

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-3306

(P2020-3306A)

(43) 公開日 令和2年1月9日(2020.1.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 23/223 (2006.01)	GO 1 N 23/223	2 F 0 6 7
GO 1 B 15/02 (2006.01)	GO 1 B 15/02	2 G 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2018-122155 (P2018-122155)	(71) 出願人	000250339
(22) 出願日	平成30年6月27日 (2018.6.27)		株式会社リガク
			東京都昭島市松原町3丁目9番12号
		(74) 代理人	110000154
			特許業務法人はるか国際特許事務所
		(72) 発明者	河野 浩
			大阪府高槻市赤大路町14番8号 株式会
			社リガク 大阪工場内
		(72) 発明者	村上 智
			大阪府高槻市赤大路町14番8号 株式会
			社リガク 大阪工場内
		Fターム(参考)	2F067 AA27 CC17 DD07 HH04 KK01
			LL15 RR20 RR21
			2G001 AA01 BA04 CA01 DA01 EA09
			FA02 GA13 KA01 KA11

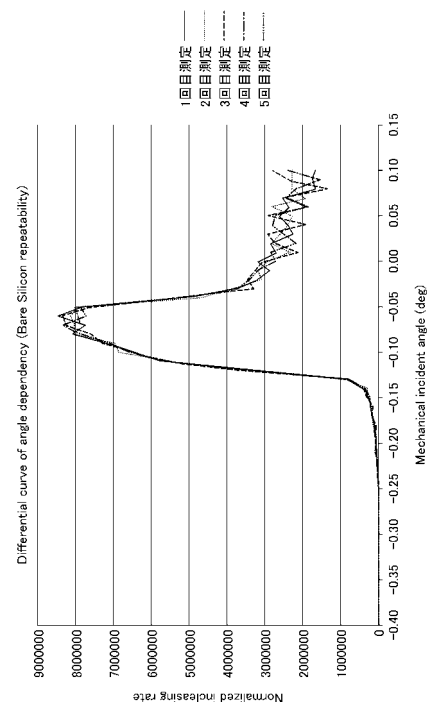
(54) 【発明の名称】 全反射蛍光X線分析装置及び測定方法

(57) 【要約】

【課題】測定試料の密度や膜厚の測定方法及び測定試料の密度や膜厚を測定する全反射蛍光X線分析装置を、低コストかつ簡便に実現できるようにする。

【解決手段】全反射蛍光X線分析装置であって、測定試料の全反射臨界角度を跨いで、前記測定試料の表面に対する入射角度を変えながら単色化した1次X線を照射するX線源と、前記測定試料から発生した蛍光X線の強度を測定する検出器と、前記蛍光X線の強度と前記入射角度との関係を、前記入射角度について微分することによって微分曲線を取得し、該微分曲線から前記全反射臨界角度を取得し、さらに、前記全反射臨界角度と前記1次X線の波長とに基づいて前記測定試料の密度及びまたは膜厚を算出する演算部と、を有する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

測定試料の全反射臨界角度を跨いで、前記測定試料の表面に対する入射角度を変えながら単色化した 1 次 X 線を照射する X 線源と、

前記測定試料から発生した蛍光 X 線の強度を測定する検出器と、

前記蛍光 X 線の強度と前記入射角度との関係を、前記入射角度について微分することによって微分曲線を取得し、該微分曲線から前記全反射臨界角度を取得し、さらに、前記全反射臨界角度と前記 1 次 X 線の波長とに基づいて前記測定試料の密度及びまたは膜厚を算出する演算部と、

を有することを特徴とする全反射蛍光 X 線分析装置。

10

【請求項 2】

前記演算部は、前記微分曲線のピーク角度を前記全反射臨界角度として取得すること特徴とする請求項 1 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置。

【請求項 3】

前記演算部は、さらに、

前記蛍光 X 線の強度に基づいて、前記測定試料の付着量を定量分析し、

前記付着量と、前記密度と、に基づいて前記測定試料の膜厚を算出する、

こと特徴とする請求項 1 または 2 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置。

【請求項 4】

前記演算部は、前記微分曲線の形状に基づいて、前記測定試料の表面ラフネスを算出することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の全反射蛍光 X 線分析装置。

20

【請求項 5】

前記演算部は、前記表面ラフネスが既知である試料に基づいて取得した前記微分曲線のピーク幅と前記表面ラフネスとの関係と、前記測定試料に基づいて取得した前記微分曲線のピーク幅と、に基づいて前記測定試料の表面ラフネスを算出することを特徴とする請求項 4 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置。

【請求項 6】

測定試料の全反射臨界角度を跨いで、前記測定試料の表面に対する入射角度を変えながら単色化した 1 次 X 線を照射する工程と、

前記測定試料から発生した蛍光 X 線の強度を測定する工程と、

30

前記蛍光 X 線の強度と前記入射角度との関係を、前記入射角度について微分することによって微分曲線を取得する工程と、

前記微分曲線から前記全反射臨界角度を取得する工程と、

前記全反射臨界角度と前記 1 次 X 線の波長とに基づいて前記測定試料の密度及びまたは膜厚を算出する工程と、

を有することを特徴とする測定方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、全反射蛍光 X 線分析装置及び測定方法に関する。

40

【背景技術】**【0002】**

近年、電子デバイスの性能と歩留りを向上させるために、薄膜の製造プロセスの管理基準が厳格化されている。例えば、薄膜の製造プロセスにおいて、主に膜厚というパラメータが管理されている。従来、膜厚は、蛍光 X 線分析法や X 線反射率法(XRR:X-Ray Reflectometry)を用いて測定されていた。具体的には、蛍光 X 線分析法は、蛍光 X 線の測定強度から求めた付着量（単位面積あたりの質量）と、文献値または他の方法（例えば X 線反射率法）で求めた密度と、に基づいて膜厚を算出する方法である（下記特許文献 1 参照）。また、X 線反射率法は、1 次 X 線を全反射臨界角度近傍で測定試料に照射し、反射 X 線の干渉による減衰等に基づいて、表面ラフネス、密度及び膜厚等を算出する方法である（下

50

記特許文献 2 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2000-131248 号公報

【特許文献 2】特開平 10-318737 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来、蛍光 X 線分析法を用いて膜厚を算出する場合、付着量を密度で除算している。密度は、文献又は他の方法で得られた情報であり、実際の測定試料から求めた密度でない。そのため、計算された膜厚は誤差を含む。また、X 線反射率法は、測定膜厚範囲には制限がある。

【0005】

また、蛍光 X 線分析法と X 線反射率法を組み合わせる実施できる複合装置も知られている。しかし、複合装置は、機械的構造が複雑でありコストが高い。

【0006】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであって、その目的は、測定試料の密度や膜厚の測定方法及び測定試料の密度や膜厚を測定する全反射蛍光 X 線分析装置を、低コストかつ簡便に実現できるようにすることである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項 1 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置は、測定試料の全反射臨界角度を跨いで、前記測定試料の表面に対する入射角度を変えながら単色化した 1 次 X 線を照射する X 線源と、前記測定試料から発生した蛍光 X 線の強度を測定する検出器と、前記蛍光 X 線の強度と前記入射角度との関係を、前記入射角度について微分することによって微分曲線を取得し、該微分曲線から前記全反射臨界角度を取得し、さらに、前記全反射臨界角度と前記 1 次 X 線の波長とに基づいて前記測定試料の密度及びまたは膜厚を算出する演算部と、を有することを特徴とする。

【0008】

請求項 2 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置は、請求項 1 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置において、前記演算部は、前記微分曲線のピーク角度を前記全反射臨界角度として取得すること特徴とする。

【0009】

請求項 3 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置は、請求項 1 または 2 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置において、前記演算部は、さらに、前記蛍光 X 線の強度に基づいて、前記測定試料の付着量を定量分析し、前記付着量と、前記密度と、に基づいて前記測定試料の膜厚を算出する、こと特徴とする。

【0010】

請求項 4 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置は、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の全反射蛍光 X 線分析装置において、前記演算部は、前記微分曲線の形状に基づいて、前記測定試料の表面ラフネスを算出することを特徴とする。

【0011】

請求項 5 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置は、請求項 4 に記載の全反射蛍光 X 線分析装置において、前記演算部は、前記表面ラフネスが既知である試料に基づいて取得した前記微分曲線のピーク幅と前記表面ラフネスとの関係と、前記測定試料に基づいて取得した前記微分曲線のピーク幅と、に基づいて前記測定試料の表面ラフネスを算出することを特徴とする。

【0012】

請求項 6 に記載の測定方法は、測定試料の全反射臨界角度を跨いで、前記測定試料の表

10

20

30

40

50

面に対する入射角度を変えながら単色化した１次Ｘ線を照射する工程と、前記測定試料から発生した蛍光Ｘ線の強度を測定する工程と、前記蛍光Ｘ線の強度と前記入射角度との関係を、前記入射角度について微分することによって微分曲線を取得する工程と、前記微分曲線から前記全反射臨界角度を取得する工程と、前記全反射臨界角度と前記１次Ｘ線の波長とに基づいて前記測定試料の密度及びまたは膜厚を算出する工程と、を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【００１３】

請求項１乃至３及び６に記載の発明によれば、低コストかつ簡便に測定試料の密度や膜厚を測定することができる。

10

【００１４】

請求項４及び５に記載の発明によれば、密度や膜厚のみならず、測定試料の表面ラフネスの情報を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【図１】本発明の実施形態に係る全反射蛍光Ｘ線分析装置を概略的に示す図である。

【図２】密度の測定方法を示すフローチャートである。

【図３】入射角度と蛍光Ｘ線の強度との関係を表す一例を示す図である。

【図４】微分曲線の一例を示す図である。

【図５】微分曲線の他の一例を示す図である。

20

【図６】微分曲線の他の一例を示す図である。

【図７】膜厚の測定方法を示すフローチャートである。

【図８】表面ラフネスの測定方法を示すフローチャートである。

【図９】補正值の測定方法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、本発明を実施するための好適な実施の形態（以下、実施形態という）を説明する。図１は、全反射蛍光Ｘ線分析装置１００の概略を示す図である。

【００１７】

図１に示すように、全反射蛍光Ｘ線分析装置１００は、試料台１０２と、Ｘ線源１０４と、検出器１０６と、計数器１０８と、演算部１１０と、を有する。試料台１０２は、測定試料１１２が配置される。測定試料１１２は、例えば、酸化ケイ素(SiO_2)の薄膜が表面に形成されたシリコン基板である。

30

【００１８】

Ｘ線源１０４は、測定試料１１２の全反射臨界角度を跨いで、測定試料１１２の表面に対する入射角度を変えながら単色化した１次Ｘ線１１４を照射する。具体的には、例えば、Ｘ線源１０４は、Ｘ線管（図示せず）から出射されたＸ線を分光結晶等のモノクロメーター（図示せず）で単色化し、スリット（図示せず）で薄く絞る。また、Ｘ線源１０４は、当該単色化した１次Ｘ線１１４を測定試料１１２の表面に対して、全反射臨界角度の前後０．３度の角度範囲で照射する（説明上、実際の照射角度より大きい角度で図示している）。ここで、全反射臨界角度は、測定試料１１２に固有の角度である。角度範囲は、後述する微分曲線から全反射臨界角度を取得できる範囲で設定される。１次Ｘ線１１４が照射された測定試料１１２から、蛍光Ｘ線１１６が発生する。

40

【００１９】

検出器１０６は、測定試料１１２から発生した蛍光Ｘ線１１６の強度を測定する。具体的には、例えば、検出器１０６は、ＳＤＤ検出器等の半導体検出器である。検出器１０６は、蛍光Ｘ線１１６の強度を測定し、測定した蛍光Ｘ線１１６のエネルギーに応じた波高値を有するパルス信号を出力する。検出器１０６は、Ｘ線源１０４が測定試料１１２に対する蛍光Ｘ線１１６の入射角度を変えるごとに蛍光Ｘ線１１６の強度を測定する。

【００２０】

50

計数器 108 は、検出器 106 の測定強度として出力されるパルス信号を、波高値に応じて計数する。具体的には、例えば、計数器 108 は、マルチチャンネルアナライザであって、検出器 106 の出力パルス信号を、蛍光 X 線 116 のエネルギーに対応したチャンネル毎に計数し、蛍光 X 線 116 の強度として演算部 110 に出力する。

【0021】

演算部 110 は、密度及びまたは膜厚を算出する。具体的な、演算部 110 が行う処理は、本発明に係る密度の測定方法を示すフローチャート（図 2）を用いて説明する。

【0022】

まず、試料台 102 に測定試料 112 を配置する（S202）。具体的には、例えば、測定試料 112 は、シリコン基板（ベアシリコン）や、表面に炭化ケイ素（SiC）や酸化ケイ素（SiO₂）の薄膜が形成されたシリコン基板である。測定試料 112 は、試料台 102 に配置されて、X 線源 104 から 1 次 X 線 114 を照射される。1 次 X 線 114 を照射された測定試料 112 は、蛍光 X 線 116 を発生する。

【0023】

次に、演算部 110 は、計数器 108 が計数した蛍光 X 線 116 の強度を取得する（S204）。具体的には、演算部 110 は、1 次 X 線 114 の測定試料 112 への入射角度ごとに、計数器 108 が計数した蛍光 X 線 116 の強度を取得する。図 3 は、入射角度と基板の構成元素である Si の蛍光 X 線 116（Si-k α 線）の強度との関係を表す一例である。図 3 に示すように、入射角度が大きくなると、特定の角度を境界に蛍光 X 線 116 の強度が急激に増加する。また、入射角度と蛍光 X 線 116 の強度との関係は変曲点を有する。蛍光 X 線 116 の強度の傾きは、変曲点より大きい角度では、徐々に緩やかになる。

【0024】

蛍光 X 線 116 の強度の変化は、以下の現象により起こる。入射角度が全反射臨界角度より小さい場合、1 次 X 線 114 は、測定試料 112 表面で全反射することにより測定試料 112 内部には侵入しない。そのため、当該入射角度において発生する蛍光 X 線 116 は非常に小さい。一方、入射角が全反射臨界角度より大きくなると、測定試料 112 内部に 1 次 X 線 114 が進入する。1 次 X 線 114 が測定試料 112 内部に進入すると、内部に進入した 1 次 X 線 114 により励起された蛍光 X 線が発生し、その結果検出器 106 が検出する蛍光 X 線 116 が急激に増加する。

【0025】

次に、演算部 110 は、蛍光 X 線 116 の強度と入射角度との関係を、入射角度について微分することによって微分曲線を取得する（S206）。具体的には、演算部 110 は、S204 で取得した蛍光 X 線 116（Si-k α 線）の強度と入射角度との関係に対して、入射角度について微分することによって図 4 に示すような微分曲線を取得する。図 3 に示す入射角度と蛍光 X 線 116 の強度との関係が変曲点を有することから、図 4 に示す微分曲線はピークを有する。この変曲点、即ち微分曲線のピークが臨界角度である。図 4 の横軸は、後述する補正を行う前の設計上の機械的原点に基づく入射角度である。図 4 は、入射角度の補正と再現性の確認のための測定結果であって、全反射臨界角度が既知であるシリコン基板を標準試料として測定した微分曲線を示す図である。図 4 は、同一測定試料 112 に対する 5 回の測定結果を示している。微分曲線のピーク角度は、例えば重み付け移動平均によるスムージングや関数フィッティングを行い取得する。表 1 は、図 4 に含まれる各値を示す表である。

【0026】

10

20

30

40

【表 1】

	微分曲線のピーク角度 (deg)	全反射臨界角度 (deg)	密度 (g/cm ³)
1回目測定	-0.064	0.186	2.38
2回目測定	-0.070	0.180	2.23
3回目測定	-0.066	0.184	2.33
4回目測定	-0.064	0.186	2.38
5回目測定	-0.066	0.184	2.33
平均値	-0.066	0.184	2.33
最大値	-0.064	0.186	2.38
最小値	-0.070	0.180	2.23
レンジ	0.006	0.006	0.15
R (%)		3.3	6.5

10

20

【0027】

図4及び表1に示すように、5回の測定結果はほぼ一致しており、後述する数1により算出する密度に対しても再現性があることが確認された。標準試料として測定に用いたシリコン基板の全反射臨界角度は既知(0.184°)である。そのため、5個の微分曲線から取得したピーク角度の平均値が全反射臨界角度となるよう補正(オフセット)を行う。ここで取得した補正值は、全反射臨界角度(密度)が未知の試料を測定するときに用いる。

【0028】

また、図5は、3種の測定試料112に対して、蛍光X線116(Si-K α 線)の強度に基づいて取得した微分曲線を示す図である。3種の測定試料112は、シリコン基板、表面に炭化ケイ素(SiC)薄膜が形成されたシリコン基板、及び、表面に酸化ケイ素(SiO₂)薄膜が形成されたシリコン基板である。図5に示すように、ピークの位置は測定試料112ごとに異なっている。すなわち、測定試料112の表面に形成された密度の異なる薄膜によって全反射臨界角度が異なることが確認された。

30

【0029】

また、図6は、5種の測定試料112に基づいて取得した微分曲線を示す図である。5種の測定試料112は、シリコン基板(図6のSi)、表面に10nmの膜厚でチタン(Ti)薄膜が形成されたシリコン基板(図6、表2のTi(10nm))及び、表面に6nm、8nm及び10nmの膜厚でコバルト(Co)薄膜が形成されたシリコン基板(図6、表2のCo(6nm)、Co(8nm)及びCo(10nm))である。強度測定の対象とした蛍光X線116は、シリコン基板のSi-K α 線、表面にチタン薄膜が形成されたシリコン基板のTi-K α 線、表面にコバルト薄膜が形成されたシリコン基板のCo-K α 線である。

40

【0030】

【表 2】

測定試料	全反射臨界角度 (deg)	密度 (g/cm ³)
シリコン基板	0.184	2.33
Ti (10nm)	0.204	3.12
Co (6nm)	0.244	4.48
Co (8nm)	0.254	4.85
Co (10nm)	0.254	4.85

10

【0031】

表 2 に、図 6 で示した 5 種の測定試料 112 に対して、後述する計算により算出した密度を示す。一般的に、シリコン基板上に極薄膜として形成された Ti、Co 等の金属は、シリサイド化するとされ、チタンシリサイド (TiSi_x) 薄膜、コバルトシリサイド (CoSi_x) 薄膜が形成されたと考えられる。また、形成された薄膜は、成膜条件により、化合形態（例えば Ti₂Si、TiSi、TiSi₂ 等）や付着形態が異なり、密度に違いがでることが知られている。

20

【0032】

次に、演算部 110 は、微分曲線から全反射臨界角度を取得する（S208）。具体的には、演算部 110 は、S206 で取得した微分曲線のピークにおける角度を全反射臨界角度として取得する。例えば、演算部 110 は、図 4 に示す微分曲線に基づいて、0.184 度という全反射臨界角度を取得する。ここでは、5 個の微分曲線から取得したピーク角度を平均することによって、演算部 110 は、全反射臨界角度を取得している。

【0033】

なお、図 4 に示す微分曲線のピークは、-0.066 度に位置している。実際の装置を作製するにあたって、試料台 102 を、1 次 X 線を照射する光学的原点角度に対して厳密に水平に設定することは困難である。そのため、取得した全反射臨界角度には、試料台 102 の傾きによる誤差が含まれている。上記 0.184 度という全反射臨界角度は、実際の装置により測定された -0.066 度という値に対して、誤差を補正して得られた値である。誤差の補正方法の詳細は後述する。

30

【0034】

次に、演算部 110 は、全反射臨界角度と 1 次 X 線 114 の波長とに基づいて、測定試料 112 の密度を算出する（S210）。具体的には、演算部 110 は、S208 で取得した全反射臨界角度及び測定試料 112 に照射した 1 次 X 線 114 の波長を、全反射臨界角度と密度との関係を表す数 1 に適用することで測定試料 112 の密度を算出する。

【0035】

40

【数 1】

$$\phi_c = \alpha \times \lambda \times \left(\rho \times \frac{Z}{A} \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0036】

ここで、 ϕ_c は全反射臨界角度である。 α は、定数である。 λ は、測定試料 112 に照射した 1 次 X 線 114 の波長である。 Z は、原子番号である。 A は、質量数である。例えば、Ti の原子番号は 22、質量数は 48、Co の原子番号は 27、質量数は 59 とする。1 次 X 線 114 として W-L β 線を用いる場合、 $\lambda = 0.1282 \text{ nm}$ とする。これらの数値が用いられる単位

50

系では $\alpha = 1.33$ を用いる。数 1 の右辺に含まれる未知数は、1 次 X 線 1 1 4 が照射された測定試料 1 1 2 の表面の密度 ρ (g/cm^3) のみである。また、左辺の全反射臨界角度は、S 2 0 8 において算出されている。従って、本発明によれば、簡便に測定試料 1 1 2 の密度 (測定試料 1 1 2 の表面に形成された膜の密度) を得ることができる。

【0037】

続いて、膜厚を算出する方法について説明する。図 7 は、本発明に係る膜厚の測定方法を示すフローチャートである。なお、上記方法により密度が得られていれば、図 7 に示すフローチャートに示す方法は、測定試料 1 1 2 に対して全反射臨界角度より大きい角度で 1 次 X 線 1 1 4 を照射する蛍光 X 線分析装置を用いて行われてもよい。

【0038】

まず、試料台 1 0 2 に測定試料 1 1 2 が配置される (S 7 0 2)。具体的には、例えば、測定試料 1 1 2 は、S 2 0 2 で用いた測定試料 1 1 2 であって、表面に炭化ケイ素 (SiC) 薄膜や酸化ケイ素 (SiO_2) 薄膜等が形成されたシリコン基板である。測定試料 1 1 2 は、試料台 1 0 2 に配置されて、X 線源 1 0 4 は、測定試料 1 1 2 に単色化した 1 次 X 線 1 1 4 を照射する。1 次 X 線 1 1 4 を照射された測定試料 1 1 2 は、蛍光 X 線 1 1 6 を発生する。

【0039】

次に、演算部 1 1 0 は、計数器 1 0 8 が計数した蛍光 X 線 1 1 6 の強度を取得する (S 7 0 4)。具体的には、演算部 1 1 0 は、密度を求めた測定試料 1 1 2 に含まれる分析元素から発生する蛍光 X 線 1 1 6 の強度を取得する。

【0040】

次に、演算部 1 1 0 は、蛍光 X 線 1 1 6 の強度に基づいて、測定試料 1 1 2 の付着量を定量分析する (S 7 0 6)。具体的には、例えば、演算部 1 1 0 は、ファンダメンタルパラメータ法や検量線法等の従来技術を用いて、S 7 0 4 で取得した蛍光 X 線 1 1 6 の強度から付着した元素の付着量 (単位面積あたりの質量) を算出する。

【0041】

次に、演算部 1 1 0 は、付着量と密度とに基づいて分析元素の膜厚を算出する (S 7 0 8)。具体的には、演算部 1 1 0 は、S 2 1 0 で取得した密度と S 7 0 6 で取得した付着量とを、数 2 に適用することで測定試料 1 1 2 の膜厚を算出する。

【0042】

【数 2】

$$t = \frac{c}{\rho}$$

【0043】

ここで、 t (cm) は、測定試料 1 1 2 の膜厚である。 c (g/cm^2) は、付着量である。 ρ (g/cm^3) は、密度である。数 1 に示すように、演算部 1 1 0 は、付着量と密度の情報から膜厚を算出することができる。

【0044】

続いて、微分曲線の形状に基づいて、測定試料 1 1 2 の表面ラフネスを算出する方法について説明する。図 8 は、本発明に係る表面ラフネスの測定方法を示すフローチャートである。

【0045】

まず、演算部 1 1 0 は、表面ラフネスが既知である試料に基づいて取得した微分曲線のピーク幅と表面ラフネスとの関係を取得する (S 8 0 2)。具体的には、まず、演算部 1 1 0 は、表面ラフネスが既知である試料に対して、S 2 0 2 乃至 S 2 0 6 と同様の工程により微分曲線を取得する。微分曲線のピーク幅としては、例えばピークの半値幅を用いる。演算部 1 1 0 は、当該微分曲線の半値幅を算出することで、既知の表面ラフネスと半値幅の関係を取得する。表面ラフネスが既知である複数の試料を用いて、表面ラフネスを算

10

20

30

40

50

出する検量線を作成してもよい。

【0046】

ここで、図3に示すように、入射角度が全反射臨界角度より大きくなると、蛍光X線116の強度は急激に増加する。当該増加の程度は、測定試料112の表面ラフネスが大きい程緩やかになる。従って、微分曲線のピーク幅は、測定試料112の表面ラフネスが大きい程大きくなる傾向にある。例えば、図6に示す微分曲線は、ピーク値を1に規格化しているので、縦軸0.5での各ピーク波形の切片が半値幅である。シリコン基板、チタン薄膜及びコバルト薄膜（3種）の半値幅は、それぞれ、 0.090° 、 0.106° 、 0.131° である。従って、図6の結果は、コバルト薄膜の表面ラフネスは、厚さによらず同等で、チタン薄膜の表面ラフネスよりも大きく、シリコン基板の表面ラフネスが最も小さいことを示している。

10

【0047】

次に、S202乃至S206と同様の工程により、表面ラフネスが未知である測定試料112に対して、微分曲線を取得する（S804乃至S808）。次に、演算部110は、取得した微分曲線の半値幅を算出する（S810）。そして、演算部110は、S802で取得した半値幅と表面ラフネスとの関係と、S810で取得した半値幅と、に基づいて測定試料112の表面ラフネスを算出する（S812）。

【0048】

続いて、図9に示すフローチャートを用いて、全反射臨界角度の補正方法について説明する。まず、試料台102に標準試料が配置される（S902）。具体的には、例えば、全反射臨界角度が既知であるシリコン基板が試料台102に配置される。

20

【0049】

次に、S202乃至S206と同様の工程により、標準試料に対して、微分曲線を取得する（S904乃至S908）。例えば、図4は、標準試料として用いることができるシリコン基板用い、蛍光X線116としてSi-K α 線の強度を測定することによって取得した微分曲線である。シリコン基板は、全反射臨界角度が既知であるが、当該既知の値と微分曲線のピーク角度とは相違する場合がある。相違する理由は、実際の1次X線114の測定試料112への入射角度と、全反射蛍光X線分析装置100が認識している入射角度と、が機械加工や組み立ての精度、経時変化等により相違することがあるためである。

【0050】

次に、演算装置は、S908で取得した全反射臨界角度と、標準試料の既知の全反射臨界角度との差分を、補正值として取得する（S910）。当該補正值は、上述の密度を算出する過程であるS210工程で用いられる。

30

【0051】

なお、全反射蛍光X線分析装置100は、S910で取得した補正值に基づいて、試料台102の傾きを調整してもよい。試料台102の傾きを調整することにより、実際の1次X線114の測定試料112への入射角度と、全反射蛍光X線分析装置100が認識している入射角度と、を一致させることができる。

【0052】

以上のように、本発明によれば、全反射蛍光X線分析装置100により、測定試料112の密度、膜厚及び表面ラフネスを低コストかつ簡便に測定することができる。

40

【0053】

本発明は、上記の実施例に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。上記全反射蛍光X線分析装置100の構成は一例であって、これに限定されるものではない。上記の実施例で示した構成と実質的に同一の構成、同一の作用効果を奏する構成または同一の目的を達成する構成で置き換えてもよい。

【0054】

例えば、全反射蛍光X線分析装置100は、密度を測定する密度測定モード、膜厚を測定する膜厚測定モード、表面ラフネスを測定する表面ラフネス測定モード、及び、試料台102の傾きを調整するメンテナンスモードの各モードを、ユーザの指示に応じて個別に

50

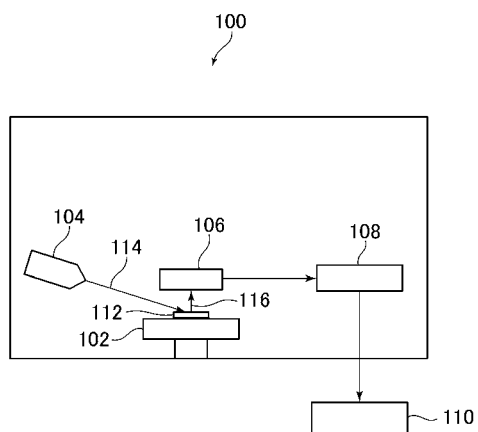
実行できる装置として構成してもよい。

【符号の説明】

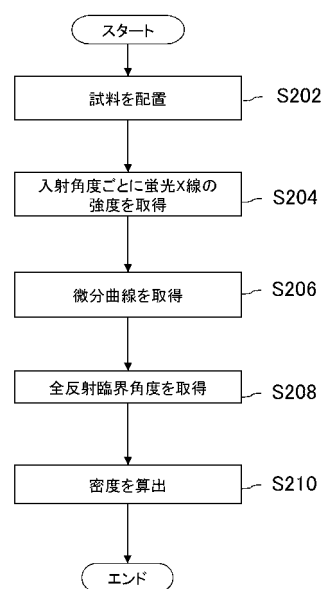
【0055】

100 全反射蛍光X線分析装置、102 試料台、104 X線源、106 検出器、108 計数器、110 演算部、112 測定試料、114 1次X線、116 蛍光X線。

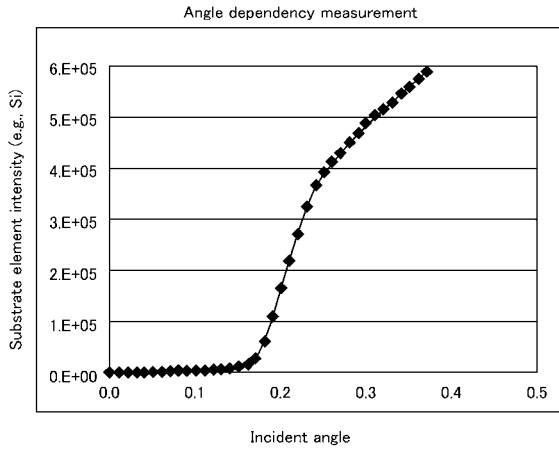
【図1】



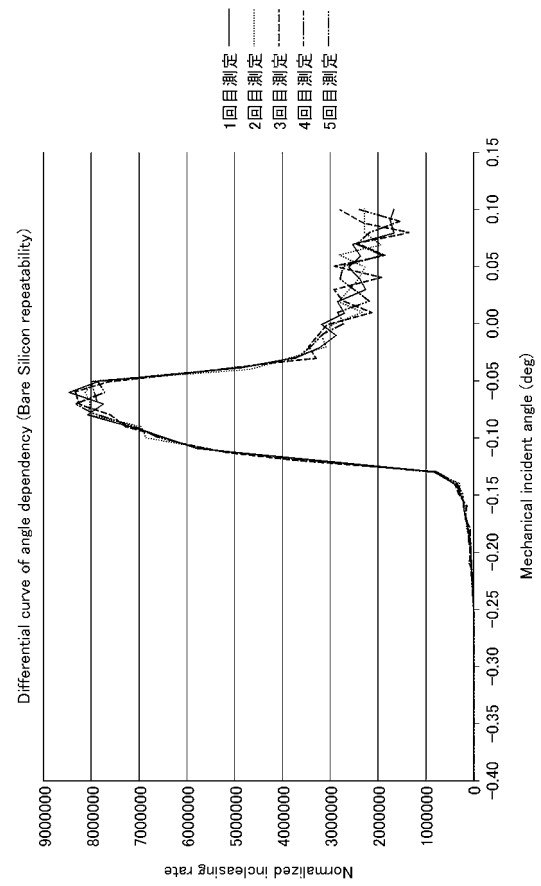
【図2】



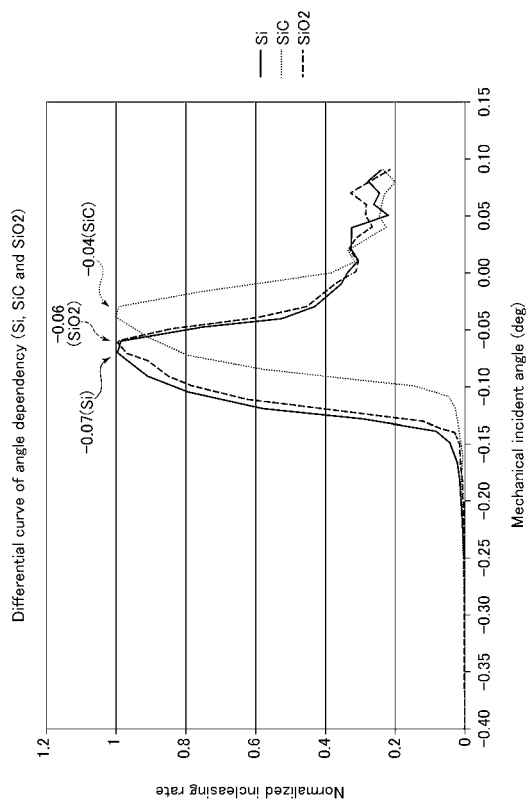
【図 3】



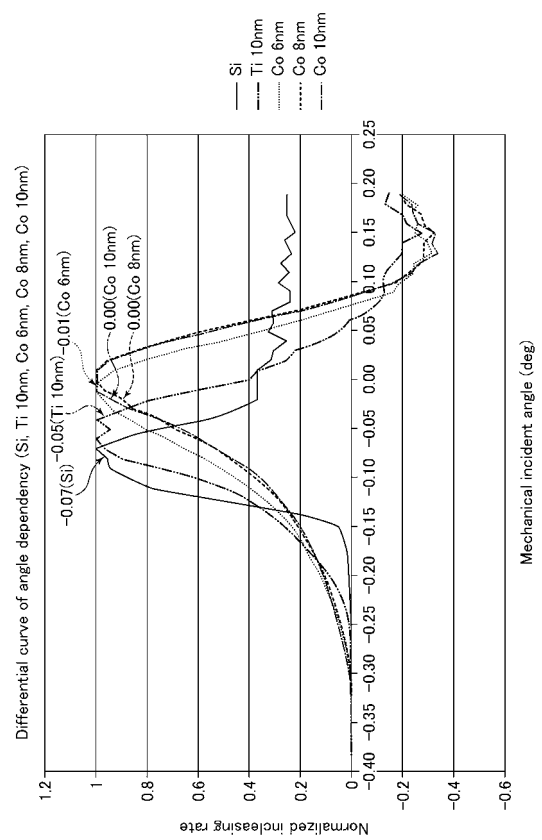
【図 4】



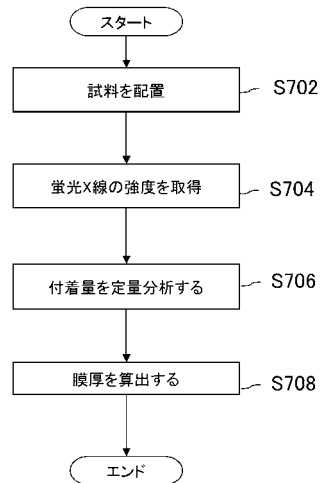
【図 5】



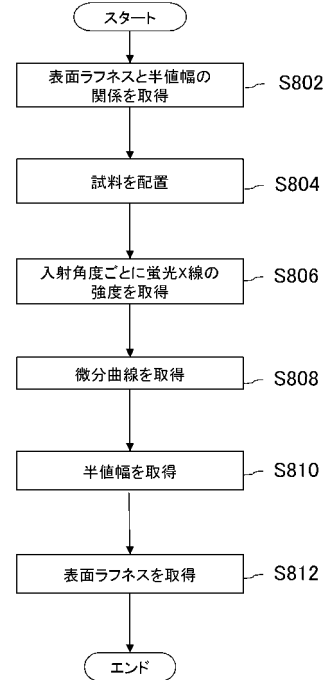
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

