

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第 6 部門第 1 区分  
 【発行日】平成 17 年 11 月 4 日 (2005.11.4)

【公開番号】特開 2000-98094 (P2000-98094A)  
 【公開日】平成 12 年 4 月 7 日 (2000.4.7)  
 【出願番号】特願 平 10-266130  
 【国際特許分類第 7 版】

G 2 1 K 3/00

H 0 5 G 2/00

【F I】

G 2 1 K 3/00 Z

H 0 5 G 1/00 K

【手続補正書】

【提出日】平成 17 年 8 月 11 日 (2005.8.11)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】X 線用フィルター、X 線発生装置及び X 線露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空容器内の使用 X 線の光路中に配置され、使用 X 線に対しては透過率が高く、前記使用 X 線以外の波長の光の強度を低減させる X 線用フィルターであって、

前記フィルターは微小開口または微小開口群を有することを特徴とする X 線用フィルター。

【請求項 2】前記微小開口または微小開口群は、使用 X 線をほぼ直進させるとともに、前記使用 X 線以外の波長の光である赤外光、可視光及び紫外光を回折させて前記使用 X 線の光路から逸脱させる機能を有することを特徴とする請求項 1 記載の X 線用フィルター。

【請求項 3】前記微小開口または微小開口群を有する光学部材は、使用 X 線に対して透明性を有し、赤外光、可視光及び紫外光に対して不透明（または略不透明）である材料により構成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の X 線用フィルター。

【請求項 4】前記微小開口群を有する光学部材が少なくとも赤外光、可視光、または紫外光を透過する材料にて構成されており、該光学部材における開口部の面積と格子部（非開口部）の面積が等しく、かつ格子部を透過した光束が開口部を通過した光束に対して（ $n + 1/2$ ）（ $n$ ：自然数、 $\lambda$ ：光束の波長）だけ位相に遅れが生じる格子部の厚さを有することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の X 線用フィルター。

【請求項 5】前記使用 X 線を集光する集光光学素子を備え、該集光光学素子の焦点位置またはその近傍に前記微小開口または微小開口群が位置するように、請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の X 線用フィルターを設置したことを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 6】請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の X 線用フィルターが有する微小開口群の位置を移動させる移動機構を具備することを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 7】請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の X 線用フィルターが配置された真空容器と、前記真空容器内を、前記放射光リングまたはプラズマから輻射された真空紫外線を吸収し、使用 X 線を透過させるガス雰囲気にする機構を具備することを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 8】前記微小開口または微小開口群を有する請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に

記載の X 線用フィルターは、前記真空容器内を二領域に分割するように構成され、前記微小開口を利用して前記二領域を差動排気する機構を具備することを特徴とする X 線発生装置。

【請求項 9】 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の X 線用フィルターを真空容器内に配置したことを特徴とする X 線露光装置。

【請求項 10】 請求項 5 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置を具備したことを特徴とする X 線露光装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、X 線顕微鏡、X 線分析装置、X 線露光装置などの X 線機器の X 線源として用いて好適な X 線用フィルター、X 線発生装置に関するものである。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

放射光リングから輻射される放射光 (SR) は輝度が高く、また、波長可変であることから、X 線分析装置、X 線顕微鏡や X 線露光装置の光源として用いられている。また、パルスレーザー光を真空容器内に配置された標的物質に集光し、標的物質をプラズマ化して、このプラズマから輻射される X 線を取り出して利用するレーザープラズマ X 線源 (以下では LPX と呼ぶ) は小型でありながら、アンジュレーター光源に匹敵するほどの輝度を持つため、X 線分析装置、X 線露光装置などの X 線機器の光源として近年注目を集めている。

##### 【0003】

放射光リングや LPX からは X 線だけでなく、赤外域、可視光域から真空紫外域にわたる広い波長範囲の光 (電磁波) が放出される。このような光は使用する X 線の波長 (例えば 13nm) に比べて、遙かに波長が長い。従って、X 線顕微鏡や X 線露光装置の光学系にこのような長波長の光が入ると X 線検出器上またはレジスト上における空間分解能の低下を引き起こす。

##### 【0004】

また、X 線分析装置の一例である光電子分析装置の照明光学系に前記長波長の光が入射すると、試料の損傷を引き起こしたり、注目している光電子以外の不要な光電子が多量に放出される。そして、これら多量の不要光電子や、それらが周辺部材に衝突することにより発生した 2 次電子などによって、S/N の低下や光電子検出器の感度低下を引き起こすか、或いは試料表面で反射した可視光や紫外光などが光電子検出器に入射することによって、検出器の感度低下や損傷などを引き起こす。

##### 【0005】

そこで、従来は、このような不要な長波長光を除去するために、可視光や紫外光に対しては不透明であり、使用波長の X 線に対しては透過率の高い (透明性を有する) 薄膜 (例えば膜厚 1  $\mu\text{m}$  のベリリウム (Be) 箔など) をフィルターとして用いていた。そして、このように可視光や紫外光に対しては不透明であり、使用波長の X 線に対しては透過率の高い (透明性を有する) 薄膜の材料としては、その材料の吸収端が使用 X 線の波長に近いものが選ばれていた。なぜならば、吸収端よりも僅かに長波長側では物質の吸収が小さくなるためである。

##### 【0006】

#### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、物質の吸収端は物質に固有であり、しかも飛び飛びの値しか持たないため、任意の X 線波長に対して最適な薄膜材料 (フィルター材料) が存在するとは限らないという問題点があった。ところで、X 線縮小投影露光装置においては、フィルターの透過率が直接、処理できるウェハーのスループットに影響するため、フィルターの透過率をできるだけ高く、しかも使用するフィルターの枚数を極力少なくする必要がある。

## 【 0 0 0 7 】

そして、X線縮小投影露光装置に適すると期待されている極端紫外（EUV）の波長域（例えば波長13nm）では特に物質の吸収が大きく、高い透過率を得ようとすると、薄膜（フィルター）の厚さを非常に薄くする必要がある。例えば、波長13nmに対して透過率の高いシリコン（Si）の場合でも厚さ0.5μmの場合ですら、透過率は50%程度しか得られないので、さらに高い透過率を得るためには更なるフィルターの薄膜化が必要である。

## 【 0 0 0 8 】

しかしながら、薄膜（フィルター）の厚さを非常に薄くすると、機械的強度が低下するので実用的ではなく、特に大面積化には不相当であるという問題点があった。また、フィルターを極端に薄膜化すると可視光も透過するようになるため、可視光をカットするフィルターとして機能しなくなる。

## 【 0 0 0 9 】

本発明は、かかる従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、赤外域、可視域から紫外域にわたる広範囲の光を著しく減衰させることが可能であり、使用波長のX線を極力減衰させずに取り出すことができるX線用フィルター、X線発生装置及びX線露光装置を提供することを目的とする。

## 【 0 0 1 0 】

## 【課題を解決するための手段】

そのため、本発明は第1に「真空容器内の使用X線の光路中に配置され、使用X線に対しては透過率が高く、前記使用X線以外の波長の光の強度を低減させるX線用フィルターであって、前記フィルターは微小開口または微小開口群を有することを特徴とするX線用フィルター。」を提供する。

## 【 0 0 1 1 】

また、本発明は、第2に、「前記微小開口または微小開口群は、使用X線をほぼ直進させるとともに、前記使用X線以外の波長の光である赤外光、可視光及び紫外光を回折させて前記使用X線の光路から逸脱させる機能を有することを特徴とする請求項1記載のX線用フィルター。」を提供する。

## 【 0 0 1 2 】

また、本発明は、第3に、「前記微小開口または微小開口群を有する光学部材は、使用X線に対して透明性を有し、赤外光、可視光及び紫外光に対して不透明（または略不透明）である材料により構成されていることを特徴とする請求項1または2に記載のX線用フィルター。」を提供する。

## 【 0 0 1 3 】

また、本発明は第4に、「前記微小開口群を有する光学部材が少なくとも赤外光、可視光、または紫外光を透過する材料にて構成されており、該光学部材における開口部の面積と格子部（非開口部）の面積が等しく、かつ格子部を透過した光束が開口部を通過した光束に対して $(n+1/2)$ （ $n$ ：自然数、 $\lambda$ ：光束の波長）だけ位相に遅れが生じる格子部の厚さを有することを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のX線用フィルター。」を提供する。

## 【 0 0 1 4 】

また、本発明は第5に、「前記使用X線を集光する集光光学素子を備え、該集光光学素子の焦点位置またはその近傍に前記微小開口または微小開口群が位置するように、請求項1乃至4のいずれか1項に記載のX線用フィルターを設置したことを特徴とするX線発生装置。」を提供する。

## 【 0 0 1 5 】

また、本発明は第6に、「請求項1乃至4のいずれか1項に記載のX線用フィルターが有する微小開口群の位置を移動させる移動機構を具備することを特徴とするX線発生装置。」を提供する。

## 【 0 0 1 6 】

また、本発明は第7に、「請求項1乃至4のいずれか1項に記載のX線用フィルターが

配置された真空容器と、前記真空容器内を、前記放射光リングまたはプラズマから輻射された真空紫外線を吸収し、使用X線を透過させるガス雰囲気にする機構を具備することを特徴とするX線発生装置。」を提供する。

【0017】

また、本発明は第8に、「前記微小開口または微小開口群を有する請求項1乃至4のいずれか1項に記載のX線用フィルターは、前記真空容器内を二領域に分割するように構成され、前記微小開口を利用して前記二領域を差動排気する機構を具備することを特徴とするX線発生装置。」を提供する。

【0018】

また、本発明は第9に、「請求項1乃至4のいずれか1項に記載のX線用フィルターを真空容器内に配置したことを特徴とするX線露光装置。」を提供する。

また、本発明は第10に、「請求項5乃至8のいずれか1項に記載のX線発生装置を具備したことを特徴とするX線露光装置。」を提供する。

【0019】

【発明の実施の態様】

放射光リングまたはレーザープラズマX線源(LPX)から輻射されたX線を取り出して利用する本発明では、輻射された使用X線の光路中(真空容器内)に配置された微小開口または微小開口群により使用X線を取り出している。

【0020】

具体的に言うと、本発明にかかる微小開口または微小開口群は、使用X線をほぼ直進させるとともに、放射光リングまたはプラズマ(LPX)から輻射された赤外光、可視光及び紫外光を回折させて使用X線の光路から逸脱させる機能を有する。或いは、本発明にかかる微小開口群は、微小開口群を通過してきた光束の干渉効果により赤外光、可視光または紫外光の強度を減少させる機能を有する。

【0021】

このように、本発明では、波長による回折角の違いを利用して、使用X線の光路から赤外光、可視光及び紫外光を大幅に減衰させている。例えば、使用X線の光路中に数10分の1 $\mu\text{m}$ から数100 $\mu\text{m}$ の微小開口を配置すると、赤外光、可視光及び紫外光は微小開口のエッジ部分により大きく回折され、微小開口を通過した後は使用X線の光路から外れて(大きく広がって)伝搬してゆく。

【0022】

一方、使用X線は波長が数nm～数10nmと可視光や赤外光に比べて1桁から2桁短いため回折角が小さく、微小開口を通過した後もほぼ直進して伝搬してゆく。従って、微小開口からある程度離れた所では、使用X線の光量は殆ど減少しないが、赤外光、可視光及び紫外光の単位面積あたりの光量は著しく減少する。或いは、本発明にかかるX線発生装置では、微小開口群を通過してきた赤外光、可視光または紫外光の干渉を利用して、これら光束の強度を減少させている。

【0023】

例えば、微小開口群を有する光学部材が少なくとも赤外光、可視光、または紫外光を透過する材料にて構成され、光学部材における開口部の面積と格子部の面積が等しく、かつ格子部を透過した光束が開口部を通過した光束に対して $(n+1/2)$  ( $n$ :自然数、 $\lambda$ :光束の波長)だけ位相に遅れが生じるような格子部の厚さを有すると、この光学部材を透過もしくは通過してきた赤外光、可視光または紫外光の0次光は干渉効果により互いに打ち消しあうため、その強度を大きく減少させることができる。

【0024】

本発明にかかる微小開口を配置する位置は、使用X線の光路中であれば特に限定はなく、また微小開口の数も特に限定されない(一つでも複数でもよい)。微小開口の数が一つの場合や、或いは複数であってもその数が少なく、微小開口または微小開口群の占める面積が使用X線の集光ビーム径(集光光学素子による集光ビーム径)程度に小さい場合には、微小開口または微小開口群は集光光学素子の集光位置またはその近傍に配置するとよ

い。

【0025】

なお、使用X線のビーム径が一つの微小開口よりも大きい場合には、微小開口群を用いればよく、図2に微小開口群を有する光学部材の一例を示す。図2(a)は微小開口群を正面から見たもの、図2(b)は微小開口群の断面図である。図2の微小開口群は、 $10\mu\text{m}$ 角の微小開口201の集団であり、縦10個、横10個の微小開口が幅 $2\mu\text{m}$ の間隔で開けられている。

【0026】

この微小開口群を用いれば、ビーム径が約 $100\mu\text{m}$ の使用X線に対しても用いることができる。なお、使用X線の波長は $13\text{nm}$ とする。ところで、このような微小開口群を用いる場合には、必ずグリッド部(図2(a)では幅 $2\mu\text{m}$ の部分202)が存在する。このグリッド部における使用X線の透過率は微小開口の部分(中空部分)201よりも必ず低くなる。

【0027】

このため、微小開口群及びグリッド部を通過してきた使用X線の強度分布にムラが発生する。X線縮小投影露光装置では、一つのパターンを露光するのに多重ショットによる重ね露光をするので、微小開口群及びグリッド部を通過してきた使用X線の強度分布にムラが発生する場合には、1ショットごとまたは数ショットごとに微小開口群の位置を変化させ、グリッド部による陰が平均化されるようにすればよい。

【0028】

そこで、本発明においては、微小開口群の位置を移動させる移動機構を具備することが好ましい。なお、微小開口群は、使用X線の光軸に垂直な面内で移動させても、光軸方向に移動させても、或いは両方を行っても良い。また、光軸に垂直な面内における移動の振幅は微小開口の大きさ程度(例えば図2の場合には $10\mu\text{m}$ )でよい。

【0029】

前記微小開口または微小開口群を有する光学部材は、使用X線に対して透明性を有し、赤外光、可視光及び紫外光に対して不透明(または略不透明)である材料により構成されていることが好ましい。例えば、使用X線の波長が $13\text{nm}$ の場合には、シリコン(Si)を用いて光学部材を構成するとよい。Siは $12.4\text{nm}$ に吸収端を有するので、これよりも長波長の $13\text{nm}$ に対しては透過率が高い。

【0030】

また、(BイオンのLyman 線からの)波長 $4.8\text{nm}$ のX線を使用する場合には、光学部材の基板材料としてはX線透過率の面で炭素(C)が適している(吸収端 $4.4\text{nm}$ )。ただし、炭素や炭素を含む有機物を用いると微細加工(薄膜化及び微小開口の形成)が難しい。そこで、X線に対して透過率が高い窒化シリコン( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )の薄膜を基板として用いるとよい。窒化シリコンは、 $0.05\mu\text{m}$ 程度の厚さのものまで容易に作製することが可能であり、微小開口の形成も容易である。 $0.05\mu\text{m}$ 厚の窒化シリコンの波長 $4.8\text{nm}$ に対する透過率は約63%である。

【0031】

もし、Si等の材料により構成された光学部材の基板が薄すぎて可視光が透過するようであれば、Si等材料からなる基板の上に可視光に対する不透明物質を成膜すればよい。例えば、ストロンチウム(Sr)、イットリウム(Y)、ジルコニウム(Zr)、ニオブ(Nb)、モリブデン(Mo)などの不透明物質を $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ の厚さにてSiからなる光学部材の基板上に成膜すればよい。

【0032】

これらの物質は、波長 $13\text{nm}$ のX線に対しては高い透過率を有するので、これらの物質を成膜した層によるX線の減衰を少なくすることができる。すなわち、本発明においては、微小開口または微小開口群を有する光学部材は、単一の材料によって構成されていてもよいし、いくつかの材料からなる複合部材であってもよい。

【0033】

また、本発明にかかる微小開口部はなにもない空洞でもよいし、X線に対して透過率の高い物質で詰まってもよい。ところで、放射光リングまたはLPXからは、紫外線より波長の短い真空紫外線も輻射される。この真空紫外線は、使用X線の波長（例えば13nm）に近いので、回折角も使用X線と同程度となり、本発明にかかる微小開口による減衰を受けにくくなる。

#### 【0034】

また、真空紫外線は物質による吸収が大きいので、たいていの物質に吸収されてしまう。そこで、この真空紫外線については、X線発生装置の真空容器内（X線光路中）にガスを充填し、真空紫外線をこのガスにより吸収させればよい。則ち、本発明のX線発生装置は、装置の真空容器内を放射光リングまたはプラズマから輻射された真空紫外線を吸収し、使用X線を透過させるガス雰囲気にする機構を具備することが好ましい。

#### 【0035】

このような目的に使用するガスとしては、水素(H<sub>2</sub>)、ヘリウム(He)、窒素(N<sub>2</sub>)、酸素(O<sub>2</sub>)、アルゴン(Ar)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe)などがあげられる。特にクリプトン(Kr)は波長13nm付近に吸収端があるので、X線縮小投影露光用として期待されている波長13nmのX線に対して透過率が高く、この目的に適している。

#### 【0036】

本発明にかかるX線発生装置は、微小開口または微小開口群を有する光学部材を真空容器内を二領域に分割するように構成し、微小開口を利用して前記二領域を差動排気する機構を具備することが好ましい（請求項8）。かかる構成にすると、微小開口109を利用して差動排気を行うことにより、LPXにおける真空容器内の残留ガスやプラズマ等から放出される飛散粒子がX線発生装置の後段に配置された別の真空容器（X線光学系が収納されている）真空容器へ流入するのを防ぐことができるので好ましい。

#### 【0037】

また、かかる構成にすると、微小開口あるいは微小開口群を介して差動排気を行うことにより、放射光リングと下流の光学系との間の圧力差を保持することができるので好ましい。以下、本発明を実施例により具体的に説明するが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

#### 【0038】

##### 【実施例1】

本実施例のX線発生装置は、減圧された真空容器内に配置された標的物質にパルスレーザー光を照射して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマから輻射されたX線を取り出して利用するX線発生装置であり、微小開口または微小開口群を有する光学部材を、該微小開口または該微小開口群が前記プラズマから輻射された使用X線の光路中（真空容器内）に位置するように設置して、該光学部材により使用X線を取り出している。

#### 【0039】

本実施例のX線発生装置の概略構成を図1に示す。パルスレーザー発生装置（不図示）から発せられたレーザー光101はレンズ102により、窓103を通して真空容器100内に集光される。標的物質であるクリプトン（Kr）ガスがフィードスルーを通して真空容器100内に導入され、ノズル104から真空容器100内に噴出される。ノズル104はパルスジェットノズルであり、ノズルが開いている時間は約500 μsecである。

#### 【0040】

Krガスは背圧50気圧でノズル104より真空中へ噴出され、断熱自由膨張により急激にその温度が低下して、ファン・デル・ワールス力により原子同士が互にくっつきあい、原子数が数十から数十万個にも及ぶクラスター分子105が形成される。レーザー光101は、ノズルが開いてKrガスが真空中に噴出された後、数100 μsec程度経過してから、このクラスター分子の集団上に集光されてプラズマ106が生成される。

#### 【0041】

クラスター分子の数密度は、ノズルからの距離が離れるに従って急激に減少するので、

X線量を多くするためにはレーザー光101を集光するクラスター分子の位置をできるだけノズルに近くした方がよい。本実施例では、プラズマがノズル先端から0.5mmの位置に発生するようにしている。ノズル104は、多層膜回転楕円ミラー107の中央部分を貫通して取り付けられている。また、多層膜回転楕円ミラー107の一方の焦点位置にプラズマが生成されるように、ノズルの位置やレーザー光の集光位置などが決められている。

#### 【0042】

多層膜回転楕円ミラー107の多層膜は、モリブデン(Mo)とシリコン(Si)により構成されており、反射X線の中心波長が13nmとなるように多層膜の周期長が決定されている。また、ミラー全面にわたって反射X線の中心波長が13nmとなるように、多層膜の周期長をミラー上の各位置において変化させている。多層膜回転楕円ミラー(集光光学素子の一例)107で反射したX線は、多層膜回転楕円ミラー107のもう一方の焦点位置に向かって集光され、この焦点位置に直径10 $\mu$ mの微小開口が位置するように、該微小開口を有する光学部材109が設置されている。

#### 【0043】

光学部材109は、厚さ2 $\mu$ mのSi膜で構成されており、可視光などを完全に遮るために、光学部材の表面には厚さ0.2 $\mu$ mのAlがコートされている。この微小開口を通過した赤外光、可視光及び紫外光は回折されて(例えば、光路112の方向に回折されて)、使用X線の光路111から外れる。一方、多層膜回転楕円ミラー107で反射され、微小開口を通過した波長13nmのX線は回折の影響をほとんど受けずにほぼ直進して(光路111)、後段のX線光学系へと伝搬して行く。

#### 【0044】

従って、後段のX線光学系へ入射するX線の光量を殆ど低下させることなく、赤外光、可視光及び紫外光を著しく減少させることができる。このとき、標的物質として用いているKrは真空容器100内で再びガス化し、真空排気系110により排気されるが、真空容器100内に残留Krガスが存在する。

#### 【0045】

そこで、バルブ108を調整して、真空容器100内の残留Krガスの圧力を、波長13nmのX線に対する減衰は十分に少なく、これよりも長波長の真空紫外線に対しては十分な吸収があるように調整することにより、微小開口により回折を受けにくい真空紫外光も減衰させることができる。以上のように、微小開口による回折により赤外光、可視光及び紫外光が減衰され、残留Krガスにより真空紫外光が減衰されるが、X線は微小開口の中を通過してほぼ直進し、ほとんど減衰を受けない。よって、使用X線のみを高い効率で後段の光学系へと導くことができる。

#### 【0046】

本実施例では、微小開口を有する光学部材の基板としてAlコートされたSi膜を用いたが、これに限定されるものではない。また、微小開口の形状は円形に限らず、四角形等どのような形状のものでもよい。また、微小開口の大きさはここで述べた10 $\mu$ mに限らず、不要な波長の光を十分に回折させることができればよく、およそ数10分の1 $\mu$ mから数100 $\mu$ mである。

#### 【0047】

また、微小開口109を利用して差動排気を行うと、真空容器100内の残留ガスや、プラズマ106、ノズル104及びノズル近傍から放出される飛散粒子が後段のX線光学系が収納されている別の真空容器(不図示)へ流入するのを防ぐことができるので好ましい。X線のビーム径が一つの微小開口よりも大きい場合には、図2に示すような微小開口群を有する光学部材を用いればよい。

#### 【0048】

図2(a)は微小開口群を正面から見たもの、図2(b)は微小開口群の断面図である。図2の微小開口群は10 $\mu$ m角の微小開口201の集団であり、縦10個、横10個の微小開口が幅2 $\mu$ mの間隔で光学部材の基板200に開けられている。この微小開口群を用いれば、ビーム径が約100 $\mu$ mのX線にも用いることができる。なお、使用X線の波長

は13nmとする。

【0049】

この微小開口群を有する光学部材の基板200はSi製であり、その厚さは0.5 $\mu$ mである。また、基板200上には赤外光や可視光をカットするために厚さ0.1 $\mu$ mのイットリウム(Y)203がコートされている。波長13nmのX線に対するSi基板とY膜を含めた透過率(グリッド部202の透過率)は0.34である。また、微小開口群の開口率は0.7であり、残りの0.3の部分(グリッド部202の部分)をX線が透過する割合はほぼ0.1となる。

【0050】

従って、微小開口群全体(グリッド202部分を含む)の波長13nmのX線に対する透過率は0.8となる。本実施例にかかる微小開口群を用いないで、Si基板とYのコートだけで可視光カットX線透過フィルターを作製した場合のX線透過率は0.34であるから、本実施例にかかる微小開口群を用いた方がX線の透過率は遙かに向上する。

【0051】

なお、このような微小開口群を用いる場合には必ずグリッド部(図2(a)では幅2 $\mu$ mの部分)202が存在し、このグリッド部におけるX線の透過率は微小開口201の部分(中空部分)よりも必ず低くなるので、微小開口群及びグリッド部を通過してきたX線の強度分布にムラが発生する。X線縮小投影露光装置では、一つのパターンを露光するのに多重ショットによる重ね露光をすることで、微小開口群及びグリッド部を通過してきた使用X線の強度分布にムラが発生する場合には、1ショットごとまたは数ショットごとに微小開口群の位置を変化させ、グリッド部の陰が平均化されるようにすればよい。

【0052】

即ち、微小開口群の位置を移動させる移動機構を具備することが好ましい。このとき、微小開口群をX線の光軸に垂直な面内で移動させても、光軸方向に移動させても良く、或いは両方行っても良い。

【0053】

また、光軸に垂直な面内における移動の振幅は微小開口の大きさ程度(図2の場合には10 $\mu$ m)でよい。微小開口群の各微小開口の大きさ、形、数、微小開口の相対位置は第2図に示した例に限らず任意でよい。

【0054】

また、微小開口群を有する光学部材の基板材料はSiに限らず任意でよい。また、基板上にコートする物質はYに限らず任意でよく、必要がなければコートしなくても良いが、基板やコートの材料は使用X線の波長において透過率が高い物質であることが好ましい。

【0055】

微小開口群を構成する各微小開口は同一形状、同一寸法である必要はなく、ランダムな形状、ランダムな開口径、ランダムな開口位置で構成された微小開口群であっても良い。

【0056】

【実施例2】

本実施例のX線発生装置も実施例1の装置と同様に、減圧された真空容器内に配置された標的物質にパルスレーザー光を照射して該標的物質をプラズマ化し、該プラズマから輻射されたX線を取り出して利用するX線発生装置であり、微小開口または微小開口群を有する光学部材を、該微小開口または該微小開口群が前記プラズマから輻射された使用X線の光路中(真空容器内)に位置するように設置して、該光学部材により使用X線を取り出している。

【0057】

本実施例のX線発生装置の概略構成を図3に示す。実施例1と同様に、ノズル304から噴出され、ガス状あるいはクラスター状となった標的物質(この場合はKr)305にレーザー光301を集光して、プラズマ306を生成する。プラズマ306から輻射されたX線は、多層膜放物面ミラー307により反射される。ミラー307で反射したX線はほぼ平行光となり、光学部材309に形成された微小開口群に入射する。



## 【 0 0 5 8 】

微小開口群に入射した光のうち、赤外光、可視光及び紫外光は微小開口群の各微小開口により回折され、微小開口群を通過した後は大きく広がり（例えば光路 3 1 2 の方向へ進み）、その殆どは真空容器 3 0 0 の内壁に当たって反射、散乱または吸収され、後段の X 線光学系へ入射するのは極僅かになる。一方、X 線は微小開口群 3 0 9 を通過しても殆ど回折の影響を受けずにほぼ直進し（例えば光路 3 1 1 の方向へ進み）、後段の X 線光学系へ入射することができる。また、真空紫外線については実施例 1 と同様のガス導入機構により減衰されるため、後段の X 線光学系へ入射するのは、殆ど使用 X 線のみとなる。

## 【 0 0 5 9 】

ここで、光学部材 3 0 9 に形成された微小開口群を図 4 に示す。なお、使用 X 線の波長は 13nm とする。支持基板 4 0 0 上の領域に 5mm 角のセル（微小開口群形成領域）4 0 3 が形成され（図 4（a）参照）、各セルの間隔は 0.5mm である。支持基板 4 0 0 の厚さは 50  $\mu\text{m}$ 、セル 4 0 3 における基板厚さは 0.5  $\mu\text{m}$  であり、このセル内の基板上に 10  $\mu\text{m}$  角の微小開口 4 0 1 が 2  $\mu\text{m}$  間隔で設けられている。

## 【 0 0 6 0 】

支持基板 4 0 0 及びセル内の基板は Si 製であり、その表面にはイットリウム（Y）が 0.1  $\mu\text{m}$  の厚さでコートされている。セルの占有率は 0.83 であり、支柱部 4 0 4 の厚さは支持基板と同じ 50  $\mu\text{m}$  であるから X 線は透過しない。また、セル内の微小開口 4 0 1 群の開口率は 0.7 である。そして、波長 13nm の X 線に対するセル内の Si 基板と Y 膜を含めた透過率は 0.34 であるから、セル内の残りの 0.3 の部分（グリッド部 4 0 2）を透過する X 線の割合はほぼ 0.1 であり、セル内の微小開口群全体（グリッド部 4 0 2 を含む）の波長 13nm の X 線に対する透過率は 0.8 となる。

## 【 0 0 6 1 】

従って、光学部材上の微小開口群全体の透過率は  $0.83 \times 0.8 = 0.66$  となる。本実施例にかかる微小開口群を用いずに、Si 基板と Y のコートだけで可視光カット X 線透過フィルターを作製した場合の透過率は 0.34 であるから、本実施例にかかる微小開口群を用いた方が X 線の透過率は遙かに向上することが分かる。なお、セルの大きさ、形、数、各セルの相対位置は任意でよい。また、微小開口群の各微小開口の大きさ、形、数、開口の相対位置は第 4 図に示した例に限らず任意でよい。

## 【 0 0 6 2 】

また、微小開口群の基板は Si に限らず任意でよい。また、基板上にコートする物質は Y に限らず任意でよく、必要がなければコートしなくても良いが、基板やコートの材料は、使用する X 線の波長において透過率が高い物質であることが好ましい。微小開口群を構成する各微小開口は同一形状、同一寸法である必要はなく、ランダムな形状、ランダムな開口径、ランダムな開口位置で構成された微小開口群であっても良い。また、セルの形状、セルの大きさ、セルの相対位置がランダムであっても良い。

## 【 0 0 6 3 】

また、透過 X 線強度の空間的なムラを平均化するため、微小開口群を X 線光軸に垂直な面内で、或いは光軸方向に（或いは両方で）移動するようにしても良い。以上の各実施例における基板の厚さ、コート材の厚さ、微小開口の大きさなどは一例であり、これに限るものではない。

## 【 0 0 6 4 】

また、各実施例では、微小開口群が形成されている光学部材は赤外光、可視光及び紫外光に対して不透明であったが、これを少なくとも赤外光、可視光、または紫外光を透過する材料にて構成し、光学部材における開口部の面積と格子部の面積を等しくし、かつ格子部を透過した光束が開口部を透過した光束に対して  $(n + 1/2)$ （ $n$ ：自然数、 $\lambda$ ：光束の波長）だけ位相に遅れが生じるような格子部の厚さとすることにより、透過もしくは通過してきた赤外光、可視光または紫外光の 0 次光が互いに干渉して、打ち消しあうようにしてもよい。

## 【 0 0 6 5 】

このとき、微小開口群を形成する部材としては、例えばガラス（SiO<sub>2</sub>）、Si薄膜、窒化シリコン（Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>）薄膜などが利用できる。また、各実施例では、LPXのターゲット物質としてKrを用いているが、他のガス（例えばキセノン、酸素、窒素など）でもよい。また、ターゲットの形状はクラスター（ガス）状に限らず、固体や液体であっても良い。また、ターゲット物質は必要とするX線を輻射できるものであればどんなものでも良い。

#### 【0066】

また、各実施例では、真空紫外光を吸収するガスとして、ターゲット物質が気化したときの残留ガスを用いているが、これに限らず、使用X線に対して透過率が高く、真空紫外域の光に対して吸収が大きいガスであればどんなものでも良い。なお、ターゲット物質と真空紫外線吸収用のガスの物質が異なるときには、真空容器内に真空紫外線吸収用のガスを導入する導入口を設ければよい。

#### 【0067】

各実施例においては、微小開口または微小開口群を有する光学部材は1枚しかX線光路中に挿入されていなかったが、これは複数枚であっても良い。例えば、微小開口群が複数のスリットからなるものを用いている場合に、2枚の複数スリット開口群を互いに直交するように配置しても良い。また、各実施例においては、Siなどの基板上または薄膜上に微小開口群を形成したが、毛細管（例えば内径10μmのガラス管）を束ねて固定したものを薄くスライスし、これを開口群として用いても良い。

#### 【0068】

各実施例においては、X線源にLPXを用いたものしか記載しなかったが、放射光リングを用いた場合にでも同様な効果が期待できる。

#### 【0069】

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、使用X線の強度を極力減衰させることなく、不要な赤外光、可視光及び紫外光などを著しく低減することができる。そのため、本発明によれば、被照射物体（例えば、X線検出器やレジストなど）上へのX線照射量を大幅に増やすことが可能となり、装置のスループットを向上させることができる。

#### 【0070】

また、本発明によれば、透過率の波長依存性が少ないので、広い波長範囲のX線に対して使用できる。また、微小開口または微小開口群を介して差動排気を行うことにより、LPXにおける真空容器内の残留ガスや、プラズマやプラズマ近傍から放出される飛散粒子が後段の光学系が収納されている別の真空容器へ流入するのを防いだり、放射光リングと下流の光学系との間の圧力差を保持することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】は、実施例1のX線発生装置を示す概略構成図である。

【図2】は、実施例1における微小開口群の一例を示す概略構成図である。

【図3】は、実施例2のX線発生装置を示す概略構成図である。

【図4】は、実施例2における微小開口群を示す概略構成図である。

#### 【主要部分の符号の説明】

100, 300 ... 真空容器、 101, 301 ... レーザー光 102, 302 ... 集光レンズ、 103, 303 ... レーザー光導入窓 104, 304 ... ノズル  
105, 305 ... クラスター（ガス）  
106, 306 ... プラズマ  
107 ... 多層膜回転楕円ミラー、 307 ... 多層膜放物面ミラー 108, 308 ... バルブ  
109 ... 微小開口を有する光学部材、 309 ... 微小開口群を有する光学部材  
110, 310 ... 真空排気系  
111, 311 ... ほぼ直進するX線  
112, 312 ... 回折された赤外線、可視光、紫外光など 200 ... 基板  
400 ... 支持基板

2 0 1 , 4 0 1 ... 開口  
2 0 2 , 4 0 2 ... グリッド部  
2 0 3 ... イットリウム薄膜  
4 0 3 ... セル  
4 0 4 ... 支柱部