

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6362103号
(P6362103)

(45) 発行日 平成30年7月25日 (2018. 7. 25)

(24) 登録日 平成30年7月6日 (2018. 7. 6)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 T 7/00 (2006. 01)
 A 6 1 B 6/06 (2006. 01)
 GO 1 N 23/04 (2018. 01)
 A 6 1 B 6/00 (2006. 01)

GO 1 T 7/00 B
 A 6 1 B 6/06 3 3 1
 GO 1 N 23/04
 A 6 1 B 6/00 3 3 O Z
 A 6 1 B 6/00 3 O O J

請求項の数 11 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2014-160674 (P2014-160674)
 (22) 出願日 平成26年8月6日 (2014. 8. 6)
 (65) 公開番号 特開2015-72261 (P2015-72261A)
 (43) 公開日 平成27年4月16日 (2015. 4. 16)
 審査請求日 平成29年7月31日 (2017. 7. 31)
 (31) 優先権主張番号 特願2013-182791 (P2013-182791)
 (32) 優先日 平成25年9月4日 (2013. 9. 4)
 (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 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 佐藤 玄太
 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 右▲高▼ 孝幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 遮蔽格子及びトルボット干渉計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X線を透過する透過部とX線を遮蔽する遮蔽部とが配列された、複数の小遮蔽格子を備え、

前記複数の小遮蔽格子のそれぞれは、

前記透過部と前記遮蔽部とが交差する2方向に配列された2次元の格子領域と、

前記透過部と前記遮蔽部とが1方向に配列された1次元の格子領域とを有し、

前記1次元の格子領域は、前記2次元の格子領域の外周の少なくとも一部に形成され、

前記複数の小遮蔽格子のうち、隣り合う小遮蔽格子が有する1次元の格子領域同士の間
 なくとも一部が重なる重なり領域において、前記小遮蔽格子同士の配列方向が交差するこ
 とを特徴とする遮蔽格子。 10

【請求項 2】

前記小遮蔽格子のそれぞれにおいて、

前記2次元の格子領域における前記透過部と前記遮蔽部との配列方向のうちのいずれか
 1方向と、

前記1次元の格子領域における前記透過部と前記遮蔽部との配列方向と、が平行である
 ことを特徴とする請求項1に記載の遮蔽格子。

【請求項 3】

前記2次元の格子領域における前記透過部と前記遮蔽部との配列方向のそれぞれと、

前記重なり領域における、前記1次元の格子領域の配列方向のそれぞれと、が平行であ 20

ることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の遮蔽格子。

【請求項 4】

前記 2 次元の格子領域における前記 2 方向に配列された前記透過部と前記遮蔽部との配列方向が互いに直交しており、

前記重なり領域における、前記 1 次元の格子領域の前記透過部と前記遮蔽部との配列方向同士が互いに直交していることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の遮蔽格子。

【請求項 5】

前記 2 次元の格子領域における前記透過部と前記遮蔽部との配列方向において、

前記 2 次元の格子領域における前記透過部と前記遮蔽部とのピッチと、

前記重なり領域における前記透過部と前記遮蔽部とのピッチと、が等しいことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の遮蔽格子。

【請求項 6】

前記小遮蔽格子のそれぞれにおいて、前記 2 次元の格子領域が長方形であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の遮蔽格子。

【請求項 7】

前記複数の小遮蔽格子同士の、小遮蔽格子全体における透過部と遮蔽部の配列によって形成される格子パターンが一致していることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の遮蔽格子。

【請求項 8】

前記複数の小遮蔽格子同士の、前記 2 次元の格子領域における透過部と遮蔽部の配列によって形成される格子パターンが一致しており、

前記 1 次元の格子領域における前記格子パターンが異なっていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の遮蔽格子。

【請求項 9】

前記複数の小遮蔽格子のうち一部の小遮蔽格子は、

前記 1 次元の格子領域の遮蔽部と、前記 2 次元の格子領域の遮蔽部が連続して形成されていることを特徴とする請求項 8 に記載の遮蔽格子。

【請求項 10】

前記複数の小遮蔽格子の透過部と遮蔽部の配列によって形成される格子パターンは、4 角形が有する 4 つの角のうちの同じ辺に位置する 2 つの角が、切り落とされた形状を有していることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の遮蔽格子。

【請求項 11】

X 線源からの X 線を回折する回折格子と、

前記回折格子からの X 線の一部を遮蔽する遮蔽格子と、

前記遮蔽格子からの X 線を検出する検出器とを備え、

前記遮蔽格子は、請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の遮蔽格子であることを特徴とするトールボット干渉計。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、遮蔽格子及びトールボット干渉計に関する。

【背景技術】

【0002】

X 線位相イメージング法は、X 線の位相シフトに基づいてコントラストを発生させ、被検体に関する情報を得る方法である。X 線位相イメージング法の 1 つとして、トールボット干渉法がある。

【0003】

X 線を用いたトールボット干渉を観測するためには、空間的に可干渉な X 線を出射する X 線源、X 線の位相を周期的に変調するための回折格子、検出器が少なくとも必要である

10

20

30

40

50

。空間的に可干渉性なX線が回折格子を透過すると、X線の位相が回折格子の形状を反映して周期的に変化する。すると、トールボット距離と呼ばれる特定の距離だけ回折格子から離れた位置に自己像と呼ばれる第1の干渉パターンが形成される。

【0004】

被検体をX線源と回折格子の間又は回折格子と検出器の間に置くことで、被検体の形状と複素屈折率により自己像が変形され、この自己像の変形から被検体の位相に関する情報（以下、位相情報と呼ぶことがある。）を得ることができる。

尚、被検体の位相に関する情報として、微分位相微分像、位相像、散乱像が挙げられる。

【0005】

しかし、一般的に、X線を用いたトールボット干渉法において形成される自己像のピッチは検出器の画素ピッチと比較して小さいため、自己像を直接検出することは困難である。

10

そこで、X線を遮る遮蔽部とX線を透過する透過部が周期的に配列された周期構造を持つ、遮蔽格子を用いて、第2の干渉パターンを形成する。

【0006】

遮蔽格子に形成されている遮蔽部と透過部の周期は自己像の周期と同じもしくはほぼ同じであり、第2の干渉パターンとして自己像よりも周期が大きいモアレを形成したり、自己像との相対位置を移動させることで縞走査を可能にしたりする。

【0007】

また、遮蔽部はX線を十分遮蔽するために高アスペクト比の金属構造体から構成されており、遮蔽格子を大面積で作製することは困難である。

20

【0008】

このため特許文献1には、1次元構造の遮蔽部を持つ複数の小遮蔽格子を重ね合わせて作製した大面積の遮蔽格子が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2012-045099号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0010】

しかし、特許文献1のように複数の小遮蔽格子を重ね合わせると、小遮蔽格子の重ね合わせの精度によっては、小遮蔽格子を重ね合わせた領域における位相情報の取得が困難になる。これは、小遮蔽格子の重ね合わせズレにより、設計上は遮蔽部が位置する位置に遮蔽部が位置しなかったり、設計上は透過部が位置する位置に透過部が位置しなかったりすることによる。特に、2方向に遮蔽部と透過部とが配列された2次元の小遮蔽格子を精度よく重ね合わせるのは難しい。

【0011】

本発明は、上記課題に鑑み、2次元の小遮蔽格子を重ね合わせる場合において、重ね合わせた領域における位相情報の取得を従来よりも容易にすることが可能となる遮蔽格子及び該遮蔽格子を備えるトールボット干渉計の提供を目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の一側面としての遮蔽格子は、X線を透過する透過部とX線を遮蔽する遮蔽部とが配列された、複数の小遮蔽格子を備え、前記複数の小遮蔽格子のそれぞれは、前記透過部と前記遮蔽部とが交差する2方向に配列された2次元の格子領域と、前記透過部と前記遮蔽部とが1方向に配列された1次元の格子領域とを有し、前記1次元の格子領域は、前記2次元の格子領域の外周の少なくとも一部に形成され、前記複数の小遮蔽格子のうち、隣り合う小遮蔽格子が有する1次元の格子領域同士は少なくとも一部が重なることで形成される重なり領域を有し、前記重なり領域において、前記小遮蔽格子同士の配列方向が交

50

差することを特徴とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明の一側面としての遮蔽格子によれば、2次元の小遮蔽格子を重ね合わせる場合において、重ね合わせた領域における位相情報の取得を従来よりも容易にすることが可能となる遮蔽格子を実現することができる。

【0014】

本発明のその他の側面については、以下で説明する実施の形態で明らかにする。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の実施形態及び実施例1における複数の小遮蔽格子を有する遮蔽格子の模式図。

【図2】本発明の実施形態及び実施例2における複数の小遮蔽格子を有する遮蔽格子の模式図。

【図3】本発明の実施形態における複数の小遮蔽格子を有する遮蔽格子の模式図。

【図4】本発明の実施形態における1次元周期構造と2次元周期構造の模式図である。

【図5】発明の実施形態における複数の小遮蔽格子を有する遮蔽格子の模式図。

【図6】発明の実施形態における、法線が交差するように配置された複数の小遮蔽格子を有する遮蔽格子の模式図。

【図7】複数の小遮蔽格子を有する、従来の遮蔽格子の例の模式図。

【図8】本発明の実施形態における遮蔽格子を備えるトールボット干渉計の模式図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

上述のように、複数の小遮蔽格子を重ね合わせると、小遮蔽格子の重ね合わせズレにより、設計上は遮蔽部が位置する位置に遮蔽部が位置しなかったり、設計上は透過部が位置する位置に透過部が位置しなかったりすることがある。このため、小遮蔽格子を重ね合わせた領域（以下、重なり領域と呼ぶことがある）におけるX線の透過率が、小遮蔽格子を重ね合わせなかった領域におけるX線の透過率よりも低くなり、重なり領域において検出器に到達する光子数が減少し、検出器ノイズに対する取得信号量（S/N比）が低下する。そのため、重なり領域における位相情報の取得が困難になる可能性がある。

【0017】

そこで、本発明の実施形態においては、2次元の小遮蔽格子を重ね合わせる場合において、重ね合わせた領域における位相情報の取得を従来よりも容易にすることが可能となる遮蔽格子を提供する。そのために、本実施形態の遮蔽格子は、小遮蔽格子同士が重なる領域におけるX線の透過率と、小遮蔽格子を重ね合わせなかった領域におけるX線の透過率との差を小さくする。具体的には、本実施形態の遮蔽格子は、次のような構成を備える。

【0018】

遮蔽格子は、X線を透過する透過部とX線を遮蔽する遮蔽部とが配列された、複数の小遮蔽格子を備える。そして、この小遮蔽格子のそれぞれは、透過部と遮蔽部とが交差する2方向に配列された2次元の格子領域と、透過部と遮蔽部とが1方向に配列された1次元の格子領域とを有している。1次元の格子領域は、前記2次元の格子領域の外周の少なくとも一部に形成され、遮蔽格子は、複数の小遮蔽格子のうち、隣り合う小遮蔽格子が有する1次元の格子領域同士の少なくとも一部が重なることで形成される重なり領域を有する。重なり領域において、隣り合う小遮蔽格子が有する1次元の格子領域の配列方向同士は交差する。これにより、重なり領域において透過部と遮蔽部とが交差する2方向に配列されている。

【0019】

また、小遮蔽格子のそれぞれは、2次元の格子領域における透過部と遮蔽部との配列方向のうちのいずれか1方向と、1次元の格子領域における透過部と遮蔽部との配列方向と、が平行に構成されていることが好ましい。更に、2次元の格子領域における透過部と遮

10

20

30

40

50

蔽部との配列方向のそれぞれと、重なり領域における、1次元の格子領域同士による透過部と遮蔽部との配列方向のそれぞれと、が平行に構成されていることがより好ましい。

【0020】

更に、2次元の格子領域における透過部と遮蔽部との配列方向において、2次元の格子領域における透過部と遮蔽部とのピッチと、重なり領域における透過部と遮蔽部とのピッチと、が等しいピッチに構成されていることが更に好ましい。但し、本発明及び本明細書において、ピッチが等しいとは、ピッチが $\pm 10\%$ の範囲内にあることを指す。つまり、あるピッチが、 $1.1A$ 以下、 $0.9A$ 以上であるとき、そのピッチは、ピッチ A と等しいというものとする。また、配列方向が平行とは、配列方向同士がなす角度の絶対値が 0.1 度以内であることを指す。また、配列方向が直交とは、配列方向同士がなす角度の絶対値が 89.9 度以上 90.1 度以下であることを指す。

10

【0021】

以下に、具体例として、複数の小遮蔽格子により構成されたX線位相イメージングに用いられる遮蔽格子について、図を用いて説明する。

【0022】

透過部9と遮蔽部8とが交差する2方向に周期的に配列された2次元の格子領域の構造(以下、2次元周期構造と呼ぶことがある)1の例を図4(a)に示す。また、透過部9と遮蔽部8とが1方向に周期的に配列された1次元の格子領域の構造(以下、1次元周期構造と呼ぶことがある)2の例を図4(b)に示す。本実施形態の遮蔽格子4は、2次元周期構造1を有する遮蔽部と、2次元周期構造1の外周の少なくとも一部に形成された1次元周期構造2を有する遮蔽部から成る複数枚の小遮蔽格子3より構成されている。1次元周期構造2は2次元周期構造1が有する配列方向(x方向、y方向)のうち、1つの方向と同じ配列方向を有し、この配列方向に対して2次元周期構造1と同じピッチで遮蔽部が配置されていることが好ましい。

20

【0023】

基板に対して垂直方向から見たときに、小遮蔽格子3の外周に形成された1次元周期構造2同士が重なるように、小遮蔽格子同士を重ね合わせる。このとき、1次元周期構造の配列方向同士が交差するように遮蔽格子同士を重ね合わせる。これにより、重なり領域も透過部と遮蔽部とが交差する2方向に周期的に配列された領域となる。加えて、重なり領域におけるX線透過率を2次元周期構造とのX線透過率と同程度とすることが可能である。

30

【0024】

2次元周期構造1としては、メッシュ状構造が好ましく、このメッシュ状構造の配列方向が直交することがより好ましい。また、2次元周期構造の2つの配列方向のそれぞれと、重なり領域における2つの配列方向のそれぞれとが一致することが好ましい。そのためには、重ね合わせる小遮蔽格子同士の2次元周期構造が同じ配列方向(第1と第2の方向とする)を有し、且つ、重なり領域において重なり合う1次元周期構造の一方の配列方向が第1の方向であり、もう一方の配列方向が第2の方向であればよい。

【0025】

メッシュ状の小遮蔽格子の場合、1枚ではX線の透過率が理想的には $1/4$ (配列方向が直交する場合)だが、小遮蔽格子の2次元周期構造同士を2枚重ねると完全に遮光してしまう可能性がある。

40

【0026】

図7に示すように、2次元周期構造のみを有する小遮蔽格子31同士の重なりによりモアレ縞が形成されるような場合でも、重なり領域の平均的な透過率は $1/16$ となってしまう。

【0027】

複数の小遮蔽格子を正確な位置合わせを行って固定すれば、重なり領域におけるX線透過率は、小遮蔽格子同士が重なり合わない領域(以下、中央領域と呼ぶことがある)のX線透過率と変わらない。しかしながら、遮蔽格子は μm オーダーの遮蔽部から成るため、

50

少なくとも μm オーダーの位置合わせ精度が必要となるため、重ね合わせが難しかった。

【0028】

これに対し、本実施形態のメッシュ状に2次元周期構造1を持つ小遮蔽格子3同士は、2枚の小遮蔽格子3が有する1次元周期構造同士を配列方向が交差するように重ね合わせる。

【0029】

1枚の1次元状格子の透過率は $1/2$ (50%) であり、1次元周期構造2の配列方向が直交するように積層した場合 $1/4$ (25%) となる。このとき、数度の回転誤差や μm オーダーの位置合わせ誤差があったとしても、透過率はほとんど変わらない。

【0030】

このため、2次元周期構造1の外周に1次元周期構造2を形成した小遮蔽格子3を複数枚作製し、1次元周期構造2同士を重ね合わせて遮蔽格子4とすることで、2次元周期構造のみを有する遮蔽格子の2次元周期構造同士を重ね合わせた遮蔽格子よりも容易な位置合わせで大面積の遮蔽格子4を作製することができる。

【0031】

2次元周期構造の配列方向が直交するとき、基板に対して垂直方向から見たときに、重なり領域における1次元周期構造2同士の配列方向も直交することが好ましい。また、小遮蔽格子同士を重ね合わせるときに、小遮蔽格子の1次元周期構造は、隣り合う小遮蔽格子の1次元構造と重ならない領域を有していても良いし、1次元周期構造2と2次元周期構造1の一部が重なり合っても良い。1次元周期構造の一部が重なり合わなかった場合、その領域の透過率は50%であり、2次元周期構造の透過率(25%)と異なる。しかし、2次元周期構造のみを有する小遮蔽格子の2次元周期構造同士が重なり合わなかった場合の透過率(100%)よりも、2次元周期構造の透過率に近く、1次元周期構造の配列方向に対しての位相情報の取得が容易である。また、1次元周期構造2と2次元周期構造1の一部が重なり合う場合も、2次元周期構造同士が重なったときよりも、その重なり領域の透過率への影響は小さいため、位相情報の取得が容易である。但し、1次元周期構造2のうち、隣り合う小遮蔽格子の1次元周期構造と重ならない領域や、1次元周期構造2と2次元周期構造1が重なる領域は少ないほうが好ましく、小遮蔽格子が有する1次元周期構造の面積の $1/2$ 以上が、隣り合う小遮蔽格子のうち、共に重なり領域を形成する1次元周期構造と重なることが好ましく、その面積が $3/4$ 以上であることがより好ましく、1次元周期構造2部分のみが重ね合わされ、重なり合わない1次元周期構造がないことが更に好ましい。

【0032】

このため、1次元周期構造2部分と2次元周期構造1部分の境界は直線状であると積層が容易であるため好ましい。

【0033】

また、2次元周期構造1の配列方向が互いに直交する場合、2次元周期構造1を形成する領域は長方形(正方形を含む。)であることが好ましい。

【0034】

遮蔽格子は、1種類の小遮蔽格子を用いて構成して良いし、複数種類の小遮蔽格子3を組み合わせて構成しても良い。尚、小遮蔽格子の遮蔽部の形状が等しいとき、その小遮蔽格子は同じ種類の小遮蔽格子であるとし、小遮蔽格子の遮蔽部の形状が異なるとき、その小遮蔽格子は異なる種類の小遮蔽格子であるとする。

【0035】

1種類の小遮蔽格子3を用いて大面積の遮蔽格子を形成する場合に用いられる、小遮蔽格子の形状として2パターンを例示する。1つめの小遮蔽格子の形状の例(第1の形状)は、図1(a)に示した小遮蔽格子のように、2次元周期構造に対して対向する位置(2次元周期構造の上と下が対向する位置にあり、左と右も対向する位置にあるという)にある1次元周期構造同士の配列方向が交差する形状である。但し、2次元周期構造の配列方向が直交する場合、対向する位置にある1次元周期構造同士の配列方向も直交することが

10

20

30

40

50

好ましい。

【 0 0 3 6 】

2 つめの小遮蔽格子の形状の例（第 2 の形状）は、図 2（ a ）,（ b ）に示した小遮蔽格子のように、2 次元周期構造の上下左右の 4 つの 1 次元周期構造 2 の配列方向が平行な形状である。

【 0 0 3 7 】

第 2 の形状の小遮蔽格子を用いる場合は、隣り合う小遮蔽格子 3 が有する 1 次元周期構造の配列方向が交差するように、小遮蔽格子を回転させて重ね合わせる。

【 0 0 3 8 】

次に、2 種類の小遮蔽格子 3 を用いて大面積の遮蔽格子を形成する場合に用いられる、小遮蔽格子の形状の例として、第 3 の形状の小遮蔽格子と第 4 の形状の小遮蔽格子とを用いる場合について説明する。

10

【 0 0 3 9 】

第 3 と第 4 の形状の小遮蔽格子は、共に、2 次元周期構造に対して対向する位置にある 1 次元周期構造同士との配列方向が平行であり、且つ、隣り合う位置（つまり、対向しない位置）にある 1 次元周期構造同士との配列方向が交差する形状である。但し、2 次元周期構造の配列方向が直交する場合、隣り合う位置にある 1 次元周期構造同士との配列方向も直交することが好ましい。

【 0 0 4 0 】

第 3 の形状の小遮蔽格子 3 は、図 3（ b ）に示した小遮蔽格子のように、1 次元周期構造 2 が 2 次元周期構造 1 の遮蔽部の延長により形成される。つまり、2 次元周期構造の上下に位置する 1 次元周期構造は、上下に延びる遮蔽部が横方向に配列した構造であり、左右に位置する 1 次元周期構造は、左右に延びる遮蔽部が縦方向に配列した構造である。

20

【 0 0 4 1 】

一方、第 4 の形状の小遮蔽格子 3 は、図 3（ a ）に示した小遮蔽格子のように、1 次元周期構造 2 が 2 次元周期構造 1 の外周を囲うように形成する。つまり、2 次元周期構造の左右に位置する 1 次元周期構造は、上下に延びる遮蔽部が横方向に配列した構造であり、上下に位置する 1 次元周期構造は、左右に延びる遮蔽部が縦方向に配列した構造である。

【 0 0 4 2 】

複数枚の小遮蔽格子 3 を平面状に貼り合わせるとき、3 枚分以上の周期構造体が重なる可能性がある。

30

【 0 0 4 3 】

積層枚数が 3 枚以上となり、3 つ以上の 1 次元周期構造が重なると、その領域の透過率が中央領域よりも低下することがある。よって、遮蔽格子が 3 枚以上の小遮蔽格子を有する場合、重なり領域が 2 つの小遮蔽格子の 1 次元周期構造が重なることで形成され、3 つ以上の小遮蔽格子の 1 次元周期構造が重ならないように 1 次元周期構造を形成することが好ましい。

【 0 0 4 4 】

例えば、小遮蔽格子のそれぞれは、図 1（ a ）に示すように、2 次元周期構造 1 の頂点に接する 4 か所のエリアのうち 2 か所は 1 次元周期構造 2 を形成しないことが好ましい。この 2 か所に 1 次元周期構造を形成しないことで、小遮蔽格子の周期構造（1 次元と 2 次元を含む）が形成される領域は、四角形のうち、2 つの角を小さな四角形で切り落としたような形状を有する。切り落とした小さな四角形は、1 次元周期構造の幅 × 1 次元周期構造の高さであることが好ましい。

40

【 0 0 4 5 】

図 1 ～ 3 に示した小遮蔽格子 3 は、2 次元周期構造 1 の外周 4 辺に接するように 1 次元周期構造 2 を形成しているが、対向する位置にある 1 次元周期構造 2 のみを形成しても良い。例えば、図 5（ a ）に示す小遮蔽格子のように、対向する位置にある 1 次元周期構造の配列方向が交差する小遮蔽格子を、図 5（ b ）に示すように、1 次元周期構造の配列方向が交差するように重ね合わせればよい。また、図 5（ c ）に示す小遮蔽格子のように、

50

対向する位置にある 1 次元周期構造の配列方向が平行な小遮蔽格子を、図 5 (b) に示すように、1 次元周期構造の配列方向が交差するように重ね合わせても良い。

【 0 0 4 6 】

小遮蔽格子のそれぞれは、平面でも良いし、図 6 (a) に示した断面図のように、湾曲していても良い。湾曲した小遮蔽格子を用いると、発散する X 線を用いる場合であっても、格子の中心から遠い領域で生じる X 線のケラレ (影) を軽減させることができる。発散する X 線とは、点光源状の X 線源から射出されるコーンビーム又はファンビームのような X 線のことを指す。また、ここでいう格子の中心とは、遮蔽格子のうち、X 線が照射される領域の中心のことを指すものとする。ケラレを軽減させるためには、小遮蔽格子のそれぞれが、X 線源との距離を曲率半径として湾曲した形状を有することが好ましい。このとき、小遮蔽格子のそれぞれは、ファンビームのように 1 方向に発散する X 線の場合はシリンドリカル面を有するように湾曲し、コーンビームのように 2 方向に発散する X 線の場合は球の表面の一部に沿うような形状を有するように湾曲していることが好ましい。加えて、これらの小遮蔽格子のそれぞれの法線 5 が 1 点で交差するように小遮蔽格子同士を重ね合わせることが好ましい。交差する点とそれぞれの小遮蔽格子との距離は、曲率半径と等しいことが好しく、交差する点に X 線源を配置すれば、理論的にはケラレを解消することができる。実際には、小遮蔽格子の法線同士が交差すれば、ケラレの軽減という効果を得ることができる。

10

【 0 0 4 7 】

また、小遮蔽格子のそれぞれが平面であっても、図 6 (b) に示した断面図のように、小遮蔽格子のそれぞれの法線 (平面に垂直な線とする) が 1 点で交わるように小遮蔽格子同士を重ね合わせることで、同様の効果を得ることができる。この場合、角度を有する支持基板 6 に小遮蔽格子を配置することで小遮蔽格子のそれぞれの法線が交差するように配置することができる。角度を有する支持基板 6 の代わりに、図 6 (c) のように凸部を有する支持基板 7 を用い、小遮蔽格子の一部が凸部に配置されるように小遮蔽格子を支持基板 7 に配置しても同様の効果が得られる。また、図 6 (d) のように、小遮蔽格子自体の厚みを利用して、小遮蔽格子のそれぞれの法線が交差するように配置しても良い。この場合、小遮蔽格子の厚みを調整することで、法線が交差する点と遮蔽格子との距離を適宜調整することができる。

20

【 0 0 4 8 】

尚、このように、小遮蔽格子同士の法線が交差するように小遮蔽格子を配置する場合 (小遮蔽格子の湾曲の有無は問わない) 、小遮蔽格子のそれぞれの形状は特に問わず、法線が平行である時と同様に、例示した図 1 ~ 3、5 のいずれであっても良い。

30

【 0 0 4 9 】

小遮蔽格子 3 を製造する方法は特に問わないが、例としてめっきを用いて小遮蔽格子を製造する方法について説明をする。平滑な基板表面に感光性レジストや Si により高アスペクト比の構造物を形成し、その間をめっき物で充填する。高アスペクト比の構造物は、例えば、シリコン基板をエッチングすることによって形成することができる。高アスペクト比の構造物は透過部 9 を形成し、めっき物が充填されて形成される構造物は遮蔽部 8 を形成する。

40

【 0 0 5 0 】

めっき物は、X 線透過率の低い材料であればよいが、めっきが比較的容易なため、金又は白金あるいは、これらの金属を含む合金が好ましい。

【 0 0 5 1 】

以上のようにして製造した遮蔽格子 4 は、位相格子 1 8 ・検出器 1 9 とともに、トルポット干渉計 1 5 を構成することができる。また、トルポット干渉計 1 5 は、X 線源 2 0 と計算機 1 6 とともに用いることにより、X 線トルポット干渉システム 1 5 0 を構成することが可能である。また、X 線を周期的に遮蔽する格子として、それ以外の用途にも用いることができる。例えば、X 線発生手段 2 と組み合わせて、X 線の空間的可干渉性を上げる線源格子 1 2 として用いることもできる。

50

【実施例】

【0052】

以下に、本発明の実施例について説明する。

【0053】

[実施例1]

実施例1として、2次元周期構造に対して対向する位置にある1次元周期構造同士が直交した配列方向を有する小遮蔽格子(第1の形状の小遮蔽格子)3を貼り合わせて構成した遮蔽格子4の例について、図1を用いて説明する。

【0054】

本実施例においては、用いる小遮蔽格子3は1種類とすることができる。このときの小遮蔽格子3を図1(a)に示す。

10

【0055】

長方形の領域に2次元周期構造1が形成され、その外周に1次元周期構造2が形成されている。2次元周期構造の配列方向同士(x方向、y方向)は直交しており、

対向する領域の1次元周期構造の配列方向同士は、互いに直交している。また、対向する領域の1次元周期構造のうち、いずれか1つの1次元周期構造の配列方向と、2次元周期構造の配列方向のうちの1つとは平行である。同様にもう1つの1次元周期構造の配列方向と、2次元周期構造の配列方向の1つも平行である。つまり、図1(a)において、2次元周期構造の上に位置する1次元周期構造の配列方向はy方向であり、2次元周期構造の下に位置する1次元周期構造の配列方向はx方向である。また、2次元周期構造の左に位置する1次元周期構造の配列方向はy方向であり、2次元周期構造の右に位置する1次元周期構造の配列方向はx方向である。

20

【0056】

このときの1次元構造のx方向におけるピッチと2次元構造のx方向におけるピッチは等しい。同様に、1次元周期構造のy方向におけるピッチと2次元構造のy方向におけるピッチは等しい。尚、図1では、x方向におけるピッチとy方向におけるピッチは等しいが、異なっても良い。複数の小遮蔽格子3を同じ方向に向け、図1(b)のように1次元周期構造2を重ね合わせて遮蔽格子4を構成する。これにより、1次元周期構造の重ね合わせにより形成される格子パターンと、2次元周期構造の格子パターンが一致する。

【0057】

30

つまり、複数の小遮蔽格子同士の、小遮蔽格子全体における透過部と遮蔽部の配列によって形成される格子パターンが一致している遮蔽格子4が構成される。別の言い方をすると、第1の小遮蔽格子の1次元周期構造と、第1の小遮蔽格子と隣接する第2の小遮蔽格子の1次元周期構造とにより、第1と第2の小遮蔽格子が有する2次元周期構造と同じ形状を有する2次元周期構造が形成される。

【0058】

これにより、連続する2次元周期構造形成領域が単一の小遮蔽格子と比較して大面積化する。

【0059】

小遮蔽格子3の作製には、LIGAプロセスを用いることができる。6インチSiウェハー中央部90mm角エリアに5 μ mピッチ・線幅2.5 μ m、厚さ50 μ mのメッシュ状構造を金めっきで形成する。メッシュ状構造の外周には幅1mmで図1(a)と同様の1次元構造を5 μ mピッチ・線幅2.5 μ mで作製する。これにより、4角形が有する4つの頂点(角)に接するエリアのうちの同じ辺に接する2つのエリアが切り落とされた形状の格子パターンを有する小遮蔽格子3が形成される。

40

【0060】

同様にして合計4枚の小遮蔽格子3を作製し、1mm幅の1次元周期構造を重ねて貼り合わせることで181mm角の遮蔽格子4を得ることができる。

【0061】

[実施例2]

50

実施例 2 として、1 次元周期構造の配列方向が平行であり、隣り合う小遮蔽格子（第 2 の形状の小遮蔽格子）3 を 90° 回転させて重ね合わせることで構成した遮蔽格子 4 の例を、図 2 を用いて説明する。

【0062】

本実施例においても、用いる小遮蔽格子 3 は 1 種類とすることができる。

【0063】

このときの小遮蔽格子 3 の構造を図 2 (a) に示す。長方形の領域に 2 次元周期構造が形成され、その外周に 1 次元周期構造が形成されている。

【0064】

小遮蔽格子 3 内では、1 次元周期構造の配列方向は互い平行である。また、1 次元構造のピッチと 2 次元構造のピッチは等しい。

【0065】

図 2 (a) に示した小遮蔽格子の隣には、図 2 (b) のように、図 2 (a) を 90° 回転させた小遮蔽格子を重ね合わせる。これにより、重ね合わせた領域において 2 つの配列方向は直交する。

【0066】

図 2 (c) のように 1 次元周期構造を重ね合わせて遮蔽格子 4 を構成することにより、連続する 2 次元周期構造形成領域が単一の小遮蔽格子 3 と比較して大面積化する。

【0067】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。

【符号の説明】

【0068】

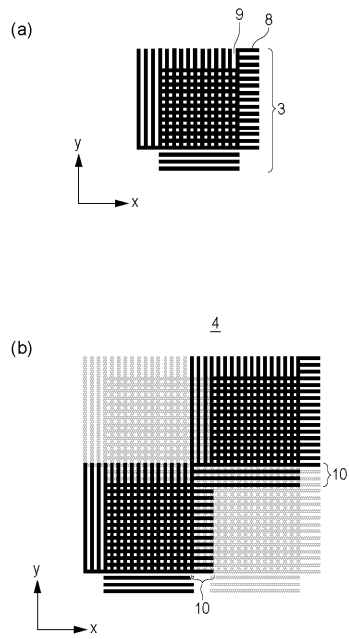
- 1 二次元周期構造
- 2 一次元周期構造
- 3 小遮蔽格子
- 4 遮蔽格子
- 8 遮蔽部
- 9 透過部
- 10 重なり領域

10

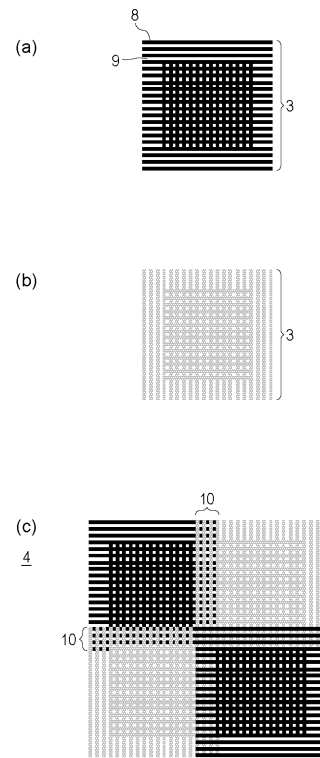
20

30

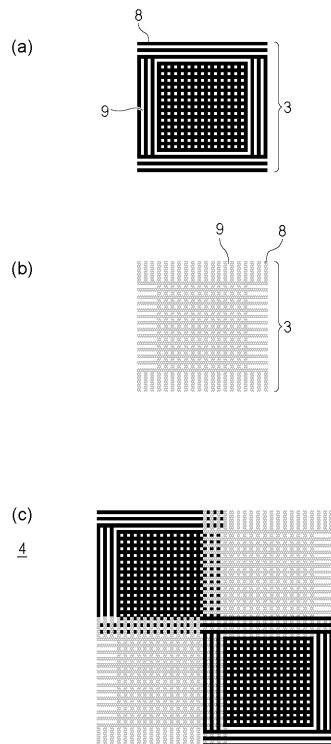
【図 1】



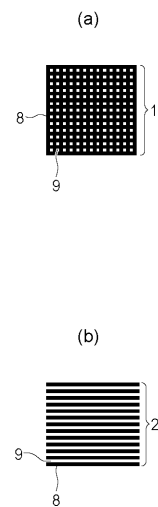
【図 2】



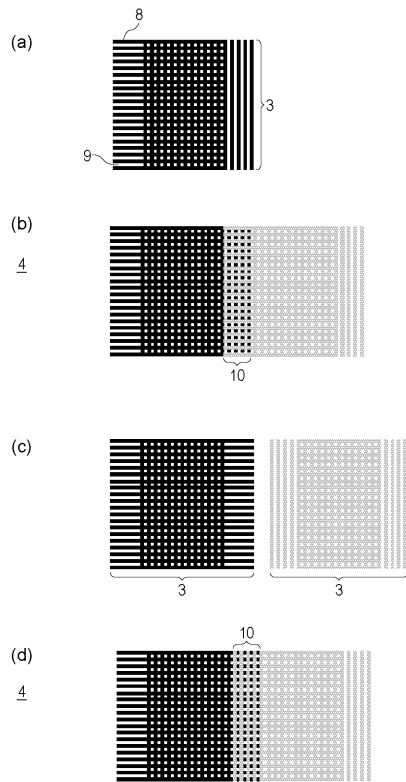
【図 3】



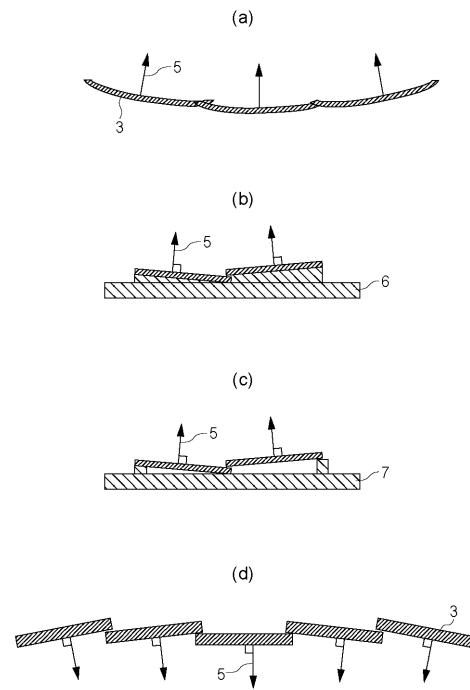
【図 4】



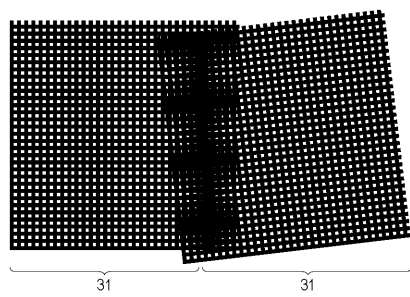
【図 5】



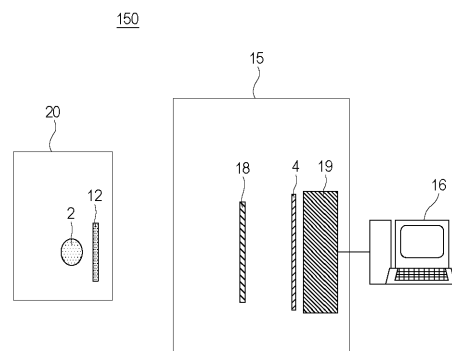
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2009-276342 (J P , A)
特開2012-45099 (J P , A)
米国特許出願公開第2010/0080341 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 1 T 7 / 0 0
A 6 1 B 6 / 0 0
G 0 1 N 2 3 / 0 4