

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5451150号
(P5451150)

(45) 発行日 平成26年3月26日 (2014. 3. 26)

(24) 登録日 平成26年1月10日 (2014. 1. 10)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 N 23/04 (2006. 01)

G O 1 N 23/04

G 2 1 K 1/04 (2006. 01)

G 2 1 K 1/04

R

請求項の数 9 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2009-94998 (P2009-94998)
 (22) 出願日 平成21年4月9日 (2009. 4. 9)
 (65) 公開番号 特開2009-276342 (P2009-276342A)
 (43) 公開日 平成21年11月26日 (2009. 11. 26)
 審査請求日 平成24年4月9日 (2012. 4. 9)
 (31) 優先権主張番号 特願2008-105355 (P2008-105355)
 (32) 優先日 平成20年4月15日 (2008. 4. 15)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(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 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 伊藤 英之助
 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
 (72) 発明者 市村 好克
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線用線源格子、X線位相コントラスト像の撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X線源と被検体との間に配置され、X線位相イメージングに用いられるX線用線源格子であって、

前記X線用線源格子は、X線を遮蔽する厚さを有するX線遮蔽部が一定の間隔で周期的に配列されてなる複数の部分格子を備え、

前記複数の部分格子同士はずらされて積層されており、

前記周期的に配列されたX線遮蔽部とX線遮蔽部との間隔によるX線透過領域である開口幅が、個々の部分格子の開口幅よりも狭いことを特徴とするX線用線源格子。

【請求項 2】

X線源と被検体との間に配置され、X線位相イメージングに用いられるX線用線源格子であって、

前記X線用線源格子は、X線を遮蔽する厚さを有するX線遮蔽部が一定の間隔で周期的に配列されてなる複数の部分格子と前記複数の部分格子のうち少なくとも1つを可動可能とする可動手段とを備え、

前記複数の部分格子同士は積層されており、

前記可動手段は前記積層された複数の部分格子のうち少なくとも一つを可動可能とし、前記周期的に配列されたX線遮蔽部とX線遮蔽部との間隔によるX線透過領域である開口幅を可変とすることを特徴とするX線用線源格子。

【請求項 3】

10

20

前記複数の部分格子は、前記X線遮蔽部が直線状に形成され、一定の間隔で周期的に配列された第1及び第2のライン状部分格子からなり、

前記複数の部分格子の夫々において、前記第2のライン状部分格子が前記第1のライン状部分格子の周期方向に対してずらされて積層されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のX線用線源格子。

【請求項4】

前記複数の部分格子は、前記X線遮蔽部が直線状に形成され、一定の間隔で周期的に配列された第1及び第2のライン状部分格子からなり、

前記複数の部分格子の夫々において、前記第2のライン状部分格子の周期方向が前記第1のライン状部分格子の周期方向に対して直交するように第1及び第2のライン状部分格子が積層され、

前記複数の部分格子は前記第1のライン状の格子の周期方向と前記第2のライン状の格子の周期方向に対して互いにずらされて積層されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のX線用線源格子。

【請求項5】

前記複数の部分格子は、第1の方向と、該第1の方向と直交する第2の方向に2次元配列されている矩形の開口部を有する第1及び第2の部分格子からなり、

前記第2の部分格子が、前記第1の部分格子に対し前記第1の方向及び前記第2の方向にずらして積層されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のX線用線源格子。

【請求項6】

前記線源格子は、前記突起部が直線状に形成されて一定の間隔で周期的に配列されたライン状の部分格子を3つ以上の部分格子を備えることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のX線用線源格子。

【請求項7】

前記可動手段は、

前記周期的に配列されたX線遮蔽部とX線遮蔽部との間隔によるX線透過領域である開口幅が、個々の部分格子の開口幅よりも狭くなる範囲で前記複数の部分格子のうち少なくとも1つを可動可能とすることを特徴とする請求項2に記載のX線用線源格子。

【請求項8】

請求項1から7のいずれか1項に記載のX線用線源格子と、

前記X線用線源格子を透過したX線の位相を変調させる位相格子と、

前記位相格子を透過したX線を検出する検出器と、を有することを特徴とするX線位相コントラスト像の撮像装置。

【請求項9】

前記位相格子を透過したX線を吸収する遮蔽領域と、該X線を透過するX線透過領域を含む吸収格子を備え、

前記検出器は前記吸収格子を透過したX線を検出することを特徴とする請求項8に記載のX線位相コントラスト像の撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、X線位相イメージングに用いられるX線用線源格子、該X線用線源格子を用いたX線位相コントラスト像の撮像装置とX線コンピューター断層撮影システムに関する。

【背景技術】

【0002】

1990年代より、X線の位相差を用いた位相コントラスト法の研究が、放射光施設を中心に行なわれてきている。

【0003】

10

20

30

40

50

また、実験室でのX線管を用いた位相イメージングについても研究が行なわれ、以下に記述する伝播法やタルボ干渉法、等が原理的に可能となっている。

【0004】

伝播法とは、微焦点X線光源から出るX線を被写体に照射し、被検体での屈折されたX線を、被検体より十分に距離を離れた検出器により検出する方法である。この手法は、従来の吸収コントラスト画像の輪郭を強調することで、より鮮明で見やすい画像を取得することが可能であるが、被検体内部の軟組織を画像化することは困難である。

【0005】

一方、タルボ干渉法とは、特許文献1に記載されているように、透過型の回折格子を用いて、ある干渉条件で発現する干渉縞から位相像を回復する方法である。

10

【0006】

タルボ干渉法による撮像のためには、空間的に可干渉なX線源、X線の位相を周期的に変調するための位相格子、検出器が少なくとも必要である。

【0007】

十分な空間的可干渉性を有するためには、 $\lambda < (R/s)$ が、位相格子のピッチ d に対して十分大きい条件を満たすことが必要である。

【0008】

ここで、 λ はX線の波長、 R はX線源と位相格子との距離、 s は線源のサイズである。なお、この明細書において位相格子のピッチとは、格子が並んでいる周期を指している。

【0009】

20

それは、図8の位相格子の模式図に示されているように、ある格子とそれに隣接する格子との間における、中心部分同士の距離 C でもよいし、それら格子の端面同士の距離 C' でもよい。

【0010】

タルボ干渉は、位相格子から特定の距離において位相格子の形状を反映した干渉縞が出現する。これを自己像という。

【0011】

この自己像が生じる位置は、位相格子から $(d^2/\lambda) \times n$ または $(d^2/\lambda) \times (1/m)$ であり、この位置をタルボ位置という。ここで、 n および m は整数である。

【0012】

30

ここで位相格子の前に被検体を配置すると、照射されたX線は被検体により屈折する。被検体を透過したX線による位相格子の自己像を検出すれば、被検体の位相像を得ることができる。

【0013】

但し、十分なコントラストで発生された自己像を検出するためには、空間分解能の高いX線画像検出器が必要となるため、X線を吸収する材料で作製され十分な厚さを持つ回折格子である吸収格子を用いて撮像することが行なわれている。

【0014】

すなわち、位相格子を透過したX線が自己像を形成する位置であるタルボ位置に吸収格子を配置すれば位相シフトの情報はモアレ縞の変形として検出することができるため、このモアレ縞をX線画像検出器で検出すれば、被検体を撮像することができる。

40

【0015】

ところで、タルボ干渉においては、可干渉条件を満たすため、干渉性の高い放射光や、微小点源を持つ μ フォーカスX線管が用いられる。

【0016】

しかしながら、放射光は実用の点から問題があり、また、マイクロフォーカスX線管は、実験室系で使用できるものの、焦点サイズの小さいため輝度も小さく、撮像目的によっては十分な輝度が得られないという問題がある。

【0017】

このようなことから、非特許文献1では、X線源の直後に線源格子を配置し、通常のX

50

線管を用いてタルボ干渉を観察するようにしたX線タルボ・ロー干渉計 (Talbot-Lau-type Interferometer) が提案されている。

【0018】

ここで線源格子とは、一方向、あるいは二方向に周期構造を持ち、X線を透過させる領域と遮蔽する領域とからなる回折格子である。

【0019】

また、タルボ・ロー干渉は、以下の関係式を満たすことが必要である。

$$g = G * l / L$$

但し、 g はX線用吸収格子のピッチ幅、 G はX線用線源格子のピッチ幅、 l はX線用位相格子とX線用吸収格子との間の距離、 L はX線用線源格子とX線用位相格子との間の距離である。

10

【0020】

以上のような、X線タルボ・ロー干渉計によれば、可干渉性の低い通常のX線管を用いてもタルボ干渉を観察することができるとされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0021】

【特許文献1】米国特許5812629号明細書

【非特許文献】

【0022】

20

【非特許文献1】“Phase retrieval and differential phase-contrast imaging with low-brilliance X-ray sources”, F. Pfeiffer et al., April 2006 / Vol. 2 / NATURE PHYSICS

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0023】

ところで、上記のように、タルボ干渉計で画像のぼやけの原因となるX線の空間的可干渉性 $\times (R/s)$ は、X線用位相格子のピッチ d に対して十分大きい条件を満たすことが必要である。

30

【0024】

そのため、空間可干渉性を向上させるためには、線源のサイズ (s) を小さくする必要がある。

【0025】

この線源のサイズ (s) は、線源格子の開口幅に相当するものであるから、線源格子の開口幅は小さい方が好ましい。

【0026】

なお、この明細書において線源格子の開口幅とは、上記図8においてA'で示されている突起部と突起部との間隔を指している。また、突起部の幅はAで示される。

【0027】

40

一方、線源格子としては、X線を遮蔽するために一定の厚さが必要とされる。この明細書において突起部の厚さ(高さ)とは、図8において、Bで示される厚さ(高さ)を指している。

【0028】

したがって、開口幅が小さい線源格子を作製しようとする、アスペクト比(突起部の高さ/線源格子の開口幅)が大きくなり、作製するのが困難となる。

【0029】

そのため、非特許文献1のX線用線源格子においては、作製プロセス上の制限によって、X線透過領域が広くなり、空間的可干渉性が低下し、位相像のぼやけが生じる場合があり得る。

50

【 0 0 3 0 】

特に、医療用などの高エネルギー X 線、すなわち、波長 が大きい X 線を用いて高コントラストでの撮像を実現するためには、非特許文献 1 の X 線用線源格子では空間可干渉性が必ずしも十分ではなく、さらなる改善が求められる。

【 0 0 3 1 】

なお、以上のアスペクト比の関係から空間可干渉性が低下するという課題は、タルボ干渉計に限られるものではない。例えば、伝播法、X 線顕微鏡、X 線透視装置、等にも共通する課題である。

【 0 0 3 2 】

本発明は、上記課題に鑑み、空間可干渉性を向上させることが可能となる X 線位相イメージングに用いられる X 線用線源格子、X 線位相コントラスト像の撮像装置と X 線コンピュータ断層撮影システムの提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 3 3 】

本願発明に係る X 線用線源格子は、X 線源と被検体との間に配置され、X 線位相イメージングに用いられる X 線用線源格子であって、前記 X 線用線源格子は、X 線を遮蔽する厚さを有する X 線遮蔽部が一定の間隔で周期的に配列されてなる複数の部分格子を備え、

前記複数の部分格子同土はずらされて積層されており、前記周期的に配列された X 線遮蔽部と X 線遮蔽部との間隔による X 線透過領域である開口幅が、個々の部分格子の開口幅よりも狭いことを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 3 4 】

本発明によれば、空間可干渉性を向上させることが可能となる X 線位相イメージングに用いられる X 線用線源格子、X 線位相コントラスト像の撮像装置と X 線コンピュータ断層撮影システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 5 】

【図 1】実施形態 1 で説明する 1 次元 X 線用線源格子の構成例と、X 線透過領域を示す図。

【図 2】実施形態 1 で説明する 1 次元 X 線用線源格子の構成例。

【図 3】実施形態 1 で説明する 2 次元 X 線用線源格子の構成例。

【図 4】実施形態 1 における直交した 2 層のライン状部分格子による X 線用線源格子を透過した X 線の強度を説明する図。

【図 5】実施形態 1 における 2 次元 X 線用線源格子の構成例。

【図 6】実施形態 3 における 3 層の部分格子からなる X 線用線源格子。

【図 7】実施形態 2 におけるタルボ干渉計を説明する図。

【図 8】X 線位相イメージングに用いられる位相格子におけるピッチ、突状部の高さ（高さ）、突状部の幅、開口幅を説明するための模式図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 3 6 】

つぎに、本発明の実施形態について説明する。

【 0 0 3 7 】

（実施形態 1）

実施形態 1 においては、入射する X 線に対して複数（ここでは 2 層）のライン状部分格子を周期方向にずらして積層することで、突起部と突起部との間隔による X 線の透過領域である開口幅を、個々の部分格子の開口幅よりも狭くした構造を有する X 線用線源格子について説明する。

【 0 0 3 8 】

ここで部分格子とは、積層して構成された X 線用線源格子における突起部が一定の間隔で周期的に配列されてなる 1 層部分の回折格子をいう。

【 0 0 3 9 】

また、ライン状部分格子とは、互いに平行な直線状の突起構造（突起部）が周期的に配列された１層部分の回折格子構造を指している。

【 0 0 4 0 】

図１（ａ）に、本実施形態の構成例を示す。

【 0 0 4 1 】

本実施形態において、前記ライン状部分格子における前記突起部は、Ｘ線が透過する方向に対し垂直な方向の「幅」と該Ｘ線の透過する方向と同方向の「厚さ」を有し、該厚さは前記透過するＸ線を遮蔽する厚さに形成されている。

【 0 0 4 2 】

そして、上記２層のライン状回折格子を積層する際には、入射するＸ線１１０に対し２層目の部分格子（第２の部分格子１３０）が、１層目の部分格子（第１の部分格子１２０）の周期方向にずらして積層される。

【 0 0 4 3 】

図１（ｂ）はＸ線が透過する領域を示した図である。領域１５０は、第１の部分格子１２０により遮蔽される領域であり、領域１５３は、第２の部分格子１３０により遮蔽される領域であり、領域１５１は、第１の部分格子１２０と第２の部分格子１３０の両方により遮蔽される領域である。そして、領域１５２はＸ線が透過する領域である。このように、２層のライン状部分格子を周期方向にずらして積層することで、格子全体としてはＸ線の透過領域である開口幅を狭くすることが可能となる。以上により、Ｘ線を遮蔽する領域と一部透過する領域からなるライン状部分格子を多層化することで得られるＸ線用線源格子は、個々の部分格子よりも開口幅を狭小化することが可能となる。

【 0 0 4 4 】

例えば、図１（ａ）で示した構造では、２層目のライン状部分格子１３０を、１層目のライン状部分格子１２０の周期方向にずらして積層することで、開口幅は個々の部分格子の開口幅の１／２に狭小化される。

【 0 0 4 5 】

Ｘ線用線源格子を構成する個々の部分格子は、基板表面または基板内部に形成された凹凸ライン状構造に、例えば、金めっき、または金ナノペーストの充填により作製される。

【 0 0 4 6 】

その際、例えば図２（ａ）に示すように、基板２２０の材料と異なる材料を用いて部分格子２１０を構成しても良い。また、図２（ｂ）に示すように、基板自体に加工をおこない部分格子２３０を構成しても良い。

【 0 0 4 7 】

また、図２（ｂ）に示す部分格子２３０は非貫通構造であるが、これを貫通するように構成しても良い。貫通していれば基板によるＸ線の吸収が無いのでＸ線の利用効率が向上する。

【 0 0 4 8 】

多層化した回折格子を得るためには、図２（ｃ）のように部分格子を２枚以上積層する（ここでは部分格子２３０を積層）。

【 0 0 4 9 】

その積層には、部分格子同士が接するように積層することが好ましいが、両部分格子の突起部同士が接触しないように構成しても良い。その際、基板は互いに平行になるように保持することが好ましい。

【 0 0 5 0 】

基板２２０は、Ｘ線照射時にＸ線の吸収が少ない材料を使用することが好ましい。基板２２０の形状としては薄板状が好ましい。また、基板２２０の表裏が鏡面であればコントラストは良好となる。材料としては、ＳｉやＧａＡｓ、Ｇｅ、ＩｎＰといった半導体ウェハー、ガラス基板などを使用することができる。また、ポリカーボネート（ＰＣ）、ポリイミド（ＰＩ）、ポリメチルメタクリレート（ＰＭＭＡ）などの樹脂基板を用いることも

10

20

30

40

50

できる。

【 0 0 5 1 】

部分格子を形成するためには、フォトリソグラフィ法やドライエッチング法、スパッタや蒸着・CVD・無電解めっき・電解めっきといった各種成膜法、ナノインプリント法などを用いることができる。

【 0 0 5 2 】

つまり、フォトリソグラフィ法でレジストパターンを形成した後に、ドライエッチング乃至ウェットエッチングで基板に加工しても良いし、リフトオフ法で基板上に部分格子を付与することもできる。また、ナノインプリント法により基板又は基板上に成膜した材料を加工しても良い。

10

【 0 0 5 3 】

基板上に形成された凹凸パターンに金を埋め込むためには、電解金めっきで行なうこともできるし、または金ナノペーストを充填しても良い。

【 0 0 5 4 】

図3(a)に、2次元部分格子300を示す。この2次元部分格子300は、一方のライン状回折格子310の上に、他のライン状回折格子320をライン状回折格子310の周期方向に直交する方向に積層されている。

【 0 0 5 5 】

また、図3(b)に、構造体を積層しないで作製した2次元部分格子330を示す。このように、第1の方向340と、該第1の方向340と直交する第2の方向350に2次元配列されている矩形の開口部360を有した部分格子を用いても良い。

20

【 0 0 5 6 】

図4は、図3(a)または図3(b)に示す部分格子に、部分格子の垂直方向からX線を入射させた場合のX線が透過する領域420と、X線が透過しない領域410を示したものである。

【 0 0 5 7 】

図5は、2次元部分格子510と520を多層化した構造体を示す。このように、2次元部分格子を多層化するときには、部分格子を縦および横の周期方向(第1の方向および第2の方向)に対してずらして作製する。すなわち、方向540の向きに2次元部分格子520をずらして2次元部分格子510の上に積層する。

30

【 0 0 5 8 】

これにより、個々の2次元部分格子の開口部よりも狭いX線透過領域530が形成される。

【 0 0 5 9 】

本実施形態によるX線用線源格子を用いて、通常のX線管、検出器と組み合わせることでタルボ・ロー干渉計として使用することができる。

【 0 0 6 0 】

X線用位相格子と、空間分解能の高いX線画像検出器を用いてもよいし、更にX線用吸収格子をX線用位相格子と検出器の間に配置し、モアレ縞を形成した後にX線用画像検出器を用いて撮像しても良い。

40

【 0 0 6 1 】

ここで、X線用位相格子とは、X線用線源格子を透過したX線の位相を変調させるための回折格子である。また、X線用吸収格子とは、位相格子を透過したX線を吸収する遮蔽領域と、X線を透過させるX線透過領域とからなる回折格子である。

【 0 0 6 2 】

また、従来のコンピューター断層撮影システムに用いられているガントリ内に、本実施形態のX線位相像の撮像装置を組み込むことで患者のX線位相断層像を得ることができる。

【 0 0 6 3 】

(実施形態2)

50

実施形態 2 では、積層された個々の部分格子の少なくとも一つを可動可能に構成し、X 線透過領域である開口幅を可変とする X 線透過領域可変型線源格子の構成例について説明する。

【0064】

図 7 に、部分格子を可動可能にした可動手段を有する X 線撮像装置 720 を示す。X 線源 710 と被検体 730 との間には、第 1 の部分格子 721 と第 2 の部分格子 722 が設けられている。また、被検体 730 と検出器 760 との間には位相格子 740 と吸収格子 750 が設けられている。

【0065】

第 1 の部分格子 721 と第 2 の部分格子 722 の少なくとも一つは可動手段 725 により可動可能とされ、これにより X 線透過領域を可変としている。

10

【0066】

例えば、実施形態 1 における 1 次元 X 線用線源格子では、相互に積層したライン状部分格子の少なくとも一方を、周期方向に移動させることにより、X 線透過領域を可変させる。

【0067】

また、図 5 に示した多層化された 2 次元 X 線用線源格子では、部分格子の対角線方向に移動させることにより、X 線透過領域を可変させる。

【0068】

このように構成することにより、線源サイズに起因する空間的可干渉性と X 線線量とが、最適値となるように調整することが可能となる。

20

すなわち、線源格子の X 線透過領域を小さくすれば、空間可干渉性は向上し、位相像のコントラストを向上させることができるが、他方では X 線透過領域を小さくしすぎると、線量が低減して検出感度が低下することとなる。

【0069】

これに対して、本実施形態の上記構成のように、積層されている少なくとも一つの部分格子を移動させ、X 線透過領域を調整可能に構成することで、線源サイズに起因する空間的可干渉性と X 線線量とが最適値となるように調整することができる。そして、これにより、高コントラスト画像、かつ必要最低線量の X 線で撮像することが可能となる。

【0070】

30

なお、本実施形態では可動手段 725 としては、縦、横方向の 2 軸方向に μm 単位で移動可能なマイクロアクチュエーターを使用しても良いし、ステッピングモーターを使用しても良い。

【0071】

また、X 線の透過領域の調整には、基板に予めアライメントマークを作製してこれを使用しても良いし、X 線を照射してイオンチェンバーや X 線画像検出器で X 線強度を測定しながら行なっても良い。

【0072】

その際、例えば、本実施形態における X 線用線源格子、位相格子 740、吸収格子 750、検出器 760 を用い、つぎのようなステップを備えた X 線量と像コントラストの調整方法を構成することができる。

40

[1] X 線用線源格子に向けて、X 線源から X 線を照射するステップ

[2] 前記 X 線用線源格子により、前記 X 線の一部のみを透過させて前記 X 線用位相格子に照射するステップ

[3] 前記 X 線の一部が照射された X 線用位相格子により回折されてタルボ効果を生じた X 線を、前記 X 線用吸収格子に照射するステップ

[4] 前記 X 線用吸収格子を格子面上に回転させることによって、モアレ縞を発生させるステップ

[5] 前記モアレ縞を前記 X 線画像検出器を用いて検出し、モアレ縞による画像を形成するステップ

50

〔 6 〕前記モアレ縞による画像を観察しながら、前記積層された可動可能に構成され部分格子を移動させX線の透過領域である開口幅を調整し、該透過領域を透過するX線量とモアレ縞のコントラストを最適化するステップ

また本実施形態においては、X線を照射してタルボ効果により得られる自己像をX線画像検出器で観察しながら、画像のぼやけを最大限除去できるようX線透過領域を調整し、部分格子の調整を行なった後、部分格子は固定してそのままX線位相像の観察を行っても良い。あるいは、観察中に再度調整し直すようにしても良い。

【 0 0 7 3 】

また、実施形態 1 と同様に、従来のコンピューター断層撮影システムに用いられているガントリ内に、本発明のX線位相像の撮像装置を組み込むことで患者のX線位相断層像を得ることができる。

10

【 0 0 7 4 】

（実施形態 3 ）

実施形態 3 では、部分格子を 3 つ以上有し、下層の部分格子に対し上層の部分格子を周期方向にずらして積層した線源格子の構成例について説明する。

【 0 0 7 5 】

図 6 に、部分格子 6 1 0、6 2 0、6 3 0 からなる 3 層構成のX線用線源格子 6 0 0 の断面構造を示す。部分格子を 3 層以上に多層化することにより、2 層構成のものに比べて透過するX線の領域をより狭くすることが可能となる。

【実施例】

20

【 0 0 7 6 】

以下に、本発明の実施例について説明する。

【 0 0 7 7 】

〔 実施例 1 〕

実施例 1 においては、2 層のライン状部分格子をずらして相互に積層したX線位相イメージングに用いられる 1 次元X線用線源格子について説明する。

【 0 0 7 8 】

4 インチ径の両面研磨 2 0 0 μ m 厚によるシリコンウェハ表面にレジストコート後、フォトリソグラフィ法により 6 0 mm 角のエリアに線幅 3 0 μ m 間隙 5 0 μ m のレジストパターンを作製する。

30

【 0 0 7 9 】

次に、ディープ・リアクティブ・イオン・エッチング (Deep Reactive Ion Etching) によりつぎのような加工を行う。すなわち、線幅 3 0 μ m、間隙 5 0 μ m で深さが 4 0 μ m のスリット構造を作製した後に、レジストを除去する。

【 0 0 8 0 】

基板上にチタン - 金のスパッタ膜を形成させ、電解めっきのシード層としてめっきを行なう。基板表面に付着した金を除去すれば、3 0 μ m の開口幅を持つX線透過領域が、5 0 μ m ごとに並んだ周期構造を持つ部分格子となる。

【 0 0 8 1 】

つぎに、このようにして作製した 2 枚の部分格子を、部分格子の持つ周期構造を同一の方向にして、格子面同士が平行になるように向けて、部分格子の開口幅の 1 / 2 だけ周期方向にずらし、エポキシ樹脂等を用いて貼りあわせる。

40

【 0 0 8 2 】

X線用位相格子は、シリコンウエハに、線幅 2 μ m、間隙 2 μ m、深さ 2 9 μ m であるスリット構造を形成したものをを用いる。X線吸収格子は、シリコンウエハに、線幅 2 μ m、間隙 2 μ m、深さ 2 9 μ m のスリット構造を形成したものに、さらに間隙部分を金めっきにより金を充填したものをを用いる。

【 0 0 8 3 】

X線エネルギー 1 7 . 7 k e V (0 . 7 オングストローム) で実験を行なう場合、タルボ距離は例えば第 3 タルボ条件を用いて $3 d 2 / 2 = 3 4 3$ mm となる。

50

【 0 0 8 4 】

X線用位相格子、X線用吸収格子共に1次元回折格子の場合には、X線用吸収格子を該1次元回折格子の周期方向に回折格子のピッチ幅の1/5ずつずらして、X線用CCD検出器により像を取得する。

【 0 0 8 5 】

これより得られる微分位相像を該1次元回折格子の周期方向に積分することによって、位相回復像に変換することができ、X線位相コントラスト像を撮像できる。

【 0 0 8 6 】

[実施例 2]

実施例2においては、X線透過領域可変型線源格子の構成例について説明する。

10

【 0 0 8 7 】

本実施例においては、まず、実施例1と同様の方法により、4枚の1次元部分格子を作製する。但し、60mm角エリアの4隅に、10μmの円形レジストパターンを作製しておく。

【 0 0 8 8 】

この円形パターンを用いて、2枚の1次元部分格子を、各々の持つ周期方向が直交するように、エポキシ樹脂等を用いて貼り合わせる。

【 0 0 8 9 】

これを2セット作製することにより、2枚の2次元部分格子が準備される。

【 0 0 9 0 】

次に、2枚の2次元部分格子を、部分格子の持つ周期構造が十分に重なり、X線透過領域が最大となるように、高精度ステッピングモーター搭載のステージに1枚ずつ取り付け。X線位相格子、X線吸収格子は、実施例1と同一のものを使用する。

20

【 0 0 9 1 】

高精度ステッピングモーター搭載のステージは、少なくとも部分格子面の縦、横の2軸方向に動作するものを使用する。

【 0 0 9 2 】

2枚の2次元部分格子は、互いに物理的に干渉しないよう、かつ可能な限り近づけて配置する。どちらか一方の2次元部分格子を、ステッピングモーターにより縦、横方向に各々2μmずつ、すなわち45°方向に2.8μm移動させる。

30

【 0 0 9 3 】

イオンチェンバーでX線強度をモニターし、線量の測定を行なうとともに、X線用CCD検出器でタルボ像のぼやけが最大限低減できるようにする。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 4 】

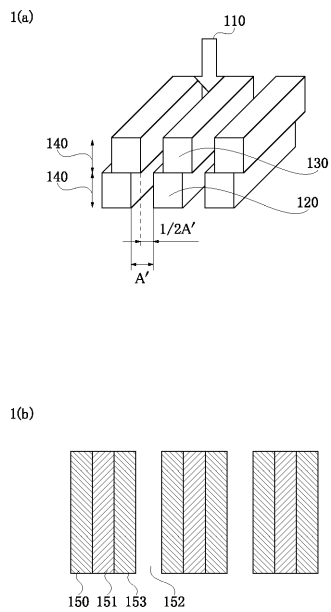
- 1 1 0 X線
- 1 2 0 第1の部分格子
- 1 3 0 第2の部分格子
- 1 4 0 X線を遮蔽する厚さ
- 1 5 0 第1の部分格子により遮蔽される領域
- 1 5 1 第1と第2両方の部分格子により遮蔽される領域
- 1 5 2 X線が透過する領域
- 1 5 3 第2の部分格子により遮蔽される領域
- 2 1 0 部分格子
- 2 2 0 基板
- 2 3 0 基板を加工して作製した部分格子
- 3 0 0 2次元部分格子
- 3 1 0 ライン状回折格子
- 3 2 0 もう一方のライン状回折格子
- 3 3 0 2次元部分格子

40

50

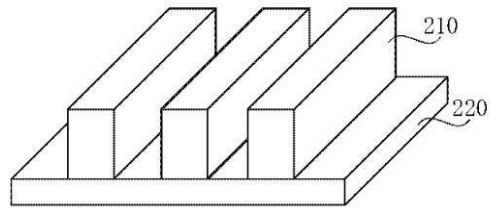
| | | |
|-------|----------------|----|
| 3 4 0 | 第 1 の方向 | |
| 3 5 0 | 第 2 の方向 | |
| 3 6 0 | 開口部 | |
| 4 1 0 | X 線が透過しない領域 | |
| 4 2 0 | X 線が透過する領域 | |
| 5 1 0 | 2 次元部分格子 | |
| 5 2 0 | 2 次元部分格子 | |
| 5 3 0 | X 線透過領域 | |
| 5 4 0 | 2 次元部分格子をずらす方向 | |
| 6 1 0 | 1 層目の部分格子 | 10 |
| 6 2 0 | 2 層目の部分格子 | |
| 6 3 0 | 3 層目の部分格子 | |
| 7 1 0 | X 線源 | |
| 7 2 0 | X 線撮像装置 | |
| 7 2 1 | 第 1 の部分格子 | |
| 7 2 2 | 第 2 の部分格子 | |
| 7 2 5 | 可動手段 | |
| 7 3 0 | 被検体 | |
| 7 4 0 | 位相格子 | |
| 7 5 0 | 吸収格子 | 20 |
| 7 6 0 | 検出器 | |

【図 1】

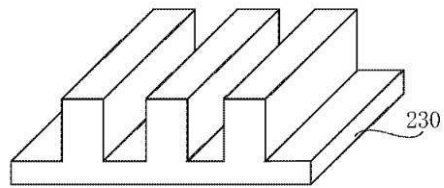


【図 2】

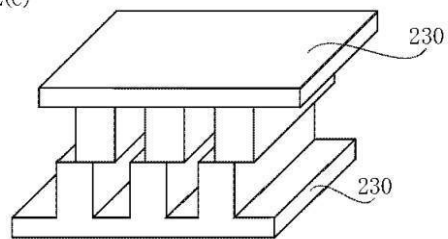
2(a)



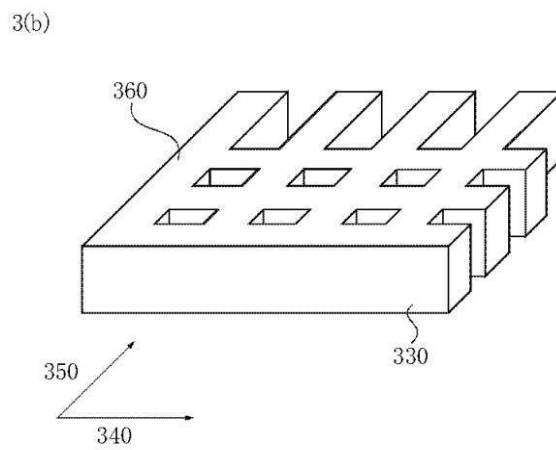
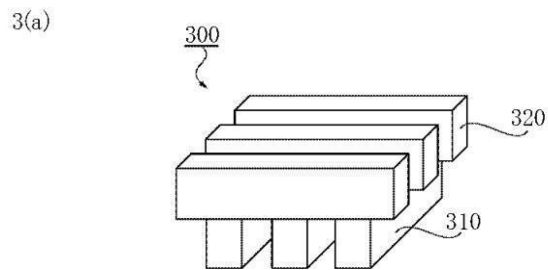
2(b)



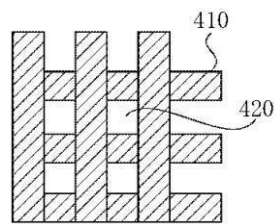
2(c)



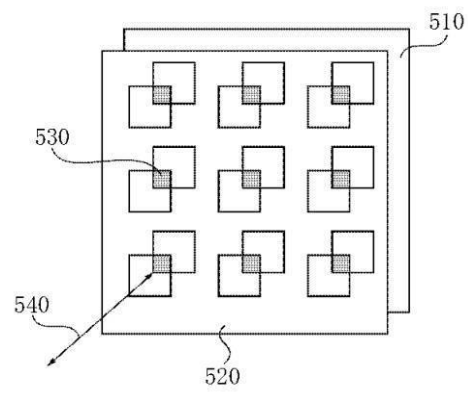
【図 3】



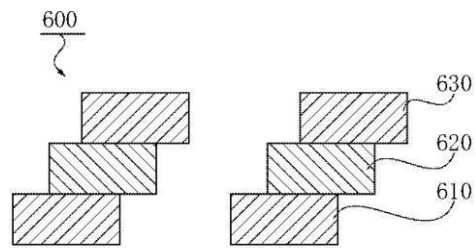
【図 4】



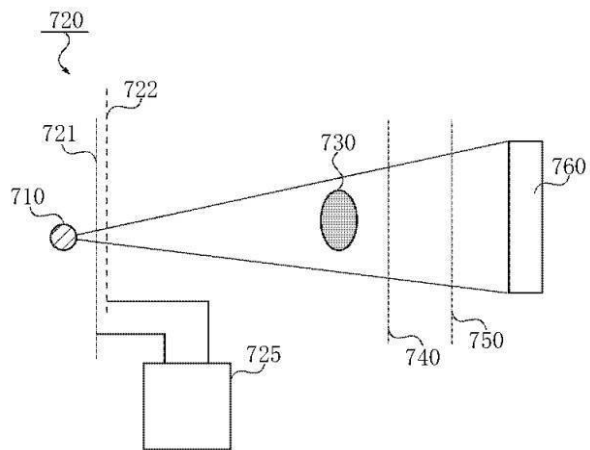
【図 5】



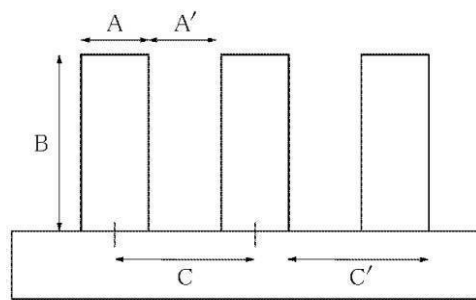
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

- (72)発明者 中村 高士
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
- (72)発明者 今田 彩
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 特開2007-203064(JP,A)
特開2007-203066(JP,A)
特開2008-197593(JP,A)
特開2009-244260(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

| | |
|------|----------------|
| G01N | 23/00 - 23/227 |
| A61B | 6/00 - 6/14 |
| G21K | 1/00 - 7/00 |
| G02B | 5/18 |