

(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2010-99287

(P2010-99287A)

(43) 公開日 平成22年5月6日(2010.5.6)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
A 6 1 B 6/00 (2006.01)	A 6 1 B 6/00 3 3 0 Z	4 C 0 9 3
A 6 1 B 6/03 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 2 0 P	
A 6 1 B 6/06 (2006.01)	A 6 1 B 6/06 3 3 1	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2008-273821 (P2008-273821)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成20年10月24日 (2008.10.24)		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	100105289
			弁理士 長尾 達也
		(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
		(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線位相イメージングに用いられる位相格子及びその製造方法、該位相格子を用いたX線位相コントラスト像の撮像装置、X線コンピューター断層撮影システム

(57) 【要約】

【課題】 位相格子と平行な面内でのX線の強度分布との関係において、位相格子を構成する回折格子の縞状構造部の厚さを、所定の厚さとすることによって、

位相格子と明暗周期像との距離の短縮化を図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位相格子等を提供する。

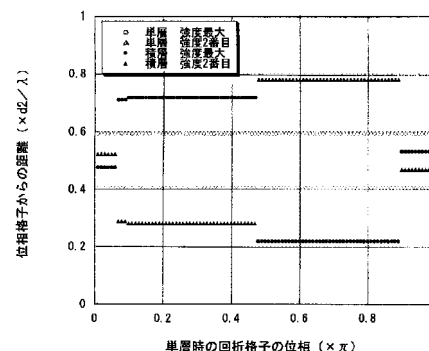
【解決手段】 X線位相イメージングに用いられる位相格子であって、

前記位相格子は、互いに平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的に配列されて構成された回折格子を備え、

前記回折格子の縞状構造部は、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、

該縞状構造部の厚さは、前記位相格子と平行な面内でのX線の強度分布を所定強度にするために、前記透過するX線に対して位相を必要量シフトさせる厚さに設定され、

前記回折格子が、前記縞状構造部が配列されている周



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X 線位相イメージングに用いられる位相格子であって、

前記位相格子は、互いに平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的に配列されて構成された回折格子を備え、

前記回折格子の縞状構造部は、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、

該縞状構造部の厚さは、前記位相格子と平行な面内での X 線の強度分布を所定強度にするために、前記透過する X 線に対して位相を必要量シフトさせる厚さに設定され、

前記回折格子が、前記縞状構造部が配列されている周期方向に互いにずらして積層された構造を有することを特徴とする X 線位相イメージングに用いられる位相格子。

10

【請求項 2】

前記位相のシフト量が、前記透過する X 線に対して $A\pi$ (但し $0 < A < 1$) であることを特徴とする請求項 1 に記載の X 線位相イメージングに用いられる位相格子。

【請求項 3】

前記縞状構造部の幅が、前記周期的に配列された前記縞状構造部の間隔と等しいことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の X 線位相イメージングに用いられる位相格子。

【請求項 4】

前記積層された回折格子は、第 1 の回折格子と第 2 の回折格子からなり、

20

前記第 2 の回折格子が、前記第 1 の回折格子に対しその周期方向に $1/4$ ピッチずらして積層されていることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の X 線位相イメージングに用いられる位相格子。

【請求項 5】

前記第 1 の回折格子が単一基板の一方の面側に形成され、

前記単一基板の他方の面側に、前記第 2 の回折格子が前記第 1 の回折格子に対し、その周期方向に $1/4$ ピッチずらして形成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の X 線位相イメージングに用いられる位相格子。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の X 線位相イメージングに用いられる位相格子を用い、X 線位相コントラスト像の撮像が可能に構成されてい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。

30

【請求項 7】

請求項 6 に記載の X 線位相コントラスト像の撮像装置を有することを特徴とする X 線コンピュータ断層撮影システム。

【請求項 8】

X 線位相イメージングに用いられる位相格子の製造方法であって、

互いに平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的に配列されて構成された回折格子を作製するに際し、

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、該厚さを前記透過する X 線に対して位相を $A\pi$ (但し $0 < A < 1$) シフトさせた厚さの縞状構造部を備えた複数の回折格子を作製する工程と、

40

前記工程において作製された複数の回折格子を、前記縞状構造部が配列されている周期方向に互いにずらして積層する工程と、

を有することを特徴とする X 線位相イメージングに用いられる位相格子の製造方法。

【請求項 9】

前記回折格子を作製する工程は、

前記回折格子として、前記縞状構造部が直線状に形成されて一定の間隔で平行に周期的に配列されたライン状の回折格子による第 1 及び第 2 の回折格子を形成し、

前記第 1 の回折格子を単一基板の一方の面側に形成すると共に、

50

前記単一基板の他方の面側に、前記第 2 の回折格子が前記第 1 の回折格子に対しその周期方向に 1 / 4 ピッチずらして形成する工程を含むことを特徴とする請求項 8 に記載の X 線位相イメージングに用いられる位相格子の製造方法。

【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位相格子及びその製造方法、該位相格子を用いた X 線位相コントラスト像の撮像装置、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】

10

【0002】

従来、X 線の吸収能の違いを利用してコントラスト画像を得る X 線透視画像技術が検討されてきた。

しかし、X 線の吸収能は軽元素になればなるほど小さくなるため、生体軟組織やソフトマテリアルに対しては十分なコントラストが期待できないという問題がある。

そこで、近年、X 線の位相変化量に基づいてコントラストを発生させる撮像方法が検討されている。この位相コントラストを利用した X 線位相イメージング法の一つとして、タルボ干渉を用いた撮像方法がある。

【0003】

20

図 10 にタルボ干渉法の構成例を示す。

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 13、X 線の位相を周期的に変調するための位相型回折格子（以下、位相格子と記す）15、検出器 17 が少なくとも必要である。

空間的に可干渉な X 線は、位相格子 15 を透過した後の X 線強度分布が位相格子 15 の形状を反映したものになる。

位相格子を透過した X 線の位相は周期的に変調され、位相差が $\pi / 2$ である位相格子を用いた場合には、位相格子からの距離が

$$(n - 1 / 2) \times (d^2 / \lambda)$$

の位置、及びその周辺位置に高コントラストの明暗周期像が現れる。

30

ここで、 d は位相格子 15 のピッチ、 λ は X 線の波長、 n 整数である。

なお、本明細書において、位相格子のピッチとは、位相格子中における上記一定の間隔で平行に周期的に配列された直線状の構造体による周期を指している。

また、本明細書において、一定の間隔で平行に周期的に配列された直線状の構造体を、縞状構造部と定義する。

したがって、位相格子は、このような互いに平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的に配列された回折格子によって構成された構造を備える。

これらについて、更に具体的に説明すると、位相格子のピッチとは、図 9 の位相格子の模式図に示されているように、ある縞状構造体とそれに隣接する縞状構造体との間における、中心部分同士の距離 C を指し、或はそれら格子の端面同士の距離 C' を指している。

40

また、この縞状構造部の幅とは、図 9 に A で示されている X 線が透過する方向に対し垂直な方向の縞状構造部の長さ（縞状構造部の短辺側の長さ）を指している。

また、この縞状構造部の高さ（厚さ）とは、図 9 に B で示されている X 線の透過する方向と同方向の縞状構造部の長さ（縞状構造部の長辺側の長さ）を指している。

また、この縞状構造部における間隙とは、図 9 に D で示されている縞状構造部と縞状構造部の間隔を指している。

【0004】

このように、位相格子から特定の距離において位相格子のピッチと同一周期の明暗周期像が形成される現象が、タルボ効果である。

図 10 のように、位相格子の前に被検体 14 を配置すると、照射された X 線は被検体 14 により屈折する。

50

そのため、被検体 14 を透過して屈折された X 線により形成された明暗周期像を検出すれば、被検体 14 の位相像を得ることができる。

但し、明暗周期像は位相格子と同一ピッチであるため、直接検出するためには、空間分解能の高い X 線画像検出器が必要となる。

このような場合、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 16 を用いることができる。

吸収格子 16 を明暗周期像が形成される位置に配置すれば、この明暗周期像と吸収格子 16 との重なりによりモアレ縞が発生する。

つまり、位相シフトの情報はモアレ縞の変形として検出器 17 により観察することができる。

10

【0005】

ところで、X 線位相コントラスト像の撮像装置の小型化を図る際、明暗周期像を位相格子 15 のなるべく近くに形成することが望ましい。

このように位相格子 15 から明暗周期像までの距離を短縮する方法の一つとして、位相格子 15 のピッチを小さくすることが挙げられる。

【0006】

しかしながら、位相格子 15 のピッチを小さくしようとすると、上記縞状構造部における幅 A と間隙 D も小さくせざるを得ない。

したがって、縞状構造部における厚さ（高さ）B / 縞状構造部における間隙 D、あるいは縞状構造部における厚さ（高さ）B / 縞状構造部における幅 A によって規定されるアスペクト比が大きくなり、作製するのが困難になる。

20

例えば、位相格子 15 の材料として Si を用いた場合、20 keV の X 線における位相を π シフトさせるのに必要な厚みは 29.2 μm 程度である。

また、スリット状の位相格子 15 を作製する場合、求める分解能により 2 μm 程度のピッチ、すなわち 1 μm の開口幅で作製することが求められることとなる。このとき、アスペクト比は 30 程度となり、大面積の回折格子を作製することは難しい。

【0007】

このようなことから、特許文献 1 では、アスペクト比の低い部分格子を用いて積層し、実質的なアスペクト比を高くした回折格子を作製している。

具体的には、図 11 に示すように、容易に作製可能であるアスペクト比の低い部分格子 18 を縦方向に積層することで、見かけ上の突条部の高さを高くし、アスペクト比の高い回折格子を作製している。

30

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2007 / 0183579 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記したように、従来例の特許文献 1 のものでは、低アスペクト比の部分格子 18 を積層することにより、見かけ上の突条部の高さを高くし、高アスペクト比である回折格子を作製している。

特許文献 1 のように多層化した位相格子を用いることで、単層の位相格子と比較し、一応、位相格子と明暗周期像の距離を短縮することはできる。

40

しかしながら、特許文献 1 では、部分格子を積層するに際して、位相格子と平行な面内での X 線の強度分布との関係において、部分格子の厚さを所定の厚さとすることによって、上記距離を短縮化させるようにすることについては、何も言及されていない。

【0009】

本発明は、上記課題に鑑み、位相格子と平行な面内での X 線の強度分布との関係において、位相格子を構成する回折格子の縞状構造部の厚さを、所定の厚さとすることによって、

位相格子と明暗周期像との距離の短縮化を図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位相格子及びその製造方法を提供することを目的とする。また、本発明は、

50

上記の位相格子を用いた X 線位相コントラスト像の撮像装置、該撮像装置を有する X 線コンピュータ断層撮影システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、以下のように構成した X 線位相イメージングに用いられる位相格子及びその製造方法、該位相格子を用いた X 線位相コントラスト像の撮像装置、X 線コンピュータ断層撮影システムを提供する。

本発明は、X 線位相イメージングに用いられる位相格子であって、

前記位相格子は、互いに平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的に配列されて構成された回折格子を備え、

前記回折格子の縞状構造部は、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、

該縞状構造部の厚さは、前記位相格子と平行な面内での X 線の強度分布を所定強度にするために、前記透過する X 線に対して位相を必要量シフトさせる厚さに設定され、

前記回折格子が、前記縞状構造部が配列されている周期方向に互いにずらして積層された構造を有することを特徴とする。

また、本発明の X 線位相イメージングに用いられる位相格子は、前記位相のシフト量が、前記透過する X 線に対して $A\pi$ (但し $0 < A < 1$) であることを特徴とする。

また、本発明の X 線位相イメージングに用いられる位相格子は、前記縞状構造部の幅が、前記周期的に配列された前記縞状構造部の間隔と等しいことを特徴とする。

また、本発明の X 線位相イメージングに用いられる位相格子は、前記積層された回折格子が、第 1 の回折格子と第 2 の回折格子からなり、

前記第 2 の回折格子が、前記第 1 の回折格子に対しその周期方向に $1/4$ ピッチずらして積層されていることを特徴とする。

また、本発明の X 線位相イメージングに用いられる位相格子は、

前記第 1 の回折格子が単一基板の一方の面側に形成され、

前記単一基板の他方の面側に、前記第 2 の回折格子が前記第 1 の回折格子に対し、その周期方向に $1/4$ ピッチずらして形成されていることを特徴とする。

また、本発明の X 線位相コントラスト像の撮像装置は、上記したいずれかに記載の X 線位相イメージングに用いられる位相格子を用い、X 線位相コントラスト像の撮像が可能に構成されていることを特徴とする。

また、本発明の X 線コンピュータ断層撮影システムは、上記した X 線位相コントラスト像の撮像装置を有することを特徴とする。

また、本発明の X 線位相イメージングに用いられる位相格子の製造方法は、

互いに平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的に配列されて構成された回折格子を作製するに際し、

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、該厚さを前記透過する X 線に対して位相を $A\pi$ (但し $0 < A < 1$) シフトさせた厚さの縞状構造部を備えた複数の回折格子を作製する工程と、

前記工程において作製された複数の回折格子を、前記縞状構造部が配列されている周期方向に互いにずらして積層する工程と、を有することを特徴とする。

また、本発明の X 線位相イメージングに用いられる位相格子の製造方法は、

前記回折格子を作製する工程が、

前記回折格子として、前記縞状構造部が直線状に形成されて一定の間隔で平行に周期的に配列されたライン状の回折格子による第 1 及び第 2 の回折格子を形成し、

前記第 1 の回折格子を単一基板の一方の面側に形成すると共に、

前記単一基板の他方の面側に、前記第 2 の回折格子が前記第 1 の回折格子に対しその周期方向に $1/4$ ピッチずらして形成する工程を含むことを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

10

20

30

40

50

本発明によれば、位相格子と平行な面内でのX線の強度分布が最大または二番目となる位相格子からの距離が、単層の位相格子の場合と比較して短縮される積層型位相格子及びその製造方法を実現することができる。

また、本発明によれば、上記の位相格子を用いたX線位相コントラスト像の撮像装置、該撮像装置を有するX線コンピューター断層撮影システムを実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

つぎに、本発明の実施形態について説明する。

図1に、2層のライン状回折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位相格子の構成例を説明する図を示す。

図1において、1はX線、2は1層目の回折格子、3は2層目の回折格子である。

本実施形態の位相格子は、互いに平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的にライン状に配列されて構成された2層のライン状回折格子が、入射するX線に対して、上記縞状構造部が配列されている周期方向にずらして積層して構成されている。

本実施形態では、このような複数の回折格子を積層した位相格子において、

上記縞状構造部の厚さが、前記位相格子と平行な面内でのX線の強度分布を所定強度にするために、前記透過するX線に対して位相を必要量シフトさせる厚さに設定された構成例について説明する。

【0013】

本実施形態において、前記回折格子における前記縞状構造部は、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ている。

また、この縞状構造部の厚さは、前記透過するX線に対して位相を $A\pi$ シフトさせる厚さに形成されている。但し、 $0 < A < 1$ である。

そして、上記2層のライン状回折格子を積層する際には、図1に示すように、入射するX線に対し2層目の回折格子3（第2の回折格子）を、1層目の回折格子2（第1の回折格子）の周期方向に4分の1ピッチずらして積層する。

X線1は基板に対して垂直方向から入射する。入射したX線は、回折格子の $A\pi$ シフト部を1層分通過する部分、2層分通過する部分、通過しない部分とがある。

【0014】

このとき、透過するX線は図2に示すように、X線が位相変化せずに透過する領域6と、位相差 $A\pi$ の領域5、位相差 $2A\pi$ の領域4を形成する。

ここで、積層された位相格子を透過したX線の強度が最大及び2番目となる位置と、回折格子の位相シフト量の関係に関するシミュレーション結果を図3に示す。

ここでの位相シフト量とは、回折格子単層時（回折格子1層分）に透過したX線の位相が変化する量である。

例えば、図1及び図2に示す位相格子において、位相のシフト量は $A\pi$ である。

また、位相格子における縞状構造部の幅と間隙は等しく、積層された位相格子は周期方向に1/4ピッチ互いにずれているとした。

なお、図3の横軸は回折格子を透過した時のX線の位相シフト量を示す。

縦軸は位相格子からの距離を示しており、 (d^2/λ) を100分割し、 $(d^2/\lambda) \times (1/100) \sim (d^2/\lambda) \times (99/100)$ の間を $1/100 \times (d^2/\lambda)$ 間隔で計算した。

縦軸は位相格子を透過したX線が形成する明暗周期像と、位相格子の距離である。

白丸プロットは、回折格子単層時における明暗周期像の最大強度となる位置と、位相格子との距離を、位相格子の位相シフト量毎に示している。

また、白三角プロットは回折格子単層時における明暗周期像の2番目の強度となる位置と、位相格子との距離を、位相格子の位相シフト量毎に示している。

同様に、黒丸プロットは回折格子積層時における明暗周期像の最大強度となる位置と位相格子との距離を、黒三角プロットは回折格子積層時における明暗周期像の2番目の強度となる位置と位相格子との距離を示している。

【 0 0 1 5 】

図 3 に示されているように、位相格子を透過した X 線の強度が最大または 2 番目の強度における位相格子からの距離は、そのいずれか一方の短い方の距離において、単層よりも積層した位相格子を用いたときの方が短縮される。

図より、 $0.07 < A < 0.89$ の範囲が効果的である。

ただし、 $0 < A < 0.07$ 、 $0.8 < A < 1$ の範囲においても、強度が 3 番目に強い位置を加味してみれば、積層の効果をみとめることができる。

【 0 0 1 6 】

上記位相格子を製造するに際し、該位相格子を構成する個々の回折格子は、基板表面または基板内部またはその両方に形成することができる。

図 4 に示すように基板 8 を形成する材料と異なる材料を用いて位相差 $A\pi$ の縞状構造部 7 を形成しても良いし、図 5 のように基板の一部を加工して縞状構造部を備えた回折格子 9 としても良い。

また、図 5 に示す回折格子は非貫通構造であるが、貫通していても良い。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。

図 5 において縞状構造部の間隙の少なくとも一部を、縞状構造部を形成する材料と異なる材料により充填しても良い。

例えば、図 6 において、縞状構造部 a 1 0 を透過した X 線と、縞状構造部 b 1 1 を透過した X 線の位相差が $A\pi$ となるような材料を選択する。

さらに、多層化した回折格子を得るためには、図 7 のように回折格子を形成した基板を 2 枚以上積層しても良いし、図 8 のように基板の表裏を加工して作製した回折格子 1 2 を用いても良い。

例えば、前記第 1 の回折格子が単一基板の一方の面側に形成し、前記単一基板の他方の面側に、前記第 2 の回折格子をその周期方向に $1/4$ ピッチずらして作製するようにしても良い。

積層時には、回折格子同士が接するように加工済み基板を積層することが好ましいが、離れていても良い。この時に基板は互いに平行になるように積層する。

【 0 0 1 7 】

また、アライメントを行うため基板に予めアライメントマークを作製しても良い。

その他のアライメントの方法として、X 線顕微鏡により回折格子を拡大観察して位置合わせをすることもできる。

また、空間的に可干渉な X 線を照射しタルボ効果により得られる自己像を観察しながら位置合わせをしても良い。

位置合わせした後の位相格子は固定しても良いし、そのまま X 線位相像の観察を行っても良い。位相格子の固定時には、エポキシ樹脂などの接着剤や金 - 金接合、クランプなどを用いた機械的な固定などを用いることができる。

【 0 0 1 8 】

基板には 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。

形状は薄板状で、表裏が鏡面であればコントラストは良好と成る。例えば 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。

X 線の吸収は Si より大きい、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できる。

【 0 0 1 9 】

回折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。

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、ドライエッチングまたは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回折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

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

本実施形態の位相格子を用いることによって、空間的に可干渉な X 線源、検出器と組み合わせることでタルボ干渉計として用いることができる。

その際、吸収格子を用いてモアレ縞を形成した後に検出器を用いて出力を検出しても良い。

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。

本発明の実施形態においては、上記した実施形態の X 線位相イメージングに用いられる位相格子を X 線位相コントラスト像の撮像装置に用いることにより、X 線位相コントラスト像の撮像が可能となる撮像装置を実現することができる。

また、このような X 線位相コントラスト像の撮像装置を備えた X 線コンピューター断層撮影システムを実現することができる。

【 実施例 】

【 0 0 2 1 】

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 においては、位相格子として互いに平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的に配置されたライン状回折格子を積層した構成例について説明する。

本実施例においては、まず、4 インチ径の両面研磨 200 μm 厚シリコンウェハー表面にレジストコート後、フォトリソグラフィ法により 60 mm 角のエリアに線幅 2 μm 間隔 2 μm のレジストパターンを作製する。

次に、ディープ・リアクティブ・イオン・エッチング (D e e p - R I E) により次のような加工を行う。

すなわち、幅 2 μm 間隔 2 μm で深さが 9 μm のスリット構造を作製した後にレジストを除去する (図 5 参照) 。

17.7 keV の X 線において、9 μm 厚 Si と 9 μm 厚空気の位相差は 0.4 π となる。この位相格子に 17.7 keV の X 線をウェハーの垂直構造から照射する。

このとき、位相格子から 138 mm の位置において X 線強度の明暗像における X 線強度が最大となり、91.2 mm の位置において X 線強度の明暗像における X 線強度が 2 番目に強くなる。

【 0 0 2 2 】

次に、2 枚のウェハー表面に同様のパターンを作製する。

パターンが接するように 2 枚の加工済みシリコンウェハーを張り合わせる (図 7 参照) 。張り合わせ時には、スリット構造が互いに平行になるようにし、スリットの周期方向のずれ量が 1 μm になるようにする。

単層の場合と同様に 17.7 keV の X 線をウェハーの垂直構造から照射する。このとき、X 線強度の明暗像における X 線強度が最大となる位置は位相格子から 164 mm と長くなるものの、X 線強度の明暗像における X 線強度が 2 番目に強くなる位置は位相格子から 64 mm となる。

X 線の強度が最大または 2 番目となる位置のいずれか短いほうを比較すると、位相格子が単層の場合には X 線強度の明暗像の位相格子からの距離が 91.2 mm だったのに対し、積層した場合は 64.0 mm となり、約 30 % 短縮される。

【 0 0 2 3 】

[実施例 2]

実施例 2 においては、位相格子として互いに平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的に配置されたライン状回折格子を基板表裏に形成された構成例について説明する。

本実施例においては、まず、1 mm 厚アクリル板の表裏それぞれ 60 mm 角のエリアに幅 4 μm 間隔 4 μm で深さが 8.2 μm のスリット構造を作製する。

このとき、基板表裏に形成された縞状構造部は互いに平行で周期方向に 2 μm ずらして形成する (図 8 参照) 。

10

20

30

40

50

17.7 keVのX線において、8.2 μm厚アクリルと8.2 μm厚空気の位相差は0.2πとなる。

比較のためアクリル板の片面のみに幅4 μm間隙4 μmで深さが8.2 μmのスリット構造を形成した基板も作製する。

アクリル板の片面のみ縞状構造を形成した位相格子の場合、位相格子から539 mmの位置においてX線強度の明暗像におけるX線強度が最大となる。

また、357 mmの位置においてX線強度の明暗像におけるX線強度が2番目に強くなる。

【0024】

一方アクリル板の表裏に縞状構造を形成した基板にも、単層の場合と同様に17.7 keVのX線をウェハーの垂直構造から照射する。

このとき、X線強度の明暗像におけるX線強度が最大となる位置は位相格子から657 mmと長くなるものの、X線強度の明暗像におけるX線強度が2番目に強くなる位置は257 mmとなる。

X線の強度が最大または2番目となる位置のいずれか短い方を比較すると、位相格子が単層の場合にはX線強度の明暗像の位相格子からの距離が357 mmだったのに対し、積層した場合は257 mmとなり約30%短縮される。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の実施形態における2層のライン状回折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位相格子の構成例を説明する図。

【図2】本発明の実施形態における平行な直線状の縞状構造部が一定の間隔で周期的に配置した2層の回折格子からなる位相格子を透過したX線の位相差を示す図。

【図3】位相格子を積層したときに、透過したX線の強度が最大または2番目となる位置が単層位相格子時よりも位相格子に近くなることを説明する図。

【図4】本発明の実施形態における基板を形成する材料と異なる材料を用いて位相差Aπの回折格子を形成した構成例を説明する図。

【図5】本発明の実施形態における基板の一部を加工して回折格子を形成した構成例を説明する図。

【図6】本発明の実施形態における2種類の材料を加工して回折格子を形成した構成例を説明する図。

【図7】本発明の実施形態における回折格子を形成した基板を2枚積層した構成例を説明する図。

【図8】本発明の実施形態における基板の表裏を加工して作製した回折格子を用いた構成例を説明する図。

【図9】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、縞状構造部の高さ（高さ）、縞状構造部の幅、開口幅を説明するための模式図。

【図10】従来例であるX線位相像を得るためのタルボ干渉計を説明する図。

【図11】従来例である特許文献1を説明するための図。

【符号の説明】

【0026】

- 1：X線
- 2：1層目の回折格子
- 3：2層目の回折格子
- 4：位相差2Aπの領域
- 5：位相差Aπの領域
- 6：X線が位相変化せずに透過する領域
- 7：位相差Aπの縞状構造部
- 8：基板
- 9：基板の一部を加工して作製した回折格子

10

20

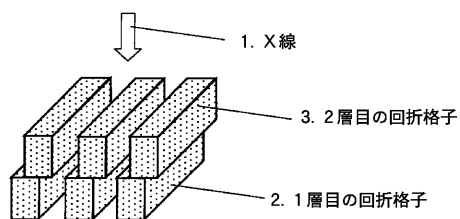
30

40

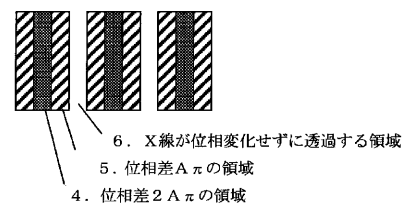
50

- 1 0 : 縞状構造部 a
- 1 1 : 縞状構造部 b
- 1 2 : 基板の表裏を加工して作製した回折格子
- 1 3 : X 線源
- 1 4 : 被検体
- 1 5 : 位相格子
- 1 6 : 吸収格子
- 1 7 : 検出器
- 1 8 : 部分格子

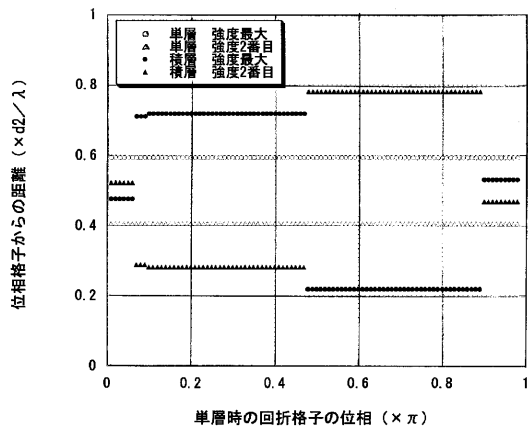
【 図 1 】



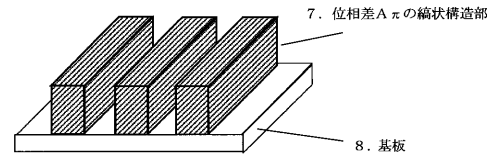
【 図 2 】



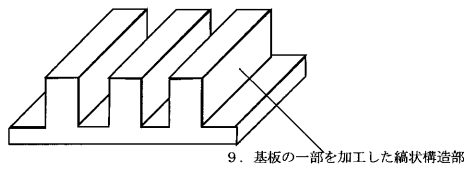
【図 3】



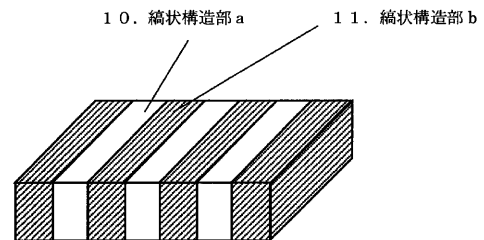
【図 4】



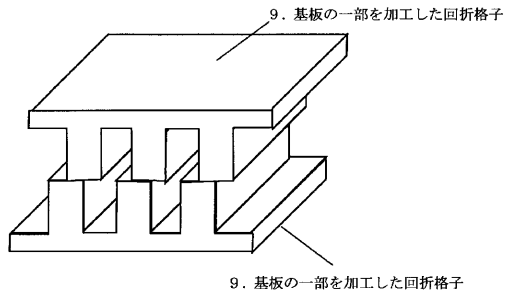
【図 5】



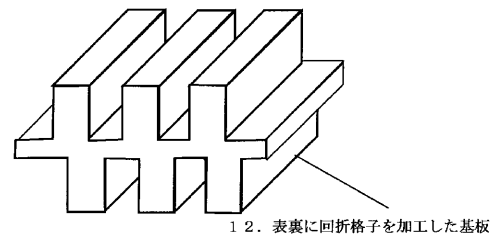
【図 6】



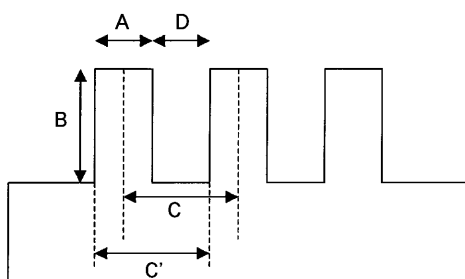
【図 7】



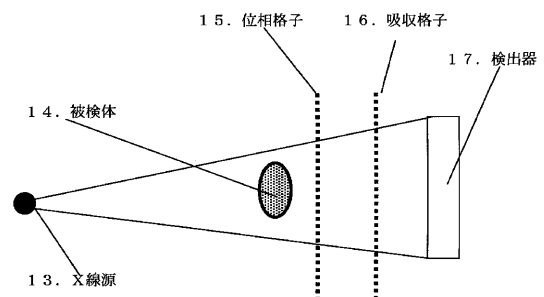
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 田 透

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

Fターム(参考) 4C093 AA07 AA22 AA30 CA37 EB25

【要約の続き】

期方向に互いにずらして積層された構造を有する構成とする。

【選択図】 図3