

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5586986号  
(P5586986)

(45) 発行日 平成26年9月10日(2014.9.10)

(24) 登録日 平成26年8月1日(2014.8.1)

(51) Int.Cl.

F 1

G 0 1 N 23/04 (2006.01)  
A 6 1 B 6/00 (2006.01)  
A 6 1 B 6/06 (2006.01)G 0 1 N 23/04  
A 6 1 B 6/00 3 0 0 J  
A 6 1 B 6/00 3 3 0 Z  
A 6 1 B 6/06 3 3 0

請求項の数 8 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2010-36909 (P2010-36909)  
 (22) 出願日 平成22年2月23日 (2010.2.23)  
 (65) 公開番号 特開2011-174715 (P2011-174715A)  
 (43) 公開日 平成23年9月8日 (2011.9.8)  
 審査請求日 平成25年2月21日 (2013.2.21)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100094112  
 弁理士 岡部 譲  
 (74) 代理人 100096943  
 弁理士 白井 伸一  
 (74) 代理人 100101498  
 弁理士 越智 隆夫  
 (74) 代理人 100107401  
 弁理士 高橋 誠一郎  
 (74) 代理人 100106183  
 弁理士 吉澤 弘司  
 (74) 代理人 100128668  
 弁理士 齋藤 正巳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線撮像装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

X線のタルボ効果を用いて被検査物を撮像するX線撮像装置であって、  
 X線源からのX線で周期的な明暗パターンを形成する第1の格子と、  
 前記明暗パターンが形成される位置に配置され、該明暗パターンの一部を遮光する第2  
 の格子と、  
 前記第2の格子からのX線を検出するX線強度検出器と、  
 前記X線強度検出器による検出結果に基づいて前記X線の位相情報を算出する演算装置  
 と、を備え、

前記第2の格子は、第1の遮光パターンが形成された第1の領域と第2の遮光パターン  
 が形成された第2の領域とを有し、

前記第1の遮光パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向と、前記第2の遮光  
 パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向とが、異なり、

前記演算装置は、

前記X線強度検出器によって検出された、前記第1の領域からのX線の強度情報と前記  
 第2の領域からのX線の強度情報を用いて、前記位相情報を算出し、そして

前記第1の領域からのX線の強度情報と前記第2の領域からのX線の強度情報を用いて、  
 前記被検査物によるX線の透過率分布への影響を低減する演算を行なうこと、を特徴  
 とするX線撮像装置。

## 【請求項 2】

10

20

X線のタルボ効果を用いて被検査物を撮像するX線撮像装置であって、  
X線源からのX線で周期的な明暗パターンを形成する第1の格子と、  
前記明暗パターンが形成される位置に配置され、該明暗パターンの一部を遮光する第2の格子と、

前記第2の格子からのX線を検出するX線強度検出器と、  
前記X線強度検出器による検出結果に基づいて前記X線の位相情報を算出する演算装置と、を備え、

前記第2の格子は、第1の遮光パターンが形成された第1の領域と第2の遮光パターンが形成された第2の領域とを有し、

前記第1の遮光パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向と、前記第2の遮光パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向とが、異なり、 10

前記演算装置は、

前記検出器によって検出された、前記第1の領域からのX線の強度情報と前記第2の領域からのX線の強度情報を用いて、前記位相情報を算出し、そして

前記第1の領域からのX線の強度情報と前記第2の領域からのX線の強度情報との和及び差を用い、前記位相情報を算出することを特徴とするX線撮像装置。

**【請求項3】**

X線のタルボ効果を用いて被検査物を撮像するX線撮像装置であって、  
X線源からのX線で周期的な明暗パターンを形成する第1の格子と、  
前記明暗パターンが形成される位置に配置され、該明暗パターンの一部を遮光する第2の格子と、 20

前記第2の格子からのX線を検出するX線強度検出器と、を備え、  
前記X線強度検出器は、第1の画素と、前記第1の画素と隣接する第2の画素とを有し、  
前記第2の格子は、第1の遮光パターンが形成され、前記第1の画素と対応する第1の領域と、第2の遮光パターンが形成され、前記第2の画素と対応する第2の領域とを有し、

前記第1の遮光パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向と、前記第2の遮光パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向とが、異なり、

前記第1の遮光パターンと前記第2の遮光パターンとは、前記明暗パターンの移動に伴う前記第1の画素の受光量の変化と、該移動に伴う前記第2の画素の受光量の変化と、が逆相になるように構成されていることを特徴とするX線撮像装置。 30

**【請求項4】**

前記第1の遮光パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向と、前記第2の遮光パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向とが、逆方向であることを特徴とする  
請求項1又は2に記載のX線撮像装置。

**【請求項5】**

前記演算装置は、  
前記第1の領域からのX線の強度情報と前記第2の領域からのX線の強度情報を用いて、前記被検査物によるX線の透過率分布への影響を低減する演算を行なうことを特徴とする  
請求項3に記載のX線撮像装置。 40

**【請求項6】**

前記位相情報は、  
前記被検査物の透過波面の傾き及び透過波面の少なくともいずれかであることを特徴とする  
請求項1から5のいずれか1項に記載のX線撮像装置。

**【請求項7】**

前記第2の格子は、前記第1の格子の第1の遮光パターンが前記明暗パターンを遮光する方向と直交する方向に前記明暗パターンを遮光する第3の遮光パターンを有する第3の領域と、

該第3の遮光パターンとは前記明暗パターンの遮光する方向が逆方向の第4の遮光パターンを有する第4の領域とを備え、 50

前記第1の領域と、前記第2の領域と、前記第3の領域と、前記第4の領域とが、互いに隣接していることを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載のX線撮像装置。

【請求項8】

前記第1の領域と、前記第2の領域とは、前記X線強度検出器の画素のサイズとされていることを特徴とする請求項1又は2に記載のX線撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、X線位相像の撮像装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

X線は高い物質透過性を持ち、かつ高空間分解能イメージングが可能であることから、工業的利用として物体の非破壊検査、医療的利用としてレントゲン撮影、等に用いられている。

これらは、物体や生体内の構成元素や密度差によりX線透過時の吸収の違いを利用してコントラスト画像を形成するものであり、X線吸収コントラスト法と言われる。

しかし、軽元素ではX線吸収が非常に小さいため、生体の構成元素である炭素、水素、酸素などからなる生体軟組織、あるいはソフトマテリアルをX線吸収コントラスト法により画像化することは困難である。

【0003】

20

これに対して、軽元素で構成される組織でも明瞭な画像化を可能とする方法として、X線の位相差を用いた位相コントラスト法の研究が、1990年代より行なわれている。

数多く開発された位相コントラスト法のなかでも生体観察、特に医療用としては1回のX線撮像で画像が得られる方式が望ましく、例えば、特許文献1および非特許文献1に記載のような方式が提案されている。

ここで、特許文献1の方式では、つぎのような手法が採られている。

周期的に配列したスリットによりX線を分割し、該分割されたX線と検出器の画素を対応させる。

検出器の画素の端部にX線遮蔽マスクを配し、被検査物を通過する際に生じたX線の進行方向の僅かな振れを該当画素の出力変化として検査することで、1回の撮像から位相像を得る。

30

また、非特許文献1のScanning Double Grating法(以下、SDG法)では、自己像を形成する回折格子と自己像の位置に配置した吸収格子を同方向に同時にスキャンする間に撮像を行なう。

これにより、1回の撮像でX線の波面の傾きを強度変化として検査し、これにより位相像を得るようにされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開2008/029107号

40

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】SDG(“Phase contrast imaging using scanning-double-grating configuration”, Y. Nesterets and S. Wilkins, April 2008 / Vol. 16, No. 8 / OPTICS EXPRESS)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記した特許文献1および非特許文献1の方法では、被検査物に存在するX線の吸収の

50

不均一な分布がある場合、このような不均一な分布の吸収が誤差要因となり、取得した位相像の画質を劣化させることとなる。

#### 【0007】

本発明は、上記課題に鑑み、被検査物に不均一な分布の吸収がある場合においても、該被検査物におけるX線の透過率分布の影響を低減し、画質の良い位相像の撮像が可能となるX線撮像装置の提供を目的とするものである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本発明は、X線のタルボ効果を用いて被検査物を撮像するX線撮像装置であって、

X線源からのX線で周期的な明暗パターンを形成する第1の格子と、

10

前記明暗パターンが形成される位置に配置され、該明暗パターンの一部を遮光する第2の格子と、

前記第2の格子からのX線を検出するX線強度検出器と、

前記X線強度検出器による検出結果に基づいて前記X線の位相情報を算出する演算装置と、を備え、

前記第2の格子は、第1の遮光パターンが形成された第1の領域と第2の遮光パターンが形成された第2の領域とを有し、

前記第1の遮光パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向と、前記第2の遮光パターンが前記明暗パターンの明部を遮光する方向とが、異なり、

前記演算装置は、

20

前記検出器によって検出された、前記第1の領域からのX線の強度情報と前記第2の領域からのX線の強度情報を用いて、前記位相情報を算出し、そして

前記第1の領域からのX線の強度情報と前記第2の領域からのX線の強度情報を用いて、前記被検査物によるX線の透過率分布への影響を低減する演算を行なうこと、を特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【0009】

本発明によれば、被検査物に不均一な分布の吸収がある場合においても、該被検査物におけるX線の透過率分布の影響を低減し、画質の良い位相像の撮像が可能となるX線撮像装置を実現することができる。

30

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0010】

【図1】本発明の実施例1におけるX線撮像装置を説明する図である。

【図2】図2(a)は本発明の実施例2の第1の格子を説明する図であり、図2(b)は実施例2の明暗パターンを示す図である。

【図3】図3(a)は本発明の実施例2の第2の格子を説明する図であり、図3(b)は実施例2の明暗パターンと遮光部の重なりを説明する図である。

【図4】図4(a)は本発明の実施例2の第2の格子を説明するもう1つの図であり、図4(b)は実施例2の明暗パターンと遮光部の重なりを説明するもう1つの図である。

【図5】図5(a)は本発明の実施例3の第1の格子を説明する図であり、図5(b)は実施例3の明暗パターンと遮光部の重なりを説明する図である。

40

【図6】図6(a)は本発明の実施例3の第2の格子を説明するもう1つの図であり、図6(b)は実施例3の明暗パターンと遮光部の重なりを説明するもう1つの図である。

【図7】図7(a)は本発明の実施例4の第1の格子を説明する図であり、図7(b)は実施例4の明暗パターンを示す図である。

【図8】図8(a)は本発明の実施例4の第2の格子を説明する図であり、図8(b)は実施例4の明暗パターンと遮光部の重なりを説明する図である。

【図9】図9(a)は本発明の実施例4の第2の格子を説明するもう1つの図であり、図9(b)は実施例4の明暗パターンと遮光部の重なりを説明するもう1つの図である。

【図10】図10(a)は本発明の実施例5の第1の格子を説明する図であり、図10(

50

b) は実施例 5 の明暗パターンを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

つぎに、本発明の実施形態における X 線を用いたタルボ (トールボットともいう) 効果により位相像を撮像する X 線撮像装置の構成例について説明する。

本実施形態における X 線撮像装置は、X 線を発生させる X 線源と、X 線源からの X 線が入射する位置に配置され、透過する X 線によってタルボ効果により周期的な明暗パターンを形成する第 1 の格子を備える。

また、この第 1 の格子によって明暗パターンが形成される位置に配置され、上記明暗パターンの一部を遮光する第 2 の格子を備える。

さらに、第 1 の格子と第 2 の格子との間、または第 1 の格子と X 線源との間に配置された被検査物を透過した X 線強度分布による X 線の強度情報を検出する X 線強度検出器を備える。

そして、演算装置によって、上記 X 線強度検出器により検出された X 線の強度情報から X 線の位相情報を取得するように構成されている。

このように構成された X 線撮像装置において、X 線源によって測定に必要な X 線を被検査物に向かって放射される。

被検査物は、第 1 の回折格子と第 2 の回折格子との間、または第 1 の回折格子と X 線源との間に配置され、第 1 の回折格子を透過する X 線によってタルボ効果により周期的な明暗パターンが形成される。

第 1 の格子は、周期的に開口が設けられた吸収部材により構成されている。

具体的には、例えば周期的に厚みが変化している X 線透過部材からなる位相格子または、周期的に配列した開口部を有するスリットなどで構成される。

第 2 の格子は、第 1 の格子で形成された明暗パターンの明部の一部を遮光するように配置される。

すなわち、明暗パターンの一部を遮光するため、該明暗パターンの周期方向に対してそれぞれ逆方向の遮光パターンが形成された領域として、第 1 の遮光パターンが形成された第 1 の領域と第 2 の遮光パターンが形成された第 2 の領域を有している。

具体的な遮光の仕方としては、例えば左右の半分、上下の半分、斜め 45 度の半分などを遮光する。

遮光する方向は、X 線強度検出器の同一画素に入射する明暗パターンに関しては、同一とされている。

したがって、遮光の向きと直交する方向に明暗パターンが移動すると該当する画素の受光量が変化する。

【0012】

被検査物を X 線が通過することで波面の傾きに変化が生じれば、X 線の進行方向が変化するので第 2 格子上の明暗パターンが移動する。

したがって、該当画素の出力変化を基に被検査物の透過波面の傾き (以後、微分波面) を求めることができる。しかしながら、一般に被検査物には X 線の吸収による不均一な透過率分布が存在するので、これによっても該当画素の受光量は変化する。

本実施形態では、被検査物内の透過率分布による影響を低減するため、第 2 の格子は隣接する画素においては、遮光する方向が互いに逆向きになるよう作られている。

これら 2 画素の出力変化のうち、吸収に起因する変化は同相で変化するのに対し、明暗パターンの移動に起因する変化は逆相なので、これらを分離して透過率分布の影響を低減することができる。これより、正確な微分波面が得られる。

【0013】

本実施形態の X 線撮像装置における演算装置では、つぎのように演算が行われる。

すなわち、逆方向に遮光した一対の画素の出力の差と出力の和の比を求め、更にこの比に第 1 の格子と第 2 の格子間の距離と第 1 の格子の周期で決まる比例定数を掛けることで、該当箇所の波面の傾きが求められる。

10

20

30

40

50

そして、この演算を X 線強度検出器の有効域全面に渡って実施することで、微分波面が算出される。

また、該演算装置では、直交する 2 方向に関する微分波面を積分することで、被検査物の透過波面も算出することができる。

【実施例】

【0014】

以下に、本発明の実施例について説明する。

【実施例 1】

実施例 1 として、本発明を適用した X 線撮像装置の構成を、図 1 を用いて説明する。

図において 10 は X 線を放射する X 線源、11 は X 線源 10 より放射された X 線、20 は 10 本装置で計測すべき被検査物である。

30 は透過した X 線に周期的な明暗パターンに形成させる第 1 の格子、40 は位相格子 30 に形成された明暗パターンの明部、50 は明暗パターンの明部 40 の一部を遮光する第 2 の格子である。

70 は受光した X 線画像を撮像する X 線強度検出器、 $P_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) は X 線強度検出器 70 の画素である。

80 は X 線強度検出器 70 で撮像した画像から微分波面および透過波面を算出する演算器である。

【0015】

上記構成において、X 線源 10 から放射された X 線 11 は被検査物 20 および第 1 の格子 30 を通過後、第 2 の格子 50 に達する。 20

第 1 の格子 30 は X 線の透過率が大きく、加工性がよいシリコンで作製されている。

シリコンの厚みを周期的に変えることで、透過 X 線の位相が相対的に または  $/2$  異なる部分が 1 次元で周期的に配列させた位相差 または  $/2$  の位相変調格子（以後それぞれ 1 次元 位相格子、1 次元  $/2$  位相格子）を形成している。

即ち、ハッチングのある部分 32 は、無い部分 31 に対し透過位相が または  $/2$  異なるよう厚みに差が付けられている。

第 2 の格子 50 は X 線透過部と遮光部が周期的に配列されており、遮光部 51 は、X 線をよく遮光する部材である金で作製されている。

【0016】

第 2 の格子 50 は、X 線源 10 から放射された X 線で第 1 の格子 30 によって生じるタルボ効果が現れる位置（以後、タルボ位置）に配置されている。 30

即ち、X 線源と第 1 の格子の距離を  $Z_0$ 、第 1 の格子 30 と第 2 の格子 50 の距離を  $Z_1$  とするとき、つぎの（式 1）を満たすように配置されている。

（式 1）において、 $\lambda$  は X 線の波長、 $d$  は第 1 の格子 30 の格子周期、 $N$  は  $n$  を自然数として、1 次元 位相格子の場合は  $n/4 - 1/8$ 、1 次元  $/2$  位相格子の場合は  $n - 1/2$  として表される実数である。

$$\frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{N} \frac{\lambda}{d^2} \quad (式 1)$$

【0017】

ここで、タルボ効果により第 2 の格子 50 上には周期的な明暗パターンが生じる。

第 2 の格子 50 の遮光部 51 は明暗パターンの明部 40 の一部を遮光する位置にある。

X 線 11 の波面 12 は被検査物 20 を通過する際、その屈折率分布にしたがって変形し透過波面 13 となっている。

明部 40 は透過波面 13 の該当する部分の傾き変化に比例して移動する。

この移動量に応じて第 2 の格子 50 を通過し X 線強度検出器 70 に到達する X 線の光量が変化する。 50

画素の大きさを明暗パターン周期の整数倍に等しくすることで各画素が受光する明部40の数を全画素で一定にしている。

第2の格子50に照射される明部40の強度が同一であれば、透過波面13の傾きは受光量の変化量に比例するので算出することができる。

【0018】

しかしながら、明暗パターンの明部40の強度は被検査物20のX線透過率に依存するため、X線透過率が不均一な場合は各画素の受光量変化だけでは明部40の移動量は算出することができない。

そのため、本実施例では、X線透過率が不均一な場合でも明部40の移動量を算出できるように、第2の格子50の遮光部51が明部40を遮光する向きは、X線強度検出器70の同一画素上では同一方向で、隣接する画素では逆方向とされている。10

即ち、画素 $P_{2n-1}$ 上にある第1の領域が有する第1の遮光パターンによる遮光は左半分、画素 $P_{2n}$ 上にある第2の領域が有する第2の遮光パターンによる遮光方向は右半分になっている。

但し、 $n = 1, 2, 3, \dots$ である。したがって、例えば、波面の傾きにより明部40が第1の格子30の刻線と直交する方向であるx方向に移動した場合の受光量は画素 $P_1$ 、画素 $P_3$ で増加し、画素 $P_2$ 、画素 $P_4$ では減少する。

また、通常画素のサイズは小さいので、隣接する画素における明部40の強度と移動の大きさは、略同一と見なせる。

したがって、近接する画素の出力間の差を和で除した規格化強度変化は、明部40の強度には依存せず、それら2画素における明部40の移動量の平均値のみに比例する。20

即ち、画素 $P_1$ と画素 $P_2$ の中間位置 $P_1'$ の規格化強度変化 $A_1$ を(式2)で定義し、画素 $P_2$ と画素 $P_3$ の中間位置 $P_2'$ の規格化強度変化 $A_2$ を(式3)で定義する。

以下同様に、一般には画素 $P_i$ と画素 $P_{i+1}$ の中間位置 $P_i'$ の規格化強度変化 $A_i$ を(式4)で定義すれば、 $A_i$ ( $i = 1, 2, 3, \dots$ )は被検査物20の透過率分布に影響されず明部40のx方向の変化のみに比例する。

$$A_1 = -\frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} \quad (\text{式2})$$

$$A_2 = \frac{I_3 - I_2}{I_3 + I_2} \quad (\text{式3})$$

一般に

$$A_i = (-1)^i \frac{I_{i+1} - I_i}{I_{i+1} + I_i} \quad (\text{式4})$$

【0019】

ここで、 $I_1, I_2, I_i$ はそれぞれ画素 $P_1, P_2, P_i$ の出力である。40  
明暗パターン周期をDとすれば明部40の幅はD/2であり、その半分が遮光されているので画素が受光するX線の幅はD/4である。

画素 $P_i$ と画素 $P_{i+1}$ における明部40の移動量の平均を $L_i$ とすれば $I_i, I_{i+1}$ は明部の遮光されていない部分の面積に比例するので、つぎのような関係となり、

$$I_i \propto \begin{cases} D/4 + \Delta L_i & (i: \text{奇数}) \\ D/4 - \Delta L_i & (i: \text{偶数}) \end{cases}$$

## 【0020】

したがって、(式4)より、つぎの(式5)の関係となる。

$$A_i = \begin{cases} \frac{(D/4 - \Delta L_i) - (D/4 + \Delta L_i)}{(D/4 - \Delta L_i) + (D/4 + \Delta L_i)} & (i: \text{奇数}) \\ \frac{(D/4 + \Delta L_i) - (D/4 - \Delta L_i)}{(D/4 + \Delta L_i) + (D/4 - \Delta L_i)} & (i: \text{偶数}) \end{cases} \quad (式5)$$

$$= \frac{4\Delta L_i}{D}$$

## 【0021】

明暗パターンの周期  $D$  は第1の格子30の格子周期  $d$ 、X線源と第1の格子の距離  $Z_0$ 、第1の格子30と第2の格子50の距離  $Z_1$  を用いて(式6)、(式7)で表される。即ち、1次元 1位相格子利用の場合は、次の(式6)で表すことができる。

$$D = \left(1 + \frac{Z_1}{Z_0}\right) \frac{d}{2} \quad (式6)$$

## 【0022】

また、1次元 / 2位相格子利用の場合は、次の(式7)で表すことができる。

$$D = \left(1 + \frac{Z_1}{Z_0}\right) d \quad (式7)$$

## 【0023】

透過波面13上の点  $P_{i,i+1}$  に対応する点における第1の格子30の刻線方向に垂直な方向(図1ではx方向)の波面傾き  $W_{x,i}$  は、つぎの(式8)の関係となる。

$$W_{x,i} = \frac{\Delta L_i}{Z_1} \quad (式8)$$

## 【0024】

したがって、1次元 1位相格子利用の場合は(式8)と、(式5)と、(式6)より、つぎの(式9)となる。

$$W_{x,i} = \frac{A_i}{8} \left( \frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z_1} \right) d \quad (式9)$$

10

20

30

40

50

## 【0025】

また、1次元 / 2位相格子利用の場合は（式8）と、（式5）と、（式7）より、つぎの（式10）となる。

$$Wx_i = \frac{A_i}{4} \left( \frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z_1} \right) d \quad (式10)$$

## 【0026】

さらに、（式1）より（式9）、（式10）は、1次元 1位相格子利用の場合は、つぎの（式11）となる。 10

$$Wx_i = \frac{\lambda}{8Nd} A_i \quad (式11)$$

## 【0027】

また、1次元 / 2位相格子利用の場合は、つぎの（式12）となる。

$$Wx_i = \frac{\lambda}{4Nd} A_i \quad (式12) \quad 20$$

## 【0028】

演算器80では以上の演算をX線強度検出器70の受光領域にある全画素に渡って実施することで、被検査物20の透過率に不均一な分布があっても高精度に透過波面13の微分波面Wxを算出している。

X線強度検出器70上の1端（図1では右端）には、被検査物20を通過しないX線が照射される領域Aを設けてある。

領域AにおけるX線波面は被検査物20の影響を受けていないので、微分波面Wxを領域Aから他端に向かって（図1ではx方向）積分することで透過波面13を求めている。 30

透過波面形状は被検査物20のX線が透過した経路における光路長を表しているので、透過波面13を測定することにより被検査物20内の屈折率の空間的な変化、さらにそれを基に組成の空間的な変化の様子を知ることができる。

なお、本実施例では被検査物20を第1の格子30より上（図1のz軸+側）に配置しているが、直下に配置しても上記と同様の方法で微分波面Wxを求めることができる。

## 【0029】

## [実施例2]

実施例2について、図2、図3、図4を用いて説明する。

本実施例における第1の格子は、2次元で周期的に配列している位相差 の位相変調格子（以後、2次元 位相格子）である。 40

これに伴って第2の格子も2次元の周期構造を有している。第1の格子と第2の格子以外の構成は、実施例1と同じなので、それら要素の配置は図1の同符号の要素と同一である。

## 【0030】

図2(a)は、本実施例における第1の格子の一部分をX線源側から見た図である。33は第1の格子である。34と35は透過位相が互いに異なる部分であり、それらは市松模様状に周期配列している。

X線源と第1の格子の距離Z<sub>0</sub>、第1の格子と第2の格子の距離Z<sub>1</sub>は（式1）を満たしている。 50

但し、 $d$  は図 2 ( a ) に図示されている第 1 の格子の格子周期、 $N$  は  $n$  を自然数として  $n / 4 - 1 / 8$  と表される実数である。

#### 【 0 0 3 1 】

図 2 ( b ) は、タルボ効果により第 2 の格子上に生じた明暗パターンを図示しており、4 1 が明部を表している。明暗パターンの周期  $D$  は実施例 1 の場合と同様に ( 式 6 ) で表される。

$X$  線源と第 1 の格子の距離  $Z_0$  、第 1 の格子と第 2 の格子の距離  $Z_1$  、格子周期  $d$  を、周期  $D$  が  $X$  線強度検出器 7 0 の画素周期  $p$  の整数分の 1 になるよう選んでいる。

#### 【 0 0 3 2 】

図 3 ( a ) は、周期  $D$  と  $X$  線強度検出器 7 0 の画素周期  $p$  が等しい場合に適用される第 2 の格子の構造と、第 2 の格子の遮光部と  $X$  線強度検出器 7 0 の画素との位置関係を示している。

$P_{i,j}$  ( $i, j = 1, 2, 3, \dots$ ) は  $X$  線強度検出器 7 0 の各画素である。

5 2 は第 2 の格子、破線は画素の境界を示している。ハッチングで示されている部分 5 3 は第 2 の格子 5 2 の遮光部、ハッチングのない部分は光透過部であり、それらが 4 5 度傾いた市松模様状に周期配列している。第 2 の格子の画素配列方向の周期  $D_2$  は画素周期  $p$  の 2 倍である。

第 2 の格子 5 2 の遮光部が明部 4 1 を遮光する向きは同一画素上では同一方向で、隣接する画素では直交方向、斜向かいでは逆方向となっている。

即ち、画素  $P_{2,i-1,2,j-1}$  上にある第 1 の領域が有する第 1 の遮光パターンは右下半分を遮光している。

また、画素  $P_{2,i,2,j}$  上にある第 2 の領域が有する第 2 の遮光パターンは左上半分を遮光している。

また、画素  $P_{2,i-1,2,j}$  上にある第 3 の領域が有する第 3 の遮光パターンは左下半分を遮光している。

また、画素  $P_{2,i,2,j-1}$  上にある第 4 の領域が有する第 4 の遮光パターンは右上半分を遮光している。

#### 【 0 0 3 3 】

図 3 ( b ) は、明暗パターンの明部 4 1 と遮光部 5 3 の重なりの状態を示している。

遮光部 5 3 が明部 4 1 を遮光する向きは、画素  $P_{1,1}$  では右下、画素  $P_{1,2}$  では左下、画素  $P_{2,1}$  では右上、画素  $P_{2,2}$  では左上であり、以下 2 画素周期で同様に遮光されている。

#### 【 0 0 3 4 】

以上の状態で、波面の傾きにより明部 4 1 が  $x$  方向に移動した場合、受光量は画素  $P_{1,2}$  、画素  $P_{2,2}$  では増加、画素  $P_{1,1}$  、画素  $P_{2,1}$  では減少し、 $y$  方向に移動した場合は画素  $P_{1,1}$  、画素  $P_{1,2}$  で増加し画素  $P_{2,1}$  、画素  $P_{2,2}$  では減少する。

ここで、 $x$  および  $y$  方向は画素 6 1 の配列方向と一致している ( 以下も同様 )。通常画素のサイズは小さいので、隣接する画素における明部 4 1 の強度と移動の大きさは略同一と見なせる。

したがって、近接する画素の出力間の差を和で除した規格化強度変化は、明部 4 1 の強度には依存せず、それら 4 画素における明部 4 1 の移動量の平均値のみに比例する。

#### 【 0 0 3 5 】

即ち、画素  $P_{1,1}$  、画素  $P_{1,2}$  、画素  $P_{2,1}$  、画素  $P_{2,2}$  の中間位置  $P'_{1,1}$  の  $x$  、 $y$  方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{1,1}$  、 $B_{1,1}$  を、それぞれ ( 式 1 3 ) 、( 式 1 4 ) で定義する。

また、画素  $P_{2,1}$  、画素  $P_{2,2}$  、画素  $P_{3,1}$  、画素  $P_{3,2}$  の中間位置  $P'_{2,1}$  の  $x$  、 $y$  方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{2,1}$  、 $B_{2,1}$  をそれぞれ ( 式 1 5 ) 、( 式 1 6 ) で定義する。

一般には、画素  $P_{i,j}$  、画素  $P_{i,j+1}$  、画素  $P_{i+1,j}$  、画素  $P_{i+1,j+1}$  の  $x$  、 $y$  方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{i,j}$  、 $B_{i,j}$  を、それぞれ ( 式 1 7 )

10

20

30

40

50

、(式18)で定義すれば、

$A_{ij}$ 、 $B_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3, \dots$ ) は被検査物 20 の透過率分布に影響されずに、明部 41 の  $x$ 、 $y$  方向の変化のみに比例する。

$$A_{11} = \frac{I_{12} + I_{22} - I_{11} - I_{21}}{I_{12} + I_{22} + I_{11} + I_{21}} \quad (式13)$$

$$B_{11} = \frac{I_{11} + I_{12} - I_{21} - I_{22}}{I_{11} + I_{12} + I_{21} + I_{22}} \quad (式14)$$

$$A_{21} = \frac{I_{22} + I_{32} - I_{21} - I_{31}}{I_{22} + I_{32} + I_{21} + I_{31}} \quad (式15)$$

$$B_{21} = \frac{I_{32} + I_{31} - I_{21} - I_{22}}{I_{32} + I_{31} + I_{21} + I_{22}} \quad (式16)$$

$$A_{ij} = (-1)^j \frac{I_{i,j} + I_{i+1,j} - I_{i,j+1} - I_{i+1,j+1}}{I_{i,j} + I_{i+1,j} + I_{i,j+1} + I_{i+1,j+1}} \quad (式17)$$

$$B_{ij} = (-1)^i \frac{I_{i+1,j} + I_{i+1,j+1} - I_{i,j} - I_{i,j+1}}{I_{i+1,j} + I_{i+1,j+1} + I_{i,j} + I_{i,j+1}} \quad (式18)$$

### 【0036】

$x$  方向の波面傾き  $Wx_{ij}$  は、実施例 1 で式 11 より  $Wx_i$  を求めたのと同様にして、次の(式19)により求められる。

$$Wx_{ij} = \frac{\lambda}{4Nd} A_{ij} \quad (式19)$$

### 【0037】

同様に  $y$  方向の波面傾き  $Wy_{ij}$  は、次の(式20)で求められる。

$$Wy_{ij} = \frac{\lambda}{4Nd} B_{ij} \quad (式20)$$

### 【0038】

$x$  および  $y$  方向の波面傾きが得られたのでこれらを積分することで被検査物 20 の透過波面を求めることができる。

本実施例では  $x$ 、 $y$  両方向の積分できるので、実施例 1 では必要であった X 線強度検出器上の 1 端に設けられた被検査物 20 を通過しない X 線が照射される領域がなくても、被検査物 20 の透過波面を正確に算出できる。

### 【0039】

被検査物 20 の透過波面を、明部 41 の  $x$  方向および  $y$  方向の移動成分を基に算出したが、 $45^\circ$  方向と  $-45^\circ$  方向の移動成分を基に算出することもできる。

10

20

30

40

50

明部 4-1 が図 3 (b) の 45° 方向に移動した場合、受光量は画素  $P_{1,2}$  では増加、画素  $P_{2,1}$  では減少、画素  $P_{1,1}$  と画素  $P_{2,2}$  では不变であり、-45° 方向に移動した場合は画素  $P_{2,2}$  では増加、画素  $P_{1,1}$  では減少、画素  $P_{1,2}$  と画素  $P_{2,1}$  では不变である。ここでも、つぎの規格化強度変化を導入する。

即ち、画素  $P_{1,1}$ 、画素  $P_{1,2}$ 、画素  $P_{2,1}$ 、画素  $P_{2,2}$  の中間位置  $P'_{1,1}$  の 45° 方向、-45° 方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{1,1}$ 、 $B_{1,1}$  を、それぞれ (式 21)、(式 22) で定義する。

また、画素  $P_{2,1}$ 、画素  $P_{2,2}$ 、画素  $P_{3,1}$ 、画素  $P_{3,2}$  の中間位置  $P'_{2,1}$  の x、y 方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{2,1}$ 、 $B_{2,1}$  を、それぞれ (式 23)、(式 24) で定義する。

一般には、画素  $P_{i,j}$ 、画素  $P_{i,j+1}$ 、画素  $P_{i+1,j}$ 、画素  $P_{i+1,j+1}$  の x、y 方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{i,j}$ 、 $B_{i,j}$  をそれぞれ (式 25)、(式 26) で定義すれば、 $A_{i,j}$ 、 $B_{i,j}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) は被検査物 20 の透過率分布に影響されずに明部 4-5 の x、y 方向の変化のみに比例する。

$$A_{11} = \frac{I_{12} - I_{21}}{I_{12} + I_{21}} \quad (\text{式 21})$$

$$B_{11} = \frac{I_{22} - I_{11}}{I_{22} + I_{11}} \quad (\text{式 22})$$

$$A_{21} = \frac{I_{32} - I_{21}}{I_{32} + I_{21}} \quad (\text{式 23})$$

$$B_{21} = \frac{I_{22} - I_{31}}{I_{22} + I_{31}} \quad (\text{式 24})$$

$$A_{ij} = \begin{cases} (-1)^j \frac{I_{i,j} - I_{i+1,j+1}}{I_{i,j} + I_{i+1,j+1}} & (i+j: \text{偶数}) \\ (-1)^j \frac{I_{i+1,j} - I_{i,j+1}}{I_{i+1,j} + I_{i,j+1}} & (i+j: \text{奇数}) \end{cases} \quad (\text{式 25})$$

$$B_{ij} = \begin{cases} (-1)^j \frac{I_{i+1,j} - I_{i,j+1}}{I_{i+1,j} + I_{i,j+1}} & (i+j: \text{偶数}) \\ (-1)^j \frac{I_{i+1,j} - I_{i,j+1}}{I_{i+1,j} - I_{i,j+1}} & (i+j: \text{奇数}) \end{cases} \quad (\text{式 26})$$

10

20

30

40

50

## 【0040】

45°方向の波面傾き  $W a_{ij}$  は、実施例1で式11より  $W x_{ij}$  を求めたのと同様にして、つぎの（式27）により求められる。

$$W a_{ij} = \frac{\lambda}{4Nd} A_{ij} \quad (\text{式27})$$

## 【0041】

同様に -45°方向の波面傾き  $W b_{ij}$  は、つぎの（式28）で求められる。

$$W b_{ij} = \frac{\lambda}{4Nd} B_{ij} \quad (\text{式28})$$

## 【0042】

45°および -45°方向の波面傾きが得られたので、これらを積分することにより被検査物20の透過波面を求めることができる。

以上、明暗パターンの周期  $D$  が X 線強度検出器 70 の画素周期  $p$  が等しい場合について説明したが、それに限らず  $D$  が  $p$  の整数分の 1 の場合でも同様に波面傾き  $W x_{ij}$ 、 $W y_{ij}$  を求めることができる。

$D$  を小さくすることは（式6）より第1の格子の格子周期  $d$  を小さくすることになり、さらに（式1）より X 線源と第1の格子の距離  $Z_0$  および第1の格子と第2の格子の距離  $Z_1$  を小さくできるので装置全体の大きさを小さくできる。

## 【0043】

図4(a)は、周期  $D$  が X 線強度検出器 70 の画素周期  $p$  が 3 分の 1 の場合に好適な第2の格子の構造と X 線強度検出器 70 の画素との位置関係を示している。

54は第2の格子、ハッチングで示されている部分 55 は遮光部、破線は画素の境界を示している。

図4(b)は明暗パターンの明部 42 と遮光部 55 の重なりの状態を示している。遮光部 55 が明部 42 を遮光する向きは、同一画素内では同一方向、隣接する画素ではこれと直交する方向、斜向かいでは逆方向となっていて実施例2の図3(b)が示している状態と同じである。

したがって、 $W x_{ij}$ 、 $W y_{ij}$  は（式17）から（式20）、または（式25）から（式28）を利用して算出することができる。

## 【0044】

## [実施例3]

実施例3について、図5、図6を用いて説明する。

本実施例における第2の格子は、実施例2で使用したものとは遮光方向が異なる。それ以外の構成は実施例2と同じである。

図5(a)は、周期  $D$  と X 線強度検出器 70 の画素周期  $p$  が等しい場合に適用される第2の格子の構造と、第2の格子の遮光部と X 線強度検出器 70 の画素との位置関係を示している。

$P_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3, \dots$ ) は X 線強度検出器 70 の各画素である。56は第2の格子、破線は画素の境界を示している。

ハッチングで示されている 57 は第2の格子 56 の遮光部、ハッチングのない部分は光透過部であり、それらが各画素の上下左右の半分を交互に遮光するように周期配列している。

第2の格子 56 の画素配列方向の周期  $D_2$  は画素の周期  $p$  の 2 倍である。実施例2と同様に、第2の格子 56 の遮光部が明部を遮光する向きは同一画素上では同一方向で、隣接す

10

20

30

40

50

る画素では直交方向、斜向かいでは逆方向となっている。

即ち、画素  $P_{2i-1, 2j-1}$  上にある第1の領域が有する第1の遮光パターンは右半分を遮光している。

また、画素  $P_{2i, 2j}$  上にある第2の領域が有する第2の遮光パターンは左半分を遮光している。

また、画素  $P_{2i-1, 2j}$  上にある第3の領域が有する第3の遮光パターンは下半分を遮光している。

また、画素  $P_{2i, 2j-1}$  上にある第4の領域が有する第4の遮光パターンは上半分を遮光している。

【0045】

10

図5(b)は明暗パターンの明部43と遮光部57の重なりの状態を示している。

実施例2の第2の格子52および54とは遮光する方向が異なり、画素  $P_{11}$  では右、画素  $P_{12}$  では下、画素  $P_{21}$  では上、画素  $P_{22}$  では左、以下2画素周期で同様に遮光されている。

以上の状態で、波面の傾きにより明部43がx方向に移動した場合、受光量は画素  $P_{22}$  では増加、画素  $P_{11}$  では減少、画素  $P_{22}$  と画素  $P_{21}$  では不变であり、

y方向に移動した場合は画素  $P_{12}$  では増加、画素  $P_{21}$  では減少、画素  $P_{11}$  と画素  $P_{22}$  では不变である。

実施例2と同様に、規格化強度変化を導入する。

即ち、画素  $P_{11}$ 、画素  $P_{12}$ 、画素  $P_{21}$ 、画素  $P_{22}$  の中間位置  $P_{11}'$  のx、y方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{11}$ 、 $B_{11}$  をそれぞれ(式29)、(式30)で定義する。

20

また、画素  $P_{21}$ 、画素  $P_{22}$ 、画素  $P_{31}$ 、画素  $P_{32}$  の中間位置  $P_{21}'$  のx、y方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{21}$ 、 $B_{21}$  をそれぞれ(式31)、(式32)で定義する。

一般には、画素  $P_{i,j}$ 、画素  $P_{i,j+1}$ 、画素  $P_{i+1,j}$ 、画素  $P_{i+1,j+1}$  のx、y方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{ij}$ 、 $B_{ij}$  をそれぞれ(式33)、(式34)で定義すれば、

$A_{ij}$ 、 $B_{ij}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) は被検査物20の透過率分布に影響されず明部43のx、y方向の変化のみに比例する。

30

$$A_{11} = \frac{I_{22} - I_{11}}{I_{22} + I_{11}} \quad (式 29)$$

$$B_{11} = \frac{I_{12} - I_{21}}{I_{12} + I_{21}} \quad (式 30)$$

$$A_{21} = \frac{I_{22} - I_{31}}{I_{22} + I_{31}} \quad (式 31)$$

$$B_{21} = \frac{I_{32} - I_{21}}{I_{32} + I_{21}} \quad (式 32)$$

$$A_{ij} = \begin{cases} (-1)^i \frac{I_{i,j} - I_{i+1,j+1}}{I_{i,j} + I_{i+1,j+1}} & (i+j: \text{偶数}) \\ (-1)^j \frac{I_{i,j+1} - I_{i+1,j}}{I_{i+1,j} + I_{i,j+1}} & (i+j: \text{奇数}) \end{cases} \quad (式 33)$$

$$B_{ij} = \begin{cases} (-1)^j \frac{I_{i+1,j} - I_{i,j+1}}{I_{i+1,j} + I_{i,j+1}} & (i+j: \text{偶数}) \\ (-1)^i \frac{I_{i,j} - I_{i+1,j+1}}{I_{i,j} + I_{i+1,j+1}} & (i+j: \text{奇数}) \end{cases} \quad (式 34)$$

## 【 0 0 4 6 】

この後は、(式 19)、(式 20) より実施例 2 と同様に x、y 方向の波面の傾きを算出し、それらを積分することで被検査物 20 の透過波面を求めることができる。

以上、明暗パターンの周期 D が X 線強度検出器 70 の画素周期 p が等しい場合について説明したが、それに限らず D が p の整数分の 1 の場合でも同様に波面傾き  $W_{x_{i,j}}$ 、 $W_{y_{i,j}}$  を求めることができる。

図 6 (a) は、周期 D が X 線強度検出器 70 の画素周期 p が 3 分の 1 の場合に好適な第 2 の格子の構造と X 線強度検出器 70 の画素との位置関係を示している。58 は第 2 の格子、ハッチングで示されている部分 59 は遮光部、破線は画素の境界を示している。

図 6 (b) は明暗パターンの明部 44 と遮光部 59 の重なりの状態を示している。

遮光部 59 が明部 44 を遮光する向きは、同一画素内では同一方向、隣接する画素ではこれと直交する方向、斜向かいでは逆方向となっていて図 5 (b) が示している状態と同じである。

したがって、 $W_{x_{i,j}}$ 、 $W_{y_{i,j}}$  は、(式 33)、(式 34)、(式 19)、(式 20) を利用して算出することができる。

## 【 0 0 4 7 】

## [ 実施例 4 ]

実施例 4 について、図 7、図 8、図 9 を用いて説明する。

本実施例における第 1 の格子は、2 次元で周期的に配列している位相差 / 2 の位相変調格子（以後、2 次元 / 2 位相格子）である。

これに伴って第 2 の格子も実施例 2、実施例 3 とは異なるパターンの 2 次元の周期構造を

10

20

30

40

50

有している。

第1の格子と第2の格子以外の構成は実施例1と同じなので、それら要素の配置は図1の同符号の要素と同一である。

#### 【0048】

図7(a)は、本実施例における第1の格子の一部分をX線源側から見た図である。36は第1の格子である。37と38は透過位相が互いに $\pi/2$ 異なる部分であり、それらは市松模様状に周期配列している。

X線源と第1の格子の距離 $Z_0$ 、第1の格子と第2の格子の距離 $Z_1$ は(式1)を満たしている。

但し、dは図7(a)に図示されている第1の格子の格子周期、Nはnを自然数として $n/2 - 1/4$ と表される実数である。

図7(b)はタルボ効果により第2の格子上に生じた明暗パターンを図示しており、45が明部を表している。

明暗パターンの周期Dは実施例1の場合と同様に(式7)で表される。X線源と第1の格子の距離 $Z_0$ 、第1の格子と第2の格子の距離 $Z_1$ 、格子周期dを、周期DがX線強度検出器70の画素周期Pの整数分の1になるよう選んでいる。

#### 【0049】

図8(a)は、周期Dと線検出器70の画素周期pが等しい場合に適用される第2の格子の構造と、第2の格子の遮光部とX線強度検出器70の画素との位置関係を示している。

$P_{i,j}$ ( $i, j = 1, 2, 3 \dots$ )はX線強度検出器70の各画素である。

60は第2の格子、破線は画素の境界を示している。ハッチングで示されている61は第2の格子60の遮光部、ハッチングのない部分は光透過部であり、それらが2次元に周期配列している。

第2の格子60の画素配列方向の周期D2は画素の周期pの2倍である。実施例2と同様に、第2の格子60の遮光部が明部を遮光する向きは同一画素上では同一方向で、隣接する画素では直交方向、斜向かいでは逆方向となっている。

即ち、画素 $P_{2,i-1}, 2,j-1$ 上にある第1の領域が有する第1の遮光パターンは左上半分を遮光している。

また、画素 $P_{2,i}, 2,j$ 上にある第2の領域が有する第2の遮光パターンは右下半分を遮光している。

また、画素 $P_{2,i-1}, 2,j$ 上にある第3の領域が有する第3の遮光パターンは右上半分を遮光している。

また、画素 $P_{2,i}, 2,j-1$ 上にある第4の領域が有する第4の遮光パターンは左下半分を遮光している。

図8(b)は明暗パターンの明部45と遮光部61の重なりの状態を示している。

遮光部61が明部43を遮光する向きは、画素 $P_{1,1}$ では左上、画素 $P_{1,2}$ では左下、画素 $P_{2,1}$ では右上、画素 $P_{2,2}$ では右下であり、以下2画素周期で同様に遮光されている。

#### 【0050】

以上の状態で、波面の傾きにより明部45がx方向に移動した場合、受光量は画素 $P_{1,1}$ 、画素 $P_{1,2}$ では増加、画素 $P_{2,1}$ 、画素 $P_{2,2}$ では減少し、y方向に移動した場合は画素 $P_{1,2}$ 、画素 $P_{2,2}$ で増加し画素 $P_{1,1}$ 、画素 $P_{2,1}$ では減少する。

実施例2と同様に、規格化強度変化を導入する。

即ち、画素 $P_{1,1}$ 、画素 $P_{1,2}$ 、画素 $P_{2,1}$ 、画素 $P_{2,2}$ の中間位置 $P'_{1,1}$ のx、y方向の移動成分に関する規格化強度変化 $A_{1,1}$ 、 $B_{1,1}$ をそれぞれ(式35)、(式36)で定義する。

また、画素 $P_{2,1}$ 、画素 $P_{2,2}$ 、画素 $P_{3,1}$ 、画素 $P_{3,2}$ の中間位置 $P'_{2,1}$ のx、y方向の移動成分に関する規格化強度変化 $A_{2,1}$ 、 $B_{2,1}$ をそれぞれ(式37)、(式38)で定義する。

10

20

30

40

50

一般には、画素  $P_{i,j}$ 、画素  $P_{i,j+1}$ 、画素  $P_{i+1,j}$ 、画素  $P_{i+1,j+1}$  の  $x$ 、 $y$  方向の移動成分に関する規格化強度変化  $A_{ij}$ 、 $B_{ij}$  をそれぞれ（式39）、（式40）で定義すれば、 $A_{ij}$ 、 $B_{ij}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) は被検査物20の透過率分布に影響されずに明部41の  $x$ 、 $y$  方向の変化のみに比例する。

$$A_{11} = \frac{I_{11} + I_{12} - I_{21} - I_{22}}{I_{11} + I_{12} + I_{21} + I_{22}} \quad (式35)$$

$$B_{11} = \frac{I_{12} + I_{22} - I_{11} - I_{21}}{I_{12} + I_{22} + I_{11} + I_{21}} \quad (式36)$$

$$A_{21} = \frac{I_{31} + I_{32} - I_{21} - I_{22}}{I_{31} + I_{32} + I_{21} + I_{22}} \quad (式37)$$

$$B_{21} = \frac{I_{22} + I_{32} - I_{21} - I_{31}}{I_{22} + I_{32} + I_{21} + I_{31}} \quad (式38)$$

$$A_{ij} = (-1)^i \frac{I_{i+1,j} + I_{i+1,j+1} - I_{i,j} - I_{i,j+1}}{I_{i+1,j} + I_{i+1,j+1} - I_{i,j} - I_{i,j+1}} \quad (式39)$$

$$B_{ij} = (-1)^j \frac{I_{i,j} + I_{i+1,j} - I_{i,j+1} - I_{i+1,j+1}}{I_{i,j} + I_{i+1,j} - I_{i,j+1} - I_{i+1,j+1}} \quad (式40)$$

### 【0051】

$x$  方向の波面傾き  $Wx_{i,j}$  は、実施例1で式12より  $Wx_i$  を求めたのと同様にして（式41）により求められる。

$$Wx_{ij} = \frac{\lambda}{2Nd} A_{ij} \quad (式41)$$

### 【0052】

同様に、 $y$  方向の波面傾き  $Wy_{i,j}$  は、（式42）で求められる。

$$Wy_{ij} = \frac{\lambda}{2Nd} B_{ij} \quad (式42)$$

### 【0053】

$x$  および  $y$  方向の波面傾きが得られたのでこれらを積分することで被検査物の透過波面を求めることができる。

被検査物20の透過波面を、明部45の  $x$  方向および  $y$  方向の移動成分を基に算出したが、実施例2と同様に  $45^\circ$  方向と  $-45^\circ$  方向の移動成分を基に算出することもできるることは明白なので詳細は省略する。

以上、明暗パターンの周期  $D$  が  $X$  線強度検出器70の画素周期  $p$  が等しい場合について説明したが、それに限らず  $D$  が  $p$  の整数分の1の場合でも同様に波面傾き  $Wx_{i,j}$ 、 $Wy_{i,j}$  を求めることができる。

### 【0054】

10

20

30

40

50

図9(a)は、周期DがX線強度検出器70の画素周期pが3分の1の場合に好適な第2の格子の構造とX線強度検出器70の画素との位置関係を示している。

62は第2の格子、ハッチングで示されている部分63は遮光部、破線は画素の境界を示している。

図9(b)は、明暗パターンの明部46と遮光部63の重なりの状態を示している。

遮光部63が明部46を遮光する向きは、同一画素内では同一方向、隣接する画素ではこれと直交する方向、斜向かいでは逆方向となっていて実施例2の図3(b)が示している状態と同じである。

(式39)から(式42)を使って $W_{x_{ij}}$ 、 $W_{y_{ij}}$ の算出している。

したがって、 $W_{x_{ij}}$ 、 $W_{y_{ij}}$ は(式39)から(式42)を利用して算出することができる。 10

#### 【0055】

##### [実施例5]

実施例5について、図10を用いて説明する。

本実施例における第1の格子は透過部が2次元で周期的に配列している2次元振幅格子である。

図10(a)は、第1の格子の一部分をX線源側から見た図である。

80は本実施例における第1の格子、81はX線を透過しない吸収部である。82はX線を透過する透過部であり、周期dで2次元配列している。

(式1)におけるNが1より十分小さい値になるよう第1の格子と第2の格子の距離 $Z_1$ を小さく取れば、透過部82を透過したX線は略直進して、第2の格子上で明暗パターンを生じる。 20

図10(b)は、第2の格子上に生じた明暗パターンを図示しており、47が明部を表している。

明暗パターンは第1の格子80の透過部82の配列パターンと相似であって、その周期Dは、つぎの(式43)で表される。

X線源と第1の格子の距離 $Z_0$ 、第1の格子と第2の格子の距離 $Z_1$ 、格子周期dを、周期DがX線強度検出器70の画素周期pの整数分の1になるよう選んでいる。

$$D = \left(1 + \frac{Z_1}{Z_0}\right)d \quad (式43)$$

30

#### 【0056】

第2の格子は周期的パターンの遮光部を有しており、前述の実施例と同様に配置X線強度検出器70の画素内で同一方向、隣接する画素で異なる方向から明部47を遮光している。

本実施例においては、明暗パターンは実施例2および実施例3と同じなので第2の格子は、明暗パターンの周期Dと画素周期の比率に応じて図3(a)、図4(a)、図5(a)、図6(a)に記載の第2格子、あるいはこれらに類似したパターンを有している。 40

被検査物の透過波面20の算出式は第2の格子のパターンに依存するが、上記実施例で記載した算出法を参考にすれば容易に導くことができる。

#### 【符号の説明】

##### 【0057】

10:X線源

11:X線

20:被検査物

30:第1の格子

50:第2の格子

51:遮光部

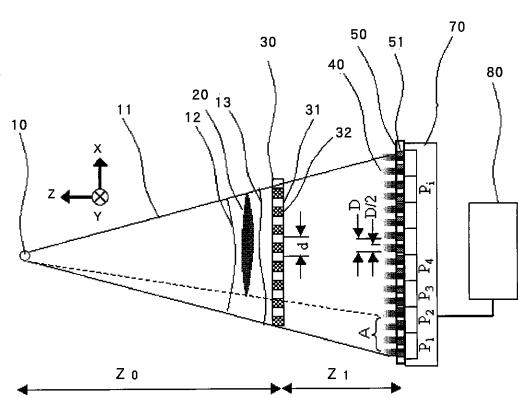
40

50

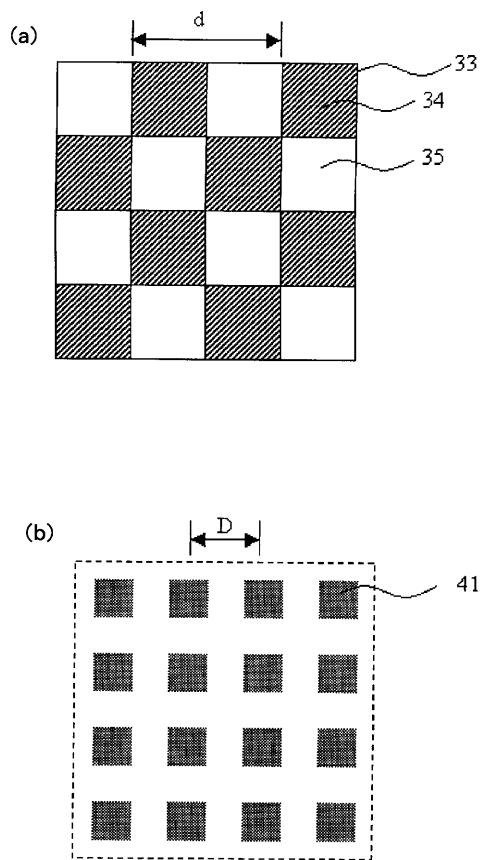
70 : X線強度検出器

80 : 演算器

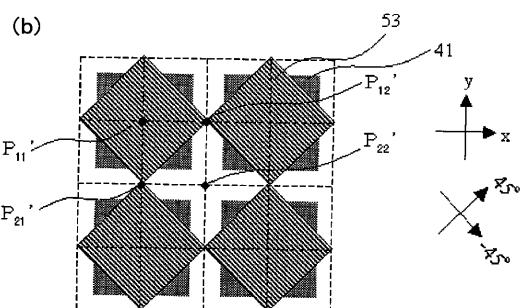
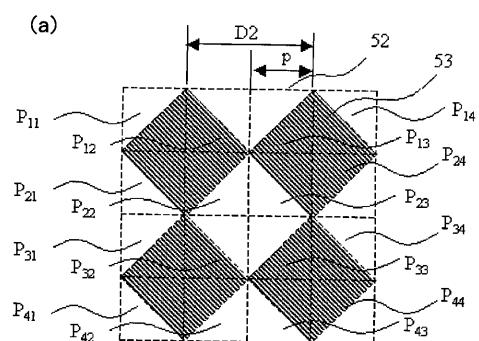
【図1】



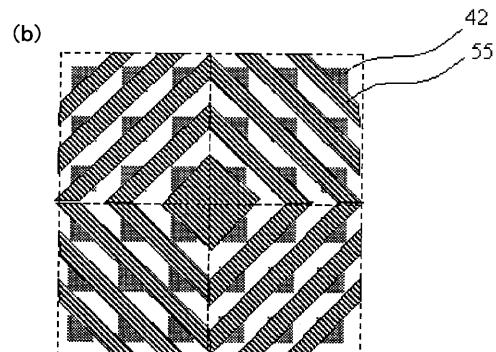
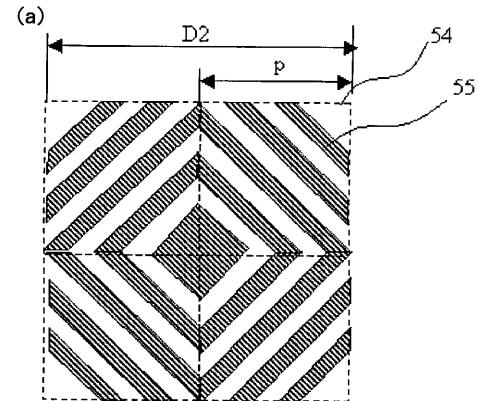
【図2】



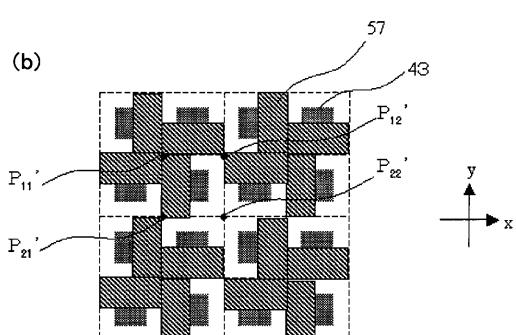
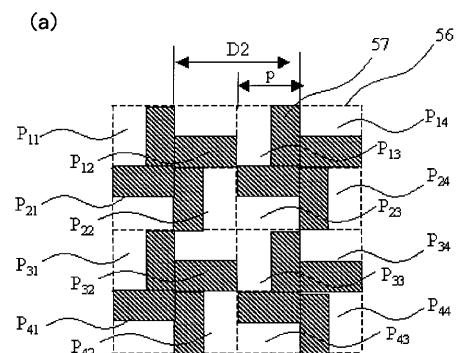
【図3】



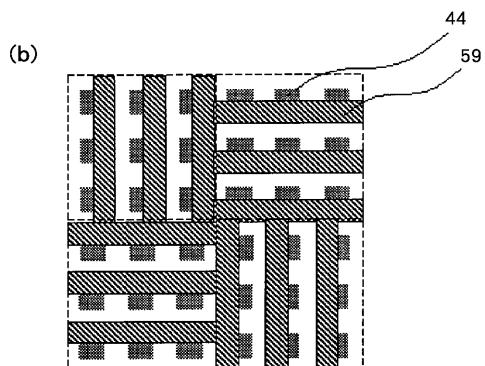
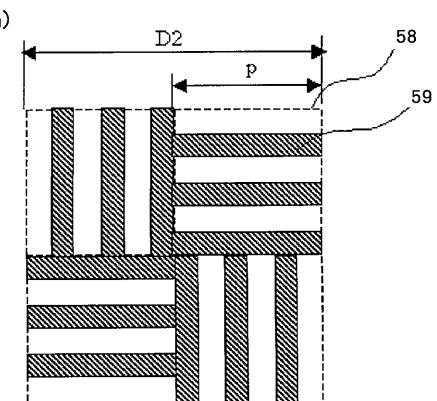
【図4】



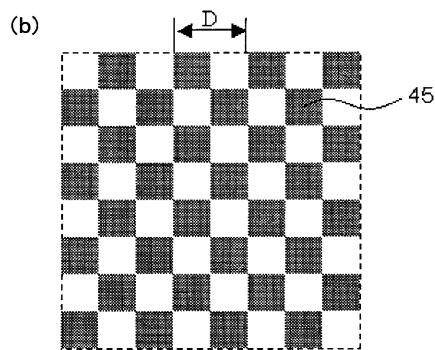
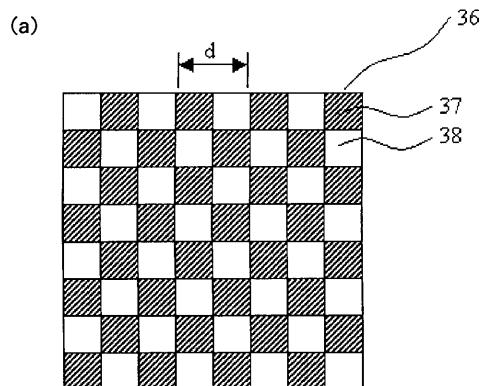
【図5】



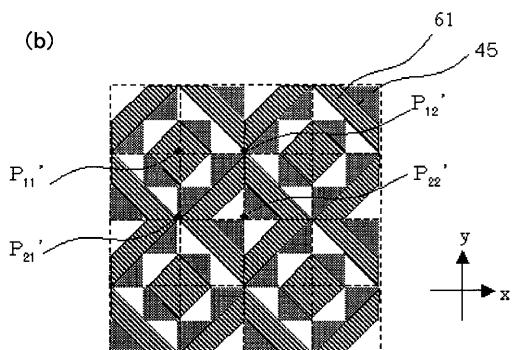
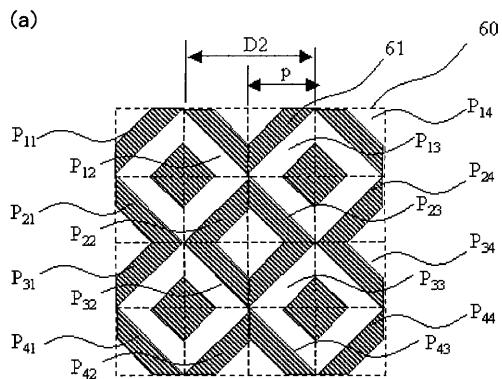
【図6】



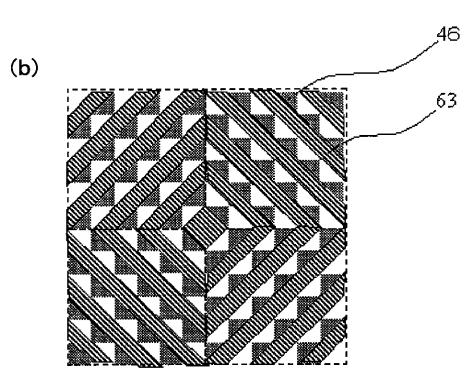
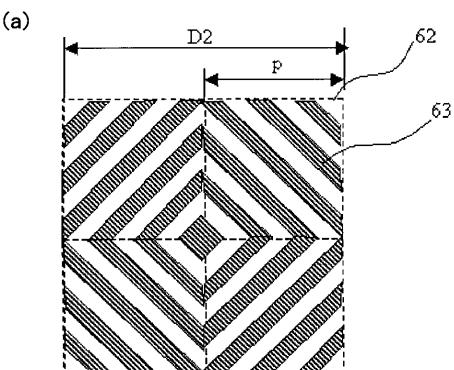
【図7】



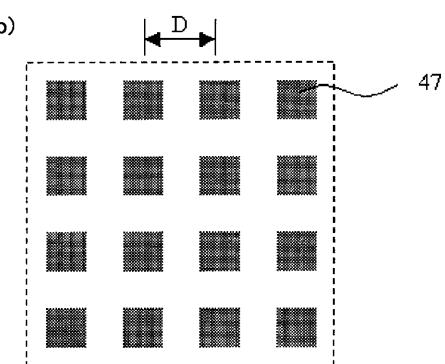
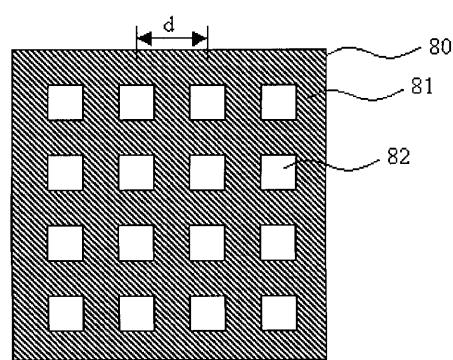
【図8】



【図9】



【図10】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100134393  
弁理士 木村 克彦

(74)代理人 100174230  
弁理士 田中 尚文

(72)発明者 大内 千種  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 越柴 洋哉

(56)参考文献 特表2010-502977(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 01 N 23/00 - 23/227  
A 61 B 6/00 - 6/14