

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6241888号
(P6241888)

(45) 発行日 平成29年12月6日(2017.12.6)

(24) 登録日 平成29年11月17日(2017.11.17)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 T	7/00	(2006.01)	GO 1 T	7/00	A
GO 1 T	1/24	(2006.01)	GO 1 T	1/24	
GO 1 T	1/36	(2006.01)	GO 1 T	1/36	A

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-519906 (P2014-519906)	(73) 特許権者	304023318
(86) (22) 出願日	平成25年5月20日 (2013.5.20)		国立大学法人静岡大学
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/063961		静岡県静岡市駿河区大谷836
(87) 国際公開番号	W02013/183434	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成25年12月12日 (2013.12.12)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成28年5月16日 (2016.5.16)	(74) 代理人	100108257
(31) 優先権主張番号	特願2012-129788 (P2012-129788)		弁理士 近藤 伊知良
(32) 優先日	平成24年6月7日 (2012.6.7)	(74) 代理人	100124800
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 諏澤 勇司
		(74) 代理人	100171583
			弁理士 梅景 篤
		(72) 発明者	青木 徹
			静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立 大学法人静岡大学電子工学研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】放射線線量計および放射線線量の算出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射線を検出するための放射線検出体と、
前記放射線検出体を覆うシールド部材と、
前記放射線検出体によって検出された放射線のエネルギーと、前記シールド部材によっ
て散乱された放射線のエネルギーに応じて定められる変換係数と、に基づいて放射線の線
量を算出する演算装置と、
を備え、

前記放射線検出体は、入射した放射線のエネルギーの大きさに応じて電子およびホール
を生成する半導体で構成され、

前記放射線検出体は、前記シールド部材によって散乱された放射線を検出する、放射線
線量計。

【請求項 2】

前記放射線検出体は、CdTe から構成される、請求項 1 に記載の放射線線量計。

【請求項 3】

前記シールド部材は、Au、Cu、Al およびステンレス鋼のいずれかから構成される
、請求項 1 または請求項 2 に記載の放射線線量計。

【請求項 4】

前記シールド部材は、0.1mm以上1.0mm以下の厚さを有する、請求項 1 ~ 請求
項 3 のいずれか一項に記載の放射線線量計。

【請求項 5】

前記演算装置によって算出された線量を表示する表示装置をさらに備える、請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか一項に記載の放射線線量計。

【請求項 6】

シールド部材に覆われた放射線検出体を備える放射線線量計における放射線線量の算出方法であって、

前記シールド部材によって散乱された後に前記放射線検出体によって検出された放射線のエネルギースペクトルを取得するスペクトル取得ステップと、

前記スペクトル取得ステップにおいて取得された前記エネルギースペクトルと、前記シールド部材によって散乱された放射線のエネルギーに応じて定められる変換係数と、に基づいて前記放射線線量を算出する線量算出ステップと、
を備え、

前記放射線検出体は、入射した放射線のエネルギーの大きさに応じて電子およびホールを生成する半導体で構成される、放射線線量の算出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線線量計および放射線線量の算出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体を用いた放射線検出器を備える放射線線量計がある。このような放射線線量計では、放射線検出器に用いられる半導体によって、放射線のエネルギーに対する検出感度が異なる。例えば、CdTeなどの半導体を用いた放射線検出器では、低エネルギー領域の放射線の検出感度が高エネルギー領域の放射線の検出感度よりも高い。このため、高エネルギーの放射線に対して、検出感度および線量の測定精度の向上が求められている。

【0003】

特許文献 1 には、エネルギーに対する検出感度の均一性を向上するために、低エネルギー領域の放射線を所定量吸収する放射線吸収フィルタとしての役割も果たす電磁シールドによって半導体検知体を覆うとともに、半導体検知体の入射面と反対側の面にシンチレータ層および反射層を備えた放射線検出器が記載されている。この放射線検出器では、半導体検知体を透過した高エネルギーの放射線がシンチレータ層にて発光し、発光した光が反射層によって反射されて半導体検知体に検知される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2001 - 4754 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1 に記載の放射線検出器では、高エネルギー領域の放射線の検出感度および線量の測定精度を向上するために、シンチレータ層および反射層を設ける必要がある。このため、構造が複雑化し、装置が大型化する。

【0006】

本発明の一態様によれば、簡易な構造によって線量の測定精度を向上可能な放射線線量計および放射線線量の算出方法が提供される。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面に係る放射線線量計は、放射線を検出するための放射線検出体と、放射線検出体を覆うシールド部材と、放射線検出体によって検出された放射線のエネルギーとシールド部材によって散乱された放射線のエネルギーに応じて定められる変換係数とに基

10

20

30

40

50

づいて放射線の線量を算出する演算装置と、を備える。また、放射線検出体は、シールド部材によって散乱された放射線を検出する。

【0008】

このような放射線線量計によれば、放射線検出体をシールド部材によって覆うことにより、ノイズを低減することができるとともに、入射する放射線を散乱することができる。この散乱後の放射線のエネルギーは、散乱前の放射線のエネルギーよりも低いエネルギー領域に一定の割合で分布する。このため、散乱前の放射線のエネルギーより低いエネルギー領域における吸収率（検出感度）が、散乱前の放射線のエネルギーにおける吸収率よりも高い放射線検出体を用いる場合、放射線の検出感度を向上することができる。また、シールド部材によって散乱された放射線のエネルギーに応じて定められる変換係数を用いて、検出された放射線のエネルギーから線量を算出することにより、シールド部材がない場合の線量、すなわち人体へ直接吸収される正味の線量を算出することが可能となる。その結果、構造を複雑化することなく線量の測定精度を向上することが可能となる。

10

【0009】

また、放射線検出体は、CdTeから構成されてもよい。CdTe半導体は、放射線の吸収効率が高い。このため、放射線の検出感度をさらに向上でき、線量の測定精度のさらなる向上が可能となる。

【0010】

また、シールド部材は、Au、Cu、Alおよびステンレス鋼のいずれかから構成されてもよい。また、シールド部材は、0.1mm以上1.0mm以下の厚さを有してもよい。このようなシールド部材によって放射線検出体を覆う場合、放射線の検出感度を向上でき、線量の測定精度の向上が可能となる。

20

【0011】

また、放射線線量計は、演算装置によって算出された線量を表示する表示装置をさらに備えてもよい。この場合、精度よく測定された線量を表示装置に表示することによって、より正確な線量をユーザに認識させることができる。

【0012】

また、本発明の別の側面に係る放射線線量の算出方法は、シールド部材に覆われた放射線検出体を備える放射線線量計における放射線線量の算出方法である。この放射線線量の算出方法は、シールド部材によって散乱された後に放射線検出体によって検出された放射線のエネルギースペクトルを取得するスペクトル取得ステップと、スペクトル取得ステップにおいて取得されたエネルギースペクトルと、シールド部材によって散乱された放射線のエネルギーに応じて定められる変換係数と、に基づいて放射線線量を算出する線量算出ステップと、を備える。

30

【0013】

このような放射線線量の算出方法によれば、放射線検出体を覆うシールド部材によって、入射する放射線が散乱される。この散乱後の放射線のエネルギースペクトルは、散乱前の放射線のエネルギーよりも低いエネルギー領域に一定の割合で分布する。このため、散乱前の放射線のエネルギーより低いエネルギー領域における吸収率が、散乱前の放射線のエネルギーにおける吸収率よりも高い放射線検出体を用いる場合、放射線の検出感度を向上することができる。このようにして放射線検出体により検出された放射線のエネルギースペクトルに基づいて線量を算出することにより、構造を複雑化することなく線量の測定精度を向上することが可能となる。さらに、シールド部材によって散乱された放射線のエネルギーに応じて定められる変換係数を用いて、検出された放射線のエネルギースペクトルから線量を算出することにより、シールド部材がない場合、すなわち人体へ直接吸収される正味の線量を算出することが可能となる。

40

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、線量の測定精度を向上できる。

【図面の簡単な説明】

50

【0015】

【図1】本実施形態に係る放射線線量計の概略構成図である。

【図2】図1の放射線検出体のエネルギーレスポンスの一例を示す図である。

【図3】図1の放射線線量計における放射線の検出原理を示す図である。

【図4】シールド部材の厚さを0.1mmとした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルの一例を示す図である。

【図5】シールド部材の厚さを0.5mmとした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルの一例を示す図である。

【図6】シールド部材の厚さを1.0mmとした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルの一例を示す図である。

【図7】各種シールド部材における662keVの放射線の散乱率を示す図である。

【図8】図1の放射線検出体における吸収量の増加率を示す図である。

【図9】図1のマイコンの機能ブロック図である。

【図10】図1の放射線線量計の動作を示すフローチャートである。

【図11】図10の校正処理の詳細を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、添付図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一又は相当要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0017】

図1は、本実施形態に係る放射線線量計の概略構成図である。図1に示されるように、放射線線量計1は、放射線の線量を測定するための装置であって、放射線検出体2と、シールド部材3と、増幅器4と、マイコン5（演算装置）と、操作ボタン6と、表示装置7と、電源8と、電源スイッチ9と、を備えている。なお、測定される線量として、例えばシーベルト（Sv）値が用いられる。

【0018】

放射線検出体2は、放射線を検出可能な半導体から構成された検出体であって、例えばCdTe（カドミウムテルライド）から構成されている。この放射線検出体2の厚さは、例えば1mm程度である。また、放射線検出体2は、放射線を検出可能な半導体の一面および他面に電極（不図示）がそれぞれ設けられている。放射線検出体2では、入射した放射線のエネルギーが吸収されると、そのエネルギーの大きさに応じて電子およびホールが生成される。そして、放射線検出体2は、エネルギーの大きさに応じた電圧値を有する検出信号を、増幅器4を介してマイコン5に出力する。

【0019】

図2は、放射線検出体2のエネルギーレスポンスの一例を示す図である。ここで、エネルギーレスポンスとは、放射線のエネルギーと放射線の吸収率との関係を意味し、応答関数ともいう。図2において、横軸は放射線のエネルギーを示し、縦軸は放射線の吸収率を示している。この例では、放射線検出体2は、CdTeから構成されており、その厚さは1mmである。図2に示されるように、高エネルギー領域の放射線の吸収率よりも低エネルギー領域の放射線の吸収率が高く、放射線のエネルギーが小さくなるに従い放射線の吸収率が増加している。例えば、セシウム137は、662keVのエネルギーを有するガンマ線を放出することが知られている。この例の放射線検出体2を単体で用いた場合、セシウム137から放出されるガンマ線の吸収率は0.7%程度であるので、その検出感度は極めて低い。

【0020】

シールド部材3は、金属製のシート状部材であって、例えばAu（金）、Al（アルミニウム）、Cu（銅）およびステンレス鋼のいずれかから構成されている。このシールド部材3は、例えば0.1mm以上の厚さを有し、例えば1.0mm以下の厚さを有する。また、シールド部材3は、放射線検出体2の表面を覆うように設けられている。また、シールド部材3と放射線検出体2との間には、0.1mm～1mm程度の間隙が設けられて

10

20

30

40

50

いる。増幅器 4 は、放射線検出体 2 から出力された検出信号を増幅するための信号増幅器（プリアンプ）である。増幅器 4 は、増幅した検出信号をマイコン 5 に出力する。

【 0 0 2 1 】

マイコン 5 は、放射線検出体 2 によって検出された放射線に基づいて、線量を算出する演算装置である。マイコン 5 は、増幅器 4 によって増幅された検出信号を受信し、受信した検出信号の電圧値に応じてエネルギースペクトルを生成する。また、マイコン 5 は、エネルギースペクトルに所定の演算を行って放射線線量を算出する。そして、マイコン 5 は、算出した線量を表示するための表示情報を表示装置 7 に出力する。

【 0 0 2 2 】

また、マイコン 5 は、A D C 5 a を有している。A D C 5 a は、受信した検出信号の電圧値をチャンネルに変換する。ここで、チャンネルとは、エネルギーの大きさに対応するメモリ番地を意味する。通常、エネルギースペクトルは、エネルギーとそのエネルギーの強度との関係を表すものであって、エネルギーの強度は、そのエネルギーを有する放射線の入射数であるカウント値で表される。マイコン 5 の内部では、メモリの容量を節約するために、各エネルギーのカウント値は、メモリの連続する番地（チャンネル）に格納される。すなわち、マイコン 5 は、増幅器 4 を介して放射線検出体 2 から検出信号を受信するごとに、A D C 5 a によって検出信号の電圧値をチャンネルに変換し、変換したチャンネルに格納されたカウント値を 1 増加する。このようにして、マイコン 5 は、チャンネルスペクトルを取得する。そして、マイコン 5 は、表示などをする時にチャンネルをエネルギーに換算し、チャンネルスペクトルをエネルギースペクトルに変換する。マイコン 5 の機能の詳細については、後述する。

【 0 0 2 3 】

操作ボタン 6 は、放射線線量計 1 を操作するための入力装置である。この操作ボタン 6 には、例えば、放射線線量計 1 の動作モード（積算モード、リアルタイムモード）を選択するための操作ボタン、決定を指示するための操作ボタンなどが含まれている。ここで、放射線線量計 1 の動作モードには、初期化モード、積算モード、リアルタイムモードなどがある。初期化モードとは、放射線線量計 1 の検出感度を校正するために、変換係数を初期化する動作モードである。初期化モードは、例えば、表示装置 7 に表示された動作モードから初期化モードを選択する操作、特定の操作ボタン 6 を押しながら電源スイッチ 9 を押下して放射線線量計 1 を起動する操作などによって起動する。この初期化モードによる変換係数の初期化処理は、例えば製品出荷時に製造販売者によって行われる。

【 0 0 2 4 】

積算モードとは、電源オン状態からオフ状態までの間に計測された放射線線量（S v）を表示するモードのことである。リアルタイムモードとは、電源オン状態において、計測された放射線線量率（S v / h）を表示するモードのことである。

【 0 0 2 5 】

表示装置 7 は、液晶ディスプレイなどの表示装置である。この表示装置 7 は、マイコン 5 から出力された表示情報に基づき所定の情報を表示する。例えば、表示装置 7 は、マイコン 5 によって算出された線量および電源 8 の状態などを表示する。電源 8 は、放射線線量計 1 の各部に電力を供給する。また、電源 8 は、電源スイッチ 9 が操作されることによって、オン状態とオフ状態とが切り替えられる。

【 0 0 2 6 】

次に、放射線線量計 1 における放射線の検出原理を、図 3 を用いて説明する。図 3 は、放射線検出体 2 およびシールド部材 3 の断面を模式的に示す図である。図 3 に示されるように、放射線検出体 2 は、シールド部材 3 によって覆われている。放射線線量計 1 では、大気中の放射線 r_1 がシールド部材 3 に入射すると、シールド部材 3 においてコンプトン散乱が生じる。このとき、散乱後の放射線 r_2 のエネルギーは、放射線 r_1 のエネルギー以下であって、散乱前の放射線 r_1 のエネルギーよりも低いエネルギー領域に一定の割合で分布する。そして、散乱後の放射線 r_2 の一部は、放射線検出体 2 によって吸収される。また、放射線検出体 2 によって吸収されずに透過した放射線 r_2 は、シールド部材 3 を

10

20

30

40

50

透過して外部に出射する。

【 0 0 2 7 】

上述のように、放射線検出体 2 は、高エネルギー領域の放射線の吸収率よりも低エネルギー領域の放射線の吸収率が高い。このため、放射線検出体 2 では、放射線 r 1 の吸収率よりも、放射線 r 2 の吸収率が大きくなる。その結果、放射線検出体 2 における放射線の吸収率が向上し、放射線の検出感度が向上する。

【 0 0 2 8 】

続いて、放射線線量計 1 における放射線検出の具体例を図 4 ~ 図 8 を用いて説明する。この例において、ステンレス鋼は、S i (シリコン) を 1 %、C r (クロム) を 1 8 %、M n (マンガン) を 2 %、F e (鉄) を 7 0 %、N i (ニッケル) を 9 % の割合で含有し
10
C d T e から構成されており、その厚さは 1 mm である。また、放射線検出体 2 とシールド部材 3 との間には、0 . 1 mm ~ 1 . 0 mm 程度の間隙が設けられている。

【 0 0 2 9 】

図 4 は、各種シールド部材 3 (A u、A l、ステンレス鋼および C u) の厚さを 0 . 1 mm とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルの一例を示す図である。図 4 において、横軸は放射線検出体 2 に入射した放射線のエネルギーを示し、縦軸は放射線の全入射数に対する各エネルギーの放射線の入射数の割合 (分布比率) を示している。図 5 および図 6 においても同様である。グラフ $G_{Au0.1}$ は、シールド部材 3 を 0 . 1 mm 厚の A u とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。グラフ $G_{Al0.1}$ は、
20
シールド部材 3 を 0 . 1 mm 厚の A l とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。グラフ $G_{SUS0.1}$ は、シールド部材 3 を 0 . 1 mm 厚のステンレス鋼とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。グラフ $G_{Cu0.1}$ は、シールド部材 3 を 0 . 1 mm 厚の C u とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。なお、この散乱後の放射線のエネルギースペクトルは、6 6 2 k e V のエネルギーを有する放射線がシールド部材 3 により散乱した後のエネルギースペクトルを表している。

【 0 0 3 0 】

図 4 に示されるように、シールド部材 3 を 0 . 1 mm 厚の A u とした場合、6 6 2 k e V 付近のエネルギーの分布比率は 1 0 0 % に近く、2 0 0 k e V ~ 6 6 0 k e V のエネルギーの分布比率は 0 . 1 % 程度、2 0 0 k e V 以下のエネルギーの分布比率は 0 . 0 1 ~
30
0 . 0 8 % 程度である。シールド部材 3 を 0 . 1 mm 厚の A l とした場合、6 6 2 k e V 付近のエネルギーの分布比率は 1 0 0 % に近く、6 6 0 k e V 以下のエネルギーの分布比率は 0 ~ 0 . 0 5 % 程度である。シールド部材 3 を 0 . 1 mm 厚のステンレス鋼とした場合、6 6 2 k e V 付近のエネルギーの分布比率は 1 0 0 % に近く、2 0 0 k e V ~ 6 6 0 k e V のエネルギーの分布比率は 0 . 0 4 ~ 0 . 0 9 % 程度、2 0 0 k e V 以下のエネルギーの分布比率は 0 . 0 1 ~ 0 . 0 2 % 程度である。シールド部材 3 を 0 . 1 mm 厚の C u とした場合、6 6 2 k e V 付近のエネルギーの分布比率は 1 0 0 % に近く、2 0 0 k e V ~ 6 6 0 k e V のエネルギーの分布比率は 0 . 0 4 ~ 0 . 0 9 % 程度、2 0 0 k e V 以下のエネルギーの分布比率は 0 . 0 1 ~ 0 . 0 4 % 程度である。

【 0 0 3 1 】

図 5 は、各種シールド部材 3 の厚さを 0 . 5 mm とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルの一例を示す図である。グラフ $G_{Au0.5}$ は、シールド部材 3 を 0 . 5 mm 厚の A u とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。グラフ $G_{Al0.5}$ は、シールド部材 3 を 0 . 5 mm 厚の A l とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。グラフ $G_{SUS0.5}$ は、シールド部材 3 を 0 . 5 mm 厚のステンレス鋼とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。グラフ $G_{Cu0.5}$ は、シールド部材 3 を 0 . 5 mm 厚の C u とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。なお、この散乱後の放射線のエネルギースペクトルは、6 6 2 k e V のエネルギーを有する放射線がシールド部材 3 により散乱した後のエネルギースペクトルを表している
40
。

10

20

30

40

50

【0032】

図5に示されるように、シールド部材3を0.5mm厚のAuとした場合、662keV付近のエネルギーの分布比率は100%に近く、200keV~660keVのエネルギーの分布比率は0.2~0.6%程度、200keV以下のエネルギーの分布比率は0.01~0.08%程度である。シールド部材3を0.5mm厚のAlとした場合、662keV付近のエネルギーの分布比率は100%に近く、200keV~660keVのエネルギーの分布比率は0.04~0.1%程度、200keV以下のエネルギーの分布比率は0~0.03%程度である。シールド部材3を0.5mm厚のステンレス鋼とした場合、662keV付近のエネルギーの分布比率は100%に近く、200keV~660keVのエネルギーの分布比率は0.1~0.3%程度、200keV以下のエネルギーの分布比率は0.02~0.05%程度である。シールド部材3を0.5mm厚のCuとした場合、662keV付近のエネルギーの分布比率は100%に近く、200keV~660keVのエネルギーの分布比率は0.1~0.3%程度、200keV以下のエネルギーの分布比率は0~0.1%程度である。

10

【0033】

図6は、各種シールド部材3の厚さを1.0mmとした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルの一例を示す図である。グラフ G_{Au10} は、シールド部材3を1.0mm厚のAuとした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。グラフ G_{Al10} は、シールド部材3を1.0mm厚のAlとした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。グラフ G_{SUS10} は、シールド部材3を1.0mm厚のステンレス鋼とした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。グラフ G_{Cu10} は、シールド部材3を1.0mm厚のCuとした場合の散乱後の放射線のエネルギースペクトルを示す。なお、この散乱後の放射線のエネルギースペクトルは、662keVのエネルギーを有する放射線がシールド部材3により散乱した後のエネルギースペクトルを表している。

20

【0034】

図6に示されるように、シールド部材3を1.0mm厚のAuとした場合、662keV付近のエネルギーの分布比率は100%に近く、200keV~660keVのエネルギーの分布比率は0.3~0.8%程度、200keV以下のエネルギーの分布比率は0.02~0.1%程度である。シールド部材3を1.0mm厚のAlとした場合、662keV付近のエネルギーの分布比率は100%に近く、200keV~660keVのエネルギーの分布比率は0.08~0.3%程度、200keV以下のエネルギーの分布比率は0.01~0.06%程度である。シールド部材3を1.0mm厚のステンレス鋼とした場合、662keV付近のエネルギーの分布比率は100%に近く、200keV~660keVのエネルギーの分布比率は0.3~0.7%程度、200keV以下のエネルギーの分布比率は0~0.06%程度である。シールド部材3を1.0mm厚のCuとした場合、662keV付近のエネルギーの分布比率は100%に近く、200keV~660keVのエネルギーの分布比率は0.3~0.7%程度、200keV以下のエネルギーの分布比率は0~0.07%程度である。

30

【0035】

図7は、図4~図6の各種シールド部材3における662keVの放射線の散乱率の一例を示す図である。図7に示されるように、シールド部材3の厚さが大きいほど、散乱率は大きくなることわかる。また、シールド部材3の種類としては、Au、Al、ステンレス鋼およびCuのうち、Auが最も散乱率が高いことがわかる。

40

【0036】

図8は、放射線検出体2における放射線吸収量の増加率を示す図である。この放射線吸収量の増加率は、シールド部材3を設けない場合の放射線検出体2における放射線の吸収量に対する増加率である。図8に示されるように、図4~図6の各種シールド部材3のうち、0.1mm厚のAuのシールド部材3を用いた場合、放射線吸収量の増加率が最も高く13.6%である。また、他の種類のシールド部材3を用いた場合でも、数%程度の増

50

加率が得られる。この放射線吸収量の増加率は、シールド部材 3 による放射線の散乱率と放射線検出体 2 による放射線の吸収率との比率によって決定される。このため、散乱率が高いシールド部材 3 と、低エネルギー領域において吸収率が高い放射線検出体 2 とを用いることにより、放射線検出体 2 における放射線吸収量の増加率も大きくなる。

【 0 0 3 7 】

以上のように、図 4 ~ 図 6 のいずれの金属を用いた場合も、662 keV 付近のエネルギーの分布比率は 100% に近く、660 keV 以下のエネルギーの分布比率は数% 程度である。このため、例えば 662 keV のエネルギーを有する放射線 r1 が、図 4 ~ 図 6 のシールド部材 3 に入射した場合、シールド部材 3 における散乱自体は数% 程度しか生じないが、散乱後の放射線 r2 のエネルギーは、662 keV よりも低いエネルギー領域に一定の割合で分布する。一方、図 2 に示されるように、放射線検出体 2 の 662 keV のエネルギーの吸収率は 0.7% 程度であるが、200 keV のエネルギーの吸収率は 3% 程度、100 keV のエネルギーの吸収率は 15% 程度である。このように、放射線検出体 2 では、散乱後の低エネルギーの放射線 r2 の吸収率は、散乱前の放射線 r1 の吸収率よりも高いので、シールド部材 3 を設けない場合よりも全体として数% ~ 十数% 程度吸収率（検出感度）が向上する。

10

【 0 0 3 8 】

以上のように、シールド部材 3 によって散乱された放射線 r2 が、放射線検出体 2 によって検出される。その結果、放射線検出体 2 における放射線の吸収率が向上し、放射線の検出感度が向上する。

20

【 0 0 3 9 】

次に、上述のようにして検出された放射線の線量を算出する方法について説明する。この線量の算出は、マイコン 5 によって行われる。図 9 は、マイコン 5 の機能ブロック図である。図 9 に示されるように、マイコン 5 は、入力部 51 と、スペクトル取得部 52 と、変換係数算出部 53 と、変換係数格納部 54 と、線量算出部 55 と、出力部 56 と、を備えている。

【 0 0 4 0 】

入力部 51 は、操作ボタン 6 を介してユーザの操作を受け付ける。そして、入力部 51 は、受け付けた操作の内容を判定する。例えば、入力部 51 は、受け付けた操作が初期化モードを選択する操作か否かを判定をする。具体例を挙げて説明すると、入力部 51 は、例えば、表示装置 7 に動作モード選択用の画面が表示されている場合に、初期化モードを選択する操作がされたか否かを判定する。そして、入力部 51 は、受け付けた操作に関する操作情報をスペクトル取得部 52 および線量算出部 55 に送信する。例えば、入力部 51 は、選択された動作モードに関する情報をスペクトル取得部 52 および線量算出部 55 に送信する。

30

【 0 0 4 1 】

スペクトル取得部 52 は、放射線検出体 2 によって検出された放射線のチャンネルスペクトルを取得する。スペクトル取得部 52 は、例えば、入力部 51 から動作モードに関する情報を受信したことに応じて、増幅器 4 から出力される検出信号を受信する。そして、スペクトル取得部 52 は、受信した検出信号の電圧値を測定し、その電圧値（チャンネル）を横軸としてヒストグラム形式で入射数をカウントすることによって、チャンネルスペクトルを取得する。

40

【 0 0 4 2 】

変換係数算出部 53 は、スペクトル取得部 52 によって取得されたチャンネルスペクトルに基づいて、エネルギーを線量に変換するための変換係数を算出する。以下にチャンネルスペクトルから変換係数を算出する方法を具体的に説明する。まず、変換係数算出部 53 は、スペクトル取得部 52 によって取得されたチャンネルスペクトルを解析し、チャンネルスペクトルのピークをサーチする。そして、変換係数算出部 53 は、ピーク重心チャンネルを算出する。ここで、ピーク重心チャンネル C_{hp} は、ピークの中心点に対応するチャンネルであって、重み付き面積の総和 S_{a11} と総カウント値 C_{a11} とを用いて以下の式 (1) に

50

よって算出される。

【数 1】

$$Ch_p = S_{all} / C_{all} \cdots (1)$$

【0043】

なお、以下の式(2)に示されるように、重み付き面積の総和 S_{a11} は、ピークの開始チャンネル Ch_a からピークの終了チャンネル Ch_b において、各チャンネル Ch_i のカウント値 C_i とチャンネル Ch_i との積の総和によって算出される。ピークは一般的にガウス分布に従う。このため、ピークの開始チャンネル Ch_a および終了チャンネル Ch_b は、ガウス分布全体が入る点として、目測手動または自動取得アルゴリズムにより決定される。なお、 a および b は、1以上の整数であって、 b は a よりも大きい。

10

【数 2】

$$S_{all} = \sum_{i=a}^b (Ch_i \times C_i) \cdots (2)$$

【0044】

また、以下の式(3)に示されるように、総カウント値 C_{a11} は、ピークの開始チャンネル Ch_a からピークの終了チャンネル Ch_b において、各チャンネル Ch_i のカウント値 C_i の総和によって算出される。

【数 3】

$$C_{all} = \sum_{i=a}^b C_i \cdots (3)$$

20

【0045】

次に、変換係数算出部 53 は、チャンネル Ch をエネルギー E に変換するための第 1 校正係数 A および第 2 校正係数 B を算出する。ここで、第 1 ピーク重心チャンネル Ch_{p1} と、予め定められた第 1 エネルギー E_1 との関係は、第 1 校正係数 A と第 2 校正係数 B とを用いて以下の式(4)により表される。同様に、第 2 ピーク重心チャンネル Ch_{p2} と、予め定められた第 2 エネルギー E_2 との関係は、第 1 校正係数 A と第 2 校正係数 B とを用いて以下の式(5)により表される。

30

【数 4】

$$E_1 = A \times Ch_{p1} + B \cdots (4)$$

【数 5】

$$E_2 = A \times Ch_{p2} + B \cdots (5)$$

【0046】

この第 1 エネルギー E_1 および第 2 エネルギー E_2 は、エネルギースペクトルにおけるピークのエネルギーが予め判明している放射性物質のピークエネルギーである。また、第 1 ピーク重心チャンネル Ch_{p1} は、第 1 エネルギー E_1 のピークエネルギーを有する放射性物質のチャンネルスペクトルを測定し、測定したチャンネルスペクトルから算出したピーク重心チャンネルである。同様に、第 2 ピーク重心チャンネル Ch_{p2} は、第 2 エネルギー E_2 のピークエネルギーを有する放射性物質のチャンネルスペクトルを測定し、測定したチャンネルスペクトルから算出したピーク重心チャンネルである。

40

【0047】

そして、第 1 校正係数 A および第 2 校正係数 B は、上述の連立方程式(4)、(5)を解くことによって得られる以下の式(6)および式(7)により算出される。変換係数算出部 53 は、第 1 校正係数 A および第 2 校正係数 B を変換係数格納部 54 に格納する。

【数 6】

$$A = \frac{E_2 - E_1}{Ch_{p2} - Ch_{p1}} \dots (6)$$

【数 7】

$$B = E_2 - \frac{E_2 - E_1}{Ch_{p2} - Ch_{p1}} \times Ch_{p2} \dots (7)$$

【0048】

次に、変換係数算出部 53 は、チャンネル Ch をエネルギー E に変換する。ここで、エネルギー E_j は、チャンネル Ch_j と第 1 校正係数 A および第 2 校正係数 B とを用いて、以下の式 (8) により算出される。

10

【数 8】

$$E_j = A \times Ch_j + B \dots (8)$$

【0049】

そして、変換係数算出部 53 は、各チャンネル Ch_j をエネルギー E_j に変換することによって、スペクトル取得部 52 によって取得されたチャンネルスペクトルを、エネルギー E 対カウント値 C のヒストグラム (エネルギースペクトル) に変換する。さらに、変換係数算出部 53 は、エネルギースペクトルにおいて一定のエネルギー範囲 (例えば 100 keV) ごとにカウント値を合算し、エネルギースペクトルを十数点のスペクトルに変換する。

20

【0050】

そして、変換係数算出部 53 は、各点のエネルギーに対応するサーベイメータ係数を、合算したカウント値に積算することにより、エネルギー範囲ごとに変換係数を算出する。ここで、サーベイメータ係数とは、放射線のエネルギーに対応するサーベイメータの応答関数であって、サーベイメータ販売者によって公開されている。このサーベイメータ係数は、エネルギーごとに予め定められている。また、変換係数算出部 53 は、算出した変換係数を変換係数格納部 54 に格納する。

【0051】

変換係数格納部 54 は、変換係数算出部 53 によって算出された第 1 校正係数 A および第 2 校正係数 B と、変換係数算出部 53 によって算出されたエネルギーごとの変換係数と、を格納する。

30

【0052】

線量算出部 55 は、スペクトル取得部 52 によって取得されたチャンネルスペクトルと、変換係数格納部 54 に格納された第 1 校正係数 A および第 2 校正係数 B と変換係数とに基づいて、線量を算出する。具体的に説明すると、線量算出部 55 は、上述の式 (8) に示されるように、第 1 校正係数 A および第 2 校正係数 B とを用いて、チャンネルスペクトルをエネルギースペクトルに変換する。さらに、線量算出部 55 は、変換係数と同じエネルギー範囲ごとにエネルギースペクトルのカウント値を合算し、エネルギースペクトルを十数点のスペクトルに変換する。

40

【0053】

そして、線量算出部 55 は、各エネルギー範囲のカウント値と、そのエネルギー範囲に対応する変換係数を積算し、エネルギー範囲ごとの線量を算出する。そして、線量算出部 55 は、エネルギー範囲ごとの線量を合算することにより、全体の線量を算出する。出力部 56 は、線量算出部 55 によって算出された線量を表示するための表示情報を表示装置 7 に出力する。

【0054】

次に、上述した構成を有する放射線線量計 1 の動作について説明する。図 10 は、放射線線量計 1 の動作を示すフローチャートである。放射線線量計 1 の動作は、電源スイッチ

50

9 がユーザによって操作され、電源 8 がオフ状態からオン状態になることによって開始される。

【 0 0 5 5 】

まず、入力部 5 1 は、受け付けた操作が初期化モードを選択する操作であるか否かを判定する（ステップ S 0 1）。ステップ S 0 1 において、初期化モードを選択する操作であると判定された場合（ステップ S 0 1 ; Y E S）、初期化処理が行われる。この初期化処理において、スペクトル取得部 5 2 は、増幅器 4 を介して放射線検出体 2 から出力された検出信号を受信し、放射線検出体 2 によって検出された放射線のチャンネルスペクトルを取得する（ステップ S 0 2）。次に、変換係数算出部 5 3 は、スペクトル取得部 5 2 によって取得されたチャンネルスペクトルに基づいて変換係数を算出し、算出した変換係数を変換係数格納部 5 4 に格納する（ステップ S 0 3）。ステップ S 0 3 の詳細は後述する。ステップ S 0 3 の処理が終了すると、放射線線量計 1 の動作（初期化処理）を終了する。

10

【 0 0 5 6 】

一方、ステップ S 0 1 において、初期化モードを選択する操作でないと判定された場合（ステップ S 0 1 ; N O）、すなわち、他の動作モードを選択する操作と判定された場合、選択されたモードに応じた放射線線量の算出処理が行われる。この放射線線量の算出処理において、スペクトル取得部 5 2 は、増幅器 4 を介して放射線検出体 2 から出力された検出信号を受信し、放射線検出体 2 によって検出された放射線のチャンネルスペクトルを取得する（ステップ S 0 5）。

【 0 0 5 7 】

次に、線量算出部 5 5 は、上述の式（ 8 ）を用いて、変換係数格納部 5 4 に格納されている第 1 校正係数 A および第 2 校正係数 B に基づき、スペクトル取得部 5 2 によって取得されたチャンネルスペクトルをエネルギースペクトルに変換する（スペクトル取得ステップ）。そして、線量算出部 5 5 は、変換したエネルギースペクトルと、変換係数格納部 5 4 に格納されている変換係数とに基づいて、放射線の線量を算出する（ステップ S 0 6 , 線量算出ステップ）。すなわち、線量算出部 5 5 は、エネルギースペクトルの各エネルギーのカウント値とそのエネルギーに対応する変換係数とを積算し、エネルギーごとの線量を算出する。そして、線量算出部 5 5 は、エネルギーごとの線量を合算することにより、全体の線量を算出する。

20

【 0 0 5 8 】

そして、出力部 5 6 は、線量算出部 5 5 によって算出された線量を表示するための表示情報を表示装置 7 に出力し、表示装置 7 に線量を表示させる（ステップ S 0 7）。続いて、入力部 5 1 は、放射線線量の算出処理を終了する操作が行われたか否かを判定する（ステップ S 0 8）。放射線線量の算出処理を終了する操作は、例えば、電源スイッチ 9 によって電源 8 をオフ状態にする操作などである。ステップ S 0 8 において、放射線線量の算出処理を終了する操作が行われていないと判定された場合（ステップ S 0 8 ; N O）、ステップ S 0 5 に戻って、ステップ S 0 5 ~ ステップ S 0 8 の処理を繰り返す。

30

【 0 0 5 9 】

一方、ステップ S 0 8 において、放射線線量の算出処理を終了する操作が行われたと判定された場合（ステップ S 0 8 ; Y E S）、放射線線量計 1 の動作（放射線線量の算出処理）を終了する。なお、説明の便宜上、ステップ S 0 7 の後にステップ S 0 8 を設けているが、電源スイッチ 9 はユーザによって任意のタイミングで操作され得ることから、ステップ S 0 8 は、図 1 0 のフローチャートとは無関係に予め定められた期間ごとに行われるようにしてもよい。

40

【 0 0 6 0 】

続いて、ステップ S 0 3 の校正処理の詳細を説明する。図 1 1 は、校正処理の詳細を示すフローチャートである。図 1 1 に示されるように、まず、変換係数算出部 5 3 は、スペクトル取得部 5 2 によって取得されたチャンネルスペクトルを解析し、チャンネルスペクトルのピークをサーチする（ステップ S 3 1）。そして、変換係数算出部 5 3 は、上述の式（ 1 ）~ 式（ 3 ）を用いてピーク重心チャンネルを算出する（ステップ S 3 2）。

50

【0061】

次に、変換係数算出部53は、上述の式(4)～式(7)を用いて、算出したピーク重心チャンネルに基づいて、チャンネルをエネルギーに変換するための第1校正係数Aおよび第2校正係数Bを算出する。そして、変換係数算出部53は、上述の式(8)を用いて、チャンネルスペクトルをエネルギースペクトルに変換する(ステップS33)。

【0062】

続いて、変換係数算出部53は、エネルギースペクトルにおいて一定のエネルギー範囲(例えば100keV)ごとにカウント値を合算し、エネルギースペクトルを十数点のスペクトルに変換する。そして、変換係数算出部53は、各点のエネルギーに対応するサーベイメータ係数を、合算したカウント値に積算することにより、エネルギー範囲ごとの変換係数を算出する(ステップS34)。そして、変換係数算出部53は、算出した変換係数を変換係数格納部54に格納して(ステップS35)、校正処理を終了する。

10

【0063】

以上説明した放射線線量計1および放射線線量計1を用いた放射線線量の算出方法によれば、放射線検出体2をシールド部材3によって覆うことにより、ノイズを低減できるとともに、入射する放射線r1を散乱することができる。この散乱後の放射線r2のエネルギーは、散乱前の放射線r1のエネルギーよりも低いエネルギー領域に一定の割合で分布する。また、放射線検出体2は、散乱前の放射線r1のエネルギーよりも低いエネルギー領域における放射線の吸収率が、散乱前の放射線r1のエネルギーにおける放射線の吸収率よりも高い。このため、放射線の検出感度を向上することができる。

20

【0064】

また、シールド部材3によって散乱された放射線のエネルギーに応じて定められる変換係数を用いて、検出された放射線のエネルギーから線量を算出することにより、シールド部材3がない場合の線量、すなわち人体へ直接吸収される正味の線量を算出することが可能となる。その結果、構造を複雑化することなく線量の測定精度を向上することが可能となる。

【0065】

なお、本発明に係る放射線線量計および放射線線量の算出方法は本実施形態に記載したものに限定されない。例えば、放射線検出体2は、検出対象となる放射線の散乱前のエネルギーよりも低いエネルギー領域における吸収率が、放射線の散乱前のエネルギーにおける吸収率よりも高ければよく、CdZnTe(テルル化カドミウム亜鉛)、TlBr(臭化タリウム)、Ge(ゲルマニウム)などから構成されてもよい。

30

【0066】

また、操作ボタン6に代えて他の入力装置とすることもできる。また、入力部51は、所定の操作ボタン6が押された状態で、電源スイッチ9が押されて電源8がオン状態にされたことを検出することにより、初期化モードが選択されたと判定してもよい。

【0067】

また、変換係数算出部53は、100keVごとに変換係数を算出しているが、任意のエネルギー範囲ごとに変換係数を算出してもよい。エネルギー範囲をさらに小さくすることにより、線量算出部55は、さらに正確な線量を算出することが可能となる。

40

【0068】

また、変換係数算出部53は、第1校正係数Aおよび第2校正係数Bと変換係数とに基づいてチャンネルごとのカウント値を線量に変換するための第2変換係数を算出してもよい。この場合、線量算出部55は、スペクトル取得部52によって取得されたチャンネルスペクトルの各チャンネルごとのカウント値に第2変換係数を積算することにより線量を算出してもよい。

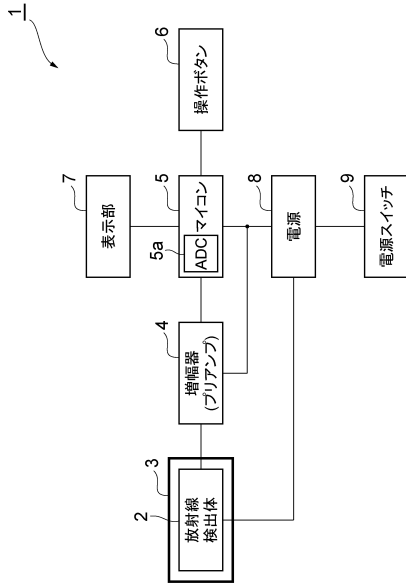
【符号の説明】

【0069】

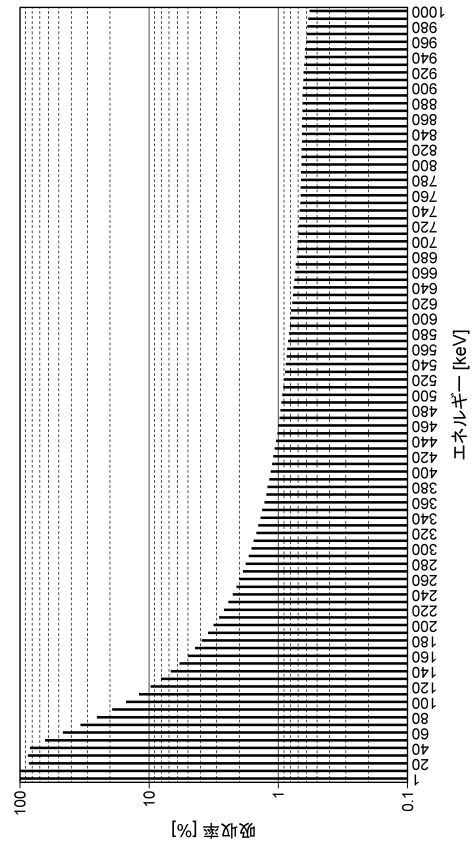
1...放射線線量計、2...放射線検出体、3...シールド部材、5...マイコン(演算装置)、7...表示装置。

50

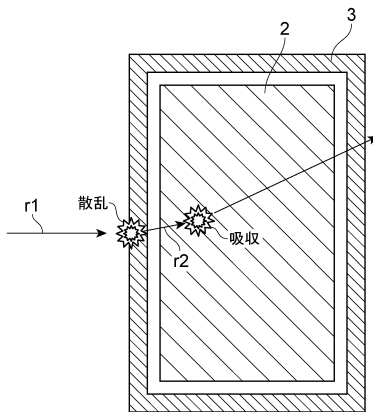
【図1】



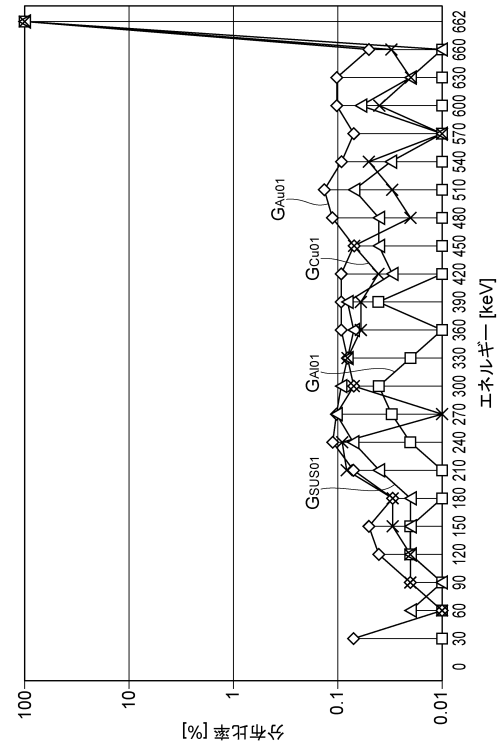
【図2】



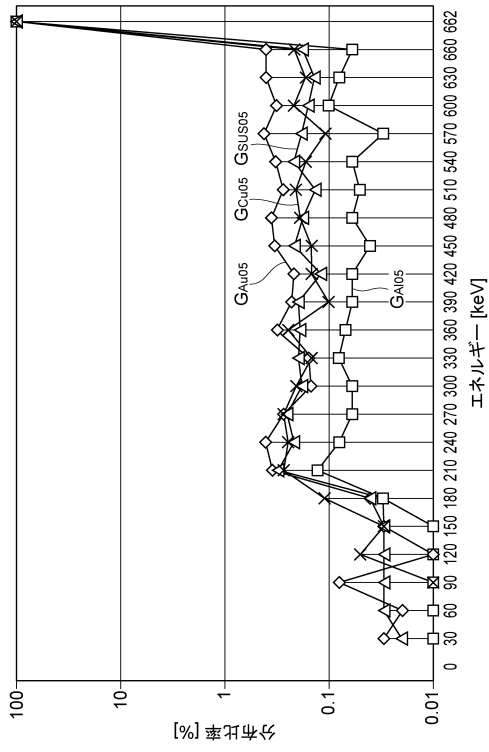
【図3】



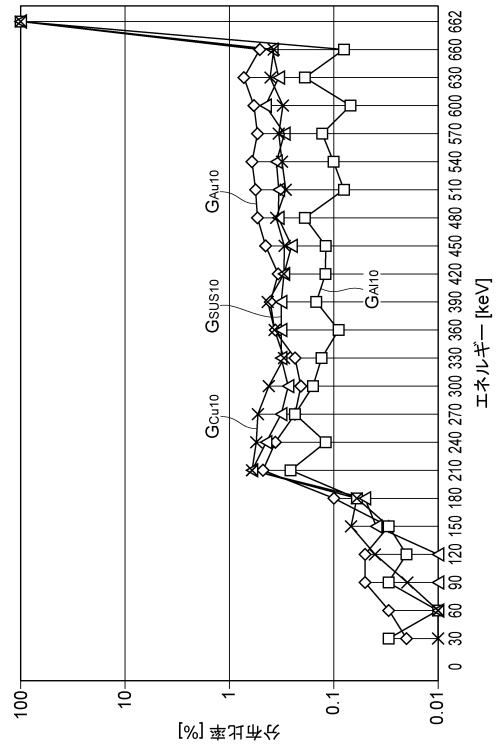
【図4】



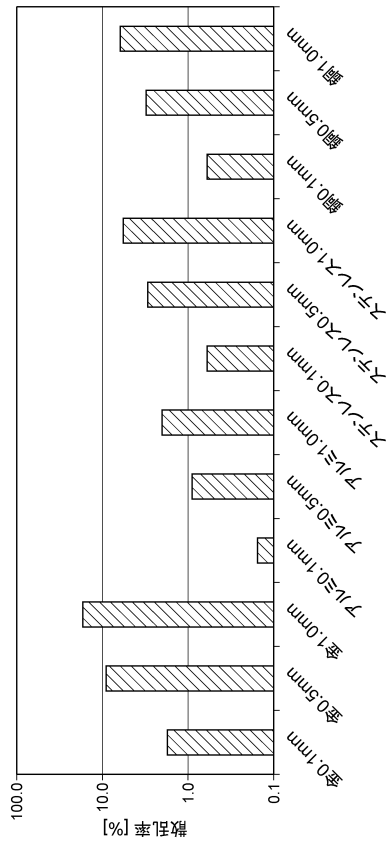
【図5】



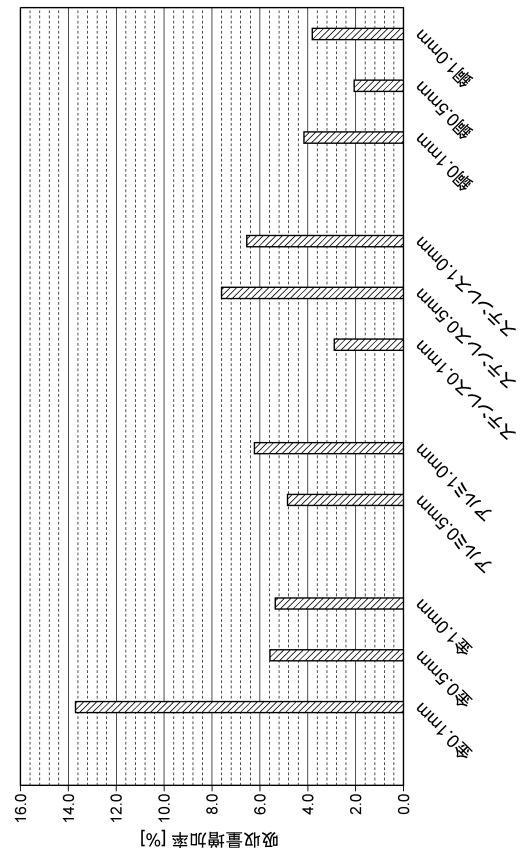
【図6】



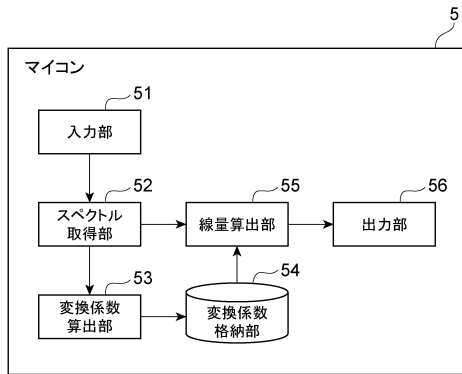
【図7】



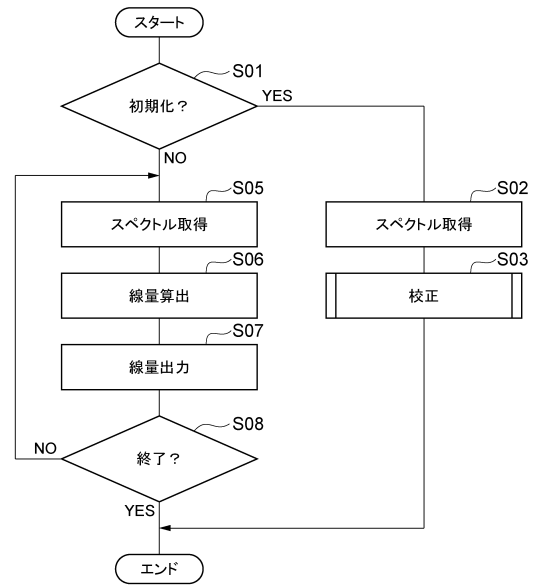
【図8】



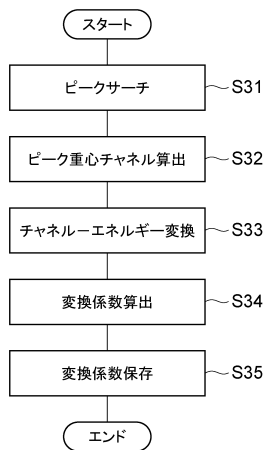
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 小池 昭史

静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立大学法人静岡大学電子工学研究所内

審査官 藤本 加代子

(56)参考文献 特開昭63-271187(JP,A)

特開平04-020893(JP,A)

特開2001-221860(JP,A)

国際公開第2009/062639(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T 1/00-1/16

G01T 1/167-7/12

JSTPlus(JDreamIII)