

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4088485号
(P4088485)

(45) 発行日 平成20年5月21日(2008.5.21)

(24) 登録日 平成20年2月29日(2008.2.29)

(51) Int.Cl.	F I	
H O 1 L 21/027 (2006.01)	H O 1 L 21/30	5 3 1 S
G 2 1 K 1/00 (2006.01)	G 2 1 K 1/00	X
G 2 1 K 5/00 (2006.01)	G 2 1 K 5/00	Z
G 2 1 K 5/02 (2006.01)	G 2 1 K 5/02	X
G 2 1 K 5/08 (2006.01)	G 2 1 K 5/08	X
請求項の数 18 (全 14 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2002-196236 (P2002-196236)
 (22) 出願日 平成14年7月4日(2002.7.4)
 (65) 公開番号 特開2004-39927 (P2004-39927A)
 (43) 公開日 平成16年2月5日(2004.2.5)
 審査請求日 平成17年5月23日(2005.5.23)

(73) 特許権者 304017144
 オムロンレーザーフロント株式会社
 神奈川県相模原市下九沢1120番地
 (74) 代理人 100090158
 弁理士 藤巻 正憲
 (74) 代理人 100095407
 弁理士 木村 満
 (72) 発明者 久保村 浩之
 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
 審査官 大熊 靖夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光波発生装置及び光波発生方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザー光が照射されることによってプラズマ化し、与えられた励起エネルギーを光波に換えて輻射するとともに、再結合によって気体となる固体からなるターゲットを供給するターゲット供給装置と、

レーザー装置から放射されたレーザー光を前記ターゲット供給装置から供給された前記ターゲットに照射して該ターゲットをプラズマ化し、光波を輻射させるプラズマ生成装置とを備えた光波発生装置であって、

前記ターゲットは、帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えられ、前記レーザー光の照射のタイミングと同期して、前記レーザー光の照射位置に供給されることを特徴とする光波発生装置。

【請求項2】

前記レーザー光は、パルス状に所定の繰返周波数で繰返し照射されることを特徴とする請求項1記載の光波発生装置。

【請求項3】

前記ターゲット供給装置は、前記ターゲットを帯電させる帯電手段と、帯電した前記ターゲットに加速電圧を印加して加速し、前記ターゲットを前記レーザー光の照射位置に供給する加速手段とを有することを特徴とする請求項1又は2記載の光波発生装置。

【請求項4】

前記レーザー光の照射のタイミングと、前記加速手段によって前記ターゲットが前記レーザ

光の照射位置に供給されるタイミングとを同期させるための同期手段を備えたことを特徴とする請求項 3 記載の光波発生装置。

【請求項 5】

前記同期手段は、前記加速手段によって運動エネルギーを与えられた前記ターゲットの所定の速度検出位置における速度を求める速度検出手段と、前記速度検出手段によって求められた前記速度に基づいて、前記ターゲットの前記速度検出位置から前記レーザー光の照射位置に至るまでに要する所要時間を求める時間算出手段と、前記時間算出手段によって求められた前記所要時間に基づいて、前記レーザー光の照射のためのトリガ信号を生成し前記レーザー装置に供給するトリガ信号供給手段とを備えたことを特徴とする請求項 4 記載の光波発生装置。

10

【請求項 6】

パルス状の波形が所定周期で繰り返されるように電圧が時間変化して前記加速電圧が印加されることを特徴とする請求項 3、4 又は 5 記載の光波発生装置。

【請求項 7】

前記ターゲットを所定の回転軸の周りに回転する回転部材に載せ、帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えて放出し、前記ターゲットを前記レーザー光の照射位置に供給する加速手段とを備えたことを特徴とする請求項 2 記載の光波発生装置。

【請求項 8】

供給される前記ターゲットの量は、照射されるパルス状の前記レーザー光の 1 パルス分のエネルギーによって略全てプラズマ化される量に設定されることを特徴とする請求項 2 乃至 7 のいずれか 1 に記載の光波発生装置。

20

【請求項 9】

前記ターゲットは、キセノンを含む不活性元素の結晶固体からなることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 に記載の光波発生装置。

【請求項 10】

レーザー光が照射されることによってプラズマ化し与えられた励起エネルギーを光波に換えて輻射するとともに、再結合によって気体となる固体からなるターゲットを供給するターゲット供給ステップと、

レーザー装置から放射されたパルス状のレーザー光を前記ターゲット供給装置から供給された前記ターゲットに照射して該ターゲットをプラズマ化し、光波を輻射させるプラズマ生成ステップとを含む光波発生方法であって、

30

前記ターゲット供給ステップでは、前記ターゲットは、帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えられ、前記励起エネルギービームの照射のタイミングと同期して、前記励起エネルギービームの照射位置に供給されることを特徴とする光波発生方法。

【請求項 11】

前記レーザー光は、パルス状に所定の繰返周波数で繰り返し照射されることを特徴とする請求項 10 記載の光波発生方法。

【請求項 12】

前記ターゲット供給ステップは、前記ターゲットを帯電させる帯電ステップと、帯電した前記ターゲットに加速電圧を印加して加速し、前記ターゲットを前記励起エネルギービームの照射位置に供給する加速ステップとを含むことを特徴とする請求項 10 又は 11 記載の光波発生方法。

40

【請求項 13】

前記ターゲット供給ステップは、前記レーザー光の照射のタイミングと、前記加速ステップで前記ターゲットが前記レーザー光の照射位置に供給されるタイミングとを同期させるための同期ステップを含むことを特徴とする請求項 12 記載の光波発生方法。

【請求項 14】

前記同期ステップは、前記加速ステップで帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えられた前記ターゲットの所定の速度検出位置における速度を求める速度検出ステップと、前記速度検出ステップで求められた前記速度に基づいて、前記ターゲットの前記速度検出位

50

置から前記レーザ光の照射位置に至るまでに要する所要時間を求める時間算出ステップと、前記時間算出ステップで求められた前記所要時間に基づいて、前記レーザ光の照射のためのトリガ信号を生成し供給するトリガ信号供給ステップとを含むことを特徴とする請求項 13 記載の光波発生方法。

【請求項 15】

パルス状の波形が所定周期で繰り返されるように電圧が時間変化して前記加速電圧が印加されることを特徴とする請求項 12、13 又は 14 記載の光波発生方法。

【請求項 16】

前記ターゲット供給ステップは、前記ターゲットを所定の回転軸の周りに回転する回転部材に載せ、帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えて放出し、前記ターゲットを前記レーザ光の照射位置に供給する加速ステップを含むことを特徴とする請求項 11 記載の光波発生方法。

10

【請求項 17】

供給される前記ターゲットの量は、照射されるパルス状の前記レーザ光の 1 パルス分のエネルギーによって略全てプラズマ化される量に設定されることを特徴とする請求項 11 乃至 16 のいずれか 1 に記載の光波発生方法。

【請求項 18】

前記ターゲットは、キセノンを含む不活性元素の結晶固体からなることを特徴とする請求項 10 乃至 17 のいずれか 1 に記載の光波発生方法。

【発明の詳細な説明】

20

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、例えばキセノン等の結晶固体からなるターゲットを供給し、レーザ光をターゲットに照射してプラズマを生成させ、EUV (extreme ultraviolet rays) 等の光波を発生させる光波発生装置及び光波発生方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、真空チャンバ内でターゲット(標的物質)にレーザ光を集光照射して、高温高密度のプラズマを瞬時に生成させ、電子遷移による輻射光としての例えばEUVを取り出して、半導体集積回路の製造工程における縮小投影露光や、各種測定、医療等のために用いている。

30

上記ターゲットとして例えば金属固体を選んだ場合は、この固体のターゲットにレーザ光を照射してプラズマを発生させると、プラズマの周囲で融解したり気化した物質がプラズマの膨張圧力で吹き飛んでデブリと呼ばれる飛散粒子となり、真空チャンバ内の光学素子等に付着して汚染し、EUVの減衰の原因ともなる。

【0003】

このため、例えば、特開昭61-153935号公報には、ターゲットとしての水銀等の液体金属を供給用細管(ノズル)から滴下し、このターゲットにレーザパルス照射してプラズマ化しEUVを発生させる技術が開示されている。

また、特開平10-221499号公報には、例えば金属微粒子と希ガスを混合して供給ノズルから噴射し、噴射された微粒子混合ガスのターゲットにレーザパルス照射してプラズマ化しEUVを発生させる技術が開示されている。

40

【0004】

しかしながら、いずれもノズル直下に向けてレーザ光を照射するために、ターゲット自身に起因するデブリに加え、輻射熱によるノズルからのデブリによっても光学系が汚染されるという問題があった。また、ノズルに熱的損傷をできるだけ与えないようにするための工夫も重要であった。

また、特に気体を供給する場合は、高速に真空排気を行う必要があり、大型の真空排気装置を必要とするためにコストが嵩むという問題もあった。

また、変換効率(照射したレーザ光のエネルギーに対する発生したEUVのエネルギーの割合

50

)を高めるという観点からは、ターゲットとしては液体や気体よりも固体の方が好ましい。

【0005】

このために、ターゲットとして低温下で固体化された物質を用い、例えば、金属プレート上に低温下で固体化されたターゲットを複数配置して、順にレーザー光を照射してプラズマ化する技術が提案されている。

しかしながら、ターゲットを打ち尽くした後は、真空チャンバ内に大気を導入して、新しいターゲットを供給する必要があるために、時間と手間を要し実用上煩雑であるという問題があった。

このため、特公平2-43319号公報には、固体化された(常温で気体となる)不活性元素や水の粒子を自由落下させ、このターゲットに水平方向からレーザー光を照射してEUVを得る技術が開示されている。

10

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特公平2-43319号公報記載の上記従来技術では、ターゲットを自由落下させるので、EUVの光量を増大させようとして、パルス状のレーザー光の繰返周波数を高めようとしても、これに対応させたターゲットの高速供給が困難であるという問題があった。

【0007】

この発明は、上述の事情に鑑みてなされたもので、ターゲットを比較的高速に供給して、比較的高い繰返周波数でのパルス状レーザー光のターゲットへの照射を可能とし、比較的高頻度の繰返し発光により、大光量の例えばEUVを比較的高い変換効率で得ることができる光波発生装置及び光波発生方法を提供することを目的としている。

20

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、請求項1記載の発明は、レーザー光が照射されることによってプラズマ化し、与えられた励起エネルギーを光波に換えて輻射するとともに、再結合によって気体となる固体からなるターゲットを供給するターゲット供給装置と、レーザー装置から放射されたレーザー光を前記ターゲット供給装置から供給された前記ターゲットに照射して該ターゲットをプラズマ化し、光波を輻射させるプラズマ生成装置とを備えた光波発生装置であって、前記ターゲットは、帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えられ、前記レーザー光の照射のタイミングと同期して、前記レーザー光の照射位置に供給されることを特徴としている。

30

【0009】

また、請求項2記載の発明は、請求項1記載の光波発生装置に係り、上記レーザー光は、パルス状に所定の繰返周波数で繰返し照射されることを特徴としている。

【0010】

また、請求項3記載の発明は、請求項1又は2記載の光波発生装置に係り、上記ターゲット供給装置は、上記ターゲットを帯電させる帯電手段と、帯電した上記ターゲットに加速電圧を印加して加速し、上記ターゲットを上記レーザー光の照射位置に供給する加速手段とを有することを特徴としている。

40

【0011】

また、請求項4記載の発明は、請求項3記載の光波発生装置に係り、上記レーザー光の照射のタイミングと、上記加速手段によって上記ターゲットが上記レーザー光の照射位置に供給されるタイミングとを同期させるための同期手段を備えたことを特徴としている。

【0012】

また、請求項5記載の発明は、請求項4記載の光波発生装置に係り、上記同期手段は、上記加速手段によって運動エネルギーを与えられた上記ターゲットの所定の速度検出位置における速度を求める速度検出手段と、上記速度検出手段によって求められた上記速度に基づいて、上記ターゲットの上記速度検出位置から上記レーザー光の照射位置に至るまでに要す

50

る所要時間を求める時間算出手段と、上記時間算出手段によって求められた上記所要時間に基づいて、上記レーザ光の照射のためのトリガ信号を生成し上記レーザ装置に供給するトリガ信号供給手段とを備えたことを特徴としている。

【0013】

また、請求項6記載の発明は、請求項3、4又は5記載の光波発生装置に係り、パルス状の波形が所定周期で繰り返されるように電圧が時間変化して上記加速電圧が印加されることを特徴とする。

【0014】

また、請求項7記載の発明は、請求項2記載の光波発生装置に係り、前記ターゲットを所定の回転軸の周りに回転する回転部材に載せ、帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えて放出し、前記ターゲットを前記レーザ光の照射位置に供給する加速手段とを備えたことを特徴としている。

10

【0015】

また、請求項8記載の発明は、請求項2乃至7のいずれか1に記載の光波発生装置に係り、供給される上記ターゲットの量は、照射されるパルス状の上記レーザ光の1パルス分のエネルギーによって略全てプラズマ化される量に設定されることを特徴としている。

【0016】

また、請求項9記載の発明は、請求項1乃至8のいずれか1に記載の光波発生装置に係り、上記ターゲットは、キセノンを含む不活性元素の結晶固体からなることを特徴としている。

20

【0017】

また、請求項10記載の発明は、レーザ光が照射されることによってプラズマ化し与えられた励起エネルギーを光波に換えて輻射するとともに、再結合によって気体となる固体からなるターゲットを供給するターゲット供給ステップと、レーザ装置から放射されたパルス状のレーザ光を前記ターゲット供給装置から供給された前記ターゲットに照射して該ターゲットをプラズマ化し、光波を輻射させるプラズマ生成ステップとを含む光波発生方法であって、前記ターゲット供給ステップでは、前記ターゲットは、帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えられ、前記励起エネルギービームの照射のタイミングと同期して、前記励起エネルギービームの照射位置に供給されることを特徴としている。

【0018】

また、請求項11記載の発明は、請求項10記載の光波発生方法に係り、上記レーザ光は、パルス状に所定の繰返周波数で繰り返し照射されることを特徴としている。

30

【0019】

また、請求項12記載の発明は、請求項10又は11記載の光波発生方法に係り、上記ターゲット供給ステップは、上記ターゲットを帯電させる帯電ステップと、帯電した上記ターゲットに加速電圧を印加して加速し、上記ターゲットを上記励起エネルギービームの照射位置に供給する加速ステップとを含むことを特徴としている。

【0020】

また、請求項13記載の発明は、請求項12記載の光波発生方法に係り、上記ターゲット供給ステップは、上記レーザ光の照射のタイミングと、上記加速ステップで上記ターゲットが上記レーザ光の照射位置に供給されるタイミングとを同期させるための同期ステップを含むことを特徴としている。

40

【0021】

また、請求項14記載の発明は、請求項13記載の光波発生方法に係り、前記同期ステップは、前記加速ステップで帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えられた前記ターゲットの所定の速度検出位置における速度を求める速度検出ステップと、前記速度検出ステップで求められた前記速度に基づいて、前記ターゲットの前記速度検出位置から前記レーザ光の照射位置に至るまでに要する所要時間を求める時間算出ステップと、前記時間算出ステップで求められた前記所要時間に基づいて、前記レーザ光の照射のためのトリガ信号を生成し供給するトリガ信号供給ステップとを含むことを特徴としている。

50

【 0 0 2 2 】

また、請求項 1 5 記載の発明は、請求項 1 2、1 3 又は 1 4 記載の光波発生方法に係り、パルス状の波形が所定周期で繰り返されるように電圧が時間変化して上記加速電圧が印加されることを特徴としている。

【 0 0 2 3 】

また、請求項 1 6 記載の発明は、請求項 1 1 記載の光波発生方法に係り、前記ターゲット供給ステップは、前記ターゲットを所定の回転軸の周りに回転する回転部材に載せ、帯電による荷電加速で飛翔エネルギーを与えて放出し、前記ターゲットを前記レーザー光の照射位置に供給する加速ステップを含むことを特徴としている。

【 0 0 2 4 】

また、請求項 1 7 記載の発明は、請求項 1 1 乃至 1 6 のいずれか 1 に記載の光波発生方法に係り、供給される上記ターゲットの量は、照射されるパルス状の上記レーザー光の 1 パルス分のエネルギーによって略全てプラズマ化される量に設定されることを特徴としている。

【 0 0 2 5 】

また、請求項 1 8 記載の発明は、請求項 1 0 乃至 1 7 のいずれか 1 に記載の光波発生方法に係り、上記ターゲットは、キセノンを含む不活性元素の結晶固体からなることを特徴としている。

【 0 0 2 6 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、この発明の実施の形態について説明する。説明は、実施例を用いて具体的に行う。

第 1 実施例

図 1 は、この発明の第 1 実施例である E U V 発生装置の構成を示す図、図 2 は、同 E U V 発生装置のプラズマ生成装置の主要部及びターゲット供給装置の同期部の構成を示す図、また、図 3 は、図 1 の A - A 線に沿った断面図である。

【 0 0 2 7 】

この例の E U V 発生装置（光波発生装置）1 は、図 1 に示すように、レーザー装置 2 において発振されたパルス状のレーザー光 L をターゲット T に照射してプラズマ化して E U V（光波）R を生成するプラズマ生成装置 3 と、プラズマ生成装置 3 に連結され、プラズマ生成装置 3 のレーザー照射位置に、超低温製氷装置 4 によって製造された例えばキセノンの結晶固体からなるターゲット T を加速された状態で供給するターゲット供給装置 5 とを備えている。

プラズマ生成装置 3 及びターゲット供給装置 5 は、主要部がそれぞれ真空チャンバ 6、7 内に收容され、少なくとも動作中は、両真空チャンバ 6、7 内は、真空排気装置（不図示）によって真空排気されて、同一の所定の圧力（真空度）に保たれる。真空チャンバ 6、7 内が真空に保たれることによって外部とは十分に断熱がなされる。

【 0 0 2 8 】

プラズマ生成装置 3 は、図 1 に示すように、真空チャンバ 6 内に、レーザー装置 2 から放射されたパルス状のレーザー光 L を収束させる集光レンズ 8 と、E U V R を集めるコレクタミラー 9 とが配置され、また、E U V R が射出される射出口 1 1 と、真空排気装置に接続された排気ダクト 1 2 と、レーザー光 L を減衰させるビームダンパ 1 3 とが取り付けられている。

この例では、レーザー装置 2 は、半導体励起固体レーザー装置であり、レーザー装置 2 からは、パルス状のレーザー光 L が放射され、このレーザー光 L は、パルス 1 つ分のエネルギーが数 1 0 0 [m J] ~ 1 [J]、平均出力が数 [k W] ~ 数 1 0 [k W]、パルスの繰返周波数 f が、(f = 1 [k H z]) に設定される。

【 0 0 2 9 】

ターゲット供給装置 5 は、図 1 及び図 2 に示すように、超低温製氷装置 4 によって製造されて氷柱状に搾り出され、輸送管 2 1 を介して送られてきたターゲット材料を切断して所定の寸法及び形状のターゲット T に加工する加工部 2 2 と、ターゲット T に所定の帯電電

10

20

30

40

50

圧を印加して帯電させる帯電部（帯電手段）23と、帯電したターゲットTに加速電圧を印加して加速し、プラズマ生成装置3のレーザ照射位置までターゲットTを輸送する加速輸送部（加速手段）24と、レーザ装置2からのレーザ光照射のタイミングとレーザ照射位置へのターゲットTの供給のタイミングとを同期させるための同期部（同期手段）25とを有してなっている。

【0030】

この例では、プラズマ生成装置3に供給されるターゲットTは、密度 $3.5 [g/cc]$ 、直径 d は（ $d = 200 [\mu m]$ ）の略球状の固体キセノンである。このターゲットTの大きさは、1回のパルス状のレーザ光Lの照射で完全にプラズマ化される程度に設定される。

10

加工部22は、図1及び図3に示すように、中心軸の周りに回転自在に支持され、側面部に多数の切断刃26aが形成された略円板状部材からなる回転カッタ26を有している。この例では、回転カッタ26の厚さ s は、（ $s = 100 [\mu m]$ ）とされる。

【0031】

帯電部23は、内部をターゲットTが通過可能な中空の円筒状の絶縁性部材27の外壁面に配置された電極28a、28b間に直流電圧を印加し、静電界が形成された絶縁性部材27の内部を通過するターゲットTを帯電させる帯電電圧発生部29を有している。この例では、各ターゲットTには、 $500 [\mu C]$ の電荷が与えられる。

加速輸送部24は、ターゲットTが表面を加速されながら輸送される例えば中空の円筒状又は半円筒状の絶縁性部材31の先端部と後端部とに配置された電極32a、32b間に例えば直流電圧を印加し、ターゲットTを加速させるための加速電圧発生部33を有している。

20

【0032】

同期部25は、LED等の発光素子34a（35a）と受光素子34b（35b）との組合せからなる光学式検知器（速度検出手段の一部）34（35）と、基準クロック信号を発生する基準クロック発生回路（速度検出手段の一部）36と、2対の光学式検知器34、35から送られてきた検出信号と、基準クロック発生回路36から供給された基準クロック信号とに基づいて、所定の速度検出位置におけるターゲットTの速度を算出する速度演算部（速度検出手段の一部）37と、予め設定されたターゲットTに加えられる加速度 a と速度演算部37によって算出されたターゲットTの速度と速度検出位置とに基づいて、速度検出位置からレーザ照射位置に到達するまでの所要時間を算出する時間演算部（時間算出手段）38と、トリガパルスを発生するパルス発生回路（トリガ信号供給手段の一部）39と、パルス発生回路39によって生成されたトリガパルスを、時間演算部38によって算出された時間遅延させてレーザ装置2に供給する遅延回路（トリガ信号供給手段の一部）41とを有している。

30

【0033】

この例では、レーザ光Lのパルスの繰返周波数 f に対応させて、ターゲット供給装置5におけるターゲットTの供給条件が設定される。

プラズマ生成装置3のレーザ照射位置に供給されているターゲットTと、このターゲットTの直前に位置し次にレーザ照射位置に供給されるターゲットTとの間の距離である供給間隔 p （図1参照）は、（ $p = 5 [cm]$ ）に設定される。

40

また、搾出速度 v_0 は、（ $v_0 = (d + s) f = (200 [\mu m] + 100 [\mu m]) \times 1 [kHz] = 30 [cm/s]$ ）とされる。

【0034】

また、レーザ照射位置に供給されるターゲットTの供給速度 v_1 は、（ $v_1 = p / (1/f) = 50 [m/s]$ ）とされる。

また、ターゲットTに時間 t_a の間一定の加速度 a が与えられるとすると、（ $v_1 = a t_a = 50 [m/s]$ ）であるので、（ $t_a = 50 [ms]$ ）と設定すると、（ $a = 1000 [m/s^2]$ ）となる。

したがって、加速輸送部24の加速領域の長さ L は、（ $L = (1/2) a t_a^2 = 1.2$

50

5 [m]) となる。

【 0 0 3 5 】

また、ターゲット T に与えられる外力 F は、初速度を 0 [m / s] とすると、ターゲット T の質量 m が、その体積及び密度から ($m = 1.47$ [m g]) と求められることから、 ($F = m a = 1.47$ [N]) と算出される。

上述したように、帯電部 2 3 によって、ターゲット T に 5 0 0 [μ C] の電荷が与えられると、上記供給速度 v_1 を得るために、加速電圧発生部 3 3 によって電極 3 2 a、3 2 b 間に印加される直流電圧 V は、 ($V = 3.65$ [k V]) となる。

【 0 0 3 6 】

次に、図 1 及び図 2 を参照して、この例の E U V 発生装置の動作について説明する。 10

ターゲット供給装置 5 において、図 1 及び図 3 に示すように、加工部 2 2 の高速で回転する回転カッタ 2 6 は、超低温製氷装置 4 から所定の搾出速度 v_0 で搾り出され輸送管 2 1 を介して送られてきたターゲット材料を切断して、所定の寸法及び形状のターゲット T とする。

切断されたターゲット T は、円筒状の絶縁性部材 2 7 の内部を通過することによって所定の電荷を与えられて帯電し、絶縁性部材 3 1 の後端部に落下する。帯電したターゲット T は、加速電圧発生部 3 3 によって印加された加速電圧によって絶縁性部材 3 1 上を所定の加速度で速度を増しながらプラズマ生成装置 3 のレーザ照射位置に向けて輸送される。

【 0 0 3 7 】

ここで、ターゲット T の加速領域の輸送経路上に配置された光学式検知器 3 4、3 5 を通過すると、発光素子 3 4 a から受光素子 3 4 b へ向けて放射された放射光、発光素子 3 5 a から受光素子 3 5 b へ向けて放射された放射光が、それぞれ遮られて、受光素子 3 4 b、3 5 b が対応する検出信号を速度演算部 3 7 へ送る。 20

速度演算部 3 7 は、まず、受光素子 3 4 b から検出信号を受け取り、一定時間後受光素子 3 5 b から検出信号を受け取る。速度演算部 3 7 は、基準クロック発生回路 3 6 から供給される基準クロック信号に基づいて、クロックパルスのパルス数を計数し、両検出信号の受信時刻間の差と、光学式検知器 3 4 と光学式検知器 3 5 との距離とに基づいて、ターゲット T の速度検出位置 (光学式検知器 3 5 の設置位置) における速度を算出し、速度情報を時間演算部 3 8 へ送る。

【 0 0 3 8 】

時間演算部 3 8 は、速度演算部 3 7 から送られてきた速度情報と、予め設定されたターゲット T に加えられる加速度 a と、ターゲット T の速度検出位置とレーザ照射位置との間の距離とに基づいて、ターゲット T の速度検出時刻からレーザ照射位置への到達時刻までに要する時間を算出し、所要時間情報を遅延回路 4 1 に与える。 30

遅延回路 4 1 は、時間演算部 3 8 から送られてきた所要時間情報に基づいて、パルス発生回路 3 9 から供給されたトリガパルスを遅延させて、レーザ装置 2 に供給する。

【 0 0 3 9 】

こうして、レーザ装置 2 は、ターゲット T がレーザ照射位置に到達する所定のタイミングでトリガパルスを受け取り、ターゲット T へ向けてパルス状のレーザ光 L を照射する。

レーザ装置 2 から放射されたパルス状のレーザ光 L は、集光レンズ 8 によって収束されて、ターゲット T に照射される。これによりターゲット T は、瞬時にプラズマ化し、電子遷移による輻射光としての E U V R が生成される。 40

E U V R は、コレクタミラー 9 によって集光されて、E U V 取出ダクト 1 1 から取り出される。再結合して気体に戻ったキセノンは排気ダクト 1 2 から真空排気装置によって排出され、次のレーザ光照射時の E U V R の再吸収が抑制される。

以上の動作は繰り返し行われ、レーザ装置 2 からは、パルス状のレーザ光 L が所定の繰返周波数 f で繰り返し放射され、高速に次々に供給されるターゲット T に照射されて、プラズマ化され、大光量 (大出力) の E U V R が取り出される。

【 0 0 4 0 】

このように、この例の構成によれば、レーザ装置 2 において、比較的高い繰返し周波数で 50

、パルス状のレーザ光 L を放射し、これに対応させてレーザ照射位置に向けてターゲット T を加速輸送部 2 4 において加速して比較的高速に次々に供給するので、比較的高頻度の繰返し発光により、大光量（高出力）の E U V を得ることができる。

また、同期部 2 5 において、ターゲット T の輸送経路上の所定の位置で速度を検出し、ターゲット T がレーザ照射位置に到達するタイミングでレーザ装置 2 にトリガパルスを与えるので、確実にレーザ光 L をターゲット T に照射し、プラズマ化することができる。

【 0 0 4 1 】

また、ターゲット T の大きさは、1 回のパルス状のレーザ光 L の照射で完全にプラズマ化される程度とされているので、例えばプラズマ化されずに残留した気体による E U V の再吸収がなく、再結合して気体に戻ったものも真空排気装置によって迅速に排気され、直後のレーザ光照射時における E U V の再吸収も抑制されるので、一段と大光量の E U V を得ることができる。また、排気についても従来技術と比較して高速に行う必要がない。

特に、ターゲットとして例えば気体を供給するような場合に比較して、高速に行う必要がないので、真空排気装置は必ずしも大型で高性能のものでなくても良い。

また、上述したように、比較的高頻度の繰返し発光が可能であるので、ターゲット T の大きさを比較的小さくし、レーザ装置 2 におけるレーザ光 L 放射の繰返し周波数 f を高めることによって、一段と高効率で大光量の E U V を得ることができる。

【 0 0 4 2 】

また、ターゲット T として超低温で固体化された不活性元素を用いるので、比較的高い変換効率を得ることができるとともに、例えばコレクタミラーに対するデブリによる汚染を防止することができる。

また、ターゲットとして液体や気体を供給する場合のように、ターゲットを供給するためのノズルを必要としないので、ノズル近傍へのレーザ光照射によるノズルへのノズルへの熱的損傷を回避するための工夫も無用であり、ノズルに由来するデブリによる例えばコレクタミラーに対する汚染の心配もない。

【 0 0 4 3 】

第 2 実施例

図 4 は、この発明の第 2 実施例である E U V 発生装置のターゲット供給装置を構成する加速電圧発生部において発生される加速電圧の時間的変化を示す波形図である。

この例が上述した第 1 実施例と大きく異なるところは、第 1 実施例では一定の大きさの加速電圧を印加したのに対して所定周期のパルス状の加速電圧を印加するように構成した点である。

これ以外の構成は、上述した第 1 実施例の構成と略同一であるので、その説明を簡略にする。

【 0 0 4 4 】

この例では、加速輸送部 2 4 は、ターゲット T が表面を加速されながら輸送される絶縁性部材 3 1 の先端部と後端部とに配置された電極 3 2 a、3 2 b 間に比較的短い周期の矩形パルス列の電圧を印加して、ターゲット T を加速させるための加速電圧発生部 3 3 を有している。

加速電圧発生部 3 3 によって発生され、電極 3 2 a、3 2 b 間に印加される加速電圧の波形は、図 4 に示すように、例えば周期 T_0 が、($T_0 = 2 [ms]$)、デューティ比が 50 [%] の矩形パルス状とされる。また、パルスの高さ（電圧値）は、略 7.5 [kV] とされる。また、加速輸送部 2 4 の加速領域の長さ L は、($L = 2.5 [m]$) に設定される。なお、加速時間 t_a は、第 1 実施例と同様に、($t_a = 50 [ms]$) とされる。

【 0 0 4 5 】

この例の構成によれば、上述した第 1 実施例と略同様の効果を得ることができる。

加えて、比較的高い加速電圧を比較的短い周期の矩形パルスとして印加するので、各ターゲット T を確実に分離して加速し、比較的高い繰返し周波数であっても対応してターゲット T を確実にかつ高速に供給することができる。

【 0 0 4 6 】

10

20

30

40

50

以上、この発明の実施例を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施例に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計の変更等があってもこの発明に含まれる。

例えば、上述の実施例では、略鉛直方向に沿って上方からレーザー光を照射し、水平方向からレーザー照射位置に向けてターゲットを供給する場合について述べたが、レーザー光の入射方向（照射方向）及びターゲットの入射方向（供給方向）については、特に限定されず、両者のなす角度も直角とは限らず、鈍角であっても鋭角であっても良い。

また、ターゲットを落下（自由落下又は重力以外の外力を付加）させて水平方向からレーザービームを照射するようにしても良いし、水平方向と限らず斜め上方から又は斜め下方から照射させるようにしても良い。

また、発生させる光波は、EUVとは限らず、可視光線からガンマ線まで含まれる。

【0047】

また、遠心力を利用してターゲットを加速してプラズマ生成装置に供給するようにしても良い。例えば、一端側の回転軸の周りに回転し、他端側にターゲットを上方から受け取って載置し側面を囲んでターゲットを拘束する載置部を配置した腕状部材を設け、回転によってターゲットに所定の運動エネルギーを与え、所定のタイミングで拘束を解いて放出し、レーザー照射位置へ向けてターゲットを入射させるようにしても良い。

ここで、腕状部材は複数設けるようにしても良いし、中央部に回転軸を設け、両端部にターゲットを配置するようにしても良い。また、ターゲットを受け取るときに回転を停止させるようにしても良い。また、腕状部材に限らず円板状部材を回転させ、周縁部にターゲット

を収納し底部が昇降可能とされた凹部を設け、所定のタイミングで底部を上昇させてターゲットを放出するようにしても良い。

【0048】

また、レーザー装置の繰返周波数は、勿論1[kHz]に限らずこれ以上の値であっても良い。また、例えば、数[min]に1つのパルスを、数[kJ]のエネルギーで放射するようにしても良い。

また、回転カッタによって切断されたターゲットをそのまま落下させずに、斜め下方に滑走するように案内しても良い。また、速度検出のためのセンサは、LED等の発光素子と

受光素子との組合せに限らず、例えばドップラ効果を利用するものであっても良い。また、ターゲット材料としては、キセノンに限らず、例えば、アルゴンやクリプトン等の他の不活性元素の固体や、二酸化炭素の固体、アンモニアの固体等を用いるようにしても良い。

【0049】

また、回転カッタは、平板形に限らず、例えば螺旋形状であっても良い。

また、超低温製氷装置の絞出口は、複数設けられていても良い。これらの複数の絞出口からターゲット材料をそれぞれ切り出して、ターゲットを順次加速して、レーザー照射位置に向けて供給するようにしても良い。これにより、一段と高速にターゲットを供給し、大光量のEUVを取り出すことができる。

また、加速輸送部を複数設けて、異なる方向からターゲットをレーザー照射位置に向けて供給するようにしても良いし、ターゲット供給装置を複数設けるようにしても良い。

また、ターゲットを帯電させるのは、回転カッタによる切断後と限らず、切断前であっても良い。

また、算出された速度と予め設定された速度とに基づいて、加速電圧発生部に制御信号を送出して、加速電圧を制御して一定に保つようにしても良い。また、同様に、ターゲット材料の絞出し速度や、回転カッタの回転速度、帯電電圧等も制御するようにしても良い。

【0050】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明の構成によれば、レーザー光の照射位置に向けてターゲット

10

20

30

40

50

を加速して比較的高速に次々に供給するので、比較的高頻度の繰返し発光により、大出力の光波を得ることができる。

例えば、比較的高い繰返し周波数で、パルス状のレーザ光を放射する場合、これに対応させてレーザ照射位置に向けてターゲットを比較的高速に供給することができる。

また、ターゲットの輸送経路上の所定の位置で速度を検出し、ターゲットがレーザ光の照射位置に到達するタイミングで例えばレーザ装置にトリガ信号を与えるので、確実にレーザ光をターゲットに照射し、プラズマ化することができる。

【0051】

また、ターゲットの大きさを、例えば1回のパルス状のレーザ光の照射で完全にプラズマ化される程度とすることによって、プラズマ化されずに残留した気体による光波の再吸収がなく、再結合して気体に戻ったものも真空排気装置によって迅速に排気して、直後のレーザ光照射時における光波の再吸収も抑制されるので、一段と大出力の光波を得ることができる。また、排気についても従来技術と比較して高速に行う必要がない。

特に、ターゲットとして例えば気体を供給するような場合に比較して、高速に行う必要がないので、真空排気装置は必ずしも大型で高性能のものでなくても良い。

【0052】

また、比較的高頻度の繰返し発光が可能であるので、ターゲットの大きさを比較的小さくし、レーザ光放射の繰返し周波数を高めることによって、一段と高効率で大出力の光波を得ることができる。

また、ターゲットを加速する際に、比較的高い加速電圧を比較的小さい周期の矩形パルスとして印加することによって、各ターゲットを確実に分離して加速し、例えば比較的高い繰返し周波数のパルス状のレーザ光を照射する場合であっても、ターゲットを確実にかつ高速に供給することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、この発明の第1実施例であるEUV発生装置の構成を示す図である。

【図2】同EUV発生装置のプラズマ生成装置の主要部及びターゲット供給装置の同期部の構成を示す図である。

【図3】図1のA-A線に沿った断面図である。

【図4】この発明の第2実施例であるEUV発生装置のターゲット供給装置を構成する加速電圧発生部において発生される加速電圧の時間的変化を示す波形図である。

【符号の説明】

- 1 EUV発生装置(光波発生装置)
- 2 レーザ装置
- 3 プラズマ生成装置
- 4 超低温製氷装置
- 5 ターゲット供給装置
- 2 2 加工部
- 2 3 帯電部(帯電手段)
- 2 4 加速輸送部(加速手段)
- 2 5 同期部(同期手段)
- 2 9 帯電電圧発生部
- 3 3 加速電圧発生部
- 3 4、3 5 光学式検出器(速度検出手段の一部)
- 3 6 基準クロック発生回路(速度検出手段の一部)
- 3 7 速度演算部(速度検出手段の一部)
- 3 8 時間演算部(時間算出手段)
- 3 9 パルス発生回路(トリガ信号供給手段の一部)
- 4 1 遅延回路(トリガ信号供給手段の一部)
- L レーザ光
- R EUV(光波)

10

20

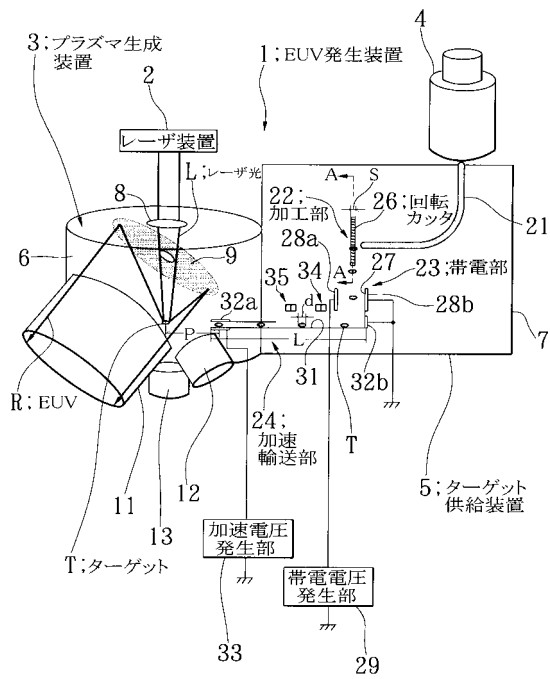
30

40

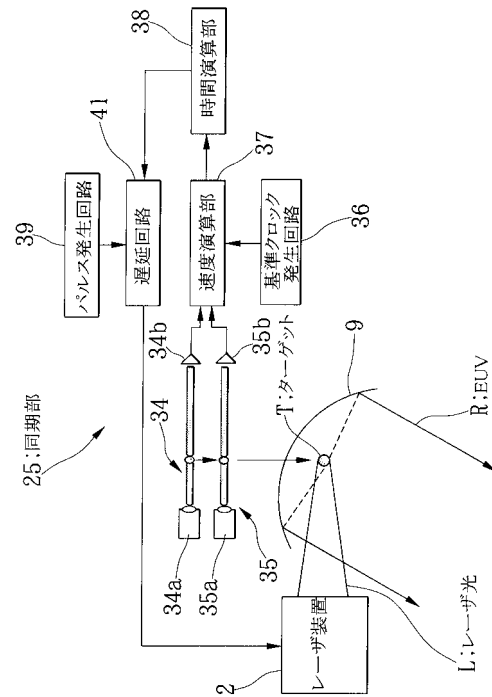
50

T ターゲット

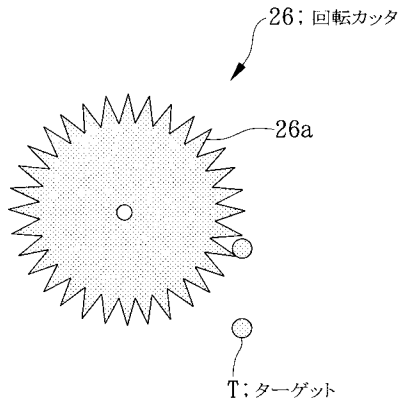
【図1】



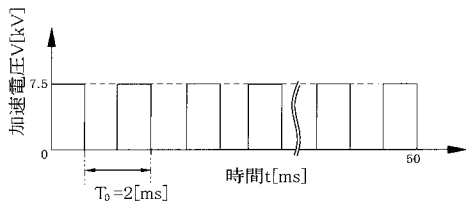
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I
H 0 5 G 2/00 (2006.01) H 0 5 G 1/00 K
H 0 5 H 1/24 (2006.01) H 0 5 H 1/24

(56) 参考文献 特表 2 0 0 4 - 5 1 5 8 8 4 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 1 0 8 7 9 9 (J P , A)
特開平 1 1 - 3 4 5 6 9 8 (J P , A)
特開昭 6 4 - 0 0 6 3 4 9 (J P , A)
特開昭 6 1 - 1 5 3 9 3 5 (J P , A)

(58) 調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 21/027
G21K 1/00、5/00、5/02、5/08
H05G 2/00
H05H 1/24