

(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
2012年6月14日(14.06.2012)

(10) 国際公開番号

WO 2012/077218 A1

(51) 国際特許分類:

G01T 1/17 (2006.01) *H04N 5/378* (2011.01)
H04N 5/32 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2010/072167

(22) 国際出願日:

2010年12月9日(09.12.2010)

(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(米国を除く全ての指定国について): 株式会社リガク(Rigaku Corporation) [JP/JP]; 〒1968666 東京都昭島市松原町3丁目9番12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): 築山 昭(TSUKIYAMA Akira), 作村 拓人(SAKUMURA Takuto), 辻 優司(TSUJI Yuji), グリボシ パヴェウ(GRYBOS Paweł), マイ ピヨトル(MAJ Piotr), シュチギエウ ロベルト(SZCZYGIEL Robert).

(74) 代理人: 福地 武雄(FUKUCHI Takeo); 〒1500031 東京都渋谷区桜丘町3番1号 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, JP, 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, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ヨーラシア(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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

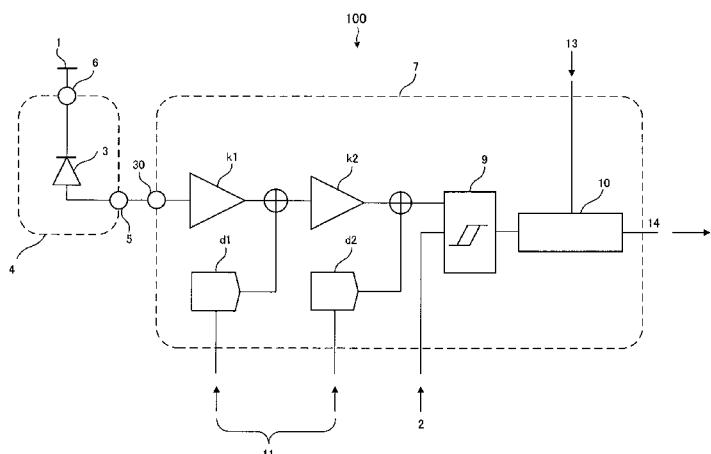
添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: RADIATION DETECTOR

(54) 発明の名称: 放射線検出器

[図1]



(57) **Abstract:** Provided is a radiation detector that appropriately corrects offset in a minute read cell without increasing area while achieving high-speed, high-counting-rate measurement. The radiation detector (100), which has a plurality of single-photon-counting imaging cells, is, with respect to each imaging cell, provided with: a photodiode (3) to which a reverse-bias voltage is imposed and that generates a current signal in response to the entry of radiation; a previous-stage DA converter (d1) that corrects an input signal on the basis of the current signal generated by the photodiode (3); an amplifier (k2) that amplifies the signal corrected by the previous-stage DA converter (d1); a later-stage DA converter (d2) that corrects the charge signal amplified by the amplifier (k2); a pulse height discriminator (9) that discriminates output signals on the basis of the signal corrected by the later-stage DA converter (d2); and a counter (10) that counts the discriminated signals.

(57) 要約:

[続葉有]



高計数率で高速な測定を実現しつつ、面積を増やすことなく微小読み出しセル内で適切にオフセットを補正する放射線検出器を提供する。シングル・フォトン・カウンティング方式の複数のイメージングセルを有する放射線検出器100であって、逆バイアス電圧を印加され、放射線の入射に対して電流信号を発生させるフォトダイオード3と、フォトダイオード3で生じた電流信号に基づく入力信号を補正する前段のDA変換器d1と、前段のDA変換器d1により補正された信号を増幅する増幅器k2と、増幅器k2により増幅された電荷信号を補正する後段のDA変換器d2と、後段のDA変換器d2により補正された信号に基づく出力信号を弁別する波高弁別器9と、弁別された信号を計数する計数器10と、を各イメージングセルに対して備える。

明 細 書

発明の名称：放射線検出器

技術分野

[0001] 本発明は、シングル・フォトン・カウンティング方式の複数のイメージングセルを有する放射線検出器に関する。

背景技術

[0002] (放射線のシングル・フォトン・カウンティング方式)

放射線のシングル・フォトン・カウンティング方式の検出器は、多数の画素を備え、その内部で計数を行う。このような検出器は、一定時間の露光に対して計数結果を読み出すことで用いられる。特に、小さい画素サイズに加え強度の強い高計数率の放射線への対応を前提とする検出器は、高速でのイメージング、短時間での試料観察や分析手法などへの応用が考えられる。

[0003] 上記のような検出器は、放射線を感知するイメージングセルを有する。そして、イメージングセルに接続された読み出しセルからの信号は、シングル・フォトン・カウンティング方式によりデジタル化される。デジタル化されたカウント数は、さらに外部に置かれた読み出し装置によって読み出される。

[0004] イメージングセルからの信号（電荷）は、電荷増幅回路および波形整形増幅回路を経て、波高弁別回路により放射線エネルギーのレベルに応じたデジタル信号となる。そして、それがシフトレジスタからなる計数回路で計数される。検出器の中では、イメージングセルとともに、これら回路からなる読み出しセルがマトリクス状に配置されている。

[0005] (高速測定の性能)

このような検出器で、高速な測定を実現しようとした場合、時間的な無駄を省いて、計数回路で入射フォトンを記録することが必要となる。この場合、電荷増幅回路および波形整形増幅回路からの出力は、パルスとして波高弁別回路に入力される。しかし、このパルスの時間的な幅、即ち、これら回路

の応答時間が無駄となる。この応答時間を短くすることで高速性能を実現することができる。

[0006] (オフセット電圧)

一方、上記構成の回路では、電荷増幅回路、波形整形増幅回路および波高弁別回路のいずれにおいても、入力信号に対してオフセット電圧が存在することが知られている。つまり、入力がゼロとなっても、出力がゼロとはならない。また、さらに、X線に感度を有するイメージングセルはバイアス電圧を印加して用いられるが、その出力には漏洩電流（直流）が存在する。漏洩電流を電荷増幅回路にそのまま入力すると、増幅回路自体がその電流でバイアスされた形となり、上述のオフセット電圧を生じる別の原因となる。これらのオフセット電圧の値は、異なるイメージングセル間でその量が異なることから、そのままの状態でイメージングデバイスを構成すると、各読み出しセルごとに入射されるX線のフォトンに対する信号の出現位置が異なってしまい、正しくイメージを形成することができない。

[0007] (A C結合)

これを避けるための一つの方法として、電荷増幅回路の前段および波形整形増幅回路の入出力においてコンデンサを挿入し、漏洩電流の直流成分のカットが行われる。図5は、従来のA C結合による放射線検出器500の回路構成を示す図である。図5に示すような回路方式をA C結合と呼ぶ。

[0008] 図5に示すように放射線検出器500は、バイアス電位の供給源501、閾値電圧の供給源502、イメージングセル504、読み出しセル507、計数回路の読み出しのための送り出し手段513、計数回路から外部につながる信号線514を備えている。イメージングセル504は、フォトダイオード503、フォトダイオードからの出力端子505、バイアス電位に対する接続点506を備えている。フォトダイオード503は、バイアス電位の供給源501により逆バイアス電圧を印加され、放射線の入射に対して電流信号を発生させる。読み出しセル507は、増幅回路508、コンデンサ531、波高弁別回路509、計数回路510、入力端子530、信号線51

4を備えている。なお、図5は、複数のイメージングセルのうちの単一のものに対応する回路のみを示している（以下の図面においても同様）。

[0009] A C結合でコンデンサ531を通過したパルス信号は、立ち上がり時にオーバーシュートし、立下り時にアンダーシュートする傾向を持つ。A C結合においてパルスが通過中は次のパルス信号を受け入れられない。さらにアンダーシュートが生じた状態でも、次のパルス信号が重なると波高値が変化してしまうため、パルス信号を受けることは好ましくない。つまり、A C結合では、パルス信号同士の間隔をある程度以上は狭めることができない。すなわち、高速のパルス信号処理が難しくなるため、課題としての高速測定を実現するためには、A C結合をとるのは好ましくない。

[0010] (D C結合)

一方、各段にコンデンサを挿入せず、直接接続する構成を、D C結合と呼ぶ。図6は、従来のD C結合による放射線検出器600の回路構成を示す図である。上記の理由により、高速性能を前提とする場合には接続をD C結合とし、各々の読み出しセル内に、外部から個別に設定可能なD A変換器612を置き、その出力を波形整形增幅回路（後段の増幅器608）の出力とアナログ加算しオフセット値の相殺を図ることが好ましい。

[0011] 図6に示すように放射線検出器600は、バイアス電位の供給源601、閾値電圧の供給源602、イメージングセル604、読み出しセル607、D A変換器への設定手段611、計数回路の読み出しのための送り出し手段613、計数回路から外部につながる信号線614を備えている。イメージングセル604は、フォトダイオード603、フォトダイオードからの出力端子605、バイアス電位に対する接続点606を備えている。フォトダイオード603は、バイアス電位の供給源601により逆バイアス電圧を印加され、放射線の入射に対して電流信号を発生させる。読み出しセル607は、増幅回路608、D A変換器612、波高弁別回路609、計数回路610、入力端子630、信号線614を備えている。

[0012] 特許文献1には、上記のようなD C結合の回路の例が記載されている。特

許文献 1 の Fig. 4 に示すように ANALOG BLOCK の内部で、高計数率への対応を実現するために、CS AMP からの出力が、直接、CA COMP に接続されている。CS AMP の出力は、異なる読み出しユニットセルごとに異なった値を持つオフセット値を持っており、それを相殺するために、CA COMP のもう一方の入力には、THRESHOLD CORRECTOR が取り付けられている。

先行技術文献

特許文献

[0013] 特許文献1：米国特許 7 5 1 4 6 8 8 号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0014] しかしながら、特許文献 1 記載の方式では、フォト検出セルからの漏洩電流に加え、AMP 自身が持つオフセット分が信号に加わり、さらにそれが倍増される。そのため、CA COMP に入力される時点でのオフセット値は大きな値となり、それを相殺するための THRESHOLD CORRECTOR の可変範囲も大きくせざるを得なくなる。この可変範囲をカバーすることが、読み出しユニットセルを小さく作る上での制約となる。

[0015] DC 結合方式の検出器における DA 変換器は、内部に設定されるビットの重み付けに比例した定電流源を備え、設定に応じてそれらを切り替え、加算することで、任意のアナログ出力を得る。例えば、4 ビットの DA 変換器では、面積が 1 対 2 対 4 対 8 の定電流源（トランジスタ）を設定に応じて切り替え、加算する。このことから明らかなように設定範囲を 1 ビット分広げようすると、現状のトランジスタの面積全てを合せた面積の定電流源を付け加える必要が生じる。したがって、定電流源の占める面積が大きくなり微小読み出しセルの実現には障害になってしまう。

[0016] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、高計数率で高速な測定を実現しつつ、回路部分の面積を増やすことなく微小読み出しセル内で適切にオフセットを補正する放射線検出器を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0017] (1) 上記の目的を達成するため、本発明に係る放射線検出器は、シングル・フォトン・カウンティング方式の複数のイメージングセルを有する放射線検出器であって、逆バイアス電圧を印加され、放射線の入射に対して電流信号を発生させるフォトダイオードと、前記フォトダイオードで生じた電流信号に基づく入力信号を補正する前段のDA変換器と、前記前段のDA変換器により補正された信号を増幅する増幅器と、前記増幅器により増幅された電荷信号を補正する後段のDA変換器と、前記後段のDA変換器により補正された信号に基づく出力信号を弁別する波高弁別器と、前記弁別された信号を計数する計数器と、各イメージングセルに対して備えることを特徴としている。このように本発明の放射線検出器は、補正された信号を増幅しさらに補正することで、小さな読み出しセルで効率的に信号を補正できる。
- [0018] (2) また、本発明に係る放射線検出器は、各イメージングセルについて、前記後段のDA変換器により補正された信号がイメージングセル間で予め調整された補正と一致するように前記増幅器の増幅率に対して、前記前段のDA変換器による補正值および前記後段のDA変換器による補正值が決定されていることを特徴としている。このようにイメージングセル間で予め調整された補正を行うため、複数のイメージングセルで正確な測定が可能になる。
- [0019] (3) また、本発明に係る放射線検出器は、前記波高弁別器が、所定範囲のエネルギーを有する放射線の信号のみを通過させることを特徴としている。これにより、放射線の波長に対してさらに効果的な弁別が可能となる。
- [0020] (4) また、本発明に係る放射線検出器は、前記前段のDA変換器より前段に設けられた電荷増幅回路を更に備え、前記増幅器が波形整形増幅器であることを特徴としている。これにより、増幅回路の段数を増やすことなく小さな読み出しセルで効率的に信号を補正することができる。
- [0021] (5) また、本発明に係る放射線検出器は、前記増幅器が、電流増幅回路で構成され、前記各DA変換器は、電流出力型であることを特徴としている

。これにより、読み出しセルの大きさに制限がある中でも効果的に信号を補正できる。

[0022] (6) また、本発明に係る放射線検出器は、シングル・フォトン・カウントティング方式の複数のイメージングセルを有する放射線検出器であって、逆バイアス電圧を印加され、放射線の入射に対して電流信号を発生させるフォトダイオードと、前記フォトダイオードで生じた電流信号に基づく入力信号を補正する第 $n - 1$ のDA変換器と、前記第 $n - 1$ のDA変換器により補正された信号を増幅する第 n の增幅器と、前記第 n の增幅器により増幅された電荷信号を補正する第 n のDA変換器と、前記第 n のDA変換器により補正された信号に基づく出力信号を弁別する波高弁別器と、前記弁別された信号を計数する計数器と、を各イメージングセルに対して備え、前記第 $n - 1$ のDA変換器、第 n の增幅器および第 n のDA変換器は、整数 n について2から2以上の整数 N まで連続して直列で接続されていることを特徴としている。このように本発明の放射線検出器は、補正された信号を増幅しさらに補正する構成を有するため、高い増幅度を必要とする読み出しセルで効率的に信号を補正できる。

[0023] (7) また、本発明に係る放射線検出器は、各イメージングセルについて、前記第 N のDA変換器により補正された信号がイメージングセル間で予め調整された補正と一致するように前記第 n の增幅器の増幅率に対して、前記第 $n - 1$ のDA変換器による補正值および前記第 n のDA変換器による補正值が決定されていることを特徴としている。このようにイメージングセル間で予め調整された補正を行うため、複数のイメージングセルで正確な測定が可能になる。

発明の効果

[0024] 本発明によれば、高計数率で高速な測定を実現しつつ、回路部分が占める面積を増やすことなく微小読み出しセル内で適切にオフセットを補正することができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]第1実施形態の放射線検出器の回路構成を示す図である。

[図2] (a) 比較例の放射線検出器の補正回路の例を示す図である。 (b) 実施例の放射線検出器の補正回路の例を示す図である。

[図3]第2実施形態の放射線検出器の回路構成を示す図である。

[図4]第3実施形態の放射線検出器の回路構成を示す図である。

[図5]従来のAC結合による放射線検出器の回路構成を示す図である。

[図6]従来のDC結合による放射線検出器の回路構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0026] 次に、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。説明の理解を容易にするため、各図面において同一の構成要素に対しては同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

[0027] [第1実施形態]

(回路構成)

図1は、放射線検出器100の回路構成を示す図である。放射線検出器100は、シングル・フォトン・カウンティング方式の複数のイメージングセル4を有する。ただし、図1では単一のイメージングセル4の回路構成のみを示している。検出対象の放射線には、少なくともX線、γ線が含まれる。放射線検出器100は、X線を用いたイメージングや、X線回折法などの分析手法のための検出手段に応用できる。

[0028] 放射線検出器100は、微小かつ高密度の読み出しセルを備えることが好ましい。これにより、入射放射線のエネルギーに対する弁別能力を備えつつ、かつ、強い強度（高計数率）の入射放射線への対応を実現できる。

[0029] 放射線検出器100は、増幅段の接続ではDC結合方式を採用し、高速性能を実現している。また、増幅回路を複数段に分け、その各々出力において、オフセットを相殺するための補正用DA変換器をおき、オフセット電圧を補正する。これにより、回路部品の面積を増やすことなく、高速性能を実現しつつ検出素子からの漏洩電流による影響を補正することができる。回路構成の詳細については後述する。

- [0030] 高速性能を実現するために、増幅段の接続ではDC結合方式をとりつつ、さらに増幅回路を複数段に分け、その各々出力においてオフセットを相殺するための補正用DA変換器を置き、オフセット電圧の補正を行う。これにより、より狭い回路部品の面積で高速性能を実現しつつ、オフセットによる影響を補正できる。
- [0031] 図1に示すように放射線検出器100は、バイアス電位の供給源1、閾値電圧の供給源2、イメージングセル4、読み出しセル7、DA変換器への設定手段11、計数器10の読み出しのための送り出し手段13、計数器10から外部につながる信号線14を備えている。
- [0032] イメージングセル4は、フォトダイオード3、フォトダイオード3の出力端子5、バイアス電位に対する接続点6を備えている。フォトダイオード3は、バイアス電位の供給源1により逆バイアス電圧を印加され、放射線の入射に対して電流信号を発生させる。フォトダイオード3に入射した放射線による信号は、読み出しセル7内の増幅回路k1、k2に入力される。増幅回路k1、k2は、2段に分けられている。増幅回路k1、k2の各々の出力側には、オフセット補正を目的とする2つのDA変換器d1、d2が接続され、その出力をアナログ加算する構成となっている。このように、オフセット補正を増幅器の前後で分割することにより、効率よく大きな補正範囲をカバーできる。
- [0033] 読み出しセル7は、前段の増幅回路k1、後段の増幅回路k2、前段のDA変換器d1、後段のDA変換器d2、波高弁別器9、計数器10、入力端子30、信号線14を備えている。入力端子30は、読み出しセル7の入力端子である。
- [0034] 前段の増幅器k1は、フォトダイオード3で生じた電流信号を増幅する。前段の増幅器k1は、電荷増幅回路であることが好ましい。前段のDA変換器d1は、フォトダイオード3で生じた電流信号に基づき、増幅された入力信号を補正する。後段の増幅器k2は、前段のDA変換器d1により補正された信号を増幅する。後段の増幅器k2は、波形整形増幅回路であることが

好ましい。これにより、増幅器の段数を増やすことなく小さな読み出しセルで効率的に信号を補正することができる。

[0035] シングル・フォトン・カウンティング型の検出回路では電荷増幅回路を設置し、その後段に波形整形増幅回路を設置する。上記の実施形態における前段の増幅器として電荷増幅回路を用い、後段の増幅器として波形整形増幅回路を用いることが好ましい。その場合、各々の出力に対してD A変換器による補正回路を設置する。電荷増幅回路と波形整形増幅回路の増幅度にはそれぞれ適切な値を与える。

[0036] 後段のD A変換器d 2は、後段の増幅器k 2により増幅された電荷信号を補正する。補正された信号を増幅しさらに補正することで、小さな読み出しセルで効率的に信号を補正できる。

[0037] 各イメージングセルについて、後段のD A変換器d 2により補正された信号がイメージングセル間で予め調整された補正と一致するように後段の増幅器k 2の増幅率に対して、前段のD A変換器d 1による補正值および後段のD A変換器d 2による補正值が決定されている。これにより、複数のイメージングセルで正確な測定が可能になる。なお、増幅器は、電流増幅回路で構成され、各D A変換器は、電流出力型であってもよい。これにより、読み出しセルの大きさに制限がある中でも効果的に信号を補正できる。補正值の決定は、たとえば、同一のX線を放射線検出器100に同一のX線を一定時間露光して検査することで行える。その際には、露光しながらイメージングセルごとに波高弁別器9の設定を少しずつ変えてカウントをとり、同じエネルギーに対して同じカウントが観察されるように補正值を決定する。

[0038] D A変換器は電流出力型であることが好ましい。電流出力型のD A変換器は回路構成が簡単であるため、特に微小な読み出しセルの中で回路部品を構成する場合には向いている。その場合には、さらに増幅器k 1、k 2自体も電流増幅回路とすることにより、途中に電流／電圧変換を設けることなく、増幅器k 1、k 2の出力におけるアナログ加算を行うことができる。

[0039] 信号線14は、計数器10から外部へ接続され信号を送信する。波高弁別

器9は、後段のDA変換器d2により補正された信号に基づく出力信号を弁別する。計数器10は、弁別された信号を計数する。

[0040] (補正回路)

図2(a)は、比較例の放射線検出器の補正回路の例を示す図であり、図2(b)は、実施例の放射線検出器の補正回路の例を示す図である。まず、図2(a)に示す回路の例は、増幅器k1およびDA変換器d1を備え、後段増幅器は備えておらず、増幅器k1は一段である。増幅器k1のゲインは100であり、増幅器にはオフセット電圧 V_{off} が入力される。

[0041] 増幅器k1の出力側にはDA変換器d1が設けられ、DA変換器d1はオフセット電圧 V_{off} を電圧ステップ V_d で補正する。仮に電圧ステップ V_d がオフセット電圧 V_{off} と等しい場合を考える。増幅器k1のゲインは100であるので、増幅器出力でオフセット電圧は、 $V_{off} \times 100$ に増幅される。

[0042] このときDA変換器d1が増幅されたオフセット電圧を相殺するためには、DA変換器d1に $V_d \times 100$ の範囲をカバーできる分解能が要求される。これをビット換算すると、 $100 < 128 = 2^7$ であることから、DA変換器d1に必要とされる分解能は7ビットとなる。ただし、DA変換器d1の最大設定は127となるので、[DA変換器の最大補正電圧] = $V_d \times 127$ となる。このように[増幅器k1の出力でのオフセット電圧] < [DA変換器d1の最大補正電圧]となるようにDA変換器d1のビット数が必要となる。

[0043] 図2(b)に示す回路の例は、増幅器k1、DA変換器d1、増幅器k2、DA変換器d2を備え、読み出しセルの回路に対して補正を2段階に分けて適用している。前段の増幅器k1および後段の増幅器k2はいずれも1以上の増幅ゲインを有する。

[0044] 増幅器が2段に分けられており、前段の増幅器k1のゲインは25、後段の増幅器k2のゲインは4である。したがって、連結された回路全体のゲインは、 $25 \times 4 = 100$ であり、図2(a)の例のゲインと同様である。増

幅器 k 1 にはオフセットとして電圧 V_{off} が入力される。

[0045] また、DA変換器 d 1、d 2 は、それぞれ增幅器 k 1、k 2 の各々の出力側に設けられ、オフセット電圧 V_{off} を補正する。いずれの DA 变换器 d 1、d 2 の電圧ステップも V_d であり、仮に電圧ステップ V_d がオフセット電圧 V_{off} と等しい場合を考える。この場合、DA変換器 d 1 に $V_d \times 2^5$ の範囲をカバーできる分解能が要求される。これをビット換算すると、 $2^5 < 32 = 2^5$ であることから、DA変換器 d 1 に必要とされる分解能は 5 ビットとなる。ただし、DA変換器 d 1 の最大設定は 31 となるので、[DA変換器の最大補正電圧] = $V_d \times 31$ となる。このように [增幅器 k 1 の出力でのオフセット電圧] < [DA変換器 d 1 の最大補正電圧] となるように DA変換器 d 1 のビット数が必要となる。

[0046] 前段の增幅器 k 1 出力での、補正後のオフセット電圧は V_{off} を超えることはないが、最も大きい場合の V_{off} が残っているとして後段の增幅器 k 2 の出力において必要とされる DA 变换器の分解能を考える。この場合、 $V_{off} \times 4$ が後段の增幅器 k 2 の出力で最も大きい場合のオフセット電圧である。したがって、DA変換器 d 2 に $V_d \times 4$ の範囲をカバーできる分解能が要求される。これをビット換算すると、 $4 < 8 = 2^3$ であることから、DA変換器 d 1 に必要とされる分解能は 3 ビットとなる。ただし、DA変換器 d 2 の最大設定は 7 となるので、[DA変換器の最大補正電圧] = $V_d \times 7$ となる。このように [增幅器 k 2 の出力でのオフセット電圧] < [DA変換器 d 2 の最大補正電圧] となるように DA変換器 d 2 のビット数が必要となる。

[0047] DA変換器については、その分解能のビット数が増加すればするほど、その占める面積が大きくなる。したがって、放射線検出器 100 のように微小面積内の回路構成の要請がある場合、7 ビットの DA 变换器を単独で使うよりも、5 ビットの DA 变换器と 3 ビットの DA 变换器とを併せて使う方が有利である。

[0048] 構成部品の面積の比較では扱うビット数が同じであるため、最初の定電流

源以外の構成部品はほぼ同面積とみなせる一方、定電流源の面積単位は分解能に比例し 7 ビットの場合は 127 単位であるのに対し、5 ビットと 3 ビットの場合は各々 31 単位と 7 単位であり、両者併せてても 7 ビットの場合と比べ 1/4 以下の大きさで済む。なお、D/A 変換器の分解能、増幅器の段数、増幅器の增幅度に対する重み付けは、採用する回路方式や半導体プロセスの特性等を考慮して、最適な値を選択することができる。

[0049] [第 2 実施形態]

上記の実施形態では、増幅器の後に設ける波高弁別回路と計数器は 1 組であるが、2 組としてもよい。図 3 は、波高弁別回路と計数器が 2 組である場合の放射線検出器 200 の回路構成を示す図である。波高弁別器 9 は、所定範囲のエネルギーを有する放射線の信号のみを通過させる。これにより、放射線の波長に対してさらに効果的な弁別が可能となる。

[0050] 放射線検出器 200 には、増幅器以降に波高弁別器 9 と計数器 10 が 2 組設けられている。このように 2 組の波高弁別回路を設けることで、波高（入射 X 線のエネルギー、波長）の高さの相違を敏感に区別できる。

[0051] この場合の 2 つの波高弁別器 9 は、異なるエネルギーレベル（波長）の 2 種類の入射放射線によるフォトンを同時に計数するために用いてもよい。また、ある特定のエネルギーレベル（波長）の入射 X 線に注目して、それだけを弁別するウインドウ・コンパレータを形成してもよい。いずれの場合でも、異なる読み出しセル 7 の間でのオフセット電圧の量がより十分に補正されるために、エネルギーレベルに対する感度を生かした使用方法が可能となる。

[0052] [第 3 実施形態]

（多段型）

なお、上記の実施形態では、前段の D/A 変換器 d1、後段の D/A 変換器 d2 を有しており、2 段で補正を行う構成であるが、多段型であってもよい。図 4 は、多段型の放射線検出器 300 の回路構成を示す図である。この場合、補正回路は、第 1 の増幅器 k1～第 N の増幅器 kN、および第 1 の D/A 変

換器 d₁～第 N の D A 変換器 d_N を備えている。

- [0053] 第 n - 1 の D A 変換器 d_{n - 1} は、フォトダイオードで生じた電流信号に基づく入力信号を補正する。整数 n について第 n の増幅器 k_n は、第 n - 1 の D A 変換器により補正された信号を増幅する。第 n の D A 変換器は、第 n の増幅器により増幅された電荷信号を補正する。
- [0054] このようにして、第 n - 1 の D A 変換器 d_{n - 1}、第 n の増幅器 k_n および第 n の D A 変換器 d_n は、整数 n について 2 から 2 以上の整数 N まで連続して直列で接続されている。このように補正された信号を増幅し、さらに補正する構成を有するため、小さな読み出しセルで効率的に信号を補正できる。なお、N = 2 の場合には、実施形態 1 と同じ回路になる。
- [0055] 波高弁別器 9 は、第 N の D A 変換器 d_N により補正された信号に基づく出力信号を弁別する。計数器 10 は、弁別された信号を計数する。各イメージングセルについて、第 N の D A 変換器 d_N により補正された信号がイメージングセル間で予め調整された補正と一致するように第 n の増幅器の増幅率に対して、第 n - 1 の D A 変換器 d_{n - 1} による補正值および第 n の D A 変換器 d_n による補正值が決定されている。このようにイメージングセル間で予め調整された補正を行うため、複数のイメージングセルで正確な測定が可能になる。

符号の説明

- [0056]
- 1 バイアス電位の供給源
 - 2 閾値電圧の供給源
 - 3 フォトダイオード
 - 4 イメージングセル
 - 5 出力端子
 - 6 接続点
 - 7 読み出しセル
 - 9 波高弁別回路
 - 10 計数器

1 1 設定手段

1 2 D A 変換器

1 3 送り出し手段

1 4 信号線

3 0 入力端子

k 1 前段の増幅器

k 2 後段の増幅器

d 1 前段のD A 変換器

d 2 後段のD A 変換器

k n 第nの増幅器

d n 第nのD A 変換器

1 0 0、2 0 0、3 0 0 放射線検出器

請求の範囲

- [請求項1] シングル・フォトン・カウンティング方式の複数のイメージングセルを有する放射線検出器であって、
逆バイアス電圧を印加され、放射線の入射に対して電流信号を発生
させるフォトダイオードと、
前記フォトダイオードで生じた電流信号に基づく入力信号を補正す
る前段のD A変換器と、
前記前段のD A変換器により補正された信号を増幅する増幅器と、
前記増幅器により増幅された電荷信号を補正する後段のD A変換器
と、
前記後段のD A変換器により補正された信号に基づく出力信号を弁
別する波高弁別器と、
前記弁別された信号を計数する計数器と、を各イメージングセルに
対して備えることを特徴とする放射線検出器。
- [請求項2] 各イメージングセルについて、前記後段のD A変換器により補正さ
れた信号がイメージングセル間で予め調整された補正と一致するよう
に前記増幅器の増幅率に対して、前記前段のD A変換器による補正值
および前記後段のD A変換器による補正值が決定されていることを特
徴とする請求項1記載の放射線検出器。
- [請求項3] 前記波高弁別器は、所定範囲のエネルギーを有する放射線の信号の
みを通過させることを特徴とする請求項1または請求項2記載の放射
線検出器。
- [請求項4] 前記前段のD A変換器より前段に設けられた電荷増幅回路を更に備
え、
前記増幅器が波形整形増幅器であることを特徴とする請求項1から
請求項3のいずれかに記載の放射線検出器。
- [請求項5] 前記増幅器は、電流増幅回路で構成され、
前記各D A変換器は、電流出力型であることを特徴とする請求項1

から請求項3のいずれかに記載の放射線検出器。

[請求項6] シングル・フォトン・カウンティング方式の複数のイメージングセルを有する放射線検出器であって、

逆バイアス電圧を印加され、放射線の入射に対して電流信号を発生させるフォトダイオードと、

前記フォトダイオードで生じた電流信号に基づく入力信号を補正する第 $n - 1$ の D/A 変換器と、

前記第 $n - 1$ の D A 変換器により補正された信号を増幅する第 n の
増幅器と、

前記第 n の増幅器により増幅された電荷信号を補正する第 n の D A 変換器と、

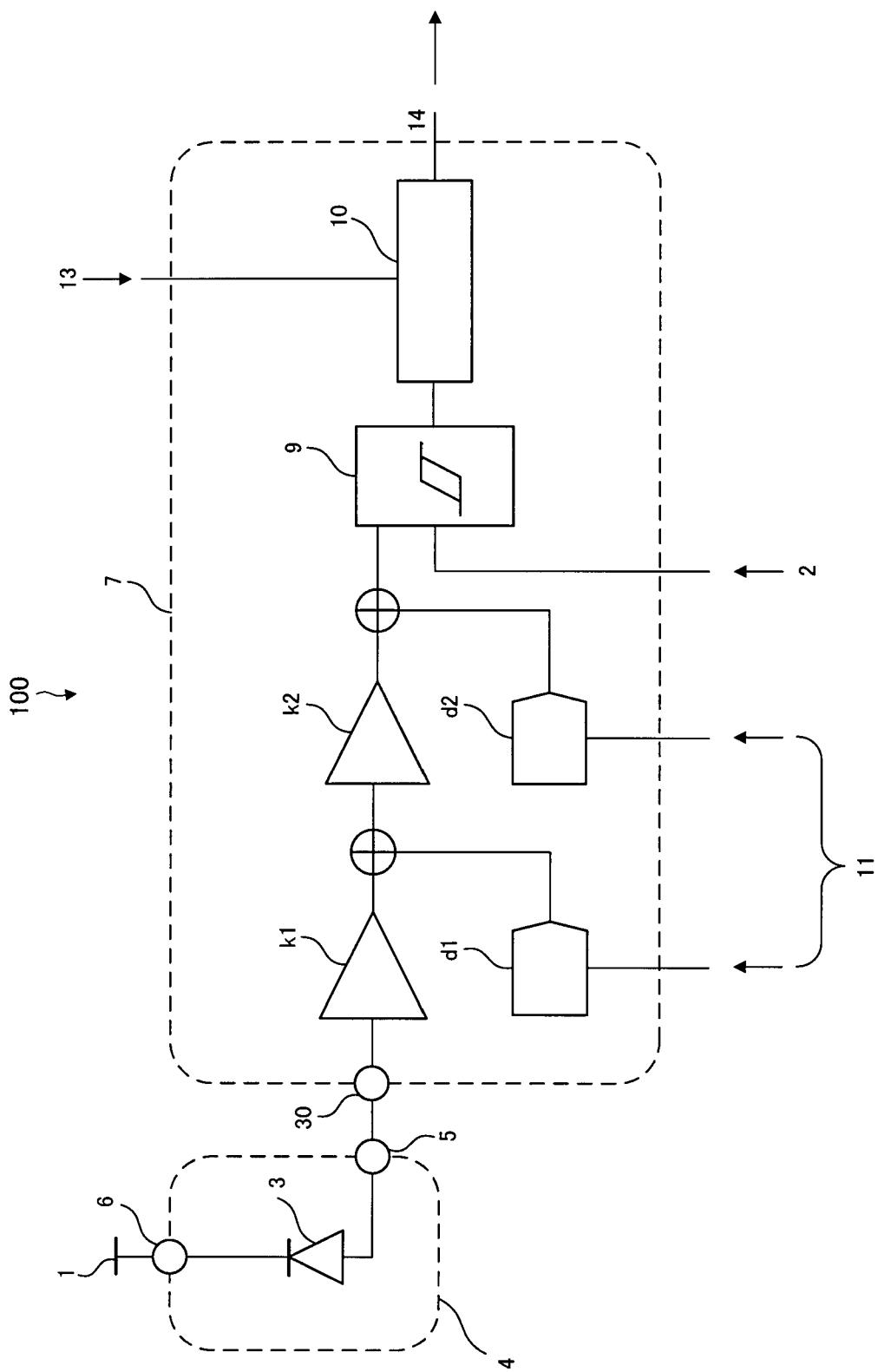
前記第nのD/A変換器により補正された信号に基づく出力信号を弁別する波高弁別器と、

前記弁別された信号を計数する計数器と、を各イメージングセルに
対して備え、

前記第 $n - 1$ の D A 変換器、第 n の増幅器および第 n の D A 変換器は、整数 n について 2 から 2 以上の整数 N まで連続して直列で接続されていることを特徴とする放射線検出器。

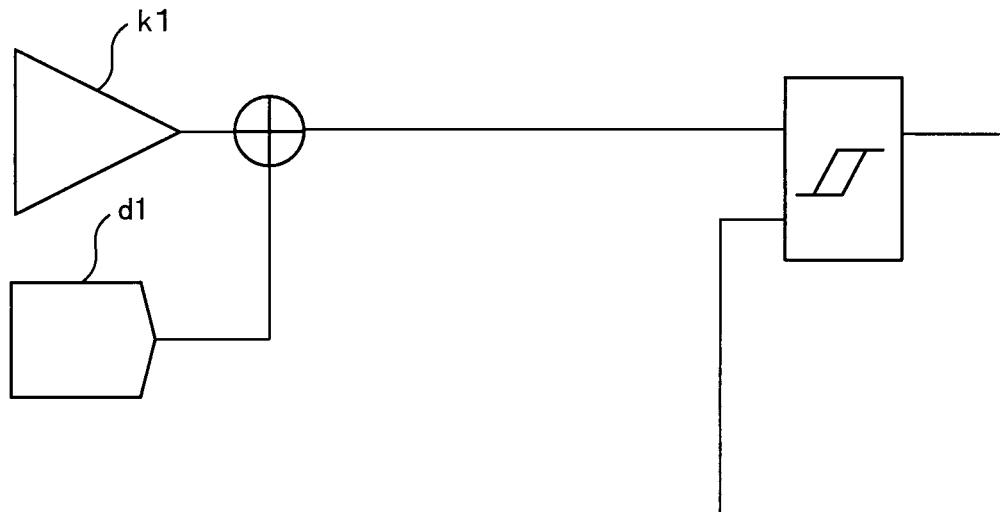
[請求項7] 各イメージングセルについて、前記第NのDA変換器により補正された信号がイメージングセル間で予め調整された補正と一致するよう前記第nの増幅器の増幅率に対して、前記第n-1のDA変換器による補正值および前記第nのDA変換器による補正值が決定されることを特徴とする請求項6記載の放射線検出器。

[図1]

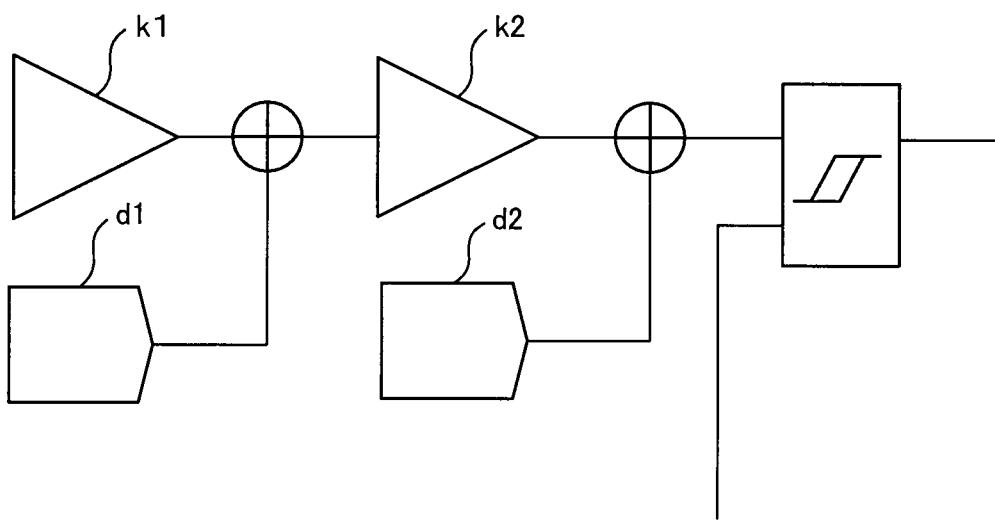


[図2]

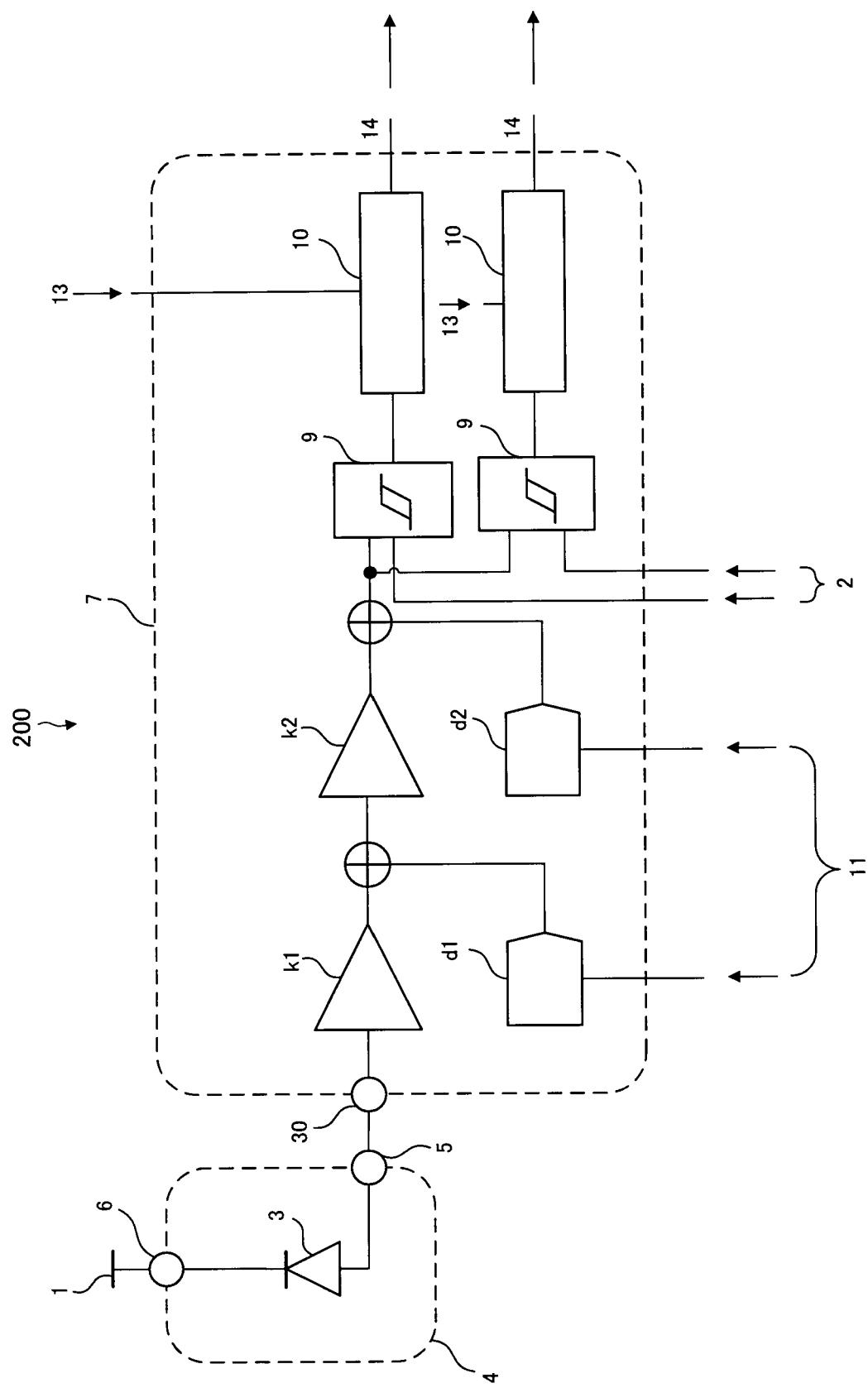
(a)



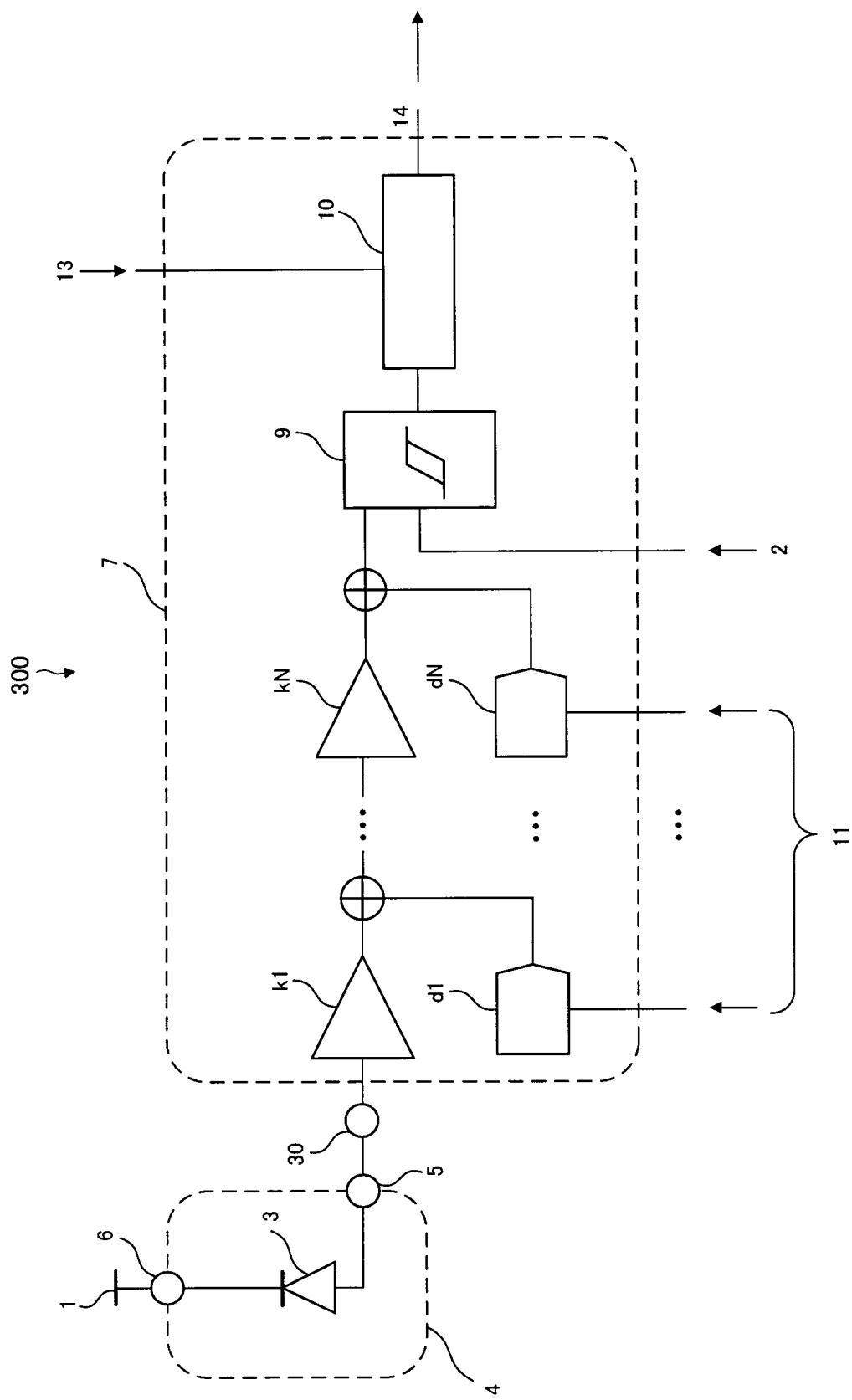
(b)



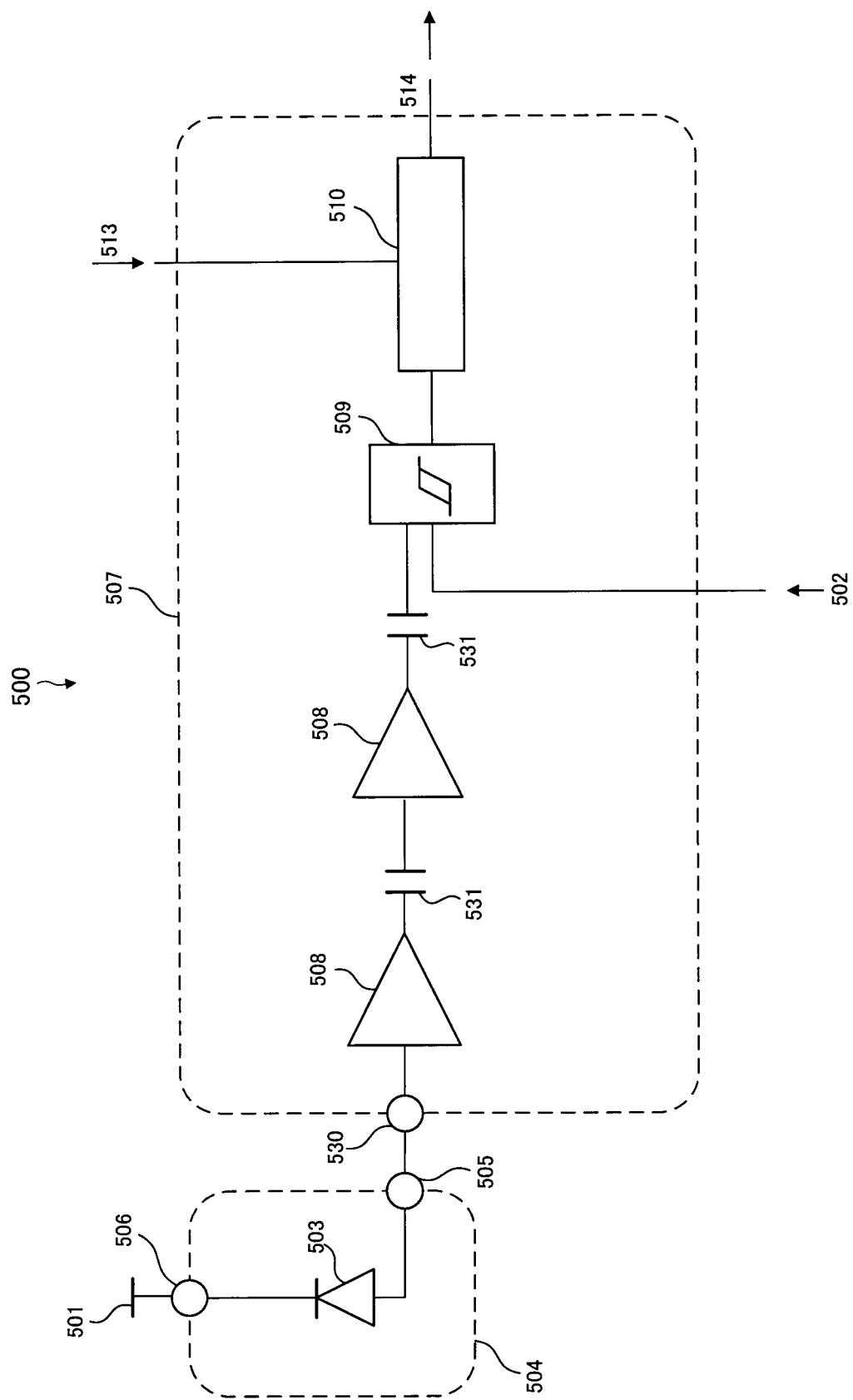
[図3]



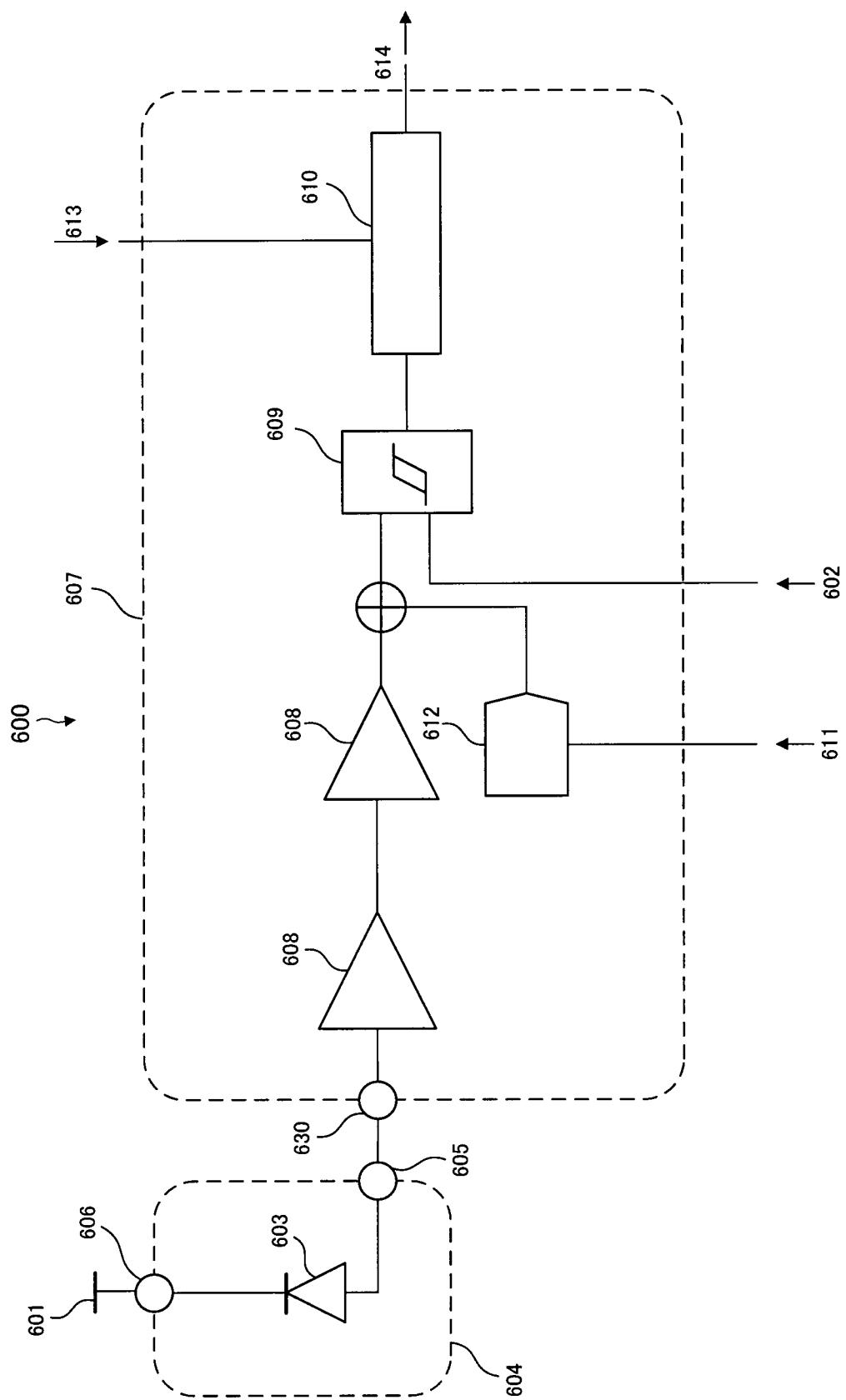
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/072167

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01T1/17(2006.01)i, H04N5/32(2006.01)i, H04N5/378(2011.01)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)

G01T1/17, H04N5/32, H04N5/378

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
A	JP 64-80842 A (Shimadzu Corp.), 27 March 1989 (27.03.1989), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 3-25387 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 04 February 1991 (04.02.1991), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2-66488 A (Toshiba Corp.), 06 March 1990 (06.03.1990), entire text; all drawings & EP 346878 A2 & DE 68918501 C & DE 68918501 D & CA 1333638 A	1-7

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
11 January, 2011 (11.01.11)

Date of mailing of the international search report
25 January, 2011 (25.01.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/072167

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 58-187884 A (Shimadzu Corp.), 02 November 1983 (02.11.1983), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 58-187883 A (Shimadzu Corp.), 02 November 1983 (02.11.1983), entire text; all drawings (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01T1/17(2006.01)i, H04N5/32(2006.01)i, H04N5/378(2011.01)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. G01T1/17, H04N5/32, H04N5/378

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 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
A	JP 64-80842 A (株式会社島津製作所) 1989.03.27, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 7
A	JP 3-25387 A (松下電器産業株式会社) 1991.02.04, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 7
A	JP 2-66488 A (株式会社東芝) 1990.03.06, 全文、全図 & EP 346878 A2 & DE 68918501 C & DE 68918501 D & CA 1333638 A	1 - 7

 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 1 1 . 0 1 . 2 0 1 1	国際調査報告の発送日 2 5 . 0 1 . 2 0 1 1
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） 藤本 加代子 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 3 2 I 4 4 5 8

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
A	JP 58-187884 A (株式会社島津製作所) 1983. 11. 02, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 7
A	JP 58-187883 A (株式会社島津製作所) 1983. 11. 02, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 7