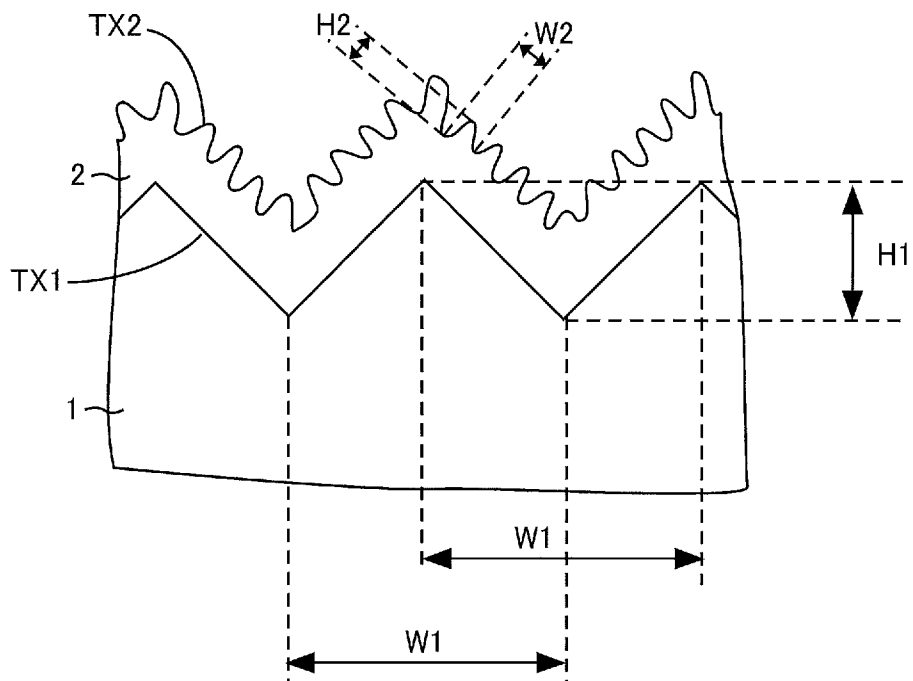
前記単結晶シリコンからなるとともに前記結晶シリコン基板の光入射側と反対側の裏面に接して設けられ、前記バルク領域の導電型と反対の導電型を有する複数の第1の拡散領域と、

前記単結晶シリコンからなるとともに前記バルク領域の導電型と同じ導電型を有し、前記結晶シリコン基板の面内方向において複数の第1の拡散領域と交互に前記裏面に接して配置された複数の第2の拡散領域とを含む、請求項1または請求項2に記載の光電変換装置。

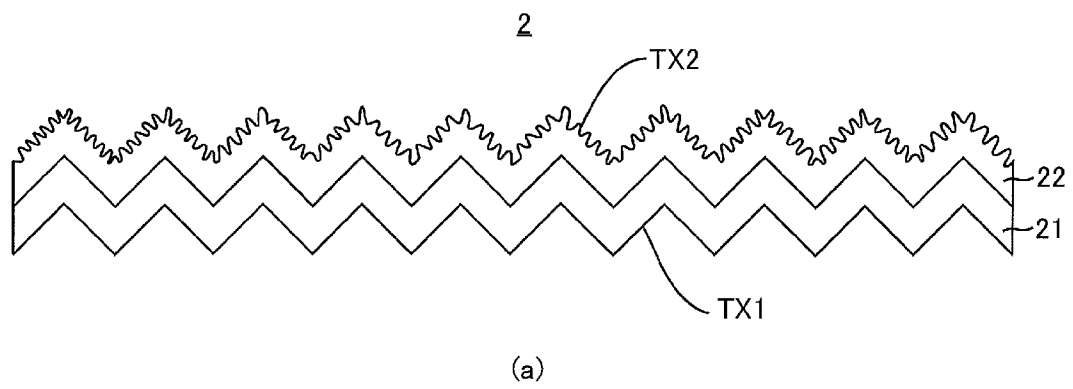
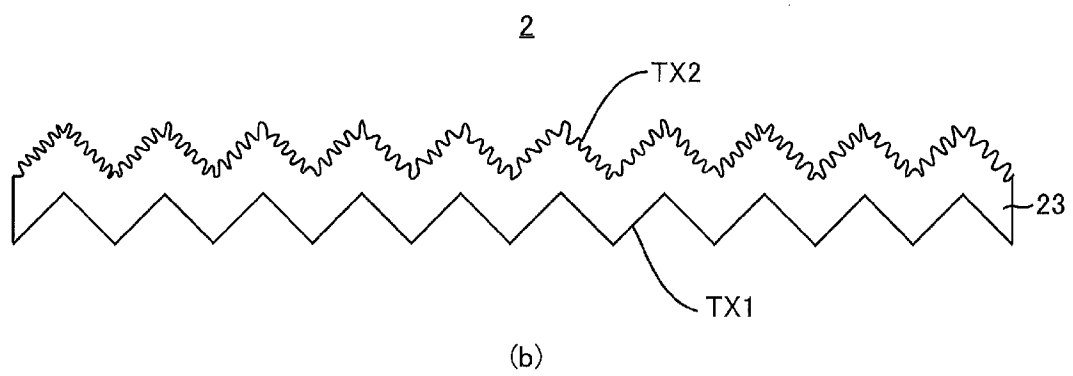
[図1]



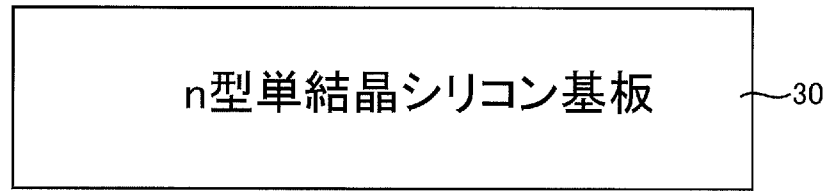
[図2]



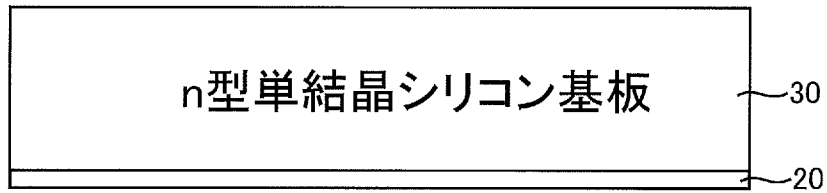
[図3]



[図4]



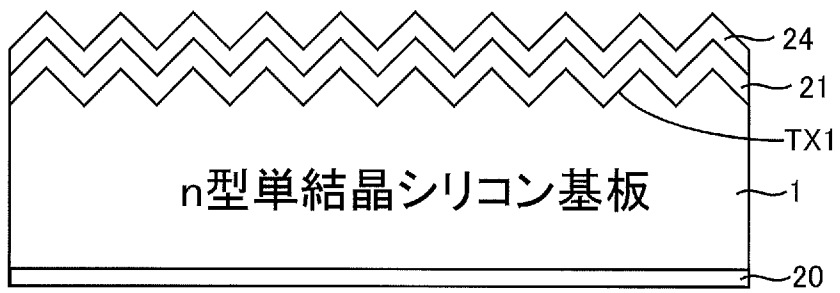
(a)



(b)

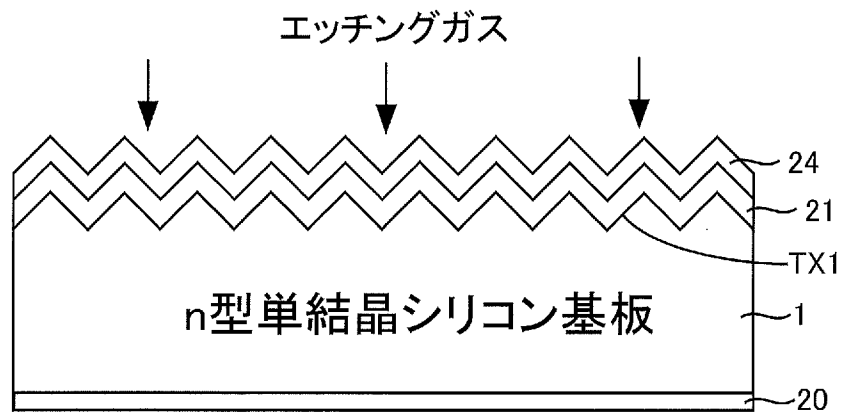


(c)



(d)

[図5]



(e)

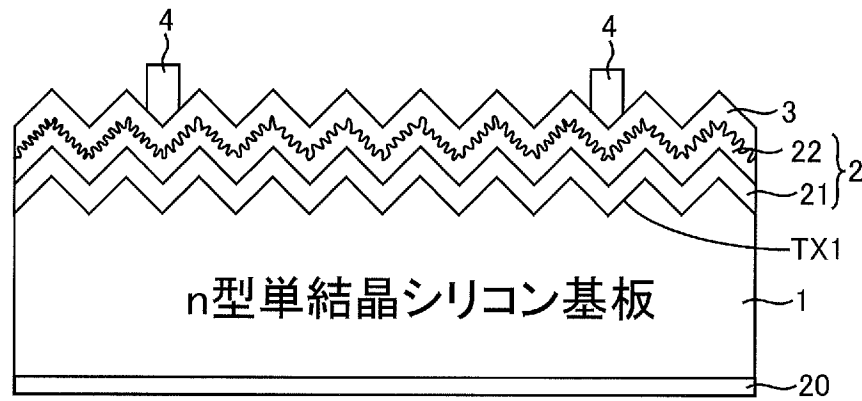


(f)

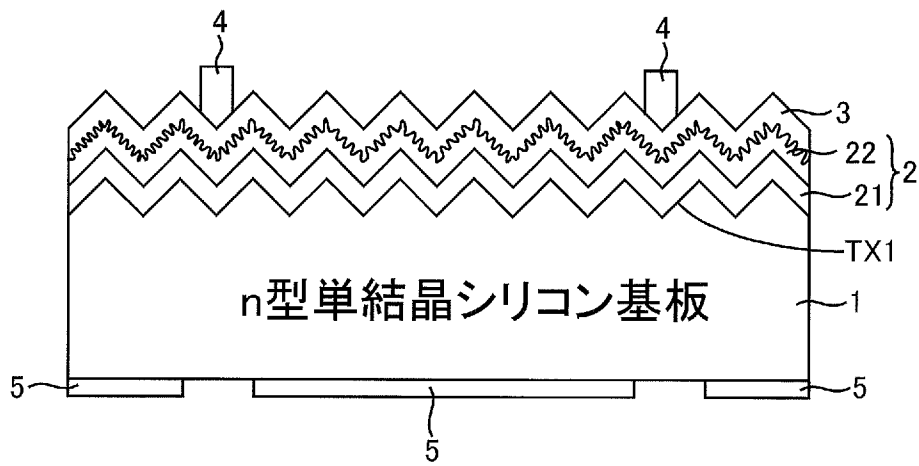


(g)

[図6]

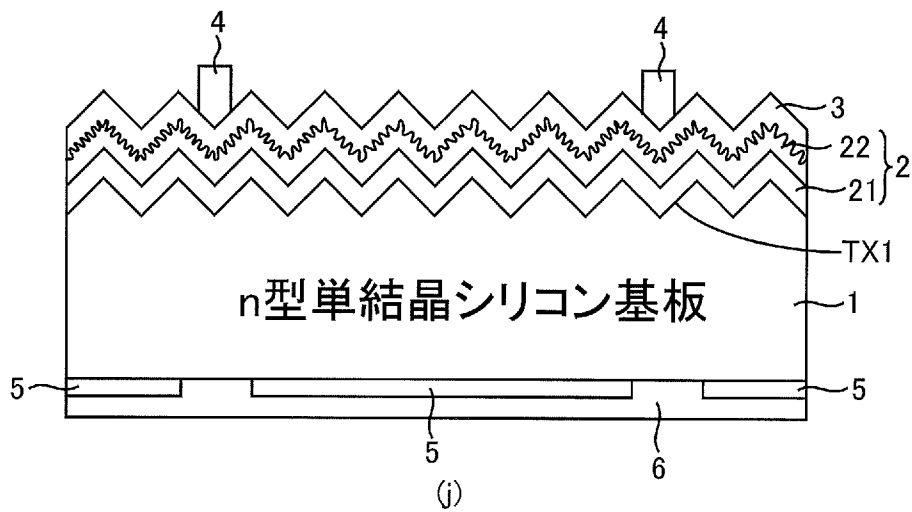


(h)



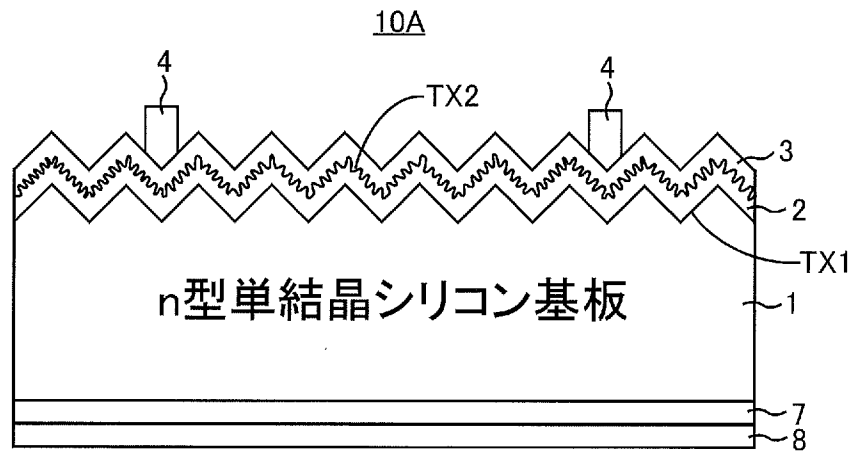
(i)

10

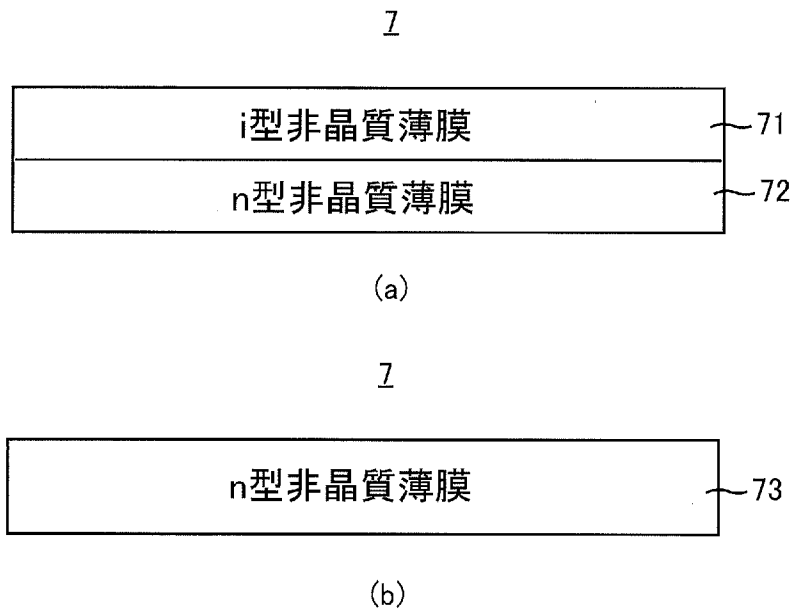


(j)

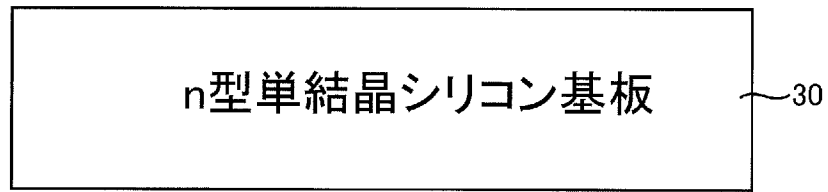
[図7]



[図8]



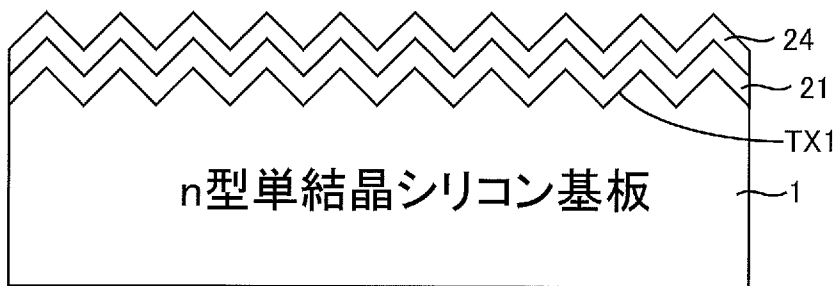
[図9]



(a)



(b)

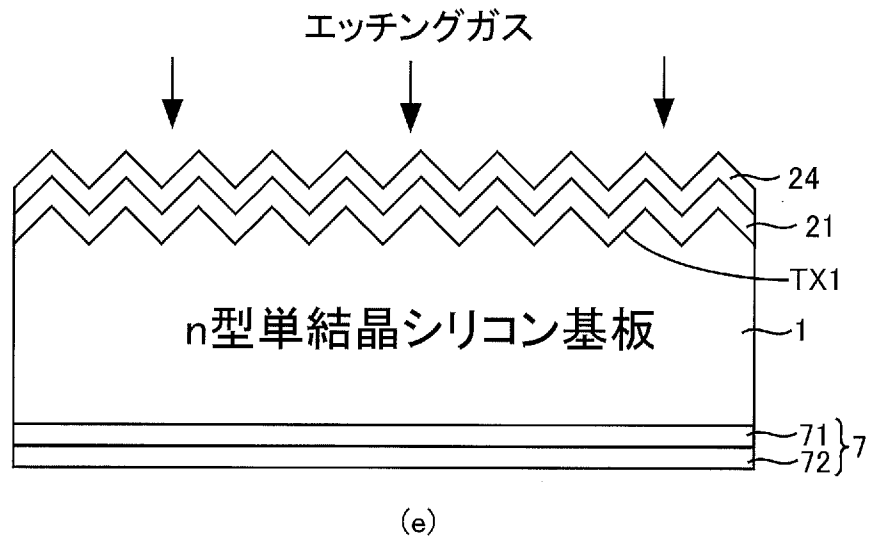
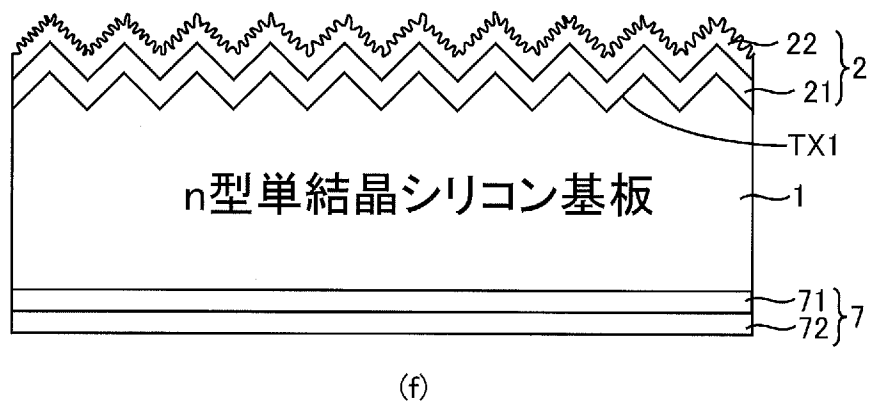
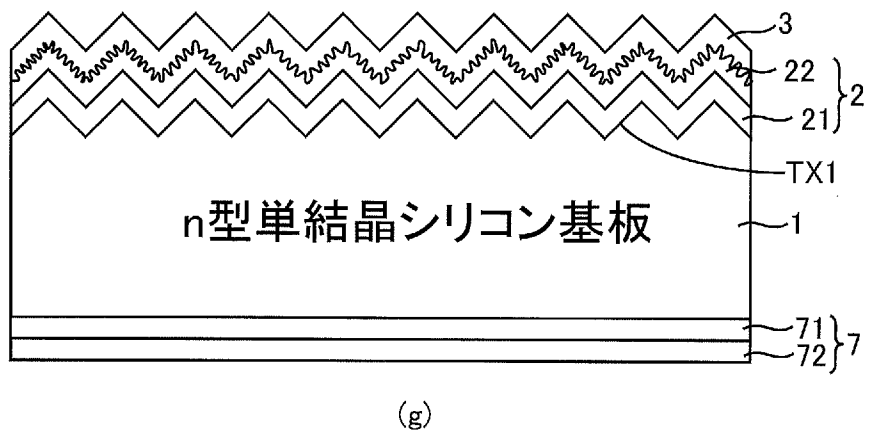


(c)

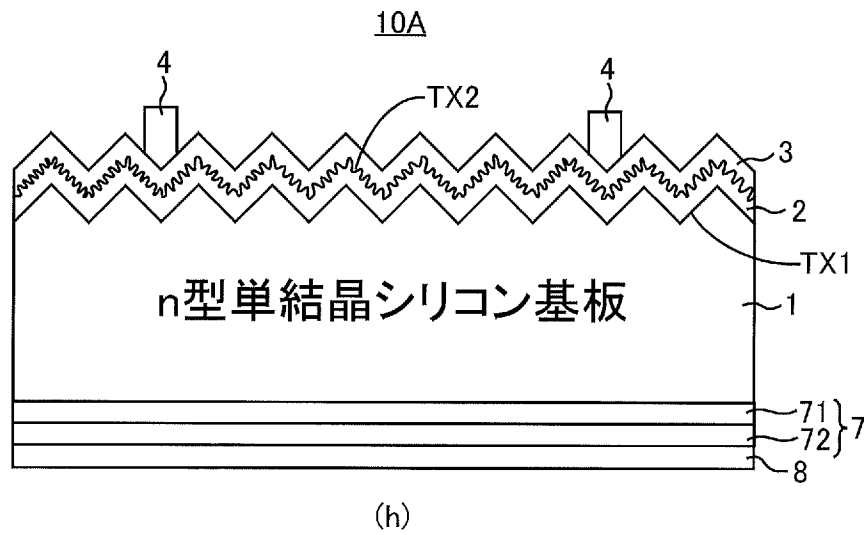


(d)

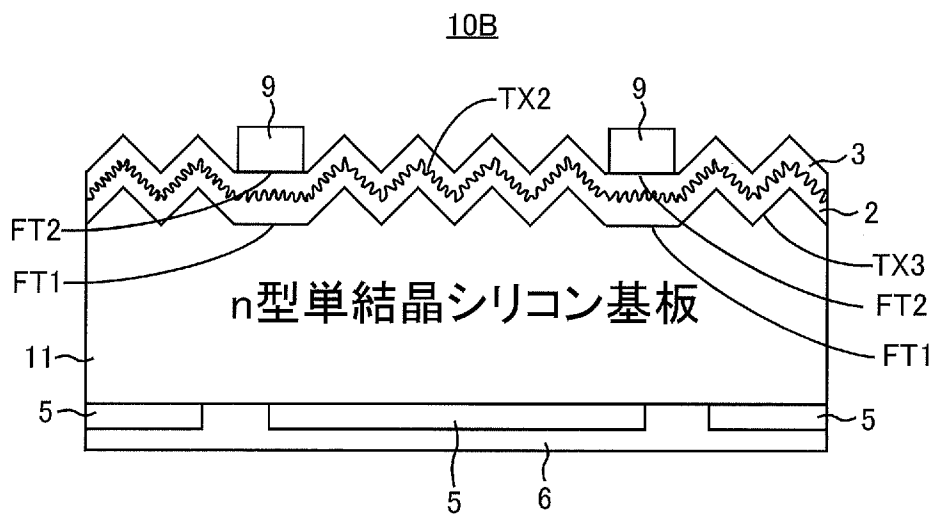
[図10]



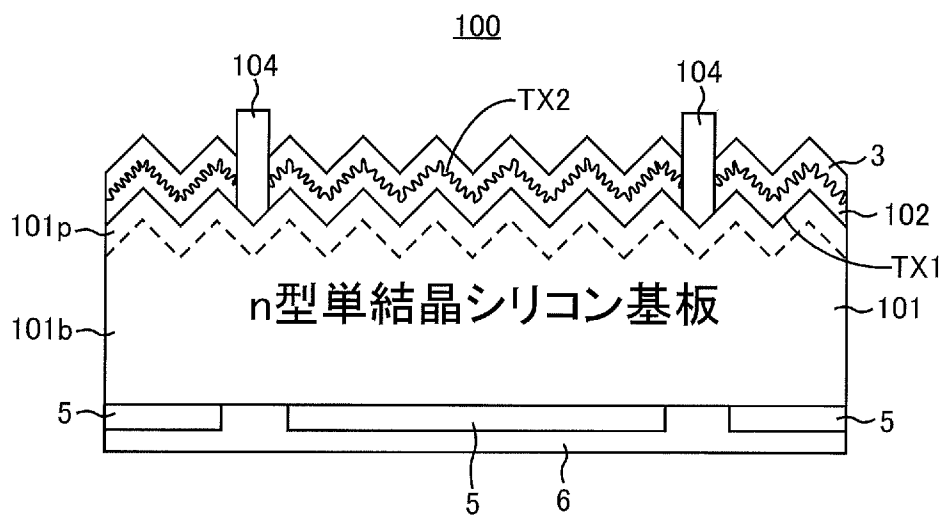
[図11]



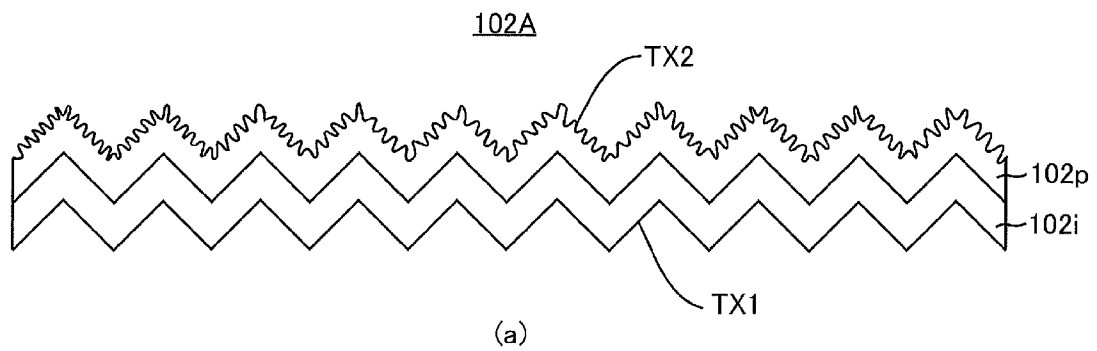
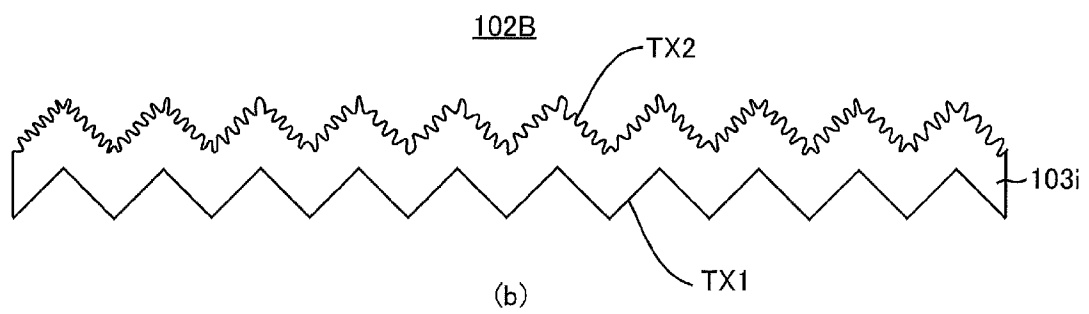
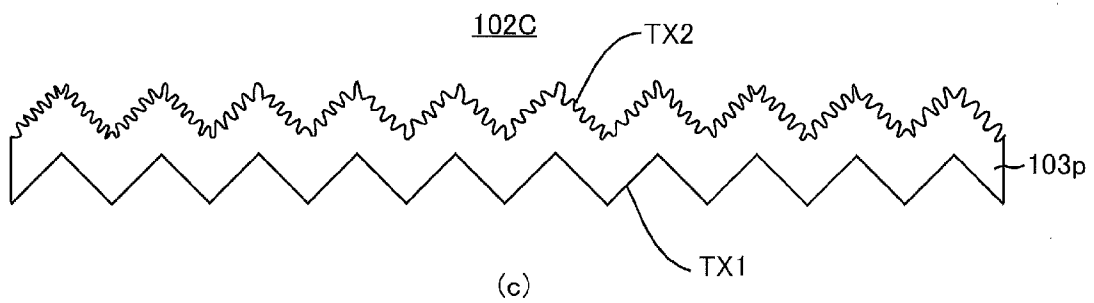
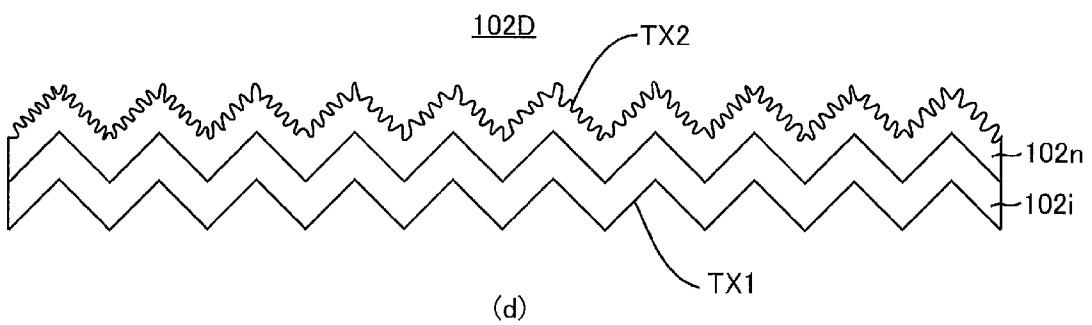
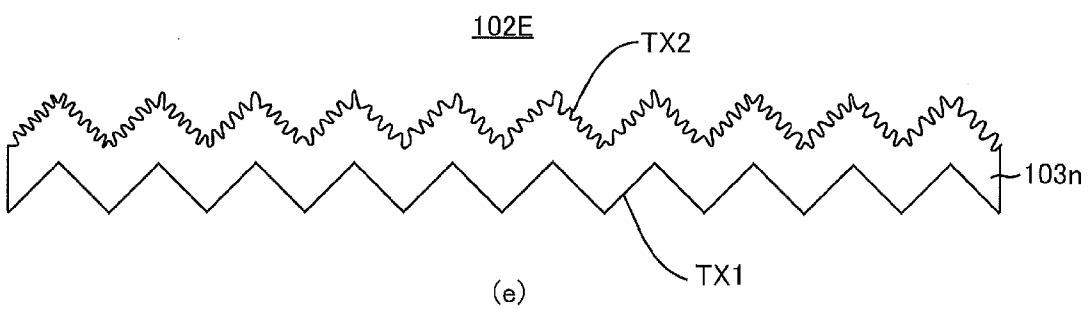
[図12]



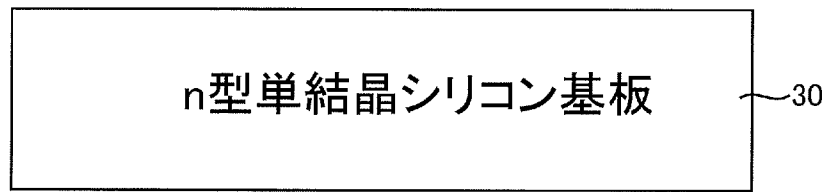
[図13]



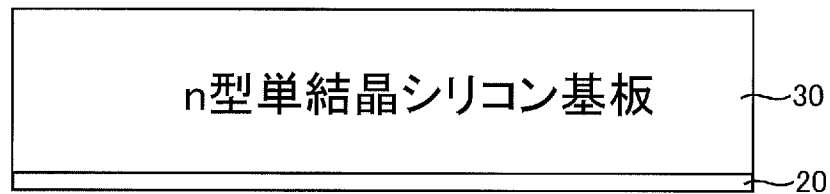
[図14]



[図15]



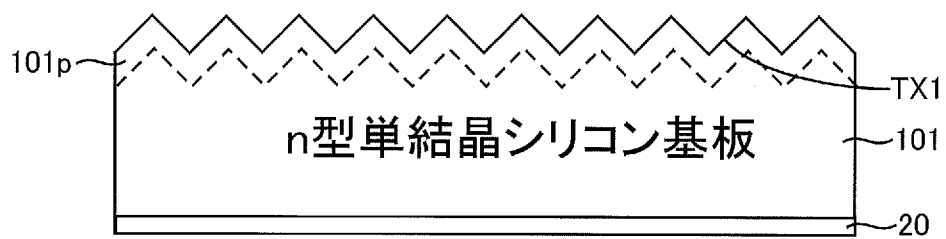
(a)



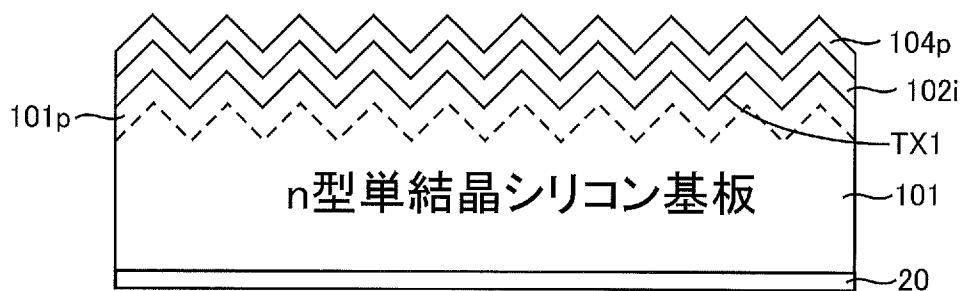
(b)



(c)

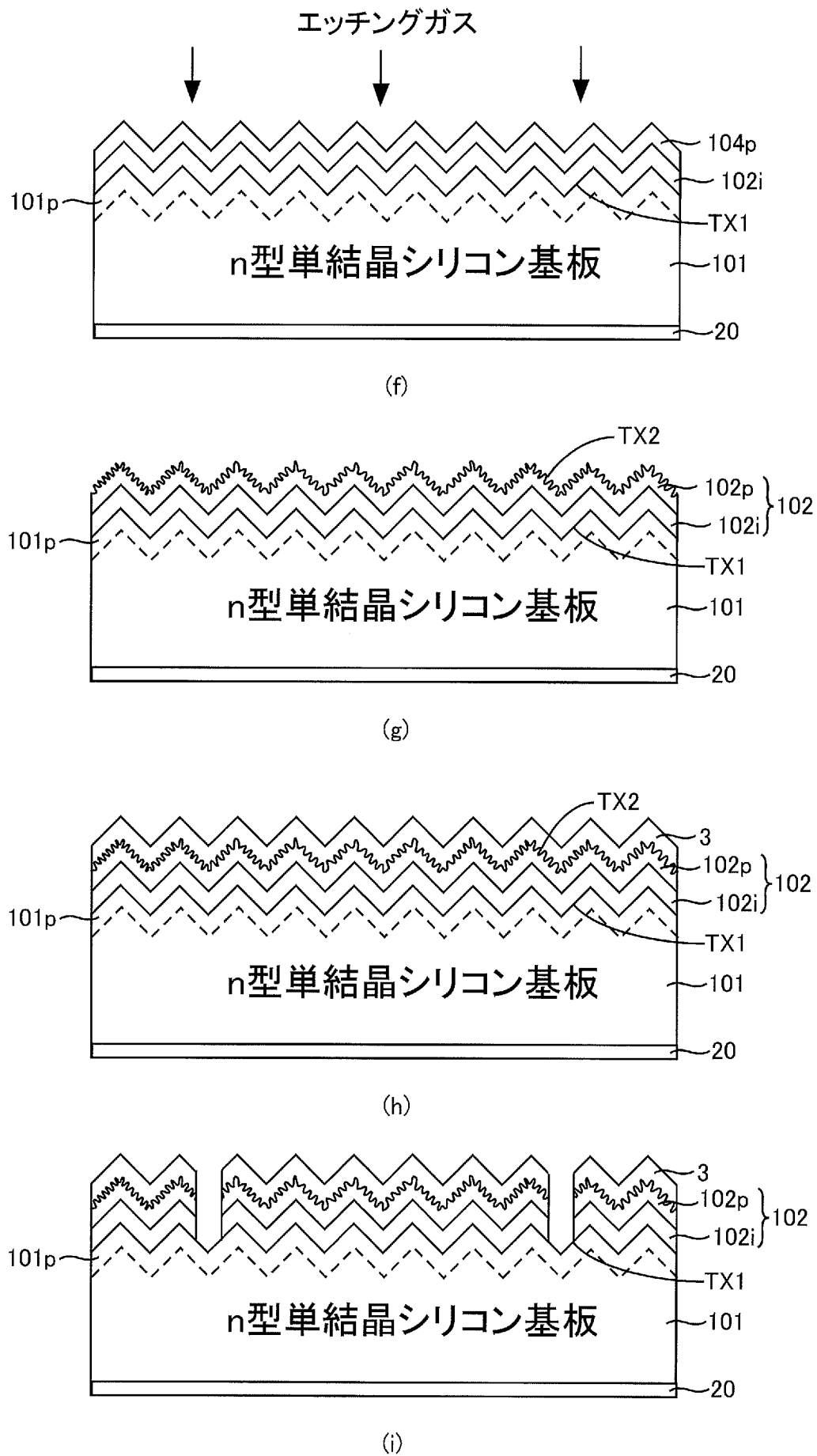


(d)

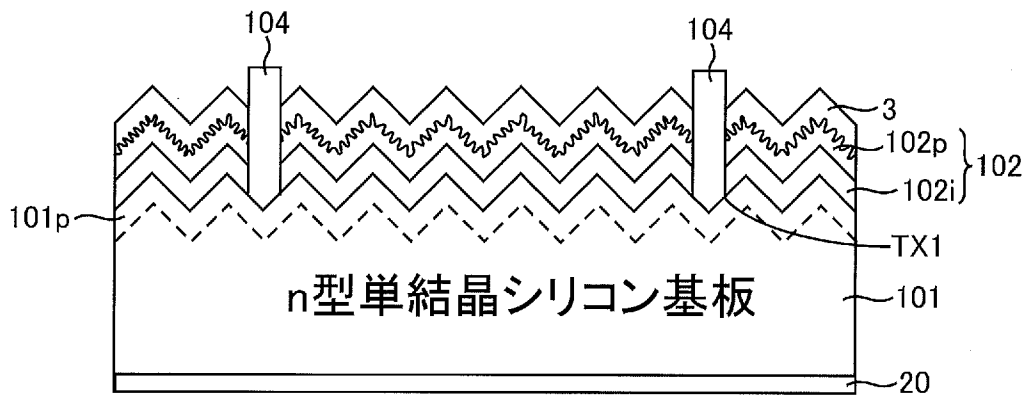


(e)

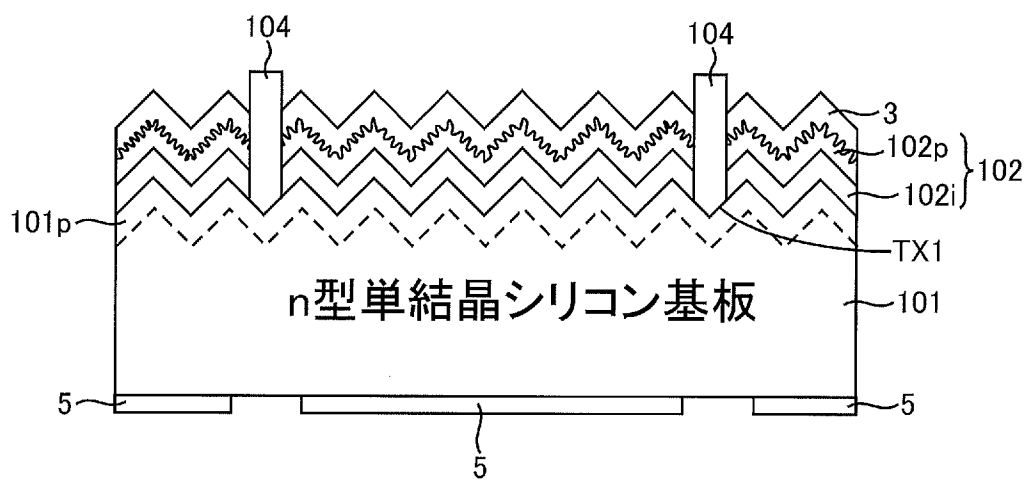
[図16]



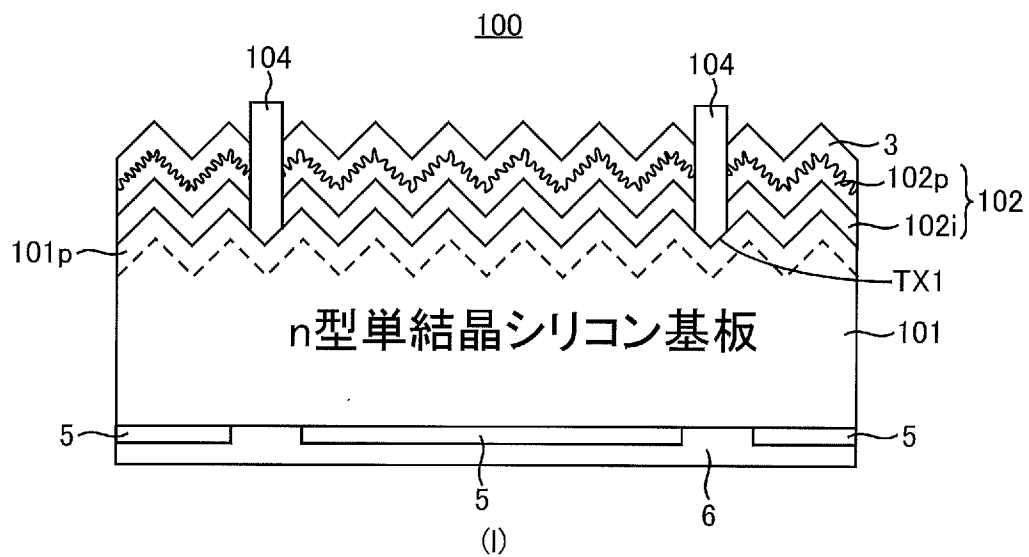
[図17]



(j)



(k)



(l)

200

TX2

3

102

TX1

1

n型単結晶シリコン基板

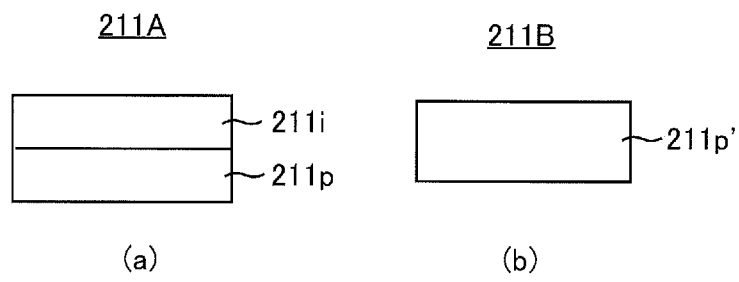
201 211 202 212 ... 20n-1 21n-1 20n

221 231 222 232 22n-1 23n-1 22n

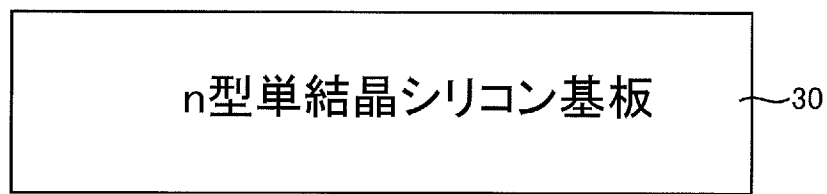
DR1

Figure 1 consists of two schematic diagrams, (a) and (b), illustrating the structure of the first and second electrodes. Diagram (a) shows the first electrode 201A, which is a rectangular block divided into two horizontal layers. The top layer is labeled 201i and the bottom layer is labeled 201n. Diagram (b) shows the second electrode 201B, which is a single rectangular block labeled 201n'.

[図21]



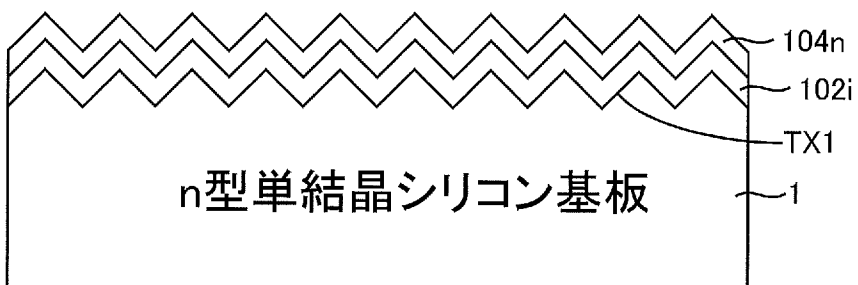
[図22]



(a)



(b)

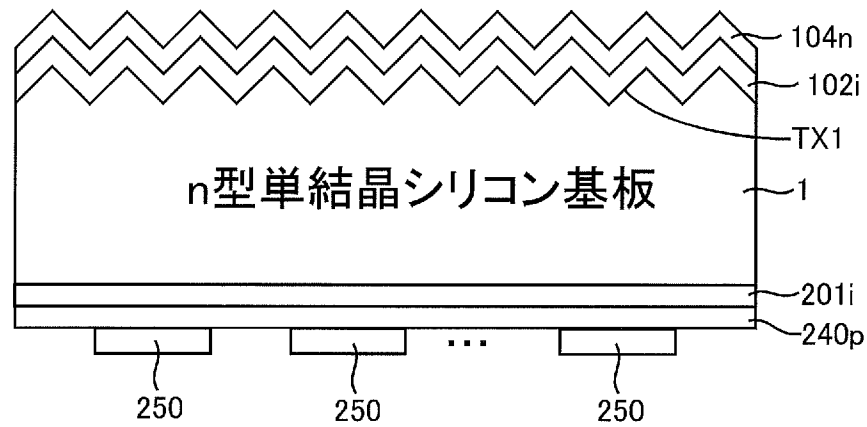


(c)

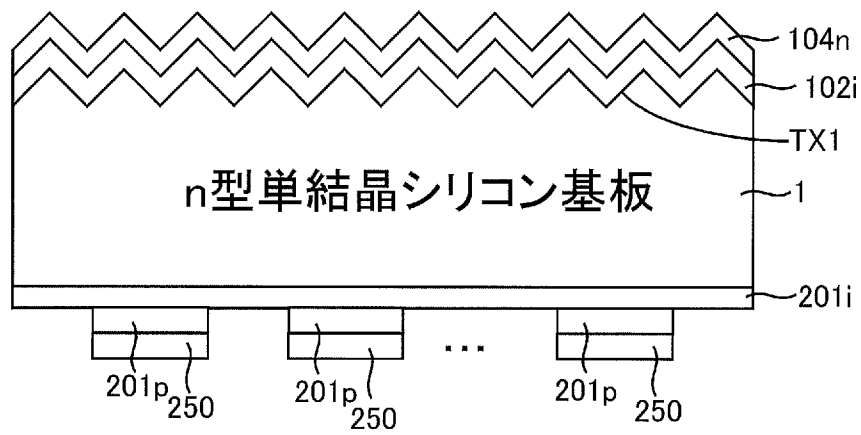


(d)

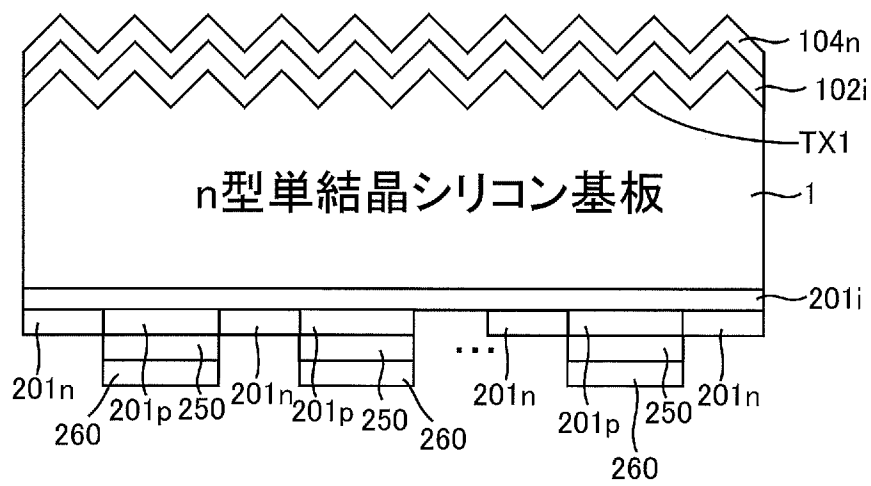
[図23]



(e)



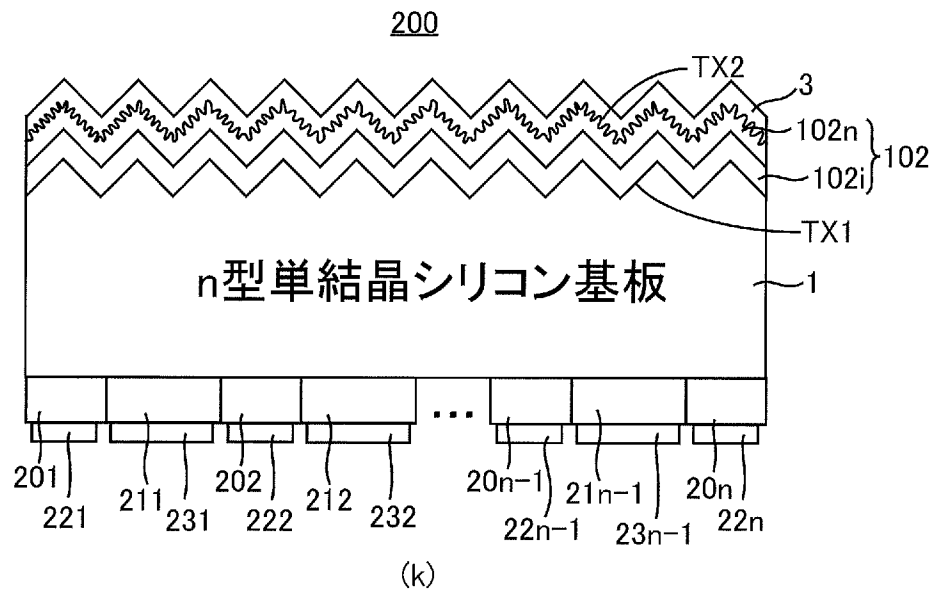
(f)



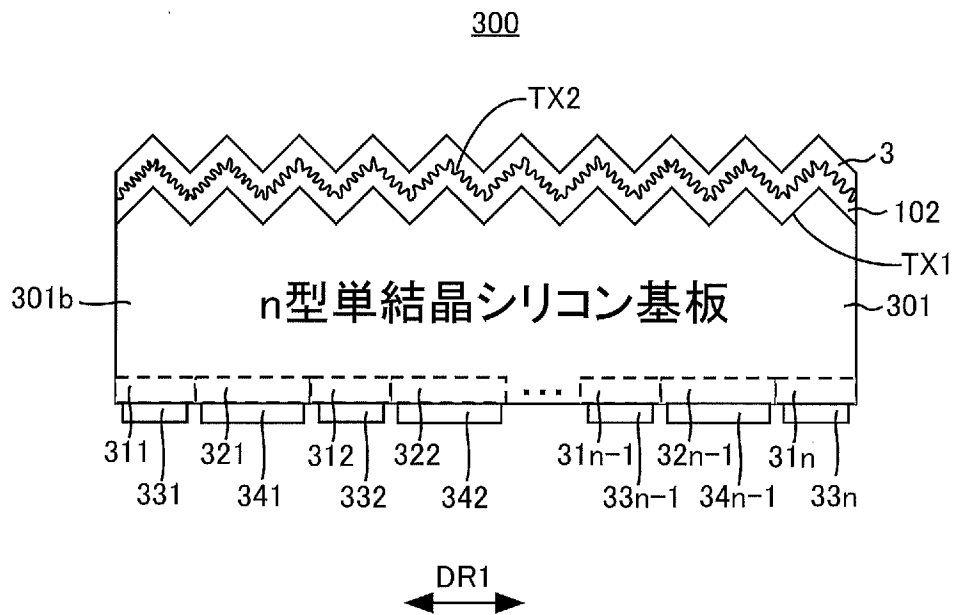
(g)

(j)

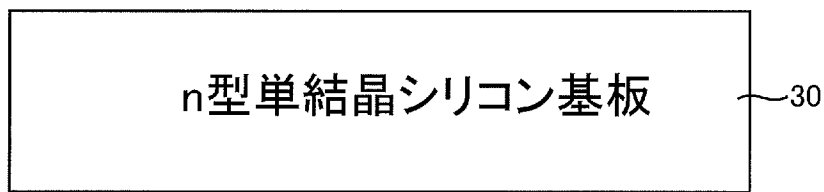
[図25]



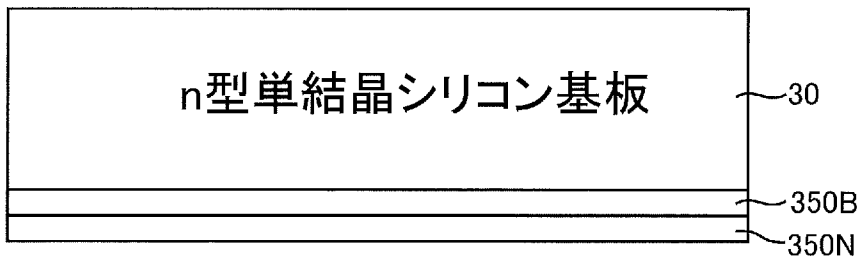
[図26]



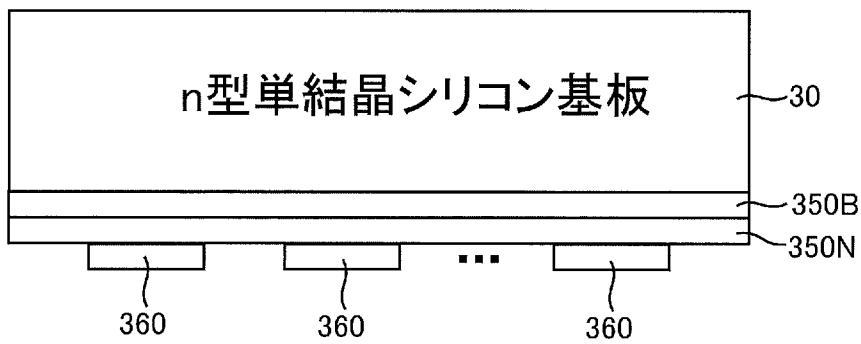
[図27]



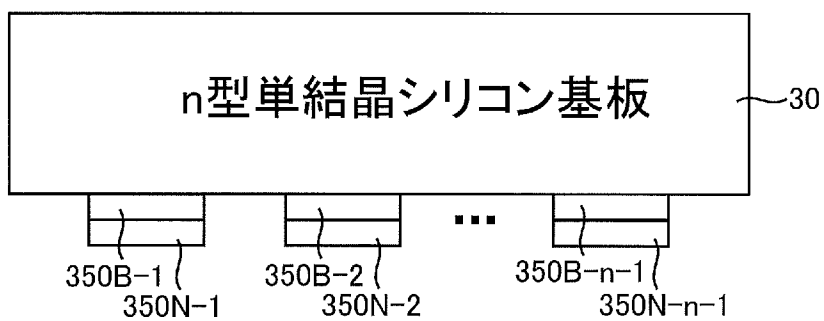
(a)



(b)

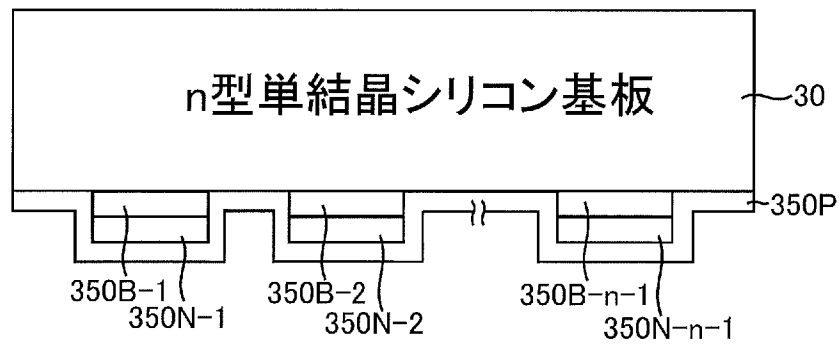


(c)



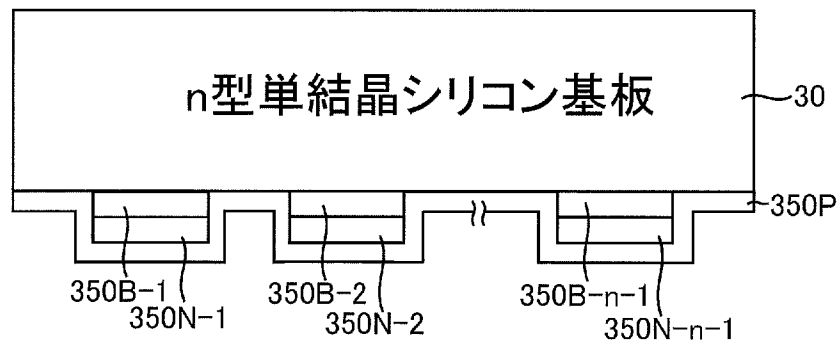
(d)

[図28]

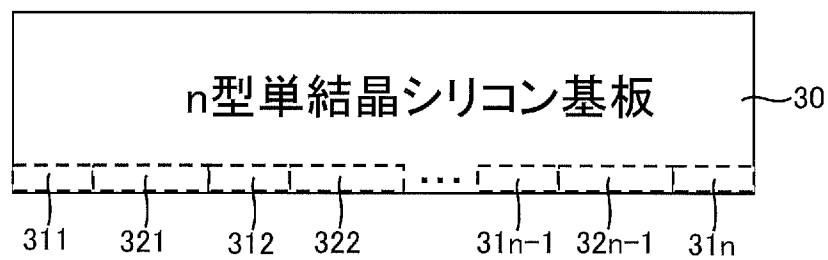


(e)

熱処理



(f)



(g)

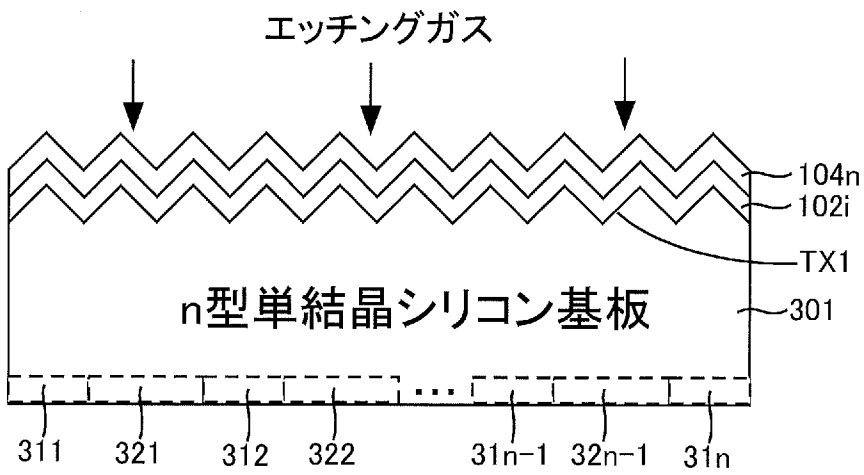


(h)

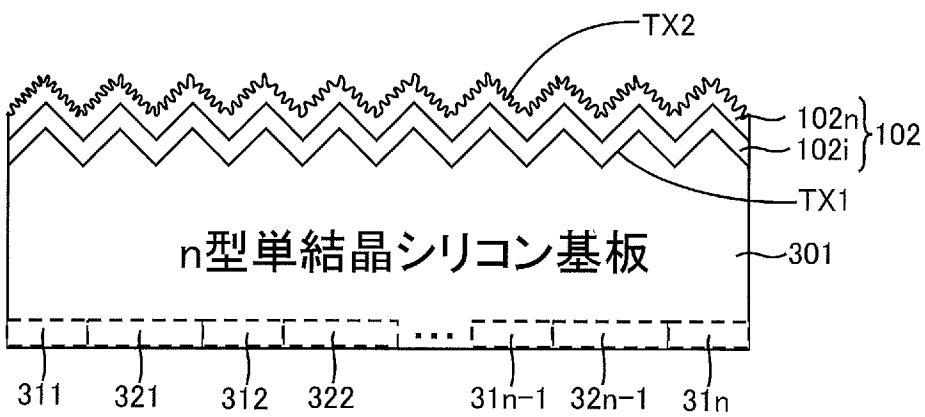
[図29]



(i)

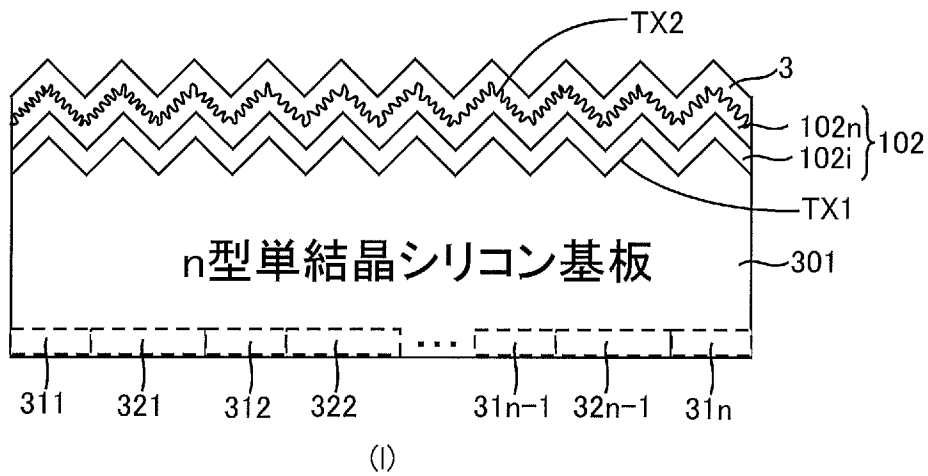
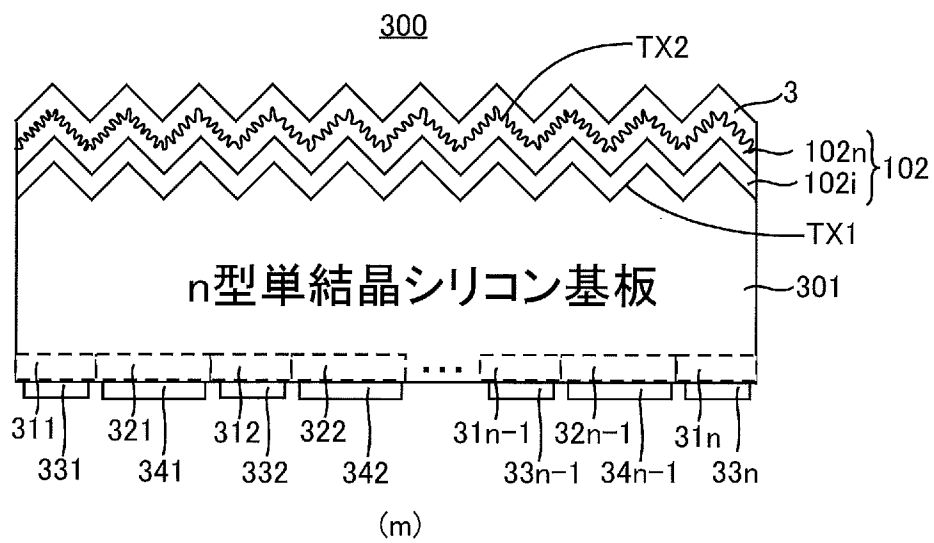


(j)

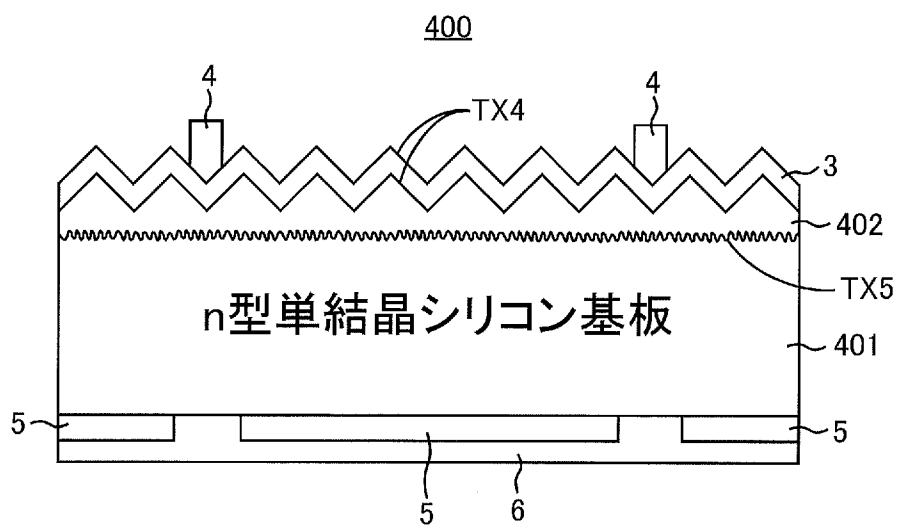


(k)

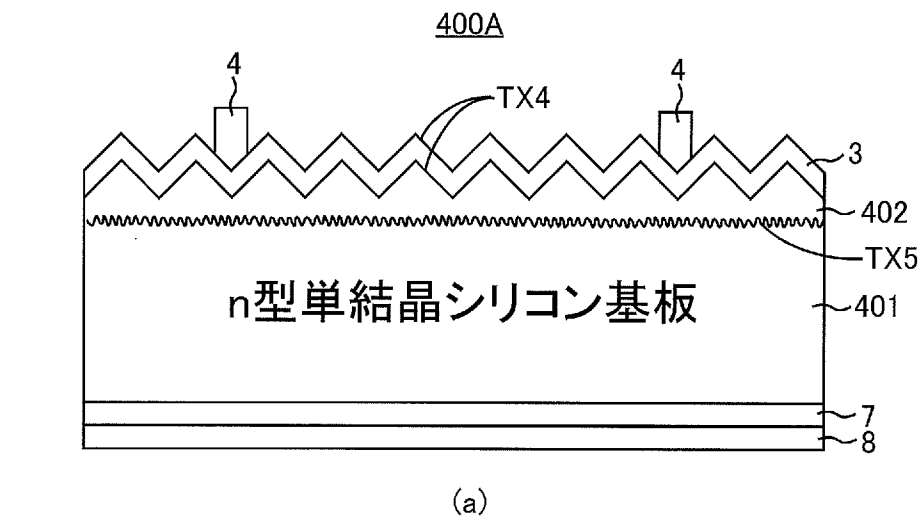
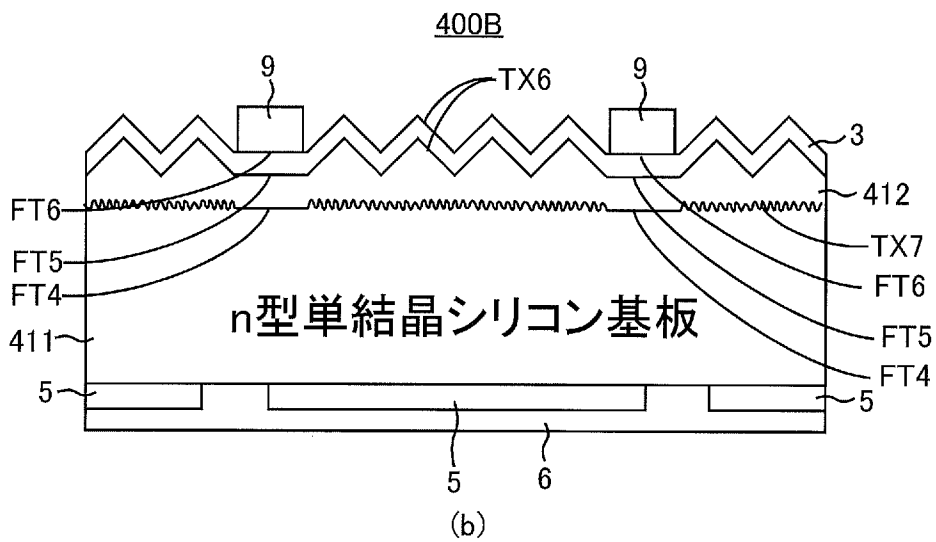
[図30]



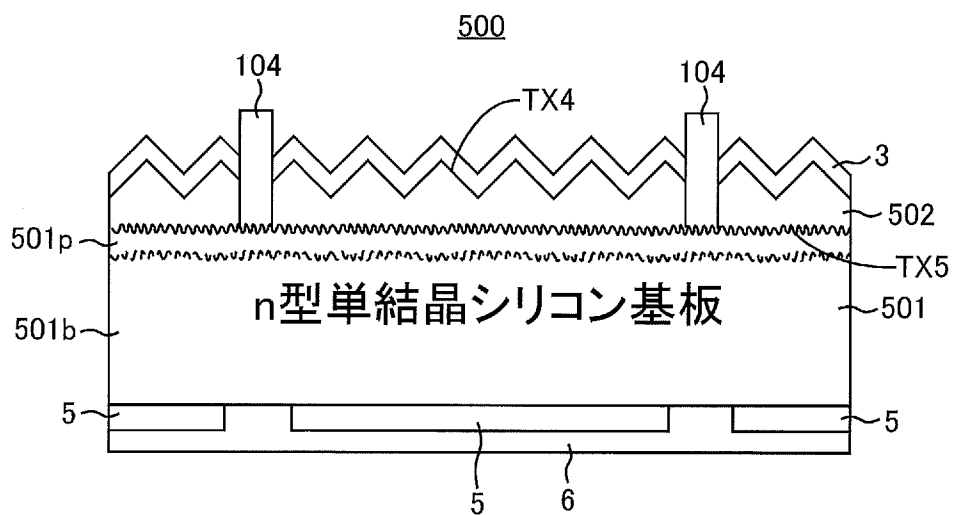
[図31]



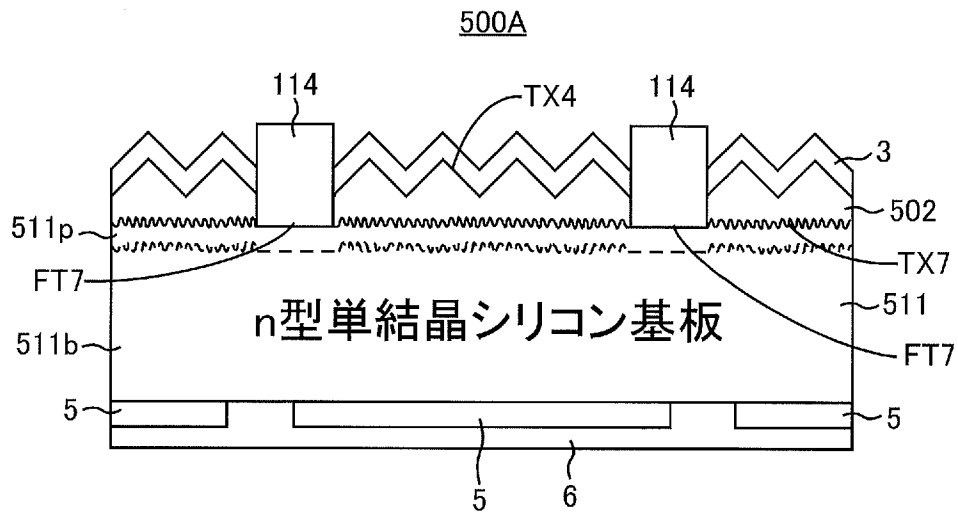
[図32]



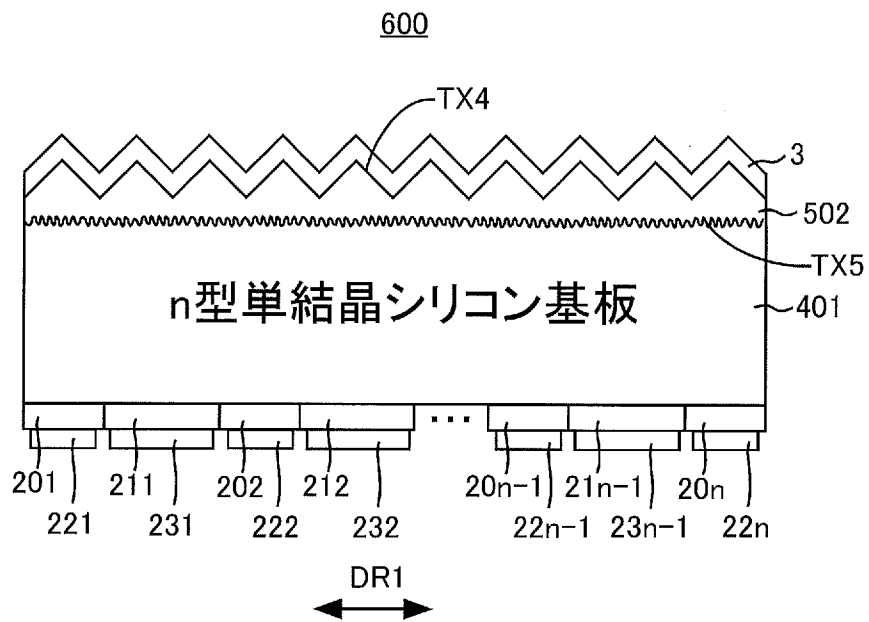
[図33]



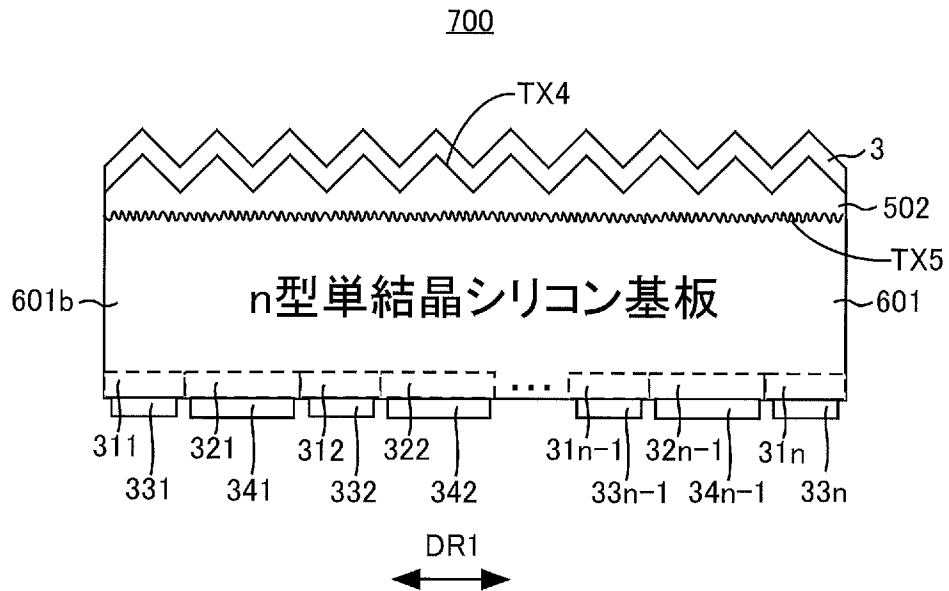
[図34]



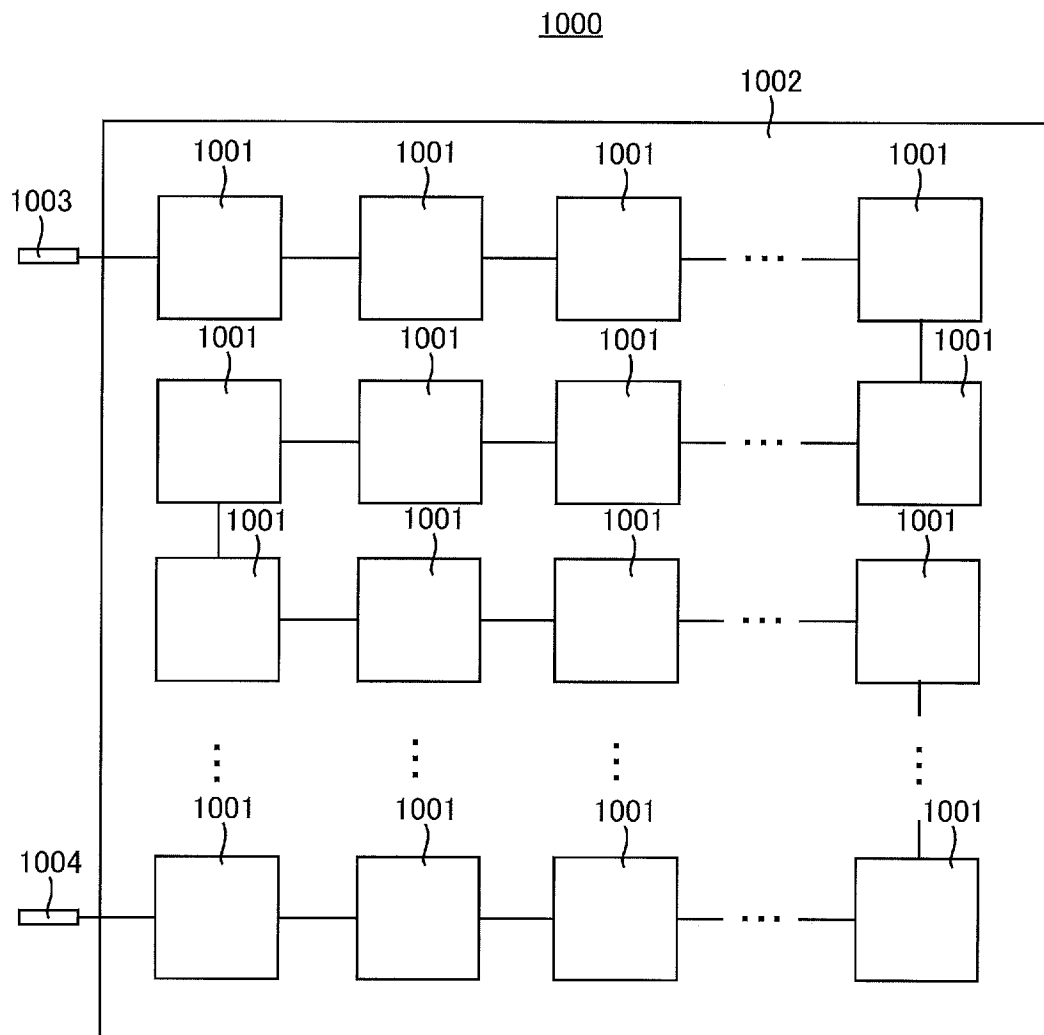
[図35]



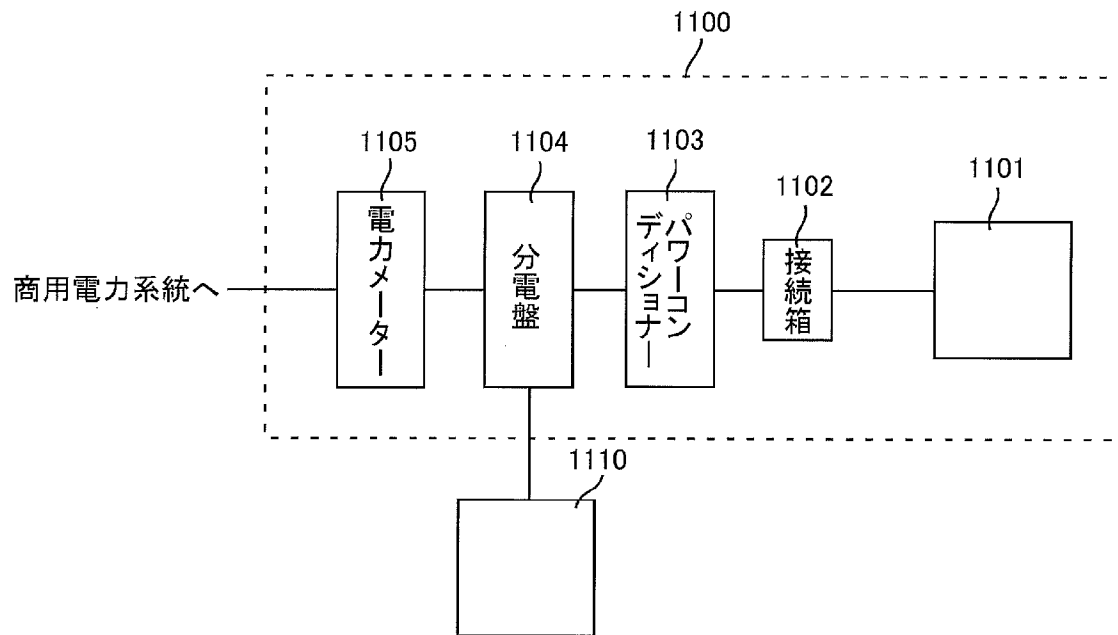
[図36]



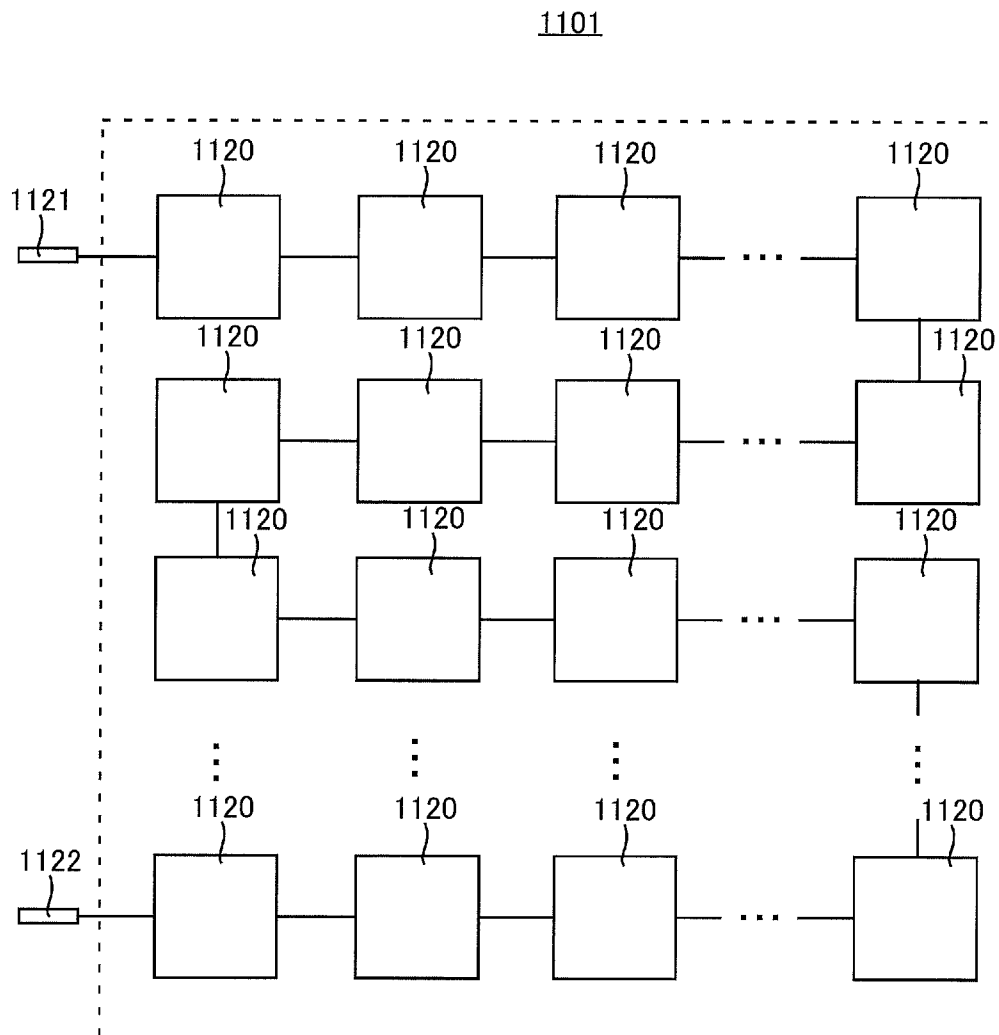
[図37]



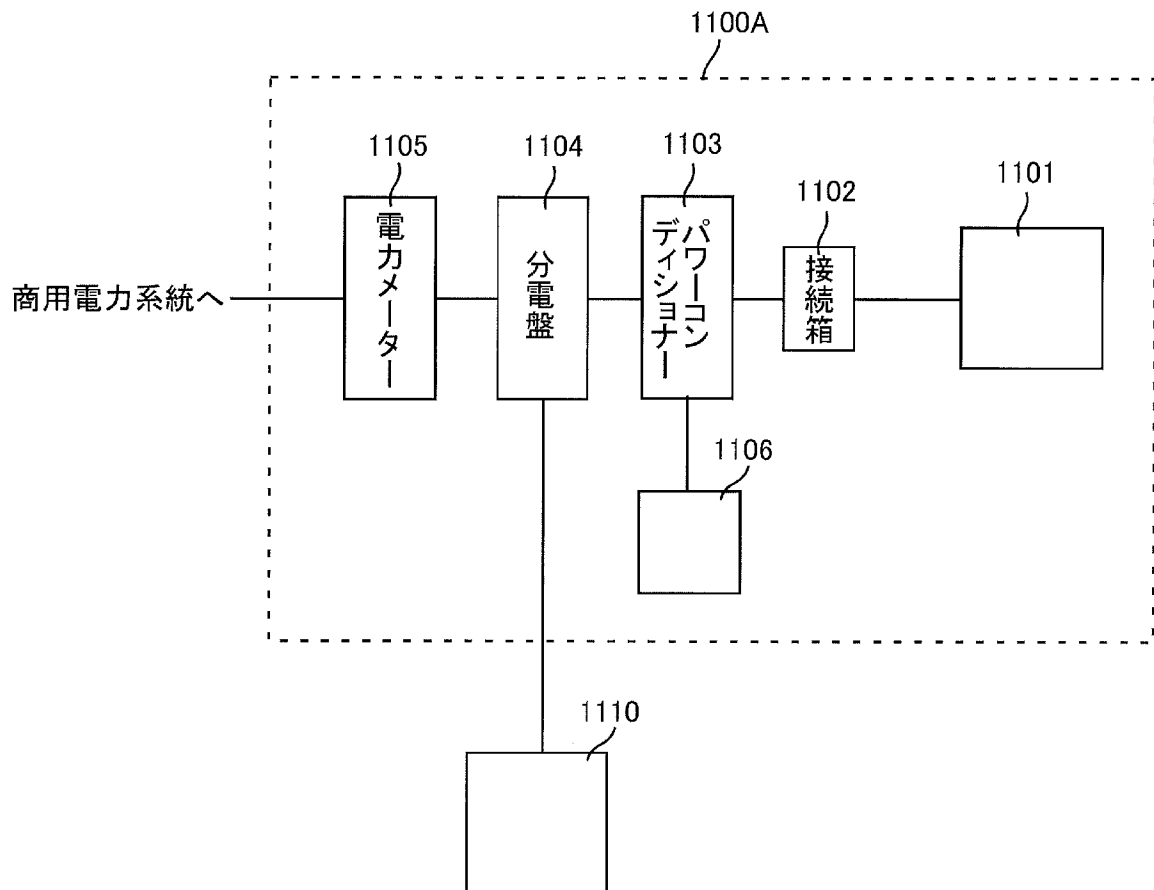
[図38]



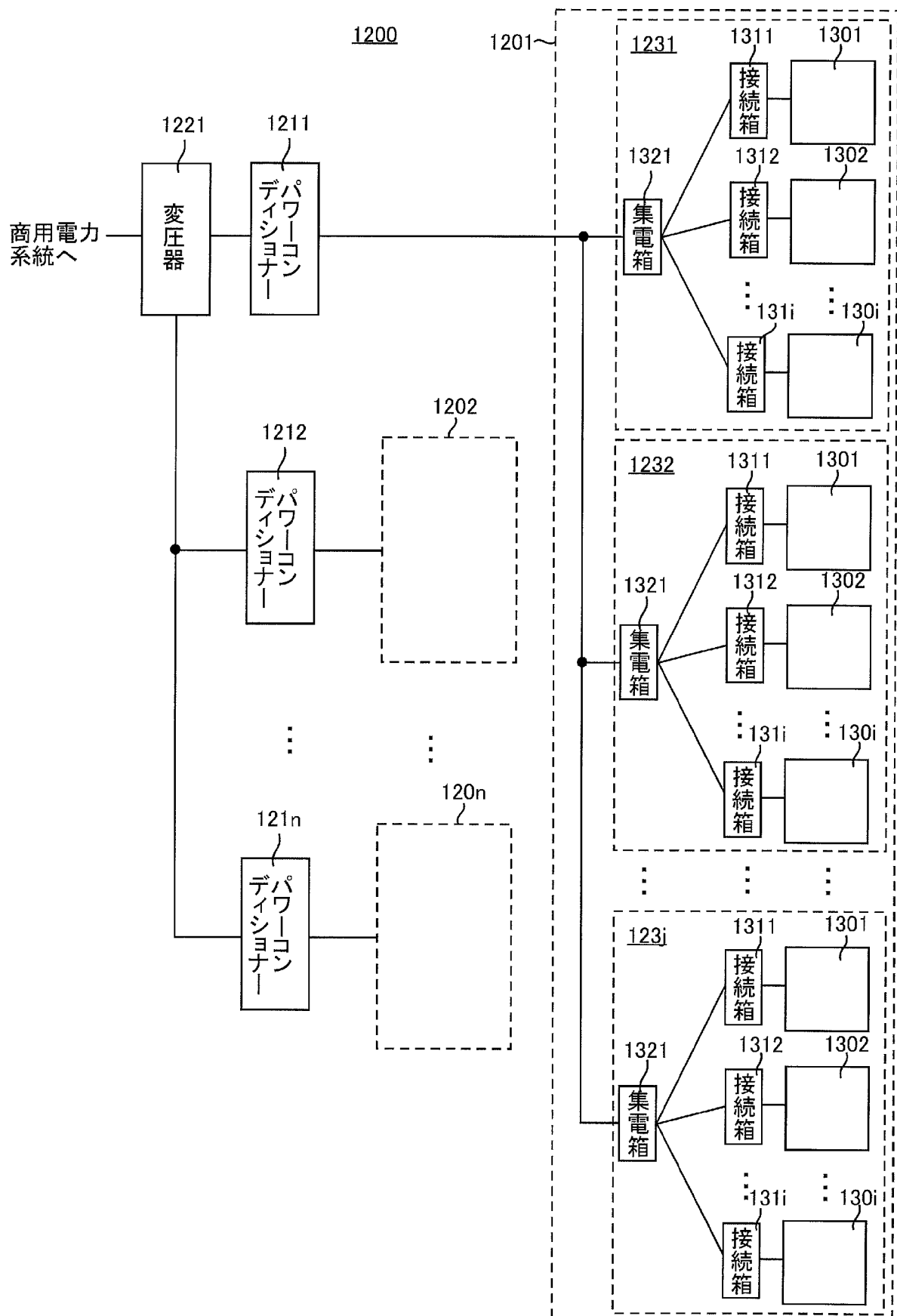
[図39]



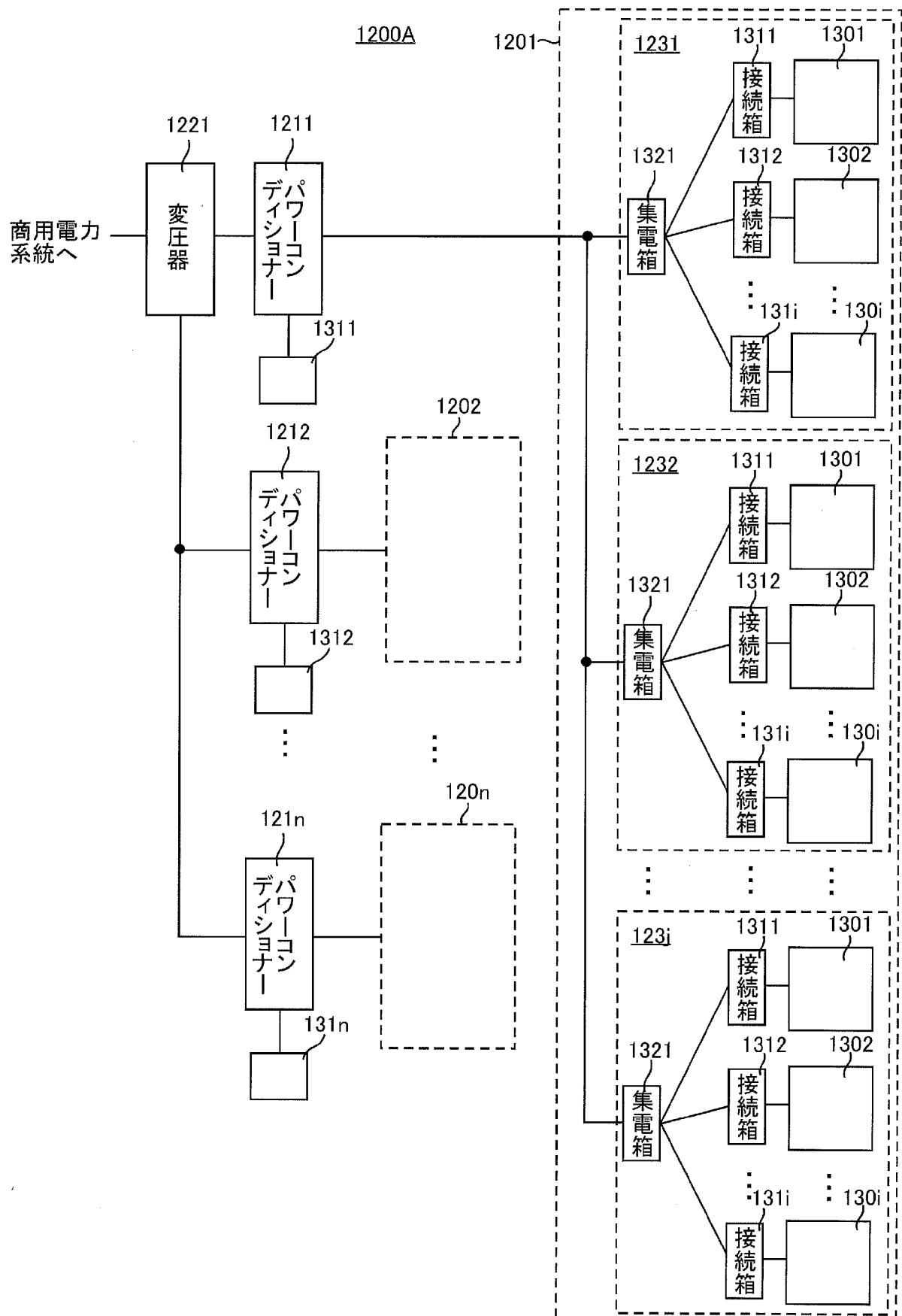
[図40]



[図41]



[図42]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/058888

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L31/06(2012.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L31/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2012-222300 A (Panasonic Corp.), 12 November 2012 (12.11.2012), paragraphs [0006] to [0024]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-5
Y	JP 2012-191187 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 04 October 2012 (04.10.2012), paragraphs [0056] to [0084]; fig. 3 & US 2012/0211066 A1	1-3
Y	JP 2010-504636 A (Commissariat a l'Energie Atomique), 12 February 2010 (12.02.2010), paragraphs [0037] to [0055]; fig. 1 & US 2010/0087031 A1 & EP 2067174 A & WO 2008/037658 A2	1, 2, 4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 April, 2014 (18.04.14)

Date of mailing of the international search report
28 April, 2014 (28.04.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/058888

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2012-501551 A (Applied Materials Inc.), 19 January 2012 (19.01.2012), paragraph [0017]; fig. 1A & US 2009/0142880 A1 & EP 2220687 A & WO 2009/067483 A1 & CN 101889348 A & TW 200939510 A	1, 2, 5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L31/06(2012.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L31/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2014年
日本国実用新案登録公報	1996-2014年
日本国登録実用新案公報	1994-2014年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2012-222300 A（パナソニック株式会社）2012. 11. 12, 【0006】－【0024】、【図1】、【図2】 （ファミリーなし）	1－5
Y	JP 2012-191187 A（株式会社半導体エネルギー研究所）2012. 10. 04, 【0056】－【0084】、【図3】 & US 2012/0211066 A1	1－3

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.04.2014

国際調査報告の発送日

28.04.2014

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

森江 健蔵

2 K

4 4 6 6

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2010-504636 A (コミサリア ア レネルジ アトミック) 2010.02.12, 【0037】－【0055】、【図1】 & US 2010/0087031 A1 & EP 2067174 A & WO 2008/037658 A2	1、2、4
Y	JP 2012-501551 A (アプライド マテリアルズ インコーポレイテ ッド) 2012.01.19, 【0017】、【図1A】 & US 2009/0142880 A1 & EP 2220687 A & WO 2009/067483 A1 & CN 101889348 A & TW 200939510 A	1、2、5