

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4725814号
(P4725814)

(45) 発行日 平成23年7月13日(2011.7.13)

(24) 登録日 平成23年4月22日(2011.4.22)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 L	21/027	(2006.01)	HO 1 L	21/30	5 3 1 S
GO 3 F	7/20	(2006.01)	GO 3 F	7/20	5 2 1
GO 2 B	7/182	(2006.01)	GO 2 B	7/18	Z
GO 2 B	19/00	(2006.01)	GO 2 B	19/00	

請求項の数 13 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2008-296687 (P2008-296687)
(22) 出願日	平成20年11月20日(2008.11.20)
(62) 分割の表示	特願2003-105117 (P2003-105117) の分割
原出願日	平成15年4月9日(2003.4.9)
(65) 公開番号	特開2009-60139 (P2009-60139A)
(43) 公開日	平成21年3月19日(2009.3.19)
審査請求日	平成20年11月20日(2008.11.20)

(73) 特許権者	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
(74) 代理人	100095256 弁理士 山口 孝雄
(72) 発明者	近藤 洋行 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
(72) 発明者	小松田 秀基 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
審査官	岩本 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光源ユニット、照明光学装置、露光装置および露光方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

標的材料をプラズマ化し、該プラズマからEUV光を放出する光源本体と、
貫通孔を有する第1反射鏡と、

前記光源本体と前記第1反射鏡との間の光路中に配置された第2反射鏡と、

前記第1反射鏡と前記第2反射鏡との間の空間を包囲するためのケーシングと、該ケーシング内に設けられて光軸を中心として放射状に延びる断面を有する複数のプレート部材とを有し、前記光源本体から放出されるデブリを前記第1反射鏡と前記第2反射鏡との間の光路中において除去するためのデブリ除去機構とを備え、

前記EUV光を、前記第1反射鏡の反射面、前記第2反射鏡の反射面、および前記第1反射鏡の貫通孔を介して、所定の位置に集光することを特徴とする光源ユニット。

10

【請求項2】

前記空間には所定ガスが導入されていることを特徴とする請求項1に記載の光源ユニット。

【請求項3】

前記所定ガスは、ヘリウム、アルゴン、ネオン、キセノン、クリプトン、窒素、酸素またはオゾンであることを特徴とする請求項2に記載の光源ユニット。

【請求項4】

前記複数のプレート部材および前記ケーシングは、冷却可能に構成されていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光源ユニット。

20

【請求項 5】

前記複数のプレート部材と前記ケーシングとの間には所定の電圧が印加されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光源ユニット。

【請求項 6】

前記複数のプレート部材は、前記光軸を中心として回転可能に構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光源ユニット。

【請求項 7】

標的材料をプラズマ化し、該プラズマから E U V 光を放出する光源本体と、貫通孔を有する第 1 反射鏡と、前記光源本体と前記第 1 反射鏡との間の光路中に配置された第 2 反射鏡とを備え、

光軸を中心として放射状に延びる断面を有する複数のプレート部材を有し、前記光源本体から放出されるデブリを前記第 1 反射鏡と前記第 2 反射鏡との間の光路中において除去するためのデブリ除去機構をさらに備え、

前記 E U V 光を、前記第 1 反射鏡の反射面、前記第 2 反射鏡の反射面、および前記第 1 反射鏡の貫通孔を介して、所定の位置に集光し、

前記複数のプレート部材は、冷却可能に構成されていることを特徴とする光源ユニット

。

【請求項 8】

前記デブリ除去機構は、前記第 1 反射鏡と前記第 2 反射鏡との間の空間を包囲するためのケーシングを有し、該ケーシングは冷却可能に構成されていることを特徴とする請求項 7

に記載の光源ユニット。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光源ユニットと、該光源ユニットからの E U V 光を被照射面へ導くための導光光学系とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 10】

所定のパターンが形成された反射型のマスクを照明するための請求項 9 に記載の照明光学装置と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項 11】

前記投影光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光することを特徴とする請求項 10 に記載の露光装置。

【請求項 12】

請求項 9 に記載の照明光学装置を用いて所定のパターンが形成された反射型のマスクを照明する照明工程と、投影光学系を介して前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 13】

前記露光工程では、前記投影光学系に対して前記マスクおよび感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光することを特徴とする請求項 12 に記載の露光方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光源ユニット、照明光学装置、露光装置および露光方法に関する。さらに詳細には、本発明は、5 ~ 50 nm 程度の波長を有する E U V 光（極端紫外線）を用いて半導体素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造するのに使用される露光装置に好適な光源ユニットに関するものである。

【背景技術】

【0002】

この種の露光装置では、転写すべき回路パターンの微細化に伴って解像力の一層の向上

10

20

30

40

50

が要求されており、露光光としてより短波長の光を用いるようになっている。なお、本明細書における「光」とは、目に見える狭義の「光」だけではなく、電磁波のうち1mmよりも短い波長を有する、いわゆる赤外線からX線までを含む広義の「光」を意味する。近年、次世代装置として、5～50nm程度の波長を有するEUV(Extreme UltraViolet)光を用いる露光装置(以下、「EUVL(Extreme UltraViolet Lithography:極紫外リソグラフィ)露光装置」という)が提案されている。

【0003】

現在、EUV光を供給する光源として、以下に示す3つのタイプの光源が提案されている。

(1)SR(シンクロトロン放射光)を供給する光源

10

(2)レーザ光をターゲット上に集光し、ターゲットをプラズマ化してEUV光を得るLPP(Laser Produced Plasma)光源

(3)DPP(Discharge Produced Plasma)光源。ターゲット物質からなる電極、あるいは電極間にターゲット物質が存在する状態で電極間に電圧を印加すると、ある電圧を越えたところで電極間で放電が生じ、ターゲット材料をプラズマ化する。この放電によって電極間に大電流が流れ、この電流によって生じる磁場によりプラズマ自身が微小空間内に圧縮され、プラズマ温度を上昇させる。この高温プラズマからEUV光が放出される。このように、放電によりプラズマにエネルギーを供給し(励起し)、EUV光を放出させる光源を一般にDPP光源と呼ぶ。

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述のDPP光源やLPP光源では、所定の発光点より発散光が射出されるが、この発散光の射出に伴ってデブリ(飛散粒子)も放出される。以下、DPP光源およびLPP光源を「プラズマ光源」と総称する。そこで、プラズマ光源から供給される発散光すなわちプラズマ発散光を一旦集光させ、この集光点の近傍に配置されたピンホール部材によりデブリを遮る必要がある。従来技術では、発光点の周りの構造物が障害になり、光量損失を良好に抑えて所望の光強度分布でプラズマ発散光を集光させる構成が提案されていない。

【0005】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、反射面へのデブリの付着を低減しつつDPP発散光を集光させることのできる光源ユニットを提供することを目的とする。また、本発明では、反射面へのデブリの付着を低減しつつDPP発散光を集光させることのできる光源ユニットから供給されるEUV光を用いて、マスクパターンを感光性基板上に忠実に且つ高スループットで転写することのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、標的材料をプラズマ化し、該プラズマからEUV光を放出する光源本体と、貫通孔を有する第1反射鏡と、前記光源本体と前記第1反射鏡との間の光路中に配置された第2反射鏡とを備え、

40

前記光源本体から放出されるデブリを前記第1反射鏡と前記第2反射鏡との間の光路中において除去するためのデブリ除去機構をさらに備え、

前記EUV光を、前記第1反射鏡の反射面、前記第2反射鏡の反射面、および前記第1反射鏡の貫通孔を介して、所定の位置に集光することを特徴とする光源ユニットを提供する。

【0007】

本発明の第2形態では、第1形態の光源ユニットと、該光源ユニットからのEUV光を被照射面へ導くための導光光学系とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0008】

50

本発明の第3形態では、所定のパターンが形成された反射型のマスクを照明するための第2形態の照明光学装置と、前記マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0009】

本発明の第4形態では、第2形態の照明光学装置を用いて所定のパターンが形成された反射型のマスクを照明する照明工程と、投影光学系を介して前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【発明の効果】

【0010】

本発明の光源ユニットは、EUV光を供給するための光源本体と、貫通孔を有する第1反射鏡と、光源本体と第1反射鏡との間の光路中に配置された第2反射鏡と、デブリ除去機構とを備えている。デブリ除去機構は、光源本体から放出されるデブリを第1反射鏡と第2反射鏡との間の光路中において除去する。その結果、反射面へのデブリの付着を低減しつつ、DPP光源本体からのDPP発散光を所定の位置へ集光させることができる。

【0011】

したがって、本発明の露光装置および露光方法では、反射面へのデブリの付着を低減しつつDPP発散光を集光させることのできる光源ユニットから供給されるEUV光を用いて、マスクパターンを感光性基板上に忠実に且つ高スループットで転写することができ、ひいては高精度なマイクロデバイスを高スループットで製造することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる光源ユニットを備えた露光装置の全体構成を概略的に示す図である。また、図2は、ウェハ上に形成される円弧状の露光領域（すなわち実効露光領域）と光軸との位置関係を示す図である。図1において、投影光学系の光軸方向すなわち感光性基板であるウェハの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。

【0013】

図1の露光装置は、露光光を供給するためのDPPタイプの光源ユニット1を備えている。光源ユニット1から供給されたEUV光は、波長選択フィルタ（不図示）を介して、照明光学系2に入射する。ここで、波長選択フィルタは、光源ユニット1が供給するEUV光から、所定波長（たとえば13.5nmまたは11.5nm）近傍のEUV光だけを選択的に透過させ、他の波長光の透過を遮る特性を有する。波長選択フィルタを透過したEUV光3は、照明光学系2および平面反射鏡4を介して、転写すべきパターンが形成された反射型のマスク（レチクル）Mを照明する。

【0014】

マスクMは、そのパターン面がXY平面に沿って延びるように、Y方向に沿って移動可能なマスクステージ5によって保持されている。そして、マスクステージ5の移動は、レーザ干渉計6により計測されるように構成されている。照明されたマスクMのパターンからの光は、反射型の投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。すなわち、ウェハW上には、図2に示すように、たとえばY軸に関して対称な細長い円弧状の露光領域（すなわち静止露光領域）が形成される。

【0015】

図2を参照すると、光軸AXを中心とした半径を有する円形状の領域（イメージサークル）IF内において、このイメージサークルIFに接するようにX方向の長さがLXでY方向の長さがLYの円弧状の実効露光領域ERが設定されている。ウェハWは、その露光面がXY平面に沿って延びるように、X方向およびY方向に沿って二次元的に移動可能なウェハステージ7によって保持されている。なお、ウェハステージ7の移動は、マスクステージ5と同様に、レーザ干渉計8により計測されるように構成されている。

【0016】

10

20

30

40

50

こうして、マスクステージ5およびウェハステージ7をY方向に沿って移動させながら、すなわち投影光学系PLに対してマスクMおよびウェハWをY方向に沿って相対移動させながらスキャン露光(走査露光)を行うことにより、ウェハWの1つの露光領域にマスクMのパターンが転写される。また、ウェハステージ7をX方向およびY方向に沿って二次元的に移動させながら走査露光を繰り返すことにより、ウェハWの各露光領域にマスクMのパターンが逐次転写される。

【0017】

図3は、図1の光源ユニットおよび照明光学系の内部構成を概略的に示す図である。また、図4は、光源本体の内部構成を概略的に示す図である。図3を参照すると、光源ユニット1は、DPP発散光を供給するための光源本体11と、光源本体11からのDPP発散光を所定の位置に集光するための集光光学系12とを備えている。光源本体11は、図4に示すように、間隔を隔てて配置された2つの電極11aおよび11bと、2つの電極11aと11bとの間に電圧を印加するための電力供給源11cとを備えている。

10

【0018】

光源本体11では、カソード電極11aとアノード電極11bとの間に標的材料を入れた状態で、電力供給源11cからの電圧印加を受けて、カソードとしての第1電極11aとアノードとしての第2電極11bとの間に放電が起こり、この放電電流により発生したプラズマが電磁力により収斂され、高温で高密度のプラズマとなる。このプラズマからEUV光が放出される。標的材料として、キセノン(Xe)ガスやスズ(Sn)等が用いられる。

20

【0019】

一方、集光光学系12は、図3に示すように、光源本体11側から順に、中央に貫通孔が形成された凸面反射鏡12bと、同じく中央に貫通孔が形成された凹面反射鏡12aとを備えている。ここで、第1反射鏡としての凹面反射鏡12aは光源本体11に向かって凹面状の反射面を有し、第2反射鏡としての凸面反射鏡12bは凹面反射鏡12aに向かって凸面状の反射面を有する。

【0020】

こうして、光源本体11の発光点より発したDPP発散光は、凸面反射鏡12bの貫通孔を介して、凹面反射鏡12aに入射する。凹面反射鏡12aの反射面で反射された光は、凸面反射鏡12bの反射面で反射された後、凹面反射鏡12aの貫通孔を介して、所定の点12cに集光する。

30

【0021】

光源ユニット1(11, 12)からのEUV光は、集光点12cで一旦集光した後、この集光点12cの近傍に配置されたピンホール部材(不図示)に入射する。ピンホール部材を通過したEUV光は、凹面反射鏡13を介してほぼ平行光束となり、一对のフライアイミラー14aおよび14bからなるオプティカルインテグレータ14に導かれる。一对のフライアイミラー14aおよび14bとして、たとえば特開平11-312638号公報において本出願人が開示したフライアイミラーを用いることができる。なお、フライアイミラーのさらに詳細な構成および作用については、同公報における関連の記載を参照することができる。

40

【0022】

こうして、第2フライアイミラー14bの反射面の近傍、すなわちオプティカルインテグレータ14の射出面の近傍には、所定の形状を有する実質的な面光源が形成される。実質的な面光源からの光は、平面反射鏡4により偏向された後、視野絞り(不図示)を介して、マスクM上に細長い円弧状の照明領域を形成する。照明されたマスクMのパターンからの光は、投影光学系PLを介して、ウェハW上にマスクパターンの像を形成する。

【0023】

図5は、本実施形態の数値実施例にかかる集光光学系の構成を概略的に示す図である。この数値実施例は、比較的良好に収差補正された集光光学系12の一例を示している。次の表(1)に、図5に示す数値実施例にかかる集光光学系12の諸元の値を掲げる。表(

50

1) の主要諸元において、 λ は露光光 (EUV 光) の波長を、H は発光点 (発光領域) 11 d の大きさ (物体高) を、NA は物体側 (光源ユニット側) 開口数をそれぞれ表している。また、表 (1) の光学部材諸元において、面番号は光源ユニット側からの光学面の順序を、r は各光学面の曲率半径 (mm) を、d は各光学面の軸上間隔すなわち面間隔 (mm) をそれぞれ示している。なお、面間隔 d の値は、反射する度にその符号が変わるものとしている。

【0024】

(表1)

(主要諸元)

$\lambda = 13.5 \text{ nm}$

H = -1 mm ~ +1 mm

NA = 0.7

10

(光学部材諸元)

面番号	r	d	光学部材
	(発光点)	300	
1	-353.02832	-285	(凹面反射鏡 12 a)
2	-429.74950	435	(凸面反射鏡 12 b)
	(集光点)		

【0025】

前述したように、従来技術では、発光点 11 d の周りの構造物が障害になり、光量損失を良好に抑えて所望の光強度分布で DPP 発散光を集光させる構成が提案されていない。この点について、図 6 乃至図 8 を参照して簡単に説明する。図 6 には、DPP 光源本体 60 からの DPP 発散光を単純に 1 つの凹面反射鏡 61 により集光させる構成が示されている。しかしながら、図 6 に示す構成では、一对の電極 60 a および 60 b の周りに放電を発生させるための比較的大きな構造物 (不図示) が設けられているので、凹面反射鏡 61 により集光作用を受けた光が集光点 62 に達する前に当該構造物に遮られてしまう。

20

【0026】

図 7 には、DPP 光源本体 (不図示) の発光点 72 からの DPP 発散光を入れ子状の斜入射ミラー 71 により集光点 73 に集光させる構成が示されている。しかしながら、図 7 に示す構成では、発光点 72 と集光点 73 とを焦点とする楕円球面の一部を反射面とする斜入射ミラー 71 により一部の光束が遮られ、集光作用を受けた光束の光強度分布に高周波のうねりが発生するため、ウェハ W 上の照度均一性に悪影響が及ぶことになる。

30

【0027】

図 8 には、DPP 光源本体 (不図示) の発光点 80 からの DPP 発散光をシュバルツシルド光学系 81 により集光点 82 に集光させる構成が示されている。しかしながら、図 8 に示す構成では、DPP 光源本体からの DPP 発散光がシュバルツシルド光学系 81 の凹面反射鏡 81 a に入射する際に、光束の中央部分がシュバルツシルド光学系 81 の凸面反射鏡 81 b により大きく遮られる。その結果、シュバルツシルド光学系 81 において非常に大きな光量損失が発生し、伝達効率が非常に悪くなる。

40

【0028】

これに対し、本実施形態では、DPP 光源本体 11 からの DPP 発散光が、凸面反射鏡 12 b の中央貫通孔を介して、凹面反射鏡 12 a に入射する。そして、凹面反射鏡 12 a の反射面で反射された光が、凸面反射鏡 12 b の反射面で反射された後、凹面反射鏡 12 a の中央貫通孔を介して、集光点 12 c に達する。このとき、発光点 11 d と凸面反射鏡 12 b および凹面反射鏡 12 a と集光点 12 c とをある程度近づけることにより、凸面反射鏡 12 b の中央貫通孔および凹面反射鏡 12 a の中央貫通孔のサイズが比較的小さく抑えられる。

【0029】

その結果、本実施形態では、凹面反射鏡 12 a での反射および凸面反射鏡 12 b での反

50

射に際して中央貫通孔に起因する光量損失がわずかに発生するが、一对の電極 11a および 11b の周りの構造物（不図示）により光束が遮られることはない。また、DPP 光源本体 11 からの DPP 発散光が、光軸 AX に沿った凹面反射鏡 12a と凸面反射鏡 12b とからなり比較的良好に収差補正された集光光学系 12 の集光作用を受けるため、光束の光強度分布に高周波のうねりが発生することなく、所望の光強度分布で DPP 発散光を集光させることができ、ひいてはウェハ W 上の照度均一性を確保することができる。

【0030】

以上のように、本実施形態の光源ユニット 1 (11, 12) では、一对の電極 11a および 11b の周りの構造物すなわち発光点 11d の周りの構造物が障害になることなく、DPP 光源本体 11 からの DPP 発散光を、光量損失を良好に抑えて所望の光強度分布で所定の集光点 12c へ集光させることができる。したがって、本実施形態の露光装置では、光量損失を良好に抑えて所望の光強度分布で DPP 発散光を集光させることのできる光源ユニット 1 から供給される EUV 光 3 を用いて、マスク M のパターンをウェハ W 上に忠実に且つ高スループットで転写することができる。

10

【0031】

なお、上述の実施形態では、DPP 光源本体 11 からの DPP 発散光を集光させるための集光光学系 12 を、第 1 反射鏡としての凹面反射鏡 12a と第 2 反射鏡としての凸面反射鏡 12b とにより構成している。しかしながら、これに限定されることなく、たとえば第 2 反射鏡として平面反射鏡や凹面反射鏡を用いることもできる。また、本実施形態では、反射鏡 12a、12b の反射面を球面としたが、これを円錐曲線や、非球面、自由曲面としても良いことは言うまでもない。

20

【0032】

また、上述の実施形態では、集光光学系 12 を構成する一对の反射鏡の中央に貫通孔をそれぞれ形成している。しかしながら、これに限定されることなく、各反射鏡の貫通孔の形成位置については、各反射鏡のパワー配置と同様に、様々な変形例が可能である。また、上述の実施形態では、EUV 光源として DPP タイプの光源を用いているが、これに限らず、LPP タイプの光源を用いることもできる。

【0033】

ところで、本実施形態では、DPP 光源本体 11 からの DPP 発散光の射出に際して、デブリが放出されるだけでなく、熱も放射される。したがって、凹面反射鏡 12a および凸面反射鏡 12b は、DPP 発散光の照射熱の影響だけでなく、DPP 光源本体 11 からの放射熱の影響も受ける。そこで、本実施形態では、加工性が高く且つ熱伝導率の高い材料、すなわちシリコン (Si)、アルミニウム (Al)、銅 (Cu) などを用いて、凹面反射鏡 12a の本体および凸面反射鏡 12b の本体を形成することが好ましい。この構成により、各反射鏡の表面 (反射面) から伝わる熱を迅速に裏面に伝え、たとえば適当な冷却機構の作用により各反射鏡から熱を除去することができる。

30

【0034】

図 9 は、集光光学系の各反射鏡を冷却する冷却機構の一例を概略的に示す図である。図 9 を参照すると、集光光学系 12 を構成する凹面反射鏡 12a の裏面および凸面反射鏡 12b の裏面に、ヒートパイプ 20a および 20b がそれぞれ密着するように取り付けられている。こうして、ヒートパイプ 20a および 20b の作用により、凹面反射鏡 12a および凸面反射鏡 12b から熱を外部へ逃がすことができる。ただし、集光光学系 12 の各反射鏡 12a、12b に適用可能な冷却機構は、図 9 の構成例に限定されることなく、例えば各反射鏡 12a、12b の本体内部を冷却液体 (冷水など) が通過するような構造を採用することもできる。

40

【0035】

また、本実施形態では、集光光学系 12 を構成する凹面反射鏡 12a および凸面反射鏡 12b は、DPP 光源本体 11 からの放射熱の影響および DPP 発散光の照射熱の影響を受けるため、交換可能に構成されていることが好ましい。特に、反射面が DPP 光源本体 11 に直接さらされる凹面反射鏡 12a は、ある程度頻繁に交換する必要が予想されるた

50

め、容易に交換可能な構成であることが望ましい。

【0036】

集光光学系12を構成する凹面反射鏡12aおよび凸面反射鏡12bの容易な交換を実現するために、凹面反射鏡12aの反射面の位置および凸面反射鏡12bの反射面の位置を計測するための位置計測手段を備えていることが好ましい。図10は、集光光学系を構成する反射鏡の反射面位置を計測する位置計測系の一例を概略的に示す図である。図10に示す位置計測系では、マスク21a, 21b, 21cからの光が、結像光学系の前群22a, 22b, 22c、凹面反射鏡12aの反射面、結像光学系の後群23a, 23b, 23cを介して、スクリーン(またはCCD)24a, 24b, 24cにマスクパターンをそれぞれ形成する。

10

【0037】

こうして、スクリーン24a, 24b, 24cにそれぞれ形成されるマスクパターンの二次元的な位置情報に基づいて、凹面反射鏡12aの交換に際して、新たな凹面反射鏡12aを高精度に位置決めすることができる。このとき、凹面反射鏡12aの反射面での反射率の変化を検知するように位置計測系(21~24)を構成することが好ましい。この構成により、たとえばデブリに起因する凹面反射鏡12aの反射面の汚れ程度(光学特性の劣化程度)をより一層正確に検知することができ、ひいては凹面反射鏡12aを適切なタイミングで交換することができる。

【0038】

また、凸面反射鏡12bの交換に際しても、図10と同様な構成を有する位置計測系(21~24)を用いて、新たな凸面反射鏡12bを高精度に位置決めしたり、凸面反射鏡12bの反射面の汚れ程度を検知したりすることができる。なお、各反射鏡の反射面の位置を計測し且つ反射面の汚れ程度を検知するための計測系の構成については、図10の構成例に限定されることなく、様々な変形例が可能である。

20

【0039】

また、上述したように、DPP光源本体11からのDPP発散光の射出に際して放出されるデブリが凹面反射鏡12aの反射面や凸面反射鏡12bの反射面に付着すると、凹面反射鏡12aや凸面反射鏡12bの反射特性(光学特性)が劣化し、その交換頻度が増大してしまう。そこで、本実施形態では、DPP光源本体11から放出されるデブリを凹面反射鏡12a(第1反射鏡)と凸面反射鏡12b(第2反射鏡)との間の光路中において

30

【0040】

除去するためのデブリ除去機構を備えていることが好ましい。図11は、集光光学系を構成する一对の反射鏡間の光路中において除去するためのデブリ除去機構の一例を概略的に示す図であって、(a)は斜視図を示し、(b)は光軸に沿った断面図を示している。図11を参照すると、デブリ除去機構は、凹面反射鏡12aと凸面反射鏡12bとの間の空間を包囲するための筒状のケーシング25を有し、この空間にはEUV光に対して比較的高い透過率を有する微量の所定ガスがガス導入口25aを介して導入されるように構成されている。

【0041】

ケーシング25は、たとえばステンレス鋼、銅、アルミニウムなどの金属により形成され、グランド電位に接続されている。なお、導入可能な所定ガスとして、たとえばヘリウム(He)、アルゴン(Ar)、ネオン(Ne)、キセノン(Xe)、クリプトン(Kr)、窒素(N₂)、酸素(O₂)、オゾン(O₃)を用いることができる。また、デブリ除去機構は、光軸AXを中心として放射状に延びる断面を有する複数のプレート部材26を備えている。

40

【0042】

複数のプレート部材26は、たとえばステンレス鋼、銅、アルミニウムなどの金属により形成され、電源により正電位(数10V~数kV程度)が印加されるように構成されている。換言すれば、複数のプレート部材26とケーシング25との間には所定の電圧が印加されるように設定されている。また、複数のプレート部材26は、光軸AXを中心とし

50

て一体的に回転可能に構成されている。さらに、ケーシング 25 および複数のプレート部材 26 は、図示を省略した適当な冷却機構により冷却可能に構成されている。

【0043】

図 11 に示すデブリ除去機構では、プラズマから放出されたデブリの一部がケーシング 25 の内部空間へ侵入するが、ケーシング 25 の内部に導入されたガス分子との衝突により急速にその運動エネルギーを失い、ガス分子とほぼ同じ運動エネルギーを持ってケーシング 25 の内部空間を浮遊するようになる。そして、プラズマから輻射された E U V 光により、浮遊しているデブリが直接的にイオン化されたり、イオン化されたガス分子（原子）との衝突によりデブリがイオン化されたりする。

【0044】

デブリがマイナスにイオン化された場合、正電位が印加されている複数のプレート部材 26 に引き寄せられて付着・堆積する。その結果、凹面反射鏡 12 a の反射面および凸面反射鏡 12 b の反射面へのデブリの付着を低減することができ、ひいては反射特性の劣化および反射鏡の交換頻度を低減することができる。このとき、各反射鏡 12 a , 12 b の表面にコートされている多層反射膜をグランド電位に接続することにより、反射面へのデブリの付着をさらに効果的に低減することができる。

【0045】

一方、デブリがプラスにイオン化された場合、グランド電位に接続されているケーシング 25 の内側面に付着・堆積する。このとき、各反射鏡 12 a , 12 b の表面にコートされている多層反射膜に、複数のプレート部材 26 と同じ電位またはそれよりも高い電位を印加することにより、反射面へのデブリの付着・堆積を防ぐことができる。また、ケーシング 25 の内側面に剥離容易なシート（紙、樹脂、セラミックスなどの絶縁材料や、アルミニウム、銅等の金属箔）を貼って、このシート上にデブリを付着・堆積させてもよい。この場合、シート上にデブリが大量に付着するのを待ってシート交換するだけで、清浄な環境に容易に戻すことができる。

【0046】

なお、プラズマからの E U V 光だけではデブリのイオン化を十分に行うことができない場合には、ケーシング 25 の一部に形成された開口部（または光透過部）を介してケーシング 25 の内部へ紫外線を導入し、この紫外線の作用によりデブリのイオン化を促進するように構成しても良い。この場合、紫外線を供給する光源として、水銀ランプ、エキシマランプ、エキシマレーザーなどを用いることができる。あるいは、電子源からの電子ビームをケーシング 25 の内部へ導入してデブリをイオン化しても良い。

【0047】

なお、図 11 に示すデブリ除去機構を用いる場合、露光に際して集光光学系 12 から射出される光束の光強度分布の均一化を図るために、複数のプレート部材 26 を光軸 A X 廻りに一体的に回転させることが好ましい。また、図 11 の構成例では、複数のプレート部材 26 に正電位を印加しているが、これに限定されることなく、複数のプレート部材 26 に負電位を印加しても良い。また、印加する電位は、直流でも良いし、交流でも良い。さらに、交流電位を印加する場合、その周波数について様々な態様が可能である。

【0048】

なお、デブリ除去機構は、図 11 に示すような第 2 反射鏡に貫通孔の開いている集光光学系だけでなく、シュバルツシルド光学系のように第 2 反射鏡に貫通孔の開いていない光学系に対しても用いることができる。図 12 は、本実施形態のデブリ除去機構をシュバルツシルド集光光学系に適用した例を概略的に示す図である。図 12 を参照すると、真空容器 41 の内部に、D P F (Dense Plasma Focus) 方式による E U V 光源 43 が配置されている。真空容器 41 は、不図示の排気装置により真空（例えば 0.1 Torr 以下）に排気されている。

【0049】

E U V 光源 43 では、電極近傍に生成されたプラズマ 44 から E U V 光 45 が放出される。放出された E U V 光 45 は、M o / S i 多層膜がコートされた凹面反射鏡（第 1 反射

10

20

30

40

50

鏡) 46で反射され、同じくMo/Si多層膜がコートされた凸面反射鏡(第2反射鏡) 47で反射された後、ピンホール52上に集光され、後段の光学系へ導かれる。凹面反射鏡46および凸面反射鏡47にコートされている多層膜は、波長13.5nmの光に対して反射率のピークがくるように成膜されている。すなわち、ピンホール52を通過した後に後段の光学系に導かれるEUV光は、波長が13.5nm近傍の光のみとなる。

【0050】

凹面反射鏡46および凸面反射鏡47は、ケーシング48内に固定されている。ケーシング48にはガス導入用のポート49が取り付けられており、このポート49からHeガスがケーシング48の内部へ導入される。ケーシング48内において凹面反射鏡46と凸面反射鏡47との間には、光路に平行になるように複数枚のアルミニウム製の薄板からなる羽50が取り付けられている。この羽50は、光軸を中心として回転可能に構成されている。

10

【0051】

羽50の回転駆動は、超音波モーターや電動モーターにより行われる。ケーシング48は、真空容器41の壁面に取り付けられている。真空容器41の隣には真空容器42が設置されており、真空容器41と42とはEUV光が通過する開口部のみを介して連通している。真空容器42は、不図示の真空排気装置により、真空容器41とは別に真空排気がなされている。このような構成とすることにより、真空容器41と42との間で差動排気を行うことができ、ひいてはピンホール52よりも下流側の真空度の劣化を低減することができる。

20

【0052】

ケーシング48内に入り込んだデブリは、ポート49から導入されたHeガスにより衝突され、散乱され、そのエネルギーを急速に失いケーシング48内を浮遊するようになる。ケーシング48内を浮遊するデブリは、羽50やケーシング48の内壁に衝突して吸着される。その結果、凹面反射鏡46上および凸面反射鏡47上に付着・堆積するデブリ量は大幅に低減され、各反射鏡の反射率低下を抑えることができる。

【0053】

真空容器42内においてEUV光束の近傍に筒状の部材51を配置すると、真空容器42内に入り込んできたデブリが筒状部材51の内壁に衝突し、吸着するので、ピンホール52よりも下流側にデブリが流入するのを低減することができる。ケーシング48、羽50および筒状部材51を冷却すると、吸着したデブリが再放出される確率が低下し、ひいては吸着効率がより高くなるので好ましい。冷却方式としては、冷媒(水などの液体)による冷却や、ペリチェ素子などの電子冷却や、ヒートパイプによる冷却などを用いると良い。筒状部材51がない方がピンホール52よりも下流側の真空度が良い場合には、筒状部材51の設置を省略することもできる。

30

【0054】

上述の実施形態にかかる露光装置では、照明系によってマスクを照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図13のフローチャートを参照して説明する。

40

【0055】

まず、図13のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク(レチクル)上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。

【0056】

50

その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】本発明の実施形態にかかる光源ユニットを備えた露光装置の全体構成を概略的に示す図である。 10

【図2】ウェハ上に形成される円弧状の露光領域（すなわち実効露光領域）と光軸との位置関係を示す図である。

【図3】図1の光源ユニットおよび照明光学系の内部構成を概略的に示す図である。

【図4】光源本体の内部構成を概略的に示す図である。

【図5】本実施形態の数値実施例にかかる集光光学系の構成を概略的に示す図である。

【図6】DPP光源本体からのDPP発散光を単純に1つの凹面反射鏡により集光させる構成の不都合を説明する図である。

【図7】DPP光源本体からのDPP発散光を入れ子状の斜入射ミラーにより集光させる構成の不都合を説明する図である。 20

【図8】DPP光源本体からのDPP発散光をシュバルツシルド光学系により集光させる構成の不都合を説明する図である。

【図9】集光光学系の各反射鏡を冷却する冷却機構の一例を概略的に示す図である。

【図10】集光光学系を構成する反射鏡の反射面位置を計測する位置計測系の一例を概略的に示す図である。

【図11】集光光学系を構成する一对の反射鏡間の光路中において除去するためのデブリ除去機構の一例を概略的に示す図であって、(a)は斜視図を示し、(b)は光軸に沿った断面図を示している。

【図12】本実施形態のデブリ除去機構をシュバルツシルド集光光学系に適用した例を概略的に示す図である。 30

【図13】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例について、そのフローチャートを示す図である。

【符号の説明】

【0058】

1 光源ユニット

2 照明光学系

5 マスクステージ

7 ウェハステージ

11 光源本体

11a, 11b 電極 40

12 集光光学系

12a 凹面反射鏡

12b 凸面反射鏡

14 オプティカルインテグレータ

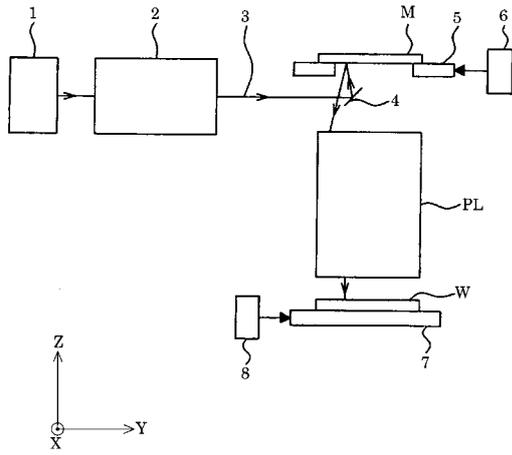
14a, 14b フライアイミラー

M マスク

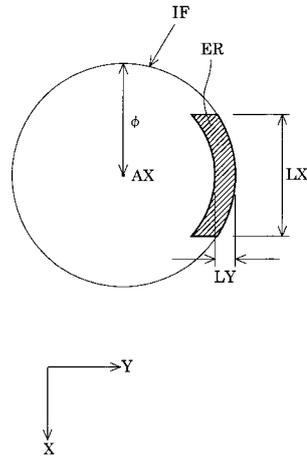
PL 投影光学系

W ウェハ

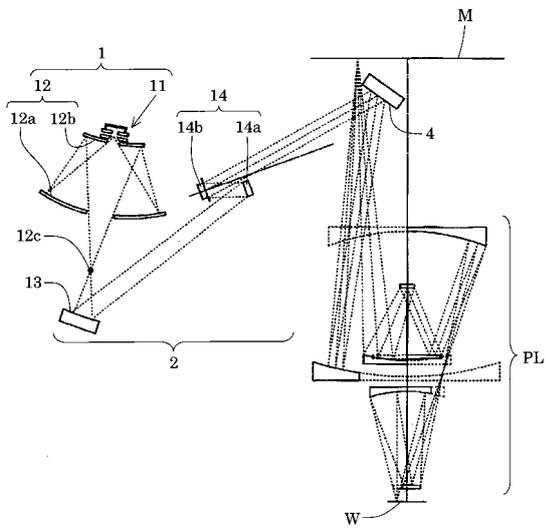
【図1】



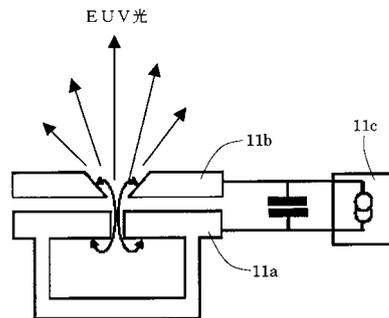
【図2】



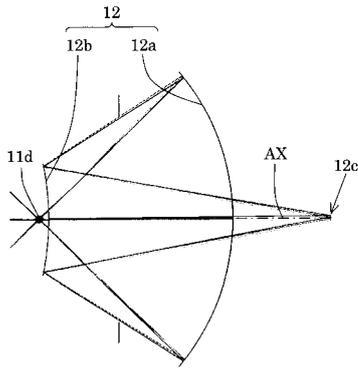
【図3】



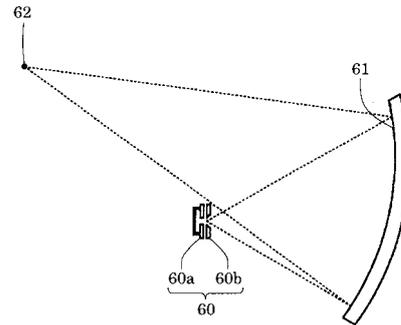
【図4】



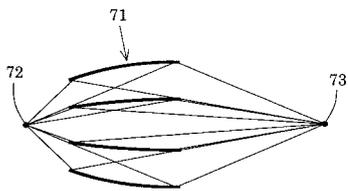
【 図 5 】



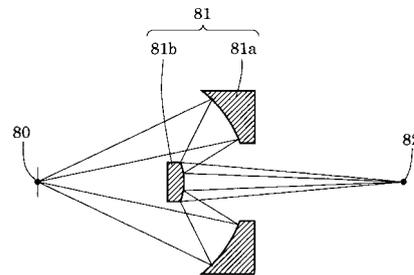
【 図 6 】



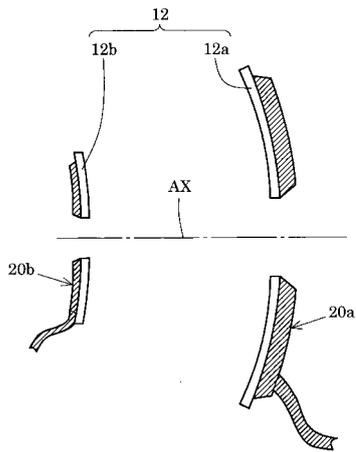
【 図 7 】



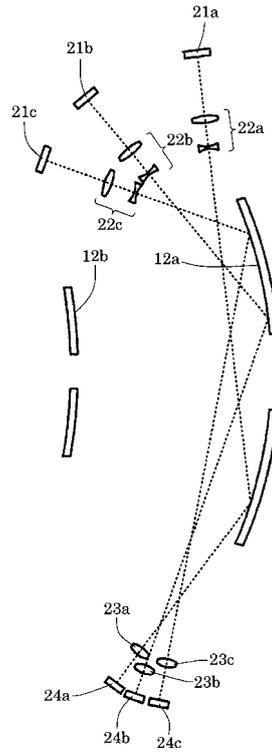
【 図 8 】



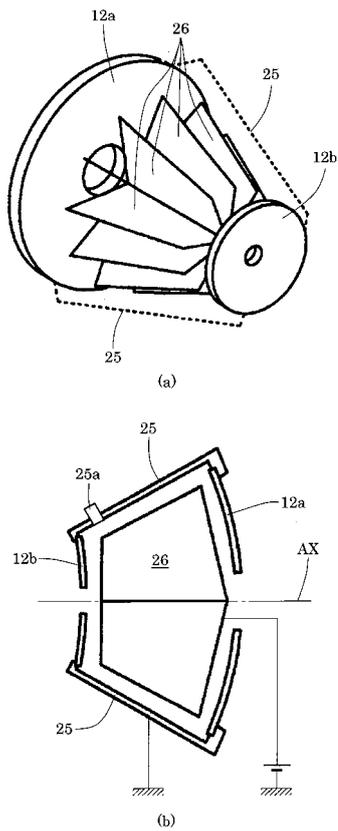
【図9】



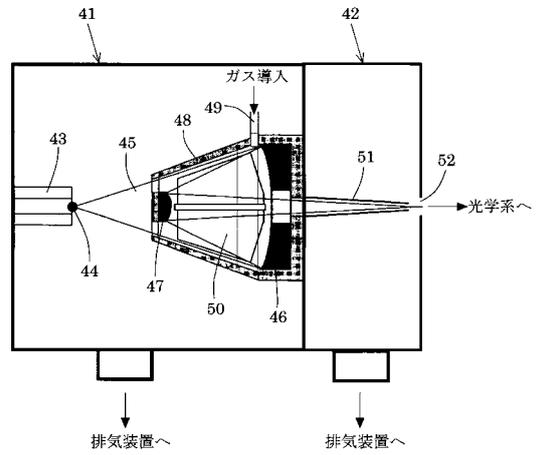
【図10】



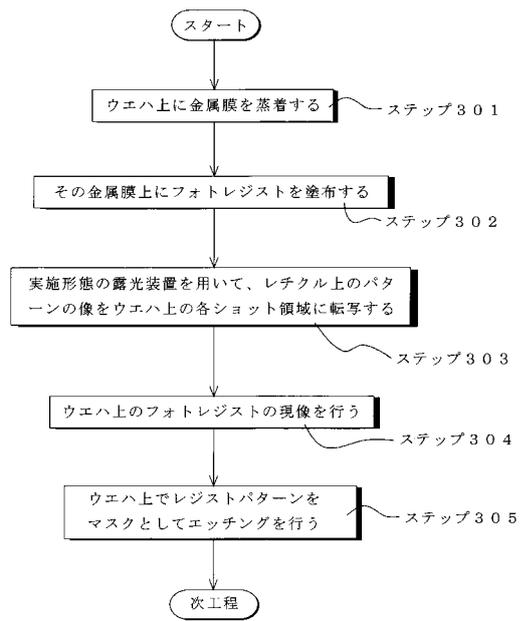
【図11】



【図12】



【図 13】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2003-031483(JP,A)
特開2003-022950(JP,A)
特開2002-313598(JP,A)
特開2001-057298(JP,A)
特開2002-008891(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G03F 7/20