

(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
2010 年 12 月 9 日(09.12.2010)

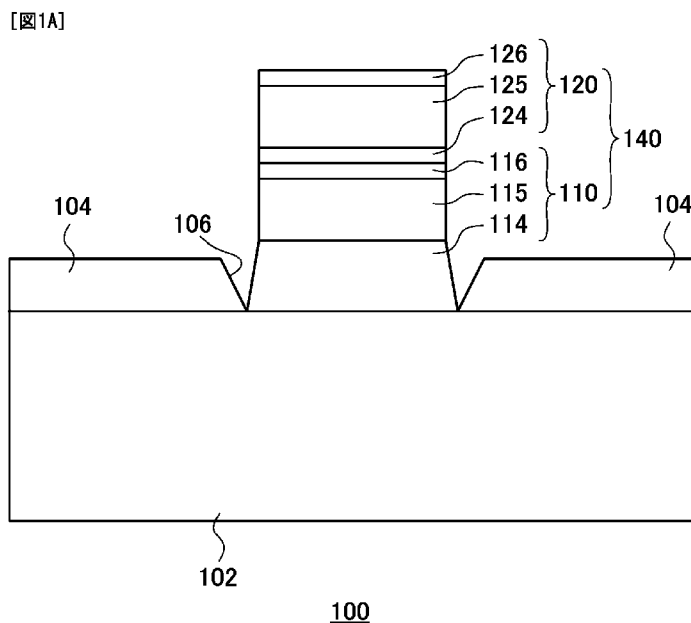
(10) 国際公開番号
WO 2010/140371 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 31/04 (2006.01) H01L 31/052 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/003721
- (22) 国際出願日: 2010 年 6 月 3 日(03.06.2010)
- (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 2009-136665 2009 年 6 月 5 日(05.06.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友化学株式会社(SUMITOMO CHEMICAL COMPANY, LIMITED) [JP/JP]; 〒1048260 東京都中央区新川二丁目 2 7 番 1 号 Tokyo (JP). 独立行政法人産業技術総合研究所 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関 1 丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 秦 雅彦 (HATA, Masahiko) [JP/JP]; 〒3000845 茨城県土浦市乙戸南 2-20-6 Ibaraki (JP). 板谷 太郎 (ITATANI, Taro) [JP/JP]; 〒3050046 茨城県つくば市東 1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 龍華国際特許業務法人(RYUKA IP Law Firm); 〒1631105 東京都新宿区西新宿 6-22-1 新宿スクエアタワー 5 階 Tokyo (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, 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, IS, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR SUBSTRATE, PHOTOELECTRIC CONVERSION DEVICE, METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR SUBSTRATE, AND METHOD FOR MANUFACTURING PHOTOELECTRIC CONVERSION DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体基板、光電変換デバイス、半導体基板の製造方法、および光電変換デバイスの製造方法



(57) Abstract: Disclosed is a semiconductor substrate, which is provided with: a base substrate containing silicon; an inhibiting element, which is formed on the base substrate, has an opening having the surface of the base substrate exposed therefrom, and inhibits crystal growth; and a light absorbing structure, which is formed inside of the opening by being in contact with the base substrate surface exposed inside of the opening. The light absorbing structure has a first semiconductor which includes: a first conductivity type first semiconductor; a second conductivity type first semiconductor, which is formed above the first conductivity type first semiconductor and has the conductivity type opposite to that of the first conductivity type first semiconductor; and a low carrier concentration first semiconductor, which is formed between the first conductivity type first semiconductor and the second conductivity type first semiconductor and has an effective carrier concentration lower than that of the first conductivity type first semiconductor and

that of the second conductivity type first semiconductor. The light absorbing structure also has a second semiconductor which includes: a first conductivity type second semiconductor, which is lattice-matched or quasi-lattice-matched with the second conductivity type first semiconductor and has the conductivity type opposite to that of the second conductivity type first semiconductor; a second conductivity type second semiconductor, which is formed above the first conductivity type second semiconductor and has the conductivity type opposite to that

[続葉有]



SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE,
SN, TD, TG).

- (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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

of the first conductivity type second semiconductor; and a low carrier concentration second semiconductor, which is formed between the first conductivity type second semiconductor and the second conductivity type second semiconductor and has an effective carrier concentration lower than that of the first conductivity type second semiconductor and that of the second conductivity type second semiconductor.

(57) 要約: シリコンを含むベース基板と、ベース基板上に形成され、ベース基板の表面を露出する開口を有し、結晶成長を阻害する障害体と、開口の内部に露出されたベース基板の表面に接して、開口の内部に形成された光吸収構造体と、を備え、光吸収構造体は、第 1 伝導型第 1 半導体と、第 1 伝導型第 1 半導体の上方に形成され、第 1 伝導型第 1 半導体と反対の伝導型を有する第 2 伝導型第 1 半導体と、第 1 伝導型第 1 半導体と第 2 伝導型第 1 半導体との間に形成され、第 1 伝導型第 1 半導体および第 2 伝導型第 1 半導体よりも有効キャリア濃度が低い低キャリア濃度第 1 半導体とを含む第 1 半導体と、第 2 伝導型第 1 半導体に格子整合または擬格子整合し、第 2 伝導型第 1 半導体と反対の伝導型を有する第 1 伝導型第 2 半導体と、第 1 伝導型第 2 半導体の上方に形成され、第 1 伝導型第 2 半導体と反対の伝導型を有する第 2 伝導型第 2 半導体と、第 1 伝導型第 2 半導体と第 2 伝導型第 2 半導体との間に形成され、第 1 伝導型第 2 半導体および第 2 伝導型第 2 半導体よりも有効キャリア濃度が低い低キャリア濃度第 2 半導体とを含む第 2 半導体とを有する半導体基板を提供する。

明 細 書

発明の名称：

半導体基板、光電変換デバイス、半導体基板の製造方法、および光電変換デバイスの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体基板、光電変換デバイス、半導体基板の製造方法、および光電変換デバイスの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 は、タンデムヘテロ光電変換素子の製造方法を開示する。当該製造方法においては、S i 基板にV字型溝を形成した後に、当該S i 基板にPN接合を形成するとともに、当該S i 基板上にI I I－V族化合物半導体をエピタキシャル成長させる。特許文献 1 においては、成長温度が5 0 0℃以下で、かつI I I族元素に対するV族元素の入射フラックス比が1 5以上の条件でI I I－V族化合物半導体をエピタキシャル成長させる方法が開示されている。

（特許文献 1）特開平 5－3 3 3 2 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0003] 太陽電池等光電変換デバイスの光電変換効率は、光電変換素子の起電力を発生させる空間電荷領域を有する半導体結晶の結晶性に大きく左右される。特に、化合物半導体結晶をS i 基板の上にエピタキシャル成長させる場合には、S i 基板と化合物半導体との格子定数の差に起因して、化合物半導体の結晶性が低下しやすい。結晶性が低下すると、光電変換デバイスの光電変換効率が低下する。

課題を解決するための手段

[0004] 上記課題を解決するために、本発明の第 1 の態様においては、シリコンを含むベース基板と、ベース基板上に形成され、ベース基板の表面を露出する

開口を有し、結晶成長を阻害する阻害体と、開口の内部に露出されたベース基板の表面に接して、開口の内部に形成された光吸収構造体と、を備え、光吸収構造体は、第1伝導型第1半導体と、第1伝導型第1半導体の上方に形成され、第1伝導型第1半導体と反対の伝導型を有する第2伝導型第1半導体と、第1伝導型第1半導体と第2伝導型第1半導体との間に形成され、第1伝導型第1半導体および第2伝導型第1半導体よりも有効キャリア濃度が低い低キャリア濃度第1半導体とを含む第1半導体と、第2伝導型第1半導体に格子整合または擬格子整合し、第2伝導型第1半導体と反対の伝導型を有する第1伝導型第2半導体と、第1伝導型第2半導体の上方に形成され、第1伝導型第2半導体と反対の伝導型を有する第2伝導型第2半導体と、第1伝導型第2半導体と第2伝導型第2半導体との間に形成され、第1伝導型第2半導体および第2伝導型第2半導体よりも有効キャリア濃度が低い低キャリア濃度第2半導体とを含む第2半導体とを有する半導体基板を提供する。阻害体は複数の開口を有し、複数の開口内に形成された複数の光吸収構造体を備えてもよい。

[0005] 半導体基板は、光吸収構造体が、第2伝導型第2半導体に格子整合または擬格子整合する第1伝導型第3半導体と、第1伝導型第3半導体の上方に形成され、第1伝導型第3半導体と反対の伝導型を有する第2伝導型第3半導体と、第1伝導型第3半導体と第2伝導型第3半導体との間に形成され、第1伝導型第3半導体および第2伝導型第3半導体よりも有効キャリア濃度が低い低キャリア濃度第3半導体とを含む第3半導体をさらに有してもよい。当該半導体基板においては、例えば、第1半導体は、第1禁制帯幅を有する材料を有し、第2半導体は、第1禁制帯幅より大きな第2禁制帯幅を有する材料を有し、第3半導体は、第2禁制帯幅より大きな第3禁制帯幅を有する材料を有する。

[0006] また、例えば、第1半導体は、 $C_{x1}Si_{y1}Ge_{z1}Sn_{1-x1-y1-z1}$ ($0 \leq x1 < 1$ 、 $0 \leq y1 \leq 1$ 、 $0 \leq z1 \leq 1$ 、かつ $0 < x1 + y1 + z1 \leq 1$) からなり、第2半導体は、 $Al_{x2}In_{y2}Ga_{1-x2-y2}As_{z2}P_{w1}N_{1-z2-w1}$

($0 \leq x_2 \leq 1$ 、 $0 \leq y_2 \leq 1$ 、かつ $0 \leq x_2 + y_2 \leq 1$ 、および $0 \leq z_2 \leq 1$ 、 $0 \leq w_1 \leq 1$ 、かつ $0 \leq z_2 + w_1 \leq 1$) からなり、第3半導体は、 $Al_{x_3}In_{y_3}Ga_{1-x_3-y_3}As_{z_3}P_{1-z_3}$ ($0 \leq x_3 \leq 1$ 、 $0 \leq y_3 \leq 1$ 、 $0 \leq z_3 \leq 1$ 、かつ $0 \leq x_3 + y_3 \leq 1$) からなる。

[0007] 一例として、光吸収構造体は、光の照射を受けてキャリアを励起し、ベース基板と第1伝導型第1半導体との間、第2伝導型第1半導体と第1伝導型第2半導体との間、第2伝導型第2半導体と第1伝導型第3半導体との間、および第2伝導型第3半導体の低キャリア濃度第3半導体と接する面と反対の面上の少なくとも一つの位置に、キャリアの再結合を抑制する再結合抑制層を有する。半導体基板は、第2伝導型第1半導体と第1伝導型第2半導体との間、および、第2伝導型第2半導体と第1伝導型第3半導体との間の少なくとも一つの位置に、P型不純物が高濃度にドーピングされたP型不純物層およびN型不純物が高濃度にドーピングされたN型不純物層を有するトンネル接合層をさらに備えてもよい。半導体基板は、光吸収構造体の側壁に接して形成された、側壁におけるキャリアの再結合を抑制する再結合抑制体をさらに備えてもよい。

[0008] また、半導体基板においては、例えば、第1半導体、第2半導体、および第3半導体から選択された1以上の半導体は、第1半導体、第2半導体、および第3半導体のそれぞれにおけるベース基板に平行な面の中心からの距離がより大きな位置において、より大きな禁制帯幅となる組成分布を有する。第1半導体および第2半導体の積層方向におけるベース基板からの距離に応じて第1半導体の組成が変化していてもよい。例えば、第1半導体は、ベース基板からの距離が大きいほどシリコンの割合が少ない組成を有する。

[0009] 本発明の第2の態様においては、第1の態様の半導体基板を備え、光吸収構造体への入射光を電力に変換する光電変換デバイスを提供する。当該光電変換デバイスは、入射光の少なくとも一部を集光して光吸収構造体に入射する集光部をさらに備えてもよい。集光部は、例えば、入射光が含む第1色領域の光を集光して低キャリア濃度第1半導体に入射し、第1色領域より短波

長域の第2色領域の光を集光して低キャリア濃度第2半導体に入射する。

[0010] また、当該光電変換デバイスは、光吸収構造体における入射光が入射する面に配置された透明電極と、透明電極に接続された配線とをさらに備え、配線は、入射光が透明電極に入射する経路に重なることなく配置されていてもよい。当該光電変換デバイスは、ベース基板に含まれるシリコンと光吸収構造体とが電氣的に結合され、入射光の入射を受けて、透明電極とシリコンとの間に起電力を発生してもよい。当該光電変換デバイスにおいては、ベース基板が、シリコンのバルク領域から電氣的に分離されかつ光吸収構造体と電氣的に結合しているウェル領域を有し、入射光の入射を受けて、透明電極とウェル領域との間に起電力を発生してもよい。

[0011] さらに、当該光電変換デバイスは、集光部の表面を覆い、第1半導体の禁制帯幅に相当する波長より長い波長の光を吸収または反射する光学膜をさらに備えてもよい。当該光電変換デバイスは、入射光が光吸収構造体に入射する経路に配置された重金属を含有する耐放射線膜をさらに備えてもよい。

[0012] また、当該光電変換デバイスは、障害体は複数の開口を有し、複数の開口内に形成された複数の光吸収構造体を有し、複数の光吸収構造体のそれぞれに対応する集光部を備えてもよい。複数の光吸収構造体の各々は、例えば、互いに直列または並列に接続されている。一例として、互いに直列または並列に接続されている複数の光吸収構造体は、他の互いに直列または並列に接続されている複数の光吸収構造体と並列または直列に接続されている。

[0013] 本発明の第3の態様においては、シリコンを含むベース基板の上方に障害体を形成する段階と、障害体に、ベース基板の表面を露出する開口を形成する段階と、開口の内部に、第1伝導型第1半導体を形成する段階と、第1伝導型第1半導体の上方に、低キャリア濃度第1半導体を形成する段階と、低キャリア濃度第1半導体の上方に、第1伝導型第1半導体と反対の伝導型を有する第2伝導型第1半導体を形成する段階と、第2伝導型第1半導体の上方に、第2伝導型第1半導体に格子整合または擬格子整合する第1伝導型第2半導体を形成する段階と、第1伝導型第2半導体の上方に、低キャリア濃

度第2半導体を形成する段階と、低キャリア濃度第2半導体の上方に、第1伝導型第2半導体と反対の伝導型を有する第2伝導型第2半導体を形成する段階とを備える半導体基板の製造方法を提供する。

[0014] 当該低キャリア濃度第1半導体は、第1伝導型第1半導体および第2伝導型第1半導体よりも低い有効キャリア濃度を有し、当該低キャリア濃度第2半導体は、第1伝導型第2半導体および第2伝導型第2半導体よりも低い有効キャリア濃度を有する。第1半導体を形成する段階と、第2半導体を形成する段階との間において、第1半導体を加熱してもよい。

[0015] 当該製造方法は、例えば、第2伝導型第2半導体の上方に、第1伝導型第3半導体を形成する段階と、第1伝導型第3半導体の上方に、低キャリア濃度第3半導体を形成する段階と、低キャリア濃度第3半導体の上方に、第1伝導型第3半導体と反対の伝導型を有する第2伝導型第3半導体を形成する段階とをさらに備える。

[0016] 本発明の第4の態様においては、第3の態様の半導体基板の製造方法を適用して、少なくとも第1半導体および第2半導体を有する光吸収構造体を形成する段階と、光吸収構造体を直列または並列に接続する段階とを備える光電変換デバイスの製造方法を提供する。

図面の簡単な説明

[0017] [図1A]半導体基板100の断面の一例を示す。

[図1B]半導体基板100の断面の一例を示す。

[図2]光電変換デバイス200の断面の一例を示す。

[図3]光電変換デバイス200の製造過程における断面例を示す。

[図4]光電変換デバイス200の製造過程における断面例を示す。

[図5]光電変換デバイス200の製造過程における断面例を示す。

[図6]光電変換デバイス200の製造過程における断面例を示す。

[図7]光電変換デバイス200の製造過程における断面例を示す。

[図8]半導体基板100における光吸収構造体のエネルギーバンドの一例を示す。

[図9]半導体基板100における第1半導体の組成分布の例を示す。

[図10]光電変換デバイス1000の断面の一例を示す。

[図11]色収差を有する集光部材の焦点位置を示す。

[図12]光電変換デバイス1200の断面の一例を示す。

[図13]光電変換デバイス1300の断面の一例を示す。

発明を実施するための形態

[0018] 図1Aは、一の実施形態である半導体基板100の断面の一例を示す。半導体基板100は、ベース基板102、障害体104、および光吸収構造体140を備える。光吸収構造体140は、第1半導体110および第2半導体120を有する。

[0019] ベース基板102は、シリコンを含む基板である。シリコンを含む基板として表面がシリコンである基板が挙げられる。例えば、ベース基板102は、Si基板またはSOI (silicon-on-insulator) 基板である。ベース基板102は、例えばBドーピング量が $2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のSi基板である。

[0020] 障害体104は、ベース基板102の上に形成されている。障害体104には、ベース基板102の表面を露出する開口106が形成されている。障害体104は、結晶の成長を障害する。例えば、エピタキシャル成長法により半導体の結晶を成長させる場合において、障害体104の表面では、半導体の結晶のエピタキシャル成長が障害されるので、半導体の結晶が開口106において選択的にエピタキシャル成長する。

[0021] 障害体104の厚みは、例えば $0.01 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下の厚みが好ましい。開口106の大きさは、開口106の内部に選択成長する半導体を無転位で形成できる大きさであることが好ましい。障害体104は、例えば、酸化シリコン層、窒化シリコン層、酸窒化シリコン層等、またはこれらを積層した層である。障害体104は、例えば、熱酸化法およびCVD法等により形成される。

[0022] 第1半導体110は、第1伝導型第1半導体114、低キャリア濃度第1

半導体 115、および第2伝導型第1半導体 116を有する。第1伝導型第1半導体 114は、P型またはN型の伝導型を有する。

[0023] 第2伝導型第1半導体 116は、第1伝導型第1半導体 114の上方に形成されている。第2伝導型第1半導体 116は、第1伝導型第1半導体 114と異なる伝導型を有する。例えば、第1伝導型第1半導体 114がP型の伝導型を有する場合には、第2伝導型第1半導体 116はN型の伝導型を有する。

[0024] 低キャリア濃度第1半導体 115は、第1伝導型第1半導体 114と第2伝導型第1半導体 116との間に形成されている。低キャリア濃度第1半導体 115における有効キャリア濃度は、第1伝導型第1半導体 114および第2伝導型第1半導体 116における有効キャリア濃度よりも低い。例えば、低キャリア濃度第1半導体 115は、第1伝導型第1半導体 114および第2伝導型第1半導体 116と同じ組成の真性半導体である。低キャリア濃度第1半導体 115は、第1伝導型第1半導体 114と第2伝導型第1半導体 116との間に形成される空間電荷領域であってもよい。

[0025] ここで、「空間電荷領域」とは、半導体—半導体界面あるいは半導体—金属界面で、空間的な電荷の偏り（ビルドインポテンシャル）によって半導体内に形成される領域をいう。空間電荷領域は、半導体のPN接合、PIN接合、金属と半導体間のショットキー接合、および誘電体と半導体の接合等により形成される。

[0026] 低キャリア濃度第1半導体 115は、光の照射を受けると電子および正孔を生成する。低キャリア濃度第1半導体 115において生成された電子は、第1伝導型第1半導体 114および第2伝導型第1半導体 116のうち、N型の伝導型を有する半導体に移動する。低キャリア濃度第1半導体 115において生成された正孔は、P型の伝導型を有する半導体に移動する。その結果、第1半導体 110は光の照射を受けて電気信号を発生する光電変換デバイスとして機能する。

[0027] 第1半導体 110は、一例として、阻害体 104の開口 106の内部に露

出されたベース基板 102 の表面に接して、開口 106 の内部、または、開口 106 の内部および障害体 104 の上方に形成される。半導体基板 100 は、第 1 半導体 110 とベース基板 102 との間に他の半導体層を備えてもよい。例えば、半導体基板 100 は、第 1 半導体 110 とベース基板 102 との間に、第 1 半導体 110 の結晶成長に適したシード結晶面を提供するシード結晶を備えてもよい。

[0028] 第 2 半導体 120 は、第 1 伝導型第 2 半導体 124、低キャリア濃度第 2 半導体 125、および第 2 伝導型第 2 半導体 126 を有する。第 1 伝導型第 2 半導体 124 は、P 型または N 型の伝導型を有する。第 1 伝導型第 2 半導体 124 は、第 2 伝導型第 1 半導体 116 に格子整合または擬格子整合する。

[0029] 本明細書において、「擬格子整合」とは、完全な格子整合ではないが、互いに接する 2 つの半導体の格子定数の差が小さく、格子不整合による欠陥の発生が顕著でない範囲で、互いに接する 2 つの半導体を積層できる状態をいう。このとき、各半導体の結晶格子が、弾性変形できる範囲内で変形することで、上記格子定数の差が吸収される。例えば、Ge と GaAs との積層状態は、擬格子整合した状態である。

[0030] 第 2 伝導型第 2 半導体 126 は、第 1 伝導型第 2 半導体 124 の上方に形成されている。第 2 伝導型第 2 半導体 126 は、第 1 伝導型第 2 半導体 124 と異なる伝導型を有する。例えば、第 1 伝導型第 2 半導体 124 が P 型の伝導型を有する場合には、第 2 伝導型第 2 半導体 126 は N 型の伝導型を有する。

[0031] 低キャリア濃度第 2 半導体 125 は、第 1 伝導型第 2 半導体 124 と第 2 伝導型第 2 半導体 126 との間に形成されている。低キャリア濃度第 2 半導体 125 における有効キャリア濃度は、第 1 伝導型第 2 半導体 124 および第 2 伝導型第 2 半導体 126 における有効キャリア濃度よりも低い。例えば、低キャリア濃度第 2 半導体 125 は、第 1 伝導型第 2 半導体 124 および第 2 伝導型第 2 半導体 126 と同じ組成の真性半導体である。低キャリア濃

度第2半導体125は、第1伝導型第2半導体124と第2伝導型第2半導体126との間に形成される空間電荷領域であってもよい。

[0032] 低キャリア濃度第2半導体125は、光の照射を受けると電子および正孔を生成する。低キャリア濃度第2半導体125において生成された電子は、第1伝導型第2半導体124および第2伝導型第2半導体126のうち、N型の伝導型を有する半導体に移動する。低キャリア濃度第2半導体125において生成された正孔は、P型の伝導型を有する半導体に移動する。その結果、第2半導体120は光の照射を受けて電気信号を発生する光電変換デバイスとして機能する。

[0033] 半導体基板100は、第1半導体110と第2半導体120との間に、他の半導体層を備えてもよい。例えば、半導体基板100は、第1半導体110と第2半導体120との間に、トンネル接合を形成する半導体層を備える。

[0034] 第1半導体110および第2半導体120は、例えば化合物半導体である。第1半導体110は、例えば $C_{x1}Si_{y1}Ge_{z1}Sn_{1-x1-y1-z1}$ ($0 \leq x1 < 1$ 、 $0 \leq y1 \leq 1$ 、 $0 \leq z1 \leq 1$ 、かつ $0 < x1 + y1 + z1 \leq 1$)である。第1半導体110は、非晶質または多結晶の $C_{x1}Si_{y1}Ge_{z1}Sn_{1-x1-y1-z1}$ ($0 \leq x1 < 1$ 、 $0 \leq y1 \leq 1$ 、 $0 \leq z1 \leq 1$ 、かつ $0 < x1 + y1 + z1 \leq 1$)であってもよい。例えば、第1半導体110は、GeまたはSiGeである。第1半導体110は、Geおよび組成の異なるSiGeから構成される複数の半導体層をさらに含んでもよい。

[0035] 第2半導体120は、例えば $Al_{x2}In_{y2}Ga_{1-x2-y2}As_{z2}P_{w1}N_{1-z2-w1}$ ($0 \leq x2 \leq 1$ 、 $0 \leq y2 \leq 1$ 、かつ $0 \leq x2 + y2 \leq 1$ 、および $0 \leq z2 \leq 1$ 、 $0 \leq w1 \leq 1$ 、かつ $0 \leq z2 + w1 \leq 1$)である。第2半導体120は、例えばInGaAsである。第2半導体120は、複数の半導体層を含んでもよい。

[0036] 第1半導体110および第2半導体120は、一例としてエピタキシャル成長法により形成される。エピタキシャル成長法として、化学気相析出法（

CVD法と称する)、有機金属気相成長法(MOCVD法と称する)、分子線エピタキシ法(MBE法と称する)、および原子層成長法(ALD法と称する)等を例示できる。

[0037] 例えば、ベース基板102の上に熱酸化法により障害体104を形成して、エッチング等のフォトリソグラフィ法により、ベース基板102の表面に到達する開口106を障害体104に形成する。そして、CVD法により、当該開口106の内部で第1伝導型第1半導体114および第2伝導型第1半導体116を順次選択成長させることによって、第1半導体110を形成することができる。第1半導体110を開口106の内部で選択成長させることにより、第1半導体110とベース基板102との格子定数の相違による格子欠陥の生成を抑制できる。その結果、第1半導体110の結晶性が高まるので、第1半導体110における光電変換効率を高めることができる。

[0038] 第1半導体110は、結晶成長後に加熱されていることが好ましい。第1半導体110の内部には、ベース基板102と第1半導体110との格子定数の違い等により、転位等の格子欠陥が発生する場合がある。第1半導体110が加熱されると、格子欠陥が第1半導体110の内部を移動する。当該格子欠陥は、第1半導体110の内部を移動して、第1半導体110の界面もしくは側壁または第1半導体110の内部にあるゲッタリングシンク等に捕捉され、排除される。第1半導体110を加熱することにより、第1半導体110の欠陥を低減して、第1半導体110の結晶性を向上させることができる。

[0039] 障害体104の開口106の大きさを一定の大きさ以下にすることにより、開口106内部で選択成長する第1半導体110の大きさを制限できる。開口106の大きさが、加熱により格子欠陥が第1半導体110の表面に移動できる大きさであれば、加熱により、第1半導体110内部の格子欠陥が排除され、結晶性が極めて高い第1半導体110を製造することができる。

[0040] 開口106の底面積は、好ましくは 1 mm^2 以下であり、より好ましくは $25\text{ }\mu\text{ m}^2$ 以上 $2500\text{ }\mu\text{ m}^2$ 以下であり、さらに好ましくは $100\text{ }\mu\text{ m}^2$ 以上 1

600 μm^2 以下であり、特に好ましくは400 μm^2 以上900 μm^2 以下である。開口の底面積が25 μm^2 より小さいと、光電デバイスを作製する上で、面積が少なく、好ましくない。第1半導体110の結晶性を高めることにより、第1半導体110の光電変換効率がさらに高まる。

[0041] 第2半導体120は、例えば、開口106の内部、または、開口106の内部および阻害体104の上方に形成される。第2半導体120は、第1半導体110をシード結晶として結晶成長する。第1半導体110が開口106の内部で結晶成長した場合には第1半導体110が高い結晶性を有するので、第1半導体110に格子整合または擬格子整合する第2半導体120も高い結晶性を有する。その結果、第2半導体120の光電変換効率を高めることができる。

[0042] 第1半導体110は、第1禁制帯幅を有する材料で構成される。第2半導体120は、例えば、当該第1禁制帯幅より大きな第2禁制帯幅を有する材料で構成される。光電デバイスは、禁制帯幅に対応するエネルギーを有する光を吸収して電力に変換する。第1半導体110は、第1禁制帯に対応するエネルギーを有する光を吸収して、光電変換する。第2半導体120は、第1半導体110より幅の大きい第2禁制帯を有するので、第1半導体110が吸収する光の波長よりも短い波長の光を吸収して、光電変換する。半導体基板100が上記の二層タンデム構造を有することにより、半導体基板100は、広い波長範囲に渡って光を有効に吸収できるので、光電変換効率を高めることができる。

[0043] 図1Bは、半導体基板100の断面の他の一例を示す。半導体基板100は、図1Aに示した半導体基板100に対して、第3半導体130をさらに備える。第3半導体130は、第2半導体120に格子整合または擬格子整合して、第2半導体120の上方に形成されている。

[0044] 第3半導体130は、第1伝導型第3半導体134、低キャリア濃度第3半導体135、および第2伝導型第3半導体136を有する。第1伝導型第3半導体134は、P型またはN型の伝導型を有する。第1伝導型第3半導

体 1 3 4 は、第 2 伝導型第 2 半導体 1 2 6 に格子整合または擬格子整合する。
。

[0045] 第 2 伝導型第 3 半導体 1 3 6 は、第 1 伝導型第 3 半導体 1 3 4 の上方に形成されている。第 2 伝導型第 3 半導体 1 3 6 は、第 1 伝導型第 3 半導体 1 3 4 と異なる伝導型を有する。低キャリア濃度第 3 半導体 1 3 5 は、第 1 伝導型第 3 半導体 1 3 4 と第 2 伝導型第 3 半導体 1 3 6 との間に形成されている。低キャリア濃度第 3 半導体 1 3 5 における有効キャリア濃度は、第 1 伝導型第 3 半導体 1 3 4 および第 2 伝導型第 3 半導体 1 3 6 における有効キャリア濃度よりも低い。例えば、低キャリア濃度第 3 半導体 1 3 5 は、第 1 伝導型第 3 半導体 1 3 4 および第 2 伝導型第 3 半導体 1 3 6 と同じ組成の真性半導体である。低キャリア濃度第 3 半導体 1 3 5 は、第 1 伝導型第 3 半導体 1 3 4 と第 2 伝導型第 3 半導体 1 3 6 との間に形成される空間電荷領域であってもよい。

[0046] 第 3 半導体は、例えば $Al_{x3}In_{y3}Ga_{1-x3-y3}As_{z3}P_{1-z3}$ ($0 \leq x3 \leq 1$ 、 $0 \leq y3 \leq 1$ 、 $0 \leq z3 \leq 1$ 、かつ $0 \leq x3 + y3 \leq 1$) である。第 3 半導体 1 3 0 は、第 2 半導体 1 2 0 が有する第 2 禁制帯幅よりも大きな第 3 禁制帯幅を有する材料を含んでもよい。

[0047] 第 1 半導体 1 1 0、第 2 半導体 1 2 0、および第 3 半導体は、例えば開口 1 0 6 の内部に形成される。第 1 半導体 1 1 0、第 2 半導体 1 2 0、および第 3 半導体 1 3 0 は、その一部が阻害体 1 0 4 の上方に形成されていてもよい。半導体基板 1 0 0 が、第 1 半導体 1 1 0、第 2 半導体 1 2 0、および第 3 半導体 1 3 0 を含む 3 層タンデム構造を有することにより、半導体基板 1 0 0 は、図 1 A に示した半導体基板 1 0 0 よりも広い波長範囲に渡って光を有効に吸収できるので、光電変換効率を高めることができる。

[0048] 図 2 は、他の実施形態である光電変換デバイス 2 0 0 の断面の一例を示す。光電変換デバイス 2 0 0 は、ベース基板 2 0 2、ウェル 2 0 3、阻害体 2 0 4、第 1 半導体 2 1 0、第 2 半導体 2 2 0、第 3 半導体 2 3 0、バッファ層 2 4 2、半導体 2 4 4、半導体 2 4 6、半導体 2 5 4、半導体 2 5 6、コ

ンタクト層 268、透明電極 272、パッシベーション層 274、絶縁膜 276、および配線 278 を備える。

[0049] 障害体 204 は、複数の開口 206 を有する。光電変換デバイス 200 は、複数の開口 206 に形成された光吸収構造体 C1 および光吸収構造体 C2 を備える。光電変換デバイス 200 は、さらに多くの光吸収構造体を備えてもよい。光吸収構造体 C1 と光吸収構造体 C2 は、一例として、同じ構成を有する。以下の光吸収構造体 C1 についての説明は、光吸収構造体 C2 にも適用できる。

[0050] ベース基板 202 は、図 1A におけるベース基板 102 に対応し、ベース基板 102 と同じ構成を有する。障害体 204 は障害体 104 に対応し、障害体 104 と同じ構成を有する。

[0051] 第 1 半導体 210 は、BSF (Back Surface Field) 212、第 1 伝導型第 1 半導体 214、低キャリア濃度第 1 半導体 215、第 2 伝導型第 1 半導体 216、およびウインドウ 218 を有する。第 1 半導体 210 は、例えば IV 族化合物半導体である。一例として、第 1 半導体 210 は、 $C_{x1}Si_{y1}Ge_{z1}Sn_{1-x1-y1-z1}$ ($0 \leq x1 < 1$ 、 $0 \leq y1 \leq 1$ 、 $0 \leq z1 \leq 1$ 、かつ $0 < x1 + y1 + z1 \leq 1$) である。第 1 半導体 210 は、例えば Ge または SiGe または CSiGe である。第 1 半導体 210 は、ダブルヘテロ接合を有してもよい。第 1 半導体 210 は、第 1 禁制帯幅を有する材料を含んでもよい。

[0052] 第 1 伝導型第 1 半導体 214 は、図 1A における第 1 伝導型第 1 半導体 114 に対応する。第 2 伝導型第 1 半導体 216 は、第 2 伝導型第 1 半導体 116 に対応する。光吸収構造体 C1 は、第 1 伝導型第 1 半導体 214 と第 2 伝導型第 1 半導体 216 との間に、第 1 伝導型第 1 半導体 214 および第 2 伝導型第 1 半導体 216 よりも低い有効キャリア濃度を有する低キャリア濃度第 1 半導体 215 を有する。

[0053] 第 1 伝導型第 1 半導体 214 として、厚さが $0.5 \mu m$ 以上 $50.0 \mu m$ 以下の P 型 Ge を例示できる。その一例として、第 1 伝導型第 1 半導体 21

4は、2.0 μm のP型Geである。低キャリア濃度第1半導体215として、厚さが0.3 μm 以上3.0 μm 以下で、キャリア濃度が $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるP型Geを例示でき、Bドーピング量が $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下のP型Geを例示できる。その一例として、低キャリア濃度第1半導体215は、1.0 μm のP型Geである。

[0054] また、第2伝導型第1半導体216として、厚さが0.02 μm 以上5.0 μm 以下で、P（リン）ドーピング量が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下のN型Geを例示できる。一例として、第2伝導型第1半導体216は、厚さが0.05 μm で、P（リン）ドーピング量が $2.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のN型Geである。上記第1伝導型第1半導体214および第2伝導型第1半導体216を含む第1半導体210は、例えば0.66 eVの第1禁制帯幅を有する。

[0055] BSF212は、電荷の再結合を抑制する再結合抑制体の一例である。ここで、BSFとは、Back Surface Fieldの略称をいう。また、再結合とは、励起された電子と励起された正孔とが結合して消滅することである。BSF212は、第1伝導型第1半導体214および第2伝導型第1半導体216よりも大きい禁制帯幅を有してよい。BSF212は、ベース基板202の上方に形成される。

[0056] BSF212は、ベース基板202に格子整合または擬格子整合する半導体である。BSF212として、厚さが0.01 μm から0.5 μm で、Gaドーピング量が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下のP型SiGeを例示できる。一例として、BSF212は、厚さが0.02 μm で、Gaドーピング量が $2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のP型Si_{0.1}Ge_{0.9}である。

[0057] ウィンドウ218は、電荷の再結合を抑制する再結合抑制体の一例である。ウィンドウ218は、第1伝導型第1半導体214および第2伝導型第1半導体216よりも大きい禁制帯幅を有してよい。ウィンドウ218は、第2伝導型第1半導体216の上に形成される。ウィンドウ218は、第2伝

導型第1半導体216に格子整合または擬格子整合する半導体である。ウインドウ218として、厚さが $0.01\mu\text{m}$ から $0.3\mu\text{m}$ で、Siドーピング量が $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上 $4 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下のN型GaInPを例示できる。一例として、ウインドウ218は、厚さが $0.02\mu\text{m}$ で、Siドーピング量が $5.0 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ のN型Ga_{0.5}In_{0.5}Pである。

[0058] 第1半導体210が有する各半導体層は、例えばエピタキシャル成長法により形成される。エピタキシャル成長法として、CVD法、MOCVD法、MBE法、およびALD法等を例示できる。例えば、まず、前述の方法により、ベース基板202の上に、ベース基板202の表面を露出する複数の開口206を有する障害体204を形成する。そして、MOCVD法により、当該開口206の内部にBSF212、第1伝導型第1半導体214、低キャリア濃度第1半導体215、第2伝導型第1半導体216、およびウインドウ218を順次選択成長させることによって、第1半導体210を形成することができる。

[0059] 第1半導体210は、障害体204の開口206の内部に露出されたベース基板202の表面に接して、例えば開口206の内部に形成される。第1半導体210の一部は、開口206からはみ出て障害体204の上方に形成されていてもよい。

[0060] バッファ層242は、例えばウインドウ218の上方に形成される。バッファ層242は、例えば、ウインドウ218に格子整合または擬格子整合する半導体である。バッファ層242は、その上下にある半導体層の相互間の悪影響を低減できる半導体層であってもよい。バッファ層242は、例えばエピタキシャル成長法により形成される。エピタキシャル成長法として、CVD法、MOCVD法、MBE法、およびALD法等を例示できる。

[0061] バッファ層242として、厚さが $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.5\mu\text{m}$ 以下で、Siドーピング量が $2.0 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上 $2.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下のN型GaAsを例示できる。一例として、バッファ層242は、厚さが $0.1\mu\text{m}$ で、Siドーピング量が $3.0 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ のN型GaAsである。

- [0062] 半導体 2 4 4 および半導体 2 4 6 は、P 型不純物が高濃度にドーピングされた P 型半導体、または N 型不純物が高濃度にドーピングされた N 型半導体である。半導体 2 4 4 および半導体 2 4 6 は、それぞれ異なる伝導型を有する半導体である。半導体 2 4 4 および半導体 2 4 6 は、トンネル接合されていてもよい。
- [0063] 例えば、半導体 2 4 4 が、N 型不純物が高濃度にドーピングされた N 型半導体であって、半導体 2 4 6 が、P 型不純物が高濃度にドーピングされた P 型半導体である場合に、半導体 2 4 4 と半導体 2 4 6 との界面にトンネル接合が形成される。光吸収構造体 C 1 が当該トンネル接合を有することにより、光電変換によって第 1 半導体 2 1 0 と第 2 半導体 2 2 0 との間で生成する電子または正孔が、第 1 半導体 2 1 0 と第 2 半導体 2 2 0 との間をスムーズに流れる。その結果、光吸収構造体 C 1 が電流を効率よく出力することができる。
- [0064] 半導体 2 4 4 として、厚さが $0.01\ \mu\text{m}$ 以上 $0.2\ \mu\text{m}$ 以下であり、Si ドーピング量が $3.0 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $2.0 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ 以下の N 型 GaAs を例示できる。半導体 2 4 4 は、例えば、厚さが $0.015\ \mu\text{m}$ であり、Si ドーピング量が $1.0 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ 以上の N 型 GaAs である。また、半導体 2 4 6 として、厚さが $0.01\ \mu\text{m}$ 以上 $0.2\ \mu\text{m}$ 以下で、C ドーピング量が $2.0 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{21}\ \text{cm}^{-3}$ 以下の P 型 GaAs を例示できる。半導体 2 4 6 は、例えば、厚さが $0.015\ \mu\text{m}$ であり、C ドーピング量が $1.0 \times 10^{20}\ \text{cm}^{-3}$ 以上の P 型 GaAs である。
- [0065] 半導体 2 4 4 および半導体 2 4 6 は、バッファ層 2 4 2 の上方に形成されている。半導体 2 4 4 および半導体 2 4 6 は、バッファ層 2 4 2 に格子整合または擬格子整合する半導体である。半導体 2 4 4 および半導体 2 4 6 は、エピタキシャル成長法により形成することができる。エピタキシャル成長法として、CVD 法、MOCVD 法、MBE 法、および ALD 法等を例示できる。例えば、MOCVD 法により、バッファ層 2 4 2 の上方に、半導体 2 4 4 および半導体 2 4 6 を順次選択成長させることができる。

- [0066] 第2半導体220は、BSF222、第1伝導型第2半導体224、第2伝導型第2半導体226、およびウインドウ228を有する。第2半導体220は、例えば化合物半導体である。第2半導体220は、例えば $Al_x In_y Ga_{1-x-2-y} As_z P_{w1} N_{1-z-2-w1}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、かつ $0 \leq x + y \leq 1$ 、および $0 \leq z \leq 1$ 、 $0 \leq w \leq 1$ 、かつ $0 \leq z + w \leq 1$)である。第2半導体220は、InGaAsであってよい。第2半導体220は、ダブルヘテロ接合を有してもよい。第2半導体220は、第1半導体210が有する第1禁制帯幅よりも大きな第2禁制帯幅を有する材料を含んでもよい。
- [0067] 第1伝導型第2半導体224は、図1Aにおける第1伝導型第2半導体124に対応する。第2伝導型第2半導体226は、第2伝導型第2半導体126に対応する。光吸収構造体C1は、第1伝導型第2半導体224と第2伝導型第2半導体226との間に、第1伝導型第2半導体224および第2伝導型第2半導体226よりも低い有効キャリア濃度を有する低キャリア濃度第2半導体225を有する。
- [0068] 第1伝導型第2半導体224として、厚さが $0.3 \mu m$ 以上 $3.0 \mu m$ 以下で、Znドーピング量が $1.0 \times 10^{17} cm^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{20} cm^{-3}$ 以下のP型InGaAsを例示できる。第1伝導型第2半導体224は、例えば、厚さが $0.05 \mu m$ であり、Znドーピング量が $1.0 \times 10^{19} cm^{-3}$ のP型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ である。低キャリア濃度第2半導体225として、厚さが $0.3 \mu m$ 以上 $3.0 \mu m$ 以下で、キャリア濃度が $1.0 \times 10^{16} cm^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{18} cm^{-3}$ 以下のP型InGaAsを例示でき、Znドーピング量が $1.0 \times 10^{16} cm^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{18} cm^{-3}$ 以下のP型InGaAsを例示できる。例えば、厚さが $1.0 \mu m$ であり、キャリア濃度が $1.0 \times 10^{17} cm^{-3}$ であり、Znドーピング量が $1.0 \times 10^{17} cm^{-3}$ のP型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ が挙げられる。
- [0069] また、第2伝導型第2半導体226として、厚さが $0.01 \mu m$ 以上 $1 \mu m$ 以下で、Siドーピング量が $5.0 \times 10^{17} cm^{-3}$ 以上 $6.0 \times 10^{18} cm^{-3}$

m^{-3} 以下のN型 InGaAs を例示できる。第2伝導型第2半導体226は、例えば、厚さが $0.05\mu\text{m}$ であり、 Si ドーピング量が $2.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のN型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ である。第1伝導型第2半導体224および第2伝導型第2半導体226を有する第2半導体220は、例えば 1.39eV の第2禁制帯幅を有する。

[0070] BSF222 は、電荷の再結合を抑制する再結合抑制体の一例である。 BSF222 は、第1伝導型第2半導体224および第2伝導型第2半導体226よりも大きい禁制帯幅を有してよい。 BSF222 は、半導体246の上方に形成されてよい。 BSF222 は、半導体246に格子整合または擬格子整合する半導体である。 BSF222 として、厚さが $0.01\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下で、 Zn ドーピング量が $1.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上 $5.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下のP型 GaInP を例示できる。 BSF222 は、例えば、厚さが $0.02\mu\text{m}$ で、 Zn ドーピング量が $2.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のP型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ である。

[0071] ウインドウ228は、電荷の再結合を抑制する再結合抑制体の一例である。ウインドウ228は、第1伝導型第2半導体224および第2伝導型第2半導体226よりも大きい禁制帯幅を有してよい。ウインドウ228は、例えば第2伝導型第2半導体226の上方に形成される。ウインドウ228は、第2伝導型第2半導体226に格子整合または擬格子整合する半導体である。ウインドウ228として、厚さが $0.01\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下で、 Si ドーピング量が $1.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下のN型 GaInP を例示できる。その一例として、ウインドウ228は、厚さが $0.02\mu\text{m}$ で、 Si ドーピング量が $5.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であるN型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ である。

[0072] 第2半導体220に含まれる各半導体層は、例えばエピタキシャル成長法により形成される。エピタキシャル成長法として、CVD法、MOCVD法、MBE法、およびALD法等を例示できる。例えば、MOCVD法により、半導体246の上に BSF222 、第1伝導型第2半導体224、低キャ

リア濃度第2半導体225、第2伝導型第2半導体226、およびウインドウ228を順次選択成長させることによって、第2半導体220を形成することができる。第2半導体220は、阻害体204の開口206の内部に形成されてよく、開口206からはみ出て阻害体204の上に、その一部が形成されてもよい。

[0073] 半導体254および半導体256は、P型不純物が高濃度にドーピングされたP型半導体、またはN型不純物が高濃度にドーピングされたN型半導体である。半導体254および半導体256は、異なる伝導型を有する半導体である。半導体254と半導体256とが、トンネル接合されていてもよい。例えば、半導体254が、N型不純物が高濃度にドーピングされたN型半導体であって、半導体256が、P型不純物が高濃度にドーピングされたP型半導体である場合に、半導体254と半導体256との界面にトンネル接合が形成される。光吸収構造体C1が当該トンネル接合を有することにより、光電変換によって第2半導体220と第3半導体230に形成される電子または正孔が、第2半導体220と第3半導体230の間をスムーズに流れる。その結果、光吸収構造体C1が電流を効率よく出力することができる。

[0074] 半導体254として、厚さが $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.2\mu\text{m}$ 以下で、Siドーピング量が $3.0 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上 $2.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下のN型GaAsを例示できる。半導体254は、例えば、厚さが $0.015\mu\text{m}$ で、Siドーピング量が $1.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以上のN型GaAsである。また、半導体256として、厚さが $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.2\mu\text{m}$ 以下で、Cドーピング量が $2.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{21}\text{cm}^{-3}$ 以下のP型GaAsを例示できる。半導体256は、例えば、厚さが $0.015\mu\text{m}$ で、Cドーピング量が $1.0 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 以上のP型GaAsである。

[0075] 半導体254および半導体256は、ウインドウ228の上方に形成されてよい。半導体254および半導体256は、ウインドウ228に格子整合または擬格子整合する半導体である。半導体254および半導体256は、例えばエピタキシャル成長法により形成される。エピタキシャル成長法とし

て、CVD法、MOCVD法、MBE法、およびALD法等を例示できる。
例えば、MOCVD法により、ウインドウ228の上方に、半導体254および半導体256を順次選択成長させることができる。

[0076] 第3半導体230は、BSF232、第1伝導型第3半導体234、低キャリア濃度第3半導体235、第2伝導型第3半導体236、およびウインドウ238を有する。第3半導体230は、例えば化合物半導体である。第3半導体230は、例えば $\text{Al}_{x3}\text{In}_{y3}\text{Ga}_{1-x3-y3}\text{As}_{z3}\text{P}_{1-z3}$ ($0 \leq x3 \leq 1$ 、 $0 \leq y3 \leq 1$ 、 $0 \leq z3 \leq 1$ 、かつ $0 \leq x3 + y3 \leq 1$)である。第3半導体230は、GaInPであってよい。第3半導体は、第3空間電荷領域を有してよい。第3半導体230は、ダブルヘテロ接合を有してもよい。第3半導体は、上記第2禁制帯幅より大きな第3禁制帯幅を有する材料を含んでもよい。

[0077] BSF232は、電荷の再結合を抑制する再結合抑制体の一例である。BSF232は、第1伝導型第3半導体234および第2伝導型第3半導体236より大きい禁制帯幅を有する。BSF232は、半導体256の上に形成されてもよい。例えば、BSF232は、半導体256に格子整合または擬格子整合する半導体である。BSF232として、厚さが $0.01\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下で、Znドーピング量が $1.0 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上 $5.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下のP型AlGaInPを例示できる。BSF232は、例えば、厚さが $0.02\mu\text{m}$ で、Znドーピング量が $2.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ であるP型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.4}\text{In}_{0.5}\text{P}$ である。

[0078] 第1伝導型第3半導体234は、P型またはN型の伝導型を有する。第2伝導型第3半導体236は、第1伝導型第3半導体234と異なる伝導型を有する。例えば、第1伝導型第3半導体234がP型半導体であって、第2伝導型第3半導体236がN型半導体である場合には、第1伝導型第3半導体234と第2伝導型第3半導体236との間の低キャリア濃度第3半導体235に空間電荷領域が形成される。第3半導体230は、当該空間電荷領域に光が入射すると電子および正孔を生成する。第3半導体230において

生成された電子が、第1伝導型第3半導体234および第2伝導型第3半導体236のうちのN型半導体側に移動し、正孔がP型半導体側に移動する。その結果、第3半導体230は、光電変換デバイスとして機能する。

- [0079] 第1伝導型第3半導体234として、厚さが $0.3\mu\text{m}$ 以上 $3.0\mu\text{m}$ 以下で、Znドーピング量が $1.0\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1.0\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 以下のP型GaInPを例示できる。その一例として、第1伝導型第3半導体234は、厚さが $0.05\mu\text{m}$ で、Znドーピング量が $1.0\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ のP型Ga_{0.5}In_{0.5}Pである。低キャリア濃度第3半導体235として、厚さが $0.3\mu\text{m}$ 以上 $3.0\mu\text{m}$ 以下で、キャリア濃度が $1.0\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1.0\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下のP型GaInPを例示でき、Znドーピング量が $1.0\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1.0\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下のP型GaInPを例示できる。その一例として、低キャリア濃度第3半導体235は、厚さが $1.0\mu\text{m}$ で、キャリア濃度が $1.0\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ であり、Znドーピング量が $1.0\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ のP型Ga_{0.5}In_{0.5}Pである。
- [0080] また、第2伝導型第3半導体236として、厚さが $0.01\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下で、Siドーピング量が $5.0\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以上 $6.0\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下のN型GaInPを例示できる。その一例として、第2伝導型第3半導体236は、厚さが $0.05\mu\text{m}$ で、Siドーピング量が $2.0\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ のN型Ga_{0.5}In_{0.5}Pである。第3半導体230は、例えば 1.80eV の第3禁制帯幅を有する。
- [0081] ウインドウ238は、電荷の再結合を抑制する再結合抑制体の一例である。ウインドウ238は、第1伝導型第3半導体234および第2伝導型第3半導体236よりも大きい禁制帯幅を有する。ウインドウ238は、第2伝導型第3半導体236の上方に形成されている。ウインドウ238は、第2伝導型第3半導体236に格子整合または擬格子整合する半導体である。ウインドウ238として、厚さが $0.01\mu\text{m}$ 以上 $1\mu\text{m}$ 以下で、Siドーピング量が $1.0\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上 $1.0\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下のN型AlGaInPを例示できる。その一例として、ウインドウ238は、厚さが $0.$

0.2 μm で、Siドーピング量が $5.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるN型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.4}\text{In}_{0.5}\text{P}$ である。

- [0082] 第3半導体230に含まれる各半導体層は、例えばエピタキシャル成長法により形成される。エピタキシャル成長法として、CVD法、MOCVD法、MBE法、およびALD法等を例示できる。例えば、MOCVD法により、半導体256の上にBSF232、第1伝導型第3半導体234、低キャリア濃度第3半導体235、第2伝導型第3半導体236およびウインドウ238を順次選択成長させることによって、第3半導体230を形成することができる。第3半導体230は、例えば阻害体204の開口206の内部に形成される。第3半導体230は、開口206からはみ出て阻害体204の上に、その一部が形成されてもよい。
- [0083] コンタクト層268は、その上に形成される透明電極272と第3半導体230との電氣的伝導性を確保するために設けられた半導体である。コンタクト層268は、ウインドウ238と同一の伝導型を有してよい。コンタクト層268は、ウインドウ238の上に形成されている。コンタクト層268は、ウインドウ238に格子整合または擬格子整合する半導体である。コンタクト層268として、厚さが0.01 μm 以上0.05 μm 以下で、Siドーピング量が $3.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下のN型GaAsを例示できる。その一例として、コンタクト層268は、厚さが0.10 μm で、Siドーピング量が $6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のN型GaAsである。あるいは厚さが0.10 μm で、Teドーピング量が $2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のN型GaAsである。
- [0084] コンタクト層268は、例えばエピタキシャル成長法により形成される。エピタキシャル成長法として、CVD法、MOCVD法、MBE法、およびALD法等を例示できる。例えば、MOCVD法により、ウインドウ238の上にコンタクト層268を選択成長させることができる。
- [0085] パッシベーション層274は、光吸収構造体C1の側壁に形成され、当該側壁における電荷の再結合を抑制する。パッシベーション層274の材料と

して、InGaPを例示できる。パッシベーション層274の形成方法として、CVD法、MOCVD法、MBE法、およびALD法等を例示できる。

[0086] 絶縁膜276は、各光吸収構造体を電氣的に分離する。絶縁膜276の材料として、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Si_3N_4 、 ZrO_2 等を例示できる。絶縁膜276は、プラズマCVD法、イオンプレーティング法、スパッタ法、CVD法、およびMOCVD法等を使用して形成できる。

[0087] 透明電極272は、例えばコンタクト層268に接して形成される。透明電極272は、光吸収構造体C1から外部に電力を出力する。透明電極272は、導電性を有し、光吸収構造体C1に入射する光を遮断しない材料を有する。透明電極272の材料として、ITO (Indium Tin Oxide)、ZnO、 TiO_2 等を例示できる。透明電極272の形成方法としては、スパッタ法等を例示できる。

[0088] ウェル203は、ベース基板202に含まれるシリコンに形成され、光吸収構造体C1の第1半導体と電氣的に結合されている。ウェル203は、当該シリコンのバルク領域からは電氣的に分離されている。例えば、ウェル203が当該シリコンと異なる伝導型を有する場合には、ウェル203と当該シリコンとの間にPN接合が形成されるので、ウェル203と当該シリコンとが電氣的に分離される。光吸収構造体C1が発生する電力は、ウェル203と透明電極272との間の起電力として取り出すことができる。

[0089] ウェル203は、イオン注入法あるいは熱拡散法により形成される。例えば、エッチング等フォトリソグラフィ法により、ベース基板202の上に、ウェル203が形成される予定位置に開口が形成されたマスクを形成してから、イオン注入してウェル203を形成することができる。例えば、N型Siベース基板202に、Bを注入または拡散することにより、P型ウェル203を形成することができる。

[0090] 配線278は、透明電極272に接続され、透明電極272を介して光吸収構造体C1から取り出された電力を外部回路に出力する。本実施形態では、配線278が、光吸収構造体C2の透明電極272を光吸収構造体C1の

ウェル２０３に接続することにより、二つの光吸収構造体が直列的に接続されている。配線２７８の材料として、Cu、Ag、Al等を例示できる。配線２７８の形成方法としては、CVD法、真空蒸着法、およびスパッタ法等を例示できる。

[0091] 光電変換デバイス２００は、第１半導体２１０、第２半導体２２０、および第３半導体２３０を含む３層タンデム構造を有する。光電変換デバイス２００が３層タンデム構造を有することにより、光電変換デバイス２００は広い波長範囲に渡って光を有効に吸収できるので、光電変換効率を高めることができる。

[0092] 図３から図７は、光電変換デバイス２００の製造過程における断面例を示す。以下、図面を用いて光電変換デバイス２００の製造方法について説明する。光電変換デバイス２００の製造方法は、ウェルを形成する段階、障害体を形成する段階、第１半導体を形成する段階、第１半導体を加熱する段階、第２半導体を形成する段階、第３半導体を形成する段階、パッシベーション処理する段階、および光吸収構造体を直列または並列に接続する段階を備える。

[0093] ウェルを形成する段階においては、ベース基板２０２にウェル２０３を形成する。例えば、N型シリコン基板のベース基板２０２にP型ウェル２０３を形成する場合には、エッチング等フォトリソグラフィ法により、ベース基板２０２の上に、ウェル２０３が形成される予定位置に開口を有するマスクを形成してから、Bイオンを注入してウェル２０３を形成する。

[0094] 障害体を形成する段階においては、図３に示すように、ベース基板２０２の上に、ベース基板２０２の表面を露出する開口２０６を有する障害体２０４を形成する。障害体２０４の形成は、例えば、熱酸化法によって、まずベース基板２０２の全面に酸化シリコン膜を形成する。エッチング等のフォトリソグラフィ法により、酸化シリコン膜に、ベース基板２０２の表面を露出する複数の開口２０６を形成することにより、障害体２０４を形成する。

[0095] 第１半導体を形成する段階においては、図４に示すように、開口２０６の

内部に、選択エピタキシャル成長法により第1半導体210を形成する。例えば、MOCVD法を用いて、P型SiGeのBSF212、P型Geの第1伝導型第1半導体214、低キャリア濃度第1半導体215、N型Geの第2伝導型第1半導体216、およびN型GaInPのウインドウ218を有する第1半導体210をエピタキシャル成長させる。

[0096] 具体的には、まず、開口206を有する阻害体204が形成されたSiベース基板202を、減圧バレル型MOCVD炉の加熱台上に載置する。次に、炉内を高純度水素で十分置換した後、ベース基板202の加熱を開始する。結晶成長時の基板温度は、500℃から800℃である。ベース基板202が適切な温度に安定したところで、炉内にSi原料を導入し、続いてGe原料を導入して、P型SiGeのBSF212をエピタキシャル成長させる。

[0097] Siの原料として、クロロシラン、ジクロロシラン、トリクロロシラン、テトラクロロシラン、シラン、またはジシランを例示できる。Geの原料として、ゲルマン、およびテトラメチルゲルマニウム($(\text{CH}_3)_4\text{Ge}$)等を例示できる。アクセプタ不純物をGaにして、P型ドーパントとしてトリメチルガリウム(TMGe)を用いてもよい。また、他のアクセプタ不純物としてB、Alを用いることができる。ドーパントとしてトリメチルホウ素(TMB)、トリメチルアルミニウム(TMA)を用いることができる。

[0098] P型Geの第1伝導型第1半導体214、N型Geの第2伝導型第1半導体216、およびN型GaInPのウインドウ218を、順次BSF212の上にエピタキシャル成長させてもよい。Inの原料として、トリメチルインジウム(TMI)を例示できる。Pの原料として、ホスフィン(PH_3)を例示できる。また、ドナー不純物をPにして、N型ドーパントとしてホスフィンを用いてもよい。また、他のドナー不純物としてAsを用いることができる。ドーパントとしてアルシン(AsH_3)を用いることができる。

[0099] エピタキシャル成長条件の一例として、反応炉内圧力0.1 atm、成長温度650℃、成長速度1~3 $\mu\text{m/hr}$ が挙げられる。原料のキャリアガ

スとして、高純度水素を用いることができる。後述の各半導体の形成方法についても、同じMOCVD法を用いて、原料ガス、炉内圧力、成長温度、成長時間等のパラメータを調整することによって、エピタキシャル成長することができる。

[0100] 第1半導体210を加熱する段階においては、第1半導体210を加熱することにより、第1半導体210の内部に、ベース基板202と第1半導体210との格子定数の違い等により発生した転位等の格子欠陥を低減して、第1半導体210の結晶性を向上させる。複数段階に分けて第1半導体210を加熱してもよい。例えば、第1半導体210の融点に達しない温度での高温アニールを実施した後、高温アニールの温度より低い温度での低温アニールを実施する。このような2段階のアニールを、複数回繰り返してもよい。

[0101] 一例として、第1半導体210の各半導体層を全て形成した後で、第1半導体210を加熱する。第1半導体に含まれる一部の半導体を形成してから、第1半導体210を加熱してもよい。例えば、P型SiGeのBSF212だけを形成した後、第1半導体210を加熱してもよい。この場合に、高温アニールの温度および時間は、例えば、850～900℃で2～10分間である。低温アニールの温度および時間は、例えば、650～780℃で2～10分間である。このような2段階アニールを、例えば10回繰り返してもよい。

[0102] 第2半導体220を形成する段階においては、図5に示すように、エピタキシャル成長法により、バッファ層242、半導体244、半導体246、および第2半導体220を順次形成する。例えば、MOCVD法を用いて、まず、ウインドウ218に接して、N型GaAsのバッファ層242をエピタキシャル成長させる。その後、バッファ層242の上方に、順次N型GaAsの半導体244、P型GaAsの半導体246、P型GaInPのBSF222、P型InGaAsの第1伝導型第2半導体224、低キャリア濃度第2半導体225、N型InGaAsの第2伝導型第2半導体226、お

よびN型GaInPのウインドウ228をエピタキシャル成長させてもよい。

[0103] Asの原料として、アルシン (AsH_3) を例示できる。アクセプタ不純物として、更にC、Zn等を例示できる。ドナー不純物として、更にSi、Se、Ge、Sn、Te、およびS等を例示できる。

[0104] 第3半導体を形成する段階においては、図6に示すように、エピタキシャル成長法により、半導体254、半導体256、第3半導体、およびコンタクト層268を順次形成する。例えば、MOCVD法を用いて、まず、ウインドウ228に接して、N型GaAsの半導体254をエピタキシャル成長させる。その後、半導体254の上に、順次P型GaAsの半導体256、P型AlGaInPのBSF232、P型GaInPの第1伝導型第3半導体234、低キャリア濃度第3半導体235、N型GaInPの第2伝導型第3半導体236、N型AlGaInPのウインドウ238、およびN型GaAsのコンタクト層268をエピタキシャル成長させる。

[0105] パッシベーション処理する段階においては、図7に示すように、光吸収構造体C1および光吸収構造体C2の側壁にパッシベーション層274および絶縁膜276を形成した後に、透明電極272を形成する。例えば、MOCVD法を用いて、光吸収構造体C1および光吸収構造体C1の側面に、InGaPのパッシベーション層274をエピタキシャルに形成する。例えば、 ZrO_2 膜をスパッタ法により形成することにより、絶縁膜276を得ることができる。

[0106] 次に、エッチング等フォトリソグラフィ法により、透明電極を形成する位置の絶縁膜276を部分的に除去して開口を形成して、コンタクト層268を露出する。続いて、透明電極272を形成する位置に開口が形成されたマスクを形成してから、スパッタ法により、例えばITOからなる透明電極膜を形成する。その後、マスクをリフトオフすることにより、図7に示すように、透明電極272を形成する。

[0107] 光吸収構造体を直列または並列に接続する段階においては、図2に示すよ

うに、配線 278 を形成して、光吸収構造体 C1 と光吸収構造体 C2 とを接続する。例えば、配線 278 を形成する位置に開口が形成されたマスクを形成してから、真空蒸着法により、たとえば A1 からなる金属膜を蒸着する。その後、マスクをリフトオフすることにより、配線 278 を形成することができる。

[0108] 図 2 に示した光電変換デバイス 200 においては、配線 278 によって、光吸収構造体 C2 の透明電極 272 を光吸収構造体 C1 のウェル 203 に接続して、二つの光吸収構造体が直列に接続されていた。光電変換デバイス 200 においては、配線 278 によって、光吸収構造体 C1 および光吸収構造体 C2 が並列に接続してもよい。例えば、伝導性を有する Si ベース基板 202 に、ウェル 203 を形成することなく、光吸収構造体 C1 および光吸収構造体 C2 をベース基板 202 に接して形成すれば、二つの光吸収構造体の第 1 半導体 210 はベース基板 202 を通じて接続される。この状態で、光吸収構造体 C1 と光吸収構造体 C2 の透明電極を配線によって接続すれば、二つの光吸収構造体が並列に接続される。

[0109] 並列接続する場合、並列接続する 2 つ以上の光吸収構造体を形成する 2 つ以上の開口は、結晶性を損なわない範囲で接続されていてよい。開口が接続されていると、その間にデバイスと同様の構造が形成されるので、配線を形成する際に、段差の影響を受けなくなり、好ましい。例えば、 $20\mu\text{m}$ 四方の開口を互いに孤立させずに、隣接する開口との間を、例えば $3\mu\text{m}$ 程度の細い開口でつなぐ。それによって、上側の配線は段差の影響を受けずに容易に接続ができる。

[0110] 図 8 は、半導体基板 100 における光吸収構造体のエネルギーバンドの一例を示す。図 8 の上部は、半導体基板 100 の断面を示す。図 8 の下部は、第 1 半導体 110 または第 2 半導体 120 のエネルギーバンドを示す。横軸は、第 1 半導体 110 または第 2 半導体 120 におけるベース基板 102 に平行する面内位置を示す。縦軸は、第 1 半導体 110 または第 2 半導体 120 のエネルギーバンドを示す。下の曲線は、価電子帯の上端を示し、上の曲

線は、伝導帯の下端を示す。上の曲線と下の曲線との間隔は禁制帯幅を示す。

- [0111] 第1半導体110または第2半導体120は、例えば、ベース基板102に平行する面内において、ベース基板102に平行な面の中心からの距離がより大きな位置において、より大きな禁制帯幅となる組成分布を有する。つまり、第1半導体110または第2半導体120は、中心部に比較して周辺部の禁制帯幅が大きくなるような組成分布を有する。
- [0112] 例えば、第1半導体110または第2半導体120は、図8に示すように、第1半導体110の中心部に E_{g1} の禁制帯幅を有し、周辺部に E_{g1} より大きい E_{g2} の禁制帯幅を有する。第1半導体110がSiGeである場合に、中心部から周辺部に向かって徐々にSiの組成を増やすことにより、図8に示すように禁制帯幅が変化する。第2半導体120がInGaAsである場合に、中心部から周辺部に向かって徐々にInの組成を減らし、Gaの組成を増やすことにより、図8に示すように禁制帯幅の変化が得られる。
- [0113] 第1半導体110または第2半導体120の周辺部が、中心部より広い禁制帯幅 E_{g2} を有することによって、光電変換によって発生したキャリアが周辺部において再結合することを抑制することができる。上記の光電変換デバイス200における第1半導体210、第2半導体220、および第3半導体230の何れかにおいて、ベース基板202に平行する面内において、図8に示すように変化する禁制帯幅を有してよい。
- [0114] 図9は、半導体基板100における第1半導体の組成分布の例を示す。図9(a)は、半導体基板100の断面を示す。図9(b)から図9(e)は、第1半導体110に含まれる第1伝導型第1半導体114の組成分布を示す。第1半導体110および第2半導体120の積層方向におけるベース基板102からの距離に応じて、第1半導体110の組成が変化している。
- [0115] 例えば、第1半導体110がSiGeであって、第2半導体120がGeである場合に、第1半導体110のベース基板102に接する面から第2半導体に向かう方向において、シリコンの割合が減少する。Siの組成の変化

は、(b) から (d) に示す例のように、連続的に変化してよい。S i の組成の変化は、(e) に示すように段階的に変化してもよい。

[0116] 第 1 半導体 1 1 0 における S i の組成は、第 1 伝導型第 1 半導体 1 1 4 において変化し、低キャリア濃度第 1 半導体 1 1 5 および第 2 伝導型第 1 半導体 1 1 6 においては変化しないことが好ましい。その結果、第 1 伝導型第 1 半導体 1 1 4 がベース基板 1 0 2 と格子整合するとともに、第 2 伝導型第 1 半導体 1 1 6 と第 1 伝導型第 2 半導体 1 2 4 とが格子整合する。

[0117] S i を含むベース基板 1 0 2 に近い部位に高い S i 組成を有し、G e の第 2 半導体 1 2 0 に近い部位に高い G e 組成を有することにより、ベース基板 1 0 2 と第 1 半導体 1 1 0 および第 2 半導体 1 2 0 の格子定数の違いにより発生する内部応力を緩和することができる。その結果、内部応力により生成する転位等の格子欠陥を低減して、結晶性を向上させることができる。

[0118] 図 1 0 は、光電変換デバイス 1 0 0 0 の断面の一例を示す。光電変換デバイス 1 0 0 0 は、ベース基板 1 0 0 2、透明電極 1 0 7 2、配線 1 0 7 8、光吸収構造体 C 1、光吸収構造体 C 2、光吸収構造体 C 3、集光部材 1 0 8 2、および封止部材 1 0 8 4 を備える。ベース基板 1 0 0 2 は、光電変換デバイス 2 0 0 におけるベース基板 2 0 2 に対応する。透明電極 1 0 7 2 は透明電極 2 7 2 に対応する。配線 1 0 7 8 は配線 2 7 8 に対応する。光吸収構造体 C 1、光吸収構造体 C 2、および光吸収構造体 C 3 は、光電変換デバイス 2 0 0 における光吸収構造体 C 1 に対応して、同じ構成を有してよい。

[0119] 集光部材 1 0 8 2 は、入射する光の少なくとも一部の光が光吸収構造体 C 1、光吸収構造体 C 2、または光吸収構造体 C 3 に入射するように光を集束する。集光部材 1 0 8 2 は、例えば光学レンズである。集光部材 1 0 8 2 は、ガラス、プラスチック等のように、光を透過する材料によって構成されてよい。集光部材 1 0 8 2 は、光を集束するレンズ効果を有する部材である。光電変換デバイス 1 0 0 0 は、光吸収構造体のそれぞれに対応する複数の集光部材 1 0 8 2 を有してもよい。複数の集光部材 1 0 8 2 は、図 1 0 に示すように一体に成型されてもよい。

- [0120] 集光部材 1082 は、集束する光が光吸収構造体 C1、光吸収構造体 C2、または光吸収構造体 C3 に入射する位置に設けられている。集光部材 1082 は、例えば、入射光の第 1 色領域、および、当該第 1 色領域より短波長域の第 2 色領域、更に、当該第 2 色領域より短波長域の第 3 色領域に対応して、焦点距離が相違する色収差を有する。
- [0121] 図 11 は、色収差を有する集光部材の焦点位置を示す。図 11 は、図 10 における光吸収構造体 C1 の部分を拡大した図面である。光吸収構造体 C1 は、光電変換デバイス 200 における光吸収構造体 C1 に対応して、同じ構成を有する。図 11 においては、説明に一部の構成部分を省略している。
- [0122] 光吸収構造体 C1 は、第 1 半導体 1010、第 2 半導体 1020、および第 3 半導体 1030 を含む 3 層タンデム構造を有する。半導体 1014、半導体 1016、半導体 1024、半導体 1026、半導体 1034、および半導体 1036 は、それぞれ光電変換デバイス 200 における第 1 伝導型第 1 半導体 214、第 2 伝導型第 1 半導体 216、第 1 伝導型第 2 半導体 224、第 2 伝導型第 2 半導体 226、第 1 伝導型第 3 半導体 234、および第 2 伝導型第 3 半導体 236 に対応する。
- [0123] 集光部材 1082 は、色収差を有して、図 11 に示すように、各波長の光に対応する焦点が、F01、F02 および F03 で示すように、一定の範囲に渡って分布する。第 1 半導体 1010 の禁制帯幅に対応するエネルギーを持つ光に対する集光部材 1082 の焦点位置 F01 は、第 1 半導体 1010 における第 1 空間電荷領域の位置、即ち低キャリア濃度半導体 1015 に位置する。第 2 半導体 1020 の禁制帯幅に対応するエネルギーを持つ光に対する集光部材 1082 の焦点位置 F02 は、第 2 半導体 1020 における第 2 空間電荷領域の位置、即ち低キャリア濃度半導体 1025 に位置する。
- [0124] 第 3 半導体 1030 の禁制帯幅に対応するエネルギーを持つ光に対する集光部材 1082 の焦点位置 F03 は、第 3 半導体 1030 における第 3 空間電荷領域の位置、即ち低キャリア濃度半導体 1035 に位置する。集光部材 1082 のそれぞれの光に対する焦点位置が第 1 空間電荷領域の位置、第 2

空間電荷領域の位置、および、第3空間電荷領域の位置に等しいので、光吸収構造体C1が、それぞれ第1半導体1010、第2半導体1020および第3半導体1030の禁制帯幅に対応する波長を有する光を効率よく吸収できる。従って、光電変換デバイス1000の光電変換効率を高めることができる。

[0125] 集光部材1082は、その表面を覆うように、第1半導体1010の禁制帯幅に相当する波長より長波長の光を吸収または反射する光学膜をさらに含んでもよい。光電変換デバイス1000は、集光部材1082で集光された光のうち、光吸収構造体C1等に入射する光の経路に選択的に配置された、重金属を含有する耐放射線膜、をさらに含んでもよい。例えば、透明電極1072の上部に、さらに重金属を含有する耐放射線膜を設置してよい。

[0126] 封止部材1084は、図10に示すように、光電変換デバイス1000を一体に封止する。封止部材1084は、ガラス、プラスチック等のような透明な材料によって構成されてよい。封止部材1084は、集光部材1082と一体で形成されてもよい。集光部材1082が、封止部材1084により保持されてもよい。

[0127] 配線1078は、光電変換デバイス200における配線278に対応する。配線1078は、入射光が入射する側の光吸収構造体C1等に配置された透明電極1072に接続される。配線1078は、図10に示すように、入射光が透明電極1072に入射する経路に重なることなく配置される。つまり、入射光が集光部材1082で集光されることにより生じる影の部分に配置されてよい。具体的には、図10に示した破線より下方の影の領域に配置されてよい。上記配置により、集光部材1082によって集束される光が配線により遮断されることはなく光吸収構造体に入射するので、光電変換デバイス1000は効率よく光電変換ができる。

[0128] 図12は、光電変換デバイス1200の一例を示す。図12の上部は、光電変換デバイス1200の断面を示す。図12の下部は、光吸収構造体C1、光吸収構造体C2、および光吸収構造体C3の接続状況の対応回路図を示

す。光電変換デバイス１２００は、ベース基板１２０２、ウェル１２０３、阻害体１２０４、透明電極１２７２、配線１２７８、光吸収構造体Ｃ１、光吸収構造体Ｃ２、および光吸収構造体Ｃ３を備える。

[0129] ベース基板１２０２は、光電変換デバイス２００におけるベース基板２０２に対応する。ウェル１２０３はウェル２０３に対応する。透明電極１２７２は透明電極２７２に対応する。配線１２７８は配線２７８に対応する。光吸収構造体Ｃ１、光吸収構造体Ｃ２、および光吸収構造体Ｃ３は、光電変換デバイス２００における光吸収構造体Ｃ１に対応する。

[0130] 図１２に示すように、光電変換デバイス１２００においては、光吸収構造体Ｃ３の透明電極１２７２が、配線１２７８によって、光吸収構造体Ｃ２の下部に形成されたウェル１２０３に接続され、光吸収構造体Ｃ２の透明電極１２７２が、配線１２７８によって、光吸収構造体Ｃ１の下部に形成されたウェル１２０３に接続されている。即ち、光吸収構造体Ｃ１、光吸収構造体Ｃ２、および光吸収構造体Ｃ３は、図１２の下部の対応回路図に示すように、直列に接続されている。この場合に、光電変換デバイス１２００が発生する電力は、光吸収構造体Ｃ１における透明電極１２７２と光吸収構造体Ｃ３におけるウェル１２０３との間の起電力として取り出すことができる。図１２には三つの光吸収構造体が直列に接続される例を示すが、より多くの光吸収構造体を直列に接続してよい。

[0131] 図１３は、光電変換デバイス１３００の一例を示す。図１３の上部は、光電変換デバイス１３００の断面を示す。図１３の下部は、光吸収構造体Ｃ１、光吸収構造体Ｃ２、および光吸収構造体Ｃ３の接続状況の対応回路図を示す。光電変換デバイス１３００は、ベース基板１３０２、ウェル１３０３、阻害体１３０４、透明電極１３７２、配線１３７８、光吸収構造体Ｃ１、光吸収構造体Ｃ２、および光吸収構造体Ｃ３を備える。

[0132] ベース基板１３０２は、光電変換デバイス２００におけるベース基板２０２に対応する。ウェル１３０３はウェル２０３に対応する。透明電極１３７２は透明電極２７２に対応する。配線１３７８は配線２７８に対応する。光

吸収構造体 C 1、光吸収構造体 C 2 および光吸収構造体 C 3 は、光電変換デバイス 200 における光吸収構造体 C 1 に対応する。

[0133] 図 13 に示すように、光電変換デバイス 1300 においては、光吸収構造体 C 1、光吸収構造体 C 2、および光吸収構造体 C 3 の透明電極 1272 が、配線 1278 によって互いに接続されている。また、光電変換デバイス 1300 においては、光吸収構造体 C 1、光吸収構造体 C 2、および光吸収構造体 C 3 が、その下部に形成されたウェル 1303 によって、互いに電氣的に接続されている。即ち、光吸収構造体 C 1、光吸収構造体 C 2 および光吸収構造体 C 3 は、図 13 の下部の対応回路図に示すように、並列に接続されている。光電変換デバイス 1300 が発生する電力は、透明電極 1372 とウェル 1303 との間の起電力として取り出すことができる。図 13 には三つの光吸収構造体が並列に接続される例を示すが、より多くの光吸収構造体を並列に接続してよい。

[0134] 上記のように、互いに直列または並列に接続されている複数の光吸収構造体は、他の互いに直列または並列に接続されている複数の光吸収構造体と更に並列または直列に接続されてよい。

[0135] 以上の実施態様において、Si を含む基板の上に、開口を有する障害体を形成して、当該開口内に選択的に第 1 半導体、第 2 半導体および第 3 半導体をエピタキシャルに成長させた。これにより、Si と化合物半導体との格子定数の相違に起因する格子欠陥を低減し、結晶性の高いタンデム構造の光吸収構造体が形成できた。光吸収体の結晶性を高めたので、高い光電変換効率の光電変換デバイスが得られた。また、集光部材を組み合わせることによって、効率よく光を集束して光吸収体に光を入射でき、光電変換デバイスの光電変換効率をさらに高めることができた。

符号の説明

[0136] 100 半導体基板、102 ベース基板、104 障害体、106 開口、110 第 1 半導体、114 第 1 伝導型第 1 半導体、115 低キャリア濃度第 1 半導体、116 第 2 伝導型第 1 半導体、120 第 2 半導体、

124 第1伝導型第2半導体、125 低キャリア濃度第2半導体、126 第2伝導型第2半導体、130 第3半導体、134 第1伝導型第3半導体、135 低キャリア濃度第3半導体、136 第2伝導型第3半導体、140 光吸収構造体、200 光電変換デバイス、202 ベース基板、203 ウェル、204 阻害体、206 開口、210 第1半導体、212 BSF、214 第1伝導型第1半導体、215 低キャリア濃度第1半導体、216 第2伝導型第1半導体、218 ウィンドウ、220 第2半導体、222 BSF、224 第1伝導型第2半導体、225 低キャリア濃度第2半導体、226 第2伝導型第2半導体、228 ウィンドウ、230 第3半導体、232 BSF、234 第1伝導型第3半導体、235 低キャリア濃度第3半導体、236 第2伝導型第3半導体、238 ウィンドウ、242 バッファ層、244 半導体、246 半導体、254 半導体、256 半導体、268 コンタクト層、272 透明電極、274 パッシベーション層、276 絶縁膜、278 配線、1000 光電変換デバイス、1002 ベース基板、1010 第1半導体、1014 半導体、1015 低キャリア濃度半導体、1025 低キャリア濃度半導体、1035 低キャリア濃度半導体、1016 半導体、1020 第2半導体、1024 半導体、1026 半導体、1030 第3半導体、1034 半導体、1036 半導体、1072 透明電極、1078 配線、1082 集光部材、1084 封止部材、1200 光電変換デバイス、1202 ベース基板、1203 ウェル、1204 阻害体、1272 透明電極、1278 配線、1300 光電変換デバイス、1302 ベース基板、1303 ウェル、1304 阻害体、1372 透明電極、1378 配線

請求の範囲

[請求項1]

シリコンを含むベース基板と、
前記ベース基板上に形成され、前記ベース基板の表面を露出する開口を有し、結晶成長を阻害する阻害体と、
前記開口の内部に露出された前記ベース基板の表面に接して、前記開口の内部に形成された光吸収構造体と、
を備え、
前記光吸収構造体は、
第1伝導型第1半導体と、
前記第1伝導型第1半導体の上方に形成され、前記第1伝導型第1半導体と反対の伝導型を有する第2伝導型第1半導体と、
前記第1伝導型第1半導体と前記第2伝導型第1半導体との間に形成され、前記第1伝導型第1半導体および前記第2伝導型第1半導体よりも有効キャリア濃度が低い低キャリア濃度第1半導体と
を含む第1半導体と、
前記第2伝導型第1半導体に格子整合または擬格子整合し、前記第2伝導型第1半導体と反対の伝導型を有する第1伝導型第2半導体と、
前記第1伝導型第2半導体の上方に形成され、前記第1伝導型第2半導体と反対の伝導型を有する第2伝導型第2半導体と、
前記第1伝導型第2半導体と前記第2伝導型第2半導体との間に形成され、前記第1伝導型第2半導体および前記第2伝導型第2半導体よりも有効キャリア濃度が低い低キャリア濃度第2半導体と
を含む第2半導体と
を有する半導体基板。

[請求項2]

前記光吸収構造体が、
前記第2伝導型第2半導体に格子整合または擬格子整合する第1伝導型第3半導体と、

前記第 1 伝導型第 3 半導体の上方に形成され、前記第 1 伝導型第 3 半導体と反対の伝導型を有する第 2 伝導型第 3 半導体と、

前記第 1 伝導型第 3 半導体と前記第 2 伝導型第 3 半導体との間に形成され、前記第 1 伝導型第 3 半導体および前記第 2 伝導型第 3 半導体よりも有効キャリア濃度が低い低キャリア濃度第 3 半導体と

を含む第 3 半導体をさらに有する請求項 1 に記載の半導体基板。

[請求項3]

前記第 1 半導体は、第 1 禁制帯幅を有する材料を有し、

前記第 2 半導体は、前記第 1 禁制帯幅より大きな第 2 禁制帯幅を有する材料を有し、

前記第 3 半導体は、前記第 2 禁制帯幅より大きな第 3 禁制帯幅を有する材料を有する請求項 2 に記載の半導体基板。

[請求項4]

前記第 1 半導体は、 $C_{x1}Si_{y1}Ge_{z1}Sn_{1-x1-y1-z1}$ ($0 \leq x1 < 1$ 、 $0 \leq y1 \leq 1$ 、 $0 \leq z1 \leq 1$ 、かつ $0 < x1 + y1 + z1 \leq 1$) からなり、

前記第 2 半導体は、 $Al_{x2}In_{y2}Ga_{1-x2-y2}As_{z2}P_{w1}N_{1-z2-w1}$ ($0 \leq x2 \leq 1$ 、 $0 \leq y2 \leq 1$ 、かつ $0 \leq x2 + y2 \leq 1$ 、および $0 \leq z2 \leq 1$ 、 $0 \leq w1 \leq 1$ 、かつ $0 \leq z2 + w1 \leq 1$) からなり、

前記第 3 半導体は、 $Al_{x3}In_{y3}Ga_{1-x3-y3}As_{z3}P_{1-z3}$ ($0 \leq x3 \leq 1$ 、 $0 \leq y3 \leq 1$ 、 $0 \leq z3 \leq 1$ 、かつ $0 \leq x3 + y3 \leq 1$) からなる請求項 3 に記載の半導体基板。

[請求項5]

前記光吸収構造体は、光の照射を受けてキャリアを励起し、

前記ベース基板と前記第 1 伝導型第 1 半導体との間、前記第 2 伝導型第 1 半導体と前記第 1 伝導型第 2 半導体との間、前記第 2 伝導型第 2 半導体と前記第 1 伝導型第 3 半導体との間、および前記第 2 伝導型第 3 半導体の前記低キャリア濃度第 3 半導体と接する面と反対の面上の少なくとも一つの位置に、前記キャリアの再結合を抑制する再結合抑制層を有する請求項 2 に記載の半導体基板。

- [請求項6] 前記光吸収構造体の側壁に接して形成された、前記側壁における前記キャリアの再結合を抑制する再結合抑制体をさらに備える請求項5に記載の半導体基板。
- [請求項7] 前記第2伝導型第1半導体と前記第1伝導型第2半導体との間、および、前記第2伝導型第2半導体と前記第1伝導型第3半導体との間の少なくとも一つの位置に、P型不純物が高濃度にドーピングされたP型不純物層およびN型不純物が高濃度にドーピングされたN型不純物層を有するトンネル接合層をさらに備える請求項2に記載の半導体基板。
- [請求項8] 前記第1半導体、前記第2半導体、および前記第3半導体から選択された1以上の半導体は、前記第1半導体、前記第2半導体、および前記第3半導体のそれぞれにおける前記ベース基板に平行な面の中心からの距離がより大きな位置において、より大きな禁制帯幅となる組成分布を有する請求項2に記載の半導体基板。
- [請求項9] 前記第1半導体および前記第2半導体の積層方向における前記ベース基板からの距離に応じて前記第1半導体の組成が変化している請求項1に記載の半導体基板。
- [請求項10] 前記第1半導体は、前記ベース基板からの距離が大きいほどシリコンの割合が少ない組成を有する請求項9に記載の半導体基板。
- [請求項11] 前記障害体は複数の前記開口を有し、前記複数の開口内に形成された複数の前記光吸収構造体を備える請求項1に記載の半導体基板。
- [請求項12] 請求項1に記載の半導体基板を備え、前記光吸収構造体への入射光を電力に変換する光電変換デバイス。
- [請求項13] 前記入射光の少なくとも一部を集光して前記光吸収構造体に入射する集光部をさらに備える請求項12に記載の光電変換デバイス。
- [請求項14] 前記集光部は、前記入射光が含む第1色領域の光を集光して前記低キャリア濃度第1半導体に入射し、前記第1色領域より短波長域の第2色領域の光を集光して前記低キャリア濃度第2半導体に入射する請求項13に記載の光電変換デバイス。

- [請求項15] 前記光吸収構造体における前記入射光が入射する面に配置された透明電極と、
前記透明電極に接続された配線と
をさらに備え、
前記配線は、前記入射光が前記透明電極に入射する経路に重なることなく配置されている請求項 13 に記載の光電変換デバイス。
- [請求項16] 前記ベース基板に含まれる前記シリコンと前記光吸収構造体とが電氣的に結合され、前記入射光の入射を受けて、前記透明電極と前記シリコンとの間に起電力を発生する
請求項 15 に記載の光電変換デバイス。
- [請求項17] 前記ベース基板が、前記シリコンのバルク領域から電氣的に分離されかつ前記光吸収構造体と電氣的に結合しているウェル領域を有し、
前記入射光の入射を受けて、前記透明電極と前記ウェル領域との間に起電力を発生する請求項 15 に記載の光電変換デバイス。
- [請求項18] 前記集光部の表面を覆い、前記第 1 半導体の禁制帯幅に相当する波長より長い波長の光を吸収または反射する光学膜をさらに備える請求項 13 に記載の光電変換デバイス。
- [請求項19] 前記入射光が前記光吸収構造体に入射する経路に配置された重金属を含有する耐放射線膜をさらに備える請求項 13 に記載の光電変換デバイス。
- [請求項20] 前記阻害体は複数の前記開口を有し、
前記複数の開口内に形成された複数の前記光吸収構造体を有し、
前記複数の光吸収構造体のそれぞれに対応する前記集光部を備える請求項 13 に記載の光電変換デバイス。
- [請求項21] 前記複数の光吸収構造体の各々は、互いに直列または並列に接続されている請求項 20 に記載の光電変換デバイス。
- [請求項22] 前記互いに直列または並列に接続されている前記複数の光吸収構造体は、他の互いに直列または並列に接続されている複数の光吸収構造

体と並列または直列に接続されている請求項 2 1 に記載の光電変換デバイス。

[請求項23]

シリコンを含むベース基板の上方に阻害体を形成する段階と、

前記阻害体に、前記ベース基板の表面を露出する開口を形成する段階と、

前記開口の内部に、第 1 伝導型第 1 半導体を形成する段階と、

前記第 1 伝導型第 1 半導体の上方に、低キャリア濃度第 1 半導体を形成する段階と、

前記低キャリア濃度第 1 半導体の上方に、前記第 1 伝導型第 1 半導体と反対の伝導型を有する第 2 伝導型第 1 半導体を形成する段階と、

前記第 2 伝導型第 1 半導体の上方に、前記第 2 伝導型第 1 半導体に格子整合または擬格子整合する第 1 伝導型第 2 半導体を形成する段階と、

前記第 1 伝導型第 2 半導体の上方に、低キャリア濃度第 2 半導体を形成する段階と、

前記低キャリア濃度第 2 半導体の上方に、前記第 1 伝導型第 2 半導体と反対の伝導型を有する第 2 伝導型第 2 半導体を形成する段階と

を備え、

前記低キャリア濃度第 1 半導体は、前記第 1 伝導型第 1 半導体および前記第 2 伝導型第 1 半導体よりも低い有効キャリア濃度を有し、

前記低キャリア濃度第 2 半導体は、前記第 1 伝導型第 2 半導体および前記第 2 伝導型第 2 半導体よりも低い有効キャリア濃度を有する半導体基板の製造方法。

[請求項24]

前記第 1 半導体を形成する段階と、前記第 2 半導体を形成する段階との間において、前記第 1 半導体を加熱する請求項 2 3 に記載の半導体基板の製造方法。

[請求項25]

前記第 2 伝導型第 2 半導体の上方に、第 1 伝導型第 3 半導体を形成する段階と、

前記第 1 伝導型第 3 半導体の上方に、低キャリア濃度第 3 半導体を形成する段階と、

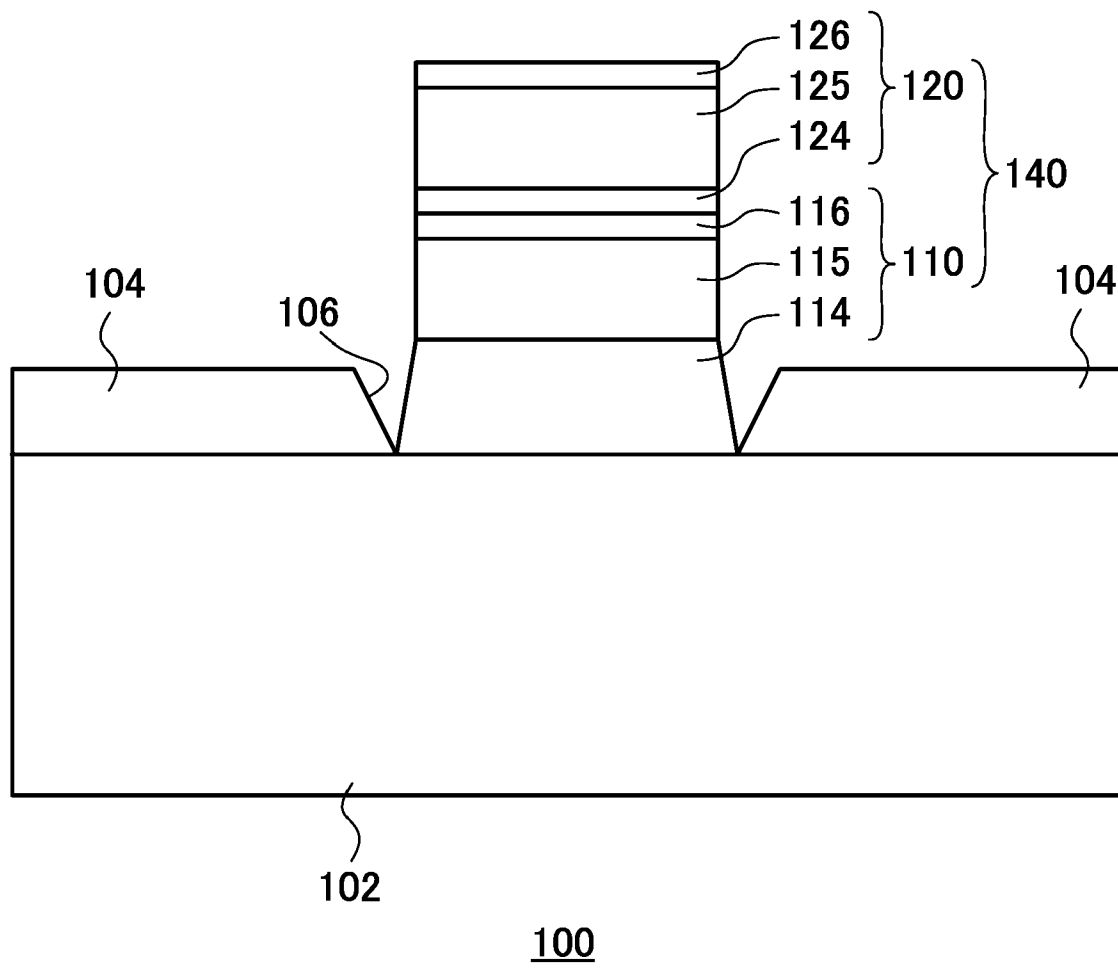
前記低キャリア濃度第 3 半導体の上方に、前記第 1 伝導型第 3 半導体と反対の伝導型を有する第 2 伝導型第 3 半導体を形成する段階とをさらに備える請求項 2 3 に記載の半導体基板の製造方法。

[請求項26]

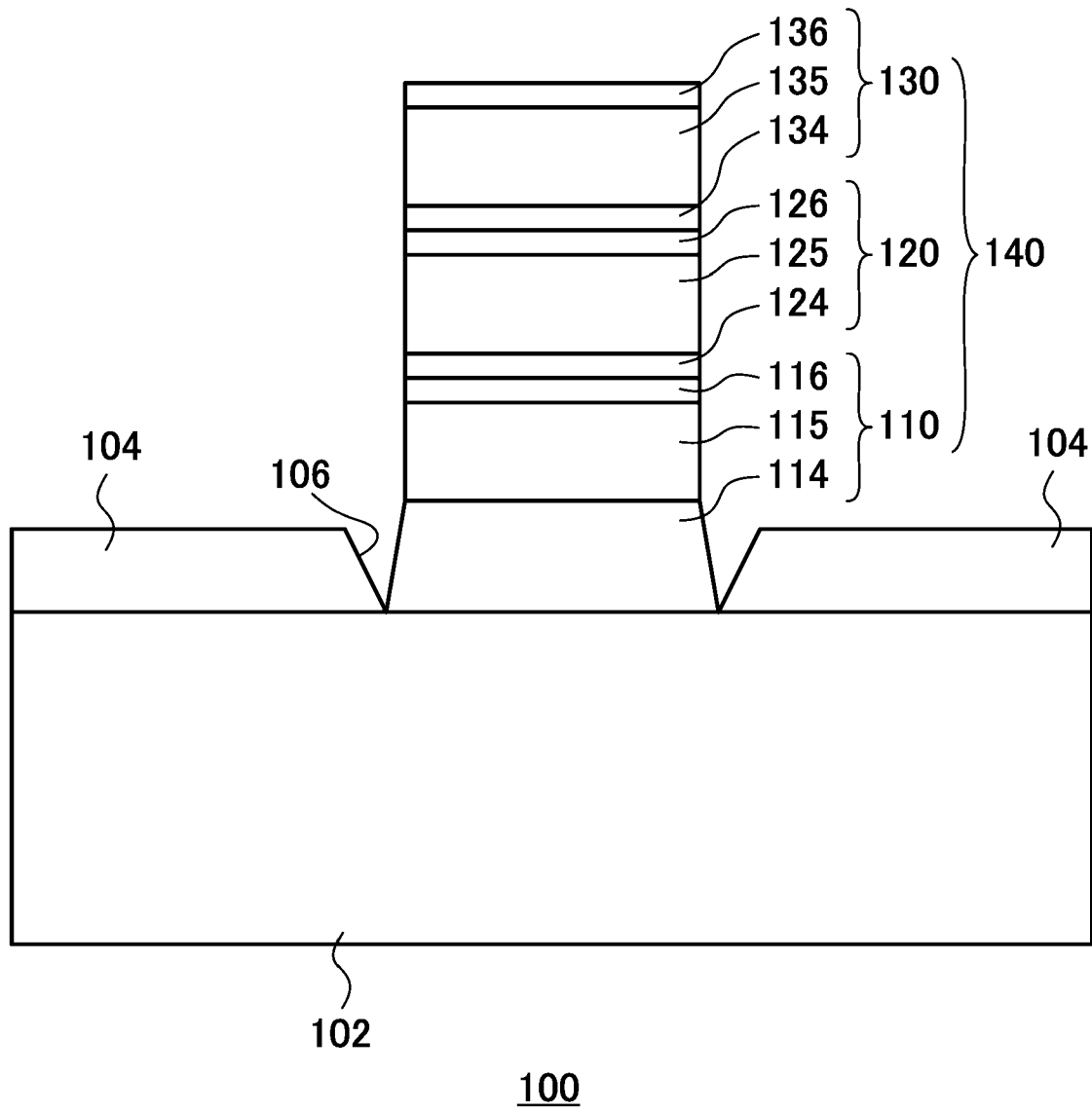
請求項 2 3 に記載の半導体基板の製造方法を適用して、少なくとも前記第 1 半導体および前記第 2 半導体を有する光吸収構造体を形成する段階と、

前記光吸収構造体を直列または並列に接続する段階とを備える光電変換デバイスの製造方法。

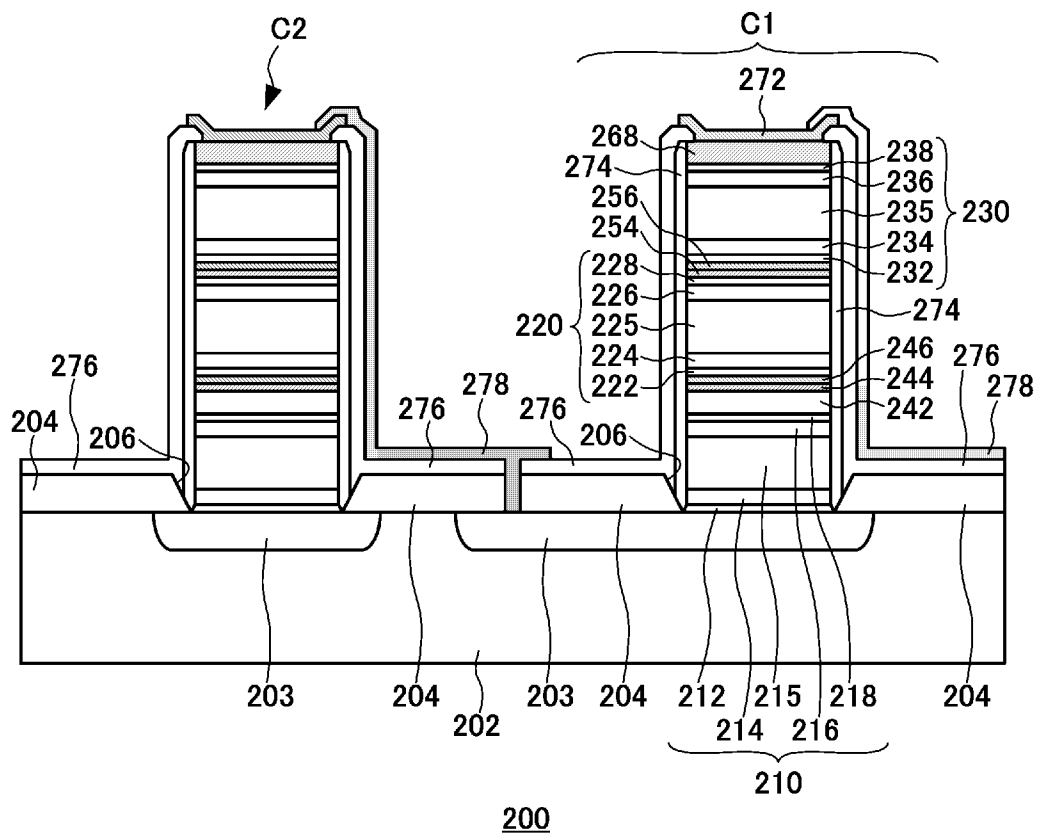
[図1A]



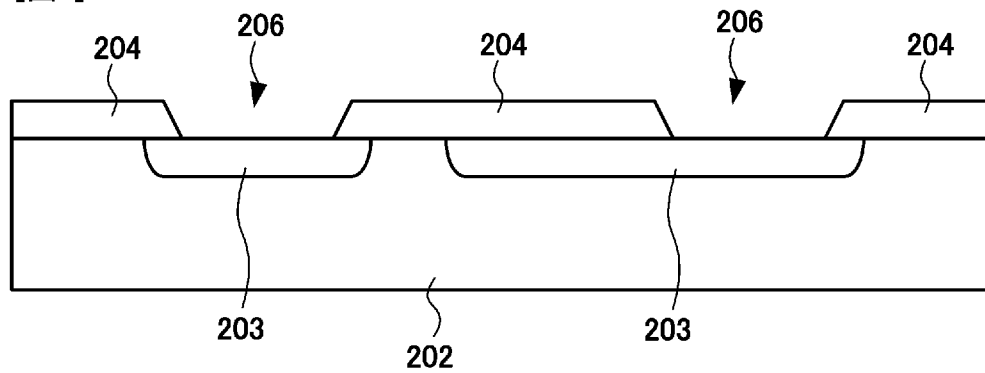
[図1B]



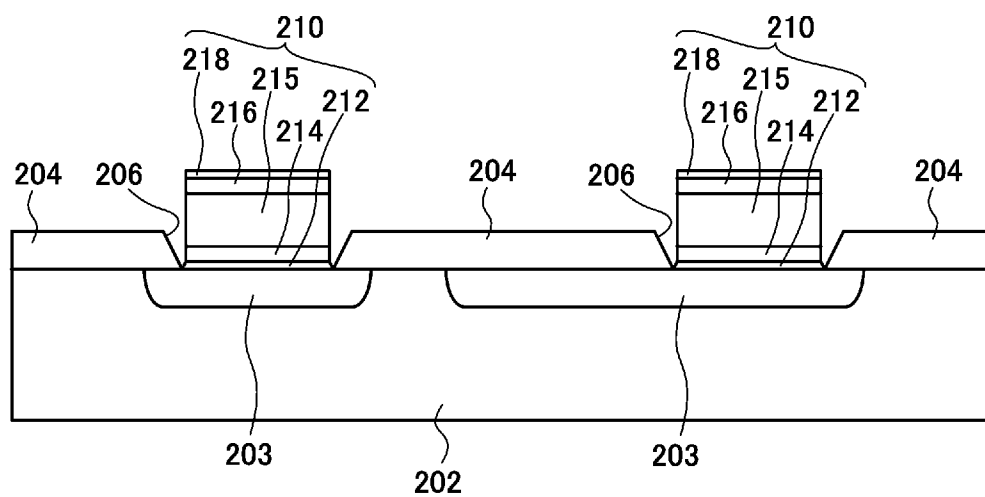
[図2]



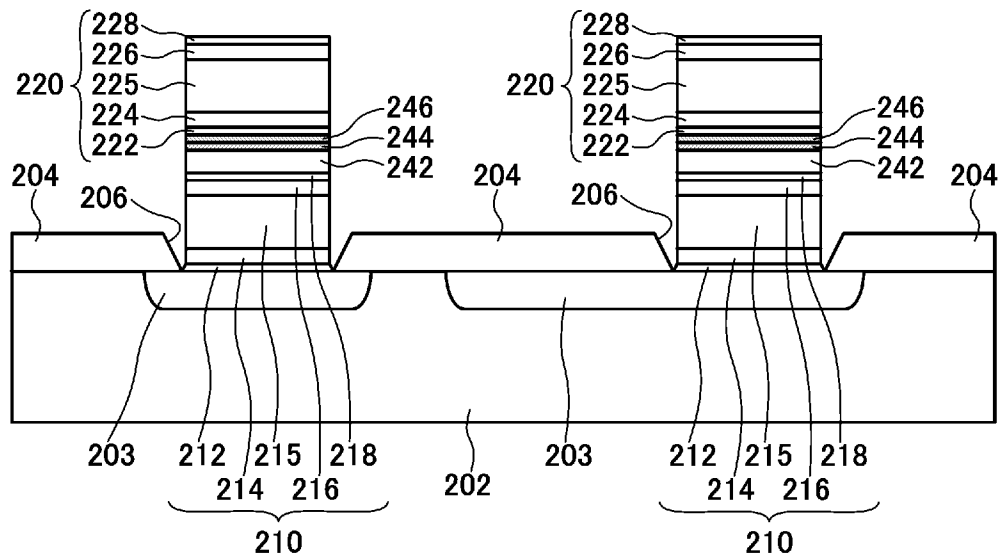
[図3]



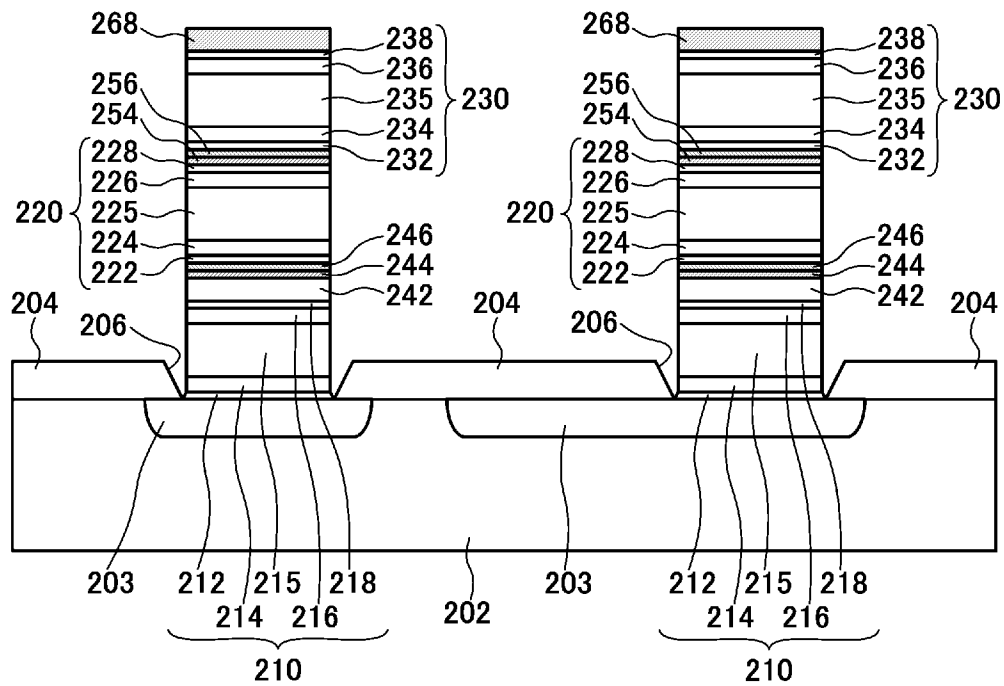
[図4]



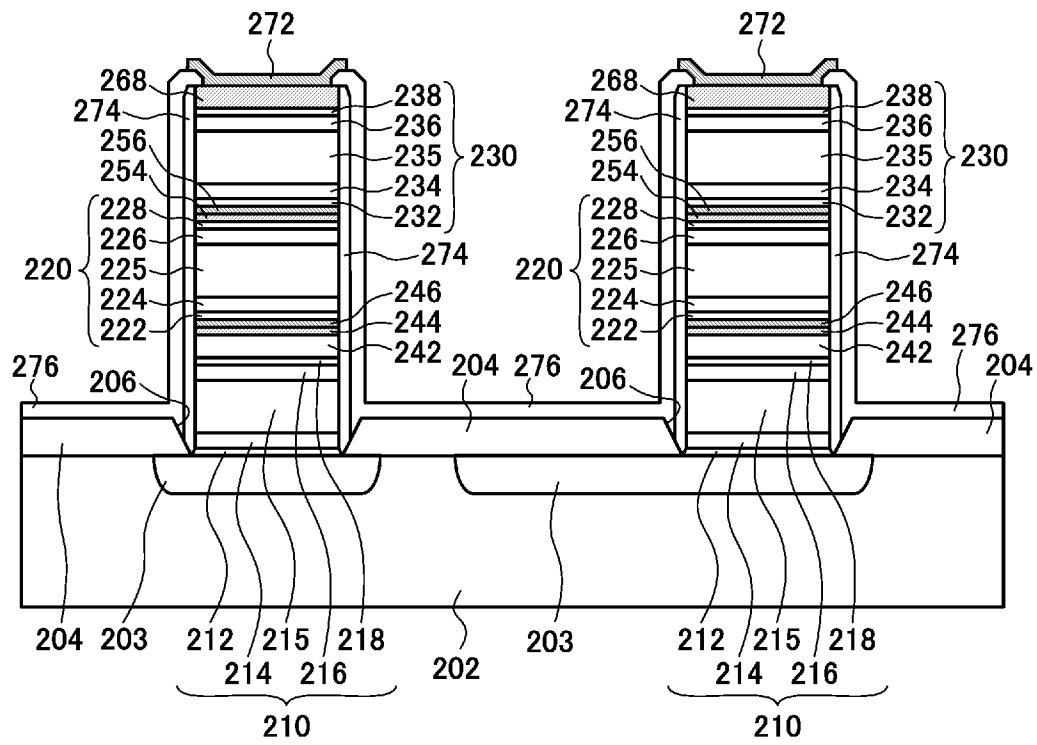
[図5]



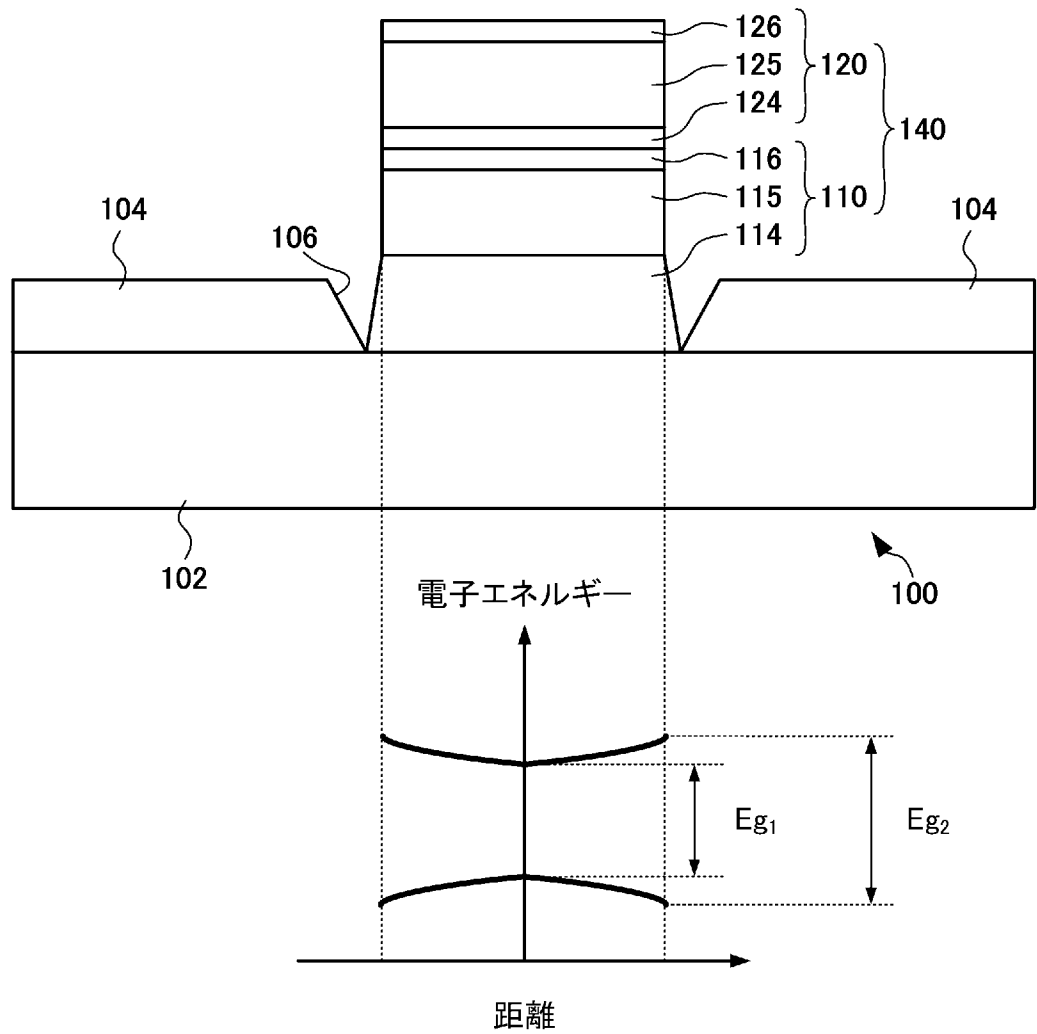
[図6]



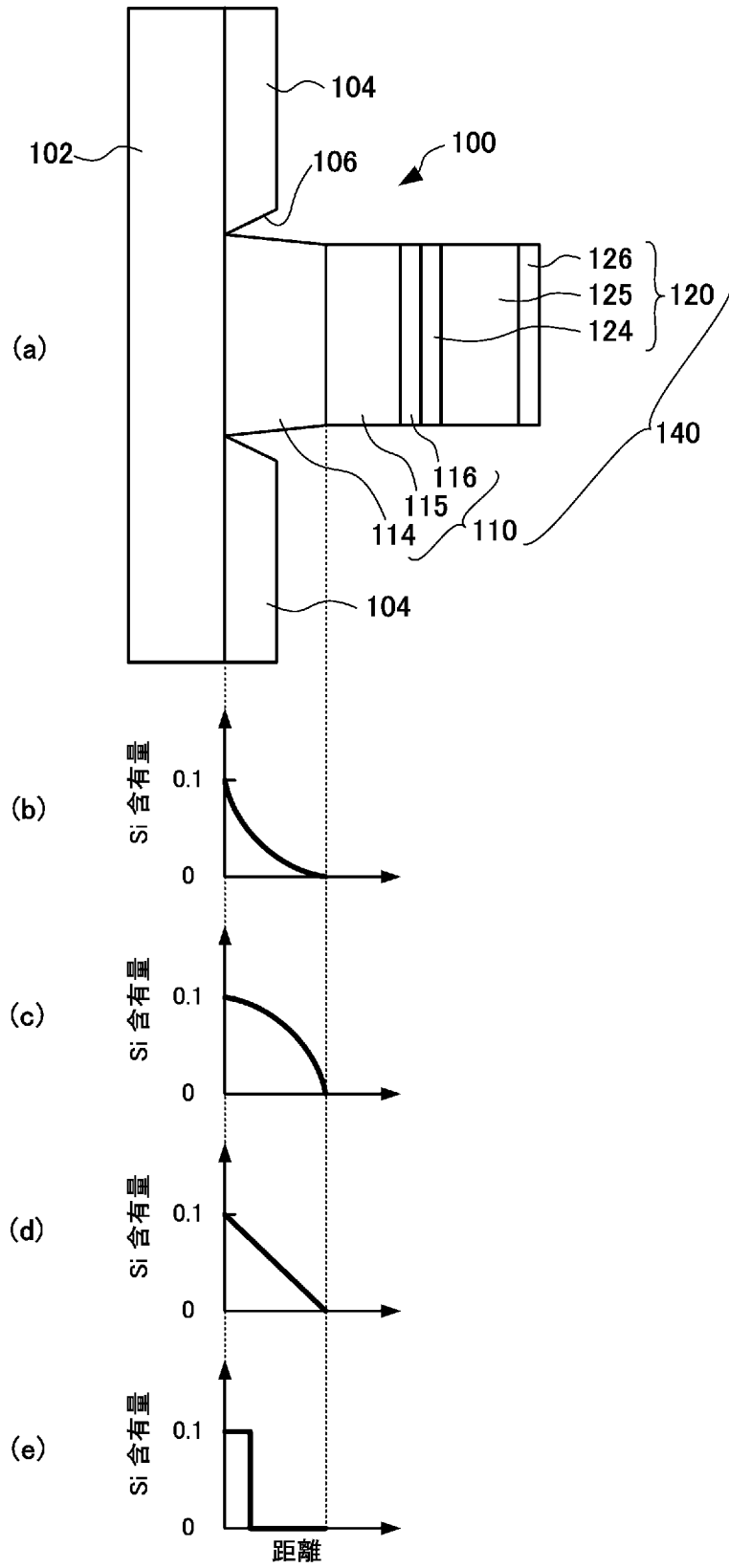
[図7]



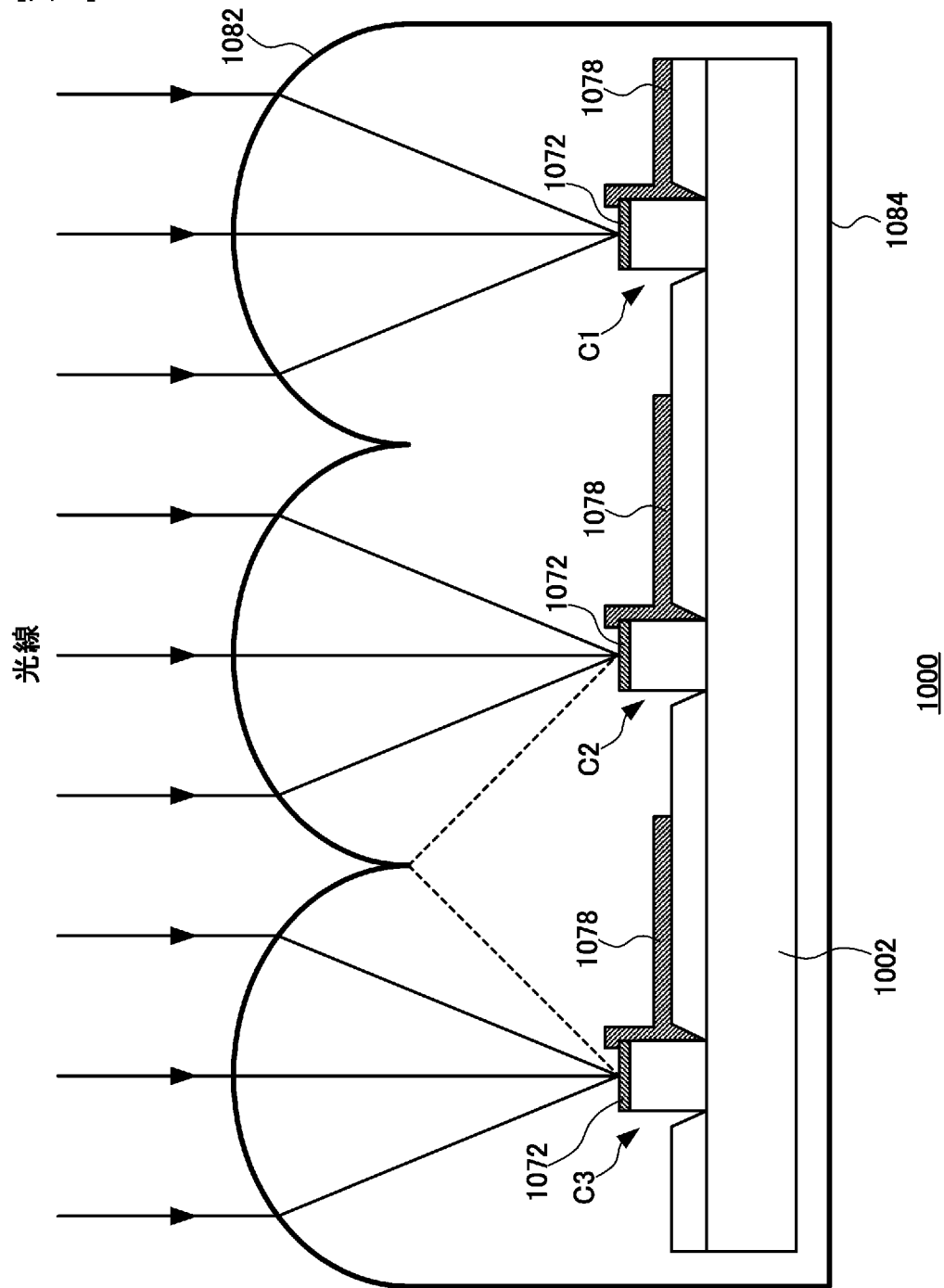
[図8]



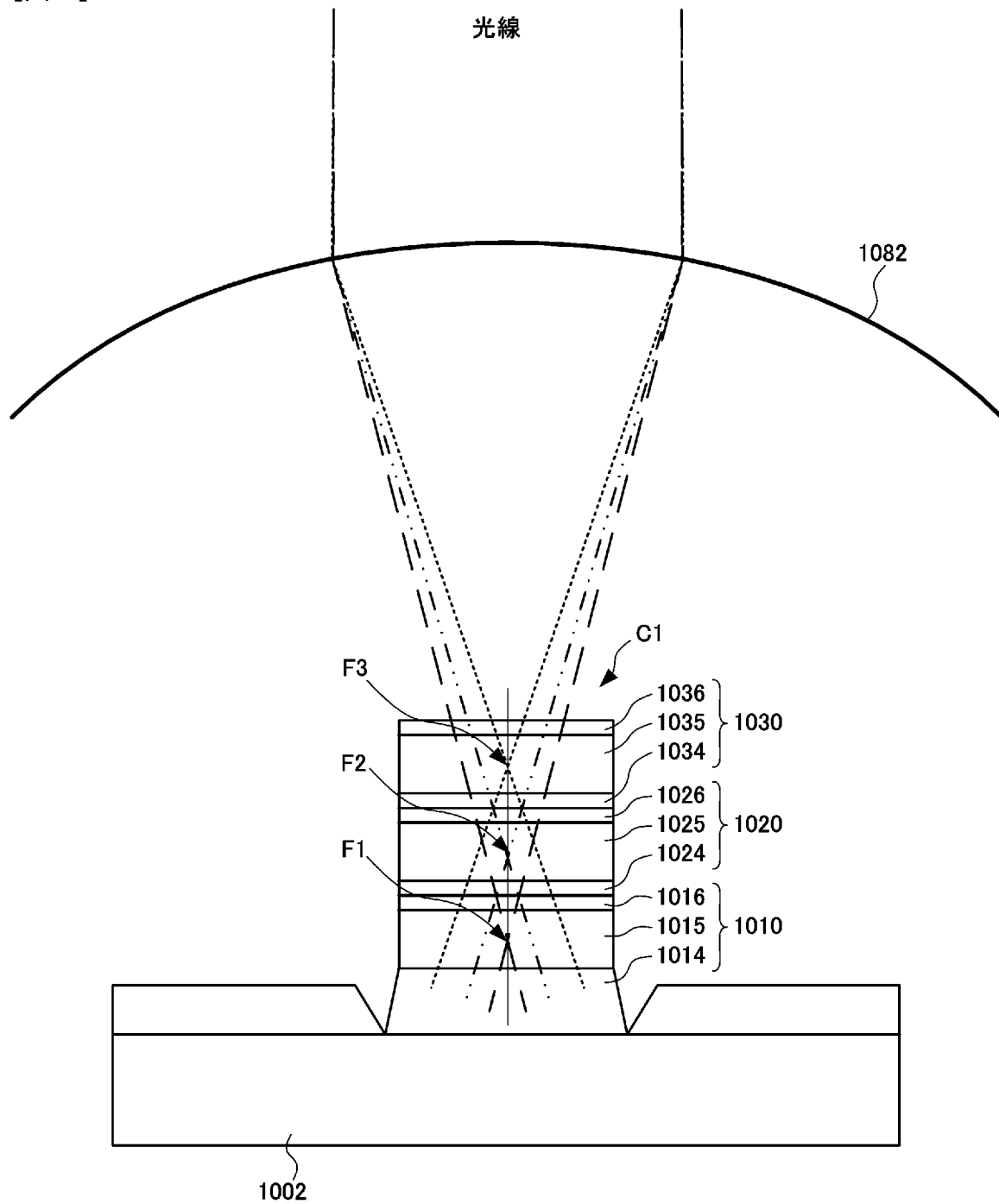
[図9]



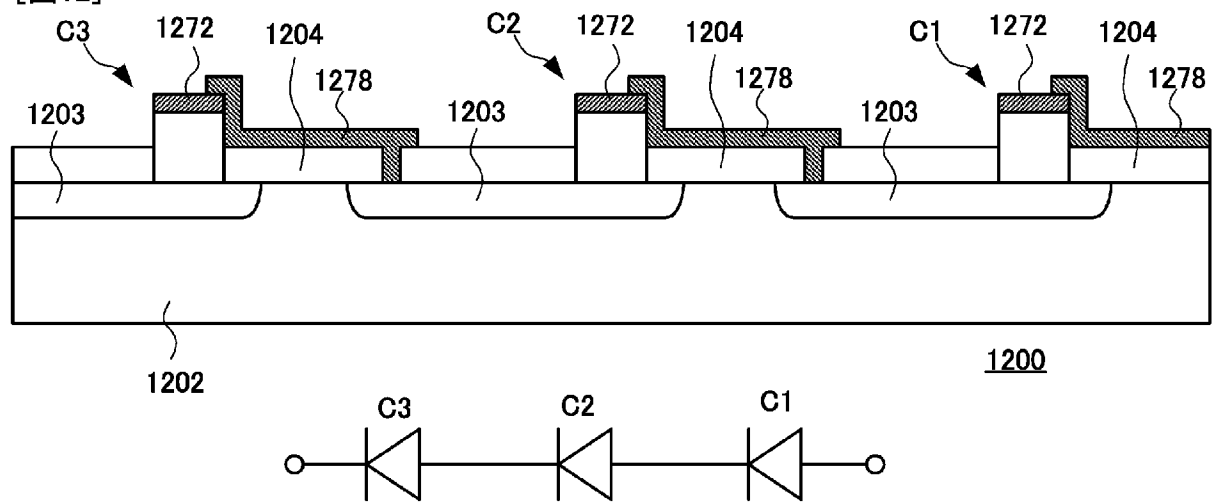
[図10]

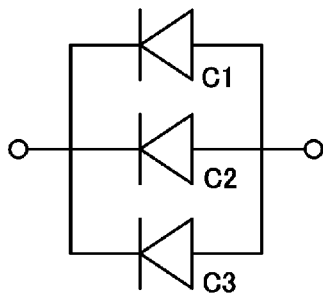


[図11]



[図12]





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/003721

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L31/04(2006.01) i, H01L31/052(2006.01) 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)

H01L31/04, H01L31/052

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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.
X	JP 4-225282 A (Canon Inc.), 14 August 1992 (14.08.1992), paragraph [0058]; examples & US 5403771 A & WO 1992/012542 A1	1-3, 11-12, 23-26 4
Y		
X	JP 2001-93849 A (Canon Inc.), 06 April 2001 (06.04.2001), fig. 1 to 2, 8, 10 (Family: none)	1-3, 11-12, 23-26 4
Y		
X	JP 62-176160 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 01 August 1987 (01.08.1987), examples; fig. 2 (Family: none)	1-3, 11-12, 23-26 4
Y		

☒ 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
23 August, 2010 (23.08.10)

Date of mailing of the international search report
31 August, 2010 (31.08.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/003721

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 1-94677 A (Daido Steel Co., Ltd.), 13 April 1989 (13.04.1989), examples; drawings (Family: none)	4
A	JP 62-51272 A (Sharp Corp.), 05 March 1987 (05.03.1987), fig. 1 (Family: none)	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 62-102567 A (Sharp Corp.), 13 May 1987 (13.05.1987), fig. 1 (Family: none)	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 2-218174 A (Mitsubishi Electric Corp.), 30 August 1990 (30.08.1990), fig. 1 to 3 & US 5009719 A & DE 4004559 A	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 3-94477 A (Canon Inc.), 19 April 1991 (19.04.1991), fig. 2 & US 5094697 A & DE 4019209 A1 & FR 2648624 A	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 7-321357 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 08 December 1995 (08.12.1995), fig. 1, 3 (Family: none)	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 2008-124381 A (Sharp Corp.), 29 May 2008 (29.05.2008), fig. 1 (Family: none)	1-4, 11-12, 23-26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/003721

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention in claims 1 - 3 does not have a special technical feature in the meaning of the second sentence of PCT Rule 13.2 in the light of each of the document 1 (JP 4-225282 A), the document 2 (JP 2001-93849 A) and the document 3 (JP 62-176160 A). Claim 4 is considered to have a special technical feature at the time of issuance of order for payment of additional fee, and therefore, it is recognized that "six" inventions are involved in the present application.

(continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1 - 4, 11 - 12, 23 - 26

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/003721

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

(Invention 1) claims 1 - 4, 11 - 12, 23 - 26

(Invention 2) claims 5 - 6 (re-connected suppression layer)

(Invention 3) claim 7 (tunnel junction layer)

(Invention 4) claim 8 (distribution of composition in a direction parallel to a substrate)

(Invention 5) claims 9 - 10 (change of the ratio of silicon in a layer thickness direction)

(Invention 6) claims 13 - 22 (device including a light-converging unit)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. H01L31/04(2006.01)i, H01L31/052(2006.01)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. H01L31/04, H01L31/052

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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
X	JP 4-225282 A（キヤノン株式会社）1992.08.14, 段落【0058】，【実施例】欄	1-3, 11-12, 23-26
Y	& US 5403771 A & WO 1992/012542 A1	4
X	JP 2001-93849 A（キヤノン株式会社）2001.04.06, 図 1-2, 8, 10	1-3, 11-12, 23-26
Y	（ファミリーなし）	4

☒ 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

2 3 . 0 8 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

3 1 . 0 8 . 2 0 1 0

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

加藤 昌伸

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

2 K

3 7 0 0

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
X	JP 62-176160 A (日本電信電話株式会社) 1987. 08. 01, 〔実施例〕欄, 図 2	1-3, 11-12, 23-26
Y	(ファミリーなし)	4
Y	JP 1-94677 A (大同特殊鋼株式会社) 1989. 04. 13, 実施例欄, 図面 (ファミリーなし)	4
A	JP 62-51272 A (シャープ株式会社) 1987. 03. 05, 第 1 図 (ファミリーなし)	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 62-102567 A (シャープ株式会社) 1987. 05. 13, 第 1 図 (ファミリーなし)	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 2-218174 A (三菱電機株式会社) 1990. 08. 30, 第 1-3 図 & US 5009719 A & DE 4004559 A	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 3-94477 A (キヤノン株式会社) 1991. 04. 19, 第 2 図 & US 5094697 A & DE 4019209 A1 & FR 2648624 A	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 7-321357 A (三洋電機株式会社) 1995. 12. 08, 図 1, 3 (ファミリーなし)	1-4, 11-12, 23-26
A	JP 2008-124381 A (シャープ株式会社) 2008. 05. 29, 図 1 (ファミリーなし)	1-4, 11-12, 23-26

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求項1-3に係る発明は、文献1（JP 4-225282 A）、文献2（JP 2001-93849 A）、文献3（JP 62-176160 A）のそれぞれからみて、PCT規則13.2の第2文の意味における特別な技術的特徴を有していない。手数料の追加納付命令時点において、請求項4に特別な技術的特徴が認められたため、本願には、「6」の発明が含まれるものと認められる。

（発明1）請求項1-4, 11-12, 23-26

（発明2）請求項5-6（再結合抑制層）

（発明3）請求項7（トンネル接合層）

（発明4）請求項8（基板に平行な方向に組成分布）

（発明5）請求項9-10（層厚方向にシリコンの割合が変化）

（発明6）請求項13-22（集光部を有するデバイス）

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

請求項 1-4, 11-12, 23-26

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。