

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7239921号  
(P7239921)

(45)発行日 令和5年3月15日(2023.3.15)

(24)登録日 令和5年3月7日(2023.3.7)

(51)Int. Cl.	F I
G 0 1 N 23/22 (2018.01)	G 0 1 N 23/22
G 0 1 T 1/172 (2006.01)	G 0 1 T 1/172
G 0 1 T 1/20 (2006.01)	G 0 1 T 1/20 B

請求項の数 10 (全 18 頁)

(21)出願番号	特願2019-40674(P2019-40674)	(73)特許権者	505374783
(22)出願日	平成31年3月6日(2019.3.6)		国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
(65)公開番号	特開2020-144002(P2020-144002A)		茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地
(43)公開日	令和2年9月10日(2020.9.10)		1
審査請求日	令和3年12月16日(2021.12.16)	(73)特許権者	301021533
			国立研究開発法人産業技術総合研究所
			東京都千代田区霞が関1-3-1
		(74)代理人	100097113
			弁理士 堀 城之
		(74)代理人	100162363
			弁理士 前島 幸彦
		(74)代理人	100194283
			弁理士 村上 大勇

最終頁に続く

(54)【発明の名称】陽電子消滅特性測定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

陽電子源から発生した陽電子の被測定試料中における消滅特性を測定する陽電子消滅特性測定装置であって、

前記陽電子源における前記陽電子の発生に伴って発生する 線を検出しパルス出力をする発生 線検出器と、

前記陽電子の対消滅に伴って発生する 線を検出しパルス出力をする対消滅 線検出器と、

前記被測定試料に当接または近接して設置され、前記陽電子源を含み、かつ前記陽電子源が発した前記陽電子のうち前記被測定試料に入射しなかったものを検出してパルス出力をするヘッド部と、

前記発生 線検出器の前記パルス出力と前記対消滅 線検出器の前記パルス出力のうち、時間的に近接した組み合わせを抽出し、当該組み合わせを、前記発生 線検出器の前記パルス出力と前記ヘッド部の前記パルス出力とが時間的に近接しない第1の組み合わせと、前記発生 線検出器の前記パルス出力と前記ヘッド部の前記パルス出力とが時間的に近接する第2の組み合わせとに分類し、前記第1の組み合わせにおける前記対消滅 線検出器の前記パルス出力に基づき第1データを、前記第2の組み合わせにおける前記対消滅 線検出器の前記パルス出力に基づき前記第1データと同様の手法で作成された第2データを、それぞれ取得するデータ取得部と、

前記第2データを用いて前記第1データを解析することによって前記消滅特性を解析す

る解析部と、

を具備することを特徴とする陽電子消滅特性測定装置。

## 【請求項 2】

前記解析部は、

前記第 1 データに対して影響を及ぼす装置の特性に関連する量である装置データを前記第 2 データから算出し、当該装置データを用いて前記第 1 データに基づき前記被測定試料における前記消滅特性を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の陽電子消滅特性測定装置。

## 【請求項 3】

前記データ取得部において、前記対消滅線検出器の前記パルス出力と前記発生線検出器の前記パルス出力との間の時間差のヒストグラムが前記第 1 データ及び前記第 2 データとして作成され、

前記解析部は、前記第 1 データを複数の減衰特性の重ね合わせとしたフィッティングを、当該減衰特性の減衰時定数、前記重ね合わせにおける重ね合わせ係数をパラメータとして行い、前記減衰時定数、前記重ね合わせ係数の最適値を算出することを特徴とする請求項 2 に記載の陽電子消滅特性測定装置。

## 【請求項 4】

前記解析部は、前記第 2 データより、前記第 1 データにおける時間分解能、及び前記第 1 データにおける前記重ね合わせの原点となる基準時刻を、前記装置データとして算出することを特徴とする請求項 3 に記載の陽電子消滅特性測定装置。

## 【請求項 5】

前記データ取得部において、前記対消滅線検出器における前記パルス出力のパルス高のヒストグラムに対応するエネルギースペクトルが前記第 1 データ及び前記第 2 データとして作成されることを特徴とする請求項 1 に記載の陽電子消滅特性測定装置。

## 【請求項 6】

前記第 1 データ及び前記第 2 データにおいて、前記エネルギースペクトルは、前記対消滅線検出器の前記パルス出力と前記発生線検出器の前記パルス出力との間の時間差毎に作成されることを特徴とする請求項 5 に記載の陽電子消滅特性測定装置。

## 【請求項 7】

前記解析部は、前記第 1 データ及び前記第 2 データにおいて、時間差毎に作成された前記エネルギースペクトルのそれぞれに基づき特性値を算出し、予め定められた前記時間差に対応した前記特性値で、他の前記特性値を規格化することを特徴とする請求項 6 に記載の陽電子消滅特性測定装置。

## 【請求項 8】

前記解析部は、前記第 1 データにおける前記特性値の、前記第 2 データにおいて対応する前記特性値に対する比率を算出することを特徴とする請求項 7 に記載の陽電子消滅特性測定装置。

## 【請求項 9】

前記ヘッド部は、

前記陽電子源と、

前記陽電子源に対して前記被測定試料と反対側に配置され、前記陽電子を吸収することにより蛍光を発する陽電子検出用シンチレータと、

前記蛍光を受光して前記パルス出力をする受光部と、

を具備することを特徴とする請求項 1 から請求項 8 までのいずれか 1 項に記載の陽電子消滅特性測定装置。

## 【請求項 10】

前記陽電子検出用シンチレータは、無機シンチレータで構成されたことを特徴とする請求項 9 に記載の陽電子消滅特性測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 1 】

本発明は、被測定試料となる物質内における陽電子の消滅特性を解析するための陽電子消滅特性測定装置に関する。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

陽電子の物質中における寿命を測定することによって、金属、半導体等の結晶中の空孔や各種の点欠陥に関する情報が得られる。また、高分子等の絶縁物中ではサブナノからナノスケールの空隙の情報が得られる。このため、陽電子を物質に照射し、物質中でのその寿命を測定する陽電子消滅寿命測定法が用いられている。陽電子消滅寿命測定法は、特に原子空孔等のサブナノからナノスケールの構造評価に対して有効であることが知られている。

10

## 【 0 0 0 3 】

陽電子消滅寿命測定法においては、陽電子が物質中の電子と反応して対消滅によって消滅する際の約  $511 \text{ keV}$  のエネルギーの線を測定することによって、陽電子が消滅したタイミングが認識される。通常の陽電子消滅寿命測定法においては、陽電子源として  $^{22}\text{Na}$  が用いられ、 $^{22}\text{Na}$  の原子核が  $\beta^+$  崩壊する際に発生する陽電子が測定に用いられる。陽電子源は試料となる物質と接して設けられ、陽電子が物質に入射したタイミングは、 $^{22}\text{Na}$  内において原子核が  $\beta^+$  崩壊によって発生したタイミングとみなすことができ、この時点と上記のような陽電子が消滅したタイミングとの時間差が物質中での陽電子の寿命に対応する。この  $\beta^+$  崩壊に際しては、陽電子と同時に  $1.27 \text{ MeV}$  のエネルギーの線が発生するため、この線を計測したタイミングが、前記の寿命計測の開始タイミングとされる。このため、 $1.27 \text{ MeV}$  の線をスタート信号用の線とし、約  $511 \text{ keV}$  の線をストップ信号用の線とし、これらの検出タイミングの時間差を測定することによって、試料中における陽電子の寿命を測定することができる。測定の精度を高めるためには、このように対となって認識されるストップ信号用の線とスタート信号用の線の組み合わせの数（イベント数）が多くなることが好ましい。

20

## 【 0 0 0 4 】

図 1 2 は、このような陽電子消滅特性測定装置 8 0 0 の構成を簡略化して示す図であり、図 1 3 はこれによる測定原理を示す図である。図 1 2 において、試料（被測定試料）S 側からは、陽電子源 X から発生した前記の  $1.27 \text{ MeV}$  の線（スタート信号用線（発生線）0）と、試料 S から発せられた対消滅による前記の約  $511 \text{ keV}$  の線（ストップ信号用線（対消滅線）1）が発せられる。スタート信号用線 0 を検出するためのスタート信号用線検出器（発生ガンマ線検出器）1 1、ストップ信号用線 1 を検出するためのストップ信号用線検出器（対消滅線検出器）1 2 は、共にシンチレーション検出器による線計測によりこれらの線を検出してパルス出力をする。これらの検出器は、例えば線光子を吸収することにより可視光の発光をするシンチレータと、この発光を検出する光電子増倍管で構成される。

30

## 【 0 0 0 5 】

検出された線光子による出力パルスのパルス高によって、検出された線光子がスタート信号用線 0、ストップ信号用線 1 のどちらのエネルギーをもつかを認識することができる。このため、スタート信号用線検出器 1 1 がスタート信号用線 0 を認識し、ストップ信号用線検出器 1 2 がストップ信号用線 1 を認識する設定とされる。このため、スタート信号用線検出器 1 1 により認識されたスタート信号用線 0 の直後（略同時）にストップ信号用線検出器 1 2 により認識されたストップ信号用線 1 があれば、これらの検出時刻の差（時間差）が試料 S における陽電子消滅寿命に対応する。実際にはこのように測定された時間差は一定ではなく、その平均値やばらつき等、各種の統計量が試料 S の各種特性に対応するため、この時間差のヒストグラム（時間差データ）が取得される。また、スタート信号用線検出器 1 1、ストップ信号用線検出器 1 2 は試料 S 側から発せられた全てのスタート信号用線 0、ストップ信号用線 1 を検出することはできず、かつ、スタート信号用線検出器 1 1、ストップ信号用線検出

40

50

器 1 2 は時系列的に多くのスタート信号用 線 0、ストップ信号用 線 1を検出する。このため、ストップ信号用 線検出器 1 2で認識された一つのストップ信号用 線 1に対して、このストップ信号用 線 1を発した陽電子が陽電子源 Xで発生した際に発せられたスタート信号用 線 0に対応したスタート信号用 線検出器 1 1のパルス出力を適正に認識した上で、前記の時間差を測定することが必要になる。

#### 【 0 0 0 6 】

この場合において、スタート信号用 線検出器 1 1のパルス出力 D 0において、図 1 3 ( a )の上段の通りにパルス P 0 1 ~ P 0 4が順次出力され、ストップ信号用 線検出器 1 2のパルス出力 D 1において、図 1 3 ( a )の下段の通りにパルス P 1 1 ~ P 1 4が順次出力された場合について説明する。ここで、図 1 2におけるコインシデンス回路 2 0は、スタート信号用 線検出器 1 1のパルス出力 D 0とストップ信号用 線検出器 1 2のパルス出力 D 1において、検出時刻が近い(略同時であるとみなせる)パルスの組み合わせを抽出する。図 1 3 ( a )の場合には、パルス P 0 1とパルス P 1 1、パルス P 0 4と P 1 3の組み合わせがこれにより抽出される。図 1 3 ( b )は、この場合における時間軸を拡大した図であり、計数部 3 0は、パルス P 0 1の時刻 t 0とパルス P 1 1の時刻 t 1の差を上記の時間差として認識する。パルス P 0 4とパルス P 1 3の組み合わせについても同様に時間差を認識する。計数部 3 0は、同様にして抽出された多数のパルスの組み合わせの各々について、この時間差を検出し、上記の時間差データを、図 1 3 ( c )に模式的に示されたような形状のヒストグラム(度数分布)として作成することができる。

#### 【 0 0 0 7 】

図 1 3 ( a )において、スタート信号用 線検出器 1 1側( D 0 )のパルス P 0 2、P 0 3は対応するストップ信号用 線 1が検出されなかったため、あるいはストップ信号用 線検出器 1 2側( D 1 )のパルス P 1 2、P 1 4は対応するスタート信号用 線 0が検出されなかったために、上記の解析には使用されない。一般的には試料 S中での陽電子消滅寿命は  $\mu s e c$  以下と短く、図 1 3 ( a )における時間軸上で隣接するパルスの間隔がこれよりも十分長ければ、このように同一の陽電子の発生と消滅に対応すると推定される組み合わせを適正に認識することができ、各組み合わせにおける時間差を、陽電子消滅寿命に対応するものとして認識することができる。上記時間差データの精度を高めるには、認識された上記の組み合わせの数(有効な検出イベント)を多くすることが必要であり、このためには上記の測定のために長時間を要する。

#### 【 0 0 0 8 】

ここで、陽電子源 Xからは全方位角にわたり区別なく陽電子が発せられるが、このうち、上記の測定に寄与する(試料 S中で対消滅の 線を発する)のは、試料 Sに入射した陽電子のみである。このため、試料 Sによる有効な検出イベント数を多くするためには、図 1 2に示されたように陽電子源 Xの周囲の全方位を試料 Sが取り囲むような形態とすることが好ましい。しかしながら、この場合には、このような形態を実現することが容易ではない、あるいは試料 Sの種類によってはこうした形態を実現することが実質的に不可能である場合があった。このため、実際には、例えば小さな陽電子源 Xを2枚の薄板状の試料 Sで挟んだ形態とされ、実質的に図 1 2に示されたような形態とされる場合が多かった。

#### 【 0 0 0 9 】

しかしながら、こうした場合においても試料を2枚の薄板状とすることが必要となり、その実現が困難となる場合があった。また、この場合には試料をこのような薄膜状の形態とする加工が必要となった。これに対して、試料を非破壊で分析できることが望まれた。

#### 【 0 0 1 0 】

特許文献 1には、こうした点を考慮し、試料 Sに対しての加工を要さない陽電子消滅特性測定装置が記載されている。図 1 4 ( a )は、この陽電子消滅特性測定装置 9 0 0の構成を簡略化して示す図である。スタート信号用 線検出器 1 1、ストップ信号用 線検出器 1 2は、図 1 2の構成と同様に設けられる。また、コインシデンス回路 2 0も同様に設けられている。

#### 【 0 0 1 1 】

この場合においては、試料Sの主面に、陽電子源Xが組み込まれたヘッド部40（特許文献1においては陽電子検出器と記載）が当接して設けられる。この場合には、試料Sに対する加工は不要であり、ヘッド部40を試料Sに接触あるいは近接させた状態で測定が行われる。この場合には、有効な検出イベントを構成する陽電子は、ヘッド部40側から試料Sがある上側に向かったものだけとなるため、その数は図12の構成の場合の約半分となる。一方、試料Sに入射しなかった陽電子が陽電子源Xでスタート信号用線0を発することは同様である。更に、この陽電子は試料S以外（例えば試料Sと反対側の大気）でも対消滅線（ストップ信号用線1）を発生し、これはストップ信号用線検出器12で検出される。このように試料Sの外部で発生したストップ信号用線1においても、対応するスタート信号用線0が検出された場合には、前記のような（略）同時性が成立する。しかしながら、この場合のストップ信号用線1は試料S内で発生したものでないため、この組み合わせによる測定結果は試料Sとは無関係である。このため、図14(a)の形態の試料Sの評価を行うに際しては、このような組み合わせは上記のような有効な検出イベントと認識しないことが好ましい。

10

#### 【0012】

ヘッド部40は、このように試料Sに入射しなかった陽電子を検出するために用いられる。図14(b)は、ヘッド部40の構造を示す分解図である。このヘッド部40においては、試料S側に薄膜状の密封用カバー41、小さな陽電子源X、陽電子検出用シンチレータ42が積層される。陽電子検出用シンチレータ42は、陽電子を吸収することにより発光する材料で構成され、陽電子検出用シンチレータ42におけるこの発光は下側の集光器43で集光され、光電子増倍管（受光部）44で検出される。陽電子源Xは密封用カバー41によって陽電子検出用シンチレータ42上で保持され、密封用カバー41が十分に薄ければ、陽電子源Xから上方に放出された陽電子については、主に試料S中における陽電子の消滅特性を反映することとなり、密封用カバー41の材質は既知であり、その陽電子の消滅特性も既知であることから、その影響を取り除いて解析を行うことができる。陽電子源Xで発生し試料Sに入射しなかった陽電子は陽電子検出用シンチレータ42に入射すると考えることができる。このため、図14(b)において陽電子源Xから下側に向かった陽電子により陽電子検出用シンチレータ42が発した発光が光電子増倍管44のパルス出力として認識される。すなわち、ヘッド部40は、陽電子の発生源として機能すると同時に、図14(a)において下側に向かい試料Sには入射しなかった陽電子を検出するために用いられる。

20

30

#### 【0013】

この陽電子消滅特性測定装置900においては、スタート信号用線検出器11、ストップ信号用線検出器12、ヘッド部40のパルス出力における、前記のコインシデンス回路20とは逆の非同時性を認識するためのアンチコインシデンス回路50が用いられる。図15は、アンチコインシデンス回路50が用いられる場合の動作を説明する図である。図15の上段(D0)、中段(D1)は、図13(b)に対応し、ここでは、前記のように、前記のコインシデンス回路20を用いた同時性による選別により、組み合わせA、B、Cの各パルスが抽出されたものとする。一方、図15の下段は、対応する期間におけるヘッド部40の出力DHである。ここでは、組み合わせA、Cに対応する期間内ではDHでは出力が得られず、組み合わせBに対応する期間にDHの出力PH0が検出されたものとする。

40

#### 【0014】

この場合において、組み合わせBにおける陽電子（組み合わせBにおけるスタート信号用線0に対応した陽電子）は、試料Sに入射したものではないと推定できる。このため、上記のヒストグラム（時間差データ）を作成するにあたり、対応する期間で出力PH0が検出された組み合わせBは、時間差の計数の対象から排除される。D0とD1の間で同時性が認められた組み合わせA、B、Cのうち、組み合わせBにおいてDHとの同時性をアンチコインシデンス回路50が認識する（あるいは組み合わせA、CにおいてDHとの非同時性を認識すると）、計数部60は、組み合わせA、Cのみに関して上記の時間差

50

を算出して上記のヒストグラム作成のためのデータとして用いる。すなわち、この場合には、計数部 60 は、コインシデンス回路 20 により同時性が認識され、かつアンチコインシデンス回路 50 により非同時性が認められた組み合わせのみを抽出し、前記のように時間差を算出してそのヒストグラムを時間差データとして作成する。

【0015】

このように試料 S の一面に固定したヘッド部 40 を用いて試料 S に入射しなかった陽電子を認識し、この陽電子に起因すると推定される組み合わせを時間差の測定対象から除外することにより、試料 S に加工を施さなくとも、高精度で陽電子消滅寿命特性を測定することが可能となる。図 16 は、このようにして得られた時間差データの一例である。

【0016】

その後、この時間差データを解析するに際しては、例えば、異なる時定数をもつ複数の減衰特性の重ね合わせでこの時間差データに対するフィッティングを行うことにより、各減衰特性の時定数やその重ね合わせの際の係数を求めるという手法を用いることができる。この際に得られた時定数や重ね合わせの係数は、試料 S の物性や内部構造を直接反映するため、これによって試料 S における各種の情報を得ることができる。非特許文献 1 には、この解析の具体的手法が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0017】

【特許文献 1】特開 2012 - 127942 号公報

【非特許文献】

【0018】

【非特許文献 1】山脇正人、「サブナノ・ナノ空孔評価のための陽電子寿命測定技術の現状と課題」、産総研計量標準報告(2011年9月)、Vol. 3、No. 3、367頁

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0019】

例えば、スタート信号用 線検出器 11、ストップ信号用 線検出器 12 は、共に 線検出用のシンチレータと、この発光を検出する光電子増倍管で構成される。シンチレータにおいて 線を吸収した後には生じる発光には、例えば一定の寿命が存在し、この寿命はシンチレータの材料に応じて定まる。このため、上記のような各検出器の出力パルスの波形はシンチレータの発光特性(材料)等によって定まり、上記の時間差データの精度はこの波形等に応じて変化する。すなわち、上記のような時間差データにおける時間分解能は、検出器の特性によって定まる。

【0020】

このため、上記のようなフィッティングを行う際には、上記のように想定された各減衰特性として、実際にはこの時間分解能を考慮した上で補正されたものを用いることが必要となる。具体的には、非特許文献 1 に記載されるように、補正された各減衰特性は、補正前の各減衰特性と、上記の時間分解能に対応した広がりをもつガウス分布となる誤差関数とのコンボリューション(畳み込み)によって得られる。

【0021】

また、例えば実測された図 16 の特性を上記のように複数の減衰特性の重ね合わせであるとしたフィッティングを行う場合においては、その時間の原点(基準時刻)を定めた上でこの重ね合わせを行うことが必要となる。しかしながら、前記のような検出器の時間分解能の場合と同様に、この基準時刻も正確には図 16 において不定である。一方、上記のフィッティングの結果は、この基準時刻の設定によって大きく影響を受ける。このため、高精度の測定をするためには、この基準時刻を定めることも重要である。

【0022】

上記の時間分解能や基準時刻は、検出器を初めとする陽電子消滅特性測定装置を構成する各構成要素の特性等に応じて定まり、測定対象となる試料に対する測定とは別の測定、

10

20

30

40

50

例えば予め詳細な特性の判明している標準試料に対する測定によって求めることができる。実際には装置自身に起因してこのように測定結果に影響を与えるパラメータ（装置データ）は、上記の時間分解能や基準時刻以外にも存在するが、このようなパラメータについても同様である。

#### 【0023】

特許文献1に記載の技術を含め、従来の技術においては、高精度の測定を行うためには、このように標準試料を用いた他の測定が別途必要となった。ただし、一般的に、上記のような装置に依存するパラメータ（装置関数）は測定の度に常に同一であるとも限らない。このため、試料の特性をより高精度で算出するためには、このような標準試料の測定も試料の測定に応じて行うことが必要となった。

#### 【0024】

このため、試料に対する加工を必要とせず、かつ高精度で容易に陽電子消滅特性を測定することができる陽電子消滅特性測定装置が望まれた。

#### 【0025】

本発明は、かかる問題点に鑑みてなされたものであり、上記問題点を解決する発明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】

#### 【0026】

本発明は、上記課題を解決すべく、以下に掲げる構成とした。

本発明の陽電子消滅特性測定装置は、

陽電子源から発生した陽電子の被測定試料中における消滅特性を測定する陽電子消滅特性測定装置であって、前記陽電子源における前記陽電子の発生に伴って発生する線を検出しパルス出力をする発生線検出器と、前記陽電子の対消滅に伴って発生する線を検出しパルス出力をする対消滅線検出器と、前記被測定試料に当接または近接して設置され、前記陽電子源を含み、かつ前記陽電子源が発した前記陽電子のうち前記被測定試料に入射しなかったものを検出してパルス出力をするヘッド部と、前記発生線検出器の前記パルス出力と前記対消滅線検出器の前記パルス出力のうち、時間的に近接した組み合わせを抽出し、当該組み合わせを、前記発生線検出器の前記パルス出力と前記ヘッド部の前記パルス出力とが時間的に近接しない第1の組み合わせと、前記発生線検出器の前記パルス出力と前記ヘッド部の前記パルス出力とが時間的に近接する第2の組み合わせに分類し、前記第1の組み合わせにおける前記対消滅線検出器の前記パルス出力に基づき第1データを、前記第2の組み合わせにおける前記対消滅線検出器の前記パルス出力に基づき前記第1データと同様の手法で作成された第2データを、それぞれ取得するデータ取得部と、前記第2データを用いて前記第1データを解析することによって前記消滅特性を解析する解析部と、を具備することを特徴とする。

本発明の陽電子消滅特性測定装置において、前記解析部は、前記第1データに対して影響を及ぼす装置の特性に関連する量である装置データを前記第2データから算出し、当該装置データを用いて前記第1データに基づき前記被測定試料における前記消滅特性を算出することを特徴とする。

本発明の陽電子消滅特性測定装置は、前記データ取得部において、前記対消滅線検出器の前記パルス出力と前記発生線検出器の前記パルス出力との間の時間差のヒストグラムが前記第1データ及び前記第2データとして作成され、前記解析部は、前記第1データを複数の減衰特性の重ね合わせとしたフィッティングを、当該減衰特性の減衰時定数、前記重ね合わせにおける重ね合わせ係数をパラメータとして行い、前記減衰時定数、前記重ね合わせ係数の最適値を算出することを特徴とする。

本発明の陽電子消滅特性測定装置において、前記解析部は、前記第2データより、前記第1データにおける時間分解能、及び前記第1データにおける前記重ね合わせの原点となる基準時刻を、前記装置データとして算出することを特徴とする。

本発明の陽電子消滅特性測定装置は、前記データ取得部において、前記対消滅線検出器における前記パルス出力のパルス高のヒストグラムに対応するエネルギースペクトルが

10

20

30

40

50

前記第 1 データ及び前記第 2 データとして作成されることを特徴とする。

本発明の陽電子消滅特性測定装置は、前記第 1 データ及び前記第 2 データにおいて、前記エネルギースペクトルは、前記対消滅線検出器の前記パルス出力と前記発生線検出器の前記パルス出力との間の時間差毎に作成されることを特徴とする。

本発明の陽電子消滅特性測定装置において、前記解析部は、前記第 1 データ及び前記第 2 データにおいて、時間差毎に作成された前記エネルギースペクトルのそれぞれに基づき特性値を算出し、予め定められた前記時間差に対応した前記特性値で、他の前記特性値を規格化することを特徴とする。

本発明の陽電子消滅特性測定装置において、前記解析部は、前記第 1 データにおける前記特性値の、前記第 2 データにおいて対応する前記特性値に対する比率を算出することを特徴とする。

10

本発明の陽電子消滅特性測定装置において、前記ヘッド部は、前記陽電子源と、前記陽電子源に対して前記被測定試料と反対側に配置され、前記陽電子を吸収することにより蛍光を発する陽電子検出用シンチレータと、前記蛍光を受光して前記パルス出力をする受光部と、を具備することを特徴とする。

本発明の陽電子消滅特性測定装置において、前記陽電子検出用シンチレータは無機シンチレータで構成されたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0027】

本発明は以上のように構成されているので、試料に対する加工を必要とせず、かつ高精度で容易に陽電子消滅特性を測定することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図 1】本発明の実施の形態に係る陽電子消滅特性測定装置の構成を示す図である。

【図 2】本発明の実施の形態に係る陽電子消滅特性測定装置における動作を示すフローチャートである。

【図 3】本発明の実施の形態に係る陽電子消滅特性測定装置における、スタート信号用線検出器、ストップ信号用線検出器、ヘッド部のパルス出力の関係の例を示す図である。

【図 4】時間差データの一般的な解析手法を模式的に示す図である。

30

【図 5】本発明の実施の形態に係る陽電子消滅特性測定装置において得られる第 2 時間差データの具体的な例である。

【図 6】本発明の実施の形態に係る陽電子消滅特性測定装置の第 1 の変形例の構成を示す図である。

【図 7】本発明の実施の形態に係る陽電子消滅特性測定装置の変形例で測定された第 1 スペクトル、第 2 スペクトルの例である。

【図 8】領域内のカウント数積分量を用いた、一般的なエネルギースペクトルの解析手法を示す図である。

【図 9】第 1 スペクトル、第 2 スペクトルによる S パラメータ、W パラメータの経時変化を算出した結果である。

40

【図 10】第 1 スペクトル、第 2 スペクトルによる S パラメータ、W パラメータの経時変化を、それぞれにおける初期の値で規格化して算出した結果である。

【図 11】本発明の実施の形態に係る陽電子消滅特性測定装置の第 2 の変形例の構成を示す図である。

【図 12】従来の陽電子消滅特性測定装置の第 1 の例の構成を示す図である。

【図 13】従来の陽電子消滅特性測定装置の第 1 の例における、測定原理を説明する図である。

【図 14】従来の陽電子消滅特性測定装置の第 2 の例の構成を示す図である。

【図 15】従来の陽電子消滅特性測定装置の第 2 の例における、スタート信号用線検出器、ストップ信号用線検出器、ヘッド部のパルス出力の関係の例を示す図である。

50



【図16】実測された時間差データの例である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明の実施の形態に係る陽電子消滅特性測定装置について説明する。この陽電子消滅特性測定装置1は、特許文献1に記載の陽電子消滅特性測定装置と共通の構成要素を具備する。図1は、この陽電子消滅特性測定装置1の構成を図14(a)に対応させて示す図である。ここで、試料Sの形態、陽電子源X中で陽電子が発生した際のスタート信号用線(発生線)0を検出するスタート信号用線検出器(発生線検出器)11、陽電子の対消滅によって発生したストップ信号用線(対消滅線)1を検出するストップ信号用線検出器(対消滅線検出器)12については前記の陽電子消滅特性測定装置900と同様であり、ヘッド部40も同様に用いられ、その構造も図14(b)に示されたものと同様である。このため、陽電子源Xを具備するヘッド部40により、試料Sに入射しなかった陽電子が検出されることも同様である。

10

【0030】

また、コインシデンス回路20、アンチコインシデンス回路50も同様に用いられ、これらは電子消滅特性測定装置900における場合と同様の判定をする。すなわち、コインシデンス回路20によりスタート信号用線検出器11、ストップ信号用線検出器12の出力パルスの(略)同時性が認識され、アンチコインシデンス回路50により、スタート信号用線検出器11、ストップ信号用線検出器12の出力パルスとヘッド部40の出力パルスの(略)非同時性が認識される。

20

【0031】

なお、前記のように、スタート信号用線検出器11、ストップ信号用線検出器12は実際には線検出用のシンチレータと光電子増倍管とで構成されるため、これらとヘッド部40の構成(図14(b))は類似している。ただし、スタート信号用線検出器11、ストップ信号用線検出器12におけるシンチレータとしては線を吸収することにより蛍光を発するものが用いられるのに対して、陽電子検出用シンチレータ42としては陽電子を吸収することにより蛍光を発するものが用いられる。

【0032】

また、スタート信号用線検出器11、ストップ信号用線検出器12においては、出力パルス間の時間差が正確に算出できるように、出力パルスの時刻が高い時間分解能をもって認識できるような持続時間の短い発光をする、高い時間分解能をもつ線検出用のシンチレータが使用される。一方、ヘッド部40の出力パルスは、アンチコインシデンス回路50による(略)非同時性の判定のみに用いられ、この出力パルスの時刻が高い精度で認識される必要はない。このため、陽電子検出用シンチレータ42には、高い時間分解能は要求されない。

30

【0033】

計数部(データ取得部)70は、前記と同様にコインシデンス回路20による同時性の判定結果、及びアンチコインシデンス回路50による非同時性(同時性)の判定結果に基づいて、時間差に対応した計数を行うが、その動作の内容は前記の計数部60とは異なり、ここでは上記の判定結果に応じた計数によって作成した2つのヒストグラム(第1時間差データ、第2時間差データ)を作成し、これらを記憶部80に記憶させる。第1時間差データは、前記の電子消滅特性測定装置900で得られた時間差データと同じものであり、第2時間差データは、後述するように、第1時間差データにおける、試料Sの陽電子消滅特性に対して装置に起因して発生した影響を除去するためのデータとして用いられる。

40

【0034】

寿命解析部(解析部)90は、記憶部80から第2時間差データを読み出し、第1時間差データにおいて、上記のように装置に起因して発生した影響を考慮し、試料Sの本来の陽電子消滅特性の解析結果を出力する。

【0035】

図2は、この陽電子消滅特性測定装置1における動作のフローチャートである。ここで

50

は、まず、スタート信号用 線検出器 1 1、ストップ信号用 線検出器 1 2、ヘッド部 4 0 による検出が継続的に行われ、計数部 7 0 は、これに応じて 2 つのヒストグラムを作成する ( S 1 )。この動作の内容について以下に詳細に説明する。

【 0 0 3 6 】

図 3 は、スタート信号用 線検出器 1 1、ストップ信号用 線検出器 1 2 の出力 ( D 0 、 D 1 ) と、ヘッド部 4 0 の出力 ( D H ) のうち、D 0 と D 1 のパルス出力のうち、コインシデンス回路 2 0 により ( 略 ) 同時性があると認識されたものを示す例であり、図 1 5 に対応する。ここでは、このように認識される組み合わせとして、組み合わせ D ~ H の 5 つがあるものとする。

【 0 0 3 7 】

また、このうち、組み合わせ E、G において、D 0、D 1 のパルス出力と、D H のパルス出力との間に ( 略 ) 同時性が認識されている。この判定は、アンチコインシデンス回路 5 0 を用いて行うことができる。前記の電子消滅特性測定装置 9 0 0 では、組み合わせ E、G は時間差の測定においては除外され、他の組み合わせ D、F、H のみが時間差の測定 ( 時間差データの作成 ) に用いられた。

【 0 0 3 8 】

これに対して、この電子消滅特性測定装置 1 において、計数部 7 0 は、組み合わせ D、F、H ( 第 1 の組み合わせ ) における時間差のヒストグラムを第 1 時間差データとして作成すると共に、これとは別に、組み合わせ E、G ( 第 2 の組み合わせ ) における時間差も測定し、そのヒストグラムを第 2 時間差データとして作成する。すなわち、アンチコインシデンス回路 5 0 によりヘッド部 4 0 の出力との間の非同時性が認められた第 1 の組み合わせからなる第 1 グループとし、同時性が認められた ( 非同時性が認められなかった ) 第 2 の組み合わせを第 2 グループとし、計数部 7 0 は、上記のような時間差データを、第 1 グループ、第 2 グループについて個別に作成する。

【 0 0 3 9 】

測定が終了したら、第 1 時間差データ ( 第 1 データ ) と第 2 時間差データ ( 第 2 データ ) は、互いに独立したデータとして記憶部 8 0 に記憶される ( S 2 )。

【 0 0 4 0 】

ここで、第 1 時間差データは、前記のとおり陽電子の試料 S 中における消滅特性を反映する。図 1 4 ( b ) の構造において、密封用カバー 4 1 を十分に薄くすれば、この特性は主に試料 S 中における陽電子の消滅特性を反映することとなり、密封用カバー 4 1 の材質は既知であり、その陽電子の消滅特性も既知であることから、その影響を取り除いて解析を行うことができる。第 2 時間差データは、主にヘッド部 4 0 側における消滅特性を反映する。ここで、試料 S は測定の対象であるのに対して、陽電子検出用シンチレータ 4 2 の材料は定まっているため、その特性を予め知ることが可能であり、陽電子検出用シンチレータ 4 2 を標準試料として用いることができる。すなわち、この電子消滅特性測定装置 1 においては、試料 S に対する測定と、標準試料となる陽電子検出用シンチレータ 4 2 に対する測定が同時に行われる。

【 0 0 4 1 】

図 4 は、例えば図 1 6 に示されたようなヒストグラム ( 時間差データ ) に対する解析の一般的な手法を模式的に示す図である。ここでは、時間差データ ( 下段 ) が、上段に示すような 2 つの異なる時定数 ( 1、2 ) をもつ減衰特性 1、2 の重ね合わせであるものとする。ここで、1、2 の値と減衰特性 1、2 の重ね合わせに対する 2 つの係数をパラメータとしたフィッティングを行うことにより、各係数と各時定数の最適値を算出することができる。この際、重ね合わされる各減衰特性を前記のように時間分解能を用いて補正するためには、この時間分解能が予め判明していることが要求される。また、また、前記のように、このフィッティングの際に、ヒストグラムの横軸 ( 時間軸 ) の原点となる基準時刻が定まっていることも要求される。このような時間分解能や基準時刻は、装置に起因して定まる装置データであり、こうした装置データも上記のフィッティングによって同時に求める ( 上記のフィッティングの際のパラメータとする ) ことも原理的には不可能で

10

20

30

40

50

はないが、この場合には、フィッティングのパラメータの数が多くなる。一般的に、フィッティングの際のパラメータの数が多くなった場合には、最終的に算出されたパラメータの数値の誤差が大きくなる。このため、この場合には、算出された上記の時定数の値の誤差が大きくなる。

#### 【 0 0 4 2 】

このため、前記のように、試料 S に対する測定とは別に、標準試料に対する測定を行い、これによって上記の時間分解能や基準時刻を算出することが好ましい。標準試料としては、例えば陽電子消滅寿命（平均）が零でありかつその分布の広がりも零である 関数的な特性をもつものが理想的であるが、実際にはこのような物質は存在しない。このため、ここで用いられる標準試料としては、例えば陽電子消滅寿命が試料 S よりも十分短く、かつその陽電子消滅特性（図 1 6）が、単一の減衰特性で表されるものを用いることができる。この場合においては、フィッティングにおけるパラメータの数が少なくなるため、フィッティングにより算出された時間分解能や基準時刻の値の誤差を小さくすることができる。更に、上記の減衰の時定数の値を既知とすれば、パラメータは時間分解能と基準時刻の 2 つのみとなるため、時間分解能と基準時刻を更に正確に算出することができる。なお、時間分解能と基準時刻以外にも、同様に上記の解析において影響を与える他の装置起因のパラメータ（装置データ）を求め、これを第 1 時間差データの解析に用いることができる。

10

#### 【 0 0 4 3 】

上記のヘッド部 4 0 における陽電子検出用シンチレータ 4 2 の材料として、こうした標準試料となる材料を用いることができる。前記の通り、陽電子検出用シンチレータ 4 2 自身における発光の時間分解能は要求されず、その代わりに上記のような標準試料としての好ましい特性をもつものを用いることができる。こうした材料としては、例えば  $BaF_2$  のような無機結晶（無機シンチレータ）のように単一の陽電子消滅寿命成分を示すものを用いることができる。図 5 は、この場合において実際に得られた第 2 時間差データの例である。この場合には、陽電子消滅寿命が図 1 6 の場合よりも短く、かつ単一の減衰時定数をもつことが確認できる。寿命解析部 9 0 は、図 5 の特性に対して、この材料における陽電子消滅寿命を既知とし、時間分解能、基準時刻をパラメータとしたフィッティングを行うことにより、時間分解能、基準時刻を算出できる（S 3）。

20

#### 【 0 0 4 4 】

その後、寿命解析部 9 0 は、このように得られた時間分解能、基準時刻を用いて、第 1 時間差データに対する図 4 に示された解析を行うことができる。この際、例えば第 1 時間差データが減衰特性 1、2 の重ね合わせであると仮定した際の、上記の時間分解能を考慮し、かつ上記の基準時刻を用いて、各減衰特性の時定数（ $\tau_1$ 、 $\tau_2$ ）と重ね合わせの係数（ $C_1$ 、 $C_2$ ）をパラメータとしたフィッティングを行い、各時定数、各係数を算出することができる（S 4）、その結果を出力させることができる（S 5）。この結果においては、時間分解能や基準時刻による影響が補正されているため、この結果は試料 S をより正確に反映する。

30

#### 【 0 0 4 5 】

上記の陽電子消滅特性測定装置 1 によって、試料 S に加工を施さずに、ヘッド部 4 0 を試料 S に当接又は近接させて、試料 S の陽電子消滅寿命を正確に測定することができる。同様の構成を用いて、陽電子消滅寿命以外の消滅特性も正確に測定することができる。図 6 は、このような陽電子消滅特性測定装置 2 の構成を示す。

40

#### 【 0 0 4 6 】

この陽電子消滅特性測定装置 2 は、陽電子消滅における寿命 - 運動量相関（AMOC : Age - Momentum Correlation）測定を行う。ここでは、前記の陽電子消滅特性測定装置 1 と同様の機能に加えて、試料 S 中における対消滅線（ストップ信号用線 1）のエネルギースペクトル（エネルギーの広がり）が評価される。このエネルギースペクトルは、陽電子と反応して対消滅した試料 S 中の電子の状態（運動量）を反映する。ここでは、前記の陽電子消滅特性測定装置 1 と同様に計数部 7 0、寿命解析部

50

90が用いられるため、上記と同様に試料Sにおける陽電子消滅寿命を正確に測定することができる。

【0047】

一方、ここでは、試料S側から発せられた線を検出するための半導体検出器（消滅線検出器）100が更に設けられる。半導体検出器100は、ストップ信号用線検出器12と同様に、試料S側から発せられた対消滅線を検出する。この線光子は、ストップ信号用線検出器12における場合と同様に、パルス出力として認識され、そのパルス高が線のエネルギーに対応することも同様である。ただし、このパルス高（エネルギー）に対する分解能は、シンチレータが用いられたストップ信号用線検出器12よりも高い。このため、ストップ信号用線検出器12においては対消滅線の検出タイミングの認識が主機能であったのに対し、半導体検出器100によって、対消滅線の中心エネルギー（511keV）周辺におけるエネルギースペクトルを得ることができる。前記の時間差の場合と同様に、このエネルギースペクトルは、多数回の検出を行った際の横軸をエネルギーとしたヒストグラムとして、スペクトル作成部（データ取得部）110が作成する。

10

【0048】

ここで、スタート信号用線検出器11の出力、ストップ信号用線検出器12、半導体検出器100の出力の（略）同時性を判定するトリプルコインシデンス回路120、ヘッド部40と半導体検出器100の出力の（略）非同時性を判定するアンチコインシデンス回路130が、前記のコインシデンス回路20、アンチコインシデンス回路50と同様に用いられる。この場合、前記と同様に、トリプルコインシデンス回路120によってスタート信号用線検出器11、ストップ信号用線検出器12の出力パルスと同時性が認められた半導体検出器100の出力パルスは、ストップ信号用線（対消滅線）1に対応すると推定される。このうち、アンチコインシデンス回路130によってヘッド部40の出力との非同時性が認められたものは、試料Sにおいて発生したものであり、同時性が認められたものは試料S外（ヘッド部40）で発生したものと推定される。

20

【0049】

このため、前記の時間差データと同様に、スペクトル作成部110は、トリプルコインシデンス回路120によって同時性が認められた半導体検出器100の出力パルスのうち、アンチコインシデンス回路130によって非同時性が認められたもののパルス高（エネルギー）のヒストグラムを第1スペクトル（第1データ）として作成し、これを記憶部80に記憶させる。一方、スペクトル作成部110は、トリプルコインシデンス回路120によって同時性が認められた半導体検出器100の出力パルスのうち、アンチコインシデンス回路130によって非同時性が認められなかった（同時性が認められた）もののエネルギーのヒストグラムを、同様に第2スペクトル（第2データ）として作成し、これを記憶部80に記憶させる。

30

【0050】

前記の通り、第1スペクトルは、試料Sにおいて陽電子と反応した電子の状態を反映し、第2スペクトルは、ヘッド部40（陽電子検出用シンチレータ42）において陽電子と反応した電子の状態を反映する。陽電子検出用シンチレータ42としては予め定まった材料が用いられ、エネルギースペクトルにおける標準試料としても用いることができる。スペクトル解析部（解析部）140は、例えば第1スペクトル中における値の第2スペクトル中における値に対する比率等を用いて、試料S中の電子の状態の解析を行うことができる。図7は、実際に測定された第1スペクトル、第2スペクトルの例である。縦軸が対数表示であるが、両者の差異が確認できる。

40

【0051】

ここで、前記の計数部70がストップ信号用線検出器12とスタート信号用線検出器11のパルス出力の時間差を計測し、スペクトル作成部110は、半導体検出器100の出力パルスのエネルギー計測し、これらふたつの計測による信号のコインシデンス時のみに計測をすることもできる。この場合には、上記の第1スペクトル、第2スペクトルを

50

、この時間差毎にそれぞれ複数作成することができる。この場合、例えば試料 S 中における初期の陽電子消滅における電子・陽電子の状態を反映したエネルギーと、長時間経過後の陽電子消滅における電子・陽電子の状態を反映したエネルギーを、個別に評価できる。ここで第 2 スペクトルを標準として用いることができるため、寿命計測同様にエネルギー測定においても装置の状態の変化の影響を取り除くことができる。

#### 【 0 0 5 2 】

以下に、実際にこの解析を行った結果について説明する。図 8 は、一般的なエネルギースペクトルに対する解析の手法を示す例である。ここで、中心エネルギー（約 5 1 1 k e V）の周りの広がり大きい場合には、この対消滅線を発生させた電子の運動量が大きく、この広がり小さな場合にはこの運動量が小さい。ただし、実際に得られるエネルギースペクトルにおいては統計的誤差が多いために、実際にこの広がりを数値的に評価することは容易ではない。このために、図 8 において、中央の領域 X におけるカウント数の全体カウント数に対する比率（S パラメータ）、領域 Y（両側）におけるカウント数の全体カウント数に対する比率（W パラメータ）が、この評価のための特性値として用いられる。これらのパラメータにおいては、領域内のカウント数の積分値が用いられるため、統計的誤差を小さくした状態での評価が可能となる。前記のようにエネルギースペクトルを時間差毎に求めた場合には、各エネルギースペクトルにおけるカウント数は特に小さくなるため、これらのパラメータを用いることが有効となる。S パラメータとは W パラメータとは負の相関があることは明らかであるが、その係数（縦軸：W パラメータ、横軸：S パラメータとした場合の傾き）から陽電子の消滅相手の元素の情報が得られる。

#### 【 0 0 5 3 】

図 9 は、上記のように複数の時間差（- 2 0 0 p s、1 0 0 p s、4 0 0 p s、7 0 0 p s）毎に試料 1、試料 2 について算出し、それぞれで上記の S パラメータ、W パラメータを算出した結果（試料 1：黒丸、試料 2：白丸）である。ここでは、前記のようなエネルギー測定標準値による補正が行われていないため、試料 1 と試料 2 の結果の比較が困難である。

#### 【 0 0 5 4 】

これに対して、図 1 0 は、それぞれにおける時間差が - 7 5 0 p s ~ 5 0 p s の場合の試料 1、試料 2 による S パラメータ、W パラメータで、図 9 における S パラメータ、W パラメータを用いて規格化した場合である。ここでは早い時刻で S パラメータと W パラメータが同じ値を示すことが既知であったため、規格化が可能であった。ここで、時間の経過とともに、試料 1、試料 2 の結果が乖離している。これは、S パラメータ、W パラメータは、初期には金属材料のバルク中における陽電子消滅を示しているために同じ値になるが、時間の経過とともに欠陥に捕捉された陽電子の消滅成分を反映するためである。このため、各試料における欠陥内部の化学構造が異なることを明確に示すことができている。本発明では、このような方法を用いなくとも、第 2 スペクトルのデータを用いて規格化することが可能となるため、全く異なる変化を示す 2 つの試料においても高精度に比較することが可能となる。

#### 【 0 0 5 5 】

このため、上記のように第 1 時間データ、第 2 時間差データを算出すると共に、第 1 スペクトル、第 2 スペクトルを作成する図 6 の構成は、A M O C 測定において特に有効である。また、逆に、このような時間差毎の解析を行わない場合には、図 6 の陽電子消滅特性測定装置 2 の変形例として、図 1 1 に示す陽電子消滅特性測定装置 3 を用いることもできる。このように、単にエネルギー測定のみを行う場合においては、アンチコインシデンス回路 1 3 1 を用いてヘッド 4 0 のパルス出力と半導体検出器 1 0 0 のパルス出力の非同時性、同時性を判定することによって第 1 スペクトル、第 2 スペクトルを前記と同時に作成することができる。前記の寿命測定の場合と同様に、標準試料（陽電子検出用シンチレータ 4 2）として、例えば予め電子の運動量分布（エネルギースペクトルの広がりに対応）が判明しているものを用いて、第 2 スペクトルよりエネルギー分解能の変化を評価し、この結果を第 1 スペクトルの解析に反映させることもできる。

## 【 0 0 5 6 】

なお、上記の例では、各スペクトルにおいて、その広がりを評価するための特性値として、前記のようなSパラメータ、Wパラメータが用いられた。しかしながら、このような特性値としては、他の手順で第1スペクトル、第2スペクトルから作成されたものを用いてもよい。また、上記の例ではエネルギースペクトルの広がりが評価の対象となったが、エネルギースペクトルにおける他の特性を評価する場合には、そのために用いる特性値はその内容に応じて適宜設定される。

## 【 0 0 5 7 】

上記の陽電子消滅特性測定装置1においては、試料Sに対応するデータ(第1データ)、試料S以外に対応するデータ(第2データ)として、それぞれ第1時間差データ、第2時間差データが作成され、陽電子消滅特性測定装置2においては、更に第1データ、第2データとして、それぞれ第1スペクトル、第2スペクトルが作成された。この他にも、ヘッド部40のパルス出力との非同時性、同時性の判定を用いて、試料Sに対応する第1データ、試料S以外(ヘッド部40)に対応する第2データを、測定の目的(測定される物理量)に応じて適宜設定することができる。この際、第1データ、第2データは、消滅線検出器の出力パルスを、上記のような同時性、非同時性に応じて2つのグループに選別し、同様の手法を各グループに適用した上で作成される。上記の例では、この手法は、発生線との間の時間差のヒストグラムを作成すること(第1時間差データ、第2時間差データ)、パルス高のヒストグラムを作成すること(第1スペクトル、第2スペクトル)であったが、この手法は、測定の内容に応じて適宜設定が可能である。

## 【 0 0 5 8 】

また、上記のヘッド部40と同様に、陽電子源Xを含み、かつ試料S側に入射しない陽電子を検出してパルス出力をすることができる限りにおいて、ヘッド部の具体的構成は任意である。上記の例では、陽電子検出用シンチレータ42が標準試料となったが、この場合には、標準試料はこの具体的構成に応じて適宜設定される。同様に、発生ガンマ線検出器、対消滅線検出器についても、適宜設定が可能である。また、上記の例では、解析部(寿命解析部90、スペクトル解析部140)が陽電子消滅特性測定装置内に設けられたが、上記のように第1データ、第2データが個別に作成されれば、上記の解析部と同様の動作を外部の機器(パーソナルコンピュータ等)で行わせてもよい。

## 【 0 0 5 9 】

このように、上記の陽電子消滅特性測定装置においては、試料に加工を施すことが不要であり、かつ、被測定試料に対する測定と標準試料に対する測定を実質的に同時に行うことができるため、高効率で高精度の測定を行うことができる。

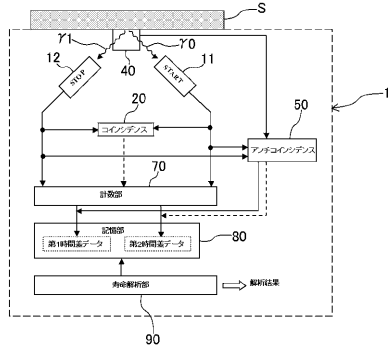
## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 6 0 】

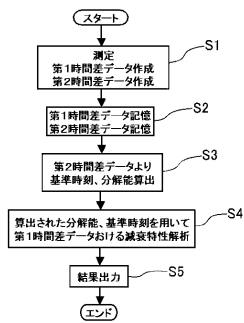
- 1、2、3、800、900 陽電子消滅特性測定装置
- 11 スタート信号用 線検出器(発生ガンマ線検出器)
- 12 ストップ信号用 線検出器(対消滅線検出器)
- 20 コインシデンス回路
- 30、60、70 計数部(データ取得部)
- 40 ヘッド部
- 41 密封用カバー
- 42 陽電子検出用シンチレータ
- 43 集光器
- 44 光電子増倍管(受光部)
- 50、130、131 アンチコインシデンス回路
- 80 記憶部
- 90 寿命解析部(解析部)
- 100 半導体検出器
- 110 スペクトル作成部(データ取得部)

- 1 2 0 トリプルコインシデンス回路
- 1 4 0 スペクトル解析部 (解析部)
- P 0 1 ~ P 0 4、P 1 1 ~ P 1 4、P H 0、P H 1 パルス
- S 試料 (被測定試料)
- X 陽電子源
- 0 スタート信号用 線 (発生 線)
- 1 ストップ信号用 線 (対消滅 線)

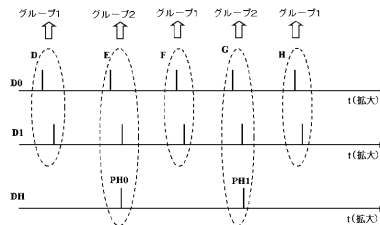
【図 1】



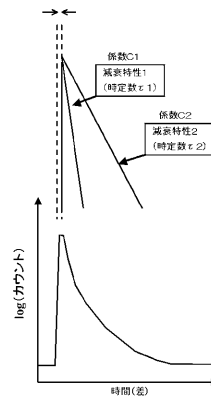
【図 2】



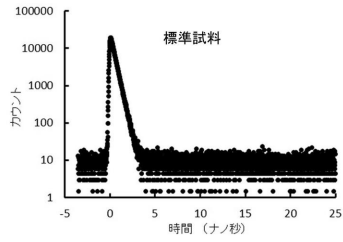
【図 3】



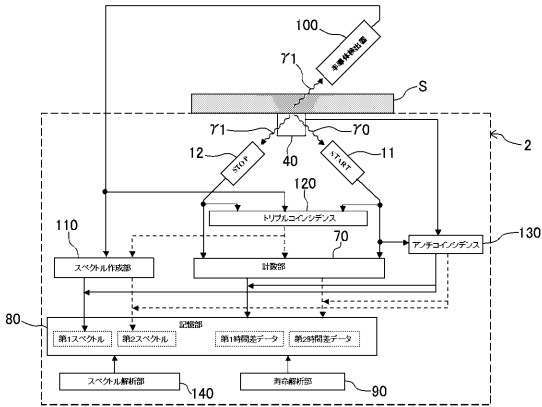
【図 4】



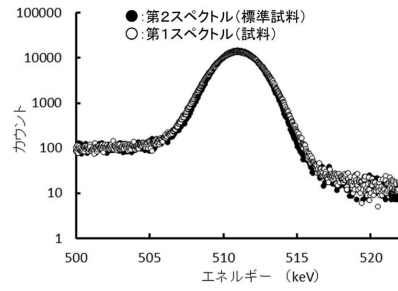
【図5】



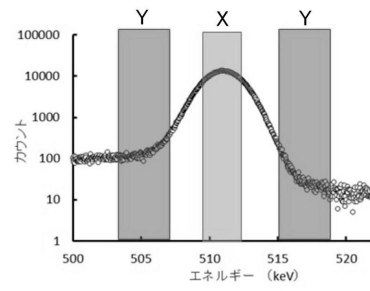
【図6】



【図7】

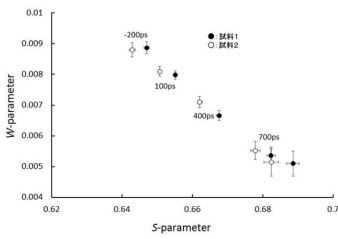


【図8】

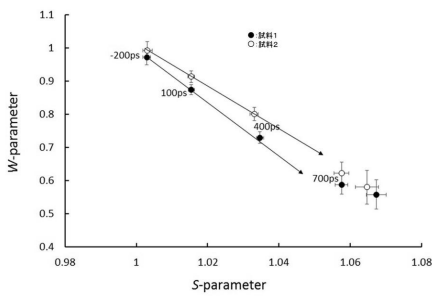


10

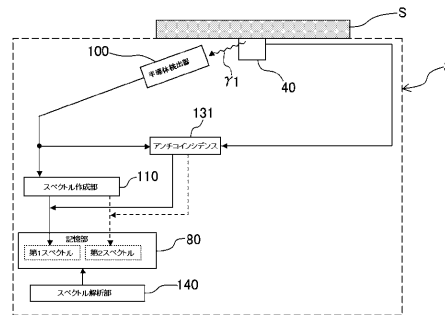
【図9】



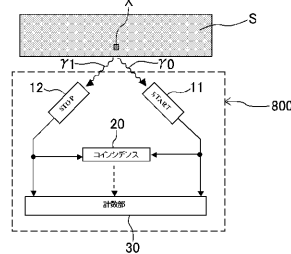
【図10】



【図11】

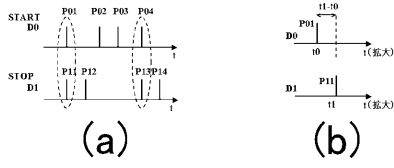


【図12】

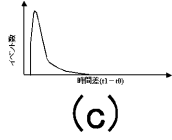
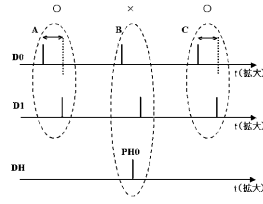




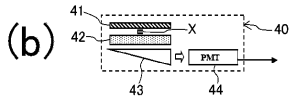
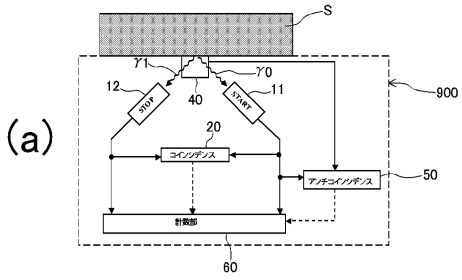
【図 13】



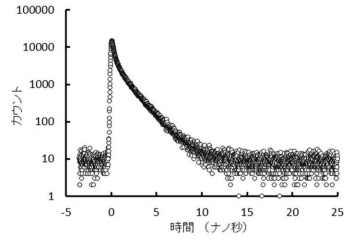
【図 15】



【図 14】



【図 16】



---

フロントページの続き

(72)発明者 平出 哲也

茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所内

(72)発明者 山脇 正人

茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第1 国立研究開発法人産業技術総合研究所内

審査官 田中 洋介

(56)参考文献 特開2018-040645(JP,A)

特開2001-264272(JP,A)

平出哲也, 陽電子消滅ガンマ線寿命 - 運動量相関(AMOC)測定の高計数化の試み, 第55回  
アイソトープ・放射線研究会発表会要旨集, 2018年, p.68(2p II 02)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/00 - 23/2276

G01T 1/00 - 7/12

JSTPlus/JST7580(JDreamIII)