

(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
2024年12月5日(05.12.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/247239 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 31/10 (2006.01) H01L 27/146 (2006.01)

ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/020549

(22) 国際出願日: 2023年6月1日(01.06.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社(SONY SEMICONDUCTOR SOLUTIONS CORPORATION) [JP/JP]; 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 Kanagawa (JP).

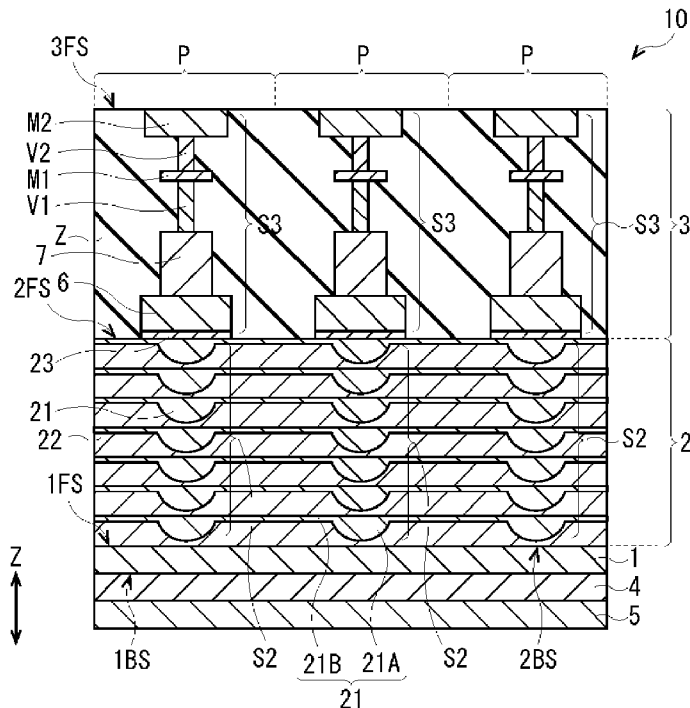
(74) 代理人: 弁理士法人つばさ国際特許事務所 (TSUBASA PATENT PROFESSIONAL CORPORATION); 〒1600022 東京都新宿区新宿1丁目15番9号さわだビル3階 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 田尻 祐介(TAJIRI, Yusuke); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,

(54) Title: LIGHT DETECTION ELEMENT AND IMAGING ELEMENT

(54) 発明の名称: 光検出素子および撮像素子



(57) Abstract: The present invention provides a light detection element (10) which has good light detection performance. A light detection element (10) according to an embodiment of the present disclosure comprises: a first conductivity type semiconductor layer (1) that is formed of a first conductivity type semiconductor; a second conductivity type semiconductor layer (6) that is formed of a second conductivity type semiconductor; a photoelectric conversion layer (2) that is sandwiched between the first conductivity type semiconductor layer (1) and the second conductivity type semiconductor

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (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, ME, 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：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

layer (6); and an electrode layer (7) that is positioned on the opposite side from the photoelectric conversion layer (2) when viewed from the second conductivity type semiconductor layer (6), and is connected to the second conductivity type semiconductor layer (6). The photoelectric conversion layer (2) is a multilayer body (S2) which comprises: a semiconductor quantum dot layer (21) that contains quantum dots of a first semiconductor which has a first band gap; and a semiconductor spacer layer (22) that contains a second semiconductor which has a second band gap that is larger than the first band gap.

(57) 要約：良好な光検出性能を有する光検出素子（10）を提供する。本開示の一実施形態の光検出素子（10）は、第1導電型半導体からなる第1導電型半導体層（1）と、第2導電型半導体からなる第2導電型半導体層（6）と、それら第1導電型半導体層（1）と第2導電型半導体層（6）との間に挟まれた光電変換層（2）と、第2導電型半導体層（6）から見て光電変換層（2）の反対側に位置すると共に第2導電型半導体層（6）と接続された電極層（7）とを有する。ここで光電変換層（2）は、第1のバンドギャップを有する第1半導体の量子ドットを含む半導体量子ドット層（21）と、第1のバンドギャップよりも大きな第2のバンドギャップを有する第2半導体を含む半導体スペーサ層（22）とを有する積層体（S2）である。

明 細 書

発明の名称：光検出素子および撮像素子

技術分野

[0001] 本開示は、光検出素子および撮像素子に関する。

背景技術

[0002] 隣り合う画素の間に拡散領域を設けることで画素分離を行うようにした撮像素子が提案されている（特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第2018／212175号

発明の概要

[0004] 光検出素子では、光検出性能を向上させることが望ましい。

[0005] よって、良好な光検出性能を有する光検出素子を提供することが望まれる。

[0006] 本開示の一実施形態の光検出素子は、第1導電型半導体からなる第1導電型半導体層と、第2導電型半導体からなる第2導電型半導体層と、それら第1導電型半導体層と第2導電型半導体層との間に挟まれた光電変換層と、第2導電型半導体層から見て光電変換層の反対側に位置すると共に第2導電型半導体層と接続された電極層とを有する。ここで光電変換層は、第1のバンドギャップを有する第1半導体の量子ドットを含む半導体量子ドット層と、第1のバンドギャップよりも大きな第2のバンドギャップを有する第2半導体を含む半導体スペーサ層とを有する積層体である。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、本開示の一実施の形態に係る光検出素子の概略構成を表す断面図である。

[図2]図2は、図1に示した光電変換層の平面構成を模式的に表す平面図である。

[図3A]図3 Aは、図1に示した光検出素子の製造方法の一工程を模式的に表す断面図である。

[図3B]図3 Bは、図3 Aに続く工程を模式的に表す断面図である。

[図3C]図3 Cは、図3 Bに続く工程を模式的に表す断面図である。

[図3D]図3 Dは、図3 Cに続く工程を模式的に表す断面図である。

[図3E]図3 Eは、図3 Dに続く工程を模式的に表す断面図である。

[図3F]図3 Fは、図3 Eに続く工程を模式的に表す断面図である。

[図4A]図4 Aは、図1に示した光検出素子におけるポテンシャルを表すと共に赤外光が入射したときの挙動を示す模式図である。

[図4B]図4 Bは、図1に示した光検出素子におけるポテンシャルを表すと共に赤外光が入射したときの挙動を示す模式図である。

[図5A]図5 Aは、本開示の第1変形例に係る光検出素子の概略構成を表す断面図である。

[図5B]図5 Bは、図5 Aに示した光検出素子におけるポテンシャルを表すと共に赤外光および可視光が入射したときの挙動を示す模式図である。

[図6A]図6 Aは、本開示の第2変形例に係る光検出素子の概略構成を表す断面図である。

[図6B]図6 Bは、図6 Aに示した光電変換層の平面構成を模式的に表す平面図である。

[図7]図7は、本開示の第3変形例に係る光検出素子の概略構成を表す断面図である。

[図8A]図8 Aは、本開示の第4変形例に係る光検出素子の概略構成を表す断面図である。

[図8B]図8 Bは、図8 Aに示した光検出素子におけるポテンシャルを表すと共に赤外光および可視光が入射したときの挙動を示す模式図である。

[図9]図9は、図1に示した光検出素子を有する撮像素子の概略構成を表す図である。

[図10]図10は、図9に示した撮像素子を適用した電子機器の概略構成を表

す図である。

[図11]図 1 1 は、車両制御システムの概略的な構成例を示すブロック図である。

[図12]図 1 2 は、撮像部の設置位置の一例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、本開示の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、説明は以下の順序で行う。

1. 一実施の形態
2. 変形例
 - 2-1. 変形例 1
 - 2-2. 変形例 2
 - 2-3. 変形例 3
 - 2-4. 変形例 4
3. 適用例 1
4. 適用例 2
5. 移動体への応用例

[0009] < 実施の形態 >

[光検出素子 10 の構成]

図 1 は、本開示の一実施の形態に係る光検出素子 10 の断面構成例を模式的に表した断面図である。光検出素子 10 は、入射する光を検出可能な素子である。光検出素子 10 は、光電変換層 2 をそれぞれ有する複数の画素 P を有し、入射した光を画素 P ごとに光電変換して信号を生成するように構成される。光検出素子 10 は、イメージセンサ、測距センサ等に適用され得る。

[0010] 光検出素子 10 は、第 1 導電型半導体層 1 と、光電変換層 2 と、多層配線層 3 とが順に積層された積層構造体を有している。本明細書では、この積層構造体の積層方向を Z 方向とする。光電変換層 2 は、第 1 導電型半導体層 1 の表面 1 F S に設けられている。第 1 導電型半導体層 1 の裏面 1 B S には、透明電極層 4 と、保護膜 5 とが順に設けられている。光検出素子 10 では、

保護膜 5 に照射された光が透明電極層 4 と第 1 導電型半導体層 1 とを順に透過して光電変換層 2 に入射するようになっている。

[0011] (第 1 導電型半導体層 1)

第 1 導電型半導体層 1 は、光電変換層 2 の光入射側に設けられている。第 1 導電型半導体層 1 は、例えば、全ての画素 P に共通して設けられている。第 1 導電型半導体層 1 は、光電変換層 2 と透明電極層 4 との間に設けられている。第 1 導電型半導体層 1 の表面 1 F S は光電変換層 2 と接しており、第 1 導電型半導体層 1 の裏面 1 B S は透明電極層 4 と接している。第 1 導電型半導体層 1 は、透明電極層 4 から排出される電荷が移動する領域であり、例えば、n 型の不純物を含む化合物半導体により構成されている。第 1 導電型半導体層 1 の構成材料としては、例えば、第 1 導電型半導体として n 型の InP (インジウムリン) を用いることができる。第 1 導電型半導体層 1 と光電変換層 2 との間には他の層が介在していてもよい。第 1 導電型半導体層 1 と光電変換層 2 との間に介在する層の材料としては、例えば、 InAlAs , Ge , Si , GaAs および InP 等の半導体材料が挙げられるが、第 1 導電型半導体層 1 と光電変換層 2 との間で格子整合する材料を選択することが好ましい。

[0012] (光電変換層 2)

光電変換層 2 は、所定の波長の光 (例えば、赤外領域の波長の光) を吸収して、電荷 (電子または正孔) を発生させるものである。光電変換層 2 は、半導体量子ドット層 2 1 と、半導体スペーサ層 2 2 とを有する積層体 S 2 を有する。光電変換層 2 の積層体 S 2 では、Z 方向において半導体量子ドット層 2 1 と半導体スペーサ層 2 2 とが交互に複数回繰り返し積層されている。図 1 に示した光検出素子 1 0 の構成例では、共通に設けられた光電変換層 2 に複数の積層体 S 2 が設けられている。具体的には、光検出素子 1 0 の構成例では、複数の画素 P のそれぞれが 1 つの積層体 S 2 を含んでいる。図 2 は、光電変換層 2 の平面構成を模式的に表す平面図である。半導体量子ドット層 2 1 は、厚肉部分 2 1 A と、厚肉部分 2 1 A よりも厚みの薄い薄肉部分 2

1 Bとを含んでいる。図1に示した例では、厚肉部分21Aは画素Pごとに1つつ離散的に設けられている。薄肉部分21Bは、Z方向に直交する面に沿って延在しており、複数の画素Pに対して共通に設けられている。積層体S2は、半導体量子ドット層21のうち薄肉部分21Bよりも厚みの大きな厚肉部分21Aと、半導体スペーサ層22とがZ方向に交互に複数回繰り返し積層されたものである。図2に示したように、複数の積層体S2は、Z方向と直交する面内方向において互いに分離されている。図1および図2に示した構成例では、複数の画素Pに対して共通に設けられた一の半導体スペーサ層22に、複数の厚肉部分21Aが埋設された状態となっている。但し、光電変換層2の表面2FSには、各積層体S2の最上層の半導体量子ドット層21が露出している。

[0013] 半導体量子ドット層21は、第1のバンドギャップを有する第1半導体の量子ドットを複数含んでいる。複数の量子ドットの各々は、3次元的に微小な（数nm程度の径を有する）半導体からなり、電荷を捕捉しやすい性質を有する。半導体スペーサ層22は、第1半導体の第1のバンドギャップよりも大きな第2のバンドギャップを有する第2半導体を含んでいる。半導体量子ドット層21を構成する第1半導体の量子ドットとしては、赤外線を吸収する化合物半導体、例えばInAsを用いることができる。また、半導体スペーサ層22を構成する第2半導体としては、InPやGaAsを用いることができる。

[0014] 半導体スペーサ層22は、Z方向において、電荷のトンネリングが可能な厚さを有する。半導体スペーサ層22は、最も薄い部分において例えば1nm以上3nm以下の厚さを有する。

[0015] また、半導体スペーサ層22を構成する第2半導体は、半導体量子ドット層21を構成する第1半導体の格子定数と、第1導電型半導体層1を構成する第1導電型半導体の格子定数と同じ格子定数を有するとよい。さらに、半導体スペーサ層22を構成する第2半導体は、半導体量子ドット層21を構成する第1半導体の格子定数と、後出の第2導電型半導体層6の格子定数と

同じ格子定数を有するとよい。

[0016] (多層配線層 3)

多層配線層 3 は、第 2 導電型半導体層 6 と、対向電極 7 と、ビア V 1, V 2 と、配線層 M 1, M 2 とを有している。図 1 の光検出素子 10 の構成例では、複数の画素 P のそれぞれが、光電変換層 2 の側から順に積層された第 2 導電型半導体層 6 と対向電極 7 とビア V 1 と配線層 M 1 とビア V 2 と配線層 M 2 との積層体 S 3 を有している。複数の積層体 S 3 は、絶縁層 Z に埋設されている。絶縁膜 Z は、例えば、無機絶縁材料により構成されている。この無機絶縁材料としては、例えば、窒化シリコン (SiN), 酸化アルミニウム (Al₂O₃), 酸化ケイ素 (SiO₂) および酸化ハフニウム (HfO₂) 等が挙げられる。複数の積層体 S 3 のそれぞれは、第 2 導電型半導体層 6 と光電変換層 2 の最上層の半導体量子ドット層 2 1 との間に、半導体スペーサ層 2 3 をさらに含んでいる。半導体スペーサ層 2 3 は、例えば半導体スペーサ層 2 2 を構成する第 2 半導体により構成することができる。さらに、半導体スペーサ層 2 3 は、Z 方向において、電荷のトンネリングが可能な厚さを有する。半導体スペーサ層 2 3 は、最も薄い部分において例えば 1 nm 以上 3 nm 以下の厚さを有する。

[0017] 図 1 の光検出素子 10 の構成例では、一の第 1 導電型半導体層 1 に対し、互いに分離された複数の第 2 導電型半導体層 6 が設けられている。複数の対向電極 7 が複数の第 2 導電型半導体層 6 のそれぞれに対応して設けられており、複数の対向電極 7 のそれぞれと複数の第 2 導電型半導体層 6 のそれぞれとが互いに電氣的に接続されている。第 2 導電型半導体層 6 と対向電極 7 とビア V 1 と配線層 M 1 とビア V 2 と配線層 M 2 とは、互いに電氣的に接続されている。配線層 M 2 は、多層配線層 3 の表面 3 F S に露出しており、外部との接続端子となっている。ビア V 1, V 2 および配線層 M 1, M 2 は、例えば Cu (銅) などの高導電性材料により構成され得る。

[0018] 第 2 導電型半導体層 6 は、画素 P ごとに互いに離間して設けられている。第 2 導電型半導体層 6 は、光電変換層 2 で発生した電荷が移動する領域であ

り、例えば、p型の不純物を含む領域（p型不純物領域）である。第2導電型半導体層6の構成材料としては、例えば、第2導電型半導体としてp型のInP（インジウムリン）を用いることができる。第1導電型半導体層1を構成する第1導電型半導体のバンドギャップおよび第2導電型半導体層6を構成する第2導電型半導体のバンドギャップは、いずれも、半導体量子ドット層21の量子ドットを構成する第1半導体が有する第1のバンドギャップよりも大きいとよい。

[0019] 第2電極としての対向電極7は、光電変換層2で発生した電荷（正孔または電子）を読みだすための電圧が供給される読出電極である。対向電極7は、第2導電型半導体層6を挟んで光電変換層2の表面2FSに対向するように画素Pごとに設けられている。すなわち、対向電極7は、第2導電型半導体層6から見て光電変換層2の反対側に位置する。対向電極7は、例えばビアV1、V2および配線層M1、M2などを介して、信号読み出しを行うための画素回路に接続されている。対向電極7は、表面2FSに露出した半導体量子ドット層21に、半導体スペーサ層22を介して接続されている。対向電極7の平面形状は、例えば四角形状である。隣り合う対向電極7同士の間には、絶縁層Zが充填されている。

[0020] 対向電極7は、例えば、Ti（チタン）、W（タングステン）、TiN（窒化チタン）、Pt（白金）、Au（金）、Cu（銅）、Ge（ゲルマニウム）、Pd（パラジウム）、Zn（亜鉛）、Ni（ニッケル）、In（インジウム）およびAl（アルミニウム）のうちのいずれかの単体、またはそれらのうちの少なくとも1種を含む合金により構成されている。対向電極7は、このような構成材料の単膜であってもよく、あるいは、2層以上からなる積層膜であってもよい。

[0021] （透明電極層4）

第1電極としての透明電極層4は、例えば各画素Pに共通の電極として、第1導電型半導体層1を介して光電変換層2の裏面2BS（光入射面）の全体を覆うように設けられている。透明電極層4は、光電変換層2で発生した

電荷のうち、信号電荷として用いられない電荷を排出するためのものである。例えば、電子が信号電荷として対向電極 7 から読み出される場合には、透明電極層 4 を通じて例えば正孔を排出することができる。透明電極層 4 は、赤外線などの入射光を透過可能な透明導電膜により構成されており、例えば波長 $1.6 \mu\text{m}$ (1600 nm) の光に対して 50% 以上の透過率を有している。透明電極層 4 の構成材料としては、例えば、ITO (Indium Tin Oxide) または ITiO ($\text{In}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$) 等を用いることができる。

[0022] (保護膜 5)

保護膜 5 は、透明電極層 4 や第 1 導電型半導体層 1、光電変換層 2などを物理的および化学的に保護するパッシベーション膜である。保護膜 5 は、赤外線などの入射光を透過可能な透明樹脂により構成される。

[0023] [光検出素子 10 の製造方法]

光検出素子 10 は、例えば次のようにして製造することができる。図 3 A ~ 図 3 F は、光検出素子 10 の製造工程を工程順に表したものである。

[0024] まず、図 3 A に示したように、化合物半導体の積層体 S 11 を形成する。具体的には、例えば、InP からなる半導体基板 11 を用意したのち、半導体基板 11 に、例えば p 型の InP からなる第 2 導電型半導体層 6 を形成する。次に、第 2 導電型半導体層 6 を覆うように半導体スペーサ層 23 を形成する。さらに、InAs からなる半導体量子ドット層 21 と InP もしくは GaAs からなる半導体スペーサ層 22 とを交互積層することで光電変換層 2 を得る。そののち、光電変換層 2 を覆うように、n 型の InP からなる第 1 導電型半導体層 1 を積層することで、積層体 S 11 を得る。その際、1 つの画素 P となる領域ごとに 1 つの積層体 S 2 を形成するようにする。積層体 S 11 は、例えば、MBE (Molecular Beam Epitaxy) およびマイグレーション・エンハンスド・エピタキシー (MEE) 法等のエピタキシー法で形成することができる。積層体 S 11 は、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法、ハロゲンが輸送あるいは反応に寄与するハイドライド気相成長法 (HVPE 法)、ALD (Atomic Layer Deposition) 法または

プラズマアシステッド物理的气相成長法（PPD法）等の方法により形成するようにしてもよい。さらに、第1導電型半導体層1の裏面1BSに、接着層12Aを塗布する。

[0025] 次に、図3Bに示したように、図3Aに示した積層体S11を上下反転させ、接着層12を介してシリコン基板13に接着する。具体的には、シリコン基板13の表面に接着層12Bを形成したのち、接着層12Aと接着層12Bとを対向させてそれらを接合することで、一体の接着層12を形成する。

[0026] そののち、積層体S11のうち、エッチング処理により半導体基板11を全て除去すると共に、第2導電型半導体層6および半導体スペーサ層23の各々を選択的に除去することで、図3Cに示したように半導体スペーサ層23と第2導電型半導体層6との積層体を複数形成する。その際、1つの画素Pとなる領域ごとに1つの半導体スペーサ層23と第2導電型半導体層6との積層体を形成するようにする。

[0027] 次に、図3Dに示したように、複数の第2導電型半導体層6の上に対向電極7をそれぞれ形成する。

[0028] 次に、図3Eに示したように、複数の対向電極7の上に、絶縁層Zに埋設されるビアV1、配線層M1、ビアV2、配線層M2をそれぞれ形成する。その際、読み出し回路を含む回路基板と別途貼り合わせるようにしてもよい。

[0029] 最後に、図3Fに示したように積層体S11からシリコン基板13を剥離し、接着層12を除去することで第1導電型半導体層1の裏面1BSを露出させる。そののち、裏面1BSを覆うように透明電極層4と保護膜5とを順次積層形成する。これにより、図1に示した光検出素子10が完成する。

[0030] [光検出素子10の動作]

光検出素子10では、保護膜5と透明電極層4とを介して光電変換層2に光（例えば赤外領域の波長の光）が入射し、光電変換層2に入射した光が光電変換層2において吸収される。これにより、光電変換層2では正孔（ホー

ル) および電子の対が発生、すなわち光電変換が生じる。このとき、例えば対向電極 7 に所定の電圧が印加されると、光電変換層 2 に電位勾配が生じ、発生した電荷のうち一方の電荷が、信号電荷として第 2 導電型半導体層 6 に移動したのち第 2 導電型半導体層 6 から対向電極 7 へ収集される。この信号電荷が、多層配線層 3 の読み出し回路によって読み出される。

[0031] [光検出素子 10 の作用・効果]

本開示の一実施形態の光検出素子 10 では、第 1 導電型半導体層 1 と第 2 導電型半導体層 6 との間に、半導体量子ドット層 2 1 と半導体スペーサ層 2 2 とを有する積層体 S 2 を含む光電変換層 2 が挟まれている。このため、第 1 導電型半導体層 1 を透過した光が半導体量子ドット層 2 1 に入射することで生成される電荷は、半導体スペーサ層 2 2 を通り抜けて第 2 導電型半導体層 6 へ到達し易くなる。

[0032] 図 4 A および図 4 B は、図 1 に示した光検出素子 10 におけるポテンシャルを表す模式図である。図 4 A は、赤外光が光電変換層 2 に入射したときの電荷の挙動を表し、図 4 B は、可視光が光電変換層 2 に入射したときの電荷の挙動を表している。図 4 A に示したように、赤外光が光電変換層 2 に入射すると、半導体量子ドット層 2 1 において電荷（正孔および電子）が発生する。発生した正孔および電子は、半導体量子ドット層 2 1 のポテンシャルよりも高いポテンシャルを有する半導体スペーサ層 2 2 をトンネリングし、正孔は例えば第 2 導電型半導体層 6 へ到達し、電子は第 1 導電型半導体層 1 へ到達する。また、図 4 B に示したように、可視光が光電変換層 2 に入射すると、半導体スペーサ層 2 2 において電荷（正孔および電子）が発生する。発生した正孔および電子は、半導体スペーサ層 2 2 のポテンシャルよりも低いポテンシャルを有する半導体量子ドット層 2 1 へ移動したのち、半導体スペーサ層 2 2 をトンネリングし、正孔は例えば第 2 導電型半導体層 6 へ到達し、電子は第 1 導電型半導体層 1 へ到達する。このような電荷のトンネリングは、半導体スペーサ層 2 2 を挟んで積層された複数の半導体量子ドット層 2 1 の量子ドット同士が波動関数の染み出しによって電子的に結合した状態と

なり、いわゆるミニバンドが形成されることにより可能となる。特に、半導体スペーサ層 22 のうち最も薄い部分が 1 nm 以上 3 nm 以下の厚さを有すると、よりトンネリングが生じやすくなる。なお、半導体量子ドット層 21 を構成する第 1 半導体の格子定数と半導体スペーサ層 22 を構成する第 2 半導体の格子定数とが僅かに異なっていることにより、半導体量子ドット層 21 における微小な量子ドットが S K モードの自己形成により良好に形成される。

[0033] このように、光検出素子 10 では、画素 P ごとに設けられた積層体 S2 において、半導体量子ドット層 21 と半導体スペーサ層 22 との積層方向（Z 方向）に沿って電荷が移動することとなる。このため、ある画素 P の光電変換層 2 において生成された電荷が、その画素 P に隣接する他の画素 P に漏れることが抑制される。よって、クロストークの発生を防ぐことができ、良好な光検出性能を発揮することができる。

[0034] また、光検出素子 10 では、複数の画素 P の間に隔壁などの分離構造を設けなくても隣接する他の画素 P への電荷の漏れを防止できるので、光電変換層 2 を隙間なく設けることができる。よって、上述の画素間の分離構造を設ける場合と比較して、受光感度を高めることができる。

[0035] 以下、上記実施の形態の変形例および適用例について説明するが、以降の説明において上記実施の形態と同一構成部分については同一符号を付してその説明は適宜省略する。

[0036] < 変形例 1 >

図 5 A は、本開示の第 1 変形例に係る光検出素子 10 A の概略構成を模式的に表した断面図である。光検出素子 10 A では、第 2 導電型半導体層 6 の代わりに p 型の不純物拡散層 6 A を設けるようにしている。不純物拡散層 6 A は、光電変換層 2 の積層体 S2 の最上層に位置する半導体量子ドット層 21 と接している。光検出素子 10 A の構成は上記の点を除き、他は光検出素子 10 の構成と実質的に同じである。

[0037] 本変形例の光検出素子 10 A においても上記一実施の形態の光検出素子 1

0と同じ作用効果が期待できる。特に、光検出素子10Aでは、第2導電型半導体層としての不純物拡散層6Aが直接半導体量子ドット層21と接するようにしたので、図5Bに示したように、光検出素子10と比較して半導体量子ドット層21から対向電極7までの障壁が低くなるので、電荷（例えば正孔）が半導体量子ドット層21から対向電極7まで到達しやすくなる。よって、より感度が向上する。なお、図5Bは、図5Aに示した光検出素子10Aにおけるポテンシャルを表すと共に赤外光および可視光が入射したときの挙動を示す模式図である。

[0038] <変形例2>

図6Aは、本開示の第2変形例に係る光検出素子10Bの概略構成を模式的に表した断面図である。図6Bは、光検出素子10Bにおける光電変換層2Bの平面構成を模式的に表す平面図である。図6Aおよび図6Bに示したように、光検出素子10Bでは、複数の第2導電型半導体層6のそれぞれに対し、複数の積層体S2を設けるようにしている。光検出素子10Bの構成は上記の点を除き、他は光検出素子10の構成と実質的に同じである。なお、図6Aおよび図6Bでは、1つの画素Pにつき2行2列で配列された4つの積層体S2を設けるようにした場合を例示しているが、本開示はこれに限定されるものではない。1つの画素Pにつき2、3または5以上の積層体S2を配置するようにしてもよい。また、積層体S2のレイアウトは任意に選択可能である。

[0039] 本変形例の光検出素子10Bにおいても上記一実施の形態の光検出素子10と同じ作用効果が期待できる。特に、光検出素子10Bでは、1つの画素Pに対応する光電変換層2に複数の積層体S2を設けるようにしたので、光電変換層2で生成した電荷を量子ドットが捕獲する確率が向上する。そのため、クロストークの発生をより効果的に防ぐことができ、より良好な光検出性能を発揮することができる。

[0040] <変形例3>

図7は、本開示の第3変形例に係る光検出素子10Cの概略構成を模式的

に表した断面図である。図7に示したように、光検出素子10Cでは、光電変換層2の積層体S2を構成する複数の半導体スペーサ層22の一部を歪み緩和層8に置き換えるようにしている。光検出素子10Cの構成は上記の点を除き、他は光検出素子10の構成と実質的に同じである。歪み緩和層8の構成材料としては、半導体量子ドット層21の第1半導体の格子定数と、半導体スペーサ層22の第2半導体の格子定数との間の値の格子定数を有する半導体を用いられる。具体的には、歪み緩和層8の構成材料として、例えば半導体量子ドット層21の第1半導体の量子ドットがInAsであり、半導体スペーサ層22の第2半導体がGaAsであるとき、InGaAsを用いることができる。あるいは、歪み緩和層8の構成材料として、例えば半導体量子ドット層21の第1半導体の量子ドットがInAsであり、半導体スペーサ層22の第2半導体がInPであるとき、InGaAsであってインジウムの組成が53%より大きい半導体を用いることができる。

[0041] 本変形例の光検出素子10Cにおいても上記一実施の形態の光検出素子10と同じ作用効果が期待できる。特に、光検出素子10Cでは、光電変換層2に歪み緩和層8を挿入するようにしたので、光電変換層2における結晶性が向上し、暗電流の発生を抑制するなどの読み出し特性のさらなる改善を図ることができる。

[0042] <変形例4>

図8Aは、本開示の第4変形例に係る光検出素子10Dの概略構成を模式的に表した断面図である。図8Bは、図8Aに示した光検出素子10Dにおけるポテンシャルを表すと共に赤外光および可視光が入射したときの挙動を示す模式図である。図8Aに示したように、光検出素子10Dでは、第2導電型半導体層6と光電変換層2との間にバリア層9をさらに追加するようにしている。光検出素子10Dの構成は上記の点を除き、他は光検出素子10の構成と実質的に同じである。第1導電型半導体層1と第2導電型半導体層6との間に配置されたバリア層9は、正孔または電子のいずれかの通過を妨げる半導体層である。すなわち、バリア層9は読み出したい電荷の符号とは

反対の符号の電荷に対してのみ障壁となる層である。例えば正孔を対向電極 7 から読み出す場合、バリア層 9 は、伝導帯の底が半導体スペーサ層 22 のポテンシャルや半導体量子ドット層 21 のポテンシャルよりも十分に高く、価電子帯の頂上が半導体量子ドット層 21 のポテンシャルと同等である半導体材料が適用できる。また、信号電荷として電子を読み出す場合、バリア層 9 は価電子帯の頂上が半導体量子ドット層 21 のポテンシャルや半導体スペーサ層 22 のポテンシャルよりも十分に低く、伝導帯の底が半導体量子ドット層 21 のポテンシャルと同等である半導体材料が適用できる。例えば半導体量子ドット層 21 の第 1 半導体が InAs であって半導体スペーサ層 22 の第 2 半導体が GaAs である場合、または半導体量子ドット層 21 の第 1 半導体が InAs であって半導体スペーサ層 22 の第 2 半導体が InP である場合、 p 型の AlGaAs を、バリア層 9 を構成する半導体として用いることができる。

[0043] 本変形例の光検出素子 10D においても上記一実施の形態の光検出素子 10 と同じ作用効果が期待できる。特に、光検出素子 10D では、バリア層 9 を設けることにより、光電変換層 2 において生成される電子と正孔との再結合を抑制することができる。よって、光検出素子 10D では、光検出素子 10 と比較して光検出感度がより向上する。

[0044] <3. 適用例 1>

図 9 は、上記実施の形態等において説明した光検出素子 10（または、変形例 1～4 の光検出素子 10A～10D）を用いた撮像素子 100 の機能構成を表したものである。撮像素子 100 は、例えば赤外線イメージセンサであり、基板 20 上に例えば画素部 1a と、この画素部 1a を駆動する周辺回路部 230 とを有している。周辺回路部 230 は、例えば行走査部 231、水平選択部 233、列走査部 234 およびシステム制御部 232 を有している。

[0045] 画素部 1a は、例えば行列状に 2 次元配置された複数の画素 P を有している。この画素 P には、例えば画素行ごとに画素駆動線 L_{read} （例えば、行選

択線およびリセット制御線）が配線され、画素列ごとに垂直信号線L sigが配線されている。画素駆動線L readは、画素Pからの信号読み出しのための駆動信号を伝送するものである。画素駆動線L readの一端は、行走査部231の各行に対応した出力端に接続されている。

[0046] 行走査部231は、シフトレジスタやアドレスデコーダ等によって構成され、画素部1aの各画素Pを、例えば行単位で駆動する画素駆動部である。行走査部231によって選択走査された画素行の各画素Pから出力される信号は、垂直信号線L sigの各々を通して水平選択部233に供給される。水平選択部233は、垂直信号線L sigごとに設けられたアンプや水平選択スイッチ等によって構成されている。

[0047] 列走査部234は、シフトレジスタやアドレスデコーダ等によって構成され、水平選択部233の各水平選択スイッチを走査しつつ順番に駆動するものである。この列走査部234による選択走査により、垂直信号線L sigの各々を通して伝送される各画素の信号が順番に水平信号線235に出力され、当該水平信号線235を通して図示しない信号処理部等へ入力される。

[0048] システム制御部232は、外部から与えられるクロックや、動作モードを指令するデータ等を受け取り、また、撮像素子100の内部情報等のデータを出力するものである。システム制御部232はさらに、各種のタイミング信号を生成するタイミングジェネレータを有し、当該タイミングジェネレータで生成された各種のタイミング信号を基に行走査部231、水平選択部233および列走査部234等の駆動制御を行う。

[0049] <4. 適用例2>

上述の撮像素子100は、例えば赤外領域を撮像可能なカメラ等、様々なタイプの電子機器に適用することができる。図10に、その一例として、電子機器102（カメラ）の概略構成を示す。電子機器102は、例えば静止画または動画を撮影可能なカメラであり、撮像素子100と、光学系（光学レンズ）310と、シャッタ装置311と、撮像素子100およびシャッタ装置311を駆動する駆動部313と、信号処理部312とを有する。

[0050] 光学系310は、被写体からの像光（入射光）を撮像素子100へ導くものである。この光学系310は、複数の光学レンズから構成されていてもよい。シャッタ装置311は、撮像素子100への光照射期間および遮光期間を制御するものである。駆動部313は、撮像素子100の転送動作およびシャッタ装置311のシャッタ動作を制御するものである。信号処理部312は、撮像素子100から出力された信号に対し、各種の信号処理を行うものである。信号処理後の映像信号Doutは、メモリ等の記憶媒体に記憶されるか、あるいは、モニタ等へ出力される。

[0051] さらに、本実施の形態等において説明した光検出素子10（または、光検出素子10A～10D）は、下記の電子機器（カプセル内視鏡10100および車両等の移動体）にも適用することが可能である。

[0052] <5. 移動体への応用例>

本開示に係る技術（本技術）は、様々な製品へ応用することができる。例えば、本開示に係る技術は、自動車、電気自動車、ハイブリッド電気自動車、自動二輪車、自転車、パーソナルモビリティ、飛行機、ドローン、船舶、ロボット等のいずれかの種類の移動体に搭載される装置として実現されてもよい。

[0053] 図11は、本開示に係る技術が適用され得る移動体制御システムの一例である車両制御システムの概略的な構成例を示すブロック図である。

[0054] 車両制御システム12000は、通信ネットワーク12001を介して接続された複数の電子制御ユニットを備える。図11に示した例では、車両制御システム12000は、駆動系制御ユニット12010、ボディ系制御ユニット12020、車外情報検出ユニット12030、車内情報検出ユニット12040、及び統合制御ユニット12050を備える。また、統合制御ユニット12050の機能構成として、マイクロコンピュータ12051、音声画像出力部12052、及び車載ネットワークI/F（interface）12053が図示されている。

[0055] 駆動系制御ユニット12010は、各種プログラムにしたがって車両の駆

動系に関連する装置の動作を制御する。例えば、駆動系制御ユニット 12010 は、内燃機関又は駆動用モータ等の車両の駆動力を発生させるための駆動力発生装置、駆動力を車輪に伝達するための駆動力伝達機構、車両の舵角を調節するステアリング機構、及び、車両の制動力を発生させる制動装置等の制御装置として機能する。

[0056] ボディ系制御ユニット 12020 は、各種プログラムにしたがって車体に装備された各種装置の動作を制御する。例えば、ボディ系制御ユニット 12020 は、キーレスエントリシステム、スマートキーシステム、パワーウィンドウ装置、あるいは、ヘッドランプ、バックランプ、ブレーキランプ、ウinker又はフォグランプ等の各種ランプの制御装置として機能する。この場合、ボディ系制御ユニット 12020 には、鍵を代替する携帯機から発信される電波又は各種スイッチの信号が入力され得る。ボディ系制御ユニット 12020 は、これらの電波又は信号の入力を受け付け、車両のドアロック装置、パワーウィンドウ装置、ランプ等を制御する。

[0057] 車外情報検出ユニット 12030 は、車両制御システム 12000 を搭載した車両の外部の情報を検出する。例えば、車外情報検出ユニット 12030 には、撮像部 12031 が接続される。車外情報検出ユニット 12030 は、撮像部 12031 に車外の画像を撮像させるとともに、撮像された画像を受信する。車外情報検出ユニット 12030 は、受信した画像に基づいて、人、車、障害物、標識又は路面上の文字等の物体検出処理又は距離検出処理を行ってもよい。

[0058] 撮像部 12031 は、光を受光し、その光の受光量に応じた電気信号を出力する光センサである。撮像部 12031 は、電気信号を画像として出力することもできるし、測距の情報として出力することもできる。また、撮像部 12031 が受光する光は、可視光であっても良いし、赤外線等の非可視光であっても良い。

[0059] 車内情報検出ユニット 12040 は、車内の情報を検出する。車内情報検出ユニット 12040 には、例えば、運転者の状態を検出する運転者状態検

出部 12041 が接続される。運転者状態検出部 12041 は、例えば運転者を撮像するカメラを含み、車内情報検出ユニット 12040 は、運転者状態検出部 12041 から入力される検出情報に基づいて、運転者の疲労度合い又は集中度合いを算出してもよいし、運転者が居眠りをしていないかを判別してもよい。

[0060] マイクロコンピュータ 12051 は、車外情報検出ユニット 12030 又は車内情報検出ユニット 12040 で取得される車内外の情報に基づいて、駆動力発生装置、ステアリング機構又は制動装置の制御目標値を演算し、駆動系制御ユニット 12010 に対して制御指令を出力することができる。例えば、マイクロコンピュータ 12051 は、車両の衝突回避あるいは衝撃緩和、車間距離に基づく追従走行、車速維持走行、車両の衝突警告、又は車両のレーン逸脱警告等を含む A D A S (Advanced Driver Assistance System) の機能実現を目的とした協調制御を行うことができる。

[0061] また、マイクロコンピュータ 12051 は、車外情報検出ユニット 12030 又は車内情報検出ユニット 12040 で取得される車両の周囲の情報に基づいて駆動力発生装置、ステアリング機構又は制動装置等を制御することにより、運転者の操作に拠らずに自律的に走行する自動運転等を目的とした協調制御を行うことができる。

[0062] また、マイクロコンピュータ 12051 は、車外情報検出ユニット 12030 で取得される車外の情報に基づいて、ボディ系制御ユニット 12020 に対して制御指令を出力することができる。例えば、マイクロコンピュータ 12051 は、車外情報検出ユニット 12030 で検知した先行車又は対向車の位置に応じてヘッドランプを制御し、ハイビームをロービームに切り替える等の防眩を図ることを目的とした協調制御を行うことができる。

[0063] 音声画像出力部 12052 は、車両の搭乗者又は車外に対して、視覚的又は聴覚的に情報を通知することが可能な出力装置へ音声及び画像のうちの少なくとも一方の出力信号を送信する。図 14 の例では、出力装置として、オーディオスピーカ 12061、表示部 12062 及びインストルメントパネ

ル 1 2 0 6 3 が例示されている。表示部 1 2 0 6 2 は、例えば、オンボードディスプレイ及びヘッドアップディスプレイの少なくとも一つを含んでもよい。

[0064] 図 1 2 は、撮像部 1 2 0 3 1 の設置位置の例を示す図である。

[0065] 図 1 2 では、撮像部 1 2 0 3 1 として、撮像部 1 2 1 0 1, 1 2 1 0 2, 1 2 1 0 3, 1 2 1 0 4, 1 2 1 0 5 を有する。

[0066] 撮像部 1 2 1 0 1, 1 2 1 0 2, 1 2 1 0 3, 1 2 1 0 4, 1 2 1 0 5 は、例えば、車両 1 2 1 0 0 のフロントノーズ、サイドミラー、リアバンパ、バックドア及び車室内のフロントガラスの上部等の位置に設けられる。フロントノーズに備えられる撮像部 1 2 1 0 1 及び車室内のフロントガラスの上部に備えられる撮像部 1 2 1 0 5 は、主として車両 1 2 1 0 0 の前方の画像を取得する。サイドミラーに備えられる撮像部 1 2 1 0 2, 1 2 1 0 3 は、主として車両 1 2 1 0 0 の側方の画像を取得する。リアバンパ又はバックドアに備えられる撮像部 1 2 1 0 4 は、主として車両 1 2 1 0 0 の後方の画像を取得する。車室内のフロントガラスの上部に備えられる撮像部 1 2 1 0 5 は、主として先行車両又は、歩行者、障害物、信号機、交通標識又は車線等の検出に用いられる。

[0067] なお、図 1 2 には、撮像部 1 2 1 0 1 ないし 1 2 1 0 4 の撮影範囲の一例が示されている。撮像範囲 1 2 1 1 1 は、フロントノーズに設けられた撮像部 1 2 1 0 1 の撮像範囲を示し、撮像範囲 1 2 1 1 2, 1 2 1 1 3 は、それぞれサイドミラーに設けられた撮像部 1 2 1 0 2, 1 2 1 0 3 の撮像範囲を示し、撮像範囲 1 2 1 1 4 は、リアバンパ又はバックドアに設けられた撮像部 1 2 1 0 4 の撮像範囲を示す。例えば、撮像部 1 2 1 0 1 ないし 1 2 1 0 4 で撮像された画像データが重ね合わせられることにより、車両 1 2 1 0 0 を上方から見た俯瞰画像が得られる。

[0068] 撮像部 1 2 1 0 1 ないし 1 2 1 0 4 の少なくとも 1 つは、距離情報を取得する機能を有していてもよい。例えば、撮像部 1 2 1 0 1 ないし 1 2 1 0 4 の少なくとも 1 つは、複数の撮像素子からなるステレオカメラであってもよ

いし、位相差検出用の画素を有する撮像素子であってもよい。

[0069] 例えば、マイクロコンピュータ12051は、撮像部12101ないし12104から得られた距離情報を基に、撮像範囲12111ないし12114内における各立体物までの距離と、この距離の時間的变化（車両12100に対する相対速度）を求めることにより、特に車両12100の進行路上にある最も近い立体物で、車両12100と略同じ方向に所定の速度（例えば、0km/h以上）で走行する立体物を先行車として抽出することができる。さらに、マイクロコンピュータ12051は、先行車の手前に予め確保すべき車間距離を設定し、自動ブレーキ制御（追従停止制御も含む）や自動加速制御（追従発進制御も含む）等を行うことができる。このように運転者の操作に拠らずに自律的に走行する自動運転等を目的とした協調制御を行うことができる。

[0070] 例えば、マイクロコンピュータ12051は、撮像部12101ないし12104から得られた距離情報を元に、立体物に関する立体物データを、2輪車、普通車両、大型車両、歩行者、電柱等その他の立体物に分類して抽出し、障害物の自動回避に用いることができる。例えば、マイクロコンピュータ12051は、車両12100の周辺の障害物を、車両12100のドライバが視認可能な障害物と視認困難な障害物とに識別する。そして、マイクロコンピュータ12051は、各障害物との衝突の危険度を示す衝突リスクを判断し、衝突リスクが設定値以上で衝突可能性がある状況であるときには、オーディオスピーカ12061や表示部12062を介してドライバに警報を出力することや、駆動系制御ユニット12010を介して強制減速や回避操舵を行うことで、衝突回避のための運転支援を行うことができる。

[0071] 撮像部12101ないし12104の少なくとも1つは、赤外線を検出する赤外線カメラであってもよい。例えば、マイクロコンピュータ12051は、撮像部12101ないし12104の撮像画像中に歩行者が存在するかどうかを判定することで歩行者を認識することができる。かかる歩行者の認識は、例えば赤外線カメラとしての撮像部12101ないし12104の撮像

画像における特徴点を抽出する手順と、物体の輪郭を示す一連の特徴点にパターンマッチング処理を行って歩行者か否かを判別する手順によって行われる。マイクロコンピュータ 12051 が、撮像部 12101 ないし 12104 の撮像画像中に歩行者が存在すると判定し、歩行者を認識すると、音声画像出力部 12052 は、当該認識された歩行者に強調のための方形輪郭線を重畳表示するように、表示部 12062 を制御する。また、音声画像出力部 12052 は、歩行者を示すアイコン等を所望の位置に表示するように表示部 12062 を制御してもよい。

[0072] 以上、本開示に係る技術が適用され得る車両制御システムの一例について説明した。本開示に係る技術は、以上説明した構成のうち、例えば撮像部 12031 等に適用され得る。撮像部 12031 に本開示に係る技術を適用することにより、より見やすい撮影画像を得ることができるため、ドライバの疲労を軽減することが可能になる。

[0073] 以上、実施の形態および変形例を挙げて本技術を説明したが、本技術は上記実施の形態等に限定されるものではなく、種々変形が可能である。例えば、上記実施の形態等において説明した光検出素子の層構成は一例であり、更に他の層を備えていてもよい。また、各層の材料や厚みも一例であって、上述のものに限定されるものではない。

[0074] 本開示の一実施形態の光検出素子では、第 1 導電型半導体層と第 2 導電型半導体層との間に、半導体量子ドット層と半導体スペーサ層とを有する積層体を含む光電変換層が挟まれている。このため、第 1 導電型半導体層を透過した光が半導体量子ドット層に入射することで生成される電荷は、半導体量子ドット層と半導体スペーサ層との積層方向に沿って電荷が移動することとなる。したがって、ある画素の光電変換層において生成された電荷が、その画素に隣接する他の画素に漏れることが抑制される。よって、クロストークの発生を防ぐことができ、良好な光検出性能を発揮することができる。

[0075] なお、本明細書中に記載された効果はあくまで例示であってその記載に限定されるものではなく、他の効果があってもよい。また、本開示は以下のよ

うな構成をとることも可能である。

< 1 >

第 1 電極と、

前記第 1 電極に設けられ、第 1 導電型半導体からなる第 1 導電型半導体層と、

第 2 導電型半導体からなる第 2 導電型半導体層と、

前記第 1 導電型半導体層と前記第 2 導電型半導体層との間に挟まれた光電変換層と、

前記第 2 導電型半導体層から見て前記光電変換層の反対側に位置すると共に前記第 2 導電型半導体層と接続された第 2 電極と

を有し、

前記光電変換層は、第 1 のバンドギャップを有する第 1 半導体の量子ドットを含む半導体量子ドット層と、前記第 1 のバンドギャップよりも大きな第 2 のバンドギャップを有する第 2 半導体を含む半導体スペーサ層とを有する積層体である

光検出素子。

< 2 >

一の前記第 1 導電型半導体層に対し、互いに分離された複数の前記第 2 導電型半導体層が設けられ、

複数の前記第 2 電極が前記複数の第 2 導電型半導体層のそれぞれに対応して設けられ、

前記複数の第 2 電極のそれぞれと前記複数の第 2 導電型半導体層のそれぞれとが互いに電氣的に接続されている

上記< 1 >記載の光検出素子。

< 3 >

前記光電変換層は、前記半導体量子ドット層と前記半導体スペーサ層との積層方向と直交する面内方向において互いに分離された複数の前記積層体を含み、

前記複数の第2導電型半導体層のそれぞれに対し、1または複数の前記積層体が設けられている

上記<2>記載の光検出素子。

<4>

前記第1導電型半導体のバンドギャップおよび前記第2導電型半導体のバンドギャップは、いずれも前記第1のバンドギャップよりも大きい

上記<1>から<3>のいずれか1つに記載の光検出素子。

<5>

前記半導体スペーサ層の前記第2半導体は、前記半導体量子ドット層の前記第1半導体の格子定数と、前記第1導電型半導体の格子定数および前記第2導電型半導体の格子定数の双方と同じ格子定数を有する

上記<1>から<4>のいずれか1つに記載の光検出素子。

<6>

前記半導体スペーサ層のうちの最も薄い部分は、1nm以上3nm以下の厚さを有する

上記<1>から<5>のいずれか1つに記載の光検出素子。

<7>

前記第2導電型半導体層は、前記半導体量子ドット層と接する拡散層である

上記<1>から<6>のいずれか1つに記載の光検出素子。

<8>

前記光電変換層は、前記第1半導体の格子定数と前記第2半導体の格子定数との間の値の格子定数を有する第3半導体からなる追加半導体層をさらに有する

上記<1>から<7>のいずれか1つに記載の光検出素子。

<9>

前記第1導電型半導体層と前記第2導電型半導体層との間に配置され、正

孔または電子のいずれかの通過を妨げるバリア層をさらに有する

上記<1>から<8>のいずれか1つに記載の光検出素子。

<10>

前記第1半導体は、赤外線を吸収する化合物半導体である

請求項1に記載の光検出素子。

<11>

第1電極と、

前記第1電極に設けられ、第1導電型半導体からなる第1導電型半導体層と、

第2導電型半導体からなる第2導電型半導体層と、

前記第1導電型半導体層と前記第2導電型半導体層との間に挟まれた光電変換層と、

前記第2導電型半導体層から見て前記光電変換層の反対側に位置すると共に前記第2導電型半導体層と接続された第2電極と

を有し、

前記光電変換層は、第1のバンドギャップを有する第1半導体の量子ドットを含む半導体量子ドット層と、前記第1のバンドギャップよりも大きな第2のバンドギャップを有する第2半導体を含む半導体スペーサ層とを有する積層体である

撮像素子。

請求の範囲

[請求項1]

第1電極と、

前記第1電極に設けられ、第1導電型半導体からなる第1導電型半導体層と、

第2導電型半導体からなる第2導電型半導体層と、

前記第1導電型半導体層と前記第2導電型半導体層との間に挟まれた光電変換層と、

前記第2導電型半導体層から見て前記光電変換層の反対側に位置すると共に前記第2導電型半導体層と接続された第2電極と

を有し、

前記光電変換層は、第1のバンドギャップを有する第1半導体の量子ドットを含む半導体量子ドット層と、前記第1のバンドギャップよりも大きな第2のバンドギャップを有する第2半導体を含む半導体スペーサ層とを有する積層体である

光検出素子。

[請求項2]

一の前記第1導電型半導体層に対し、互いに分離された複数の前記第2導電型半導体層が設けられ、

複数の前記第2電極が前記複数の第2導電型半導体層のそれぞれに対応して設けられ、

前記複数の第2電極のそれぞれと前記複数の第2導電型半導体層のそれぞれとが互いに電氣的に接続されている

請求項1記載の光検出素子。

[請求項3]

前記光電変換層は、前記半導体量子ドット層と前記半導体スペーサ層との積層方向と直交する面内方向において互いに分離された複数の前記積層体を含み、

前記複数の第2導電型半導体層のそれぞれに対し、1または複数の前記積層体が設けられている

請求項2記載の光検出素子。

- [請求項4] 前記第1導電型半導体のバンドギャップおよび前記第2導電型半導体のバンドギャップは、いずれも前記第1のバンドギャップよりも大きい
- 請求項1記載の光検出素子。
- [請求項5] 前記半導体スペーサ層の前記第2半導体は、前記半導体量子ドット層の前記第1半導体の格子定数および前記第2導電型半導体の格子定数の双方と同じ格子定数を有する
- 請求項1記載の光検出素子。
- [請求項6] 前記半導体スペーサ層のうちの最も薄い部分は、1 nm以上3 nm以下の厚さを有する
- 請求項1記載の光検出素子。
- [請求項7] 前記第2導電型半導体層は、前記半導体量子ドット層と接する拡散層である
- 請求項1記載の光検出素子。
- [請求項8] 前記光電変換層は、前記第1半導体の格子定数と前記第2半導体の格子定数との間の値の格子定数を有する第3半導体からなる追加半導体層をさらに有する
- 請求項1記載の光検出素子。
- [請求項9] 前記第1導電型半導体層と前記第2導電型半導体層との間に配置され、正孔または電子のいずれかの通過を妨げるバリア層をさらに有する
- 請求項1記載の光検出素子。
- [請求項10] 前記第1半導体は、赤外線を吸収する化合物半導体である
- 請求項1記載の光検出素子。
- [請求項11] 第1電極と、
- 前記第1電極に設けられ、第1導電型半導体からなる第1導電型半導体層と、
- 第2導電型半導体からなる第2導電型半導体層と、

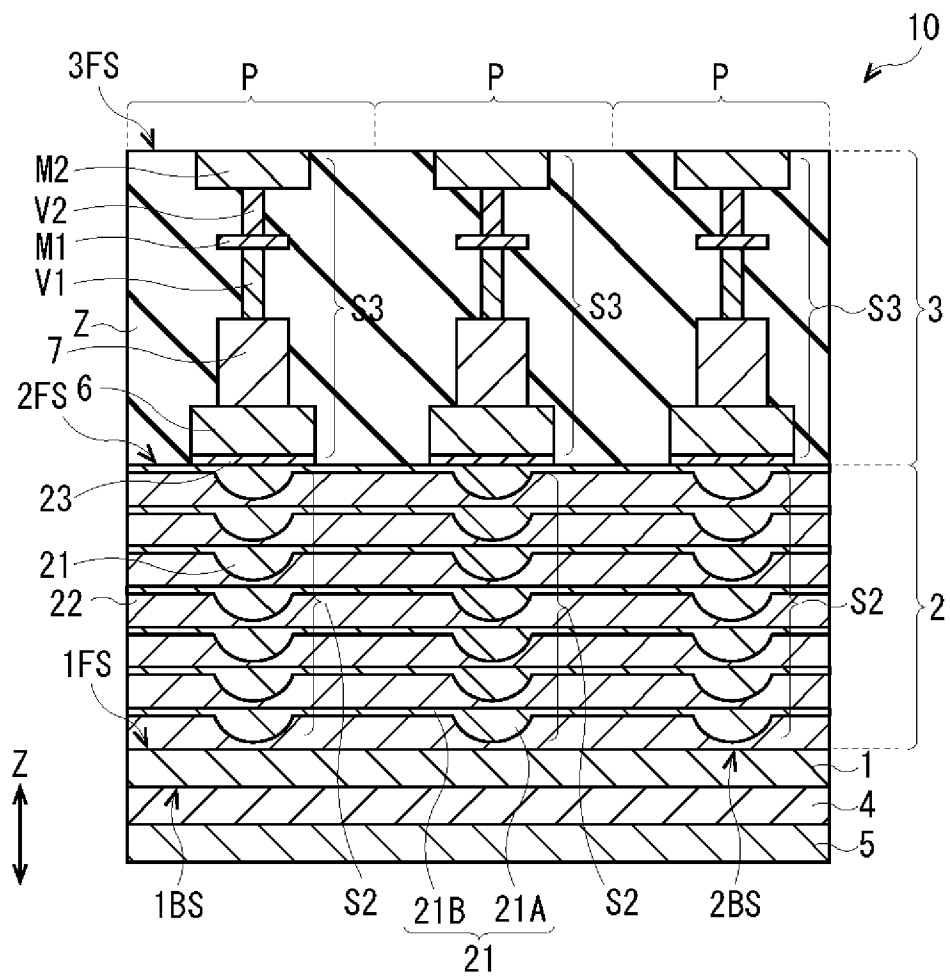
前記第 1 導電型半導体層と前記第 2 導電型半導体層との間に挟まれた光電変換層と、

前記第 2 導電型半導体層から見て前記光電変換層の反対側に位置すると共に前記第 2 導電型半導体層と接続された第 2 電極とを有し、

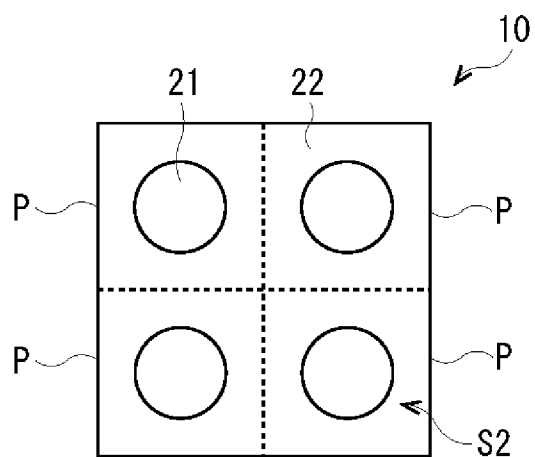
前記光電変換層は、第 1 のバンドギャップを有する第 1 半導体の量子ドットを含む半導体量子ドット層と、前記第 1 のバンドギャップよりも大きな第 2 のバンドギャップを有する第 2 半導体を含む半導体スペーサ層とを有する積層体である

撮像素子。

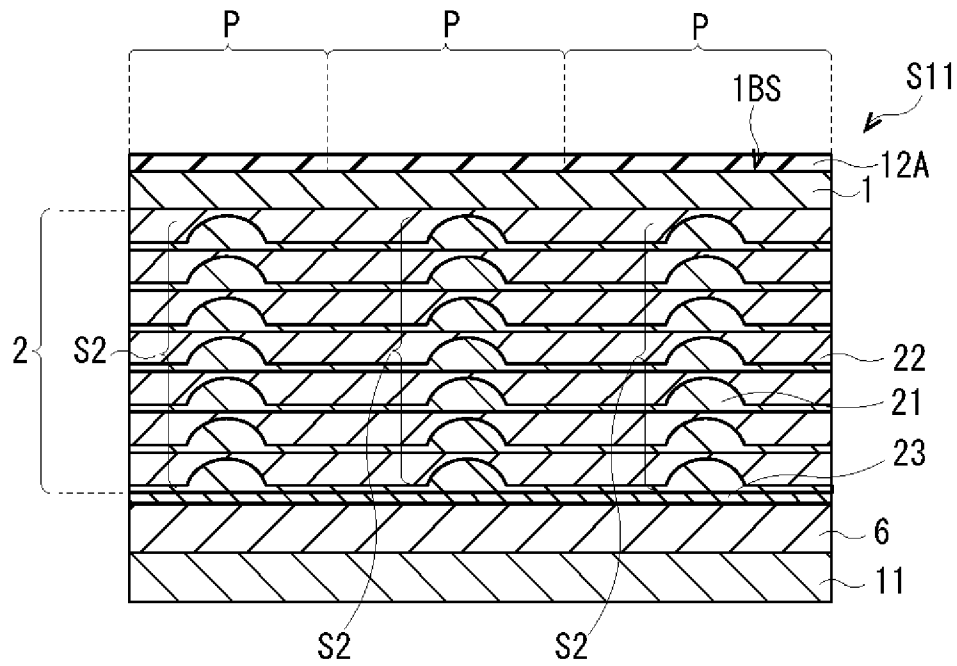
[図1]



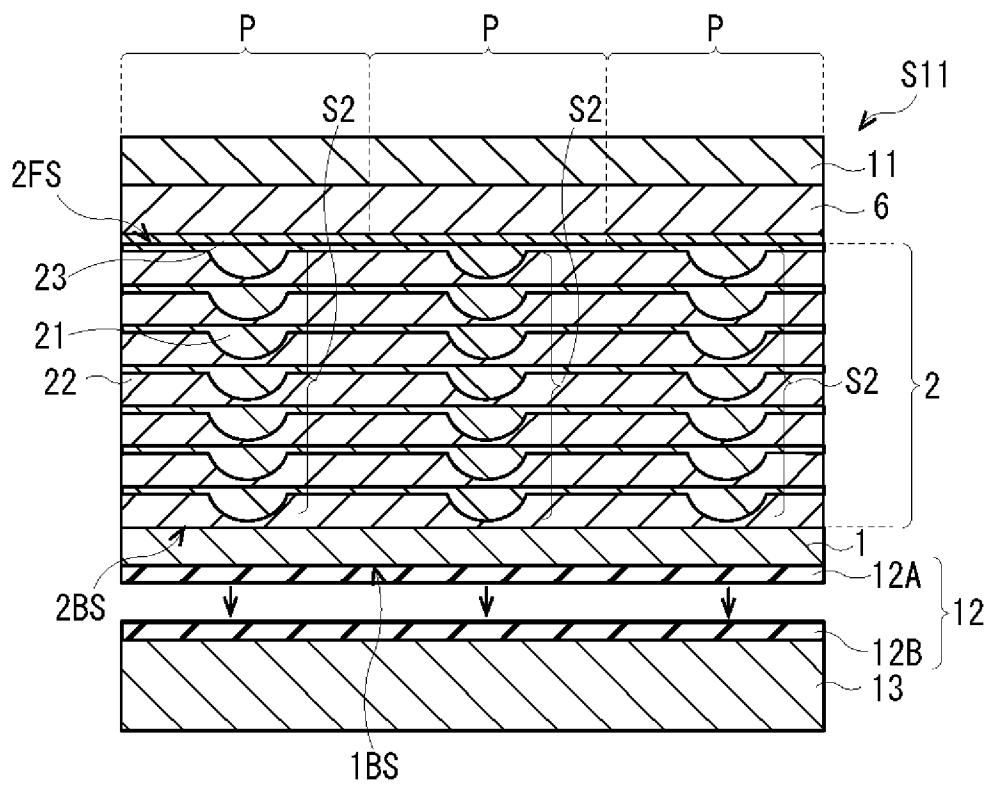
[図2]



[図3A]



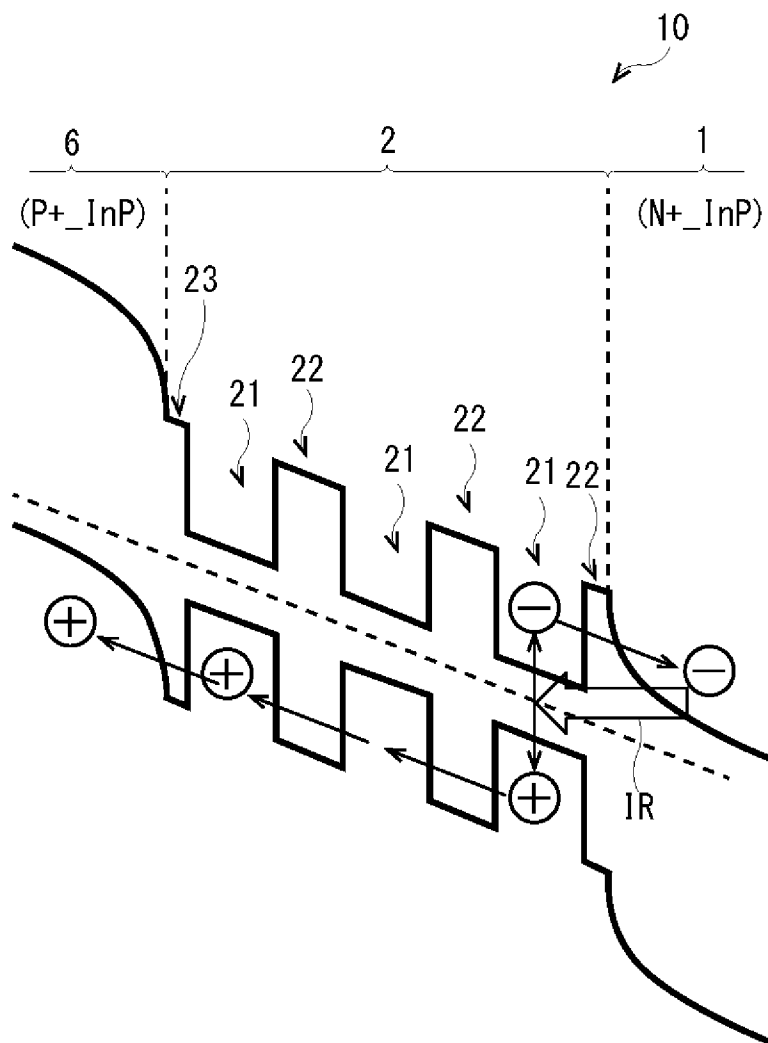
[図3B]



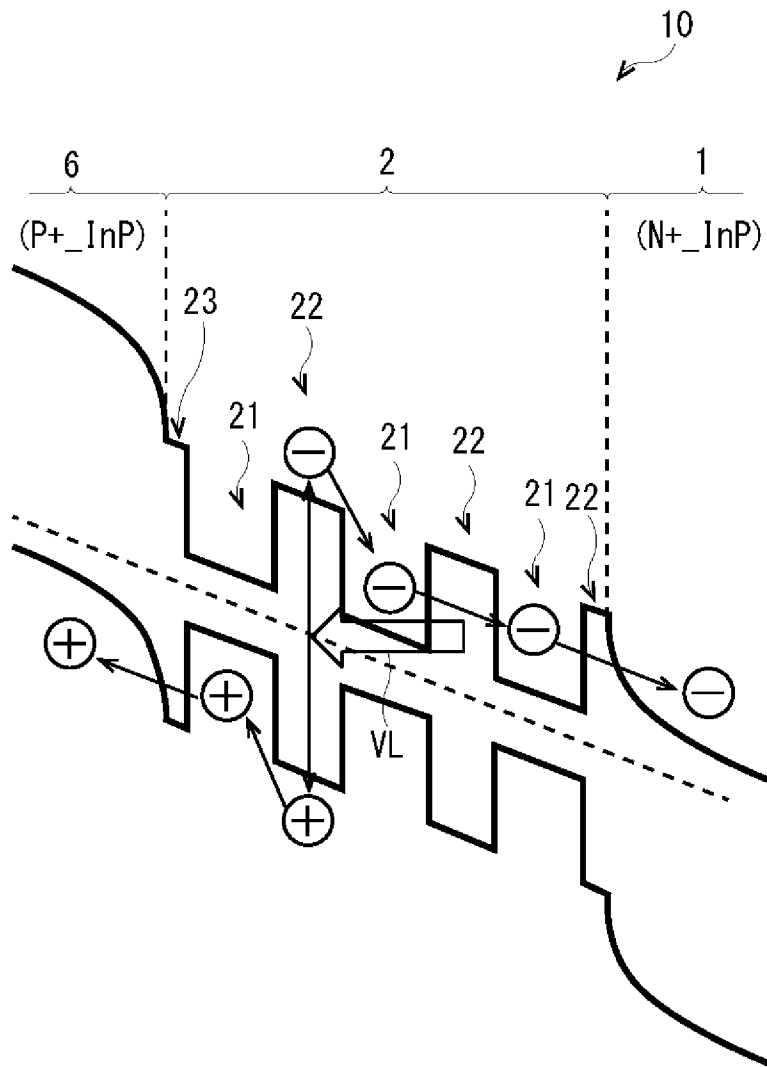
[illegible]

Figure 1 is a cross-sectional view of a semiconductor device 100. The device is divided into three main vertical sections: a left section labeled 'P', a middle section labeled 'P', and a right section labeled 'P' and '3FS'. The device is also divided into three horizontal regions: Region 1 (top), Region 2 (middle), and Region 3 (bottom). Region 1 includes layers 1BS, 1, 22, 21, and 23. Region 2 includes layers S2 and 2FS. Region 3 includes layers S3, Z, V1, M1, V2, and M2. The device is divided into three vertical sections: a left section labeled 'P', a middle section labeled 'P', and a right section labeled 'P' and '3FS'. Labels S11, S2, S3, and P indicate specific features and regions.

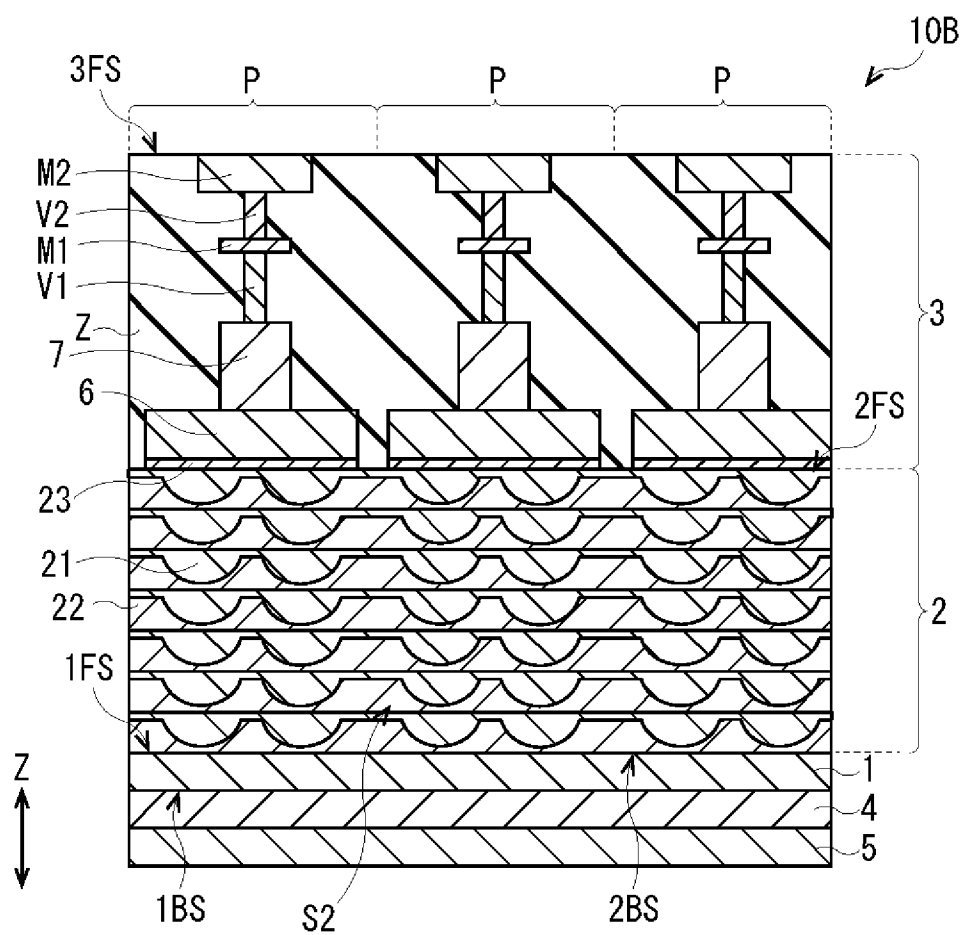
[図4A]



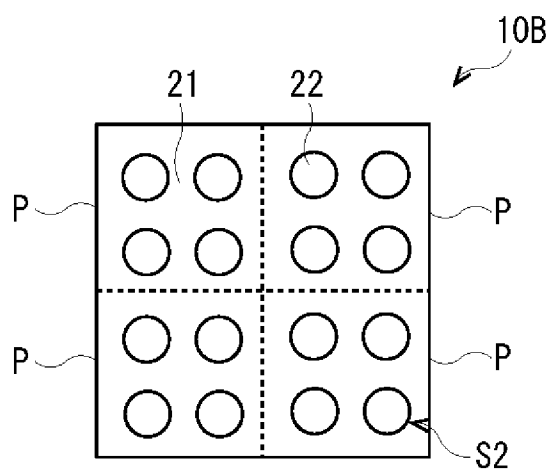
[図4B]



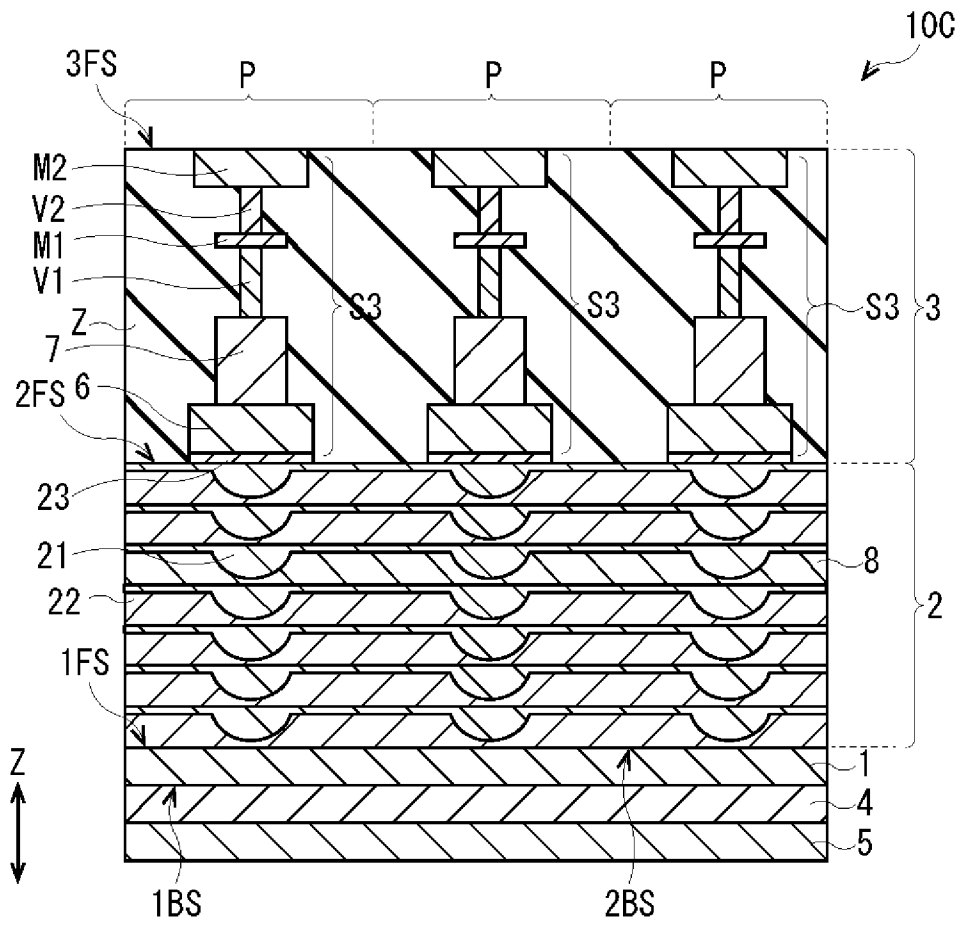
[図6A]



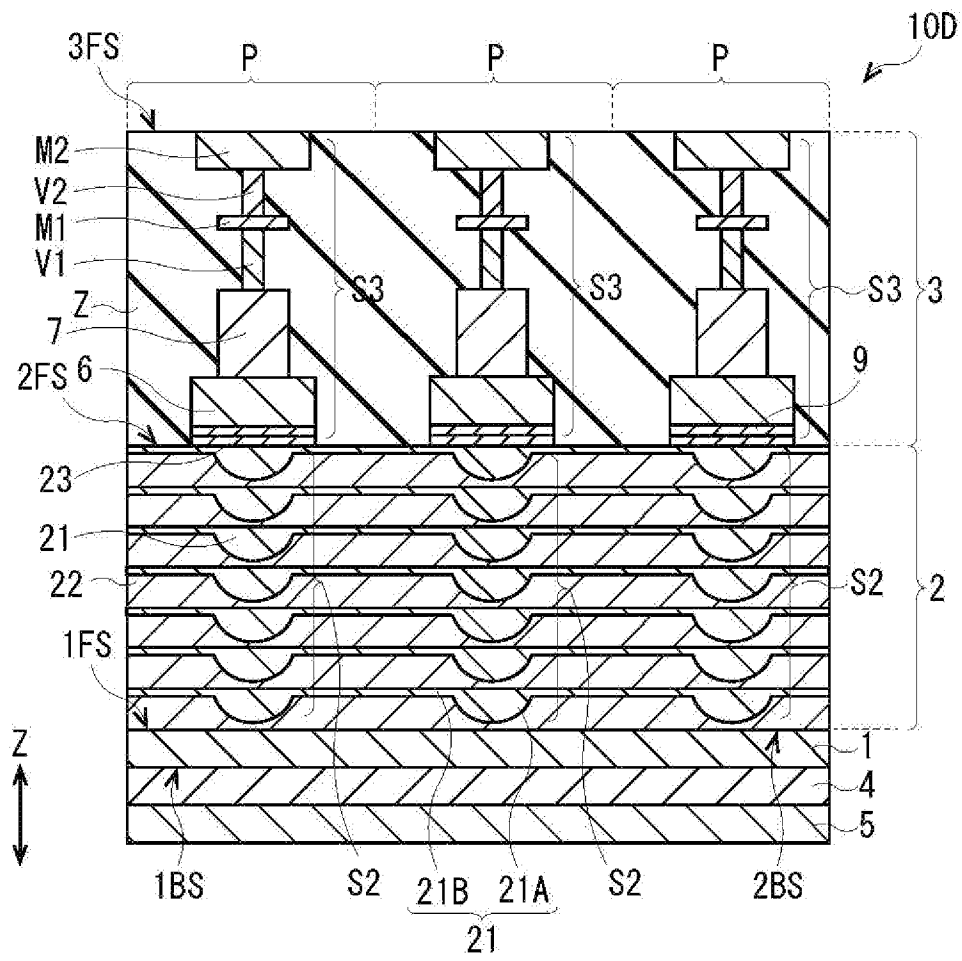
[図6B]



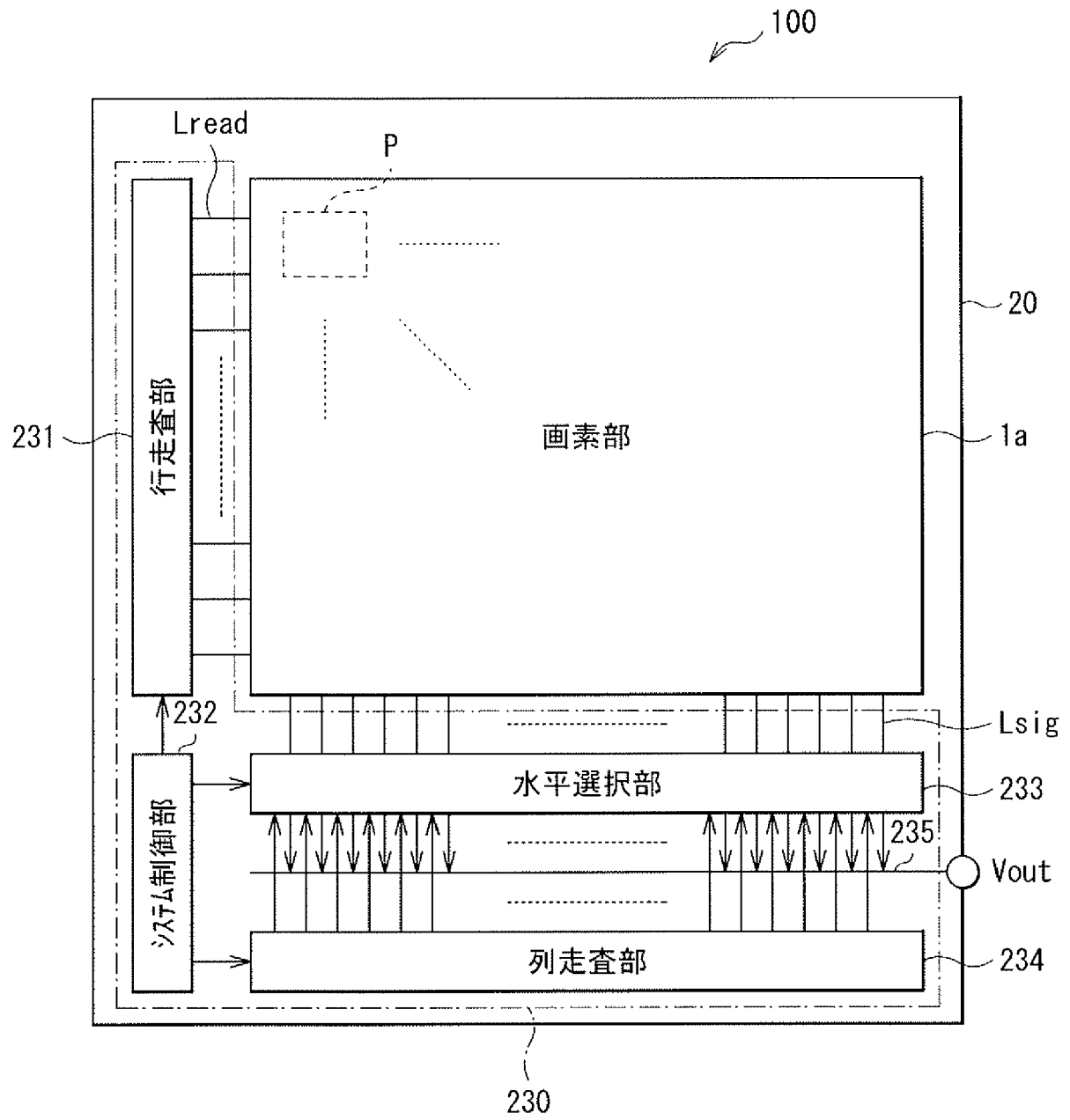
[図7]



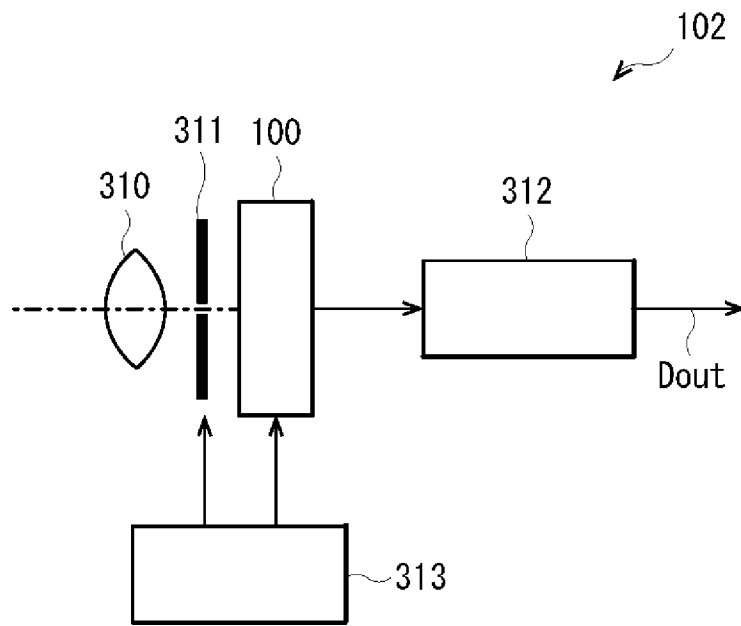
[図8A]



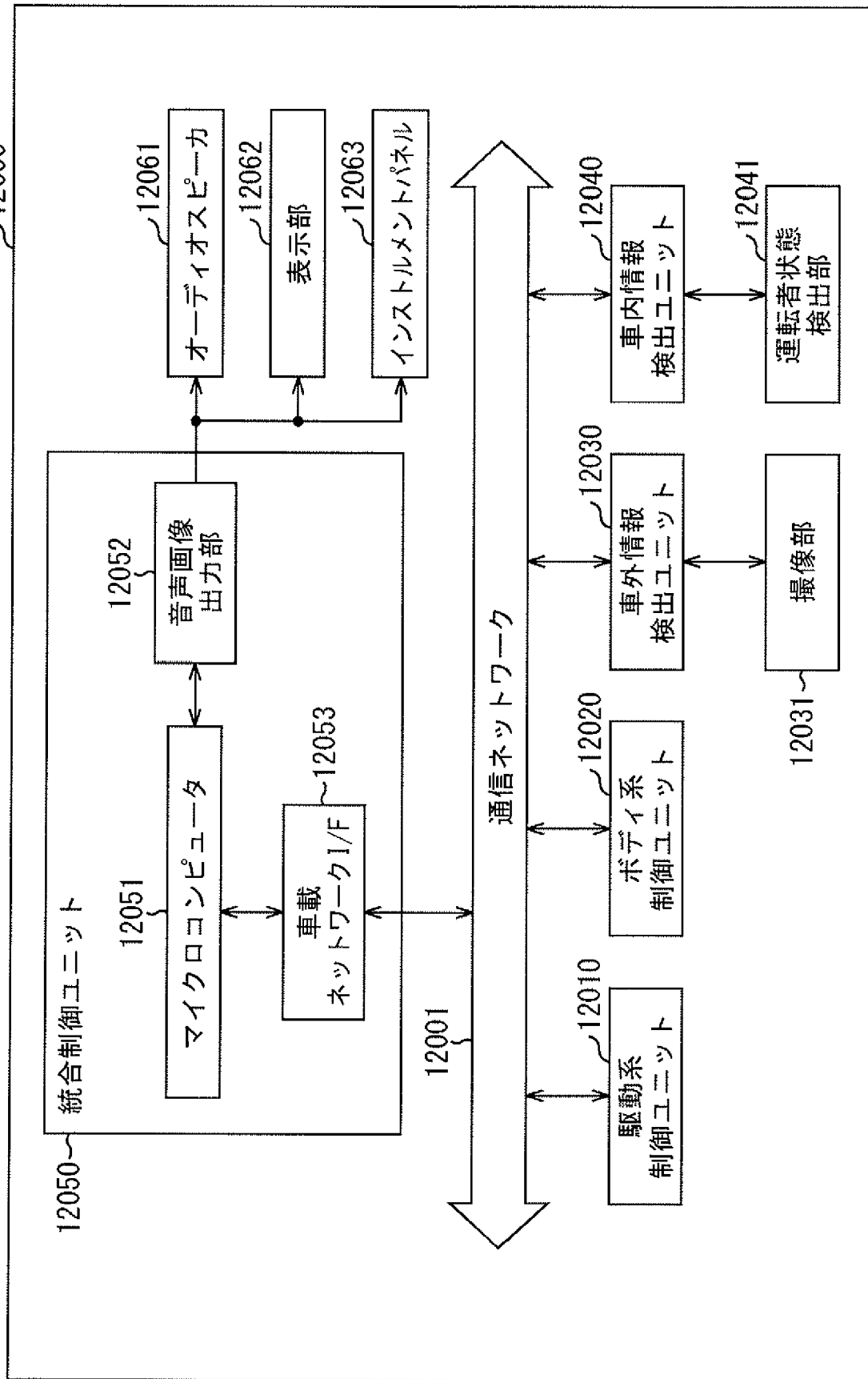
[図9]



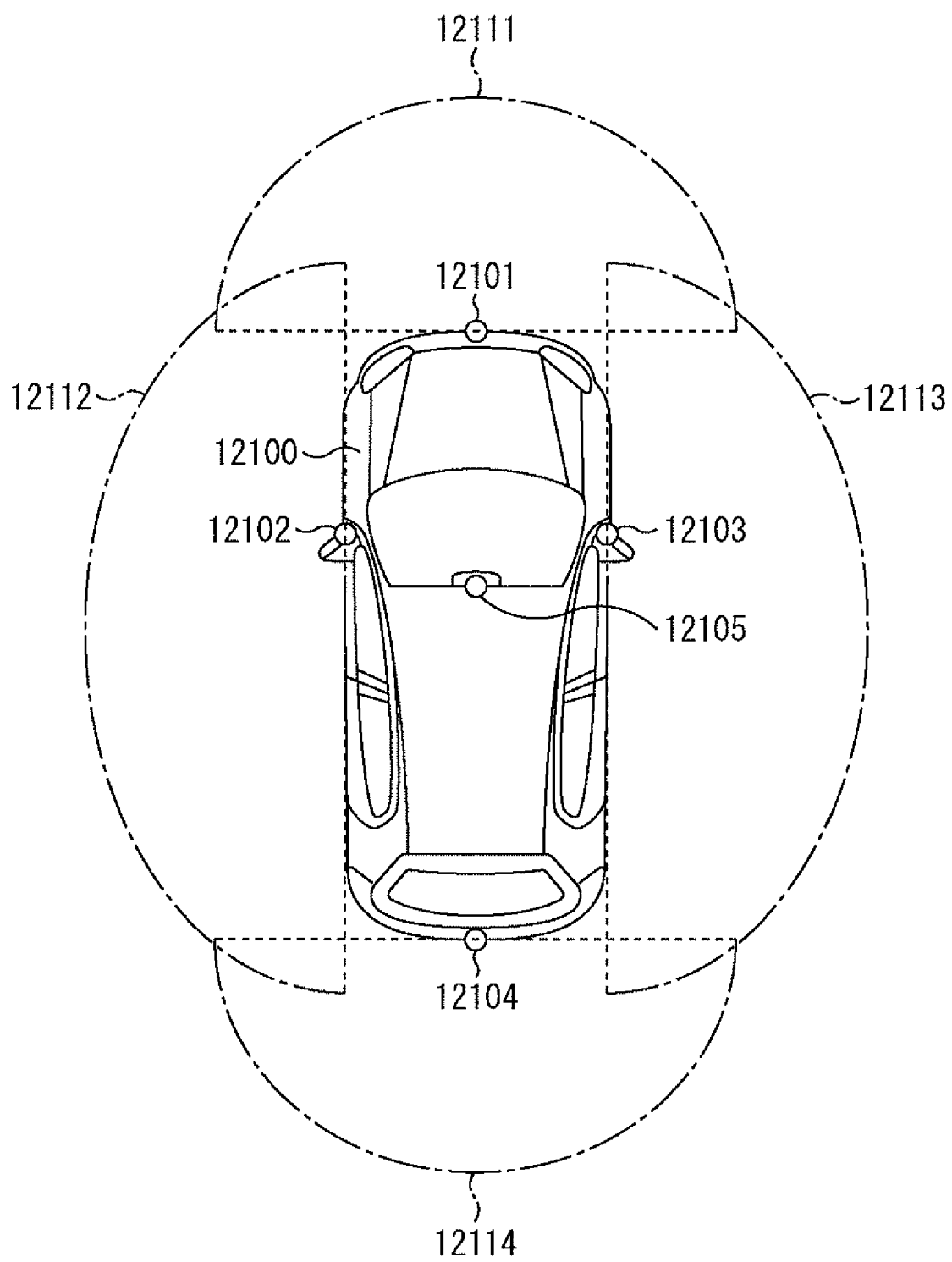
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/020549

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01L 31/10**(2006.01)i; **H01L 27/146**(2006.01)i

FI: H01L31/10 A; H01L27/146 A

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)

H01L31/10-31/119

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	WO 2014/122861 A1 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) 14 August 2014 (2014-08-14) paragraphs [0005], [0017], [0020]-[0024], [0026], [0060]-[0062], fig. 1, 3	1, 4, 7, 9-10
Y		2-3, 5-6, 8, 11
Y	WO 2022/234806 A1 (SONY GROUP CORPORATION) 10 November 2022 (2022-11-10) paragraphs [0053], [0055]-[0056], fig. 12-13	2-3, 11
Y	JP 2012-195381 A (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 11 October 2012 (2012-10-11) paragraphs [0026], [0029]-[0030], fig. 1	5-6
Y	JP 2013-229388 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 07 November 2013 (2013-11-07) paragraphs [0022]-[0024], fig. 1(c)	8
A	JP 2001-156298 A (SONY CORPORATION) 08 June 2001 (2001-06-08) entire text, all drawings	1-11
A	KR 10-2023-0024504 A (ISENSIRS, INC.) 21 February 2023 (2023-02-21) entire text, all drawings	1-11



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 July 2023

Date of mailing of the international search report

01 August 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/020549

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2014/122861	A1	14 August 2014	US 2015/0364628 A1 paragraphs [0008], [0051]- [0053], [0057]-[0068], [0070], [0133]-[0136], fig. 1, 3	
WO	2022/234806	A1	10 November 2022	(Family: none)	
JP	2012-195381	A	11 October 2012	US 2012/0160312 A1 paragraphs [0097], [0101]- [0105], fig. 1	
JP	2013-229388	A	07 November 2013	(Family: none)	
JP	2001-156298	A	08 June 2001	(Family: none)	
KR	10-2023-0024504	A	21 February 2023	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 31/10(2006.01)i; H01L 27/146(2006.01)i FI: H01L31/10 A; H01L27/146 A		
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（IPC）） H01L31/10-31/119		
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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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	WO 2014/122861 A1 (シャープ株式会社) 14.08.2014 (2014-08-14) 段落 [0005]、[0017]、[0020] - [0024]、[0026]、[0060] - [0062] 及び図1、3	1, 4, 7, 9-10
Y		2-3, 5-6, 8, 11
Y	WO 2022/234806 A1 (ソニーグループ株式会社) 10.11.2022 (2022-11-10) 段落 [0053]、[0055] - [0056] 及び図12-13	2-3, 11
Y	JP 2012-195381 A (国立大学法人 東京大学) 11.10.2012 (2012-10-11) 段落 [0026]、[0029] - [0030] 及び図1	5-6
Y	JP 2013-229388 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 07.11.2013 (2013-11-07) 段落 [0022] - [0024] 及び図1(c)	8
A	JP 2001-156298 A (ソニー株式会社) 08.06.2001 (2001-06-08) 全文、全図	1-11
A	KR 10-2023-0024504 A (ISENSIRS, INC.) 21.02.2023 (2023-02-21) 全文、全図	1-11
☐ 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、一般的な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抵触するものではなく、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 18.07.2023		国際調査報告の発送日 01.08.2023
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 桂城 厚 2K 1764 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/020549

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2014/122861	A1	14.08.2014	US 2015/0364628 A1 段落 [0008]、[0051] – [0053]、 [0057] – [0068]、[0070]、[0133] – [0136] 及び図1、3	
WO	2022/234806	A1	10.11.2022	(ファミリーなし)	
JP	2012-195381	A	11.10.2012	US 2012/0160312 A1 段落 [0097]、[0101] – [0105] 及び図1	
JP	2013-229388	A	07.11.2013	(ファミリーなし)	
JP	2001-156298	A	08.06.2001	(ファミリーなし)	
KR	10-2023-0024504	A	21.02.2023	(ファミリーなし)	