

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6946599号
(P6946599)

(45) 発行日 令和3年10月6日(2021.10.6)

(24) 登録日 令和3年9月17日(2021.9.17)

(51) Int.Cl.	F I
GO 4 F 10/00 (2006.01)	GO 4 F 10/00 Z
GO 1 N 21/64 (2006.01)	GO 1 N 21/64 B

請求項の数 11 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2021-541093 (P2021-541093)	(73) 特許権者	000236436
(86) (22) 出願日	令和3年5月13日(2021.5.13)		浜松ホトニクス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2021/018263		静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1
審査請求日	令和3年7月15日(2021.7.15)	(74) 代理人	100088155
(31) 優先権主張番号	特願2020-133839 (P2020-133839)		弁理士 長谷川 芳樹
(32) 優先日	令和2年8月6日(2020.8.6)	(74) 代理人	100113435
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 黒木 義樹
早期審査対象出願		(74) 代理人	100140442
			弁理士 柴山 健一
		(74) 代理人	100183438
			弁理士 内藤 泰史
		(72) 発明者	新倉 史智
			静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 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】 時間計測装置、蛍光寿命計測装置、及び時間計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

クロック信号に応じてカウント信号を出力するカウンタと、

検出器において検出された検出信号、及び、前記クロック信号が入力され、前記検出信号及び前記クロック信号間の時間に応じた計測信号を出力する、複数の第 1 の時間振幅変換器と、

前記カウンタから出力された前記カウント信号と前記第 1 の時間振幅変換器から出力された前記計測信号とに基づいて、前記検出信号に係る時間情報を導出し出力する制御部と、

前記第 1 の時間振幅変換器のデッドタイムを考慮して、前記検出信号が入力される前記第 1 の時間振幅変換器を切り替える第 1 の切替部と、を備える時間計測装置。

【請求項 2】

前記第 1 の切替部は、前記デッドタイムを考慮して予め設定された切り替え情報に基づき、前記第 1 の時間振幅変換器を切り替える、請求項 1 記載の時間計測装置。

【請求項 3】

前記制御部は、前記カウント信号が示すカウント値に応じた時間から、前記計測信号が示す時間を減算することによって、前記検出信号が入力されるまでの時間を示す前記時間情報を導出する、請求項 1 又は 2 記載の時間計測装置。

【請求項 4】

前記第 1 の切替部は、前記デッドタイム中ではない前記第 1 の時間振幅変換器に前記検

10

20

出信号が入力されるように、前記第 1 の時間振幅変換器を切り替える、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項記載の時間計測装置。

【請求項 5】

前記複数の第 1 の時間振幅変換器は、前記デッドタイムに応じた個数、設けられている、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項記載の時間計測装置。

【請求項 6】

前記複数の第 1 の時間振幅変換器は、前記検出器が検出する信号量に応じた個数、設けられている、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項記載の時間計測装置。

【請求項 7】

前記検出器において検出される前記検出信号に係る現象の同期信号に応じた信号を出力する、第 2 の時間振幅変換器を更に備え、

前記制御部は、前記同期信号に応じた信号を更に考慮して、前記時間情報を導出する、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項記載の時間計測装置。

【請求項 8】

複数の前記第 2 の時間振幅変換器を備えており、

前記第 2 の時間振幅変換器のデッドタイムを考慮して、前記同期信号が入力される前記第 2 の時間振幅変換器を切り替える第 2 の切替部を更に備える、請求項 7 記載の時間計測装置。

【請求項 9】

計測対象物から発せられる蛍光の寿命を計測する蛍光寿命計測装置であって、

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載された前記時間計測装置と、

前記計測対象物に生成した光を照射する光源と、

前記光源からの光が照射された前記計測対象物からの前記蛍光を検出し、前記検出信号を出力する前記検出器と、

前記光源による光の出力を制御し、前記光源及び前記時間計測装置に互いに同期した同期信号を出力する信号生成部と、を備える、蛍光寿命計測装置。

【請求項 10】

複数の時間振幅変換器を切り替えながら時間を計測する時間計測装置が実施する時間計測方法であって、

前記複数の時間振幅変換器それぞれのデッドタイムに基づき、検出器において検出された検出信号が入力される一つの時間振幅変換器を選択する工程と、

選択した前記一つの時間振幅変換器に、前記検出信号及びクロック信号を入力し、前記検出信号及び前記クロック信号間の時間に応じた計測信号を得る工程と、

前記クロック信号に応じたカウント信号と前記計測信号とに基づき、前記検出信号に係る時間情報を導出し出力する工程と、を含む時間計測方法。

【請求項 11】

前記選択する工程では、前記デッドタイム中ではない前記時間振幅変換器を選択する、請求項 10 記載の時間計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の一態様は、時間計測装置、蛍光寿命計測装置、及び時間計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

試料に励起光を照射した際の蛍光の寿命を計測する蛍光寿命計測装置等においては、スタートパルス信号及びストップパルス信号の時間差に係る情報を出力する時間計測装置が用いられる。このような時間計測装置として、時間差をアナログ信号として出力する T A C (Time-Analog-Converter) 方式を利用した時間計測装置が知られている (例えば特許文献 1 参照)。T A C 方式は、時間差をデジタル信号として出力することにより時間を計測する T D C (Time-digital-converter) 方式と比べると、時間分解能が高いという点で

10

20

30

40

50

有利である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特表2003-522946号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述したような時間計測装置では、TAC回路（時間振幅変換器）において時間が計測されると、計測後、一定の時間は再度の時間計測が行えないデッドタイムとなる。このよう
10
なデッドタイムが生じることによって計測効率を十分に向上させることができていない。また、上述したように、TAC方式は時間分解能が高い点で有利であるが、長時間の現象に対する時間計測（長時間計測）を行うことが困難である。

【0005】

本発明の一態様は上記実情に鑑みてなされたものであり、デッドタイムを低減させて計測効率を向上させると共に、高時間分解且つ長時間計測を実現することが可能な時間計測装置、蛍光寿命計測装置、及び時間計測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】

【0006】

本発明の一態様に係る時間計測装置は、クロック信号に応じてカウント信号を出力するカウンタと、検出器において検出された検出信号、及び、クロック信号が入力され、検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号を出力する、複数の第1の時間振幅変換器と、カウンタから出力されたカウント信号と第1の時間振幅変換器から出力された計測信号とに基づいて、検出信号に係る時間情報を導出し出力する制御部と、第1の時間振幅変換器のデッドタイムを考慮して、検出信号が入力される第1の時間振幅変換器を切り替える第1の切替部と、を備える。
20

【0007】

本発明の一態様に係る時間計測装置では、検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号を出力する第1の時間振幅変換器が、複数設けられている。そして、本時間計測装置では、第1の時間振幅変換器のデッドタイムが考慮されて、検出信号が入力される第1の時間振幅変換器の切り替えが実行される。例えば1つの時間振幅変換器のみで時間が計測される場合には、時間振幅変換器の計測後において再度の計測ができないデッドタイムが生じる。この点、時間振幅変換器が多段化されると共に、時間振幅変換器のデッドタイムが考慮されて時間振幅変換器が切り替えられることにより、計測後において再度の計測ができない時間振幅変換器から計測ができる時間振幅変換器に切り替えて、上述したデッドタイムを大幅に低減することができる。また、本発明の一態様に係る時間計測装置では、クロック信号に同期して動作するカウンタがカウント信号を出力することによりクロックの周波数に依存した大まかな時間計測（低時間分解且つ長時間計測）が行われると共に、第1の時間振幅変換器が検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号を出力することによりカウンタの計測粗さを補う細かな時間計測（高時間分解且つ短時間計測）が行われる。これらの時間計測結果を合わせて最終的な時間情報が導出されることにより、高時間分解且つ長時間計測を実現することができる。以上のように、本発明の一態様に
30
40
係る時間計測装置によれば、デッドタイムを低減させて計測効率を向上させると共に、高時間分解且つ長時間計測を実現することができる。

【0008】

第1の切替部は、デッドタイムを考慮して予め設定された切り替え情報に基づき、第1の時間振幅変換器を切り替えてもよい。このような構成によれば、予め設定された情報（デッドタイムを考慮した切り替え情報）に基づいて、容易且つ適切に時間振幅変換器を切り替えることができる。

【0009】

10

20

30

40

50

制御部は、カウント信号が示すカウント値に応じた時間から、計測信号が示す時間を減算することによって、検出信号が入力されるまでの時間を示す時間情報を導出してもよい。これにより、カウント信号及び計測信号に基づいて、検出信号が入力されるまでの時間を高精度に導出することができる。

【0010】

第1の切替部は、デッドタイム中ではない第1の時間振幅変換器に検出信号が入力されるように、第1の時間振幅変換器を切り替えてもよい。これにより、第1の時間振幅変換器のデッドタイムの影響により計測効率が悪化することを適切に回避できる。

【0011】

複数の第1の時間振幅変換器は、デッドタイムに応じた個数、設けられていてもよい。これにより、第1の時間振幅変換器を切り替えることによってデッドタイムの影響を受けることを適切に回避できる。

10

【0012】

複数の第1の時間振幅変換器は、検出器が検出する信号量に応じた個数、設けられていてもよい。これにより、信号量に応じた数だけ第1の時間振幅変換器が設けられることとなり、第1の時間振幅変換器を切り替えることによってデッドタイムの影響を受けることを適切に回避できる。

【0013】

上述した時間計測装置は、検出器において検出される検出信号に係る現象の同期信号に応じた信号を出力する、第2の時間振幅変換器を更に備え、制御部は、同期信号に応じた信号を更に考慮して、時間情報を導出してもよい。これにより、検出信号に係る現象の実際のタイミングを考慮して、検出信号に係る時間情報をより高精度に導出することができる。

20

【0014】

上述した時間計測装置は、複数の第2の時間振幅変換器を備えており、第2の時間振幅変換器のデッドタイムを考慮して、同期信号が入力される第2の時間振幅変換器を切り替える第2の切替部を更に備えていてもよい。これにより、第2の時間振幅変換器におけるデッドタイムの影響により計測効率が悪化することを適切に回避できる。

【0015】

本発明の一態様に係る蛍光寿命計測装置は、計測対象物から発せられる蛍光の寿命を計測する蛍光寿命計測装置であって、上述した時間計測装置と、計測対象物に生成した光を照射する光源と、光源からの光が照射された計測対象物からの蛍光を検出し、検出信号を出力する検出器と、光源による光の出力を制御し、光源及び時間計測装置に互いに同期した同期信号を出力する信号生成部と、を備える。このような蛍光寿命計測装置によれば、上述した時間計測装置を用いて、蛍光寿命を効率的に計測すると共に、蛍光寿命の計測について高時間分解且つ長時間計測を実現することができる。

30

【0016】

本発明の一態様に係る時間計測方法は、複数の時間振幅変換器を切り替えながら時間を計測する時間計測装置が実施する時間計測方法であって、複数の時間振幅変換器それぞれのデッドタイムに基づき、検出器において検出された検出信号が入力される一つの時間振幅変換器を選択する工程と、選択した一つの時間振幅変換器に、検出信号及びクロック信号を入力し、検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号を得る工程と、クロック信号に応じたカウント信号と計測信号とに基づき、検出信号に係る時間情報を導出し出力する工程と、を含む。このような時間計測方法によれば、デッドタイムを低減させて計測効率を向上させると共に、高時間分解且つ長時間計測を実現することができる。

40

【0017】

上述した時間計測方法において、選択する工程では、デッドタイム中ではない時間振幅変換器を選択してもよい。これにより、デッドタイムの影響により計測効率が悪化することを適切に回避できる。

【発明の効果】

50

【 0 0 1 8 】

本発明の一態様によれば、デッドタイムを低減させて計測効率を向上させると共に、長時間分解且つ長時間計測を実現することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 9 】

【 図 1 】 本実施形態に係る蛍光寿命計測装置を模式的に示す図である。

【 図 2 】 マルチ T A C 計測を説明する図である。

【 図 3 】 マルチ T A C 計測を説明する図である。

【 図 4 】 時間情報の導出を説明する図である。

【 図 5 】 時間情報の導出を説明する図である。

【 図 6 】 時間情報の導出を説明する図である。

【 図 7 】 変形例に係る時間計測装置の一例を模式的に示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 0 】

以下、図面を参照しながら、本発明の一態様に係る時間計測装置、時間計測方法、蛍光寿命計測装置の実施形態について詳細に説明する。

【 0 0 2 1 】

図 1 は、本実施形態に係る蛍光寿命計測装置 1 を模式的に示す図である。蛍光寿命計測装置 1 は、試料 S（計測対象物）から発せられる蛍光の寿命を計測する装置である。

【 0 0 2 2 】

有機材料や蛍光プローブの蛍光スペクトルは、ピーク波長や蛍光強度等、試料の機能や特性を制御、評価する上で重要なパラメータである。しかしながら、蛍光スペクトルは時間的に積分された情報を取得するため、試料に複数の物質や反応系が含まれる場合には、それらが積分された情報しか得ることができない。このような場合には、試料の機能や特性を評価する手段として、試料がパルス光により光励起された後に基底状態に戻るまでの時間をサブナノ秒～ミリ秒の時間領域で測定する蛍光寿命計測が効果的である。本実施形態に係る蛍光寿命計測装置 1 では、後述する時間計測装置 10 によって蛍光の検出タイミングが導出され、蛍光が複数回検出されることにより検出タイミングの頻度分布が得られ、当該頻度分布に基づいて試料 S の蛍光寿命が推定される。

【 0 0 2 3 】

図 1 に示されるように、蛍光寿命計測装置 1 は、パルスジェネレータ 2（信号生成部）と、光源 3 と、検出器 4 と、コンピュータ 5 と、表示装置 6 と、入力装置 7 と、時間計測装置 10 と、を含んで構成されている。なお、図 1 では、蛍光寿命計測装置 1 の構成のうち、後述するクロック生成回路 9（図 3 参照）の図示を省略している。

【 0 0 2 4 】

パルスジェネレータ 2 は、コンピュータ 5 からの指示に基づいて、光源 3 及び時間計測装置 10 の基準用ゲート 15（詳細は後述）にそれぞれ同期（例えば同一タイミング）のパルス信号を出力する。パルスジェネレータ 2 は、光源 3 による光の出力を制御し、該制御信号をパルス信号として出力する。基準用ゲート 15 は、当該パルス信号に基づいて同期信号を T A C 回路 16 a 又は T A C 回路 16 b に出力する（詳細は後述）。光源 3 及び基準用ゲート 15 に対して同一タイミングのパルス信号が入力されるので、基準用ゲート 15 から出力される同期信号は、光源 3 からの光（励起光）の照射に対応する（同期した）信号である。

【 0 0 2 5 】

光源 3 は、パルスジェネレータ 2 から出力された上記パルス信号に基づいて、試料 S に照射される励起光を出力する。光源 3 としては、L E D（Light Emitting Diode）光源、レーザ光源、S L D（Super Luminescent Diode）光源、ランプ系光源等を用いることができる。励起光の強度は、例えば、試料 S に励起光が照射されると 1 光子が発光される程度に設定されてもよい。励起光が照射された試料 S からは、励起光に応じた蛍光が出力される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

検出器 4 は、試料 S からの蛍光を検出し、時間計測装置 1 0 の計測用ゲート 1 1 (詳細は後述) に検出信号を出力する。検出器 4 としては、光電子増倍管又はアバランシェフォトダイオード、 P I N フォトダイオード等を用いることができる。

【 0 0 2 7 】

コンピュータ 5 は、時間計測装置 1 0 (より詳細には制御部 1 4) から出力される計測結果に基づき、蛍光寿命を導出する。具体的には、コンピュータ 5 は、計測結果に含まれる蛍光の時間情報 (蛍光の検出タイミング) から、蛍光の検出タイミングの頻度分布を導出し、当該頻度分布から試料 S の蛍光寿命を求める。コンピュータ 5 は、例えば C P U 等の演算部と R A M やフラッシュメモリ等の記憶部から構成される。なお、時間計測装置 1 0 の制御部 1 4 の機能を、コンピュータ 5 が担ってもよい。

10

【 0 0 2 8 】

表示装置 6 は、コンピュータ 5 に電氣的に接続されたディスプレイであり、上述した試料 S の蛍光寿命解析結果を表示する。入力装置 7 は、キーボード又はマウス等であり、蛍光寿命の解析条件や計測条件の入力・設定を行うことができる。

【 0 0 2 9 】

時間計測装置 1 0 は、第 1 のトリガ信号が入力されてから第 2 のトリガ信号が入力されるまでの時間を計測時間として算出する時間計測装置である。時間計測装置 1 0 は、異なるタイミングで入力される 2 つの信号 (第 1 のトリガ信号及び第 2 のトリガ信号) から、当該 2 つの信号の入力タイミングの差を導出する、各種の装置及びシステムに適用することができる。本実施形態では、上述したように、時間計測装置 1 0 は、試料 S から発せられる蛍光の寿命を計測する蛍光寿命計測装置 1 に適用されている。

20

【 0 0 3 0 】

図 1 に示されるように、時間計測装置 1 0 は、計測用ゲート 1 1 (第 1 の切替部) と、 T A C (Time-Analog-Converter) 回路 1 2 (第 1 の時間振幅変換器) と、 T A C 制御部 1 3 と、制御部 1 4 と、基準用ゲート 1 5 (第 2 の切替部) と、 T A C 回路 1 6 (第 2 の時間振幅変換器) と、を備えている。より詳細には、時間計測装置 1 0 は、 T A C 回路 1 2 として複数の T A C 回路 1 2 a ~ 1 2 j を有し、 T A C 制御部 1 3 として複数の T A C 制御部 1 3 a ~ 1 3 f を有し、 T A C 回路 1 6 として複数の T A C 回路 1 6 a , 1 6 b を有する。複数の T A C 回路 1 2 a ~ 1 2 j は計測用ゲート 1 1 に対して互いに並列に接続されており、複数の T A C 回路 1 6 a , 1 6 b は基準用ゲート 1 5 に対して互いに並列に接続されている。なお、図 1 では、時間計測装置 1 0 の構成のうち、後述するデジタルカウンタ 2 0 (図 3 参照) の図示を省略している。当該デジタルカウンタ 2 0 は、 T A C 制御部 1 3 に設けられていてもよいし、 T A C 制御部 1 3 とは別に設けられていてもよい。

30

【 0 0 3 1 】

T A C 回路 1 2 は、第 1 のトリガ信号が入力されてから第 2 のトリガ信号が入力されるまでの時間差をアナログ信号 (振幅) として出力する時間振幅変換器の回路である。 T A C 回路 1 2 は、例えば 1 0 n s の時間を計測可能に構成されている。 T A C 回路 1 2 は、具体的には、検出器 4 において検出された検出信号を第 1 のトリガ信号、クロック生成回路 9 (図 3 参照) から出力されたクロック信号を第 2 のトリガ信号として、検出信号及びクロック信号間の時間に応じたアナログ信号 (振幅) を計測信号として T A C 制御部 1 3 に出力する。すなわち、 T A C 回路 1 2 は、検出器 4 において検出された検出信号、及び、クロック信号が入力され、検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号を出力する。 T A C 回路 1 2 は、計測用ゲート 1 1 を介して、検出信号の入力を受け付ける。

40

【 0 0 3 2 】

T A C 制御部 1 3 は、 T A C 回路 1 2 から入力された計測信号であるアナログ信号 (振幅) をデジタル信号に変換する A D コンバータである。 T A C 制御部 1 3 は、 A D 変換後のデジタル信号を計測信号として制御部 1 4 に出力する。上述したように、時間計測装置 1 0 は、 T A C 制御部 1 3 として複数の T A C 制御部 1 3 a ~ 1 3 f を有している。図 1 に示されるように、 T A C 制御部 1 3 a は T A C 回路 1 2 a , 1 2 b から計測信号の入力

50

を受け付け、TAC制御部13bはTAC回路12c, 12dから計測信号の入力を受け付け、TAC制御部13cはTAC回路12e, 16aから計測信号の入力を受け付け、TAC制御部13dはTAC回路12f, 12gから計測信号の入力を受け付け、TAC制御部13eはTAC回路12h, 12iから計測信号の入力を受け付け、TAC制御部13fはTAC回路12j, 16bから計測信号の入力を受け付ける。

【0033】

計測用ゲート11は、検出器4から第1のトリガ信号である検出信号の入力を受け、該検出信号をTAC回路12に出力する。詳細には、計測用ゲート11は、検出器4から入力された検出信号を、複数のTAC回路12a~12jのうち1つのTAC回路12にのみ出力する。図2及び図3は、マルチTAC計測を説明する図である。ここでのマルチTAC計測とは、複数のTAC回路12a~12jを切り替えながら利用する計測手法をいう。

10

【0034】

図2に示されるように、計測用ゲート11は、複数のTAC回路12a~12jに1対1で対応するようにTAC回路12a~12jの前端に設けられた複数のゲート回路11a~11jを有する。計測用ゲート11の複数のゲート回路11a~11jは、1つのみ有効（検出信号の入力を受け付ける状態）とされる。有効とされていないゲート回路11a~11jは、待機状態（検出信号の入力を受け付けない状態）とされる。計測用ゲート11は、有効とされるゲート回路11a~11jを切り替えることにより、複数のTAC回路12a~12jのうち1つのみに検出信号が入力されるようにする。

20

【0035】

計測用ゲート11は、複数のTAC回路12a~12jのデッドタイムを考慮して、検出信号が入力されるTAC回路12a~12jを切り替える。ここでのデッドタイムとは、TAC回路12において時間が計測された後に一定の時間再度の時間計測が行えなくなる時間をいう。各TAC回路12a~12jは、互いに同等の性能であり、デッドタイムも同程度である。なお、各TAC回路12a~12jのデッドタイムは、互いに異なってもよい。例えば図2に示される例では、計測用ゲート11は、最初に、ゲート回路11aを有効とし、他のゲート回路11b~11jを待機状態とする。この状態においては、検出器4から計測用ゲート11に検出信号が入力されると、ゲート回路11aにのみ検出信号が入力され、ゲート回路11aを介してTAC回路12aに検出信号が入力される。TAC回路12aでは、検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号が出力される。当該計測信号が出力される処理が行われた後一定の時間については、TAC回路12aにおいて再度の時間計測が行えないデッドタイムとなる。このため、計測用ゲート11は、2番目のゲート回路11bを有効とし、他のゲート回路11a, 11c~11jを待機状態とする。この状態においては、検出器4から計測用ゲート11に検出信号が入力されると、ゲート回路11bにのみ検出信号が入力され、ゲート回路11bを介してTAC回路12bに検出信号が入力される。そして、TAC回路12aと同様にTAC回路12bについてもデッドタイムとなるため、計測用ゲート11は、つづいて3番目のゲート回路11cを有効とし他のゲート回路11a, 11b, 11d~11jを待機状態とする。このように、計測用ゲート11は、各TAC回路12a~12jに対応するゲート回路11a~11jを順番に1つのみ有効とすることにより、検出信号が入力されるTAC回路12a~12jを順番に切り替える。この方式によれば、フォトンを取りこぼしてしまうデッドタイムは、TAC回路12のデッドタイム（TAC処理中デッドタイム）ではなく、ゲート回路11a~11jの切り替え時間のみとなる。TAC処理中デッドタイムは例えば150nsであり、ゲート回路の切り替え時間は例えば1nsであるので、本方式により、フォトンを取りこぼしてしまうデッドタイムを大幅に短くすることができる。

30

40

【0036】

計測用ゲート11は、デッドタイムを考慮して予め設定された切り替え情報に基づき、検出信号が入力されるTAC回路12a~12jを切り替えている。当該切り替え情報は、デッドタイム中のTAC回路12a~12jに検出信号が入力されないように、TAC

50

回路 1 2 a ~ 1 2 j の切り替えの順番 (ゲート回路 1 1 a ~ 1 1 j について有効とする順番) を規定した情報である。すなわち、計測用ゲート 1 1 は、検出信号の入力先が、デッドタイム中ではない T A C 回路 1 2 a ~ 1 2 j になるように、T A C 回路 1 2 a ~ 1 2 j を切り替える。このような切り替えが可能になる前提として、複数の T A C 回路 1 2 a ~ 1 2 j は、T A C 回路 1 2 のデッドタイムに応じた個数、設けられている。デッドタイムに応じた個数とは、各 T A C 回路 1 2 に順番に検出信号が入力されるように T A C 回路 1 2 の切り替えを行った際にデッドタイム中の T A C 回路 1 2 に検出信号が入力されることとならない個数である。また、複数の T A C 回路 1 2 a ~ 1 2 j は、検出器 4 が検出する信号量に応じた個数、設けられている。検出器 4 が検出する信号量に応じた個数とは、想定される最大の信号量で検出信号が入力された場合であっても、各 T A C 回路 1 2 に順番に検出信号が入力されるように T A C 回路 1 2 の切り替えを行った際にデッドタイム中の T A C 回路 1 2 に検出信号が入力されることとならない個数である。

10

【 0 0 3 7 】

制御部 1 4 は、デジタルカウンタ 2 0 (図 3 参照) から出力されたカウント信号と T A C 回路 1 2 から出力されて T A C 制御部 1 3 においてデジタル信号に変換された計測信号とに基づいて、検出器 4 によって検出された検出信号に係る時間情報を導出し出力する。図 3 に示されるように、デジタルカウンタ 2 0 は、検出器 4 からの検出信号とクロック生成回路 9 からのクロック信号とが入力されるカウンタである。デジタルカウンタ 2 0 は、クロック信号に同期して動作しており、クロック信号に応じて (クロック信号を数えて) カウント信号を制御部 1 4 に出力する。このようなデジタルカウンタ 2 0 は、検出信号について長時間計測を行うことができるものの、時間分解能を高くすることが難しい。制御部 1 4 は、デジタルカウンタ 2 0 による時間計測結果と、時間分解能が高い T A C 回路 1 2 による時間計測結果とを組み合わせることにより、検出信号に係る時間情報の高時間分解且つ長時間計測を実現している。

20

【 0 0 3 8 】

図 4 ~ 図 6 は、上述した時間情報の導出を説明する図である。図 4 ~ 図 6 において、横軸は時間軸を示している。図 4 に示されるように、デジタルカウンタ 2 0 は、クロック信号を数えてカウント信号を出力している。図 4 では、デジタルカウンタ 2 0 が、2 3、2 4、2 5、2 6、2 7、2 8 を示すカウント信号を出力している例が示されている。上述したように、デジタルカウンタ 2 0 はクロック信号に同期して動作している。そして、図 4 に示されるように、いま、T A C 回路 1 2 が、検出器 4 からの検出信号 T R G 1 が入力されてから、検出信号 T R G 1 の直後のクロック信号 T R G 2 が入力されるまでの時間差 T を計測したとする。T A C 回路 1 2 が出力する計測信号では、図 5 に示されるように、検出信号 T R G 1 が入力されたタイミング (時間 t 1) から電圧 (振幅) が検出信号 T R G 1 に応じて増加を開始し、クロック信号 T R G 2 が入力されたタイミング (時間 t 2) から電圧 (振幅) がクロック信号 T R G 2 に応じて一定となる。

30

【 0 0 3 9 】

制御部 1 4 は、カウント信号が示すカウント値に応じた時間から、計測信号が示す時間を減算することによって、検出信号が T A C 回路 1 2 に入力されるまでの時間を示す時間情報を導出している。すなわち、図 4 に示される例では、制御部 1 4 は、カウント信号が示すカウント値に応じた時間である 2 3 から、計測信号が示す時間情報である時間差 T を減算することによって、検出信号 T R G 1 が T A C 回路 1 2 に入力されるまでの時間を示す時間情報 (2 3 - T) を導出する。このような時間情報の導出は、デジタルカウンタ 2 0 に入力されるクロック信号と、T A C 回路 1 2 に入力されるクロック信号とが対応している (T A C 回路 1 2 に入力されたクロック信号が示すカウント値が一意に定まる) ことにより可能になるものである。

40

【 0 0 4 0 】

制御部 1 4 は、複数の T A C 回路 1 2 が切り替えられる構成において、各 T A C 回路 1 2 からの情報に基づきそれぞれ時間情報を導出することにより、マルチフォトンにおいても適切に時間計測を行うことができる。図 6 に示される例では、最初に検出信号が

50

入力される T A C 回路 1 2 (図 6 において T A C 1 と記載) の時間情報を導出した後に、2 番目に検出信号が入力される T A C 回路 1 2 (図 6 において T A C 2 と記載) の時間情報を導出し、さらに、3 番目に検出信号が入力される T A C 回路 1 2 (図 6 において T A C 3 と記載) の時間情報を導出している。すなわち、図 6 に示される例では、制御部 1 4 は、カウント信号が示すカウント値に応じた時間である 2 3 から T A C 1 が出力する計測信号が示す時間情報を減算することにより T A C 1 の計測結果に係る時間情報を導出し、カウント信号が示すカウント値に応じた時間である 2 4 から T A C 2 が出力する計測信号が示す時間情報を減算することにより T A C 2 の計測結果に係る時間情報を導出し、カウント信号が示すカウント値に応じた時間である 2 7 から T A C 3 が出力する計測信号が示す時間情報を減算することにより T A C 3 の計測結果に係る時間情報を導出している。制御部 1 4 は、導出した時間情報 (計測結果) をコンピュータ 5 に出力する。

10

【 0 0 4 1 】

T A C 回路 1 6 は、第 1 のトリガ信号が入力されてから第 2 のトリガ信号が入力されるまでの時間差をアナログ信号 (振幅) として出力する時間振幅変換器の回路である。T A C 回路 1 6 は、検出器 4 において検出される検出信号に係る現象の同期信号に応じた信号を出力する。検出器 4 において検出される検出信号に係る現象とは、検出器 4 において検出される試料 S からの蛍光である。現象の同期信号とは、パルスジェネレータ 2 が光源 3 及び基準用ゲート 1 5 に同期した (例えば同一の) タイミングで出力したパルス信号に基づき基準用ゲート 1 5 が T A C 回路 1 6 に出力する同期信号である。すなわち、ここでの同期信号とは、蛍光の検出に関して光源 3 から試料 S に照射される励起光に同期した信号である。T A C 回路 1 6 は、具体的には、基準用ゲート 1 5 から入力された同期信号を第 1 のトリガ信号、クロック生成回路 9 から出力されたクロック信号を第 2 のトリガ信号として、同期信号及びクロック信号の時間差に応じたアナログ信号 (振幅) を、上述した同期信号に応じた信号として T A C 制御部 1 3 に出力する。時間計測装置 1 0 は、T A C 回路 1 6 として 2 つの T A C 回路 1 6 a , 1 6 b を有する。T A C 回路 1 6 a は、上述した同期信号に応じた信号を T A C 制御部 1 3 c に出力する。また、T A C 回路 1 6 b は、上述した同期信号に応じた信号を T A C 制御部 1 3 f に出力する。T A C 制御部 1 3 c , 1 3 f は、T A C 回路 1 6 a , 1 6 b から入力された信号をデジタル信号に変換し制御部 1 4 に出力する。そして、制御部 1 4 は、上述した同期信号に応じた信号を更に考慮して、時間情報を導出してよい。すなわち、制御部 1 4 は、上述した同期信号に応じた信号から、現象の開始タイミング (始点) を特定し、検出器 4 によって検出された検出信号に係る時間情報をより高精度に導出してよい。

20

30

【 0 0 4 2 】

基準用ゲート 1 5 は、T A C 回路 1 6 のデッドタイムを考慮して、上述した同期信号が入力される T A C 回路 1 6 a , 1 6 b を切り替える。基準用ゲート 1 5 は、パルスジェネレータ 2 からパルス信号の入力を受け、該パルス信号に応じた同期信号を T A C 回路 1 6 a , 1 6 b のうち一方にのみ出力する。基準用ゲート 1 5 は、デッドタイムを考慮して予め設定された切り替え情報に基づき、同期信号が入力される T A C 回路 1 6 a , 1 6 b を切り替えている。当該切り替え情報は、デッドタイム中の T A C 回路 1 6 a , 1 6 b に同期信号が入力されないように規定されている。

40

【 0 0 4 3 】

次に、本実施形態に係る時間計測装置 1 0 、及び、該時間計測装置 1 0 を備える蛍光寿命計測装置 1 の作用・効果について説明する。

【 0 0 4 4 】

本実施形態に係る時間計測装置 1 0 は、クロック信号に応じてカウント信号を出力するデジタルカウンタ 2 0 と、検出器 4 において検出された検出信号、及び、クロック信号が入力され、検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号を出力する、複数の T A C 回路 1 2 (T A C 回路 1 2 a ~ 1 2 j) と、デジタルカウンタ 2 0 から出力されたカウント信号と T A C 回路 1 2 から出力された計測信号とに基づいて、検出信号に係る時間情報を導出し出力する制御部 1 4 と、T A C 回路 1 2 のデッドタイムを考慮して、検出信号

50

が入力されるTAC回路12を切り替える計測用ゲート11と、を備える。

【0045】

このような時間計測装置10では、検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号を出力するTAC回路12が、複数設けられている。そして、本時間計測装置10では、TAC回路12のデッドタイムが考慮されて、検出信号が入力されるTAC回路12の切り替えが実行される。例えば1つのTAC回路12のみで時間が計測される場合には、TAC回路12における計測後において再度の計測ができないデッドタイムが生じる。この点、TAC回路12が多段化されると共に、TAC回路12のデッドタイムが考慮されてTAC回路12が切り替えられることにより、計測後において再度の計測ができないTAC回路12から計測ができるTAC回路12に切り替えて、上述したデッドタイムを大幅に低減することができる。また、本実施形態に係るTAC回路12では、クロック信号に同期して動作するデジタルカウンタ20がカウント信号を出力することによりクロックの周波数に依存した大まかな時間計測（低時間分解且つ長時間計測）が行われると共に、TAC回路12が検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号を出力することによりデジタルカウンタ20の計測粗さを補う細かな時間計測（高時間分解且つ短時間計測）が行われる。これらの時間計測結果を合わせて最終的な時間情報が導出されることにより、高時間分解且つ長時間計測を実現することができる。以上のように、本実施形態に係る時間計測装置10によれば、デッドタイムを低減させて計測効率を向上させると共に、高時間分解且つ長時間計測を実現することができる。時間計測装置10による時間分解能の一例は0.25psであり、長時間計測の一例は24時間以上である。なお、ここでの時間分解能とは、計測単位であり、計測システム全体の時間分解能を示すものではない。

【0046】

例えば、TADF等の有機EL発光材料を光励起した場合には、nsオーダの発光及びmsオーダの発光が生じる。このように、非常に大きな時間単位差の減衰特性を有する発光が生じる場合には、蛍光寿命計測を効率よく行うには、高時間分解能を維持したまま長時間計測を行うことができる測定装置が必要となる。このような蛍光寿命計測等において、本実施形態に係る、高時間分解且つ長時間計測を実現する時間計測装置10を効果的に利用することができる。なお、時間計測装置10の計測対象は、上述したTADFに限られず、その他の蛍光体や、発光現象以外の様々な現象の対象を含みうる。

【0047】

また、上述した時間計測装置10は、複数のTAC回路12を切り替えて時間計測を行うことによって、例えば蛍光寿命計測において、従来よりも高光量（例えば10倍程度の光量）での時間計測が可能になる。試料の発光強度が強い場合においては、従来はフィルタを用いて発光を大きく減衰して計測を行っており、信号のロスが多い状態で時間計測を行っているが、時間計測装置10によれば当該信号のロスを抑制した状態で高精度に時間計測を行うことができる。

【0048】

計測用ゲート11は、デッドタイムを考慮して予め設定された切り替え情報に基づき、TAC回路12を切り替えてもよい。このような構成によれば、予め設定された情報（デッドタイムを考慮した切り替え情報）に基づいて、容易且つ適切にTAC回路12を切り替えることができる。

【0049】

制御部14は、カウント信号が示すカウント値に応じた時間から、計測信号が示す時間を減算することによって、検出信号が入力されるまでの時間を示す時間情報を導出してよい。これにより、カウント信号及び計測信号に基づいて、検出信号が入力されるまでの時間を高精度に導出することができる。

【0050】

計測用ゲート11は、デッドタイム中ではないTAC回路12に検出信号が入力されるように、TAC回路12を切り替えてもよい。これにより、TAC回路12のデッドタイムの影響により計測効率が悪化することを適切に回避できる。

【 0 0 5 1 】

複数の T A C 回路 1 2 は、デッドタイムに応じた個数、設けられていてもよい。これにより、T A C 回路 1 2 を切り替えることによってデッドタイムの影響を受けることを適切に回避できる。

【 0 0 5 2 】

複数の T A C 回路 1 2 は、検出器 4 が検出する信号量に応じた個数、設けられていてもよい。これにより、信号量に応じた数だけ T A C 回路 1 2 が設けられることとなり、T A C 回路 1 2 を切り替えることによってデッドタイムの影響を受けることを適切に回避できる。

【 0 0 5 3 】

時間計測装置 1 0 は、検出器 4 において検出される検出信号に係る現象の同期信号に応じた信号を出力する、複数の T A C 回路 1 6 (T A C 回路 1 6 a , 1 6 b) を更に備え、制御部 1 4 は、同期信号に応じた信号を更に考慮して、時間情報を導出してもよい。これにより、検出信号に係る現象の実際のタイミングを考慮して、検出信号に係る時間情報をより高精度に導出することができる。

【 0 0 5 4 】

時間計測装置 1 0 は、T A C 回路 1 6 のデッドタイムを考慮して、同期信号が入力される T A C 回路 1 6 を切り替える基準用ゲート 1 5 を更に備えていてもよい。これにより、T A C 回路 1 6 におけるデッドタイムの影響により基準信号の計測効率が悪化することを適切に回避できる。

【 0 0 5 5 】

本実施形態に係る蛍光寿命計測装置 1 は、試料 S から発せられる蛍光の寿命を計測する蛍光寿命計測装置であって、上述した時間計測装置 1 0 と、試料 S に生成した光を照射する光源 3 と、光源 3 からの光が照射された試料 S からの蛍光を検出し、検出信号を出力する検出器 4 と、光源 3 による光の出力を制御し、光源 3 及び時間計測装置 1 0 に互いに同期した同期信号を出力するパルスジェネレータ 2 と、を備える。このような蛍光寿命計測装置 1 によれば、上述した時間計測装置 1 0 を用いて、蛍光寿命を効率的に計測すると共に、蛍光寿命の計測について高時間分解且つ長時間計測を実現することができる。

【 0 0 5 6 】

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されない。例えば、時間計測装置 1 0 が同期信号に係る T A C 回路 1 6 及び基準用ゲート 1 5 を備えるとして説明したが、時間測定対象の現象のタイミング(繰り返しタイミング等)が把握できている場合には、図 7 に示されるように、T A C 回路 1 6 及び基準用ゲート 1 5 を備えない構成が採用されてもよい。

【 0 0 5 7 】

また、T A C 回路 1 2 の数も実施形態において説明した数(8 個)に限定されず、例えば図 7 に示されるように、T A C 回路 1 2 が 6 個(T A C 回路 1 2 a ~ 1 2 f) 等であってもよいし、その他の数であってもよい。このような T A C 回路 1 2 の適正な数は、例えば蛍光寿命計測であれば、測定する蛍光寿命値に応じて変化させることが好ましい。例えば、測定する蛍光寿命値が 5 μ s 以下である場合には T A C 回路 1 2 の数が 8 個(又はそれ以下)とされ、測定する蛍光寿命値が 5 μ s よりも長い場合には 9 個以上の T A C 回路 1 2 が設けられてもよい。

【 符号の説明 】

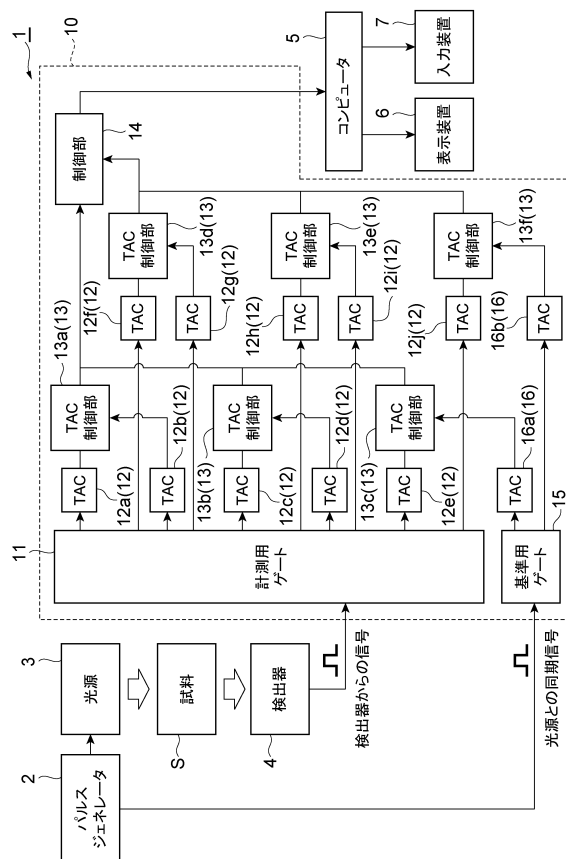
【 0 0 5 8 】

1 ... 蛍光寿命計測装置、2 ... パルスジェネレータ(信号生成部)、3 ... 光源、4 ... 検出器、1 0 ... 時間計測装置、1 1 ... 計測用ゲート(第 1 の切替部)、1 2 ... T A C 回路(第 1 の時間振幅変換器)、1 4 ... 制御部、1 5 ... 基準用ゲート(第 2 の切替部)、1 6 ... T A C 回路(第 2 の時間振幅変換器)、2 0 ... デジタルカウンタ(カウンタ)、S ... 試料(計測対象物)。

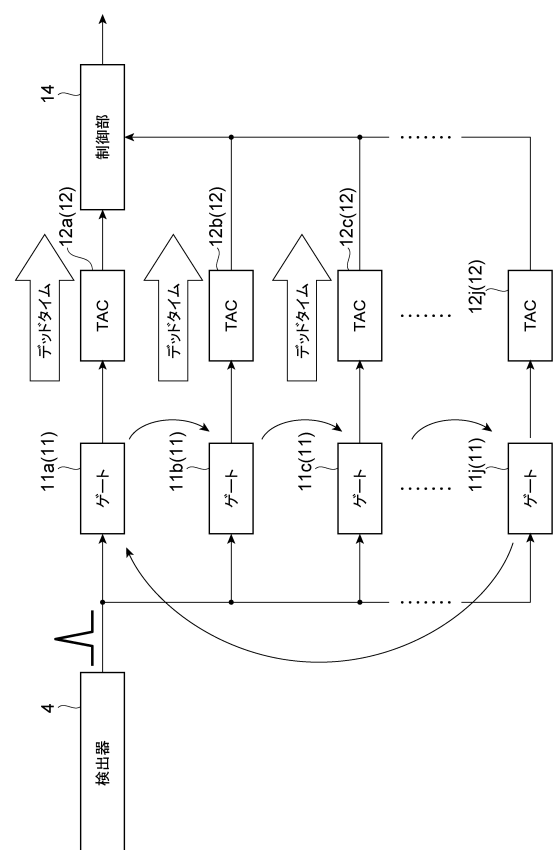
【 要約 】

時間計測装置 10 は、クロック信号に応じてカウント信号を出力するデジタルカウンタ 20 と、検出器 4 において検出された検出信号、及び、クロック信号が入力され、検出信号及びクロック信号間の時間に応じた計測信号を出力する、複数の TAC 回路 12 (TAC 回路 12a ~ 12j) と、デジタルカウンタ 20 から出力されたカウント信号と TAC 回路 12 から出力された計測信号とに基づいて、検出信号に係る時間情報を導出し出力する制御部 14 と、TAC 回路 12 のデッドタイムを考慮して、検出信号が入力される TAC 回路 12 を切り替える計測用ゲート 11 と、を備える。

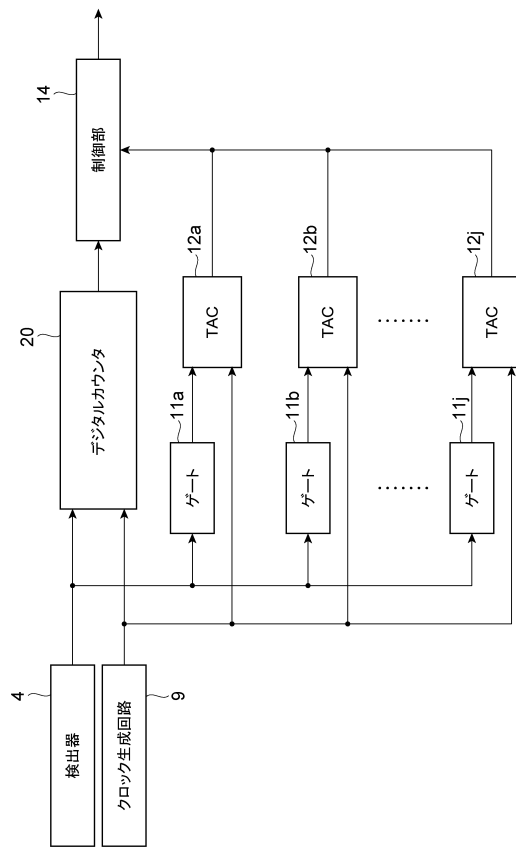
【図 1】



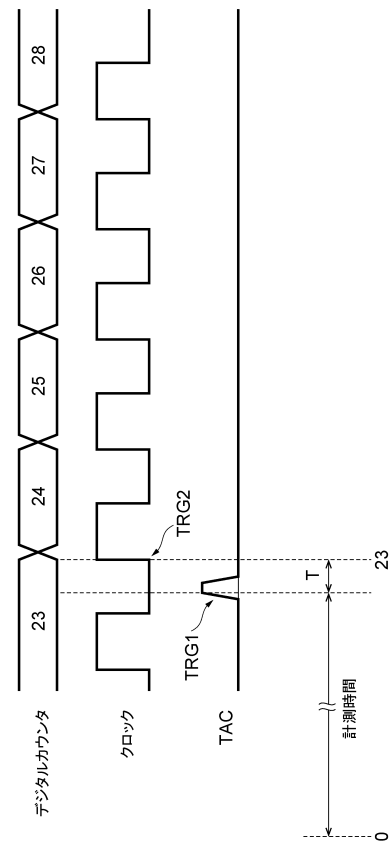
【図 2】



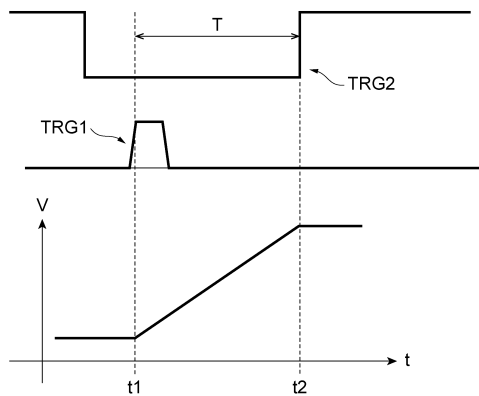
【図 3】



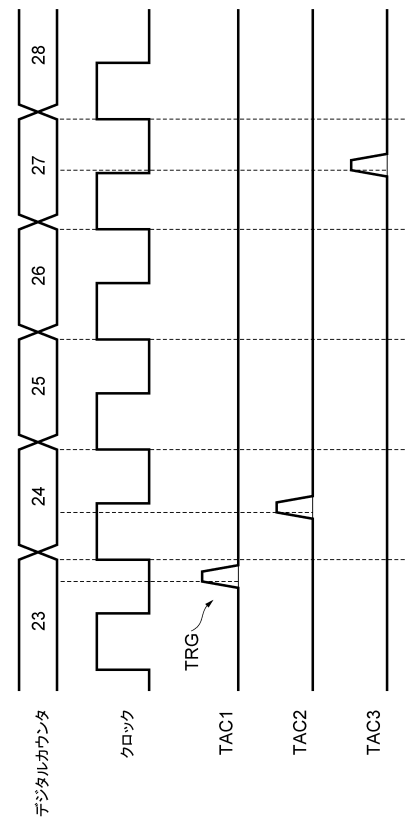
【図 4】



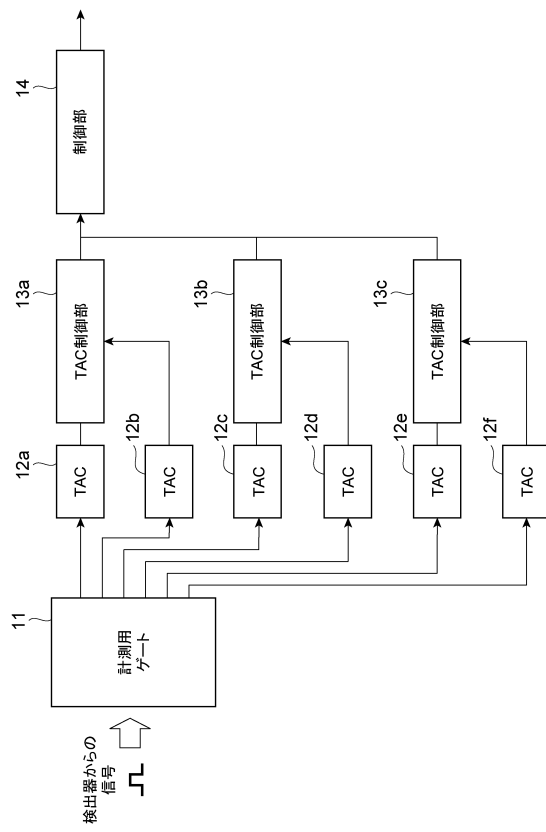
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 吉見 歩
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 北澤 健
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 井上 貴之
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 谷垣 圭二

- (56)参考文献 特開昭 5 5 - 0 7 6 9 1 9 (J P , A)
特開昭 5 9 - 0 7 2 0 4 9 (J P , A)
実開昭 5 9 - 1 0 8 2 6 1 (J P , U)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 4 F 1 0 / 0 0 - 1 0 / 1 0
G 0 1 N 2 1 / 6 4