

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3992432号  
(P3992432)

(45) 発行日 平成19年10月17日(2007.10.17)

(24) 登録日 平成19年8月3日(2007.8.3)

(51) Int. Cl.	F I
<b>G 2 1 K</b> 5/00 (2006.01)	<b>G 2 1 K</b> 5/00 Z
<b>B 0 1 J</b> 19/08 (2006.01)	<b>B 0 1 J</b> 19/08 E
<b>G 0 3 F</b> 7/20 (2006.01)	<b>G 0 3 F</b> 7/20 5 O 2
<b>H 0 1 L</b> 21/027 (2006.01)	<b>G 0 3 F</b> 7/20 5 2 1
<b>H 0 5 H</b> 1/06 (2006.01)	<b>H 0 1 L</b> 21/30 5 3 1 S

請求項の数 19 外国語出願 (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2000-404229 (P2000-404229)	(73) 特許権者	504151804
(22) 出願日	平成12年12月14日 (2000.12.14)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
(65) 公開番号	特開2001-311799 (P2001-311799A)		ブイ.
(43) 公開日	平成13年11月9日 (2001.11.9)		オランダ国 ヴェルトホーフェン 5 5 0
審査請求日	平成15年4月25日 (2003.4.25)		4 ディー アール, デ ラン 6 5 0 1
(31) 優先権主張番号	466217	(74) 代理人	100079108
(32) 優先日	平成11年12月17日 (1999.12.17)		弁理士 稲葉 良幸
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100093861
			弁理士 大賀 真司
		(74) 代理人	100109346
			弁理士 大貫 敏史
		(74) 代理人	100066692
			弁理士 浅村 皓
		(74) 代理人	100072040
			弁理士 浅村 肇

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 平板投影装置用の照射源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

遠紫外線電磁放射線用のプラズマ照射源において、

高電位源に接続され、第1のプラズマ状態が該第1のプラズマ状態と対応の電磁界に誘導された電流によってピンチ容積に圧縮されうるように構成配置された電極と、

高温のプラズマ状態にされて遠紫外電磁放射線を放射する作業流体の供給源と、

前記第1のプラズマ状態を前記ピンチ容積内へ圧縮することによって前記高温のプラズマ状態にされるように前記作業流体を前記ピンチ容積内に排出するように構成配置された一次噴射ノズルと、

二次流体の供給源と、

前記作業流体の排出線に対して平行で、かつそこから離隔して前記二次流体を排出するように構成配置されている二次噴射ノズルとを含むことを特徴とする、

遠紫外線電磁放射線用のプラズマ照射源。

【請求項 2】

前記作業流体が液体であることを特徴とする、

請求項 1 に記載の照射源。

【請求項 3】

前記一次噴射ノズルがクラスタ噴射あるいは小滴状噴射として前記作業流体を噴射することを特徴とする、

請求項 2 に記載の照射源。

## 【請求項 4】

前記作業流体がリチウム蒸気、クリプトン、キセノン、水およびクライオジェニックリキッドからなる群から選択されることを特徴とする、

請求項 1 から 3 までのいずれか 1 項に記載の照射源。

## 【請求項 5】

前記照射源がプラズマ集束源であることを特徴とする、

請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項に記載の照射源。

## 【請求項 6】

前記照射源が Z ピンチプラズマ源であることを特徴とする、

請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項に記載の照射源。

10

## 【請求項 7】

前記照射源が毛管放電プラズマ源であることを特徴とする、

請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項に記載の照射源。

## 【請求項 8】

前記電極が陽極と陰極であって、該陽極と該陰極との間で駆動流体を排出することによってプラズマを形成するように構成配置された陽極と陰極とを含み、前記陰極が開口を有する中空の空洞を含み、前記開口が照射源の中心軸線の周りで概ね環状の形状を有することを特徴とする、

請求項 5 に記載の照射源。

## 【請求項 9】

前記空洞が照射源の中心軸線の周りに概ね環状の形状を有することを特徴とする、

請求項 8 に記載の照射源。

20

## 【請求項 10】

前記作業流体が前記陽極と陰極との間で前記中心軸線の周りの領域に供給されることを特徴とする、

請求項 8 または 9 に記載の照射源。

## 【請求項 11】

前記作業流体が前記中心軸線に沿って供給されることを特徴とする、

請求項 10 に記載の照射源。

## 【請求項 12】

前記二次噴射ノズルが前記一次噴射ノズルを囲んでいることを特徴とする、

請求項 1 から 11 までのいずれか 1 項に記載の照射源。

30

## 【請求項 13】

前記一次および二次噴射ノズルが共軸であることを特徴とする、

請求項 12 に記載の照射源。

## 【請求項 14】

前記二次流体がヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、メタン、シランおよび水素からなる群から選択された少なくとも 1 種類のガスからなることを特徴とする、

請求項 1 から 13 までのいずれか 1 項に記載の照射源。

## 【請求項 15】

前記一次噴射ノズルが、前記作業流体のパルスを噴射することを特徴とする、

請求項 1 から 14 までのいずれか 1 項に記載の照射源。

40

## 【請求項 16】

前記一次噴射ノズルが超音波噴射ノズルであることを特徴とする、

請求項 1 から 15 までのいずれか 1 項に記載の照射源。

## 【請求項 17】

前記遠紫外線が 9 から 16 nm の範囲の波長を有する放射線からなることを特徴とする、

請求項 1 から 16 までのいずれか 1 項に記載の照射源。

## 【請求項 18】

50

マスクのマスクパターンを基板上に像形成する平板投影装置において、  
遠紫外線を発生させるように構成配置された照射源と、  
前記遠紫外線を受取り、前記遠紫外線の投影ビームを供給するように構成配置された照明系と、

所望のパターンに従って放射線の投影ビームをパターン化するように構成配置されたパターン化手段と、

基板を保持するように構成された基板テーブルと、

パターン化されたビームを基板の目標部分上に像形成するように構成配置された投影系とを含み、

照射源が請求項 1 から 17 までのいずれか 1 項に記載のものであることを特徴とする、  
平板投影装置。 10

#### 【請求項 19】

遠紫外線を発生させるように構成配置された照射源と、

前記遠紫外線を受取り、該遠紫外線の投影ビームを供給するように構成配置された照明系と、

前記放射線の投影ビームを所望のパターンにパターン化するように構成配置されたパターン化手段と、

基板を保持するように構成された基板テーブルと、

パターン化されたビームを前記基板の目標部分上に像形成するように構成配置された投影系とを含む平板印刷装置を使用した素子の製造方法において、 20

前記照射源を使用して放射線の投影ビームを提供する段階と、放射線感応材料の層によって少なくとも部分的に被覆された基板を前記基板テーブルに提供する段階と、

所望のパターンに従って投影ビームの断面をパターン化する段階と、

パターン化したビームを前記基板の前記目標部分上に像形成する段階とを含み、

前記照射源として請求項 1 から 18 までのいずれか 1 項に記載の照射源を使用することを特徴とする平板装置を使用した、

素子の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は照射源、特に平板投影装置用の照射源として使用しうる E U V 放射線を放射する放電プラズマ源であって、

遠紫外線を発生させるように構成配置された照射源と、

前記遠紫外線を受取り、該遠紫外線の投影ビームを供給するように構成配置された照射系と、

所望のパターンに従い投影ビームをパターン化するように構成配置されたパターン化手段と、

基板を保持するように構成された基板テーブルと、

パターン化されたビームを前記基板の目標部分上に像形成するように構成配置された投影系とを含むことを特徴とする照射源に関する。 40

#### 【0002】

#### 【従来の技術】

「パターン化手段」という用語は基板の目標部分に形成すべきパターンに対応するパターン化された断面を到来照射ビームに付与するために使用しうる手段を称するものとして広義に解釈すべきであり、「光弁」という用語もこのような主旨で使用されている。一般に、前記パターンは例えば集積回路あるいはその他の素子（以下参照）のような目標部分において形成されつつある素子における特定の機能層に対応する。そのようなパターン化手段の例としては以下のものを含む。

- マスクを保持するマスクテーブルである。マスクの概念は平板印刷においては周知であり、バイナリ、交番移相および減衰移相のようなマスク型式並びに各種のハイブリッドマ 50

スク型式を含む。照射ビームにそのようなマスクを位置させることによってマスクのパターンに従って（透過マスクの場合は）透過度を、（反射マスクの場合は）マスクに衝突する放射線の反射度を選択しうるようにする。マスクテーブルはマスクが到来照射ビームの所望の位置に確実に位置しうるようにし、かつ希望に応じてマスクがビームに対して確実に移動可能にする。

- プログラム化可能なミラーアレイである。そのような素子の例は粘弾性制御層と反射層とを有するマトリックスアドレス指定可能な面である。そのような装置の背景にある基本概念は、（例えば）反射面のアドレスされた領域が入射光線を拡散光線として反射し、一方アドレスされていない領域が入射光線を非拡散光線として反射することである。適当なフィルタを使用して、前記非拡散光線は反射ビームから濾過され、拡散された光線のみを残し、このようにして、ビームはマトリックスアドレス可能な面のアドレス指定パターンに従ってパターン化される。必要なマトリックスアドレス指定は適当な電子手段を使用して実行可能である。そのようなミラーアレイに関するより多くの情報は、例えば、参考のため本明細書に組み込んだ米国特許第 5, 296, 891 号および同第 5, 523, 193 号から収集可能である。

10

- プログラム化可能な LCD アレイである。そのような構成の一例が参考のために本明細書に組み込んだ米国特許第 5, 229, 872 号に提供されている。説明を簡単にするために、本説明の残りにおいて、ある個所では特にマスクテーブルとマスクを含む例を述べるが、そのような場合においても説明された一般原理では上述したような広義のパターン化手段を扱う。

20

#### 【0003】

説明を簡単にするために、以下述べる投影系は「レンズ」として指示する。しかしながら、この用語は、屈折光学装置、反射光学装置、および例えば反射屈折光学系を含む各種型式の投影系を包含するというように広義に解釈すべきである。更に、平板印刷装置は 2 個以上のマスクテーブルおよび（または）2 個以上の基板テーブルを有する型式のものでよい。

#### 【0004】

平板投影装置は例えば集積回路（ICs）の製造において使用可能である。そのような場合、マスク（焦点板）は IC の個々の層に対応する回路パターンを含み、このパターンは放射線感応材料（レジスト）の層でコーティングした基板（シリコンウェーファー）上の目標領域（1 個以上のダイを含む）上に像形成可能である。一般に、単一のウェーファーが一時に一回マスクを介して順次照射される隣接する目標領域の全体網を包含している。平板投影装置の一型式において、各目標領域はマスクパターン全体を一回の操作で目標領域上に露出することによって照射される。そのような装置は通常ウェーファーステッパと称されている。ステップアンドスキャン装置と通常称される代替的な装置においては、各目標領域は所定の基準方向（「走査」方向）において投影ビームでマスクパターンを徐々に走査することによって照射され、一方同期的に前記方向に対して平行に、あるいは反平行的に基板を走査する。一般に投影系は倍率  $M$ （一般に  $< 1$ ）であるので、基板テーブルが走査される速度  $V$  はマスクテーブルが走査される速度の  $M$  倍の係数である。平板装置に関するより更に多くの情報は国際特許出願第 WO 97 / 33205 号から収集可能である。

30

40

#### 【0005】

一般に、この型式の装置は単一のマスク（第 1 の対物）テーブルと単一の基板（第 2 の対物）テーブルとを含んでいた。しかしながら、少なくとも 2 個の独立して運動可能な基板テーブルが存在する機械が市販されつつある。例えば、国際特許出願第 WO 98 / 28665 号および同第 WO 98 / 40791 号に記載の多段装置を参照されたい。そのような多段装置の背景にある基本作動原理は第 1 の基板テーブルがそのテーブルに位置した第 1 の基板を露出するように投影系の下方に位置している間に、第 2 の基板テーブルが装填位置まで進行し、露出された基板を排出し、新しい基板を取り上げ、この新しい基板に対して若干の初期計測段階を実行し、次にこの新しい基板を第 1 の基板の露出が完了するや

50

直ちに投影系の下方の露出位置まで転送するように待機し、このようにしてサイクルが繰返される。こうして機械の処理能力を顕著に増大させることが出来る。

#### 【0006】

平板装置において、基板上に像形成可能な特徴のサイズは投影放射線の波長によって制限される。高密度の素子を備えた、従ってより速い作動速度の集積回路を製造するためには、より小さい特徴を像形成できることが望ましい。最新の平板投影装置は水銀ランプあるいはエキシマレーザによって発生する紫外線を使用しているが、約13nmのより短い波長の放射線を使用することが提案されてきた。そのような放射線は遠紫外線(EUV)あるいは軟X線と称され、可能な供給源としては、例えばレーザにより発生したプラズマ源、放電プラズマ源、あるいは電子ストレイジリングからのシンクロトロン放射を含む。シンクロトロン放射を利用した平板投影装置の概略設計は応用光学32巻24号の6920 6929頁(1993)でのジェイムマーフィによる「投影X線平板のためのシンクロトロン照射源およびコンデンサ」("Synchrotron radiation sources and condensers for projection x-ray lithography" JB Murphy et al, Applied Optics Vol. 32 No. 24 pp 6920-6929(1993))に記載されている。放電プラズマ源を使用した装置はProc SPIE 3997 136 156頁、2000のダブリュー・パトリック・アイ・フォーメンコフ、アール・オリバー、パークスによる「リチウム蒸気中での濃密プラズマ焦点を使用したEUV(13.5nm)光源の開発」(W. Partlo, I. Fomenkov, R. Oliver, D. Birx, "Development of an EUV (13.5nm) Light Source Employing a Dense Plasma Focus in Lithium Vapor", Proc SPIE 3997, 861 866頁、2000のエムノ。ダブリューマックゴーチによる「Z-ピンチ遠紫外線源のパワースケーリング」(M. W. Mc Geoch, "Power Scaling of a Z-pinch Extreme Ultraviolet Source", Proc SPIE 3997, pp 861-866, 2000), Proc SPIE 3676, pp 272 275, 1999のダブリュー・ティ・シルフバスト、エム・クロスナ、ジー・シムカベグ、エイチ・ベンダ、ジー・クーピアック、エヌ・フォルナシアリによる「EUV平板印刷用の13.5および11.4nmにおける高パワープラズマ放電源」(W. T. Silfvast, M. Klosner, G. Shimkaveg, H. Bender, G. Kubiak, N. Fornaciari, "High-power plasma discharge source at 13.5 and 11.4 nm for EUV lithography")に記載されている。

#### 【0007】

放電プラズマ源において、部分的にイオン化された低密度の比較的冷たいプラズマが放電によって形成され、次に更に強くイオン化され極めて高温に達しEUV放射を行なうように圧縮される。例えばRFパワー源による予備イオンが採用されて放電を開始させ、良好に画成されたプラズマシートを形成してもよい。例えばプラズマ集束、Zピンチおよび毛管源のような装置の形状寸法は変動しうるが、これらの型式の各々において放電の電流によって発生する磁界が圧縮を推進する。十分に圧縮可能で、所望の周波数帯において十分な放射線を放射しうるプラズマを形成するのに適当な磁気流体特性を有するガスが少ないので、放電プラズマ源の効率と強度とを最適化することが必須である。

#### 【0008】

##### 【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は平板投影装置に使用しうる改良されたプラズマ源を提供することである。

#### 【0009】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明によれば、遠紫外線電磁照射用のプラズマ照射源であって、

10

20

30

40

50

高電位差源に接続され、第１のプラズマ状態と対応の磁界に誘導される電流によって第１のプラズマ状態をピンチ容積内へ圧縮させるように構成配置された電極と、高温のプラズマ状態にされて遠紫外線電磁放射線を放射する作業流体の供給源と、前記第１のプラズマ状態を前記ピンチ容積内へ圧縮することによって前記高温プラズマ状態にされるように前記ピンチ容積内へ前記作業流体を放出するように構成配置された一次噴射ノズルとを含む遠紫外線電磁照射用プラズマ照射源が提供される。

【００１０】

ＥＵＶ放射線は主として、圧縮放電によって高温の放射線放射状態まで昇温された作業（一次）流体によって放射されるので、作業流体は放電を形成するのに好ましい特性の必要性によって制限されることなく所望の波長でＥＵＶ放射線を放射する上での効率に選択することができる。作業流体は、例えばリチウム蒸気、クリプトン、キセノン、水およびクライオジェニックリキッド（極低温液体）でよい。同時に、電導性で効果的な圧縮媒体を発生させる上で効果的な磁気流体力学特性に基づき、かつＥＵＶ光学特性、特に対象とする波長における透過性に基づいて選択された駆動流体を放電の形成を助勢するために電極の間の空間に供給できる。従って、プラズマ発生要件と放射要件とは相互作用を断たれ、各要素用の物質の広い範囲の選択を可能にし、かつ供給源の効果、および効率を改良しうる。

【００１１】

供給源の放電（「ショット」）毎に新しい作業流体を提供することは、また各サイクルで初期状態をより迅速に到達させることによって供給源の可能な繰返し速度を増加させる。作業流体を新しく供給することはまた従来技術の供給源では時間のかかったピンチ容積から汚染をフラッシュのに役立つ。更に、作業流体は、例えばクラスタ噴射あるいは液体噴射のようなより濃密な形態で供給しうるので各放電に対してより大量の作業流体を供給可能である。

【００１２】

放出軸線上の作業流体の濃度は放出れる流体が放出軸線上で最高の濃度を有するように一次噴射を適当に配することによって増加させることができる。超音波噴射は鋭いピークの濃度プロファイルを備えた噴射を提供するので特に好ましい。

【００１３】

本発明の好適実施例において、照射源は更に二次流体用供給源と、前記作業流体の噴出線に平行に、かつそれから離隔して前記二次流体を放出するように構成配置された二次噴射ノズルとを含んでもよい。

【００１４】

一次噴射ノズルの他に二次噴射ノズルを設けることにより、一次ガスの発散度は二次噴射ノズルからの二次ガスの流出によって減少してもよい。その場合一次ガスの十分な濃度が噴射ノズルの出口からより離れた距離に存在するので、ノズルの出口からより離れた距離においてプラズマを形成することが可能である。このことは、破片の生成とそれに関わる問題とを阻止する。更に、照射源は、二次ガスの流出が照射系の光学要素と一方では照射源の電極や絶縁体のような部材と、他方では形成される高温のプラズマとの間の例えば遮蔽体として機能するように位置してもよい。そのような遮蔽体は破片の粒子が照射源の部品あるいは光学要素に向って逃げるのを大いに阻止する。粒子は遮蔽用二次ガスを通過せず、あるいは減速しかつ中立化され、そして堆積あるいはその他の原因による損傷作用を生じるのを阻止される。また、放射された放射線の再吸収性が減少し、輝度が増加した照射源はピンチ容積の側部においてＸＵＶ照射透明容積を提供することによって得ることができる。

【００１５】

特に好ましい実施例において、二次噴射ノズルは一次噴射ノズルを囲む。そのような場合、二次ノズルは形状が環状でよく、一次ノズルを囲むように配置された複数のノズルから構成しうる。そのような形態は一次ガスの放散を更に良好に制御し、平行で、あるいはノ

10

20

30

40

50

ズルから一定距離にわたり収束する一次ガスの流出を得ることができる。一次ガスと、そこで形成された高温のプラズマとを囲む二次ガスも更に、プラズマからのプラズマ粒子の逃げを阻止し、ピンチ容積の周りにXUV照射透明容積を提供する。最適形態においては、一次および二次噴射ノズルは共軸である。

#### 【0016】

二次ノズルは初期放電形成を助勢する初期量の二次ガスを提供し、次にガスの供給を停止してもよいことが注目される。代替的に、二次ガスは前述の機能を実行するために連続的に、あるいはパルス状で供給可能である。

#### 【0017】

二次ガスはヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、メタン、シラン、および水素、あるいは一般にいずれかのEUV透明ガスからなる群から選択された少なくとも一つのガスから構成しうる。水素はEUV照射に関しては優れた吸収特性を有するので好ましい二次ガスである。このように、水素は大きな流速（流出における局部的濃度が高い）で使用可能で、放散制御やプラズマの遮蔽のために一次ガスを極めて効率的に閉じ込めることが出来る。

10

#### 【0018】

本発明はまた、マスクのマスクパターンを基板上に像形成する平板照射装置であって、遠紫外線を発生させるように構成配置された照射源と、前記遠紫外線を受取り、該遠紫外線の投影ビームを供給するように構成配置された照射系と、  
所望のパターンにより放射線の投影ビームをパターン化するように構成配置されたパターン化手段と、  
基板を保持するように構成された基板テーブルと、  
パターン化されたビームを基板の目標部分上に像形成するように構成配置された投影系とを含む装置において、  
前記照射源が前述したようなものであることを特徴とする平板投影装置を提供する。

20

#### 【0019】

本発明は更に  
遠紫外線を発生させるように構成配置された照射源と、  
前記遠紫外線を受取り、該遠紫外線の投影ビームを供給するように構成配置された照射系と、  
所望のパターンに従って放射線の投影ビームをパターン化するように構成配置されているパターン化手段と、  
基板を保持するように構成された基板テーブルと、  
前記パターン化されたビームを前記基板の目標部分上に像形成するように構成配置された投影系とを含む平板印刷装置を使用した素子を製造する方法であって、  
前記照射源を使用して放射線の投影ビームを提供する段階と、  
放射線に感応する材料の層によって少なくとも部分的に被覆された基板を前記基板テーブルに提供する段階と、  
所望のパターンによる断面に投影ビームをパターン化する段階と、  
前記基板の前記目標部分上にパターン化したビームを像形成する段階とを含む方法において、  
前記照射源として前述した照射源を使用することを特徴とする平板印刷装置を使用した素子を製造する方法を提供する。

30

40

#### 【0020】

本発明による平板投影装置を使用した製造方法において、マスクのパターンが放射線に感応する材料（レジスト）の層によって少なくとも部分的に被覆されている基板上に像形成される。この像形成段階に先立って、基板は例えば下塗り、レジストコーティング、および軟質ベーキングのような各種の手順を経由しうる。露出の後、基板は、例えば露出後ベーキング（PEB）、現像、硬質ベーキングおよび像形成された特徴の測定／検査のよう

50

な他の処置を受けてよい。この多くの処置は、例えばＩＣのような素子の個々の層をパターン化する基準として使用される。そのようなパターン化された層は、次にエッチング、イオン移植（ドーピング）、金属化、酸化、化学的 機械的研磨等のような、全て個々の層を仕上げる目的の各種の工程を受けてよい。数枚の層が必要である場合、全体の処置、あるいはその変形は新しい各層に対して繰り返す必要がある。最終的に、素子のアレイが基板（ウェーファー）上に位置する。次に、これらの素子は例えばダイシングあるいはソーイングのような技術によって相互から分離され、次に個々の素子はキャリアに装着されるか、あるいはピンに接続するなどが可能である。そのような工程に関する詳細情報は 1997、ISBN0 07 067250 4のマグローヒル出版社のピータファンザント著の本「マイクロチップファブリケーション：半導体処理の実用ガイド」の第3版（“Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing”, Third Edition, by Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN0 - 07 - 067350 - 4）から取得しうる。

10

#### 【0021】

本文ではＩＣの製造において本発明の装置の使用を特に参照してよいが、そのような装置はまたその他の用途も可能であることを明確に理解すべきである。例えば、前記装置は集積した光学系、磁気ドメインメモリ用案内および検出パターン、液晶ディスプレイパネル、薄膜磁気ヘッド等の製造においても採用可能である。当該技術分野の専門家は、そのような代替的適用に関連して、本文における「レチクル」、「ウェーファー」、あるいは「ダイ」というような用語の使用は、より一般的な用語、「マスク」、「基板」、および「目標部分」あるいは「露出領域」に置き換えられるとみなすべきことを認識しよう。

20

#### 【0022】

各種の図面において、同じ部材は同じ参照番号で指示する。

#### 【0023】

#### 【発明の実施の形態】

##### 実施例 1

図1は本発明の第1の実施例によるプラズマ焦点放電源210を示す。プラズマ焦点放電源210は間に環状空間を置いて細長い陽極212を囲む全体的に筒形の陰極211を含む。電圧源214は放電電流Iが陽極から陰極まで流れ始めるように環状空間においてガスをイオン化させるのに十分な高電圧を陽極と陰極との間に掛ける。放電電流Iは陽極と陰極との間の環状空間において円形の磁界Bを発生させる。放電電流のイオンは矢印216で指示するように陽極212に沿って磁界Bと相互作用することによって駆動される。陽極212は陰極211よりも短く、プラズマが陽極212の端をおおって駆動され、かつピンチ容積218内に極めて高温のプラズマを形成するように収束するように中空の先端を有する。

30

#### 【0024】

本発明によると、各放電の間に陽極212と陰極211との間の環状空間を充填する駆動ガスにプラズマが形成される。駆動ガスは磁気 流体力学的特性に従って選択されて導電性媒体を効果的に形成し、電流を陽極から陰極まで案内し、発生した磁界によって誘導され、軸線の周り、かつその上に囲われた容積を含む。所望の波長のEUV照射を提供するために、例えばガス、蒸気、クラスタあるいは液体のような作業（一次）物質が囲われた容積内へ提供され、収束するプラズマによって加熱されEUV放射線を放射する。作業物質は例えば約9から16nm、好ましくは11あるいは13nmの所望の波長でのEUV放射線の放出中の効率に対して選択され、リチウム、キセノンあるいは水でよい。

40

#### 【0025】

作業物質は適当にパルス化された源214から得られる放電電圧に対して適当に調時された、例えばクラスタ噴射あるいは小滴状噴射のような噴射として収束プラズマのピンチ容積218の領域内へ放出されることが好ましい。作業物質は陽極212の孔213を介し

50



て供給源 2 1 5 から供給されて陽極 2 1 2 の中空の先端に噴射 2 1 7 を形成することができる。前記供給源 2 1 5 は作業物質の容器並びに噴射を制御するのに必要なポンプ、弁等を含む。

【 0 0 2 6 】

#### 例 2

以下述べることを除いて本発明の第 1 の実施例と同じでよい本発明の第 2 の実施例は所謂 Z - ピンチプラズマ照射源を含む。

【 0 0 2 7 】

Z - ピンチプラズマ放電源 2 2 0 が図 2 に示されている。それは絶縁壁を有する筒形の室 2 2 3 の両端に設けられた環状の陰極 2 2 1 と環状の陽極 2 2 2 とを含む。ある量の駆動 (二次) ガスが筒形の室 2 2 3 の外壁の近くの環状の開口を通して供給源 2 2 5 から噴射され、事前にイオン化される。次に、電圧源 2 2 4 が陽極 2 2 2 と陰極 2 2 1 との間で電圧を掛け、筒形の放電を前記室 2 2 3 の絶縁壁で開始させ、該室 2 2 3 は方位磁界を発生させる。前記磁界は放電を高温高压で細い軸線方向の糸状、すなわちピンチ容積 2 2 9 に縮小させる。セラミックプラグ 2 2 6 が、投影ビーム P B を形成する遠紫外線が通って放射される開口を画成する。

【 0 0 2 8 】

本発明によって E U V の放射を向上させるために、作業物質は適当な時間に供給源 2 2 7 から室 2 2 3 内のピンチ容積領域内へ噴射されてプラズマ放電により同伴され、かつ圧縮される。第 1 の実施例と同様に、駆動ガスは高温のプラズマを発生させる効果について選択でき、作業物質は所望の波長の E U V 放射線を放出する効率について選択できる。

【 0 0 2 9 】

#### 実施例 3

以下述べることを除いて第 1 の実施例と同じでよい第 3 の実施例は毛細放電プラズマ源を含む。図 3 は小さい室 2 3 3 の端板を形成する陰極 2 3 1 と陽極 2 3 2 とを有する毛細放電源 2 3 0 を示す。陽極 2 3 2 は、陰極 2 3 1 と室 2 3 3 の側壁とに面する陽極 2 3 2 の側部を覆う絶縁体 2 3 5 に形成された細い毛管 2 3 6 と整合した小さい中央貫通孔を有する。放電は毛管 2 3 6 に形成され、先の実施例と同様に毛管の軸線をピンチ容積に縮め高温を有する強くイオン化された高密度のプラズマを形成する。放射開口は開口プレート 2 3 7 によって画成されている。

【 0 0 3 0 】

本発明によれば、作業 (一次) 物質は供給源 2 3 8 から毛管 2 3 6 内へ噴射される。前述の実施例と同様に、駆動ガスは高温のプラズマを発生する効果について選択でき、作業物質は所望の波長の E U V 放射線を放出する効率について選択できる。

【 0 0 3 1 】

第 3 の実施例において、また第 1 と第 2 の実施例においても、駆動ガスは供給源の各放電 (ショット) で室内へ噴射可能である。作業ガスおよび駆動ガスは第 7 と第 8 の実施例において説明するように、例えば 2 部分の環状ノズルによって噴射可能である。このことは、噴出された作業流体の噴射の放散を低減し、供給源の効率を増大させるピンチ容積の周りの遮蔽ガスを提供する。一次噴射ノズルは該噴射ノズルからの噴出の軸線に沿った作業ガスの鋭いピークの密度分布を有する超音波噴射を提供することが好ましい。

【 0 0 3 2 】

#### 実施例 4

図 4 は前述した第 1 の実施例の変形である本発明による、照射源の第 4 の実施例を示す。図は電気絶縁体 1 3 0 によって分離された状態に保たれ、コンデンサバンク 1 4 0 に接続された陽極 1 1 0 および陰極 1 2 0 の形態を示す。照射源の中央部分は中心軸線の周りで筒形に対称である。図 4 は、更に環状の陰極開口 1 2 1 と中心軸線 A の周りの環状の陰極空洞 1 2 2 を示す。

【 0 0 3 3 】

駆動ガスあるいは蒸気は前記空洞内に低圧を提供するように入口 1 2 5 を介して該空洞 1

10

20

30

40

50

22に供給される。本実施例において、アルゴン（Ar）が駆動ガスとして採用されるが、基本的に、例えばヘリウム（He）、ネオン（Ne）、および水素（H<sub>2</sub>）のようないずれかのガスが適当である。水素は、EUV範囲で低い放射線吸収性を示すので特に好ましい。空洞122内の駆動ガスは陽極と陰極との間に放電を開始するための電子源として使用される。

#### 【0034】

陰極空洞122は中心軸線の周りの領域にある陽極 陰極間隙に作業ガスあるいは蒸気を噴出する（一次）作業ガスあるいは蒸気の供給源160を囲む。作業ガスあるいは蒸気はプラズマとしてのスペクトル放射特性について選択される。本実施例は約13.5nmで極めて強力な放射ラインがあるためリチウム（Li）を使用する。電磁放射スペクトルのXUV（およびEUV）領域において広い放射スペクトルを有するキセノン（Xe）も使用してよい。図示したリチウム源160は固形リチウムを入れた容器162の下方にヒータ161を含む。気化したリチウムが超音波（ラバル）ノズル163を介して陽極 陰極間隙に到達するが、その他の型式のノズルを使用してもよい。

10

#### 【0035】

トリガ電極150が陰極の空洞122に挿入されている。電極150は以下説明する放電を開始するために電圧パルス電極に掛ける適当な電気回路（図8に示さず）に接続される。最初は、照射源は自動トリガに近接している。トリガ電極150に掛けられた電圧パルスは陰極の空洞122内の電界の乱れをしようじさせ、これは中空の陰極を起動させ、破壊チャネル形成させ、その後陰極120と陽極110との間に放電を生じさせる。

20

#### 【0036】

初期放電は低い初期圧（ $p < 0.5 \text{ Torr}$ ）および高電圧（ $V < 10 \text{ KV}$ ）条件において起こることがあり、そのため電子の平均自由軌道は陽極 陰極間隙と比較して大きく、かくてタウンSEND（Townsend）イオン化が無効となる。これらの状態はガスあるいは蒸気密度比E/Nに亘って大きな電界強度によって特徴付けられる。この段階は固定の電位差を有する可成り均等に離隔された等電位線を示す。

#### 【0037】

イオン化成長は、可成り低いE/Nにおいて作動する中空の陰極内の事象によって最初は支配され、その結果電子用の小さい平均自由軌道を生じる。中空の陰極120からの、そして該空洞122内の駆動ガスあるいは蒸気から得られる電子は陽極 陰極間隙内へ噴射され、仮想陽極が継続中のイオン化によって作られ、該仮想陽極は陽極110から中空の陰極120に向かって伝播し、陰極の近傍まで完全な陽極電位を導く。陰極120の中空の空洞122内の電界は今では顕著に向上する。

30

#### 【0038】

次の局面において、イオン化は継続し、中空の陰極内に高イオン密度を有する領域を陰極の開口121の直ぐ後ろに急速に発生させる。最後に、この領域から陽極 陰極間隙内へ電子126の強力なビームを噴射することは、最終の破壊チャネルを形成する。この形態は均一な予備イオン化と放電容積における破壊とを提供する。

#### 【0039】

作業ガスあるいは蒸気が供給源160から噴出され、放電が開始すると、作業ガスあるいは蒸気の部分的にイオン化された低密度で比較的冷たいプラズマが開口121の上方の陽極 陰極間隙に形成される。電流が陰極120から陽極110までプラズマ内に流れ、その電流は照射源の周りに、磁界強度Hを有する方位磁界を生じさせる。方位電磁界は陰極開口121の上方にある部分的にイオン化されたプラズマを中心軸線Aに向って圧縮させる。

40

#### 【0040】

プラズマの動的圧縮が行われる理由は、方位磁界の圧力は熱プラズマの圧力よりはるかに高いからであり $H^2/8 \gg nkT$ 、ここでnはプラズマ粒子の密度を表わし、kはボルツマン定数を表わし、Tはプラズマの絶対温度を表わす。陽極110および陰極120に接続されたコンデンサバンク140に貯えられた電気エネルギーはプラズマ圧縮の全時間

50

の間運動爆縮のエネルギーに最も効率的に変換される。高度な空間安定性を備えた均一に充填されたピンチ容積が形成される。

【 0 0 4 1 】

プラズマ圧縮、すなわち中心軸線 A 上でのピンチ容積におけるプラズマのよどみの最終段階において、プラズマの運動エネルギーがプラズマの熱エネルギーに変換され、最終的に X U V 範囲において極めて大きく寄与する電磁放射線に変換される。

【 0 0 4 2 】

崩壊したプラズマからの放射線は陽極 1 1 0 の開口 1 1 1 を通って真空室 1 7 0 内へ進み、該真空室はその壁にある開口 1 7 1 を介して排気されている。プラズマおよび破片の粒子もまた開口 1 1 1 を介して逃げることもある。X U V 照射パルスが何ら放出されない場合これらの粒子を遮断し粒子が投影系 P L までの X U V 放射線の照射軌道にあるどの光学要素に到達しないようにするフライホイール 1 8 0 が存在している。

10

【 0 0 4 3 】

実施例 5

図 5 は第 4 の実施例の変形であり、中心軸線 A におけるプラズマの崩壊から陰極 1 2 0 の開口領域を更に遮蔽する本発明の第 5 の実施例を示す。陽極 1 1 0 と陰極 1 2 0 の双方は「帽子状」構造を有する。環状の陰極の空洞 1 2 2 と開口 1 2 1 とは前記帽子の底側に位置している。開口 1 2 1 での放電によって形成された、部分的にイオン化された低密度で比較的冷たいプラズマが上方に、かつ中心軸線 A に向かって「角を曲がった」ところで圧縮される。更に、陽極 1 1 0 と陰極 1 2 0 との位置は交換されている。陰極 1 2 0 は本構造体の外部に位置し、X U V 放射線を真空室 1 7 0 まで通す開口 1 2 3 を含む。

20

【 0 0 4 4 】

しかしながら、作業ガスあるいは蒸気、また本実施例におけるリチウム蒸気の密度は放電およびプラズマを形成するには陰極 1 2 0 の環状開口 1 2 1 において低すぎることもある。第 6 の実施例において、照射源は駆動ガスに放電を起こす駆動ガスあるいは蒸気、本実施例においては A r の十分高い圧力を環状の開口 1 2 1 の領域における陽極 陰極間隙内に提供するように構成されている。その結果得られる駆動ガスのプラズマは中心軸線 A に向って圧縮を開始し、ある個所において作業ガスあるいは蒸気の十分高い圧力と出会い作業ガスあるいは蒸気のプラズマを形成し、該プラズマは次に中心軸線 A におけるピンチ容積内へよどみができるまで更に圧縮される。駆動ガスあるいは蒸気のプラズマは作業ガスあるいは蒸気の十分高い圧力に到達するように最初からでも「角を曲がら」なければならないことがある。

30

【 0 0 4 5 】

実施例 6

本発明の第 6 の実施例による照射源が図 6 および図 7 に概略図示され、それぞれ一次および二次噴射ノズル 1 0 および 2 0 並びに一次および二次噴射ノズルへの一次および二次ガスの供給源 1 1、2 1 を含む。本実施例において、双方の噴射ノズルはパルス化された噴射ノズルであって、双方の供給ライン 1 1、2 1 は一次および二次ガスのパルスをそれぞれの噴射ノズルに供給するある瞬間に開放する弁を含む。

【 0 0 4 6 】

40

図 6 は一次および二次ガス用の噴射ノズル源の長手方向断面を示す。図 7 はノズル源の正面図を示す。一次および二次噴射ノズルは共軸に配置され、二次噴射ノズル 2 0 は一次噴射ノズル 1 0 を囲んでいる。一次噴射ノズル 1 0 は円形出口 1 3 を有し、二次ノズル 2 0 は環状の出口 2 3 を有する。プランジャ 1 2 および 2 2 は一次および二次ガスの供給源 1 1 および 2 1 にそれぞれ配設され、供給源のテーパ付きの端部に当接することによってそれぞれの供給源を閉鎖するように独立に作動可能である。このようにして、一次および二次ガスのパルス化した流出を提供するようにそれぞれの供給源を開閉する弁が得られる。しかしながら、パルス化したノズルはその他の各種の形態でも得ることができる。プランジャ 1 2、2 2 は図示していない手段によって作動する。更に、連続したノズルの使用も可能である。

50

## 【 0 0 4 7 】

ノズル源から一次ガスが放出され、二次ガスが放出されない場合、噴射ノズルの出口 1 3 からの一次ガスの流出 1 5 は強く放散する。二次ガス 2 5 のパルスを出すことは、また一次ガス 1 5 の放散のより少ない、あるいは平行あるいは収束した流出を生じる。照射源に最適な一次ガスの流出は数個のパラメータのうちの一つ以上を変更することによって達成可能である。これらのパラメータの一つは一次噴射ノズルへの一次ガスの供給速度に対する二次噴射ノズル 2 0 への二次ガスの供給速度である。別のパラメータは一次ガスのパルスのタイミングに対する二次ガスのパルスのタイミングである。二次ガスのパルスに対して一次ガスの適当に遅れたパルスは、二次ガスが一次ガスおよび二次ガスが同じ流量で非遅延パルスと比較して一次ガスよりも軽いガスである場合、より小さい放散のビームを提供すると思われる。その他の関連のパラメータはノズル供給源におけるガスの背圧と噴射の幾何学的形状である。最適なパラメータは使用されるガスあるいは液体および一次および二次噴射ノズルの特定の幾何学的形状いかんで決まる。

10

## 【 0 0 4 8 】

照射源の第 6 の実施例の一次ガスは、純粋の状態、あるいはその他の（不活性）ガスとの混合物として供給してよいクリプトンあるいはキセノンからなる。例えば、キセノンのプラズマは遠紫外線の大きい部分を放出することが示されている。代替実施例においては、水滴あるいはキャリアガス中の例えば液状キセノンのようなクライオジェニックリキッド（極低温液体）を一次液体として使用してよい。二次ガスはヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、メタン、シランおよび水素からなる群から選択してよい。

20

## 【 0 0 4 9 】

好適実施例において、二次ガスは、殆ど遠紫外線を吸収しないという理由で水素である。水素は遠紫外線に関して好ましい吸収特性を有するので、二次ノズルからの極めて大量の水素の流出が採用でき、その結果流出での局所的な濃度が極めて高くなる。より軽い二次ガスは、衝突時の小さい慣性移転により、より重い二次ガスに対して一次ガスとしてのキセノンの閉じ込めが悪くなるものと思われる。本発明により照射源で採用しうる水素のはるかに大量の流出とより高い圧力とは、許容しうる可成り大きい局所的な圧力により、他の二次ガスに対して水素の小さい質量を過剰に補償する。

## 【 0 0 5 0 】

前述の噴射ノズルでは、一次噴射ノズル 1 0 からの作業（一次）ガスの放散の小さい、局限され、あるいはほぼ平行な流出が得られ、プラズマとノズルの相互作用による噴射ノズルからの破片を生じないノズル供給源からのある距離に位置するのが好ましいピンチ容積の可成り局限された領域に、排出された作業ガスを受け取ることができる。環状の二次噴射ノズルからの二次流体の連続した放出は、ピンチ容積での圧縮された高温のプラズマの周りにガスシールドを提供し、高温のプラズマから放出される高速の粒子を遮断し、あるいは遅らせ、かつ中立化する。供給源の部品および恐らくは平板投影装置の照明装置に含まれる光学要素もそのような高速の粒子による損傷あるいはこれらの粒子の堆積から保護される。更に、二次ガスのフラッシュガスシールドも適当な二次流体が選択された場合発生した X U V 放射線に対して非常に透明である環境をピンチ容積の周りに提供する。例えば電極から腐蝕した重い（金属）粒子あるいはピンチ容積における高温のプラズマの周りに存在することがある一次キセノン（作業）ガスは発生した X U V 放射線を大量に吸収する。

30

40

## 【 0 0 5 1 】

図 8 は本発明の第 6 の実施例による照射源の変形において使用されるノズル供給源の正面図を概略図示する。前記変形は、二次ノズルが一次ノズルの一方の側に位置している点で第 6 の実施例の基本配置と相違している。図はそれぞれ一次および二次噴射ノズルの出口 1 3 および 2 3 を示す。一次ノズルからの流出の放散は、本実施例については、用途によって都合のよいこの一方の側のみにおいて制御してよい。二次噴射ノズルが一次噴射ノズルを部分的に囲む実施例、あるいは、例えば一次噴射ノズルの出口の両側あるいはその四方に二次噴射ノズルの出口を有する実施例も考えられる。

50

## 【 0 0 5 2 】

## 平板印刷装置

図 9 は本発明による照射源を使用しうる平板投影装置 1 を概略図示している。本装置は、EUV 放射線の投影ビーム P B を供給する照射系 L A , I I と、

マスク M A (例えば、レチクル)を保持する第 1 の対象物 (マスク)ホルダを備え、マスクを物品 P L に対して正確に位置決めする第 1 の位置決め手段 P M に接続された第 1 の対象物テーブル (マスクテーブル) M T と、

基板 W (例えばレジストをコーティングしたシリコンウェーファー)を保持する第 2 の対象物 (基板)ホルダを備え、基板を物品 P L に対して正確に位置決めする第 2 の位置決め手段 P W に接続された第 2 の対象物テーブル (基板テーブル) W T と、

マスク M A の照射された部分を基板 W の目標部分 C (ダイ)上に像形成する投影系 (「レンズ」) P L (例えば、屈折、反射屈折、あるいは反射投影系)とを含む。

## 【 0 0 5 3 】

本明細書で述べるように、本装置は反射型式である (すなわち、反射マスクを有する)。しかしながら、一般に、それは例えば透過型式であってもよい。

## 【 0 0 5 4 】

前記投影系は前述した照射源のいずれかであってよく、遠紫外線 (EUV) 放射線のビームを生じる照射源 L A を含む。このビームは照明系 (「レンズ」) に含まれる種々の光学要素に沿って通され、得られるビーム P B が投影系の入口瞳孔およびマスクにおいて所望の形状と光度分布を有する照明を生ぜしめるように集められる。

## 【 0 0 5 5 】

その後ビーム P B はマスクテーブル M T 上のマスクホルダに保持されたマスク M A に当る。マスク M A によって選択的に反射されて、ビーム P B はレンズ P L を通過し、該レンズはビーム P B を基板 W の目標領域 C 上に集める。干渉移動測定手段 I F と位置決め手段 P W の助けによって、基板テーブル W T は、例えば種々の目標領域 C をビーム P B の軌道に位置決めするように正確に移動できる。同様に、位置決め手段 P M および干渉移動測定手段 I F はビーム P B の軌道に対してマスク M A を正確に位置決めするのに使用できる。一般に、対象物テーブル M T , W T の運動は、図 9 に明確に示していないが長いストロークのモジュール (コース位置決め) および短いストロークのモジュール (微細位置決め) の助けによって実現される。

## 【 0 0 5 6 】

前述した装置は 2 種類のモードで使用可能である。

1 . ステップモードにおいて、マスクテーブル M T は基本的に静止状態に保持され、マスク像全体は一回の動作 (すなわち、単一の「フラッシュ」) で目標領域 C 上に投影される。次に、基板テーブル W T は異なる目標領域 C がビーム P B によって照射しうるように X および (または) Y 方向に移動される。

2 . 走査モードにおいて、所定の目標領域 C が単一の「フラッシュ」で露出されないことを除いて、本質的に同じシナリオが適用される。その代わりに、マスクテーブル M T は速度  $v$  で所定の方向 (所謂「走査方向」、例えば Y 方向) に運動可能であり、かくして投影ビーム P B はマスクの像の上を走査するようにされ、同時に基板テーブル W T は速度  $V = M v$  で同じ方向あるいは反対方向に同時に動かされ、ここで M はレンズ P L の倍率 (典型的には  $M = 1 / 4$  または  $1 / 5$ ) である。このように、相対的に大きな目標領域 C は分解度に関して妥協する必要なく露出可能である。

## 【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 図 1 は第 1 の実施例による照射源を形成するプラズマ焦束源を示す。

【 図 2 】 図 2 は本発明の第 2 の実施例による照射源を形成する Z - ピンチプラズマ源を示す。

【 図 3 】 図 3 は本発明の第 3 の実施例による照射源を形成する毛管放電プラズマ源を示す。

【図 4】図 4 は本発明の第 4 の実施例による照射源を示す。

【図 5】図 5 は本発明の第 5 の実施例による照射源を示す。

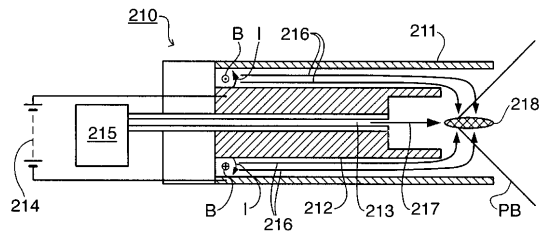
【図 6】図 6 は本発明の第 6 の実施例によるパルス化された噴射ノズル源の長手方向断面を示す。

【図 7】図 7 は図 6 に示すノズル源の正面図である。

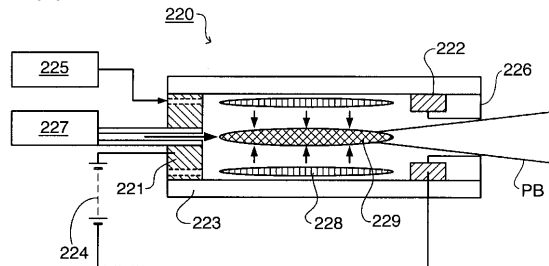
【図 8】図 8 は本発明の第 6 の実施例の変形によるノズル源の正面図である。

【図 9】図 9 は本発明による照射源が使用可能である平板投影装置を示す。

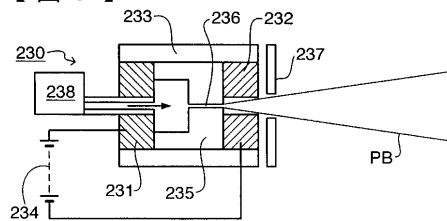
【図 1】



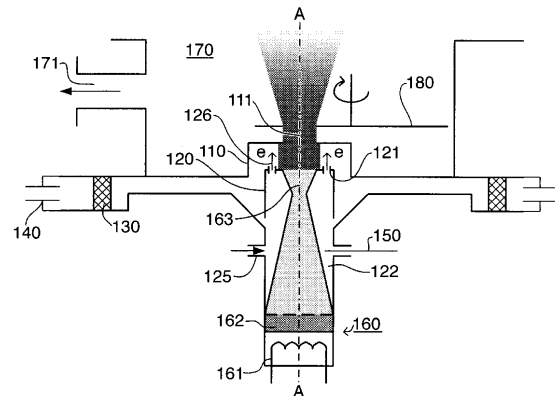
【図 2】



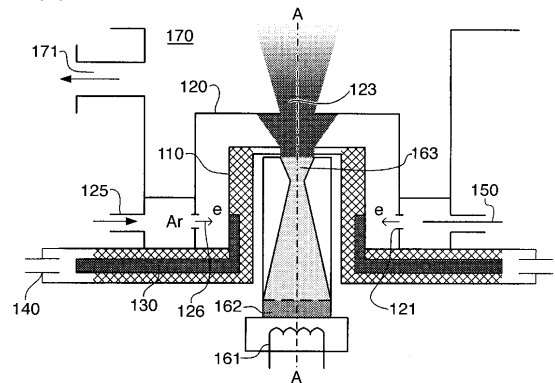
【図 3】



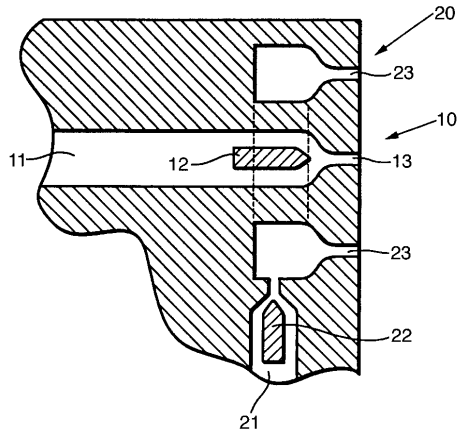
【図 4】



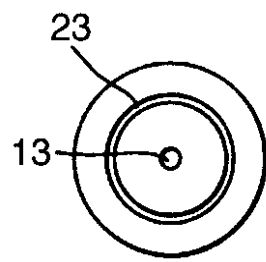
【図 5】



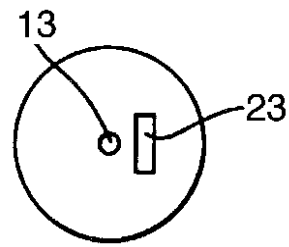
【図 6】



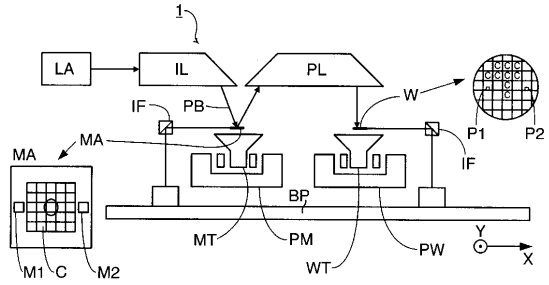
【図 7】



【図 8】



【図 9】



## フロントページの続き

- (51) Int.Cl. F I  
H 0 5 H 1/24 (2006.01) H 0 5 H 1/06  
H 0 5 H 1/24
- (74)代理人 100080263  
弁理士 岩本 行夫
- (74)代理人 100087217  
弁理士 吉田 裕
- (72)発明者 ヘンリク、フィードロウィクス  
ポーランド国 ワルシャワ、ウル クゼルウォニク マコウ 1 0 / 3 8
- (72)発明者 フレデリク、ピユケルク  
オランダ国 アムステルダム、ラウリエルグラヒト 1 3
- (72)発明者 コルネリス コルネラ、デ ブレイユン  
オランダ国 スプルンデル、ピネンホフ 5
- (72)発明者 アンドルゼユ、バルトニク  
ポーランド国 ワルシャワ、ウル ミレラ 8 / 1
- (72)発明者 コンスタンチン ニコラエビッチ、コシェレブ  
ロシア国 モスクワ リージョン、トロイトズク、 シュコルナヤ ストラーセ 4
- (72)発明者 バディム イエブゲニエビッチ、バニネ  
オランダ国 ヘルモンド、ニエルスラーン 2

審査官 中塚 直樹

(56)参考文献 特開平 1 0 - 3 1 9 1 9 5 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G21K 5/00  
H05H 1/00-54  
H05G 1/00-70  
G03F 7/20