

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5162365号  
(P5162365)

(45) 発行日 平成25年3月13日(2013.3.13)

(24) 登録日 平成24年12月21日(2012.12.21)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>H05G</b>	<b>2/00</b>	<b>(2006.01)</b>	H05G	1/00	K
<b>H01L</b>	<b>21/027</b>	<b>(2006.01)</b>	H01L	21/30	531S
<b>G03F</b>	<b>7/20</b>	<b>(2006.01)</b>	G03F	7/20	521
<b>H05H</b>	<b>1/46</b>	<b>(2006.01)</b>	H05H	1/46	L

請求項の数 5 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2008-201897 (P2008-201897)	(73) 特許権者	399030060
(22) 出願日	平成20年8月5日(2008.8.5)		学校法人 関西大学
(65) 公開番号	特開2010-40329 (P2010-40329A)		大阪府吹田市山手町3丁目3番35号
(43) 公開日	平成22年2月18日(2010.2.18)	(74) 代理人	100074332
審査請求日	平成23年6月15日(2011.6.15)		弁理士 藤本 昇
		(74) 代理人	100114421
			弁理士 薬丸 誠一
		(74) 代理人	100114432
			弁理士 中谷 寛昭
		(72) 発明者	大西 正視
			大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学 校法人 関西大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体リソグラフィ用光源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体ウェハ上に回路パターンを形成するための短波長の光を発生させる半導体リソグラフィ用光源であって、負圧の状態希ガス又は希ガスを含んだ混合ガスが充填される内部空間を画定した外周壁部を有する光源本体と、前記内部空間内に所定の軸線周りの回転磁場を発生させる磁場発生手段とを備え、前記光源本体は、少なくとも外周壁部が電気絶縁性を有する非磁性の材料で構成されるとともに、少なくとも一部に短波長の光成分又は該光成分を含んだ光を内部空間から外部へ放出させる光放出部が形成されていることを特徴とする半導体リソグラフィ用光源。

【請求項2】

前記磁場発生手段は、内部空間内に前記軸線方向の軸磁場を発生させつつ回転磁場を発生させるように構成されている請求項1に記載の半導体リソグラフィ用光源。

【請求項3】

前記光源本体は、外周壁部が筒状に形成され、前記磁場発生手段は、外周壁部周りに間隔をあけて配置された複数の第一コイルと、外周壁部の軸線方向に間隔をあけて該外周壁部に外嵌された複数の第二コイルとを備え、第二コイルで軸磁場を発生させつつ第一コイルで交番磁界を発生させて回転磁場を発生させるように構成されている請求項2に記載の半導体リソグラフィ用光源。

【請求項4】

前記希ガスは、キセノン(Xe)ガス、又はネオン(Ne)ガスの何れかである請求項

1乃至3の何れか1項に記載の半導体リソグラフィ用光源。

【請求項5】

前記光源本体は、少なくとも外周壁部が耐熱ガラスで構成されている請求項1乃至4の何れか1項に記載の半導体リソグラフィ用光源。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウェハに回路パターンを形成するための短波長の光を発生させる半導体リソグラフィ用光源に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、パーソナルコンピュータや携帯電話、ナビゲーションシステム等の各種電気機器の記憶素子や情報処理素子等として採用される半導体集積回路の製造方法として、回路パターンの形成されたマスクに光源からの光を照射し、半導体ウェハ上の感光性樹脂（フォトレジスト）に対してマスクの回路パターンを転写するリソグラフィが知られている。

【0003】

そして、現状において、リソグラフィに用いられる光の波長として、高圧水銀灯のg線（波長：436nm）、i線（波長：365nm）、KrFエキシマレーザ（波長：248nm）、ArFエキシマレーザ（波長：193nm）が主流になっているが、光の波長が長いとフォトレジスト上での回路パターンの解像度が低くなる傾向にあるため、上述の波長の光では半導体の高集積化（回路パターンの微細化）に対応できないとして、さらに波長の短い光（EUV光）を発生させるレーザ生成プラズマ（LPP）光源や放電生成プラズマ（DPP）光源が提供されている（例えば、特許文献1参照）。

【0004】

ところで、短波長の光（EUV光）は、ガラスに吸収される特性を有するため、ガラス製の光学系（レンズ等）で光の進路の変更等を行うことができないといった理由から、短波長（13.5nmの波長）で反射率にピークがあるMo/Siの多層膜を光の進路を変更するための光学系（反射鏡）として採用されつつある。

【0005】

これに伴い、レーザ生成プラズマ光源及び放電生成プラズマ光源の何れもが、光学系の特性に合った波長の光（光学系での反射のロスが少ない13.5nmの波長の光）を発生できるように構成されている。具体的には、レーザ生成プラズマ光源は、強力なレーザ（YAG（ガウス）レーザ）をターゲット物質としてのスズ（Sn）やスズ（Sn）化合物に照射することで、13.5nm付近に強い発光ピークがあるプラズマ光を発生させるように構成されている。これに対し、放電生成プラズマ光源は、一对の電極間に定常周波数の高電流を流して放電させること電極間に13.5nmの波長の光成分を含むプラズマ光を発生させるように構成されている。

【特許文献1】特開2008-130230号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記何れの光源も、プラズマの発生に伴ってデブリ（不純物）が発生し、半導体ウェハに対する回路パターンの転写を阻害するといった問題がある。すなわち、レーザ生成プラズマ光源では、プラズマ発生に伴ってターゲット物質（常温で固体であるスズ）からデブリが発生し、放電生成プラズマでは、プラズマ発生に伴って電極からデブリが発生するため、そのデブリが光学系や、マスク、半導体ウェハ等に付着してしまい、半導体ウェハに対する回路パターンの転写を阻害するといった問題がある。

【0007】

そこで、本発明は、斯かる実情に鑑み、半導体ウェハに対する回路パターンの転写を阻

10

20

30

40

50

害するデブリを発生させることなく、半導体ウェハに高集積化した回路を形成するのに最適な短波長の光を発生させることのできる半導体リソグラフィ用光源を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る半導体リソグラフィ用光源は、半導体ウェハ上に回路パターンを形成するための短波長の光を発生させる半導体リソグラフィ用光源であって、負圧の状態希ガス又は希ガスを含んだ混合ガスが充填される内部空間を画定した外周壁部を有する光源本体と、前記内部空間内に所定の軸線周りの回転磁場を発生させる磁場発生手段とを備え、前記光源本体は、少なくとも外周壁部が電気絶縁性を有する非磁性の材料で構成されるととも、少なくとも一部に短波長の光成分又は該光成分を含んだ光を内部空間から外部へ放出させる光放出部が形成されていることを特徴とする。

10

【0009】

上記構成の半導体リソグラフィ用光源は、負圧の状態希ガス又は希ガスを含む混合ガスが充填される内部空間に磁場発生手段が所定の軸線周りで回転磁場を発生させるように構成されているため、充填された希ガスに対応した短波長の光成分を放射するプラズマを発生させることができる。これにより、上記構成の半導体リソグラフィ用光源は、回路パターンの形成を阻害するデブリを発生させることなく、プラズマの発生による光から半導体ウェハに高集積化した回路（微細化した回路）を形成するのに最適な短波長の光成分を光放出部から放出して半導体ウェハに対して直接的又は間接的に照射することができる。

20

【0010】

本発明の一態様として、前記磁場発生手段は、内部空間内に前記軸線方向の軸磁場を発生させつつ回転磁場を発生させるように構成されていることが好ましい。このようにすれば、所定の軸線方向に形成された軸磁場のうち、回転磁場を発生させた領域が他の領域とは反対向きの磁場となり、軸線周りで発生するプラズマを閉じ込めた磁力線が形成される。これにより、非常に密度の高いプラズマを発生させることができるため、低入力で高出力のプラズマ（短波長の光）を得ることができる。

【0011】

この場合、前記光源本体は、外周壁部が筒状に形成され、前記磁場発生手段は、外周壁部周りに間隔をあけて配置された複数の第一コイルと、外周壁部の軸線方向に間隔をあけて該外周壁部に外嵌された複数の第二コイルとを備え、第二コイルで軸磁場を発生させつつ第一コイルで交番磁界を発生させて回転磁場を発生させるように構成されていることが好ましい。このようにすれば、内部空間に磁場発生手段の何れの構成も配置することがないため、内部空間をプラズマ発生のためだけの空間にすることができ、良好なプラズマを発生させることができる。

30

【0012】

本発明の他態様として、前記希ガスは、キセノン（Xe）ガス、又はネオン（Ne）ガスの何かであることが好ましい。このようにすれば、波長が13.5nmの光成分を多く含んだ光を放射するプラズマを発生させることができる。従って、Mo/Siの多層膜で構成される光学系（反射率のピークが13.5nmの反射鏡）に最適な光源となる。

40

【0013】

本発明のさらに別の態様として、前記光源本体は、少なくとも外周壁部が耐熱ガラスで構成されていることが好ましい。このようにすれば、内部空間でのプラズマの発生状態を外部から確認することができる。また、耐熱性によってプラズマの発生に伴う熱に耐えることができ、耐久性に優れたものにすることができる。

【発明の効果】

【0014】

以上のように、本発明に係る半導体リソグラフィ用光源によれば、半導体ウェハに対する回路パターンの転写を阻害するデブリを発生させることなく、半導体ウェハに高集積化した回路を形成するのに最適な短波長の光を発生させることができるという優れた効果を

50

奏し得る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明の一実施形態に係る半導体リソグラフィ用光源について、添付図面を参照しつつ説明する。

【0016】

本実施形態に係るリソグラフィ用光源（以下、単に光源という）は、半導体ウェハ上に回路パターンを形成すべく、半導体ウェハに照射する短波長の光（本実施形態においては、波長が13.5nmの光成分：以下、EUV光という）を発生させるためのものである。本実施形態に係る光源は、図1に示す如く、半導体ウェハWに回路パターンを転写させる半導体リソグラフィ装置Uの一構成として組み込まれている。すなわち、半導体リソグラフィ装置Uは、前記光源1と、半導体ウェハWを配置するステージSと、ステージS上の半導体ウェハWに転写させる回路パターンが形成されたマスク（図示しない）と、光源1からの光をマスクに導く光学系Mとを備えている。本実施形態に係る半導体リソグラフィ装置Uは、前記ステージS、マスク及び光学系Mが密閉構造のケーシングCに内装されており、前記光源1がケーシングCに外面に建設されている。

10

【0017】

前記光源1は、負圧の状態希ガス又は希ガスを含んだ混合ガスが充填される内部空間100を画定した外周壁部101を有する光源本体10と、前記内部空間100内に所定の軸線（本実施形態においては外周壁部101の中心線CL）周りの回転磁場を発生させるように構成された磁場発生手段20とを備えている。

20

【0018】

前記光源本体10は、少なくとも外周壁部101が電気絶縁性を有する非磁性の材料で構成されている。また、該光源本体10は、少なくとも一部にプラズマの発生に伴う発光の光成分を外部に放出可能な光放出部102が形成されている。前記光源本体10は、外周壁部101が筒状に形成されており、その一端開口が光放出部102に設定されており、ケーシングCに形成された開口部に一端開口を連通させている。すなわち、光源本体10は、光放出部102を介して外周壁部101の内部（内部空間100）とケーシングCの内部とが連通するように、外周壁部101の一端部がケーシングCに対して気密に接続されている。そして、該光源本体10は、一部（中央部）に筒状のノズル103が突設された蓋部材104によって外周壁部101の他端開口が閉塞されている。該光源本体10は、内部の状態を確認できるように少なくとも外周壁部101が耐熱ガラスで形成されることが好ましく、本実施形態においては、外周壁部101が耐熱ガラスで構成される一方、蓋部材104及びノズル103が非磁性の金属（例えば、ステンレスやアルミ合金等）で構成されている。

30

【0019】

そして、本実施形態に係る光源1は、外周壁部101が画定する内部空間100に充填される希ガスとして、キセノン（Xe）ガスが採用されており、負圧（ $10^{-4}$ Pa）にされた内部空間100に3Pa～15Pa、好ましくは、5～10Paの圧力で充填される。

40

【0020】

本実施形態に係る光源1は、前記内部空間100を負圧にする吸引ポンプ（図示しない）と、該内部空間100内に所定圧で希ガスを充填する希ガス充填源（図示しない）とを備え、吸引ポンプ及び希ガス充填源は、光源本体10に対して直接的又は間接的に流体的に接続されている。具体的には、本実施形態に係る光源1は、希ガス充填源が光源本体10のノズル103に対して流体的に接続される一方、吸引ポンプがケーシングCに流体的に接続されており、吸引ポンプがケーシングC内を吸引することで該ケーシングC内を介して内部空間100を負圧（ $10^{-4}$ Pa～ $10^{-6}$ Pa、好ましくは、 $10^{-5}$ Pa～ $10^{-6}$ Pa）にするようになっている。本実施形態に係る光源1は、吸引ポンプとして回転ポンプとターボ分子ポンプとが採用されており、これらのポンプを直列に配置することで、内

50

部空間 100 の圧力を  $10^{-4}$  Pa にできるように構成されている。

【0021】

本実施形態に係る磁場発生手段 20 は、前記内部空間 100 内に所定の軸線 CL 方向の軸磁場を発生させるように構成され、軸磁場を発生させた状態で回転磁場を発生させるように構成されている。

【0022】

具体的には、前記磁場発生手段 20 は、外周壁部 101 の周りに間隔をあけて配置された複数の第一コイル 200 ... と、軸線 CL 方向に間隔をあけて外周壁部 101 に外嵌された複数の第二コイル 201 ... とを備え、第二コイル 201 ... で希ガスが充填された内部空間 100 に軸線 CL 方向の軸磁場 AM を発生させつつ第一コイル 200 ... で交番磁界を発生させて回転磁場 RM を発生させることでプラズマ P を発生させるように構成されている (図 2 参照)。

10

【0023】

各第一コイル 200 ... は、棒状 (外形が四角形状をなす棒状) に形成されており、外周壁部 101 の周方向に  $90^\circ$  の間隔で外周壁部 101 の外面に貼り付けられている。すなわち、 $180^\circ$  の間隔で配置される一対の第一コイル 200 ... が、外周壁部 101 の中心線 (軸線 CL) を基準にして  $90^\circ$  の位相で二組設けられている。

【0024】

本実施形態に係る磁場発生手段 20 は、各組の第一コイル 200 ... に対して電流を印加する周波数が  $100\text{ Hz} \sim 1\text{ MHz}$ 、好ましくは、 $200\text{ Hz} \sim 400\text{ Hz}$  に設定され、印可する電流が  $200\text{ A} \sim 2\text{ kA}$ 、好ましくは、 $400\text{ A} \sim 2\text{ kA}$  に設定される。

20

【0025】

そして、該磁場発生手段 20 は、各組の第一コイル 200 ... に対する電流の印加のタイミング (周期) がずれるように、各組の第一コイル 200 ... に上述の周波数で電流を印可することで、回転磁場を形成するようになっている。例えば、軸線 CL を基準に  $90^\circ$  の回転した位置で設けられた二組の第一コイル 200 ... のうち、一方の組の第一コイル 200 に正弦波交流を印加し、交番磁界を連続的に発生させ、他方の組の第一コイル 200 に対して、一方の組の第一コイル 200 と  $90^\circ$  位相の異なる電流を印可することにより回転磁場が発生する。なお、二組の第一コイル 200 ... のそれぞれに  $400\text{ A}$  の電流を印加した場合、 $130\text{ G}$  (ガウス) の磁束密度で、 $200\text{ kHz}$  の回転磁場 RM が発生する。

30

【0026】

これに対し、各第二コイル 201 ... は、環状に形成されて外周壁部 101 に外嵌されており、これらに対して同時に電流を印加して内部空間 100 に軸線 CL 方向に延びる軸磁場 AM を形成するようになっている (図 2 参照)。本実施形態においては、最大  $60$  ガウスの磁束密度の軸磁場 AM を発生させるようにしている。

【0027】

前記光学系 M は、Mo/Si の多層膜 M で構成されている。本実施形態においては、Mo/Si の多層膜 M は、湾曲形状に形成されており凹面鏡の如く形成されている。該光学系 M は、光源 1 の光軸に反射面を対応させるように配置されており、該光軸と略平行な線上に配置されたステージ S 上の半導体ウェハ W に EUV 光を照射できるようになっている。なお、前記ステージ S、及びマスクは、一般的な構成であるためここでの説明を割愛する。

40

【0028】

前記ケーシング C は、処理対象の半導体ウェハ W を取り換えるべく、開閉可能な扉 (採番しない) が設けられているが、扉を閉じた状態で内部を気密に維持できるように形成されている。これにより、前記吸引ポンプによって内部を吸引したときに内部を負圧の状態に維持できるようになっている。

【0029】

本実施形態に係る半導体リソグラフィ装置 U (光源 1) は、以上の構成からなり、次に、作動について説明する。

50

## 【 0 0 3 0 】

まず、ステージ S 上に半導体ウェハ W を配置するとともに、マスクを半導体ウェハ W に対向させた状態で配置する。しかる後、図 2 に示す如く、光源本体 1 0 ( 外周壁部 1 0 1 ) の内部空間 1 0 0 を負圧にした後にキセノン ( X e ) ガスを充填した上で、第一コイル 2 0 0 ... で内部空間 1 0 0 に回転磁場 R M を発生させる。そうすると、回転磁場 R M によって、プラズマ電流が誘起され、これにより希ガスが電離され、キセノン ( X e ) ガスの場合、キセノンガス ( X e <sup>+10</sup> ) の 4 d - 5 p の遷移により放出される光 ( E U V 光 ; 1 3 . 5 n m の波長の光成分 ) を放射するプラズマ P が発生することになる。

## 【 0 0 3 1 】

本実施形態においては、第二コイル 2 0 1 ... で軸磁場 A M を発生させつつ第一コイル 2 0 0 ... で回転磁場 R M を発生させるようにしているため、回転磁場 R M を発生させた範囲で外周壁部 1 0 1 近傍の軸磁場 A M ( 磁力線 M L 1 ) の向きがそのままの状態になる一方で軸線 C L 上の軸磁場 A M ( 磁力線 M L 2 ) が逆向きになり、この内側 ( 軸線 C L 上 ) の磁力線 M L 2 と外側 ( 外周壁部 1 0 1 側 ) の磁力線 M L 1 との間の磁力線 M L 3 が環状に閉じられることになり、上述の如く発生したプラズマ P が環状の磁力線 M L 3 に補足され、高い密度のプラズマが閉じ込められた状態となる。

## 【 0 0 3 2 】

そして、回転磁場に誘起された電流 ( プラズマ電流 ) によるジュール加熱でプラズマが E U V 光の発生に必要な高温 ( > 2 0 e V ) に加熱される。

## 【 0 0 3 3 】

このようにプラズマ P が発生すると、上述の如く、1 3 . 5 n m の波長の光成分を含む発光が生じるため、その光が光源本体 1 0 に形成された光放出部 1 0 2 を通過して外部に出ようとする。本実施形態においては、光源本体 1 0 の外周壁部 1 0 1 が耐熱ガラスで構成されているため、プラズマ P の発生に伴って四方八方に出る光のうち、光放出部 1 0 2 以外に向けて放射される E U V 光は吸収されることになる。そのため、ガラスの存在しない光放出部 1 0 2 ( 開口 ) に向けて放射された光の E U V 光だけが外部に放出できることになる。

## 【 0 0 3 4 】

そして、E U V 光が光放出部 1 0 2 から外部に放出されるに伴い、1 3 . 5 n m 以外の光成分も光放出部 1 0 2 を介して外部 ( 本実施形態においてはケーシング C 内 ) に出るが、1 3 . 5 n m 以外の光成分は光学系 M を透過する或いは光学系 M に吸収される結果、E U V 光のみが光学系 M ( M o / S i の多層膜 M ) に反射されてマスクに導かれる。これにより、マスクに形成された回路パターンがステージ S 上の半導体ウェハ W のフォトレジストに転写されることになる。

## 【 0 0 3 5 】

以上のように、本実施形態に係る光源 1 は、負圧にされて希ガス又は希ガスを含んだ混合ガスが充填される内部空間 1 0 0 を画定し、電気絶縁性を有する非磁性の材料で構成された外周壁部 1 0 1 を有する光源本体 1 0 と、前記内部空間 1 0 0 内に所定の軸線 C L 周りの回転磁場 R M を発生させるように構成された磁場発生手段 2 0 を備え、前記光源本体 1 0 は、少なくとも一部にプラズマ P の発生に伴う発光の光成分を外部に放出可能な光放出部 1 0 2 が形成されているので、E U V 光を含んだプラズマ P を発生させることができる。これにより、プラズマ P に含まれる E U V 光で、高集積化 ( 微細化 ) された回路パターンを半導体ウェハ W に対して適正に且つ継続的に転写することができる。また、上述の如く、固体のターゲットや電極を用いることがないため、回路パターンの形成を阻害するデブリの発生がなく、半導体ウェハ W に回路パターンを良好に形成することができる。

## 【 0 0 3 6 】

また、従来の放電生成プラズマ ( D P P ) 光源 1 では、短時間 ( μ 秒 ) のパルス放電によってプラズマ P を発生させるため、間欠的な放電になって安定したプラズマ P を長時間発生させることができなかつたが、本実施形態に係る光源 1 は、定常周波数 ( 数 1 0 0 k H z ) の電力供給によって磁場を形成するため、安定したプラズマ P を長時間に亘って発

10

20

30

40

50

生させることができる。従って、半導体ウェハWに対する露光を高品質且つ継続的に行うことができる。

【0037】

さらに、前記磁場発生手段20は、前記内部空間100内に所定の軸線CL方向の軸磁場AMを発生させるように構成され、軸磁場AMを発生させた状態で回転磁場RMを発生させるように構成されているため、非常に密度の高いプラズマPを発生させることができ、低入力で高出力のプラズマP(EUV光)を得ることができる。

【0038】

特に、前記光源本体10は、外周壁部101が筒状に形成され、前記磁場発生手段20は、外周壁部101の周りに間隔をあけて配置された複数の第一コイル200...と、軸線CL方向に間隔をあけて外周壁部101に外嵌された複数の第二コイル201...とを備え、第二コイル201...で軸磁場AMを発生させつつ第一コイル200...で交番磁界を発生させて回転磁場RMを発生させることでプラズマPを発光させるように構成されているため、内部空間100に磁場発生手段20の何れの構成も配置することがない。このため、内部空間100をプラズマ発生のためだけの空間にすることができ、良好なプラズマを発生させることができる。

10

【0039】

また、前記希ガスは、キセノン(Xe)ガスが採用されているため、EUV光を多く放射するプラズマPを発生することができる。従って、Mo/Siの多層膜で構成される反射鏡(反射率のピークが13.5nmの反射鏡)Mに最適な光源1にすることができる。

20

【0040】

さらに、前記内部空間100を負圧にする吸引ポンプと、該内部空間100内に希ガスを充填する希ガス充填源とを備え、吸引ポンプ及び希ガス充填源は、光源本体10に流体的に接続されているので、吸引ポンプで内部空間100の圧力調整を行うことができる上に、内部空間100の希ガスの濃度調整や圧力調整を行うことができるため、所定波長の光成分(EUV光)を含んだプラズマPを安定して発生させることができる。

【0041】

また、前記光源本体10は、少なくとも外周壁部101が耐熱ガラスで形成されているので、内部空間100でのプラズマPの発生状態を外部から確認することができる。また、耐熱性によってプラズマの発生に伴う熱に耐えることができ、耐久性に優れたものにする

30

【実施例1】

【0042】

発明者は、本発明に係る光源の性能を確認すべく、以下に説明する実験装置を作製して実験を行った。

【0043】

実験装置は、図3に示す如く、光源1'と、光源1'(内部空間100')で発生するプラズマの密度及び電子温度を測定するための静電プローブ5'と、光源1'からのEUV光(波長が13.5nmの光成分)を測定するセンサー6'とを備えている。

【0044】

40

前記光源1'は、光源本体10'の外周壁部101'が筒状に形成され、該外周壁部101'の一端開口が光放出部102'に設定されている。光源本体10'の外周壁部101'は、耐熱ガラスで構成されており、直径70mmで長さが600mmに設定されている。該光源1'は、外周壁部101'の他端に希ガス充填源が接続されており、内部空間100'に希ガス(キセノン(Xe)ガス)を1Pa~20Paで充填できるようになっている。

【0045】

そして、該光源1'は、外周壁部101'を挟んで対向する一対の第一コイル200'が外周壁部101'の周方向に90°位相をずらして二組配置されている。各第一コイル200'は、一辺が75mmの枠状(四角形状)に形成されている。各第一コイル200

50

’には、200kHzの振動子で400Aの電流を供給するようにしており、各組の第一コイル200’で磁場を交互に発生させる、すなわち、軸線CL周りで交番磁界を発生させることで、中心で130ガウスの回転磁場を軸線CL周りに発生させるようになっている。各振動子からの最大出力は40kWであり、最大5ミリ秒に維持される。なお、直列共振回路を成形するために適当なコンデンサが各第一コイル200’に直列的に接続される。

【0046】

また、該光源1’は、外周壁部101’の軸線CL方向に間隔をあけて複数の第二コイル201’が外周壁部101’に外嵌されている。第二コイル201’は、六個設けられており、最大で60G(ガウス)の軸磁場を軸線CLに沿って発生させるようになっている。

10

【0047】

該光源1’は、内部に空間を形成したケース7’がその内部を外周壁部101’の内部空間100’と連通させるように外周壁部101’の他端に対して気密に接続されている。

【0048】

前記ケース7’は、非磁性の材料(SUS304)で形成されており、吸引ポンプが流体的に接続されている。これにより、ケース7’の内部及び光源本体10’内(内部空間100’)を負圧にできるようになっている。本実験装置においては、吸引ポンプに回転ポンプとターボ分子ポンプとを採用し、これらを直列に配置することで、内部空間100’の圧力を10分で $10^{-4}$ Pa以下にできるようになっている。

20

【0049】

前記静電プローブ5’は、検出部(採番しない)を外周壁部101’内(内部空間100’)に位置させるように、外周壁部101’に対して軸線CL方向に間隔をあけて設けられた三つのポート105a, 105b, 105cに取り付けられている。なお、この実験装置においては、三つのポート105a, 105b, 105cのうち、真ん中のポート105bに対応する領域でプラズマP’が発生するため、当該真ん中のポート105bの静電プローブ5’で測定することとした。

【0050】

前記センサー6’は、検出部60’の中心が外周壁部101’の軸線CLの延長線上に位置するようにケース7’内に設けられる。本実験装置において、前記センサー6’は、内部空間100’で発生するプラズマP’の中心から750mm離れた位置に検出部60’が位置するように設けられている。

30

【0051】

前記センサー6’には、フォトダイオードが採用されており、本実験装置には、米国IRD社製、SHUV20HS1フォトダイオード(Mo:500nm、Si:500nm、SiC:50nmの薄膜フィルタを有するp-n接合シリコンダイオード)を採用した。該フォトダイオード6’は、検出部60’の検出有効面積が $20\text{mm}^2$ であり、EUV光の分光応答度は $13.3\text{mA/W}$ である。検出部60’による検出精度を保證すべく、直径5mmの円形の穴80’が穿設された厚み0.5mmのアルミニウム製のカバー8’で検出部60’を覆い、円形の穴80’から検出部60’に光を導けるようにした。

40

【0052】

そして、カバー8’の穴80’を塞ぐように検出部60’の前方には、EUV光(波長が $13.5\text{nm}$ の光成分)のみを通過させる光フィルタ30’が配置されている。これにより、光放出部102’を通過した光のうち、EUV光のみをフォトダイオード6’が検出するようになっている。前記光フィルタ30’は、厚みが $5\text{nm}$ のアルミニウムと厚みが $150\text{nm}$ のジルコニウムで構成されており、 $13.5\text{nm}$ の波長での損失は約0.5である。本実験装置においては、光フィルタ30’として米国LEBOW社のL05を採用した。

【0053】

50



そして、上記フォトダイオード6'を接続するための回路は、図4に示す如く、逆バイアスを0.82μFのコンデンサで阻止し、オシロスコープの入ラインピーダンスの1Mの端子電圧が測定できるようになっている。そして、測定回路の時定数が約300μ秒で、数m秒間で一定であるフォトダイオード6'の信号の測定することが困難であるため、フォトダイオード6'をオシロスコープに接続したケーブルは、50の抵抗器によって終端(ターミネート)されていない。

【0054】

上記構成の実験装置によるプラズマP'から放射される全EUV光の出力は、プラズマP'が等方性の光源点であると仮定することによっておおよそ概算される。

【0055】

すなわち、フォトダイオード6'に対する入力(EUV光の検出部60'上での出力)P<sub>d</sub>は、プラズマP'の全出力と関連していることから、プラズマP'の全出力をP<sub>r</sub>、検出部60'の検出有効面積をA<sub>p</sub>、プラズマP'の中心から検出部60'までの距離をLとすると、式(1)のようになる。

$$P_d = \frac{A_p}{4\pi L^2} P_r \dots \text{式(1)}$$

【0056】

そして、上記構成の実験装置によるEUV光の出力をオシロスコープの出力(オシロスコープの出力1V当りの出力)に換算する換算式は、式(1)を基に式(2)のようになる。

$$S = \frac{4\pi L^2}{13.3 \times 10^3 \times A_p} \approx 26 \text{ W/V} \dots \text{式(2)}$$

【0057】

また、光フィルタ(アルミニウム/ジルコニウムで構成されるフィルタ)30'を用いる場合の換算式は、光フィルタ30'の効率を反映させることで、式(3)のようになる。

$$S_f = \frac{1}{0.5} \frac{4\pi L^2}{13.3 \times 10^3 \times A_p} \approx 52 \text{ W/V} \dots \text{式(3)}$$

【0058】

上記の前提を基にフォトダイオード6'の信号(EUV光の生成状態)、第一コイル200'のコイル電流、軸磁場を測定したところ、図5に示す如く、回転磁場を発生させる500ms前の軸磁場(CH5の信号)は、20G(ガウス)であった。そして、回転磁場を発生した後、すぐにキセノン(Xe)ガスが交番磁界(交互に起こる電界)によってイオン化されることで、回転磁場を発生させる第一コイル200'のコイル電流(CH4の信号)は減少する。プラズマP'の存在は、抵抗を増大させて、第一コイル200'のインダクタンスを減少させる。すなわち、第一コイル200'のインダクタンスの減少に伴って、第一コイル200'のコイル電流が減少する。

【0059】

そして、回転磁場がプラズマP'に侵入する時、第一コイル200'のインダクタンスは増大し、第一コイル200'のコイル電流が初期値に戻ると同時に、軸磁場は、逆方向に反転(リバーズ)されて、軸線CL上で逆向きの磁場(磁場反転配位)が形成される。このことは、1)W.N.Hugrass, I.R.Jones, K.F.McKenna, M.G.R.Phillips, R.G.Storer and H.Tuczek: Phys. Rev. Lett. 44(1980)1676. 2)H.Y.Guo, A.L.Hoffman, R.D.Brooks, A.M.Peter, Z.A.Pietr

10

20

30

40

50

zyk, S. J. Tobin, and G. R. Votrubeck, Physics of Plasmas, 9, 185 (2003)、及び、3) W. N. Hugrass, T. Okada, and M. Ohnishi, Plasma Phys. Control. Fusion, 50, 055008 (2008) . 等で明らかにされている。

【0060】

そして、軸線CL上で逆向きの磁場（磁場反転配位）が形成される時、EUVの信号（ch1）は400mVに達し、徐々に増加して440mVを記録した。回転磁場の終焉とともにプラズマは消失し、EUVの発生は回路定数が減衰してやがて0になる。式（3）に従うと、19WのEUVの放射が観測されたこととなる。

【0061】

そして、発明者は、上記実験装置に対する入力（第一コイル200'及び第二コイル201'に対する供給電力）とEUV光の出力との関係から、エネルギー変換効率を算出したところ、0.03%程度の効率でEUV光の出力が得られた。本発明に係る光源は、エネルギー変換効率が1%である従来のレーザ生成プラズマ（LPP）光源及びエネルギー変換効率が0.5%である放電生成プラズマ（DPP）光源に比較し、現在のところ低い値となっているが、今後、装置および動作条件の最適化で上昇できるものとする。また、EUV光の出力は使用している高周波電源能力の制約を受けているが、より出力の高い電源を用いることにより、装置や動作原理を何ら変更することなく実用化に必要なEUV光の出力が得られるものである。

【0062】

尚、本発明の半導体リソグラフィ用光源は、上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。

【0063】

上記実施形態において、光源本体10の内部空間100に充填される希ガスとして、キセノン（Xe）ガスを充填するようにしたが、これに限定されるものではなく、例えば、ネオン（Ne）ガスを充填するようにしてもよい。また、内部空間100に希ガスのみを充填するようにしたものに限定されるものではなく、上述のようなキセノン（Xe）ガスや、ネオン（Ne）ガス、を含む混合ガスを内部空間100に充填するようにしてもよい。このようにしても、キセノン（Xe）ガスを充填したときと同様に、EUV光（13.5nmの光成分）を放射するプラズマPを発生させることができる。

【0064】

上記実施形態において、外周壁部101を耐熱ガラスで構成し、その他の部分をステンレス等の非磁性の材料で構成したが、これに限定されるものではなく、例えば、光源本体10全体を耐熱ガラスで形成してもよい。また、外周壁部101は耐熱ガラスで構成されたものに限定されるものではなく、例えば、セラミックや陶器、樹脂等の電気絶縁性を有する非磁性の材料で構成してもよい。すなわち、光源本体10は、少なくとも外周壁部101が電気絶縁性を有する非磁性の材料で構成されればよい。なお、外周壁部101をガラス以外のものでも構成する場合には、外部から内部空間100を確認できるように耐熱ガラス等の透明な材料を嵌め込んだ除き窓を設けることが好ましい。

【0065】

上記実施形態において、光源本体10の外周壁部101を円筒状に形成したが、これに限定されるものではなく、内部空間100を画定できれば種々形態に変更可能である。但し、内部空間100に発生させる磁場との関係で内周が歪な形状とならないようにすることが好ましい。

【0066】

上記実施形態において、光源1を半導体リソグラフィ装置Uの一構成として説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、光源1を半導体リソグラフィ装置Uの部品として独立した構成にしてもよい。この場合、半導体リソグラフィ装置Uに組み付ける際に、光通過部102を介してケーシングC内と内部空間100とが連通するように光源本体を構成すればよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 7 】

上記実施形態において、半導体リソグラフィ装置UのケーシングCの外側に光源1を配置するようにしたが、これに限定されるものではなく、例えば、半導体ウェハWが配置されるステージSやマスク、光学系M(Mo/Siの多層膜M)が内装されるケーシングC内に光源本体10、磁場発生手段20を配置するようにしてもよい。具体的には、図6に示す如く、光源本体10の外周壁部101を両端が開放した筒状に形成するとともに、その外周壁部101周りに少なくとも第一コイル200... (或いは第二コイル201...及び第一コイル200...)を配置して光源1を構成した上で、その光源1をケーシングC内に配置するようにしてもよい。

## 【 0 0 6 8 】

このようにしても、ケーシングC内に希ガスを充填することで、光源本体10の内部空間100に希ガスが充填されるため、磁場発生手段20(第二コイル201...第一コイル200...)による外周壁部101内(内部空間100)での磁場の発生で、その内部空間100にプラズマPを発生させることができる。従って、光学系Mを光源本体10の両側に配置しておくことで、EUV光をマスク(ステージS上の半導体ウェハW)に導くことができる。但し、このようにするとケーシングC内に磁場発生手段20を配置することになるため、それに付着した塵等が半導体ウェハWに対する露光を阻害する虞があるため、上記実施形態のように光源1をケーシングCの外側に配置することが好ましいことは言うまでもない。

## 【 0 0 6 9 】

上記実施形態において、軸磁場AMを発生させるように磁場発生手段20を構成したが、これに限定されるものではなく、例えば、回転磁場RMのみを発生させるように磁場発生手段20を構成するようにしてもよい。すなわち、磁場発生手段20を第二コイル201...のみで構成してもよい。

## 【 0 0 7 0 】

上記実施形態において、第二コイル201...を六つ設けたが、これに限定されるものではなく、例えば、軸磁場AMを形成できれば第二コイル201...の数は適宜変更可能である。また、第一コイル200...についても、90°位相をずらして二組設けるようにしたが、これに限定されるものではなく、軸線CL周りで所定角度位相をずらして三組以上設けるようにしてもよい。また、一對の第一コイル200...を外周壁部101周りで回転可能に配置し、この第一コイル200...の回転で回転磁場RMを形成するようにしてもよい。また、二組以上の第一コイル200...に対して交番磁界を発生させつつ、これらを外周壁部101周りで回転させることで、回転磁場RMを形成するようにしてもよい。

## 【 0 0 7 1 】

上記実施形態において、EUV光を反射させる光学系MにMo/Siの多層膜を採用することを前提に、光源1から短波長の光(EUV光)として13.5nmの光を放出させるようにしたが、これに限定されるものではなく、採用される光学系Mの特性に対応した短波長の光成分、或いは、半導体ウェハWに回路パターンを形成するのに好ましい短波長の光成分(例えば、13nm~14nmの波長の光成分)をEUV光として発生させるように希ガスを選択すればよい。

## 【 0 0 7 2 】

上記実施形態において、光源1からのEUV光をMo/Siの多層膜を介して間接的に半導体ウェハWに導くようにしたが、これに限定されるものではなく、例えば、光源1からのEUV光を直接半導体ウェハWに導けるように光源1を配置するようにしてもよい。この場合、光放出部102の配置に対応させるように、所定の短波長の光成分のみを通過させる光フィルタを設ければよい。かかる光フィルタは、透過させる光の波長に応じて選択されるもので、上記実施形態のようにEUV光のみを通過させる場合には、アルミニウム/ジルコニウム膜が採用される。また、上記実施形態のように、光学系Mを設ける場合であって、光学系Mと光源1(プラズマP)との間に光フィルタを設けても勿論よい。

## 【 図面の簡単な説明 】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 3 】

【図 1】本発明の一実施形態に係る半導体リソグラフィ用光源を含む半導体リソグラフィ装置の概略構成図を示す。

【図 2】同実施形態に係る半導体リソグラフィ用光源におけるプラズマの発生メカニズムを説明するための説明図を示す。

【図 3】本発明の実施例に係る実験装置の概略構成図を示す。

【図 4】同実施例に係る実験装置に用いられる電気回路図を示す。

【図 5】同実施例に係る実験装置による実験結果で、オシロスコープの出力画面を示す。

【図 6】本発明の他実施形態に係る半導体リソグラフィ用光源を含む半導体リソグラフィ装置の概略構成図を示す。

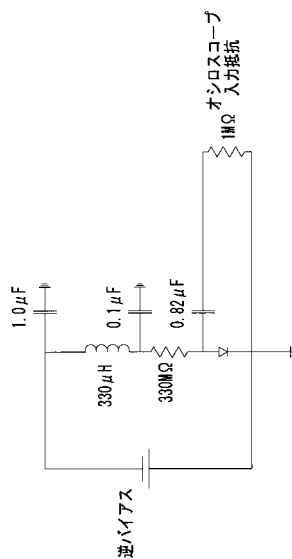
10

## 【符号の説明】

## 【 0 0 7 4 】

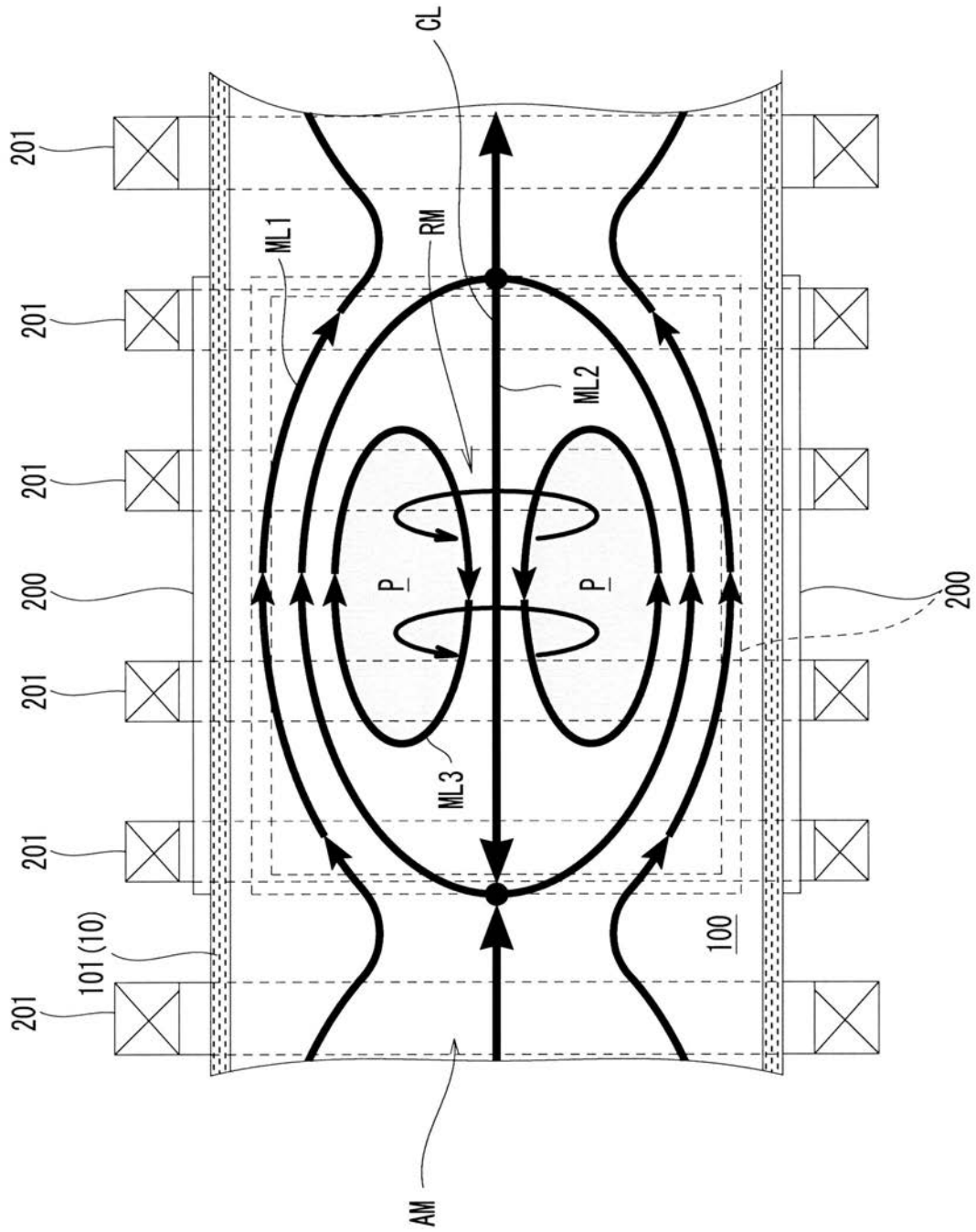
1 ... 光源、10 ... 光源本体、20 ... 磁場発生手段、100 ... 内部空間、101 ... 外周壁部、102 ... 光放出部、103 ... ノズル、104 ... 蓋部材、200 ... 第一コイル、201 ... 第二コイル、C ... ケーシング、M ... 光学系（反射鏡：多層膜）、P ... プラズマ、AM ... 軸磁場、RM ... 回転磁場、S ... ステージ、W ... 半導体ウェハ、U ... 半導体リソグラフィ装置

## 【図 4】

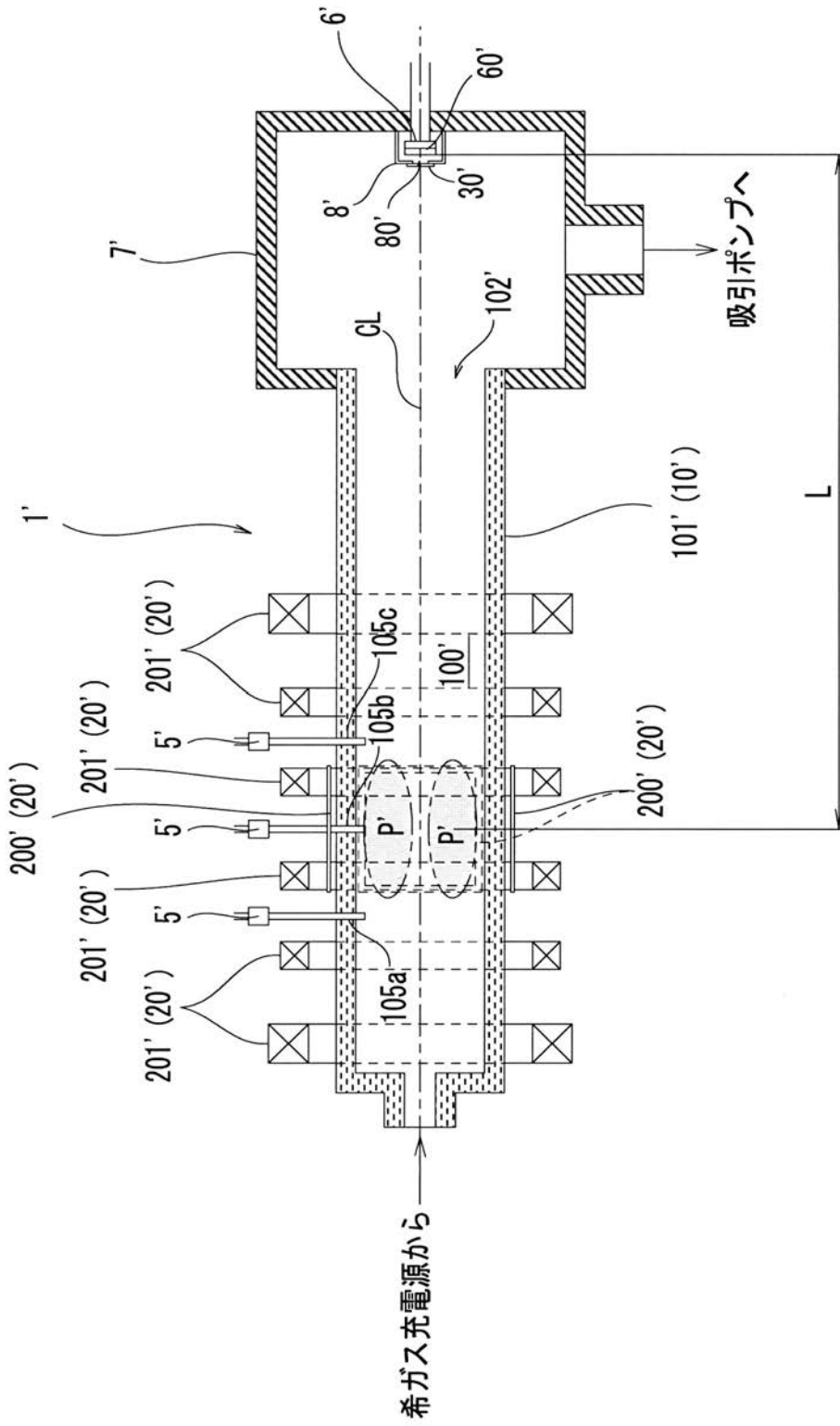




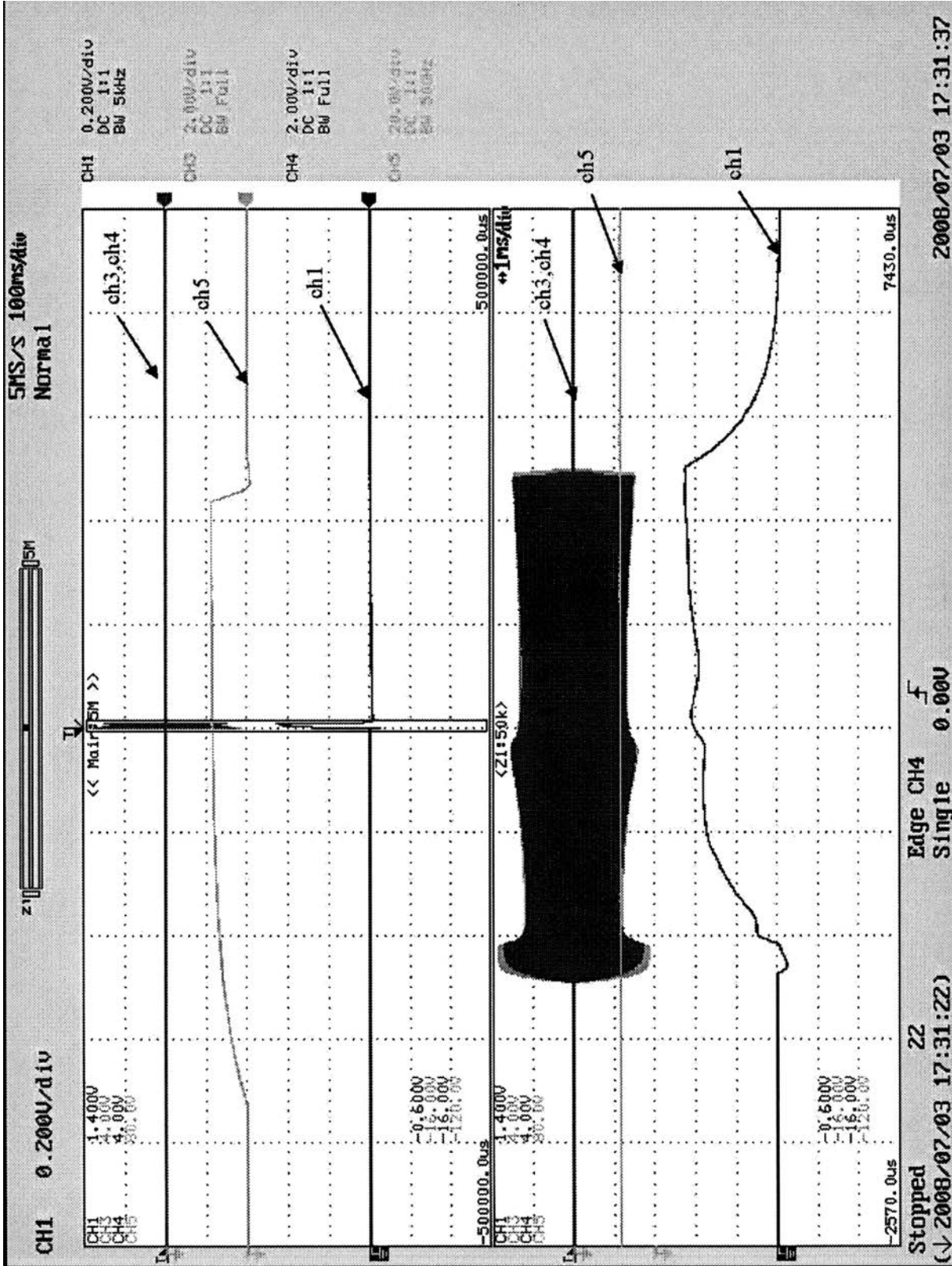
【図2】



【図3】

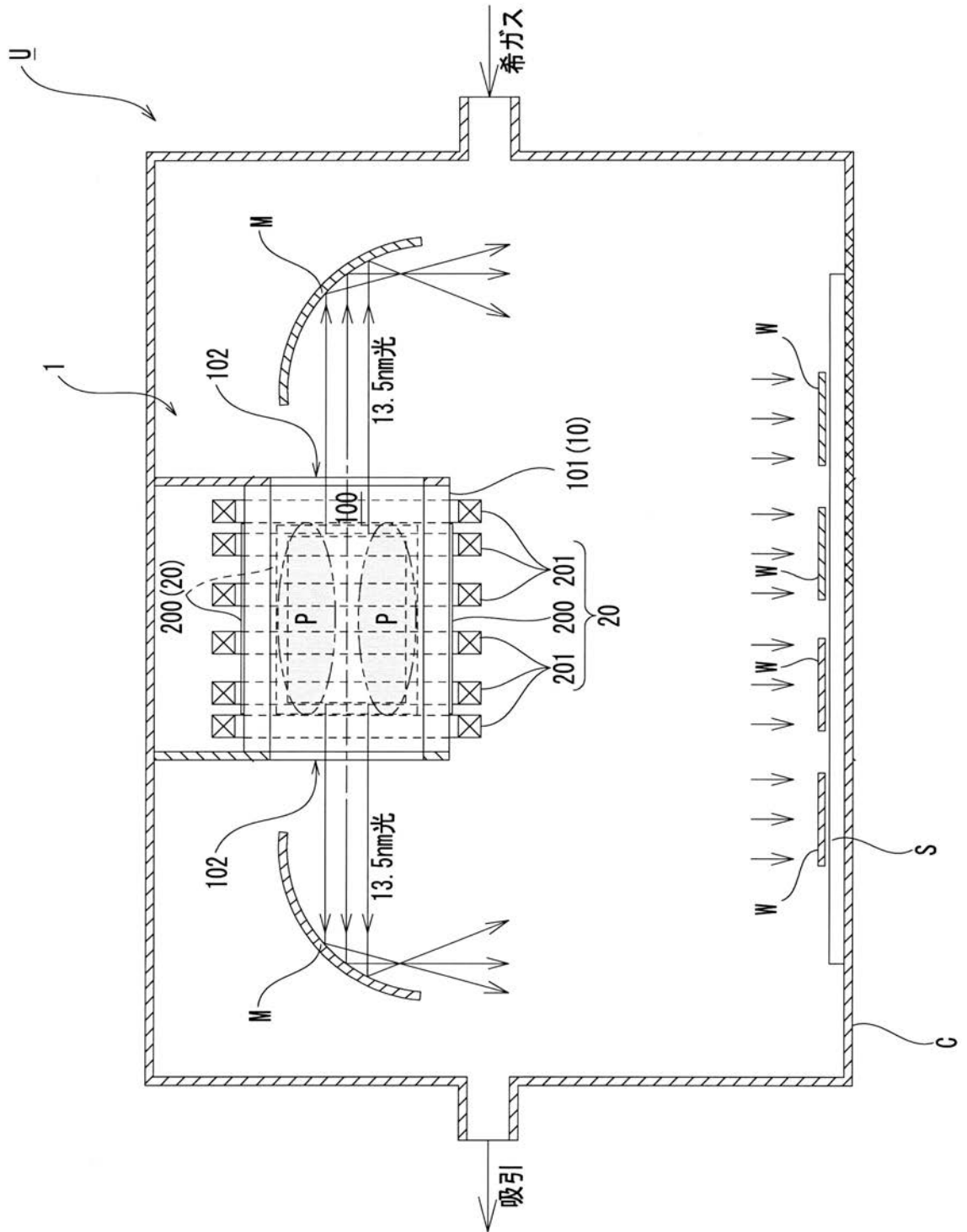


[ 5 ]





【図6】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ワヒード ヒューグラス  
オーストラリア 7250 タスマニア ラウンセストン ロックド バッグ 1359 タスマ  
ニア大学内

審査官 亀澤 智博

(56)参考文献 特表2008-508729(JP,A)  
特開2008-166772(JP,A)  
特開2006-080255(JP,A)  
特表2005-522839(JP,A)  
特表2002-507832(JP,A)  
特開2001-155896(JP,A)  
特開平5-220353(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05G	2/00
G03F	7/20
H01L	21/027
H05H	1/46