

(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.

G04F 10/00 (2006.01)
G01N 21/64 (2006.01)

F 1

G04F 10/00
G01N 21/64Z
B

請求項の数 11 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2021-541093 (P2021-541093)
 (86) (22) 出願日 令和3年5月13日 (2021.5.13)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2021/018263
 審査請求日 令和3年7月15日 (2021.7.15)
 (31) 優先権主張番号 特願2020-133839 (P2020-133839)
 (32) 優先日 令和2年8月6日 (2020.8.6)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 日本国 (JP)

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 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 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】 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、10

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、20

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、30

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TAC (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）。TAC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TDC (Time-digital-converter) 方式と比べると、時間分解能が高いという点で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。

10

【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。

30

【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】

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るてもよい。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。

【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になり、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。

【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。

【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。

【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】

10

20

30

40

50

【0018】

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、高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】

【0019】

【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TAC計測を説明する図である。

【図3】マルチTAC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】

【0020】

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。

【0021】

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。

【0022】

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。

【0023】

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。

【0024】

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TAC回路16a又はTAC回路16b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。

【0025】

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、LED(Light Emitting Diode)光源、レーザ光源、SLED(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

【0026】

検出器4は、試料Sからの蛍光を検出し、時間計測装置10の計測用ゲート11（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、PINフォトダイオード等を用いることができる。

【0027】

コンピュータ5は、時間計測装置10（より詳細には制御部14）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CPU等の演算部とRAM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10の制御部14の機能を、コンピュータ5が担ってもよい。

10

【0028】

表示装置6は、コンピュータ5に電気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。

【0029】

時間計測装置10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10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10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

【0030】

図1に示されるように、時間計測装置10は、計測用ゲート11（第1の切替部）と、TAC（Time-Analog-Converter）回路12（第1の時間振幅変換器）と、TAC制御部13と、制御部14と、基準用ゲート15（第2の切替部）と、TAC回路16（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10は、TAC回路12として複数のTAC回路12a～12jを有し、TAC制御部13として複数のTAC制御部13a～13fを有し、TAC回路16として複数のTAC回路16a, 16bを有する。複数のTAC回路12a～12jは計測用ゲート11に対して互いに並列に接続されており、複数のTAC回路16a, 16bは基準用ゲート15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10の構成のうち、後述するデジタルカウンタ20（図3参照）の図示を省略している。当該デジタルカウンタ20は、TAC制御部13に設けられていてもよいし、TAC制御部13とは別に設けられていてもよい。

30

【0031】

TAC回路12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。TAC回路12は、例えば10nsの時間を計測可能に構成されている。TAC回路12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TAC制御部13に出力する。すなわち、TAC回路12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。TAC回路12は、計測用ゲート11を介して、検出信号の入力を受け付ける。

40

【0032】

TAC制御部13は、TAC回路12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ADコンバータである。TAC制御部13は、AD変換後のデジタル信号を計測信号として制御部14に出力する。上述したように、時間計測装置10は、TAC制御部13として複数のTAC制御部13a～13fを有している。図1に示されるように、TAC制御部13aはTAC回路12a, 12b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。

【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の前段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。

【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、互いに異なっていてもよい。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。

【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

10

20

30

40

50

回路 12a～12j の切り替えの順番（ゲート回路 11a～11j 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 11 は、検出信号の入力先が、デッドタイム中ではない TAC 回路 12a～12j になるように、TAC 回路 12a～12j 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 TAC 回路 12a～12j は、TAC 回路 12 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 TAC 回路 12 に順番に検出信号が入力されるように TAC 回路 12 の切り替えを行った際にデッドタイム中の TAC 回路 12 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 TAC 回路 12a～12j 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 TAC 回路 12 に順番に検出信号が入力されるように TAC 回路 12 の切り替えを行った際にデッドタイム中の TAC 回路 12 に検出信号が入力されることとならない個数である。10

【0037】

制御部 14 は、デジタルカウンタ 20（図 3 参照）から出力されたカウント信号と TAC 回路 12 から出力されて TAC 制御部 13 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 20 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 20 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 14 に出力する。このようなデジタルカウンタ 20 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 14 は、デジタルカウンタ 20 による時間計測結果と、時間分解能が高い TAC 回路 12 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

【0038】

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 20 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 20 が、23、24、25、26、27、28 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 20 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、TAC 回路 12 が、検出器 4 からの検出信号 TRG 1 が入力されてから、検出信号 TRG 1 の直後のクロック信号 TRG 2 が入力されるまでの時間差 T を計測したとする。TAC 回路 12 が output する計測信号では、図 5 に示されるように、検出信号 TRG 1 が入力されたタイミング（時間 t1）から電圧（振幅）が検出信号 TRG 1 に応じて増加を開始し、クロック信号 TRG 2 が入力されたタイミング（時間 t2）から電圧（振幅）がクロック信号 TRG 2 に応じて一定となる。30

【0039】

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 TAC 回路 12 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 14 は、カウント信号が示すカウント値に応じた時間である 23 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 TRG 1 が TAC 回路 12 に入力されるまでの時間を示す時間情報（23 - 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 20 に入力されるクロック信号と、TAC 回路 12 に入力されるクロック信号とが対応している（TAC 回路 12 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

【0040】

制御部 14 は、複数の TAC 回路 12 が切り替えられる構成において、各 TAC 回路 12 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、マルチフォトンの場合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 TAC 回路 12 (図 6 において TAC 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 TAC 回路 12 (図 6 において TAC 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 TAC 回路 12 (図 6 において TAC 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 14 は、カウント信号が示すカウント値に応じた時間である 23 から TAC 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 TAC 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 24 から TAC 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 TAC 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 27 から TAC 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 TAC 3 の計測結果に係る時間情報を導出している。制御部 14 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。

【0041】

TAC 回路 16 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。TAC 回路 16 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 15 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 15 が TAC 回路 16 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。TAC 回路 16 は、具体的には、基準用ゲート 15 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 TAC 制御部 13 に出力する。時間計測装置 10 は、TAC 回路 16 として 2 つの TAC 回路 16a, 16b を有する。TAC 回路 16a は、上述した同期信号に応じた信号を TAC 制御部 13c に出力する。また、TAC 回路 16b は、上述した同期信号に応じた信号を TAC 制御部 13f に出力する。TAC 制御部 13c, 13f は、TAC 回路 16a, 16b から入力された信号をデジタル信号に変換し制御部 14 に出力する。そして、制御部 14 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もよい。すなわち、制御部 14 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もよい。

【0042】

基準用ゲート 15 は、TAC 回路 16 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 TAC 回路 16a, 16b を切り替える。基準用ゲート 15 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 TAC 回路 16a, 16b のうち一方にのみ出力する。基準用ゲート 15 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 TAC 回路 16a, 16b 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 16a, 16b に同期信号が入力されないように規定されている。

【0043】

次に、本実施形態に係る時間計測装置 10、及び、該時間計測装置 10 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。

【0044】

本実施形態に係る時間計測装置 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

10

20

30

40

50

が入力される T A C 回路 1 2 を切り替える計測用ゲート 1 1 と、を備える。

【 0 0 4 5 】

このような時間計測装置 1 0 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 T A C 回路 1 2 が、複数設けられている。そして、本時間計測装置 1 0 では、T A C 回路 1 2 のデッドタイムが考慮されて、検出信号が入力される T A C 回路 1 2 の切り替えが実行される。例えば 1 つの T A C 回路 1 2 のみで時間が計測される場合には、T A C 回路 1 2 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、T A C 回路 1 2 が多段化されると共に、T A C 回路 1 2 のデッドタイムが考慮されて T A C 回路 1 2 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 T A C 回路 1 2 から計測ができる T A C 回路 1 2 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 T A C 回路 1 2 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 2 0 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、T A C 回路 1 2 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 2 0 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 1 0 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 1 0 による時間分解能の一例は 0 . 2 5 p s であり、長時間計測の一例は 2 4 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。 10

【 0 0 4 6 】

例えば、T A D F 等の有機 E L 発光材料を光励起した場合には、n s オーダの発光及び m s オーダの発光が生じうる。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 1 0 を効果的に利用することができる。なお、時間計測装置 1 0 の計測対象は、上述した T A D F 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。 20

【 0 0 4 7 】

また、上述した時間計測装置 1 0 は、複数の T A C 回路 1 2 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 1 0 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 1 0 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。 30

【 0 0 4 8 】

計測用ゲート 1 1 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、T A C 回路 1 2 を切り替えてよい。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 T A C 回路 1 2 を切り替えることができる。 40

【 0 0 4 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。

【 0 0 5 0 】

計測用ゲート 1 1 は、デッドタイム中ではない T A C 回路 1 2 に検出信号が入力されるように、T A C 回路 1 2 を切り替えてよい。これにより、T A C 回路 1 2 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。 50

【0051】

複数のTAC回路12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、TAC回路12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。

【0052】

複数のTAC回路12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TAC回路12が設けられることとなり、TAC回路12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。

【0053】

時間計測装置10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TAC回路16（TAC回路16a, 16b）を更に備え、制御部14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。

10

【0054】

時間計測装置10は、TAC回路16のデッドタイムを考慮して、同期信号が入力されるTAC回路16を切り替える基準用ゲート15を更に備えていてもよい。これにより、TAC回路16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。

20

【0055】

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10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10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10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。

【0056】

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10が同期信号に係るTAC回路16及び基準用ゲート15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、TAC回路16及び基準用ゲート15を備えない構成が採用されてもよい。

30

【0057】

また、TAC回路12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、TAC回路12が6個（TAC回路12a～12f）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TAC回路12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5μs以下である場合にはTAC回路12の数が8個（又はそれ以下）とされ、測定する蛍光寿命値が5μsよりも長い場合には9個以上のTAC回路12が設けられてもよい。

40

【符号の説明】

【0058】

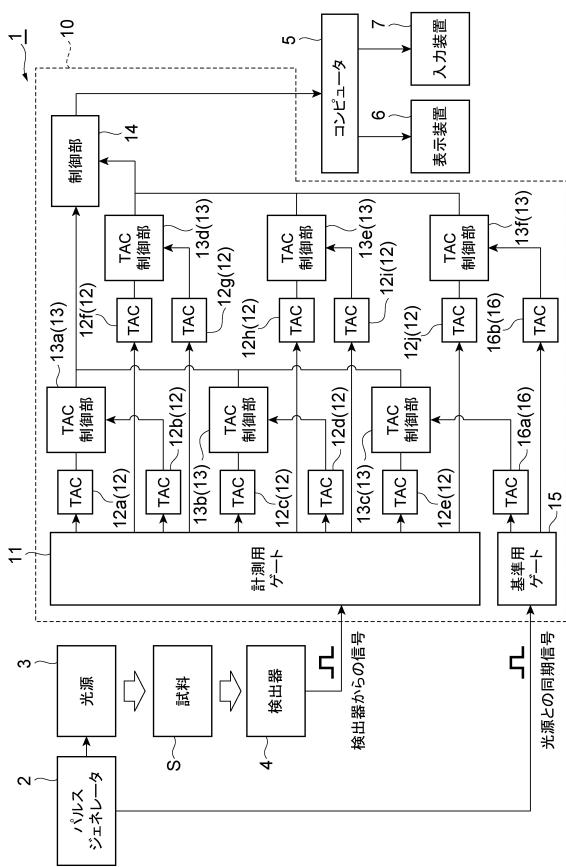
1…蛍光寿命計測装置、2…パルスジェネレータ（信号生成部）、3…光源、4…検出器、10…時間計測装置、11…計測用ゲート（第1の切替部）、12…TAC回路（第1の時間振幅変換器）、14…制御部、15…基準用ゲート（第2の切替部）、16…TAC回路（第2の時間振幅変換器）、20…デジタルカウンタ（カウンタ）、S…試料（計測対象物）。

【要約】

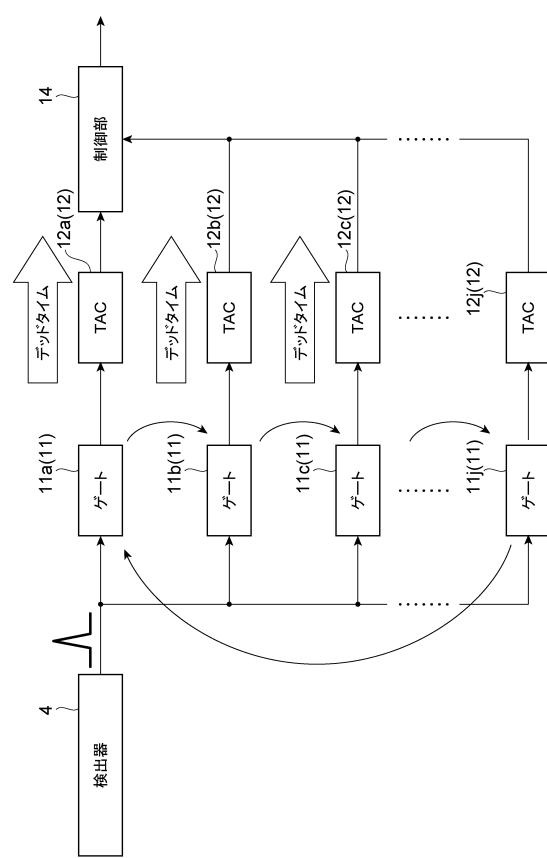
50

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。

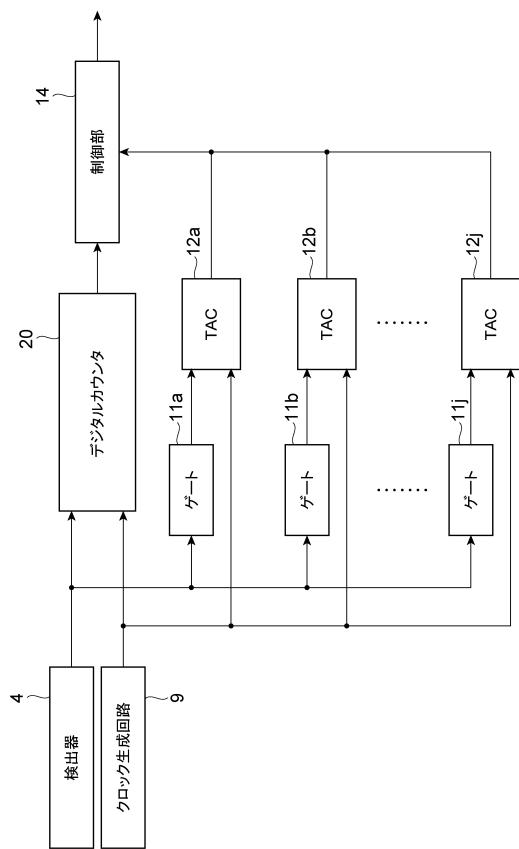
【 図 1 】



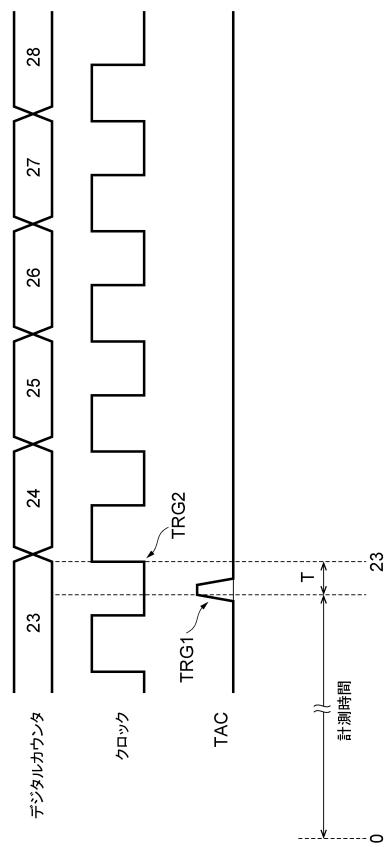
【 図 2 】



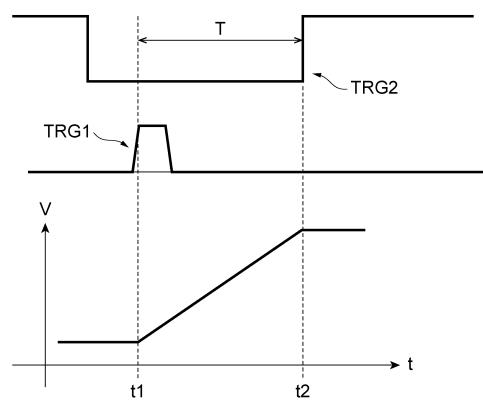
【図3】



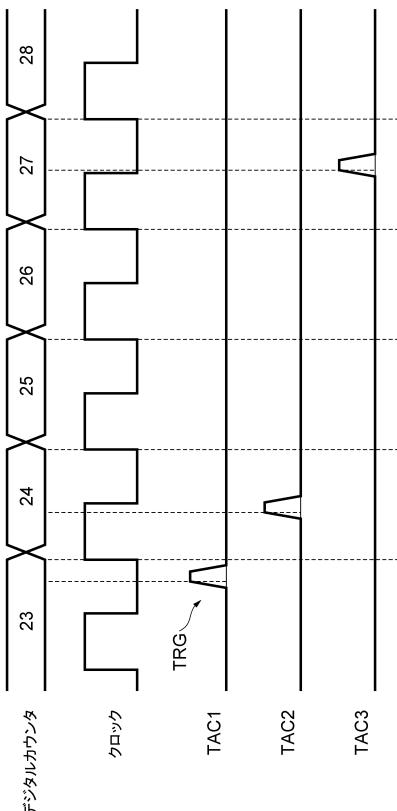
【図4】



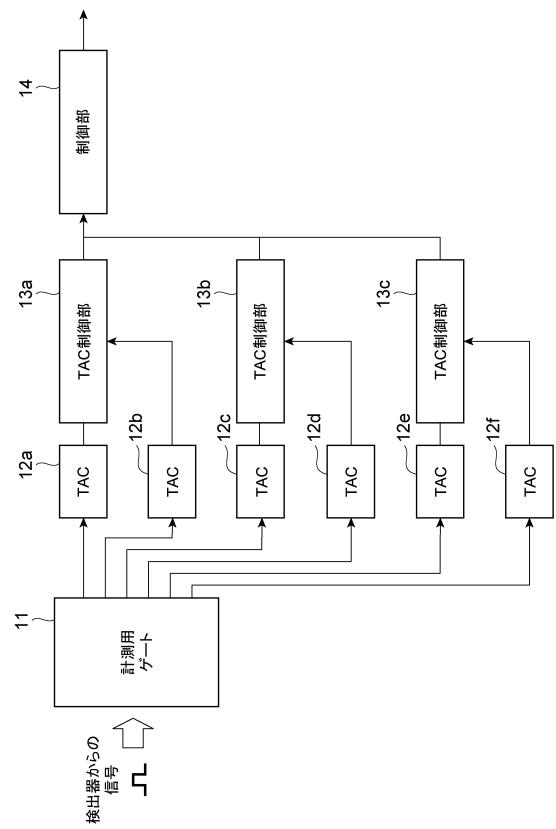
【図5】



【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1126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1126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1126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55-076919(JP,A)

特開昭59-072049(JP,A)

実開昭59-108261(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G04F 10/00 - 10/10

G01N 21/64