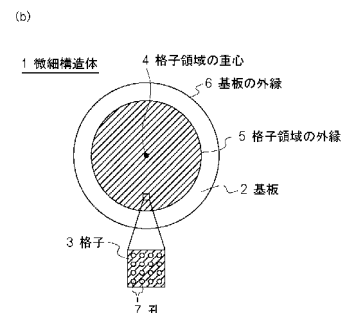




【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板と、前記基板に設けられた金属からなる格子と、を有する微細構造体であって、
前記格子には複数の孔が設けられており、
前記複数の孔は、第 1 の方向に配列され、
前記第 1 の方向を含む平面において、
前記格子と前記複数の孔とからなる格子領域の重心と、前記格子領域の外縁と、の距離の最大値が、
前記格子領域の重心と前記格子領域の外縁との距離の最小値の 1.39 倍よりも小さいことを特徴とする微細構造体。

10

【請求項 2】

前記平面において、
前記格子領域の重心と前記格子領域の外縁との距離の最大値が、
前記格子領域の重心と前記格子領域の外縁との距離の最小値の 1.33 倍よりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の微細構造体。

【請求項 3】

前記平面において、
前記格子領域の重心と前記格子領域の外縁との距離の最大値が、
前記格子領域の重心と前記格子領域の外縁との距離の最小値の 1.25 倍よりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の微細構造体。

20

【請求項 4】

前記平面において、
前記格子領域の外縁が円形であることを特徴とする請求項 1 に記載の微細構造体。

【請求項 5】

前記複数の孔は、前記第 1 の方向と、前記第 1 の方向と交差する第 2 の方向と、に配列され、
前記平面は、前記第 1 の方向と、前記第 2 の方向と、を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の微細構造体。

【請求項 6】

前記平面において、
前記基板の外縁と、前記格子領域の外縁とが相似であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の微細構造体。

30

【請求項 7】

前記平面において、
前記基板の重心と、前記格子領域の重心とが一致することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の微細構造体。

【請求項 8】

X 線源からの発散 X 線の一部を遮蔽する遮蔽格子として用いられることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の微細構造体。

【請求項 9】

前記格子において、
前記発散 X 線を遮蔽する遮蔽部のアスペクト比が 5 以上であることを特徴とする請求項 8 に記載の微細構造体。

40

【請求項 10】

前記微細構造体のうち、少なくとも前記格子は同心円状に湾曲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 項に記載の微細構造体。

【請求項 11】

X 線源からの発散 X 線を回折することにより干渉パターンを形成する回折格子と、前記干渉パターンを形成する X 線の一部を遮る遮蔽格子と、前記遮蔽格子を経た X 線を検出する検出器とを備え、被検体を撮像する X 線撮像装置であって、

50

前記遮蔽格子は、請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の微細構造体を有することを特徴とする X 線撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、微細構造体、およびその微細構造体を備えた撮像装置に関し、特に X 線位相コントラスト撮像装置に用いられる微細構造体、およびその微細構造体を備えた撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

周期構造を有する微細構造体からなる回折格子は分光素子として様々な機器に利用されている。特に、X 線吸収率が高い金属で形成される微細構造体は、物体の非破壊検査や、医療分野に用いられている。

【0003】

X 線吸収率が高い金属で形成される微細構造体の用途の一つとして、X 線のタルボ干渉を用いた撮像法（X 線タルボ干渉法）を行う撮像装置の遮蔽格子があげられる。

【0004】

X 線タルボ干渉法について簡単に説明をする。X 線タルボ干渉法は、X 線の位相コントラストを利用したイメージング方法（X 線位相イメージング法）の一つである。

【0005】

X 線タルボ干渉法を行う一般的な撮像装置では、空間的に可干渉な X 線が、被検体と X 線を回折する回折格子を通過して干渉パターンを形成する。その干渉パターンが形成される位置に、X 線を周期的に遮蔽する遮蔽格子を配置してモアレを形成する。このモアレを検出器によって検出し、その検出結果を用いて撮像画像（一般的には位相像、微分位相像、散乱像）を得る。

【0006】

タルボ干渉法に用いられる一般的な遮蔽格子は、X 線透過部（以下、単に透過部と呼ぶことがある。）と X 線遮蔽部（以下、単に遮蔽部と呼ぶことがある。）とが周期的に配列している構造を有する。X 線遮蔽部は、例えば金のような、X 線吸収率が高い金属からなる高アスペクト比（アスペクト比とは、構造体の高さまたは深さ h と横幅 w の比（ h/w ）である。）な構造で形成されることが多い。平面状の遮蔽格子では放射光施設のような平行光（平行 X 線）を扱う場合には有効である。しかし、実験室での X 線管のように、発散光（発散 X 線）を出射する、点光源の X 線源を用いたイメージングでは光軸（X 線軸）から離れるに従って、X 線の進行方向と遮蔽部の高さ方向とがずれてしまう。それにより、遮蔽格子を透過させたい X 線までも遮蔽されてしまい、十分な X 線の透過コントラストが得られなかったり、検出器に到達する X 線量が低下したりするという課題がある。これらにより、光軸から離れた周辺の領域では得られる撮像画像のコントラストが低下したり、あるいは撮像画像自体が得られなかったりする可能性がある。

【0007】

そこで、特許文献 1 には、遮蔽格子を円形の囲いを用いた真空室に密封して圧力差によって 2 次元に湾曲させ、遮蔽格子を球欠の形状にすることで、遮蔽部の高さ方向と X 線の進行方向とを一致させる方法が開示されている。

【0008】

尚、X 線の進行方向と遮蔽部の高さ方向とのずれを小さくするためには、発散 X 線の波面に沿った形状に格子を湾曲させることが好ましい。2 次元に発散する X 線の波面に沿った形状とは、同心円状に湾曲した形状である。但し、同心円状の湾曲とは、格子領域の重心から種々の方向に等距離の各位置における湾曲量が等しい湾曲のことをいう。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

10

20

30

40

50

【特許文献１】特開２００７－２０６０７５号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

しかしながら特許文献１に開示されている方法では格子領域の外縁の形状によっては、格子の曲げ強度の分布が格子の重心から同心円状でないことがある。そのため、同心円状に格子を湾曲させにくいことがあった。例えば格子領域の外縁が四角形の場合には水平方向と対角線方向では曲げ強度が異なるため、同心円状に湾曲させにくい。

【００１１】

そこで本発明はこの様な課題に鑑み、従来遮蔽格子として用いられてきた微細構造体よりも同心円状に湾曲させやすい微細構造体を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【００１２】

その目的を達成するために、本発明の一側面としての微細構造体は、基板と、前記基板に設けられた金属からなる格子と、を有する微細構造体であって、前記格子には複数の孔が設けられており、前記複数の孔は、第１の方向に配列され、前記第１の方向を含む平面において、前記格子と前記複数の孔とからなる格子領域の重心と、前記格子領域の外縁と、の距離の最大値が、前記格子領域の重心と前記格子領域の外縁との距離の最小値の１．３９倍よりも小さいことを特徴とする。

20

【００１３】

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。

【発明の効果】

【００１４】

本発明によれば、従来遮蔽格子として用いられてきた微細構造体よりも同心円状に湾曲させやすい微細構造体を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【図１】本発明の実施形態の微細構造体の形態を模式的に示す断面図と上面図である。

【図２】本発明の実施形態について説明をするグラフとそのグラフに係る微細構造体の上面図である。

30

【図３】本発明の実施形態について説明をするグラフである。

【図４】本発明の実施例１の微細構造体の製造方法を示す工程図である。

【図５】本発明の実施例４について説明をする図である。

【図６】本発明の実施形態又は実施例の微細構造体を備えた撮像装置の一実施態様を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【００１６】

以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【００１７】

（実施形態）

40

本発明の実施形態に係る微細構造体は、下記の特徴を有する。

【００１８】

本実施形態に係る微細構造体は、基板と、基板に設けられた金属からなる格子と、を有する。金属からなる格子には複数の孔が設けられており、その複数の孔は第１の方向に配列されている。

【００１９】

また、第１の方向を含む平面において、格子領域の重心と、格子領域の外縁と、の距離の最大値が、格子領域の重心と格子領域の外縁との距離の最小値の１．３９倍よりも小さい。

【００２０】

50

尚、格子領域とは金属からなる格子と、その格子に設けられている複数の孔からなる領域である。また、平面における格子領域の重心とは、格子の重心を通り且つその平面と垂直な線と、その平面との交点のことを指す。また格子の重心とは、格子の厚さが格子領域において均一な厚さとしたときの格子領域の重力中心のことをいう。

【0021】

例えば、格子領域の外縁が円形の場合、第1の方向を含む平面における格子領域の重心は、第1の方向を含む平面における円の中心と一致する。

【0022】

また、格子に設けられた複数の孔は空隙でなくてもよい。例えばシリコンや樹脂が詰まっても、孔とみなす。また格子が1次元の配列を持つ場合、基板に複数の金属構造体が配列されているような構造を取るが、金属構造体の間に挟まれた領域を孔とみなし、複数の孔を有すると呼ぶ。

【0023】

本実施形態の微細構造体は、発散X線の一部を遮蔽する遮蔽格子として用いることができる。また、X線の透過部と遮蔽部を小さなピッチで配列することができるため、X線タルボ干渉法を行う撮像装置で用いる遮蔽格子としても用いることができる。

【0024】

以下、本発明の実施形態について図面に基づいて説明する。

【0025】

微細構造体1について図1に基づいて説明をする。図1(a)は微細構造体1の断面図、(b)は微細構造体1の上面図である。格子3には複数の孔7が設けられており、第1の方向と、第1の方向と交差する第2の方向に配列されている。このように複数の孔7が配列されていることで、格子3は2次元の配列を持つ。尚、図1に示した微細構造体1には複数の孔7が第1の方向と第2の方向とに配列されているが、第1の方向にのみ配列されていても良い。このとき、格子は1次元の配列を持つ。これらの微細構造体をX線の遮蔽格子として用いると、格子がX線遮蔽部、複数の孔がX線透過部として機能するため、2次元の配列を持つ格子を有する微細構造体は、2次元遮蔽格子として用いることができる。また、1次元の配列を持つ格子を有する微細構造体は、1次元遮蔽格子として用いることができる。

【0026】

上述のように本実施形態の微細構造体1をX線遮蔽格子として用いる場合は、格子が遮蔽部、複数の孔が透過部として機能するため、格子を形成する材料よりも孔を形成する材料の方がX線透過率が高い必要がある。尚、孔が空隙であるとき、空気が孔を形成しているとみなす。微細構造体1が図1(a)に示したように、基板2の一部が格子に設けられた孔を形成する場合、基板2の材料は格子の金属材料よりもX線透過率が高い材料から選択される。X線透過率が高い材料として例えば、シリコン、石英、ガラス、樹脂等を使用することができる。尚、撮像装置に取り付けた際に撮像範囲に入らない領域であれば、基板2はX線透過率が低い材料を含んでいても良い。また格子に使用することができる金属材料は例えば、貴金属の金、銀、白金、ロジウム、パラジウムが挙げられ、その他の金属としては銅、ニッケル、クロム、スズ、鉄、コバルト、亜鉛、タンゲステン、ビズマス等やこれらの合金を使用することができる。

【0027】

その中でも、X線遮蔽格子として用いたときに、遮蔽部のアスペクト比を低く抑えることができるため、格子の金属材料はX線透過率が低い、金、金の合金、タンゲステン等を使用することが好ましい。遮蔽部のアスペクト比とは、格子のうち、第1の方向D1に配列された隣り合う二つの孔に挟まれた領域8の、第1の方向における長さL1に対する、第1の方向と第2の方向の夫々と垂直な第3の方向D3における長さL3の比を指す。尚、第3の方向における長さとは、格子の長さであり、格子の下に基板が存在する場合であってもその基板の長さは含まない。また、第3の方向における長さは格子に設けられた孔の深さと一致する。本実施形態に係る構造体を発散X線の一部を遮蔽する遮蔽格子として

10

20

30

40

50

用いる場合、遮蔽部の第 3 の方向への長さ（孔の深さ）は格子の材料、遮蔽したい X 線のエネルギー、得たい遮蔽率によって適宜決めることができる。また、複数の孔のピッチも適宜決めることができるため、遮蔽部のアスペクト比はこれらから適宜決めることができる。尚、X 線タルボ干渉法に用いられる遮蔽格子として用いる場合は、小さなピッチで遮蔽部と透過部を配列する必要があるため、アスペクト比が 5 以上であることが好ましい。また、アスペクト比が高いほど製造が難しくなるため、アスペクト比が 100 以下であることが好ましい。

【0028】

本実施形態では、微細構造体 1 を同心円状に近い形状に湾曲させやすくするために、複数の孔の配列方向である第 1 の方向を含む平面（以下、断面と呼ぶことがある。但し、この平面は必ずしも微細構造体の断面でなくても良く、例えば上面であっても良い。）において、格子領域の重心 4 と格子領域の外縁 5 との距離の最大値と、格子領域の重心 4 と格子領域の外縁 5 との距離の最小値との差を小さくする。以下、断りのない限り格子領域の重心とは断面における重心であり、格子領域の外縁とは断面における外縁のことを指す。また、同心円状に近いとは、同心円状を含む。

10

【0029】

格子領域の重心 4 と格子領域の外縁 5 との距離の最大値と、格子領域の重心 4 と格子領域の外縁 5 との距離の最小値との差を小さくすることにより、格子の曲げ強度の分布が格子の重心から同心円状に近づくため、格子が同心円状に近い形状に湾曲させやすくなる。

【0030】

また、モールドにめっきを用いて金属を充填することによって微細構造体 1 を製造した場合、めっきにより生じる引張応力により格子の反りが生じる。2 次元の配列を持つ格子の場合、この反りの量（以下、反り量と呼ぶ。）の分布も、格子領域の重心 4 と格子領域の外縁 5 との距離の最大値と、格子領域の重心 4 と格子領域の外縁 5 との距離の最小値との差を小さくすることによって同心円状に近づく。反り量の分布が同心円状に近づく、引張応力により生じる格子の湾曲の形状も同心円状に近づく。そのため、本実施形態に係る微細構造体遮蔽格子としてを用いると、X 線軸から離れた周辺の領域であっても X 線の進行方向と遮蔽部の高さ方向のずれが小さくなる。また、反り量の分布によっては格子に外力を加えなくても X 線の進行方向と遮蔽部の高さ方向のずれが無視できる程度に小さくなることもある。このように、外力を加えなくても同心円状に湾曲することも、本明細書

20

30

【0031】

また、格子に外力を加える場合でも、曲げ強度の分布が同心円状に近づくため、同心円状に近い形状に湾曲させやすくなる。そのため、X 線軸から離れた周辺の領域であっても X 線の進行方向と遮蔽部の高さ方向のずれが小さくなる。尚、X 線の進行方向と遮蔽部の高さ方向のずれが小さいとは、例えば透過部を透過した直後 X 線の幅が、透過部の幅の半分程度あることを指す。尚、X 線の進行方向と遮蔽部の高さ方向のずれが無視できる程度に小さいと、透過部を透過した直後の X 線の幅は透過部の幅とほぼ等しい。

【0032】

本実施形態では、格子領域の重心 4 と格子領域の外縁 5 との距離の最大値を格子領域の重心 4 と格子領域の外縁 5 との距離の最小値の 1.39 倍より小さくする。格子領域の外縁がこのような形状を有すると、格子の曲げ強度が同心円状に近くなるため同心円状に湾曲させやすい。

40

【0033】

図 2 は厚さ 525 μm のシリコンウエハ上に厚さ 120 μm で引張応力 100 MPa の金めっき層を形成し、格子領域の重心から外縁に向かっての Z 方向（ウエハ対して垂直方向）の変位量を測定したものである。以下、Z 方向への変位量を反り量とする。また、この微細構造体の場合、シリコンウエハが基板、金めっき層が格子である。

【0034】

図 2 (a) は、図 2 (c) と図 2 (d) に示した微細構造体における、格子領域の重心

50

との距離とZ方向への反り量の関係を示したグラフである。

【0035】

A1とA2は、図2(c)に示した、格子領域の外縁5が一辺50mmの正方形の微細構造体における、格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離が最小値を示す方向A1と最大値を示す方向A2におけるZ方向の反り量を表す。尚、図2(c)に示した微細構造体において、格子領域の重心4と、格子領域の外縁5との距離の最大値は格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離の最小値の1.41倍である。一般的な遮蔽格子に用いられる微細構造体は、図2(c)に示したような正方形であり、図2(c)は比較例である。

【0036】

B1は、図2(d)に示した、格子領域の外縁5が一辺50mmの正方形を内接する正五角形の微細構造体における、格子領域の重心4と前記格子領域の外縁5との距離が最小値を示す方向B1におけるZ方向の反り量を表す。同様に、B2は、図2(d)に示した微細構造体における、格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離が最大値を示す方向B2におけるZ方向の反り量を表す。図2(d)に示した微細構造体において、格子領域の重心4と、格子領域の外縁5との距離の最大値は格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離の最小値の1.23倍である。

【0037】

図2(a)を見ると、格子領域の重心からの距離が20から40mmにかけて、A1方向における反り量とA2方向における反り量に差がみられる。一方、B1方向における反り量と、B2方向における反り量の差はA1方向とA2方向の差よりも小さい。よって、図2(d)に示した微細構造体は、図2(c)に示した微細構造体よりも、格子領域の重心から外縁にかけての反り量の分布が同心円状に近く、同心円状に湾曲させやすい。

【0038】

図2(b)は、図2(c)と図2(e)に示した微細構造体における、格子領域の重心との距離と反り量の関係を示したグラフである。

【0039】

A1とA2は図2(a)と同様である。C1は、図2(e)に示した、格子領域の外縁5が一辺50mmの正方形を内接する正八角形の微細構造体における、格子領域の重心4と前記格子領域の外縁5との距離が最小値を示す方向C1における反り量を表す。同様に、C2は図2(e)に示した微細構造体における、格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離が最大値を示す方向C2における反り量を表す。図2(e)に示した微細構造体において、格子領域の重心4と、格子領域の外縁5との距離の最大値は格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離の最小値の1.09倍である。

【0040】

図2(b)を見ると、図2(a)同様に、C1方向における反り量と、C2方向における反り量の差はA1方向とA2方向の差よりも小さいことがわかる。よって、図2(e)に示した微細構造体は、図2(c)に示した微細構造体よりも、格子領域の重心から外縁にかけての反り量の分布が同心円状に近く、同心円状に湾曲させやすい。

【0041】

図3は図2(a)と図2(b)から、格子領域の重心4から25mmの場所における、最大反り量に対する反り量の差の割合と、格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離のばらつきの関係をグラフにしたものである。横軸は格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離の最大値を最小値で割った値であり、縦軸は格子領域の重心4から25mmの場所の最大反り量に対する格子領域の重心4から25mmの場所の反り量の差の割合を表したものである。尚、反り量の差は、格子領域の重心と格子領域の外縁との距離が最小値を示す方向(A1, B1, C1)における反り量と最大値を示す方向(A2, B2, C2)における反り量の差である。

【0042】

図3より、格子領域の重心4から格子領域の外縁5との距離の最大値を、最小値の1.

10

20

30

40

50

3.9倍より小さくすると格子領域の重心4から等距離(25mm)の反り量の差は、同距離の最大反り量に対して10%以下に抑えられることが分かる。また、1.33倍以下にすると格子領域の重心4から等距離の反り量の差は同距離の最大反り量に対して5%以下に抑えることが分かる。さらに1.25倍より小さくすると格子領域の重心4から等距離の反りの反り量の差は同距離の最大反り量に対して1%台に抑えることが分かる。

【0043】

これらのことから、格子領域の重心4から等距離の各位置の反り量の差を最大反り量に対して10%以下にするには、格子領域の重心4から格子領域の外縁5との距離の最大値/最小値を1.39以下にすればよい。同様に、5%以下にするには、最大値/最小値を1.33以下にすればよく、1%以下にするには、最大値/最小値を1.25以下にすればよい。こうすることによって格子領域の重心4から外縁にかけての反り量分布が同心円状に近づき、反りによって生じる格子の湾曲も同心円状に近づく。

【0044】

また、格子領域の外縁5が円形であると、格子領域の重心4から格子領域の外縁5との距離はどの方向に対しても等しくなる。つまり、格子領域の重心4から格子領域の外縁5との距離は最大値=最小値となり、格子領域の重心4から外縁にかけての反り量分布が同心円状になり、反りによって生じる微細構造体1の湾曲も同心円状になる。よって、格子領域の外縁は円形であることが特に好ましい。

【0045】

また、めっきを用いずに格子を製造し、引張応力による反りを抑えた場合でも、曲げ強度の分布が同心円状近づくため、格子領域の重心4から格子領域の外縁5との距離の最大値/最小値を1.39以下にすると同心円状に湾曲させやすい。同様に、最大値/最小値を1.33以下にすればより同心円状に湾曲させやすく、最大値/最小値を1.25以下にすれば更に同心円状に湾曲させやすい。更に、格子領域の外縁を円形にすると曲げ強度の分布が同心円状になるため、格子領域の外縁が円形であることが特に好ましい。

【0046】

また、反りにより得られる湾曲の形状と得たい湾曲の形状が異なる場合は、所望の形状に湾曲させるために、格子3に外力を与えても良い。外力を加える場合においても、格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離の最大値と最小値の差が小さい方が、反り量の分布が同心円状に近づき、且つ、格子領域の曲げ強度の分布も同心円状に近づくため、同心円状に湾曲させやすい。格子領域の曲げ強度の分布が同心円状に近づくという効果は、引張応力が生じない方法で格子を製造した場合でも奏する。

【0047】

上述の記述では、格子の反り量と曲げ強度に対する基板の影響がないものとして説明をした。実際には、格子の引張応力により生じる格子の反りに応じて基板が変形すると、その変形の際に基板に応力が生じ、格子の反り量に影響を与える可能性がある。また、引張応力が生じないように格子を製造しても、基板が格子の曲げ強度に影響を与える可能性がある。これらの基板が与える影響は基板の材質、形状、格子領域の大きさと基板の大きさの関係により異なり、考慮しなくても良い程度に小さいこともあるが、格子領域の外縁5と、基板の外縁とが相似であることが好ましい。これにより格子領域の外縁から基板の外縁までの距離の均一性が高まる。格子領域の外縁5から基板の外縁6までの距離の均一性が高まることにより、格子から生じる応力による基板の変形の際に生じる基板の円周方向の応力の均一性が高まる。それにより、基板が格子の反り量に与える影響が大きい場合であっても、格子領域の重心から外縁にかけての反り量の分布が同心円状に近づきやすくなる。また、引張応力が生じないように格子を製造した場合でも、格子領域の外縁5から基板の外縁6までの距離の均一性が高まることにより、曲げ強度の分布も同心円状に近づきやすくなる。

【0048】

また、格子領域の重心と基板の重心とが断面において一致することが好ましい。尚、断面における基板の重心とは、基板の重心を通り且つ断面と垂直な線と、その断面との交点

10

20

30

40

50

のことを指す。また、基板の重心とは、基板の厚さが均一な厚さとしたときの基板の重力中心のことをいい、例えば基板が円形またはドーナツ状であればその中心と一致する。

【0049】

格子領域の重心と基板の重心とが一致することによって微細構造体1の対称性が増し、格子から生じる応力による基板の変形の対称性が高まる。これによって、基板が格子の反り量に与える影響が大きい場合であっても、格子領域の重心4から外縁にかけての反り量の分布が同心円状に近づきやすくなる。また、引張応力が生じないように格子を製造した場合でも、曲げ強度の分布も同心円状に近づきやすくなる。尚、格子領域の重心と基板の重心とが1mm程度ずれていても誤差範囲とみなし、格子領域の重心と基板の重心とが一致しているとする。但し、この誤差は小さい方が好ましい。

10

【0050】

本実施形態の微細構造体1は、モールドにめっきを充填する方法にて製造することができる。モールドは導電性表面を有する基板2上にフォトレジスト層を形成し、半導体フォトリソグラフィにてフォトレジストからなるモールドを形成することができる。また、基板2を半導体フォトリソグラフィとエッチングにて凹部を形成し、それをモールドとして使用しても良いし、モールドの製造方法はこれらに限定されない。尚、モールドにめっきを充填して格子を形成したものを微細構造体とする場合、モールドが基板に相当する。また、モールドにめっきを充填して格子を形成した後、モールドの一部又は全部を取り除いても良い。モールドのうち、格子に設けられた複数の孔を形成する部分のみを取り除けば、微細構造体の強度を保ちつつ、X線透過部のX線透過率を向上させることができる。このように、モールドの一部を取り除いても、そのモールドは微細構造体の基板である。更に、モールドを取り除いた格子に再度シリコンや樹脂等の基板を付与し、強度を補強したり、X線撮像装置などに取り付けやすくしたりしても良い。例えば、モールドを全て取り除いた格子の周囲を基板で囲い、強度を補強しつつX線撮像装置に取り付けやすくしても良い。格子領域が円形の場合、周囲のみを基板で囲むと基板の形状はドーナツ状になるが、基板はこのような形状をとることもでき、このときも格子は基板に設けられていると呼ぶ。

20

【0051】

また、モールドを全て取り除いた、引張応力により湾曲した格子に基板を付与すると、格子は湾曲していても基板は湾曲しないが、格子が湾曲していれば発散X線を遮蔽する遮蔽格子として好ましい。

30

【0052】

本実施形態の微細構造体1の製造方法はこれらに限定されるものではない。例えばめっきを用いずに格子を製造することによって、格子の引張応力による反りの発生を抑えても、格子領域の重心4と格子領域の外縁5との距離の最大値と、最小値との差を小さくすることによって、同心円状に湾曲させやすくなるという効果は得ることができる。

【0053】

図1に示した微細構造体を、X線タルボ干渉法を行う撮像装置の遮蔽格子として用いる場合について説明をする。

【0054】

40

微細構造体1は基板2と、基板に設けられた金属からなる格子3を有する。格子を形成する金属はX線吸収係数の高い材料であり、この格子領域は円形である。微細構造体1は格子領域の重心4から格子領域の外縁5にかけて同心円状に湾曲しており、球欠の形状を有する。図1の微細構造体1を遮蔽格子として用いると、格子領域はX線遮蔽部として機能し、格子に設けられた複数の孔はX線透過部となる。微細構造体1は格子領域の重心4から格子領域の外縁5にかけて湾曲しているため、点光源のX線源を用いたイメージングでも光軸から離れるにつれX線の進行方向とX線遮蔽部の高さ方向とがずれることが回避される。これにより、X線が透過しやすくなるので、X線透過コントラストが高まる効果がある。

【0055】

50

本実施形態の用途はこれに限られるものではなく、例えばX線タルボ干渉法を行う撮像装置のX線源と回折格子の間に配置され、X線を周期的に遮蔽することで点光源が配列した状態を仮想的に作り出す線源格子として用いることもできる。また、X線タルボ干渉法以外の撮像装置に用いることもできるし、撮像装置以外の用途に用いることもできる。本実施形態の微細構造体1は同心円状に湾曲させることが比較的容易なため、例えば発散X線の波面に沿うように湾曲させた格子が必要な装置にとって有用である。

【実施例】

【0056】

以下、具体的な実施例を挙げて本発明をより詳細に説明する。

【0057】

10

(実施例1)

本実施例では、円形のシリコン基板上に金からなる格子を形成した微細構造体について説明をする。なお、この微細構造体の格子領域の外縁は円形である。本実施例の微細構造体の製造方法を図4を用いて説明する。

【0058】

基板として、100mmφ、525μm厚で、抵抗率が0.02Ωcmの円形のシリコン基板を用いる。シリコン基板12を1050℃で75分間の熱酸化することによって、シリコン基板の表裏にそれぞれ約0.5μmの熱酸化膜11を形成する(図4(a))。

【0059】

その片面のみに電子ビーム蒸着装置にてクロムを200nm成膜する。その上にポジ型レジストを塗布し、半導体フォトリソグラフィにて71mmφの領域に4μmφのレジストドットパターンが8μmピッチで2次元状に配置されるようにパターンニングを行う。なお、この際、シリコン基板の重心上にレジストパターンの71mmφの領域の中心を合わせる。その後、クロムエッチング水溶液にてクロムをエッチングし、続いてCHF₃を用いた反応性エッチングで熱酸化膜をエッチングする。これにより71mmφのシリコン露出面内に4μmφのクロムのドットパターンが8μmのピッチで2次元状に配列されたパターンが形成される(図4(b))。本実施例ではこのクロムマスク13をエッチングマスクとして使用する。

20

【0060】

続いて、ICP-RIEを用いて露出したシリコンに異方性の深堀リエッチングを行う。約125μmの深堀リエッチングを行ったところで深堀リエッチングを停止する。これにより深さ約125μmの複数の凹部14がシリコン基板内に形成される(図4(c))。

30

【0061】

続いてUVオゾンアッシングとクロムエッチング水溶液にてレジストとクロムを除去する。そして硫酸と過酸化水素水の混合液によって洗浄し水洗後、乾燥させる。

【0062】

次に1050℃で7分間の熱酸化によって、上述の深堀リエッチングによって凹部が形成されたシリコン基板12の表面に約0.1μmの熱酸化膜が形成される。

【0063】

次にCHF₃プラズマによるドライエッチング法を用いる。このエッチングは高い異方性があり、基板にほぼ垂直の方向で進行する。そのために、シリコン基板の凹部の底部15の熱酸化膜が除去されたときでも、凹部14の側壁の熱酸化膜は残される。

40

【0064】

次に電子ビーム蒸着装置にてクロム、銅の順番でそれぞれ約7.5nm、約50nm成膜しシリコンの露出面上にクロムと銅からなるシード電極層を付与する。電子ビーム蒸着装置は指向性の高い蒸着方法のため凹部の底部15と凹部の上面16に成膜される。

【0065】

次に、シリコン基板の周囲の一部の熱酸化膜を除去しシリコン表面を露出させ、そこをめっきの取り出し電極とし、これをモールドとしてめっきにより凹部14に金属を充填する。

50

【0066】

本実施例では金属として金を用いる。金めっき液はマイクロファブAu1101（メーカー：日本エレクトロプレイティング・エンジニアーズ株式会社）を用い、引張応力100MPaを有する金めっき層を形成する。

【0067】

このシリコン基板を金めっき液に浸し、露出させたシリコン表面の取り出し電極をマイナス極にし60にて電流密度 0.2 A/dm^2 で24時間通電し、凹部の底部15から高さ120 μm まで金めっき層17を充填する。これによってシリコン基板上に金からなる格子が71mm ϕ の領域に形成された微細構造体21が得られる。金からなる格子は複数の孔を持ち、この孔はシリコンからなる。また、このシリコンからなる複数の孔は2次元に配列されており、この配列方向を第1の方向と第2の方向とすると、第1の方向と第2の方向とを含む平面において、格子領域の外縁は円形である。つまり、格子領域の重心と格子領域の外縁との距離はばらつきがなく、最大値と最小値は等しい。さらに、第1の方向と第2の方向とを有する平面において、格子領域の重心と前記基板の重心とが一致する。またこの微細構造体は、格子領域の重心から格子領域の外縁かけて同心円状の反り量分布を有し、球欠形状に湾曲する。格子領域の重心から35mmの距離の反り量は302 μm になるため、この微細構造体の曲率半径は0.5mである。尚、遮蔽部のアスペクト比は、第1の方向に配列された二つの孔に挟まれた領域の、第1の方向における長さが4 μm 、第1の方向と第2の方向の夫々と垂直な第3の方向における長さが120 μm なので120 $\mu\text{m}/4\mu\text{m}=30$ である。

【0068】

（比較例1）

本比較例は、格子領域の外縁が50mm $\times$ 50mmの正方形であること以外は実施例1と同様な微細構造体であり、実施例1と同様の方法で作製される。本比較例では格子領域の重心と格子領域の外縁との距離の最大値（図2（c）のA2方向への距離）は35.5mmであり最小値（図2（c）のA1方向への距離）は25mmである。よって、格子領域の重心と格子領域の外縁との距離の最大値は最小値の1.41倍となる。格子領域の重心から格子領域の外縁との距離が最大値の方向における、格子領域の重心からの距離が25mmの位置の反り量は146 μm になる。一方、格子領域の重心から格子領域の外縁との距離が最小値の方向における格子領域の重心からの距離が25mmの位置の反り量は164 μm になり、最大値の方向と最小値の方向との重心から25mmの位置における反り量の差は18 μm である。この反り量の差は格子領域の重心からの距離が25mmの位置の最大反り量（164 μm ）に対して約11%に相当する。

【0069】

（実施例2）

本実施例は、格子領域の外縁が、一辺が47.8mmの正五角形であること以外は実施例1と同様な微細構造体であり、実施例1と同様の方法で作製される。本比較例の微細構造体では格子領域の重心と格子領域の外縁との距離の最大値（図2（d）のB2方向への距離に相当）は40.6mmであり最小値（図2（d）のB1方向への距離に相当）は32.9mmである。よって、格子領域の重心と格子領域の外縁との距離の最大値は最小値の1.23倍となる。格子領域の重心から格子領域の外縁との距離が最大値の方向における、格子領域の重心からの距離が25mmの位置の反り量は229 μm になる。一方、格子領域の重心から格子領域の外縁との距離が最小値の方向における格子領域の重心からの距離が25mmの位置の反り量は233 μm になり、最大値の方向と最小値の方向との重心から25mmの位置における反り量の差は4 μm である。この反り量の差は格子領域の重心からの距離が25mmの位置の最大反り量（233 μm ）に対して約1.7%に抑えることができる。

【0070】

（実施例3）

本実施例は、格子領域の外縁が、一辺が29.4mmの正八角形であり、基板上に形成

された樹脂をモールドにし、めっきにより金を充填して作製される微細構造体である。

【0071】

本実施例の作製方法を説明する。

本実施例では基板としてシリコン基板を用いる。オリエンタルフラット長が32.5mmの100mmφで厚さ525μmのシリコン基板に、電子ビーム蒸着装置にて導電層としてクロム、銅の順番でそれぞれ5nm、100nm成膜する。感光性樹脂層として、ネガ型レジストのSU-8（化薬マイクロケム）を用いてパターンニングする。導電層上にSU-8を塗布して125μmの厚さの感光性樹脂層を形成し、95℃で10分間のソフトベークを行う。次に光源が紫外光のキヤノン製マスクアライナー「MPA600」（商品名）にてフォトマスクを通じて感光性樹脂層を露光する。露光後65℃で5分間ベークを行い10μmφのドットパターンが20μmのピッチで2次元状に配置されたパターンを一辺29.4mmの正八角形の領域の感光性樹脂層へ潜像させる。なお、正八角形の領域の重心とシリコン基板の重心とは一致している。次にSU-8現像液（化薬マイクロケム）を用いて現像を行う。これにより感光性樹脂層の未露光領域の感光性樹脂は現像液中に溶解していき、10μmφのドットパターンが20μmのピッチで2次元状に配置された高さ125μmの感光性樹脂層が形成される。現像後、イソプロピルアルコールを用いてリンスを行い、窒素ブローにて乾燥させる。続いて、基板を200℃にて1時間加熱し、感光性樹脂を熱硬化させる。本実施例ではこれをモールドとして用いる。

10

【0072】

本実施例ではモールドに充填する金属として金を用いる。金めっき液はマイクロファブAu1101（メーカー：日本エレクトロプレイティング・エンジニアーズ株式会社）を用い、引張応力100MPaを有する金めっき層を形成する。モールドを金めっき液に浸し、60℃にて電流密度0.2A/dm²で24時間通電し、凹部の底部から高さ120μmまで金めっきを充填する。次に濃硫酸と過酸化水素水との混合水溶液に浸し、感光性樹脂と露出した導電層を除去する。これによってモールドであるシリコン基板上に金からなる格子が形成された微細構造体を作製される。尚、金からなる格子は、シリコン基板上の一辺29.4mmの正八角形の領域に形成される。

20

【0073】

本実施例の微細構造体では格子領域の重心と格子領域の外縁との距離の最大値は38.3mmであり最小値は35mmであるため、格子領域の重心と格子領域の外縁との距離の最大値は最小値の1.09倍となる。格子領域の重心から格子領域の外縁との距離が最大値の方向における、格子領域の重心からの距離が25mmの位置の反り量は233.67μmになる。一方、格子領域の重心から格子領域の外縁との距離が最小値の方向における格子領域の重心からの距離が25mmの位置の反り量は233.98μmになり、最小値の方向の同距離の位置の反り量の差は1μm以下である。この反り量の差は格子領域の重心からの距離が25mmの位置の最大反り量（233.98μm）に対して1%以下に抑えることができる。

30

【0074】

（実施例4）

本実施例では、図5に示すように格子領域の外縁が、一辺が50mmの正方形の四隅の角部がR形状である微細構造体であり、実施例1と同様な方法で作製される。

40

【0075】

本比較例の微細構造体では格子領域の重心と格子領域の外縁との距離の最大値は34.75mmであり最小値は25mmであるため、格子領域の重心と格子領域の外縁との距離の最大値は最小値の1.39倍となる。格子領域の重心から格子領域の外縁との距離が最大値の方向における、格子領域の重心からの距離が25mmの位置の反り量は148μmになる。一方、格子領域の重心から格子領域の外縁との距離が最小値の方向における格子領域の重心からの距離が25mmの位置の反り量は164μmになり、最小値の方向の同距離の位置の反り量の差は16μmである。格子領域の重心からの距離が25mmの位置の最大反り量（164μm）に対して約10%に抑えることができる。

50

【 0 0 7 6 】

(実施例 5)

次に、前述の実施形態または実施例で製造した微細構造体を X 線遮蔽格子として用いた撮像装置について、図 6 を用いて説明をする。

【 0 0 7 7 】

本実施例の撮像装置は、X 線タルボ干渉法を用いた撮像装置である。撮像装置 1 0 0 0 は、空間的に可干渉な発散 X 線を放出する X 線源 1 0 0 と、X 線を回折する回折格子 2 0 0、X 線の遮蔽部と透過部が配列された遮蔽格子 3 0 0、X 線を検出する検出器 4 0 0 を備えている。回折格子 2 0 0 は X 線源 1 0 0 からの X 線を回折することにより干渉パターンを形成し、遮蔽格子 3 0 0 はこの干渉パターンを形成する X 線の一部を遮蔽する。遮蔽格子 3 0 0 は、前述の実施形態または実施例に係る微細構造体である。

10

【 0 0 7 8 】

X 線源 1 0 0 と回折格子 2 0 0 の間に被検体 5 0 0 を配置すると、被検体 5 0 0 による X 線の位相シフトの情報を有する干渉パターンが形成される。この干渉パターンと遮蔽格子 3 0 0 によりモアレが形成され、このモアレの情報を検出器により検出する。

【 0 0 7 9 】

つまりこの撮像装置 1 0 0 0 は被検体 5 0 0 の位相情報を持つモアレを検出器により検出することで被検体 5 0 0 を撮像している。この検出結果に基づいてフーリエ変換法や位相シフト法等を用いての位相回復処理を行うと、被検体の位相像を得ることができる。なお、遮蔽格子 3 0 0 の格子領域は検出器の X 線が検出される領域（検出範囲）を内包する。

20

【 0 0 8 0 】

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。例えば、実施形態では主に 2 次元の配列を持つ格子について説明をしたが、1 次元の配列を持つ格子であっても 2 次元に発散する X 線に用いられる X 線遮蔽格子であれば同心円状に湾曲することが好ましく、本発明を適用することができる。

【 0 0 8 1 】

また、本明細書または図面に説明した技術要素は、単独であるいは各種の組合せによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時の請求項に記載の組合せに限定されるものではない。また、本明細書または図面に例示した技術は複数目的を同時に達成するものであり、そのうちの一つの目的を達成すること自体で技術的有用性を持つものである。

30

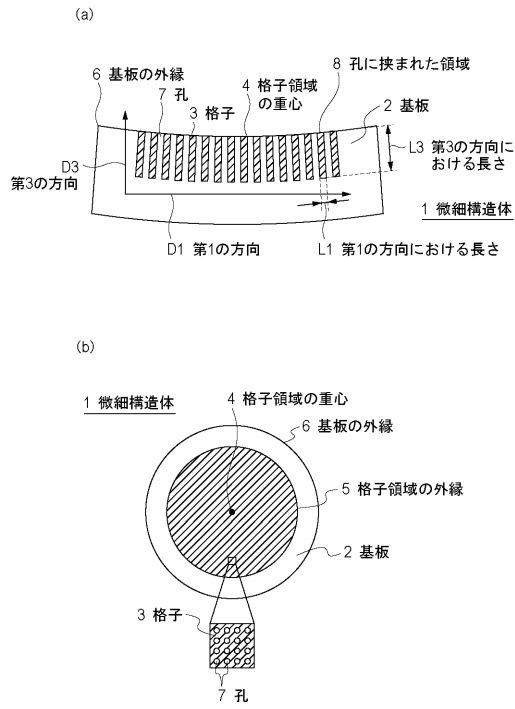
【 符号の説明 】

【 0 0 8 2 】

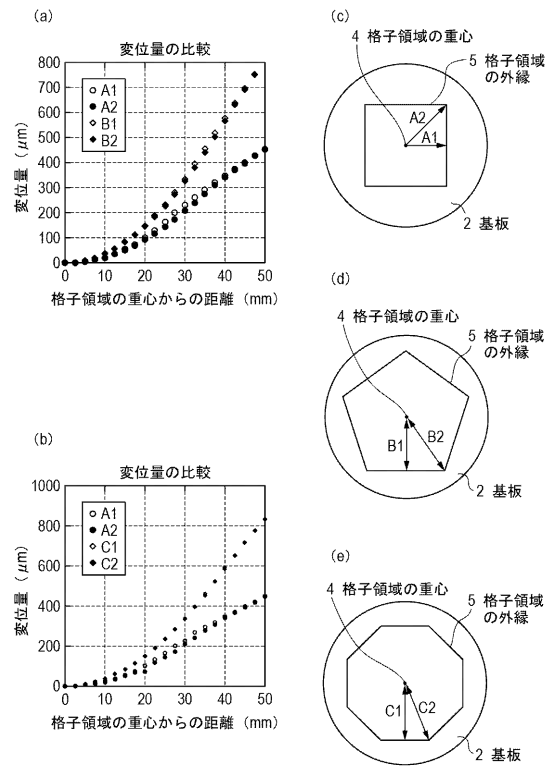
- 1 微細構造体
- 2 基板
- 3 格子
- 4 格子の重心
- 5 格子領域の外縁
- 6 基板の外縁

40

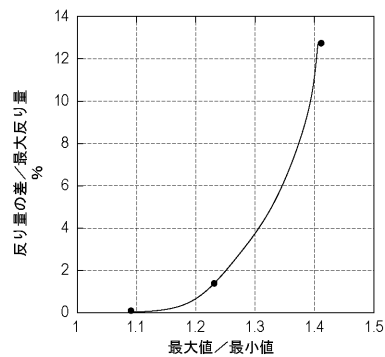
【 図 1 】



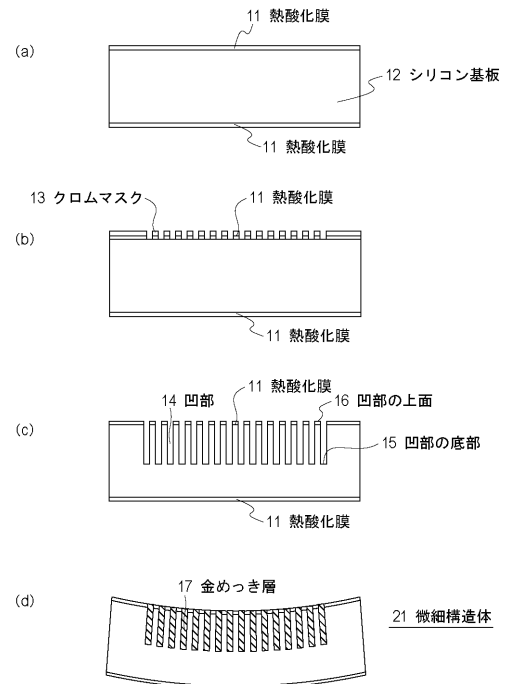
【 図 2 】



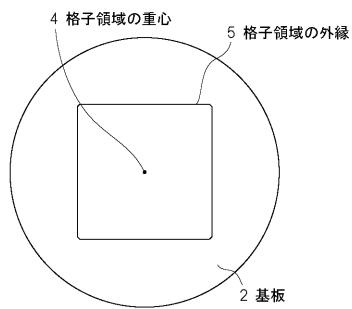
【 図 3 】



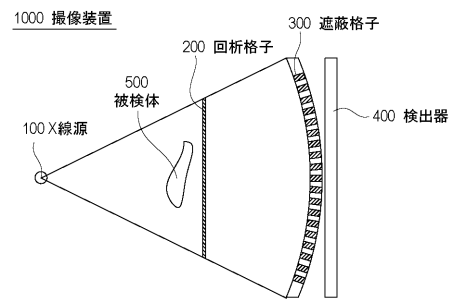
【 図 4 】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2G088 JJ05 JJ11 JJ12 JJ15 JJ37
3C081 BA04 BA72 EA11
4C093 AA07 CA01 CA12 EA20 EB17 EB25 EB30