

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-95402
(P2019-95402A)

(43) 公開日 令和1年6月20日(2019.6.20)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G O 1 T 1/20 (2006.01) G O 1 T 1/20 J 2 G 1 8 8

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2017-227688 (P2017-227688)
(22) 出願日 平成29年11月28日(2017.11.28)

(71) 出願人 504173471
国立大学法人北海道大学
北海道札幌市北区北8条西5丁目
(74) 代理人 110001210
特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
(72) 発明者 石川 正純
北海道札幌市北区北8条西5丁目 国立大
学法人北海道大学内
(72) 発明者 小川原 亮
北海道札幌市北区北8条西5丁目 国立大
学法人北海道大学内
Fターム(参考) 2G188 CC15 CC21 DD22 DD45 EE07
EE25 FF11

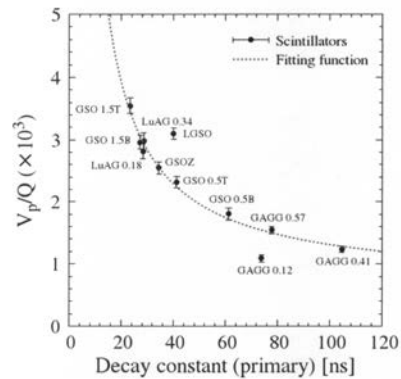
(54) 【発明の名称】 シンチレータの発光減衰時定数の測定方法、その測定装置およびシンチレータの賦活材濃度の測定方法

(57) 【要約】

【課題】シンチレータの発光減衰時定数を比較的簡易に測定する。

【解決手段】シンチレータの発光減衰時定数の測定方法であって、シンチレータに放射線が入射するイベントによって、シンチレータから出力される光を光電変換して電気信号に得、得られた1つのイベントについての電気信号の電圧波形におけるピーク値(V_p)と積分値(Q)との比(V_p/Q)を算出し、ピーク値と積分値との比(V_p/Q)と、シンチレータの発光減衰時定数との関係を利用して、算出されたV_p/Qからシンチレータの発光減衰時定数を決定する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シンチレータの発光減衰時定数の測定方法であって、

シンチレータに放射線が入射するイベントによって、シンチレータから出力される光を光電変換して電気信号に得、

得られた 1 つのイベントについての電気信号の電圧波形におけるピーク値 (V_p) と積分値 (Q) との比 (V_p / Q) を算出し、

予め得られている、ピーク値と積分値との比 (V_p / Q) と、シンチレータの発光減衰時定数との関係を利用して、算出された V_p / Q からシンチレータの発光減衰時定数を決定する、

シンチレータの発光減衰時定数の測定方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載のシンチレータの発光減衰時定数の測定方法であって、

ピーク値と積分値との比 (V_p / Q) と、シンチレータの発光減衰時定数との関係を、(V_p / Q) を (y)、発光減衰時定数を (x)、 a 、 b を定数とした場合に、 $y = a / x + b$ となる関係とする、

シンチレータの発光減衰時定数の測定方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のシンチレータの発光減衰時定数の測定方法であって、

賦活材の含有量が異なる複数のシンチレータについて、放射線が入射するイベントによって、複数のシンチレータから出力される光をそれぞれ光電変換して電気信号に変換し、

得られた複数の電気信号の電圧波形におけるピーク値と積分値を検出して検出したピーク値と積分値の比をそれぞれ算出するとともに、当該イベントの発光減衰時定数を算出し、

20

賦活材の含有量が異なる複数のシンチレータにおいて得られたピーク値と積分値の比 (y) と、当該イベントの発光減衰時定数 (x) の関係をフィッティング関数 $y = a / x + b$ にあてはめて定数 a 、 b を決定し、

関数 $y = a / x + b$ を決定する、

シンチレータの発光減衰時定数の測定方法。

【請求項 4】

30

シンチレータに含まれる賦活材の濃度を測定方法であって、

シンチレータに放射線が入射するイベントによって、シンチレータから出力される光を光電変換して電気信号に得、

得られた 1 つのイベントについての電気信号の電圧波形におけるピーク値 (V_p) と積分値 (Q) との比 (V_p / Q) を算出し、

予め得られている、ピーク値と積分値との比 (V_p / Q) と、シンチレータの賦活材濃度との関係を利用して、算出されたピーク値と積分値との比 (V_p / Q) からシンチレータの賦活材の濃度を決定する、

シンチレータの賦活材濃度の測定方法。

【請求項 5】

40

シンチレータの発光減衰時定数の測定装置であって、

シンチレータに放射線が入射するイベントによって、シンチレータから出力される光を光電変換して電気信号に変換する光電変換器と、

光電変換器で得られた電気信号の電圧波形におけるピーク値と積分値を検出し、検出したピーク値と積分値の比に応じて、シンチレータの発光減衰時定数を算出する演算装置と、

を含み、

演算装置は、

複数のシンチレータにおいて得られたピーク値と積分値の比 (y) と、当該イベントの発光減衰時定数 (x) の関係から定数 a 、 b を決定したフィッティング関数 $y = a / x +$

50

bを記憶しており、

検出したピーク値と積分値の比に応じて、記憶しているフィッティング関数 $y = a / x + b$ を利用してシンチレータの発光減衰時定数を算出する、シンチレータの発光減衰時定数の測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、賦活材を添加したシンチレータの発光減衰時定数の測定に関する。

【背景技術】

10

【0002】

無機シンチレータの一部では、賦活材としてCeやEuなどの微量元素を添加することで発光量を増加させるなどの性能改善が行われている。一方、賦活材の添加量によって発光特性が変化することが知られており、特に発光減衰時定数は添加量に応じて大きく変化する。例えば、非特許文献1には、Ce濃度と発光減衰時定数の関係が示されている。

【0003】

シンチレータの製造法として一般的に用いられているチョクラルスキー法では、高温に熱したるつぼでシンチレータの構成材料を融解し、種結晶を長い時間をかけてゆっくりと引き上げるにより単結晶のシンチレータを製造しているが、時間の経過と共に構成材料の比率が変化する。これまでの経験では、シンチレータインゴットの上端と下端において発光減衰時定数が2倍程度異なることを経験しているが、同一インゴットから切り出されたシンチレータは賦活材が同一濃度のものとして出荷されている。このため、賦活材の添加量が異なり、発光減衰時定数の異なるシンチレータが同一のシンチレータとして流通している。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開WO2017/038953号公報

【非特許文献】

【0005】

30

【非特許文献1】C. L. Melcher and J. S. Schweitzer "SCINTILLATION PROPERTIES OF GSO" IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 37, NO. 2, APRIL 1990

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ここで、測定イベント数のカウントであれば、発光減衰時定数の変化の測定結果への影響はあまりないが、1つのイベントについての検討を行う場合には、発光減衰時定数が大きく影響する。

【0007】

ところが、発光減衰時定数の測定方法としては、高速パルス電子線源または高速パルスレーザーを用いてシンチレータを励起状態にした後、高精度な時間分解能を持ったTDC (Time to Digital Converter) を用いて詳細な発光イベントを解析する必要があり、発光減衰時定数が短いほど高性能なパルス電子線源やレーザー光源、TDCモジュールが必要となる。また、様々な形状のシンチレータに対してパルス電子線源やレーザー光源をシンチレータだけに照射することは困難である。

40

【0008】

従って、任意形状のシンチレータの発光減衰時定数を簡易に測定する技術は存在しなかった。

【0009】

なお、特許文献1では、複数の発光時定数の異なるシンチレータを用いて、PET (Po

50

sitron emission tomography) 装置を構成することが提案されている。特に、複数のシンチレータからの光を電気信号に変換したあと、その電圧波形のピーク電圧値 V_p とその積分値 (積分電荷量) Q の比を用いて、各シンチレータからの信号を分離している。この特許文献 1 のような装置を構成するためには、互いに異なる発光減衰時定数を持つ複数のシンチレータを採用する必要がある、このために各シンチレータの発光減衰時定数を知る必要がある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、シンチレータの発光減衰時定数の測定方法であって、シンチレータに放射線が入射するイベントによって、シンチレータから出力される光を光電変換して電気信号に得、得られた 1 つのイベントについての電気信号の電圧波形におけるピーク値 (V_p) と積分値 (Q) との比 (V_p / Q) を算出し、ピーク値と積分値との比 (V_p / Q) と、シンチレータの発光減衰時定数との関係を利用して、算出された V_p / Q からシンチレータの発光減衰時定数を決定する。

10

【0011】

また、ピーク値と積分値との比 (V_p / Q) と、シンチレータの発光減衰時定数との関係を、(V_p / Q) を (y)、発光減衰時定数を (x)、 a 、 b を定数とした場合に、 $y = a / x + b$ となる関係とするとよい。

【0012】

また、賦活材の含有量が異なる複数のシンチレータについて、放射線が入射するイベントによって、複数のシンチレータから出力される光をそれぞれ光電変換して電気信号に変換し、得られた複数の電気信号の電圧波形におけるピーク値と積分値を検出して検出したピーク値と積分値の比をそれぞれ算出するとともに、当該イベントの発光減衰時定数を算出し、賦活材の含有量が異なる複数のシンチレータにおいて得られたピーク値と積分値の比 (y) と、当該イベントの発光減衰時定数 (x) の関係をフィッティング関数 $y = a / x + b$ にあてはめて定数 a 、 b を決定し、関数 $y = a / x + b$ を決定するとよい。

20

【0013】

また、本発明は、シンチレータに含まれる賦活材の濃度を測定方法であって、シンチレータに放射線が入射するイベントによって、シンチレータから出力される光を光電変換して電気信号に得、得られた 1 つのイベントについての電気信号の電圧波形におけるピーク値 (V_p) と積分値 (Q) との比 (V_p / Q) を算出し、予め得られている、ピーク値と積分値との比 (V_p / Q) と、シンチレータの賦活材濃度との関係を利用して、算出されたピーク値と積分値との比 (V_p / Q) からシンチレータの賦活材の濃度を決定する。

30

【0014】

また、本発明は、シンチレータの発光減衰時定数の測定装置であって、シンチレータに放射線が入射するイベントによって、シンチレータから出力される光を光電変換して電気信号に変換する光電変換器と、光電変換器で得られた電気信号の電圧波形におけるピーク値と積分値を検出し、検出したピーク値と積分値の比に応じて、シンチレータの発光減衰時定数を算出する演算装置と、を含み、演算装置は、複数のシンチレータにおいて得られたピーク値と積分値の比 (y) と、当該イベントの発光減衰時定数 (x) の関係から定数 a 、 b を決定したフィッティング関数 $y = a / x + b$ を記憶しており、検出したピーク値と積分値の比に応じて、記憶しているフィッティング関数 $y = a / x + b$ を利用してシンチレータの発光減衰時定数を算出する。

40

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、シンチレータの発光減衰時定数を比較的簡単に測定することができる。また、発光減衰時定数に基づきシンチレータの賦活材濃度を測定することもできる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図 1】 各種のシンチレータのイベントに応じた発光強度の経時変化を示す図である。

50

【図2】各種のシンチレータについて、発光減衰時定数と V_p / Q の関係を調べた結果を示す図である。

【図3】本実施形態に係るシンチレータについての発光減衰時定数を測定する測定装置の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の実施形態について、図面に基づいて説明する。なお、本発明は、ここに記載される実施形態に限定されるものではない。

【0018】

< 発光減衰時定数の計測 >

10

図1に、各種のシンチレータについて、イベントに応じた発光強度（規格化した電流強度：Charge normalized intensity）の経時変化を示してある。シンチレータの発光強度は、光電変換した後の電荷量として検出するため、これを規格化した電荷量（Charge normalized intensity）で表してある。

【0019】

シンチレータとしては、(i) $GSO (Gd_2SiO_5) : Ce$ （セシウム添加 GSO ）、(ii) $LGSO : Ce$ （ Ce 添加 $Lu_{2-x}Gd_xSiO_5$ ）、(iii) $GSOZ : Ce$ （セシウム添加、 Zr 添加 GSO ）、(iv) $GAGG : Ce$ （ Ce 添加 $Gd_3(Al, Ga)_5O_{12}$ ）、(v) $LuAG : Pr$ （プラセオジウム添加 $LuAG$ （ルテチウム・アルミニウム・ガーネット））を用いた。

20

【0020】

図1における、左上(a)は、 $GSO : Ce$ で、 Ce の添加量 $0.5 mol\%$ (top)、 $0.5 mol\%$ (bottom)、 $1.5 mol\%$ (top)、 $1.5 mol\%$ (bottom)の4つの試料についての結果である。なお、topは結晶インゴットの上端、bottomはインゴットの下端を示す。右上(b)は、 $LGSO : Ce$ で Ce 添加量 $0.3 mol\%$ 、 $GSOZ : Ce$ で $0.1 mol\%$ 、左下(c)は $GAGG : Ce$ で Ce 添加量 $0.12 mol\%$ 、 $0.41 mol\%$ 、 $0.57 mol\%$ 、右下(d)は、 $LuAG : Pr$ で Pr 添加量 $0.12 mol\%$ 、 $0.41 mol\%$ の結果である。

【0021】

このように、賦活材 (Ce , Pr) の添加量が多いほど発光強度のピーク値が大きく、発光減衰時定数が小さい。また、シンチレータによっても発光強度のピーク値、発光減衰時定数が異なる。

30

【0022】

そして、図1に示した各種シンチレータにおける各イベントにおける電圧波形（オシレータの出力）からピーク電圧値 V_p と積分電荷量 Q の比 (V_p / Q) と、発光減衰時定数を算出した。ここで、積分電荷量 Q は、電気信号である電圧 V を1イベント（1つのピーク）について時間積分した結果であり、電気信号の積分値として代用することができ、本実施形態では、積分電荷量として電気信号である電圧 V の積分値を用いる。なお、電圧 V_p がピーク発光強度、積分電荷量 Q が発光量に対応する。

【0023】

40

また、発光減衰時定数は、高速パルス電子線源または高速パルスレーザーを用いてシンチレータを励起状態にした後、高精度な時間分解能を持ったTDCを用いて詳細な発光イベントを解析することによって検出するとよい。なお、イベントの波形の指数関数的減衰としたときの時定数（減衰係数の逆数）であり、オシロスコープによって観測された電圧波形から算出することもできる。

【0024】

図2に、上述した各種のシンチレータについて、発光減衰時定数と V_p / Q の関係を調べた結果を示す。これより、発光減衰時定数 = x 、 $V_p / Q = y$ とした場合におけるフィッティング解析により、フィッティング関数は $y = a / x + b$ で良く近似され、係数は、フィッティング係数として $a = 65.3$ 、 $b = 0.66$ が得られた。

50

【 0 0 2 5 】

このように、 $V_p / Q (y)$ と、発光減衰時定数 (x) とは、 $y = a / x + b$ という関数で表現されることが分かった。従って、各種シンチレータについて、 V_p / Q を計測することで発光減衰時定数を検出することができる。

【 0 0 2 6 】

すなわち、各種のシンチレータから得た、図 2 の関係を検量線とすることで、測定対象となる、シンチレータについて、 V_p / Q を計測することで、発光減衰時定数を算出することができる。従って、各種のシンチレータについての試験結果から、検量線 $y = a / x + b$ を得て、これを記憶しておくことで、同種のシンチレータについては V_p / Q を計測することで発光減衰時定数を得ることができる。上述したように、各種のシンチレータについて、1 つの検量線を利用することができるが、シンチレータの種類が異なると同一の検量線を使用できない場合もある。従って、新しい種類のシンチレータの場合、検量線が使用できるかを確認し、使用できない場合には新たに検量線を作成するとよい。一方、1 つの種類で賦活材の添加量が異なるシンチレータについては同一の検量線を利用することができる。

10

【 0 0 2 7 】

さらに、賦活材投与量が正確に定量できれば、 V_p / Q 値からシンチレータに含まれる賦活材の量を推定することも可能である。上述のように、シンチレータに含まれる賦活材の量に応じて V_p / Q が変化するのであり、賦活材の量と V_p / Q の関係を求めておけば、測定された V_p / Q に基づいてシンチレータに含まれる賦活材の量を算出することができる。

20

【 0 0 2 8 】

< 検出装置の構成 >

図 3 に、本実施形態に係るシンチレータについての発光減衰時定数を測定する測定装置の構成を示す。シンチレータ 10 は、発光減衰時定数を測定する対象となるシンチレータである。シンチレータ 10 の側方には、線源 12 が配置されている。この線源 12 は、例えば ^{137}Cs 線源であり、コリメータにてシンチレータ 10 の方向に放射線を集束させる。シンチレータ 10 の一端は、光電変換器である光電子増倍管 14 に接続される。ここで、シンチレータ 10 は光電子増倍管 14 の受光面にシンチレータ 10 からの光が確実に入射するように例えば光学グリスを塗って接続される。なお、シンチレータ 10 の光電子増倍管 14 との接続面以外は反射材で覆うとよい。また、測定対象のシンチレータ 10 を取り換えられるように、シンチレータホルダを設け、このシンチレータホルダでシンチレータ 10 を光電子増倍管 14 に着脱自在に保持することが好適である。

30

【 0 0 2 9 】

シンチレータ 10 で発光した光が受光面より光電子増倍管 14 に入射する。入射光は、光電子増倍管 14 によって光電変換され、入射光の強度に応じた電気信号が出力される。なお、光電子増倍管 14 には、高電圧 +HV が供給されている。光電子増倍管 14 からの電気信号は電圧波形取得装置 16 に入力され、ここで時間軸に沿った電圧波形信号が得られる。なお、電圧波形取得装置 16 としては、オシロスコープなどが採用できる。

40

【 0 0 3 0 】

電圧波形取得装置 16 の出力は、データ処理手段である演算処理装置 18 を介し、記憶装置 20 に記憶される。すなわち、電圧波形信号の生データ (波形整形などを施さないデータ (Raw)) がそのまま記憶装置 20 に記憶される。

【 0 0 3 1 】

演算処理装置 18 は、通常のコンピュータで形成され、電圧波形 (電圧波形信号) についてのデータを解析し、解析結果を出力する。すなわち、所定時間に亘る 1 回の検査の終了時において、次のような解析処理を行う。

(a) 電圧波形信号に対する高周波ノイズを除去するためのフィルタ処理

(b) 1 イベントについてのピーク電圧値 V_p および電圧信号の積分から得られる積分電荷量 Q を算出して、 V_p / Q を算出する処理

50

(c) 予め記憶している、フィッティング関数 $y = a / x + b$ (検量線) に応じて、測定対象であるシンチレータ 10 の発光減衰時定数を算出する処理

【0032】

線源 12 としては、 ^{137}Cs (229.1 kBq) などが用いられ、ここから放出される 662 keV ガンマ線をシンチレータ 10 に入射して、 V_p / Q を検出する。

【0033】

このように、本実施形態によれば、電圧波形取得装置 16 からの電圧波形を処理することでシンチレータ 10 の発光減衰時定数を検出することができる。従って、比較的簡易な装置によって、シンチレータ 10 の発光減衰時定数を計測することができる。

【0034】

特に、 V_p / Q と発光減衰時定数のフィッティング関数は、測定装置の感度などによってほとんど変化がなく、従って 1 つの精密なフィッティング関数を調べておくことで、複数の測定装置によりそのフィッティング関数を用いて、シンチレータ 10 の高精度の TDC などが不要であり、発光減衰時定数を測定することが可能になる。

【0035】

また、 V_p / Q と賦活材の濃度の関係を予め調べておくことで、測定された V_p / Q からシンチレータの賦活材の濃度を知ることができる。

【符号の説明】

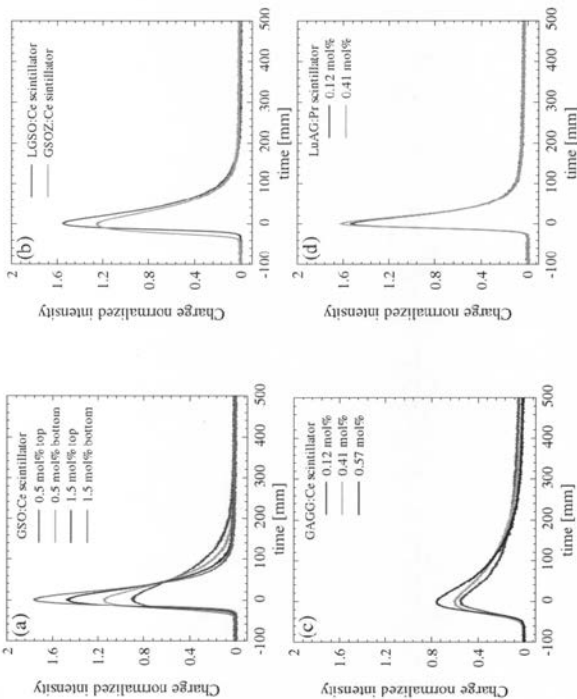
【0036】

10 シンチレータ、12 線源、14 光電子増倍管、16 電気波形取得装置、18 演算装置、20 記憶装置。

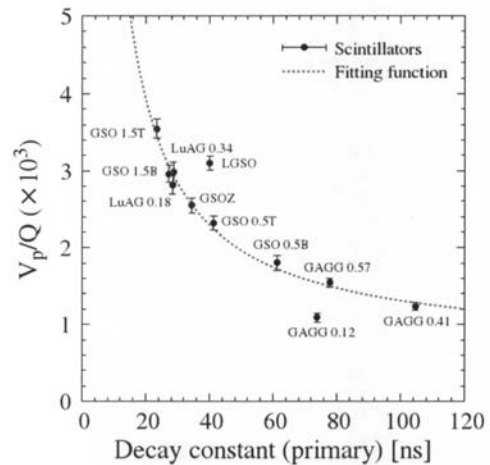
10

20

【図 1】



【図 2】



【 図 3 】

