

【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7部門第2区分

【発行日】平成24年4月5日(2012.4.5)

【公開番号】特開2010-21518(P2010-21518A)

【公開日】平成22年1月28日(2010.1.28)

【年通号数】公開・登録公報2010-004

【出願番号】特願2009-29011(P2009-29011)

【国際特許分類】

H 01 S 3/081 (2006.01)

H 05 G 2/00 (2006.01)

H 01 L 21/027 (2006.01)

【F I】

H 01 S 3/081  
H 05 G 1/00 K  
H 01 L 21/30 5 3 1 S

【手続補正書】

【提出日】平成24年1月26日(2012.1.26)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項2】

前記カップリング装置は、ポッケルスセルとポーラライザとカップリングミラーで構成され、該ポッケルスセルでレーザ光をS偏光に変えることにより該ポーラライザ表面で反射させて該カップリングミラーに入射させ、該カップリングミラーで反射して前記増幅器部に入射させることを特徴とする請求項1記載のスラブ型レーザ装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項3

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項3】

再生増幅器部と増幅器部とスラブ型ガスレーザ媒体部を収納したスラブ型レーザ装置であって、

該スラブ型ガスレーザ媒体部は、ガスレーザ媒体が充填される空間内で平行に対向して配設した1対の電極平板で画定した領域に形成され、該電極平板には高周波電源が接続され、ガスレーザ媒体を充填して電極平板に高周波電力を印加すると該ガスレーザ媒体が励起され、

前記再生増幅器部は、前記スラブ型ガスレーザ媒体部の一部を挟んで対向する1対の共振器ミラーと1/4波長板とカップリング装置で構成され、種レーザ発生部から放出される種レーザ光を取り込んで前記共振ミラーの間で共振させてレーザ光を所定の光強度まで増幅した後に前記カップリング装置を駆動して該レーザ光を前記増幅器部に入射させ、

該増幅器部は、入射したレーザ光を偏向する入射ミラーと、前記スラブ型ガスレーザ媒体部の一部を挟んで対向する折返しミラーを備え、該折返しミラーの間をレーザ光が複数回往復するように構成され、入射したレーザ光を所定の出力をもつレーザ光まで増強して出力するスラブ型レーザ装置。

【手続補正3】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項 5

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項 5】

前記種レーザ発生器はシングルラインシーダーおよびマルチラインシーダーのいずれかであることを特徴とする請求項 3 または 4 記載のスラブ型レーザ装置。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項 1 3

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項 1 3】

再生増幅器部と増幅器部とスラブ型ガスレーザ媒体部を収納したスラブ型レーザ装置であって、

該スラブ型ガスレーザ媒体部は、ガスレーザ媒体が充填される空間内で平行に対向して配設した 1 対の電極平板で画定した領域に形成され、該電極平板には高周波電源が接続され、ガスレーザ媒体を充填して前記電極平板に高周波電力を印加すると該ガスレーザ媒体が励起され、

前記再生増幅器部は、前記スラブ型ガスレーザ媒体部の一部を挟んで対向する 1 対の共振器ミラーと、種レーザ光発振器から種レーザ光を前記共振器ミラーの間に注入する第 1 のカップリング装置と、前記共振器ミラー間で増幅されたレーザ光を外部に出力する第 2 のカップリング装置で構成され、該種レーザ光発振器から放出される種レーザ光を前記第 1 のカップリング装置により取り込んで前記共振ミラーの間で共振させてレーザ光を所定の光強度まで増幅した後に前記第 2 のカップリング装置を駆動して出力された該レーザ光を前記増幅器部に入射させ、

該増幅器部は、前記入射したレーザ光が前記スラブ型ガスレーザ媒体部を少なくとも 2 回以上通過増幅させる光学システムを備えたマルチパス増幅器として構成され、前記再生増幅器から入射したレーザ光を所定の出力をもつレーザ光まで増幅して出力するスラブ型レーザ装置。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項 1 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項 1 4】

再生増幅器部と増幅器部と前記再生増幅器部から出力されたレーザ光を前記増幅部に入射させる入射部とスラブ型ガスレーザ媒体部を収納したスラブ型レーザ装置であって、

該スラブ型ガスレーザ媒体部は、ガスレーザ媒体が充填される空間内で平行に対向して配設した 1 対の電極平板で画定した領域に形成され、該電極平板には高周波電源が接続され、ガスレーザ媒体を充填して電極平板に高周波電力を印加するとガスレーザ媒体が励起され、

前記再生増幅器部は、前記スラブ型ガスレーザ媒体部の一部を挟んで対向する 1 対の共振器ミラーと、種レーザ光発振器から種レーザ光を前記共振器ミラーの間に注入する第 1 のカップリング装置と、前記共振器ミラー間で増幅されたレーザ光を外部に出力する第 2 のカップリング装置で構成され、該種レーザ光発振器から放出される種レーザ光を前記第 1 のカップリング装置により前記共振器ミラー間に注入して前記共振ミラーの間で共振させてレーザ光を所定の光強度まで増幅した後に前記第 2 のカップリング装置を駆動して出力された該レーザ光を前記増幅器部に入射させ、

前記入射部は、少なくとも 1 個の光学素子を含み、前記カップリング装置を駆動して出

力された該レーザ光を前記増幅部に入射させ、

該増幅器部は、前記入射したレーザ光が前記スラブ型ガスレーザ媒体部を少なくとも2回以上通過増幅させる光学システムを備えたマルチパス増幅器として構成され、該入射したレーザ光を所定の出力をもつレーザ光まで増幅して出力するスラブ型レーザ装置。

【手続補正6】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項20

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項20】

前記種レーザ光発振器は、量子化カスケードレーザであることを特徴とする請求項18または19記載のスラブ型レーザ装置。

【手続補正7】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項24

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項24】

前記増幅器部の前記マルチパス増幅器は、前記入射ビームの光路上の第1の定点が前記第2のカップリング装置の前記ポーラライザまたは光音響素子の位置と一致し、前記第1の定点における入射ビームの断面像を、最後の前記レーザ増幅領域を通過して出射される出射ビーム上の光路上の第2の定点において転写結像させる光学システムを構成する、請求項9から21のいずれか一項に記載のスラブ型レーザ装置。

【手続補正8】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項25

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項25】

前記増幅器部の前記マルチパス増幅器は、前記入射部の少なくとも1個の光学素子の位置と前記入射ビームの光路上の第1定点が一致し、前記第1の定点における該レーザ光の断面像が、最後の前記レーザ増幅領域を通過して出射される出射ビーム上の光路上の第2の定点において転写結像させる光学システムを構成する、請求項9から21のいずれか一項に記載のスラブ型レーザ装置。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0001】

本発明は、パルスレーザ光を放射するスラブ型レーザ装置に関し、特に極端紫外(EUV)光源装置においてターゲット物質に照射してプラズマ化し極端紫外光を放射させるドライバレーザ光を出力するスラブ型炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)レーザ装置に関する。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0002】

近年、半導体プロセスの微細化に伴って光リソグラフィも微細化が急速に進展しており

、次世代においては、100～70nmの微細加工、さらには50nm以下の微細加工が要求されるようになる。そのため、例えば、波長13nm程度のEUV光源と縮小投影反射光学系(reduced projection reflective optics)とを組み合わせた露光装置の開発が期待されている。

最近では、ArFレーザの液浸方式により、45nmの微細加工までできるようになり、EUV光を使った32～22nm以下の微細加工がEUVリソグラフィにより行われようとしている。

#### 【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0011】

上記課題を解決するため、本発明のスラブ型レーザ装置は、ガスレーザ媒体が充填される空間内で平行に対向して配設した1対の電極平板で画定した領域に形成され、その電極平板には高周波電源が接続され、ガスレーザ媒体を充填して電極平板に高周波電力を印加するとガスレーザ媒体が励起されるスラブ型ガスレーザ媒体部と、スラブ型ガスレーザ媒体部の一部を挟んで対向する1対の共振器ミラーとカップリング装置とを含み、内部で発振したレーザ光を所定の光強度まで増幅した後にそのカップリング装置を駆動してレーザ光を増幅器部に入射させる発振器部と、入射したレーザ光を偏向する入射ミラーと、スラブ型ガスレーザ媒体部の一部を挟んで対向する複数の折返しミラーとを含み、折返しミラーの間をレーザ光が複数回往復するように構成され、発振部から入射したレーザ光を所定の出力をもつレーザ光まで増幅して出力する増幅器部とを備えることを特徴とする。

#### 【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0012】

また、本発明のスラブ型レーザ装置は、発振器部と増幅器部とスラブ型ガスレーザ媒体部を収納したスラブ型レーザ装置であって、スラブ型ガスレーザ媒体部は、ガスレーザ媒体が充填される空間内で平行に対向して配設した1対の電極平板で画定した領域に形成され、電極平板には高周波電源が接続され、ガスレーザ媒体を充填して電極平板に高周波電力を印加するとガスレーザ媒体が励起される。そして、発振器部は、スラブ型ガスレーザ媒体部の一部を挟んで対向する1対の共振器ミラーとカップリング装置とを含み、発振器部内で発振したレーザ光を所定の光強度まで増幅した後にカップリング装置を駆動して、出力されたレーザ光を増幅器部に入射させる。そして、増幅器部は、共振器部から入射したレーザ光がスラブ型ガスレーザ媒体部を少なくとも2回以上通過増幅させる光学システムを備えたマルチパス増幅器として構成されることを特徴とする。

#### 【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0022】

ポーラライザ14はS偏光を反射しP偏光を透過する光学素子である。また、EOポッケルスセル13は高電圧を印加したときにのみ偏光が回転する光学素子である。

EOポッケルスセル13に電圧を印加しないときは偏光状態が変化しないので、発振器部10で発生したP偏光のレーザ光は、共振器ミラー11, 12の間を多数回往復しレーザ媒体のエネルギーを転移して増強することができる。すなわち、レーザ光がレーザ媒体

を通過することによって誘導放出が発生し、レーザ光は増幅される。

発振器部10で発生したCO<sub>2</sub>レーザ光は、 $\pi/4$ 波長電圧を印加したEOポッケルスセル13を往復する間にS偏光となり、ポーラライザ14で反射してカップリングミラー15に入射し、カップリングミラー15で反射して増幅器部20に入射する。

このように、所望のタイミングで共振器で共振した光を共振器の外部へ出力する、または、共振器中に導入する機構をカップリング装置と呼ぶ。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0023

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0023】

増幅器部20は、CO<sub>2</sub>レーザ媒体部30の一部を含み、入射ミラー21、折返しミラー22とこれに対向する折返しミラー23の1対の折り返しミラーで構成される。

折返しミラー22と対向する折返しミラー23は平面鏡で、CO<sub>2</sub>レーザ媒体部30を挟んで平行に対向して配置される。発振器部10から入射したCO<sub>2</sub>レーザ光は、入射ミラー21で偏向して、平行に配設された折返しミラー22と対向する折返しミラー23の間に入射して、折返しミラー22と対向する折返しミラー23の間を多重反射しながら反射位置をずらさせていく、最後に折返しミラー22の端から射出し、スラブ型レーザ装置の出力窓を介してEUV光生成チャンバや別のCO<sub>2</sub>レーザ増幅器に供給される。

CO<sub>2</sub>レーザ光は、励起されたCO<sub>2</sub>レーザ媒体中を往復走行する間に出力を増幅し、高出力のレーザ光になる。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0024】

共振器と増幅器を直列に接続した従来のスラブ型レーザ装置と比較すると、本実施形態のスラブ型レーザ装置は、CO<sub>2</sub>レーザ媒体を増幅器部20と共に用いてレーザ発振器部10を形成するので、従来2個あった構成部品が一つに纏まり、装置の構成が単純化しつつ小型になった。また、発振器部10を増幅器部20と同じCO<sub>2</sub>レーザ媒体中で作動させる上、増幅器部20においてレーザ光がマルチパスになり十分なエネルギー転化を受けることができるので、高出力のCO<sub>2</sub>レーザ光を得ることができ、また、CO<sub>2</sub>レーザ光の発振効率が向上することになる。すなわち、発振器部10を増幅器部20と同じCO<sub>2</sub>レーザ媒体中で作動させることと、増幅器部20においてレーザ光をマルチパス増幅させることにより、増幅効率が高くなり高出力のCO<sub>2</sub>レーザ光を得ることができると同時に、コンパクトなスラブ型レーザ装置となる。

このように、本実施形態のスラブ型レーザ装置は、省スペースで、高出力の短パルスCO<sub>2</sub>レーザ発振装置になる。

また、パルス幅を長くすることにより、さらに高出力、高効率のレーザ装置になる。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0026

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0026】

さらに、図4に示すように、往復する光路ごとに對になった反射鏡27、28を装備するようにしてもよい。これら反射鏡は個々に設置することもできるが、折返しミラー27と対向する折返しミラー28のそれぞれについて一体に形成することができる。一体で形

成したものを使用するとアライメントが容易である。

図5は、増幅器部20の往復光路中に6フッ化イオウ(SF<sub>6</sub>)などの可飽和吸収体31を介挿した態様を示す概念図である。増幅器部20において寄生発振が見られた場合は、可飽和吸収体を用いて抑制することができる。

ここで、増幅器部20は、折返しミラー22と対向する折返しミラー23により形成され、発振部10から出力され増幅器部20に入射したレーザ光がスラブ型ガスレーザ媒体部30を少なくとも2回以上通過することにより増幅させる光学システムを備えたマルチパス増幅器として構成され、入射したレーザ光を所定の出力をもつレーザ光まで増幅して出力する機能をはたしている。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0027】

(実施形態2)

さらに、図6～図18は、本発明に係る第2の実施形態のスラブ型レーザ装置を説明する図面である。本実施形態のスラブ型レーザ装置は、第1実施形態に係るスラブ型レーザ装置に対して、光学システム(折返しミラー光学系)を改良することにより光軸を安定化させた増幅器部を適用したものであり、増幅器部の他は実質的に同じ構成を有する。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0043】

1対の折返しミラー37,38が、増幅領域30を挟んで対向し距離Lの間隔で配置されている。折返しミラー37,38は、曲率半径Rの凹面HRミラーであって、図10に示されるように、両方の折返しミラー37,38が互いに上側に僅かに傾けて、両ミラー37,38で挟んだ空間が下方向にわずかにすぼまるように配置されている。

【手続補正19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0045】

レーザ光はさらに、増幅領域30を透過して増幅され、右側の折返しミラー37で反射して、今度は、図中左上方向に偏向し増幅領域30で増幅され、左側の折返しミラー38で右上方向に反射し増幅領域30で増幅され、出射ビームとして出射ウインドウ36を透過して、さらに、別のレーザ増幅器によりさらに増幅して高出力化する。そして、例えば、後工程の露光装置やレーザ加工器などに供給される。このとき、折返しミラー光学システムは、入射ビーム位置(第3定点)39に結像する第1の転写像を物体として、最後に反射した左側の折返しミラー37から出射ウインドウ36に向かうレーザ光の光路中、左右の折返しミラー37,38の中間位置(第2定点)35に第2の入射ビームの転写像を結像させる。なお、第2の入射ビームの転写像を結像する位置(第2定点)35は、入射ビーム位置(第1定点)34と重なるようにすることができる。

【手続補正20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0046】

図11は、本態様の増幅器部の光学システムを、透過素子に置き換えて説明する光学システム図である。

本態様の光学システムは、図9の態様の光学システムと異なり、(1)式に、 $f_1 = f_2 = L/2$ 、 $t = L$ を代入すると合成焦点距離は無限大となり、(1)、(2)、(3)式は適用することはできなくなる。このような光学システムは一般的にアフォーカル系と呼ばれる。レンズM1及びレンズM2の焦点距離をそれぞれ $f_1$ と $f_2$ として、M1とM2のレンズを $f_1 + f_2$ の間隔で配置した場合、物体の位置がM1レンズの前側 $f_1$ の位置とすると、物体の転写結像位置はM2レンズの後ろ側 $f_2$ の位置となる。

そして、アフォーカル系の場合の倍率Mは次式で表される。

$$(7) M = f_1 / f_2$$

本態様のように $f_1 = f_2$ の場合は、倍率Mは1となる。ここで、レンズM1、M2、M3、M4の焦点距離を同じ $f$ として、互いのレンズ間距離を $L$ とすると、 $L = 2f$ の関係を満たせば、図11のような光学結像システムとなる。凹面ミラー37及び38の曲率半径をRとすると、 $L = R$ の関係を満たすことによって本光学システムを実現できる。

図11を参照すると、入射ビーム(シードレーザ光)は、入射ビームの光路上にある入射ビーム位置(第1定点)34を通って、図中右側の凹面HRミラー37の集光力を持った焦点距離 $f$ のレンズM1に入射する。入射ビーム位置(第1定点)34はレンズM1の前側 $L/2$ の距離にある。図中左側の凹面HRミラー38の集光力を持った焦点距離 $f$ のレンズM2とレンズM1の間隔は $L$ である。入射ビーム位置(第1定点)34を通ったレーザ光は、レンズM1とレンズM2を透過して、レンズM2に対して $L/2$ 後側の位置である入射ビーム第1の転写像位置(第3定点)39に第1の転写像を結像する。

## 【手続補正21】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0052

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0052】

その後は、図中点線で示すように、8パスから11パスまで、シードレーザ光が増幅領域30を通過増幅しながら折返しミラーで0度より大きな角度で上方斜め方向に反射することを繰り返す。11パスは、シードレーザ光が増幅領域30を通過増幅し、出射ウインドウ36を透過して出射ビームとして出力する光路である。11パスの図中右側折返しミラー37の脇の位置である入射ビーム転写像位置(第2定点)35には、第1定点に当たる入射ミラー21における入射ビームの断面像を転写した像が結像される。

## 【手続補正22】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0053

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0053】

図13に、本態様の光学システムにおいて反射素子を透過素子に置き換えて直列に展開した光学システム図を示す。

図13に示すように、折り返し(凹面HR)ミラー系の両側に凹面ミラーを配したマルチパス増幅の場合、図12に示す入射ビームの位置(第1定点)のビーム断面を増幅後の出射ビームの光路上の第2定点に転写結像させる光学システムは、同じ焦点距離 $f = R/2$ を持つ複数のレンズが間隔 $L$ で並んだ合成レンズにおいて、前側最初のレンズM<sub>1</sub>の距離 $L$ だけ手前の位置(第1定点)34における入射ビームの断面像を、最終レンズM<sub>n</sub>から距離 $L$ だけ離れた位置(第2定点)35に転写像を結像するように、レンズを直列配置した場合と等価である。

## 【手続補正23】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0054

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0054】

ここで、 $k + 1$  個のレンズ ( $M_1, M_2, \dots, M_{k+1}$ ) の焦点距離を全て同一の  $f$  と仮定する。そして、これらレンズの合成焦点距離  $F_{k+1}$ 、 $k$  個のレンズ ( $M_1, M_2, \dots, M_k$ ) までの合成レンズの前側の主点と  $k + 1$  個のレンズ ( $M_1, M_2, \dots, M_{k+1}$ ) 合成レンズ系の主点間距離  $ZH_{k+1}$  と、倍率  $M$  は、式(1)(2)(3)から、次式で表現される。

$$(8) \quad F_{k+1} = F_k \cdot f / (F_k + f - L)$$

$$(9) \quad ZH_{k+1} = F_k \cdot L / (F_k + f - L) + ZH_k$$

$$(10) \quad M = (ZH_{k+1} + L - F_{k+1}) / F_{k+1}$$

$k = 0$  の場合 ( $M_1$  のみの場合) の合成焦点距離の初期値  $F_1 = f$  である。ここで、式(8)(9)(10)を用いて、 $F_1$  から  $F_n$  まで、逐次計算することにより、 $n$  個のレンズ ( $M_1, M_2, \dots, M_n$ ) までの、合成レンズの焦点距離  $F_n$  と前側主点位置  $ZH_n$  を求めて、倍率  $M$  が約 1 を満たすような各レンズの焦点距離  $f$  を求めることができる。

## 【手続補正24】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0060

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0060】

本態様においては、入射ミラー21の反射面の位置と同じ入射ビーム位置(第1定点)34を物体位置として、この第1定点における入射ビームの断面像を、出口側の出射ビーム光路上の入射ビーム転写位置(第2定点)35に結像させるように、折返しミラー光学システムを構成する。凹面折返しミラー38と平面折返しミラー42との距離を  $L$  とし、平行に対向するように設けて、入射ミラー21の位置である第1定点34の入射ビーム断面の転写像を出口側の第2定点35に結像させる。この第1定点34と第2定点35はそれぞれ、凹面折返しミラー38の脇に並んだ位置に設定する。

## 【手続補正25】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0067

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0067】

また、折返しミラー光学系は、入射ビーム位置(第1定点)34を、発振器ミラー11, 12の共振器の外部に出力したシードレーザ光を反射させるカップリングミラー15の反射面と略一致させるようにする。その結果、物体位置となる第1定点34は非常に安定となる。そこで、折返しミラー光学システムは、入射ビームが最初に凹面折返しミラー38に当たる位置の前側  $2L$  の光路上の位置に入射ビーム位置(第1定点)34が来るよう構成されている。また、出射ウインドウ36近傍に設定する入射ビーム転写位置(第2定点)35の位置は、出射ビームが最後に凹面折返しミラー38を反射した位置から後側に  $2L$  の光路上の位置になるように構成している。

## 【手続補正26】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0072

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0072】

ミラー（レンズ）同士の距離  $D = 2L$  を使った場合、 $k$  個のミラー（レンズ）の合成焦点距離  $F_{k+1}$ 、主点間距離  $ZH_k$ 、倍率  $M$  は、式（8）（9）（10）において  $L$  を  $2L$  に置き換えた次式により求めることができる。

$$(14) \quad F_{k+1} = F_k \cdot f / (F_k + f - 2L)$$

$$(15) \quad ZH_{k+1} = F_k \cdot 2L / (F_k + f - 2L) + ZH_k$$

$$(16) \quad M = (ZH_{k+1} + 2L - F_{k+1}) / F_{k+1}$$

$k = 0$  の場合合成焦点距離の初期値  $F_1 = f$  である。

ここで、式（14）（15）（16）を用いて、 $F_1$  から  $F_n$  まで、逐次計算することにより、 $n$  個のミラー（レンズ）（ $M_1, M_2, \dots, M_n$ ）までの、合成焦点距離  $F_n$  と前側主点位置  $ZH_n$  を求めて、倍率  $M$  が約 1 を満たすような各ミラー（レンズ）の焦点距離  $f$  を求めることができる。

## 【手続補正27】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0092

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0092】

（実施形態4）

図21～図23は、本発明に係る第4の実施形態のスラブ型レーザ装置を説明する図面である。本実施形態のスラブ型レーザ装置は、極端紫外光源装置におけるターゲット物質にレーザビームを供給するCO<sub>2</sub>レーザ装置である。本実施形態は、平面ミラーをほぼ平行に対向配置した折返しミラー光学システムを備えた増幅器部に対して、光学システムを簡約化した発振器部を適用したものであり、発振器部の他は、図1に例示した、第1実施形態の第1態様に係るスラブ型レーザ装置と実質的に同じ構成を有する。

## 【手続補正28】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0097

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0097】

ただし、発振器部10は、第1態様のものと異なり、発振器部10で発生したCO<sub>2</sub>レーザ光の偏光成分のうち、ポーラライザ14を透過するP偏光成分を共振器ミラー11及び12で共振させる。レーザ光は、平行に対向した1対の共振器ミラー11, 12の間でほぼ直線的な光路上で共振する。そして、EOポッケルスセル13を駆動して / 4位相を変化させることにより、CO<sub>2</sub>レーザ光のP偏光をS偏光に変換すると、CO<sub>2</sub>レーザ光はポーラライザ14で反射して増幅器部20に入射する。

## 【手続補正29】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0105

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0105】

<第1態様>

図26は、第7実施形態に係る第1の態様のスラブ型レーザ装置の構成例を示す概念図である。本態様のスラブ型レーザ装置は、再生増幅器部50において、共振器ミラー11, 12の間にEOポッケルスセル13とポーラライザ14と光音響素子71とを備え、光音響素子71でシードレーザ光を導入して再生増幅し、増幅したレーザ光を増幅器部20に供給するようにしたものである。

## 【手続補正30】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0106

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0106】

本態様のスラブ型レーザ装置では、再生増幅器部50の光音響素子71をオンにすると、P偏光のパルス状のシードレーザ光が共振器ミラー11及び12で構成される共振器中に導入される。その後、光音響素子71をオフにすると、シードレーザ光は共振器ミラー12により折り返され、オフされた光音響素子71をそのまま透過して、CO<sub>2</sub>レーザ媒体部30を透過増幅した後、P偏光の状態でポーラライザ14を透過し、オフされたEOポッケルスセル13を透過して、共振器ミラー11により折り返され、EOポッケルスセル13をそのまま通過し、P偏光の状態でポーラライザ14を透過し、再び、CO<sub>2</sub>レーザ媒体部30に入射して透過増幅する。これを繰り返すことによりシードレーザ光が再生増幅される。

【手続補正31】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0107

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0107】

所望のエネルギーになった時点で、EOポッケルスセル13を動作させると、シードレーザ光は、S偏光に変換され、ポーラライザ14において高反射され、再生増幅されたレーザ光が増幅器部20に出力される。この再生増幅器部50から増幅器部20に出力されたレーザ光は、CO<sub>2</sub>レーザ媒体部30を透過して増幅し、高反射ミラー21に入反射する。そして、CO<sub>2</sub>レーザ媒体部30を通過増幅して、高反射ミラー23及び高反射ミラー22の間でマルチパス増幅して、増幅器部20から出力される。

【手続補正32】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0108

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0108】

<第2態様>

図27は、第7実施形態に係る第2の態様のスラブ型レーザ装置の構成例を示す概念図である。本態様のスラブ型レーザ装置は、再生増幅器部50において、共振器ミラー11, 12の間に第1のEOポッケルスセル13とポーラライザ14と第2のEOポッケルスセル16と、/4位相を変化させる素子としての高反射膜ミラー17-2とを備え、ポーラライザ14でS偏光のシードレーザ光を導入して共振器ミラー11, 12間で再生増幅し、増幅器部20に供給するようにしたものである。再生増幅器部50と増幅器部20の間にカップリングミラーを設ける必要がない。

【手続補正33】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0109

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0109】

本態様のスラブ型レーザ装置は、S偏光のパルス状のシードレーザ光をポーラライザ14の偏光膜面に入反射させて、共振器ミラー11及び12の間で構成される共振器中に導入する。共振器中に導入されたシードレーザ光は、CO<sub>2</sub>レーザ媒体部30を通過増幅し、第2のEOポッケルスセル16をそのまま通過し、/4位相だけ変化させる高反射膜

をコートした高反射膜ミラー 17-2 で反射して円偏光に変換され、共振器ミラー 12 により反射し、再び、 $\pi/4$  位相変化させる高反射膜ミラー 17-2 で反射して P 偏光に変換される。そして、シードレーザ光は第 2 の EO ポッケルスセル 16 をそのまま透過し、CO<sub>2</sub> レーザ媒体部 30 を通過増幅し、ポーラライザ 14 を透過する。シードレーザ光は、さらに、第 1 の EO ポッケルスセル 13 を通過し共振器ミラー 11 により折り返され、P 偏光の状態で第 1 の EO ポッケルスセル 13 とポーラライザ 14 を通過する。

## 【手続補正 34】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0110

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0110】

シードレーザ光は、さらに、P 偏光の状態で CO<sub>2</sub> レーザ媒体部 30 を透過して増幅した後、第 2 の EO ポッケルスセル 16 を動作させて位相を  $\pi/4$  ずらし円偏光に変換され、 $\pi/4$  位相変化させる高反射膜ミラー 17-2 で反射して S 偏光に変換される。この S 偏光は共振器ミラー 12 により反射され、 $\pi/4$  位相を変化させる高反射膜ミラー 17-2 により円偏光に変換され、第 2 の EO ポッケルスセル 16 により、さらに  $\pi/4$  位相が変化して P 偏光に変換される。そして、この P 偏光は、CO<sub>2</sub> レーザ媒体部 30 を透過増幅し、ポーラライザ 14 を透過する。さらに、第 1 の EO ポッケルスセル 13 を透過して、共振器ミラー 11 で反射して、P 偏光の状態で第 1 の EO ポッケルスセル 13 及びポーラライザ 14 を透過して、再び、CO<sub>2</sub> レーザ媒体部 30 に入射し、これを繰り返す。

## 【手続補正 35】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0111

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0111】

そして、共振器ミラー 11 及び 12 間で共振することにより再生増幅されたシードレーザ光が所望のエネルギーになった時点で、第 1 の EO ポッケルスセル 13 を動作させて、P 偏光を円偏光に変換し、共振器ミラー 11 により高反射させて、第 1 の EO ポッケルスセルにより S 偏光に変換して、ポーラライザ 14 を高反射して、シードレーザ光が再生増幅により形成されたレーザ光が出力される。この再生増幅器から出力されたレーザ光は、CO<sub>2</sub> レーザ媒体部 30 を透過して増幅し、高反射ミラー 21 に入反射する。そして、ミラー 23 及び 22 間で往復する間に、CO<sub>2</sub> レーザ媒体部 30 で増幅して、出力される。

## 【手続補正 36】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0112

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【0112】

図 28 は、本発明のスラブ型レーザ装置における、シードレーザ光を発生する半導体レーザの縦モードがシングルモードである場合の CO<sub>2</sub> レーザの各ラインの波長とゲイン領域の関係を模式的に示す図面である。図 28 のグラフは、横軸に波長、縦軸に増幅ゲインを模式的にプロットしている。点線は、CO<sub>2</sub> レーザにおける、P(18), P(20), P(22), P(24), P(26), P(28), P(30) の増幅波長領域を示しており、この各々のラインに対して、所定の波長幅のゲイン領域が存在する。このゲイン波長幅は、回転ゲインバンド幅の圧力広がりにより発生し、

$$(17) = 7.58 (CO_2 + 0.73 N_2 + 0.64 He) \times P(300 / T)^{1/2}$$

となる。ここで、 $P$  は分圧、 $P$  は圧力 (torr)、 $T$  は温度 (K) である。典型的な条

件として、 $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 1 : 8$  で、圧力が 100 torr、温度が 450 K とすれば、各ラインのゲイン幅 = 424 MHz、すなわち波長幅が約 0.00158 8 μm となる。

【手続補正 37】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0117

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0117】

図 30 は、本発明の実施形態のスラブ型レーザ装置におけるシードレーザとして用いられる半導体レーザの別の構成を示す模式図である。図 29 の例に対して異なる点は、複数台のシングル縦モードの半導体レーザを使って、出力光を合波して、マルチラインシーダとして本発明の再生増幅器部の共振器中に注入するところである。合波部の機能を果たす光学素子として合波用グレーティングを使用している。

【手続補正 38】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0122

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0122】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 2】第 1 実施形態の第 2 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 3】第 1 実施形態の第 3 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 4】第 1 実施形態の第 4 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 5】第 1 実施形態の第 5 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 6】本発明の第 2 の実施形態の第 1 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 7】第 2 実施形態第 1 態様に係るスラブ型レーザ装置の構成を示す側面図である。

【図 8】第 2 実施形態の第 2 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 9】第 2 実施形態第 2 態様に係るスラブ型レーザ装置の光学システム図である。

【図 10】第 2 実施形態の第 3 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 11】第 2 実施形態第 3 態様に係るスラブ型レーザ装置の光学システム図である。

【図 12】第 2 実施形態の第 4 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 13】第 2 実施形態第 4 態様に係るスラブ型レーザ装置の光学システム図である。

【図 14】第 2 実施形態の第 5 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 15】第 2 実施形態第 5 態様に係るスラブ型レーザ装置の光学システム図である。

【図 16】第 2 実施形態の第 6 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 17】第 2 実施形態第 6 態様に係るスラブ型レーザ装置の光学システム図である。

【図 18】第 2 実施形態の第 7 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 19】本発明の第 3 の実施形態に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 20】第 3 実施形態の第 2 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 21】本発明の第 4 の実施形態の第 1 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 22】第 4 実施形態の第 2 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 23】第 4 実施形態の第 3 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 24】本発明の第 5 の実施形態に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 25】本発明の第 6 の実施形態に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 26】本発明の第 7 の実施形態の第 1 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図 27】第 7 実施形態の第 2 の態様に係るスラブ型レーザ装置の構成概念図である。

【図28】本発明のスラブ型レーザ装置における炭酸ガスレーザのゲイン領域を示す模式図である。

【図29】本発明のスラブ型レーザ装置のシーダとして使う半導体レーザ装置の構成概念図である。

【図30】本発明のスラブ型レーザ装置のシーダとして使う別の半導体レーザ装置の構成概念図である。

【図31】本発明を適用する極端紫外光源装置の構成図である。

【図32】従来技術のスラブ型レーザ装置のブロック図である。