

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4875892号
(P4875892)

(45) 発行日 平成24年2月15日(2012.2.15)

(24) 登録日 平成23年12月2日(2011.12.2)

(51) Int. Cl. F 1
GO 1 N 23/22 (2006.01) GO 1 N 23/22
GO 1 T 1/22 (2006.01) GO 1 T 1/22
GO 1 T 1/172 (2006.01) GO 1 T 1/172

請求項の数 10 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-378553 (P2005-378553)	(73) 特許権者	506003565 大栄無線電機株式会社 東京都千代田区外神田3-10-10
(22) 出願日	平成17年12月28日(2005.12.28)	(73) 特許権者	504137912 国立大学法人 東京大学 東京都文京区本郷七丁目3番1号
(65) 公開番号	特開2007-178329 (P2007-178329A)	(74) 代理人	100124718 弁理士 増田 建
(43) 公開日	平成19年7月12日(2007.7.12)	(72) 発明者	齋藤 晴雄 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大 学法人東京大学内
審査請求日	平成20年12月19日(2008.12.19)	(72) 発明者	浅井 圭介 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立 大学法人東北大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 陽電子寿命測定装置及び測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

陽電子線源と、

前記陽電子線源との間に透明な被測定試料を挟んで配置された光検出装置と、

前記被測定試料に前記陽電子線源から入射された陽電子が、該被測定試料中で消滅する際に発生する線をストップ信号として検出する線検出装置と、を備え、

前記光検出装置は、前記陽電子線源から前記陽電子が前記被測定試料中に入射された際に発生するチェレンコフ光をスタート信号として検出して、

前記ストップ信号と前記スタート信号の検出時刻の差を陽電子寿命として算出することを特徴とする陽電子寿命測定装置。

【請求項2】

陽電子線源と、

前記陽電子線源に対向して配置されたチェレンコフ発光体と、

前記陽電子線源から放射された陽電子が、前記チェレンコフ発光体中を通過する際に発生するチェレンコフ光をスタート信号として検出する光検出装置と、

前記チェレンコフ発光体を介して前記陽電子線源に対向して配置された被測定試料中で、該チェレンコフ発光体中を通過した前記陽電子が消滅する際に発生する線をストップ信号として検出する線検出装置と、

を備え、

前記ストップ信号と前記スタート信号の検出時刻の差を陽電子寿命として算出することを

特徴とする陽電子寿命測定装置。

【請求項 3】

前記被測定試料は不透明である、請求項 2に記載された陽電子寿命測定装置。

【請求項 4】

前記線検出装置は、複数の線検出手段を有する請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 つに記載された陽電子寿命測定装置。

【請求項 5】

2 つの前記線検出手段が、前記被測定試料を挟んで対向する位置に配置された請求項 4に記載された陽電子寿命測定装置。

【請求項 6】

前記光検出装置及び前記線検出装置が検出した波形信号をデジタル化するデジタル化手段と、

前記デジタル化した波形信号を処理して時間スペクトルを得る波形解析手段と、
を有する請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 つに記載された陽電子寿命測定装置。

【請求項 7】

前記時間スペクトルの時間分解能の半値幅は 80 p s 以上 180 p s 以下である、請求項 6に記載された陽電子寿命測定装置。

【請求項 8】

前記時間スペクトルの時間分解能の半値幅は 80 p s 以上 110 p s 以下である、請求項 6に記載された陽電子寿命測定装置。

【請求項 9】

透明な被測定試料を準備するステップと、

陽電子を放射させるステップと、

前記陽電子を前記被測定試料に入射させるステップと、

前記被測定試料中に前記陽電子が入射された際に発生するチェレンコフ光をスタート信号として検出するステップと、

前記陽電子が前記被測定試料中で消滅する際に発生する線をストップ信号として検出するステップと、

前記ストップ信号と前記スタート信号の検出時刻の差を陽電子寿命として算出するステップと、

を含む陽電子寿命測定方法。

【請求項 10】

被測定試料およびチェレンコフ発光体を準備するステップと、

陽電子を放射させるステップと、

前記陽電子を前記チェレンコフ発光体に入射させるステップと、

前記チェレンコフ発光体中に前記陽電子が入射された際に発生するチェレンコフ光をスタート信号として検出ステップと、

前記チェレンコフ発光体を通過した前記陽電子を前記被測定試料に入射させるステップと、

前記被測定試料に入射した前記陽電子が、該被測定試料中で消滅する際に発生する線を
ストップ信号として検出するステップと、

前記ストップ信号と前記スタート信号の検出時刻の差を陽電子寿命として算出するステップと、

を含む陽電子寿命測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、陽電子寿命測定装置及び測定方法に関し、さらに詳しくは、被測定試料である物質中の格子欠陥やポジトロニウムの検知および評価、あるいはポリマーの自由体積測定等に用いられる陽電子寿命測定装置及び測定方法に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

陽電子寿命測定装置は、金属、半導体、化合物等の物質中に存在する空孔や転位等の格子欠陥を検出し、研究する手法としてもっとも高感度で有力な手法の一つである。陽電子が被測定試料に入射した時刻と、入射した陽電子が被測定試料中の電子と衝突して消滅した時刻とをそれぞれ検出し、その時刻差の頻度分布をとって陽電子の寿命を求める。

【0003】

例えばアニールした銅板などの被測定試料122は、図8に示すように ^{22}Na 陽電子線源120を挟んで密着して配置される(図8では離して描かれている)。 ^{22}Na 陽電子線源120から陽電子が放射されると1.275 MeVの核線が発生し、この陽電子が被測定試料122中で消滅すると対の0.511 MeVの陽電子消滅線が発生する。陽電子が被測定試料122中に入射した時刻をスタート時刻、その入射陽電子が被測定試料122中で消滅した時刻をストップ時刻とよぶことにすると、1.275 MeVの核線を捕捉した時刻をスタート時刻と、0.511 MeVの陽電子消滅線を捕捉した時刻をストップ時刻とみなし、ストップ時刻とスタート時刻の差から被測定試料122において陽電子が存在した時間の長さを測定することができる。

10

【0004】

図7に従来型の陽電子寿命測定装置100の一例を示す(特許文献1を参照)。陽電子寿命測定装置100は、上記 ^{22}Na 陽電子線源120と、これを挟んで密着して配置される被測定試料122と、これらから発生する線を捕捉する線検出装置105とから構成される。線検出装置105は、陽電子線源120からの1.275 MeVの核線(スタート信号)を捕らえて光に変換するシンチレータ111と、被測定試料122中で消滅した陽電子の放出する0.511 MeVの陽電子消滅線(ストップ信号)を捕らえて光に変換するシンチレータ110とを含む。シンチレータ110、111は、例えば BaF_2 などで形成される。

20

【0005】

また、線検出装置105において、シンチレータ110、111で発生した光は光電子増倍管(PMT)112で電気信号に変換され、デジタルオシロスコープ114またはデジタイザ116等によりデジタル化され、このデジタルデータが例えばパーソナルコンピュータ(PC)118に転送される。

30

【0006】

光電子増倍管の波形は例えば図9のようになり、この波形から各シンチレータ110、111が線を捕らえた時刻を特定することができる。まず、各点の間隔は一般に約数百ピコ秒(ps)あるので、数点の合計で平均して鈍らせる等して波形を平滑化した後、補間して、連続波形に変換する。次に波形のピーク値を求め、最後に波形がピーク値の例えば25%となる位置を求めて、線の捕捉時刻とすることができる。

【0007】

上記のように各2種類の線の捕捉時刻を特定することにより、各陽電子のストップ時刻とスタート時刻を計測することができ、その寿命を求めることができる。そして、上記ステップを繰り返すことにより、図10のような陽電子寿命のヒストグラムを得ることができる。この得られたヒストグラムの半値幅から、陽電子寿命測定装置の時間分解能(半値幅)を以下のように求めることができる。

40

【0008】

まず、得られた陽電子寿命のヒストグラムを、次の関数でフィッティングする。

【0009】

【数1】

$$f(t) = \int R(t') \Theta(t-t') \left((I_1/\tau_1) \exp(-(t-t')/\tau_1) + (I_2/\tau_2) \exp(-(t-t')/\tau_2) \right) dt'$$

ここで、

$$R(t') = \exp(-4 \log 2 \times t'^2 / \tau_{res}^2)$$

であり、 $\Theta(t-t')$ はヘビサイド関数である。

【0010】

数1において、 τ_1 は被測定試料122中における陽電子の減衰定数、 τ_2 は ^{22}Na 陽電子線源120中における陽電子の減衰定数、 τ_{res} はガウス分布の半値幅をそれぞれ表す。 τ_1 は被測定試料中における陽電子寿命と、 τ_{res} を陽電子寿命測定装置の時間分解能(の半値幅)と定義することができる。

10

【0011】

【特許文献1】特開2003-215251号公報

【特許文献2】特開2001-74673号公報

【特許文献3】特開2001-116706号公報

【非特許文献1】電子技術総合研究所研究報告第928号 鈴木良一1991 第5章

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

以上、一例として ^{22}Na 陽電子線源120の $^+$ 崩壊を利用する陽電子寿命測定方法、すなわち ^{22}Na 陽電子線源120からの陽電子の放出と同時に放出される 1.27MeV の γ 線を選択的に捕らえることにより、スタート時刻を知る方法を説明した。しかし、この方法には以下のような問題点があった。

20

【0013】

非密封の陽電子線源120を被測定試料122に密着させて使用する必要があるため、放射線管理区域を必要とし、法律上の手続きが煩雑である。また、被測定試料122を高温など特別な環境において測定すると、 ^{22}Na が拡散するという問題が生じる。

【0014】

そこで、陽電子ビームをRFで短パルス化(バンチング)して用いる方法が開発されている(例えば、非特許文献1を参照)。

30

【0015】

しかし、この方法を用いると装置が非常に大掛かりになる。加速器を用いれば高い性能が得られるが、数十億円のコストがかかる。陽電子線源120を用いれば数千万円程度に費用は抑制できるが、陽電子の数が減るので測定に時間がかかる。

【0016】

また、上記文献2及び3には、陽電子線源と、電磁レンズと、陽電子検出器と、 γ 線検出器とを具え、前記陽電子線源は前記電磁レンズの磁場内に設置されるとともに被測定材料から隔離して設置され、前記陽電子検出器は前記陽電子線源と前記被測定材料の間に設置されるとともに、前記陽電子線源と前記被測定材料までの陽電子飛翔経路が真空に保持されている材料評価装置が開示されている。

40

【0017】

すなわち、上記発明においては、陽電子線源から発生する陽電子を、プラスチックシンチレーターまたはAPD(アバランシェフォトダイオード)を透過させてスタート時刻を得ている。本方法によれば、陽電子線源を被測定試料に密着させて使用する必要がなく、有効陽電子数を大幅低下させることなく上記陽電子線源と被測定試料を隔離して陽電子寿命を測定することができる。

【0018】

しかし、APDを通過した陽電子のエネルギーのばらつきが大きく、それが時間のばらつきになってしまい、そのため、電磁レンズによるエネルギー選別が必要となる。また、

50

時間分解能の半値幅が240 ps程度で、あまりよくない。従来の非密封線源を使う上記装置では、文献値で118 psや110 psが可能である。

【0019】

そこで本発明は、陽電子線源と被測定試料を隔離して陽電子寿命を測定することができ、時間分解能の半値幅が例えば180 ps以下となる高性能の陽電子寿命測定装置及び測定方法を提供することを目的とする。

【0020】

また、本発明の他の目的は、加速器などの大掛かりな装置を使用することなく、比較的安価な装置で被測定試料中の陽電子寿命を測定することができる陽電子寿命測定装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0021】

本発明の陽電子寿命測定装置は、装置陽電子線源と、前記陽電子線源との間に被測定試料を挟んで配置された光検出装置と、前記被測定試料に前記陽電子線源から入射された陽電子が、該被測定試料中で消滅する際に発生する線を検出する線検出装置と、を備え、前記光検出装置は、前記陽電子線源から前記陽電子が前記被測定試料中に入射された際に発生するチェレンコフ光を検出することを特徴とする。チェレンコフ光がスタート信号であり、線がストップ信号であり、両信号を検出した場合の時間差から、陽電子の被測定試料中での寿命を測定する。

【0022】

前記被測定試料は、該被測定試料中で発生したチェレンコフ光を外部に取り出して検出する必要があるため、透明である。

【0023】

また、本発明の陽電子寿命測定装置は、陽電子線源と、前記陽電子線源に対向して配置されたチェレンコフ発光体と、前記陽電子線源から放射された陽電子が、前記チェレンコフ発光体中を通過する際に発生するチェレンコフ光を検出する光検出装置と、前記チェレンコフ発光体を介して前記陽電子線源に対向して配置された被測定試料中で、該チェレンコフ発光体中を通過した前記陽電子が消滅する際に発生する線を検出する線検出装置と、を備え得る。この場合もチェレンコフ光がスタート信号であり、線がストップ信号となる。

【0024】

前記被測定試料は、不透明であってもよい。スタート信号としてチェレンコフ発光体中で発生したチェレンコフ光を検出するためである。

【0025】

本発明の陽電子寿命測定装置は、前記線検出装置は、複数の線検出手段を有してもよい。あるいは、2つの前記線検出手段が、前記被測定試料を挟んで対向する位置に配置されてもよい。

【0026】

本発明の陽電子寿命測定装置は、前記光検出装置及び前記線検出装置が検出した波形信号をデジタル化するデジタル化手段と、前記デジタル化した波形信号を処理して時間スペクトルを得る波形解析手段と、を有し得る。デジタル化手段はデジタルオシロスコープであってよく、波形解析手段はパーソナルコンピュータによるソフトウェア解析であってよい。

【0027】

本発明の陽電子寿命測定装置は、前記時間スペクトルの時間分解能の半値幅は80 ps以上180 ps以下であることが望ましく、さらには80 ps以上110 ps以下であることが望ましい。

【0028】

本発明の陽電子寿命測定方法は、透明な被測定試料を準備するステップと、陽電子を放射させるステップと、前記陽電子を透明な被測定試料に入射させるステップと、前記被測

10

20

30

40

50

定試料中に前記陽電子が入射された際に発生するチェレンコフ光をスタート信号として検出するステップと、前記陽電子が前記被測定試料中で消滅する際に発生する線をストップ信号として検出するステップと、前記ストップ信号と前記スタート信号の検出時刻の差を陽電子寿命として算出するステップと、を含む。

【0029】

以下、本明細書において、上記本発明の陽電子寿命方法を「内部チェレンコフトリガ法」という。

【0030】

本発明の陽電子寿命測定方法は、被測定試料およびチェレンコフ発光体を準備するステップと、陽電子を放射させるステップと、前記陽電子を前記チェレンコフ発光体に入射させるステップと、前記チェレンコフ発光体中に前記陽電子が入射された際に発生するチェレンコフ光をスタート信号として検出ステップと、前記チェレンコフ発光体を通過した前記陽電子を前記被測定試料に入射させるステップと、前記被測定試料に入射した前記陽電子が、該被測定試料中で消滅する際に発生する線をストップ信号として検出するステップと、前記ストップ信号と前記スタート信号の検出時刻の差を陽電子寿命として算出するステップと、を含む。

10

【0031】

以下、本明細書において、上記本発明の陽電子寿命方法を「外部チェレンコフトリガ法」という。外部チェレンコフトリガ法においては、前記被測定試料は不透明であってもよく、前記チェレンコフ発光体は透明物質で形成される。

20

【発明の効果】

【0032】

本発明の陽電子寿命測定装置を用いれば、陽電子線源と被測定試料を隔離して陽電子寿命を測定することができる。従って、被測定試料を高温などの特殊な環境中においても被測定試料中の陽電子寿命を測定することができる。

【0033】

また、本発明の陽電子寿命測定装置による陽電子寿命の測定においては、時間分解能の半値幅が100 ps乃至150 psという極めて高い時間分解能を得ることができた。

30

【0034】

また、本発明の陽電子寿命測定においては、従来のように陽電子線源内で陽電子が消滅して発生する線を捕捉することなくスタート信号を得ることができるので、ノイズの少ない、被測定試料中のみでの陽電子寿命の測定結果を得ることができる。

【0035】

さらに、本発明の外部チェレンコフトリガ法による陽電子寿命測定においては、一定以上のエネルギーをもった陽電子のみがチェレンコフ光を発生し得るので、自動的に陽電子のエネルギーをある程度選別することができ、高精度の陽電子寿命測定を行なうことができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

本発明に係る陽電子寿命測定装置の実施形態を図面に基づき説明する。従来の技術として既に述べた要素には、以下で同じ呼称を用いるが、その詳細な図示又は説明は省略する。また、図面の符号についても、図面を通して共通するものについては、同一の符号を用いる。

【0037】

図1に示すように、本実施形態の陽電子寿命測定装置10は、陽電子線源12と、陽電子線源12との間に被測定試料18を挟んで配置された光検出装置14と、被測定試料1

50

8に陽電子線源12から入射された陽電子が、当該被測定試料18中で消滅する際に発生する線を検出する線検出装置105と、を備える。光検出装置14は、陽電子線源12から陽電子が被測定試料18中に入射された際に発生するチェレンコフ光を検出し、陽電子が被測定材料18に入射した時刻を得ることができる。従って、本実施形態においては、チェレンコフ光が上記スタート信号となり、線がストップ信号となる。

【0038】

ここでチェレンコフ光とは、ガラスや水のような透明な物質中を荷電粒子が通過するとき、当該荷電粒子の速度がその物質中での光速を超えた場合に、通過する荷電粒子が作る電磁場の作用で当該物質から発生する紫外光および可視光をいう。

【0039】

被測定試料18は屈折率が大きく波長が短い光が内部を通過しやすい物質が好ましいが、特に限定されることはなく、例えば SiO_2 、氷、ガラス、石英、ルーサイトなどの、チェレンコフ光が外部に取り出せる透明な物質であればよい。

【0040】

光検出装置14は、例えばMCP内蔵光電子増倍管を用い、被測定試料18中で陽電子の進行方向に発生したチェレンコフ光を捕捉する。光検出装置14は、1光子当たりの時間分解能が例えば30psと高く、光子の捕捉面が大きいものが望ましいが、特に限定されない。

【0041】

陽電子線源12は公知の装置であってよく、例えば ^{68}Ge 線源を線シールドしたものをを用いる。陽電子線源12は、高いエネルギーの陽電子を発生させ得る装置が好ましいが、 ^{22}Na を用いた装置であってもよく、特に限定されない。

【0042】

線検出装置105もまた、公知の装置を用いることができ、例えば従来技術で図7に示した線検出装置105を用いることができるが、以下に図3の線検出装置205を用いて陽電子寿命の測定方法を説明する。

【0043】

本実施形態の陽電子寿命測定方法は、陽電子線源12と、光検出装置14と、線検出装置205と、を備えた陽電子寿命測定装置10において、陽電子線源12から放射した陽電子を被測定試料18に入射させるステップと、光検出装置14が被測定試料18中に上記陽電子が入射された際に発生するチェレンコフ光を検出するステップと、上記陽電子が被測定試料18中で消滅する際に発生する線を線検出装置205が検出するステップと、を含む。本実施形態の陽電子寿命測定方法は、上記のように「内部チェレンコフトリガ法」とよぶ。

【0044】

上述のように被測定試料18は透明物質である。

【0045】

本実施形態の陽電子寿命測定装置10は、光検出装置14及び線検出装置205が検出した波形信号をデジタル化するデジタルオシロスコープ(デジタル化手段)114と、デジタルオシロスコープ114がデジタル化した波形信号を処理して時間スペクトルを得るパーソナルコンピュータ(波形解析手段)118と、を有する

【0046】

図3において、光検出装置14(例えばMCP内蔵光電子増倍管)と2つの光電子増倍管(以下「PMT」という。)112を略T字型に配置し、各光検出装置14とPMT112の出力に、例えばFETのボルテージフォロア210, 212, 214をFETプローブとして設け、この出力をディスクリミネータ(以下「disc」という。)220, 222, 224を介して一致検出回路230に入力する。この一致検出回路230でdisc220とdisc222またはdisc224、あるいは3つのdisc220, 222, 224すべてのコインシデンスが取れた場合のみ、デジタルオシロスコープ114にトリガをかけて、光検出装置14とPMT112の出力が取り込まれるようにしている。

10

20

30

40

50

【0047】

光検出装置14は例えばMCP内蔵光電子増倍管であり、2つのPMT112は被測定試料18側にBaF₂などのシンチレータを具えている。

【0048】

本実施形態の陽電子寿命測定装置10は、光検出装置14がスタート信号のチェレンコフ光を検出する時刻と、PMT112の少なくとも一方がストップ信号の線をほぼ同時(例えば100ns以内)に検知した場合のみ、デジタルオシロスコープ114がスタート信号とストップ信号の波形を取り込む。但し、このような一致検出回路230、disc220, 222, 224等は必須の構成要素ではなく、省略可能である。

【0049】

その後、光検出装置14が得たスタート信号とPMT112が得たストップ信号は、従来技術で説明したようにパーソナルコンピュータ118において波形解析され、陽電子寿命測定を繰り返して被測定試料18中における陽電子寿命のヒストグラムおよび時間スペクトル曲線を得ることができる。

【0050】

次に、図2を用いて、本発明に係る別の実施形態の陽電子寿命測定装置について以下に説明する。

【0051】

本実施形態の陽電子寿命測定装置50は、陽電子線源12と、陽電子線源12に対向して配置されたチェレンコフ発光体16と、陽電子線源12から放射された陽電子がチェレンコフ発光体16中を通過する際に発生するチェレンコフ光を検出する光検出装置14と、チェレンコフ発光体16を介して陽電子線源12に対向して配置された被測定試料20中でチェレンコフ発光体16中を通過した陽電子が消滅する際に発生する線を検出する線検出装置105とを備えている。

【0052】

本実施形態においても、チェレンコフ光がスタート信号であり、線がストップ信号である。

【0053】

本実施形態と上記実施形態の異なるところは、陽電子線源12と被測定試料20間にチェレンコフ発光体16を配置することである。チェレンコフ発光体16は、透明な板である。チェレンコフ発光体16は、チェレンコフ光が発生しやすいように屈折率が大きく、波長が短い光が内部を通過しやすい物質が好ましいが、特に限定されることはなく、例えばアクリル、氷、ガラス、石英などの透明物質が用いられる。チェレンコフ光は陽電子が入射した方向に進むので、チェレンコフ発光体16の被測定試料20側をアルミ箔などの反射膜で覆って(図示せず)、チェレンコフ光をMCP内蔵光電子増倍管などの光検出装置14の方向へ反射させる。

【0054】

ところで、チェレンコフ発光体16中でチェレンコフ光を発生させることができる陽電子のエネルギーは一定以上に限られる。従って本実施形態においては、チェレンコフ発光体16を選択することにより、一定以上の高速度で被測定試料18中に入射した陽電子のみにスタート信号を発生させることができる。そのため従来(特許文献2、3)のように、低速の入射陽電子を排除する必要がなくなり、自動的に速度のそろった入射陽電子を選別することができる。

【0055】

また、上記実施形態と異なり、本実施形態において被測定試料20は不透明であってよい。チェレンコフ光は、陽電子線源12と被測定試料20間に配置されたチェレンコフ発光体16で発生されるため、被測定試料20から取り出す必要がないからである。本実施形態においては、被測定試料20からは、陽電子が消滅する際に発生する線のみ検出できればよい。

【0056】

10

20

30

40

50

陽電子線源 12 から放出された陽電子は、まずチェレンコフ発光体 16 中に入射し、一定以上のエネルギーで入射した陽電子はチェレンコフ発光体 16 中でチェレンコフ光を発生させる。チェレンコフ光は、チェレンコフ発光体 16 の前方の反射膜で反射され、MCP 内蔵光電子増倍管などの光検出装置 14 により検出される。チェレンコフ発光体 16 および反射膜を通過した陽電子は被測定試料 20 に入射し、被測定試料 20 中で消滅する際に発生する線を線検出装置 105 で検出する。

【0057】

本実施形態の陽電子寿命測定装置 50 において用いる、陽電子線源 12、光検出装置 14、線検出装置 105 は、基本的に上記実施形態で説明した装置と同様でよい。

【0058】

また本実施形態の陽電子寿命測定方法も、上記のようにチェレンコフ発光体 16 中で発生したチェレンコフ光を反射させて光検出装置 14 により検出させる以外は上記実施形態の陽電子寿命測定方法と同様である。すなわち、陽電子線源 12 と、光検出装置 14 と、線検出装置 105 とを備えた陽電子寿命測定装置 50 において、陽電子線源 12 から放射した陽電子をチェレンコフ発光体 16 に入射させるステップと、光検出装置 14 がチェレンコフ発光体 16 中に陽電子が入射された際に発生するチェレンコフ光を検出するステップと、チェレンコフ発光体 16 を通過した上記陽電子が被測定試料 20 中で消滅する際に発生する線を線検出装置 105 が検出するステップと、を含む。本実施形態の陽電子寿命測定方法は、上記のように「外部チェレンコフトリガ法」とよぶ。

【0059】

上記実施形態で説明した線検出装置 205 を用いてもよく、光検出装置 14 が得たスタート信号と PMT 112 が得たストップ信号の波形解析を行い、陽電子寿命測定を繰り返して被測定試料 20 中における陽電子寿命の時間スペクトル曲線を得ることができる。

【0060】

以上、本発明の陽電子寿命測定装置および陽電子寿命測定方法の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態およびその他の実施例に限定されるものではない。図 3 において線検出装置 205 は、2つの PMT (線検出手段) 112 が被測定試料 118 (18, 20) を挟んで対向する位置に配置されるが、1または3個以上の PMT (線検出手段) を有してもよい。被測定試料 18、20 等の周辺に PMT を多く配置する方が時間当たりの陽電子寿命測定回数が増加し、効率良く測定を行なうことができる。

【0061】

また、本発明の陽電子寿命測定装置 10, 50 は、デジタルオシロスコープ 114 またはデジタイザ 116 等を用いて PMT 112 からの信号をデジタル化した。特にこのような限定は必要ではない。シンチレータ 110、111 は BaF₂ に限定されず他の種類のシンチレータを使用してもよく、デジタルオシロスコープ 114 に代えてアナログのコンスタント・フラクシオン・ディスクリミネータ (CFD) などのタイミングディスクリミネータ、時間差波高変換機 (TAC)、マルチ・チャンネル・アナライザー (MCA) により構成してもよい。

【0062】

その他、本発明の陽電子寿命測定装置は、陽電子線源 12、光検出装置 14 の種類も特に限定されず、チェレンコフ発光体 16、反射膜、被測定試料を形成する物質も上記の範囲で特に限定されるものではなく、その主旨を逸脱しない範囲で当業者の知識に基づき種々の改良、修正、変更を加えた態様で実施できるものである。

【実施例 1】

【0063】

図 1 に示す本発明の陽電子寿命測定装置 10 により陽電子寿命測定を行なった (内部チェレンコフトリガ法)。陽電子線源 12 として ⁶⁸Ge 線源を線シールドしたもの、光検出装置 14 として MCP 内蔵光電子増倍管、シンチレータ 110 は 28 × 10 mm の BaF₂、被測定試料は - SiO₂ を用いた。デジタルオシロスコープ 114 には Le

10

20

30

40

50

Croy社製のWavePro7100を、光電子増倍管(PMT)112には浜松フォトニクス製H3378を使用した。

【0064】

陽電子線源12と被測定試料18間の距離は20mm、被測定試料18と光検出装置14間の距離は20mmとし、2つのシンチレータ110間は40mmとして被測定試料18を挟んで対向させた。

【0065】

図3に示す線検出装置205を用いて、上記の実施形態に記載のように被測定試料18中における陽電子寿命の測定を行い、図4のような陽電子寿命の時間スペクトルを得た。

10

【0066】

図4の陽電子寿命スペクトルにおいて、横軸はチャンネルであり、1チャンネルが10psに対応する。縦軸はそのチャンネルにおけるカウント数(イベント数)である。ピーク付近から右方向の傾斜が陽電子の寿命を表す。ピークが鋭いほど装置の性能がよいことになる。上記のように、ピークの幅と陽電子の崩壊曲線をデータに最小自乗法でフィッティングして、装置の時間分解能(半値幅) r_{es} と陽電子の寿命 τ_1 が求まる(数1参照)。

【0067】

本実施例においては、時間分解能(半値幅) r_{es} として108psと、従来の陽電子寿命測定装置と比べて大変よい時間分解能が得られた。

20

【実施例2】

【0068】

図2に示す本発明の陽電子寿命測定装置50を用いて、外部チェレンコフトリガ法より陽電子寿命測定を行なった。陽電子線源12、光検出装置14、シンチレータ110、デジタルオシロスコープ114、および光電子増倍管(PMT)112には実施例1と同一の装置を用いた。チェレンコフ発光体16はアクリル板を用い、被測定試料18側をアルミ箔で覆って反射膜とした。

【0069】

また、陽電子線源12とチェレンコフ発光体16間の距離は10mm、チェレンコフ発光体16と被測定試料18間の距離は10mmと、光検出装置14とチェレンコフ発光体16間の距離は20mmとし、2つのシンチレータ110間は40mmとして被測定試料20を挟んで対向させた。

30

【0070】

被測定試料20として、アニールを行なわない状態のCuと、これをアニールしたCuとを用いた。両被測定試料20について被測定試料20中における陽電子寿命の測定を行い、それぞれ図5、図6のような陽電子寿命の時間スペクトルを得た。

【0071】

図5は前者のアニールを行なわない状態のCu中の陽電子寿命スペクトルである。陽電子寿命 τ_1 として 193 ± 2 ps、時間分解能(半値幅) r_{es} として150psを得た。

40

【0072】

また、図6は後者のアニールしたCu中の陽電子寿命スペクトルである。陽電子寿命 τ_1 として 154 ± 3 ps、時間分解能(半値幅) r_{es} として144psを得た。

【実施例3】

【0073】

以上のように、本発明の陽電子寿命測定装置をもちいて、内部チェレンコフトリガ法では110ps以下の、外部チェレンコフトリガ法では150ps以下の、何れも非常に優れた時間スペクトルの時間分解能の半値幅を得ることができた。内部チェレンコフトリガ

50

法を用いれば、被測定試料 20 の選定や、装置の高性能化により、さらに 80 ps 程度の時間分解能の半値幅が期待できる。以下表 1 に、本願発明の陽電子寿命測定方法（内部チェレンコフトリガ法及び外部チェレンコフトリガ法）と、上記従来例の陽電子寿命測定方法を比較する。

【0074】

【表 1】

	時間分解能	装置が高価、大掛かり	特殊条件(高温測定)	非密封線源
内部チェレンコフトリガ法 (本発明)	○(108ps)	○ (コンパクト)	○	○ (不要)
外部チェレンコフトリガ法 (本発明)	○(150ps)	○ (コンパクト)	○	○ (不要)
Na22 の核ガンマ線使用(1.27MeV)	○(150ps)	○ (コンパクト)	×	× (必要)
ビーム装置使用	○(200ps)	× (加速器)	○	△(不要だが加速器はもっと大変)
APD などで beta+	× (240ps)	○ (コンパクト)	○	○ (不要)

10

【0075】

表 1 より明らかなように、本発明の陽電子寿命測定装置は、陽電子寿命スペクトルの時間分解能（半値幅）、装置の大きさ及びコスト、特殊環境における測定、密封線源の使用可能と、何れの観点からも優れた装置であることがわかる。

【産業上の利用可能性】

【0076】

本発明に係る技術は、原子空孔、転位などの結晶中の欠陥の存否やその位置を検知する陽電子寿命測定装置として有益である。また、被測定試料中のポジトロニウムの検知および評価、あるいはポリマーの自由体積測定等に利用できる。

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図 1】本発明の実施形態に係る、内部チェレンコフトリガ法を行なう陽電子寿命測定装置の要部を示す平面図。

【図 2】本発明の他の実施形態に係る、内部チェレンコフトリガ法を行なう陽電子寿命測定装置の要部の平面図。

【図 3】本発明の実施形態に係る陽電子寿命測定装置の全体を示す平面概念図。

【図 4】内部チェレンコフトリガ法による、 SiO_2 中の陽電子寿命スペクトルである。

【図 5】外部チェレンコフトリガ法による、アニールを行なわない状態の Cu 中の陽電子寿命スペクトルである。

【図 6】外部チェレンコフトリガ法による、アニールした Cu 中の陽電子寿命スペクトルである。

【図 7】従来の陽電子寿命測定装置の平面概念図。

【図 8】 ^{22}Na を用いた陽電子寿命測定装置の概念図。

【図 9】光電子増倍管 (PMT) の検知した線の波形。

【図 10】アニールした Cu 中の陽電子寿命スペクトル (ヒストグラム)。

【符号の説明】

【0078】

10、50：本発明の陽電子寿命測定装置

12：陽電子線源

14：光検出装置

20

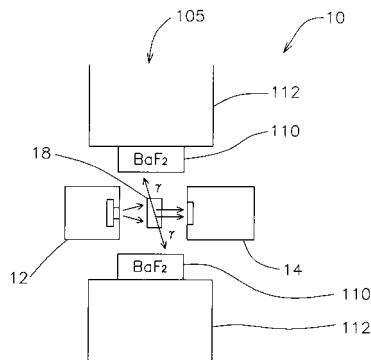
30

40

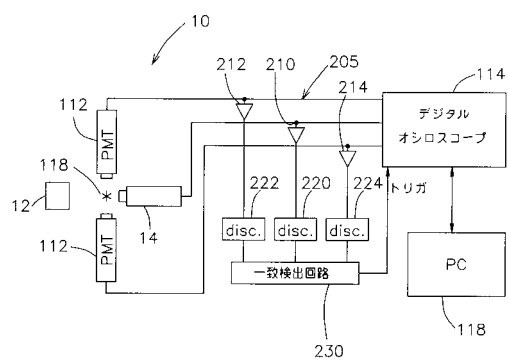
50

- 16 : チェレンコフ発光体
- 18、20、122 : 被測定試料
- 100、200 : 従来の陽電子寿命測定装置
- 105、205 : 線検出装置
- 110、111 : シンチレータ
- 112 : 光電子増倍管 (PMT)
- 114 : デジタルオシロスコープ
- 116 : デジタイザ (ADC)
- 118 : パーソナルコンピュータ (PC)
- 120 : ^{22}Na 陽電子線源
- 210 : ディスクリネーター
- 212 : 一致検出回路

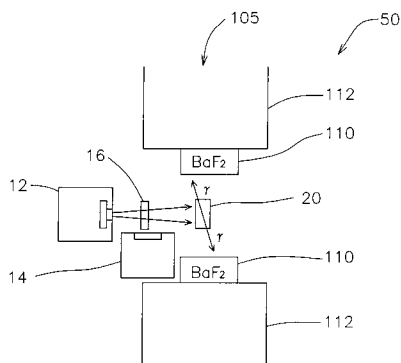
【図1】



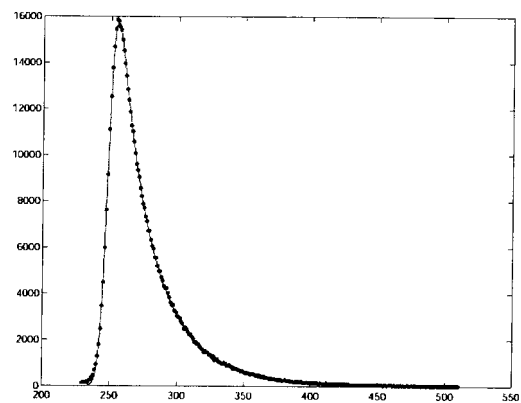
【図3】



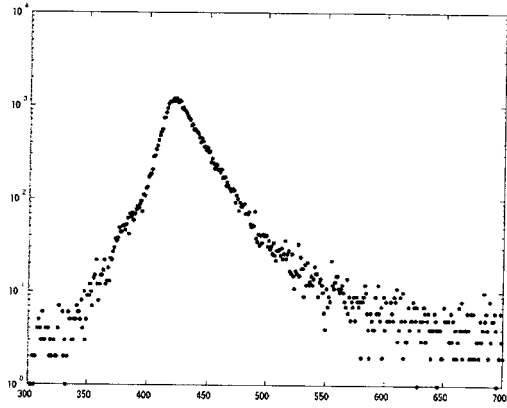
【図2】



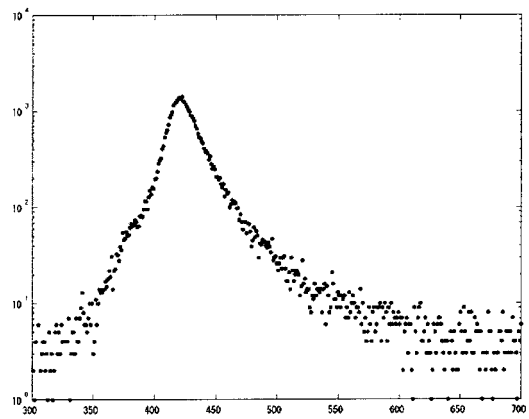
【図4】



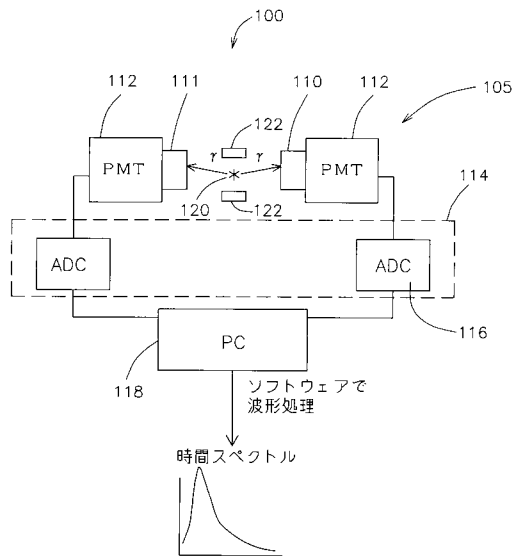
【図5】



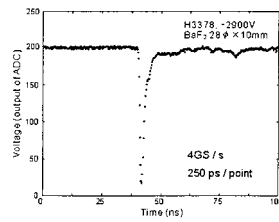
【図6】



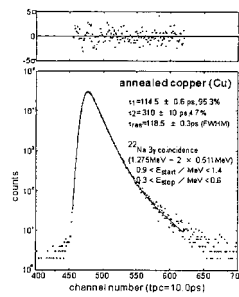
【図7】



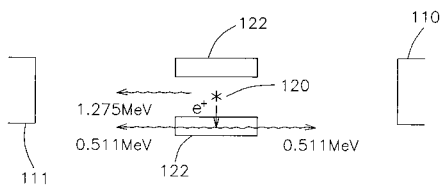
【図9】



【図10】



【図8】



フロントページの続き

- (72)発明者 越水 正典
宮城県仙台市青葉区片平 2 - 1 - 1 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 澁谷 憲悟
千葉県千葉市稲毛区穴川 4 丁目 9 番 1 号 独立行政法人 放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 加勢 憲夫
東京都千代田区外神田 3 - 1 0 - 1 0 大栄無線電機株式会社内
- (72)発明者 本多 庸郎
東京都福生市熊川 1 6 4 2 番地 2 6 応用光研工業株式会社内

審査官 比嘉 翔一

- (56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 2 1 5 2 5 1 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 0 7 4 6 7 3 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 1 1 6 7 0 6 (J P , A)
再公表特許第 2 0 0 4 / 9 0 5 7 1 (J P , A 1)
特開 2 0 0 3 - 0 6 5 9 7 8 (J P , A)
実開昭 5 9 - 0 4 1 7 7 4 (J P , U)
特開平 1 0 - 2 2 1 4 5 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 1 N 2 3 / 0 0 - 2 3 / 2 2 7
G 0 1 T 1 / 0 0 - 7 / 1 2
J S T P l u s (J D r e a m I I)