

(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2005-19218  
(P2005-19218A)

(43) 公開日 平成17年1月20日(2005.1.20)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
HO 1 J 37/26	HO 1 J 37/26	2 G O O 1
GO 1 N 23/04	GO 1 N 23/04	5 C O 3 3
HO 1 J 37/22	HO 1 J 37/22 5 O 1 A	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2003-182739 (P2003-182739)	(71) 出願人	000004271 日本電子株式会社 東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号
(22) 出願日	平成15年6月26日 (2003.6.26)	(71) 出願人	591133929 日本電子システムテクノロジー株式会社 東京都昭島市武蔵野3丁目1番地2号
		(74) 代理人	100083806 弁理士 三好 秀和
		(74) 代理人	100100712 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦
		(74) 代理人	100087365 弁理士 栗原 彰
		(74) 代理人	100100929 弁理士 川又 澄雄

最終頁に続く

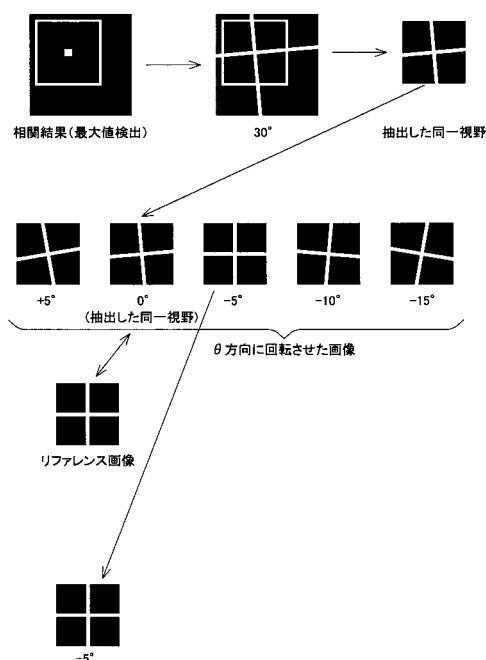
(54) 【発明の名称】 電子顕微鏡装置

(57) 【要約】

【課題】 CT法を応用することにより試料を切片化することなしに立体構造の解析を可能とし、電子顕微鏡装置に特有の問題を解決して、一般的なケースにおいてCT法の応用が可能である電子顕微鏡装置を提供する

【解決手段】 試料を一定の角度ごとに傾斜させて得られる一連の透過像からリファレンス画像との二次元相関処理によって同一視野を選択して切り出して試料の位置ずれを補正する。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

傾動可能に支持された試料に電子ビームを照射し、試料を透過した電子に基づいて透過電子顕微鏡像を取得すると共に、取得した試料の透過像データに基づいてCT法を実行する信号処理回路を備えた電子顕微鏡装置であって、

前記信号処理回路は、試料を一定の角度ごとに傾斜させて得られる一連の透過像から、リファレンス画像との二次元相関処理によって、同一視野を選択して切り出すことにより、試料の位置ずれを補正することを特徴とする電子顕微鏡装置。

## 【請求項 2】

前記信号処理回路は、前記二次元相関処理を行う前に、各透過像のコントラストの傾斜、傾向の影響を除去することを特徴とする請求項 1 記載の電子顕微鏡装置。 10

## 【請求項 3】

前記信号処理回路は、前記二次元相関処理の相関結果の最大値について一定の判断基準を有し、この基準を逸脱する値については二次元相関処理の結果として用いないようにしたことを特徴とする請求項 1 記載の電子顕微鏡装置。

## 【請求項 4】

前記信号処理回路は、前記二次元相関処理を行うときに、透過像の平行なずれ及び透過像内における回転についても補正することを特徴とする請求項 1 記載の電子顕微鏡装置。

## 【請求項 5】

前記信号処理回路は、一のリファレンス画像を用いて別の傾斜角度の透過像から切り出された同一視野の画像を、次の新たなリファレンス画像として、さらに別の傾斜角度の透過像との二次元相関処理に用いることを特徴とする請求項 1 記載の電子顕微鏡装置。 20

## 【請求項 6】

前記信号処理回路は、三次元画像の再構成範囲の中心と機械的な回転軸とのずれ量を逆ラドン変換の際に加えることを特徴とする請求項 1 記載の電子顕微鏡装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、試料を切片化することなく立体構造を解析することができる透過電子顕微鏡 (TEM) 装置に関する。 30

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来、透過電子顕微鏡 (TEM) 装置における試料の立体構造の解析、すなわち、三次元再構築は、試料を極薄い切片とし、この切片の電子顕微鏡像 (電子線透過像) を重ね上げる手法 (連続切片法) によりなされていた。

## 【0003】

しかし、このような手法においては、試料の切片化に多大の労力を要するとともに、高さ情報が切片の厚みに依存してしまうため、切片の厚みのばらつきによって、十分な定量性及び分解能を有する情報を得ることは困難であった。

## 【0004】

近年、CT法 (Computerized Tomography Method) を応用して電子顕微鏡像 (TEM像) の三次元再構築を行う試みが提案されている。CT法は、ラドン-逆ラドン変換の原理から物体の内部分布を再生する手法であり、X線等を用いた医療分野での応用がよく知られている。 40

## 【0005】

このCT法を電子顕微鏡装置に応用すれば、試料を切片化することなく、試料を支持するステージの傾斜角を連続的に変化させながら電子顕微鏡像を得るだけで、試料の内部情報を含む三次元像を再構築することが可能となる。

## 【0006】

## 【特許文献 1】

特開平 4 - 3 3 7 2 3 6 号公報

【 0 0 0 7 】

【 発明が解決しようとする課題 】

しかしながら、前述のように、電子顕微鏡装置において C T 法を応用する場合には、電子顕微鏡装置に特有の問題として、ステージ傾斜角の制限、回転軸の同定及び像の回転、移動等の問題が存在する。

【 0 0 0 8 】

そのため、電子顕微鏡装置における C T 法の応用は、特殊なケースにおいてのみ限定的に行われている。

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明は、前述の実情に鑑みて提案されるものであって、C T 法を応用することにより、試料を切片化することなく立体構造を解析することを可能とし、また、電子顕微鏡装置に C T 法を応用する場合の特有の問題であるステージ傾斜角の制限、回転軸の同定及び像の回転、移動等の問題を解決して、一般的なケースにおいて C T 法を応用することが可能となされた電子顕微鏡装置を提供しようとするものである。

【 0 0 1 0 】

【 課題を解決するための手段 】

前述の課題を解決するため、本発明に係る電子顕微鏡装置は、傾動可能に支持された試料に電子ビームを照射し、試料を透過した電子に基づいて透過電子顕微鏡像を取得すると共に、取得した試料の透過像データに基づいて C T 法を実行する信号処理回路を備えた電子顕微鏡装置であって、前記信号処理回路は、試料を一定の角度ごとに傾斜させて得られる一連の透過像から、リファレンス画像との二次元相関処理によって、同一視野を選択して切り出すことにより、試料の位置ずれを補正することを特徴とするものである。

【 0 0 1 1 】

この電子顕微鏡装置においては、試料の位置ずれを補正し、正確な三次元像を再構成することができる。

【 0 0 1 2 】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、前記信号処理回路は、前記二次元相関処理を行う前に、各透過像のコントラストの傾斜、傾向の影響を除去することが好ましい。

【 0 0 1 3 】

この電子顕微鏡装置においては、二次元相関処理による透過像の切り出しの精度を向上させることができる。

【 0 0 1 4 】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、前記信号処理回路は、前記二次元相関処理の相関結果の最大値について一定の判断基準を有し、この基準を逸脱する値については二次元相関処理の結果として用いないようにすることが好ましい。

【 0 0 1 5 】

この電子顕微鏡装置においては、二次元相関処理の相関結果の信頼性を確保することができる。

【 0 0 1 6 】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、前記信号処理回路は、前記二次元相関処理を行うときに、透過像の平行なずれ及び透過像内における回転についても補正することが好ましい。

【 0 0 1 7 】

この電子顕微鏡装置においては、リファレンス画像に最も近似した画像を得ることができる。

【 0 0 1 8 】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、前記信号処理回路は、一のリファレンス画像を用いて別の傾斜角度の透過像から切り出された同一視野の画像を、次の新たなリファレンス画像として、さらに別の傾斜角度の透過像との二次元相関処理に用いることが好

10

20

30

40

50

ましい。

【0019】

この電子顕微鏡装置においては、リファレンス画像と、処理の対象になる画像とで、ステージの傾斜角度の違いが大きすぎて処理が行えないという問題を回避することができる。

【0020】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、前記信号処理回路は、三次元画像の再構成範囲の中心と機械的な回転軸とのずれ量を逆ラドン変換の際に加えることが好ましい。

【0021】

この電子顕微鏡装置においては、視野の選択に自由度を持たせ、正確な再構成像を得ることができる。

10

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明する。

【0023】

図1は、本発明に係る電子顕微鏡装置の全体構成、外観を示す斜視図である。

【0024】

本発明に係る電子顕微鏡装置1は、透過電子顕微鏡(TEM)装置であって、電子ビームを発する電子銃と、この電子銃から発せられた電子ビームを試料に照射するための照射レンズ系(コンデンサレンズ)と、を備え、さらに、試料を透過した電子に基づいて透過電子顕微鏡像を結像する結像レンズ系と、結像された透過電子顕微鏡像を検出する透過像検出器と、を備えて構成されている。

20

【0025】

そして、この電子顕微鏡装置1は、CT法(Computerized Tomography Method)を応用することにより、電子顕微鏡像(TEM像)の三次元再構築を行うものである。この電子顕微鏡装置1は、透過像検出器において取得される試料の透過像に基づいてCT法を実行する信号処理回路(コンピュータ装置)2を備えている。

【0026】

また、この電子顕微鏡装置において、試料は、回転操作及び傾斜操作が可能なステージ3上に支持される。このステージ3は、信号処理回路2によって制御されて自動的に移動操作されることができる。

30

【0027】

そして、信号処理回路2は、後述する種々の処理において、ステージ3を移動操作しつつ必要な情報を取り込んで、自動的に処理を行う。

【0028】

〔CT法の原理〕

図2は、本発明に係る電子顕微鏡装置において応用されるCT法の原理を説明するための平面図である。

【0029】

CT法においては、まず、断面を観察したい試料にX線や電子ビームを照射し、その透過像を得る。この工程を投影(以下、プロジェクションという。)という。この投影においては、図2に示すように、試料にX線や電子ビームを照射し、この試料の内部を透過したビームの強度を測定する。このとき、ある一断面におけるビームの吸収係数の分布を $f(x, y)$ とする。また、照射するビームの強度を $I_i$ 、試料を透過した後のビームの強度を $I_o$ とすると、以下の関係が成立する。

40

【0030】

【数1】

$$\int_s f(x, y) ds = \ln \frac{I_i}{I_o} \quad \dots \text{(式 1)}$$

これを変形することにより、以下の式が得られる。

【 0 0 3 1 】

【 数 2 】

$$I_o = I_i^{-\int_s f(x, y) ds} \quad \dots \text{(式 2)}$$

10

ただし、 $ds$  はビームに沿った線素である。また、ビームの強度は一定である。

【 0 0 3 2 】

ここで、 $x, y$  座標系から  $\theta$  だけ回転させた座標系を導入する。方向のプロジェクトション  $p(r, \theta)$  は、以下の式で定義される。

【 0 0 3 3 】

【 数 3 】

$$\begin{aligned} p(r, \theta) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(r \cos \theta - s \sin \theta, r \sin \theta + s \cos \theta) ds \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - r) dx dy \quad \dots \text{(式 3)} \end{aligned}$$

20

ただし、 $\delta$  はディラックのデルタ関数であり、また、 $r, s$  は、それぞれ以下のように示される。

【 0 0 3 4 】

【 数 4 】

$$\left. \begin{aligned} r &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ s &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad \dots \text{(式 4)}$$

30

前述のように、 $f(x, y)$  を  $p(r, \theta)$  に対応づける積分変換をラドン (Radon) 変換という。プロジェクトションからの断面再構成は、この変換の逆、すなわち、逆ラドン変換 (逆投影) (以下、バックプロジェクトションという。) を行うことによってなされる。

40

【 0 0 3 5 】

$p(r, \theta)$  から  $f(x, y)$  を求めるには、二次元フーリエ変換を用いると簡単に行える。 $f(x, y)$  の二次元フーリエ変換は、定義より、以下のように示される。

【 0 0 3 6 】

【 数 5 】

$$F(\mu, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(\mu x + \nu y)} dx dy \quad \dots \text{ (式 5)}$$

ここで、 $\mu = \cos \theta$ 、 $\nu = \sin \theta$  という変数変換を行って  $F(\mu, \nu)$  を極座標を用いて表すと、以下ようになる。

【0037】

【数6】

10

$$F(\rho \cos \theta, \rho \sin \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi\rho(x \cos \theta + y \sin \theta)} dx dy \quad \dots \text{ (式 6)}$$

この(式6)に、前記(式4)の関係を用いると、以下の式が得られる。

【数7】

$$F(\rho \cos \theta, \rho \sin \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} f(r \cos \theta - s \sin \theta, r \sin \theta + s \cos \theta) ds \right] e^{-j2\pi\rho r} dr$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \rho(r, \theta) e^{-j2\pi\rho r} dr$$

20

... (式7)

この(式7)から、 $\theta$  方向のプロジェクトン  $p(r, \theta)$  の  $r$  に関するフーリエ変換結果のスペクトルは、 $f(x, y)$  の二次元フーリエ変換で得られるスペクトルを  $\theta$  方向で切断した断面に等しいことがわかる。

30

【0038】

図3は、 $f(x, y)$  の二次元フーリエ変換で得られるスペクトルを  $\theta$  方向で切断した状態を示す平面図である。

【0039】

したがって、試料の全ての方向からのプロジェクトンをフーリエ変換し、そのスペクトルをフーリエ空間に並べることで、試料の断面の二次元フーリエスペクトルを求めることができる。これを逆フーリエ変換すれば、試料の断面像を得ることができる。

【0040】

このようにして、一次元のプロジェクトンから二次元画像(断面像)を再構成することができる。そして、電子顕微鏡像は、二次元のプロジェクトンであるので、試料を回転軸に沿って回転させるだけで、三次元画像(立体像)を再構成することができる。

40

【0041】

図4は、三次元画像(立体像)を再構成する過程を示す斜視図である。

【0042】

すなわち、回転軸に直交する方向のデータ列を一次元のプロジェクトンとみなして、各角度のプロジェクトンから断面像を再構成する。このようにして得られた二次元像を回転軸に沿って重ね上げることで、三次元画像(立体像)を得ることができる。

【0043】

〔試料の位置ずれの解決〕

50

前述のように、CT法を用いて三次元画像（立体像）を再構成する場合、試料の厳密な位置合わせが要求され、特に、高倍率で観察を行う場合には、機械的精度による位置合わせでは不十分である。また、SSCCD（撮像素子）を用いずにフィルムや紙焼きで透過像を得る場合においては、フィルム等に得られた像をスキャナによってデータ化する必要があるが、スキャナへのフィルム等のセット時の位置ずれによって、各透過像は大きくずれてしまうこととなる。

【0044】

本発明に係る電子顕微鏡装置においては、試料を一定の角度ごとに傾斜させて得られる一連の透過像から、二次元相関処理によって、同一視野を選択して切り出すことにより、試料の位置ずれの問題を解決している。

10

【0045】

図5は、試料を一定の角度ごとに傾斜させて得られる一連の透過像から、二次元相関処理によって、同一視野を選択して切り出す過程を示す正面図である。

【0046】

すなわち、この電子顕微鏡装置においては、得られた透過像とリファレンス画像とで二次元相関処理を行うことによって、角度が異なる透過像から、リファレンス画像と同一視野となる透過像の一部を切り出し、この切り出された画像によって、CT法を実行する。

【0047】

なお、リファレンス画像は、ステージがある傾斜角度（例えば0°）のときの透過像から一部の視野の画像を切り出したものである。

20

【0048】

まず、二次元相関処理を行う前提として、各透過像のコントラストの傾斜、傾向（以下、トレンドという。）を除去すると、精度の向上が期待される。透過像におけるトレンドは、試料の状態やステージに傾斜などの条件によって生ずることがある。また、試料の厚みムラなどに起因する像の濃度ムラが観察されることもある。

【0049】

このようなトレンドがあると、二次元相関処理による（試料の位置合わせに相当する）透過像の切り出しの精度が低下したり、全く異なる視野の画像が切り出されてしまうことがある。

【0050】

したがって、透過像におけるトレンドを除去すること、すなわち、一次成分又はバイアス成分を除去することによって、二次元相関処理による透過像の切り出しの精度を向上させることができる。

30

【0051】

一次成分は、以下のような手法によって除去することができる。まず、画像 $[f(x, y)]$ に対して最小二乗法等を適用して、一次平面 $[p(x, y)]$ を求める。次に、下記の式によって、一次成分及びバイアス成分が除去された画像 $[f'(x, y)]$ を求めることができる。

【0052】

【数8】

40

$$f'(x, y) = f(x, y) - p(x, y)$$

また、二次元相関処理においては、透過像内において相関結果が最大となった部分を位置合わせ（画像切り出し）の基準として用いる。そのため、透過像の劣化が激しく、実際には位置合わせが不可能なケースにおいても、その透過像内において相関結果が最大となる部分が位置合わせの基準として用いられてしまう。

【0053】

例えば、透過像のコントラストが低く、同一透過像内で、いくつも同じような値が得られ

50

てしまう場合や、透過像内における最大値が極端に低い場合においては、特定された最大値が真に最大値であるのかという信頼性は低い。この場合には、位置合わせ（画像切り出し）の信頼性は著しく低下してしまうこととなる。

【0054】

そこで、この電子顕微鏡装置においては、相関結果の最大値について一定の判断基準を設け、この基準を逸脱する値については二次元相関処理の結果として用いないようにすることにより、位置合わせ（画像切り出し）の信頼性を確保することとしている。

【0055】

すなわち、この電子顕微鏡装置においては、相関結果の最大値〔Max〕は、透過像全体についての相関の平均値〔Ave〕に対して、以下の関係を満たしていなければならない。前記相関には、例えば後述する（式8）又は（式9）のcを用いる。

10

【0056】

〔Max〕 > n × 〔Ave〕 （n：像質により可変。たとえばn = 2）

さらに、この電子顕微鏡装置においては、二次元相関処理を行うときに、透過像の平行なずれ（x, y方向のずれ）のみならず、透過像内における回転（傾き）（方向のずれ）についても考慮することとしている。

【0057】

通常、二次元相互相関を使って対象画像f(x, y)から参照画像g(x - i, y - j)と類似のエリアを求める場合の類似度c(i, j)は、以下の（式8）によって示される。

20

【0058】

【数9】

$$c(i, j) = \iint f(x, y)g(x - i, y - j)dx dy \quad \dots \text{ (式8)}$$

この場合、参照画像を対象画像内において平行移動させながら類似度を逐次計算することになるが、電子顕微鏡の特性としては、これら参照画像及び対象画像間には、回転移動が加わることとなる。

【0059】

30

そこで、画像内の点を中心にx y面内のθの回転を加えることで、（式8）を以下の（式9）に変形する。なお、画像内の点は、固定点であれば、画像の中心である必要はない。

【0060】

【数10】

$$c(i, j, \theta) = \iiint f(x, y)g(x - i, y - j, \theta)dx dy d\theta \quad \dots \text{ (式9)}$$

すなわち、ステージがある傾斜角度（例えば0°）のときの透過像から、リファレンス画像となる視野の画像を切り出す。次に、このリファレンス画像と、ステージの傾斜角度が異なる透過像とで、二次元相関処理を行って、相関結果が最大となる視野を抽出する。そして、この抽出された視野を透過像内においてθ方向に回転させ（傾け）ながら、それぞれについてリファレンス画像と掛け合わせて総和をとる。これらの値の最大値を採用することにより、リファレンス画像に最も近似した画像を得ることができる。すなわち、透過像の透過像内におけるθ方向の回転（傾き）が補正されたことになる。このような処理を繰返し行って、全ての傾斜角度の透過像について同一視野の画像を精度よく切り出すことができる。

40

【0061】

そして、この電子顕微鏡装置においては、二次元相関処理を行うためのリファレンス画像は、ステージがある傾斜角度（例えば0°）のときの透過像から切り出されたものを全て

50

の傾斜角度の透過像に対して用いるのではなく、あるリファレンス画像を用いて別の傾斜角度の透過像から切り出された同一視野の画像を、次の新たなリファレンス画像として、さらに別の傾斜角度の透過像との二次元相関処理に用いることにしている。

【0062】

図6は、順次的に新たなリファレンス画像を用いて二次元相関処理を行ってゆく過程の一例を示す正面図である。

【0063】

例えば、図6に示すように、ステージの傾斜角度が $0^\circ$ のときの透過像から切り出したリファレンス画像を用いて、ステージの傾斜角度が $30^\circ$ のときの透過像から同一視野の画像を切り出す。このようにステージの傾斜角度が $30^\circ$ のときの透過像から切り出された画像を新たなリファレンス画像として、ステージの傾斜角度が $60^\circ$ のときの透過像から同一視野の画像を切り出す、というようにする。

【0064】

これにより、リファレンス画像と、処理の対象になる画像とで、ステージの傾斜角度の違いが大きすぎて処理が行えないという問題を回避することができる。

【0065】

〔回転軸の同定〕

CT法を用いて三次元画像（立体像）を再構成する場合には、透過像を得たときの回転軸及び回転角度を既知のものとしてバックプロジェクションを行う。特に、回転軸の情報は重要である。顕微鏡像からは、この回転軸の情報を得ることはできない。試料に何らかのマーキングを行う手法も提案されているが、十分な精度が得られず、実用的な手法とはいえない。

【0066】

本発明に係る電子顕微鏡装置においては、三次元画像（立体像）の再構成範囲の中心と機械的な回転軸とのずれ量をバックプロジェクションの際に加えることにより、視野の選択に自由度を持たせ、正確な再構成像が得られるようになっている。前記ずれ量は、連続したプロジェクション像から確率的に求めることができる。例えば、良好な再構成像が得られるように前記ずれ量を最適化する。

【0067】

〔ステージ角度の制限の解決〕

CT法を用いて試料の断面像を完全に再生するためには、 $\pm 90^\circ$ の範囲からのプロジェクション（透過像の取得）が必要である。この角度が十分に得られず制限されている場合、透過像が得られていない方向の情報が欠落するため、特定の角度範囲の再構成ができないこととなる。

【0068】

実際に試料を支持するステージにおいては、傾斜角に制限がある。また、高傾斜角とした場合、試料が球状または立方体状である場合を除き、見かけ上、試料の厚みが増すこととなり、透過像の取得は不可能となってしまう。

【0069】

この問題に対しては、関数を外挿する手法や確率過程を用いた推定手法等が提案されているが、虚像が構成される等の問題がある。

【0070】

本発明に係る電子顕微鏡装置においては、実用範囲で最大限可能な傾斜角 $\pm 60^\circ$ を透過像取得の推奨条件とし、三次元像を観察する際の条件を調整することによってこの問題を回避することとしている。

【0071】

〔ステージ角度の精度について〕

プロジェクション（投影像の取得）にあたっては、手動でステージをコントロールすることとなるが、このとき、機械的精度（バックラッシュ）や目盛りの読取り誤差に起因する角度誤差が生ずる。

10

20

30

40

50

## 【0072】

しかし、ステージの回転角度については、例えば、プロジェクション角度を1°ステップとした場合、この1°を大幅に上回る誤差があっても、三次元画像（立体像）の再構成が可能である。

## 【0073】

〔プロジェクション枚数について〕

CT法の原理に基づけば、試料の角度を連続的に変化させてプロジェクションを行うことによって初めて二次元フーリエ空間を埋め尽くすことができるわけであるが、実際にはそのようなプロジェクションは不可能である。

## 【0074】

実際には、例えば、10°ステップ（17枚）のプロジェクションでも、三次元画像（立体像）の再構成が可能である。ステージの傾斜角の制限、プロジェクションの条件、試料の形状なども考慮し、20枚程度以上のプロジェクションを行うことが望ましい。

10

## 【0075】

## 【発明の効果】

前述のように、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、試料を一定の角度ごとに傾斜させて得られる一連の透過像からリファレンス画像との二次元相関処理によって同一視野を選択して切り出して試料の位置ずれを補正するので、正確な三次元像を再構成することができる。

## 【0076】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、前記二次元相関処理を行う前に、各透過像のコントラストの傾斜、傾向の影響を除去することにより、二次元相関処理による透過像の切り出しの精度を向上させることができる。

20

## 【0077】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、前記二次元相関処理の相関結果の最大値について一定の判断基準を設け、この基準を逸脱する値については二次元相関処理の結果として用いないようにすることにより、二次元相関処理の相関結果の信頼性を確保することができる。

## 【0078】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、前記二次元相関処理を行うときに、透過像の平行なずれ及び透過像内における回転についても補正することにより、リファレンス画像に最も近似した画像を得ることができる。

30

## 【0079】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、一のリファレンス画像を用いて別の傾斜角度の透過像から切り出された同一視野の画像を、次の新たなリファレンス画像として、さらに別の傾斜角度の透過像との二次元相関処理に用いることにより、リファレンス画像と、処理の対象になる画像とで、ステージの傾斜角度の違いが大きすぎて処理が行えないという問題を回避することができる。

## 【0080】

また、本発明に係る電子顕微鏡装置においては、三次元画像の再構成範囲の中心と機械的な回転軸とのずれ量を逆ラドン変換の際に加えることにより、視野の選択に自由度を持たせ、正確な再構成像を得ることができる。

40

## 【0081】

すなわち、本発明は、CT法を応用することにより、試料を切片化することなく立体構造を解析することを可能とし、また、電子顕微鏡装置にCT法を応用する場合の特有の問題であるステージ傾斜角の制限、回転軸の同定及び像の回転、移動等の問題を解決して、一般的なケースにおいてCT法を応用することが可能となされた電子顕微鏡装置を提供することができるものである。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る電子顕微鏡装置の全体構成、外観を示す斜視図である。

50

【図2】本発明に係る電子顕微鏡装置において応用されるCT法の原理を説明するための平面図である。

【図3】CT法において、 $f(x, y)$ の二次元フーリエ変換で得られるスペクトルを方向で切断した状態を示す平面図である。

【図4】CT法において、三次元画像(立体像)を再構成する過程を示す斜視図である。

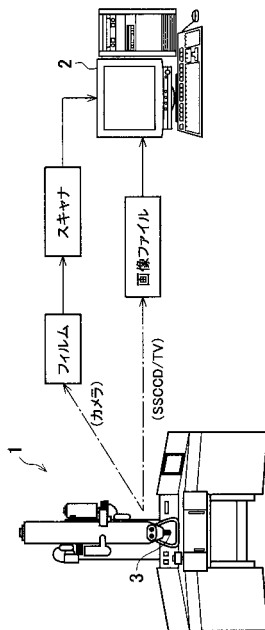
【図5】本発明に係る電子顕微鏡装置において、試料を一定の角度ごとに傾斜させて得られる一連の透過像から、二次元相関処理によって、同一視野を選択して切り出す過程を示す正面図である。

【図6】順次的に新たなリファレンス画像を用いて二次元相関処理を行ってゆく過程の一例を示す正面図である。

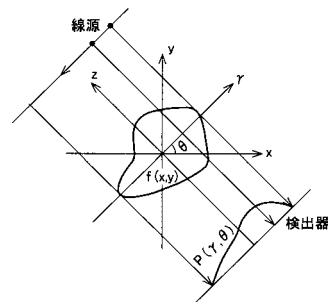
【符号の説明】

- 1 電子顕微鏡装置
- 2 信号処理回路(コンピュータ装置)
- 3 ステージ

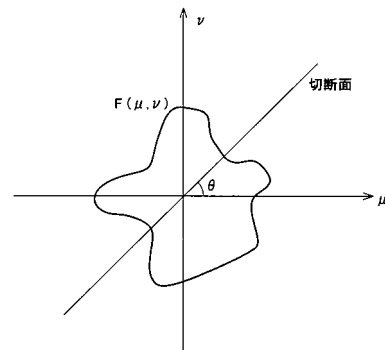
【図1】



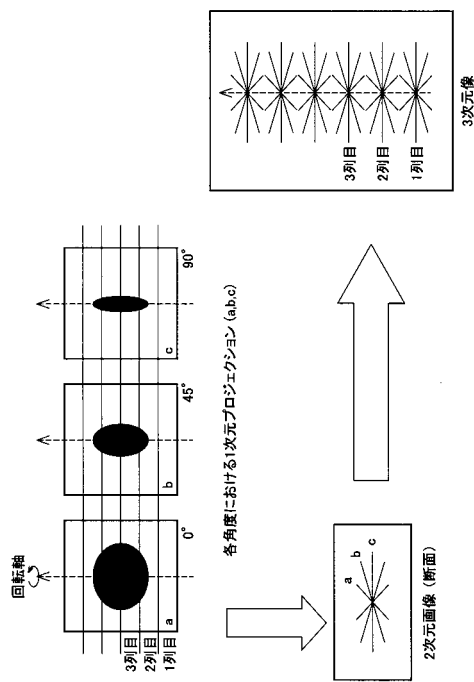
【図2】



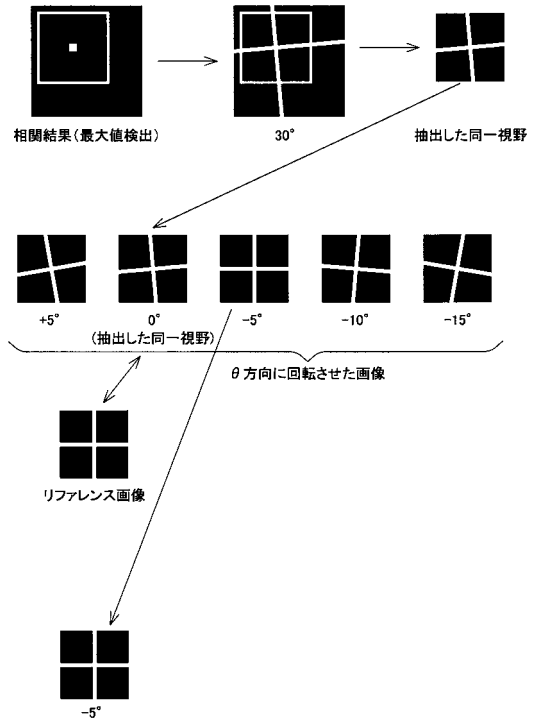
【図3】



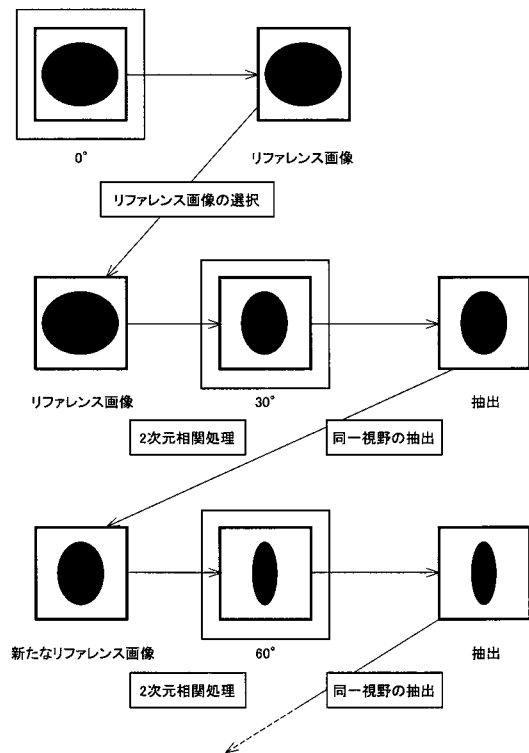
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100095500

弁理士 伊藤 正和

(74)代理人 100101247

弁理士 高橋 俊一

(74)代理人 100098327

弁理士 高松 俊雄

(72)発明者 古河 弘光

東京都昭島市武蔵野 3 丁目 1 番 2 号 日本電子システムテクノロジー株式会社内

(72)発明者 清水 美代子

東京都昭島市武蔵野 3 丁目 1 番 2 号 日本電子システムテクノロジー株式会社内

F ターム(参考) 2G001 AA01 AA03 AA10 BA11 CA03 FA16 FA29 GA08 GA13 HA08

HA12 HA13 JA07 JA11 PA12 PA15 QA01

5C033 SS02 SS04