

(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2010-80940  
(P2010-80940A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(51) Int.Cl.  
H01L 21/027 (2006.01)

F I  
H01L 21/30 531S

テーマコード(参考)  
5F046

審査請求 未請求 請求項の数 31 O L (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願2009-193601 (P2009-193601)  
(22) 出願日 平成21年8月24日 (2009.8.24)  
(31) 優先権主張番号 特願2008-221613 (P2008-221613)  
(32) 優先日 平成20年8月29日 (2008.8.29)  
(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000001236  
株式会社小松製作所  
東京都港区赤坂二丁目3番6号  
(71) 出願人 300073919  
ギガフォトン株式会社  
東京都千代田区大手町2-6-1 朝日東  
海ビル  
(74) 代理人 110000279  
特許業務法人ウィルフォート国際特許事務  
所  
(72) 発明者 小森 浩  
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】 極端紫外光源装置及び極端紫外光の生成方法

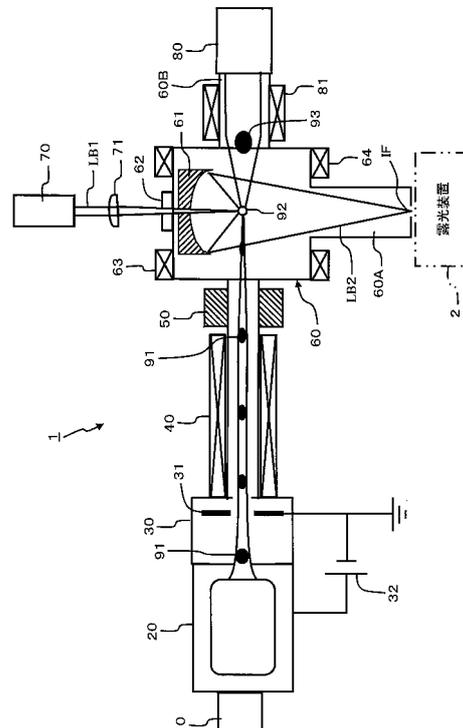
(57) 【要約】

【課題】本発明のEUV光源装置は、イオン化器内でターゲット物質をイオン化して、プラズマ発生点に供給することにより、デブリの発生を低下させる。

【解決手段】

ターゲット供給器10は、イオン化器20に錫等のターゲット物質を供給する。イオン化器20は、錫の励起準位に対応する複数波長のレーザー光をターゲット物質に同時に照射して、ターゲット物質をイオン化させる。イオン化ターゲット物質91は、イオンビーム引き出し部30の高電圧により、イオン化器20から引き出され、加速されて、プラズマ発生用チャンバ60に供給される。ドリフト管40や収束器50は、イオン化ターゲット物質91を収束させる。イオン化ターゲット物質91にドライバレーザ光LB1が照射されるとプラズマ92が生成され、EUV光LB2を放射する。

【選択図】 図1



**【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してプラズマ化させることにより、極端紫外光を発生させる極端紫外光源装置であって、

前記ターゲット物質を供給するためのターゲット物質供給部と、

前記ターゲット物質供給部から供給される前記ターゲット物質をイオン化するイオン化部と、

前記イオン化部によりイオン化される前記ターゲット物質が供給される、プラズマを発生させるためのプラズマ発生用チャンバと、

前記プラズマ発生用チャンバ内の所定領域に供給される前記ターゲット物質にレーザ光を照射してプラズマ化させることにより、極端紫外光を放射させるためのプラズマ生成用レーザ光源と、

を備える極端紫外光源装置。

10

**【請求項 2】**

前記イオン化部は、前記ターゲット物質にレーザ光を照射することによりイオン化させるようになっている、請求項 1 に記載の極端紫外光源装置。

**【請求項 3】**

前記イオン化部は、前記ターゲット物質供給部から供給される前記ターゲット物質に気化用のレーザ光を照射して気化させるための気化用レーザ光源と、前記気化用レーザ光によって気化される前記ターゲット物質にイオン化用のレーザ光を照射することによりイオン化させるためのイオン化用レーザ光源と、を備えている、請求項 2 に記載の極端紫外光源装置。

20

**【請求項 4】**

前記イオン化部は、前記ターゲット物質供給部から供給される前記ターゲット物質に気化用の電子ビームを照射して気化させるための気化用電子ビーム装置と、前記電子ビームにより気化される前記ターゲット物質にイオン化用のレーザ光を照射することによりイオン化させるためのイオン化用レーザ光源と、を備えている、請求項 1 に記載の極端紫外光源装置。

**【請求項 5】**

前記イオン化用レーザ光源はパルスレーザ光源として構成される、請求項 3 または請求項 4 のいずれかに記載の極端紫外光源装置。

30

**【請求項 6】**

前記イオン化用レーザ光源は、前記ターゲット物質の励起準位に対応して予め用意される複数種類の波長のレーザ光を同時に出力させる、請求項 3 または請求項 4 のいずれかに記載の極端紫外光源装置。

**【請求項 7】**

前記ターゲット物質は錫、またはスタナン (SnH<sub>4</sub>) などの錫化合物であり、前記イオン化用レーザ光源は、波長 286.4 nm 近傍または 300.9 nm 近傍または 317.5 nm 近傍のいずれか 1 ~ 3 波長と、波長 811.6 nm 近傍と波長 823.7 nm 近傍との計 3 ~ 5 波長でレーザ光を出力する、請求項 6 に記載の極端紫外光源装置。

40

**【請求項 8】**

前記イオン化用レーザ光源は、チタンサファイアレーザから構成される基本波発生器と、高次高調波発生器とを含んで構成される、請求項 3 ~ 請求項 7 のいずれかに記載の極端紫外光源装置。

**【請求項 9】**

前記イオン化部には、前記ターゲット物質を回収するための第 1 回収部が設けられている、請求項 1 に記載の極端紫外光源装置。

**【請求項 10】**

前記ターゲット物質は錫、またはスタナン (SnH<sub>4</sub>) などの錫化合物であり、前記イオン化部には、その内部に付着した前記ターゲット物質を溶かして前記回収部に回収させるた

50

めの加熱部が設けられている、請求項 9 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 1 1】

前記イオン化部には、前記ターゲット物質供給部から供給される前記ターゲット物質を取り囲むようにして、磁場を発生させる第 1 磁場発生部が設けられている、請求項 1 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 1 2】

前記イオン化部によりイオン化される前記ターゲット物質を前記イオン化部の外部に引き出し、前記プラズマ発生用チャンバに送り込むための引き出し部と、

前記プラズマ発生用チャンバと前記引き出し部との間に設けられ、前記プラズマ発生用チャンバに向けて進行する、イオン化された前記ターゲット物質を、その進行方向に略垂直な方向で収束させる収束部と、

をそれぞれ備える請求項 1 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 1 3】

前記引き出し部と前記収束部との間の通過領域を取り囲むようにして、磁場を発生させる第 2 磁場発生部が設けられている、請求項 1 2 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 1 4】

前記引き出し部と前記収束部との間の通過領域に、前記イオン化されたターゲット物質を加速するための加速部を備える、請求項 1 2 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 1 5】

前記プラズマ発生用チャンバには、前記所定領域に磁場を発生させるための第 3 磁場発生部が設けられている、請求項 1 2 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 1 6】

前記プラズマ発生用チャンバには、前記プラズマ発生後のターゲット物質を回収するための第 2 回収部が設けられている、請求項 1 2 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 1 7】

前記プラズマ発生用チャンバと前記第 2 回収部とを接続する接続部を取り囲むようにして、磁場を発生させる第 4 磁場発生部が設けられている、請求項 1 2 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 1 8】

前記イオン化部と前記プラズマ発生用チャンバとの間に、前記イオン化されたターゲット物質を圧縮するための圧縮部を設ける、請求項 1 2 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 1 9】

前記収束部と前記プラズマ発生用チャンバとの間の通過領域に、前記イオン化されたターゲット物質を電氣的に中性化するための中和部を設ける、請求項 1 2 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 2 0】

前記プラズマ生成用レーザ光源は、炭酸ガスレーザ光を出力するレーザ光源として構成されている、請求項 1 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 2 1】

極端紫外光を発生させる方法であって、  
ターゲット物質を供給するためのターゲット物質供給装置から供給されるターゲット物質をイオン化するイオン化ステップと、

前記イオン化されたターゲット物質の膨張を防止しながら、プラズマ発生用チャンバ内の所定領域に供給する供給ステップと、

前記所定領域に供給される前記イオン化されたターゲット物質にプラズマを生成するためのレーザ光を照射してプラズマ化させ、極端紫外光を放射させるステップと、

をそれぞれ実行する、極端紫外光の発生方法。

【請求項 2 2】

前記イオン化ステップでは、前記ターゲット物質を気化させる第 1 サブステップと、気化された前記ターゲット物質にイオン化するためのイオン化用レーザ光を照射してイオン

10

20

30

40

50

化させる第2サブステップとが、それぞれ実行される、請求項21に記載の極端紫外光源装置の発生方法。

【請求項23】

前記イオン化用レーザ光には、前記ターゲット物質の励起準位に対応して予め用意される複数種類の波長のレーザ光が含まれている、請求項22に記載の極端紫外光源装置の発生方法。

【請求項24】

レーザ光をターゲット物質に照射してプラズマ化させることにより、極端紫外光を発生させる極端紫外光源装置であって、

前記ターゲット物質を供給するためのターゲット物質供給部と、

前記ターゲット物質供給部の下流側に近接して設けられ、前記ターゲット物質供給から所定量供給される前記ターゲット物質に所定のレーザ光を照射することにより、所定サイズ及び所定密度のイオン化ターゲット物質を生成するイオン化部と、

前記イオン化部の下流側に離間して設けられ、プラズマを発生させるためのプラズマ発生用チャンバと、

電気力または磁気力の少なくともいずれか一つを用いて前記イオン化ターゲット物質の収束及び輸送を行うことにより、前記イオン化ターゲット物質を前記プラズマ発生用チャンバに供給する供給部と、

前記プラズマ発生用チャンバに供給される前記イオン化ターゲット物質に、プラズマを発生させるためのプラズマ発生用レーザ光を照射してプラズマ化させることにより、極端紫外光を放射させるプラズマ生成用レーザ光源と、  
を備える極端紫外光源装置。

【請求項25】

前記引き出し部と前記プラズマ発生用チャンバとの間の通過領域を取り囲むようにして配設される第5磁場発生部であって、イオン化された前記ターゲット物質の進行方向に沿った磁場を発生させる前記第5磁場発生部と、

前記第5磁場発生部により発生する前記磁場に向けて電子ビームを照射する電子ビーム出力部と、

を備える請求項12に記載の極端紫外光源装置。

【請求項26】

前記気化用のレーザ光の照射タイミングを基準として、前記イオン化用のレーザ光の照射タイミングを設定し、前記イオン化用のレーザ光の照射タイミングを基準として、前記プラズマ発生用チャンバ内で前記ターゲット物質をプラズマ化させるための前記レーザ光の照射タイミングを設定する、

請求項3に記載の極端紫外光源装置。

【請求項27】

前記ターゲット物質供給部が前記ターゲット物質を供給するタイミングを基準として、前記気化用のレーザ光の照射タイミングを設定し、前記気化用のレーザ光の照射タイミングを基準として、前記イオン化用のレーザ光の照射タイミングを設定し、前記イオン化用のレーザ光の照射タイミングを基準として、前記プラズマ発生用チャンバ内で前記ターゲット物質をプラズマ化させるための前記レーザ光の照射タイミングを設定する、

請求項3に記載の極端紫外光源装置。

【請求項28】

前記ターゲット物質供給部が前記ターゲット物質を供給するタイミングを基準として、前記気化用のレーザ光の照射タイミングと、前記イオン化用のレーザ光の照射タイミングと、前記プラズマ発生用チャンバ内で前記ターゲット物質をプラズマ化させるための前記レーザ光の照射タイミングとを設定する、

請求項3に記載の極端紫外光源装置。

【請求項29】

前記ターゲット物質供給部は、

前記ターゲット物質を供給するためのターゲット物質供給体であって、レーザ光が照射される溝部が設けられているターゲット物質供給体と、

前記ターゲット物質供給体を回転させる回転部と、

前記ターゲット物質供給体の回転に応じて、前記溝部に前記ターゲット物質を補充させるための補充部と、

を備える、

請求項 1 に記載の極端紫外光源装置

【請求項 30】

前記ターゲット物質供給体は、前記ターゲット物質または前記ターゲット物質とは異なる物質から円板状に形成されており、一方の面が前記回転部によって回転可能に支持されている、

10

請求項 29 に記載の極端紫外光源装置。

【請求項 31】

前記ターゲット物質供給体は、前記ターゲット物質または前記ターゲット物質とは異なる物質から筒状に形成されており、その周面に前記溝部が設けられており、かつ、回転軸の両端が回転可能に支持されている、

請求項 29 に記載の極端紫外光源装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、極端紫外光源装置及び極端紫外光の生成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、レジストを塗布したウェハ上に、回路パターンの描かれたマスクを縮小投影し、エッチングや薄膜形成等の処理を繰り返すことにより、半導体チップが生成される。半導体プロセスの微細化に伴い、より短い波長の光が求められている。

【0003】

そこで、13.5nm という極端に波長の短い光と縮小光学系とを使用する、半導体露光技術が研究されている。この技術は、EUVL (Extreme Ultra Violet Lithography : 極端紫外線露光) と呼ばれる。以下、極端紫外光を EUV 光と呼ぶ。

30

【0004】

EUV 光源としては、LPP (Laser Produced Plasma : レーザ生成プラズマ) 式の光源と、DPP (Discharge Produced Plasma) 式の光源と、SR (Synchrotron Radiation) 式の光源との三種類が知られている。LPP 式光源とは、ターゲット物質にレーザ光を照射してプラズマを生成し、このプラズマから放射される EUV 光を利用する光源である。DPP 式光源とは、放電によって生成されるプラズマを利用する光源である。SR 式光源とは、軌道放射光を使用する光源である。以上三種類の光源のうち、LPP 式光源は、他の方式に比べてプラズマ密度を高くすることができ、かつ、捕集立体角を大きくできるため、高出力の EUV 光を得られる可能性が高い。

【0005】

40

EUV 光は波長が短く、物質に吸収されやすいため、EUVL では、反射光学系が採用される。反射光学系は、例えば、モリブデン (Mo) とシリコン (Si) とを用いた多層膜を使用して構築される。Mo/Si の多層膜は、13.5nm 付近の反射率が高いため、EUVL では 13.5nm の EUV 光を使用する。

【0006】

しかし、多層膜の反射率は 70% 程度のため、反射を繰り返すにつれて、EUV 光の出力は次第に低下する。露光装置内で EUV 光は十数回反射するため、EUV 光源装置は、高出力の EUV 光を露光装置に供給する必要がある。そこで、EUV 光源装置として、LPP 式の光源に期待が寄せられている (特許文献 1)。

【0007】

50

L P P式のE U V光源装置は、錫(S n)やキセノン(X e)あるいはリチウム(L i)等をターゲット物質として使用し、このターゲット物質にレーザ光を照射する。特に、液体金属である錫のドロップレット(液滴)と炭酸ガス(C O 2)パルスレーザとを組み合わせるL P P式光源は、他の方式に比べてターゲットの質量を少なくでき、かつ、E U V光の発光効率が比較的高いことから、有望視されている。

【0008】

高いE U V発光効率を得るためには、ターゲットの密度を $10^{17} / \text{cm}^3 \sim 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度にする必要がある。これに対し、プラズマ生成点に供給される固体または液体の錫の密度は、 $4 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ 程度であり、最適密度よりも高い。従って、1回のレーザ光照射では、E U V光を効率よく得ることができない。そこで、錫ターゲットに2段階でレーザ光を照射して密度を調整するようにした技術も提案されている(特許文献2, 特許文献3)。この技術では、錫ターゲットに加熱用パルスレーザを照射して、錫ターゲットを拡散させ、ターゲット密度を低下させる。その次に、メインパルスレーザを照射してプラズマ化させることで、効率よくE U V光を発生させる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2006-80255号公報

【特許文献2】米国特許出願公開第2006/0255298号明細書

【特許文献3】国際公開第2003/96764号パンフレット

20

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】Stanley Humphries, Jr. 著「Principles of Charged Particle Acceleration」(John Wiley & Sons出版)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

従来技術では、ターゲット物質を、例えば直径数十 $\mu\text{m}$ 程度のドロップレット状に形成して供給する。しかし、実際には、そのドロップレットの全重量のうち1/10以下程度のみが、E U V光の発生に寄与するプラズマとなり、その他の重量はデブリと呼ばれる微粒子となる。このデブリがE U V集光ミラーを損傷させ、E U V発光出力が低下することが従来技術の課題である。

30

【0012】

プラズマ発生点の近傍には、プラズマから放射されるE U V光を集めて露光装置に向けて送り出すための、E U V集光ミラーが設けられている。電氣的に中正なデブリが、E U V集光ミラーへ拡散することで、その寿命や反射率を低下させる。例えば、高速なデブリは、E U V集光ミラーの表面に衝突して損傷を与える。中速または低速のデブリは、E U V集光ミラーの表面に付着して堆積し、E U V集光ミラーの反射率を低下させる。

【0013】

従って、錫のような金属材料をターゲット物質として用いる場合は、上述のように電氣的に中性なデブリが大量に発生し、これにより、E U V集光ミラー等の寿命が著しく低下する。また、デブリは、その多くが電氣的に中性であるため、その挙動を電磁気力によって制御することは難しい。よって、従来技術ではデブリのE U V集光ミラーへの拡散を、効率的に抑制する技術がない。従って、E U V発生装置を運転すると、デブリによりE U V集光ミラーが損傷し、E U V集光ミラー等の交換作業を頻繁に行う必要がある。その結果、E U V光源装置の稼働率が低下する。

40

【0014】

一方、レーザ光を2回照射する従来技術では、多少高い変換効率でE U V光を得ることができる。しかし、プラズマ発生用のチャンバ内にプラズマに寄与しない無駄な物質が供給される点において変わりなく、電氣的に中性のデブリが発生する。

50

## 【0015】

本発明は、上記問題に着目してなされたもので、その目的は、ターゲット物質をイオン化して、プラズマを発生させる領域に供給することにより、プラズマを発生させるためのプラズマ発生用チャンバ内に、制御不能のデブリが発生するのを抑制できるようにした、極端紫外光源装置及び極端紫外光の生成方法を提供することにある。本発明の他の目的は、プラズマ発生用チャンバから離れた場所でイオン化ターゲット物質を生成し、そのイオン化ターゲット物質の広がりを抑制しながら高速にプラズマ発生用チャンバに供給することにより、プラズマ発生用チャンバに電氣的に中性のデブリが生じるのを抑制することができる、極端紫外光源装置及び極端紫外光の生成方法を提供することにある。本発明の更なる目的は、後述する実施形態の記載から明らかになるであろう。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【0016】

上記課題を解決するために、本発明の第1観点に係る極端紫外光源装置は、レーザ光をターゲット物質に照射してプラズマ化させることにより、極端紫外光を発生させる極端紫外光源装置であって、ターゲット物質を供給するためのターゲット物質供給部と、ターゲット物質供給部から供給されるターゲット物質をイオン化するイオン化部と、イオン化部によりイオン化されるターゲット物質が供給される、プラズマを発生させるためのプラズマ発生用チャンバと、プラズマ発生用チャンバ内の所定領域に供給されるターゲット物質にレーザ光を照射してプラズマ化させることにより、極端紫外光を放射させるためのプラズマ生成用レーザ光源と、を備える。

20

## 【0017】

イオン化部は、ターゲット物質にレーザ光を照射することによりイオン化させることができる。

## 【0018】

イオン化部は、ターゲット物質供給部から供給されるターゲット物質に気化用のレーザ光を照射して気化させるための気化用レーザ光源と、気化用レーザ光によって気化されるターゲット物質にイオン化用のレーザ光を照射することによりイオン化させるためのイオン化用レーザ光源と、を備えることができる。

## 【0019】

イオン化部は、ターゲット物質供給部から供給されるターゲット物質に気化用の電子ビームを照射して気化させるための気化用電子ビーム装置と、電子ビームにより気化されるターゲット物質にイオン化用のレーザ光を照射することによりイオン化させるためのイオン化用レーザ光源と、を備えることができる。

30

## 【0020】

イオン化用レーザ光源はパルスレーザ光源として構成することができる。

## 【0021】

イオン化用レーザ光源は、ターゲット物質の励起準位に対応して予め用意される複数種類の波長のレーザ光を同時に出力させることもできる。

## 【0022】

ターゲット物質は錫、またはスタナン(SnH4)などの錫化合物であり、イオン化用レーザ光源は、波長286.4nm近傍または300.9nm近傍または317.5nm近傍のいずれか1~3波長と、波長811.6nm近傍と波長823.7nm近傍との計3~5波長でレーザ光を出力することもできる。

40

## 【0023】

イオン化用レーザ光源は、チタンサファイアレーザから構成される基本波発生器と、高次高調波発生器とを含んで構成してもよい。

## 【0024】

イオン化部には、ターゲット物質を回収するための第1回収部を設けてもよい。

## 【0025】

ターゲット物質は錫、またはスタナン(SnH4)などの錫化合物であり、イオン化部には

50

、その内部に付着したターゲット物質を溶かして回収部に回収させるための加熱部を設けてもよい。

【0026】

イオン化部には、ターゲット物質供給部から供給されるターゲット物質を取り囲むようにして、磁場を発生させる第1磁場発生部を設けてもよい。

【0027】

イオン化部によりイオン化されるターゲット物質をイオン化部の外部に引き出し、プラズマ発生用チャンバに送り込むための引き出し部と、プラズマ発生用チャンバと引き出し部との間に設けられ、プラズマ発生用チャンバに向けて進行する、イオン化されたターゲット物質を、その進行方向に略垂直な方向で収束させる収束部と、をそれぞれ備えることもできる。

10

【0028】

引き出し部と収束部との間の通過領域を取り囲むようにして、磁場を発生させる第2磁場発生部を設けてもよい。

【0029】

引き出し部と収束部との間の通過領域に、イオン化されたターゲット物質を加速するための加速部を備えることもできる。

【0030】

プラズマ発生用チャンバには、所定領域に磁場を発生させるための第3磁場発生部を設けてもよい。

20

【0031】

プラズマ発生用チャンバには、プラズマ発生後のターゲット物質を回収するための第2回収部を設けてもよい。

【0032】

プラズマ発生用チャンバと第2回収部とを接続する接続部を取り囲むようにして、磁場を発生させる第4磁場発生部を設けてもよい。

【0033】

イオン化部とプラズマ発生用チャンバとの間に、イオン化されたターゲット物質を圧縮するための圧縮部を設けることもできる。

【0034】

収束部とプラズマ発生用チャンバとの間の通過領域に、イオン化されたターゲット物質を電氣的に中性化するための中和部を設けることもできる。

30

【0035】

プラズマ生成用レーザ光源は、炭酸ガスレーザ光を出力するレーザ光源として構成することができる。

【0036】

本発明の他の観点に従う、極端紫外光を発生させる方法では、ターゲット物質を供給するためのターゲット物質供給装置から供給されるターゲット物質をイオン化するイオン化ステップと、イオン化されたターゲット物質の膨張を防止しながら、プラズマ発生用チャンバ内の所定領域に供給する供給ステップと、所定領域に供給されるイオン化されたターゲット物質にプラズマを生成するためのレーザ光を照射してプラズマ化させ、極端紫外光を放射させるステップと、をそれぞれ実行する。

40

【0037】

イオン化ステップでは、ターゲット物質を気化させる第1サブステップと、気化されたターゲット物質にイオン化するためのイオン化用レーザ光を照射してイオン化させる第2サブステップとを、それぞれ実行させることができる。

【0038】

イオン化用レーザ光には、ターゲット物質の励起準位に対応して予め用意される複数種類の波長のレーザ光が含まれていてもよい。

【0039】

50

本発明のさらに別の観点に従う、極端紫外光源装置は、レーザ光をターゲット物質に照射してプラズマ化させることにより、極端紫外光を発生させる極端紫外光源装置であって、ターゲット物質を供給するためのターゲット物質供給部と、ターゲット物質供給部の下流側に近接して設けられ、ターゲット物質供給から所定量供給されるターゲット物質に所定のレーザ光を照射することにより、所定サイズ及び所定密度のイオン化ターゲット物質を生成するイオン化部と、イオン化部の下流側に離間して設けられ、プラズマを発生させるためのプラズマ発生用チャンバと、電気力または磁気力の少なくともいずれか一つを用いてイオン化ターゲット物質の収束及び輸送を行うことにより、イオン化ターゲット物質をプラズマ発生用チャンバに供給する供給部と、プラズマ発生用チャンバに供給されるイオン化ターゲット物質に、プラズマを発生させるためのプラズマ発生用レーザ光を照射してプラズマ化させることにより、極端紫外光を放射させるプラズマ生成用レーザ光源と、を備える。

10

**【0040】**

引き出し部とプラズマ発生用チャンバとの間の通過領域を取り囲むようにして設けられる第5磁場発生部によって、イオン化されたターゲット物質の進行方向に沿った磁場を発生させ、その磁場に向けて電子ビームを照射する構成としてもよい。

気化用のレーザ光の照射タイミングを基準として、イオン化用のレーザ光の照射タイミングを設定し、イオン化用のレーザ光の照射タイミングを基準として、プラズマ発生用チャンバ内でターゲット物質をプラズマ化させるためのレーザ光の照射タイミングを設定する構成でもよい。

20

**【0041】**

ターゲット物質供給部がターゲット物質を供給するタイミングを基準として、気化用のレーザ光の照射タイミングを設定し、気化用のレーザ光の照射タイミングを基準として、イオン化用のレーザ光の照射タイミングを設定し、イオン化用のレーザ光の照射タイミングを基準として、プラズマ発生用チャンバ内でターゲット物質をプラズマ化させるためのレーザ光の照射タイミングを設定する構成でもよい。

**【0042】**

ターゲット物質供給部がターゲット物質を供給するタイミングを基準として、気化用のレーザ光の照射タイミングと、イオン化用のレーザ光の照射タイミングと、プラズマ発生用チャンバ内でターゲット物質をプラズマ化させるためのレーザ光の照射タイミングとを設定する構成でもよい。

30

**【0043】**

ターゲット物質供給部は、ターゲット物質を供給するためのターゲット物質供給体であって、レーザ光が照射される溝部が設けられているターゲット物質供給体と、ターゲット物質供給体を回転させる回転部と、ターゲット物質供給体の回転に応じて、溝部にターゲット物質を補充させるための補充部と、を備えて構成することができる。

**【0044】**

ターゲット物質供給体は、ターゲット物質またはターゲット物質とは異なる物質から円板状に形成され、一方の面が回転部によって回転可能に支持される。

**【0045】**

ターゲット物質供給体は、ターゲット物質またはターゲット物質とは異なる物質から筒状に形成され、その周面に溝部が設けられており、かつ、回転軸の両端が回転可能に支持されている。

40

**【発明の効果】****【0046】**

本発明によれば、イオン化部によりターゲット物質をイオン化してプラズマ発生用チャンバに供給するため、プラズマの発生に必要な量のイオン化ターゲット物質をプラズマ発生用チャンバに送り込むことができ、不要なターゲット物質がプラズマ発生用チャンバに送り込まれるのを未然に防止できる。これにより、デブリの発生を抑えてプラズマを効率的に生成でき、プラズマ発生用チャンバ内の光学部品がデブリによって損傷したり劣化す

50

るのを防止することができ、信頼性及び寿命を向上できる。

【0047】

本発明によれば、イオン化部は、レーザ光を照射することによりターゲット物質をイオン化するため、ターゲット物質全体としての運動エネルギー量を増大させることなく、イオン化させることができる。これにより、イオン化ターゲット物質の拡散を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】本発明の第1実施例に係るEUV光源装置の全体構成を示す説明図。

【図2】イオン化器等の構成を拡大して示す説明図。

10

【図3】ヒータの温度制御の構成を示す説明図。

【図4】ターゲット物質をイオン化させるレーザ光源の構成を示す説明図。

【図5】ターゲット物質である錫のエネルギー準位を示す説明図。

【図6】第2実施例によるEUV光源装置の全体構成図。

【図7】第3実施例に係り、イオン化ターゲットの生成を示す図。

【図8】第4実施例に係り、イオン化ターゲットの生成を示す図。

【図9】第5実施例に係り、イオン化ターゲットの生成を示す図。

【図10】第6実施例に係り、イオン化ターゲットの生成を示す図。

【図11】第7実施例に係り、イオン化ターゲットの生成を示す図。

【図12】第8実施例に係り、イオン化ターゲットの生成を示す図。

20

【図13】第9実施例によるEUV光源装置の全体構成図。

【図14】電子ビームとイオン化されたターゲットの関係を示す説明図。

【図15】第10実施例に係り、レーザ光源のタイミングを示すタイムチャート。

【図16】レーザ光源の他のタイミングを示すタイムチャート。

【図17】第11実施例に係り、レーザ光源のタイミングを示すタイムチャート。

【図18】第12実施例に係り、レーザ光源のタイミングを示すタイムチャート。

【図19】第13実施例に係り、イオン化ターゲットの生成を示す図。

【図20】溝を有する円板状ターゲット物質の斜視図。

【図21】溝の断面形状を示す図。

【図22】第14実施例に係り、イオン化ターゲットの生成を示す図。

30

【図23】溝を有するドラム式ターゲット物質の斜視図。

【図24】第15実施例に係り、イオン化ターゲットの生成を示す図。

【図25】第16実施例に係るEUV光源装置の全体構成図。

【図26】加速管としての四重極電極を示す斜視図。

【図27】四重極電極の断面図。

【図28】第17実施例に係り、環状電極を有する静電加速管の説明図。

【図29】静電加速管の断面図。

【図30】第18実施例に係り、円筒状電極を有する線形加速管の説明図。

【図31】線形加速管の断面図。

【図32】第19実施例に係り、誘導加速管の説明図。

40

【図33】第20実施例に係り、誘導加速管を多段に配置した説明図。

【図34】第21実施例に係り、圧縮部の構成を示す図。

【図35】電極対に電圧を印加するタイミングを示す図。

【図36】電極対に電圧を印加する他のタイミングを示す図。

【図37】第22実施例に係り、圧縮部の構成を模式的に示す図。

【図38】電極対に電圧を印加するタイミングを示す図。

【図39】第23実施例に係り、圧縮部の構成を模式的に示す図。

【図40】電極対に電圧を印加するタイミングを示す図。

【図41】第24実施例に係り、電極対を複数配置した圧縮部を示す図。

【図42】第25実施例に係るEUV光源装置の全体構成図。

50

【図 4 3】中和器を模式的に示す図。

【図 4 4】中和器の具体例を示す回路図。

【図 4 5】第 2 6 実施例に係り、中和器の他の具体例を示す回路図。

【発明を実施するための最良の形態】

【0049】

以下、図を参照しながら、本発明の実施形態を詳細に説明する。本実施形態では、以下に述べるように、プラズマ発生用チャンバ 60 とは別の場所に設けられるイオン化器 20 において、イオン化されたターゲット物質 91 を生成し、そのイオン化されたターゲット物質 91 をプラズマ発生用チャンバ 60 に供給する。イオン化器 20 内でイオン化ターゲット物質を生成するため、プラズマ発生に不要な余分のターゲット物質がプラズマ発生用

10

【実施例 1】

【0050】

図 1 ~ 図 5 に基づいて本発明の第 1 実施例を説明する。図 1 は、EUV 光源装置 1 の全体構成を示す説明図、図 2 は、イオン化器 20 等を拡大して示す説明図、図 3 は、ターゲット物質を回収するための説明図、図 4 はイオン化器 20 で使用されるレーザ光源 210 の説明図、図 5 は、レーザ光源 210 から同時に照射される複数波長のレーザ光を示すエネルギー準位図である。

20

【0051】

図 1 に示す EUV 光源装置 1 は、例えば、ターゲット供給器 10 と、イオン化器 20 と、イオンビーム引き出し器 30 と、ドリフト管 40 と、収束器 50 と、プラズマ発生用チャンバ 60 と、ドライバレーザ光源 70 と、ターゲット回収器 80 と、を備えて構成することができる。しかし、図示する構成は、本発明を実現するための一つの例示であって、本発明は図示の構成に限定されない。いわゆる当業者であれば、構成の追加や変更等を行うことができるであろう。

【0052】

ターゲット供給器 10 は、「ターゲット物質供給部」に該当し、例えば、錫のようなターゲット物質を液体や固体あるいは気体として供給する。また錫は、スタナン (SnH4) などの錫化合物として供給することも可能である。また、錫を液体として供給する場合は純粋な錫を融点まで加熱して液化する他に、錫を含む溶液または錫や錫化合物を含むコロイド溶液として供給することも可能である。本実施例では、ターゲット物質として、錫を例に挙げて説明するが、これに限らず、例えば、リチウム (Li) 等の他の物質を用いてもよい。また、ターゲット物質の供給方法としては、後述の実施例でも述べるように種々の方法を採用することができる。

30

【0053】

「イオン化部」としてのイオン化器 20 は、ターゲット供給器 10 から供給されるターゲット物質をイオン化するための装置である。イオン化器 20 は、ターゲット供給器 10 に隣接するようにして、その下流側に設けられている。ここで、本明細書における下流側とは、ターゲット物質の移動方向を示しており、図 1 中の右方向が下流となり、図 1 中の左方向が上流となる。

40

【0054】

「引き出し部」としてのイオンビーム引き出し器 30 は、イオン化器 20 で生成されるイオン化ターゲット物質 91 を、イオン化器 20 から引き出して、プラズマ発生用チャンバ 60 に向けて送り出す装置である。イオンビーム引き出し器 30 は、イオン化器 20 に隣接して、その下流側に設けられている。イオンビーム引き出し器 30 は、例えば、環状の電極 31 と、電極 31 に所定の高電圧 (マイナス電圧) を印加するための電源 32 とを備えている。電極 31 に生じる高電圧により、イオン化器 20 内で生成されたイオン化ターゲット物質 91 をイオン化器 20 内から引き出して、プラズマ発生用チャンバ 60 に向

50

けて送り出す。以下、説明の便宜上、ターゲット物質を「ターゲット」と、イオン化されたターゲット物質を「イオンビーム」と、それぞれ呼ぶ場合がある。

【0055】

ドリフト管40は、イオンビーム（イオン化ターゲット物質）91をプラズマ発生用チャンバ60に向けて輸送するための装置である。ドリフト管40は、イオンビーム引き出し器30に隣接して、その下流側に設けられている。ドリフト管40は、イオンビーム引き出し部30と収束器50との間を接続するようにして設けられている。ドリフト管40は、電磁石等の磁場発生器を備えて構成されており、その磁場によって、イオンビームの径方向の広がりを防止する。ドリフト管40は、「第2磁場発生部」に対応する。また、以下の説明において、「第1、2、3、4磁場発生部」を構成する磁場発生器は、円管状の電磁石等であり、円管状の中央開口部をイオンビームが通過する。磁場発生器が形成する磁束の中心軸とイオンビームが通過する軸とは概略一致するように配置される。

10

【0056】

「収束部」としての収束器50は、例えば、四重極レンズまたはアインツェルレンズのような静電レンズ、または磁界レンズ等のように構成されており、イオンビームの進行方向（図1中の左右方向）に直交する方向（図1中の上下方向）にイオンビームが広がるのを防止する装置である。収束器50は、ドリフト管40に隣接して、その下流側に設けられている。収束器50は、イオンビーム引き出し器30とプラズマ発生用チャンバ60との間に設けることができる。

20

【0057】

プラズマ発生用チャンバ60は、収束器50に隣接して、その下流側に設けられており、その内部は真空状態に保持されている。プラズマ発生用チャンバ60には、例えば、EUV集光ミラー61と、入射窓62と、電磁石63、64と、接続部60Aと、回収通路60Bとが設けられている。接続部60Aは、プラズマ発生用チャンバ60と露光装置2とを接続するためのものである。回収通路60Bは、プラズマ発生用チャンバ60と回収器80とを接続するためのものである。

【0058】

EUV集光ミラー61は、EUV光を反射させて集めるためのミラーである。EUV集光ミラー61の表面は、例えば、回転楕円体のような凹面、放物面、球面、複数の曲率を有する凹面として構成される。EUV集光ミラー61の表面には、例えば、モリブデン膜とシリコン膜とから構成される多層膜が設けられており、これにより、波長13nm程度のEUV光を反射するようになっている。

30

【0059】

入射窓62は、ドライバレーザ光を透過させるための窓部である。ドライバレーザ光は、入射窓62を介して、チャンバ60内の所定位置に到達したイオン化ターゲット物質を照射する。これにより、プラズマ92が発生し、EUV光が放射される。EUV光は、EUV集光ミラー61により中間焦点IFに集められ、接続部60Aを介して、露光装置2に供給される。

【0060】

一对の磁場発生器63、64は、EUV集光ミラー61から中間焦点IFに向かうEUV光LB2の光路を図1中の左右方向から挟むようにして、設けられている。各磁場発生器63、64は「第3磁場発生器」に該当する。各磁場発生器63、64は、例えば、電磁石として構成される。

40

【0061】

各磁場発生器63、64にそれぞれ同方向の電流を流すと、プラズマ発生用チャンバ60内に磁場が発生する。この磁場は、各磁場発生器63、64の近傍では磁束密度が高く、各磁場発生器63、64の中間点では磁束密度が低い。EUV光を放射した後のターゲット物質93は、各磁場発生器63、64により生じる磁場に捕捉され、ローレンツ力により螺旋運動をしながら、図1中の右側（下流側）に向けて移動する。そして、ターゲット物質93は、回収通路60Bを介して、「第2回収部」としてのターゲット回収器80

50

内に流入し、回収される。回収通路 60B の外側には、「第 4 磁場発生器」としての磁場発生器 81 が設けられている。この磁場発生器 81 から生じる磁力線により、ターゲット物質 93 の膨張を抑制している。また、後述のように、ターゲット回収器 80 には、ヒータ 82 (図 3 参照) が設けられている。

【0062】

ドライバレーザ光源 70 は、イオン化されたターゲット物質 91 を励起させてプラズマ 92 にするための、レーザ光 LB1 を出力する。ドライバレーザ光源 70 は、例えば、炭酸ガスパルスレーザ光源として構成され、波長 10.6 μm 程度のドライバレーザ光 LB1 をパルス出力する。このレーザ光 LB1 は、集光レンズ 71 及び入射窓 62 を介して、プラズマ発生用チャンバ 60 内に入射し、イオン化ターゲット物質を照射する。なお、本実施例では、ドライバレーザ光源として炭酸ガスパルスレーザ光源を例に挙げるが、本発明はこれに限定されない。

10

【0063】

図 2 は、ターゲット供給器 10 やイオン化器 20 等を拡大して示す説明図である。ターゲット供給器 10 は、液体状態のターゲット物質 (本実施例では、錫) を、イオン化器 20 に所定量ずつ供給する。

【0064】

ターゲット供給器 10 は、例えば、タンク 11 と、タンク 11 の底部とイオン化器 20 とを接続する供給管 12 と、タンク 11 及び供給管 12 の周囲に設けられるヒータ 13 とを備えて構成される。

20

【0065】

ターゲット供給器 10 は、ヒータ 13 によって、ターゲット物質の融点以上の温度に保持されている。ヒータ 13 は、例えば、電気エネルギーを熱エネルギーに変換する電熱ヒータとして構成される。タンク 11 は、液体状態のターゲット物質 90 を収容する。供給管 12 の一端側はタンク 11 に接続されており、供給管 12 の他端側は、イオン化器 20 内に設けられる導入部 26 に接続される。

【0066】

イオン化器 20 は、例えば、イオンビーム生成用のチャンバ 21 と、磁場発生器 25, 27 と、導入部 26 と、ヒータ 28 とを備えている。チャンバ 21 の底部には、「第 1 回収部」としてのターゲット回収器 22 が回収通路 22A を介して接続されている。

30

【0067】

チャンバ 21 は、ターゲット物質をイオン化するための空間である。チャンバ 21 の一方の側壁には、ターゲット供給器 10 からのターゲット物質をチャンバ 21 内に導入するための導入部 26 が設けられている。チャンバ 21 の他方の側壁には、イオンビーム引き出し部 30 に接続するための開口部 21EX が設けられている。

【0068】

導入部 26 の中央部には、細管または多孔質の導入口 26A が設けられている。ターゲット供給器 10 から供給される液体状態のターゲット物質 90 は、その導入口 26A から染み出るようにして、チャンバ 21 内に少量ずつ送り込まれる。

【0069】

チャンバ 21 の他方の側壁には、開口部 21EX の周囲に位置して、複数の入射窓 202 が設けられている。図 2 中下側の入射窓 202 は、気化用レーザ光 LB3 をチャンバ 21 内に入射させるための窓である。図 2 中の上側の入射窓 202 は、イオン化用レーザ光 LB4 をチャンバ 21 内に入射させるための窓である。

40

【0070】

チャンバ 21 の外側には、複数のレーザ光源 200, 210 が設けられる。一つのレーザ光源 200 は、ターゲット物質 90 を気化させるための気化用レーザ光源である。気化用レーザ光源 200 は、気化用のレーザ光 LB3 をターゲット物質 90 に照射することにより、ターゲット物質 90 を気化させる。気化用レーザ光 LB3 は、集光レンズ 201 及び入射窓 202 を介してチャンバ 21 内に入射し、導入口 26A からチャンバ 21 内に供

50

給されるターゲット物質 90 を照射し、気化させる。

【0071】

他の一つのレーザ光源 210 は、イオン化用のレーザ光源である。イオン化用レーザ光源 210 は、イオン化用のレーザ光 LB4 を、気化したターゲット物質に照射することにより、ターゲット物質をイオン化させて、イオン化されたターゲット物質 91 (イオンビーム 91) を生成する。イオン化用レーザ光 LB4 は、集光レンズ 201 及び入射窓 202 を介してチャンバ 21 内に入射し、導入口 26A 近傍で、気化されたターゲット物質を照射し、イオン化させる。イオン化用レーザ光源 210 の詳細については、図 4 及び図 5 と共に後述する。

【0072】

チャンバ 21 の外部には、チャンバ 21 を覆うようにして磁場発生器 25 が設けられている。以下、外部磁場発生器 25 と呼ぶ場合がある。また、チャンバ 21 の内部には、導入口 26 を取り囲むようにして磁場発生器 27 が設けられている。以下、内部磁場発生器 27 と呼ぶ場合がある。これらのイオン化器 20 のチャンバ 21 に設けられる磁場発生器 25, 27 は、「第 1 磁場発生部」に該当する。あるいは、外部の磁場発生器 25 が「第 1 磁場発生部」に該当する。

【0073】

外部磁場発生器 25 は、イオンビーム 91 の進行方向に沿った磁力線によって、イオンビーム 91 が径方向 (イオンビーム 91 の進行方向に垂直な面方向) に広がるのを防止している。内部磁場発生器 27 は、導入口 26A の近傍に磁力線を生じさせて、気化及びイオン化されたターゲット物質 91 が上記径方向に広がるのを防止している。

【0074】

上述の通り、チャンバ 21 の底部には、回収通路 22A を介してターゲット回収器 22 が設けられている。ターゲット回収器 22 にもヒータ 28 が設けられている。チャンバ 21 内に付着したターゲット物質 90 は、回収通路 22A を介してターゲット回収器 22 内に流入し、回収される。

【0075】

即ち、ターゲット供給器 10 からチャンバ 21 内に供給される全ターゲット物質 90 のうち、イオンビーム引き出し器 30 によりイオンビーム 91 として引き出されなかったターゲット物質は、ターゲット回収器 22 内に蓄積される。つまり、本実施例では、プラズマ発生に必要な最小量のイオン化ターゲット物質 91 をイオン化器 20 内で生成し、プラズマ 92 の生成に寄与しない不要なターゲット物質 90 がプラズマ発生用チャンバ 60 内に流れ込まないように、ターゲット回収器 22 で回収する。

【0076】

図 3 は、ターゲット供給器 10 やイオン化器 20 等に設けられるヒータの制御構造を模式的に示す説明図である。本実施例では、上述の通り、ターゲット供給器 10 と、イオン化器 20 と、各ターゲット回収器 22, 80 とにそれぞれヒータを設けて、加熱ないし保温している。

【0077】

図 3 に示すように、例えば、第 1 制御部 100 は、ターゲット供給器 10 に設けられるヒータ 13 の温度 (以下、第 1 設定温度 TS1) を、ターゲット物質 90 の融点よりも高い値であって、ターゲット物質 90 の沸点未満の値に制御する (ターゲット物質の融点 < TS1 < ターゲット物質の沸点)。

【0078】

第 2 制御部 101 は、イオン化器 20 やターゲット回収器 22 に設けられるヒータ 28 及びターゲット回収器 80 に設けられるヒータ 82 の温度 (以下、第 2 設定温度 TS2) を、例えば、ターゲット物質の融点に制御する (TS2 = ターゲット物質の融点)。

【0079】

第 1 設定温度 TS1 は、第 2 設定温度 TS2 よりも大きい (TS1 > TS2)。これにより、ターゲット供給器 10 は比較的高温に保持されるため、ターゲット供給器 10 から

10

20

30

40

50

チャンバ 2 1 に送り込まれるターゲット物質 9 0 は、気化用レーザ光 L B 3 によって容易に気化する。

【 0 0 8 0 】

チャンバ 2 1 等はターゲット物質 9 0 の融点に設定されるため、チャンバ 2 1 の内壁等に付着したターゲット物質 9 0 が固化するのを防止し、ターゲット回収器 2 2 に液体状態で回収することができる。同様に、ターゲット回収器 8 0 も、ターゲット物質を液体状態で回収できる。なお、図 3 に示す温度制御構造は一例に過ぎず、本発明は上述の構成に限定されない。例えば、ヒータ 1 3 の設定温度 T S 1 をターゲット物質 9 0 の融点に設定する構成でもよい ( T S 1 ターゲット物質の融点 ) 。

【 0 0 8 1 】

図 4 は、イオン化用レーザ光源 2 1 0 の構成例を示す説明図である。イオン化用レーザ光源 2 1 0 は、例えば、1 つの Y A G ( Yttrium Aluminum Garnet ) レーザ 2 1 1 と、3 つのチタンサファイアレーザ 2 1 4 ( 1 ) ~ 2 1 4 ( 3 ) と、第 2 高調波発生器 ( S H G : Second harmonic generation ) 2 1 2 , 2 1 5 と、第 3 高調波発生器 ( T H G : Third Harmonic Generation ) 2 1 6 と、ハーフミラー 2 1 3 とを備えている。

【 0 0 8 2 】

Y A G レーザ 2 1 1 は、例えば、波長  $1 \mu\text{m}$  のレーザ光を  $10 \mu\text{sec}$  毎にパルス照射する。Y A G レーザ 2 1 1 から出力されるレーザ光は、第 2 高調波発生器 2 1 2 によって、波長が調整される。Y A G レーザ 2 1 1 と第 2 高調波発生器 2 1 2 により、励起源が構成される。なお、Y A G レーザ以外に、他の種類のレーザを用いてもよい。

【 0 0 8 3 】

励起源のレーザ光は、ハーフミラー 2 1 3 を介して、3 つのチタンサファイアレーザ 2 1 4 ( 1 ) ~ 2 1 4 ( 3 ) にそれぞれ入射する。各チタンサファイアレーザ 2 1 4 ( 1 ) ~ 2 1 4 ( 3 ) は、ミラーやレーザ媒質等の構成のほかに、プリズム 2 1 4 1 及び Q スイッチ 2 1 4 2 をそれぞれ備える。プリズム 2 1 4 1 は、チタンサファイアレーザ 2 1 4 ( 1 ) ~ 2 1 4 ( 3 ) から出力されるレーザ光について、波長選択と狭帯域化するためのものである。Q スイッチ 2 1 4 2 は、各チタンサファイアレーザ 2 1 4 ( 1 ) ~ 2 1 4 ( 3 ) からそれぞれ出力されるレーザ光の出力タイミングを同期させるものである。

【 0 0 8 4 】

第 1 のチタンサファイアレーザ 2 1 4 ( 1 ) から出力されるレーザ光は、第 2 高調波発生器 2 1 5 及び第 3 高調波発生器 2 1 6 と反射光学系 2 1 7 を介して、波長  $286.42 \text{ nm}$  のレーザ光 L B 4 a に変換される。

【 0 0 8 5 】

第 2 のチタンサファイアレーザ 2 1 4 ( 2 ) から出力されるレーザ光 L B 4 b の波長は、 $811.62 \text{ nm}$  である。第 3 のチタンサファイアレーザ 2 1 4 ( 3 ) から出力されるレーザ光 L B 4 c の波長は、 $823.67 \text{ nm}$  である。各チタンサファイアレーザ 2 1 4 ( 2 ) , 2 1 4 ( 3 ) 内のプリズム 2 1 4 1 によって、入力されたレーザ光の波長を、それぞれの波長  $811.62 \text{ nm}$  ,  $823.67 \text{ nm}$  にすることができる。

【 0 0 8 6 】

図 5 は、ターゲット物質 9 0 である錫のエネルギー準位図である。第 1 の波長の光 (  $\lambda_1 = 286.42 \text{ nm}$  ) を基底準位  $5p^2 \ ^3P_0$  の錫に与えることにより、第 1 励起準位となる。第 1 励起準位の錫に、第 2 の波長の光 (  $\lambda_2 = 811.62 \text{ nm}$  ) を与えることにより、第 2 励起準位となる。第 2 励起準位の錫に、第 3 の波長の光 (  $\lambda_3 = 823.67 \text{ nm}$  ) を与えることにより、第 3 励起準位となる。第 3 励起準位は、イオン化する閾値を超えているため、錫はイオン化する。

【 0 0 8 7 】

本実施例では、基底準位  $5p^2 \ ^3P_0$  の錫の場合を説明する。基底準位  $5p^2 \ ^3P_1$  の錫に対しては、第 1 の波長の光として、 $\lambda_1 = 300.92 \text{ nm}$  を用いる。基底準位  $5p^2 \ ^3P_2$  の錫に対しては、第 1 の波長の光として、 $\lambda_1 = 317.51 \text{ nm}$  を用いる。3 つの基底準位  $5p^2 \ ^3P_0$  ,  $5p^2 \ ^3P_1$  ,  $5p^2 \ ^3P_2$  の割合は、気化された錫の温度に依存する。気化された錫の温

10

20

30

40

50

度は、気化用レーザ光の強度に依存する。従って、気化用レーザ光の強度を最適化することにより、3つの基底準位のうち所望の1つの基底準位、例えば $5p^2 \ ^3P_0$ の分布を最大化することが出来る。また、イオン化レーザ装置の構成は複雑になるが、3つの基底準位 $5p^2 \ ^3P_0$ 、 $5p^2 \ ^3P_1$ 、 $5p^2 \ ^3P_2$ をすべて励起するために、第1の波長の光として、 $\lambda_1 = 286.42 \text{ nm}$ 、 $300.92 \text{ nm}$ 、 $317.51 \text{ nm}$ の3波長を同時に照射する構成も可能である。この場合は、イオン化レーザ光の波長は合計5波長となる。

#### 【0088】

また、本実施例では、3種類の波長のレーザ光を同時に出力して錫のイオン化を行なっているが、これに限られない。イオン化の効率は低くなるものの、例えば、以下に述べる多光子イオン化の構成も利用可能である。1波長のレーザ光による3光子イオン化の構成として、レーザ光( $\lambda_1 = 456.5 \text{ nm}$ )を用いる。1波長のレーザ光による2光子イオン化の構成として、レーザ光( $\lambda_2 = 270.318 \text{ nm}$ )を用いる。2波長のレーザ光による3光子イオン化の構成として、第1の波長のレーザ光( $\lambda_1 = 286.42 \text{ nm}$ )と第2の波長のレーザ光( $\lambda_2 = 614.618 \text{ nm}$ )を用いる。

#### 【0089】

本実施例では、イオン化用レーザ光源210から、3種類の波長のレーザ光LB4a( $\lambda_1$ )、LB4b( $\lambda_2$ )、LB4c( $\lambda_3$ )を同時に出力して、ターゲット物質90である錫に照射することにより、錫のエネルギー準位を高めて一気にイオン化させる。この方法により、ターゲット物質90として供給される錫の約10%程度をイオン化させることができる。イオン化された錫は、イオンビーム引き出し器30によって引き出され、プラズマ発生用チャンバ60に送り込まれる。イオン化しなかった錫は、ターゲット回収器22内に回収され、プラズマ発生用チャンバ60に供給されない。

#### 【0090】

本実施例のように、錫の各励起準位に対応するレーザ光LB4a、LB4b、LB4cを錫に同時に照射して錫をイオン化させることにより、比較的低温のイオン化ターゲット物質91を得ることができる。これにより、EUV光の発生に適したイオン化ターゲット物質91をプラズマ発生用チャンバ60に供給できる。

#### 【0091】

これに対し、例えば、マイクロ波やアーク放電を用いてターゲット物質90をイオン化させると、イオン化ターゲット物質91が高温になってしまう。そのため、イオン化ターゲット物質91がプラズマ発生用チャンバ60内のプラズマ発生点に到達する前に、イオン化ターゲット物質91の密度がEUV光の発生に適切な密度以下に低下してしまう。本実施例では、錫の励起準位に応じた複数波長のレーザ光LB4a、LB4b、LB4cを錫に同時に与えることにより、比較的低温で高密度のイオン化ターゲット物質91を得ることができる。

#### 【0092】

図1、図2を参照してEUV光源装置1の動作を説明する。イオン化器20は、まず最初に、ターゲット供給器10から供給されるターゲット物質90に気化用レーザ光LB3を照射して気化し、次に、気化したターゲット物質に3種類のレーザ光LB4a、LB4b、LB4cを同時に照射することにより、イオン化ターゲット物質91(イオンビーム)を生成する。

#### 【0093】

イオン化ターゲット物質91は、イオンビーム引き出し器30で生じる高電圧に引き寄せられ、加速されて、プラズマ発生用チャンバ60に送り込まれる。イオンビーム引き出し器30からプラズマ発生用チャンバ60までの供給経路には、ドリフト管40及び収束器50が配置されている。これらドリフト管40及び収束器50は、イオン化ターゲット物質91が移動中に径方向に広がるのを抑制し、イオン化ターゲット物質91の密度がEUV光の発生に適した密度よりも低くなるのを防止する。なお、図1において、プラズマ発生用チャンバ60内のプラズマ発生点までの、イオン化ターゲット物質91の供給経路における外径を、包絡線で示している。

10

20

30

40

50

## 【0094】

ターゲット物質91は、イオン化されているため、陽イオン同士の間働く斥力によって広がろうとする。ターゲット物質91が広がると密度が低下し、EUV光の発生効率が低下する。また、ターゲット物質91がドライレーザ光LB1の光束径よりも大きく広がると、ドライレーザ光LB1がイオン化ターゲット物質91を照射する場合の照射効率が低下し、EUV光の発生効率が下がる。そこで、本実施例では、磁場発生器であるドリフト管40や、静電レンズ等から構成される収束器50を用いて、イオン化ターゲット物質91がプラズマ発生点に到達する前に広がるのを未然に防止する。

## 【0095】

イオン化ターゲット物質91がプラズマ発生用チャンバ60内のプラズマ発生点に到達すると、ドライレーザ光LB1がイオン化ターゲット物質91に照射され、プラズマ92が生成される。プラズマ92から放射されるEUV光は、EUV集光ミラー61等を介して、露光装置2に供給される。

10

## 【0096】

EUV光を放射した後のターゲット物質93は、高速を維持したまま、回収通路60Bを介して、ターゲット回収器80に收容される。磁場発生器81は、ターゲット物質93が回収通路60Bに付着したりするのを防止する。図1において、プラズマ発生用チャンバ60内のプラズマ発生点からターゲット回収器80までの経路における、ターゲット物質93の最大外径を、包絡線で示している。

## 【0097】

このように構成される本実施例によれば、ターゲット物質90をイオン化してプラズマ発生用チャンバ60に供給するため、EUV光の発生に適した密度のターゲット物質91を、必要な量だけプラズマ発生点に送り込むことができる。

20

## 【0098】

本実施例では、イオンビーム引き出し器30は、イオン化されたターゲット物質91のみを引き寄せて、プラズマ発生用チャンバ60に向けて加速して送り出す。イオン化されなかった電氣的に中性のターゲット物質90は、イオン化器20に接続されたターゲット回収器22に回収され、プラズマ発生用チャンバ60に供給されない。つまり、本実施例によれば、制御不能なデブリとなり得るターゲット物質90が、プラズマ発生用チャンバ60に供給されるのを未然に防止できる。これにより、デブリの発生を低減して、EUV集光ミラー61等が損傷したり劣化するのを防止し、EUV光源装置1の信頼性や寿命、稼働時間を改善することができる。

30

## 【0099】

本実施例では、イオン化器20内で、EUV光の発生に適したターゲット物質91を生成し、プラズマ発生用チャンバ60に供給する。つまり、プラズマ発生用チャンバ60から分離されたイオン化器20を用いて、EUV光の発生に適したターゲット物質91を予め調製することができる。例えば、導入口26Aの径寸法やタンク11内の圧力等を調整することにより、EUV光の発生に必要な量のターゲット物質を得ることができる。そして、ドリフト管40や収束器50により、イオン化用レーザ光源210によりイオン化されたターゲット物質91を拡散しないようにプラズマ発生点に運ぶことができ、EUV光の発生効率を高めることができる。

40

## 【0100】

本実施例では、ターゲット物質90の励起準位に対応する複数波長のレーザ光LB4a、LB4b、LB4cをターゲット物質90に同時に照射することにより、ターゲット物質90を一気にイオン化させる。従って、アーク放電等を用いる場合よりも低温のイオン化ターゲット物質91を得ることができ、イオン化ターゲット物質91の密度や形状が変化するのを抑制できる。これにより、EUV光の発生効率を改善できる。

## 【実施例2】

## 【0101】

図6に基づいて第2実施例を説明する。以下に述べる各実施例は、第1実施例の変形例

50

である。従って、第1実施例との相違点を中心に説明する。図6は、本実施例に係るEUV光源装置1Aの全体構成を示す説明図である。

【0102】

EUV光源装置1Aは、図1に示すEUV光源装置1と同様に、ターゲット供給器10、イオン化器20、イオンビーム引き出し器30、プラズマ発生用チャンバ60、ドライバレーザ光源70、ターゲット回収器80等を備えている。図1との相違点は、イオンビーム引き出し器30とプラズマ発生用チャンバ60との間に、加速管110と、圧縮器(バンチャー)120と、中和器(ニュートライザ)130とが新たに設けられている点と、ドリフト管40が除かれている点とにある。

【0103】

「加速部」としての加速管110は、ドリフト管40に代えて設けられている。加速管110は、環状の電極111を複数備えており、各電極111間にはそれぞれ所定の電圧が印加されている。即ち、隣り合う電極間の電圧が次第に上昇するように、各電極111に電圧が印加される。これにより、加速管110に進入したイオン化ターゲット物質91は、加速されながらプラズマ発生用チャンバ60に向けて移動する。

【0104】

「圧縮部」としての圧縮器120は、加速管110に隣接して、その下流側に設けられている。圧縮器120は、イオン化ターゲット物質91を、その移動方向に圧縮する。つまり、圧縮器120は、図6中の左から右に移動するイオン化ターゲット物質91を、左右方向に縮める。圧縮器120は、例えば、イオン化ターゲット物質91が通過する開口部を有する電極対から構成される。イオン化ターゲット物質91が電極対を通過する際に同期して、極性の変化するパルス高電圧を電極対に印加することにより、イオン化ターゲット物質91の進行方向でのパルス圧縮を行なう。圧縮器120に隣接して下流側に設けられている収束器50は、第1実施例で述べたように、イオン化ターゲット物質91を、その移動方向に直交する平面方向で収束させる。

【0105】

「中和部」としての中和器130は、収束器50に隣接して、その下流側に設けられている。中和器130は、例えば、陽イオン化されたターゲット物質91に電子ビームを照射することにより、電氣的に中和させる。あるいは、中和器130をプラズマを発生させるプラズマ発生器として構成し、そのプラズマ中にイオン化ターゲット物質91を通過させることにより、電氣的に中和させることもできる。

【0106】

ターゲット物質91が電氣的に中性となっても、その移動速度はほぼ変化しないため、電氣的に中性のターゲット物質91は、プラズマ発生点に向けて高速に移動する。そして、EUV光を発生させた後のターゲット物質93は、ターゲット回収器80に向けて高速に移動し、回収される。

【0107】

このように構成される本実施例も、第1実施例と同様の効果を奏する。さらに、本実施例では、ドリフト管40に代えて加速管110を用いるため、イオン化ターゲット物質91をより高速に輸送することができる。従って、イオン化ターゲット物質91が拡散するのを抑制できる。

【0108】

本実施例では、加速管110の下流側に圧縮器120を設けるため、加速管110を通過することによって移動方向に伸長するターゲット物質91を、移動方向に収束させることができる。つまり、図6中の左右方向を長手方向と呼ぶならば、長手方向に延びたターゲット物質91を縮めることができる。これにより、ターゲット物質91の形状を整えてプラズマ発生点に供給することができ、EUV光の発生効率を高めることができる。

【0109】

本実施例では、プラズマ発生用チャンバ60の手前に中和器130を設け、ターゲット物質91を電氣的に中性にしてからプラズマ発生用チャンバ60に供給する。これにより

10

20

30

40

50

、チャンバ60内で、イオン間の斥力によりターゲット物質91が広がるのを防止でき、適切な密度と形状を維持するターゲット物質91をプラズマ発生点に供給し、EUV光の発生効率を高めることができる。

【実施例3】

【0110】

図7に基づいて第3実施例を説明する。本実施例では、気化用レーザ光源200を廃止し、イオン化用レーザ光源220だけでターゲット物質90の気化及びイオン化の両方を行うようになっている。図7は、本実施例によるEUV光源装置の要部を拡大して示す説明図である。

【0111】

例えば、ターゲット供給器10を加熱ないし保温するヒータ13の温度を、ターゲット物質90の融点よりも高い温度に設定することにより、導入口26Aから供給されるターゲット物質90にレーザ光LB5を照射するだけで、ターゲット物質90の気化及びイオン化を行うことができる。気化及びイオン化を兼用するレーザ光源220は、第1実施例で述べたように、3種類の波長のレーザ光を同時に出力することができる。

【0112】

このように構成される本実施例も第1実施例と同様の効果を奏する。さらに、本実施例では、イオン化用のレーザ光源と気化用のレーザ光源とを一つのレーザ光源220で兼用するため、レーザ光源の数を少なくでき、製造コストやメンテナンスコストを低減することができる。

【実施例4】

【0113】

図8に基づいて第4実施例を説明する。本実施例では、気化用レーザ光源200に代えて、電子ビーム装置230を用いる。図8は、本実施例によるEUV光源装置の要部を拡大して示す説明図である。

【0114】

本実施例では、電子ビームeB1をターゲット物質90に照射することにより、ターゲット物質90を気化させる。従って、本実施例では、集光レンズ201及び入射窓202は不要である。このように構成される本実施例も第1実施例と同様の効果を得る。

【実施例5】

【0115】

図9に基づいて第5実施例を説明する。本実施例では、錫またはスタナン等のターゲット物質をドロップレットとして、イオン化器20内に供給する。図9は、本実施例によるEUV光源装置の要部を拡大して示す説明図である。

【0116】

ターゲット供給器10Aは、タンク11A内に液体状態のターゲット物質90Aを収容している。ターゲット供給器10Aは、 Piezo素子等の手段によって、ドロップレット(DP)状のターゲット物質を、ノズル12Aからイオン化器20内に供給する。ドロップレット状のターゲット物質は、所定点91Aにおいて、気化及びイオン化がほぼ同時に実行され、イオンビーム引き出し器30により引き出される。磁場発生器27Aは、イオン化されたターゲット物質91が広がるのを抑制する。

【0117】

このように構成される本実施例も第1実施例と同様の効果を奏する。さらに、本実施例では、イオン化器20内に、ドロップレット状のターゲット物質を供給するため、所望の形状及び所望質量のターゲット物質を供給することができる。従って、EUV光の発生により適したイオン化ターゲット物質91をイオン化器20内で比較的簡単に生成することができる。

【実施例6】

【0118】

図10に基づいて第6実施例を説明する。図10は、本実施例によるEUV光源装置の

10

20

30

40

50

要部を拡大して示す説明図である。本実施例では、錫またはスタナン等のターゲット物質 90B を液体ジェットとして、イオン化器 20 内に供給する。

【0119】

ターゲット供給器 10B は、タンク 11B 内にターゲット物質 90B を収容しており、ノズル 12B からターゲット物質 90B を高速のガス流として噴出させる。所定点 91B で、液体状のターゲット物質 90B に気化用レーザ光 LB3 及びイオン化用レーザ光 LB4 がそれぞれ照射される。このように構成される本実施例も第 1 実施例と同様の効果を奏する。

【実施例 7】

【0120】

図 11 に基づいて第 7 実施例を説明する。図 11 は、本実施例による E U V 光源装置の要部を拡大して示す説明図である。本実施例では、円板状のターゲット物質 90C をイオン化器 20 に供給する。

10

【0121】

ターゲット供給器 10C は、円板状のターゲット物質 90C を回転モータ 14 によって回転させる。本実施例では、回転する円板状のターゲット物質 90C に、気化用レーザ光 LB3 及びイオン化用レーザ光 LB4 がそれぞれ照射されて、イオン化ターゲット物質 91 が生成される。このように構成される本実施例も第 1 実施例と同様の効果を得る。なお、ターゲット物質は、円板状の材質の表面に成膜して供給することも可能である。

【実施例 8】

20

【0122】

図 12 に基づいて第 8 実施例を説明する。図 12 は、本実施例による E U V 光源装置の要部を拡大して示す説明図である。本実施例では、ターゲット物質をテープ状またはワイヤ状に形成して、イオン化器 20 に供給する。なお、ターゲット物質は、テープ状またはワイヤ状の材質の表面に成膜して供給することも可能である。

【0123】

ターゲット供給器 10D は、テープ状またはワイヤ状に形成されるターゲット物質 90D を、送り出し装置 15 によって移動させる。テープ状またはワイヤ状のターゲット物質 90D に、気化用レーザ光 LB3 及びイオン化用レーザ光 LB4 がそれぞれ照射されて、イオン化ターゲット物質 91 が生成される。このように構成される本実施例も第 1 実施例と同様の効果を得る。

30

【実施例 9】

【0124】

図 13 ~ 図 15 に基づいて第 9 実施例を説明する。本実施例では、第 2 実施例の中和器 130 (図 6 参照) に代えて、電子ビーム 301 を用いる。電子ビーム 301 は、イオン化されたターゲット物質 91 をプラズマ発生用チャンバ 60 内の所定位置に向けてガイドするための役割を果たす。

【0125】

図 13 は、本実施例による E U V 光源装置 1B の全体構成を示す。E U V 光源装置 1B は、イオン化されたターゲット物質 91 (イオンビーム) の進行方向に向けて電子ビーム

40

を出力する電子銃 300 と、収束器 50 の下流側に位置して磁界を発生させる電磁石 320 とを備える。  
「電子ビーム出力部」としての電子銃 300 には、例えば、フィラメント等から熱電子を放出させる電子源を用いることができる。本実施例では、後述のように、イオン電流密度 (イオン密度) が大きくなるように設定する。そこで、大電流を流すことのできる電子銃 300 を用いるのが好ましい。

【0126】

電子銃 300 は、出力される電子ビームを加速し、かつ、その径を収束させるための機構 310 を備える。電子ビームを加速及び収束させる機構 310 は、例えば、静電レンズ等のように構成される。

50

## 【0127】

「第5磁場発生部」としての電磁石320は、イオンビーム91と電子ビーム301とを合流させるための磁場を発生する。電磁石320を超伝導磁石として構成すれば、電磁石320の寸法を小さくすることができる。

## 【0128】

図14は、電子ビーム301と、電磁石320による磁界と、イオンビーム91との関係を示す全体図である。電子銃300から出力される電子ビーム301は、機構310により加速及び収束され、イオンビーム91に向けて入射する。このとき、電磁石320により生成される磁界により、電子ビーム301の軌道は、イオンビーム91と平行な方向に曲がり、プラズマ発生用チャンバ60内に向かう。

10

## 【0129】

ここで、電子ビーム301は、例えば、電子エネルギーが数十電子ボルト(eV)以上であって、かつ、電流密度が数十アンペア(A)/cm<sup>2</sup>となるように設定される。その理由を説明する。

## 【0130】

まず、電子エネルギーは、イオンビーム91を電氣的に中性化させないようにするために、数十eV必要である。イオンビーム91は、正電荷を有するため、電子ビーム301内の電子を捕獲して電氣的に中性になろうとする。電氣的に中性に戻ろうとする作用の強さは、再結合断面積という数値で表される。

20

## 【0131】

再結合断面積は、電子の速度(即ち、エネルギー)の関数であり、電子エネルギーが数eVのときに最大値となる。つまり、電子が低速の場合は、イオンの有する正電荷に引かれやすく、再結合し易くなるということを示す。

## 【0132】

本実施例では、イオンの持つ性質を利用して、イオンビーム91を整形させる。従って、イオンと電子とが再結合しないように、電子エネルギーが数十eV以上となる領域で、電子ビーム301を使用する。

## 【0133】

次に、電流密度の条件を説明する。上述のように、本実施例では、電子の有する空間電荷によって、イオンビーム91を引き寄せ、イオンビーム91の径を収束させる。そのためには、電子ビーム301の電流密度は、イオンビーム91の電流密度よりも大きい必要がある。イオンビーム91の電流密度は、数アンペア/cm<sup>2</sup>であるため、電子ビーム301の電流密度は、数十アンペア/cm<sup>2</sup>に設定する必要がある。

30

## 【0134】

電子ビーム301は、連続的に、または、間欠的に発生させることができる。電子ビーム301を連続的に発生させる場合は、イオンビーム91と同期を取る必要が無く、制御構造が簡単となる。しかし、その反面、消費電力が増大する。電子ビーム301を間欠的に発生させる場合は、消費電力を少なくできる。しかし、その反面、電子ビーム310の発生タイミングとイオンビーム91の発生とを同期させる必要があり、制御構造が複雑化する。

40

## 【0135】

このように構成される本実施例によれば、電子ビーム301をイオンビーム91と平行に照射することにより、イオンビーム91を収束させながらプラズマ発生用チャンバ60内に送り込むことができる。

## 【実施例10】

## 【0136】

図15, 図16に基づいて第10実施例を説明する。本実施例では、イオン化されたターゲット物質91とドライバレーザ光LB1とのタイミングを合わせるための方法を説明する。

## 【0137】

50

図 2, 10, 11, 12 に示す実施例では、ターゲット物質 90 を気化用レーザ光で気化させた後、イオン化レーザ光を照射してイオン化ターゲット物質 91 を生成する。生成されたイオン化ターゲット物質 91 は、加速管 110 で加速される。それらの操作のための条件（電圧、電流、時間変調等）は、ターゲット物質発生条件によって変動する。このため、ターゲット生成時間によって、EUV 発光時間は変化する。

【0138】

ここで、ターゲット物質発生条件とは、ターゲット物質の種類、温度、状態（固体または液体）、レーザ光のエネルギー、出力、パルス幅、波長などである。基本的には、気化用レーザ光の照射タイミングを基準に同期を取れば、ターゲット物質にドライバレーザ光源からのレーザをあてることができる。

10

【0139】

図 15 は、気化用レーザ光の照射タイミング  $T_g$  を基準として、ドライバレーザ光の照射タイミングを設定する一例を示す。気化用レーザ光の照射タイミング  $T_g$  とイオン化用レーザ光の照射タイミング  $T_i$  との遅延時間を  $t_1$ 、イオン化用レーザ光の照射タイミング  $T_i$  とドライバレーザ光の照射タイミング  $T_{ld}$  との時間を  $t_2$  とする。 $t_1$  及び  $t_2$  を、同期コントローラ C1 によって制御する。 $t_1$  及び  $t_2$  を、EUV 光を効率的に発生させるための最適な値に設定する。

【0140】

なお、図 7 に示す実施例では、気化用レーザ光源を用いないため、 $t_2$  だけを制御すればよい。図 8 に示す実施例は、気化用レーザ光を電子ビームに置き換えて、 $t_1$ 、 $t_2$  の最適化を図る。

20

【0141】

図 9 に示す実施例では、ターゲット物質は、ドロップレットとして間欠的に供給されるため、同期を取るための変数が増える。そこで、図 16 のタイミングチャートに示すように、ドロップレットが生成されてから、気化用レーザ光源が動作するまでの遅延時間を  $t_0$  とする。同期コントローラ C2 は、 $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$  をそれぞれ制御する。

【0142】

このように構成される本字指令では、各遅延時間  $t_1$ 、 $t_2$ （または、 $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ ）を個別に制御することができる。例えば、ドロップレットを投下するプロセス、ドロップレットを気化させるプロセス、ドロップレットをイオン化するプロセスの各プロセスを、それぞれ異なる精度で制御することができる。

30

【実施例 11】

【0143】

図 17 に基づいて第 11 実施例を説明する。本実施例では、同期を取るための基準時刻を、最も速く実行されるプロセスに合わせる。本実施例の同期コントローラ C3 は、ドロップレットを生成するタイミングを、同期の基準時刻とする。このように構成することにより、より簡易な構成で同期を取ることができる。

【実施例 12】

【0144】

図 18 に基づいて第 12 実施例を説明する。本実施例では、EUV 光検出センサ 65 によって EUV 光の出力を検出し、その検出信号を同期コントローラ C4 にフィードバックし、 $t_1$ 、 $t_2$  を最適値に調整する。本実施例と図 17 に示す実施例とを結合させることもできる。

40

【0145】

例えば、露光装置の運転前に、時間  $t_1$ 、 $t_2$  を少しずつ変化させながら EUV 光を繰り返し発生させ、その EUV 光の出力をセンサ 65 で検出する。これにより、最適な EUV 光が得られる  $t_1$ 、 $t_2$  を求めることができる。 $t_1$ 、 $t_2$  は、例えば、最大の EUV 光を得られる時間に設定される。または、 $t_1$ 、 $t_2$  は、露光装置 2 から要求される EUV 光出力を得られるように、設定することもできる。つまり、 $t_1$ 、 $t_2$  を、EUV 光の発光効率が低下するような値に設定してもよい。

50

## 【実施例 13】

## 【0146】

図19～図21に基づいて第13実施例を説明する。本実施例では、円板状のターゲット物質90Eに溝910を形成し、かつ、円板状ターゲット物質90Eの表面を修復するための補充部920を設ける。

## 【0147】

図19は、ターゲット物質供給部10Eを示す説明図である。本実施例では、円板状のターゲット物質90Eを用いる。図20に示すように、円板状ターゲット物質90Eの一方の面（レーザ光の照射される側の面）には、溝部910が環状に形成されている。

## 【0148】

円板状ターゲット物質90Eの他方の面は、回転部14の回転軸14Aによって回転可能に支持されている。補充部920は、円板状ターゲット物質90Eの下側を収容するようにして設けられる。より詳しくは、下側の溝部910が液状のターゲット物質に浸されるようにして、補充部920は配置される。

## 【0149】

円板状ターゲット物質90Eが回転すると、溝部910及びその周辺に、液状のターゲット物質が付着し、円板状ターゲット物質90Eのレーザ光照射面が修復される。これにより、レーザ光の照射によって円板状ターゲット物質90Eが損傷しても、液状のターゲット物質を塗布して直ちに修復することができる。

## 【0150】

例えば、ターゲット物質を溶剤に溶かすことにより、液状のターゲット物質を得ることができる。または、ターゲット物質が金属の場合は、修復部920の温度を融点以上に設定することにより、液状のターゲット物質を得ることができる。

## 【0151】

図21は、溝部910の断面形状を示す。図21(1)に示すように、溝部910の断面を逆三角形に形成することができる。または、図21(2)に示すように、溝部910の断面を半円状にすることもできる。または、図21(3)に示すように、溝部910の断面を半楕円状にすることもできる。

## 【0152】

溝部910の幅 $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ は、レーザ光の照射面積等に応じて、所望の値に設定できる。溝部910の深さ $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ も、同様に、所望の値に設定できる。一例として、 $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ 及び $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ は、0.5mm程度に設定できる。なお、溝部910は、図21に示す以外の断面形状を有することもできる。

## 【0153】

溝部910に向けてレーザ光を照射すれば、ターゲット物質を効率的にプラズマ化させることができる。溝部910によってレーザ光の照射面積は増大し、さらに、発生したプラズマが溝部910から拡散しにくくなるためである。

## 【0154】

なお、円板状ターゲット物質90Eのレーザ光照射面には、修復部920内の液状ターゲット物質が塗布されるため、円板状ターゲット物質90Eは、ターゲット物質から形成される必要はない。例えば、熱容量、熱伝導性能、剛性等を考慮して、ダイヤモンド等の別の物質から、溝部910を有する回転体を形成してもよい。その回転体は、ターゲット物質供給体に該当する。

## 【0155】

このように構成される本実施例では、レーザ光の照射される面の状態を安定化させることができ、EUV光の強度が変動するのを抑制できる。さらに、溝部910によって、ターゲット物質の気化及びイオン化を効率的に行うことができる。

## 【実施例 14】

## 【0156】

図22、図23を参照して第14実施例を説明する。本実施例のターゲット物質供給部

10

20

30

40

50

10 Fは、円筒状のターゲット物質90 Fを用いる。図23の斜視図に示すように、円筒状ターゲット物質90 Fには、その周面の中央部を一周するようにして、溝部910 Aが設けられている。

【0157】

円筒状ターゲット物質90 Fの軸方向両端部は、回転部14の回転軸14 Bによって回転可能に指示されている。さらに、円筒状ターゲット物質90 Fの下側の少なくとも一部を液状ターゲット物質に浸すようにして、修復部920 Aが設けられている。

【0158】

なお、円筒状ターゲット物質90 Fも、前記実施例と同様に、ターゲット物質以外の物質から形成することができる。溝部910 Aは、図21に示すような各種の形状に形成する

10

【0159】

このように構成される本実施例も前記第13実施例と同様の効果を奏する。さらに、本実施例では、円筒状ターゲット物質90 Fを用いるため、体積を大きくして、熱容量を増大させることができる。従って、溝部910 Aにレーザー光が照射された場合に、そのレーザー光照射による熱変動の影響を小さくできる。従って、レーザー光により生成されるイオン密度等を安定化させることができ、イオン化ターゲット物質91を安定的に生成することができる。

【0160】

さらに、本実施例では、円筒状ターゲット物質90 Fの回転軸の両端をそれぞれ支持するため、いずれか片方の端部のみを支持する場合に比べて、回転を安定化させることができる。従って、回転の安定化という作用と、上述の熱容量の増大による熱変動の防止という作用とが結合することにより、イオン化ターゲット物質91をより一層安定的に生成することができる。EUV光源装置の信頼性が高まる。

20

【実施例15】

【0161】

図24を参照して第15実施例を説明する。本実施例では、円筒状ターゲット物質90 Gの周面に、軸方向中央部に向けて下向きに傾斜するテーパ911を設けている。即ち、円筒状ターゲット物質90 Gは、円筒の中央部をくびれさせ、かつ、その中央部を一周するようにして溝部910 Bを設けることにより、形成される。

30

【0162】

なお、円筒状ターゲット物質90 Gも、前記実施例と同様に、ターゲット物質以外の物質から形成できる。さらに、溝部910 Bは、図21に示すような各種の形状に形成することができる。

【実施例16】

【0163】

図25～図27に基づいて第16実施例を説明する。本実施例及び以下に示す幾つかの実施例では、加速管110(図6参照)の具体例を説明する。本実施例では、加速管110の具体例として、高周波四重極線形加速器(RFQ:Radio-Frequency Quadrupole Linac)150を用いる。以下、RFQ150と呼ぶ。

40

【0164】

図26は、RFQ150の電極151を示す斜視図である。合計4個の電極151(1)～151(4)は、それぞれ棒状の電極として形成されており、その断面は略くさび状である。対向する2個の電極で一組を形成し、2つの電極の組の成す角度は90度に設定されている。各電極151(1)～151(4)には、高周波電圧源152から高周波電圧が印加される。以下、特に区別する必要がない場合、電極151と呼ぶ。

【0165】

各電極が向かい合う中心部には、空洞154が形成されている。図26中に二点鎖線矢印で示すように、イオン化ターゲット物質91は、各電極151の長手方向一側から空洞154に入射し、空洞154を通過して、各電極の長手方向他側から出射する。

50

## 【 0 1 6 6 】

図 2 7 は、一組の電極 1 5 1 の断面図である。電極 1 5 1 が他の電極 1 5 1 と対向する面 1 5 3 は、略正弦波形状に形成されている。イオン化ターゲット物質 9 1 の進行方向に向けて、正弦波状の面 1 5 3 の波長が徐々に長くなるように設定されている。

## 【 0 1 6 7 】

図 2 7 の例では、イオン化ターゲット物質 9 1 が入射する入口側の正弦波状の面は、その波長が  $W L 1$  である。入口側の正弦波状の面に連続する中間部の面の波長は、 $W L 1$  よりも長い  $W L 2$  である ( $W L 2 > W L 1$ )。中間部の面に連続し、イオン化ターゲット物質 9 1 が出射する出口側の正弦波状の面の波長は、 $W L 2$  よりも長い  $W L 3$  である ( $W L 3 > W L 2$ )。

10

## 【 0 1 6 8 】

このように構成される各電極 1 5 1 に高周波電圧を印加することにより、イオン化ターゲット物質 9 1 の収束と圧縮と加速とを同時に行うことができる。RFQ 1 5 0 の動作原理については、Stanley Humphries, Jr. 著「Principles of Charged Particle Acceleration」(John Wiley & Sons 出版)、p492-493 に詳しい。

## 【 0 1 6 9 】

本実施例では、加速管として RFQ 1 5 0 を用いるため、イオン化ターゲット物質 9 1 の収束と圧縮と加速とを同時に行うことができる。従って、RFQ 1 5 0 は、収束器 5 0 または圧縮器 1 2 0 を兼ねることもできる。

## 【 実施例 1 7 】

20

## 【 0 1 7 0 】

図 2 8 , 図 2 9 を参照して第 1 7 実施例を説明する。本実施例では、加速管 1 1 0 の他の具体例として、静電加速管 1 6 0 を用いる。図 2 8 は、静電加速管 1 6 0 の概略構成を示す図、図 2 9 は静電加速管 1 6 0 の断面図である。

## 【 0 1 7 1 】

静電加速管 1 6 0 は、複数の円板状電極 1 6 1 を同軸方向に等間隔で配置することにより構成される。各円板状電極 1 6 1 の中心には、イオン化ターゲット物質 9 1 が通過するための孔 1 6 3 が形成されている。

## 【 0 1 7 2 】

各円板状電極 1 6 1 は、高圧電源 1 6 2 に接続されている。各電極間には、それぞれ等しい電圧が印加される。

30

## 【 0 1 7 3 】

各円板状電極 1 6 1 は、筒状の支持部 1 6 5 に取り付けられている。筒状の支持部 1 6 5 は、電氣的絶縁性を有する材料から形成される。筒状の支持部 1 6 5 内には、各孔 1 6 3 を含む通路 1 6 4 が形成される。通路 1 6 4 内は、真空状態に保持される。

## 【 0 1 7 4 】

イオン化ターゲット物質 9 1 は、図中の二点鎖線矢印に示すように、通路 1 6 4 を図中の左側から右側に向けて通過する。円板状電極 1 6 1 の孔 1 6 3 を通過するたびに、イオン化ターゲット物質 9 1 は加速される。

## 【 実施例 1 8 】

40

## 【 0 1 7 5 】

図 3 0 , 図 3 1 を参照して第 1 8 実施例を説明する。本実施例では、加速管 1 1 0 の擬態例として、線形加速管 1 7 0 を用いる。図 3 0 は、線形加速管 1 7 0 の概略構成を示す図、図 3 1 は、線形加速管 1 7 0 の断面図である。

## 【 0 1 7 6 】

線形加速管 1 7 0 は、複数の円筒状電極 1 7 1 ( 1 ) ~ 1 7 1 ( 5 ) を同軸に等間隔で配置することにより構成される。イオン化ターゲット物質 9 1 が入射する入口側 ( 図 3 0 中の左側 ) には、薄い環状電極 1 7 1 ( 0 ) が設けられており、イオン化ターゲット物質 9 1 が出射する出口側 ( 図 3 0 中の右側 ) には、他の薄い環状電極 1 7 1 ( 6 ) が設けられている。

50

## 【0177】

各円筒状電極171(1)~171(5)の中心には、イオン化ターゲット物質91が通過するための孔173が設けられている。各円筒状電極171(1)~171(5)の軸方向長さは、イオン化ターゲット物質91の進行方向に向かうに連れて順次長くなるように設定されている。

## 【0178】

図31に示すように、入口側に配置される第1の円筒状電極171(1)の長さL10は最も短く設定されている。第1の円筒状電極171(1)の下流側に隣接する第2の円筒状電極171(2)の長さL11は、L10よりも長く設定されている(L11>L10)。第2の円筒状電極171(2)の下流側に隣接する第3の円筒状電極171(3)の長さL12は、L11よりも長く設定される(L12>L11)。

10

## 【0179】

以下同様に、第4の円筒状電極171(4)の長さL13と、第5の円筒状電極171(5)の長さL14も、それぞれ上流側に隣接する他の円筒状電極171よりも長くなるように、設定されている。

## 【0180】

各円筒状電極171(1)~171(5)及び各環状電極171(0),171(6)は、電氣的絶縁性を有する筒状の支持部175によって支持されている。支持部175内には、各孔173を含んで構成される通路174が設けられている。

## 【0181】

各電極171(1)~171(5)及び171(0),171(6)は、それぞれ一つおきに電氣的に接続されている。各電極171(1)~171(5)及び171(0),171(6)に、高周波電源172からの高周波電圧を印加することにより、通路174を通過するイオン化ターゲット物質91を加速することができる。なお、線形加速管の動作原理については、例えば、上記文献のp452-459に詳しい。

20

## 【実施例19】

## 【0182】

図32を参照して第19実施例を説明する。本実施例では、加速管110の他の具体例として、誘導加速管180を用いる。図32は、誘導加速管180の断面図である。

## 【0183】

誘導加速管180は、強磁性体コア181と、コア181に巻回されたコイル182と、筒状の支持部185と、支持部185の内面から突出する突起部186と、突起部186に対向して位置する、コイル182の端部183と、イオン化ターゲット物質91の通過する通路184と、ギャップ187と、パルス電源188とを備える。

30

## 【0184】

強磁性体コア181にパルス電源188からのパルス電流を流すことにより、磁場が発生する。その磁場の時間変化により、コイル端部183と突起部186との間のギャップ187に誘導電場が誘起される。イオン化ターゲット物質91が、ギャップ187に発生する誘導電場を通過すると、加速される。誘導加速管180の動作原理については、上記文献のp283-313に詳しい。

40

## 【実施例20】

## 【0185】

図33を参照して第20実施例を説明する。本実施例の誘導加速管180Aは、加速用のギャップ187を同軸に複数配設する。本実施例では、強磁性体コア181と、コイル182と、ギャップ187とを含むユニットを、イオン化ターゲット物質91の通過する方向に複数配置する。これにより、イオン化ターゲット物質91を各ギャップ187によってそれぞれ加速することができ、より高速なイオン化ターゲット物質91を得ることができる。

## 【実施例21】

## 【0186】

50

図34～図36を参照して第21実施例を説明する。本実施例及び以下の幾つかの実施例では、圧縮器120(図6参照)の具体例を説明する。本実施例の圧縮器120は、2つの円板状電極121(1), 121(2)と、高電圧制御回路123と、筒状の支持部125とを備える。2個の円板状電極121(1), 121(2)によって、一つの電極対121Pが形成される。

【0187】

各電極121(1), 121(2)の中心には、イオン化ターゲット物質91が通過するための孔122が形成されている。支持部125内には、各孔122を含む通路124が設けられている。

【0188】

高電圧制御回路123は、イオン化ターゲット物質91が電極対121Pを通過するのに同期して、パルス電圧を電極対121Pに印加する。すなわち、高電圧制御回路123は、所定のタイミングで、電極対121Pの電位が所望の値に変調するように、変化するパルス電圧を電極対121Pに印加する。パルス電圧の印加タイミングは、タイミング信号により決定される。

【0189】

高電圧制御回路123としては、高速スイッチを有するパルス高電圧回路を用いることができる。また、高電圧制御回路123として、上述の図32に示す、強磁性体コア181とパルス電源188とから構成される回路を利用できる。強磁性体コア181にパルス電流を流すことにより磁場を発生し、この磁場の時間変化によって誘起される所望の誘導電場を電極対121Pに発生させる。

【0190】

以下の説明では、圧縮器120に入射する、圧縮前のイオン化ターゲット物質91の長さを $L_t$ とし、イオン化ターゲット物質91はプラスに帯電しているものとする。

【0191】

図35は、電極対121Pに印加されるパルス電圧の例を示す。ここでは、圧縮前のイオン化ターゲット物質91(0)が電極対121Pの入口側(入口側電極121(1))に到達した時刻を $t_{10}$ とする。イオン化ターゲット物質91の中央部が入口側電極121(1)に到達する時刻を $t_{11}$ とする。その中央部が入口側電極121(1)に到達し、圧縮されたイオン化ターゲット物質に符号91(1)を与える。

【0192】

高電圧制御回路123は、図35に示すような矩形波が電極対121Pに印加されるように動作する。つまり、時刻 $t_{10}$ において立ち上がり、時刻 $t_{11}$ において立ち下がるような矩形波を電極対121Pに印加する。これにより、イオン化ターゲット物質91の進行方向前側を圧縮することができる。従って、イオン化ターゲット物質91の進行方向の長さ $L_t$ は、より短い $L_{t1}$ になる( $L_{t1} < L_t$ )。

【0193】

なお、本実施例では、一つの電極対121Pを示すが、これに限らず、複数の電極対121Pをイオン化ターゲット物質91の進行方向に直線状に配置する構成でもよい。その構成の場合、高電圧制御回路123は、各電極対121Pにイオン化ターゲット物質91が到達するタイミングで、所定の高電圧パルスを印加する。

【0194】

図36は、高電圧パルスの他の例を示す。図36(1)に示すように、正弦波状の高電圧パルスを用いてもよいし、または、図36(2)に示すように、三角波状の高電圧パルスを用いてもよい。

【実施例22】

【0195】

図37, 図38を参照して第22実施例を説明する。本実施例では、電極対121Pの出口側において、イオン化ターゲット物質91の進行方向後側を圧縮する。図37は、本実施例による圧縮部の全体概要を示す。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 9 6 】

圧縮前のイオン化ターゲット物質 9 1 ( 2 ) が電極対 1 2 1 P の出口側 ( 出口側電極 1 2 1 ( 2 ) ) に到達した時刻を  $t_{12}$  とする。イオン化ターゲット物質 9 1 の中央部が出口側電極 1 2 1 ( 2 ) に到達する時刻を  $t_{13}$  とする。その中央部が出口側電極 1 2 1 ( 2 ) に到達し、圧縮されたイオン化ターゲット物質に符号 9 1 ( 3 ) を与える。

## 【 0 1 9 7 】

高電圧制御回路 1 2 3 A は、イオン化ターゲット物質 9 1 の移動に合わせて、マイナスの矩形波状高電圧パルスを電極対 1 2 1 P に印加する。その矩形波は、時刻  $t_{12}$  においてマイナス方向に立ち上がり、時刻  $t_{13}$  において立ち下がる。これにより、イオン化ターゲット物質 9 1 の進行方向後側が圧縮され、その長さが短くなる。

10

## 【 0 1 9 8 】

図 3 8 は、電極対 1 2 1 P に印加する高電圧パルスの他の例を示す。図 3 8 ( 1 ) に示すように正弦波状の高電圧パルスを用いてもよいし、または、図 3 8 に示すように三角波状の高電圧パルスを用いてもよい。

## 【 0 1 9 9 】

なお、前記実施例と同様に、複数の電極対 1 2 1 P をイオン化ターゲット物質 9 1 の進行方向に沿って複数配設し、複数回圧縮する構成としてもよい。

## 【 実施例 2 3 】

## 【 0 2 0 0 】

図 3 9 , 図 4 0 を参照して第 2 3 実施例を説明する。図 3 9 は、本実施例による圧縮部の全体概要を示す。本実施例では、電極対 1 2 1 P の入口側及び出口側の両方で、イオン化ターゲット物質 9 1 を圧縮する。

20

## 【 0 2 0 1 】

本実施例では、入口側電極 1 2 1 ( 1 ) と出口側電極 1 2 1 ( 2 ) との間の距離は、例えば、圧縮前のイオン化ターゲット物質 9 1 の進行方向長さ  $L_t$  の半分に設定される ( 電極間距離 =  $L_t / 2$  ) 。

## 【 0 2 0 2 】

高電圧制御回路 1 2 3 B は、イオン化ターゲット物質 9 1 の移動に合わせて、プラスの高電圧パルスとマイナスの高電圧パルスを続けて、電極対 1 2 1 P に印加する。高電圧制御回路 1 2 3 B は、プラス電位の第 1 高電圧パルスと、マイナス電位の第 2 高電圧パルスとを連続的に発生させる。

30

## 【 0 2 0 3 】

第 1 高電圧パルスは、第 2 1 実施例で述べたように、イオン化ターゲット物質 9 1 ( 0 ) が入口側電極 1 2 1 ( 1 ) に到達する時刻  $t_{10}$  においてプラス方向に立ち上がり、かつ、イオン化ターゲット物質 9 1 ( 1 ) の中央部が入口側電極 1 2 1 ( 1 ) に差し掛かる時刻  $t_{11}$  において立ち下がる。

## 【 0 2 0 4 】

第 2 高電圧パルスは、第 2 2 実施例で述べたように、イオン化ターゲット物質 9 1 ( 2 ) が出口側電極 1 2 1 ( 2 ) に到達する時刻  $t_{12}$  においてマイナス方向に立ち上がり、かつ、イオン化ターゲット物質 9 1 ( 3 ) の中央部が出口側電極 1 2 1 ( 2 ) に差し掛かる時刻  $t_{13}$  において立ち下がる。

40

## 【 0 2 0 5 】

電極間の距離はイオン化ターゲット物質 9 1 の長さ  $L_t$  の半分に設定されるため、イオン化ターゲット物質 9 1 の中央部が入口側電極 1 2 1 ( 1 ) に差し掛かる時刻  $t_{11}$  と、イオン化ターゲット物質 9 1 の先頭が出口側電極 1 2 1 ( 2 ) に到達する時刻  $t_{12}$  とは略等しい。

## 【 0 2 0 6 】

圧縮前のイオン化ターゲット物質 9 1 ( 0 ) の進行方向長さは最初  $L_t$  である。イオン化ターゲット物質 9 1 ( 1 ) の半分が入口側電極 1 2 1 ( 1 ) を通過すると、イオン化ターゲット物質 9 1 ( 1 ) は圧縮され、その長さ  $L_{t1}$  となる ( $L_{t1} < L_t$ ) 。

50

## 【0207】

このとき、イオン化ターゲット物質91(2)(イオン化ターゲット物質91(1)でもある)の先頭は、出口側電極121(2)に到達している。イオン化ターゲット物質91(3)が出口側電極121(2)を通過すると、その長さは $L_{t1}$ から $L_{t2}$ に短縮される( $L_{t2} < L_{t1}$ )。

## 【0208】

図40は、高電圧パルスの他の例を示す。図40(1)に示すように、極性の異なる正弦波状の2個の高電圧パルスを連続的に、電極対121Pに印加してもよい。図41(2)に示すように、極性の異なる三角波状の2個の高電圧パルスを連続的に、電極対121Pに印加してもよい。

10

## 【0209】

このように構成される本実施例では、一つの電極対で、イオン化ターゲット物質91の前側及び後側を連続的に圧縮することができる。さらに、電極間距離を短く設定するため、圧縮部を小型化することができる。

## 【実施例24】

## 【0210】

図41を参照して第24実施例を説明する。本実施例では、第23実施例で述べた電極対を、イオン化ターゲット物質91の進行方向に沿って複数配置する。本実施例では、第1の電極対121P(1)と、第2の電極対121P(2)とを用いる。

20

## 【0211】

第1の電極対121P(1)は、入口側電極121(1)と出口側電極121(2)を備えている。電極121(1)と電極121(2)との間の距離は、 $L_t/2$ に設定されている。

## 【0212】

第1の高電圧制御回路123Bは、図39または図40に示すような極性の異なる複数の連続した高電圧パルスを、第1の電極対121P(1)に印加する。上述の通り、入口側電極121(1)によって、イオン化ターゲット物質91の進行方向の長さは、 $L_t$ から $L_{t1}$ に圧縮され、さらに、出口側電極121(2)によりイオン化ターゲット物質91の長さは、 $L_{t1}$ から $L_{t2}$ に圧縮される。

30

## 【0213】

第2の電極対121P(2)は、第1の電極対121P(1)の下流側に設けられ、入口側電極121(21)と、出口側電極121(22)とを備える。電極121(21)と電極121(22)との間の距離は、第1の電極対121P(1)を通過した後におけるイオン化ターゲット物質91の長さの半分(= $L_{t2}/2$ )に設定される。

## 【0214】

第2の高電圧制御回路123Cも、図39または図40に示すような極性の異なる複数の連続した高電圧パルスを、第2の電極対121P(2)に印加する。入口側電極121(21)により、イオン化ターゲット物質91の進行方向の長さは、 $L_{t2}$ から $L_{t3}$ (不図示)に圧縮される。その圧縮に続けて、出口側電極121(22)により、イオン化ターゲット物質91の長さは、 $L_{t3}$ から $L_{t4}$ に圧縮される。

40

## 【0215】

このように、本実施例では、極性の異なる連続した高電圧パルスが印加される複数の電極対121P(1), 121P(2)を、イオン化ターゲット物質91の進行方向に沿って配置し、さらに、各電極対121P(1), 121P(2)の電極間距離を、各電極対121P(1), 121P(2)に入射するイオン化ターゲット物質91の進行方向長さの半分(または半分以下)に設定する。従って、イオン化ターゲット物質91をより一層圧縮することができる。

## 【実施例25】

## 【0216】

図42~図44を参照して第25実施例を説明する。本実施例では、中和器130の具

50

体例を説明する。図42は、中和器130からイオン化ターゲット物質91に電子ビーム132が照射されている様子を示す全体構成図である。図43は電子銃131の模式図、図44は、熱電子放射型電子銃の回路図である。

【0217】

図43に示すように、中和器130は、電子ビーム132を放出する電子銃131を備える。図44に示すように、電子銃130を、熱電子放射型電子銃として構成することができる。

【0218】

熱電子放射型電子銃130は、タングステンフィラメント等として構成されるカソード1301と、アノード1302と、ウェーネルト電極1303と、フィラメント回路1304と、バイアス回路1305とを備える。

10

【0219】

カソード1301には、フィラメント回路1304から所定のマイナス電圧（フィラメント電圧）が印加される。ウェーネルト電極1303には、バイアス回路1305からフィラメント電圧よりも低いマイナス電圧（バイアス電圧）が印加される。

【0220】

カソード1301が加熱されると電子が放出される。放出された電子は、ウェーネルト電極1303で生じる電界によって所定点に収束され、さらに、アノード1302に向けて加速される。これにより、電子ビーム132が発生する。

【実施例26】

20

【0221】

図45を参照して第26実施例を説明する。本実施例では、中和器130として、電界放射型電子銃130Aを用いる。電界放射型電子銃130Aは、例えば、第1アノード1310と、第2アノード1311と、エミッタ1312とを備える。

【0222】

第1アノード1310とエミッタ1312との間には、引き出し電圧が印加される。引き出し電圧とは、エミッタ1312から電子を引き出すための電圧である。この引き出し電圧により、エミッタ1312の先端に強電界が形成され、エミッタ1312から電子が放出される。

【0223】

30

第2アノード1311とエミッタ1312との間には、加速電圧が印加される。加速電圧とは、エミッタ1312から放出された電子を加速するための電圧である。電子が加速されて、電子ビーム132となる。

【0224】

なお、本発明は上述した各実施例に限定されない。当業者であれば、本発明の範囲内で、種々の追加や変更等を行うことができる。また、上述の各実施例を適宜組み合わせた構成も本発明の範囲に含まれる。

【符号の説明】

【0225】

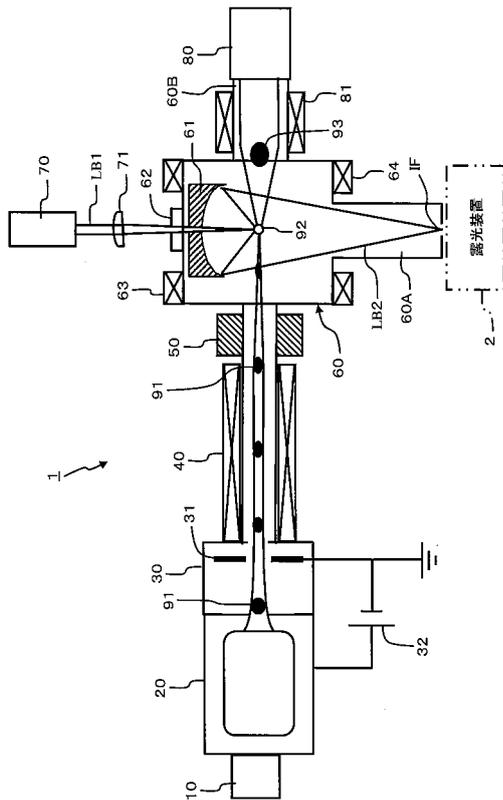
1, 1A, 1B, 1C: EUV光源装置、2: 露光装置、10, 10A, 10B, 10C, 10D, 10E, 10F: ターゲット供給器、11, 11A, 11B: タンク、12: 供給管、12A, 12B: ノズル、13: ヒータ、14: 回転モータ、15: 送り出し装置、20: イオン化器、21: チャンバ、21EX: 開口部、22: ターゲット回収器、22A: 回収通路、25: 外部磁場発生器、26: 導入部、26A: 導入口、27, 27A: 内部磁場発生器、28: ヒータ、30: イオンビーム引き出し器、31: 電極、32: 電源、40: ドリフト管、50: 収束器、60: プラズマ発生用チャンバ、60A: 接続部、60B: 回収通路、61: EUV集光ミラー、62: 入射窓、63, 64: 磁場発生器、70: ドライバレーザ光源、71: 集光レンズ、80: ターゲット回収器、81: 磁場発生器、82: ヒータ、90, 90A, 90B, 90C, 90D, 90E, 90F, 90G: ターゲット物質、91イオン化ターゲット物質（イオンビーム）、100, 1

40

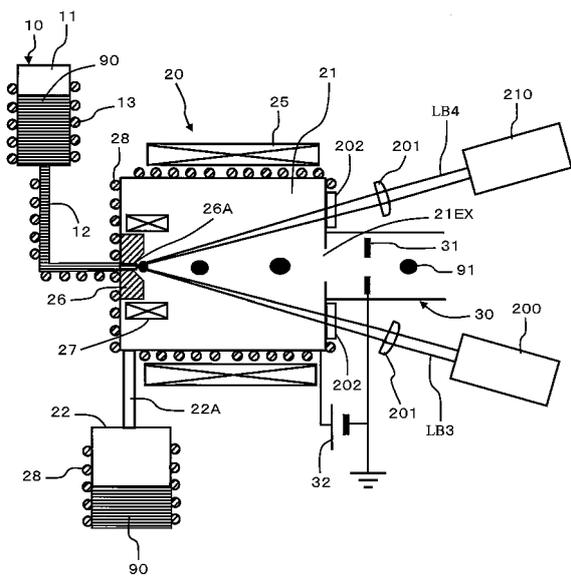
50

01 : ヒータ制御部、110 : 加速管、111 : 加速用電極、120 : 圧縮器、130 : 中和器、200 : 気化用レーザ光源、201 : 集光レンズ、202 : 入射窓、210 : イオン化用レーザ光源、211 : YAGレーザ、212, 215 : 第2高調波発生器、213 : ハーフミラー、214 : チタンサファイアレーザ、2141 : プリズム、2142 : Qスイッチ、216 : 第3高調波発生器、220 : イオン化用レーザ光源、230 : 電子ビーム装置、LB1 : ドライバレーザ光、LB2 : EUV光、LB3 : 気化用レーザ光、LB4 : イオン化用レーザ光、LB4a, LB4b, LB4c : イオン化レーザ光、LB5 : イオン化用レーザ光、eB1 : 電子ビーム、JT : ターゲットジェット

【図1】

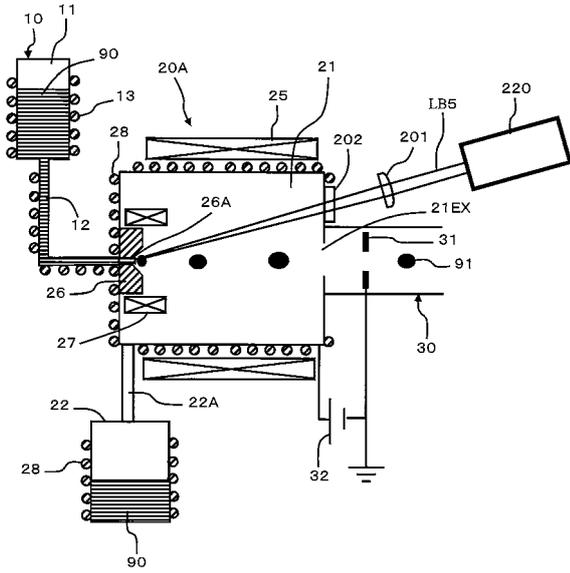


【図2】

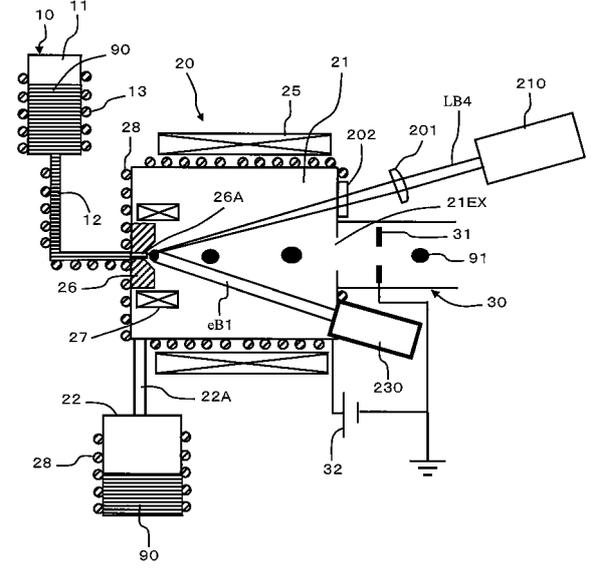




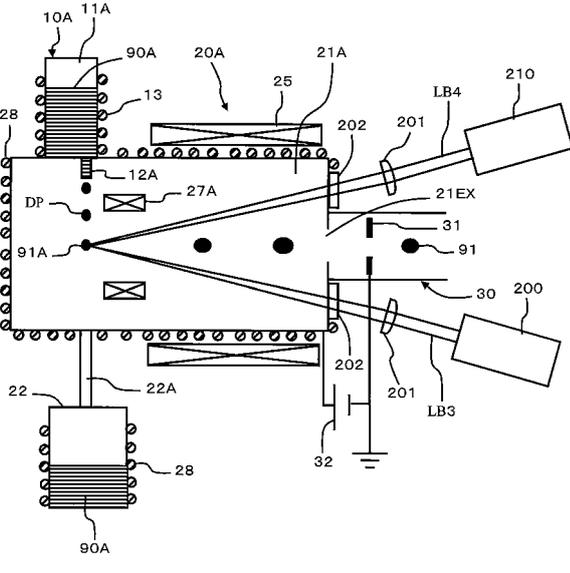
【図 7】



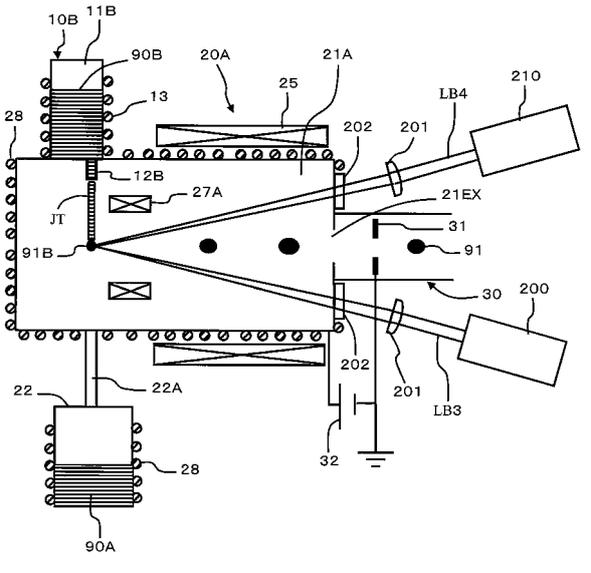
【図 8】



【図 9】

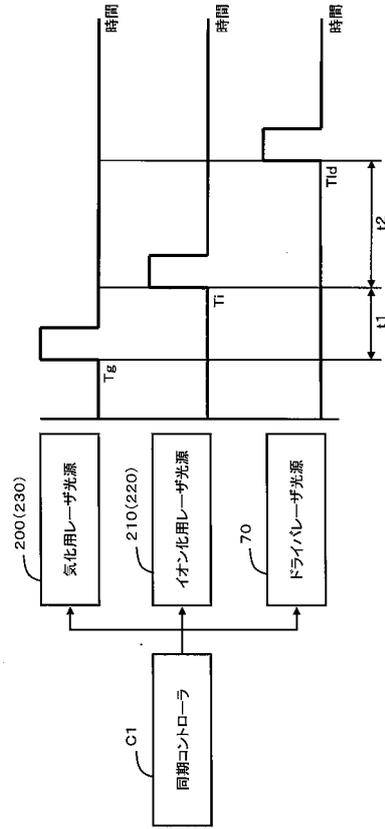


【図 10】

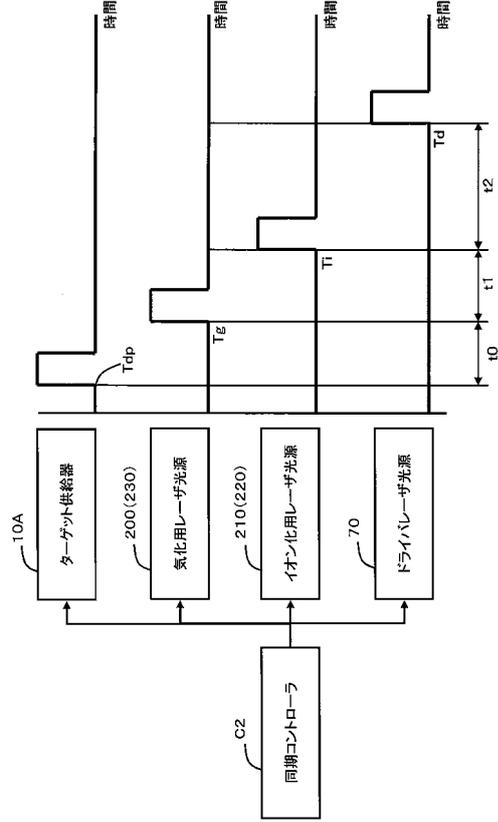




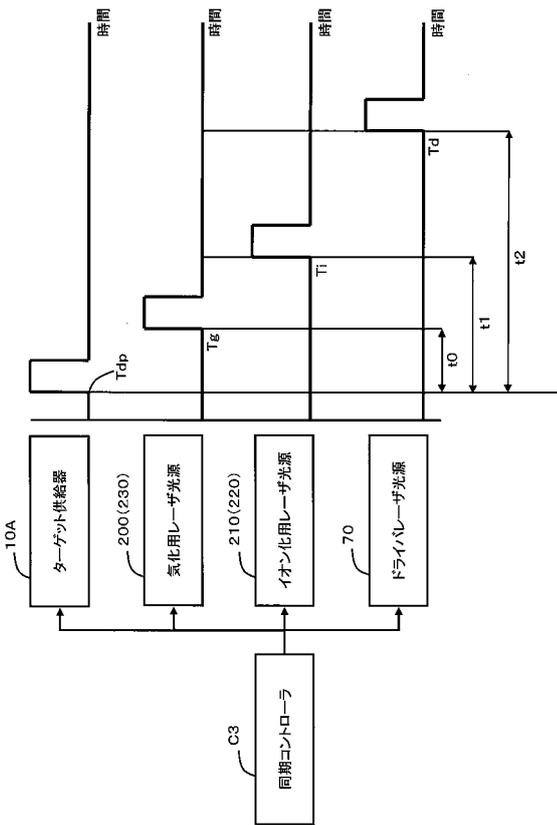
【図 15】



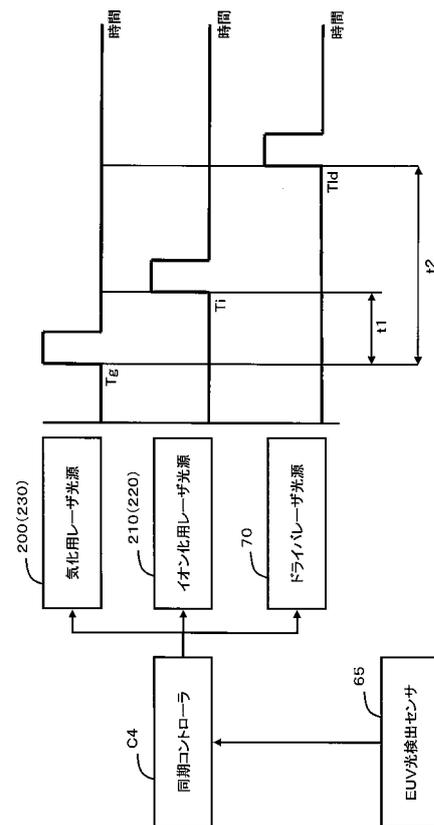
【図 16】



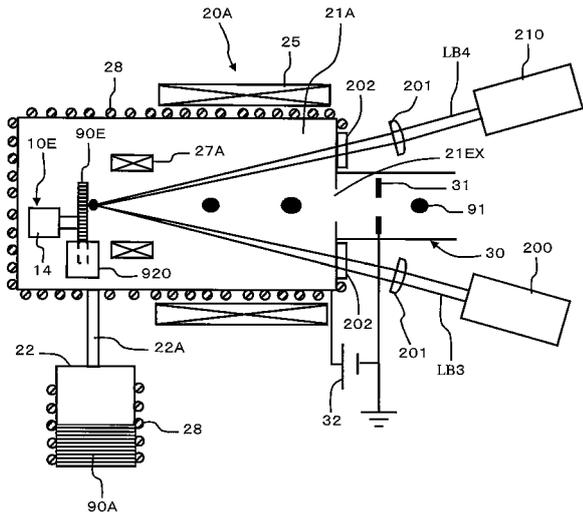
【図 17】



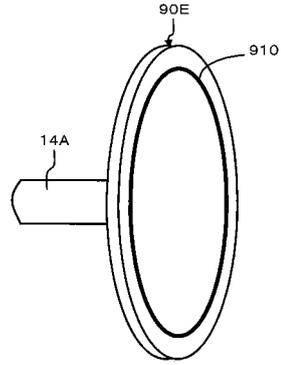
【図 18】



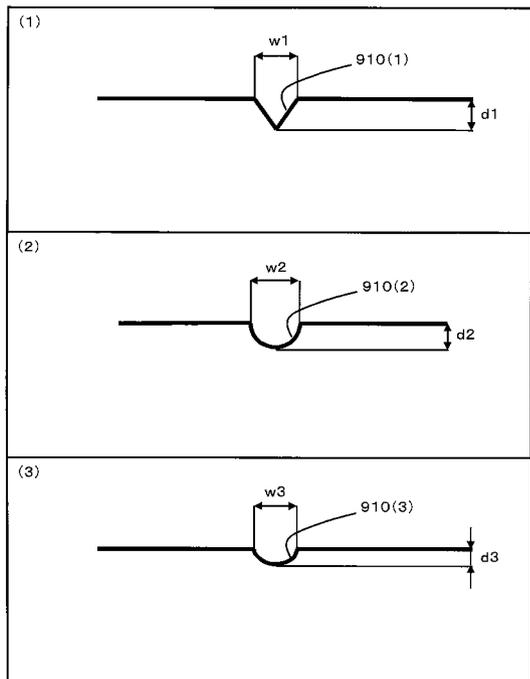
【 図 19 】



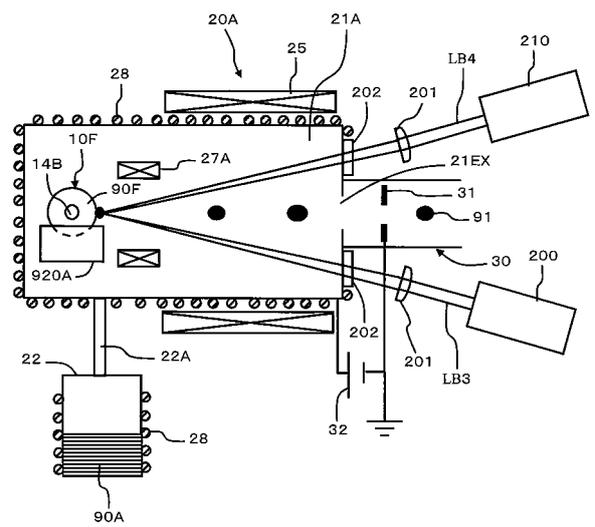
【 図 20 】



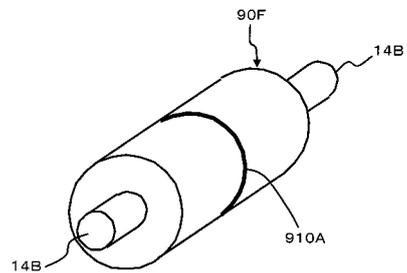
【 図 21 】



【 図 22 】

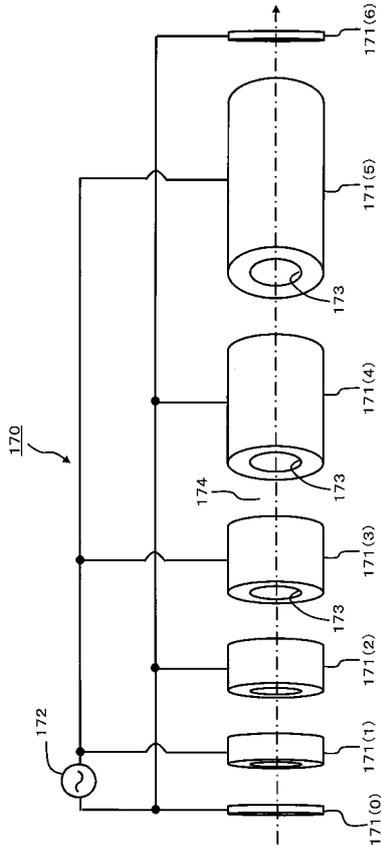


【 図 23 】

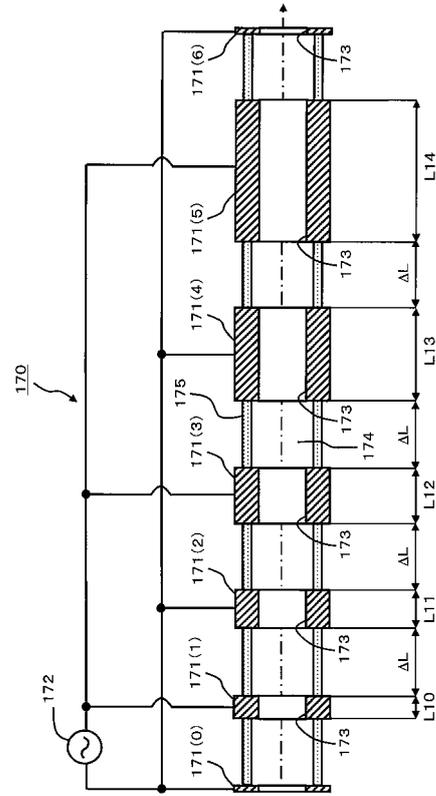




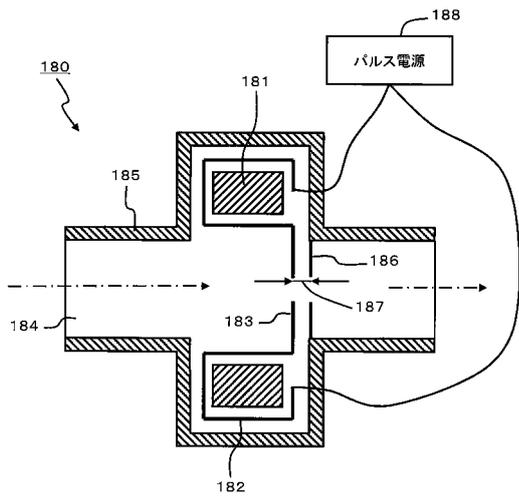
【図 30】



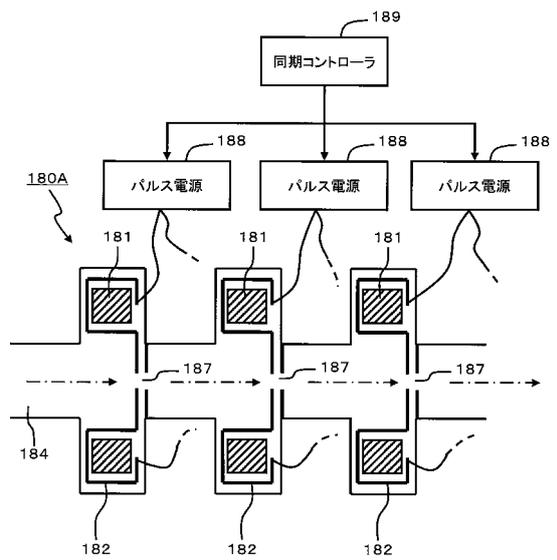
【図 31】



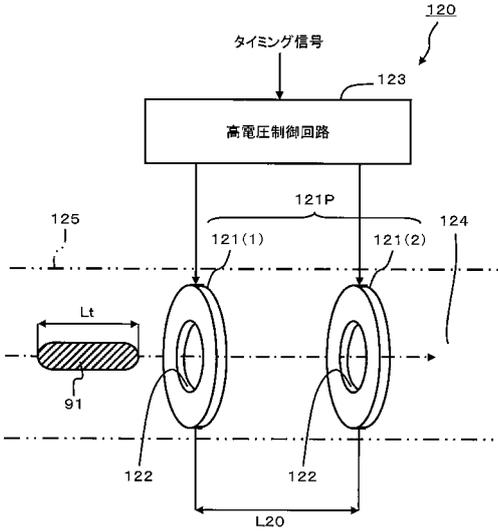
【図 32】



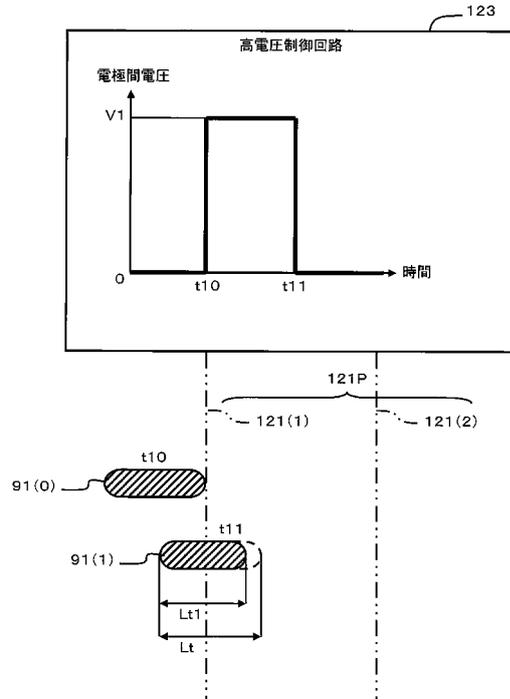
【図 33】



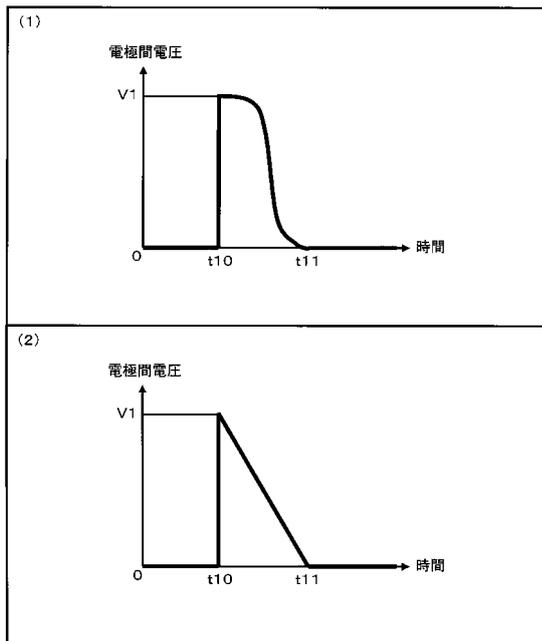
【図34】



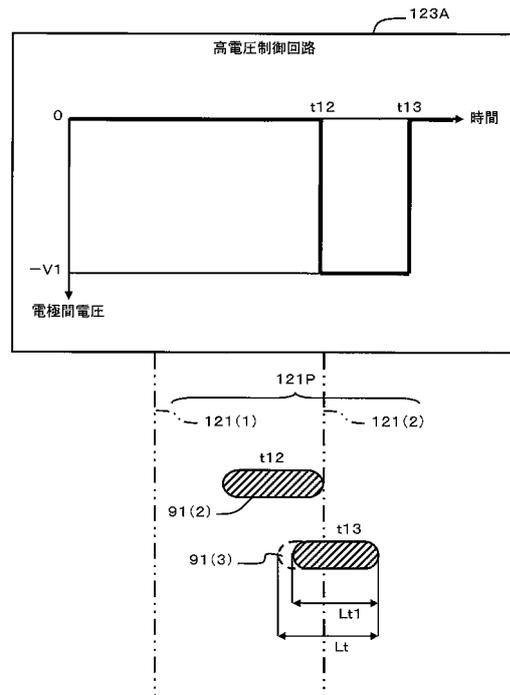
【図35】



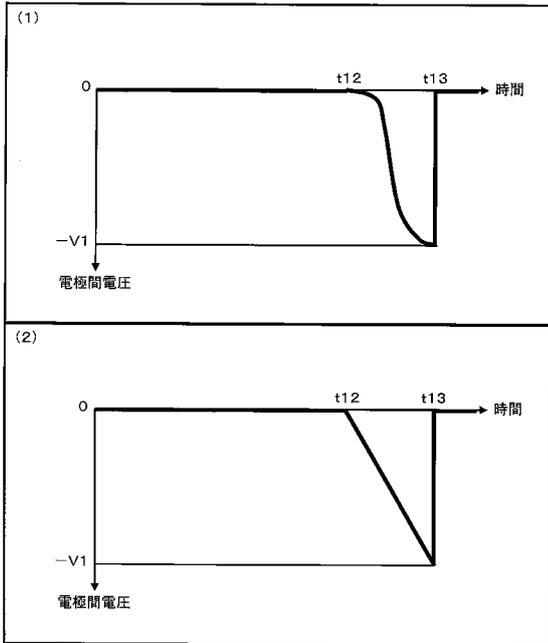
【図36】



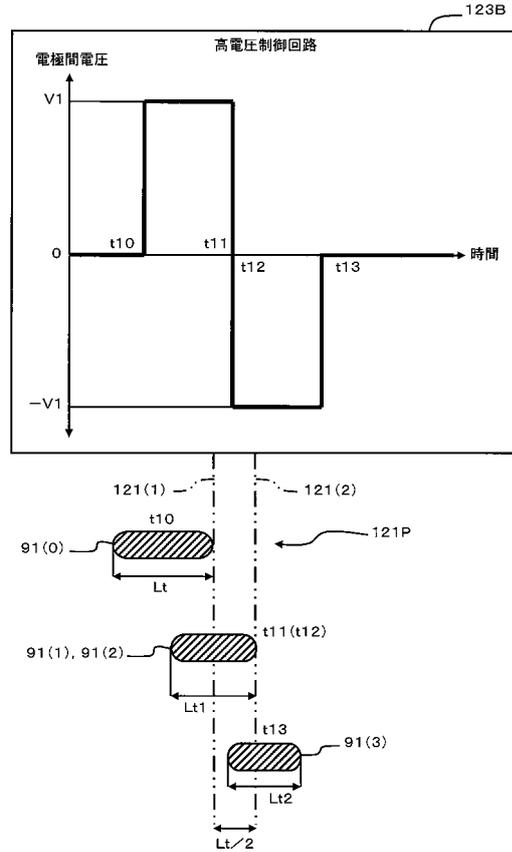
【図37】



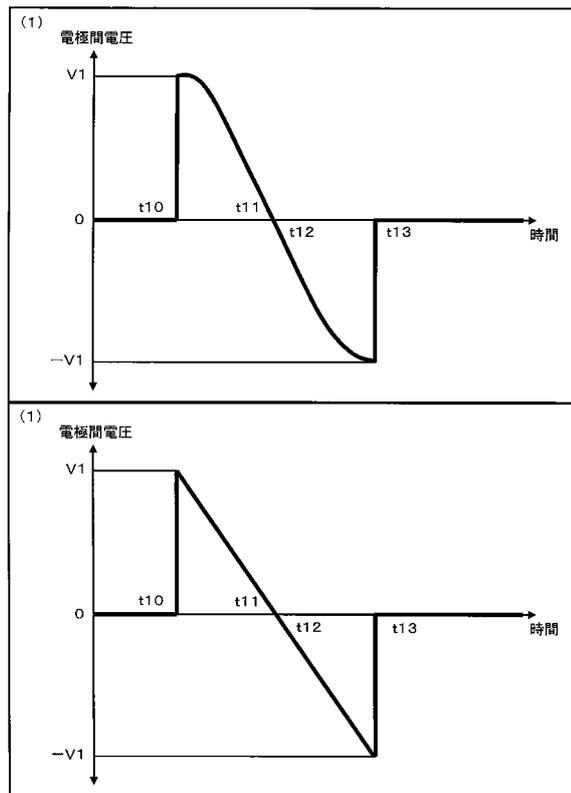
【図38】



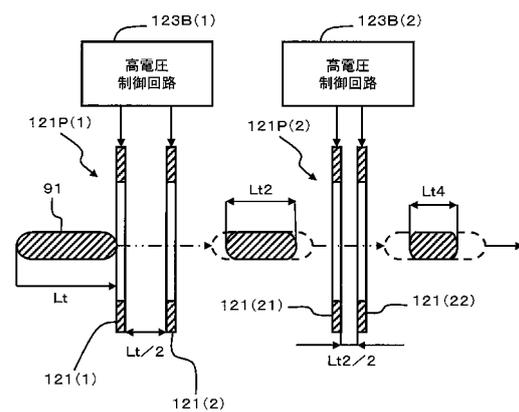
【図39】



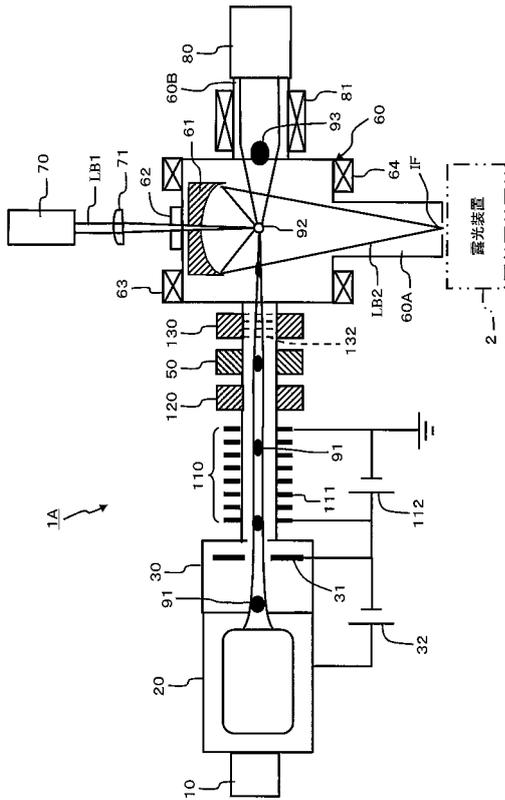
【図40】



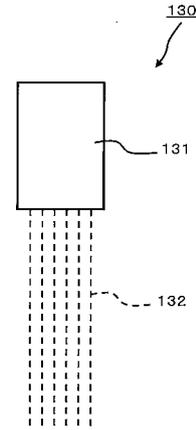
【図41】



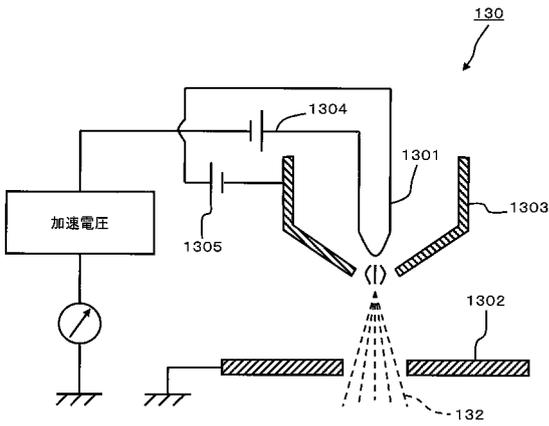
【図 4 2】



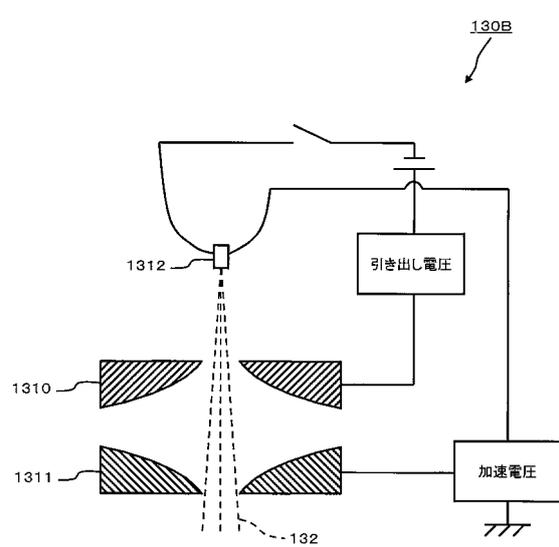
【図 4 3】



【図 4 4】



【図 4 5】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 柳田 達哉  
神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 株式会社小松製作所研究本部内
- (72)発明者 植野 能史  
神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 株式会社小松製作所研究本部内
- (72)発明者 住谷 明  
神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 株式会社小松製作所研究本部内
- (72)発明者 遠藤 彰  
神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 ギガフォトン株式会社内
- (72)発明者 堀 司  
神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 ギガフォトン株式会社内
- Fターム(参考) 5F046 AA08 GC03