

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6814848号
(P6814848)

(45) 発行日 令和3年1月20日(2021.1.20)

(24) 登録日 令和2年12月23日(2020.12.23)

(51) Int. Cl.	F I
HO 4 N 5/378 (2011.01)	HO 4 N 5/378
HO 1 L 31/10 (2006.01)	HO 1 L 31/10 G
HO 4 N 5/3745 (2011.01)	HO 4 N 5/3745
HO 4 N 5/32 (2006.01)	HO 4 N 5/32
GO 1 J 1/42 (2006.01)	GO 1 J 1/42 L
請求項の数 6 (全 16 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2019-132677 (P2019-132677)
 (22) 出願日 令和1年7月18日(2019.7.18)
 審査請求日 令和2年9月16日(2020.9.16)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000236436
 浜松ホトニクス株式会社
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100140442
 弁理士 柴山 健一
 (74) 代理人 100174399
 弁理士 寺澤 正太郎
 (72) 発明者 渡利 威士
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
 浜松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光検出素子の信号読出回路、信号読出装置および信号読出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光の入射に応じて検出信号を生成する複数の光検出ピクセルを有する光検出素子からの信号を読み出す回路であって、

前記複数の光検出ピクセルに含まれるN個(Nは2以上の整数)の光検出ピクセルのうち、対応する光検出ピクセルから前記検出信号を入力し、当該光検出ピクセルへの光子の入射があったことを示す予め設定された大きさのパルス信号を出力するN個の光入射検出部と、

前記N個の光入射検出部からの出力信号の合計値を検出する合計値検出部と、
 を備え、

前記予め設定された大きさのパルス信号は、各光検出ピクセルに対応して異なる重み付けがなされた信号であり、その重みは、前記N個の光検出ピクセルにおける個々の光検出ピクセルおよび光検出ピクセル同士の全ての組み合わせパターンに対して前記合計値が互いに異なるように設定されており、前記N個の光検出ピクセルのいずれの一つ又は複数に光子が入射したかを前記合計値から一意に判定することができる、光検出素子の信号読出回路。

【請求項2】

各光入射検出部がコンパレータを含む、請求項1に記載の光検出素子の信号読出回路。

【請求項3】

前記N個の光入射検出部からの出力信号がアナログ信号であり、

前記合計値検出部は、前記N個の光入射検出部からの出力信号を重ね合わせた信号をデジタル信号に変換するアナログ-デジタル変換回路を含む、請求項1または2に記載の光検出素子の信号読出回路。

【請求項4】

第n番目 ($n = 1, 2, \dots, N$) の前記光入射検出部の重みが $2^{(n-1)}$ である、請求項1～3のいずれか1項に記載の光検出素子の信号読出回路。

【請求項5】

光の入射に応じて検出信号を生成する複数の光検出ピクセルをそれぞれ含むM個 (Mは2以上の整数) の光検出ピクセル群を有する光検出素子からの信号を読み出す装置であって、

10

請求項1～4のいずれか1項に記載の光検出素子の信号読出回路であるM個の信号読出回路を備え、

前記M個の信号読出回路それぞれは、前記M個の光検出ピクセル群それぞれからの信号を読み出す、光検出素子の信号読出装置。

【請求項6】

光の入射に応じて検出信号を生成する複数の光検出ピクセルを有する光検出素子からの信号を読み出す方法であって、

前記複数の光検出ピクセルに含まれるN個 (Nは2以上の整数) の光検出ピクセルそれぞれからの信号に基づいて、対応する光検出ピクセルへの光子の入射があったことを示す 予め設定された大きさのパルス信号を前記N個の光検出ピクセルごとに生成する 第1ステップと、

20

前記N個の光検出ピクセルごとに生成した前記予め設定された大きさのパルス信号の合計値を検出する 第2ステップと、

を含み、

前記予め設定された大きさのパルス信号は、各光検出ピクセルに対応して異なる重み付けがなされた信号であり、その重みは、前記N個の光検出ピクセルにおける個々の光検出ピクセルおよび光検出ピクセル同士の全ての組み合わせパターンに対して前記合計値が互いに異なるように設定されており、前記N個の光検出ピクセルのいずれの一つ又は複数に光子が入射したかを前記合計値から一意に判定することができる、光検出素子の信号読出方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、光検出素子の信号読出回路、信号読出装置および信号読出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、放射線検出器に関する技術が開示されている。この放射線検出器は、2次元的に結合された複数個のシンチレータを含むシンチレータ群と、シンチレータ群に光学的に結合された光学センサとを備え、シンチレータ群に入射したガンマ線の入射位置を検出する。シンチレータ群は、各シンチレータ同士を密着または近接させて構成されている。シンチレータ群には複数個の光センサが光学的に結合され、各光センサにおいて検出された検出光量に基づき、光量分布の重心を求めてガンマ線の入射位置を検出する。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平7-311270号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Andrew L. Goertzen et al., "Design and Performance of a Resistor Multiplexing Readout Circuit for a SiPM Detector", IEEE Transactions on Nuclear S

50

science, Vol. 60, No. 3, June 2013

【非特許文献2】Vladimir Popov et al., "A novel readout concept for multianode photomultiplier tubes with pad matrix anode layout", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 567, pp.319-322 (2006)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

例えばMPPC (Multi-Pixel Photon Counter) やマルチアノードPMT (Photomultiplier Tube) といったマルチチャンネル型の光検出素子から信号を読み出す際、最も広く用いられている方式は、抵抗チェーンを用いる方式である。図14は、一例として、抵抗チェーンを用いた放射線検出器の構成を概念的に示す。この放射線検出器100は、一次元状または二次元状に配列された複数のシンチレータ102からなるシンチレータ群101と、このシンチレータ群101に貼着されたマルチチャンネル型の光検出素子103とを備える。光検出素子103の各光検出ピクセル(チャンネル)104は、隣接する光検出ピクセル104同士を接続する複数の抵抗106からなる抵抗チェーン105を介して互いに電氣的に接続されている。この放射線検出器100では、抵抗チェーン105の両端から信号を読み出し、その大きさに基づいて光の入射位置(すなわち放射線の入射位置)を特定する。このような方式は、特にマルチアノードPMTからの信号の読み出しに多く用いられ、ポジトロン断層撮影(Positron Emission Tomography; PET)や放射線計測器などにおいて幅広く採用されている。

【0006】

しかしながら、このような抵抗チェーン方式には次の課題が存在する。すなわち、光の入射位置を特定するための信号処理に数十~数百マイクロ秒を要するので、検出素子自体の応答速度が比較的速い(例えば100ナノ秒以下)にもかかわらず、信号処理速度が装置全体の応答速度を遅くしてしまう。また、複数の位置において同時に光が入射した場合にはそれらを区別して検出することができず、入射位置情報が失われてしまう。

【0007】

抵抗チェーン方式が有するこれらの課題に対し、光検出ピクセル104と同数の読み出し回路を設け、個々の光検出ピクセル104からの出力信号を個別に読み出す方式が考えられる(図15を参照)。しかしながら、このような方式では光検出ピクセル104の個数に応じて読み出し回路の規模が拡大し、例えば64個や256個といった光検出ピクセル数に対しては膨大な回路規模となる。

【0008】

本開示は、上記課題を解決するために、回路規模の大型化を抑制しつつ、複数の位置において同時に光が入射した場合であってもそれらを区別して検出することが可能な光検出素子の信号読出回路、信号読出装置および信号読出方法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】

【0009】

本開示による光検出素子の信号読出回路は、光の入射に応じて検出信号を生成する複数の光検出ピクセルを有する光検出素子からの信号を読み出す回路であって、複数の光検出ピクセルに含まれるN個(Nは2以上の整数)の光検出ピクセルのうち、対応する光検出ピクセルから検出信号を入力し、当該光検出ピクセルへの光子の入射があったことを示す予め設定された大きさのパルス信号を出力するN個の光入射検出部と、N個の光入射検出部からの出力信号の合計値を検出する合計値検出部と、を備える。予め設定された大きさのパルス信号は、各光検出ピクセルに対応して異なる重み付けがなされた信号であり、その重みは、N個の光検出ピクセルにおける個々の光検出ピクセルおよび光検出ピクセル同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値が互いに異なるように設定されており、N個の光検出ピクセルのいずれの一つ又は複数に光子が入射したかを合計値から一意に判定することができる。

【0010】

10

20

30

40

50

本開示による光検出素子の信号読出方法は、光の入射に応じて検出信号を生成する複数の光検出ピクセルを有する光検出素子からの信号を読み出す方法であって、複数の光検出ピクセルに含まれるN個（Nは2以上の整数）の光検出ピクセルそれぞれからの信号に基づいて、対応する光検出ピクセルへの光子の入射があったことを示す予め設定された大きさのパルス信号をN個の光検出ピクセルごとに生成する第1ステップと、N個の光検出ピクセルごとに生成した予め設定された大きさのパルス信号の合計値を検出する第2ステップと、を含む。予め設定された大きさのパルス信号は、各光検出ピクセルに対応して異なる重み付けがなされた信号であり、その重みは、N個の光検出ピクセルにおける個々の光検出ピクセルおよび光検出ピクセル同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値が互いに異なるように設定されており、N個の光検出ピクセルのいずれの一つ又は複数に光子が入射したかを合計値から一意に判定することができる。

10

【0011】

上記の信号読出回路および信号読出方法では、光入射検出部（第1ステップ）において光入射を示す信号を生成する際、各光検出ピクセルに対応して異なる重み付けがなされ、重み付けされたN個の信号の合計値が合計値検出部（第2ステップ）において検出される。その重みは、個々の光検出ピクセルおよび光検出ピクセル同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値が互いに異なるように設定される。従って、何れの光検出ピクセル（1つ若しくは複数）に光が入射したかを合計値から一意に判定することができる。故に、この信号読出回路および信号読出方法によれば、複数の位置において同時に光が入射した場合であってもそれらを区別して検出することが可能となる。また、N個の光検出ピクセル

20

【0012】

上記の信号読出回路において、各光入射検出部がコンパレータを含んでもよい。この場合、光検出ピクセルからの検出信号に対して閾値を設定し、光が入射したか否かを精度良く判定することができる。また、コンパレータの信号出力条件（電圧値等）をコンパレータ毎に異ならせることにより、個々の光検出ピクセルおよび光検出ピクセル同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値が互いに異なるように重みを設定することも容易にできる。

【0013】

上記の信号読出回路において、N個の光入射検出部からの出力信号がアナログ信号であり、合計値検出部は、N個の光入射検出部からの出力信号を重ね合わせた信号をデジタル信号に変換するアナログ-デジタル変換回路を含んでもよい。例えばこのような構成により、N個の光入射検出部からの出力信号の合計値を検出することができる。

30

【0014】

上記の信号読出回路において、第n番目（ $n = 1, 2, \dots, N$ ）の光入射検出部の重みが $2^{(n-1)}$ であってもよい。例えばこのように重みを設定することにより、個々の光検出ピクセルおよび光検出ピクセル同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値を互いに異ならせることができる。

【0015】

本開示による光検出素子の信号読出装置は、光の入射に応じて検出信号を生成する複数の光検出ピクセルをそれぞれ含むM個（Mは2以上の整数）の光検出ピクセル群を有する光検出素子からの信号を読み出す装置であって、上記いずれかの光検出素子の信号読出回路であるM個の信号読出回路を備え、M個の信号読出回路それぞれは、M個の光検出ピクセル群それぞれからの信号を読み出す。

40

【0016】

この信号読出装置によれば、M個の信号読出回路を上記いずれかの信号読出回路とすることにより、回路規模の大型化を抑制しつつ、複数の位置において同時に光が入射した場合であってもそれらを区別して検出することができる。また、光検出素子の多数の光検出ピクセルをM個の光検出ピクセル群に区分けし、光検出ピクセル群毎に信号読出回路を設

50

けることにより、単一の信号読出回路を用いる場合と比較して、光入射検出部の個数 N を小さくすることができる。故に、 N 個の光検出ピクセルにより実現される全ての組み合わせパターンの個数が大きくなり過ぎることを抑制できる。

【発明の効果】

【0017】

本開示に係る光検出素子の信号読出回路、信号読出装置および信号読出方法によれば、回路規模の大型化を抑制しつつ、複数の位置において同時に光が入射した場合であってもそれらを区別して検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】一実施形態に係る放射線検出器 1 A の外観を示す斜視図である。

【図2】シンチレータアレイ 5 の外観を示す斜視図である。

【図3】光検出素子 7 の外観を示す斜視図である。

【図4】光検出素子 7 の光入射面 7 a を示す平面図である。

【図5】信号読出装置 10 の外観を示す斜視図である。

【図6】信号読出回路 11 の内部構成を概略的に示す図である。

【図7】(a) 一つの光検出ピクセル群 74 を示す図である。(b) (a) に示された 4 個の光検出ピクセル 71 のそれぞれに対応する光入射検出部 13 の重み値の例を示す。

【図8】合計値検出部 14 において検出される N 個の光入射検出部 13 からの出力信号の合計値と、チャンネル番号の組み合わせとの関係を示す図表である。

【図9】(a) ~ (e) 光検出素子 7 の何れの光検出ピクセル 71 に光子が入射したかを判定した例を概念的に示す図である。

【図10】信号読出回路 11 の動作例を概念的に示す図である。

【図11】信号読出回路 11 の別の動作例を概念的に示す図である。

【図12】一実施形態に係る信号読出方法を示すフローチャートである。

【図13】光検出素子 7 の光入射面 7 a の変形例を示す平面図である。

【図14】抵抗チェーンを用いた放射線検出器の構成を概念的に示す図である。

【図15】光検出ピクセルと同数の読み出し回路を設け、個々の光検出ピクセルからの出力信号を個別に読み出す方式を備える放射線検出器の構成を概念的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、添付図面を参照しながら本開示による光検出素子の信号読出回路、信号読出装置および信号読出方法の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0020】

図1は、一実施形態に係る放射線検出器 1 A の外観を示す斜視図である。この放射線検出器 1 A は、シンチレータアレイ 5、光検出素子 7、及び信号読出装置 10 を備える。シンチレータアレイ 5 は、光検出素子 7 の一端面（光入射面）上に配置されている。信号読出装置 10 は、光検出素子 7 の他端面（信号出力面）上に配置されている。言い換えると、放射線の入射方向において、光検出素子 7 はシンチレータアレイ 5 と信号読出装置 10 との間に配置されている。

【0021】

図2は、シンチレータアレイ 5 の外観を示す斜視図である。シンチレータアレイ 5 は、 L 個（ L は 2 以上の整数、図では $L = 16$ の場合を示す）のシンチレータ 51 を有する。 L 個のシンチレータ 51 は、それぞれ直方体状の外形を有しており、一次元状又は二次元状に並んで配列されている。図示例では、16 個のシンチレータ 51 が 4 行 × 4 列の二次元状に配列されている。各シンチレータ 51 は、放射線が入射すると光子（フォトン）を発生する。互いに隣接するシンチレータ 51 の間には光を遮蔽する壁が設けられており、シンチレータ 51 内で発生した光子の少なくとも一部は、隣接する他のシンチレータ 51 に移動することなく、放射線が入射した面とは反対側の面に移動する。なお、シンチレー

10

20

30

40

50

タ51の材料としては、プラスチック等が挙げられる。

【0022】

図3は、光検出素子7の外観を示す斜視図である。光検出素子7は、例えばMPPCやマルチアノードPMTといったマルチチャンネル型の光検出素子であって、例えばMPPCの場合、シリコン等の半導体材料により主に構成されている。光検出素子7は、光入射面7a内にL個の光検出ピクセル71を有する。L個の光検出ピクセル71は、シンチレータアレイ5におけるシンチレータ51の配列に対応して、一次元状又は二次元状に並んで配列されている。すなわち、各光検出ピクセル71は、各シンチレータ51に対して一対一に対応し、各シンチレータ51と対向している。図示例では、16個の光検出ピクセル71が4行×4列の二次元状に配列されている。また、光検出素子7は、L個の出力端子72を更に有する。各出力端子72は、光入射面7aとは反対側の信号出力面7bから突出しており、各光検出ピクセル71と一対一に対応して設けられている。

10

【0023】

L個の光検出ピクセル71のそれぞれは、シンチレータ51からの光子の入射に応じて検出信号を生成する。各光検出ピクセル71は、例えば、ガイガーモードで動作するアバランシェフォトダイオード(APD: Avalanche Photo Diode)と、APDに対して直列に接続されたクエンチング抵抗とを含んで構成されている。クエンチング抵抗は、出力端子72と電気的に接続されている。各光検出ピクセル71にて生成された検出信号は、出力端子72から光検出素子7の外部へと出力される。

【0024】

図4は、光検出素子7の光入射面7aを示す平面図である。本実施形態では、L個の光検出ピクセル71を、それぞれN個の光検出ピクセル71を含むM個(Mは2以上の整数)の光検出ピクセル群74に区分けする。図示例では、16個の光検出ピクセル71を4個の光検出ピクセル群74に均等に区分けしている。この場合、各光検出ピクセル群74に含まれる光検出ピクセル71の個数Nは4となる。また、図示例では、互いに隣接する N_1 行× N_2 列(N_1, N_2 は1以上の整数、且つ $N_1 \times N_2 = N$)の光検出ピクセル71を1つの光検出ピクセル群74に区分けし、且つ、行数 N_1 及び列数 N_2 が互いに等しい場合(具体的には、 $N_1 = N_2 = 2$)を示している。なお、光検出ピクセル群74の個数Mは4に限定されず、例えばM=2やM=6といった様々な数とすることができる。同様に、光検出ピクセル群74に含まれる光検出ピクセル71の個数Nは4に限定されず、例えばN=2やN=6といった様々な数とすることができる。行数 N_1 及び列数 N_2 も任意である。

20

30

【0025】

図5は、信号読出装置10の外観を示す斜視図である。信号読出装置10は、M個の信号読出回路11を有する。M個の信号読出回路11は、光検出素子7における光検出ピクセル群74の配列に対応して、一次元状又は二次元状に並んで配列されている。すなわち、各信号読出回路11は、各光検出ピクセル群74に対して一対一に対応している。各信号読出回路11は、対応する光検出ピクセル群74のN個の出力端子72と接続されるN個の入力端子12を有する。図示例では、信号読出回路11の個数Mは4であり、入力端子12の個数Nは4である。

【0026】

図6は、信号読出回路11の内部構成を概略的に示す図である。信号読出回路11は、N個の光入射検出部13と、一つの合計値検出部14とを備える。N個の光入射検出部13それぞれは、N個の光検出ピクセル71それぞれに対応して設けられ、出力端子72及び入力端子12を介して対応する光検出ピクセル71と電気的に接続されている。すなわち、各光入射検出部13は、対応する光検出ピクセル71と、抵抗値が実質的にゼロである配線を介して接続されている。各光入射検出部13は、対応する光検出ピクセル71から検出信号を入力し、該光検出ピクセル71への光子の入射を示す信号を出力する。光子の入射を示す信号とは、例えば矩形の時間波形を有するパルス信号である。一実施例では、光入射検出部13はコンパレータを含む。光検出ピクセル71から検出信号が所定の閾値を超えた場合に、コンパレータは予め設定された大きさのパルス信号を出力する。

40

50

【 0 0 2 7 】

上記の「予め設定された大きさのパルス信号」は、各光入射検出部 1 3 毎に異なる重み付けがなされた信号であり、各光入射検出部 1 3 毎に異なる大きさを有する。一例では、各光入射検出部 1 3 のコンパレータは、光子の入射を検出した際に、或る一定の大きさのパルス信号を生成する。そして、各光入射検出部 1 3 のコンパレータは、該パルス信号を、各光入射検出部 1 3 毎に決められた重みに応じて、各光入射検出部 1 3 毎に異なる大きさのパルス信号に変換する。

【 0 0 2 8 】

合計値検出部 1 4 は、インピーダンスが実質的にゼロである信号伝送系を介して N 個の光入射検出部 1 3 と電氣的に接続されており、N 個の光入射検出部 1 3 からの出力信号の合計値を検出する。各光入射検出部 1 3 から合計値検出部 1 4 への信号伝送時間を等しくするため、合計値検出部 1 4 との間の線長は、N 個の光入射検出部 1 3 において互いに等しい。また、N 個の光入射検出部 1 3 からの信号伝送系は、ノード N d において一つに結合されたのち、合計値検出部 1 4 に達する。一実施例では、N 個の光入射検出部 1 3 からの出力信号がアナログ信号であり、合計値検出部 1 4 はアナログ - デジタル変換回路を含む。この場合、合計値検出部 1 4 は、N 個の光入射検出部 1 3 からの出力信号を重ね合わせた信号をデジタル信号に変換する。すなわち、或る光入射検出部 1 3 が $V_1 (V)$ の信号を出力し、別の光入射検出部 1 3 が $V_2 (V)$ の信号を出力した場合、合計値検出部 1 4 は $V_1 + V_2 (V)$ の信号をデジタル信号に変換する。合計値検出部 1 4 から出力されたデジタル信号は、放射線検出器 1 A の外部へ出力される。

【 0 0 2 9 】

ここで、N 個の光入射検出部 1 3 について更に詳細に説明する。図 7 (a) は、一つの光検出ピクセル群 7 4 を示す図である。この例では、2 行 × 2 列の 4 個の光検出ピクセル 7 1 が示されている。これらの光検出ピクセル 7 1 には、便宜的に (1) ~ (4) のチャンネル (C H) 番号が付されている。そして、各光入射検出部 1 3 は、各光検出ピクセル 7 1 に対応して異なる重み付けがなされた信号を出力する。図 7 (b) は、図 7 (a) に示された 4 個の光検出ピクセル 7 1 のそれぞれに対応する光入射検出部 1 3 の重み値の例を示す。この例では、チャンネル番号 (1) に重み 1 を与え、チャンネル番号 (2) に重み 2 を与え、チャンネル番号 (3) に重み 4 を与え、チャンネル番号 (4) に重み 8 を与えている。言い換えると、チャンネル番号が第 n 番目 ($n = 1, 2, \dots, N$) である光入射検出部 1 3 の重み値が $2^{(n-1)}$ となっている。各光入射検出部 1 3 の重みは、例えばコンパレータに供給する電圧を抵抗分割等により当該重みに応じた大きさに調整することによって実現できる。合計値検出部 1 4 に要求される最小の分解能は、当該合計値検出部 1 4 に接続される光入射検出部 1 3 の個数 N によって規定される。例えば N = 4 である場合、合計値検出部 1 4 に要求される最小の分解能は 4 ビットである。

【 0 0 3 0 】

図 8 は、合計値検出部 1 4 において検出される N 個の光入射検出部 1 3 からの出力信号の合計値と、チャンネル番号の組み合わせとの関係を示す図表である。例えば、合計値がゼロである場合、いずれの光検出ピクセル 7 1 にも光子が入射していないことを示す。合計値が 1 である場合、チャンネル番号 (1) の光検出ピクセル 7 1 のみに光子が入射したことを示す。合計値が 2 である場合、チャンネル番号 (2) の光検出ピクセル 7 1 のみに光子が入射したことを示す。合計値が 3 である場合、チャンネル番号 (1) 及び (2) の 2 つの光検出ピクセル 7 1 に光子が同時に入射したことを示す。このように、N 個の光検出ピクセル 7 1 における個々の光検出ピクセル 7 1 および光検出ピクセル 7 1 同士の全ての組み合わせパターンに対して、合計値が互いに異なる (重複しない) 。

【 0 0 3 1 】

図 9 は、光検出素子 7 の何れの光検出ピクセル 7 1 に光子が入射したかを判定した例を概念的に示す図である。図 9 (a) には、2 行 × 2 列 (計 4 個) の光検出ピクセル 7 1 をそれぞれ含む 4 つの光検出ピクセル群 7 4 が示されている。例えば、図 9 (b) に示すように、4 つの光検出ピクセル群 7 4 にそれぞれ対応する 4 つの信号読出回路 1 1 が、それ

10

20

30

40

50

ぞれ 1, 1, 6, 2 の合計値を出力したとする。このとき、合計値が 1 である 2 つの光検出ピクセル群 7 4 では、図 9 (c) に示すように、チャンネル番号 (1) の光検出ピクセル 7 1 のみに光子が入射したと判定される (光子が入射したと判定された光検出ピクセル 7 1 をハッチングにて示す)。合計値が 6 である光検出ピクセル群 7 4 では、チャンネル番号 (2) 及び (3) の 2 つの光検出ピクセル 7 1 に光子が同時に入射したと判定される。合計値が 2 である光検出ピクセル群 7 4 では、チャンネル番号 (2) の光検出ピクセル 7 1 のみに光子が入射したと判定される。

【 0 0 3 2 】

別の例では、図 9 (d) に示すように、4 つの光検出ピクセル群 7 4 にそれぞれ対応する 4 つの信号読出回路 1 1 が、それぞれ 0, 1 4, 0, 2 の合計値を出力したとする。このとき、合計値が 0 である 2 つの光検出ピクセル群 7 4 では、図 9 (e) に示すように、いずれの光検出ピクセル 7 1 にも光子は入射していないと判定される。合計値が 1 4 である光検出ピクセル群 7 4 では、チャンネル番号 (2)、(3) 及び (4) の 3 つの光検出ピクセル 7 1 に光子が同時に入射したと判定される。合計値が 2 である光検出ピクセル群 7 4 では、チャンネル番号 (2) の光検出ピクセル 7 1 のみに光子が入射したと判定される。

【 0 0 3 3 】

図 1 0 は、信号読出回路 1 1 の動作例を概念的に示す図である。例えば、チャンネル番号 (1) 及び (3) の 2 つの光検出ピクセル 7 1 に光子がほぼ同時に入射したとする。このとき、チャンネル番号 (1) に対応する光入射検出部 1 3 からは、高さ (電圧値) が 1 であるパルス信号 P 1 が出力される。また、チャンネル番号 (3) に対応する光入射検出部 1 3 からは、高さ (電圧値) が 4 であるパルス信号 P 2 が出力される。なお、パルス信号 P 1, P 2 の高さは相対値である。

【 0 0 3 4 】

これらのパルス信号 P 1, P 2 は、ノード Nd において互いに重なり合い、ピーク高さ (最大電圧値) が 5 であるパルス信号 P 3 となって、合計値検出部 1 4 である A / D 変換回路へ入力される。合計値検出部 1 4 は、パルス信号 P 3 のピーク高さに応じたデジタル信号を生成し、該デジタル信号を信号読出装置 1 0 の外部へ出力する。なお、図 1 0 に示すように、パルス信号 P 1, P 2 の発生タイミングが僅かにずれても、そのずれがパルス信号 P 1, P 2 の時間幅以下であれば許容される。

【 0 0 3 5 】

光入射検出部 1 3 から出力されるパルス信号の時間幅は、放射線検出器 1 A の応答速度に影響する。従って、使用環境及び要求仕様に応じて時間幅を任意に設定できることが望ましい。また、光入射検出部 1 3 から出力されるパルス信号の時間幅が合計値検出部 1 4 の処理周期 (処理速度) に対して短過ぎると、複数のパルス信号が時間的に分離した場合に、合計値検出部 1 4 に入力される信号がそれらの合計値とはならず、誤検出につながるおそれがある。従って、合計値検出部 1 4 の処理周期に応じて、パルス信号の時間幅を設定するとよい。

【 0 0 3 6 】

図 1 1 は、信号読出回路 1 1 の別の動作例を概念的に示す図である。この例においても、チャンネル番号 (1) 及び (3) の 2 つの光検出ピクセル 7 1 に光子がほぼ同時に入射したとする。このとき、チャンネル番号 (1) に対応する光入射検出部 1 3 からは、パルス面積 (すなわちパルス高さの時間積分値。典型的には、パルス時間幅 × パルス高さ) が 1 であるパルス信号 P 4 が出力される。また、チャンネル番号 (3) に対応する光入射検出部 1 3 からは、パルス面積が 4 であるパルス信号 P 5 が出力される。なお、パルス信号 P 4, P 5 の面積は相対値である。

【 0 0 3 7 】

これらのパルス信号 P 4, P 5 は、合計値検出部 1 4 である A / D 変換回路へ入力される。合計値検出部 1 4 は、パルス信号 P 4, P 5 の合計面積に応じたデジタル信号を生成し、該デジタル信号を信号読出装置 1 0 の外部へ出力する。なお、合計値検出部 1 4

10

20

30

40

50

は、所定の処理周期内に存在するパルス信号の合計面積に応じたデジタル信号を生成し、2つのパルス信号がそれぞれ異なる処理周期内で生じた場合には、それらのパルス信号の面積は合計せず、個別のタイミングでA/D変換を行う。つまり、図11に示すように、パルス信号P4、P5の発生タイミングが僅かにずれても、そのずれが合計値検出部14の処理周期以下であれば同時入射として扱われる。

【0038】

図12は、本実施形態に係る信号読出方法を示すフローチャートである。この信号読出方法は、光の入射に応じて検出信号を生成する複数の光検出ピクセル71を有する光検出素子7からの信号を読み出す方法であって、例えば本実施形態の信号読出回路11を使用して実現され得る。

10

【0039】

まず、第1ステップS1において、光検出ピクセル群74に含まれるN個の光検出ピクセル71それぞれからの信号に基づいて、光の入射を示すN個の信号を生成する。この第1ステップS1は、例えばN個の光入射検出部13において行われる。次に、第2ステップS2において、N個の信号の合計値を検出する。この第2ステップS2は、例えば合計値検出部14において行われる。そして、第1ステップS1では、各光検出ピクセル71に対応して異なる重み付けがなされた信号を生成し、その重みを、当該光検出ピクセル群74における個々の光検出ピクセル71および光検出ピクセル71同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値が互いに異なるように設定する(図8を参照)。

【0040】

20

以上に説明した、本実施形態による信号読出装置10および信号読出回路11、並びに信号読出方法によって得られる効果について説明する。

【0041】

本実施形態の信号読出回路11および信号読出方法では、光入射検出部13(第1ステップS1)において光の入射を示す信号を生成する際、各光検出ピクセル71に対応して異なる重み付けがなされ、重み付けされたN個の信号の合計値が合計値検出部14(第2ステップS2)において検出される。図8に示すように、その重みは、個々の光検出ピクセル71および光検出ピクセル71同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値が互いに異なるように設定される。従って、何れの光検出ピクセル71(1つ若しくは複数)に光が入射したかを合計値から一意に判定することができる。故に、この信号読出回路11および信号読出方法によれば、複数の位置において同時に光が入射した場合であってもそれらを区別して検出することが可能となる。また、N個の光検出ピクセル71それぞれに対応するN個の信号読出回路を設ける場合と比較して、回路規模の大型化を抑制することができる。

30

【0042】

なお、特許文献1に開示された放射線検出器においても、各光検出ピクセルからの出力信号に対して重み付けを行っている。しかし、重み値の決定方法が本実施形態とは異なるので、複数の位置において同時に光が入射した場合、それらを区別して検出することができない。本実施形態の信号読出回路11および信号読出方法は、複数の位置において同時に光が入射した場合であってもそれらを区別して検出することができるという、特許文献1に記載された技術には無い格別な効果を奏するものである。

40

【0043】

また、本実施形態の信号読出装置10では、光検出素子7の多数の光検出ピクセル71をM個の光検出ピクセル群74に区分けし、光検出ピクセル群74毎に信号読出回路11を設ける。これにより、単一の信号読出回路11を用いる場合と比較して、光入射検出部13の個数Nを小さくすることができる。故に、N個の光検出ピクセル71により実現される全ての組み合わせパターンの個数が大きくなり過ぎることを抑制できる。また、一つの光検出ピクセル71に対して一つの信号読出回路を設ける場合と比較して、回路規模をN分の1とすることができる。

【0044】

50

本実施形態のように、各光入射検出部 1 3 はコンパレータを含んでもよい。この場合、光検出ピクセル 7 1 からの検出信号に対して閾値を設定し、光が入射したか否かを精度良く判定することができる。また、コンパレータの信号出力条件（電圧値等）をコンパレータ毎に異ならせることにより、個々の光検出ピクセル 7 1 および光検出ピクセル 7 1 同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値が互いに異なるように重みを設定することも容易にできる。

【 0 0 4 5 】

本実施形態のように、N 個の光入射検出部 1 3 からの出力信号がアナログ信号であり、合計値検出部 1 4 は、N 個の光入射検出部 1 3 からの出力信号を重ね合わせた信号をデジタル信号に変換する A / D 変換回路を含んでもよい。例えばこのような構成により、N 個の光入射検出部 1 3 からの出力信号の合計値を好適に検出することができる。

10

【 0 0 4 6 】

本実施形態のように、第 n 番目（ $n = 1, 2, \dots, N$ ）の光入射検出部 1 3 の重みは $2^{(n-1)}$ であってもよい。例えばこのように重みを設定することにより、個々の光検出ピクセル 7 1 および光検出ピクセル 7 1 同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値を互いに異ならせることができる。但し、光入射検出部 1 3 の重み値はこれに限られず、個々の光検出ピクセル 7 1 および光検出ピクセル 7 1 同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値が互いに異なりさえすれば、他の様々な重み値を用いてもよい。

【 0 0 4 7 】

（変形例）

20

図 1 3 は、光検出素子 7 の光入射面 7 a の変形例を示す平面図である。上記実施形態の図 4 では、互いに隣接する N_1 行 \times N_2 列の光検出ピクセル 7 1 を 1 つの光検出ピクセル群 7 4 に区分けし、且つ、行数 N_1 及び列数 N_2 が互いに等しい場合（具体的には、 $N_1 = N_2 = 2$ ）を示したが、図 1 3 に示すように、行数 N_1 及び列数 N_2 は互いに異なってもよい。図 1 3 の例では、6 4 個の光検出ピクセル 7 1 が 8 行 \times 8 列の二次元状に配列された光入射面 7 a において、各光検出ピクセル群 7 4 の行数 N_1 を 8、列数 N_2 を 1 としている。或いは、1 つの光検出ピクセル群 7 4 に含まれる N 個の光検出ピクセル 7 1 のうち少なくとも 1 つが、他の光検出ピクセル 7 1 と隣接せずに分離していてもよい。このように、光検出ピクセル群 7 4 の区分けパターンは任意であり、どのような区分けであっても上記実施形態の効果を好適に奏することができる。

30

【 0 0 4 8 】

本開示による光検出素子の信号読出回路、信号読出装置および信号読出方法は、上述した実施形態に限られるものではなく、他に様々な変形が可能である。例えば、上記実施形態では、光入射検出部 1 3 から出力される信号のパルス高さ（電圧値）またはパルス面積に対して重み付けを行ったが、光入射検出部 1 3 から出力される信号の他の様々な特徴値に対して重み付けを行ってもよい。また、上記実施形態では、光入射検出部 1 3 としてコンパレータを採用し、重み付けされた信号をコンパレータから出力させているが、光入射検出部 1 3 の構成はこれに限られず、例えば各コンパレータから一定の大きさの信号を出力させ、コンパレータの後段に接続された種々の重み付け回路を使って各コンパレータからの出力信号に重み付けを行ってもよい。或いは、光入射検出部 1 3 は、論理回路及びデコーダを用いて構成されてもよい。

40

【 符号の説明 】

【 0 0 4 9 】

1 A ... 放射線検出器、5 ... シンチレータアレイ、7 ... 光検出素子、7 a ... 光入射面、7 b ... 信号出力面、1 0 ... 信号読出装置、1 1 ... 信号読出回路、1 2 ... 入力端子、1 3 ... 光入射検出部、1 4 ... 合計値検出部、5 1 ... シンチレータ、7 1 ... 光検出ピクセル、7 2 ... 出力端子、7 4 ... 光検出ピクセル群、1 0 0 ... 放射線検出器、1 0 1 ... シンチレータ群、1 0 2 ... シンチレータ、1 0 3 ... 光検出素子、1 0 4 ... 光検出ピクセル、1 0 5 ... 抵抗チエーン、1 0 6 ... 抵抗、N d ... ノード、P 1 ~ P 5 ... パルス信号。

【 要約 】 （修正有）

50

【課題】光の入射位置を特定可能な光検出素子において、複数の位置に同時に光が入射した場合でもそれらを区別して検出することが可能な信号読出回路、信号読出装置および信号読出方法で、回路規模の大型化を抑制しする。

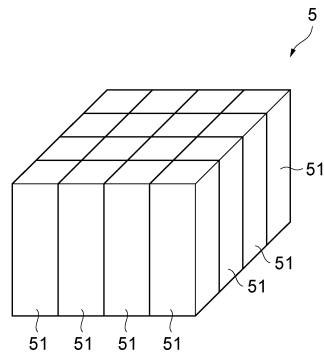
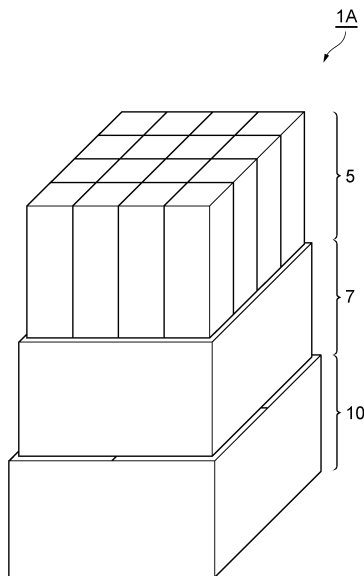
【解決手段】信号読出回路 1 1 は、光の入射に応じて検出信号を生成する複数の光検出ピクセル 7 1 を有する光検出素子 7 4 からの信号を読み出す回路であって、N 個（N は 2 以上の整数）の光検出ピクセル 7 1 それぞれから検出信号を入力し、光の入射を示す信号を出力する N 個の光入射検出部 1 3 と、N 個の光入射検出部 1 3 からの出力信号の合計値を検出する合計値検出部 1 4 とを備える。各光入射検出部 1 3 は、各光検出ピクセル 7 1 に対応して異なる重み付けがなされた信号を出力する。その重みは、個々の光検出ピクセル 7 1 および光検出ピクセル 7 1 同士の全ての組み合わせパターンに対して合計値が互いに異なるように設定される。

10

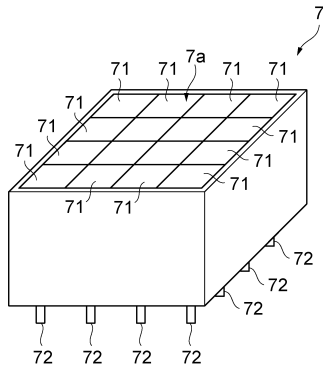
【選択図】図 6

【図 1】

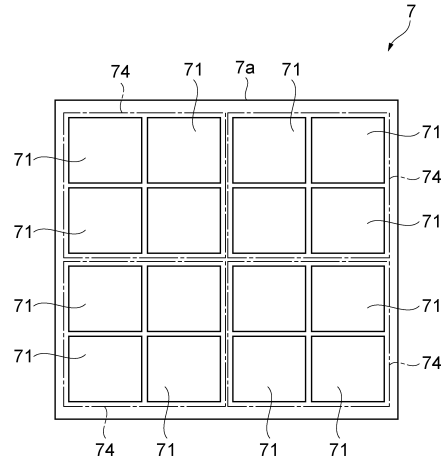
【図 2】



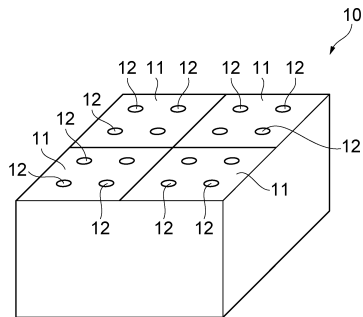
【 図 3 】



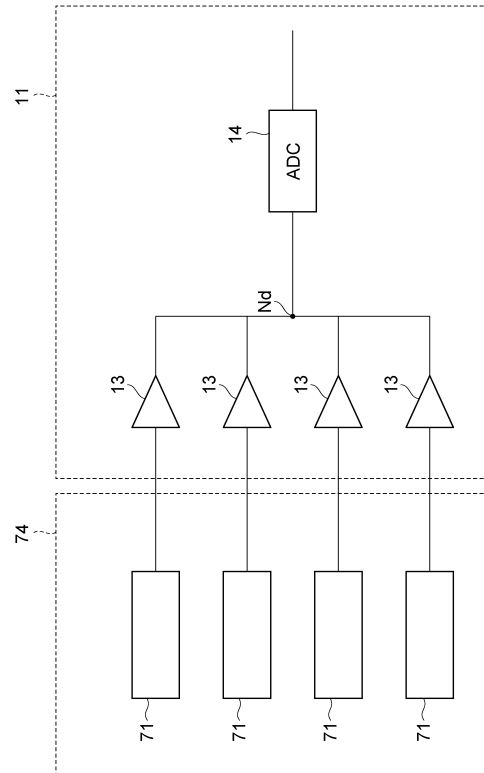
【 図 4 】



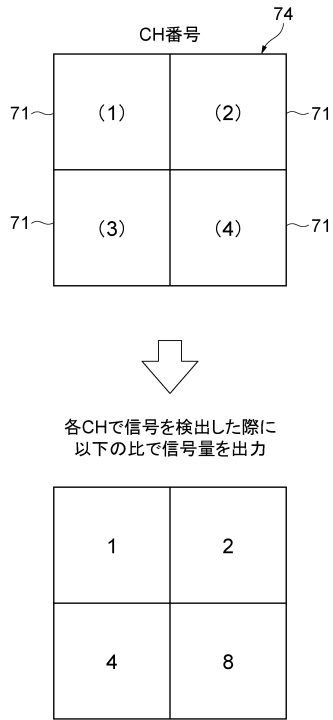
【 図 5 】



【 図 6 】



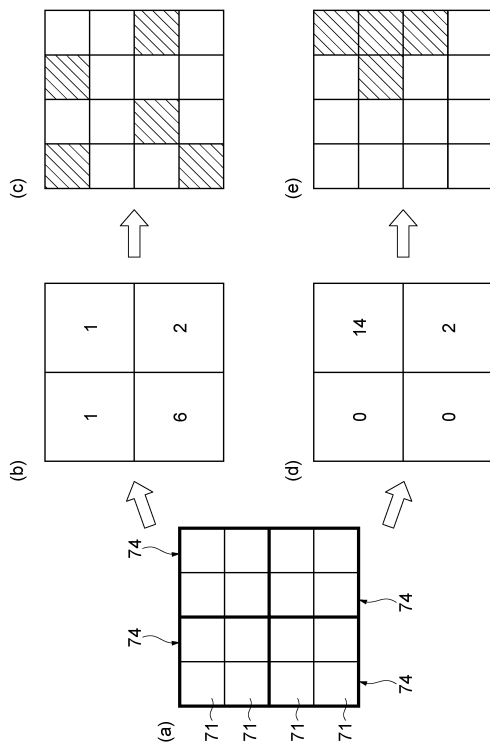
【図7】



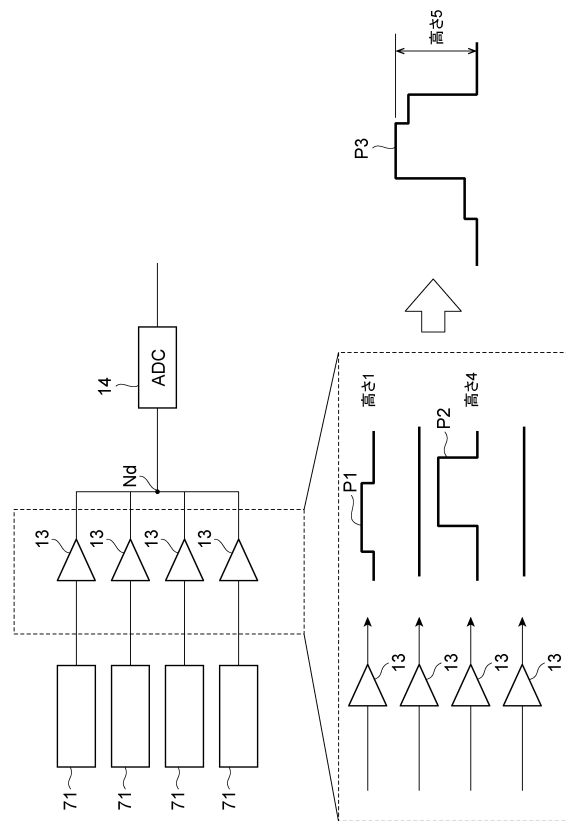
【図8】

合計値	検出CH
0	無し
1	(1)
2	(2)
3	(1)+(2)
4	(3)
5	(1)+(3)
6	(2)+(3)
7	(1)+(2)+(3)
8	(4)
9	(1)+(4)
10	(2)+(4)
11	(1)+(2)+(4)
12	(3)+(4)
13	(1)+(3)+(4)
14	(2)+(3)+(4)
15	全CH

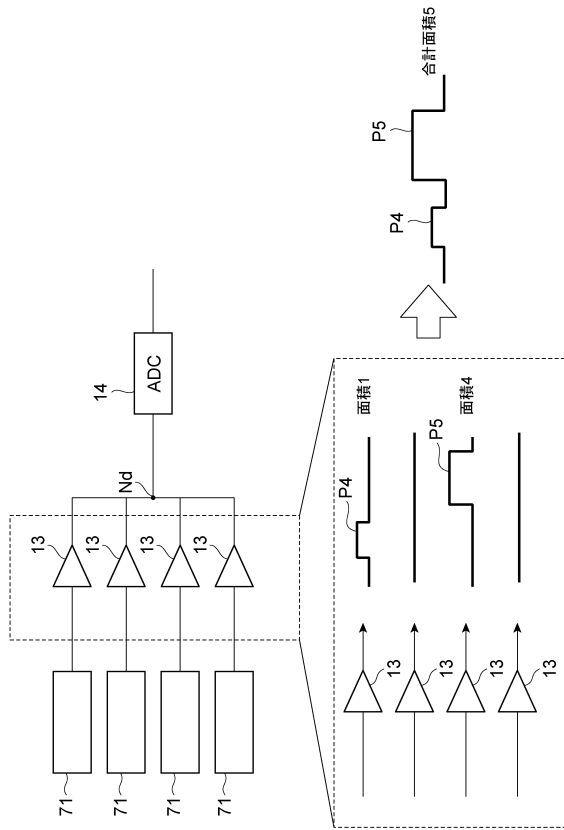
【図9】



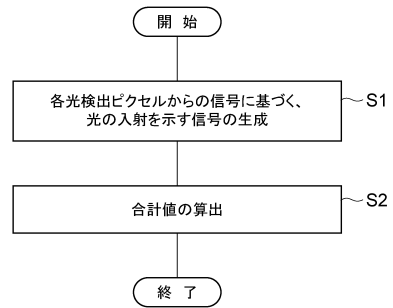
【図10】



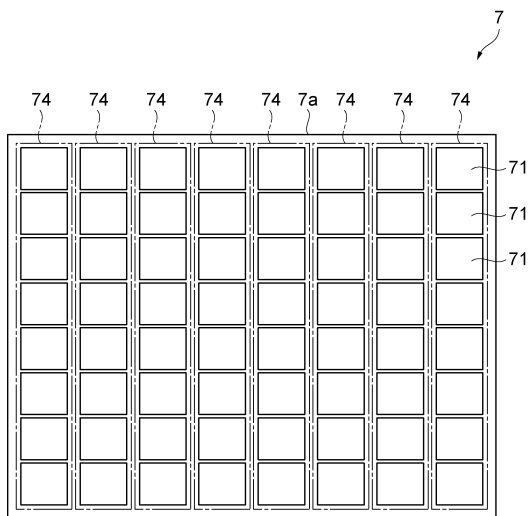
【図 1 1】



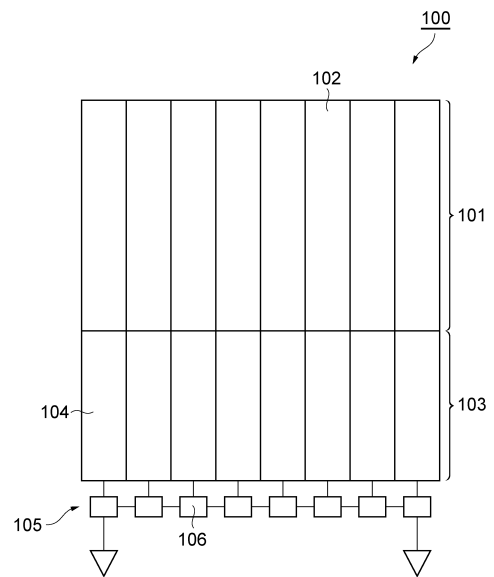
【図 1 2】



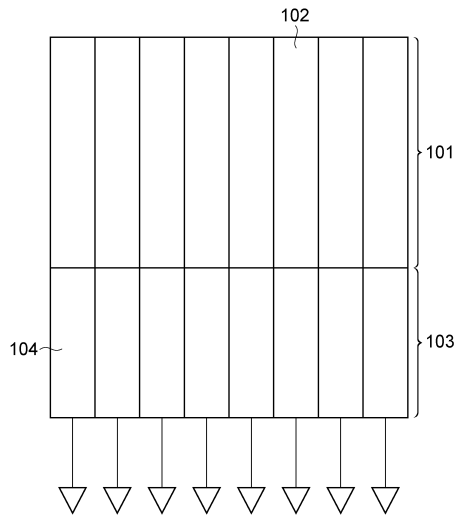
【図 1 3】



【図 1 4】



【 図 15 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 1 T 1/20 (2006.01) G 0 1 T 1/20 E
G 0 1 T 1/20 G

審査官 松永 隆志

(56)参考文献 特開平06-347557(JP,A)
特開2003-287404(JP,A)
特開2010-169516(JP,A)
特開平05-187914(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 4 N 5 / 2 2 5 - 5 / 3 7 8
H 0 4 N 9 / 0 0 - 9 / 1 1
G 0 1 T 1 / 2 0
G 0 1 J 1 / 4 2
H 0 1 L 3 1 / 1 0