

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4330344号
(P4330344)

(45) 発行日 平成21年9月16日(2009.9.16)

(24) 登録日 平成21年6月26日(2009.6.26)

(51) Int.Cl.

F I

H05G 2/00 (2006.01)
G21K 1/00 (2006.01)
G21K 5/08 (2006.01)
H05H 1/24 (2006.01)

H05G 1/00 K
G21K 1/00 X
G21K 5/08 X
H05H 1/24

請求項の数 43 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2002-580685 (P2002-580685)
(86) (22) 出願日 平成14年3月23日(2002.3.23)
(65) 公表番号 特表2004-530269 (P2004-530269A)
(43) 公表日 平成16年9月30日(2004.9.30)
(86) 国際出願番号 PCT/DE2002/001085
(87) 国際公開番号 W02002/082872
(87) 国際公開日 平成14年10月17日(2002.10.17)
審査請求日 平成16年12月17日(2004.12.17)
(31) 優先権主張番号 101 17 377.6
(32) 優先日 平成13年4月6日(2001.4.6)
(33) 優先権主張国 ドイツ(DE)
(31) 優先権主張番号 101 39 677.5
(32) 優先日 平成13年8月11日(2001.8.11)
(33) 優先権主張国 ドイツ(DE)

(73) 特許権者 594102418
フラウンホーファー-ゲゼルシャフト ツ
ル フェルデルング デル アンゲヴァン
テン フォルシュング エー ファウ
Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung
der angewandten Fo
rschung e. V.
ドイツ連邦共和国 ミュンヘン ハンザシ
ユトラーセ 27 ツェー
Hansastrasse 27c, D
-80686 Muenchen, Ge
rmany

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超紫外線及び軟X線の発生方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パッシェン曲線の左側分枝部で駆動されるガス放電を用いて、超紫外線および軟X線を発生する方法であって、

所定のガス圧力に調整されたガスが充填された放電空間(10)と2つの電極(11, 12)とを使用し、

該2つの電極は各々1つの、同じ対称軸(13)上に形成された開口(14, 15)を有しており、

電圧上昇(16)の経過中、所定の点火電圧(Uz)に達した際、前記電極(11, 12)の開口(14, 15)の領域内に位置するプラズマ(17)が形成され、

該プラズマ(17)は、発生すべき放射(17)のソースであり、

前記プラズマ(17)は、前記ガス圧力の制御によって、および/またはトリガ電極(19)に印加されるトリガ電圧の変化によって点火され、

前記プラズマ(17)の前記点火によって、エネルギー蓄積器は、前記電極(11, 12)を用いて蓄積エネルギーを前記プラズマ(17)中に自発的に供給する方法において、

前記点火電圧(Uz)に達した後、ユーザによって決定された時間期間中、点火遅延(18)の間、プラズマ(17)の点火を阻止し、

前記点火遅延(18)の経過後初めて前記プラズマ(17)を点火することを特徴とする方法。

【請求項 2】

10

20

前記点火遅延（１８）を、前記ガス圧力を高めることによって短縮し、または前記ガス圧力を低くすることによって延長する請求項１記載の方法。

【請求項３】

プラズマ（１７）の点火領域に作用するトリガ電極（１９）に印加されるトリガパルスを作動することによって点火する請求項１または２記載の方法。

【請求項４】

圧力間隔内でのガス圧力の変動により、所定の点火遅延（１８）を達成するようにトリガする請求項１から３迄の何れか１記載の方法。

【請求項５】

ユーザによって決定されたトリガ遅延（２０）のあるトリガを用いる請求項１から４迄の何れか１記載の方法。

10

【請求項６】

電圧上昇（１６）および/または所定の点火電圧（ U_z ）への到達時点を測定技術により検出し、当該検出結果を用いて、前記ガス圧力および/または前記トリガ電極（１９）に印加されるトリガ電圧を変える請求項１から５迄の何れか１記載の方法。

【請求項７】

点火時点（ t_z ）を測定技術により検出する請求項１から６迄の何れか１記載の方法。

【請求項８】

点火時点（ t_z ）を電極電圧（ U ）の電圧微分（ dU/dt ）の測定を用いて、および/または電極電流の電流微分（ dI/dt ）の測定を用いて測定する請求項１から７迄の何れか１記載の方法。

20

【請求項９】

所定の点火電圧（ U_z ）への到達時点と点火時点（ t_z ）との間の時間を測定し、該測定結果を用いて、前記ガス圧力を所定の点火遅延（１８）に相応して調整する請求項１から８迄の何れか１記載の方法。

【請求項１０】

各電極（１１，１２）に印加される電圧を、電圧上昇（１６）の開始から、推定による点火時点（ t_z ）を含む所定時間に亘って測定技術により検出し、該測定技術による検出のために、点火電圧積分器を用いる請求項１から９迄の何れか１記載の方法。

30

【請求項１１】

電極（１１，１２）に印加される電圧（ U ）を測定技術により検出し、到達した点火電圧値（ U_z ）を、前記電圧（ U ）の印加に続いて電圧上昇（１６）が開始するまで記憶する請求項１から１０迄の何れか１記載の方法。

【請求項１２】

各電極にエネルギー蓄積器として直接接続されているコンデンサバンク（２１）の充電状態を、電圧上昇（１６）の間連続して監視し、ユーザによって決定された点火電圧（ U_z ）に達した後、トリガ遅延してからトリガする請求項１から１１迄の何れか１記載の方法。

【請求項１３】

所定の点火電圧（ U_z ）を、コンデンサバンク（２１）の少なくとも１つのキャパシタンスパラメータに依存して補正し、補正された点火電圧（ U_z ）に達した後、ユーザによって決定された時間期間である点火遅延（１８）の間、プラズマ（１７）の点火を阻止し、前記点火遅延（１８）の経過後初めて前記プラズマ（１７）を点火する請求項１から１２迄の何れか１記載の方法。

40

【請求項１４】

電極の中間スペース（２２）の荷電担体に作用するトリガ電極（１９）を用いてトリガし、該トリガ電極（１９）の、陰極に対して形成される遮断電位を低減する請求項１から１３迄の何れか１記載の方法。

【請求項１５】

50

エネルギー蓄積器を、プラズマ(17)の消去後、ガスが完全には再結合しなくても、所定の点火電圧(Uz)が達成される迄充電する請求項1から14迄の何れか1記載の方法。

【請求項16】

各電極(11, 12)間で、発生すべき2つの放射間の時間内に形成されるプラズマ放電により、高抵抗プラズマを燃焼させる請求項15記載の方法。

【請求項17】

プラズマ(17)を前記トリガ電極(19)を用いて点火し、該トリガ電極(19)の電位を、トリガ過程の開始前に、陰極として使用される各電極(11, 12)の一方の電極(11)の電位よりも高くする

10

請求項1から16までのいずれか一項記載の方法。

【請求項18】

陰極として使用される電極(11)を基準にしたトリガ電極(19)のトリガ電圧と、両電極(11, 12)の電圧と、放電空間(10)のガスの圧力とを、トリガ電圧の印加時にプラズマ(17)が点火されないように調整し、

前記プラズマの点火はトリガ電圧の遮断によって初めて開始される請求項17記載の方法。

【請求項19】

0Hzよりも大きく100Hz迄の間の繰り返し周波数で駆動する請求項17または18記載の方法。

20

【請求項20】

スイッチオンおよびスイッチオフによって調整可能な、長い作動間隔で駆動し、該作動間隔中、各々固定の繰り返し周波数を用いる請求項17から19迄の何れか1記載の方法。

【請求項21】

パッシェン曲線の左側分枝部で駆動されるガス放電を用いる、超紫外線および軟X線の発生装置であって、

所定のガス圧力に調整されたガスが充填された放電空間(10)と2つの電極(11, 12)とが設けられており、

該2つの電極は各々1つの、同じ対称軸(13)上に形成された開口(14, 15)を有しており、

30

前記開口(14, 15)は、電圧上昇(16)の経過中、所定の点火電圧(Uz)に達すると、前記開口(14, 15)の領域内に位置するプラズマ(17)を有し、

該プラズマ(17)は、発生すべき放射(17)のソースであり、

前記各電極の前記開口(14, 15)は、軸方向に相互に離隔している形式の発生装置において、

前記2つの電極(11, 12)のうちの一方である第1の電極(11)で限定された空間(23)内に、プラズマ(17)の点火領域に作用するトリガ電極(19)が設けられており、該トリガ電極にはトリガ電圧が印加され、

前記点火電圧(Uz)に達した後、ユーザによって決定された時間期間中、点火遅延(18)の間、プラズマ(17)の点火を阻止し、前記点火遅延(18)の経過後初めて前記プラズマ(17)を点火する手段を有し、

40

前記トリガ電極(19)は、壁部(29)として構成されており、

該壁部は、少なくとも扁平部分を有しており、

該扁平部分は、前記第1の電極(11)の開口(14)から、ユーザによって決定された所定間隔を有している

ことを特徴とする装置。

【請求項22】

前記第1の電極(11)は、中空電極として構成されており、

前記トリガ電極(19)は、壁または壁部として前記中空電極の幾何形状内に構成され

50

ている請求項 2 1 記載の装置。

【請求項 2 3】

前記トリガ電極 (1 9) は、中空電極に平行であり、かつ当該中空電極の開口 (1 4) に対向する後壁として構成されている請求項 2 1 または 2 2 記載の装置。

【請求項 2 4】

前記トリガ電極 (1 9) は、対称軸 (1 3) に設けられた貫通孔 (2 4) を有する請求項 2 1 から 2 3 迄の何れか 1 記載の装置。

【請求項 2 5】

前記貫通孔 (2 4) 、および/または前記対称軸 (1 3) に平行な孔 (2 4) は、ガスの入口として構成されている請求項 2 4 記載の装置。

10

【請求項 2 6】

前記トリガ電極 (1 9) は、ポット状に形成されており、
ポットの底部 (1 9) 上に垂直なポット軸 (2 5) は、各電極 (1 1 , 1 2) の対称軸 (1 3) と同じ位置である請求項 2 1 から 2 5 迄の何れか 1 記載の装置。

【請求項 2 7】

前記トリガ電極 (1 9) は、第 1 の電極 (1 1) と共にアイソレータ (2 6) の上に一緒に構成されている請求項 2 1 から 2 6 迄の何れか 1 記載の装置。

【請求項 2 8】

前記第 1 の電極 (1 1) は、当該電極 (1 1) の開口 (1 4) に対して同心状のリングフランジ (2 7) を有しており、

20

該リングフランジは、各々電位分離距離を保ちつつ、アイソレータ (2 6) とオーバーラップしてトリガ電極 (1 9) に当接しているか、または前記トリガ電極 (1 9) の環状切欠部 (2 8) 内に詰め込まれている請求項 2 1 から 2 7 迄の何れか 1 記載の装置。

【請求項 2 9】

パッシェン曲線の左側分枝部で駆動されるガス放電を用いる、超紫外線および軟 X 線の発生装置であって、

所定のガス圧力に調整されたガスが充填された放電空間 (1 0) と 2 つの電極 (1 1 , 1 2) とが設けられており、

該 2 つの電極は各々 1 つの、同じ対称軸 (1 3) 上に形成された開口 (1 4 , 1 5) を有しており、

30

前記開口 (1 4 , 1 5) は、電圧上昇 (1 6) の経過中、所定の点火電圧 (U_z) に達すると、前記開口 (1 4 , 1 5) の領域内に位置するプラズマ (1 7) を有し、

該プラズマ (1 7) は、発生すべき放射 (1 7) のソースであり、

前記各電極の前記開口 (1 4 , 1 5) は、軸方向に相互に離隔している形式の発生装置において、

前記 2 つの電極 (1 1 , 1 2) のうちの一方である第 1 の電極 (1 1) で限定された空間 (2 3) 内に、プラズマ (1 7) の点火領域に作用するトリガ電極 (1 9) が設けられており、該トリガ電極にはトリガ電圧が印加され、

前記点火電圧 (U_z) に達した後、ユーザによって決定された時間期間中、点火遅延 (1 8) の間、プラズマ (1 7) の点火を阻止し、前記点火遅延 (1 8) の経過後初めて前記プラズマ (1 7) を点火する手段を有し、

40

前記トリガ電極 (1 9) は、対称軸 (1 3) に形成される部分ビームの外側に設けられているか、または当該部分ビームを阻止する遮蔽部 (3 5) を有していることを特徴とする装置。

【請求項 3 0】

前記トリガ電極 (1 9) は、電極 (1 1 , 1 2) の開口 (1 4 , 1 5) の対称軸に設けられており、

前記開口 (1 4 , 1 5) 側の端面 (3 4) は、少なくとも部分ビームの形成領域内にアイソレータを遮蔽部 (3 5) として有している請求項 2 9 記載の装置。

【請求項 3 1】

50

前記アイソレータは、前記トリガ電極（１９）の端面（３４）上に堆積された層として形成されている請求項３０記載の装置。

【請求項３２】

前記アイソレータは、前記トリガ電極（１９）の端面（３４）内に詰め込まれた部材として形成されている請求項３０記載の装置。

【請求項３３】

前記アイソレータは、部分ビームに一致する横断面を有する凹部（３６）を有する請求項３２記載の装置。

【請求項３４】

前記アイソレータの凹部（３６）は、円錐状に先細にされて形成されている請求項３３記載の装置。 10

【請求項３５】

前記トリガ電極（１９）は、前記第１の電極（１１）で限定された空間（２３）に対して完全に絶縁されている請求項２９から３４迄の何れか１記載の装置。

【請求項３６】

前記トリガ電極（１９）の遮蔽部（３５）は、残留コンダクタンスを有しており、該残留コンダクタンスは、表面電荷を除去し、かつ前記第２の電極（１２）と前記トリガ電極（１９）との間の放電を制御する電流を阻止する請求項２９から３５迄の何れか１記載の装置。

【請求項３７】

前記トリガ電極（１９）は、対称軸を囲む中空円筒部として構成されている請求項２９記載の装置。 20

【請求項３８】

中空円筒状のトリガ電極（１９）は、前記２つの電極（１１，１２）とは反対側の底部を有しており、

該底部は、アイソレータとして構成されているか、または前記各電極（１１，１２）の一方の電極の電位を有する金属底部であり、

前記金属底部は、前記トリガ電極（１９）に対して絶縁されている請求項３７記載の装置。

【請求項３９】

前記トリガ電極（１９）は、環状盤であるか、または少なくとも１つの電極ピンであり、

単数又は複数の前記電極ピンは、前記第１の電極（１１）内の各電極（１１，１２）の対称軸（１３）に対して横方向に組み込まれている請求項２９記載の装置。

【請求項４０】

前記トリガ電極（１９）は、第１の電極（１１）内に絶縁されて組み込まれている請求項２９から３９迄の何れか１記載の装置。

【請求項４１】

前記遮蔽部（３５）は、温度安定性絶縁材料製である請求項２９から４０迄の何れか１記載の装置。 40

【請求項４２】

前記遮蔽部（３５）は、前記トリガ電極（１９）と良好に熱伝導するように結合されている請求項２９から４１迄の何れか１記載の装置。

【請求項４３】

前記遮蔽部（３５）は、少なくとも、開口（１４，１５）の直径に相応する直径を有している請求項２９から４２迄の何れか１記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、パッシェン曲線の左側分枝部で駆動されるガス放電を用いて、超紫外線およ 50

び軟 X 線を発生する方法であって、

所定のガス圧力に調整されたガスが充填された放電空間と 2 つの電極とを使用し、

該 2 つの電極は各々 1 つの、同じ対称軸上に形成された開口を有しており、

電圧上昇の経過中、所定の点火電圧に達した際、前記電極の開口の領域内に位置するプラズマが形成され、

該プラズマは、発生すべき放射のソースであり、

前記プラズマは、前記ガス圧力の制御によって、および/またはトリガ電極に印加されるトリガ電圧の変化によって点火され、

前記プラズマの前記点火によって、エネルギー蓄積器は、前記電極を用いて蓄積エネルギーを前記プラズマ中に自発的に供給する方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

前述の方法ステップを有する方法は、ドイツ連邦共和国特許公開第 1 9 7 5 3 6 9 6 号公報から公知である。この方法は、放電空間を形成する電極系を有する装置で実行される。この電極系により、超紫外線及び/又は軟 X 線が発生され、殊に、EUV リソグラフィ用に使用される。電極系は、2 つの電極、即ち、陰極と陽極とからなり、各々 1 つの開口を有するように形成されている。この開口は、共通の対称軸上に位置している、ほぼ 1 つの孔と、2 つの開口である。陰極は、中空陰極として構成されており、つまり、中空空間を有している。この陰極は、電界を所定のように形成するために使われる。殊に、電極の装置構成は、開口領域内に力線が十分に延在していて、それにより、破壊放電条件が所定の電圧の上側に相応しているようにされる。放電空間にはガスが充填されており、このガスの圧力は、少なくとも電極系の領域内で $1 \text{ Pa} \sim 100 \text{ Pa}$ のオーダー内にある。各電極の幾何形状及びガスの圧力は、プラズマの所要の点火が、パッシェン曲線の左側分枝部で行われ、その結果、各電極間で各開口の外側で誘電性の破壊放電が生じないように選定されている。この点火の結果、電流駆動式のプラズマチャンネルが軸対称に、即ち、各電極の各開口の領域内に形成されている。そのために、エネルギー蓄積器を用いて、このチャンネルを介して電流が輸送される。このチャンネルを介して電流が輸送される。その結果生じるローレンツ力により、プラズマが狭められる。この狭幅効果の結果、及び、抵抗性の加熱の結果、プラズマ中に非常に高い温度が発生し、非常に短い波長の放射が発生される。公知の装置は、 $10 - 20 \text{ nm}$ の波長領域内の EUV 光を発生することができる。

20

30

【0003】

この方法にとって重要なのは、電極系とエネルギー蓄積器との間のスイッチング要素を基本的になくすることができる点にある。従って、電極系内に電氣的に蓄積されたエネルギーの低誘電性且つ実効性のある入力結合を達成することができる。数キロアンペア～数 10 キロアンペアの領域内で電流パルスが発生するのに、小ジュールのプラスエネルギーで充分である。制御された、又は、自己破壊放電で駆動される放電でのエネルギー入力結合が、所定の点火電圧に調整して行われる。この点火電圧は、例えば、ガスの成分、温度、予備電離、電場分布及び他の量によって影響される。この点火電圧は、パッシェン曲線に相応して、放電容器のガスの圧力を用いて調整することができる。この点火電圧に至る迄、点火時にできる限りたくさんのエネルギーをプラズマ中に供給することができるために、エネルギー蓄積器も充電する必要がある。

40

【0004】

本発明の課題は、冒頭に記載した方法ステップを有する方法を改善して、放射収量、つまり、殊に、パルス毎の EUV 光の収量を改善すること、EUV 光発生のためにパルス駆動により実行される方法が利用される相互に連続する多数の放電のパルス毎の安定性を改善することにある。

【0005】

前述の課題は、請求項 1 記載の特徴要件によって解決される。

【0006】

点火遅延を行う、この方法の駆動により、導電性プラズマの構成を延長することができ

50

るようになる。従って、放電に必要な、低抵抗性のスタートプラズマ、つまり、点火電圧に達した後、各電極の各開口領域内に形成されるプラズマの円筒対称性を改善することができる。それに続いて、点火遅延により、EUV収量/パルス及びパルス毎の安定性を改善することができるようになる。所定の方法では、50Hz～500Hzのパルス駆動領域内で、約1msの点火遅延を選択した場合に観測することができる。

【0007】

点火遅延を制御するために、ガスの圧力を高めることによって点火遅延量を少なくしたり、又は、ガスの圧力を低めることによって点火遅延量を多くしたりされる。ガスの圧力をそのように変化させることは、殊に、ガスが電極系の領域を通して流れ、例えば、繰り返し周波数に作用し、つまり、比較的高いパルス周波数で方法を実行することができるようにすると、容易に達成される。

10

【0008】

点火遅延を制御するために、この方法は、プラズマの点火領域を制御するトリガ電極に印加されるトリガパルスを作動することによって点火を行うように実行することができる。トリガにより、プラズマの点火領域内の荷電担体の分布が制御され、従って、点火が有効に行われる時点にも作用が及ぼされる。

【0009】

所定の点火遅延を達成するために、ガスの圧力の圧力間隔を用いてトリガを行うようにすると目的に適っている。この場合、圧力もトリガ時点も調整される。つまり、放電は、トリガ駆動時でも、所定の圧力間隔内でしか安定して駆動することができず、乃至、そもそも駆動すらできないからである。

20

【0010】

前述のトリガに関連して、この方法は、所定のトリガ遅延のあるトリガが用いられるようにして実行することができる。それに応じて、点火遅延は大きくされる。

【0011】

自己破壊放電で駆動される放電時の供給エネルギーは、破壊放電、つまり、プラズマの点火によって自発的に入力結合され、その際、エネルギー蓄積器を、点火が行われる前にパルス駆動を考慮して充電する必要がある。従って、電圧上昇部についての情報、及び、所定の点火電圧に達したことについての情報を必要とする。その結果、この方法は、電圧上昇及び/又は所定点火電圧達成を測定技術により検出し、この測定結果を考慮して、ガスの圧力及び/又はトリガに作用が及ぼされる。連続する制御の範囲内で作用が及ぼされる場合、ガスの圧力乃至トリガ遅延が調整量として利用される。従って、所望の点火遅延を達成することができ、乃至、測定技術上監視することができる。

30

【0012】

点火時点を測定技術により検出するようにしてもよい。従って、点火電圧の達成時点と有効な点火時点との間で経過する、点火遅延に相応する時間を検出することができる。

【0013】

点火時点の測定技術による検出を行うために、点火時点を電極電圧の電圧微分の測定を用いて、及び/又は、電極電流の電流微分の測定を用いて測定するようにするとよい。点火の開始のために、各電極に印加される電圧が放電中流れる電流と同様に急速に変化する。電圧は低減し、電流は振動し、両方とも高い信頼度で検出することができる。

40

【0014】

点火遅延は、所定の点火電圧の達成と点火時点との間の時間を測定すること、及び、ガスの圧力を測定結果を用いて所定の点火遅延に相応して調整することによって制御することができる。所定の点火電圧の達成と点火時点との間の時間は、例えば、アナログ的に積分器を用いて、又は、デジタル的にカウンタを用いて測定される。この時間は、調整器に測定量として供給され、この測定量により、それに相応してガスの圧力を点火遅延が安定化するように調整される。一連の放電過程を介して、つまり、所定数のパルスに亘って平均化することができる。

【0015】

50

特別な方法では、各電極に印加される電圧を、電圧上昇部の開始から、推定による点火時点を含む所定時間に亘って測定技術により検出し、該測定技術による検出のために、有利には、点火電圧積分器を用いることによって特徴付けられる。つまり、この推定による点火時点を含む所定時間は、充電過程乃至電圧上昇のために電極で必要とされる時間を超過する。その結果、点火電圧についての情報も点火遅延についての情報も同じ信号で求めることができる。点火電圧積分器により、多数の情報を同じ測定信号から得ることができるようになる。

【0016】

更に、この方法を、電極に印加される電圧を測定技術上検出する際に、それに続く電圧上昇の開始時迄に達成される点火電圧値を記憶することが含まれるように変更することができる。この記憶は、例えば、サンプルアンドホールド回路を用いて行われる。

10

【0017】

各電極にエネルギー蓄積器として直接接続されているコンデンサバンクの充電状態を、電圧上昇の間連続して監視し、所定の点火電圧に達した後、必要に応じて所定のようにトリガ遅延してからトリガするようにすると目的に適っている。コンデンサバンクの充電状態についての情報が、適切な電子回路を用いて得られ、評価される。この情報は、ガスの圧力及び/又はトリガパルスの作動を制御する、前述のやり方によって方法を作動することができる。

【0018】

いろいろな高電圧コンデンサで、当該コンデンサの容量は温度に強く依存する。そのような場合、コンデンサのエネルギーを点火時点迄一定に保持する必要がある。この際、点火電圧を一定にすることよりもむしろ、補正計算を実行して所定の点火電圧を補正する必要がある。そのような補正計算のために、コンデンサの温度が測定され、又は、印加充電電圧の充電勾配の期間に亘って容量を測定して、相応に補正することができる。

20

【0019】

特別な方法は、電極の中間スペースの荷電担体に作用するトリガ電極を用いてトリガし、該トリガ電極の、陰極に対して形成される遮断電位を低減することの特徴とする。このようにして、トリガパルスを所定時点で、点火遅延を制御することができるようにすることができる。

【0020】

30

高いEUV光収量に関して、エネルギー蓄積器を、プラズマの消去後完全にはガスを再結合せずに、所定の点火電圧に達する迄充電することができる。そうすることによって、殊に、繰り返し周波数を上昇することができ、その際、エネルギー蓄積器を短い時間間隔で再度充電することができる。

【0021】

各電極間で、発生すべき2つの放射間の時間内に形成されるプラズマ放電により、高抵抗プラズマを燃焼させるようにしてもよい。高抵抗プラズマにより、高電流放電のスタートプラズマ用の条件を改善することができるようになる。

【0022】

自己破壊放電で駆動される放電時の供給エネルギーは、破壊放電、つまり、プラズマの点火によって自発的に入力結合される。その際、パッシェン曲線の条件によって決められる唯一の破壊点しか、非トリガ放電系は有していない点が考慮される。この点は安定していない。電極系が殊に放電空間内で加熱される場合、同じ電圧で破壊されなくなる。

40

【0023】

更に、破壊は高速シーケンスで繰り返されて、連続放射を形成することができる。2つの破壊間で、この系は、放電空間内でのガスの再結合のために所定時間を必要とする。この時間中、ガスは、少なくとも部分的に再度その出発状態に戻し、その結果、エネルギー蓄積器は新たに充電され、その各電極に所要電圧を形成することができる。その結果、系の状態は、最後の破壊が行われる時点、乃至、放射が行われる繰り返し周波数の程度にも依存する。高い繰り返し周波数では、パッシェン曲線上の作動点は、低い繰り返し周波数の

50

場合とは別である。実際には、繰り返し周波数は極めて制限されることがある。つまり、そもそも安定した作動点を多数見つけることはできないからである。それと関連して、所定の繰り返し周波数から他の繰り返し周波数に高速に切り換えることはできず、所定の繰り返し周波数でも繰り返しスイッチオンオフすることができる。殊に、各露光過程間で、装置を調整するために休止期間を挿入する必要があるリソグラフィ装置が駆動される場合には、スイッチオンオフは重要である。

【 0 0 2 4 】

従って、本発明の課題は、請求項 1 7 の上位概念に記載の要件を有する方法を改善して、パルス駆動中実行される E U V 光の発生方法で、パルスを正確に制御することができるようにし、殊に、放電過程の広範なパラメータ領域内で、E U V 光の放射収量も上述の課題を解決するように改善することにある。

10

【 0 0 2 5 】

この課題は、請求項 1 7 記載の特徴要件によって解決される。

【 0 0 2 6 】

トリガにより、プラズマの点火条件を制御することができる。殊に、トリガにより、プラズマの点火領域内での荷電担体の分布を制御し、従って、有効に点火される時点も制御することができる。その際、トリガ過程の開始前でのトリガ電極の電位は、陰極の電位よりも高い。その結果、破壊しないように放電空間内の電磁場の形成を制御することができる。これは、破壊を阻止する電位が除かれた場合に初めて可能である。

20

【 0 0 2 7 】

特別なやり方では、この方法は、トリガ電極の、陰極として使用される電極に対する電圧、両電極の電圧及び放電空間のガスの圧力を、トリガ電圧の印加時に、トリガ電圧の遮断を用いて初めて開始されるプラズマが点火されないように調整するように実施される。トリガ電圧のスイッチオフにより、放電空間内に、破壊条件が充足されるように電場を形成することができる。破壊の時点は、トリガ信号によって、即ち、トリガ電圧のスイッチオフによって正確に決めることができる。放電のパラメータ領域を著しく拡張することができることも重要である。ガス空間内の圧力、各電極の間隔、及び、各電極の電圧は、トリガ電圧に依存して種々異なって選択することができる。トリガされない場合には、破壊が、パッシェン曲線上の唯一の点によってしか決められないが、トリガされる場合には、トリガパルス後に破壊が生じる、大きな電圧領域 U 又は破壊領域 P を決めることができる。

30

【 0 0 2 8 】

パラメータを、繰り返し周波数 $> 0 \text{ Hz} \sim 100 \text{ kHz}$ で方法を駆動するように調整することができる。良好な結果は、繰り返し周波数 10 kHz で得られる。

【 0 0 2 9 】

更に、この方法を、スイッチオンオフによって調整可能な長い駆動間隔で駆動し、この駆動中、各々固定の繰り返し周波数が使用されるように実行することができる。駆動間隔は、スイッチオンで開始し、スイッチオフで終了する。駆動間隔中、例えば、ウェーバが部分領域内で露光される。露光に必要な放射は、前述の方法の 1 つに従って、固定繰り返し周波数で実行される。駆動間隔後、露光装置及び / 又はウェーバが調整されて、同じウェーバ又は他のウェーバの新たな露光後、所定の繰り返し周波数で、この方法を新たに実行することができる。

40

【 0 0 3 0 】

本発明は、請求項 2 1 の上位概念に記載の要件を有する装置にも関わる。その種の装置は、殊に、前述の方法を実行するために、電極の寿命を延ばし、電極の冷却可能性を良好にするように改善する必要がある。前述の課題は、請求項 2 1 記載の特徴要件によって解決される。トリガ電極を壁部として構成することによって、温度及びプラズマによって材料が切除された場合にも、長期に亘って保持することができ、トリガ電極の大きな面積を良好に冷却することができ、それにより、寿命を長くすることができるようになる。それと同時に、トリガ電極を第 1 の電極の開口から所定の間隔に装置構成して、磁場の形成に

50

必要な電場を第１の電極を用いて成形することができるようになる。

【００３１】

前述のように、装置を、第１の電極が中空電極として構成され、トリガ電極を壁部又は壁部分として、この中空電極の幾何形状で形成するようにすると有利である。電極構造が相応に簡単になる。

【００３２】

トリガ電極を、中空電極に平行な、当該中空電極の開口に対向する後壁として構成すると、電極構造を特に簡単にすることができる。殊に、電極の孔の対称軸に関して、電極系を対称に形成することができる。

【００３３】

トリガ電極は、対称軸に設けられた貫通孔を有すると、有利である。

【００３４】

そうすることによって、放電時に発生される粒子ビームと、それに伴うパルス状電流（典型的には数１０アンペア）が、トリガ電極を介して不所望にもトリガ電子回路に流れる。

【００３５】

中空電極の構成のために、トリガ電極は、ポット状に形成されており、ポットの底部上に垂直なポット軸は、各電極の対称軸と同じ位置であるようにすると有利である。

【００３６】

トリガ電極は、第１の電極と共にアイソレータの上に一緒に構成されているようにして、簡単に構成することができる。アイソレータにより、第１の電極とトリガ電極とを異なる電位に保持することができるようになる。

【００３７】

装置の前述の構成では、第１の電極は、当該電極の開口に対して同心状のリングフランジを有しており、該リングフランジは、各々電位分離距離を保ちつつ、アイソレータとオーバーラップしてトリガ電極に当接しており、又は、トリガ電極の環状切欠部内に詰め込まれているように特徴付けることができる。このようにして、アイソレータが蒸発したり短絡したりするのを回避することができる。

【００３８】

本発明は、請求項２９の上位概念に記載の要件を有する装置にも関する。そのような装置では、放電空間内が電離される。電場内の可動イオンがトリガ電極に衝突し、一般的には、電極の金属表面から２次電子が放出されるのに十分な大きさのエネルギーを有している。この電子は、電位差のために陽極に達する。その結果、陽極とトリガ電極との間に、導電性のチャネルが形成され、その際、電極の開口領域内に所望の破壊は生じない。その際、エネルギー蓄積器の蓄積エネルギーの極めて大きな部分がトリガ回路を介して放電し、この回路が破壊される恐れが伴う。

【００３９】

更に、導電チャネルの形成の結果、トリガ電極の電位が、陽極のレベルに低下し、それにより、陰極よりも高い電圧が形成されることにより、問題が生じることがある。その結果、陰極とトリガ電極との間で不所望な放電が生じ、同様に、装置の申し分のない機能に妨害となる作用を及ぼす。

【００４０】

最後に、イオンビーム乃至粒子ビームが、その高いエネルギーに基づいて少なくとも部分的に陰極に飛散することがある。それにより、不所望にも損耗し、周辺表面上に飛散粒子が堆積することがある。

【００４１】

それに対して、本発明の課題は、前述の要件を有する装置を、機能を妨害せずに長い寿命を達成するように構成することにある。

【００４２】

前述の課題は、請求項２９記載の特徴要件によって解決される。坦体電極が、対称軸に

10

20

30

40

50

形成された粒子ビームの外側に設けられている場合、この軸で加速される粒子乃至イオンは、坦体電極に照射されない。従って、前述の不都合な作用は、少なくともかなり小さくすることができる。トリガ電極に遮蔽部を設け、それにより、トリガ電極と陽極との間に導電チャネルが形成されるのを阻止するようにしても、同様の効果が達成される。

【0043】

装置の有利な構成は、トリガ電極は、電極の開口の対称軸に設けられており、前記開口側の端面は、少なくとも部分ビームの形成領域内にアイソレータを遮蔽部として有しているようにして特徴付けられる。トリガ電極は、放電空間内で力線を確実に均一に制御することができるように、対称軸に構成されている。アイソレータにより、トリガ電極を所望のように保護することができ、その際、放電空間内の力線は大して歪まない。

10

【0044】

アイソレータは、トリガ電極の端面上に堆積された層として形成されているようにすると有利である。この場合、トリガ電極は、極めて少ない材料コストで十分に保護することができる。

【0045】

しかし、装置は、アイソレータは、トリガ電極の端面内に詰め込まれた部材として形成されているように構成してもよい。この場合、トリガ電極は、通常のメカニク的な製造手段を用いてアイソレータと一緒に組み立ててもよい。

【0046】

装置の有利な実施例は、アイソレータは、部分ビームに一致する横断面を有する凹部を有することによって特徴付けられる。この場合、粒子ビームは、凹部の底上に照射される。その結果、形成された飛散生成物が、主に凹部の内壁に堆積され、従って、装置のその他の面にとって妨げとなる。

20

【0047】

アイソレータの凹部が、円錐状に先細に形成されている場合、イオンビームのエネルギーは、比較的大きな表面に分布され、従って、局所的に加熱されるのを少なくすることができる。相応に、飛散生成物は僅かしか形成されない。

【0048】

別の手段によると、トリガ電極は、第1の電極で限定された空間に対して完全に絶縁されている。そのような装置用のトリガ電極の製造は、完全な絶縁乃至堆積によって完全に制御することができる。トリガ電極の金属表面に磁場が形成され、又は、放電が形成される場合に、絶縁された金属表面と絶縁されていない金属表面との移行領域内で不均一にならない。

30

【0049】

トリガ電極を完全に絶縁した場合、所定の放電条件下で、電荷が絶縁表面上に蓄積されて、トリガ電位の遮蔽に作用することがあるという欠点がある。この欠点を阻止するために、装置を、トリガ電極の遮蔽部は、表面電荷を除去するが、第2の電極とトリガ電極との間の放電を制御する電流を阻止する残留コンダクタンスを有しているように構成するとよい。表面電荷を除去する遮蔽の、この場合でも、トリガ電極を完全に絶縁して、付加的な導出路を回避することができるようにすると有利である。

40

【0050】

トリガ電極を対称軸に設ける必要がない場合、装置を、トリガ電極が対称軸を囲む中空シリンダとして構成すると有利である。

【0051】

殊に、装置を、中空シリンダトリガ電極が2つの電極とは反対側の底部を有していて、この底部がアイソレータとして構成されているか、又は、金属底部を有しており、この底部は各電極の一方の電極の電位を有しており、そのために、この底部は、トリガ電極に対して絶縁されている。その際、アイソレータは、前述のアイソレータの機能を、殊に、場合によっては生じる粒子ビームに関して果たすことができる。底部が金属底部である場合、底部に陽極の電位を印加してもよく、その結果、電位が同じになって導電性チャネルが

50

生じることはなくなる。しかし、金属底部に、陰極の電位を印加して、生じた荷電坦体を排出してもよい。

【 0 0 5 2 】

更に、装置を、トリガ電極がリングディスク又は少なくとも 1 つの電極ピン（電極の対称軸に対して横方向に第 1 の電極内に埋め込まれている）であるように構成すると有利である。リングディスク又は電極ピンを用いて、放電空間乃至トリガ電極に隣接する空間内の電場を制御して、装置の放電特性を制御することができる。前述の目的を達成するために、トリガ電極は絶縁されて第 1 の電極内に埋め込まれている。

【 0 0 5 3 】

装置は、その機能時に著しい発生熱にさらされる。従って、遮蔽部を耐熱性絶縁材料製にして構成すると目的に適っている。

【 0 0 5 4 】

前述の発生熱のために、遮蔽部をトリガ電極と良好に熱伝導するようにして、熱を排出するように結合すると有意義でもある。

【 0 0 5 5 】

対称軸の領域内で遮蔽部に達した荷電坦体の主要部分を捕捉するために、装置を、遮蔽部が少なくとも開口に相応する直径を有しているように構成すると目的に適っている。

【 0 0 5 6 】

以下、本発明について、図示の実施例を用いて説明する。

【 0 0 5 7 】

図 1 には、放電空間 10 内に設けられた電極系の構成が略示されている。放電空間 10 は、所定ガス圧力のガスで充填されており、電極系の適切に構成された各電極自体によって構成してもよい。ガス圧力は、調整可能である。ガス圧力の調整のために必要な、放電容器 10 の装置構成、及び、この装置構成に合わされた電極系の形態が設けられているが、図示していない。

【 0 0 5 8 】

2 つの電極 11, 12 が設けられている。電極 12 は、電極中間空間 22 から始まって円錐状に拡張された中央開口 15 付陽極として構成されている。

【 0 0 5 9 】

電極 11 は、陰極として構成されており、つまり、陰極の開口 14 を介して電極中間空間 22 につながった中空空間 23 を有する中空陰極として構成されている。開口 14, 15 は、一直線に整列されており、電極系の対称軸 13 を形成している。電極 11, 12 は、相互に絶縁されている。このために使われるアイソレータ 29 により、電極間隔が決められる。

【 0 0 6 0 】

電極系は、前述の構成により、例えば、数 10 kV 領域内の高電圧印加時に、どんな場合でも電極中間空間 22 の領域内に直線状且つ対称軸 13 に対して平行な力線が形成されるようになる。電圧が、所定の低い値から出発してパルス状に上昇する場合、図 2, 3 のチャージランプ部乃至電圧上昇部 16 が形成される。電極中間空間 22 内での磁場強度特性により凝縮される電離過程が生じる。このために、電圧上昇部 16 及びガス圧力が相互に調整されて、電離の結果、パッシュン曲線の左側分枝部でガス放電が生じるようにされ、その際、プラズマチャネル乃至プラズマチャネルのプラズマは、短時間の電子なだれ降服を介して形成されるのではなく、2 次電離過程を介して多段階に形成される。その結果、プラズマ分布は、開始期間中、高い程度に円筒対称である（図 1 のプラズマの略示のように）。形成されるプラズマ 17 は、発生すべき放射 17 のソースである。

【 0 0 6 1 】

プラズマ 17 の点火は、点火電圧 U_z に達して初めて可能である。本発明によると、点火遅延 18 が生じるようにされる。その結果、点火時点 t_z は、点火電圧 U_z に達しているにも拘わらず相応に遅延される。点火遅延 18 の大きさは、ガス圧力の制御によって調整される。点火遅延の大きさは、典型的な期間では、数マイクロ秒～数ミリ秒の範囲内で

10

20

30

40

50

変化する。点火遅延により、導電性プラズマの形成が延期される。そうすることによって、プラズマ 17 の円筒対称性が改善される。

【0062】

点火遅延後形成されるプラズマは、スタートプラズマと呼ばれる。自己破壊駆動でのエネルギー蓄積器からのエネルギー入力結合を使うことができる。図 1 には、コンデンサバンク 21 がエネルギー蓄積器として示されており、このエネルギー蓄積器は、所定の点火電圧及び点火遅延の達成後放電され、その際、2 桁キロアンペア範囲内の電流パルスがプラズマ中に供給することができる。その結果形成される、磁場のローレンツ力により、プラズマがしばめられ、その結果、高い輝度となり、殊に、EUV リソグラフィのために所要の波長を有する超紫外線と軟 X 線が形成される。

10

【0063】

ガス圧力を介して点火遅延 18 を制御する代わりに、トリガ電極を介して制御してもよい。トリガ電極 19 を用いて、所定の点火電圧 U_z に達しているにも拘わらず、各電極 11, 12 間で放電を行う破壊は未だ生じない。図 4, 5 のトリガ電極 19 により例えば達成可能なトリガ遅延 20 が、図 3 に示されている。このトリガ遅延 20 は、点火遅延 18 に付加される。トリガ遅延 20 によって、全点火遅延を制御すると、殊に、一層正確な点火時点 t_z を達成するのに測定技術を利用することができるために有利である。この点は、自己破壊でガス放電駆動する場合にも、電極系とコンデンサバンクとの間にスイッチング素子を使う場合にも当てはまる。このスイッチング素子によって、電極系に、自己破壊駆動に必要な点火電圧 U_z よりも大きな電圧を印加することができるようになる。この場合には、比較的高いガス圧力で作動することができ、放射ビームの強度を一層高くすることができる。

20

【0064】

殊に、充電装置を用いて、所定の点火電圧 U_z よりも高い電圧を電極系に印加することができるようになる。電極系に印加される電圧、つまり、電圧上昇部 16 の経過特性を、例えば、電極 11, 12 に印加される電圧の時間変化を検出することによって検出することができる。dU/dt 測定が行われる。dI/dt 測定を行ってもよい。つまり、放電電流の時間変化を検出してよい。電流及び電圧は、点火時点 t_z に達した際に突然変化する。その際、所定の点火電圧 U_z の達成と点火時点との間の時間が、例えば、アナログ的に積分器を用いて、又は、デジタル的にカウンタを用いて測定される。この時間は、調整器に測定量として供給され、それに続いて、この測定量は、ガス圧力を点火遅延 18 を安定化する方向に制御する。この点は、トリガ遅延 20 を用いた場合にも当てはまる。

30

【0065】

測定は、例えば、本来の調整器の前で、電極系乃至コンデンサバンクの高電圧乃至電圧の測定量を準備する点火電圧積分器で行われる。その際、点火電圧積分器は、電極 11, 12 に印加される逡降分圧された高電圧を積分し、その最終値をサンプルアンドホールドを介して直ぐ次の充電過程迄記録しておく。積分過程は、充電過程と同時に、つまり、電極 11, 12 に印加された電圧の上昇と同時に開始し、タイマを介して決められた時間期間になる迄続けられる。この時間期間は、一般的に、本来の充電過程よりも長いので、点火遅延の大きさについての所望の情報も求めることができる。付加的な非線形要素、例えば、開平演算器を、例えば、伝送特性曲線を改善するために使用することができる。従って、点火遅延についての情報も、点火電圧についての情報も、同じ測定信号を用いて得られる。点火電圧を求めるピーク検出器とは異なって、この方法は、例えば、高電圧発生器に起因する妨害ピーク値に対して完全に不感応である。点火時点検出のために電子回路を必要としない。

40

【0066】

この方法を、トリガ電極を設けないで実施する際、点火時点 t_z は、ガス圧力の高さを介してだけ特定することができる。トリガ電極を用いた方法では、点火時点に必要な応じて適切なガス圧力を選択して決めるために、前述のトリガ遅延を用いることができる。その際、コンデンサバンク 21 の充電状態は、評価電子回路を介して、例えば、上述の点火

50

電圧積分器を用いて検出することができる。トリガ電極を用いたトリガにより、点火電圧 U_z に達したにも拘わらず、コンデンサバンク 21 の放電に寄与するプラズマが未だ形成されないようにすることができる。トリガ時に初めて点火され、つまり、所定トリガ遅延 20 後に、トリガパルスの作動の場合に点火される。調整量を、この場合にもガス圧力にするとよく、このガス圧力は、例えば、電子入口弁を介して調整される。所定の選択時間後に保持電圧に達しない場合、ガス圧力を低減する必要がある。他の場合には、トリガパルス後点火しない場合には、ガス圧力を高める必要がある。調整量は、トリガ電極を用いるこの方法では、最終的には点火遅延であり、即ち、トリガパルスの作動と電圧降服との時間である。圧力は、点火遅延が所定の許容偏差内で一定に保持されるように調整される。

10

【0067】

図3に示されたトリガ遅延20は、所定の点火電圧 U_z の達成時点に関係するように例示されている。原理的には、適切な電子回路を用いて特定することができる、どの時点も予め選定することができ、例えば、充電過程の開始時又は充電電圧の所定値の達成時にすることができる。

【0068】

図4, 5には、トリガ電極の実施例が図示されている。トリガ電極19は、陰極11の隣りに、つまり、陰極11の、陽極12とは反対側に設けられている。この実施例では、トリガ電極19は、アイソレータ26を介して陰極11と一緒に組み立てられており、その際、電極11、アイソレータ26及びトリガ電極19と一緒に保持する手段は図示していない。

20

【0069】

トリガ電極の実施例は全て、対称軸13に関して対称に設けられている点で共通である。実施例は全て、対称軸13に一直線に並ぶ1本の軸を有している。その際、トリガ電極19は、壁乃至壁部分として構成されている。トリガ電極19は、電極11の開口14の前側に所定間隔をおいて設けられている。従って、それと同時に、電極11は、中空電極として、例えば、中空陰極として構成することができる。その際、トリガ電極19は、陰極の後ろ側の壁を形成する。そのような後ろ側の壁は、図4の場合、壁29であり、図5の場合、ポット状電極19のポットの底部19である。

【0070】

トリガ電極19をポット状に構成することにより、このトリガ電極は、電極11の後ろ側の壁だけでなく、この中空電極が囲んでいる空間23の側壁でもある。トリガ電極19は、専ら、電極乃至陰極電位の電極11の側壁部分であるように構成してもよい。

30

【0071】

図4から分かるように、トリガ電極19には、粒子ビームを通すのに使われる貫通開口24を設けることができ、電極構成によると、殊に対称軸の領域内に構成される。その種の貫通開口を用いると、トリガ電子回路の負荷を許容可能な範囲内に保持することができる。粒子ビームは、陰極の電位にある電極系の部分によって吸収される。貫通開口24は、図5の場合にも使用可能である。

【0072】

図4には、貫通開口24に平行な孔24が示されている。この孔24は、ガス孔として、つまり、ガス入口の方にガスを通すのに使うことができる。そのようなガスの貫流乃至ガスを入れる際に、貫通開口24を用いてもよい。殊に、電極系自体が放電空間10を形成する場合、どちらとも有利である。

40

【0073】

空間23内に突入したガス放電部の場合、アイソレータ26に金属蒸気を蒸着してもよい。そうすると、アイソレータ26を短絡することがある。発生した金属蒸気に対してアイソレータ26を遮蔽するために、電極11に、開口14に対して同心状に設けられていて、トーラス状のアイソレータ26にオーバーラップするリングバンド27が設けられている。更に、トリガ電極19に環状凹部28が設けられている。リングバンド27は、環

50

状凹部 28 内に詰め込まれている。その際、電位分離間隔を形成することができるが、通常は陰極 11 とトリガ電極 19 との間の僅かな電位差を極めて小さくすることができる。

【0074】

図 4, 5 のトリガ電極を、中空陽極と結合してもよい。この場合には、プラズマ 17 の光は、電極 11 乃至中空陰極から出力結合される。光を陽極側で出力結合しても（図 1 に示されているように）、陰極を負の高電圧で駆動しても、何れにせよ有利である。つまり、電極系の、観測者側の部分でのスパッタ及び高周波放電からの、そのようなデブリを一層良好に回避することができる。

【0075】

トリガ電極 19 の電位は、トリガパルスの作動前、従って、低抵抗性プラズマ放電の開始前に、荷電担体が中空電極乃至中空陰極及び電極中間空間から穿孔領域内に排出されるように選定される。例えば、陰極電位に対して正の電圧、典型的には数 100 V をトリガ電極 19 に印加することによって行われる。トリガ電極の電位が陰極の電位に下げられるか、又は、トリガ電極 19 に負の電位が印加される際に、トリガパルスが作動される。その際、トリガ電極 19 の電位を変えるための典型的な時定数を数ナノ秒～数 100 ns の範囲内にすると有利である。

10

【0076】

高い光収量を達成するために、放電の繰り返し周波数をできる限り高く、即ち、数 kHz、有利には、10 kHz より上に保持するようにされる。ここでは、プラズマの所要の再結合時間が限定される。この限定は、方法が駆動されるガスの種類に依存する。EUV 領域内での高い放射収量に関して、キセノンを使うと特によい。純粋なキセノンで駆動する際、繰り返し周波数は、自己破壊駆動の場合に、1 ジュール～10 ジュールの領域内の典型的なパルスエネルギーで、約 1 kHz 以上に達する。従って、再結合を加速する手段を実行するようにされる。

20

【0077】

1 手段として、ガスの混入があげられる。コンデンサバンクの放電後、プラズマの再結合が、ガス、例えば、空気、合成空気、窒素、酸素又はハロゲンの混入によってもっと早くなる。

【0078】

更に、荷電粒子を、適切なガス流によって開口 14, 15 の領域から排出することができる。その際、陰極を介して、及び/又は、電極中間空間を介してガスを入れて、及び/又は、図 1 の観測者とは反対側の電極である陽極を介してガスを排出するように流すと有利である。そのようなガス流により、陽極の領域内、乃至、中空陽極の領域内で圧力を低下させることができる。その種の圧力勾配により、プラズマ 17 を移動させて、ユーザ迄の観測区間での EUV ビーム用に高い輸送を達成することができる。

30

【0079】

繰り返し周波数を上昇する別の手段を、コンデンサバンク 21 と関連付けて実行することができる。その際、条件に応じて低抵抗プラズマを数 100 マイクロ秒迄持続して形成することが前提となる。コンデンサバンク 21 は、低抵抗性プラズマの、この形成時間に相応するよりも早く充電することができる。その結果、プラズマが完全には再結合しないようにすることができる。更に、2 つの放電間で、開口 14, 15 の領域内で高抵抗性プラズマを放電することができ、それにより、高電流放電のスタートプラズマ用の条件を一層良好にすることができる。

40

【0080】

図 6 には、放電空間 10 内に設けられた電極系の装置構成が略示されている。放電空間 10 は、所定ガス圧力のガスで充填されており、適切に構成された電極系の電極自体によって形成するとよい。ガス圧力は、調整可能である。ガス圧力の調整に必要な放電容器 10 の装置構成、及び、これに合わせられた電極系の形状にされるが、図示していない。

【0081】

2 つの電極 11, 12 が設けられている。電極 12 は、中央開口 15 付の陽極として構

50

成されていて電極中間空間 2 2 から始まって円錐状に広がる。

【 0 0 8 2 】

電極 1 1 は、陰極として、陰極の開口 1 4 を介して電極中間空間 2 2 につながった中空空間 2 3 のある中空陰極として構成されている。開口 1 4 , 1 5 は、一直線に整列され、電極系の対称軸 1 3 を形成する。電極 1 1 , 1 2 は、相互に絶縁されている。このために使われるアイソレータ 2 9 により、電極の間隔が決められる。

【 0 0 8 3 】

電極系は、前述の構成により、例えば、数 1 0 k V 領域の高電圧が印加された場合に、どんな場合でも電極中間空間 2 2 の領域内で直線状及び対称軸 1 3 に対して平行な力線が形成されるようになる。電圧が所定の低い値から出発してパルス状に上昇する場合、充電勾配乃至電圧上昇が生じる。電極中間空間 2 2 内での場の強度特性に基づいて同心となる電離過程が生じる。このために、電圧上昇及びガスの圧力は相互に合わせられて、電離の結果、パッシェン曲線の左側分枝部で放電されるようになり、放電時に、はプラズマチャネル乃至そのプラズマは、短時間の電子なだれ降服を介して形成されるのではなく、2 次電離過程を介して多段階に形成される。その結果、プラズマ分布は、開始期間内に高い程度に円筒対称にされる（図 6 にプラズマが略示されているように）。形成されるプラズマ 1 7 は、発生すべきビーム 1 7 、電子ビームのソースである。

【 0 0 8 4 】

形成されるプラズマは、スタートプラズマと呼ばれる。自己破壊駆動でのエネルギー蓄積器からエネルギーを入力結合するのに使われる。図 6 には、所定の点火電圧に達した後放電されるエネルギー蓄積器として示されており、その際、電流パルスを 2 桁キロアンペア領域内でプラズマ中に供給することができる。その結果形成される磁場のローレンツ力により、プラズマがしばられ、その結果、高い輝度となり、殊に、超紫外線及び軟 X 線を形成することができ、殊に、E U V リソグラフィに必要な波長を有している。

【 0 0 8 5 】

図 6 に示された電極系は、トリガ装置付電極 1 1 の領域内に設けられている。このために、電極 1 1 は、対称軸 1 3 内にトリガ電極 1 9 を有しており、トリガ電極 1 9 は、アイソレータ 2 6 によって電極 1 1 の底部 3 0 内に保持されている。アイソレータ 2 6 は、トリガ電極 1 9 を、電極 1 1 とは異なった電位にすることができるようにするのに使われる。その際、両電極 1 9 , 1 1 を同じ電位にすることができるスイッチ 3 2 に対して並列に測定して、トリガ電極 1 9 は、電極 1 1 に対する寄生容量 3 1 を有している。

【 0 0 8 6 】

通常のように、電極 1 2 は陽極として構成され、図示のように接地されている。それに対して、陰極は、負の電位 - V にされ、トリガ電極 1 9 は、所定電位 - V + V_t にされる。トリガ過程開始前のトリガ電極の電位は、電極 1 1 の電位よりも少し高い。トリガのために、トリガパルスはスイッチ 3 2 を閉じることによって作動され、その際、トリガ電極 1 9 の電位は電極 1 1 の電位に下げられる。その際、トリガ電極 1 9 の電位を変えるための典型的な時定数は、有利には、数ナノ秒～数百ナノ秒の範囲内である。

【 0 0 8 7 】

図 6 に略示された電極装置は、典型的には、各電極 1 1 , 1 2 間に 1 ~ 1 0 mm の間隔があるように構成されている。開口 1 4 , 1 5 の極めて小さな貫通部は、典型的には、1 ~ 1 0 mm である。中空陰極として構成された電極 1 1 内の空間 2 3 の容積は、典型的には、1 ~ 1 0 c c m である。ガス圧力は、0 . 0 1 ~ 1 m b a r である。電極装置は、典型的には、3 ~ 3 0 k V であり、トリガ電極 1 9 と電極 1 1 との電位差は、5 0 ボルト ~ 1 0 0 ボルトである。

【 0 0 8 8 】

基本的には、各電極 1 1 , 1 2 間で点火が行われる際の点火電圧、及び、圧力は、図 7 に示された曲線に相応して相互に依存している。その際、図 7 はパッシェン曲線の左側分枝部である。

【 0 0 8 9 】

10

20

30

40

50

図7の左側曲線は、非トリガ式の装置の駆動に該当する。この曲線の $V = 0$ では、単に、1つの破壊点しかなく、例えば、ガス圧力は 7 Pa で約 8 kV である。空間23内の他の圧力は、他の点火電圧に相応している。しかし、トリガ電圧、つまり、トリガ電極19と電極1との電位差は、 0 V の偏差でもよい。この場合には、 V_t は0ではなく、例えば、 V_1 又は V_2 である。その結果、トリガ電圧 V_t の適切な測定により、装置を様々なパラメータで駆動することができるようになる。電極11, 12の所定電圧で、図7から分かるように圧力を変化させることができる。同様に、所定圧力で、図2から分かるように圧力を変化させることができる。しかし、相応して、トリガ信号での破壊の時点を確認に決めることもでき、その際、そうすることによって、上述の難点が生じる作動点にはならない。殊に、繰り返し周波数を、所要のように使うのに必要な、例えば、 $10 \sim 20\text{ kHz}$ の範囲内にすることができる。

10

【0090】

所定の固定繰り返し周波数での駆動間隔も可能であり、そうすることによって、各駆動間隔間で、所望の放射を発生するのに必要なエネルギーを節約することができる。作動点の安定性を著しく改善することができる。

【0091】

トリガは、図6に示した回路によって達成される。コンデンサバンク21は、電極11を負の電位に印加することによって充電され、電極12は接地される。両電極11, 12は、低誘導性の電流回路を介してコンデンサバンク21と接続されている。高抵抗性の電流回路は、トリガ電極19を電極11と接続し、その際、スイッチ32を介して接続を開くことができる。開いた場合、トリガ電極19に電極11に対して電位差 V_t が生じる。この場合、電極11, 12の電圧、並びに、電極中間空間乃至電極11の空間23のガスの圧力は、トリガ電圧 V_t の印加時に、プラズマ17の点火を行うことはできない。これに対して、スイッチ32が閉じられている場合、電位差 V_t はなくなり、トリガ電極19は、電極11の電位となり、その際、保護抵抗33により、トリガ電圧の電圧源が保護される。

20

【0092】

しかし、スイッチ32が開いた場合、図6のトリガ電極19間と、陽極として使われる電極12との間に、相応の粒子ビームの導電性チャネルが形成され、この導電性チャネルにより、コンデンサバンク21のエネルギーが放電され、トリガ回路が損傷することもある。従って、図8～18には、様々に構成されたトリガ電極が、主電極11, 12の略示された系内に示されており、装置が十分に機能するのに貢献することができる。

30

【0093】

図8～18には、電極11, 12乃至当該電極の開口14, 15によって形成された対称軸13と同軸に設けられているトリガ電極19が示されている。その際、図8～13のトリガ電極19は、開口14の方に端面34が向けられているように構成されている。しかし、少なくとも、この端面34には、各々異なって構成された遮蔽部35が設けられている。各遮蔽部35は、少なくとも、開口14, 15の直径に相応するような大きさである。つまり、遮蔽部35は、トリガ電極19の近傍に、粒子ビームの形成領域内に設けられている。

40

【0094】

図8の場合、遮蔽部35は、アイソレータとして、トリガ電極19の端面34上に堆積された層の形式で構成されている。図9の場合、同様に、遮蔽部35は、アイソレータとして構成されているが、しかし、トリガ電極39の端面34内に入れられた部材として構成されている。この部材の横断面は、例えば、円筒対称に、従来技術のように、トリガ電極19の孔内に当該トリガ電極19の端面34から挿入して装着することができるようにされる。図10及び図11では、トリガ電極19は、図9のトリガ電極と同じに構成されている。しかし、トリガ電極の孔は、異なった遮蔽部35内に装着されている。図10の遮蔽部35は、円筒状部材であるが、しかし、袋状の穴として形成された、同軸の凹部36を有している。この袋状の穴の直径は、電位粒子ビームの直径と同じにされている。図

50

11の遮蔽部35には、開口14, 15から始まって円錐状に先細にされている凹部36が形成されている。ほぼ形成された粒子ビームは、遮蔽部35の比較的大きな面に入射し、その結果、ビームエネルギーは比較的大きな面積に分布され、その結果、局所的に加熱されるのが阻止される。図10, 11の両方の場合に、凹部は、粒子ビームの結果生じる霧状飛散生成物を受け取り、この霧状飛散生成物は、凹部36の内壁に体積され、従って、装置の残りの面を妨害することは殆どない。

【0095】

図12, 13のトリガ電極は、その遮蔽部が少なくとも第1の電極11に隣接した空間23に対して完全に絶縁されている。遮蔽部35は、被覆部であり、トリガ電極19の表面の所定個所で開けられていない。その結果、そのように開けられていることによって生じる、電界が何らかの種類の不均一性を生じることとはなくなる。しかし、所定の放電条件では、この遮蔽部35の表面上に電荷が集まって、トリガ電極の遮蔽部を制御することがある。トリガ電圧の遮蔽により、装置が誤作動することがある。遮蔽部35に、形成された表面放電を中性化乃至なくすのに十分な大きさの残留コンダクタンスにすると、その種の遮蔽をなくすることができる。しかし、この残留コンダクタンスは、電極12と、コンデンサバンク21を著しく放電するトリガ電極19との間で通電するのには不十分な大きさではない。図13には、そのような、適切な残留コンダクタンスのある遮蔽部35が示されている。

【0096】

前述の実施例は全て、各寸法をかなりの程度変えることができる。つまり、トリガ電極19は、例えば、細線として構成してもよく、図12, 13のように被覆すると目的に適っている。

【0097】

図14～16のトリガ電極19は、中空円筒状である。このトリガ電極も、対称軸13と同軸に設けられている。その中空円筒状の構成及び磁場の形成の結果、対称軸13の領域内に形成された粒子ビームが、トリガ電極19に達せず、トリガ電極で妨害乃至破壊するように作用しない。図14には、トリガ電極19が金属製底部37によって閉じられており、この底部は、接地電位であり、中空円筒状トリガ電極19に対して絶縁されている。この電極12は陽極として同様に接地電位にあるので、底部37と電極12との間に、粒子ビームは形成されない。

【0098】

図16では、底部38がアイソレータとして構成されており、従って、粒子ビームに関して、図8～11に記載された遮蔽部と同様の作用を有している。図16では、中空円筒状のトリガ電極19の底部39は、金属製電極として構成されており、この金属製電極は、電極11、陰極と導電接続されている。対称軸にある粒子ビームの荷電担体は、金属製底部39を用いて電極12の接続線路40を介して案内される。

【0099】

図17及び18の構成は、図16の構成に対して択一的な構成である。どの場合でも、対称軸13乃至空間23内の荷電粒子は電極11に案内される。図17では、トリガ電極19は環状ディスクとして構成されている。この環状ディスクは、各電極11, 12の対称軸13に対して横方向に第1の電極11内に組み込まれている。図17の第1の電極11の上側及び下側半部は、破線で示された線路41によって導電接続されており、つまり、同じ電位を有している。トリガ電極19の装置構成は、対称軸13に関して円筒対称である。図18の場合は異なっている。この実施例では、線路41以外、図17に示されているように、横方向から見た構成にしてもよい。しかし、対称軸13は、図18では、図平面に対して垂直方向ではなく、図18には、2つの同じように構成された、同軸及び対称軸13に対して横方向に設けられた、トリガ電極の部品19及び19が示されている。部品19及び19は、電極ピンを構成している。2つの部品19及び19の代わりに、トリガ電極を複数部分にしてもよい。

【0100】

トリガ電極 19 に装着された遮蔽部 35 は、温度安定性絶縁材料、例えば、 Al_2O_3 又は、水晶又はシリコンカーバイドからなる。遮蔽部 35 に使われる材料は全て、熱的に良好な伝導性でトリガ電極 19 に結合されている。

【0101】

更に、トリガ電極 19 乃至その部品 19 及び 19 は、絶縁されて第 1 の電極 11 内に埋め込まれている。図 8 ~ 18 に示された絶縁部 42 は、図 6 のアイソレータ 26 と同じ機能を果たす。当該絶縁部 42 は、各々温度安定性がある。

【図面の簡単な説明】

【0102】

【図 1】電極系の略図

10

【図 2】パルス駆動時のプラズマの点火過程用の電極系の各電極の電圧経過特性のダイアグラム

【図 3】パルス駆動時のプラズマの点火過程用の電極系の各電極の電圧経過特性のダイアグラム

【図 4】電極構成を示す図

【図 5】電極構成を示す図

【図 6】図 1 のような電極系の略図

【図 7】放電空間内の圧力に依存する電極系の点火電圧を示す図

【図 8】電極系をトリガ装置と共に示した略図

【図 9】電極系をトリガ装置と共に示した略図

20

【図 10】電極系をトリガ装置と共に示した略図

【図 11】電極系をトリガ装置と共に示した略図

【図 12】電極系をトリガ装置と共に示した略図

【図 13】電極系をトリガ装置と共に示した略図

【図 14】電極系をトリガ装置と共に示した略図

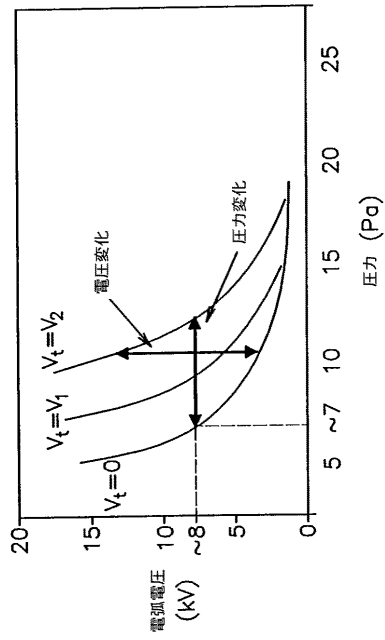
【図 15】電極系をトリガ装置と共に示した略図

【図 16】電極系をトリガ装置と共に示した略図

【図 17】電極系をトリガ装置と共に示した略図

【図 18】電極系をトリガ装置と共に示した略図

【図 7】



【図 8】

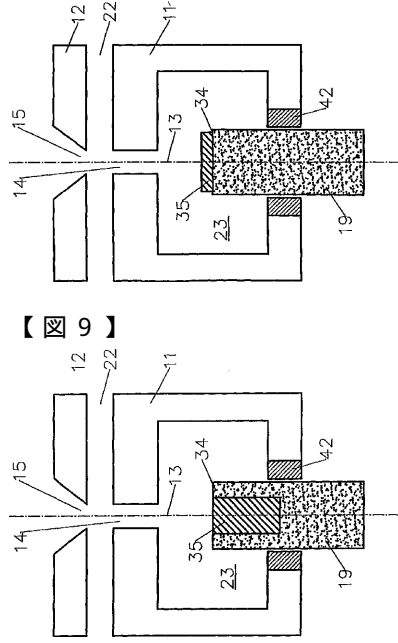


Fig.8

【図 9】

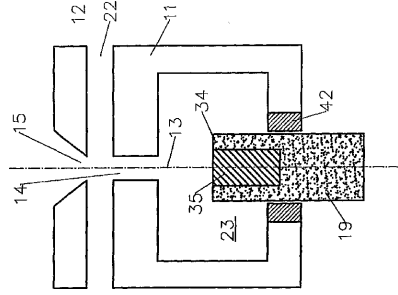


Fig.9

【図 10】

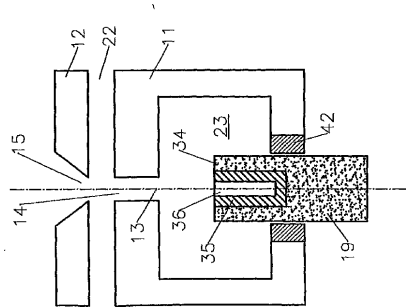


Fig.10

【図 11】

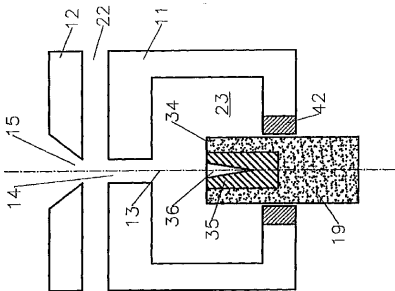


Fig.11

【図 12】

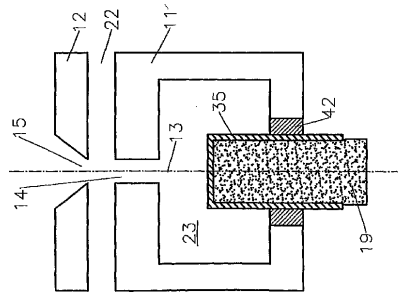


Fig12

【図 13】

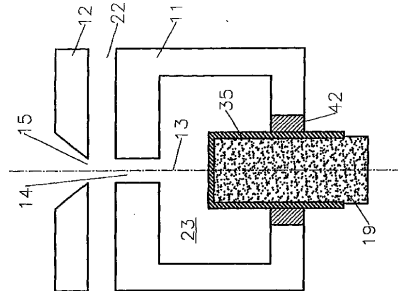


Fig.13

【図 14】

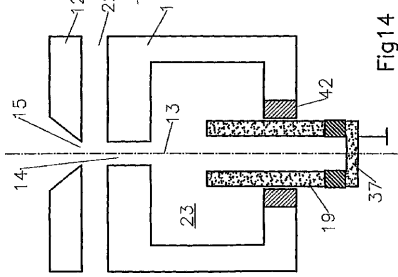


Fig.14

【図 16】

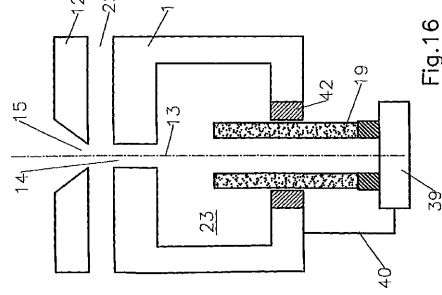


Fig.16

【図 15】

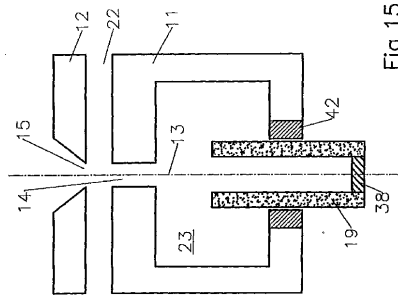


Fig.15

【図 17】

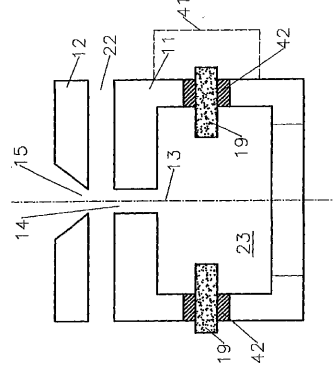


Fig.17

【図 18】

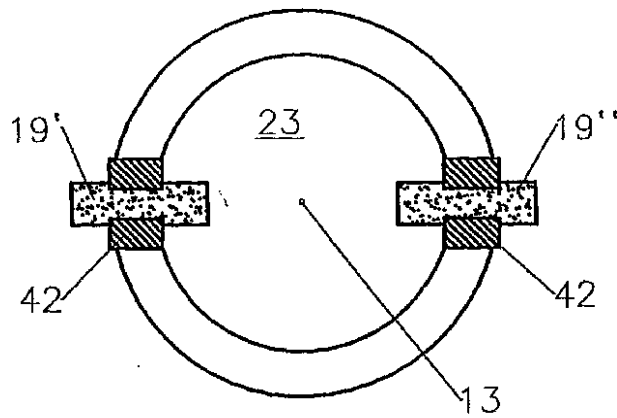


Fig.18

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 01125762.3

(32)優先日 平成13年10月29日(2001.10.29)

(33)優先権主張国 欧州特許庁(EP)

(73)特許権者 590000248

コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ ヴィ
オランダ国 5 6 2 1 ベーアー アインドーフェン フルーネヴァウツウェッハ 1

(74)代理人 100061815

弁理士 矢野 敏雄

(74)代理人 100094798

弁理士 山崎 利臣

(74)代理人 100099483

弁理士 久野 琢也

(74)代理人 100114890

弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト

(72)発明者 ユルゲン クライン

ドイツ連邦共和国 アーヘン フォン - ブロイヒ - シュトラーセ 5

(72)発明者 ヴィリー ネフ

ベルギー国 ケルミス ヨーゼフ - オルベルツ - ストラート 4 0

(72)発明者 シュテファン ザイヴェルト

ドイツ連邦共和国 アーヘン ロイタースハーグヴェーク 2 5

(72)発明者 クラウス ベルクマン

ドイツ連邦共和国 ヘアツォーゲンラート ローラントシュトラーセ 3 5

(72)発明者 ヨーゼフ バンケルト

ドイツ連邦共和国 アーヘン レミエルザー ベルク 1 7

(72)発明者 ミヒャエル レーケン

ドイツ連邦共和国 ユーリッヒ コルフス インゼル 1 5

審査官 長井 真一

(56)参考文献 米国特許第 0 4 5 9 6 0 3 0 (U S , A)

国際公開第 0 1 / 0 0 1 7 3 6 (W O , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H05G 2/00

G21K 1/00

G21K 5/08

H05H 1/24