

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射線エネルギーを温度変化として検出する放射線検出素子と、
前記放射線検出素子を駆動する電力供給手段と、
前記放射線検出素子からの信号を電気信号に変換し増幅する信号読み出し手段と、
前記増幅された電気信号の波形をパルス信号に整形処理する波形整形器と、
前記パルス信号を波高スペクトルに対応して選別する波高分析器とからなる放射線分析装置において、
前記放射線検出素子に電流パルスを印加するパルス信号印加手段と、
前記波高分析器から出力された波高スペクトルと前記電流パルスに対応するエネルギー
スペクトルとから感度補正を行う演算処理装置とを備えることを特徴とする放射線分析装置。 10

【請求項 2】

請求項 1 記載の放射線分析装置において、
前記放射線検出素子が、超伝導転移端センサであることを特徴とする放射線分析装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載の放射線分析装置において、
前記電流パルスが異なる 2 種類以上の波高値であることを特徴とする放射線分析装置。

【請求項 4】

筐体と該筐体に納められた電子線、イオン、X 線のいずれかを放出する線源と、試料ホルダとを備え、
該試料ホルダ上の試料に前記電子線、イオン、X 線のいずれかを照射し、前記試料から発生する X 線のエネルギーを分析することを特徴とする請求項 1 乃至 3 記載の放射線分析装置を用いた X 線計測装置。 20

【請求項 5】

電力供給手段によって放射線検出素子に電力を供給する工程と、
放射線照射によって試料から放射される放射線を放射線検出素子で検出する工程と、
前記放射線検出素子からの信号を信号読み出し手段によって電気信号に変換し増幅する工程と、
波形整形器により前記電気信号をパルス信号に波形整形処理する工程と、 30
波高分析器により前記波形整形されたパルス信号を波高値に対応して選別する工程と、
波高分析器で前記選別された波高値に対応した計数値を示す波高スペクトルにする工程とからなる放射線分析方法において、
パルス信号印加手段から電流パルスを放射線検出素子に供給する工程と、
前記波高分析器から出力された前記電流パルスを含む波高スペクトルを演算処理装置回路で保存する工程と、
該演算処理装置で、前記保存された波高スペクトルの前記電流パルス信号に対応する波高エネルギーと前記電流パルスに対応するエネルギースペクトルとから感度係数を求める工程を有することを特徴とする放射線分析方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の放射線分析方法において
前記放射線検出素子が、超伝導転移端センサであることを特徴とする放射線分析方法。 40

【請求項 7】

請求項 5 または 6 に記載の放射線分析方法において、
前記パルス信号印加手段から前記電流パルスを前記放射線検出素子に印加する工程で、波高値の異なる 2 種類以上の前記電流パルスを印加し、
前記演算処理装置で、前記保存された波高スペクトルの前記電流パルスに対応する波高エネルギーと前記電流パルスに対応するエネルギースペクトルとから感度係数を求める工程で、前記異なる 2 種類以上の前記電流パルスごとに感度係数を求めることを特徴とする放射線分析方法。 50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、試料からX線などの放射線のエネルギーを計測することにより、試料に含まれる元素の組成を分析する放射線分析装置と放射線分析方法、及びそれを用いたX線計測装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

放射線分析装置は、放射線のエネルギーやその強度を計測する装置である。放射線の種類は、そのエネルギー（波長）によって、赤外線、可視光線、紫外線、X線、ガンマ線などに分類される。特に、X線計測では、荷電粒子線もしくはX線を試料表面に照射し、試料表面から発生する特性X線もしくは蛍光X線を計測し、試料に含まれる元素の定性分析、定量分析に使用されている。このような放射線分析装置では、エネルギーに対する分解能が優れていることが重要である。近年、元素の定性分析や定量分析の応用において、さらに厳しい検出精度が要求されており、さらに高いエネルギー分解能を持つ放射線検出素子やそれを用いた分析装置が求められている。

【0003】

放射線分析装置の一つであるエネルギー分散型X線分析装置（EDSもしくはEDXと呼ばれる）では、従来、放射線検出素子としてシリコン（Si）やゲルマニウム（Ge）を用いた半導体検出素子が使用されてきた。

【0004】

図11に、従来技術による放射線分析装置の構成図を示す。放射線を検出する放射線検出素子51と、放射線検出素子51を駆動するための電力供給手段52、放射線検出素子51から出力された信号を電気信号に変換し増幅する信号読み出し手段21と、増幅された電気信号の波形をパルス信号に整形処理する波形整形器3と、波形整形器3から出力されたパルス信号を波高値に対応して選別し、パルス波高値に対応した計数値を示す波高スペクトル（ヒストグラム）にする波高分析器4と、その波高スペクトルを表示する表示装置53とから構成される。

【0005】

放射線のエネルギーは放射線分析装置で得られる波高値に対応する。波高分析器4で得られた波高スペクトルは、測定前に得られている既知の感度係数を使ってエネルギースペクトルに変換される。

【0006】

近年、シリコンやゲルマニウムの半導体検出器よりも高いエネルギー分解能を有する、超伝導現象を応用した超伝導放射線検出器が注目されている。この超伝導放射線検出器には、温度により超伝導状態と常伝導状態との中間の転移状態を利用した超伝導転移端センサ（Transition Edge Sensor: TES）を用い、外部から照射される放射線により発生した熱をTESでの抵抗変化として検出するTESカロリメータが知られている。（例えば、非特許文献1を参照）

図12に、放射線検出素子としてTESを用いた従来技術による放射線分析装置の構成図を示す。放射線検出素子であるTES1を動作させる電力を供給するための電力供給手段52は、バイアス電流源2とシャント抵抗10から構成される。また、TES1に流れる電流を検出する信号読み出し手段21は、超伝導量子干渉素子（SQUID: Superconducting Quantum Interference Device）8とSQUID駆動回路9から構成される。SQUID駆動回路9によりSQUID8を駆動し、TES1からの信号をSQUID8で電気信号に変換され、その電気信号をSQUID駆動回路9で増幅し電圧信号に変換される。

【0007】

また、SQUID8はジョセフソン接合（JJ）を含むSQUIDループ36とSQUIDループ36に磁気結合された入力コイル38によって構成される。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

ここで、T E S 1 および S Q U I D 8 は冷却装置 2 0 に収められ、冷却される。

【 0 0 0 9 】

バイアス電流源 2 は定電流源であり、シャント抵抗 1 0 の抵抗値を T E S 1 の常伝導抵抗より十分小さくすることにより、T E S 1 を定電圧バイアスする。

【 0 0 1 0 】

放射線入射に対して T E S 1 で生じた X 線パルス、もしくはパルス信号は、S Q U I D 駆動回路 9 で電圧信号に変換される。

【 0 0 1 1 】

S Q U I D 駆動回路 9 で出力された電圧信号は波形整形器 3 により波形整形される。波形整形器 3 から出力されたパルス信号は波高分析器 4 により波高値に対応して選別される。波高分析器 4 から出力された波高分析データは表示装置 5 3 を用いて波高スペクトルを表示する。 10

【 0 0 1 2 】

図 1 3 に、放射線検出素子として T E S の構成を示す。放射線を吸収し、熱に変換する吸収体 1 3 と、その熱による温度変化を検出する抵抗体 1 4 が、熱の拡散を制御する熱リンクとして機能とするメンブレン 1 2 上に形成される。そして、吸収体 1 3 と抵抗体 1 4 がメンブレン 1 2 を介して、冷却装置のコールドブロック 1 6 上に設置される。T E S の抵抗体は超伝導材料を用いて作製され、その構成は超伝導材料単体もしくは超伝導材料と常伝導材料の複合体である。 20

【 0 0 1 3 】

電極 1 5 でバイアス電流源 2 や S Q U I D 8 と接続される。

【 0 0 1 4 】

図 1 2 では、T E S 1 の電極の片方はバイアス電流源 2 に、もう一方は S Q U I D 8 に接続されている。

【 0 0 1 5 】

図 1 4 に、典型的な T E S の温度 抵抗曲線を示す。T E S は動作温度により、抵抗値がゼロとなる超伝導状態、抵抗値 R_n をもつ常伝導状態、その中間の転移状態と、その状態を変化させる。T E S の動作温度 T_t が臨界温度 T_c で超伝導状態になる。T E S カロリメータは、転移状態における急峻な抵抗変化を利用することで高感度な温度計測を可能とする。冷却装置 2 0 のコールドブロック 1 6 の温度 T_b は T_c より低い温度に冷却される。 30

【 0 0 1 6 】

バイアス電流源 2 から供給される電力により、T E S 1 ではジュール熱 P_t ($P_t = V_t^2 / R_t$) が発生し、そのジュール熱により抵抗体の動作温度 T_t はコールドブロック 1 6 の温度 T_b より上昇する。ここで、 V_t は図 1 2 における抵抗体 1 4 にかかる電圧を表す。抵抗体 1 4 で発生するバイアス電流を調整し、T E S 1 の動作温度を転移状態である点 A に固定させる。

【 0 0 1 7 】

次に T E S カロリメータによる放射線検出原理を説明する。T E S 1 の動作温度を転移状態の点 A に固定した定常状態 (図 1 4 における点 A : 温度 T_o 、抵抗値 R_o) にバイアスされた状態で放射線が吸収体に入射すると、吸収体および抵抗体の温度 T_t が上昇する。その温度上昇による抵抗変化に伴い、T E S 内部を流れる電流 I_t に変化が生じる。 40

【 0 0 1 8 】

図 1 5 に、T E S カロリメータの定型的な熱応答波形を示す。この波形は T E S カロリメータに流れる電流値に換算されている。放射線入射による信号波形は、そのエネルギーに対応した波高値まですばやく立ち上がった後、指数関数的に減衰し、定常状態に復帰する。波高値 P_H は入射エネルギーに対応することから、波高値 P_H を計測することで放射線の入射エネルギーを求めることができる。

【 0 0 1 9 】

放射線検出素子である T E S 場合、T E S に印加するバイアス電流や T E S の冷却温度などの測定環境の変動によって素子の特性が変化する。また、常温と冷却との動作温度間の熱サイクルに起因する経時変化でも T E S の特性が変化する。ここでの特性の変化とは、波高値 P H や立ち下がり時定数の特性であり、波高値の変動つまり感度の変動が生じることで、放射線のエネルギースペクトルのシフトが生じる。そのために、T E S カロリメータの特徴である高分解能性を十分引き出すことができなくなる。

【 0 0 2 0 】

そこで、入射エネルギーに対する T E S カロリメータによって発生する波高値（感度）の感度校正をする必要となる。通常、元素が既知である標準試料を用いて、その元素に対応するエネルギーと放射線検出素子による波高値 P H の関係を求めたり、または、エネルギー値が既知である基準放射線源を用いて直接放射線検出素子に照射し、入射エネルギーと放射線検出素子による波高値 P H の関係を求めることで放射線分析装置の感度校正をしていた。

10

【非特許文献 1】D. A. Wollman 他、High-resolution、energy-dispersive microcalorimeter spectrometer for X-ray microanalysis、" J. Microscopy "、1997、vol.188、p.196-222

【特許文献 1】米国特許第 5 6 4 1 9 6 1 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 2 1 】

20

しかしながら、上記従来の方法では、以下の課題が残されている。

【 0 0 2 2 】

従来の標準試料や基準放射線源を用いた方法では、実際の試料を測定中の放射線検出素子の感度変動を測定することはできないので、正確なエネルギースペクトル測定ができないという問題があった。

【 0 0 2 3 】

また、放射線検出素子の感度は入射放射線のエネルギーに対して、必ずしも比例関係でないため、従来の標準試料や基準放射線源を用いた方法において複数の標準試料や基準放射線源を用いて感度測定をする必要があり、感度校正は容易ではなかった。

【 0 0 2 4 】

30

本発明は、このような事情に考慮してなされたもので、その目的は、実際の試料を測定している際にも、放射線検出素子の感度を校正することができ、または感度校正する際に複数の基準パルス印加することでエネルギーと感度の相関を正確に測定できる放射線分析装置と放射線分析方法、及びそれを用いた X 線計測装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 5 】

本発明は、前記の問題点を解決するために以下の手段を提供する。

【 0 0 2 6 】

放射線エネルギーを温度変化として検出する放射線検出素子と、放射線検出素子を駆動する電力供給手段と、放射線検出素子からの信号を電気信号に変換し増幅する信号読み出し手段と、増幅された電気信号の波形をパルス信号に整形処理する波形整形手段と、パルス信号をエネルギースペクトルに対応して選別する波高分析手段とからなる放射線分析装置において、放射線検出素子に電流パルス印加するパルス信号印加手段と、波高分析手段から出力されたエネルギースペクトルを保存する記憶手段と、記憶手段に保存されたエネルギースペクトルと、パルス信号印加手段から電流パルスに対応するエネルギースペクトルとから感度補正を行う演算処理装置とを備えるようにした。

40

【 0 0 2 7 】

また、パルス信号印加手段から波高値の異なる 2 種類以上の電流パルスを放射線検出素子に印加するようにした。

【 0 0 2 8 】

50

また、筐体と筐体に納められた電子線、イオン、X線のいずれかを放出する線源と、試料ホルダとを備え、試料ホルダ上の試料に電子線、イオン、X線のいずれかを照射し、試料から発生するX線エネルギー分析するようにした。

【発明の効果】

【0029】

本発明に係る放射線分析装置と放射線分析方法、及びそれを用いたX線計測装置によれば、放射線検出素子の冷却温度やバイアス電流の変動による放射線検出素子の特性の変動が生じて、実際の試料を測定している際にも、放射線検出素子の感度を校正をすることができ、または感度校正する際に複数の基準パルス印加することでエネルギーと感度の相関を正確に測定できるようになる。それにより、高精度、高分解能の放射線分析装置と放射線分析方法、及びそれを用いたX線計測装置を提供することができる。

【0030】

特に、放射線検出素子として、非常に高い分解能を有するTESカロリメータを用いる場合、TESカロリメータの高エネルギー分解能性を十分引き出すことができ、高精度な分析を実現できる。

【0031】

また、試料を測定している最中の実際の入射エネルギーに対するTESカロリメータの感度を線形化することができるため、データ収集後の複雑な処理を不要とし、短時間で精度の高い分析結果を得ることができる。

【0032】

さらに、基準放射線源の使用、標準試料や装置外から放射線を照射すること無く、感度校正を随時行うことができることから、走査型電子顕微鏡や電子線マイクロビーム分析装置などの電子線励起によるX線計測装置へ適用において、操作性および高性能の点で大きな効果をもたらす。

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

以下に本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0034】

図1に本発明の実施の形態1にかかわる超伝導転移センサ(TES)を利用したTESカロリメータを用いた放射線分析装置の構成図を示す。

【0035】

本実施形態の放射線分析装置は、放射線検出素子であるTES1と、TES1を動作させる電力を供給するための電力供給手段52と、TES1で発生した信号を電気信号に変換し増幅する信号読み出し手段21と、増幅された電気信号の波形をパルス信号に整形処理する波形整形器3と、波形整形器3から出力されたパルス信号を波高ごとに識別する波高分析器4と、波高分析器4から出力された出力された波高スペクトルを用いて感度校正を行う演算処理装置18と、エネルギースペクトルを表示する表示装置から構成される。

【0036】

TES1を動作させる電力を供給するための電力供給手段52として、バイアス電流源2とシャント抵抗10が用いられている。バイアス電流源2は定電流源であり、シャント抵抗10の抵抗値をTES1の常伝導抵抗より十分小さくすることにより、TES1を定電圧バイアスする。

【0037】

また、TES1の放射線照射による抵抗変化を電気信号に変換するため信号読み出し手段21として、TES1に流れる電流を検出し電圧信号に変換する超伝導量子干渉素子(SQUID)8およびSQUIDを駆動するSQUID駆動回路9が用いられている。SQUID駆動回路9によりSQUID8を駆動し、TES1からの信号をSQUID8で電気信号に変換され、その電気信号をSQUID駆動回路9で増幅され電圧変換される。

【0038】

SQUID8はジョセフソン接合を含むSQUIDループ36とSQUIDループ36

10

20

30

40

50

に磁気結合された入力コイル 38 によって構成される。

【0039】

また、TES 1 および SQUID 8 は冷却装置 20 に収められ、冷却される。

【0040】

また、パルス信号印加手段であるパルス信号発生器 7 を備え、パルス信号発生器 7 が発する電流パルスを TES 1 に印加する。

【0041】

図 2 に、パルス信号発生器 7 から入力される電流パルスの信号波形の一例を示す。TES は電流パルスによって立ち下がり時定数 τ をもつパルス信号が発生する。電流パルスを使い、実際の放射線照射と同様のパルス波形を得るためには、電流パルスのパルス幅 t_w をより十分短くする。ここでは、TES の立下り時定数 τ は $100\mu s$ 程度であるため、 t_w は数 μs の電流パルスを用いる。

10

【0042】

また、電流パルスによって印加されるパルス信号のエネルギーは、パルス波高値 I_p 、パルス幅 t_w 、および TES の動作抵抗 R_o の積により近似することができる。そのため、感度校正に用いる電流パルスの波高値 I_p の値は実際に測定するエネルギー範囲に合わせて、 $E = I_p^2 \times R_o \times t_w$ となるように選ばれる。

【0043】

次に、本実施例の放射線分析装置を用いる際の放射線分析方法について説明する。そのフローチャート図を図 3 に示す。図 1 と図 3 により順を追って、各工程を説明する。

20

【0044】

電力供給手段 52 によって放射線検出素子である TES 1 を駆動するために電力が供給する。

【0045】

次に、感度校正のためのデータ取得を行うか、試料による分析データを取得するかを選択する。

【0046】

感度校正のためのデータ取得を行う場合、まず、パルス信号印加手段であるパルス信号発生器 7 から電流パルスを電力供給手段 52 の信号に加算、または、直接前記パルス信号が放射線検出素子である TES 1 に印加する。

30

【0047】

次に、TES 1 で発生した信号を信号読み出し手段 21 で電気信号に変換する。

【0048】

信号読み出し手段 21 から出力された電気信号を波形整形器 3 によりパルス波形に整形処理する。

【0049】

波形整形器 3 から出力されたパルス信号を波高分析器 4 により波高値に対応して選別する。

【0050】

波高分析器 4 から出力されたパルス信号による波高スペクトルを演算処理装置 18 により保存する。

40

【0051】

演算処理装置 18 で、保存された波高スペクトルのパルス信号に対応するピーク位置と、パルス信号発生器 7 からのパルス信号の実際のエネルギーと一致するように感度係数を求めて感度校正する。

【0052】

次に、パルス信号発生器 7 から発する電流パルスを停止する。

【0053】

また、実際の試料分析を、前記の感度校正に引き続き行う場合には、

TES 1 で試料から放射される放射線を検出する。

50

【 0 0 5 4 】

T E S 1 から発生した信号を信号読み出し手段 2 1 によって電気信号に変換する。

【 0 0 5 5 】

信号読み出し手段 2 1 からの電気信号は波形整形器 3 によりパルス波形に整形処理する。

【 0 0 5 6 】

波形整形器 3 から出力されたパルス信号を波高分析器 4 により波高値に対応して選別する。

【 0 0 5 7 】

演算処理装置 1 8 で、波高分析器 4 により選別された波高スペクトルを感度係数を用いてエネルギースペクトルに変換する。 10

【 0 0 5 8 】

感度校正されたエネルギースペクトルに変換した分析結果を表示装置 5 3 により表示する。

【 0 0 5 9 】

次に、同じ試料による分析を続けるかを判断する。

【 0 0 6 0 】

さらに、分析を続ける場合は、感度校正のためのデータ取得を行うか、試料による分析データを取得するかを選択する箇所へ戻り、感度校正用データ取得もしくは分析データ取得を実施する。 20

【 0 0 6 1 】

分析終了の場合は、電力供給手段 5 2 による放射線検出素子への電力を停止し、分析終了とする。

【 0 0 6 2 】

感度校正するための演算処理装置 1 8 の機能は、パルス信号による信号の波高スペクトルを取得し、保存し、波高スペクトルのピークがパルス信号によって実際に印加したエネルギー E_{in} と一致するように波高スペクトルからエネルギースペクトルに換算する感度係数を導出し、さらに、分析データである試料による波高スペクトルをその感度係数を用いてエネルギースペクトルに換算することである。

【 0 0 6 3 】

図 4 に、パルス信号印加によって T E S 1 で検出された信号を波高分析器 4 で演算処理した後の波高スペクトルの一例を示す。図 4 は、ある時間間隔をおいて測定された 2 回分の波高スペクトルを示す。2 つの波高スペクトルは時間 1、時間 2 において同じ測定条件で、各々有限時間内に取得された複数のパルス信号によって構成されている。横軸は波形整形器 3 から出力されたパルス信号の波高値 PH を表し、縦軸はパルス信号の計数値を表す。時間 1 における波高スペクトルには電流パルスによるピーク 4 0 1 があり、そのピーク位置の波高値は PH1 である。一方、時間 2 における波高スペクトルには電流パルスによるピーク 4 0 2 があり、ピーク位置の波高値は PH2 である。 30

【 0 0 6 4 】

図 4 は、波高スペクトルのピーク位置がシフトする様子を表し、本発明が解決しようとする課題を示すものである。 40

【 0 0 6 5 】

図 5 に、T E S 1 に入射したエネルギーと波高分析器 4 で測定された波高スペクトルの関係を示す。ここで、入射エネルギー E_{in} は、パルス信号印加手段からの電流パルス信号の実際のエネルギーを表す。

【 0 0 6 6 】

演算処理装置 1 8 では、時間 1、および時間 2 の波高スペクトルのピーク位置が入射エネルギー E_{in} のエネルギーに対応するように、それぞれの時間における校正曲線を計算する。ここでは、1 種類の波高値の電流パルスを入力した場合であるので、1 次の線形近似を行った結果が直線で表されている。校正直線 5 0 1 は時間 1 後の校正直線を、また、校正 50

直線 5 0 2 は時間 2 後の校正直線を表す。

【 0 0 6 7 】

演算処理装置 1 8 では、校正直線 5 0 1、5 0 2 から時間 1、時間 2 における感度係数を導出して、さらに、その感度係数を用いて波高分析器 4 から出力された波高スペクトルをエネルギースペクトルに校正する。

【 0 0 6 8 】

図 6 に、導出した感度係数を用いて感度校正が行われたパルス信号印加によるエネルギースペクトルを表す。この感度校正により、時間 1 で測定されたスペクトル 6 0 1 と時間 2 で測定されたスペクトル 6 0 2 を一致させることができる。ここでは、校正用に用いている電流パルス自身の感度校正の例を示した。実際の分析では、試料が発する放射線を検出し、その波高スペクトルをエネルギースペクトルに換算する。

このような感度校正を定期的に行うことにより、エネルギースペクトルのシフトを防ぐことができる。実際の分析では、試料が発する放射線によって得られる波高スペクトルに対して、感度校正によって得られた感度係数を用いてエネルギースペクトルに換算する。

【 0 0 6 9 】

本実施形態により、容易に感度校正が行えるため、エネルギースペクトルのピークシフトを抑制することができる。その結果、常に正確な分析結果を得ることができる。特に、放射線検出素子として、非常に高い分解能を有する T E S カロリメータを用いる場合、エネルギースペクトルのピークシフトは重要な問題であった。本発明により、T E S カロリメータの高エネルギー分解能性を十分引き出すことができ、高精度な分析を実現できる。

(実施の形態 2)

本実施例の構成は、図 1 で示した実施形態 1 と同じである。また、分析方法のフローチャートも実施形態 1 で説明したものと同じである。ただし、印加するパルス信号に、波高値の異なる 2 種類のパルスを使用する点異なる。

【 0 0 7 0 】

感度校正用データを取得する際、図 1 のパルス信号印加手段であるパルス信号発生器 7 から波高値の異なる 2 種類の電流パルス (E_{i_n1} のエネルギーを与える電流パルス 1 と E_{i_n2} のエネルギーを与える電流パルス 2) を T E S 1 に印加する。

【 0 0 7 1 】

図 7 に、パルス信号印加によって T E S 1 で検出された信号を波高分析器 4 で演算処理した後の波高スペクトルの一例を示す。図 7 は、ある時間間隔をおいて測定された 2 回分の波高スペクトルを示す。2 つの波高スペクトルは時間 3、時間 4 において同じ測定条件で、各々有限時間内に取得された複数のパルスによって構成されている。横軸は波形整形器から出力されたパルスの波高値 PH を表し、縦軸はパルスの計数値を表す。時間 3 の波高スペクトルにはパルス 1 およびパルス 2 に対応するピーク 7 1 3 およびピーク 7 2 3 が表れている。それぞれのピーク位置の波高は PH31 および PH32 である。時間 4 の波高スペクトルにはパルス 1 およびパルス 2 に対応するピーク 7 1 4 およびピーク 7 2 4 が表れている。それぞれのピーク位置の波高は PH41 および PH42 である。

【 0 0 7 2 】

図 7 は、波高分析手段で得られた各回の波高スペクトルを示す。ここで、各回の波高スペクトルのピーク位置がシフトしている様子を表している。

【 0 0 7 3 】

図 8 に、OLE_LINK1 T E S に入射されたエネルギーと波高分析手段で測定された波高スペクトルの関係を示す。 E_{i_n1} および E_{i_n2} は OLE_LINK1、パルス信号として印加した電流パルス 1 および電流パルス 2 の実際のエネルギーを表す。演算処理装置 1 8 では、時間 3、および時間 4 の波高スペクトルの電流パルス 1 および電流パルス 2 によるピーク位置が E_{i_n1} および E_{i_n2} のエネルギーに対応するように、それぞれの時間における校正曲線を計算し、感度係数を導出する。

図 8 には、計算により求められた結果が校正曲線 8 0 3 および校正曲線 8 0 4 として表されている。校正曲線 8 0 3 は時間 3 後に用いられる校正曲線を、また、校正曲線 8 0 4 は

10

20

30

40

50

時間 4 後に用いられる校正曲線を表す。これらの校正曲線により、入射エネルギーに対する感度係数を求めることができる。演算処理装置 18 では、校正曲線 803、804 から時間 3、時間 4 におけるエネルギーに対する感度係数を求め、さらに、その感度係数を用いて、波高分析手段 4 から出力された波高スペクトルをエネルギースペクトルを校正する。

【0074】

図 9 に、導出した感度係数を用いて感度校正が行われたパルス信号印加によるエネルギースペクトルを表す。この感度校正により、時間 3 で測定されたスペクトル 903 と時間 4 で測定されたスペクトル 904 の一致させることができる。ここでは、校正用に用いているパルス信号自身の感度校正の例を示した。このような感度校正を定期的に行うことにより、エネルギーシフトを防ぐことができる。実際の分析では、試料が発する放射線によって得られるスペクトルに対して、感度校正によって得られた感度係数をエネルギーに換算する。

10

【0075】

本実施形態では、波高値の異なる 2 種類の電流パルス信号を使用している。その結果、より正確な感度校正を行うことが出来る。

【0076】

本実施形態では、2 種類のパルスは波高値のパルス信号を加えたが、2 種類以上の電流パルス信号を印加することで精度の高い感度校正ができる。

20

(実施の形態 3)

図 10 に実施の形態 3 にかかわる本発明の放射線分析装置を用いた X 線計測装置の構成図を示す。本実施形態の X 線計測装置は、電子線を試料に照射することで試料から放出される X 線を検出して試料の定性分析・定量分析などを行う。真空環境にできる分析室 43 内に、試料 S を設置する試料ステージ 47 と、電子線照射部 44 と、電子線検出部 46 と、放射線検出装置 45 とを備え、分析室の真空環境を保ち試料を導入するための試料導入部 42 が分析室に接続されている構成である。

【0077】

分析室 43 の内部には、試料 S に照射するための電子ビーム B を発生する電子線照射部 44 や試料から発生する X 線 R を分光して検出する放射線分析装置 45などを備えている。また、試料 S を移動させるための試料ステージ 47 が設けられている。電子線照射部 44 は、電子を発生させて加速する電子銃と、電子ビームを細く絞るための収束レンズや対物レンズと、照射される電子ビームを試料上で走査するための偏向器などを含んでいる。電子検出器部 46 はシンチレータと光電子増倍管などからなり、二次電子や反射電子を検出する。これらの電子線照射部 44 と放射線分析装置 45 と電子検出部 46などで走査電子顕微鏡または電子線 マイクロアナライザの機能を実現する主要部を構成している。

30

【0078】

これにより、走査型電子顕微鏡や電子線マイクロビーム分析装置は、従来、分析室のスペースや光学系の配置の問題から、基準放射線源や標準試料を装置内部に設置することや装置外から放射線を照射することは困難であり、リアルタイムでの感度校正は重要な課題であった。本実施形態により、基準放射線源の使用、標準試料や装置外から放射線を照射すること無く、感度校正を随時行うことができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0079】

【図 1】本発明の実施形態 1 に係わる超伝導転移センサ (TES) カロリメータを用いた放射線分析装置の構成図。

【図 2】パルス信号発生器の信号波形の例。

【図 3】本発明の実施形態 1 に係わる放射線分析方法のフローチャート。

【図 4】本発明の実施形態 1 に係わる電流パルスの印加により TES で検出されたパルス信号を波高分析器で演算処理した後の波高スペクトルの一例。

【図 5】本発明の実施形態 1 に係わる TES に入力する電流パルスエネルギーと波高分析

50

手段で測定された波高スペクトルの関係を示す一例。

【図 6】本発明の実施形態 1 に係わる感度係数を用いて感度校正が行われたパルス信号によるエネルギースペクトルの一例。

【図 7】本発明の実施形態 2 に係わる波高値の異なる 2 種類のパルス信号が印加された状態での、TES で検出された信号を波高分析器で演算処理した後の波高スペクトルの一例。

【図 8】本発明の実施形態 2 に係わる波高値の異なる 2 種類のパルス信号が印加された状態での、TES に入力する電流パルスエネルギーと波高分析手段で測定された波高スペクトルの関係を示す一例

【図 9】本発明の実施形態 2 に係わる感度係数を用いて感度校正が行われた波高値の異なる 2 種類のパルス信号によるエネルギースペクトルの一例。 10

【図 10】本発明の実施形態 3 にかかわる X 線計測装置の構成図。

【図 11】従来技術による放射線分析装置の構成図。

【図 12】従来技術による放射線分析装置の別の構成図。

【図 13】超伝導転移端センサ (TES) の構成図。

【図 14】超伝導転移端センサ (TES) の温度 抵抗曲線。

【図 15】超伝導転移端センサ (TES) の熱応答信号波形。

【符号の説明】

【0080】

- | | | |
|----|----------------------|----|
| 1 | 超伝導転移端センサ (TES) | 20 |
| 2 | バイアス電流源 | |
| 3 | 波形整形器 | |
| 4 | 波高分析器 | |
| 7 | パルス信号発生器 (パルス信号印加手段) | |
| 8 | 超伝導量子干渉素子 (SQUID) | |
| 9 | SQUID 駆動回路 | |
| 10 | シャント抵抗 | |
| 11 | 基板 | |
| 12 | メンブレン (熱リンク) | |
| 13 | 吸収体 | 30 |
| 14 | 抵抗体 | |
| 15 | 電極 | |
| 16 | コールドブロック | |
| 18 | 演算処理装置 | |
| 20 | 冷却装置 | |
| 21 | 信号読み出し手段 | |
| 36 | SQUID ループ | |
| 38 | 入力コイル | |
| 42 | 試料導入部 | |
| 43 | 分析室 | 40 |
| 44 | 電子線照射部 | |
| 45 | X 線分光部 | |
| 46 | 電子線検出部 | |
| 47 | 試料ステージ | |
| 51 | 放射線検出素子 | |
| 52 | 電力供給手段 | |
| 53 | 表示装置 | |

【 图 3 】

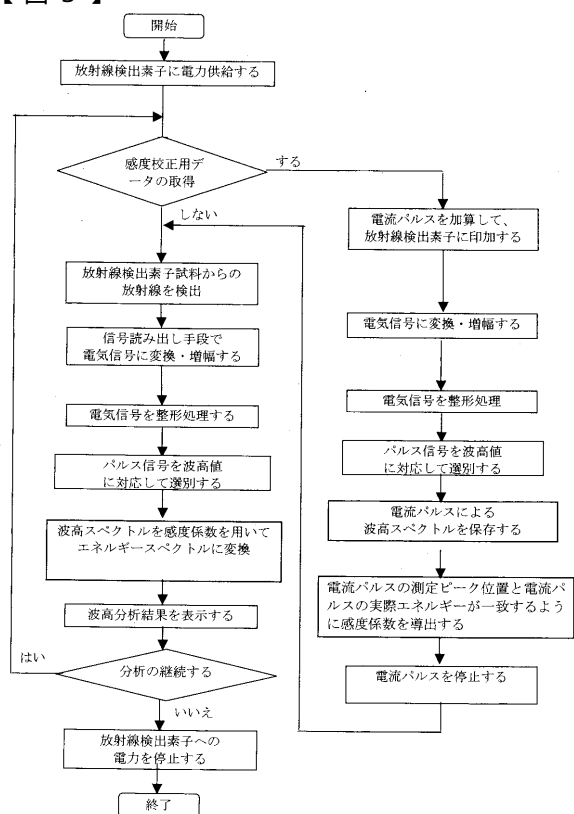
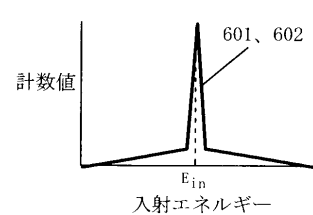
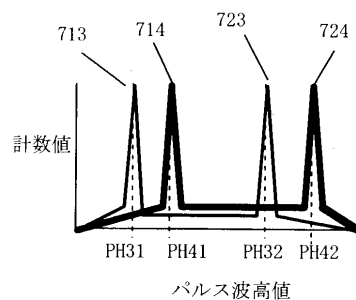


Figure 1 is a graph showing the pulse signal I_{pulse} versus time (時間). The signal is a rectangular pulse with a width t_w and a height ΔI_p . The baseline is at 0A and the start time is 0s.

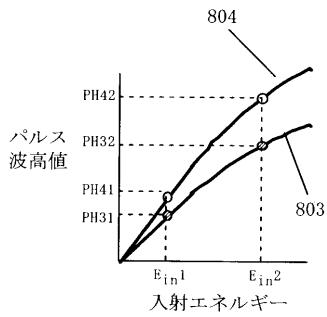
【 图 6 】



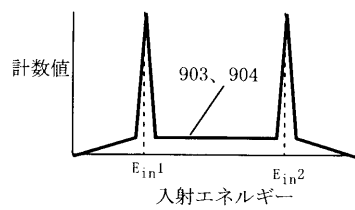
【圖 7】



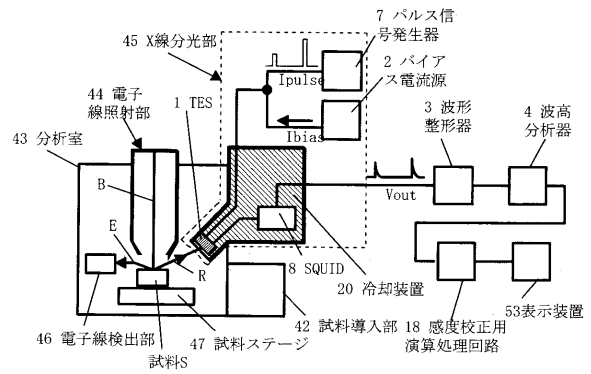
【図 8】



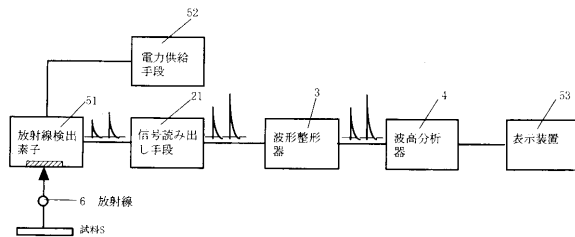
【図 9】



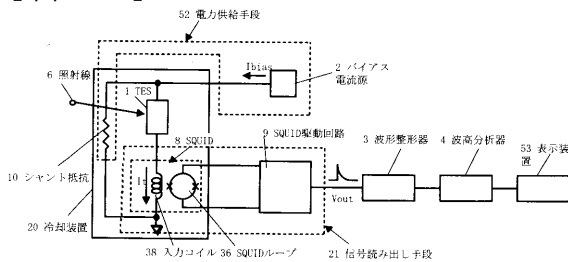
【図 10】



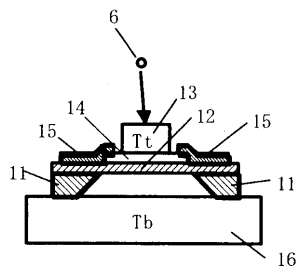
【図 11】



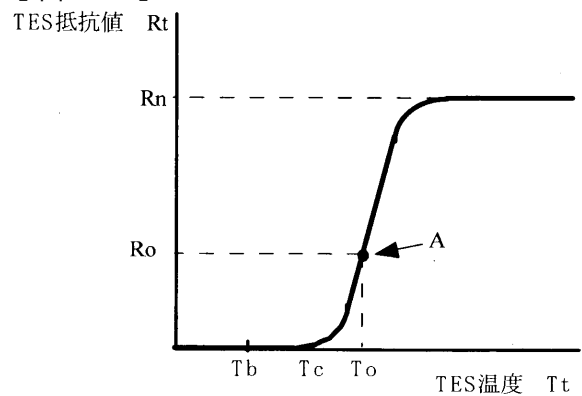
【図 12】



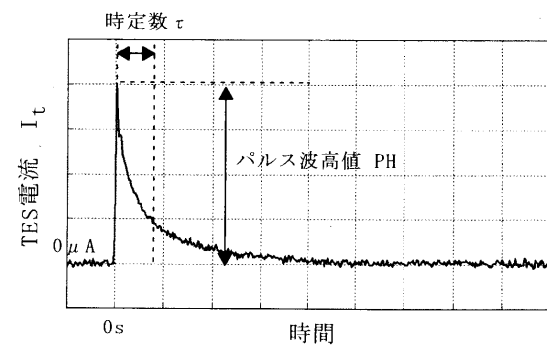
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2G001 AA03 BA05 CA01 DA01 DA10 EA03 EA20 FA08 GA11 JA06
2G088 EE29 FF02 FF15 GG22 KK01 LL05 LL15 LL26