

(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  
2022年7月14日(14.07.2022)

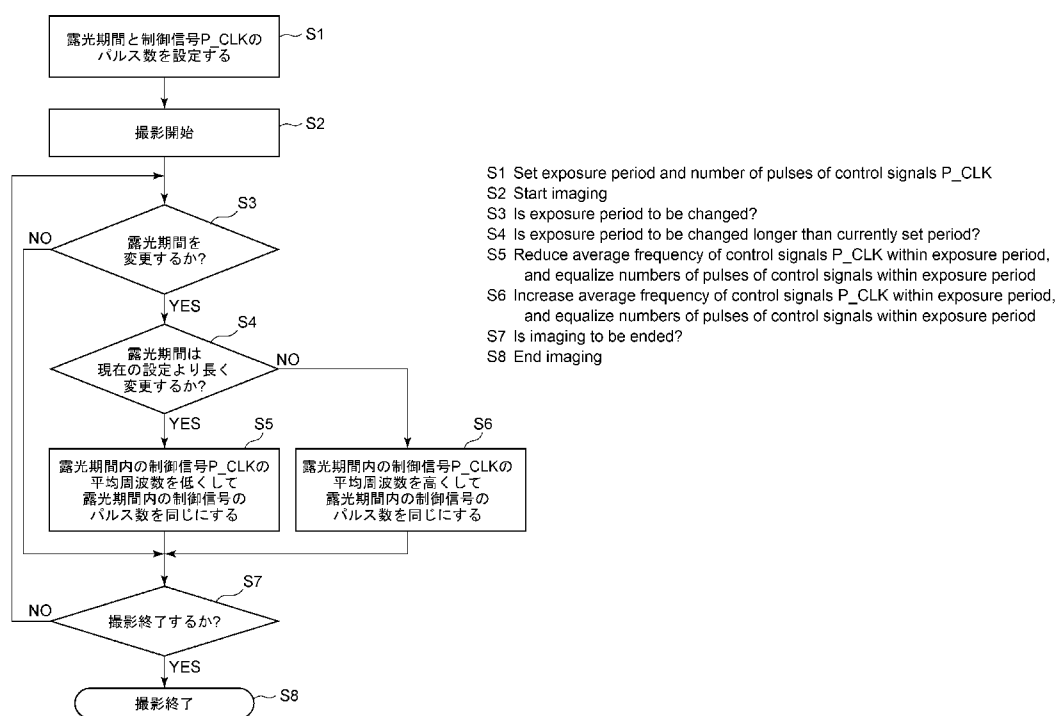


(10) 国際公開番号  
**WO 2022/149576 A1**

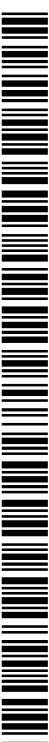
- (51) 国際特許分類:  
H04N 5/341 (2011.01) H04N 5/3745 (2011.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/000096
- (22) 国際出願日: 2022年1月5日(05.01.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2021-001441 2021年1月7日(07.01.2021) JP  
特願 2021-207158 2021年12月21日(21.12.2021) JP
- (71) 出願人: キヤノン株式会社 (CANON KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 大田 康晴(OTA Yasuharu); 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内 Tokyo (JP). 森本 和浩(MORIMOTO Kazuhiro); 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 阿部 琢磨, 外 (ABE Takuma et al.); 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, KE, KG, KH,

(54) Title: PHOTOELECTRIC CONVERSION DEVICE AND PHOTODETECTION SYSTEM

(54) 発明の名称: 光電変換装置、光検出システム



(57) Abstract: This photoelectric conversion device comprises: an avalanche photodiode which includes an anode and a cathode; a switch that is connected to a node of one of the anode and the cathode and a power supply line, to which a drive voltage is applied, and that is for switching a resistance value between the one node and the power supply line; and a signal generation unit that generates pulse signals for controlling the switching of the switch. A value obtained by dividing the number of pulse signals during a first exposure period by the first exposure period is different from a value



WO 2022/149576 A1

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,  
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,  
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))
- 一 補正された請求の範囲 (条約第19条(1))

---

obtained by dividing the number of pulse signals during a second exposure period, which is different in length from the first exposure period, by the second exposure period.

(57) 要約：アノードとカソードとを含むアバランシェフォトダイオードと、前記アノードおよび前記カソードのうちの一方向のノードと駆動電圧が印加される電源線とに接続され、前記一方のノードと前記電源線との間の抵抗値を切り替えるスイッチと、前記スイッチの切り替えを制御するためのパルス信号を生成する信号生成部と、を備え、第1露光期間における前記パルス信号の数を前記第1露光期間で除算した値と、前記第1露光期間の長さとは異なる長さを有する第2露光期間における前記パルス信号の数を前記第2露光期間で除算した値とが異なる。

## 明 細 書

発明の名称：光電変換装置、光検出システム

### 技術分野

[0001] 本発明は、光電変換を行う光電変換装置、および光検出システムに関する。

### 背景技術

[0002] 複数のアバランシェフォトダイオード（APD）を含む画素が平面的に2次元アレイ状に配置されるように形成された画素アレイを含む光電変換装置が知られている。各画素においては、半導体領域内のPN接合領域において、単一光子に起因した光電荷がアバランシェ増倍を起こす。

[0003] 特開2020-123847号公報には、APDを有する画素が、APDと、APDに接続されたクエンチ回路と、APDから出力される信号が入力される信号制御回路と、クエンチ回路と信号制御回路に接続されたパルス生成回路と、が開示されている。パルス生成回路は、クエンチ回路のオンオフを制御している。また、パルス信号ごとに出力信号をリセットして、高輝度下でも入力光子に応じたパルス信号を出力することが開示されている。

[0004] 特開2020-123847号公報には、露光期間が異なる場合の露光期間内のパルス信号の数や周期に関しては何ら開示されていない。特開2020-123847号公報は、露光期間との関係でパルス信号を制御することを検討する余地がある。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0005] 特許文献1：特開2020-123847号公報

### 発明の概要

[0006] 一形態に係る光電変換装置は、アノードとカソードとを含むアバランシェフォトダイオードと、前記アノードおよび前記カソードのうち一方のノードと駆動電圧が印加される電源線とに接続され、前記一方のノードと前記電

源線との間の抵抗値を切り替えるスイッチと、前記スイッチの切り替えを制御するためのパルス信号を生成する信号生成部と、を備え、第1露光期間における前記パルス信号の数を前記第1露光期間で除算して前記第1露光期間を乗算した値と、前記第1露光期間の長さとは異なる長さを有する第2露光期間における前記パルス信号の数を前記第2露光期間で除算して前記第1露光期間を乗算した値とは異なる。

### 図面の簡単な説明

- [0007] [図1]光電変換装置の構成を示す図
- [図2]センサ基板の配置例
- [図3]回路基板の配置例
- [図4A]光電変換素子の等価回路を含むブロック図
- [図4B]光電変換素子の等価回路を含むブロック図
- [図5]APDの動作と出力信号との関係を示す図
- [図6A]実施形態1に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図
- [図6B]実施形態1に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図
- [図6C]実施形態1に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図
- [図7A]比較形態に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図
- [図7B]比較形態に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図
- [図7C]比較形態に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図
- [図8]実施形態1に係る光電変換装置の動作モードの一例を説明するためフローチャート図
- [図9A]実施形態1の変形例に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図
- [図9B]実施形態1の変形例に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図
- [図9C]実施形態1の変形例に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図
- [図9D]実施形態1の変形例に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャ

ャート図

[図9E]実施形態1の変形例に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図

[図9F]実施形態1の変形例に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図

[図10A]実施形態2に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図

[図10B]実施形態2に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図

[図10C]実施形態2に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図

[図11]実施形態3に係る光電変換装置の露光期間あたりの入射光子数とカウント値の関係を示す図

[図12]実施形態3に係る光電変換装置の回路基板の配置例

[図13A]実施形態3に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図

[図13B]実施形態3に係る光電変換装置の制御パルスのタイミングチャート図

[図14]実施形態4の光検出システムのブロック図

[図15]実施形態5の光検出システムのブロック図

[図16]実施形態6の光検出システムのブロック図

[図17A]実施形態7の光検出システムのブロック図

[図17B]実施形態7の光検出システムのブロック図

[図18]実施形態7の光検出システムのフローチャート

[図19A]実施形態8の電子機器の具体例を示す図

[図19B]実施形態8の電子機器の具体例を示す図

### 発明を実施するための形態

[0008] 以下に示す形態は、本発明の技術思想を具体化するためのものであって、本発明を限定するものではない。各図面が示す部材の大きさや位置関係は、説明を明確にするために誇張していることがある。以下の説明において、同一の構成については同一の番号を付して説明を省略することがある。

[0009] 図1乃至図4Bを用いて、各実施形態における光電変換装置に共通する構成を説明する。光電変換装置はアバランシェダイオードを含むSPAD画素

を有する。アバランシェダイオードで生じる電荷対のうち信号電荷として用いられる電荷の導電型を第1導電型と呼ぶ。第1導電型とは、信号電荷と同じ極性の電荷を多数キャリアとする導電型を指す。また、第1導電型と反対の導電型を第2導電型と呼ぶ。以下では、信号電荷が電子であり、第1導電型がN型、第2導電型がP型である例を説明するが、信号電荷が正孔であり、第1導電型がP型、第2導電型がN型であってもよい。

[0010] 信号電荷が電子の場合は、APDのカソードから信号が読み出されるが、信号電荷が正孔の場合は、APDのアノードから信号が読み出される。したがって、APDのカソードとアノードが逆の関係になる。

[0011] 本明細書において、「平面視」とは、後述する光電変換素子が配される半導体層の光入射面に対して垂直な方向から視ることを指す。また、断面とは、光電変換素子が配される半導体層の光入射面と垂直な方向における面を指す。なお、微視的に見て半導体層の光入射面が粗面である場合は、巨視的に見たときの半導体層の光入射面を基準として平面視を定義する。

[0012] まず、各実施形態に共通する構成を説明する。

[0013] 図1は、本発明の実施形態に光電変換装置100の構成を示す図である。以下では、光電変換装置100が積層型の光電変換装置である場合を例にして説明する。つまり、センサ基板11と、回路基板21の2つの基板が積層され、且つ電氣的に接続されることにより構成される光電変換装置を例として説明する。しかしながら、光電変換装置はこれに限定されない。例えば、以下で説明する、センサ基板11に含まれる構成と回路基板に含まれる構成とが共通の半導体層に配された光電変換装置であってもよい。以下では、センサ基板11に含まれる構成と回路基板に含まれる構成とが共通の半導体層に配された光電変換装置を非積層の光電変換装置ともいう。

[0014] センサ基板11は、後述する光電変換素子102を有する第1半導体層と、第1配線構造と、を有する。回路基板21は、後述する信号処理回路103等の回路を有する第2半導体層と、第2配線構造と、を有する。光電変換装置100は、第2半導体層、第2配線構造、第1配線構造、第1半導体層

の順に積層して構成される。

[0015] 図1では、第1面から光が入射し、第1面とは反対側の面である第2面に回路基板が配される、裏面照射型の光電変換装置を図示している。非積層の光電変換装置の場合は、信号処理回路のトランジスタが配される側の面を第2面という。裏面照射型の光電変換装置の場合は、半導体層の第2面とは反対側の第1面が光入射面となる。また、表面照射型の光電変換装置の場合は、半導体層の第2面が光入射面となる。

[0016] 以下では、センサ基板11と回路基板21とは、ダイシングされたチップで説明するが、チップに限定されない。例えば、各基板はウエハであってもよい。また、各基板はウエハ状態で積層した後にダイシングされていてもよいし、チップ化した後に各チップを積層して接合してもよい。

[0017] センサ基板11には、画素領域12が配され、回路基板21には、画素領域12で検出された信号を処理する回路領域22が配される。

[0018] 図2は、センサ基板11の配置例を示す図である。アバランシェフォトダイオード（以下、APD）を含む光電変換素子102を有する画素101が平面視で二次元アレイ状に配列され、画素領域12を形成する。

[0019] 画素101は、典型的には、画像を形成するための画素であるが、TOF（Time of Flight）に用いる場合には、必ずしも画像を形成しなくてもよい。すなわち、画素101は、光が到達した時刻と光量を測定するための画素であってもよい。

[0020] 図3は、回路基板21の構成図である。図2の光電変換素子102で光電変換された電荷を処理する信号処理回路103、読み出し回路112、制御パルス生成部115、水平走査回路部111、信号線113、垂直走査回路部110を有している。

[0021] 図2の光電変換素子102と、図3の信号処理回路103は、画素毎に設けられた接続配線を介して電氣的に接続される。

[0022] 垂直走査回路部110は、制御パルス生成部115から供給された制御パルスを受け、各画素に制御パルスを供給する。垂直走査回路部110にはシ

フトレジスタやアドレスデコーダといった論理回路が用いられる。

[0023] 制御パルス生成部 115 は、後述するスイッチの制御信号 P\_CLK を生成する信号生成部 215 を有する。信号生成部 215 は、後述するように、スイッチを制御するパルス信号を生成している。なお、例えば、図 4 A に示すように、信号生成部 215 で、画素領域の複数の画素に対して、共通に制御信号 P\_CLK を生成してもよいし、図 4 B に示すように、画素ごとに制御信号 P\_CLK を生成してもよい。共通にパルス信号 P\_CLK を生成する場合は、露光期間を制御する信号 P\_EXP パルス信号の周期、パルス数、およびパルス幅の少なくともいずれか 1 つを露光期間に対応させて共通に生成する。また、画素ごとに制御信号 P\_CLK を制御する場合は、制御パルス生成部 115 から出力された入力信号 P\_CLK\_IN と露光期間を制御する信号 P\_EXP との両者を用いて信号を生成することができる。制御パルス生成部 115 は、例えば、分周回路を有することが好ましい。これにより、シンプルに制御することが可能となり、素子数が増大することを低減できる。

[0024] 画素の光電変換素子 102 から出力された信号は、信号処理回路 103 で処理される。信号処理回路 103 は、カウンタやメモリなどが設けられており、メモリにはデジタル値が保持される。

[0025] 水平走査回路部 111 は、デジタル信号が保持された各画素のメモリから信号を読み出すために、各列を順次選択する制御パルスを信号処理回路 103 に入力する。

[0026] 信号線 113 には、選択されている列について、垂直走査回路部 110 により選択された画素の信号処理回路 103 から信号が出力される。

[0027] 信号線 113 に出力された信号は、出力回路 114 を介して、光電変換装置 100 の外部の記録部または信号処理部に出力する。

[0028] 図 2 において、画素領域における光電変換素子の配列は 1 次元状に配されていてもよい。また、画素が 1 つでもあっても本発明の効果を得ることは可能であり、画素が 1 つの場合も本発明に含まれるが、複数の画素を有する光

電変換装置であれば本実施形態の消費電力低減の効果を得やすくなる。信号処理部の機能は、必ずしも全ての光電変換素子に1つずつ設けられる必要はなく、例えば、複数の光電変換素子によって1つの信号処理部が共有され、順次信号処理が行われてもよい。

[0029] 図2および図3に示すように、平面視で画素領域12に重なる領域に、複数の信号処理回路103が配される。そして、平面視で、センサ基板11の端と画素領域12の端との間に重なるように、垂直走査回路部110、水平走査回路部111、読み出し回路112、出力回路114、制御パルス生成部115が配される。言い換えると、センサ基板11は、画素領域12と画素領域12の周りに配された非画素領域とを有する。そして、平面視で非画素領域に重なる領域に、垂直走査回路部110、水平走査回路部111、読み出し回路112、出力回路114、制御パルス生成部115が配される。

[0030] なお、信号線113の配置、読み出し回路112、出力回路114の配置は図3に限定されない。例えば、信号線113はが行方向に延びて配されており、読み出し回路112を信号線113が延びる先に配してもよい。

[0031] 図4A、図4Bは、図2及び図3の等価回路を含むブロック図の一例である。図4Aは、信号生成部215が複数の画素に対して共通に設けられている例であり、図4Bは、画素ごとに制御信号PCLKを制御可能な例である。

[0032] 図4A、図4Bにおいて、APD201を有する光電変換素子102は、センサ基板11に設けられており、その他の部材は、回路基板21に設けられている。

[0033] APD201は、光電変換により入射光に応じた電荷対を生成する。APD201の2つのノードのうち的一方のノードは、駆動電圧VL（第1電圧）が供給される電源線と接続されている。また、APD201の2つのノードのうち他方のノードは、アノードに供給される電圧VLよりも高い駆動電圧VH（第2電圧）が供給される電源線と接続されている。図4A、図4Bでは、APD201の一方のノードはアノードであり、APDの他方のノ

ードはカソードである。APD 201のアノードとカソードには、APD 201がアバランシェ増倍動作をするような逆バイアス電圧が供給される。このような電圧を供給した状態とすることで、入射光によって生じた電荷がアバランシェ増倍を起こし、アバランシェ電流が発生する。

[0034] 尚、逆バイアスの電圧が供給される場合において、アノードおよびカソードの電位差が降伏電圧より大きい電位差で動作させるガイガーモードと、アノードおよびカソードの電位差が降伏電圧近傍、もしくはそれ以下の電位差で動作させるリニアモードがある。

[0035] ガイガーモードで動作させるAPDをSPADと呼ぶ。例えば、電圧 $V_L$ （第1電圧）は、 $-30V$ 、電圧 $V_H$ （第2電圧）は、 $1V$ である。APD 201は、リニアモードで動作させてもよいし、ガイガーモードで動作させてもよい。SPADの場合はリニアモードのAPDに比べて電位差が大きくなり、耐圧の効果が顕著となるため、SPADであることが好ましい。

[0036] スイッチ202は、駆動電圧 $V_H$ が供給される電源線とAPD 201のアノードおよびカソードのうち一方のノードとに接続される。そして、スイッチ202は、APD 201と駆動電圧 $V_H$ が供給される電源線との間の抵抗値を切り替えている。ここで、抵抗値を切り替えるとは、抵抗値を10倍以上変えることが好ましく、抵抗値を100倍以上変えることがより好ましい。以下では、当該抵抗値が低くなることをスイッチ202のオンともいい、当該抵抗値が高くなることをスイッチ202のオフともいう。スイッチ202は、クエンチ素子として機能する。スイッチ202は、アバランシェ増倍による信号増倍時に負荷回路（クエンチ回路）として機能し、APD 201に供給する電圧を抑制して、アバランシェ増倍を抑制する働きを持つ（クエンチ動作）。また、スイッチ202は、クエンチ動作で電圧降下した分の電流を流すことにより、APD 201に供給する電圧を駆動電圧 $V_H$ へと戻す働きを持つ（リチャージ動作）。

[0037] スイッチ202は、例えば、MOSトランジスタにより構成することができ、図4A、図4Bでは、スイッチ202がPMOSトランジスタである場

合を示している。信号生成部215から供給されるスイッチ202の制御信号P\_CLKは、スイッチ202を構成するMOSトランジスタのゲート電極に印加されている。本実施形態では、スイッチ202のゲート電極への印加電圧を制御することにより、スイッチ202のオンとオフとを制御している。

[0038] 信号処理回路103は、波形整形部210、カウンタ回路211、選択回路212を有する。図4A、図4Bでは、信号処理回路103は、波形整形部210、カウンタ回路211、および選択回路212を有するが、本明細書において、信号処理回路103は、波形整形部210、カウンタ回路211、選択回路212の少なくともいずれか1つを有していればよい。

[0039] 波形整形部210は、光子検出時に得られるAPD201のカソードの電位変化を整形して、パルス信号を出力する。波形整形部210の入力側のノードをnode A、出力側のノードをnode Bとする。波形整形部210は、ノードnode Aへの入力電位が所定の値以上か、それよりも低いかに応じて、ノードnode Bからの出力電位を変化させている。例えば、図5において、ノードnode Aへの入力電位が判定閾値以上の高い電位となるとノードnode Bからの出力電位がローレベルとなる。そして、ノードnode Aへの入力電位が判定閾値よりも低い電位となると、ノードnode Bからの出力電位がハイレベルとなる。波形整形部210としては、例えば、インバータ回路が用いられる。図4A、図4Bでは、波形整形部210としてインバータを一つ用いた例を示したが、複数のインバータを直列接続した回路を用いてもよいし、波形整形効果があるその他の回路を用いてもよい。

[0040] APD201でのアバランシェ増倍に応じてスイッチ202を用いたクエンチ動作とリチャージ動作とを行うことが可能であるが、光子の検出タイミングによっては出力信号として判定されない場合がある。例えば、APDでアバランシェ増倍が生じてノードnode Aへの入力電位がローレベルとなり、リチャージ動作が行われているときを想定する。一般的に、波形整形部

210の判定閾値はAPDでアバランシェ増倍が生じる電位差よりも高い電位に設定される。リチャージ動作によりノードnode Aの電位が判定閾値よりも低い状態で且つAPDでのアバランシェ増倍可能な電位のとときに光子が入射すると、APDでアバランシェ増倍が生じてnode Aの電圧が下がる。つまり、判定閾値よりも低い電圧でnode Aの電位が下がるため、光子を検出しているにも関わらず、ノードnode Bからの出力電位が変化しない。したがって、アバランシェ増倍が生じているにも関わらず、信号として判定されなくなる。特に、高照度下においては、光子が短い期間で連続して入るため、信号として判定されにくくなる。これにより、高照度であるにも関わらず、実際の光子の入射数と出力された信号とが乖離しやすい。

[0041] これに対して、スイッチ202に制御信号P\_CLKを印加してスイッチ202のオンとオフとを切り替えることにより、短時間に光子が連続してAPDへと入る場合にも信号として判定することが可能となる。図5では、制御信号P\_CLKは繰り返し周期のパルス信号である例を説明する。言い換えると、図5では、所定のクロック周波数でスイッチ202のオンオフが切り替えられる形態を説明する。しかしながら、光電変換装置の消費電力の増大を抑制する効果は、パルス信号が繰り返し周期の信号でなくても得ることは可能である。

[0042] カウンタ回路211は、波形整形部210から出力されたパルス信号をカウントし、カウント値を保持する。また、駆動線213を介して制御パルスpRESが供給されたとき、カウンタ回路211に保持された信号がリセットされる。

[0043] 選択回路212には、図3の垂直走査回路部110から、図4A、図4Bの駆動線214（図3では不図示）を介して制御パルスpSELが供給され、カウンタ回路211と信号線113との電気的な接続、非接続を切り替える。選択回路212には、例えば、信号を出力するためのバッファ回路などを含む。図4A、図4Bに示す出力信号OUTが画素から出力される信号である。

- [0044] スイッチ202とAPD201との間や、光電変換素子102と信号処理回路103との間にトランジスタ等のスイッチを配して、電気的な接続を切り替えてもよい。同様に、光電変換素子102に供給される電圧V<sub>H</sub>または電圧V<sub>L</sub>の供給をトランジスタ等のスイッチを用いて電気的に切り替えてもよい。
- [0045] 本実施形態では、カウンタ回路211を用いる構成を示した。しかし、カウンタ回路211の代わりに、時間・デジタル変換回路（Time to Digital Converter：以下、TDC）、メモリを用いて、パルス検出タイミングを取得する光電変換装置100としてもよい。このとき、波形整形部210から出力されたパルス信号の発生タイミングは、TDCによってデジタル信号に変換される。TDCには、パルス信号のタイミングの測定に、図1の垂直走査回路部110から駆動線を介して、制御パルスpREF（参照信号）が供給される。TDCは、制御パルスpREFを基準として、波形整形部210を介して各画素から出力された信号の入力タイミングを相対的な時間としたときの信号をデジタル信号として取得する。
- [0046] なお、図4Bに示すように、信号生成部215は画素ごとに設けられていてもよい。図4Bでは、図4Aに示す波形整形部210以降の回路や、信号生成部の図は両略している。なお、図4Aの信号生成部215は画素毎にあるものとする。図4Bは、画素内で論理回路をとり、スイッチ202にパルス信号を供給するか否か決定している。論理回路には、露光期間を制御する信号P<sub>EXP</sub>と制御信号P<sub>CLK</sub>を制御する入力信号P<sub>CLK\_IN</sub>が入力される。そして反転する信号が出力される。例えば、露光期間を制御する信号P<sub>EXP</sub>がローレベルで且つ入力信号P<sub>CLK\_IN</sub>がローレベルの場合には、制御信号P<sub>CLK</sub>からハイレベルの信号が出力される。つまり、スイッチがオフとなる。また、露光期間を制御する信号P<sub>EXP</sub>がハイレベルで且つ入力信号P<sub>CLK\_IN</sub>がハイレベルの場合には、制御信号P<sub>CLK</sub>からローレベルの信号が出力される。つまり、スイッチがオンとなる。また、露光期間を制御する信号P<sub>EXP</sub>と入力信号P<sub>CL</sub>

K\_\_I Nとの一方がローレベルの場合には、制御信号P\_\_C L Kとしてハイレベルの信号が出力される。つまり、スイッチ202がオフになる。このように画素ごとにスイッチを制御することが好ましい。なお、図4Bの回路図を用いる場合には、後述の実施形態2で説明するように、露光期間Pがローレベルになると、制御信号P\_\_C L Kはハイレベルのまま維持される。つまり、スイッチはオフとなる。

[0047] 図5は、スイッチの制御信号P\_\_C L K、ノードn o d e Aの電位、ノードn o d e Bの電位、出力信号の関係を模式的に示した図である。本実施形態では、制御信号P\_\_C L Kがハイレベルの場合にA P Dへと駆動電圧V Hが供給されにくい状態となり、制御信号P\_\_C L Kがローレベルの場合にA P Dへと駆動電圧V Hが供給される状態となる。制御信号P\_\_C L Kがハイレベルとは、例えば、1 Vであり、制御信号P\_\_C L Kがローレベルとは、例えば、0 Vである。制御信号P\_\_C L Kがハイレベルの場合にスイッチはオフとなり、制御信号P\_\_C L Kがローレベルの場合にスイッチはオンとなる。制御信号P\_\_C L Kがハイレベルの場合におけるスイッチの抵抗値は、制御信号P\_\_C L Kがローレベルの場合におけるスイッチの抵抗値よりも高くなる。制御信号P\_\_C L Kがハイレベルの場合は、A P Dでアバランシェ増倍が生じてもリチャージ動作が行われにくいため、A P Dへと供給される電位がA P Dの降伏電圧以下の電位となる。したがって、A P Dでのアバランシェ増倍動作が停止する。

[0048] 図4A、図4Bに示すように、スイッチ202を1つのトランジスタで構成し、1つのトランジスタでクエンチ動作とリチャージ動作とを行うことが好ましい。これにより、クエンチ動作とリチャージ動作とをそれぞれ異なる回路素子で行う場合に比べて、回路数を減らすことが可能となる。特に、各画素がカウンタ回路を有し、画素毎にS P A Dの信号を読み出す場合には、カウンタ回路を配置するためスイッチに用いる回路面積を小さくすることが好ましく、1つのトランジスタでスイッチ202を構成することによる効果が顕著となる。

[0049] 時刻  $t_1$  において、制御信号  $P\_CLK$  はハイレベルからローレベルへと変化して、スイッチがオンとなり、APDのリチャージ動作が開始される。これにより、APDのカソードの電位がハイレベルへと遷移する。そして、APDのアノードとカソードへと印加される電位の電位差がアバランシェ増倍可能な状態となる。カソードの電位はノード  $node A$  と同じである。したがって、カソードの電位がローレベルからハイレベルへと遷移するとき、時刻  $t_2$  でノード  $node A$  の電位は判定閾値以上となる。このとき、ノード  $node B$  から出力されるパルス信号は反転して、ハイレベルからローレベルとなる。その後、APD 201には、駆動電圧  $V_H$  - 駆動電圧  $V_L$  の電位差が印加される状態となる。制御信号  $P\_CLK$  がハイレベルとなり、スイッチはオフとなる。

[0050] 次に、時刻  $t_3$  において、光子がAPD 201に入射すると、APD 201でアバランシェ増倍が生じ、スイッチ 202 にアバランシェ増倍電流が流れ、カソードの電圧は降下する。つまり、ノード  $node A$  の電圧は降下する。電圧降下量がさらに大きくなり、APD 201に印加される電圧差が小さくなると、時刻  $t_2$  のようにAPD 201のアバランシェ増倍が停止し、ノード  $node A$  の電圧レベルはある一定値以上降下しなくなる。ノード  $node A$  の電圧が降下する途中で  $node A$  の電圧が判定閾値よりも低くなると、ノード  $node B$  の電圧はローレベルからハイレベルとなる。つまり、ノード  $node A$  において出力波形が判定閾値を越えた部分は、波形整形部 210 で波形整形され、 $node B$  で信号として出力される。そして、カウンタ回路でカウントされ、カウンタ回路から出力されるカウンタ信号のカウント値が1LSB分増加する。

[0051] 時刻  $t_3$  と時刻  $t_4$  の間にAPDに光子が入射しているが、スイッチがオフの状態であり、APD 201への印加電圧がアバランシェ増倍可能な電位差となっていないため、ノード  $node A$  の電圧レベルは判定閾値を超えない。

[0052] 時刻  $t_4$  において、制御信号  $P\_CLK$  がハイレベルからローレベルに変

わり、スイッチがオンとなる。これに伴い、ノード `node A` には駆動電圧  $V_L$  から電圧降下分を補う電流が流れ、ノード `node A` の電圧は元の電圧レベルへと遷移する。このとき、時刻  $t_5$  でノード `node A` の電圧が判定閾値以上となるため、ノード `node B` のパルス信号は反転し、ハイレベルからローレベルになる。

[0053] 時刻  $t_6$  において、ノード `node A` は元の電圧レベルに静定し、制御信号 `P_CLK` はローレベルからハイレベルになる。したがって、スイッチはオフとなる。以降においても、時刻  $t_1$  から時刻  $t_6$  で説明したように制御信号 `P_CLK` や光子の入射に応じて各ノードや信号線などの電位が変化する。

[0054] 以下では、各実施形態の光電変換装置について説明する。

[0055] <実施形態 1 >

図 6 A ~ 図 6 C は、実施形態 1 における露光期間  $P$  と制御信号 `P_CLK` との関係を示すタイミングチャート図である。図 6 A は、露光期間  $P_1$  の場合における制御信号 `P_CLK` のパルス信号を示す図である。図 6 B は露光期間  $P_1$  よりも露光期間の長い露光期間  $P_2$  の場合における制御信号 `P_CLK` のパルス信号を示す図である。図 6 C は露光期間  $P_2$  よりも露光期間の長い露光期間  $P_3$  の場合における制御信号 `P_CLK` のパルス信号を示す図である。

[0056] 本実施形態において、露光期間  $P$  とは、例えば、メカシャッター又は電子シャッターが開いている期間であり、非露光期間とは、例えば、メカシャッター又は電子シャッターが閉じている期間である。また、露光期間  $P$  は、`APD 201` に印加されるバイアスを調整して光子信号取得の可否を変えることで定義してもよい。露光期間  $P$  は、`APD 201` が動作可能な状態で、且つ、`APD` および信号処理回路が信号を読み出し可能な状態の期間を指す。ここで、`APD` および信号処理回路が信号を読み出し可能な状態とは、`APD` がアバランシェ増倍可能な状態を指す。この間、カウンタ回路が動作中であるということもできる。このとき、光子の入射に基づきオフされている状

態であるAPDのクエンチ動作の期間は、動作可能な状態の一部となる。一方で、シャッターなどにより遮光されている期間や、光子の入射の有無によらずにAPDがアバランシェ増倍されないように制御されている期間は、非露光期間となる。

[0057] 図6A～図6Cに示すように、本実施形態では、露光期間Pに合わせて制御信号P\_CLKのパルス信号を変えている。第1露光期間と第1露光期間とは異なる期間である第2露光期間を想定する。第1露光期間における制御信号P\_CLKの数を第1露光期間で除算して第1露光期間を乗算した値と、第2露光期間における制御信号P\_CLKの数を第2露光期間で除算して第1露光期間を乗算した値とが異なるように制御信号を制御している。本実施形態ではスイッチ202がPMOSトランジスタであるため、制御信号P\_CLKの数は、所定の露光期間内におけるパルスのオフの数を指す。

[0058] また、単位時間あたりで比較したときに、第1露光期間における制御信号P\_CLKの平均周波数と、第1露光期間とは異なる第2露光期間における制御信号P\_CLKの平均周波数とが異なるように制御信号P\_CLKを制御している。ここで、露光期間における制御信号P\_CLKの平均周波数とは、露光期間内のパルス信号を均等になるように平均化した周波数を指す。例えば、露光期間において前半にパルス信号が密集して配されており、後半にパルス信号が配されていない場合は、期間の全体にわたって平均的にパルス信号が配されるように調整した周波数を露光期間における制御信号P\_CLKの平均周波数という。そして、本実施形態では、平均周波数を第1露光期間と第2露光期間とで比較した場合に、平均周波数が異なるように制御されている。なお、単位時間とは、制御信号P\_CLKのパルス信号が少なくとも2つ入る時間である。

[0059] 図6A～図6Cでは、露光期間Pに変化があっても、露光期間Pにおけるパルス信号のパルス数が同じになるように、制御信号P\_CLKのパルス信号が制御されている。図6Aに示す露光期間P1における制御信号P\_CLKのパルス数がNだとする。図6Bに示す露光期間P2においても制御信号

P\_CLKのパルス数をNにしている。さらに、図6Cに示す露光期間P3においても制御信号P\_CLKのパルス数をNとしている。

[0060] 上記の構成により、各画素で生じる消費電力の増大を防ぐことができる。また、信号処理部がカウンタ回路を有する場合には、適切なカウント上限値を保ったクロック駆動を実現することが可能となる。

[0061] 以下で、図7A～図7Cの比較形態と比較しながら詳細を説明する。図7A～図7Cは、比較形態における露光期間Pと制御信号P\_CLKとの関係を示すタイミングチャート図である。図7A～図7Cにおいて、図6A～図6Cと同様の構成については、図6A～図6Cと同じ符号を付して説明を省略する。

[0062] 図7A～図7Cに示す比較形態は、露光期間が変化しても、制御信号P\_CLKの周期が同じである。本実施形態においては、スイッチ202がPMOSトランジスタであるため、制御信号P\_CLKの周期とは、パルスの立ち下がりから次の立ち下がりまでの期間を指す。例えば、露光期間P1の場合も、露光期間P2の場合も、制御信号P\_CLKの周期は同じである。したがって、比較形態では、露光期間Pが変わると露光期間Pにおけるパルス信号のパルス数が変わる。この形態において、露光期間によっては意図せずに消費電力が増大する可能性がある。後段の信号処理回路において、クロック周波数が多くなってもその結果が反映されず、無駄な消費電力が消費される可能性がある。例えば、信号処理回路がカウンタ回路の場合において、読み出し可能なカウンタ上限値よりも大きな値におけるクロック周波数は、信号として読み出されない。つまり、カウンタ上限値よりも大きな値においてはクエンチ動作とリチャージ動作とを行って信号を読み出してもカウンタ回路でカウント値が加算されない。したがって、カウンタ上限値よりも大きな値においては、無駄な消費電力が発生する。一方で、クロック周波数を高くしすぎると、読み出し可能な光子数が少なくなり、ダイナミックレンジが低下する可能性がある。

[0063] これに対して、上述のとおり、露光期間に応じて制御信号P\_CLKのパ

ルス信号のパルス数を制御することにより、無駄な消費電力を低減することができる。

[0064] 図6A～図6Cに示すように、制御信号P\_CLKの周期は露光期間に応じて変化している。例えば、露光期間P1における制御信号P\_CLKの周期は、露光期間P2における制御信号P\_CLKよりも短い。このように、図6A～図6Cでは、露光期間P1、露光期間P2、および露光期間P3のように露光期間が変化しても、常に制御信号P\_CLKのパルス数はN回になるようにしている。これにより、消費電力の増大を低減することができる。

[0065] 露光期間におけるパルス数は、任意の値で設定することができる。後段の信号処理回路がカウンタ回路である場合は、例えば、カウンタ回路のカウント上限値とすることが好ましい。これにより、ダイナミックレンジの低下を抑制しながら、無駄な消費電力の発生を抑制することができる。

[0066] 露光期間P1における第1のパルス幅と、露光期間P2における第1のパルス幅とは同じであることが好ましい。ここで、第1のパルス幅とは、制御信号P\_CLKによりスイッチ202がオンしている期間を指す。本実施形態では、スイッチ202がPMOSトランジスタであるため、第1のパルス幅とは、制御信号P\_CLKがローレベル（第1のレベル）の期間を指す。上述の通り、制御信号P\_CLKがハイレベル（第2のレベル）の期間は、スイッチがオフとなり、APDでリチャージ動作が行われにくい期間となる。本明細書では、制御信号P\_CLKが第1のレベルの状態を維持している期間を「第1のパルス幅」と説明し、制御信号P\_CLKが第2のレベルの状態を維持している期間を「第2のパルス幅」という。図6A～図6Cでは露光期間P1における第1のパルス幅と、露光期間P2における第1のパルス幅とは同じであるが、露光期間P1における第2のパルス幅と、露光期間P2における第2のパルス幅とは異なっている。

[0067] 逆にP\_CLKがローレベルの期間はスイッチがオンになり、APDでリチャージ動作が行われる期間になる。制御信号P\_CLKがローレベルの期

間が長くなると、複数回リチャージ動作が行われる可能性がある。図5を用いて説明したように、ノード `node A` の電位が判定閾値よりも低い状態でノード `node A` の電位が降下して、ノード B の信号が反転せず、信号値としてきちんと読み出せない可能性がある。そこで、パルス信号の周期が変わっても APD でリチャージ動作が行われる期間を一定の期間とすることにより、制御信号 `P_CLK` がローレベルの期間に複数回のリチャージ動作が行われず、光子の検出漏れを低減することができる。

[0068] 図8は、本実施形態における、光電変換装置の動作のフローチャートの一例である。

[0069] ステップ S1 で、露光期間と制御信号 `P_CLK` のパルス数を設定する。ここでは、制御信号 `P_CLK` のクロック周波数を設定している。ステップ S2 で撮影を開始する。ステップ S3 では、露光期間を変更するか否かを決める。露光期間を変更するか否かは、その前に撮った画像から得られる情報（前フレームの情報）で判断して決めることができる。前フレームの情報で、画像から得られる情報が明るすぎる場合は露光期間を短くし、画像から得られる情報が暗すぎる場合は露光期間を長くする。この他にも露光期間は、マニュアルやオートで切り替えることも可能である。

[0070] ステップ S3 で変更する場合は、ステップ S4 で露光期間の設定を長くするか否かを判定する。ステップ S3 で露光期間を変更するという判定の場合はステップ S4 に進み、ステップ S3 で露光期間を変更しないという判定の場合はステップ S に進む。

[0071] ステップ S4 で露光期間の設定を長くするという判定の場合は、ステップ S5 で露光期間内における制御信号 `P_CLK` の平均クロック周波数を低くする。このとき、露光期間を変更する前と後とで露光期間における制御信号 `P_CLK` のパルス数が変わらないように制御する。ステップ S4 で露光期間の設定を長くしない（短くする）という判定の場合は、ステップ S6 で制御信号 `P_CLK` の露光期間内における平均クロック周波数を高く設定する。この場合でも、露光期間を変更する前の制御信号 `P_CLK` のパルス数と

露光期間における制御信号P\_\_CLKのパルス数が変わらないように制御する。

[0072] ステップS5またはステップS6の後は、ステップS7に進み、撮影を終了するか否かを判定する。ステップS7で露光期間を終了するという判定の場合は、ステップS8で撮影を終了する。ステップS7で撮影を終了しないという判定の場合は、ステップS3に戻り、ステップS3からステップS7を繰り返す。そして、ステップS7で撮影終了するという判定になれば、ステップS8で撮影を終了する。

[0073] 以上のようなフローチャートで動作させることが可能である。

[0074] 図9A～図9Fにタイミングチャートの変形例を示す。図6A～図6Cにおいては、一定の周期でパルス信号P\_\_CLKを入力していたが、これに限定されない。図9A～図9Cに示すように、パルス周期を変えながらパルス信号P\_\_CLKを入力してもよい。なお、図9A～図9Cではパルス信号ごとに周期を変えているが、3つや4つ以上のパルス信号ごとに周期を変えてもよい。

[0075] また、図9D～図9Fに示すように、露光期間P1と同じ期間において、露光期間P2のパルス数や露光期間P3のパルス数が露光期間P1のパルス数と同じ数であってもよい。つまり、露光期間P2の前半に制御信号P\_\_CLKが連続してスイッチに供給され、露光期間P2の後半に制御信号P\_\_CLKが供給されていなくてもよい。このような場合でも、露光期間P2におけるパルス数と露光期間P1におけるパルス数とが同じであれば本実施形態の効果を得ることができる。同様に露光期間P3におけるパルス数と露光期間P1におけるパルス数とが同じであれば本実施形態の効果を得ることができる。

[0076] <実施形態2>

図10A～図10Cは、実施形態2における露光期間Pと制御信号P\_\_CLKとの関係を示すタイミングチャート図である。図10Aは、露光期間P1の場合における制御信号P\_\_CLKのパルスを示す図である。図10Bは

露光期間 P 1 よりも露光期間の長い露光期間 P 2 の場合における制御信号 P\_\_CLK のパルス信号を示す図である。図 10C は露光期間 P 2 よりも長い露光期間 P 3 の場合における制御信号 P\_\_CLK のパルス信号を示す図である

[0077] 本実施形態の光電変換装置は、露光期間から非露光期間に変わるタイミングで制御信号 P\_\_CLK のパルス信号を生成しなくなる点が実施形態 1 とは異なる。この点及び以下で説明する事項以外は、実質的に実施形態 1 と同様であるため、実施形態 1 と同様の構成については同一の符号を付して、説明を省略する場合がある。

[0078] 本実施形態は、露光期間の終了タイミングで、制御信号 P\_\_CLK をローレベルで止めている。つまり、スイッチをオフの状態のままにしている。そして、露光期間の開始タイミングで、制御信号 P\_\_CLK をハイレベルへと変化させている。

[0079] 非露光期間においては、光子が APD へと入射しないため、スイッチのオンオフを制御する必要がなくなる。したがって、スイッチのオンオフを制御する制御信号 P\_\_CLK を変化させないようにすることで、スイッチのオンオフにより生じる消費電力を抑制することができる。

[0080] 露光期間の終了タイミングは、シャッターと同期させるように制御してもよい。

[0081] また、図 10A ~ 図 10C に示すように、露光期間の終了タイミングと同時に制御信号 P\_\_CLK のパルス信号を止めることが消費電力低減のためには好ましいが、露光期間の終了タイミングから少しずれていてもよい。

[0082] 本実施形態によっても、実施形態 1 と同様に、消費電力の増大を抑制することができる。また、実施形態 1 に比べて、スイッチのオンオフの回数を減らすことができるため、より光電変換装置の消費電力を抑制することが可能となる。

[0083] <実施形態 3>

実施形態 1 または実施形態 2 に係る光電変換装置で得られたカウント値 N

c t の補正について図 1 1 から図 1 5 までを用いて説明する。

[0084] 図 1 1 は、光電変換装置の各画素における入射光子数  $N_{ph}$  と、カウント値  $N_{ct}$  との関係を示す図である。ここで、 $N_{ph}$  とは、露光期間  $T$  あたりに各画素に実際に入射する光子の数（入射光子数）である。また、 $N_{ct}$  とは、カウンタ回路 2 1 1 でカウントされる、波形整形部 2 1 0 から出力されたパルス信号のカウント値である。ここで、 $P\_CLK$  の周波数を  $f$  とすると、露光期間  $T$  内の  $P\_CLK$  のパルス数は  $f \times T$  に等しくなる。

[0085] 各画素のスイッチ 2 0 2 を周期的なパルスで制御する場合、各画素のカウント値  $N_{ct}$  は図 1 1 の曲線 A のような特性となる。すなわち、カウント値  $N_{ct}$  は入射光子数  $N_{ph}$  の増加に伴って増加し、パルス数  $f \times T$  を上限としてカウントされる。 $P\_CLK$  のパルス 1 つにつき、リチャージ動作は 1 回であるため、 $P\_CLK$  1 周期あたりにカウントできる光子数は 1 つだけである。そのため、 $P\_CLK$  1 周期につき複数個の光子が入射される場合は、各周期における 2 個目以降の光子はカウントされない。したがって、高照度環境下では画素に入射してもカウントされない光子の数が増え、カウント値  $N_{ct}$  と実際の入射光子数  $N_{ph}$  とが乖離する。

[0086] そこで、本実施形態においては、カウント値  $N_{ct}$  を実際の入射光子数  $N_{ph}$  相当に換算する補正を行う。この補正は回路基板 2 1 と接続される補正回路 1 1 8 で行われる。補正回路 1 1 8 は、図 1 2 に示すように光電変換部 1 0 0 の外部にあってもよく、光電変換部 1 0 0 の内部（例えば信号処理回路 1 0 3）にあってもよい。なお、図 1 2 の 1 1 9 は外部出力回路である。 $N_{ct}$  と  $N_{ph}$  の関係を自然対数に基づく以下の式に示す。

$$N_{ct} = f \times T \times (1 - \exp(-N_{ph} / (f \times T))) \quad \text{式 (1)}$$

[0087] 言い換えれば、この補正回路 1 1 8 では、カウント値  $N_{ct}$  と、パルス信号の周波数  $f$  と、露光期間の長さ  $T$  とを説明変数とし、入射光子数  $N_{ph}$  を目的変数としたときに、説明変数と目的変数とが自然対数に基づく関係式で記述される。

[0088] 補正後のカウント値  $N_{ct}$  は図 1 1 の点線 B で表すことができる。この補

正を行うことで、入射光子数に対して非線形の特徴を示すAのカウント値を、線形性を持つ入射光子数相当のBのカウント値に修正できる。

[0089] ここで補正式は  $f \times T$  の値によって決まるため、異なる PCLK 周波数  $f$  のそれぞれに対し露光期間  $T$  の値が定められたとしても、 $f \times T$  が一定となる組み合わせである限り、入射光子数  $N_{ph}$  に対するカウント値  $N_{ct}$  の値は変わらない。

[0090] また、ひとつの露光期間の間に PCLK の周波数が 2 種類混在する場合は以下の式により補正できる。

$$N_{ct} = f_1 \times T_1 \times (1 - \exp(-N_{ph_1} / (f_1 \times T_1))) + f_2 \times T_2 \times (1 - \exp(-N_{ph_2} / (f_2 \times T_2))) \quad \text{式 (2)}$$

[0091] このとき、 $T_1$  はパルス信号が第 1 の周波数  $f_1$  で動作する期間、 $T_2$  はパルス信号が第 2 の周波数  $f_2$  で動作する期間であり、 $T_1 + T_2$  は露光期間  $T$  である。また、 $N_{ph_1}$  は  $T_1$  における入射光子数であり、 $N_{ph_2}$  は  $T_2$  における入射光子数である。 $N_{ph_1}$ 、 $N_{ph_2}$  のそれぞれは、以下の式で表される。

$$N_{ph_1} = N_{ph} \times T_1 / (T_1 + T_2) \quad \text{式 (3)}$$

$$N_{ph_2} = N_{ph} \times T_2 / (T_1 + T_2) \quad \text{式 (4)}$$

[0092] このように、入射光子数は合計の露光期間  $T$  に対する各周波数での露光期間の比率によって決まる。

[0093] ここで、図 13A、図 13B のように露光期間内に複数の周波数が混在する場合を考える。例えば図 13A に示すように、露光期間の前半に入力されるパルス信号の周波数は  $f_1$ 、後半に入力されるパルス信号の周波数は  $f_2$  となるように、周波数毎にまとめてパルス信号が入力されても良い。また、図 13B のように周波数の異なる 2 つのパルスが交互に続く状態となり、1 パルスずつ周波数  $f_1$ 、周波数  $f_2$  のパルス信号が交互に続く状態でも良い。図 13A、図 13B では露光期間内に 2 種類の周波数のパルス信号が混在する場合の例を示したが、3 種類以上の周波数のパルス信号が混在してもよい。

[0094] このように、露光期間内に複数種類の周波数のパルス信号を混在させるこ

とで、低周波数のパルス信号のみが入力される場合と比較して高照度時のカウント値の傾きが大きくなる。そのため、高照度でもカウント値の諧調性が保たれ、パルス信号の周波数が一種類の場合と比べてダイナミックレンジを拡大することができる。

[0095] さらに、露光期間内に  $n$  種類の PCLK 周波数が混在する場合は、補正式は以下の式で表される。  $n$  は 2 以上の自然数である。

$$N_{ct} = f_1 \times T_1 \times (1 - \exp(-N_{ph_1} / (f_1 \times T_1))) + f_2 \times T_2 \times (1 - \exp(-N_{ph_2} / (f_2 \times T_2))) + \dots + f_{n-1} \times T_{n-1} \times (1 - \exp(-N_{ph_{n-1}} / (f_{n-1} \times T_{n-1}))) + f_n \times T_n \times (1 - \exp(-N_{ph_n} / (f_n \times T_n))) \quad \text{式 (5)}$$

[0096] 各周波数のパルス信号が入力される期間の総和は露光期間  $T$  に等しい。また、各周波数のパルス信号が入力される期間の入射光子数は以下の式で表される。

$$N_{ph_1} = N_{ph} \times T_1 / (T_1 + T_2 + \dots + T_{n-1} + T_n) \quad \text{式 (6)}$$

$$N_{ph_2} = N_{ph} \times T_2 / (T_1 + T_2 + \dots + T_{n-1} + T_n) \quad \text{式 (7)}$$

$$N_{ph_{n-1}} = N_{ph} \times T_{n-1} / (T_1 + T_2 + \dots + T_{n-1} + T_n) \quad \text{式 (8)}$$

$$N_{ph_n} = N_{ph} \times T_n / (T_1 + T_2 + \dots + T_{n-1} + T_n) \quad \text{式 (9)}$$

[0097] 入射光子数は合計の露光期間  $T$  に対する、各周波数での露光期間の比率によって決まる。

[0098] なお、補正回路 118 で行われる補正は上述の式による補正を各カウント値のそれぞれに対して都度行う場合に限られない。例えば補正回路 118 が露光期間  $T$ 、パルス信号の周波数  $f$ 、カウント値  $N_{ct}$  の値の組み合わせの 3 次元テーブルを有していてもよい。補正回路 118 が有するテーブルの数値から測定値に一番近い値を選択することで入射光子数  $N_{ph}$  を概算可能である。このときテーブル内の数値は上述の式と同様に  $f$  と  $T$  の組み合わせに応じた自然対数に基づく関係式によって設定される。

[0099] カウント値に対する補正はこれに限られず、補正回路 118 において本補

正と同時にその他の補正を行うことで補正ステップを削減しても良い。例えばディスプレイ表示に備えて、カウント値をもとに形成される画像の明るさを調節する、いわゆる $\gamma$ 補正を行ってもよい。

[0100] <実施形態4>

図14は、本実施形態に係る光検出システム1200の構成を示すブロック図である。本実施形態の光検出システム1200は、光電変換装置1204を含む。ここで、光電変換装置1204は、上述の実施形態で述べた光電変換装置のいずれかを適用することができる。光検出システム1200は例えば、撮像システムとして用いることができる。撮像システムの具体例としては、デジタルスチルカメラ、デジタルカムコーダー、監視カメラ等が挙げられる。図14では、光検出システム1200としてデジタルスチルカメラの例を示している。

[0101] 図1に示す光検出システム1200は、光電変換装置1204、被写体の光学像を光電変換装置1204に結像させるレンズ1202、レンズ1202を通過する光量を可変にするための絞り1203、レンズ1202の保護のためのバリア1201を有する。レンズ1202および絞り1203は、光電変換装置1204に光を集光する光学系である。絞り1203と光電変換装置1204との間には、シャッターが配されている。シャッターの開け閉めにより、光電変換装置の露光期間を制御している。

[0102] 光検出システム1200は、光電変換装置1204から出力される出力信号の処理を行う信号処理部1205を有する。信号処理部1205は、必要に応じて入力信号に対して各種の補正、圧縮を行って出力する信号処理の動作を行う。光検出システム1200は、更に、画像データを一時的に記憶するためのバッファメモリ部1206、外部コンピュータ等と通信するための外部インターフェース部（外部I/F部）1209を有する。更に光検出システム1200は、撮像データの記録または読み出しを行うための半導体メモリ等の記録媒体1211、記録媒体1211に記録または読み出しを行うための記録媒体制御インターフェース部（記録媒体制御I/F部）1210

を有する。記録媒体1211は、光検出システム1200に内蔵されていてもよく、着脱可能であってもよい。また、記録媒体制御I/F部1210から記録媒体1211との通信や外部I/F部1209からの通信は無線によってなされてもよい。

[0103] 更に光検出システム1200は、各種演算を行うとともにデジタルスチルカメラ全体を制御する全体制御・演算部1208、光電変換装置1204と信号処理部1205に各種タイミング信号を出力するタイミング発生部1207を有する。ここで、タイミング信号などは外部から入力されてもよく、光検出システム1200は、少なくとも光電変換装置1204と、光電変換装置1204から出力された出力信号を処理する信号処理部1205とを有すればよい。第4の実施形態にて説明したようにタイミング発生部1207は光電変換装置に搭載されていてもよい。全体制御・演算部1208およびタイミング発生部1207は、光電変換装置1204の制御機能の一部または全部を実施するように構成してもよい。

[0104] 光電変換装置1204は、画像用信号を信号処理部1205に出力する。信号処理部1205は、光電変換装置1204から出力される画像用信号に対して所定の信号処理を実施し、画像データを出力する。また、信号処理部1205は、画像用信号を用いて、画像を生成する。また、信号処理部1205は、光電変換装置1204から出力される信号に対して測距演算を行ってもよい。なお、信号処理部1205やタイミング発生部1207は、光電変換装置に搭載されていてもよい。つまり、信号処理部1205やタイミング発生部1207は、画素が配された基板に設けられていてもよいし、別の基板に設けられている構成であってもよい。上述した各実施形態の光電変換装置を用いて撮像システムを構成することにより、より良質の画像が取得可能な撮像システムを実現することができる。

[0105] <実施形態5>

図15は、前述の実施形態に記載の光電変換装置を利用した電子機器である距離画像センサの構成例を示すブロック図である。

[0106] 図15に示すように、距離画像センサ401は、光学系407、光電変換装置408、画像処理回路404、モニタ405、およびメモリ406を備えて構成される。そして、距離画像センサ401は、光源装置409から被写体に向かって投光され、被写体の表面で反射された光（変調光やパルス光）を受光することにより、被写体までの距離に応じた距離画像を取得することができる。

[0107] 光学系407は、1枚または複数枚のレンズを有して構成され、被写体からの像光（入射光）を光電変換装置408に導き、光電変換装置408の受光面（センサ部）に結像させる。

[0108] 光電変換装置408としては、上述した各実施形態の光電変換装置が適用され、光電変換装置408から出力される受光信号から求められる距離を示す距離信号が画像処理回路404に供給される。

[0109] 画像処理回路404は、光電変換装置408から供給された距離信号に基づいて距離画像を構築する画像処理を行う。そして、その画像処理により得られた距離画像（画像データ）は、モニタ405に供給されて表示されたり、メモリ406に供給されて記憶（記録）されたりする。

[0110] このように構成されている距離画像センサ401では、上述した光電変換装置を適用することで、画素の特性向上に伴って、例えば、より正確な距離画像を取得することができる。

[0111] <実施形態6>

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、内視鏡手術システムに適用されてもよい。

[0112] 図16は、本開示に係る技術（本技術）が適用され得る内視鏡手術システムの概略的な構成の一例を示す図である。

[0113] 図16では、術者（医師）1131が、内視鏡手術システム1003を用いて、患者ベッド1133上の患者1132に手術を行っている様子が図示されている。図示するように、内視鏡手術システム1003は、内視鏡1100と、術具1110と、内視鏡下手術のための各種の装置が搭載された力

ート1134と、から構成される。

[0114] 内視鏡1100は、先端から所定の長さの領域が患者1132の体腔内に挿入される鏡筒1101と、鏡筒1101の基端に接続されるカメラヘッド1102と、から構成される。図示する例では、硬性の鏡筒1101を有するいわゆる硬性鏡として構成される内視鏡1100を図示しているが、内視鏡1100は、軟性の鏡筒を有するいわゆる軟性鏡として構成されてもよい。

[0115] 鏡筒1101の先端には、対物レンズが嵌め込まれた開口部が設けられている。内視鏡1100には光源装置1203が接続されており、光源装置1203によって生成された光が、鏡筒1101の内部に延設されるライトガイドによって当該鏡筒の先端まで導光され、対物レンズを介して患者1132の体腔内の観察対象に向かって照射される。なお、内視鏡1100は、直視鏡であってもよいし、斜視鏡又は側視鏡であってもよい。

[0116] カメラヘッド1102の内部には光学系及び光電変換装置が設けられており、観察対象からの反射光（観察光）は当該光学系によって当該光電変換装置に集光される。当該光電変換装置によって観察光が光電変換され、観察光に対応する電気信号、すなわち観察像に対応する画像信号が生成される。当該光電変換装置としては、前述の各実施形態に記載の光電変換装置を用いることができる。当該画像信号は、RAWデータとしてカメラコントロールユニット（CCU： Camera Control Unit）1135に送信される。

[0117] CCU1135は、CPU（Central Processing Unit）やGPU（Graphics Processing Unit）等によって構成され、内視鏡1100及び表示装置1136の動作を統括的に制御する。さらに、CCU1135は、カメラヘッド1102から画像信号を受け取り、その画像信号に対して、例えば現像処理（デモザイク処理）等の、当該画像信号に基づく画像を表示するための各種の画像処理を施す。

[0118] 表示装置1136は、CCU1135からの制御により、CCU1135

によって画像処理が施された画像信号に基づく画像を表示する。

- [0119] 光源装置1203は、例えばLED (Light Emitting Diode) 等の光源から構成され、術部等を撮影する際の照射光を内視鏡1100に供給する。
- [0120] 入力装置1137は、内視鏡手術システム1003に対する入力インターフェースである。ユーザーは、入力装置1137を介して、内視鏡手術システム1003に対して各種の情報の入力や指示入力を行うことができる。
- [0121] 処置具制御装置1138は、組織の焼灼、切開又は血管の封止等のためのエネルギー処置具1112の駆動を制御する。
- [0122] 内視鏡1100に術部を撮影する際の照射光を供給する光源装置1203は、例えばLED、レーザ光源又はこれらの組み合わせによって構成される白色光源から構成することができる。RGBレーザ光源の組み合わせにより白色光源が構成される場合には、各色（各波長）の出力強度及び出力タイミングを高精度に制御することができるため、光源装置1203において撮像画像のホワイトバランスの調整を行うことができる。また、この場合には、RGBレーザ光源それぞれからのレーザ光を時分割で観察対象に照射し、その照射タイミングに同期してカメラヘッド1102の撮像素子の駆動を制御することにより、RGBそれぞれに対応した画像を時分割で撮像することも可能である。当該方法によれば、当該撮像素子にカラーフィルタを設けなくても、カラー画像を得ることができる。
- [0123] また、光源装置1203は、出力する光の強度を所定の時間ごとに変更するようにその駆動が制御されてもよい。その光の強度の変更のタイミングに同期してカメラヘッド1102の撮像素子の駆動を制御して時分割で画像を取得し、その画像を合成することにより、いわゆる黒つぶれ及び白とびのない高ダイナミックレンジの画像を生成することができる。
- [0124] また、光源装置1203は、特殊光観察に対応した所定の波長帯域の光を供給可能に構成されてもよい。特殊光観察では、例えば、体組織における光の吸収の波長依存性を利用する。具体的には、通常の観察時における照射光

(すなわち、白色光) に比べて狭帯域の光を照射することにより、粘膜表層の血管等の所定の組織を高コントラストで撮影する。あるいは、特殊光観察では、励起光を照射することにより発生する蛍光により画像を得る蛍光観察が行われてもよい。蛍光観察では、体組織に励起光を照射し当該体組織からの蛍光を観察すること、又はインドシアニンググリーン (ICG) 等の試薬を体組織に局注するとともに当該体組織にその試薬の蛍光波長に対応した励起光を照射し蛍光像を得ること等を行うことができる。光源装置 1203 は、このような特殊光観察に対応した狭帯域光及び／又は励起光を供給可能に構成され得る。

[0125] <実施形態 7>

本実施形態の光検出システムおよび移動体について、図 17A、図 17B 及び図 18 用いて説明する。図 17A、図 17B は、本実施形態による光検出システムおよび移動体の構成例を示す概略図である。図 18 は、本実施形態による光検出システムの動作を示すフロー図である。本実施形態では、光検出システムとして、車載カメラの一例を示す。

[0126] 図 17A、図 17B は、車両システムとこれに搭載される撮像を行う光検出システムの一例を示したものである。光検出システム 1301 は、光電変換装置 1302、画像前処理部 1315、集積回路 1303、光学系 1314 を含む。光学系 1314 は、光電変換装置 1302 に被写体の光学像を結像する。光電変換装置 1302 は、光学系 1314 により結像された被写体の光学像を電気信号に変換する。光電変換装置 1302 は、上述の各実施形態のいずれかの光電変換装置である。画像前処理部 1315 は、光電変換装置 1302 から出力された信号に対して所定の信号処理を行う。画像前処理部 1315 の機能は、光電変換装置 1302 内に組み込まれていてもよい。光検出システム 1301 には、光学系 1314、光電変換装置 1302 および画像前処理部 1315 が、少なくとも 2 組設けられており、各組の画像前処理部 1315 からの出力が集積回路 1303 に入力されるようになっている。

- [0127] 集積回路1303は、撮像システム用途向けの集積回路であり、メモリ1305を含む画像処理部1304、光学測距部1306、測距演算部1307、物体認知部1308、異常検出部1309を含む。画像処理部1304は、画像前処理部1315の出力信号に対して、現像処理や欠陥補正等の画像処理を行う。メモリ1305は、撮像画像の一次記憶、撮像画素の欠陥位置を格納する。光学測距部1306は、被写体の合焦や、測距を行う。測距演算部1307は、複数の光電変換装置1302により取得された複数の画像データから測距情報の算出を行う。物体認知部1308は、車、道、標識、人等の被写体の認知を行う。異常検出部1309は、光電変換装置1302の異常を検出すると、主制御部1313に異常を発報する。
- [0128] 集積回路1303は、専用に設計されたハードウェアによって実現されてもよいし、ソフトウェアモジュールによって実現されてもよいし、これらの組合せによって実現されてもよい。また、FPGA (Field Programmable Gate Array) やASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等によって実現されてもよいし、これらの組合せによって実現されてもよい。
- [0129] 主制御部1313は、光検出システム1301、車両センサ1310、制御ユニット1320等の動作を統括・制御する。主制御部1313を持たず、光検出システム1301、車両センサ1310、制御ユニット1320が個別に通信インターフェースを有して、それぞれが通信ネットワークを介して制御信号の送受を行う（例えばCAN規格）方法も取り得る。
- [0130] 集積回路1303は、主制御部1313からの制御信号を受け或いは自身の制御部によって、光電変換装置1302へ制御信号や設定値を送信する機能を有する。
- [0131] 光検出システム1301は、車両センサ1310に接続されており、車速、ヨーレート、舵角などの自車両走行状態および自車外環境や他車・障害物の状態を検出することができる。車両センサ1310は、対象物までの距離情報を取得する距離情報取得手段でもある。また、光検出システム1301

は、自動操舵、自動巡行、衝突防止機能等の種々の運転支援を行う運転支援制御部1311に接続されている。特に、衝突判定機能に関しては、光検出システム1301や車両センサ1310の検出結果を基に他車・障害物との衝突推定・衝突有無を判定する。これにより、衝突が推定される場合の回避制御、衝突時の安全装置起動を行う。

[0132] また、光検出システム1301は、衝突判定部での判定結果に基づいて、ドライバーに警報を発する警報装置1312にも接続されている。例えば、衝突判定部の判定結果として衝突可能性が高い場合、主制御部1313は、ブレーキをかける、アクセルを戻す、エンジン出力を抑制するなどして、衝突を回避、被害を軽減する車両制御を行う。警報装置1312は、音等の警報を鳴らす、カーナビゲーションシステムやメーターパネルなどの表示部画面に警報情報を表示する、シートベルトやステアリングに振動を与えるなどしてユーザーに警告を行う。

[0133] 本実施形態では、車両の周囲、例えば前方または後方を光検出システム1301で撮影する。図17Bに、車両前方を光検出システム1301で撮像する場合の光検出システム1301の配置例を示す。

[0134] 2つの光電変換装置1302は、車両1300の前方に配される。具体的には、車両1300の進退方位または外形（例えば車幅）に対する中心線を中心軸に見立て、その中心軸に対して2つの光電変換装置1302が線対称に配されると、車両1300と被写対象物との間の距離情報の取得や衝突可能性の判定を行う上で好ましい。また、光電変換装置1302は、運転者が運転席から車両1300の外の状況を視認する際に運転者の視野を妨げない配置が好ましい。警報装置1312は、運転者の視野に入りやすい配置が好ましい。

[0135] 次に、光検出システム1301における光電変換装置1302の故障検出動作について、図18を用いて説明する。光電変換装置1302の故障検出動作は、図18に示すステップS1410～S1480に従って実施される。

- [0136] ステップS 1 4 1 0は、光電変換装置 1 3 0 2のスタートアップ時の設定を行うステップである。すなわち、光検出システム 1 3 0 1の外部（例えば主制御部 1 3 1 3）または光検出システム 1 3 0 1の内部から、光電変換装置 1 3 0 2の動作のための設定を送信し、光電変換装置 1 3 0 2の撮像動作および故障検出動作を開始する。
- [0137] 次いで、ステップS 1 4 2 0において、有効画素から画素信号を取得する。また、ステップS 1 4 3 0において、故障検出用に設けた故障検出画素からの出力値を取得する。この故障検出画素は、有効画素と同じく光電変換素子を備える。この光電変換素子には、所定の電圧が書き込まれる。故障検出用画素は、この光電変換素子に書き込まれた電圧に対応する信号を出力する。なお、ステップS 1 4 2 0とステップS 1 4 3 0とは逆でもよい。
- [0138] 次いで、ステップS 1 4 4 0において、故障検出画素の出力期待値と、実際の故障検出画素からの出力値との該非判定を行う。ステップS 1 4 4 0における該非判定の結果、出力期待値と実際の出力値とが一致している場合は、ステップS 1 4 5 0に移行し、撮像動作が正常に行われていると判定し、処理ステップがステップS 1 4 6 0へと移行する。ステップS 1 4 6 0では、走査行の画素信号をメモリ 1 3 0 5に送信して一次保存する。そののち、ステップS 1 4 2 0に戻り、故障検出動作を継続する。一方、ステップS 1 4 4 0における該非判定の結果、出力期待値と実際の出力値とが一致していない場合は、処理ステップはステップS 1 4 7 0に移行する。ステップS 1 4 7 0において、撮像動作に異常があると判定し、主制御部 1 3 1 3、または警報装置 1 3 1 2に警報を発報する。警報装置 1 3 1 2は、表示部に異常が検出されたことを表示させる。その後、ステップS 1 4 8 0において光電変換装置 1 3 0 2を停止し、光検出システム 1 3 0 1の動作を終了する。
- [0139] なお、本実施形態では、1行毎にフローチャートをループさせる例を例示したが、複数行毎にフローチャートをループさせてもよいし、1フレーム毎に故障検出動作を行ってもよい。ステップS 1 4 7 0の警報の発報は、無線ネットワークを介して、車両の外部に通知するようにしてもよい。

[0140] また、本実施形態では、他の車両と衝突しない制御を説明したが、他の車両に追従して自動運転する制御や、車線からはみ出さないように自動運転する制御などにも適用可能である。さらに、光検出システム1301は、自動車等の車両に限らず、例えば、船舶、航空機或いは産業用ロボットなどの移動体（移動装置）に適用することができる。加えて、移動体に限らず、高度道路交通システム（ITS）等、広く物体認識を利用する機器に適用することができる。

[0141] 本発明の光電変換装置は、更に、距離情報など各種情報を取得可能な構成であってもよい。

[0142] <実施形態8>

図19Aは、1つの適用例に係る眼鏡1600（スマートグラス）を説明する。眼鏡1600には、光電変換装置1602を有する。光電変換装置1602は、上記の各実施形態に記載の光電変換装置である。また、レンズ1601の裏面側には、OLEDやLED等の発光装置を含む表示装置が設けられていてもよい。光電変換装置1602は1つでもよいし、複数でもよい。また、複数種類の光電変換装置を組み合わせ用いてもよい。光電変換装置1602の配置位置は図19Aに限定されない。

[0143] 眼鏡1600は、制御装置1603をさらに備える。制御装置1603は、光電変換装置1602と上記の表示装置に電力を供給する電源として機能する。また、制御装置1603は、光電変換装置1602と表示装置の動作を制御する。レンズ1601には、光電変換装置1602に光を集光するための光学系が形成されている。

[0144] 図19Bは、1つの適用例に係る眼鏡1610（スマートグラス）を説明する。眼鏡1610は、制御装置1612を有しており、制御装置1612に、光電変換装置1602に相当する光電変換装置と、表示装置が搭載される。レンズ1611には、制御装置1612内の光電変換装置と、表示装置からの発光を投影するための光学系が形成されており、レンズ1611には画像が投影される。制御装置1612は、光電変換装置および表示装置に電

力を供給する電源として機能するとともに、光電変換装置および表示装置の動作を制御する。制御装置は、装着者の視線を検知する視線検知部を有してもよい。視線の検知は赤外線を用いてよい。赤外発光部は、表示画像を注視しているユーザーの眼球に対して、赤外光を発する。発せられた赤外光の眼球からの反射光を、受光素子を有する撮像部が検出することで眼球の撮像画像が得られる。平面視における赤外発光部から表示部への光を低減する低減手段を有することで、画像品位の低下を低減する。

[0145] 赤外光の撮像により得られた眼球の撮像画像から表示画像に対するユーザーの視線を検出する。眼球の撮像画像を用いた視線検出には任意の公知の手法が適用できる。一例として、角膜での照射光の反射によるプルキニエ像に基づく視線検出方法を用いることができる。

[0146] より具体的には、瞳孔角膜反射法に基づく視線検出処理が行われる。瞳孔角膜反射法を用いて、眼球の撮像画像に含まれる瞳孔の像とプルキニエ像とに基づいて、眼球の向き（回転角度）を表す視線ベクトルが算出されることにより、ユーザーの視線が検出される。

[0147] 本実施形態の表示装置は、受光素子を有する光電変換装置を有し、光電変換装置からのユーザーの視線情報に基づいて表示装置の表示画像を制御してよい。

[0148] 具体的には、表示装置は、視線情報に基づいて、ユーザーが注視する第一の視界領域と、第一の視界領域以外の第二の視界領域とを決定される。第一の視界領域、第二の視界領域は、表示装置の制御装置が決定してもよいし、外部の制御装置が決定したものを受信してもよい。表示装置の表示領域において、第一の視界領域の表示解像度を第二の視界領域の表示解像度よりも高く制御してよい。つまり、第二の視界領域の解像度を第一の視界領域よりも低くしてよい。

[0149] また、表示領域は、第一の表示領域、第一の表示領域とは異なる第二の表示領域とを有し、視線情報に基づいて、第一の表示領域および第二の表示領域から優先度が高い領域を決定されてよい。第一の視界領域、第二の視界領

域は、表示装置の制御装置が決定してもよいし、外部の制御装置が決定したものを受信してもよい。優先度の高い領域の解像度を、優先度が高い領域以外の領域の解像度よりも高く制御してよい。つまり優先度が相対的に低い領域の解像度を低くしてよい。

[0150] なお、第一の視界領域や優先度が高い領域の決定には、AIを用いてもよい。AIは、眼球の画像と当該画像の眼球が実際に視ていた方向とを教師データとして、眼球の画像から視線の角度、視線の先の目的物までの距離を推定するよう構成されたモデルであってよい。AIプログラムは、表示装置が有しても、光電変換装置が有しても、外部装置が有してもよい。外部装置が有する場合は、通信を介して、表示装置に伝えられる。

[0151] 視認検知に基づいて表示制御する場合、外部を撮像する光電変換装置を更に有するスマートグラスに好ましく適用できる。スマートグラスは、撮像した外部情報をリアルタイムで表示することができる。

[0152] <その他の実施形態>

以上、各実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に制限されるものではなく、様々な変更および変形が可能である。また、各実施形態は相互に適用可能である。

[0153] 本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、本発明の範囲を公にするために以下の請求項を添付する。

[0154] この出願は2021年1月7日に提出された日本国特許出願第2021-001441と2021年12月21日に提出された日本国特許出願第2021-207158からの優先権を主張するものであり、その内容を引用してこの出願の一部とするものである。

## 請求の範囲

- [請求項1]           アノードとカソードとを含むアバランシェフォトダイオードと、  
前記アノードおよび前記カソードのうちの一方のノードと駆動電圧が印加される電源線とに接続され、前記一方のノードと前記電源線との間の抵抗値を切り替えるスイッチと、  
前記スイッチの切り替えを制御するためのパルス信号を生成する信号生成部と、を備え、  
第1露光期間における前記パルス信号の数を前記第1露光期間で除算した値と、前記第1露光期間の長さとは異なる長さを有する第2露光期間における前記パルス信号の数を前記第2露光期間で除算した値とは異なることを特徴とする光電変換装置。
- [請求項2]           前記パルス信号は、繰り返し周期の信号であることを特徴とする請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項3]           前記第1露光期間における前記パルス信号の数と、前記第2露光期間における前記パルス信号の数は同じであることを特徴とする請求項1又は2に記載の光電変換装置。
- [請求項4]           前記第1露光期間は前記第2露光期間よりも短く、  
前記第1露光期間における前記パルス信号の周期は、前記第2露光期間における前記パルス信号の周期よりも短いことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光電変換装置。
- [請求項5]           前記第1露光期間における前記パルス信号の第1のレベルの第1のパルス幅と、前記第2露光期間における前記パルス信号の第1のレベルの第1のパルス幅とは同じであることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の光電変換装置。
- [請求項6]           前記第1露光期間における前記パルス信号の第2のレベルの第2のパルス幅と、前記第2露光期間における前記パルス信号の第2のレベルの第2のパルス幅とは異なることを特徴とする請求項5に記載の光電変換装置。

- [請求項7] 前記スイッチはクエンチ素子として機能することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の光電変換装置。
- [請求項8] 前記スイッチはMOSトランジスタであり、  
前記スイッチの一方のノードは、前記アバランシェフォトダイオードのカソードと接続され、  
前記スイッチの他方のノードは、前記電源線と接続され、  
前記パルス信号は、前記スイッチのゲート電極へと供給されることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の光電変換装置。
- [請求項9] 波形整形部と、カウンタ回路と、を有する信号処理回路を備え、  
前記波形整形部は、前記アノードおよび前記カソードのうちの一方のノードに接続され、  
前記波形整形部から出力された信号が前記カウンタ回路へと入力されることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の光電変換装置。
- [請求項10] 前記第1露光期間における前記パルス信号の数は、前記カウンタ回路の上限値と同じであることを特徴とする請求項9に記載の光電変換装置。
- [請求項11] 補正回路を有し、  
前記カウンタ回路から出力されるカウント値が前記補正回路に入力されることを特徴とする請求項9または請求項10に記載の光電変換装置。
- [請求項12] 前記補正回路は、前記カウント値と、前記第1露光期間における前記パルス信号の周波数と、前記第1露光期間の長さとを説明変数とし、入射光子数を目的変数としたときに、前記説明変数と前記目的変数とが自然対数に基づく関係式で記述されることを目的とする請求項11に記載の光電変換装置。
- [請求項13] 前記補正回路は、前記カウント値を $N_{ct}$ 、入射光子数を $N_{ph}$ 、前記第1露光期間における前記パルス信号の周波数を $f$ 、前記第1露

光期間を  $T$  として、前記カウント値の入力に対して

$$N_{ct} = f \times T \times (1 - \exp(-N_{ph} / (f \times T)))$$

の関係を満たす入射光子数  $N_{ph}$  を出力することを特徴とする請求項 11 または請求項 12 に記載の光電変換装置。

[請求項14]

前記補正回路は、前記パルス信号が  $n$  種類の周波数を持ち、

前記パルス信号の第 1 の周波数を  $f_1$ 、第 2 の周波数を  $f_2$ 、第  $n-1$  の周波数を  $f_{n-1}$ 、第  $n$  の周波数を  $f_n$  ( $n$  は 2 以上の自然数) とし、

前記パルス信号の周波数が  $f_1$  である期間を  $T_1$ 、前記パルス信号の周波数が  $f_2$  である期間を  $T_2$ 、前記パルス信号の周波数が  $f_{n-1}$  である期間を  $T_{n-1}$ 、前記パルス信号の周波数が  $f_n$  である期間を  $T_n$  として、前記カウント値の入力に対して、

$$N_{ct} = f_1 \times T_1 \times (1 - \exp(-N_{ph_1} / (f_1 \times T_1))) + f_2 \times T_2 \times (1 - \exp(-N_{ph_2} / (f_2 \times T_2))) + \dots + f_{n-1} \times T_{n-1} \times (1 - \exp(-N_{ph_{n-1}} / (f_{n-1} \times T_{n-1}))) + f_n \times T_n \times (1 - \exp(-N_{ph_n} / (f_n \times T_n)))$$

の関係を満たす入射光子数  $N_{ph}$  を出力することを特徴とする請求項 11 に記載の光電変換装置。

[請求項15]

前記第 1 露光期間および前記第 2 露光期間ではない期間において、前記パルス信号は前記スイッチに入力されないことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

[請求項16]

複数の前記アバランシェフォトダイオードが平面視で二次元アレイ状に配されていることを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

[請求項17]

アノードとカソードとを含むアバランシェフォトダイオードと、

前記アノードおよび前記カソードのうち一方のノードと駆動電圧が印加される電源線とに接続され、前記一方のノードと前記電源線との間の抵抗値を切り替えるスイッチと、

前記スイッチの切り替えを制御するためのパルス信号を生成する信号生成部と、を備え、

前記信号生成部は、カウンタ回路の動作中にパルス信号の周期を変える回路を有することを特徴とする光電変換装置。

[請求項18] 前記回路は分周回路であることを特徴とする請求項17に記載の光電変換装置。

[請求項19] 前記スイッチの一方のノードは、前記アバランシェフォトダイオードのカソードと接続され、

前記スイッチの他方のノードは、駆動電圧が印加される電源線と接続されることを特徴とする請求項16または17に記載の光電変換装置。

[請求項20] 前記スイッチはMOSトランジスタであり、

前記パルス信号は、前記スイッチのゲート電極へと供給されることを特徴とする請求項16乃至18のいずれか1項に記載の光電変換装置。

[請求項21] 波形整形部と、カウンタ回路と、を有する信号処理回路を備え、

前記波形整形部は、前記アノードおよび前記カソードのうちの一方のノードに接続され、

前記波形整形部から出力された信号が前記カウンタ回路へと入力されることを特徴とする請求項16乃至19のいずれか1項に記載の光電変換装置。

[請求項22] 請求項1乃至20のいずれか1項に記載の光電変換装置と、

前記光電変換装置が出力する信号を処理する信号処理部と、を有することを特徴とする光検出システム。

[請求項23] 請求項1乃至12のいずれか1項に記載の光電変換装置と、

前記光電変換装置が出力する信号を処理する信号処理部と、

前記光電変換装置への光の入射を制御するシャッターと、を備え、

前記第1露光期間および前記第2露光期間は、前記シャッターが開

いている期間であることを特徴とする光検出システム。

[請求項24]

請求項1乃至20のいずれか1項に記載の光電変換装置と、  
前記光電変換装置からの信号に基づく測距情報から、対象物までの  
距離情報を取得する距離情報取得手段と、を有する移動体であって、  
前記距離情報に基づいて前記移動体を制御する制御手段をさらに有  
することを特徴とする移動体。

**補正された請求の範囲**  
**[2022年4月28日(28.04.2022) 国際事務局受理]**

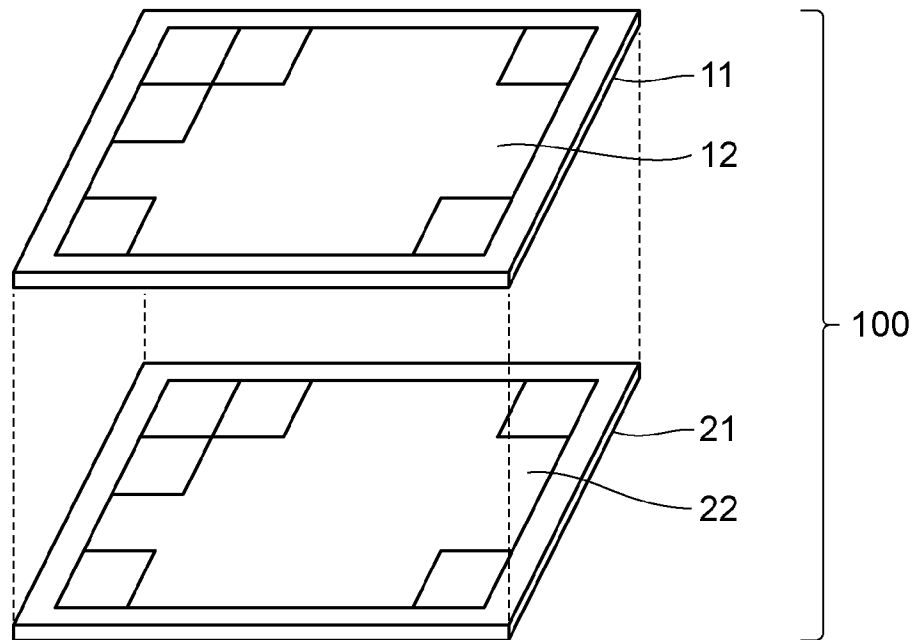
- [請求項1]           アノードとカソードとを含むアバランシェフォトダイオードと、  
                  前記アノードおよび前記カソードのうちの一方のノードと駆動電圧が印加される電源線とに接続され、前記一方のノードと前記電源線との間の抵抗値を切り替えるスイッチと、  
                  前記スイッチの切り替えを制御するためのパルス信号を生成する信号生成部と、を備え、  
                  第1露光期間における前記パルス信号の数を前記第1露光期間で除算した値と、前記第1露光期間の長さとは異なる長さを有する第2露光期間における前記パルス信号の数を前記第2露光期間で除算した値とが異なることを特徴とする光電変換装置。
- [請求項2]           前記パルス信号は、繰り返し周期の信号であることを特徴とする請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項3]           前記第1露光期間における前記パルス信号の数と、前記第2露光期間における前記パルス信号の数は同じであることを特徴とする請求項1又は2に記載の光電変換装置。
- [請求項4]           前記第1露光期間は前記第2露光期間よりも短く、  
                  前記第1露光期間における前記パルス信号の周期は、前記第2露光期間における前記パルス信号の周期よりも短いことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光電変換装置。
- [請求項5]           前記第1露光期間における前記パルス信号の第1のレベルの第1のパルス幅と、前記第2露光期間における前記パルス信号の第1のレベルの第1のパルス幅とは同じであることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の光電変換装置。
- [請求項6]           前記第1露光期間における前記パルス信号の第2のレベルの第2のパルス幅と、前記第2露光期間における前記パルス信号の第2のレベルの第2のパルス幅とが異なることを特徴とする請求項5に記載の光電変換装置。
- [請求項7]           前記スイッチはクエンチ素子として機能することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の光電変換装置。
- [請求項8]           前記スイッチはMOSトランジスタであり、  
                  前記スイッチの一方のノードは、前記アバランシェフォトダイオードのカソードと接続され、  
                  前記スイッチの他方のノードは、前記電源線と接続され、  
                  前記パルス信号は、前記スイッチのゲート電極へと供給されることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の光

電変換装置。

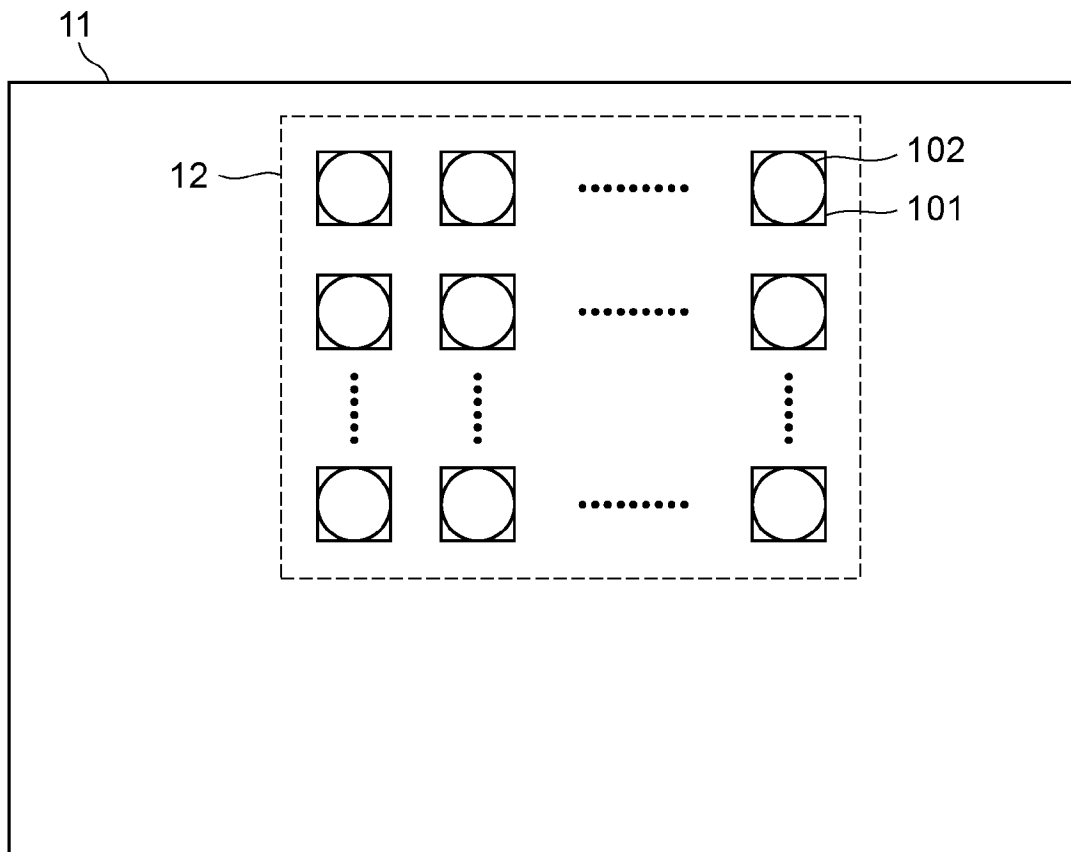
- [請求項9] 波形整形部と、カウンタ回路と、を有する信号処理回路を備え、  
前記波形整形部は、前記アノードおよび前記カソードのうち  
の一方のノードに接続され、  
前記波形整形部から出力された信号が前記カウンタ回路へと  
入力されることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に  
記載の光電変換装置。
- [請求項10] 前記第1露光期間における前記パルス信号の数は、前記カウ  
ンタ回路の上限値と同じであることを特徴とする請求項9に記載  
の光電変換装置。
- [請求項11] 補正回路を有し、  
前記カウンタ回路から出力されるカウント値が前記補正回路  
に入力されることを特徴とする請求項9または請求項10に記載  
の光電変換装置。
- [請求項12] 前記補正回路は、前記カウント値と、前記第1露光期間にお  
ける前記パルス信号の周波数と、前記第1露光期間の長さとを  
説明変数とし、入射光子数を目的変数としたときに、前記説明  
変数と前記目的変数とが自然対数に基づく関係式で記述される  
ことを目的とする請求項11に記載の光電変換装置。
- [請求項13] 前記補正回路は、前記カウント値を  $N_{ct}$ 、入射光子数を  $N_{ph}$ 、前記第1露光期間における前記パルス信号の周波数を  $f$ 、前記第1露光期間を  $T$  として、前記カウント値の入力に対して  
$$N_{ct} = f \times T \times (1 - \exp(-N_{ph} / (f \times T)))$$
  
の関係を満たす入射光子数  $N_{ph}$  を出力することを特徴とする  
請求項11または請求項12に記載の光電変換装置。
- [請求項14] 前記補正回路は、前記パルス信号が  $n$  種類の周波数を持ち、  
前記パルス信号の第1の周波数を  $f_1$ 、第2の周波数を  $f_2$ 、  
第  $n-1$  の周波数を  $f_{n-1}$ 、第  $n$  の周波数を  $f_n$  ( $n$  は2以上の  
自然数) とし、  
前記パルス信号の周波数が  $f_1$  である期間を  $T_1$ 、前記パルス  
信号の周波数が  $f_2$  である期間を  $T_2$ 、前記パルス信号の周波数  
が  $f_{n-1}$  である期間を  $T_{n-1}$ 、前記パルス信号の周波数が  $f_n$   
である期間を  $T_n$  として、前記カウント値の入力に対して、  
$$N_{ct} = f_1 \times T_1 \times (1 - \exp(-N_{ph_1} / (f_1 \times T_1))) + f_2 \times T_2 \times (1 - \exp(-N_{ph_2} / (f_2 \times T_2))) + \dots + f_{n-1} \times T_{n-1} \times (1 - \exp(-N_{ph_{n-1}} / (f_{n-1} \times T_{n-1}))) + f_n \times T_n \times (1 - \exp(-N_{ph_n} / (f_n \times T_n)))$$

- の関係を満たす入射光子数  $N_p h$  を出力することを特徴とする請求項 11 に記載の光電変換装置。
- [請求項15] 前記第 1 露光期間および前記第 2 露光期間ではない期間において、前記パルス信号は前記スイッチに入力されないことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。
- [請求項16] 複数の前記アバランシェフォトダイオードが平面視で二次元アレイ状に配されていることを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。
- [請求項17] (補正後) 請求項 1 乃至 16 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置と、  
前記光電変換装置が出力する信号を処理する信号処理部と、  
を有することを特徴とする光検出システム。
- [請求項18] (補正後) 請求項 1 乃至 16 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置と、  
前記光電変換装置が出力する信号を処理する信号処理部と、  
前記光電変換装置への光の入射を制御するシャッターと、を  
備え、  
前記第 1 露光期間および前記第 2 露光期間は、前記シャッターが開いている期間であることを特徴とする光検出システム。
- [請求項19] (補正後) 請求項 1 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置と、  
前記光電変換装置からの信号に基づく測距情報から、対象物までの距離情報を取得する距離情報取得手段と、を有する移動体であって、  
前記距離情報に基づいて前記移動体を制御する制御手段をさらに有することを特徴とする移動体。
- [請求項20] (削除)
- [請求項21] (削除)
- [請求項22] (削除)
- [請求項23] (削除)
- [請求項24] (削除)

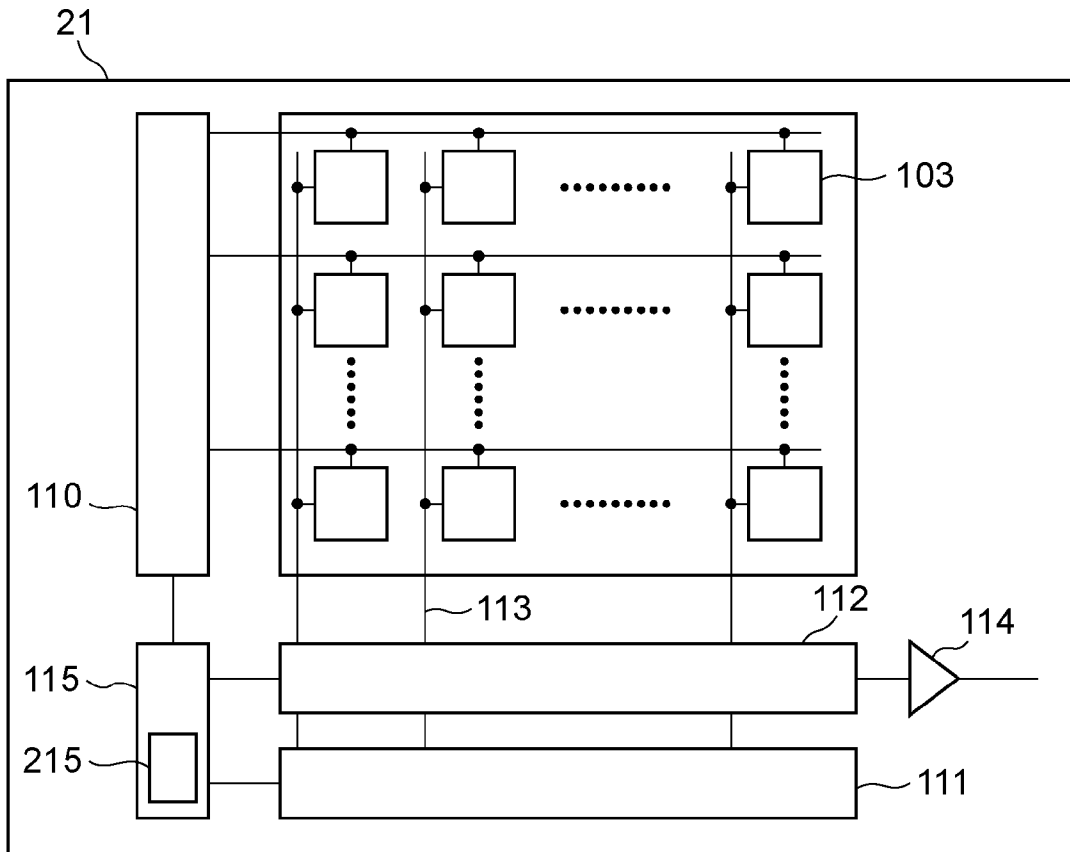
[図1]



[図2]

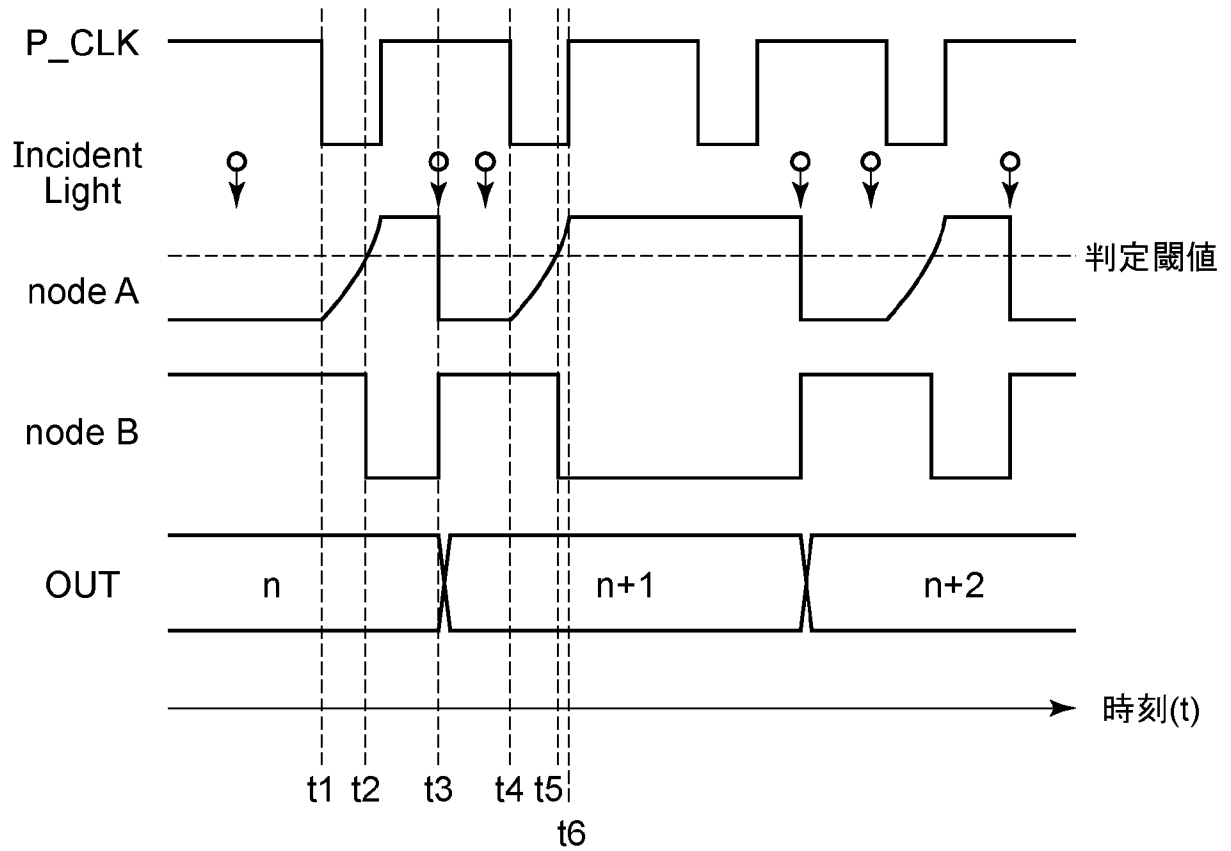


[図3]

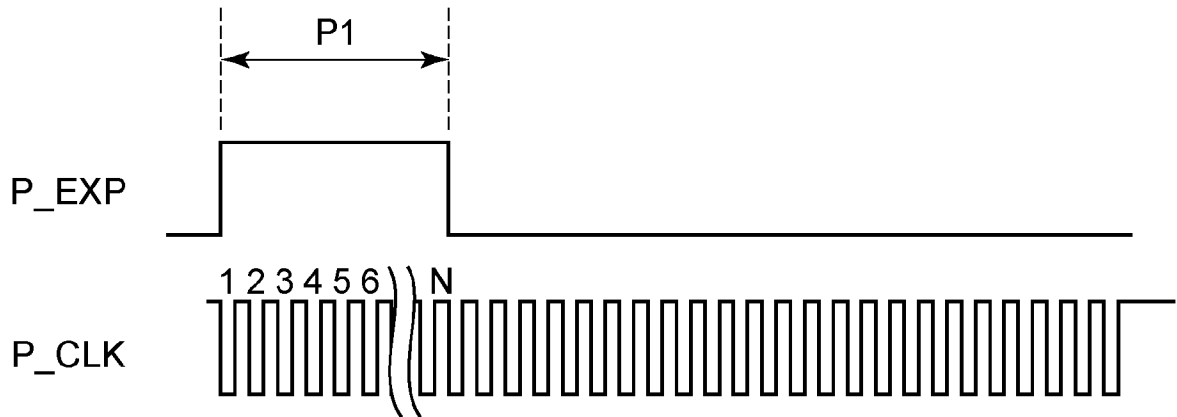




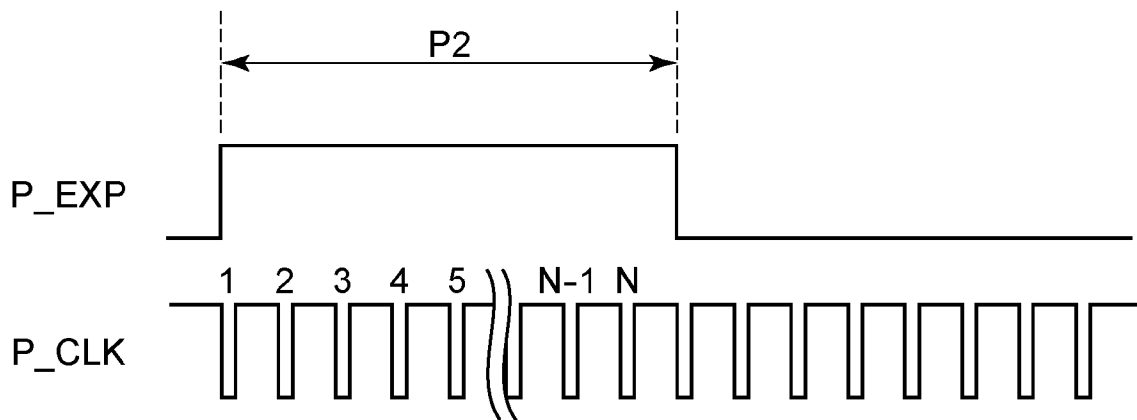
[図5]



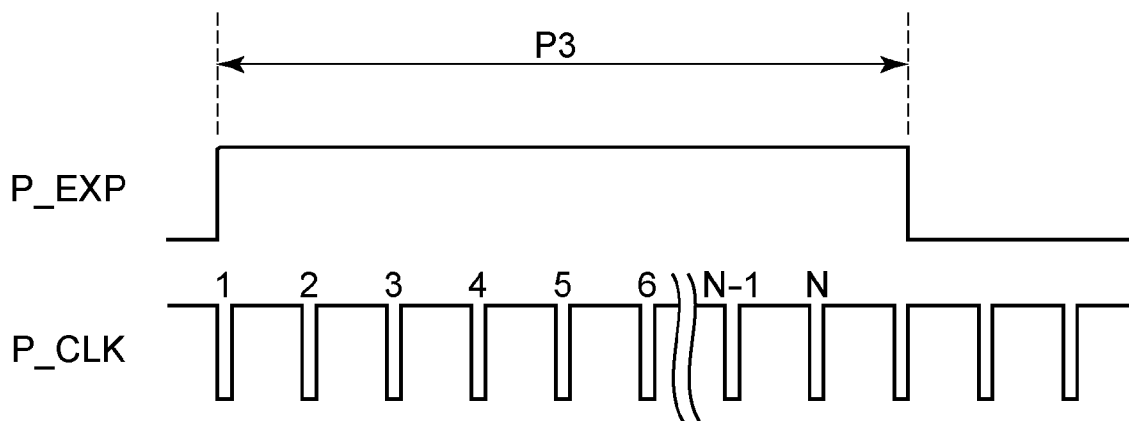
[図6A]



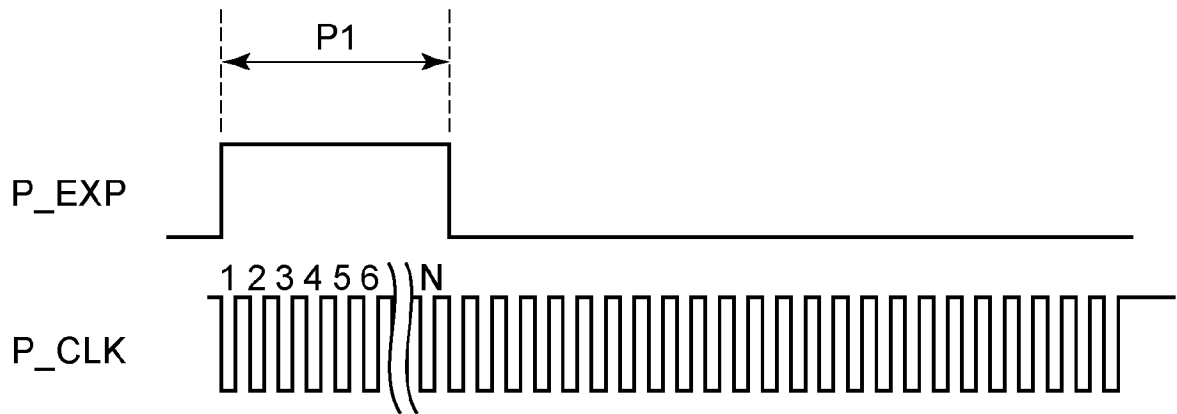
[図6B]



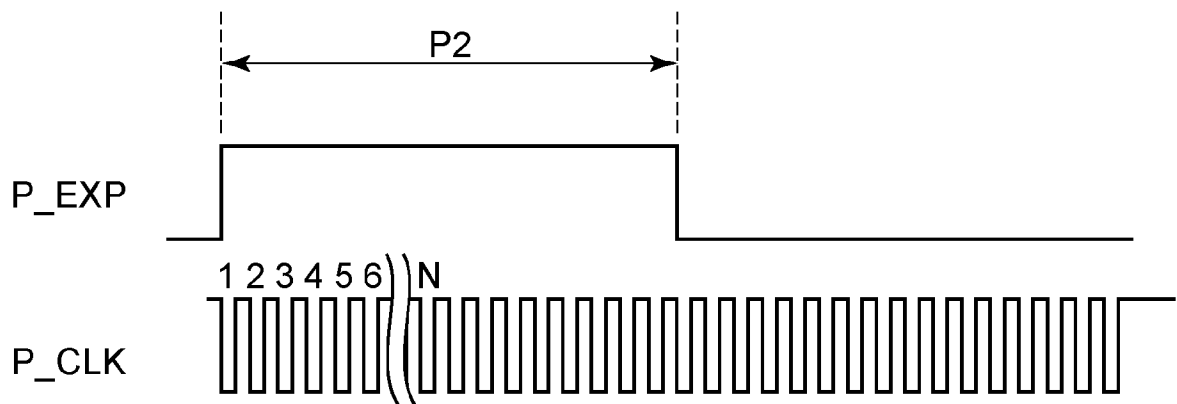
[図6C]



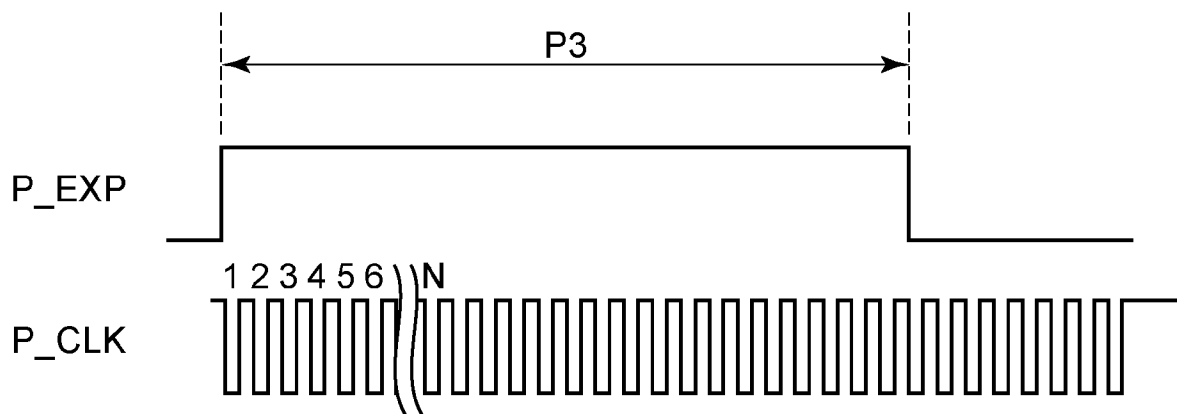
[図7A]



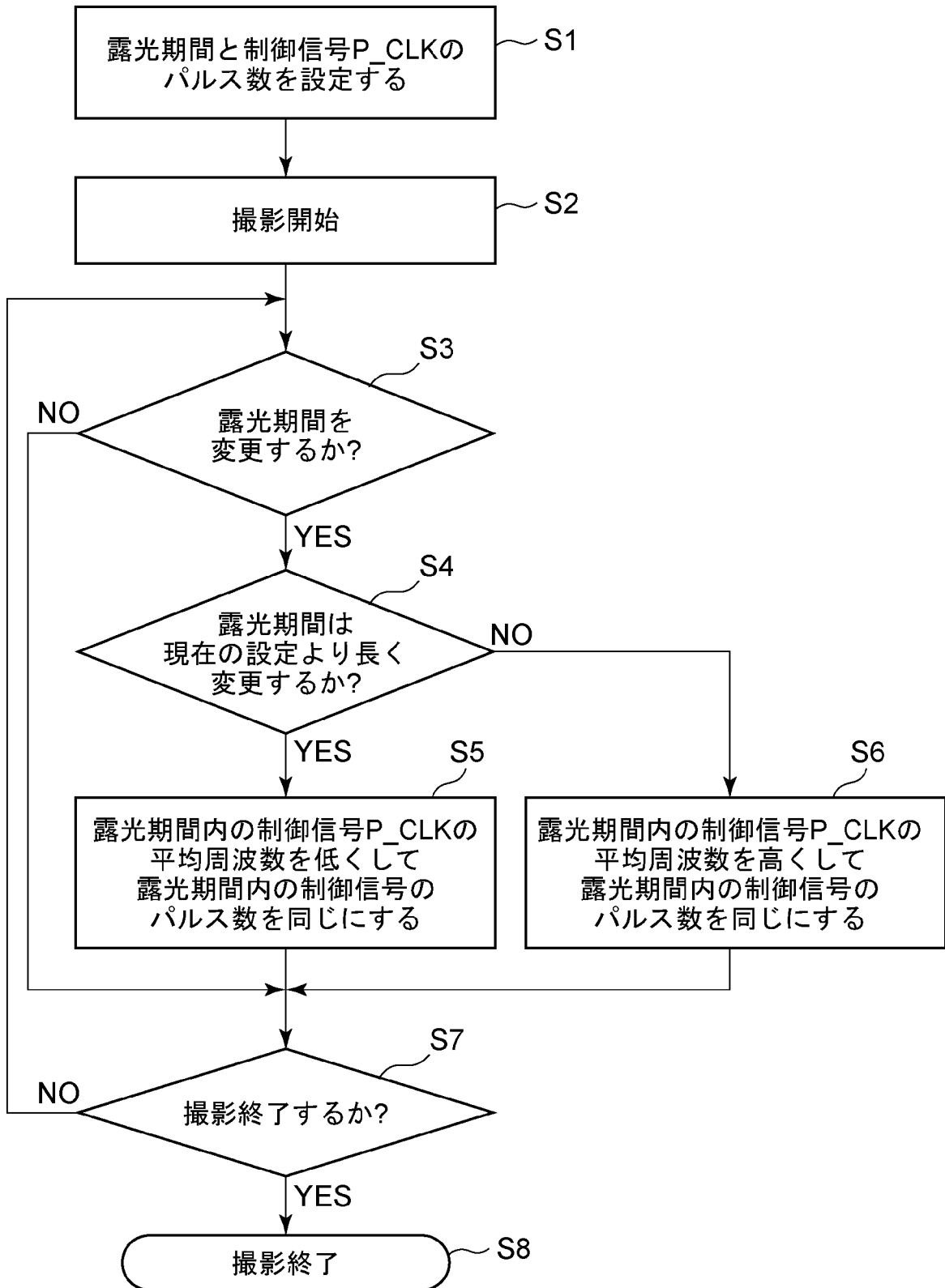
[図7B]



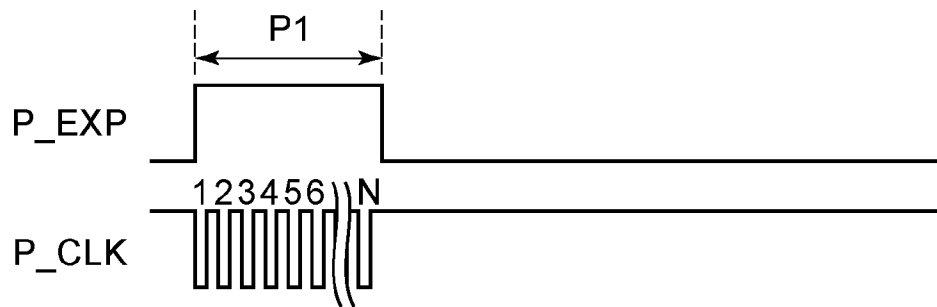
[図7C]



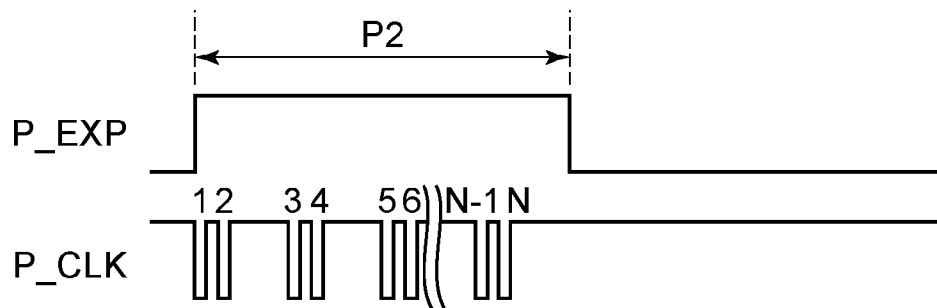
[図8]



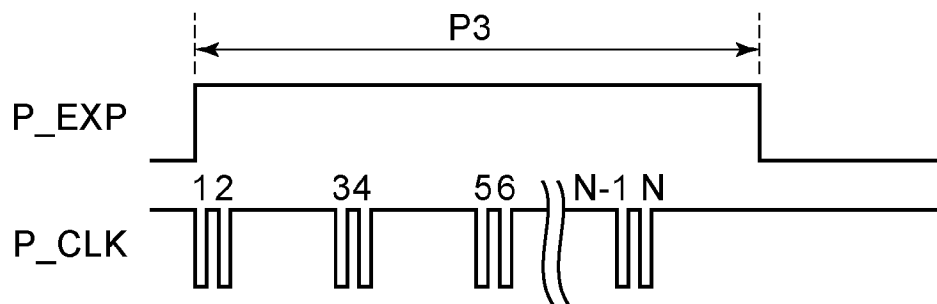
[図9A]



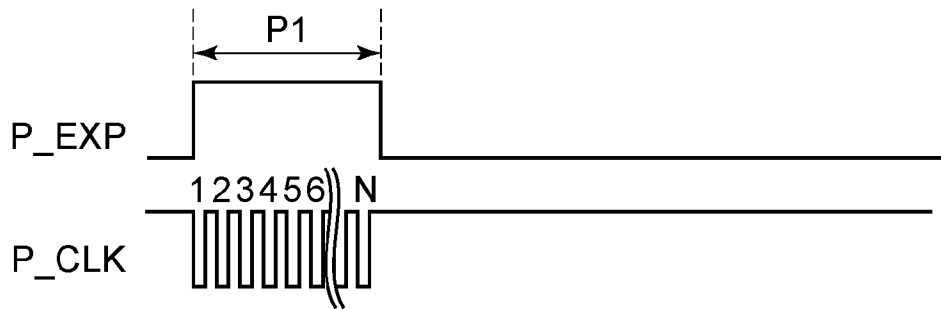
[図9B]



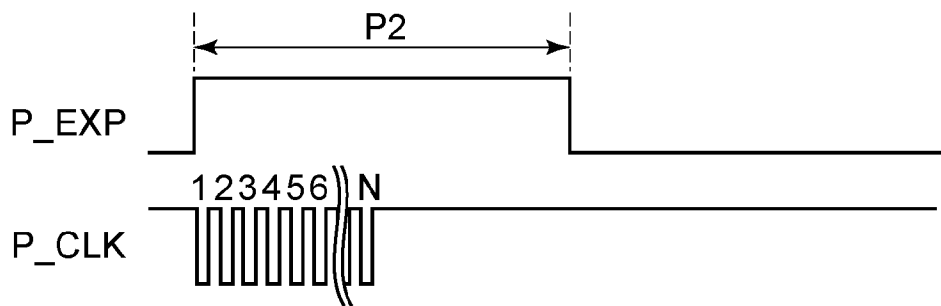
[図9C]



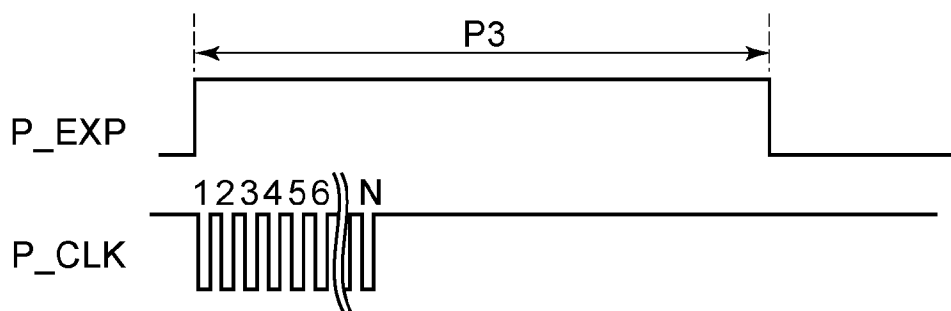
[図9D]



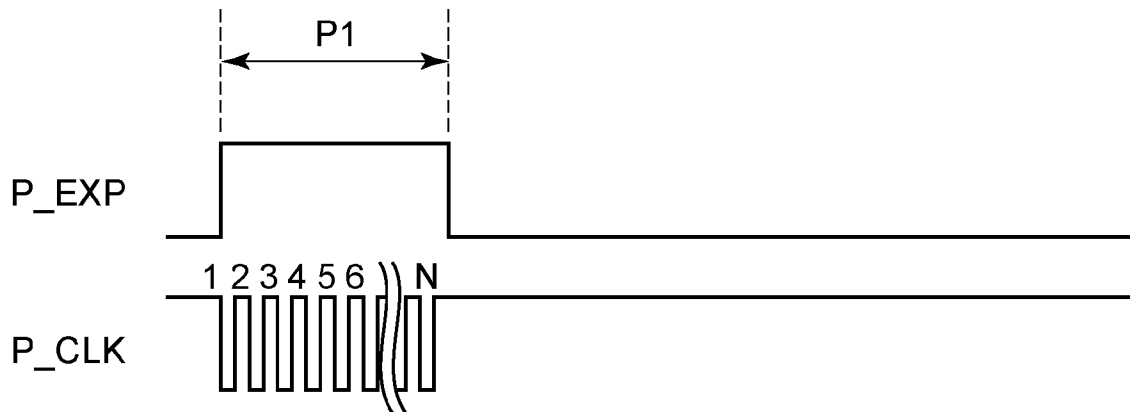
[図9E]



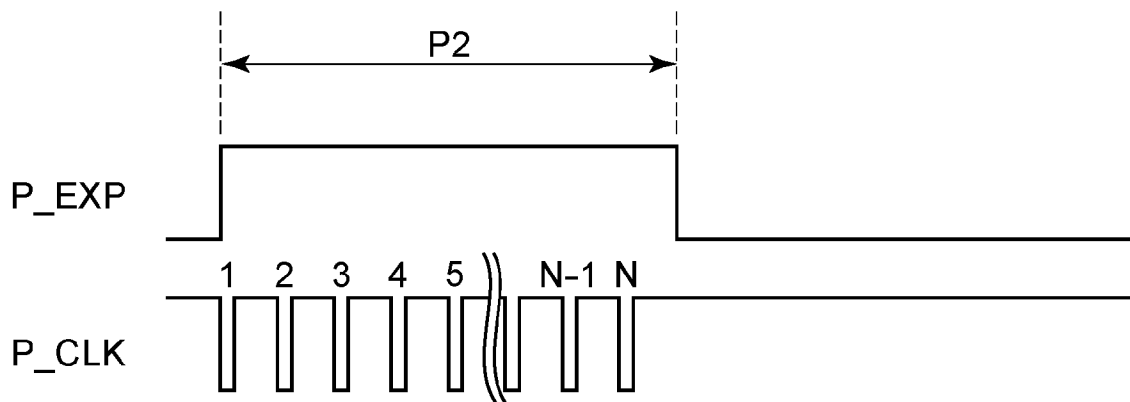
[図9F]



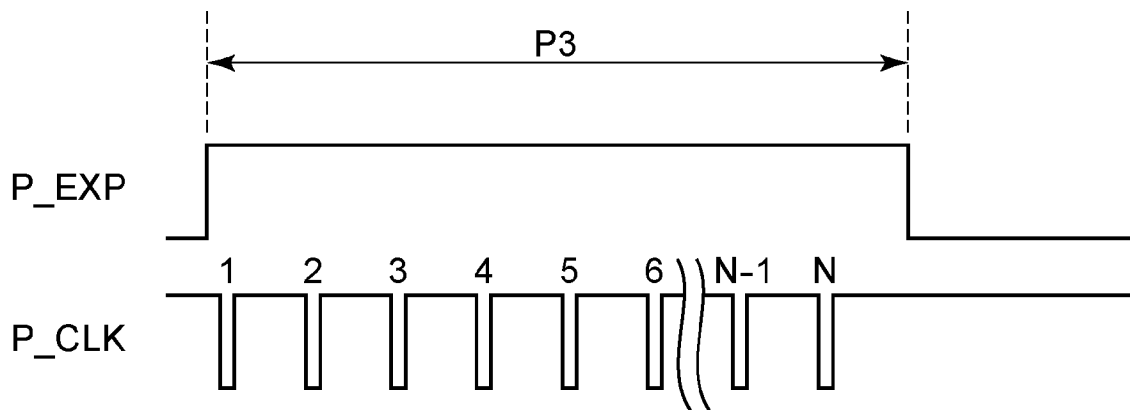
[図10A]



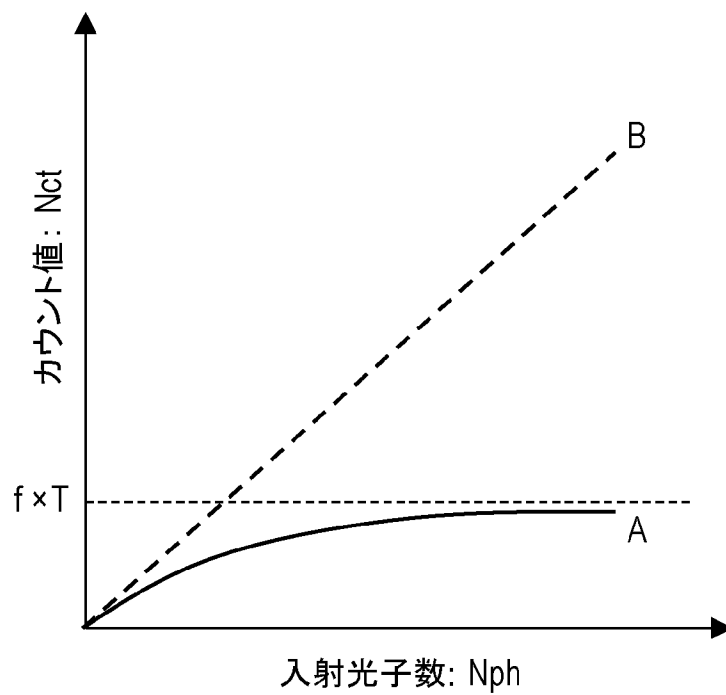
[図10B]



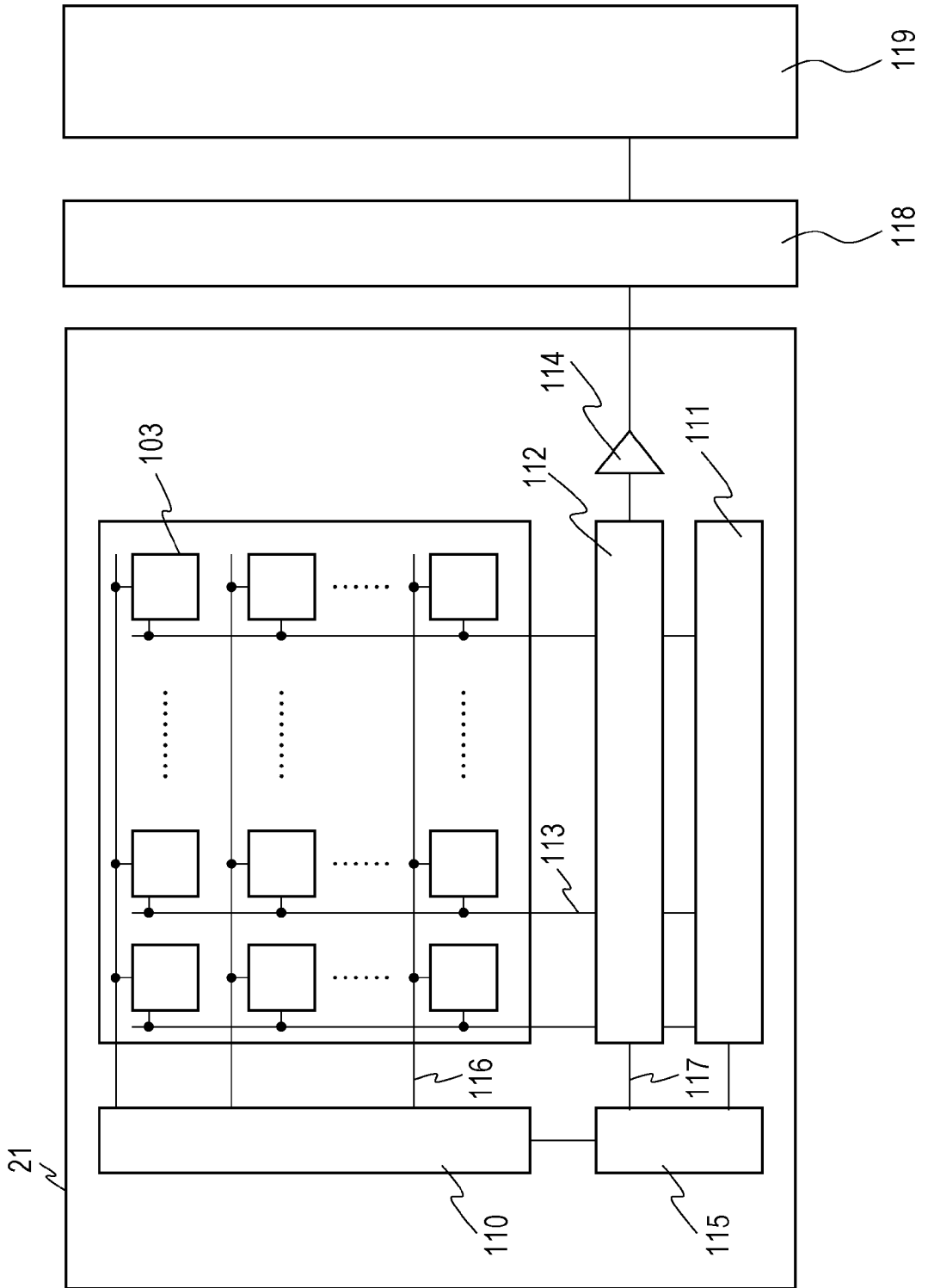
[図10C]



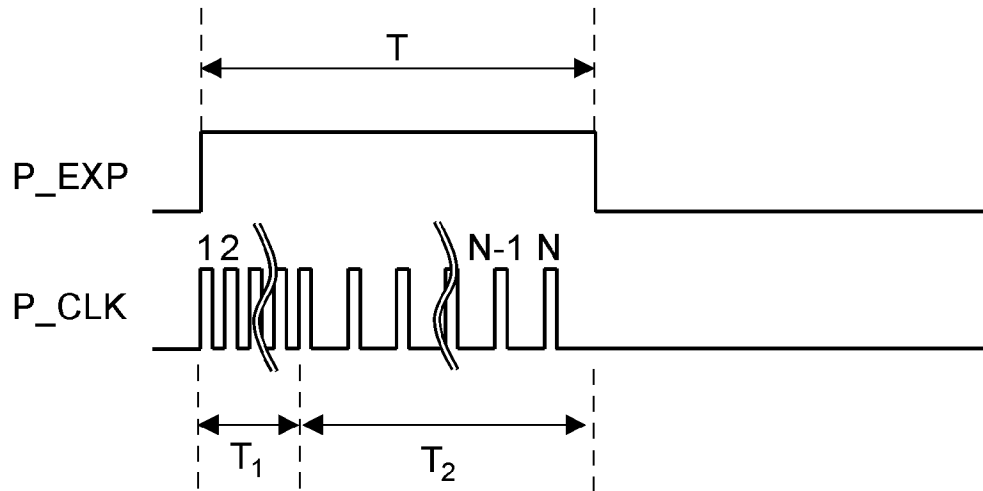
[図11]



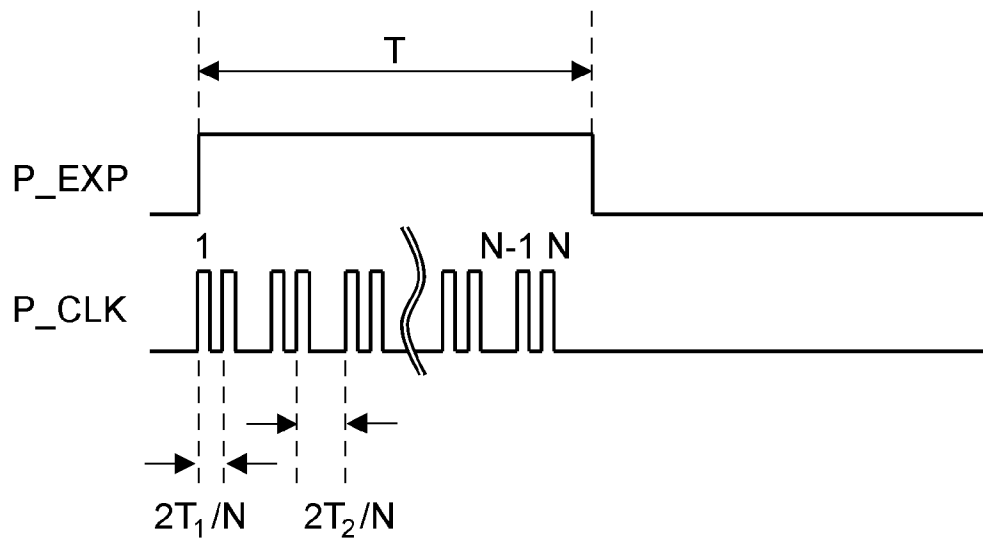
[図12]



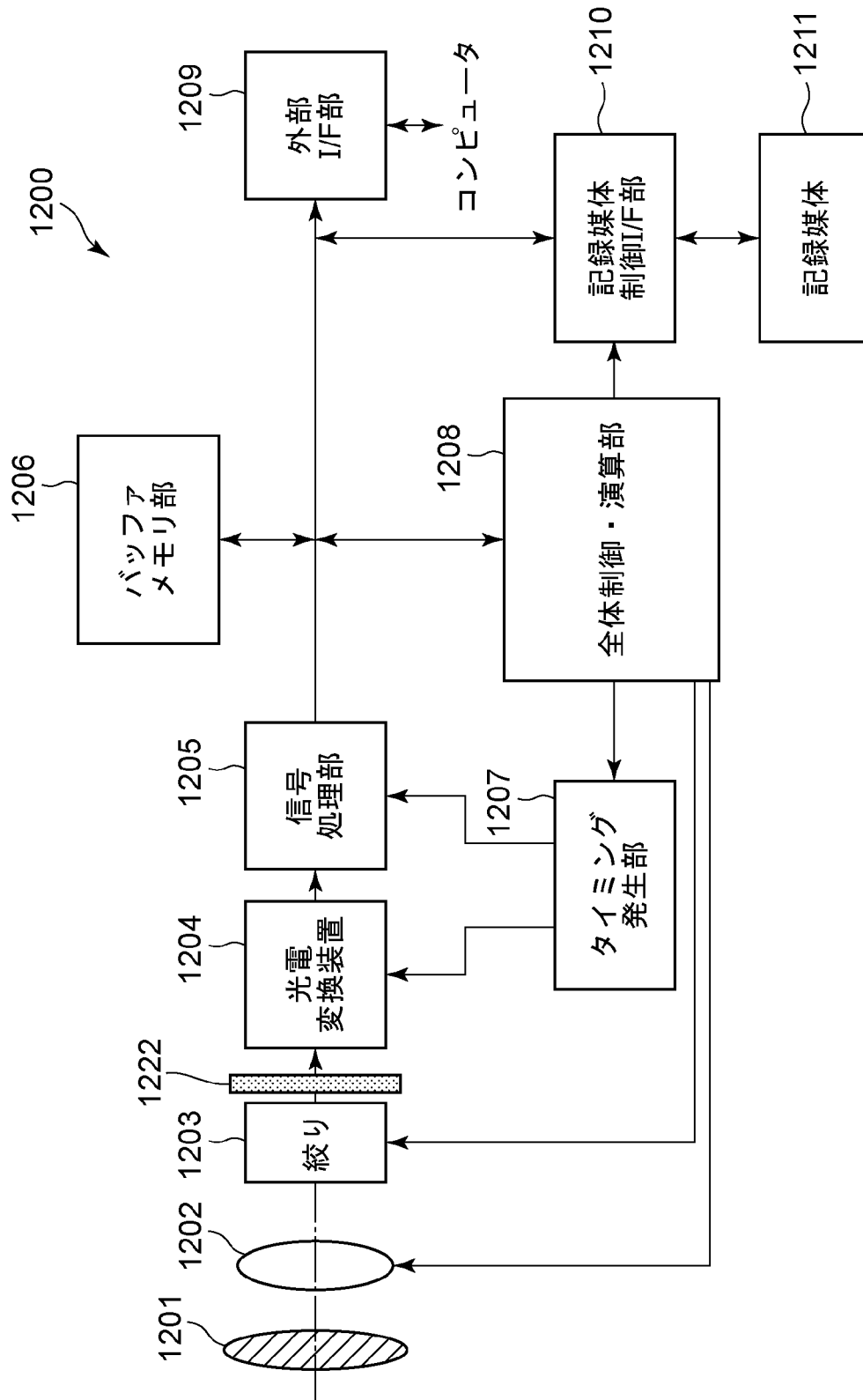
[図13A]



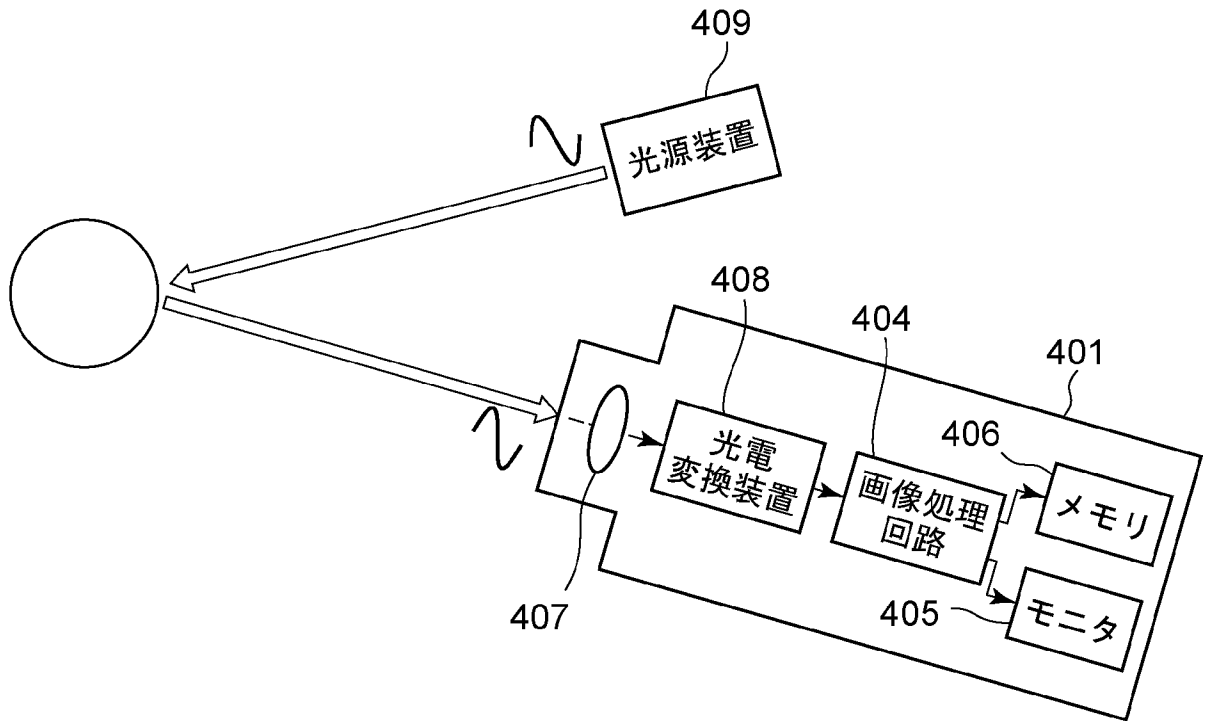
[図13B]



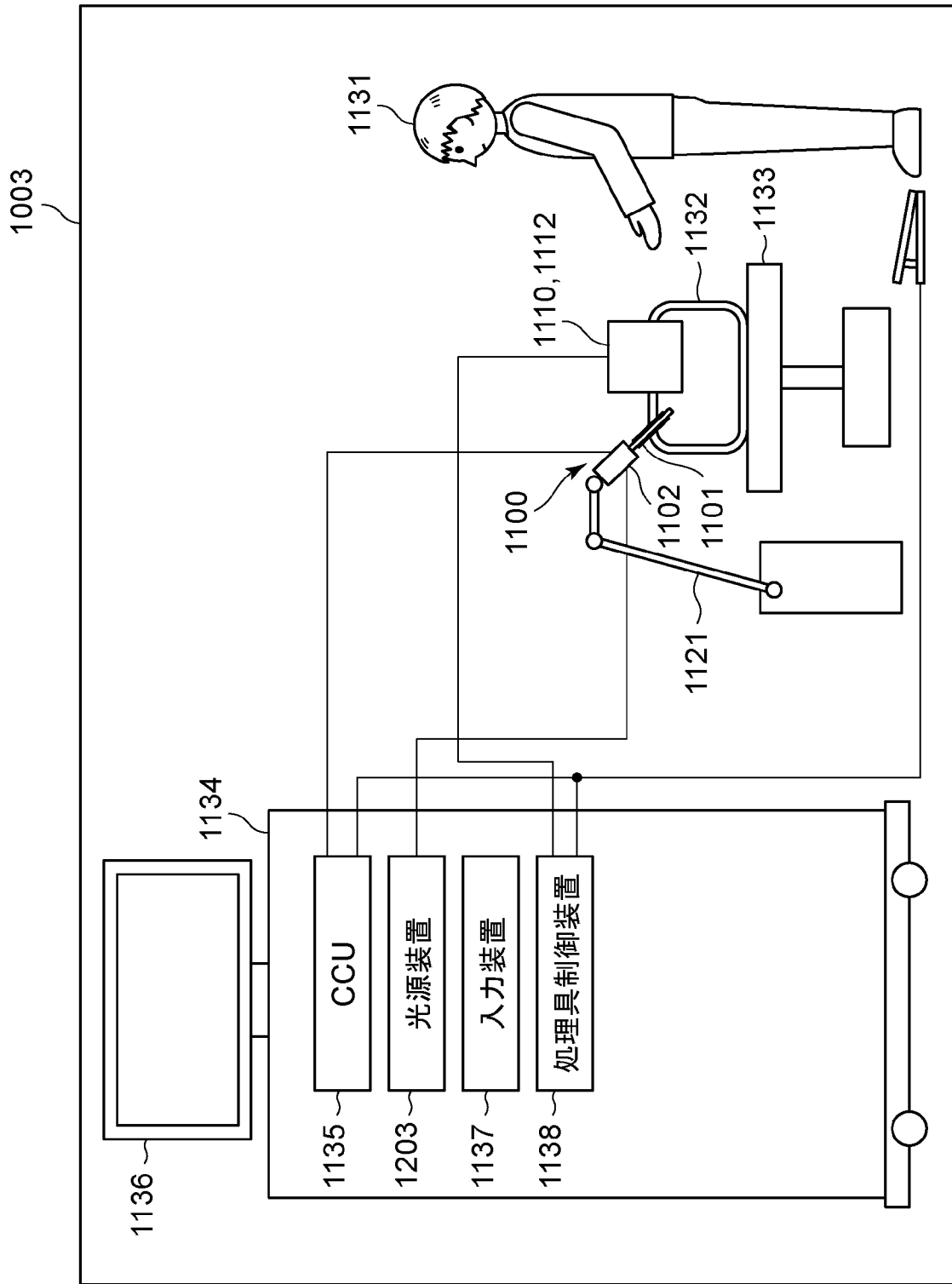
[図14]



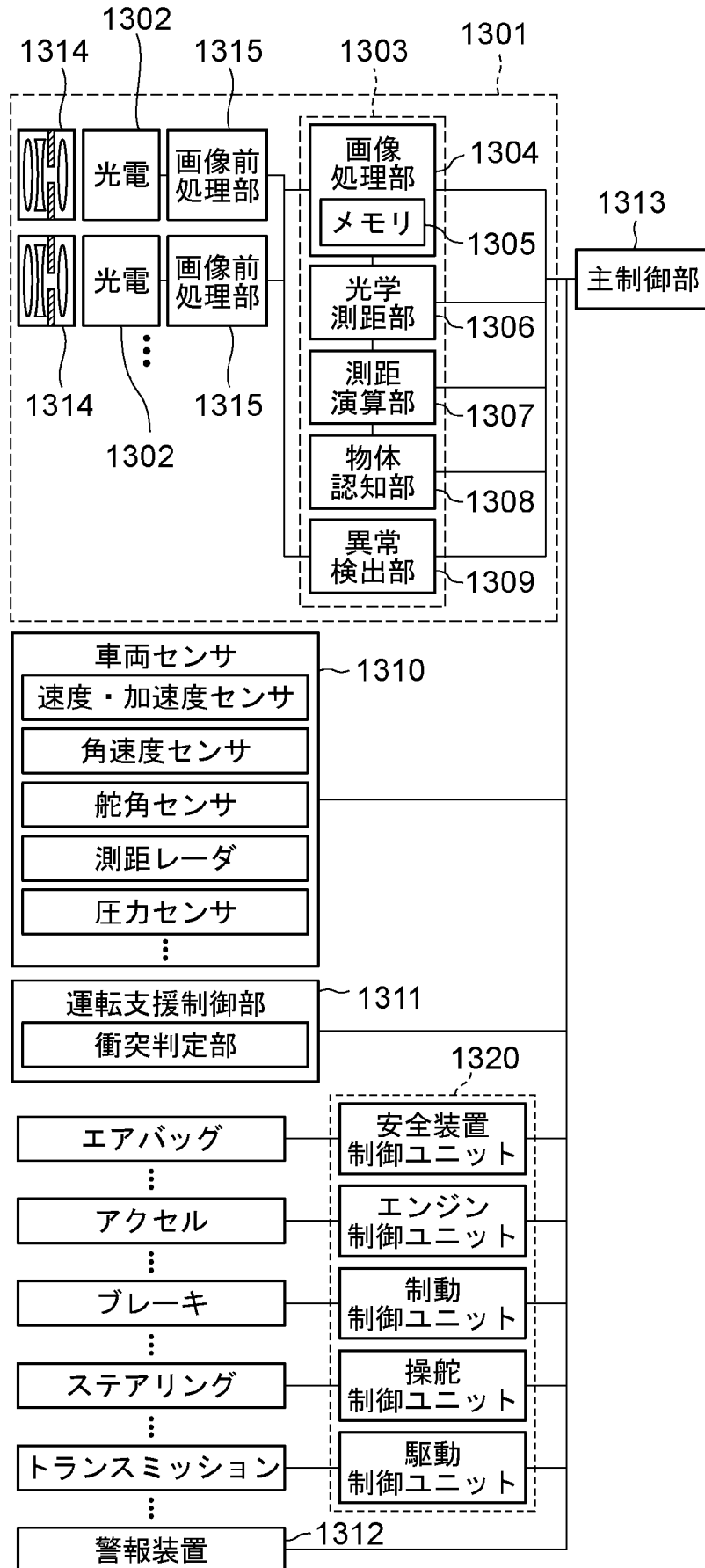
[図15]



[図16]

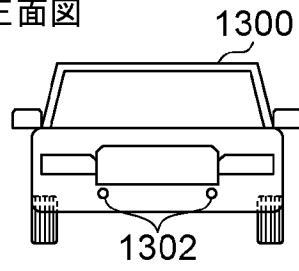


[図17A]

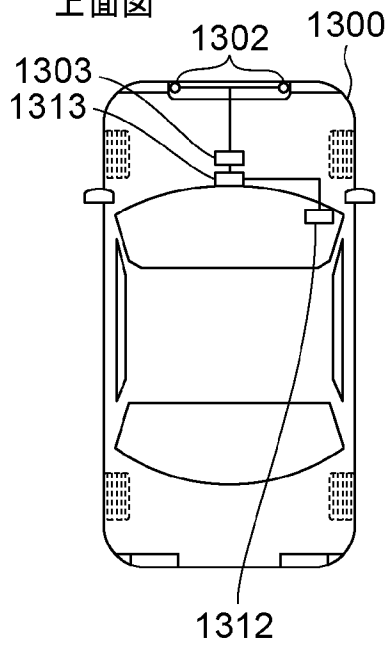


[図17B]

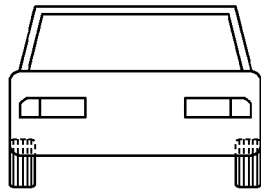
正面図



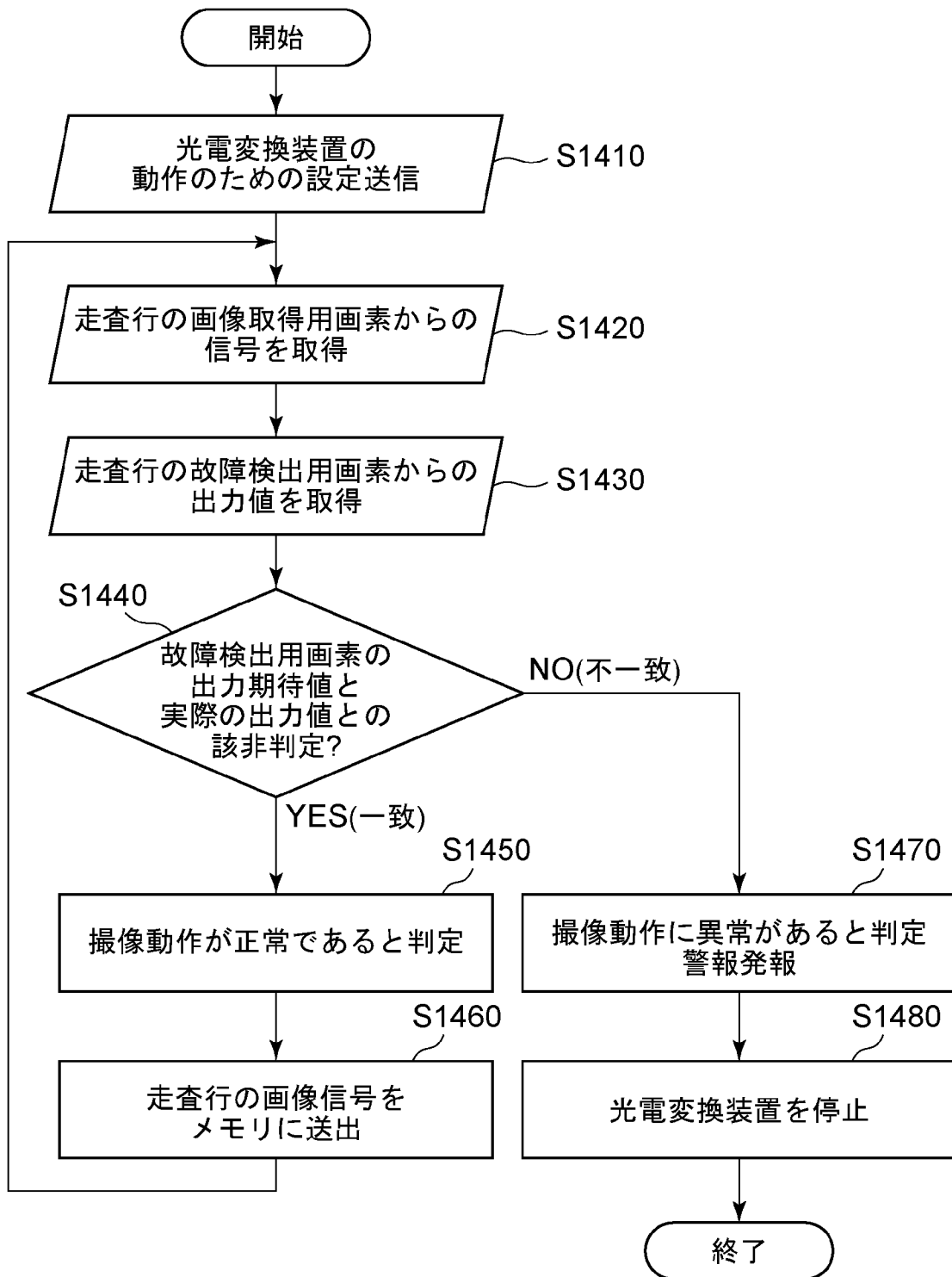
上面図



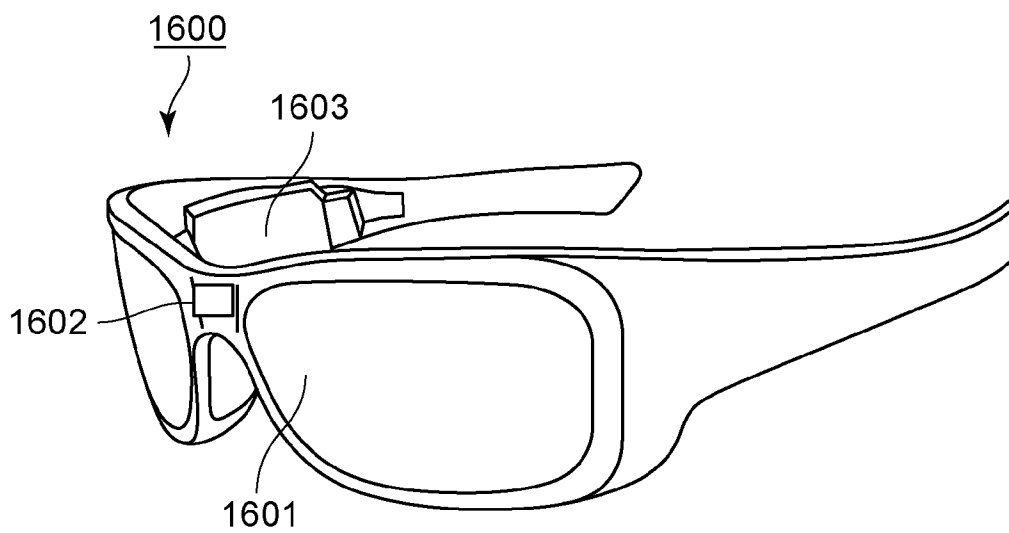
後面図



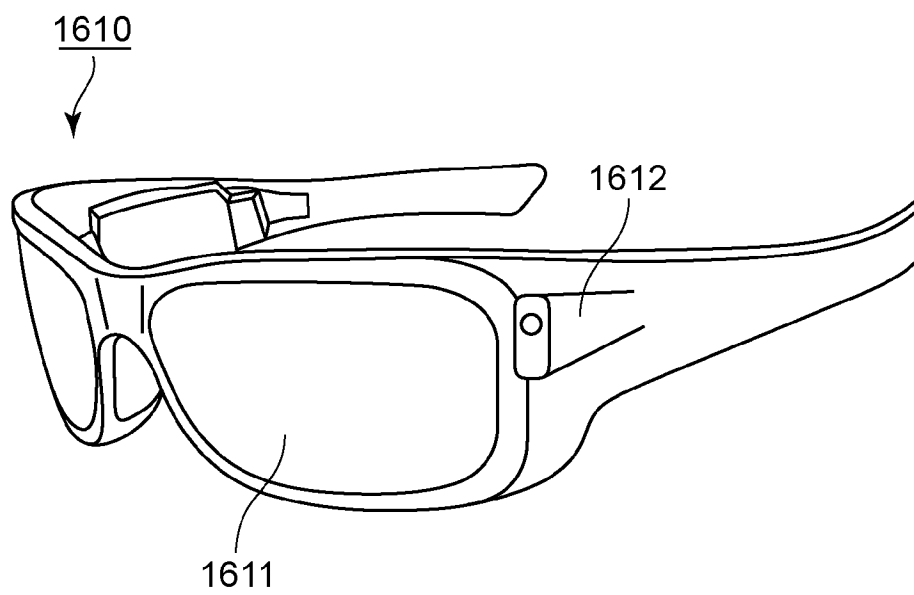
[図18]



[図19A]



[図19B]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2022/000096**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>H04N 5/341</i> (2011.01)i; <i>H04N 5/3745</i> (2011.01)i FI: H04N5/3745 500; H04N5/341		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H04N5/341; H04N5/3745		
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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2020-88520 A (CANON KK) 04 June 2020 (2020-06-04) paragraphs [0046]-[0063], [0100]-[0110], fig. 5, 6, 13, 14	17-22, 24
A		1-16, 23
A	JP 2020-123847 A (CANON KK) 13 August 2020 (2020-08-13) paragraphs [0021], [0022], fig. 2	1-24
A	JP 2019-9768 A (CANON KK) 17 January 2019 (2019-01-17) paragraphs [0010]-[0020], fig. 1	1-24
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>16 February 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>08 March 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/JP2022/000096</b>
---

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2020-88520	A	04 June 2020	US 2020/0158566 A1 paragraphs [0059]-[0076], [0111]-[0123], fig. 5, 6, 13, 14A, 14B EP 3657775 A1 CN 111294528 A	
JP	2020-123847	A	13 August 2020	US 2020/0244909 A1 paragraphs [0032], [0033], fig. 2	
JP	2019-9768	A	17 January 2019	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H04N 5/341(2011.01)i; H04N 5/3745(2011.01)i FI: H04N5/3745 500; H04N5/341		
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）） H04N5/341; H04N5/3745 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 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022年		
国際調査でを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 2020-88520 A (キヤノン株式会社) 04.06.2020 (2020-06-04) 段落 [0046] - [0063], [0100] - [0110]、図5,6,13,14	17-22, 24
A		1-16, 23
A	JP 2020-123847 A (キヤノン株式会社) 13.08.2020 (2020-08-13) 段落 [0021], [0022]、図2	1-24
A	JP 2019-9768 A (キヤノン株式会社) 17.01.2019 (2019-01-17) 段落 [0010] - [0020]、図1	1-24
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 16.02.2022	国際調査報告の発送日 08.03.2022	
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） 鈴木 明 5V 9185 電話番号 03-3581-1101 内線 3571	

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/JP2022/000096

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2020-88520	A	04.06.2020	US 2020/0158566 A1 段落 [0059] - [0076] , [0111] - [0123] 、 図5, 6, 13, 14A, 14B EP 3657775 A1 CN 111294528 A	
JP	2020-123847	A	13.08.2020	US 2020/0244909 A1 段落 [0032] , [0033] 、 図 2	
JP	2019-9768	A	17.01.2019	(ファミリーなし)	