

(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2017-181732

(P2017-181732A)

(43) 公開日 平成29年10月5日(2017.10.5)

(51) Int.Cl.		F I				テーマコード (参考)
G03F	7/20	(2006.01)	G03F	7/20	521	2H197
H05G	2/00	(2006.01)	G03F	7/20	503	4C092
			H05G	2/00	K	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-67890 (P2016-67890)	(71) 出願人	000000099
(22) 出願日	平成28年3月30日 (2016. 3. 30)		株式会社 I H I
			東京都江東区豊洲三丁目1番1号
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100176245
			弁理士 安田 亮輔
		(74) 代理人	100170818
			弁理士 小松 秀輝
		(72) 発明者	袖子田 竜也
			東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会 社 I H I 内

最終頁に続く

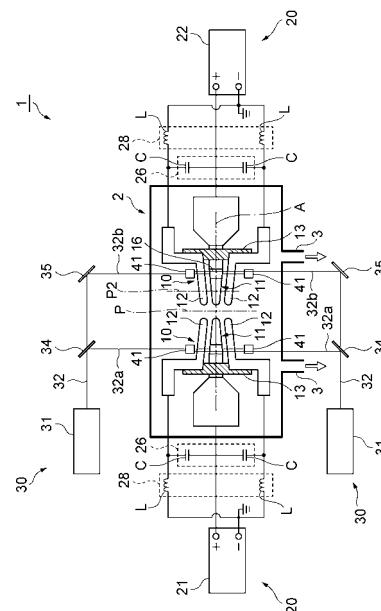
(54) 【発明の名称】 プラズマ光源

(57) 【要約】

【課題】 中心電極と外部電極との間にプラズマ媒質を安定的に供給する。

【解決手段】 プラズマ光源1は、中心電極11と外部電極12と絶縁体13とを有し、極端紫外光を放射するプラズマを発生させると共にプラズマを閉じ込める一対の同軸状電極10と、中心電極11と外部電極12とに接続されて、中心電極11と外部電極12との間に電位差を生じさせる電圧印加装置20と、プラズマを発生させるためのプラズマ媒質43を有するプラズマ媒質供給部41と、プラズマ媒質43から生成されると共に中心電極11と外部電極12との間に供給される媒質蒸気Vを形成する媒質蒸気形成部30と、を備える。同軸状電極10は、中心電極11と外部電極12と媒質蒸気Vとを含む電流経路Kを形成する。プラズマ媒質供給部41は、電流経路Kに対して電氣的に絶縁されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

軸線上において互いに対面するように配置され、中心電極と前記中心電極から離間するように配置された外部電極と前記中心電極と前記外部電極とを絶縁する絶縁体とを有し、極端紫外光を放射するプラズマを発生させると共に前記プラズマを閉じ込める一对の同軸状電極と、

前記中心電極と前記外部電極とに接続されて、前記中心電極と前記外部電極との間に電位差を生じさせる電圧印加部と、

前記プラズマを発生させるためのプラズマ媒質を有するプラズマ媒質供給部と、

前記プラズマ媒質から生成されると共に前記中心電極と前記外部電極との間に供給される媒質蒸気を形成する媒質蒸気形成部と、を備え、

前記同軸状電極は、前記中心電極と前記外部電極と前記媒質蒸気とを含む電流経路を形成し、

前記プラズマ媒質供給部は、前記電流経路に対して電氣的に絶縁されている、プラズマ光源。

【請求項 2】

一方の前記同軸状電極の前記中心電極は、他方の前記同軸状電極に向かって延びる棒状の導電体であって、前記軸線上に配置され、

一方の前記同軸状電極の前記外部電極は、他方の前記同軸状電極に向かって延びる棒状の導電体であって、前記軸線のまわりに等間隔に複数配置され、

前記プラズマ媒質供給部は、前記軸線の方から見た場合に、すべての前記外部電極を含むと共に前記中心電極を囲む閉じた領域の外側に配置される、請求項 1 に記載のプラズマ光源。

【請求項 3】

前記プラズマ媒質供給部は、前記外部電極から離間している、請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ光源。

【請求項 4】

前記プラズマ媒質供給部は、所定の電位に接続されている請求項 1 ～ 3 の何れか一項に記載のプラズマ光源。

【請求項 5】

前記プラズマ媒質供給部と前記同軸状電極との間に配置された供給制御部をさらに備え、

前記供給制御部は、前記媒質蒸気を遮蔽する遮蔽部と、前記媒質蒸気を通過させる貫通孔と、を有する、請求項 1 ～ 4 の何れか一項に記載のプラズマ光源。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、極端紫外光を発生させるプラズマ光源に関する。

【背景技術】

【0002】

当該分野の技術として、特許文献 1 に記載されたプラズマ光源が知られている。このプラズマ光源は、中心電極と外部電極との間にプラズマ媒質の蒸気が供給された状態において、中心電極と外部電極との間に電位差を発生させることにより放電を発生させる。この蒸気の原料となるプラズマ媒質は、中心電極の側面に配置されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2013-254693 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【0004】

ところで、プラズマ媒質の蒸気は、固体又は液体のプラズマ媒質にレーザ光を照射してアブレーションを発生させることにより生成される。プラズマ媒質の状態が熱的又は物理的に不安定になるとアブレーションが安定的に発生し難くなる。アブレーションの発生が不安定になるとプラズマ媒質の蒸気が安定的に生成され難くなる。このため、中心電極と外部電極との間にプラズマ媒質の蒸気を安定的に供給することが難しくなり、ひいてはプラズマ光の発生が不安定化するおそれがある。

【0005】

そこで、当該技術の分野においては、中心電極と外部電極との間にプラズマ媒質を安定的に供給することが望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一態様に係るプラズマ電極は、軸線上において互いに対面するように配置され、中心電極と中心電極から離間するように配置された外部電極と中心電極と外部電極とを絶縁する絶縁体とを有し、極端紫外光を放射するプラズマを発生させると共にプラズマを閉じ込める一对の同軸状電極と、中心電極と外部電極とに接続されて、中心電極と外部電極との間に電位差を生じさせる電圧印加部と、プラズマを発生させるためのプラズマ媒質を有するプラズマ媒質供給部と、プラズマ媒質から生成されると共に中心電極と外部電極との間に供給される媒質蒸気を形成する媒質蒸気形成部と、を備え、同軸状電極は、中心電極と外部電極と媒質蒸気とを含む電流経路を形成し、プラズマ媒質供給部は、電流経路に対して電氣的に絶縁されている。

【0007】

このプラズマ光源は、動作時においてプラズマ媒質供給部と媒質蒸気形成部が中心電極と外部電極との間に媒質蒸気を供給する。この媒質蒸気は、中心電極と外部電極との間に放電を誘発する。中心電極と外部電極との間に放電が生じると、中心電極と媒質蒸気と外部電極とを介する電流経路が形成される。ここで、プラズマ媒質供給部は、当該電流経路から電氣的に絶縁されているので、電流経路を流れる電流は、プラズマ媒質供給部を経由することがない。導体に電流が流れるとジュール熱が生じるが、プラズマ媒質供給部には電流が流れないので、ジュール熱が発生することもない。従って、プラズマ媒質の温度上昇が抑制されてプラズマ媒質の状態が安定化するので、プラズマ媒質のアブレーションを安定的に生じさせることが可能となる。従って、中心電極と外部電極との間にプラズマ媒質を安定的に供給することができる。

【0008】

いくつかの態様において、一方の同軸状電極の中心電極は、他方の同軸状電極に向かって延びる棒状の導電体であって、軸線上に配置され、一方の同軸状電極の外部電極は、他方の同軸状電極に向かって延びる棒状の導電体であって、軸線のまわりに等間隔に複数配置され、プラズマ媒質供給部は、軸線の方から見た場合に、すべての外部電極を含むと共に中心電極を囲む閉じた領域の外側に配置されてもよい。この構成によれば、プラズマ媒質供給部が電流経路に対して電氣的に絶縁された状態を好適に実現し得る。従って、プラズマ媒質の温度上昇が抑制されてプラズマ媒質の状態が安定化するので、プラズマ媒質のアブレーションをより安定的に発生させることができる。

【0009】

いくつかの態様において、プラズマ媒質供給部は、外部電極から離間していてもよい。外部電極は電流経路を構成するので、外部電極には電流が流れる。外部電極に電流が流れるとジュール熱が発生する。しかし、プラズマ媒質供給部が外部電極から離間しているので、外部電極において生じたジュール熱は熱伝導によりプラズマ媒質供給部に到達することがない。従って、プラズマ媒質の温度上昇がより抑制されるので、プラズマ媒質の状態が安定化する。よって、中心電極と外部電極との間にプラズマ媒質をさらに安定的に供給することができる。

【0010】

いくつかの態様において、プラズマ媒質供給部は、所定の電位に接続されていてもよい。この構成によれば、プラズマ媒質供給部が同軸状電極に印加される電圧に影響されて、プラズマ媒質の電位が不安定化することを抑制することが可能となる。従って、プラズマ媒質のアブレーションをより安定的に発生させることができる。

【0011】

プラズマ媒質供給部と同軸状電極との間に配置された供給制御部をさらに備え、供給制御部は、媒質蒸気を遮蔽する遮蔽部と、媒質蒸気を通過させる貫通孔と、を有してもよい。この構成によれば、媒質蒸気が拡散する方向を制御することが可能になる。

【発明の効果】

10

【0012】

本発明によれば、中心電極と外部電極との間にプラズマ媒質を安定的に供給することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】図1は、実施形態に係るプラズマ光源の構成を示す図である。

【図2】図2は、図1の仮想面に沿った同軸状電極の端面を示す図である。

【図3】図3は、プラズマ光源の動作時に形成される電流経路を示す図である。

【図4】図4は、プラズマ光源の動作を説明するための図である。

【図5】図5は、変形例に係るプラズマ光源の構成を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、添付図面を参照しながら本発明を実施するための形態を詳細に説明する。図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0015】

図1に示されたプラズマ光源1は、いわゆる対向型プラズマフォーカス方式を採用する。プラズマフォーカス方式は核融合分野で考案されたものであり、中心電極11と、当該中心電極11を取り巻く複数の外部電極12とを有する同軸状電極10を備える。対向型プラズマフォーカス方式のプラズマ光源1が動作するとき、まず、中心電極11と外部電極12との間に高電圧を印加する。そして、何らかのトリガを入力することにより、中心電極11と外部電極12との間にリング状の初期プラズマを生成させる。初期プラズマは、電磁力によって中心電極11の先端方向に移動する。そして、初期プラズマは、中心電極11の先端部で収束して高温・高密度状態に達する。

30

【0016】

対向型プラズマフォーカス方式を採用するプラズマ光源1は、プラズマ源としての同軸状電極10を互いに向かい合うように配置する。そして、それぞれの中心電極11の先端部に達したプラズマ同士を衝突させることにより、高温及び高密度状態のプラズマが形成される。この高温及び高密度状態のプラズマから極端紫外光が発生する。

【0017】

初期プラズマを発生させる方式の一つに、レーザ光によってプラズマ媒質を蒸発（アブレーション）させる方式がある。固体又は液体のプラズマ媒質にレーザ光を照射することでプラズマ媒質を蒸発させて媒質蒸気を発生させる。その媒質蒸気を介して、中心電極11と外部電極12との間に放電を生じさせる。また、プラズマ媒質としては固体、液体、気体のいずれであってもよく、発生させたい光の波長によって選択される。対向型プラズマフォーカス方式では、プラズマ媒質として、液体又は固体のリチウムを用いることがある。

40

【0018】

以下、図1を参照して、実施形態に係るプラズマ光源1について説明する。プラズマ光源1は、たとえば、半導体素子を製造するための露光装置に適用される。プラズマ光源1は、たとえば波長13.5nmの極端紫外光（EUV光）を発生可能に構成されている。

50

プラズマ光源 1 は、EUV 光を発生させることにより、微細なパターンを形成するフォトリソグラフィを可能にする。

【0019】

プラズマ光源 1 は、プラズマを発生させる一对の同軸状電極 10 と、同軸状電極 10 に電位差を生じさせる電圧印加装置 20（電圧印加部）と、媒質蒸気を形成する一对の媒質蒸気形成部 30 と、プラズマ媒質を保持するプラズマ媒質供給部 41 と、を備える。

【0020】

一对の同軸状電極 10 は、チャンバ 2 内に収容されており、軸線 A 上において互いに対面するように配置されている。一对の同軸状電極 10 は、仮想の中央面 P に関して面対称に配置されている。一对の同軸状電極 10 の間には、一定の間隔（空間）が設けられている。チャンバ 2 には一又は複数の排気管 3 が設けられており、排気管 3 には真空ポンプ（図示せず）が接続される。チャンバ 2 内は所定の真空度に維持される。チャンバ 2 は、接地されている。同軸状電極 10 は、1 本の中心電極 11 と、複数の外部電極 12 と、1 つの絶縁体 13 とを備える。

【0021】

中心電極 11 は、軸線 A 上に沿って延びる棒状の導電体である。換言すると、図 1 において左側の同軸状電極 10 の中心電極 11 は、右側の同軸状電極 10 に向かって延びる。中心電極 11 は、高温プラズマに対して損傷され難い金属からなる。中心電極 11 は、たとえばタングステン（W）やモリブデン（Mo）等の高融点金属からなる。中心電極 11 の軸線 A は、上記した中央面 P に直交する。中央面 P に対面する中心電極 11 の端面 11a は、たとえば半球状をなしている。中心電極 11 の側面は、たとえば円錐状をなしている。

【0022】

図 1 において左側の同軸状電極 10 の外部電極 12 は、右側の同軸状電極 10 に向かって延びる棒状の導電体である。外部電極 12 は、軸線 A に対して傾いた方向に延びていてもよい。例えば、円錐状をなす中心電極 11 の側面から外部電極 12 までの距離が常に一定になるように、外部電極 12 は側面に対して平行である方向に延びていてもよい。外部電極 12 は、高温プラズマに対して損傷され難い金属からなる。外部電極 12 は、たとえばタングステン（W）やモリブデン（Mo）等の高融点金属からなる。中央面 P に対面する外部電極 12 の端面は、曲面であってもよく、平面であってもよい。

【0023】

また、図 2 に示されるように、外部電極 12 は、中心電極 11 の周囲に配置されている。外部電極 12 は、中心電極 11 に対して所定の間隔を有している。複数の外部電極 12 は、軸線 A の周方向において等間隔に（すなわち回転対称に）配置されている。同軸状電極 10 は、6 本の外部電極 12 を有する。6 本の外部電極 12 は、軸線 A を基準として 60° 毎に配置されている。なお、外部電極 12 の本数は 6 本に限定されず、中心電極 11 および外部電極 12 の大きさや形状、これらの間隔などに応じて適宜設定され得る。中心電極 11 のまわりに複数の外部電極 12 が配置されることにより、初期放電（たとえば沿面放電）が、中心電極 11 と外部電極 12 との間に発生する。この初期放電は、面状放電 6 に至る。

【0024】

再び図 1 に示されるように、絶縁体 13 は、たとえば円板状をなすセラミックス板である。絶縁体 13 は、中心電極 11 と外部電極 12 の基部を支持し、これらの間隔を規定する。絶縁体 13 は、中心電極 11 と外部電極 12 とを電氣的に絶縁する。

【0025】

電圧印加装置 20 は、同軸状電極 10 に同極性又は逆極性の放電電圧を印加することにより、電位差を生じさせる。電圧印加装置 20 は、2 台の高圧電源（HV Charging Device）21, 22 を備える。第 1 高圧電源 21 の出力側は、一方の（たとえば図示左側の）同軸状電極 10 の中心電極 11 に接続されている。第 1 高圧電源 21 は、その中心電極 11 に対応する外部電極 12 よりも高い正の放電電圧を印加する。なお、

10

20

30

40

50

第1高圧電源21は、その中心電極11に対応する外部電極12よりも低い負の放電電圧を印加してもよい。第2高圧電源22の出力側は、他方の（たとえば図示右側の）同軸状電極10の中心電極11に接続されている。第2高圧電源22は、その中心電極11に対応する外部電極12よりも高い正の放電電圧を印加する。なお、第2高圧電源22は、その中心電極11に対応する外部電極12よりも低い負の放電電圧を印加してもよい。いずれの外部電極12も接地されていてもよい。以下の説明では、第1高圧電源21を単に電源21という。同様に、第2高圧電源22を単に電源22という。

【0026】

なお、電源21, 22のコモン側（リターン側）には、ログスキーコイル等を用いて誘導結合された線路が設けられてもよい。これらの線路により、中心電極11を経由した電流（すなわち、すべての放電電流）をオシロスコープ（Oscilloscope）で観察することができる。

【0027】

プラズマ光源1は、さらに、電圧印加装置20からの放電電圧を放電エネルギーとして外部電極12毎に蓄積するエネルギー蓄積回路26を備えている。エネルギー蓄積回路26は、中心電極11と外部電極12との間を個別に接続する複数のコンデンサCを含む。コンデンサCは、電源21, 22の出力側及びコモン側に接続されている。放電エネルギーを蓄積するコンデンサCが外部電極12毎に設けられることにより、すべての外部電極12において放電が発生し得る。すなわち、放電の発生タイミングに多少のずれが生じた場合でも、最初に発生した放電によって多くの放電エネルギーが消費されることが防止される。エネルギー蓄積回路26を備えることにより、同軸状電極10において、中心電極11の全周に亘って発生する理想的な面状放電6が得られる。

【0028】

プラズマ光源1は、さらに、電圧印加装置20に放電電流が帰還することを阻止する放電電流阻止回路28を備えている。放電電流阻止回路28は、外部電極12と電圧印加装置20（具体的には電源21, 22のコモン側）との間を接続するインダクタLを含む。インダクタLは、放電電流に対して十分に高いインピーダンスを有するため、中心電極11及び外部電極12を経由した放電電流は、その発生源であるエネルギー蓄積回路26に戻され得る。これにより、コンデンサCに蓄積された放電エネルギーが当該コンデンサCに直結した外部電極12以外の外部電極12に供給されることを防止できる。その結果、中心電極11の周方向における放電の発生分布に偏りが生じることを防止できる。

【0029】

上述した電圧印加装置20の動作について説明する。まず、電源21, 22によってコンデンサCに電荷を予め蓄積（充電）する。そして、中心電極11と外部電極12との間にプラズマ媒質43の蒸気が供給されることにより、コンデンサCの正極側から負極側へ電流が流れる。この電流は、コンデンサCに蓄積された電荷量に相当する電流が電気回路の時定数に従ってパルス的に流れる。つまり、電荷は、中心電極11、面状放電6、及び外部電極12の順に流れ、最終的にコンデンサCの負極側に戻る。この電流が流れている間に、面状放電6は中心電極11の先端部まで移動して先端部において単一のプラズマとして収束することにより発光する。

【0030】

媒質蒸気形成部30は、レーザ装置31と、ビームスプリッタ（ハーフミラー）34と、ミラー35とを有する。レーザ装置31から出射されたレーザ光32は、ビームスプリッタ34及びミラー35を介してプラズマ媒質供給部41に照射される。このレーザ光の照射によって、プラズマ媒質43のアブレーションが発生し、プラズマ媒質の蒸気（媒質蒸気）が発生する。また、レーザ装置31は、プラズマの初期放電（即ち、面状放電6：図4の（b）部参照）を発生させる。レーザ装置31はたとえばYAGレーザであり、アブレーションを行うために基本波又は基本波の二倍波を短パルスのレーザ光として出力する。

【0031】

レーザ装置 31 は、レーザ光 32 を出射する。レーザ光 32 は、ビームスプリッタ 34 やミラー 35 等の光学素子により、少なくとも 2 本のレーザ光 32 a, 32 b に分岐され、プラズマ媒質供給部 41 に照射される。レーザ光 32 a, 32 b が照射されたプラズマ媒質 43 の表面では、アブレーションによってプラズマ媒質 43 の一部が媒質蒸気となって放出される。ここで媒質蒸気は、中性ガス又はイオンを含む。

【0032】

また、レーザ光 32 a, 32 b の照射時には、同軸状電極 10 の中心電極 11 と外部電極 12 に電圧印加装置 20 による放電電圧が既に印加されている。従って、上述のアブレーションが発生すると、中心電極 11 と外部電極 12 との間において放電が誘発される。さらに、この放電によって面状放電 6 が形成される。

10

【0033】

放電の発生箇所は、レーザ光 32 の照射領域及びその近傍に制限される可能性がある。従って、レーザ光 32 は軸線 A の周方向に沿って間隔を置いて、複数且つ同時に照射することが好ましく、その数は少なくとも 2 箇所である。これは、誘発された放電の領域が、中心電極 11 の軸を基点に 180 度以上の開き角があった実験結果に基づいている。この結果を考慮すると、照射箇所数が少ないほど中心電極 11 に対して回転対称な位置にレーザ光 32 a, 32 b を照射することが望ましい。なお、複数のレーザ光 32 の同時照射は、ビームスプリッタ及びミラー等の光学素子を用いて光路長を合わせた複数の光路を形成することで容易に達成できる。

【0034】

再び図 2 に示されるように、プラズマ媒質供給部 41 は、プラズマ光の発生に用いられるプラズマ媒質を保持するものであり、固体又は液体であるプラズマ媒質 43 と、当該プラズマ媒質 43 を保持する保持部 42 と、を有する。プラズマ媒質 43 は、必要とされる紫外線の波長に応じて選択され得る。たとえば、13.5 nm の紫外光が必要な場合は、プラズマ媒質 43 は、リチウム (Li)、キセノン (Xe)、スズ (Sn) 等が用いられる。また、6.7 nm の紫外光が必要な場合は、プラズマ媒質は、ガドリニウム (Gd)、テルビウム (Tb) 等の少なくとも 1 つが用いられる。

20

【0035】

プラズマ光源 1 は、1 個の同軸状電極 10 に対して 2 個のプラズマ媒質供給部 41 を有する。なお、プラズマ媒質供給部 41 の個数は 2 個に限定されず、同軸状電極 10 の大きさや形状などに応じて適宜設定され得る。一对のプラズマ媒質供給部 41 は、同軸状電極 10 の周囲に配置されている。具体的には、一对のプラズマ媒質供給部 41 は、軸線 A のまわりに 180 度の間隔をもって配置されている。換言すると、一对のプラズマ媒質供給部 41 は、軸線 A に対して点对称に配置されている。また、一对のプラズマ媒質供給部 41 は、軸線 A からの距離が互いに等しい位置に配置されている。さらに、一对のプラズマ媒質供給部 41 は、軸線 A を中心とする仮想的な円周線上に等間隔に配置されている。また、プラズマ媒質供給部 41 は、軸線 A の方向においては、中心電極 11 の先端から絶縁体 13 の間に配置されている。

30

【0036】

プラズマ媒質供給部 41 が配置された位置について詳細に説明する。プラズマ媒質供給部 41 は、中心電極 11 及び外部電極 12 と物理的に接触していない。まず、軸線 A に直交する仮想平面 P2 を規定する (図 1 参照)。図 2 は、この仮想平面 P2 における同軸状電極 10 の端面を示す。6 本の外部電極 12 は、それぞれ軸線 B を有する。そして、互いに隣り合う外部電極 12 の軸線 B を通る仮想線を規定する。そうすると、同軸状電極 10 では、6 本の仮想線が規定され、これら 6 本の仮想線に囲まれた六角形状の領域 BS が規定されている。中心電極 11 は、この領域 BS の中心に配置される。一方、プラズマ媒質供給部 41 は、この領域 BS の外側に配置されている。要するに、プラズマ媒質供給部 41 は、すべての外部電極 12 を含むと共に中心電極 11 を囲む閉じた領域 BS の外側に配置される。また、プラズマ媒質供給部 41 と中心電極 11 とは、仮想線 B2 を挟んで配置されるとも言える。

40

50

【0037】

ここで、動作中のプラズマ光源1における電氣的な状態を説明する。図3は、中心電極11の極性を正にする場合の、同軸状電極10と電圧印加装置20とにより形成される電流経路Kを示している。図3に示されるように、電流経路Kは、コンデンサCの正極側から電気回路を通じて中心電極11に至る。ここで、中心電極11と外部電極12とは物理的に離間しているが、動作時には、中心電極11と外部電極12との間にプラズマ媒質が存在するので、面状放電6が発生する。従って、電流は、プラズマ媒質を介して中心電極11から外部電極12へ至る。そして、外部電極12から電気回路を通じてコンデンサCの負極側に至る。

【0038】

プラズマ媒質供給部41は、電圧印加装置20と同軸状電極10とにより形成される電流経路Kに組み込まれていない。また、プラズマの発生時に同軸状電極10を流れる電流は、プラズマ媒質供給部41には流れない。すなわち、プラズマ媒質供給部41は、この電流経路Kに対して、電氣的に絶縁されている。

【0039】

プラズマ媒質供給部41は、電流経路Kから電氣的に切り離されていればよい。電流経路Kから電氣的に切り離されたプラズマ媒質供給部41は、電氣的に接地されていてもよい。この電氣的構成によれば、プラズマ媒質43の帯電が防止される。また、この電氣的構成によれば、中心電極11や外部電極12の高電圧に影響されずプラズマ媒質43の電位を一定にすることが可能となる。

【0040】

また、電流経路Kから電氣的に切り離されたプラズマ媒質供給部41は、所定の電位に接続されてもよい。具体的には、プラズマ媒質43を保持する保持部42を金属などの導電性素材により形成し、保持部42に電位を与える。例えば、比較的低い電位に接続された構成によれば、プラズマ媒質43の電位を積極的に安定化させることができる。また、プラズマ媒質43のイオン化が促進される。このイオン化したプラズマ媒質43は中性ガスよりも放電のトリガーとなりやすい。一例として、プラズマ媒質43をリチウムとして、当該プラズマ媒質43に正の電位を印加すると、レーザアブレーションにより一部のリチウムはリチウムイオン（正イオン）として浮遊する。放電空間に到達した正イオンは、中性ガスよりも放電トリガーとなり易い。

【0041】

なお、また、プラズマ媒質供給部41は、電流経路Kから電氣的に切り離されていれば、電氣的に浮いた状態であってもよい。

【0042】

続いて、図4を参照してプラズマ光源1の動作について説明する。図4の(a)部はレーザ光32a, 32bの照射時の状態、図4の(b)部は面状放電6の発生時の状態、図4の(c)部は面状放電6の移動中の状態、図4の(d)部はプラズマ7の発生時の状態、図4の(e)部はプラズマ7の初期の閉じ込め時の状態、図4の(f)部は高温・高密度化されたプラズマ7の状態を示している。

【0043】

まず、チャンバ2内は、プラズマ7の発生に適した温度及び圧力に保持される。放電前の同軸状電極10には、電圧印加装置20により放電電圧が印加される。図4の(a)部に示されるように、放電電圧が印加された状態で、プラズマ媒質供給部41のプラズマ媒質43にレーザ光32a, 32bが照射される。その直後、中心電極11及び外部電極12の間で放電が発生する。複数の外部電極12のそれぞれに対して、中心電極11との間で放電が生じる。図4の(b)部に示されるように、中心電極11の全周に亘って分布する面状放電6が得られる。

【0044】

図4の(c)部に示されるように、面状放電6は、自己磁場によって電極から排出される方向（中央面Pに向かう方向）に移動する。このときの面状放電6の形状は、軸線Aか

10

20

30

40

50

ら見て略環状である。

【0045】

ここで、プラズマ光源 1 はエネルギー蓄積回路 26 を備えているため、エネルギー蓄積回路 26 と複数の外部電極 12 との協働により、面状放電 6 の発生確率が高められている。間隔をあけて非連続的に配置される複数の外部電極 12 は、連続した管状（筒状）の外部電極が採用される場合に比して、面状放電 6 の形成を容易にするという観点で有利である。

【0046】

その後、図 4 の（d）部に示されるように、面状放電 6 は同軸状電極 10 の先端に達する。面状放電 6 が中心電極 11 の先端に達したことで、その放電電流の出発点は中心電極 11 の側面 11b から端面 11a に移行する。この電流の移行によって、一对の面状放電 6 に伴って移動してきたリチウム（Li）を含むプラズマは収束し、高密度かつ高温になる。

10

【0047】

この現象は中央面 P を挟んだ同軸状電極 10 で進行するため、初期プラズマは、一方の同軸状電極 10 から他方の同軸状電極 10 に向かって押し出される。その結果、初期プラズマは、軸線 A に沿う両方向からの圧力を受けて同軸状電極 10 が対面する中間位置（すなわち中央面 P の位置）に移動し、プラズマ媒質を成分とする単一のプラズマ 7 が形成される。

【0048】

図 4 の（e）部に示されるように、プラズマ 7 が形成された後も、面状放電 6 を通じて電流が流れ続け、プラズマ 7 を全体的に包囲し、プラズマ 7 を中心電極 11 の中間付近に保持する。

20

【0049】

面状放電 6 が発生している間は、プラズマ 7 の高密度化および高温化が進行し、リチウム（Li）を含むイオンの電離が進行する。その結果、図 4 の（f）部に示されるように、プラズマ 7 からは極端紫外光を含むプラズマ光 9 が放射される。この状態において、面状放電 6 を通じて電流が流れ続けることにより、長時間に亘って、プラズマ光 9 が発生し得る。

【0050】

このプラズマ光源 1 は、動作時において中心電極 11 と外部電極 12 との間に媒質蒸気 V が供給される。この媒質蒸気 V は、中心電極 11 と外部電極 12 との間に放電を誘発する。中心電極 11 と外部電極 12 との間に面状放電 6 が生じると、中心電極 11 と媒質蒸気 V と外部電極 12 とを介する電流経路 K が形成される。ここで、プラズマ媒質供給部 41 は、当該電流経路 K から電氣的に絶縁されているので、電流経路 K を流れる電流は、プラズマ媒質供給部 41 を経由することがない。導体に電流が流れるとジュール熱が生じるが、プラズマ媒質供給部 41 には電流が流れないので、ジュール熱が発生することもない。従って、プラズマ媒質 43 の温度上昇が抑制されてプラズマ媒質 43 の状態が安定化するので、プラズマ媒質 43 のアブレーションを安定的に生じさせることが可能となる。従って、中心電極 11 と外部電極 12 との間にプラズマ媒質 43 の蒸気を安定的に供給することができる。

30

40

【0051】

プラズマ媒質供給部 41 が中心電極 11 及び外部電極 12 上に配置されていないので、プラズマを発生させるための充放電と切り離すことが可能になる。従って、高電圧及び高電流が印加される中心電極 11 と外部電極 12 との間に、連続的かつ安定的にプラズマ媒質を供給することができる。

【0052】

中心電極 11 及び外部電極 12 はプラズマからの入熱によって温度が高くなる場合がある。しかし、本実施形態のプラズマ光源 1 では、プラズマ媒質供給部 41 が中心電極 11 及び外部電極 12 上に配置されていないので、中心電極 11 及び外部電極 12 の温度の影響を抑制し、プラズマ媒質 43 を一定の状態に保つことが容易に行える。このため、プラ

50

ズマ媒質 4 3 が過剰に加熱されて意図しない蒸発が発生することを抑制できる。基本的に E U V 光は真空中で扱う必要がある。プラズマ光源 1 によれば、意図しない蒸発が抑制されるので、チャンバ 2 の内部を所定の圧力に容易に保つことが可能になるので、放電空間の圧力環境を維持することができる。

【0053】

要するに、プラズマ光源 1 では、プラズマ媒質 4 3 が電流経路 K から電氣的に切り離されるため、高電圧・高電流の環境から解放される。従ってプラズマ媒質 4 3 が放電等によって流動したり飛散したりするような状況が回避される。そして、プラズマ光源 1 によれば、連続的でより安定的な供給が容易となる。またプラズマ光源 1 では、プラズマ媒質 4 3 が高温になる中心電極 1 1 及び外部電極 1 2 から物理的に切り離される。従って、プラズマ媒質 4 3 の温度上昇も抑制されるので、プラズマ媒質 4 3 を中心電極 1 1 及び外部電極 1 2 とは別に温度制御することも可能となる。このため、プラズマ媒質 4 3 の蒸気圧を一定に保つことが容易となる。

10

【0054】

以上のように、プラズマ光源 1 では、プラズマ媒質 4 3 が電氣的な影響から解放され、プラズマ媒質 4 3 の供給方法や温度制御が容易になり、放電空間への媒質供給が制御しやすくなり、プラズマ媒質 4 3 を電氣的に安定にでき、プラズマ媒質 4 3 のイオン化を促進できる。ひいては、プラズマ光源 1 としての出力の安定性や発光強度を向上させることができる。また、中心電極 1 1 及び外部電極 1 2 は、プラズマ媒質 4 3 の温度の制約に縛られることなく、冷却機能のスペックを緩和できる。

20

【0055】

また、プラズマ光源 1 では、プラズマ媒質 4 3 の蒸気を発生させる位置と、プラズマ 7 を生じさせる位置とが異なっている。この構成によれば、プラズマ 7 から発生される E U V 光がプラズマ媒質 4 3 の蒸気に妨げられることがない。従って、E U V 光を効率よく出射させることができる。

【0056】

以上、本発明をその実施形態に基づいて詳細に説明した。しかし、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明は、その要旨を逸脱しない範囲で様々な変形が可能である。

【0057】

例えば、図 5 に示されるように、プラズマ光源 1 A は、リミッタ 5 0（供給制御部）をさらに備えていてもよい。リミッタ 5 0 は、媒質蒸気 V が拡散する方向や媒質蒸気 V の供給量を制御する。リミッタ 5 0 は、プラズマ媒質供給部 4 1 と同軸状電極 1 0 との間に配置される。リミッタ 5 0 は、板状の本体 5 1（遮蔽部）と、本体 5 1 に設けられた光透過部 5 2 と、貫通孔 5 3 と、を有する。光透過部 5 2 は、貫通孔であってもよいし、ガラス等のレーザ光に対して透明な部材であってもよい。レーザ光 3 2 a は、光透過部 5 2 を介してプラズマ媒質 4 3 に照射される。レーザ光 3 2 a が照射されたプラズマ媒質 4 3 はアブレーションを生じて媒質蒸気 V が発生される。媒質蒸気 V は、プラズマ媒質 4 3 の周囲に放射状に拡散する。そして、一部の媒質蒸気 V は、リミッタ 5 0 の本体 5 1 に遮られ、同軸状電極 1 0 に到達しない。別の媒質蒸気 V は、貫通孔 5 3 を通過して同軸状電極 1 0 に到達する。すなわち、媒質蒸気 V の拡散に方向性をもたせることが可能になるので、放電空間の所望位置に媒質蒸気 V を供給できる。従って、軸線 A の方向へのプラズマの拡散を抑制することができ、放電開始位置を所望の範囲に限定することができる。外部電極 1 2 の軸線 A の方向における放電位置が揃うと、プラズマの収束が向上して高温且つ高密度のプラズマを形成することができる。

30

40

【0058】

またプラズマ媒質 4 3 から媒質蒸気 V を生じさせる手段は、レーザアブレーションに代えて、その他の手段を用いてもよい。

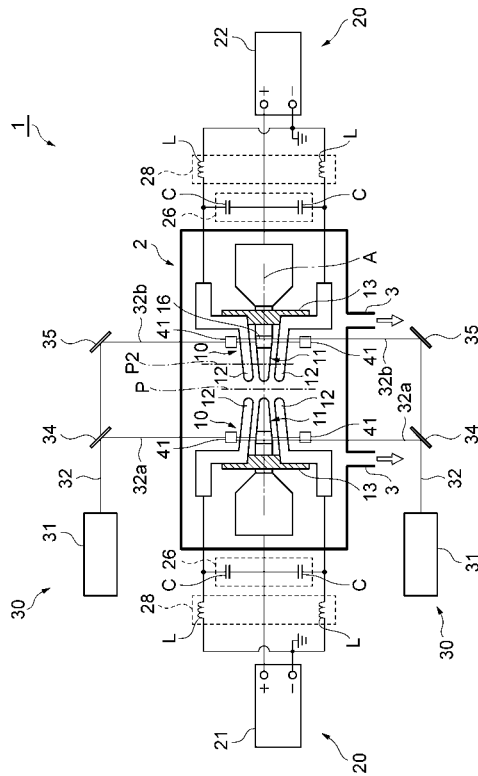
【符号の説明】

【0059】

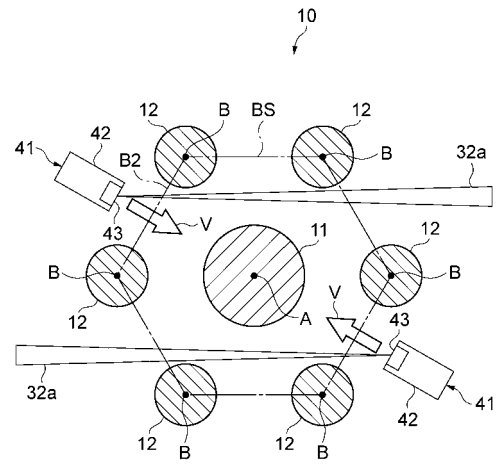
50

1 , 1 A	プラズマ光源	
2	チャンバ	
3	排気管	
6	面状放電	
7	プラズマ	
9	プラズマ光	
1 0	同軸状電極	
1 1	中心電極	
1 1 a	端面	
1 1 b	側面	10
1 2	外部電極	
1 3	絶縁体	
2 0	電圧印加装置	
2 1	電源	
2 2	電源	
2 6	エネルギー蓄積回路	
2 8	放電電流阻止回路	
3 0	媒質蒸気形成部	
3 1	レーザ装置	
3 2	レーザ光	20
3 4	ビームスプリッタ	
3 5	ミラー	
4 1	プラズマ媒質供給部	
4 2	保持部	
4 3	プラズマ媒質	
5 0	リミッタ	
5 1	本体	
5 2	光透過部	
5 3	貫通孔	
A	軸線	30
B	軸線	
B 2	仮想線	
B S	領域	
C	コンデンサ	
P	中央面	
L	インダクタ	
P 2	仮想平面	
K	電流経路	
V	媒質蒸気	

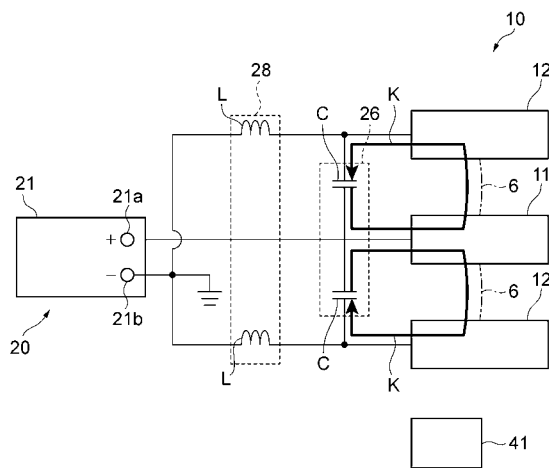
【図 1】



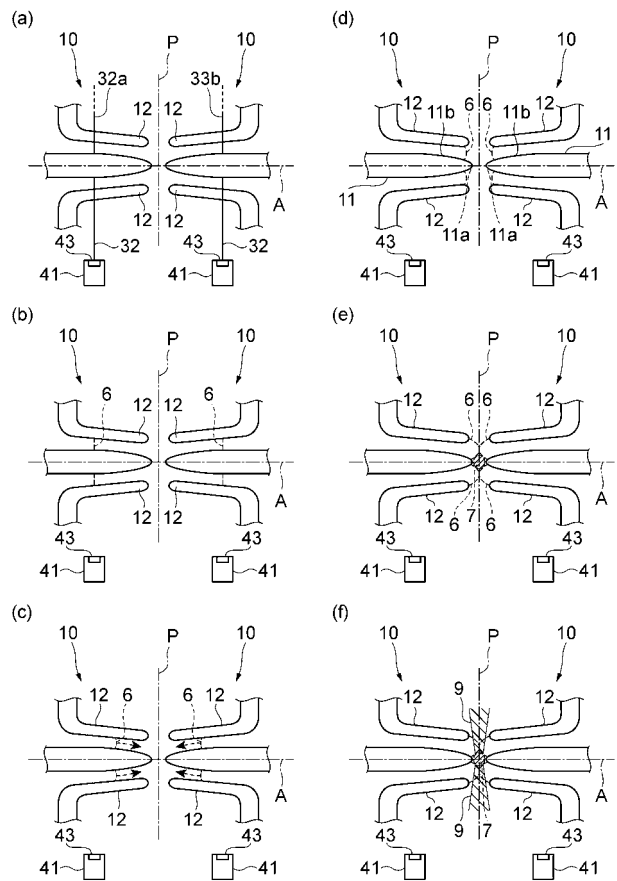
【図 2】



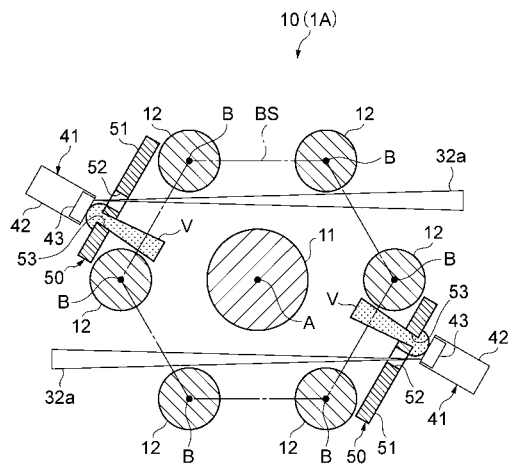
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 桑原 一

東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社 I H I 内

Fターム(参考) 2H197 CA10 GA01 GA05

4C092 AA06 AB19 AC09 BD09