

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 1 部門第 2 区分

【発行日】平成 25 年 1 月 31 日 (2013.1.31)

【公表番号】特表 2012-516739 (P2012-516739A)

【公表日】平成 24 年 7 月 26 日 (2012.7.26)

【年通号数】公開・登録公報 2012-029

【出願番号】特願 2011-548673 (P2011-548673)

【国際特許分類】

A 6 1 B 6/00 (2006.01)

A 6 1 B 6/06 (2006.01)

G 0 1 N 23/04 (2006.01)

【F I】

A 6 1 B 6/00 3 3 0 Z

A 6 1 B 6/06 3 3 3

G 0 1 N 23/04

【手続補正書】

【提出日】平成 24 年 12 月 6 日 (2012.12.6)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

サンプルから定量的な X 線画像を取得し、また前記サンプルから吸収と位相の両方の情報を抽出する、逆投影のためのイメージング装置であって、

a) X 線源により発生させられる X 線ビームと、

b) ビームスプリッタ格子 (G 1) 及びアナライザ格子 (G 2) と、但しここで、前記ビームスプリッタ格子の線と前記アナライザ格子の線は互いに平行であり、前記ビームスプリッタ格子は直線格子であり、前記アナライザ格子は X 線吸収率の高い直線吸収格子であり、検査すべきサンプルを前記 X 線源と前記ビームスプリッタ格子 (G 1) との間又は前記ビームスプリッタ格子 (G 1) と前記アナライザ格子 (G 2) との間に配置する機構が設けられており、

c) 複数のピクセルを有する空間変調された検出感度を有する位置敏感検出器 (PSD) と、

d) 前記検出器の画像を記録する手段と、但しここで、一連の M 画像は前記サンプルを又は前記サンプルに対して前記格子 (G 1, G 2) と前記 X 線源とを 0 から 又は 2 まで連続的又は段階的に回転させることによって収集され、0 の角度で撮られた各画像は、 + 2 の角度で撮られた対応する逆投影像を含んでおり、総数 M / 2 の鏡像ペアが生じ、

e) 位相ステップングを要せずに、下記の式

【数 1】

$$\ln \left(\frac{2S \left(\frac{x_g}{D} \right) I_0}{I(x_r, \phi, z) + I(-x_r, \phi + \pi, z)} \right) = M(x_r, \phi, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dy_r$$

$$\frac{1}{C} \frac{I(x_r, \phi, z) - I(-x_r, \phi + \pi, z)}{I(x_r, \phi, z) + I(-x_r, \phi + \pi, z)} = \theta_r(x_r, \phi, z) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x_r} dy_r$$

に従って、吸収画像 M と屈折角 θ_r 画像を前記鏡像ペアからピクセルごとに計算する手段とを有しており、

上記式において、 I は前記位置敏感検出器 (PSD) により記録される輝度であり、 μ は線形吸収係数であり、 x_g は入射ビームと格子の線との両方に対して垂直な方向に沿った、位相格子とアナライザ格子との間の相対変位を表しており、 θ_r は屈折角であり、 D は位相格子とアナライザ格子との間の距離であり、 $S(x_g/D)$ はシフト曲線であり、 (x_r, y_r, z_r) は X 線ビームに割り当てられた基準フレームの座標であり、 (x, y, z) はサンプルに割り当てられた座標であることを特徴とする逆投影のためのイメージング装置。

【請求項 2】

前記位置敏感検出器 (PSD) により記録される輝度 I は、

【数 2】

$$I = I_0 \cdot \exp \left[- \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dy_r \right] \cdot S \left(\frac{x_g}{D} + \theta_r \right)$$

と表される、

請求項 1 記載のイメージング装置。

【請求項 3】

X 線吸収コントラストの高い 1 次元格子構造を有するアナライザ格子 (G2) が前記位置敏感検出器 (PSD) の前に配置されており、前記アナライザ格子 (G2) の線は前記ビームスプリッタ格子 (G1) の線と平行である、
請求項 1 又は 2 記載のイメージング装置。

【請求項 4】

X 線吸収コントラストの高い 1 次元格子構造を有するアナライザ格子が前記検出器 (PSD) の前に配置されており、前記アナライザ格子 (G2) の周期は前記ビームスプリッタ格子 (G1) の自己結像の周期と同じであり、前記アナライザ格子 (G2) の線は前記ビームスプリッタ格子 (G1) の線と平行である、
請求項 1 から 3 のいずれか 1 項記載のイメージング装置。

【請求項 5】

前記ビームスプリッタ格子 (G1) と前記アナライザ格子 (G2) との間の距離 (D) は、下記の式で与えられる奇数フラクショナルタルボット距離となるように選ばれており、

【数 3】

$$D_{n, sph} = \frac{L \cdot D_n}{L - D_n} = \frac{L \cdot n \cdot p_1^2 / 2\eta^2 \lambda}{L - n \cdot p_1^2 / 2\eta^2 \lambda}$$

ここで、 $n = 1, 3, 5, \dots$ であり、

【数 4】

$$\eta = \begin{cases} 1 & G_1 \text{の位相シフトが}(2l-1)\frac{\pi}{2} \text{の場合、} p_2 = \frac{L+D_{n,sph}}{L} p_1 \\ 2 & G_1 \text{の位相シフトが}(2l-1)\pi \text{の場合、} p_2 = \frac{L+D_{n,sph}}{L} \frac{p_1}{2} \end{cases}$$

ここで、 $l = 1, 2, 3, \dots$ であり、 D_n は平行なX線ビームを用いた場合の奇数フラクショナルタルボット距離であり、 $D_{n,sph}$ はX線ファンビーム又はX線コーンビームを用いた場合の奇数フラクショナルタルボット距離であり、 L は前記X線源と前記位相格子との間の距離である、

請求項1から4のいずれか1項記載のイメージング装置。

【請求項6】

前記ビームスプリッタ格子(G_1)は、X線吸収率は低いが、X線位相シフト()の大きな直線位相格子であり、前記X線位相シフトは

【数5】

$$\Phi \in \left((2l-1)\frac{\pi}{2} - \arcsin 0.8, (2l-1)\frac{\pi}{2} + \arcsin 0.8 \right)$$

又は

【数6】

$$\Phi \in ((2l-1)\pi - \arcsin 0.8, (2l-1)\pi + \arcsin 0.8)$$

であり、ここで、 $l = 1, 2, 3, \dots$ である、

請求項1から5のいずれか1項記載のイメージング装置。

【請求項7】

前記ビームスプリッタ格子(G_1)は、X線吸収率の低い直線位相格子である場合には、シリコン、ポリマーの中へ形成される、

請求項1から6のいずれか1項記載のイメージング装置。

【請求項8】

前記アナライザ格子(G_2)は、前記検出器(PSD)の前に配置されているか、又は前記1次元格子構造が前記検出器に組み込まれており、前記検出器のピクセルは前記格子の周期の大きさの2乃至10倍であり、ピクセル内のセンサ付き半直線はX線を検知し、センサ無し半直線はX線を通過させる、

請求項1から7のいずれか1項記載のイメージング装置。

【請求項9】

前記X線源と前記ビームスプリッタ格子(G_1)との間にコリメータが配置されており、該コリメータはX線の照明する空間的範囲をファンビームに制限し、直線アレイ検出器が使用され、前記サンプルを機器の残りの部分に対して回転させる機構が設けられており、回転軸はファンの開き角に対して垂直であり、前記機構は同時に、前記回転軸に平行な方向に沿って前記サンプルを機器の残りの部分に対して並進させる、

請求項1から8のいずれか1項記載のイメージング装置。

【請求項10】

前記X線画像は硬X線画像である、請求項1から9のいずれか1項記載のイメージング装置。

【請求項11】

サンプルから定量的なX線画像を取得し、また前記サンプルから吸収と位相の両方の情報を抽出する、逆投影のためのイメージング装置の作動方法であって、

- a) X線源を用意するステップと、
 b) ビームスプリッタ格子 (G 1) とアナライザ格子 (G 2) を用意するステップと、但しここで、前記ビームスプリッタ格子の線と前記アナライザ格子の線は互いに平行であり、前記ビームスプリッタ格子 (G 1) は直線格子であって、X線吸収率の高い直線吸収格子であるか又はX線吸収率の低い位相格子であり、前記アナライザ格子 (G 2) はX線吸収率の高い直線吸収格子であり、
 c) 複数のピクセルを有する空間変調された検出感度を有する位置敏感検出器 (PSD) を用意するステップと、
 d) 前記イメージング装置をシフト曲線 $S(x_g/D)$ の直線領域の中央に置くために、プロンプトに対して前記格子の少なくとも一方を、例えばG 1及びG 2を、入射ビームと格子線の間との両方に対して実質的に垂直な方向 (x_g) に位置決めするステップと、
 e) 検査すべきサンプルを前記X線源と前記ビームスプリッタ格子 (G 1) との間又は前記ビームスプリッタ格子 (G 1) と前記アナライザ格子 (G 2) との間に置いて、前記X線源のショットを前記サンプルに当て、前記検出器 (PSD) の画像を記録するステップと、
 f) 前記検出器の画像を記録するステップ、但しここで、一連のM画像は前記サンプルを又は前記サンプルに対して前記格子 (G 0, G 1, G 2) と前記X線源とを0から又は2まで連続的又は段階的に回転させることによって収集され、0の角度で撮られた各画像は、 $+2$ の角度で撮られた対応する逆投影像を含んでおり、総数 $M/2$ の鏡像ペアが生じ、
 g) 位相ステップングを要せずに、下記の式

【数 7】

$$\ln \left(\frac{2S \left(\frac{x_g}{D} \right) I_0}{I(x_r, \phi, z) + I(-x_r, \phi + \pi, z)} \right) = M(x_r, \phi, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y, z) dy_r$$

$$\frac{1}{C} \frac{I(x_r, \phi, z) - I(-x_r, \phi + \pi, z)}{I(x_r, \phi, z) + I(-x_r, \phi + \pi, z)} = \theta_r(x_r, \phi, z) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \delta(x, y, z)}{\partial x_r} dy_r$$

に従って、吸収画像Mと屈折角 θ_r 画像を前記鏡像ペアからピクセルごとに計算する手段とを有しており、

上記式において、Iは前記位置敏感検出器 (PSD) により記録される輝度であり、 μ は線形吸収係数であり、 x_g は入射ビームと格子の線との両方に対して垂直な方向に沿った、位相格子とアナライザ格子との間の相対変位を表しており、 θ_r は屈折角であり、Dは位相格子とアナライザ格子との間の距離であり、 $S(x_g/D)$ はシフト曲線であり、 (x_r, y_r, z_r) はX線ビームに割り当てられた基準フレームの座標であり、 (x, y, z) はサンプルに割り当てられた座標であることを特徴とする逆投影のための方法。

【請求項 12】

前記ビームスプリッタ格子 (G 1) がX線吸収率の低い直線位相格子である場合には、格子線の厚さは大きなX線位相シフト () を有し、前記X線位相シフトは

【数 8】

$$\Phi \in \left((2l-1) \frac{\pi}{2} - \arcsin 0.8, (2l-1) \frac{\pi}{2} + \arcsin 0.8 \right)$$

又は

【数 9】

$$\Phi \in ((2l-1)\pi - \arcsin 0.8, (2l-1)\pi + \arcsin 0.8)$$

であり、ここで、 $l = 1, 2, 3, \dots$ である、請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 3】

前記ビームスプリッタ格子 (G 1) は、X 線吸収率の低い直線位相格子である場合には、シリコン、ポリマーの中へ形成される、請求項 1 1 又は 1 2 記載の方法。

【請求項 1 4】

X 線吸収コントラストの高い 1 次元格子構造を有するアナライザ格子 (G 2) が前記検出器 (PSD) の前に配置されており、前記アナライザ格子の周期は前記位相格子の自己結像の周期と同じであり、前記アナライザ格子の線は前記位相格子の線と平行であり、該格子構造は散乱線除去グリッドとして機能するか、又は散乱線除去グリッドが変調マスクとして使用される、請求項 1 1 から 1 3 のいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 5】

前記ビームスプリッタと前記アナライザとの間の距離を、下記の式で与えられる奇数フラクショナルタルボット距離となるように選ぶ、

【数 1 0】

$$D_{n, sph} = \frac{L \cdot D_n}{L - D_n} = \frac{L \cdot n \cdot p_1^2 / 2\eta^2 \lambda}{L - n \cdot p_1^2 / 2\eta^2 \lambda}$$

ここで、 $n = 1, 3, 5, \dots$ であり、

【数 1 1】

$$\eta = \begin{cases} 1 & G_1 \text{の位相シフトが}(2l-1)\frac{\pi}{2} \text{の場合、} p_2 = \frac{L + D_{n, sph}}{L} p_1 \\ 2 & G_1 \text{の位相シフトが}(2l-1)\pi \text{の場合、} p_2 = \frac{L + D_{n, sph}}{L} \frac{p_1}{2} \end{cases}$$

ここで、 $l = 1, 2, 3, \dots$ であり、 D_n は平行な X 線ビームを用いた場合の奇数フラクショナルタルボット距離であり、 $D_{n, sph}$ は X 線ファンビーム又は X 線コーンビームを用いた場合の奇数フラクショナルタルボット距離であり、 L は X 線源と位相格子との間の距離である、請求項 1 1 から 1 4 のいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 6】

前記 X 線源と前記ビームスプリッタ格子 (G 1) との間に配置されたコリメータによって、X 線の照明する空間的範囲をファンビームに制限し、直線アレイ検出器を使用し、前記サンプルを機器の残りの部分に対して回転させると同時に前記回転軸に平行な方向に沿って前記サンプルを機器の残りの部分に対して並進させる機構を設け、ただし、回転軸はファンの開き角に対して垂直とする、請求項 1 1 から 1 5 のいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 7】

前記 X 線源と前記ビームスプリッタ格子 (G 1) との間に配置されたコリメータによって、X 線の照明する空間的範囲をコーンビームに制限し、ピクセルアレイ検出器を使用し、前記サンプルをファンの開き角に対して垂直に機器の残りの部分に対して回転させる機構を設ける、請求項 1 1 から 1 6 のいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 8】

前記アナライザ格子 (G 2) は、前記検出器 (PSD) の前に配置されているか、又は前記 1 次元格子構造が前記検出器に組み込まれており、前記検出器のピクセルは前記格子の周期の大きさの 2 乃至 10 倍であり、ピクセル内のセンサ付き半直線は X 線を検知し、センサ無し半直線は X 線を通過させる、

請求項 1 1 から 1 7 のいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 9】

前記 X 線画像は硬 X 線画像である、請求項 1 1 から 1 8 のいずれか 1 項記載の方法。