

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3779596号

(P3779596)

(45) 発行日 平成18年5月31日(2006.5.31)

(24) 登録日 平成18年3月10日(2006.3.10)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 T 1/161 (2006.01)  
 CO 9 K 11/06 (2006.01)  
 GO 1 T 1/20 (2006.01)  
 GO 1 T 1/202 (2006.01)

GO 1 T 1/161 A  
 CO 9 K 11/06 GO 1  
 GO 1 T 1/20 B  
 GO 1 T 1/20 G  
 GO 1 T 1/202

請求項の数 5 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-351085 (P2001-351085)  
 (22) 出願日 平成13年11月16日(2001.11.16)  
 (65) 公開番号 特開2003-149345 (P2003-149345A)  
 (43) 公開日 平成15年5月21日(2003.5.21)  
 審査請求日 平成15年11月10日(2003.11.10)

特許法第30条第1項適用 平成13年9月11日 応用物理学会主催の「第62回応用物理学会学術講演会」において発表、平成13年9月21日 日本化学会主催の「日本化学会第80秋季年会」で発表、平成13年9月21日 日本原子力学会主催の「2001秋の大会」で発表

(73) 特許権者 503360115  
 独立行政法人科学技術振興機構  
 埼玉県川口市本町4丁目1番8号  
 (74) 代理人 100110249  
 弁理士 下田 昭  
 (72) 発明者 澁谷 憲悟  
 東京都府中市天神町3-14-15 モナークコート401  
 (72) 発明者 越水 正典  
 東京都目黒区駒場1-28-11 コーポ松202  
 (72) 発明者 浅井 圭介  
 東京都目黒区目黒1-9-12

審査官 井上 千弥子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ポジトロンエミッショントモグラフィ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シンチレータ及び受光器から成る線検出器を用いるポジトロンエミッショントモグラフィ装置であって、該シンチレータとして一般式  $(R^1 - NR^{11}R^3)_2 MX_4$ 、 $(NR^{13}R^3 - R^3 - NR^{13}R^3) MX_4$  又は  $AMX_3$  (式中、 $R^1$  は複素環を含んでもよくハロゲン原子で置換されていてもよい一価炭化水素基を表し、 $R^3$  は複素環を含んでもよくハロゲン原子で置換されていてもよい二価炭化水素基を表し、 $A$  は  $R^5 - NH_3$  若しくは  $R^6 = NH_2$  又はこれらの混合を表し、 $R^5$  はアミノ基若しくはハロゲン原子で置換されていてもよいメチル基又は水素を表し、 $R^6$  はアミノ基又はハロゲン原子で置換されていてもよいメチレン基を表し、 $R^{11}$  及び  $R^{13}$  は、それぞれ同じか又は異なってよく、水素原子又は炭素数2以下のアルキル基を表し、 $M$  はIVa族金属、Eu、Cd、Cu、Fe、Mn又はPdを表し、 $X$  はハロゲン原子又はその混合を表す。) で表されるペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物を用いることを特徴とするポジトロンエミッショントモグラフィ装置(但し、シンチレータ及び受光器のみから成る放射線検出装置を除く。 )。

【請求項2】

更に、前記線検出器の信号を処理する電子回路、及び画像再構成その他を行うコンピュータを含む請求項1に記載のポジトロンエミッショントモグラフィ装置。

【請求項3】

タイム・オブ・フライト型である請求項1又は2に記載のポジトロンエミッショントモ

グラフィ装置。

【請求項4】

前記ペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物の形態が単結晶である請求項1～3のいずれか一項に記載のポジトロンエミッショントモグラフィ装置。

【請求項5】

前記シンチレータが一般式  $(R^1 - NR^{11}R^{13})_2 MX_4$  又は  $(NR^{13}R^{11} - R^3 - NR^{13}R^{11}) MX_4$  (式中、 $R^1$ 、 $R^3$ 、 $R^{11}$ 、 $R^{13}$ 、 $M$ 及び $X$ は前記と同様を表す。) で表されるペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物の炭化水素基が架橋した請求項1～4のいずれか一項に記載のポジトロンエミッショントモグラフィ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、ポジトロンエミッショントモグラフィ装置に関し、より詳細には、線に対する応答の極めて早い(サブナノ秒程度又はそれ以下)シンチレータから成る線検出器を用いたポジトロンエミッショントモグラフィ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

ポジトロンエミッショントモグラフィ(以下「PET」ともいう。)は、陽電子放出核で標識した放射性薬剤(トレーサー)を被検者に投与し、放出される放射線を体外で測定して薬剤の濃度分布を断層像として得ることから成る、核医学診断で用いられる断層撮影法である(「医用画像ハンドブック」篠原出版(1994); RADIOISOTOPES, 42, 189-198 (1993); RADIOISOTOPES, 42, 237-254 (1993); RADIOISOTOPES, 42, 301-314 (1993); RADIOISOTOPES, 42, 365-376 (1993)等)。

トレーサー(原子核)から放射された陽電子(ポジトロン)は被検者の体内を数ミリメートル運動してその運動エネルギーを失い、その近傍の電子と衝突して消滅する。その際、電子の質量に相当するエネルギーを有する線(511keV)を180度方向に放出する。この線を検出器で検知し、その信号を処理して画像再構成を行うことにより、ポジトロン放射トレーサーの体内分布の断層像を得る。

この検出器は、通常シンチレータ、光電子倍增管、及びその他必要な電子回路から成る。このシンチレータには、時間応答の速い結晶シンチレーションを用いることが好ましく、NaI(Tl)、BGO( $Bi_4Ge_3O_{12}$ )、CsF、BaF<sub>2</sub>、LSO( $Lu_2(SiO_4)O:Ce$ )などの結晶が用いられている。この中で、BGOは線に対する検出効率が高いためよく用いられるが、減衰時間が300ns程度と遅いという欠点を有する。NaI(Tl)の減衰時間も同程度である。

【0003】

PETの検出器に用いられるシンチレータの応答時間が遅く、検出器からの信号が時間的にある程度大きい幅を有する場合には、この幅内ではトレーサーの消滅位置を決定することができない。また最新のPET装置では空間分解能が高くなってきているが、複雑な演算処理が必要とされる。

一方、タイム・オブ・フライト型PETは、線が被検者の体内を飛行する時間差を体外の検出器で測定することにより、PETの画質の向上を目的とする(RADIOISOTOPES, 42, 301-314 (1993))。即ち、180度方向に放出された線を2つの検出器で検出すれば、これらへの到達時間の差がトレーサーの位置の差の2倍の距離を移動する光速の飛行時間に相当するため、トレーサーの位置を測定することができる。このような分野では理想的には1cm以下の解像度が求められており、これはシンチレータとしては約 $10^{-10}$ 秒(0.1ns)程度の応答速度が必要とされることに相当する。このため、応答の早いBaF<sub>2</sub>結晶が用いられているが、その応答速度(分解能)は300~400ps程度であり、より早いシンチレータが求められている(「医用画像ハンドブック」篠原出版(1994))。

【0004】

10

20

30

40

50

一方、発明者らは、既に特定のペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物の励起子発光の放射耐性が高いことを見出し、この化合物を放射線のシンチレータとして用いると極めて応答の早い可視光を発光することを見出した（特願2001-006132、特願2001-231205）。そして、このようなペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物が超短パルス電離放射線の検出や放射線量測定に用いることができることを示した。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

従来のポジトロンエミッショントモグラフィ装置で用いていたシンチレータの応答速度は極めて限られていたため、ポジトロンエミッショントモグラフィ装置の解像度には限界があった。その解決のためには、シンチレータとしては約  $10^{-10}$  秒（0.1 ns）程度の応答速度が必要とされていた。このようなシンチレータが達成されれば、タイム・オブ・フライト型PETが実現可能になる。

10

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、既に特定のペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物を放射線のシンチレータとして用いると極めて応答の早い可視光を発光することを見出していたが、このシンチレータをポジトロンエミッショントモグラフィ装置の線検出器に用いることにより、従来のポジトロンエミッショントモグラフィ装置が抱える課題を解決できることを見出した。

【0007】

即ち、本発明は、シンチレータ及び受光器から成る線検出器を用いるポジトロンエミッショントモグラフィ装置であって、該シンチレータとして一般式  $(R^1 - NR^1)_3 M X_4$ 、又は  $(NR^1)_3 - R^3 - NR^1)_3 M X_4$ 、又は  $AMX_3$  で表されるペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物を用いることを特徴とするポジトロンエミッショントモグラフィ装置である。本発明のポジトロンエミッショントモグラフィ装置は、線検出器に加えて、線検出器の信号を処理する電子回路、及び画像再構成その他を行うコンピュータを含んでもよい。

20

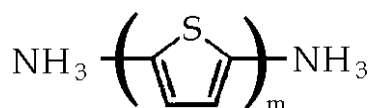
【0008】

$R^1$  はハロゲン原子で置換されていてもよい一価炭化水素基であり、直鎖、分枝又は環状でもよく、炭素数は一般に2～18であり、好ましくはアルキル基、アリール基、又はアラルキル基であり、より好ましくはアルキル基である。アリール基としてはフェニル基が好ましい。アラルキル基としては  $(C_6H_5)C_nH_{2n}$ （nは2～4）が好ましい。また  $R^1$  はピロール基やチオフェン基等の複素環を含んでもよい。 $R^1$  は、それぞれ同じか又は異なってもよく、水素又は炭素数2以下のアルキル基、好ましくは水素又はメチル基、より好ましくは水素である。

30

$R^3$  はハロゲン原子で置換されていてもよい二価炭化水素基であり、複素環を含んでもよい。二価炭化水素基としては直鎖又は分枝の、好ましくは直鎖のアルキレン基であり、一般に炭素数は2～18である。これにフェニレン基（ $C_6H_4-$ ）、好ましくはp-フェニレン基、又はピロール基やチオフェン基等の複素環が含まれていてもよい。また  $R^3$  は複素環のみから成るものであってもよい。チオフェン基からなる場合のペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物として、例えば、下記構造式

40



（式中、mは2～8の整数を表す。）のものが挙げられる。

【0009】

$R^1$  は、それぞれ同じか又は異なってもよく、水素又は炭素数2以下のアルキル基、好ましくは水素又はメチル基、より好ましくは水素である。

$R^1$  又は  $R^3$  に二重結合や三重結合といった不飽和結合が含まれていると、高エネルギー

50

一の放射線のエネルギーを吸収しラジカル反応等を起こすので好ましくない。しかし、 $R^1$  又は  $R^3$  に二重結合や三重結合を有する前駆体を用いて一旦ペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物を形成させて、高エネルギー放射線の照射等によりこれらを架橋させることによって、これら不飽和結合を消滅させてもよい。この場合には、炭化水素基から成る有機層が架橋することにより、熱等による結晶構造の揺らぎが減少し、シンチレータとして用いた場合にその性能を安定化させることができる。

#### 【0010】

Aは $R^5 - NH_3$ 若しくは $R^6 = NH_2$ 又はこれらの混合を表し、 $R^5$ はアミノ基若しくはハロゲン原子で置換されていてもよいメチル基又は水素を表し、 $R^6$ はアミノ基又はハロゲン原子で置換されていてもよいメチレン基を表す。

このA部分が混合であるペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物として、例えば、 $(CH_3NH_3)_{(1-x)}(NH_2CH=NH_2)_xPbBr_3$  ( $0 < x < 1$ )などが挙げられる。

Aとしては、 $[CH_3NH_3]^+$ や $[NH_4]^+$ などの体積の小さな炭化水素を用いる。これら( $R^5 - NH_3$ )や( $R^6 = NH_2$ )の体積は小さいので、無機層間が有機物に隔てられることは無く、無機物の三次元ネットワークが形成され、有機物はハロゲン化金属の正八面体型クラスターの隙間に入り込む。ここで( $R^5 - NH_3$ )及び( $R^6 = NH_2$ )についての条件は、三次元化合物の隙間に収まる大きさを有し、かつ一価の陽イオンであることである。具体的には、 $R^5$ はメチル基又は水素であり、このメチル基はアミノ基又はハロゲン原子で置換されていてもよい。一方、 $R^6$ はメチレン基を表し、このメチレン基はアミノ基又はハロゲン原子で置換されていてもよい。この( $R^5 - NH_3$ )及び( $R^6 = NH_2$ )の例として、 $H - NH_3$ 、 $CH_3 - NH_3$ 、 $NH_2CH=NH_2$  (ホルムアミディニウムイオン、formamidinium cation)等が挙げられる。このシンチレータは、単結晶であることが好ましいが、必ずしも単結晶である必要は無く、基板上に塗布された多結晶であってもよい。

#### 【0011】

Xはハロゲン原子を表し、好ましくはCl、Br又はIである。Xはこれらハロゲンの混合であってもよい。

MはIVa族金属、Eu、Cd、Cu、Fe、Mn又はPdであり、好ましくはIVa族金属又はEu、より好ましくはIVa族金属、更に好ましくはGe、Sn又はPb、最も好ましくはPbである。

#### 【0012】

##### 【発明の実施の形態】

ポジトロンエミッショントモグラフィ装置は、線検出器、この信号を処理する電子回路、及び画像再構成その他を行うコンピュータ等から成る。

この装置の一例を図1に示す。この装置は、検出部1、データ収集部2、画像情報制御部3、計算処理部4、投与制御部5、投与部6、及び表示部7から成る。検出部1は、多数の線検出器が被検者(又は被検体)の被計測部を囲むように円形状に配置される。各検出器は円周上の対向位置にある複数の検出器と同時計数回路で結ばれている。これらの線検出器は空間位置が同定可能なように番地が付され、被計測部の方向にその受光面が向いている。トレーサーから放射された陽電子により被計測部から線が180度方向に放出され、この線を相対する線検出器で検出する。各線検出器はデータ収集部2に接続されており、検出した信号は各線検出器からデータ収集部に送信される。データ収集部2は、同時計数の発生毎に、検出部1を構成する多数の線検出器の中の、線を検出した1対の検出器を記録する。このデータはデータ収集部2に蓄積され、予め設定された撮像フレームに応じて画像情報制御部3に送られる。画像情報制御部3は、予め画像情報が記憶されており、画像情報は撮像フレームに応じて計算処理部4に送られる。一方、投与部6は被検者(又は被検体)にトレーサーを投与するための手段(例えば、静脈注射器)を備え、投与制御部5の制御に従って被検者(又は被検体)にトレーサーを適宜投与する。計算処理部4はデータ収集部2及び画像情報制御部3から送られるデータに基づき、

10

20

30

40

50

被検者（又は被検体）の被計測部に必要なトレーサーの投与条件を計算し、投与制御部 5 へ送信し、投与部 6 の投与条件を制御する。表示部 7 は計算処理部 4 から送られた線濃度や演算処理された断層像などを表示する。

【0013】

線検出器は、線のためのシンチレータ、受光器、及びその他必要な電気回路から成る。受光器として特に制限はないが、本発明のシンチレータは可視光（400～600nm程度）を発光するため、受光器として可視光用の光電子倍增管を用いることが好ましい。なお、正確な発光波長はペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物の構造によって異なるため、適宜それに見合った光電子倍增管を用いることが好ましい。

線検出器の構造はPETに適合するよう適宜構成することができる。例えば、シンチレータが光電子倍增管の受光面に接触した構造、シンチレータと光電子倍增管が導光管で連結されている構造、シンチレータの発光をシンチレータから離れた光電子倍增管で受光する構造、シンチレータの発光をシンチレータから離れた受光ポートで受けてこの受光ポートと光電子倍增管とが導光管で連結されている構造等が挙げられる。受光器の信号は通常の方法で処理される。

PET装置の分解能はシンチレータの幅に依存し、この幅は小さいほど好ましい。その一方で光電子倍增管を小型にするとその性能が低下するという問題がある。そのため、線検出器の構造は通常シンチレータと光電子倍增管を1：1対応で結合する個別結合方式や多数個のシンチレータに少数個の光電子倍增管を結合するコーディング方式などが採られている（RADIOISOTOPES, 42, 237-254 (1993)）。本発明のPETにおいてはこれらを用いてもよく、またこれら以外の構造を用いてもよい。

【0014】

また、シンチレータと光電子倍增管を組み合わせたリングの仕切にセプターを置いてノイズを減らしてもよい。このような線検出器の構成はこの分野で知られている技術を適宜組み合わせ用いてよい（RADIOISOTOPES, 42, 237-254 (1993)参照）。

本発明のシンチレータはその応答速度がサブナノ秒又はそれ以下のオーダーであるので、タイム・オブ・フライト型PETのガンマ線検出器として用いることができる。このPET装置の構成も通常のPET装置と同様であり、線検出器の信号を処理する電子回路が、2つの線の検出器からの信号の時間差を測定することにより、トレーサーの空間位置を再構成するように組まれている。

【0015】

シンチレータとしては、上記のペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物を用いる。これらの化合物と既存のシンチレータの性能の比較を表1に示す。この表から、本発明のペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物は他の既存のシンチレータに比べて減衰時定数が短く、信号の立ち上がりを含めて見積もった応答速度は、PETとして求められている0.1ns程度に、極めて近い値を提供することがわかる。

【表1】

10

20

30

シンチレータ	NaI(Tl)	BGO	BaF <sub>2</sub>	LSO	化合物 A	化合物 B
原子番号	53,11	83,32,8	56,9	71,58,14,8	82,35,7,6,1	82,53,7,6,1
ピーク波長/ nm	410	480	220 300	420 440	550	525
減衰時定数/ ns	250	300	0.6 620	32 54	<b>0.16</b>	<b>0.045</b>
相対発光強度	100	15	8 32	38	未測定	未測定

表1の化合物Aは $(CH_3NH_3)PbBr_3$ であり、その減衰時定数の測定については測定例1に示す。表1の化合物Bは $(C_6H_{13}NH_3)_2PbI_4$ であり、その減衰時定数の測定については測定例2に示す。NaI(Tl)、BGO、BaF<sub>2</sub>、LSOについては文献値である。なお、測定例2において $(C_6H_{13}NH_3)_2PbI_4$ については膜を作成して測定を行ったが、この化合物を測定例1と同様の操作を行えば、結晶を作成することもできる。

また、本発明のシンチレータを適当な手段により冷却することにより、その発光量を増やすことができる。

なお、表1に示した本発明のペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物の減衰時定数は測定例に示すように電子線を用いて測定したものであるが、電子線照射とγ線とにおいて、被照射物質中に引き起こされる物理的、化学的過程は本質的に同じである。従って、表中の化合物A及び化合物Bに関する値は、γ線を照射した場合の値と同様であると考えられる。

#### 【0016】

##### 測定例1

室温で容積が200mlのフラスコ内に60.22gの臭化水素酸(HBr、和光純薬工業株式会社製、濃度0.48)を入れておき、徐々に27.06gの40%メチルアミン水溶液(和光純薬工業株式会社製、濃度0.41)を少しずつ滴下した。発熱反応であるため、フラスコは水浴しておく。最終的に臭化水素酸HBrとメチルアミン $CH_3NH_2$ を1:1のモル比となるまでメチルアミンを滴下した。滴下終了後スターでかき混ぜながら一時間放置して反応を完結させ、無色透明の臭化メチルアミン水溶液を得た。エバポレーターで水分を蒸発させると(湯浴の温度は45℃)、白い臭化メチルアミンの粉末が残ったので、これをジエチルエーテルで洗浄(吸引ろ過)し、未反応物を除去したのち乾燥させた。回収量は35.98gであり、回収率は90.0%であった。

次に、室温で容積が200mlの三叉フラスコ内に上記のようにして得られた臭化メチルアミン18.8gを100mlのDMFに溶解させておいたものに、61.62gの臭化鉛 $PbBr_2$ (高純度化学株式会社製、純度99.99%)を、最終的に臭化メチルアミンと臭化鉛 $PbBr_2$ のモル比が1:1となるまで少量ずつ加えた。三叉フラスコ内に空气中の水分との反応を避けるために、乾燥窒素を定期的に三叉フラスコ内に流しながら、この混合液をスターでかき混ぜながら一時間放置して反応を完結させ、ペロブスカイト型化合物 $(CH_3NH_3)PbBr_3$ のDMF溶液(無色透明)を得た。エバポレーターで溶媒を蒸発させると(湯浴の温度は約80℃)、赤いペロブスカイト型化合物の微結晶粉末が残ったので、これをジエチルエーテルで洗浄し、未反応物を除去したのち乾燥させた。回収量は78.41gであり、回収率は97.5%であった。

#### 【0017】

10

20

30

40

50

得られたペロブスカイト型化合物の微結晶粉末をなるべく少量の良溶媒（脱水したDMF）に溶解させ、保持能力約 $0.1\ \mu\text{m}$ のフィルターを用いて未溶解物を濾過した。この溶液を、結晶を析出させるための容器（ガラス瓶A）に入れた。ガラス瓶Aには、予め純水中で超音波洗浄したものをを用いた。次に、貧溶媒（トルエン、ジエチルエーテル、ニトロメタンなど）をガラス瓶Bに入れた。ガラス瓶Bには、貧溶媒を脱水するために、少量の塩化カルシウム粉末も併せて入れた。ガラス瓶A及びガラス瓶Bを、デシケーターに格納し外気から密閉して、室温で4日間放置した。このとき、ガラス瓶Bから揮発した貧溶媒が、ガラス瓶A内のペロブスカイト型化合物溶液内に拡散することにより、ガラス瓶A内の溶液の溶解度が徐々に低下し、ガラス瓶Aの底部にペロブスカイト型化合物の赤色透明の単結晶が析出した。なお、デシケーターの全体をアルミホイルで包むことにより、ガラス瓶Aを遮光しておいた。この方法により、例えば、 $2\ \text{cm} \times 2\ \text{cm} \times 1\ \text{cm}$ 程度の単結晶は容易に作成することができる。

10

このようにして得られた単結晶を、真空中（約 $10^{-6}\ \text{torr}$ （ $1.33 \times 10^{-4}\ \text{Pa}$ ））で、線形加速器（LINAC）で $30\ \text{MeV}$ に加速された $200$ フェムト秒の電子線パルスを用いて励起したところ、ピーク波長が $550\ \text{nm}$ である発光が観測された。この発光を $260$ フェムト秒の時間分解能を有するストリークカメラ（浜松ホトニクス株式会社製、FESCA-200）を受光器として発光強度の時間推移を測定した。その結果を図2に示す。この数値解析の結果、この発光の減衰の時定数は約 $160$ ピコ秒であった。

【0018】

#### 測定例2

20

ハロゲン化金属としてヨウ化鉛 $\text{PbI}_2$ 及び有機アミンハロゲン化水素酸塩として $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NH}_3\text{I}$ を1:2のモル比でN,N-ジメチルホルムアミド中で反応させることにより（反応温度：室温（ $20^\circ\text{C}$ ）、反応時間：1時間以上）、層状ペロブスカイト型化合物（ $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NH}_3$ ） $_2\text{PbI}_4$ を合成した。

この層状ペロブスカイト型化合物 $1\ \text{g}$ をアセトン $3$ ミリリットル中に溶解させ、島津製作所製 P/N 202-32016（回転数： $5000\ \text{rpm}$ 、時間： $30$ 秒以上）を用いて、 $2\ \text{cm}$ 角のシリコン（Si）基板の上にスピコートし、シンチレータ（層状ペロブスカイト型化合物の厚さ $0.1\ \mu\text{m}$ ）を作成した。ここでシリコン基板を用いるのは、基板からの発光を避けるためである。

一方、本実施例で用いた放射線検出装置は直径約 $50\ \text{cm}$ のステンレス鋼製の円柱から成り、放射線が入射する窓、受光ポート、サンプルホルダー、及び減圧装置を備えている。このサンプルホルダーは、円柱のほぼ中央にサンプル（即ち、シンチレータ）を配置できるように可動式である。受光ポートは導光管で外部の検知器に連結されており、受光した光量を測定し記録する。この検知器として、分光器：アクトンリサーチ社（Acton Research Corporation）製 SpectraPro 150、グレーティング：アクトンリサーチ社製（ $150\ \text{gr/mm}$ 、Blaze  $500\ \text{nm}$ ）、及びCCDカメラ：プリンストンインスツルメンツ（Princeton Instruments）社製  $330 \times 1100$ （8ch）を用いた。

30

【0019】

上記のように作製したシンチレータ（ $1\ \text{cm} \times 1\ \text{cm} \times 0.1\ \mu\text{m}$ ）を、その層状ペロブスカイト型化合物面に入射した放射線が垂直に当たるように、このサンプルホルダーにセットした。その後、減圧装置として、ロータリーポンプ及びターボ分子ポンプを組み合わせ用いて、 $1.0 \times 10^{-6}\ \text{Torr}$ まで減圧した。

40

このシンチレータに対して、 $2\ \text{MeV}$ に加速した水素イオン（陽子）を室温で $3 \times 10^{11}\ \text{ions sec}^{-1}\ \text{cm}^{-2}$ （ $50\ \text{A}$ ）のフラックスで照射し（日新ハイボルテージ社製バン・デ・グラフ型加速器）、照射時間を $5$ 秒、 $20$ 秒及び $180$ 秒と変化させた。このシンチレータからは、 $524\ \text{nm}$ （可視領域）の波長を持つ強い励起子発光が観測された。

上記のようにして作成したシンチレータを、真空中（約 $10^{-6}\ \text{torr}$ ）で、線形加速器（LINAC）で $30\ \text{MeV}$ に加速された $200$ フェムト秒の電子線パルスを用いて励起して観測された発光を $260$ フェムト秒の時間分解能を有するストリークカメラを受光器として発光強度の時間推移を測定した。その結果を図3に示す。この数値解析の結果、

50

この発光の減衰の時定数は約 45 ピコ秒であった。

【0020】

【発明の効果】

本発明のPET装置は、線に対する応答の極めて早い(サブナノ秒程度又はそれ以下)シンチレータから成る線検出器を備えるため、その画像解像度が極めて高く、更にタイム・オブ・フライト型PETとして用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】ポジトロンエミッショントモグラフィ装置の構成例を示す図である。

【図2】(CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>)PbBr<sub>3</sub>のシンチレーションのタイムプロファイルを示す図である。

【図3】(C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>PbI<sub>4</sub>のシンチレーションのタイムプロファイルを示す図である。

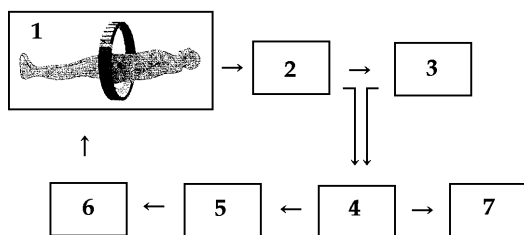
【符号の説明】

- 1 検出部
- 2 データ収集部
- 3 画像情報制御部
- 4 計算処理部
- 5 投与制御部
- 6 投与部
- 7 表示部

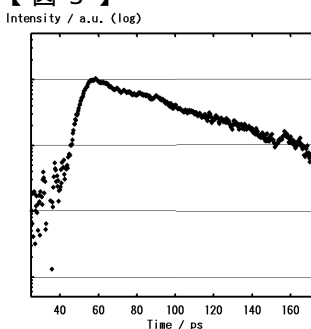
10

20

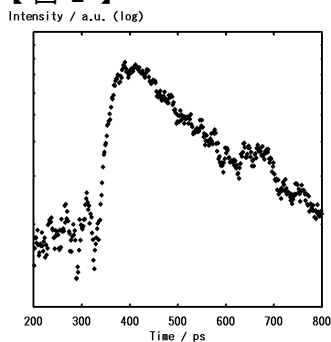
【図1】



【図3】



【図2】





---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平10-316685(JP,A)

ペロブスカイト型有機無機ハイブリッド化合物のシンチレーターへの適用とその性能評価, 日本化学会主催 日本化学会第80秋季年会要旨, 日本, 2001年 9月21日

新規高速シンチレーター材料の開発, 日本原子力学会主催 2001秋の大会要旨, 日本, 2001年 9月21日

二次元量子閉じ込め構造を利用した新規高速シンチレーターの開発, 応用物理学会主催 第62回応用物理学会学術講演会要旨, 日本, 2001年 9月11日

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C09K11/00-11/89, CA(STN)