(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5362515号
(P5362515)
(45)発行日　平成25年12月11日(2013.12.11)　(24)登録日　平成25年9月13日(2013.9.13)

(51)Int.Cl.　F I
H01L 21/027 (2006.01)　H01L 21/30　531S

請求項の数 17　(全 16 頁)

(21)出願番号　特願2009-239090 (P2009-239090)
(22)出願日　平成21年10月16日 (2009.10.16)
(65)公開番号　特開2010-118652 (P2010-118652A)
(43)公開日　平成22年5月27日 (2010.5.27)
審査請求日　平成24年8月30日 (2012.8.30)
(31)優先権主張番号　特願2008-269050 (P2008-269050)
(32)優先日　平成20年10月17日 (2008.10.17)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

（出願人による申告）平成２０年度　独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構「次世代半導体材料・プロセス基盤（ＭＩＲＡＩ）プロジェクト／次世代半導体材料・プロセス基盤（ＭＩＲＡＩ）プロジェクト（石特会計／ＥＵＶ光源高信頼化技術開発）」委託研究、産業技術力強化法第１９条の適用を受ける特許出願

(73)特許権者　300073919
ギガフォトン株式会社
栃木県小山市大字横倉新田４００番地
(74)代理人　100110777
弁理士　宇都宮　正明
(74)代理人　100105212
弁理士　保坂　延寿
(74)代理人　100100413
弁理士　渡部　温
(72)発明者　藪　隆之
神奈川県平塚市万田１２００　株式会社小松製作所　研究本部内
(72)発明者　石原　孝信
神奈川県平塚市万田１２００　株式会社小松製作所　研究本部内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】極端紫外光源装置のターゲット供給装置及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
レーザ光をターゲット物質に照射することによりターゲット物質をプラズマ化して極端紫外光を発生する極端紫外光源装置において用いられるターゲット供給装置であって、
ターゲット物質を収納するターゲット容器と、
前記ターゲット容器から供給されるターゲット物質を射出するターゲットノズルと、
前記ターゲット容器内に還元ガスを供給する還元ガス供給装置と、
を具備するターゲット供給装置。
【請求項２】
前記ターゲット容器内のガスを排出する排気配管と、
前記排気配管中における還元ガスの反応生成物の濃度を測定して、還元ガスの反応生成物の濃度を表す信号を出力するガス分析装置と、
前記ガス分析装置から出力される信号に基づいて、還元ガスの反応生成物の濃度が所定値以下になったときに、前記還元ガス供給装置に還元ガスの供給を停止させる制御装置と、
をさらに具備する、請求項１記載のターゲット供給装置。
【請求項３】
前記ターゲット容器に取り付けられたヒータと、
前記ヒータを稼働させて前記ターゲット容器の温度を所定の温度まで上昇させる制御装置と、

をさらに具備する、請求項１記載のターゲット供給装置。
【請求項４】
前記還元ガスが、水素ガスまたは一酸化炭素ガスを含む、請求項１乃至３の何れか一項記載のターゲット供給装置。
【請求項５】
前記還元ガスが水素ガスを含み、
前記還元ガスに含まれている水素ガスをラジカル化するラジカル化装置をさらに具備する、請求項１乃至３の何れか一項記載のターゲット供給装置。
【請求項６】
常温で液体である還元剤を気化して前記還元ガスを生成する気化装置をさらに具備する、請求項１乃至３の何れか一項記載のターゲット供給装置。
【請求項７】
前記常温で液体である還元剤が、酸性溶液を含む、請求項６記載のターゲット供給装置。
【請求項８】
前記ターゲット容器内の圧力を調整すると共に前記還元ガスを希釈するための加圧ガスを供給する加圧ガス供給装置をさらに具備する、請求項１から７のいずれか一項に記載のターゲット供給装置。
【請求項９】
前記ターゲット容器から供給される前記ターゲット物質を収容する圧力容器をさらに具備し、
前記ターゲットノズルが、前記ターゲット容器から前記圧力容器を介して供給されるターゲット物質を射出する、請求項１乃至８の何れか一項記載のターゲット供給装置。
【請求項１０】
レーザ光をターゲット物質に照射することによりターゲット物質をプラズマ化して極端紫外光を発生する極端紫外光源装置において用いられるターゲット供給装置であって、
還元作用を有する炭素系材料を含み、ターゲット物質を収納するターゲット容器と、
前記ターゲット容器から供給されるターゲット物質を射出するターゲットノズルと、
を具備するターゲット供給装置。
【請求項１１】
前記ターゲット容器に加圧ガスを供給する加圧ガス供給装置と、
前記ターゲット容器内のガスを排出する排気配管と、
前記排気配管中における還元ガスの反応生成物の濃度を測定して、還元ガスの反応生成物の濃度を表す信号を出力するガス分析装置と、
前記ガス分析装置から出力される信号に基づいて、還元ガスの反応生成物の濃度が所定値以下になったときに、前記還元ガス供給装置に還元ガスの供給を停止させる制御装置と、
をさらに具備する、請求項１０記載のターゲット供給装置。
【請求項１２】
前記還元作用を有する炭素系材料が、グラファイトもしくは炭素を含む化合物を含む、請求項１０又は１１記載のターゲット供給装置。
【請求項１３】
レーザ光をターゲット物質に照射することによりターゲット物質をプラズマ化して極端紫外光を発生する極端紫外光源装置において用いられるターゲット供給装置を製造する方法であって、
ターゲットノズルに接続されたターゲット容器内にターゲット物質を収容する工程（ａ）と、
前記ターゲット容器内に収容されたターゲット物質に含まれている酸化物を還元する工程（ｂ）と、
前記ターゲット容器を密封する工程（ｃ）と、

を具備する方法。
【請求項１４】
工程（ａ）が、還元作用を有する炭素系材料を含むターゲット容器内にターゲット物質を収容することを含む、請求項１３記載の方法。
【請求項１５】
工程（ｂ）が、前記ターゲット容器内に還元ガスを導入することを含む、請求項１３又は１４記載の方法。
【請求項１６】
工程（ｂ）が、前記ターゲット容器内のガスを排出することを含む、請求項１３乃至１５の何れか一項記載の方法。
【請求項１７】
前記還元ガスが、水素ガス、水素ラジカル、及び、一酸化炭素ガスの内の少なくとも１つを含む、請求項１５記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、極端紫外（ＥＵＶ）光源装置においてターゲットを供給するために用いられるターゲット供給装置、及び、そのようなターゲット供給装置の製造方法に関する。
【背景技術】
【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における微細化が急速に進展しており、次世代においては、６０ｎｍ～４５ｎｍの微細加工、さらには３２ｎｍ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光を発生するＥＵＶ光源装置と縮小投影反射光学系とを組み合わせた露光装置の開発が期待されている。
【０００３】
ＥＵＶ光源として、ターゲットにレーザビームを照射することによって生成されるプラズマを用いたＬＰＰ（laser produced plasma：レーザ生成プラズマ）式ＥＵＶ光源がある。ＬＰＰ式ＥＵＶ光源は、プラズマ密度をかなり大きくできるので黒体輻射に近い高い輝度が得られ、ターゲット物質を選択することにより必要な波長帯のみの発光が可能であり、ほぼ等方的な角度分布を持つ点光源であり光源の周囲に電極等の構造物がなく、極めて大きな捕集立体角の確保が可能であること等の利点から、光リソグラフィ用の光源として有力である。
【０００４】
ＬＰＰ式ＥＵＶ光源装置は、真空チャンバ内で錫等のターゲット物質にレーザ光を照射することにより発生させたプラズマから放出されるＥＵＶ光を、真空チャンバ内に配置されたＥＵＶ集光ミラーによって反射して外部に放出するが、このＥＵＶ集光ミラーに、ターゲット物質に起因するデブリが付着した場合には、ＥＵＶ集光ミラーにおける波長１３．５ｎｍのＥＵＶ光に対する反射率が低下し、結果として、外部に放出されるＥＵＶ光出力が低下する。このため、ターゲット物質に起因するデブリを削減することが必要になる。
【０００５】
関連する技術として、特許文献1には、デブリの発生を抑制するようにレーザビームのエネルギーを調整する方法が開示されている。また、所望のＥＵＶエネルギーを得るために必要な最小量のターゲットを供給することにより、デブリを抑制する方法が知られている。この方法では、ターゲットを直径数μｍから数十μｍの微細な球形にするのが普通である。このような形状を得るためには、ターゲットノズルに形成された直径数十μｍの微細な射出孔から真空中へ溶融金属を射出する。しかし、射出孔は極めて細いため、溶融金属に含まれている酸化物、ターゲット容器から溶け出したり溶融金属中に含まれている不純物、又は、温度不均等により固化している金属等が射出孔に詰まり、溶融金属が射出で

きなくなるという問題があった。このような射出孔の閉塞は、特に、溶融する前の金属表面に付着または金属中に含まれていた酸化物やターゲット容器の内壁に付着していた酸化物が原因となる場合が多かった。

【０００６】

なお、出願人の調査によっては、ターゲット供給装置のターゲット射出孔における閉塞に関する課題を指摘したり、その技術的解決方法を開示したりする先行技術文献は発見されなかった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００７】

【特許文献１】特開２００８－０９８０８１号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

そこで、本願発明が解決しようとする課題は、レーザ光をターゲット物質に照射することによりターゲット物質をプラズマ化して極端紫外光を発生する極端紫外光源装置のターゲット供給装置において、ターゲット物質をレーザ光照射点に供給するターゲットノズルの閉塞を抑制することである。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

上記課題を解決するため、本発明の１つの観点に係るターゲット供給装置は、レーザ光をターゲット物質に照射することによりターゲット物質をプラズマ化して極端紫外光を発生する極端紫外光源装置において用いられるターゲット供給装置であって、ターゲット物質を収納するターゲット容器と、ターゲット容器から供給されるターゲット物質を射出するターゲットノズルと、ターゲット容器内に還元ガスを供給する還元ガス供給装置とを具備する。

【００１０】

また、本発明の第２の観点に係るターゲット供給装置は、レーザ光をターゲット物質に照射することによりターゲット物質をプラズマ化して極端紫外光を発生する極端紫外光源装置において用いられるターゲット供給装置であって、還元作用を有する炭素系材料を含み、ターゲット物質を収納するターゲット容器と、ターゲット容器から供給されるターゲット物質を射出するターゲットノズルとを具備する。

【００１１】

さらに、本発明の第３の観点に係るターゲット供給装置の製造方法は、レーザ光をターゲット物質に照射することによりターゲット物質をプラズマ化して極端紫外光を発生する極端紫外光源装置において用いられるターゲット供給装置を製造する方法であって、ターゲットノズルに接続されたターゲット容器内にターゲット物質を収容する工程（ａ）と、ターゲット容器内に収容されたターゲット物質に含まれている酸化物を還元する工程（ｂ）と、ターゲット容器を密封する工程（ｃ）とを具備する。

【発明の効果】

【００１２】

本発明によれば、ターゲット物質に含まれている酸化物を、還元ガスもしくは還元作用を有する炭素系材料によって還元して分解することにより、ターゲットノズルの閉塞を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】本発明の第１実施形態に係るターゲット供給装置の基本概念図である。

【図２】本発明の第１の実施例に係るターゲット供給装置の構成を示す概念図である。

【図３】本発明の第１の実施例に係るターゲット供給装置の還元動作を示すフローチャートである。

【図４】本発明の第２の実施例に係るターゲット供給装置の構成を示す概念図である。
【図５】本発明の第３の実施例に係るターゲット供給装置の構成を示す概念図である。
【図６】本発明の第４の実施例に係るターゲット供給装置の構成の一部を示す概念図である。
【図７】本発明の第２の実施形態に係るターゲット供給装置の構成を示す概念図である。
【図８】本発明の第２の実施形態に係るターゲット供給装置の還元動作を示すフローチャートである。
【図９】本発明の第５の実施例に係るターゲット供給装置の構成の一部を示す概念図である。
【図１０】本発明の一実施形態に係るターゲット供給装置の製造方法を示すフローチャートである。
【図１１】本発明の一実施形態に係るターゲット供給装置を備えた極端紫外光源装置の構成を示す概念図である。
【発明を実施するための形態】
【００１４】
以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、説明を省略する。
【００１５】
（第１の実施形態）
図１は、本発明の第１の実施形態に係るターゲット供給装置の基本概念図である。
図１に示すターゲット供給装置は、ターゲットをプラズマ化する真空チャンバの上部に設けられて、高密度に集光されたレーザビームの集光点にターゲットを供給する。このターゲット供給装置は、錫（Ｓｎ）やリチウム（Ｌｉ）等のターゲット物質１が充填されたターゲット容器１０と、径が数十μｍの微細な射出孔であるターゲット通路が形成されたターゲットノズル１３とを含んでいる。ターゲット容器１０は、配管を介して、還元ガスボンベ１１に接続されている。
【００１６】
還元ガスボンベ１１には、例えば、強い還元力を有する水素ガス（H_2）又は一酸化炭素ガス（ＣＯ）等の還元ガスが充填されている。還元ガスとして水素ガスを用いる場合には、ターゲット容器１０の材質として、水素脆性が起こりにくい、たとえばＳＵＳ３１６等を用いることが好ましい。
ターゲット容器１０を還元ガスボンベ１１に接続する配管の経路には、流量調整器（マス・フロー・コントローラ）ＭＦＣ１、及び、切替弁２４及び２７が設けられている。これらを操作又は制御することにより、ターゲット容器１０への還元ガスの供給や、ターゲット容器１０の封止及び排気等が行われる。ここで、還元ガスボンベ１１、流量調整器ＭＦＣ１、及び、切替弁２４は、ターゲット容器１０内に還元ガスを供給する還元ガス供給装置を構成する。
【００１７】
以上の構成によれば、還元ガスをターゲット容器１０に導入して、ターゲット物質１に含まれている酸化物の還元反応を行うことが可能となる。ターゲット物質１に含まれている酸化物を還元することにより、還元ガスの酸化物、例えば、水もしくは水蒸気（H_2O）、又は、炭酸ガス（CO_2）が生成される。還元反応がほぼ完了したら、還元ガスの供給が停止される。
この手順により、ターゲット物質１として錫を用いる場合には、ターゲット容器１０内の錫ターゲットに付着している錫酸化物が還元されて錫金属に変化する。このようにして、ターゲット物質１に含まれている酸化物を減少させることにより、ターゲット物質１である金属を溶融したときに溶融金属中の固形物が少なくなり、ターゲットノズルの閉塞が起こりにくくなる。
【００１８】
以下、本発明の各実施例について説明する。

（第１の実施例）
図２は、本発明の第１の実施例に係るターゲット供給装置の構成を示す概念図である。
本実施例に係るターゲット供給装置において、ターゲット容器１０は、配管を介して、還元ガスボンベ１１、加圧ガスボンベ１２、真空ポンプ１４、及び、ガス分析装置２１に接続されている。
また、ターゲット容器１０には、ヒータ１５、温度センサ２２、及び、圧力センサ２３が取り付けられている。ヒータ１５は、ターゲット物質１を加熱して溶融させると共に、還元ガスを加熱して反応温度を調整するためのものである。還元ガスの配管にも、還元ガスを加熱して反応温度を調整するためのヒータ１６が取り付けられている。
【００１９】
ターゲット容器１０を、還元ガスボンベ１１、加圧ガスボンベ１２、真空ポンプ１４、及び、ガス分析装置２１に接続する配管の経路には、流量調整器ＭＦＣ１，ＭＦＣ２，ＭＦＣ３、及び、切替弁２４～２８が設けられている。ここで、加圧ガスボンベ１２、流量調整器ＭＦＣ２、及び、切替弁２５は、ターゲット容器１０内に加圧ガスを供給する加圧ガス供給装置を構成する。加圧ガスは、例えば窒素、ヘリウム、アルゴン等の不活性ガスであり、ターゲット容器１０内の圧力を調整すると共に、還元ガスを希釈するために用いられる。流量調整器ＭＦＣ１，ＭＦＣ２，ＭＦＣ３、及び、切替弁２４～２８は、制御装置２０によるシーケンス制御の下で、ターゲット容器１０へのガス類の供給や、ターゲット容器１０の封止及び排気等を実行する。
【００２０】
図３は、本発明の第１の実施例に係るターゲット供給装置の還元動作を示すフローチャートである。
還元ガス温度が高いほどターゲット物質１に含まれている酸化物の還元反応が促進されるので、制御装置２０は、ヒータ１５及び１６を制御して、ターゲット容器１０と還元ガス配管の温度を所望の温度まで上昇させ、それらの温度を調整する（ステップＳ１１）。
次に、制御装置２０は、切替弁２４～２８を制御して、還元ガスの供給を開始すると共に、流量調整器ＭＦＣ１及びＭＦＣ２を制御して、所望の濃度の還元ガスをターゲット容器１０内に供給することにより、ターゲット物質１の還元反応を行わせる（ステップＳ１２）。還元ガス濃度は、還元ガスボンベ１１の近傍に設けられた流量調整器ＭＦＣ１の設定値と、還元ガスに加圧ガスを加えた位置に設けられた流量調整器ＭＦＣ２の設定値とによって調整することができる。なお、最適な還元ガス濃度は、あらかじめ実験等により決定してもよいし、ガス分析装置の測定結果にしたがって自動的に決定してもよい。還元ガスの希釈は、図２に示すように加圧ガスを使って行ってもよいが、別途適宜な希釈用ガスを使ってもよい。また、あらかじめ適宜の濃度に調整された還元ガスを使うこともできる。
【００２１】
さらに、制御装置２０は、排気配管に設けられた流量調整器ＭＦＣ３を制御することにより、ターゲット容器１０内の圧力を調整する（ステップＳ１３）。流量調整器ＭＦＣ３を通ったガスは、真空ポンプ１４を通して大気へ排出される。なお、還元ガスが水素ガス（H_2）である場合には、水素ガスは爆発性があるので、水素ガスを希釈もしくは燃焼させて大気に放出する。また、還元ガスが一酸化炭素ガス（ＣＯ）である場合には、一酸化炭素ガスは毒性を有するので、一酸化炭素ガスを無害化してから大気に放出する。ターゲット容器１０に設置され、微細な射出孔であるターゲット通路が形成されたターゲットノズル１３は、真空チャンバに開口している。従って、ターゲット容器１０内のガスが真空チャンバに流出するので、真空チャンバ内のガスも真空ポンプで吸引して、上記と同様の処理をした上で大気中に放出することが好ましい。
【００２２】
還元ガスを用いてターゲット物質１に含まれている酸化物を還元することにより、還元ガスの反応生成物（酸化物）、例えば、水もしくは水蒸気（H_2O）、又は、炭酸ガス（CO_2）が生成される。ターゲット物質１が錫（Ｓｎ）であるときには、反応温度は、錫

の溶融温度２３２℃よりわずかに低く設定することが奨められる。ターゲット物質１の酸化物はターゲット物質１の表面に形成されているので、還元ガスがターゲット物質１の酸化物に作用するためには、錫が溶融せずに固定形状を保持していることが好ましいからである。

還元ガスは、還元反応によりターゲット物質１の酸化物から酸素を奪い、水（H_2O）もしくは炭酸ガス（CO_2）等の反応生成物（還元ガスの酸化物）となる。排気配管の経路に設けられたガス分析装置２１は、反応生成物の濃度をモニタして、反応生成物の濃度を表すモニタ信号を出力する。ガス分析装置２１としては、露点計やフーリエ変換赤外分光光度計（ＦＴ－ＩＲ）等を利用することができる。制御装置２０は、ガス分析装置２１から出力されるモニタ信号に基づいて、排気ガス中の反応生成物の濃度を監視し（ステップＳ１４）、反応生成物の濃度が所定の濃度以下であるか否かを判定する（ステップＳ１５）。

反応生成物の濃度が所定の濃度以下でなければ、処理がステップＳ１２に戻る。反応生成物の濃度が所定の濃度以下になった時点で、制御装置２０、還元処理がほぼ完了したと判定する。なお、還元処理に必要な時間があらかじめ知られているときは、還元ガスの通気時間で還元処理を管理することもできる。

【００２３】

還元処理がほぼ完了したと判定されたときは、制御装置２０は、切替弁２４又は２６を制御して、還元ガスの供給を停止する（ステップＳ１６）。

ターゲット容器１０や配管中に残留した還元ガスはターゲット生成に悪影響を与える可能性があるので、制御装置２０が、加圧ガスボンベ１２内の加圧ガスを用いて数回パージを行い、還元ガスをターゲット容器１０から排出することが好ましい（ステップＳ１７）。

上記の動作により、ターゲット容器１０内の錫酸化物は還元されて錫金属となる。このようにして、ターゲット物質１の酸化物を減少させることにより、ターゲット物質１である金属を溶融したときに溶融金属中の固形物が少なくなり、ターゲットノズルが閉塞する事故が減少する。

【００２４】

上記の動作においては、還元ガス供給と排気とを同時に行っているが、還元ガス供給と排気とを交互に行うこともできる。

また、上記の動作においては、ターゲット容器１０中のターゲット物質１が固体のまま酸化物の還元反応を行っているが、ヒータ１５によりターゲット物質１の融点より高い温度まで昇温して液相状態で酸化物を還元することもできる。固体状態で酸化物を還元する場合には、表面積が大きいため反応速度が速くなるが、液体状態で酸化物を還元する場合は、反応温度が高いため反応速度が速くなる。ターゲット物質やターゲット容器の形状による接ガス面積等の条件により選択して、より速い反応速度のもとで還元反応を行わせることが好ましい。

液体状態で酸化物を還元する場合には、ターゲット容器１０と真空チャンバとの差圧に基づきターゲットノズルの射出孔から液体状のターゲット物質１が流出することになるので、還元段階でターゲット物質１が流出しないように、不活性ガス等で真空チャンバ内の圧力を若干上昇させておくことが望ましい。

ターゲット物質１を真空チャンバ内に供給する際には、制御装置２０が、ヒータ１５を制御してターゲット容器１０の温度を所定の温度まで上昇させて、ターゲット物質１を溶融させる。さらに、制御装置２０は、加圧ガス供給装置を制御して加圧ガスをターゲット容器１０内に導入することにより、溶融したターゲット物質が、ターゲットノズル１３に形成された射出孔から真空チャンバ内に射出される。

【００２５】

（第２の実施例）

図４は、本発明の第２の実施例に係るターゲット供給装置の構成を示す概念図である。

通常の状態の水素ガス（H_2）は、ラジカル状態の水素（水素ラジカル）に比べて還元

力が弱い。そこで、強い還元力を有する水素ラジカルを使用することにより、還元反応速度を速くすることができる。そこで、本実施例に係るターゲット供給装置では、還元ガスをターゲット容器１０に供給する前にラジカル化することにより、還元反応の効率化を図っている。このため、還元ガスをラジカル化するラジカル化装置１７が、還元ガス供給配管の経路に設けられている。このほかの構成は、第１の実施例におけるものと同じである。

【００２６】

ラジカル化装置１７は、マイクロ波プラズマ装置、またはタングステン等の高融点材料で形成されたフィラメントによる高温加熱装置等を含み、還元ガスが装置内部を通過する間に還元ガスをラジカル化することができる。ラジカル化装置１７は、ラジカル化された還元ガスが不活性化しないうちに十分な量の還元ガスがターゲット物質１に到達するように、ターゲット容器１０にできるだけ近い位置に配置される。

本実施例に係るターゲット供給装置は、ターゲット物質１に含まれている酸化物や、ターゲット容器１０から剥離してターゲット物質１に混入した酸化物を、効率的に還元して金属成分に戻すので、ターゲットノズル１３の射出孔を閉塞する酸化物成分が減少し、閉塞事故の頻度が減少する。

【００２７】

（第３の実施例）

図５は、本発明の第３の実施例に係るターゲット供給装置の構成を示す概念図である。第３の実施例は、常温で液体である還元剤を気化して還元ガスとするところに特徴を有するもので、第１の実施例における還元ガスボンベ１１に代えて、気化装置１８を含んでいる。

気化装置１８は、加熱やバブリングにより還元剤を気化するもので、還元剤としてギ酸、酢酸、又は、塩酸等を含む酸性溶液を用いることができる。

【００２８】

（第４の実施例）

図６は、本発明の第４の実施例に係るターゲット供給装置の構成の一部を示す概念図である。第４の実施例は、反応容器（ターゲット容器）３６の他に圧力容器３０を設け、反応容器３６と圧力容器３０との間に仕切り弁３２を介装して接続したものであり、その他の点に関しては、第１～第３の実施例と同様である。

本実施例では、加圧する必要がある圧力容器３０から分離された反応容器３６内で、ターゲット物質１の還元処理が行われる。ターゲット物質１の還元処理が終了した後に仕切り弁３２を開放すると、反応容器３６と圧力容器３０とをつなぐターゲット輸送路を通して、ターゲット物質１が反応容器３６から圧力容器３０に移動する。そして、圧力容器３０に取り付けられたヒータ３１でターゲット物質１を溶融し、圧力容器３０内を加圧することにより、ターゲットノズル３３の射出孔を通して液滴状のターゲットが真空チャンバ内に供給される。

【００２９】

ターゲット物質１を反応容器３６から圧力容器３０に移送するときには、圧力容器３０内部は、真空ポンプ１４及び排気配管を使って十分に真空排気しておくことが望ましい。圧力容器３０から真空チャンバ内にターゲットを供給するときに仕切り弁３２を解放して反応容器３６内を加圧するようにした場合には、仕切り弁３２の耐圧性能を過剰にする必要がないが、反応容器３６には圧力容器３０と同じ耐圧性能が要求されることになる。一方、圧力容器３０に加圧配管と排気配管とを設けて、仕切り弁３２を閉止して、加圧ガス供給装置が圧力容器３０内を加圧することによりターゲット供給を行うようにした場合には、仕切り弁３２に耐圧性能が求められるが、反応容器３６には高い耐圧性能が要求されない。

本実施例によれば、反応容器３６と圧力容器３０とを分離したので、圧力容器３０から真空チャンバ内にターゲット物質を供給をしながら、反応容器３６内において次のターゲット物質の還元処理を同時に行うことにより、ターゲット物質の供給における中断時間を

短縮することができる。

【００３０】

（第２の実施形態）

図７は、本発明の第２の実施形態に係るターゲット供給装置の構成を示す概念図である。

本実施形態に係るターゲット供給装置は、外部からターゲット容器内に還元ガスを供給する代わりに、ターゲット容器内に準備した還元作用を有する炭素系材料により、ターゲット物質に含まれている酸化物の還元処理を行うようにしたことを特徴とする。

【００３１】

本実施形態に係るターゲット供給装置は、ターゲットをプラズマ化する真空チャンバ３４内のレーザビーム集光点にターゲットを供給する。このターゲット供給装置は、錫（Ｓｎ）やリチウム（Ｌｉ）等のターゲット物質１が充填されたターゲット容器１０と、径が数十μｍの射出孔であるターゲット通路を有するターゲットノズル１３とを含んでいる。ターゲット容器１０は、配管を介して、加圧ガスボンベ１２、真空ポンプ１４、及び、ガス分析装置２１に接続されている。また、ターゲット容器１０には、ヒータ１５、温度センサ２２、及び、圧力センサ２３が取り付けられている。ヒータ１５は、ターゲット物質１を加熱して溶融させると共に、反応温度を調整するためのものである。また、真空チャンバ３４には、真空計３５が設けられている。

【００３２】

ターゲット容器１０の内部には、還元作用を有する炭素系材料１９が配置されている。ターゲット容器１０の内部に充填されたターゲット物質１は、ヒータ１５により加熱され、高温溶融して炭素系材料１９に接触する。これにより、ターゲット物質１に含まれている酸化物が還元され、炭酸ガス（CO_2）が生成する。還元作用を有する炭素系材料１９としては、グラファイト、あるいは炭素を含む化合物が用いられる。炭素を含む化合物は、例えば、Ｃ／Ｃコンポジットと呼ばれる炭素複合繊維を含んでいる。Ｃ／Ｃコンポジットとは、グラファイトを炭素繊維で補強した材料であり、軽量で、高強度、高弾性、及び、高耐熱性を有する。

【００３３】

本実施形態に係るターゲット供給装置は、還元ガスボンベを使用しなくても良い。ターゲット容器１０を加圧ガスボンベ１２、真空ポンプ１４、ガス分析装置２１に接続する配管の経路には、流量調整器ＭＦＣ２及びＭＦＣ３、及び、切替弁２５，２７，２８が設けられている。ここで、加圧ガスボンベ１２、流量調整器ＭＦＣ２、及び、切替弁２５は、ターゲット容器１０内に加圧ガスを供給する加圧ガス供給装置を構成する。加圧ガスは、ターゲット容器１０内の圧力を調整するために用いられる。流量調整器ＭＦＣ２及びＭＦＣ３、及び、切替弁２５，２７，２８は、制御装置２０によるシーケンス制御の下で、ターゲット容器１０へのガス類の供給や、ターゲット容器１０の封止及び排気、及び、真空チャンバ３４の内圧の調整等を実行する。

【００３４】

図８は、本発明の第２の実施形態に係るターゲット供給装置の還元動作を示すフローチャートである。

制御装置２０は、ヒータ１５を制御してターゲット容器１０の温度を所定の温度まで上昇させて、ターゲット物質１を溶融させる（ステップＳ２１）。なお、反応温度が高いほど反応が促進されるので、適宜の温度まで昇温することが好ましい。

ターゲット物質１の温度が還元反応を起こす温度に達すると、ターゲット物質１に含まれている酸化物がターゲット容器１０内の炭素系材料１９と反応して、炭酸ガス（CO_2）が生成する。そこで、制御装置２０が、真空ポンプ１４を制御してターゲット容器１０内を真空排気することにより、炭酸ガスは大気に排出される（ステップＳ２２）。

【００３５】

なお、加圧ガスボンベ１２内に蓄えられている不活性ガス等を使ってターゲット容器１０をパージすることによっても、炭酸ガスを排出することができる。ターゲット容器１０

内を不活性ガス等で加圧するときは、ターゲット容器１０内の圧力が上昇するので、制御装置２０が、流量調整器ＭＦＣ２及びＭＦＣ３を制御することによりターゲット容器１０内の圧力を調整する。また、制御装置２０は、真空チャンバ３４内の圧力を調整することにより、ターゲットノズル１３から溶融したターゲット物質が噴出しないようにする。真空チャンバ３４の内圧を調整するためには、配管と流量調整器を介して加圧ガスボンベ１２から真空チャンバ３４内に不活性ガスを適当量導入するようにすればよい。また、別途、圧力調整用ガスを使ってもよい。

【００３６】

ターゲット物質１に含まれている酸化物を還元することにより、炭酸ガス（CO_2）が生成される。排気配管の経路に設けられたＦＴ－ＩＲなどのガス分析装置２１は、この炭酸ガスの濃度をモニタして、炭酸ガスの濃度を表すモニタ信号を出力する。制御装置２０は、ガス分析装置２１から出力されるモニタ信号に基づいて、排気ガス中の炭酸ガスの濃度を監視し（ステップＳ２３）、炭酸ガスの濃度が所定の濃度以下であるか否かを判定する（ステップＳ２４）。炭酸ガスの濃度が所定の濃度以下でなければ、処理がステップＳ２２に戻る。炭酸ガスの濃度が所定の濃度以下になった時点で、制御装置２０は、還元処理がほぼ完了したと判定する。なお、還元処理に必要な時間があらかじめ知られているときは、排気ガスの通気時間で還元処理を管理することもできる。

【００３７】

還元処理がほぼ完了したと判定されたときは、制御装置２０は、ターゲット容器１０の温度を下げて還元反応を停止させる（ステップＳ２５）。

制御装置２０は、ターゲット容器１０内を真空にし、あるいは、ターゲット容器１０内を不活性ガスで満たして、不測の反応を防止する（ステップＳ２６）。

上記の動作により、ターゲット物質１として錫を用いる場合には、ターゲット容器１０内の錫酸化物が還元されて錫金属となる。このようにしてターゲット物質１の酸化物を減少させることにより、ターゲット物質１である金属を溶融したときに溶融金属中の固形物が少なくなり、ターゲットノズルが閉塞する事故が減少する。

ターゲット物質１を真空チャンバ内に供給する際には、制御装置２０が、ヒータ１５を制御してターゲット容器１０の温度を所定の温度まで上昇させて、ターゲット物質１を溶融させる。さらに、制御装置２０は、加圧ガス供給装置を制御して加圧ガスをターゲット容器１０内に導入することにより、溶融したターゲット物質が、ターゲットノズル１３に形成された射出孔から真空チャンバ３４内に射出される。

【００３８】

（第５の実施例）

図９は、本発明の第５の実施例に係るターゲット供給装置の構成の一部を示す概念図である。第５の実施例は、第２の実施形態におけるターゲット容器１０を、第４の実施例のように反応容器３６（ターゲット容器）と圧力容器３０とに分離し、間に仕切り弁３２を介装して接続したものであり、その他の点に関しては、第２の実施形態と同様である。本実施例では、錫等のターゲット物質１と還元作用を有する炭素系材料との還元反応を円滑に実施するために、高温の条件下で反応を行う。したがって、反応容器３６の耐圧性能が高温によって低下する場合がある。このため、高温処理を必要とする反応容器３６と、溶融錫を滴下させるために加圧する必要がある圧力容器３０とを分離することが合理的である。

【００３９】

そこで、本実施例では、加圧する必要がある圧力容器３０から分離された反応容器３６内で高温の還元反応を行う。還元処理が終了した後に、ターゲット物質を比較的低温に温調して仕切り弁３２を解放すると、ターゲット物質１が圧力容器３０に移動する。そして、圧力容器３０に取り付けられたヒータ３１がターゲット物質を温調し、加圧ガス供給装置が圧力容器３０内を加圧することにより、ターゲットノズル３３に形成された射出孔を通して液滴状のターゲットが真空チャンバ３４内に供給される。

本実施例では高温環境が必要な反応容器３６と高圧環境が必要な圧力容器３０とを分離

したので、それぞれの要求仕様が緩和される。また、反応容器３６には耐圧性能が求められないので、容器の材質を炭素系材料とすることが可能である。

【００４０】

（製造方法）

図１０は、本発明の一実施形態に係るターゲット供給装置の製造方法を示すフローチャートである。

図２～図６に示す第１～第４の実施例においては、還元ガスボンベ１１又は気化装置１８を含んだターゲット供給装置について説明した。このようなターゲット供給装置をＥＵＶ光源装置に設けた場合には、ＥＵＶ光源装置のメンテナンス時等にターゲット供給装置内に還元ガスを導入してターゲット物質の酸化物を還元することができる。

一方、図１０においては、還元ガスボンベや気化装置１８を含まないターゲット供給装置の製造方法について説明する。

【００４１】

まず、オペレータが、射出孔が封止されたターゲットノズルに接続されたターゲット容器内に、ターゲット物質を収容する（ステップＳ３１）。例えば、図１に示すように、還元ガスボンベ１１に接続されたターゲット容器１０内に、ターゲット物質１が収容される。あるいは、図７に示すように、炭素系材料１９が配置されたターゲット容器内に、ターゲット物質１が収容される。

【００４２】

次に、オペレータは、ターゲット容器内に収容されているターゲット物質に含まれている酸化物を還元する（ステップＳ３２）。例えば、この工程は、図１において、還元ガスボンベ１１から配管を介してターゲット容器１０内に還元ガスを導入することによって実行される。ここで、必要に応じて、ターゲット容器の加熱等によって還元反応を促進しても良い。あるいは、この工程は、図７において、ターゲット容器１０の温度を所定の温度まで上昇させてターゲット物質１を溶融することによって実行される。

【００４３】

この工程により、ターゲット容器内でターゲット物質の酸化物の還元反応が起こり、還元ガス又は炭素の酸化物が発生するので、オペレータは、ターゲット容器に接続された排気配管により、ターゲット容器内で発生したガスを排出する。このとき、必要に応じて、排気配管に設けたガス分析装置により、排出ガスの中の酸化物の濃度を測定し、排出ガス中の酸化物の濃度が所定の濃度以下になったときに、還元反応を終了させるようにしても良い。また、酸化物の濃度が一定値以下になった後に、真空ポンプによりターゲット容器内を排気して真空にしたり、加圧ガスボンベによりパージガスをターゲット容器内に導入したりしても良い。

その後、オペレータは、ターゲット容器１０を密封する（ステップＳ３３）。例えば、図２において、切替弁２４～２８を閉じ、ターゲット容器１０を切替弁２７及び２８と共に、流量調整器ＭＦＣ２及びＭＦＣ３、真空ポンプ１４、及び、ガス分析装置２１等から切り離すことにより、ターゲット供給装置が完成する。

以上の工程を、例えば、ターゲット供給装置の製造工場内において行い、ＥＵＶ光源装置の設置場所においてターゲット供給装置をＥＵＶ光源装置に取り付ければ、ターゲット容器中のターゲット物質に含まれている酸化物が少なくターゲットノズルが閉塞しにくいターゲット供給装置を使用することができる。

【００４４】

（ＥＵＶ光源装置）

図１１は、本発明の一実施形態に係るターゲット供給装置を備えた極端紫外光源装置の構成を示す概念図である。このＥＵＶ光源装置は、レーザビームをターゲットに照射して励起させることによりＥＵＶ光を生成するレーザ生成プラズマ（ＬＰＰ）方式を採用している。

図１１に示すように、ＥＵＶ光源装置は、真空チャンバ２と、ターゲット供給装置と、ターゲット回収筒８と、ドライバレーザ３と、レーザ集光光学系９と、ＥＵＶ集光ミラー

５とを含んでいる。

【００４５】

真空チャンバ２は、ＥＵＶ光の生成が行われるチャンバである。真空チャンバ２には、ドライバレーザ３によって生成されたレーザ光を真空チャンバ２内に通過させるためのウインドウ７と、真空チャンバ２内で発生したＥＵＶ光を外部の露光機に出力するための露光機接続ポート６とが設けられている。

【００４６】

ターゲット供給装置は、ターゲット容器１０と、ターゲットノズル１３と、還元ガスボンベ１１と、流量調整器ＭＦＣ１と、切替弁２４及び２７とを有している。ターゲット容器１０内には、錫（Ｓｎ）やリチウム（Ｌｉ）等のターゲット物質が蓄えられている。また、ターゲットノズル１３には、ターゲット物質を射出するための微細な射出孔が形成されている。

ターゲット容器１０内において、ターゲット物質に含まれている酸化物が、還元ガスボンベ１１から切替弁２４、流量調整器ＭＦＣ１、及び、切替弁２７を介して供給される還元ガスによって還元される。還元処理が行われたターゲット物質は、ターゲット容器１０内で図示しないヒータにより加熱・溶融させられ、ターゲットノズル１３に形成された射出孔からドロップレットとして射出される。真空チャンバ２内に供給されたドロップレットの内で、レーザ光が照射されずに不要となったものは、ターゲット回収筒８によって回収される。

【００４７】

ドライバレーザ３は、高い繰り返し周波数を有するパルスレーザ光を生成するレーザ光源である。レーザ集光光学系９は、少なくとも１つのレンズ及び／又は少なくとも１つのミラーを含む。ドライバレーザ３によって生成されるレーザ光は、レーザ集光光学系９及びウインドウ７を介して、真空チャンバ２内のドロップレット上に焦点を形成するように集光される。レーザ光のエネルギーによってドロップレット状のターゲット物質が励起されてプラズマが生成されると、そこからＥＵＶ光を含む様々な波長成分が放射される。

【００４８】

ＥＵＶ集光ミラー５は、プラズマから放射される様々な波長成分の内から所定の波長成分、例えば、１３．５ｎｍ付近の波長を有するＥＵＶ光を選択的に反射するモリブデン（Ｍｏ）／シリコン（Ｓｉ）多層膜が形成されている回転楕円体の凹面状の反射面を有する回転楕円体ミラーである。集光ミラー５は、回転楕円体の第１の焦点位置がプラズマ発光点（plasma emission point）となるように配置されており、ＥＵＶ光は、回転楕円体の第２の焦点位置、即ち、中間集光点（intermediate focusing point）に集光され、外部の露光機に出力される。

露光機は、マスクを照明する光学系と、マスクの像をワークピース上に投影露光する光学系とを含み、ＥＵＶ光を用いてマスクパターンをワークピースに露光させる。

なお、図１，図２、図４、図５、図７、図１１の実施例では、還元ガスまたは加圧ガスまたは排気ガスの流量を制御するために流量制御器（マス・フロー・コントローラ）を使用しているが、これらの実施例に限定されることなく、本発明装置において最適なガスを供給または排気できる装置であればよい。

さらに、図１，図２、図４、図５、図７、図１１の実施例では、ターゲット材料として、球状の固体を図示したが、この例に限定されることなく、金属インゴットであってもよいし、予め過熱溶融したターゲット金属であっても、ある程度のターゲット材料の酸化物の還元を行うことができる。

【産業上の利用可能性】

【００４９】

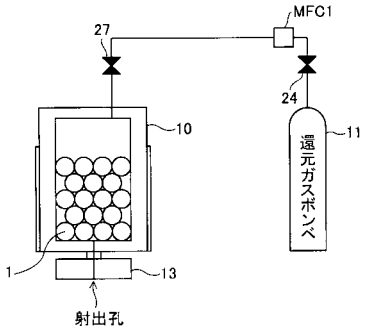
本発明によれば、ターゲット物質の酸化物を還元ガスもしくは炭素材によって還元して分解し、少なくとも、微細孔を通る大きさにするので、ターゲットノズルの閉塞が抑制される。したがって、本発明をターゲット供給装置に適用することにより、より実用的な極端紫外光源装置を構成することができる。

【符号の説明】

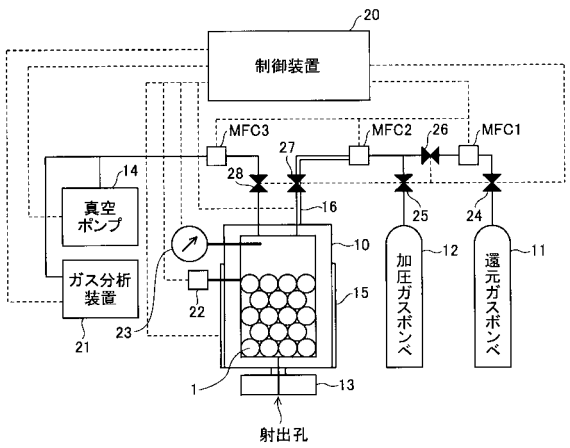
【００５０】

１・・・ターゲット物質、２・・・真空チャンバ、３・・・ドライバレーザ、５・・・ＥＵＶ集光ミラー、６・・・露光機接続ポート、７・・・窓、８・・・ターゲット回収筒、９・・・レーザ集光光学系、１０・・・ターゲット容器、１１・・・還元ガスボンベ、１２・・・加圧ガスボンベ、１３・・・ターゲットノズル、１４・・・真空ポンプ、１５，１６・・・ヒータ、１７・・・ラジカル化装置、１８・・・気化装置、１９・・・炭素系材料、２０・・・制御装置、２１・・・ガス分析装置、２２・・・温度センサ、２３・・・圧力センサ、２４，２５，２６，２７，２８・・・切替弁、３０・・・圧力容器、３１・・・ヒータ、３２・・・仕切り弁、３３・・・ターゲットノズル、３４・・・真空チャンバ、３５・・・真空計、３６・・・反応容器。

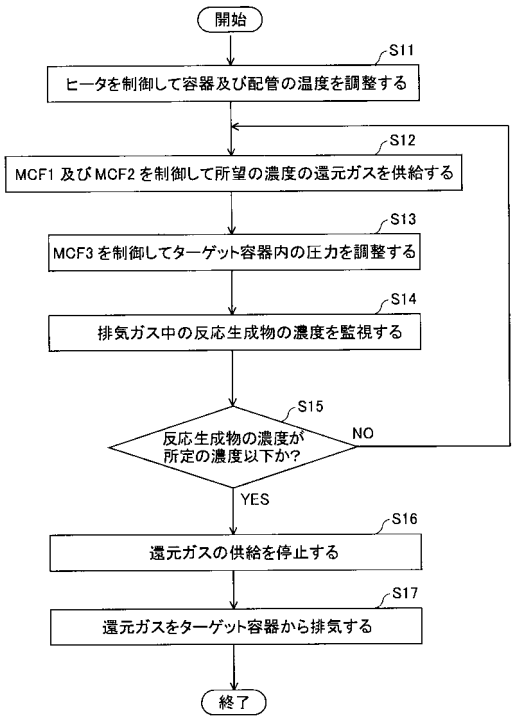
【図１】



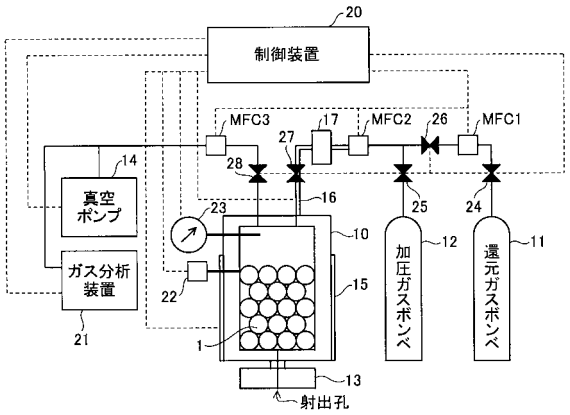
【図２】



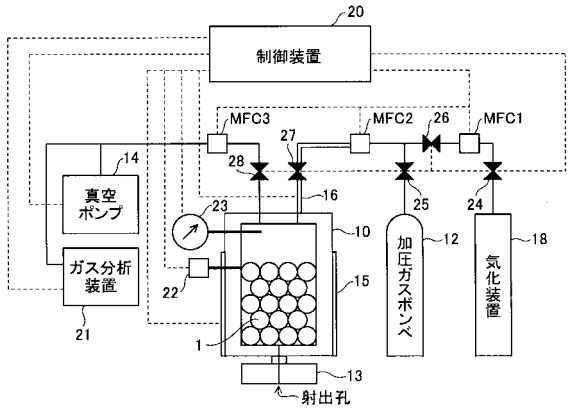
【図３】



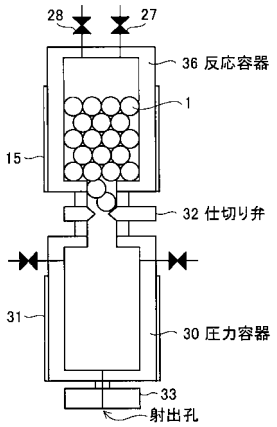
【図４】



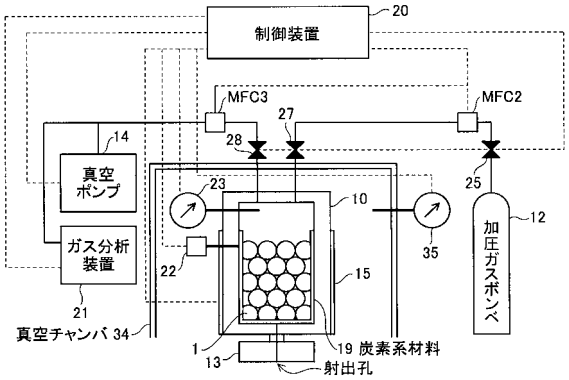
【図５】



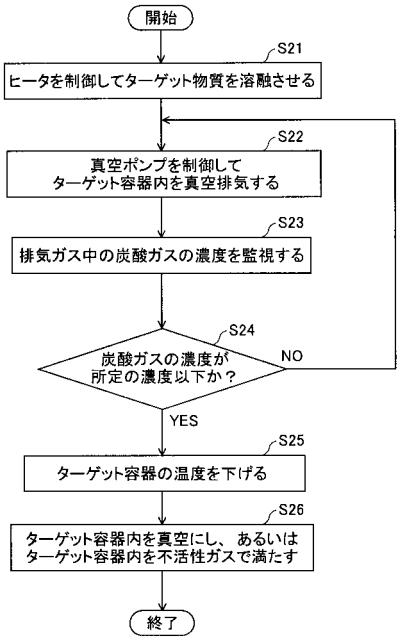
【図６】



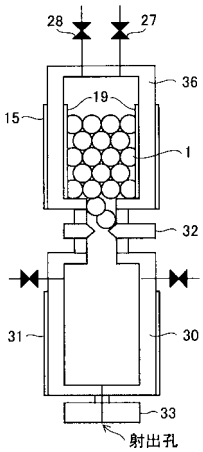
【図７】



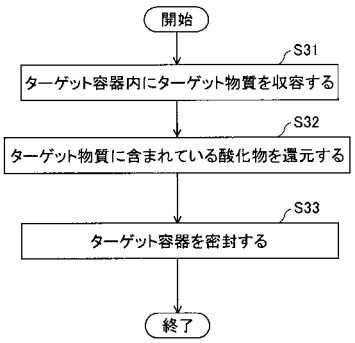
【図８】



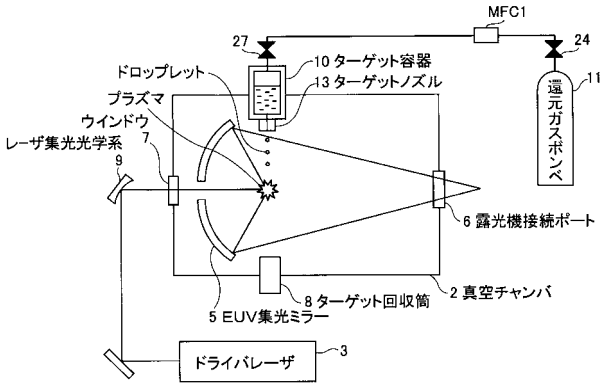
【図９】



【図１０】


開始
S31
ターゲット容器内にターゲット物質を収容する
S32
ターゲット物質に含まれている酸化物を還元する
S33
ターゲット容器を密封する
終了

【図１１】


MFC1
27
24
10 ターゲット容器
13 ターゲットノズル
11
還元ガスボンベ
ドロップレット
プラズマ
ウインドウ
レーザ集光光学系
7
9
6 露光機接続ポート
2 真空チャンバ
8 ターゲット回収筒
5 EUV集光ミラー
ドライバレーザ
3

フロントページの続き

(72)発明者　中野　真生
神奈川県平塚市万田１２００　株式会社小松製作所　研究本部内

審査官　松岡　智也

(56)参考文献　特開平１０－００１７２８（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０３２５１０（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－２０２６７１（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－０８５１５６（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－１７７５５８（ＪＰ，Ａ）
特表２００８－５３２２２８（ＪＰ，Ａ）
特表２００８－５４７２１４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　２１／０２７
Ｈ０５Ｇ　２／００
Ｃ２２Ｂ　２５／０８