

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6586778号  
(P6586778)

(45) 発行日 令和1年10月9日(2019.10.9)

(24) 登録日 令和1年9月20日(2019.9.20)

(51) Int.Cl.		F I	
<b>G 0 1 N</b>	<b>23/04</b>	<b>(2018.01)</b>	G O 1 N 23/04
<b>G 2 1 K</b>	<b>1/02</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 K 1/02 R
<b>G 2 1 K</b>	<b>1/06</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 K 1/06 B
<b>G 2 1 K</b>	<b>5/02</b>	<b>(2006.01)</b>	G 2 1 K 5/02 X

請求項の数 18 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2015-108360 (P2015-108360)	(73) 特許権者	000004112 株式会社ニコン 東京都港区港南二丁目15番3号
(22) 出願日	平成27年5月28日(2015.5.28)	(74) 代理人	100084412 弁理士 永井 冬紀
(65) 公開番号	特開2016-223831 (P2016-223831A)	(74) 代理人	100146709 弁理士 白石 直正
(43) 公開日	平成28年12月28日(2016.12.28)	(74) 代理人	100078189 弁理士 渡辺 隆男
審査請求日	平成30年5月10日(2018.5.10)	(72) 発明者	山田 篤志 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会 社ニコン内
		審査官	佐藤 仁美

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線装置および構造物の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電子線をターゲットに向けて放出する電子線発生部と、  
前記ターゲットへの前記電子線の衝突位置を移動させる移動部と、  
前記ターゲットから出射したX線を被測定物に集光する複数の集光部材と、  
前記被測定物を透過した前記X線を検出する検出器と、  
前記複数の集光部材の何れかを支持する支持部材と、を備え、  
前記複数の集光部材は、前記検出器に投影する前記被測定物の透過像の倍率が互いに異なるX線装置。

【請求項2】

請求項1に記載のX線装置において、  
前記複数の集光部材は何れも、前記ターゲットから出射されたX線の少なくとも一部を反射して前記被測定物へ向けて集光する反射面を備えるX線装置。

【請求項3】

請求項2に記載のX線装置において、  
前記複数の集光部材は何れも、前記反射面を有する筒状の回転対称部材を有し、前記X線の前記反射面に対する斜入射成分を反射するX線装置。

【請求項4】

請求項3に記載のX線装置において、  
前記複数の集光部材は何れも、径が異なる複数の前記回転対称部材を有し、前記複数の

回転対称部材はそれぞれ共通の回転対称軸を有する X 線装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の X 線装置において、

前記複数の回転対称部材は何れも、前記共通の回転対称軸と直交する面において、前記共通の回転対称軸から離れる程、隣り合う前記反射面の間隔が大きくなる X 線装置。

【請求項 6】

請求項 4 または 5 に記載の X 線装置において、

前記支持部材は、前記電子線が前記ターゲット上で移動された際の移動領域の中心から出射する X 線の光軸と前記回転対称部材の前記回転対称軸とが一致するように、前記複数の集光部材の何れかを支持する X 線装置。

10

【請求項 7】

請求項 4 乃至 6 の何れか一項に記載の X 線装置において、

前記回転対称部材は何れも、構造体の内壁側に前記反射面を有する X 線装置。

【請求項 8】

請求項 4 乃至 7 の何れか一項に記載の X 線装置において、

前記複数の集光部材は何れも、互いに隣り合う前記回転対称部材を連結する連結部材を有し、前記連結部材は、前記複数の回転対称部材のそれぞれを固定する X 線装置。

【請求項 9】

請求項 3 乃至 8 の何れか一項に記載の X 線装置において、

前記回転対称部材は何れも、回転双曲面と回転楕円面とを有するウォルターミラーによって構成される X 線装置。

20

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 の何れか一項に記載の X 線装置において、

前記ターゲットと前記支持部材との相対位置を調整する調整機構を備える X 線装置。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 の何れか一項に記載の X 線装置において、

前記移動部を制御する制御部を備え、

前記制御部は、前記支持部材に支持する前記集光部材の集光能力または予め設定した画像の倍率に応じて、前記移動部による前記電子線の移動量を決定し、決定した移動量で前記電子線を移動させるように前記移動部を制御する X 線装置。

30

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 の何れか一項に記載の X 線装置において、

前記出射された X 線のうち前記集光部材の外部に進行する X 線を遮蔽する遮蔽板を備える X 線装置。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の X 線装置において、

前記支持部材の一部が前記遮蔽板を形成する X 線装置。

【請求項 14】

請求項 1 乃至 13 の何れか一項に記載の X 線装置において、

前記ターゲットへの前記電子線の衝突位置が移動することにより前記被測定物の異なる位置を透過した透過 X 線を検出するごとに、検出信号を出力する検出器と、前記検出信号を用いて前記被測定物の透過像データを生成する生成部と、を備える X 線装置。

40

【請求項 15】

請求項 1 乃至 14 の何れか一項に記載の X 線装置において、

前記複数の集光部材の倍率は何れも 1 よりも大きい X 線装置。

【請求項 16】

構造物の形状に関する設計情報を作成し、

前記設計情報に基づいて前記構造物を作成し、

作成された前記構造物の形状を、請求項 1 乃至 15 の何れか一項に記載の X 線装置を用

50

いて計測して形状情報を取得し、

前記取得された前記形状情報と前記設計情報とを比較する構造物の製造方法。

【請求項 17】

請求項 16 に記載の構造物の製造方法において、

前記形状情報と前記設計情報との比較結果に基づいて実行され、前記構造物の再加工を行う構造物の製造方法。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の構造物の製造方法において、

前記構造物の再加工は、前記設計情報に基づいて前記構造物の作成を再度行う構造物の製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、X線装置および構造物の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

物体の内部の情報を非破壊で取得する装置として、例えば、物体にX線を照射して、その物体を通過するX線を検出するX線装置が知られている。このX線装置は、X線を照射するX線源を有し、物体を通過するX線を検出して内部を観察可能としたものである（特許文献1参照）。これにより物体の内部の情報を取得する。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許出願公開2010/0098209号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、被測定物に照射されるX線の位置を変更する必要がある。その場合に、測定不良が発生する可能性がある。

30

【課題を解決するための手段】

【0005】

第1の態様によると、X線装置は、電子線をターゲットに向けて放出する電子線発生部と、前記ターゲットへの前記電子線の衝突位置を移動させる移動部と、前記ターゲットから出射したX線を被測定物に集光する複数の集光部材と、前記被測定物を透過した前記X線を検出する検出器と、前記複数の集光部材の何れかを支持する支持部材と、を備え、前記複数の集光部材は、前記検出器に投影する前記被測定物の透過像の倍率が互いに異なる。

第2の態様によると、構造物の製造方法は、構造物の形状に関する設計情報を作成し、前記設計情報に基づいて前記構造物を作成し、作成された前記構造物の形状を、第1の態様のX線装置を用いて計測して形状情報を取得し、前記取得された前記形状情報と前記設計情報とを比較する。

40

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、X線を走査させて被測定物を測定する際の測定不良を抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】第1の実施の形態による走査型X線顕微鏡の要部構成を模式的に示すブロック図である。

【図2】第1の実施の形態による走査型X線顕微鏡が有する集光部材の構造を説明する図

50

である。

【図3】集光部材内におけるX線の軌跡を模式的に示す図である。

【図4】変形例(1)による走査型X線顕微鏡の要部構成を模式的に示す図である。

【図5】変形例(2)による走査型X線顕微鏡の要部構成を模式的に示す図である。

【図6】第2の実施の形態による走査型X線顕微鏡の要部構成を模式的に示すブロック図である。

【図7】第3の実施の形態による構造物製造システムの構成を示すブロック図である。

【図8】第3の実施の形態による構造物製造システムの動作を説明するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

10

【0008】

- 第1の実施の形態 -

図面を参照しながら、第1の実施の形態によるX線装置について説明する。本実施の形態においては、X線装置は、得られる透過像を拡大して検出することが可能である。本実施形態においては、拡大して検出可能であることから、X線顕微鏡と呼ぶ。また、被測定物のX線の照射位置を移動することができることから、走査型のX線顕微鏡と呼ぶ。本実施形態において、被測定物は、電子基板、回路基板などの工業用製品に使用される。例えば、電気基板において、半田接続される部分においてその半田の接触の良否を、得られる透過X線像から判断するために用いられる。また、本実施形態において、被測定物は、工業用製品に限られず、植物や生物などでも構わない。

20

図1は、第1の実施の形態の走査型X線顕微鏡1の要部構成を模式的に示すブロック図である。走査型X線顕微鏡1は、X線源10と、集光部材11と、X線検出器12と、ステージ13と、制御装置14と、支持部材15と、チャンバ部材Cとを備える。X線源10は、制御装置14による制御に応じて、ステージ13上に載置された被測定物Sへ向けてX線を出射する。X線源10は、例えば最大エネルギー約5keV~約10keVのX線を出射することができる。

なお、X線源10が出射するX線の範囲はこれに限られず、X線源10は、例えば約50eVの超軟X線、約0.1~2keVの軟X線、約2~20keVのX線および約20~100keVの硬X線の少なくとも1つを放射することができる。また、更に、X線源10は、例えば1~10MeVのX線を放射しても構わない。

30

【0009】

X線源10は、フィラメント101と、ターゲット102と、走査部103と、収束部104とを有する。フィラメント101は、負のバイアス電圧が印加された状態で、電流を流すことによって加熱され、先鋭化された先端から電子線(熱電子)をターゲット102に向けて放出する。すなわち、フィラメント101は、電子線を発生させるための電子線発生部として機能する。ターゲット102は、たとえばタングステンを含み、フィラメント101から放出された電子線の衝突または電子線の進行の変化によりX線を発生する。

【0010】

走査部103は、フィラメント101とターゲット102との間に設けられ、フィラメント101から放出された電子線をターゲット102上で走査させるための偏向コイル(走査コイル)である。走査部103は、後述する制御装置14によって供給される電力が調整されて、ターゲット102上にて衝突する電子線の位置を2次元方向に移動(走査)させる移動部として機能する。すなわち、図1においては、ターゲット102は、XY平面と平行な面で電子が入射する入射面とZ軸方向に一定の距離だけ離れ、かつ、XY平面と平行な面でX線が射出する射出面を含む。ターゲット102は平面板である。また、ターゲット102の平面板の外形は矩形である。入射面からターゲット102の内部に入射する電子線と、ターゲット102の金属との作用により、ターゲット102内でX線が発生する。ターゲット102内で発生するX線は、ターゲット102内を通過して、ターゲット102の射出面からX線が射出される。なお、ターゲット102の外形は矩形に限ら

40

50

ず、例えば、円形でも構わない。

#### 【0011】

走査部103に供給される電力に応じて電子線がターゲット102上に衝突する位置と移動量とが変化する。すなわち、走査部103に供給される電力により、電子線がターゲットの入射面で集光する位置が変化する。なお、Z軸方向に沿った電子線の集光する位置は、ターゲット102の入射面でも構わないし、ターゲット102の入射面と射出面との間のターゲット102の内部であっても構わない。また、電子線の集光位置はターゲット102の入射面およびターゲット102の内部とは異なる位置でも構わない。電子線がターゲット102上で走査される領域を走査領域と呼ぶ。ターゲット102上で走査部103により電子線の集光領域が移動される移動領域を走査領域と呼ぶ。走査領域はターゲット102の全領域であっても良いし、一部の領域であっても良い。収束部104は、走査部103とターゲット102との間に設けられ、走査部103を通過した電子線を収束させてターゲット102へ導く。走査部103によってターゲット102上で衝突する電子線の位置が走査領域内で移動されることに伴い、ターゲット102の内部でX線が発生する位置も移動する。すなわち、ターゲット102に衝突する電子線の位置に応じて、ターゲット102から発生するX線の照射位置が決まる。また、ターゲット102から発生するX線の照射位置は、ターゲット102上で衝突する電子線の位置に応じて決まる。本実施の形態においては、図1において、電子線が照射する方向とX線が射出する方向とは、Z軸方向において一致する。例えば、ターゲット102上に衝突する電子線の中心軸と、射出するX線の中心軸とが一致する。ターゲット102から出射するX線の位置(出射点)が走査領域内で走査される。出射点が走査されることにより、被測定物S上に照射されるX線の位置は、上記の走査領域に応じた領域内で2次元方向に走査される。なお、本明細書では、ターゲット102上における走査領域の中心を出射点とするX線の中心軸を光軸Z2と呼ぶ。

10

20

なお、ターゲット102の形状は平板に限られず、図1においてXY平面の位置によらずZ軸方向の距離を変えても構わない。また、ターゲット102の外形は矩形であるが、矩形に限らず、例えば円形でも構わない。

#### 【0012】

集光部材11は、X線源10とステージ13上の被測定物Sとの間に設けられ、X線源10から出射されたX線のうち少なくとも一部のX線を反射して、ステージ13上に載置された被測定物SへX線を集光する。即ち、ターゲット102上のある射出点からのX線は被測定物S上の微小な範囲に集光し、被測定物Sを透過して後述するX線検出器12に入射する。集光部材11は、詳細を後述するように、回転対称軸Z1を軸とする回転対称部材111により構成される(図2参照)。集光部材11は、回転対称部材111の回転対称軸Z1が、走査領域の中心から出射されたX線の光軸Z2と一致するようにX線源10との位置関係が決定され、支持部材15によってX線源10に支持される。

30

#### 【0013】

支持部材15は、X線源10のボディに取り付けられ、ステージ13側の端部の近傍で集光部材11を支持する。支持部材15は、光軸Z2と直交する面上で集光部材11の位置を2次的に微調整するための、例えば調整ネジ等の調整機構(不図示)を介して集光部材11を支持する。この調整機構を用いて、X線の光軸Z2に回転対称部材111の回転対称軸Z1を一致させるように集光部材11の位置が調整される。

40

#### 【0014】

チャンバ部材Cは、X線源10から発生するX線が外部空間に漏洩しないように囲まれた第1空間を形成している。これにより、第1空間内で発生するX線が、チャンバCの外部に漏れないように遮蔽している。チャンバ部材Cは、例えば、鉛で形成されている。チャンバ部材Cは、ベース部材Bを介して、支持面Dと接触している。支持面Dは、例えば、接地する工場の床面である。なお、本実施の形態では、ベース部材Bを介してチャンバ部材Cを支持している。勿論、ベース部材Bを用いずに、チャンバ部材Cと支持面Dとが接触して、チャンバ部材Cが支持されても構わない。

50

なお、本実施の形態においては、支持部材 15 は、X線源 10 のボディに取り付けられているが、取り付け位置はこれに限られない。X線源 10 と集光部材 11 とが独立してチャンバ部材 C に接続されても構わない。また、例えば、図 1 において、XY 平面に仕切り部材を設け、さらにその仕切り部材をチャンバ部材 C と接続させ、その仕切り部材により集光部材 11 を支持しても構わない。即ち、X線源 10 と集光部材 11 とは別々に支持されていても構わない。勿論、集光部材 11 が後述するステージ 13 に取り付けられても構わない。

#### 【0015】

なお、本実施の形態においては、図 1 では、Z 軸方向の支持面 D と交差する方向（図 1 においては  $90^\circ$ ）に X線源 10 と集光部材 11 とステージ 13 と X線検出器 14 とが並んで配置されているが、その順序は図 1 に示すものに限られない。X線源 10 を -Z 方向に配置し、ステージ 103 に照射した X線を +Z 方向に配置される X線検出器 12 で検出しても構わない。さらに、支持面 D に沿う方向で X線源 10 と集光部材 11 とステージ 103 と X線検出器 12 とを配置しても構わない。また、その一部の配置方向を変えても構わない。例えば、Z 軸方向に沿って、X線源 10 と集光部材 11 とステージ 13 とを配置し、X線検出器 12 に入射する X線を折り返すミラーを配置し、X線検出器 12 の配置を照射される X線の光束の中心と X軸方向に離れた位置に X線検出器 12 を配置しても構わない。

#### 【0016】

X線検出器 12 は、X線源 10 から出射され集光部材 11 によって集光された X線が、被測定物 S および / またはステージ 13 を透過した後の透過 X線を検出する。X線検出器 12 は、公知のシンチレーション物質を含むシンチレータ部と、光電子増倍管と、受光部等とによって構成される。X線検出器 12 は、シンチレータ部の入射面 121 に入射した X線のエネルギーを可視光や紫外光等の光エネルギーに変換して光電子増倍管で増幅し、当該増幅された光エネルギーを上記の受光部で電気エネルギーに変換し、電気信号として制御装置 14 へ出力する。X線検出器 12 は、シンチレータ部と光電子増倍管と受光部とからなる 1 個の画素により構成される。

なお、X線検出器 12 は、入射する X線のエネルギーを光エネルギーに変換することなく電気エネルギーに変換し、電気信号として出力してもよい。また、X線検出器 12 は、シンチレータ部と光電子増倍管と受光部とがそれぞれ複数の画素として分割された構造を有し、それらの画素が次元的に配列されたものであってもよい。この場合、走査領域を走査された出射点のそれぞれから出射した X線は、X線源 10 から出射され、被測定物 S の微小な範囲を通過した X線の強度を複数の画素の何れかにて検出することができる。また、X線検出器 12 は、ラインセンサによって構成されてもよい。また、X線検出器 12 として、光電子増倍管を設けずに、シンチレータ部が受光部（光電変換部）の上に直接形成された構造であってもよい。

#### 【0017】

制御装置 14 は、マイクロプロセッサやその周辺回路等を有しており、不図示の記憶媒体（たとえばフラッシュメモリ等）に予め記憶されている制御プログラムを読み込んで実行することにより、走査型 X線顕微鏡 1 の各部を制御する。制御装置 14 は、X線制御部 141 と、画像生成部 142 とを備える。X線制御部 141 は、X線源 10 の動作を制御する。X線制御部 141 は、X線源 10 のフィラメント 101 から電子線を出射させるために供給する電力や、走査部 103 に供給する電流を調節する。画像生成部 142 は、X線検出器 12 から出力された電気信号を用いて、出射点に応じて異なる被測定物 S 上の微小な領域を透過した透過 X線に対応する投影データをマッピングして、被測定物 S の全体の投影データを生成し、逆投影データに基づいて被測定物 S の再構成画像を生成しモニタ（不図示）に表示する。被測定物 S の再構成画像においては、X線が被測定物 S を透過した微小な領域の大きさによってその分解能が決まる。即ち、微小な領域の大きさが小さくなる程、再構成画像の分解能が高くなる。また、X線が被測定物 S を透過した微小な領域の間隔、即ち X線が被測定物 S を走査する際の移動量が小さい程、マッピングされる投影

10

20

30

40

50

データの個数が増加し、再構成画像の倍率を高くさせることができる。本構成により、例えば最大で1000倍程度の倍率を得ることができる。

#### 【0018】

次に、図2を参照しながら、集光部材11について詳細に説明する。図2は、集光部材11の断面を模式的に示す図であり、図2(a)は光軸Z2を含み、XZ平面に平行な平面における集光部材11の断面図であり、図2(b)は図2(a)の面P1、すなわち光軸Z2に直交するXY平面に平行な面における集光部材11の断面図である。集光部材11は、回転対称軸Z1を軸とする複数の筒状の回転対称部材111と、連結部112とを有する。回転対称部材111として、たとえば内壁面が回転双曲面1111と回転楕円面1112との2つの面を組み合わせたウォルターミラーが用いられる。ウォルターミラーは、X線源10からのX線を反射させて被測定物S上にて結像集光させる。図2に示すように、回転対称部材111は、回転楕円面1112がX線源10側に配置され、回転双曲面1111が被測定物S側になるように配置され、X線源10のX線の発光位置が回転楕円面1112の焦点位置になるように調整される。X線源10のX線の発光位置から射出されるX線の斜入射成分は、回転楕円面1112および回転双曲面1111で反射して、回転双曲面1111で集光され、被測定物Sに結像集光する。なお、回転双曲面1111と回転楕円面1112とでX線の入射方向を逆にして、回転双曲面1111にX線を入射し、回転楕円面1112で反射し、結像集光させても構わない。なお、本実施の形態においては、10倍に拡大した画像を取得することが可能となるが、拡大する倍率は10倍に限られず、1倍でも構わないし、1倍よりも大きくても構わない。例えば、倍率の異なる複数の集光部材を用意し、それを変更可能に保持し、適宜切り替えることができるようにしても構わない。

10

20

#### 【0019】

回転対称部材111の内壁面にてX線の斜入射成分を反射させるため、回転対称部材111の内壁面は、例えば金や、モリブデンや、タングステン等のX線を反射させる物質を材料とした金属膜で構成する。なお、回転対称部材111は、強度を確保するため、例えば樹脂等を材料とした筒状の構造体の内壁面に上記の金属膜をコーティングして反射面を形成しても良い。

#### 【0020】

本実施の形態の集光部材11では、回転対称軸Z1を共有し、内径の異なる複数の回転対称部材111が同心状に構成される。図2においては、内径が異なる4個の回転対称部材111a~111dによって集光部材11が構成された例を示す。回転対称部材111a、111b、111c、111dの回転対称軸Z1と直交する面P1における内径はそれぞれD1、D2、D3、D4(D1<D2<D3<D4)である。ただし、各回転対称部材111a、111b、111c、111dの出射端側における回転対称軸Z1と直交する面P2における内径は面P1における内径よりも小さい。また、各回転対称部材111a、111b、111c、111dの入射端側における回転対称軸Z1と直交する面P3における内径は面P1における内径よりも大きい。回転対称部材111aの内径と回転対称部材111bの内径との差d1と、回転対称部材111bの内径と回転対称部材111cの内径との差d2と、回転対称部材111cの内径と回転対称部材111dの内径との差d3とは、d1<d2<d3の関係を満たすように回転対称部材111a~111dが配置される。即ち、集光部材11では、回転対称軸Z1と直交する面P1において、回転対称軸Z1から離れる程、隣り合う回転対称部材111の間隔が大きくなる。なお、回転対称部材111の出射端側および入射端側における回転対称軸Z1と直交する面P2およびP3についても、回転対称軸Z1から離れる程、隣り合う回転対称部材111の間隔が大きくなる。

30

40

#### 【0021】

連結部112は、隣り合う回転対称部材111同士を連結して、上述した各回転対称部材111間の位置関係を保持するとともに、集光部材11の強度を確保する。連結部112は、各回転対称部材111a、111b、111cおよび111dに、例えば接着剤や固

50

定用の金具等を用いて固定される。図2には、連結部112aと、連結部112bとが設けられた例を示している。図2に示す例では、連結部112aは回転対称軸Z1を通過して回転対称部材111を貫通し、連結部112bは、回転対称軸Z1と直交する面において連結部112aと所定の角度を有し、回転対称軸Z1を通過して回転対称部材111を貫通している。なお、回転対称軸Z1に直交する面において、2個の連結部112a、112bが設けられるものに限定されず、回転対称部材111を製造する際の物質の特性に基づいて、形状が崩れないような強度を得るために必要となる個数の連結部112が設けられれば良い。また、図2においては、回転対称部材111の長手方向に沿って連結部112aおよび112bがそれぞれ1個ずつ設けられる例を示しているが、これに限定されない。回転対称部材111の長手方向においても、回転対称部材111を製造する際の物質の特性に基づいて、形状が崩れないような強度を得るために必要となる個数の連結部112が設けられれば良い。連結部112は、X線を遮ることから、X線が透過する面積が小さくなるように構成することが好ましい。また、連結部112は、集光部材11内を進行するX線の強度を減衰させないように、X線の吸収率の低い物質を用いて製造される。連結部112に用いられるX線の吸収率の低い物質は、用いられる反射面の所定重量当たりの吸収率よりも低くするのが望ましい。また、X線の吸収率の低い物質は、AU196、Mo95、W183をそれぞれ用いる場合には、それぞれに対して原子量が小さいものが望ましい。また、高分子化合物であることが望ましい。例えば、アクリル酸エステルあるいはメタクリル酸エステルの重合体である、アクリル樹脂が望ましい。また、ベリリウムを用いても構わない。例えば、Mo96よりも小さい、C12を含む物質が望ましい。また、連結部112は回転対象部材111の一部を連結しても構わないし、複数ある回転対象部材111のそれぞれの間の空間を全て連結部で満たしても構わない。また、反射面は平坦でも構わないし凹凸があっても構わない。また、測定する試料の種類に基づいて、連結部材112の材料を選択しても構わない。

#### 【0022】

なお、集光部材11を構成する回転対称部材111は4個に限定されず、2個、3個、または5個以上の回転対称部材111により構成されても良い。また、回転対称部材111が1個でも良い。この場合は、集光部材11は連結部112を備えていなくて良い。

なお、本実施形態においては、回転双曲面1111と回転楕円面1112から構成される反射面を用いたが、これに限られない。回転楕円面1112のみで構成されている反射面が1種類のミラーでも構わない。例えば、回転楕円面1112のみを用い、その楕円面の焦点位置が2種類以上の形状の面で形成されていても構わない。ここで面の種類とは、例えば、その面を規定する関数の数で決まる。また、本実施形態においては、回転対称であり、回転対称軸Z1を中心に円状に反射面が形成されているが、回転対称軸Z1を中心に複数回の対称形状となる形状でも構わない。例えば、6回対称形状でも構わない。

#### 【0023】

図3は、上記の集光部材11におけるX線の軌跡を模式的に示す図である。なお、図3においては、説明の理解を容易にするため、連結部112を省略している。図3では、X線源10から出射したX線の軌跡600、700、800、900で示す。軌跡600は、集光部材11を構成する回転対称部材111のうち、最も内径が小さい回転対称部材111aの内側に入射してから出射するX線を示す。軌跡700、800、900は、回転対称部材111aおよび111bの間の空間に入射してから出射するX線、回転対称部材111bおよび111cの間の空間に入射してから出射するX線、回転対称部材111cおよび111dの間の空間に入射してから出射するX線をそれぞれ示す。

#### 【0024】

軌跡600a、700a、800a、900aは、それぞれ回転対称部材111a、111b、111c、111dへの入射角が最も大きい場合におけるX線の軌跡を示す。各軌跡600a、700a、800a、900aで表されるX線は、それぞれ回転対称部材111a、111b、111c、111dの回転楕円面1112で1回目の反射をし、回転双曲面1111で2回目の反射をして、所定の位置に集光される。軌跡600b、70

10

20

30

40

50

0 b、800 b、900 bで表されるX線は、それぞれ回転対称部材111 a、111 b、111 c、111 dへの入射角が最も小さい場合におけるX線の軌跡を示す。各軌跡600 b、700 b、800 b、900 bについても、それぞれ回転対称部材111 a、111 b、111 c、111 dの回転楕円面111 2で1回目の反射をし、回転双曲面111 1で2回目の反射をして、所定の位置に集光される。この場合に、X線の発光場所から射出するX線は、回転楕円面111 2および回転双曲面111 1で反射し、回転双曲面111 1の焦点位置にX線が集光される。本実施形態では、X線の発光場所の移動に伴い、集光部材11で集光する位置を移動させることができる。本実施形態においては、回転双曲面111 1と回転楕円面111 2とで構成されており、X線の発光点と回転楕円面111 2における回転双曲面111 1との端部までの距離を10 X mmと設定すると、被測定物Sから回転双曲面111 1における回転楕円面111 2までの距離がX mmと設定される。なお、単位はmmに限られず、例えばcm、mでも構わない。また、本実施形態ではXは3が入るが、3以外には1から9までの適当な数が代入される。勿論、小数点以下の数字が代入されても構わない。

10

集光部材11は、回転対称軸Z1を共通とする内径の異なる複数の回転対称部材111を備え、回転対称軸Z1から離れる程、隣り合う回転対称部材111の間隔が大きくなるので、集光部材11に入射するX線を取り込む立体角を大きくすることができる。

#### 【0025】

集光レンズ11は、例えば以下のようにして作製される。

まず、樹脂により筒状部材を形成する。この筒状部材の外側面形状は回転双曲面111 1と回転楕円面111 2で構成されて、回転対称部材111 aの内側面形状に相当する形状となるように形成される。この筒状部材の外側面から、十分な長さを有する金属棒を、筒状の部材の軸と直交するように貫通させ固定する。次に、上記筒状部材の外側面に、上述した金や、モリブデンや、タングステン等のX線を反射させる材料により1層目の金属膜を形成する。次に、1層目の金属膜の外側面に、樹脂によりいて、その外側面形状が回転対称部材111 bの内側面形状に相当する形状となるような筒状部材を形成する。この筒状の部材の外側面に2層目の金属膜を形成する。以下、同様にして、樹脂により筒状部材を形成し、その外側面に金属膜を形成することで、3層目および4層目の金属膜を形成する。次に、4層目の金属膜よりも外部に突出する金属棒を切断する。有機溶剤に浸漬することで樹脂を溶出させることにより樹脂の部分を除去する。このようにして、1層目～4層目の金属膜がそれぞれ回転対称部材111 a、111 b、111 c、111 dを形成し、金属棒が連結部112を形成する上述した集光レンズ11が作製される。なお、上記の作製方法は一例であり、上述した形状を有する集光レンズ11を作製可能となるあらゆる方法を用いることができる。例えば、樹脂等の成形体に回転対称部材111 a、111 b、111 c、111 dに対応する形状の溝を加工し、その溝にX線を反射させる物質を真空プロセス等により形成し、その後、成形体を溶剤に浸漬するか、あるいは、加熱する等により除去しても良い。

20

30

#### 【0026】

走査型X線顕微鏡1の動作について説明する。

制御装置14のX線制御部141は、X線源10に電力を供給してフィラメント101から電子線を放出させ、走査部103および収束部104により電子線をターゲット102上の所定の位置に収束させ、ターゲット102に衝突させる。X線制御部141は、走査部103に供給する電力を制御することにより、電子線をターゲット102上の走査範囲内の所定の方向に所定の移動量にて走査させる。なお、上述したように、生成される被測定物Sの再構成画像の倍率は、X線が被測定物Sを走査する際の移動量、即ち電子線がターゲット102の走査範囲内を走査する際の移動量に依存する。従って、電子線の移動量は、例えばユーザが操作部(不図示)等を用いて設定した画像の倍率に基づいて、X線制御部141が電子線の移動量を算出し、算出した移動量に応じた電力を走査部103に供給する。

40

#### 【0027】

50

ターゲット102において電子線が衝突した位置(出射点)からX線が出射される。上記のように電子線がターゲット102上にて移動することに伴い、ターゲット102から出射されるX線も追従して移動する。なお、X線制御部141は、X線源10を制御して、まず例えば5keVでX線を出射させ、被測定物Sを透過しない場合に例えば10keVのX線に切り替えて出射させる。X線源10から出射したX線は集光部材11に入射し、集光部材11において上記の図3を用いて説明したように進行または反射して、被測定物S上で集光する。X線は、X線源10から走査されながら出射するので、被測定物S上で集光するX線は、出射点のターゲット102上での移動に伴って走査される。被測定物S上で走査されるX線は、各走査位置で被測定物Sを透過してX線検出器14に入射する。X線検出器14は、入射したX線の強度に応じた電気信号を出力する。画像生成部142は、上述したようにして、X線検出器12から出力された電気信号を用いて、被測定物Sの全体の投影データを生成し、逆投影データに基づいて被測定物Sの再構成画像を生成する。

10

#### 【0028】

上述した第1の実施の形態によれば、次の作用効果が得られる。

(1) 走査部103は電子線をターゲット102上で走査すなわち移動させることにより、X線を被測定物Sに向けて走査すなわち移動して出射させる。集光部材11は、ターゲット102と被測定物Sとの間に設けられ、ターゲット102から出射したX線を被測定物Sへ集光する。従って、集光部材11と被測定物Sとの相対位置を、X線源10の内部のターゲット102に照射する電子線の照射位置を移動し、位置を変えることで、X線が被測定物Sに照射される位置を変えることができる。すなわち、本実施形態では被測定物SのX線の照射位置を変更したい場合には、X線源10のターゲット102上の電子線の照射位置を変更することで達成することができる。また、電子線の照射位置を変更する場合には、例えば、X線源10のターゲット102のX線の照射位置を固定し、X線源10を移動させて被測定物Sの照射位置を移動させる場合に比べて、電氣的に走査部103を制御し、被測定物SのX線の照射位置を変えるために、高速で移動することが可能となる。これにより、被測定物Sの測定時間を短縮することができる。また、本実施形態においては、被測定物Sの照射位置を微小量移動させるために被測定物Sのみを移動させる際に、被測定物Sを保持したステージ13を微小量移動させる場合に対して、ターゲット102上での電子線の照射位置を微小量移動させるため、ステージ13の微小量を移動させる駆動機構を設ける必要がない。また、被測定物Sを微小移動させる場合には、その移動に伴い、移動に伴う被測定物Sの振動の影響および、微小移動機構からの被測定物Sへの熱の伝導により、被測定物Sの姿勢、載置位置および被測定物Sの変質もしくは被測定物の変形などの被測定物の載置条件が変化してしまう可能性がある。本実施形態では、被測定物S上でのX線の照射位置の微小移動を、ターゲット102上での電子線の照射位置を微小移動させることで達成することが可能となる。また、本実施形態において、X線源10と被測定物との間に集光部材10を設けた。これにより、被測定物SとX線源10とが離れて配置されたために、X線源10から発生する熱の被測定物Sへの伝導を抑制することができる。被測定物Sへの熱の伝導は、結果として、例えば、被測定物Sにタンパク質が含まれる場合には、タンパク質の変質が引き起こされる。また、被測定物Sへの熱の伝導は、結果として、例えば、被測定物Sに金属など熱により収縮する物質が含まれる場合には、その物質が収縮する。これにより、被測定物Sの測定不良を引き起こす可能性がある。

20

30

40

本実施の形態において、得られる画像は集光部材11の集光能力によっても決まる。例えば、集光部材11の集光能力により、得られる画像における2点を分離して解像できる能力が決まる。集光能力は、例えば、集光部材11に入射するX線の波長や、集光部材11の開口数によって決まる。そこで、本実施の形態においては、解像できる距離に応じて、X線源10におけるターゲット102上での電子線の移動量を決定しても構わない。すなわち、解像できる距離よりも電子線を短い距離の間隔で所定時間の間で移動させ、画像を取得しても、解像できる距離以上にX線の画像を取得することが難しい。したがって、

50

少なくとも、解像できる距離に相当する電子線の移動量を決め、決定された移動量で移動させることが望ましい。勿論、X線源10におけるターゲット102上での電子線の位置を移動させるときの可能な移動の間隔の距離に応じて、集光部材11を選択しても構わない。

また、本実施の形態において、X線が被測定物Sに照射される位置を変更するために、集光部材11もしくは被測定物Sを移動させるための駆動機構を用いていない。駆動機構を用いる場合には、その駆動機構の精度に依存して、得られる画像の分解能が決まってしまう。本実施の形態では、そのような駆動機構とは異なり、アライナである走査部103を用いるために、電子線をより精度よく移動させることができる。勿論、集光部材11もしくは被測定物Sを駆動させる機構を設け、その駆動機構を用いた場合の精度よりも高い精度が必要な場合のために、本実施の形態の走査部103を用いる電子線移動機構をさらに設けて、それらを併用しても構わない。

#### 【0029】

(2) 集光部材11の反射面は、筒状の回転対称部材111により構成され、X線の斜入射成分を反射する。従って、集光部材11に入射するX線の斜入射成分を1点に集光することができる。

#### 【0030】

(3) 集光部材11は、同心円状に配置された径が異なる複数の回転対称部材111a、111b、111c、111dを有し、それぞれ共通の回転対称軸Z1を有し、複数の回転対称部材111a、111b、111c、111dは、共通の回転対称軸Z1と直交する面において、共通の回転対称軸Z1から離れる程、隣り合う反射面の間隔が大きくなる。従って、集光部材11に入射するX線を取り込む立体角を大きくすることができる。

#### 【0031】

(4) 支持部材15は、電子線がターゲット102上で走査された際の走査領域の中心から出射するX線の光軸Z2と回転対称部材111の回転対称軸Z1とを一致させて回転対称部材111を支持する。従って、X線源10と集光部材11との位置関係を保持し続けるので、ターゲット102上におけるX線の出射点と被測定物Sを透過する位置との対応関係の変動を防ぐことができる。

#### 【0032】

(5) 集光部材11は、互いに隣り合う回転対称部材111を連結する連結部材112を有し、連結部材112は、複数の回転対称部材111a、111b、111c、111dのそれぞれを固定する。従って、金属膜等によって製造される回転対称部材111間を連結することにより、集光部材11の強度を確保することができる。

#### 【0033】

上述した第1の実施の形態の走査型X線顕微鏡1を、以下のように変形できる。

(1) 走査型X線顕微鏡1が備える集光部材11は回転対称部材111により構成されるものに限定されない。例えば、図4に模式的に示すように、集光部材11としてカセグレン形状のミラーを用いてX線源10からのX線の一部を被測定物Sに向けて反射させても良い。

#### 【0034】

(2) 走査型X線顕微鏡1は、X線源10から出射したX線のうち、集光部材11に入射しない成分によって被測定物Sが照射されることを防ぐための遮蔽板を備えても良い。この場合、図5(a)に模式的に示すように、遮蔽板19は、集光部材11の入射端(X線源10)側に、集光部材11の入射端の形状に応じた開口を有して設けられる。遮蔽板19は、例えば鉛等のX線の吸収率が高い物質を用いて製造される。なお、図5(b)に模式的に示すように、遮蔽板19が、集光部材11をX線源10に支持するための支持部材15の一部を形成しても良い。

なお、上述の実施形態においては、X線源10と集光部材11とが固定されて配置されているが、少なくとも一方に駆動機構を設けて、X線源10と集光部材11の中心軸との位置調整を行えるようにしても構わない。例えば、集光部材11に位置調整機構を設け、

10

20

30

40

50

集光部材 1 1 の光軸方向を変更できるようにしても構わない。この場合に、常に同じ姿勢になるように調整しても構わないし、X線検出器 1 2 に届く光量に基づき、常に最大光量となるように、集光部材の姿勢を調整しても構わない。

なお、上述の実施形態では、ステージ 1 3 は固定されていたが、駆動させても構わない。例えば、電子線の移動に伴い被測定物での X 線の照射可能な領域よりも、被測定物 S の測定領域が広い場合には、被測定物 S での X 線の照射領域を変えるために、被測定物 S が載置されたステージ 1 3 を移動させる必要がある。この場合には、被測定物 S のステージ 1 3 による移動距離に対して、電子線の照射移動に伴う X 線の照射位置の移動距離は短い。すなわち、電子線の照射領域の微小量移動で測定可能な領域よりも、大きい移動量でステージ 1 3 を移動することが可能となる。勿論、被測定物 S をステージ 1 3 に支持して移動させながら、電子線の照射位置を移動させて、被測定物 S での X 線の照射位置を移動させても構わない。

#### 【 0 0 3 5 】

なお、上述した第 1 の実施の形態および変形例 ( 1 )、( 2 ) においては、走査型 X 線顕微鏡 1 が X 線検出器 1 2 を有する構成を例に挙げて説明したが、走査型 X 線顕微鏡 1 が X 線源 1 0 と集光部材 1 1 とにより構成されても良い。

#### 【 0 0 3 6 】

##### - 第 2 の実施の形態

図面を参照しながら第 2 の実施の形態による走査型 X 線顕微鏡について説明する。

図 6 は、第 2 の実施の形態の走査型 X 線顕微鏡 2 の要部構成を模式的に示すブロック図である。走査型 X 線顕微鏡 2 は、X 線源 2 0 と、X 線検出器 2 1 と、ステージ 2 3 と、制御装置 2 4 と、遮光部 2 5 と、移動部 2 6 とを備える。X 線源 2 0 は、制御装置 2 4 による制御に応じて、ステージ 2 3 上に載置された被測定物 S へ向けて X 線を出射する。第 2 の実施の形態における X 線源 2 0 も、例えば最大エネルギー約 5 keV ~ 約 10 keV の X 線を出射することができる。なお、第 2 の実施の形態の走査型 X 線顕微鏡 2 も、第 1 の実施の形態の場合と同様に、X 線源 2 0 から発生する X 線が外部空間に漏洩しないように囲まれた、鉛等で形成されたチャンバ部材 C を有している。チャンバ部材 C は、ベース部材 B を介して、工場の床面等の支持面 D と接触している。なお、本実施の形態においても、ベース部材 B を用いずにチャンバ部材 C と支持面 D とを接触させて支持しても良い。

#### 【 0 0 3 7 】

X 線源 2 0 は、フィラメント 2 0 1 と、ターゲット 2 0 2 と、収束部 2 0 4 とを有する。換言すると、第 2 の実施の形態の X 線源 2 0 は、第 1 の実施の形態の X 線源 1 0 と異なり、走査部 1 0 3 を有していない。他の構成については、第 1 の実施の形態の X 線源 1 0 と同様である。従って、第 2 の実施の形態の走査型 X 線顕微鏡 2 では、X 線源 2 0 から出射される X 線自身が被測定物 S 上を走査される第 1 の実施の形態の走査型 X 線顕微鏡 1 とは異なる。

#### 【 0 0 3 8 】

遮光部 2 5 は、X 線源 2 0 とステージ 2 3 に載置された被測定物 S との間に配置される。遮光部 2 5 は、例えば鉛等の X 線を吸収する性質を有する物質を用いて製造される。X 線源 2 0 からの X 線の一部を通過させて被測定物 S へ導くための微小な開口、即ちピンホール 2 5 1 が設けられる。遮光部 2 5 は、ピンホール 2 5 1 が設けられた位置以外では被測定物 S を X 線の照射から遮光する。遮光部 2 5 のピンホール 2 5 1 を通過した X 線は、被測定物 S および / またはステージ 2 3 を透過して X 線検出器 2 1 に入射する。X 線検出器 2 1 は、第 1 の実施の形態の X 線検出器 1 4 と同様の構成を有し、入射した透過 X 線を検出し、検出データを制御装置 2 4 へ出力する。

#### 【 0 0 3 9 】

移動部 2 6 は、例えばモータ、レール、スライダ等によって構成され、制御装置 2 4 に制御されて、遮光部 2 5 をステージ 2 3 に沿った平面上にて 2 次元移動させる。即ち、被測定物 S に対するピンホール 2 5 1 の相対的な位置が移動する。また、被測定物 S に対するピンホール 2 5 1 の相対位置が変更される。従って、ピンホール 2 5 1 を通過した X

10

20

30

40

50

線が被測定物 S を照射する位置が移動することにより、被測定物 S 上で X 線が走査される。

【 0 0 4 0 】

制御装置 2 4 は、X 線制御部 2 4 1 と、画像生成部 2 4 2 とを有する。X 線制御部 2 4 1 は、X 線源 2 0 のフィラメント 2 0 1 から電子線を出射させるために供給する電力を調節して、X 線源 2 0 の動作を制御する。画像生成部 2 4 2 は、X 線検出器 2 1 から出力された電気信号を用いて、遮光部 2 5 のピンホール 2 5 1 を介して被測定物 S 上の微小な領域を透過した透過 X 線に対応する投影データをマッピングして、被測定物 S の全体の投影データを生成し、逆投影データに基づいて被測定物 S の再構成画像を生成する。被測定物 S の再構成画像においては、X 線が被測定物 S を透過した微小な領域の大きさ、即ちピンホール 2 5 1 の大きさによってその分解能が決まる。即ち、ピンホール 2 5 1 の大きさが小さくなる程、再構成画像の分解能が高くなる。X 線が被測定物 S を透過した微小な領域の間隔、即ちピンホール 2 5 1 の移動量が小さい程、マッピングされる投影データの個数が増加し、再構成画像の倍率が高くなる。

10

【 0 0 4 1 】

以上で説明した第 2 の実施の形態によれば、以下の作用効果が得られる。

遮光部 2 5 は、X 線源 2 0 と X 線検出器 2 1 との間に設けられ、X 線のうちの一部を通過させる開口 2 5 1 を有する。移動部 2 6 は、遮光部 2 5 と被測定物 S との間におけるステージ 2 3 に沿った位置関係を相対的に移動させる。従って、例えば特定の単波長の X 線を集光させる部材を用いて被測定物 S に集光させる場合と比較して、広い範囲の波長域の X 線を用いて測定を行うことができる。

20

【 0 0 4 2 】

上述した第 2 の実施の形態の走査型 X 線顕微鏡 2 を、次のように変形できる。

( 1 ) 遮光部 2 5 を、X 線源 2 0 被測定物 S との間に配置するものに代えて、遮光部 2 5 をステージ 2 3 と X 線検出器 2 1 との間に配置しても良い。即ち、X 線検出器 2 1 は、被測定物 S を透過した透過 X 線のうち遮光部 2 5 のピンホール 2 5 1 を通過した透過 X 線のみを検出するようにしても良い。

【 0 0 4 3 】

( 2 ) 移動部 2 6 は、遮光部 2 5 を移動させるものに代えて、ステージ 2 3 を移動させても良い。この場合、移動部 2 6 は、ステージ 2 3 を二次元的に移動させることにより、ステージ 2 3 上に載置された被測定物 S を遮光部 2 5 に対して二次元的に相対的に移動させる。

30

【 0 0 4 4 】

- 第 3 の実施の形態 -

図面を参照して、本発明の実施の形態による構造物製造システムを説明する。本実施の形態の構造物製造システムは、たとえば自動車のドア部分、エンジン部分、ギア部分および回路基板を備える電子部品等の成型品を作成する。

【 0 0 4 5 】

図 7 は、本実施の形態による構造物製造システム 6 0 0 の構成の一例を示すブロック図である。構造物製造システム 6 0 0 は、第 1 または第 2 の実施の形態または変形例にて説明した走査型 X 線顕微鏡 1 0 0 と、設計装置 6 1 0 と、成形装置 6 2 0 と、制御システム 6 3 0 と、リペア装置 6 4 0 とを備える。

40

【 0 0 4 6 】

設計装置 6 1 0 は、構造物の形状に関する設計情報を作成する際にユーザが用いる装置であって、設計情報を作成して記憶する設計処理を行う。設計情報は、構造物の各位置の座標を示す情報である。設計情報は成形装置 6 2 0 および後述する制御システム 6 3 0 に出力される。成形装置 6 2 0 は設計装置 6 1 0 により作成された設計情報を用いて構造物を作成、成形する成形処理を行う。この場合、成形装置 6 2 0 は、3 D プリンター技術で代表される積層加工、鋳造加工、鍛造加工および切削加工のうち少なくとも 1 つを行うものについても本発明の一態様に含まれる。

50

## 【 0 0 4 7 】

走査型 X 線顕微鏡 1 0 0 は、成形装置 6 2 0 により成形された構造物の形状を測定する測定処理を行う。走査型 X 線顕微鏡 1 0 0 は、構造物を測定した測定結果である構造物の座標を示す情報（以後、形状情報と呼ぶ）を制御システム 6 3 0 に出力する。制御システム 6 3 0 は、座標記憶部 6 3 1 と、検査部 6 3 2 とを備える。座標記憶部 6 3 1 は、上述した設計装置 6 1 0 により作成された設計情報を記憶する。

## 【 0 0 4 8 】

検査部 6 3 2 は、成形装置 6 2 0 により成形された構造物が設計装置 6 1 0 により作成された設計情報に従って成形されたか否かを判定する。換言すると、検査部 6 3 2 は、成形された構造物が良品か否かを判定する。この場合、検査部 6 3 2 は、座標記憶部 6 3 1 に記憶された設計情報を読み出して、設計情報と走査型 X 線顕微鏡 1 0 0 から入力した形状情報とを比較する検査処理を行う。検査部 6 3 2 は、検査処理としてたとえば設計情報が示す座標と対応する形状情報が示す座標とを比較し、検査処理の結果、設計情報の座標と形状情報の座標とが一致している場合には設計情報に従って成形された良品であると判定する。設計情報の座標と対応する形状情報の座標とが一致していない場合には、検査部 6 3 2 は、座標の差分が所定範囲内であるか否かを判定し、所定範囲内であれば修復可能な不良品と判定する。

## 【 0 0 4 9 】

修復可能な不良品と判定した場合には、検査部 6 3 2 は、不良部位と修復量とを示すリペア情報をリペア装置 6 4 0 へ出力する。不良部位は設計情報の座標と一致していない形状情報の座標であり、修復量は不良部位における設計情報の座標と形状情報の座標との差分である。リペア装置 6 4 0 は、入力したリペア情報に基づいて、構造物の不良部位を再加工するリペア処理を行う。リペア装置 6 4 0 は、リペア処理にて成形装置 6 2 0 が行う成形処理と同様の処理を再度行う。

## 【 0 0 5 0 】

図 8 に示すフローチャートを参照しながら、構造物製造システム 6 0 0 が行う処理について説明する。

ステップ S 1 1 1 では、設計装置 6 1 0 はユーザによって構造物の設計を行う際に用いられ、設計処理により構造物の形状に関する設計情報を作成し記憶してステップ S 1 1 2 へ進む。なお、設計装置 6 1 0 で作成された設計情報のみに限定されず、既に設計情報がある場合には、その設計情報を入力することで、設計情報を取得するものについても本発明の一態様に含まれる。ステップ S 1 1 2 では、成形装置 6 2 0 は成形処理により、設計情報に基づいて構造物を作成、成形してステップ S 1 1 3 へ進む。ステップ S 1 1 3 においては、走査型 X 線顕微鏡 1 0 0 は測定処理を行って、構造物の形状を計測し、形状情報を出力してステップ S 1 1 4 へ進む。

## 【 0 0 5 1 】

ステップ S 1 1 4 では、検査部 6 3 2 は、設計装置 6 1 0 により作成された設計情報と走査型 X 線顕微鏡 1 0 0 により測定され、出力された形状情報とを比較する検査処理を行って、ステップ S 1 1 5 へ進む。ステップ S 1 1 5 では、検査処理の結果に基づいて、検査部 6 3 2 は成形装置 6 2 0 により成形された構造物が良品か否かを判定する。構造物が良品である場合、すなわち設計情報の座標と形状情報の座標とが一致する場合には、ステップ S 1 1 5 が肯定判定されて処理を終了する。構造物が良品ではない場合、すなわち設計情報の座標と形状情報の座標とが一致しない場合や設計情報には無い座標が検出された場合には、ステップ S 1 1 5 が否定判定されてステップ S 1 1 6 へ進む。

## 【 0 0 5 2 】

ステップ S 1 1 6 では、検査部 6 3 2 は構造物の不良部位が修復可能か否かを判定する。不良部位が修復可能ではない場合、すなわち不良部位における設計情報の座標と形状情報の座標との差分が所定範囲を超えている場合には、ステップ S 1 1 6 が否定判定されて処理を終了する。不良部位が修復可能な場合、すなわち不良部位における設計情報の座標と形状情報の座標との差分が所定範囲内の場合には、ステップ S 1 1 6 が肯定判定されてス

10

20

30

40

50

ステップS 1 1 7へ進む。この場合、検査部6 3 2はリペア装置6 4 0にリペア情報を出力する。ステップS 1 1 7においては、リペア装置6 4 0は、入力したリペア情報に基づいて、構造物に対してリペア処理を行ってステップS 1 1 3へ戻る。なお、上述したように、リペア装置6 4 0は、リペア処理にて成形装置6 2 0が行う成形処理と同様の処理を再度行う。

【0 0 5 3】

上述した第3の実施の形態による構造物製造システムによれば、以下の作用効果が得られる。

(1) 構造物製造システム6 0 0の走査型X線顕微鏡1 0 0は、設計装置6 1 0の設計処理に基づいて成形装置6 2 0により作成された構造物の形状情報を取得する測定処理を行い、制御システム6 3 0の検査部6 3 2は、測定処理にて取得された形状情報と設計処理にて作成された設計情報とを比較する検査処理を行う。従って、構造物の欠陥の検査や構造物の内部の情報を非破壊検査によって取得し、構造物が設計情報の通りに作成された良品であるか否かを判定できるので、構造物の品質管理に寄与する。

10

【0 0 5 4】

(2) リペア装置6 4 0は、検査処理の比較結果に基づいて、構造物に対して成形処理を再度行うリペア処理を行うようにした。従って、構造物の不良部分が修復可能な場合には、再度成形処理と同様の処理を構造物に対して施すことができるので、設計情報に近い高品質の構造物の製造に寄与する。

【0 0 5 5】

次のような変形も本発明の範囲内であり、変形例の一つ、もしくは複数を上述の実施形態と組み合わせることも可能である。

20

(3) 上述の実施形態では、被測定物SでのX線の照射位置を移動させて、被測定物Sを透過したX線を検出していたが、検出するX線はこれに限られない。例えば、蛍光X線、回折X線など検出しても構わない。勿論、複数種類のX線を検出しても構わない。例えば、蛍光X線スペクトルを検出しつつ、その透過X線像を検出し、そのX線の照射位置情報を取得することで、そのX線の照射位置のX線の透過像データと蛍光X線スペクトルから算出される材料の組成情報とを比較して検討することが可能となる。また、被測定物Sを透過したX線を検出する場合に、被測定物Sに照射する角度を変え、複数の透過X線像を検出し、再構成像を形成しても構わない。例えば、被測定物Sを回転させつつ被測定物SにX線を照射することにより得られた複数のX線像を検出する。その検出される複数の透過X線像を用いて被測定物Sを再構成し、これにより被測定物Sの内部構造の三次元データ(三次元構造)を生成する。被測定物Sの断層画像の再構成方法としては、例えば、逆投影法、フィルタ補正逆投影法、逐次近似法が挙げられる。逆投影法及びフィルタ補正逆投影法に関しては、例えば、米国特許出願公開第2 0 0 2 / 0 1 5 4 7 2 8号明細書に記載されている。また、逐次近似法に関しては、例えば、米国特許出願公開第2 0 1 0 / 0 2 2 0 9 0 8号明細書に記載されている。

30

【0 0 5 6】

(4) X線の透過画像と他の画像とを比較し検討することも可能である。例えば、被測定物の全体画像の設計情報、透過X線画像もしくは表面画像と、X線の測定位置の画像とを比較して表示するようにしても構わない。これにより、X線の測定結果がどの領域を測定しているのかを明らかにすることが可能となる。

40

【0 0 5 7】

本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の形態についても、本発明の範囲内に含まれる。

【符号の説明】

【0 0 5 8】

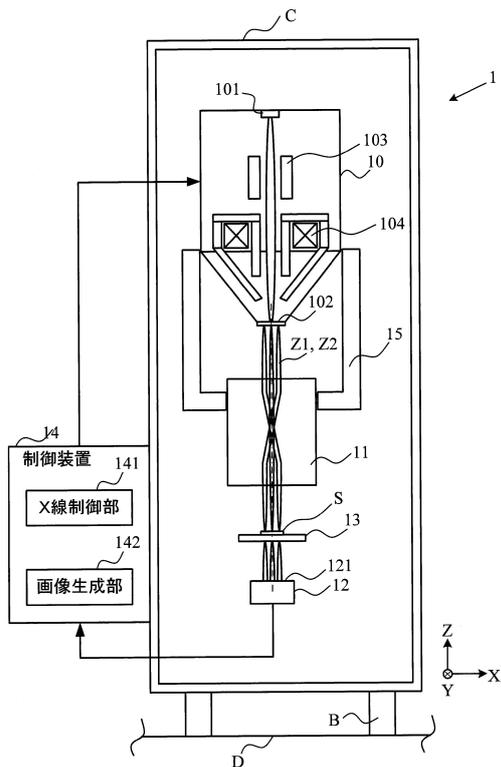
1、2、1 0 0 ... 走査型X線顕微鏡、1 0、2 0 ... X線源、1 1 ... 集光部材、1 2、2 1 ... X線検出器、1 3、2 3 ... ステージ、1 4、2 4 ... 制御装置、

50

- 15 ... 支持部材、19 ... 遮蔽板、25 ... 遮光部、26 ... 駆動部、
- 101、201 ... フィラメント、102、202 ... ターゲット、103 走査部、
- 111 ... 回転対称部材、112 ... 連結部、141、241 ... X線制御部、
- 142、242 ... 画像生成部、251 ... ピンホール
- 600 ... 構造物製造システム、610 ... 設計装置、620 ... 成形装置、
- 630 ... 制御システム、632 ... 検査部、640 ... リペア装置

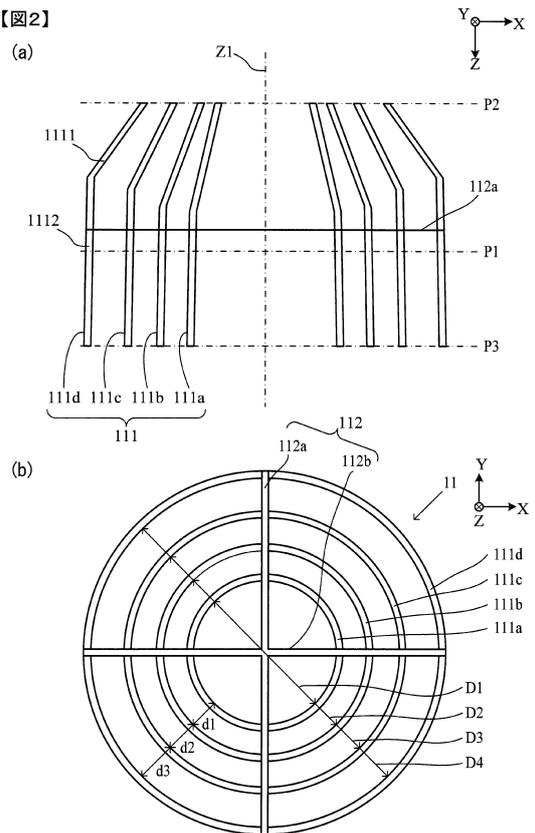
【図1】

【図1】



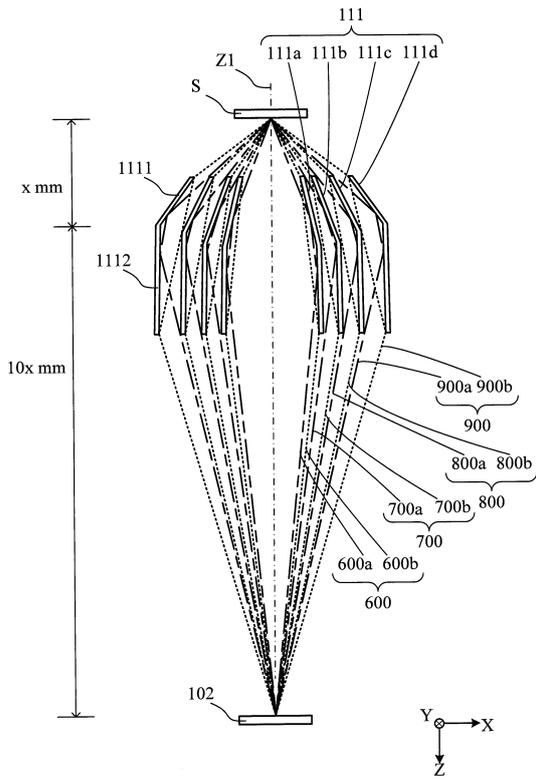
【図2】

【図2】



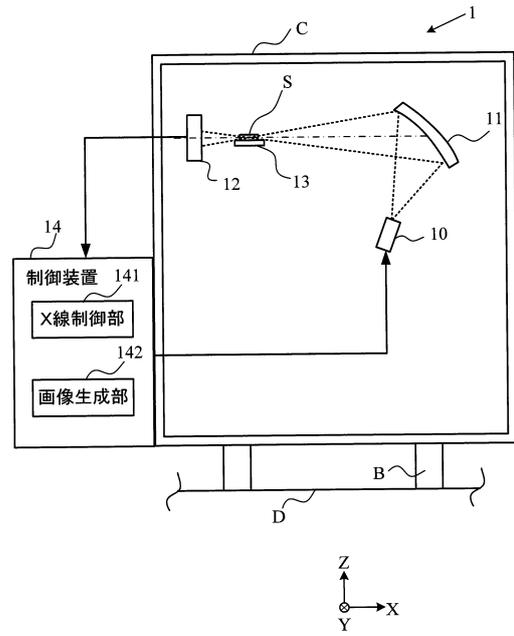
【図3】

【図3】



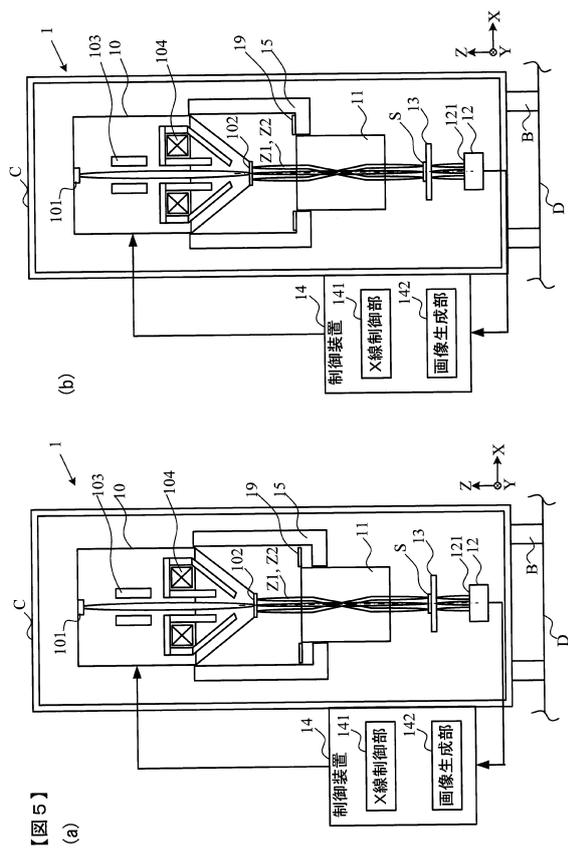
【図4】

【図4】



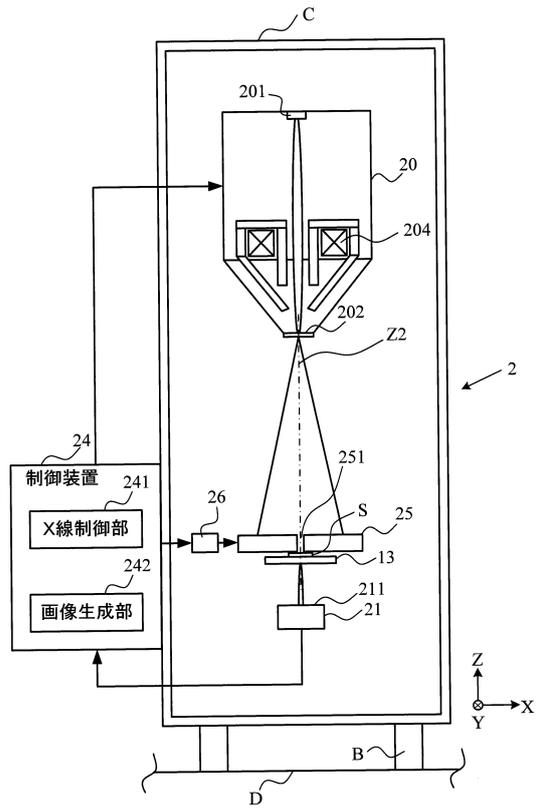
【図5】

【図5】

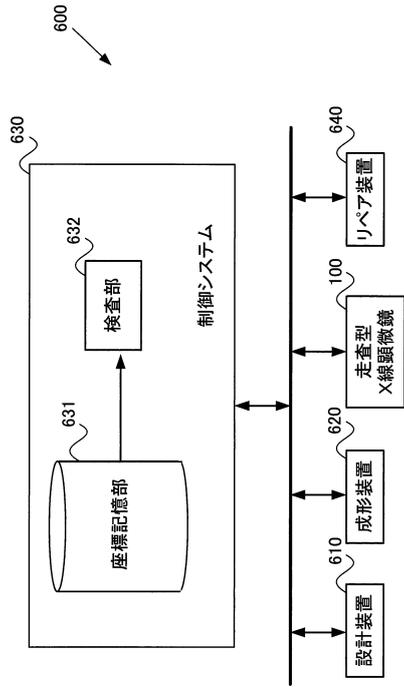


【図6】

【図6】



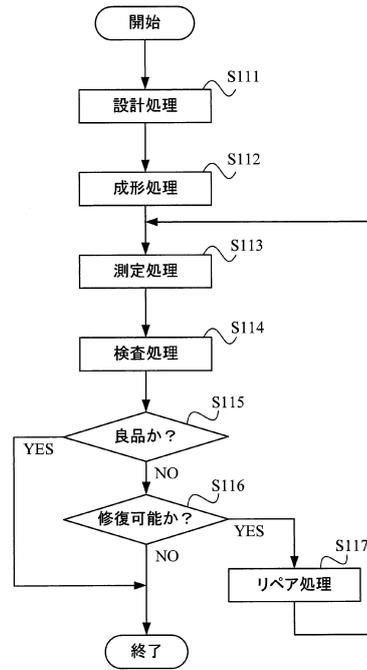
【図7】



【図7】

【図8】

【図8】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2008-268105(JP,A)  
特開平10-339798(JP,A)  
特開2007-285909(JP,A)  
特表2009-545181(JP,A)  
特開平08-146197(JP,A)  
特開昭62-126334(JP,A)  
特開昭50-098773(JP,A)  
特開2015-083932(JP,A)  
特開昭62-044940(JP,A)  
特開2003-75600(JP,A)  
特開2003-279693(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/00 - 23/2276、  
G21K 1/00 - 3/00、 5/00 - 7/00