

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5236478号
(P5236478)

(45) 発行日 平成25年7月17日(2013.7.17)

(24) 登録日 平成25年4月5日(2013.4.5)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 21/027 (2006.01)		HO 1 L 21/30	5 3 1 A	
HO 5 G 2/00 (2006.01)		HO 1 L 21/30	5 1 6 C	
		HO 5 G 1/00	K	

請求項の数 24 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2008-539331 (P2008-539331)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成18年11月9日(2006.11.9)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公表番号	特表2009-525590 (P2009-525590A)		エムペーハー
(43) 公表日	平成21年7月9日(2009.7.9)		ドイツ連邦共和国、73447 オーバー
(86) 国際出願番号	PCT/EP2006/010725		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(87) 国際公開番号	W02007/054291		ーセ 2
(87) 国際公開日	平成19年5月18日(2007.5.18)	(74) 代理人	100082005
審査請求日	平成21年11月4日(2009.11.4)		弁理士 熊倉 禎男
(31) 優先権主張番号	60/735,932	(74) 代理人	100067013
(32) 優先日	平成17年11月10日(2005.11.10)		弁理士 大塚 文昭
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100086771
			弁理士 西島 孝喜
		(74) 代理人	100109070
			弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光源の変動を測定するためのシステムを備えたEUV照明システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも一つのEUV光源(3)と、
前記EUV光源(3)の、又は前記EUV光源(3)の中間像の一つの強度変動又は位置変化を測定する開口絞り及びセンサ装置(1)と、
を備えたEUV照明システムにおいて、

前記開口絞り及びセンサ装置(1)は、開口絞り(2.1)とEUV位置センサ(2.3)とを有し、

前記開口絞り及びセンサ装置(1)は、前記開口絞り(2.1)が前記EUV光源(3)から発せられる照射、又はその中間像(7)の一つからの照射の所定の立体角範囲が前記EUV位置センサ(2.3)に当たるように配置され、前記開口絞り(2.1)は、前記EUV光源(3)又は中間像(7)と前記EUV位置センサ(2.3)との間に位置し

10

、
前記開口絞り及びセンサ装置(1)が、光軸に沿って方向付けられた第1の開口絞り及びセンサ装置(1.1)と前記光軸に対して角度()を形成するように方向付けられた第2の開口絞り及びセンサ装置(1.2)とを有し、

前記第1の開口絞り及びセンサ装置(1.1)が前記EUV光源(3)を観察し、前記第2の開口絞り及びセンサ装置(1.2)が前記EUV光源(3)の中間像(7)を観察する、EUV照明システム。

【請求項2】

20

前記開口絞り及びセンサ装置(1)が、ピンホールカメラの原理に従って設計される、請求項1記載のEUV照明システム。

【請求項3】

前記EUV光源を観察する前記第1の開口絞り及びセンサ装置(1.1)が光軸(11)に沿って方向付けられている、請求項1から請求項2迄の何れかに記載のEUV照明システム。

【請求項4】

前記EUV光源を観察する前記第1の開口絞り及びセンサ装置(1.1)が光軸に対して角度()を形成するように方向付けられている、請求項1から請求項3迄の何れかに記載のEUV照明システム。

【請求項5】

少なくとも一つの開口絞り及びセンサ装置(1)が前記EUV光源(3)からの光を集光器鏡の通過開口(5.2)によって受光する、請求項1から請求項4迄の何れかに記載のEUV照明システム。

【請求項6】

集光器鏡の通過開口(5.2)は、前記開口絞り及びセンサ装置の開口絞り開口(2.1)として機能する、請求項5記載のEUV照明システム。

【請求項7】

集光器(5)を備え、少なくとも一つの開口絞り及びセンサ装置(1)が前記EUV光源(3)を観察し、更に、結像光の光束が前記集光器(5)の鏡面(38)で少なくとも一回反射する、請求項1から請求項6迄の何れかに記載のEUV照明システム。

【請求項8】

前記EUV光源(3)の中間像(7)を観察する前記第2の開口絞り及びセンサ装置(1.2)が光軸(11)に沿って方向付けられている、請求項1から請求項2迄の何れかに記載のEUV照明システム。

【請求項9】

前記EUV光源(3)の中間像(7)を観察する前記第2の開口絞り及びセンサ装置(1.2)が光軸(11)に対して角度()を形成するように方向付けられている、請求項1から請求項3までの何れかに記載のEUV照明システム。

【請求項10】

前記開口絞り及びセンサ装置(1)が、EUV範囲の波長の外側の不要な波長を除去するように機能するスペクトルフィルタ要素(2.2)を有する、請求項1から請求項9迄の何れかに記載のEUV照明システム。

【請求項11】

前記スペクトルフィルタ要素(2.2)がホイル(foil)フィルタである、請求項10記載のEUV照明システム。

【請求項12】

前記ホイルフィルタがジルコニウムを含有する、請求項11記載のEUV照明システム。

【請求項13】

前記スペクトルフィルタ要素(2.2)がスペクトル格子フィルタ又は多層鏡を含む、請求項10記載のEUV照明システム。

【請求項14】

前記開口絞り及びセンサ装置が荷電粒子を偏向する装置を有する、請求項1から請求項13迄の何れかに記載のEUV照明システム。

【請求項15】

前記開口絞り及びセンサ装置(1)が、単一のセンサフィールド、又は、列又は行列の形状に配置された複数のセンサフィールドを有する、好ましくは四分円検出器として構成される、EUV位置センサ(2.3)を含む、請求項1から請求項14迄の何れかに記載のEUV照明システム。

10

20

30

40

50

【請求項 16】

前記 E U V 位置センサ (2 . 3) のセンサフィールドが、E U V 感応ダイオード又は蛍光スクリーンとカメラの組み合わせ、又は多チャンネルプレートを含む、請求項 15 記載の E U V 照明システム。

【請求項 17】

前記 E U V 位置センサ (2 . 3) が、放射される光電子又は光電流に基づいて入射する E U V 照明の重心を決定するセンサフィールドを含む、請求項 15 記載の E U V 照明システム。

【請求項 18】

前記開口絞り及びセンサ装置が、開口絞り開口 (2 . 1) と E U V 位置センサ (2 . 3) の間の光束を偏光する反射光学部材を有する、請求項 1、請求項 10 から請求項 13 迄の何れかに記載の E U V 照明システム。

10

【請求項 19】

異なる視野方向から同一の光源 (3) 又は光源 (3) の同一の中間像を観察する少なくとも二つの開口絞り及びセンサ装置 (1) が一体の装置として構成され、開口絞り (2 . 1) と E U V 位置センサ (2 . 3) が開口絞り及びセンサ装置 (2 . 1) の各々に専用である、請求項 1 から請求項 18 迄の何れかに記載の E U V 照明システム。

【請求項 20】

前記一体の装置の個々の開口絞り及び位置センサ装置 (1) の E U V 位置センサが隣接する、請求項 19 記載の E U V 照明システム。

20

【請求項 21】

前記 E U V 光源 (3) がプラズマ光源である、請求項 1 から請求項 20 迄の何れかに記載の E U V 照明システム。

【請求項 22】

集光器 (5) と、

集光器の光学素子、又は該集光器の光学素子に続く反射光学部材の動き又は変形を捕捉する測定システムを備えた、請求項 1 から請求項 21 迄の何れかに記載の E U V 照明システム。

【請求項 23】

請求項 1 から請求項 22 迄の何れかに記載の照明システムと、マスクと、投影対物光学系 (26) と、担持システムに搭載した感光性物体、特にウェーハと、を備えたマイクロリソグラフィ用投影露光装置。

30

【請求項 24】

請求項 23 記載の投影露光装置を用いて、マイクロ電子部品、特に、半導体チップを製造する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、E U V 光源の位置と、波長が 193 nm 以下、特に E U V リソグラフィ用の照明システムの光路で続く集光器システムの焦点の位置とを決定し、補正する測定手段を備えた、E U V (extreme ultraviolet) 照明システムに関する。更に、本発明は、同様の目的を達成する方法に関する。

40

【背景技術】

【0002】

照明システムで使用する好ましい測定手段は、開口絞り及びセンサ装置である。特に、サブミクロンの範囲で、電子部品の構造的幅を一層削減するためには、マイクロリソグラフィ処理で使用する光の波長を短くする必要がある。例えば、193 nm を下回る波長では、ソフト X 線を用いるリソグラフィ、いわゆる E U V リソグラフィは、考えられる解決策を提供する。11 ~ 14 nm、特に好ましくは 13.5 nm の波長は、例えば、シンクロトン放射源から生成できる。しかしながら、シンクロトン放射源は、技術的に極め

50

て複雑な装置を必要とするという課題がある。代替のEUV光源は、プラズマを、例えば、レーザービームを金属プレートに収束させて生成する、レーザープラズマ光源である。また、EUV光源として、プラズマ光源を直接電源に近接させる、プラズマ放電源も使用できる。シンクロトン放射源と比較して、EUVプラズマ光源は、投資コストを大幅に削減できる点異なる。一方で、EUVプラズマ光源には、潜在的に不安定であり、光源パワーが変動するという課題がある。更に、熱効果によって、プラズマ光源の光源点は移動する。

【0003】

プラズマからの照射は、EUV範囲の有用な光子のみではなく、波長の長い光、金属プレート又は電極の物質粒子(material particles)も含むので、続く光学システムの部材、特に、集光器と第1の多層鏡は高い汚染のリスクに曝される。更に、集光器の光学システムは、動作時に熱に曝され、温度勾配の効果によって、変形することがあるため、その焦点距離は変化する。プラズマ光源は光源点が移動することに加え、上述の要因は、照明システムのフィールド面のフィールドが不均一に照明される原因となる。更に、この結果として、テレセン度(telecentricity)誤差の変動、及び吸収光パワー、いわゆる照射量誤差の強い変動が生じる可能性がある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、プラズマ光源を備えたEUV照明システムが上述の課題について何も解決していないことが、以下の出版物に記載されている。

【0005】

EUV照射を用いたリソグラフィ装置用のEUV照明システムについて、米国特許第5,339,346号に開示されている。レチクル面を均一に照明して、瞳を満たすため、米国特許第5,339,346号は、対称に配置した組として構成される少なくとも4つの鏡ファセットを有する、集光器レンズとして設計した光学コンデンサを提案している。

【0006】

球面鏡によって照射するマスク又はレチクルに均一な照明を実現した、コンデンサ鏡を有するプラズマ光源を用いた照明システムが、米国特許第5,737,137号に示されている。この照明システムは、臨界照明を用いた照明システムを表す。

【0007】

米国特許第5,361,292号に示す照明システムは、プラズマ光源を具備している。点形状光源の像として、中心を外れて配置された5つの球面鏡を有するコンデンサは、鏡形状に照射される領域を生成する。斜入射鏡を続く光路上に特殊に配列することによって、環状の被照射領域が入射瞳に投影される。

【0008】

同様に、シンクロトン照射をEUV光源として使用する場合にも、フィールド照明は、既に説明した、集光器光学素子及び直後の反射光学部材で生じる熱の効果によって、時間と空間の両方にわたって依然として変動する。しかしながら、この効果はプラズマ光源において特に顕著である。この種のEUV照明システムは、EUV光源から生じる照射をモニタし、続く反射光学システムで集光し、基準点から偏差がある場合は、光源の位置を適切に合わせる必要がある。或いは、光源自体を合わせる代わりに、光源の像の位置を、例えば、光学部材によって合わせてもよい。

【0009】

位置毎に光電流又は光電子を測定するEUV光ダイオードアレイ又はセンサなどの、空間解像度を有するEUVセンサを、二次元EUV光ダイオード位置のモニタに使用する場合、センサの物理的な寸法のため、測定に使用するセンサが光路の一部を遮断して、応分の使用可能な照明強度が減少するという問題が生じる。この問題は、測定システムを不連続的に動作させて、照明システムの通常動作時に光路から取り外すことによって、解決す

10

20

30

40

50

ることができる。しかしながら、これは、構造が高価となり、調整が困難である。更に、この構成では、EUV光源の光源位置のサーボ制御によって連続的な調整ができない、又は、集光器光学素子の調整ができない。

【0010】

光路上に従来の二次元センサを用いた場合、更に、光源の光源点の位置を間接的にしか決定できないため、照明光束の部分領域の強度プロファイルの測定では不正確になるという問題がある。

【0011】

米国出願第2003/0146391号に、プラズマ光源の照射光パワーをモニタする検出器を照明光路とは異なる検出器光路に設けたものが提案されている。この構成では、可能な限り正確にシミュレートするため、検出器光路のエタンドュ（集光パワー）を照明光路と一致させている。しかしながら、米国出願第2003/0146391号に開示されたものは、独立した光路における照射光パワーの測定がそれ自体十分に正確ではないため、像面の像に、上述の誤差、即ち、不均一な照射フィールド、テレセンズ誤差、照射量誤差の発生を防止するものではない。

【0012】

日本国出願第JP63-072116号に、X線で近接露光するための吸収性マスクから生じる二次電子を測定するものが開示されている。しかしながら、空間解像度をもった測定、照射量誤差の測定、又は光学部材の汚染の測定の可能性については提案していない。

【0013】

シンクロトン照射用の鏡の汚染の度合いをモニタする方法については、日本国出願第JP05-288696号に開示されている。この方法では、鏡面全体にわたる光起電電流の積分値を測定するため、照射強度の空間的な分布に関する情報は得られない。

【0014】

本発明は、従来技術の問題を解決することを目的とする。特に、有効利用する波長において、EUV光源、特に、EUVプラズマ光源の光源パワー及び光源位置を十分な精度を持って測定することができる測定手段を備えたEUV照明システムを提供する。測定手段が除去する照明強度の部分については、可能な限り小さく保つ。測定手段は、更に、後方に配置した集光光学系の焦点位置の変化を検出する必要がある。本発明は更に、フィールド面のフィールドに均一な照明を得られるように適切にEUV光源の位置合わせ、及び集光器光学素子の調整を行うことを可能とする、EUV光源をモニタする方法を提案することを目的とする。更に、測定手段及び補正方法は、有効利用する範囲、即ち、EUV照明システムで捕捉して利用する、有効利用する波長で照射の絶対流（absolute flow）を測定する機能を有する。ここで、「有効利用する波長」とは投影露光装置によって、例えば、構造形成マスクの像を、感光性被膜に生成するために使用する波長を意味する。例えば、EUVリソグラフィ用有効利用する波長又は有効利用する波長の範囲は、13.5nmの領域であるが、この値に限定されるものではない。有効利用する波長として、他の波長も同様に可能である。

【課題を解決するための手段】

【0015】

有効利用する波長の調整に対して、米国特許第6,727,980号には、EUV光源の調整を、画像処理に用いる波長とは異なる波長、例えば、可視光で行うものが開示されている。

【0016】

発明者は、上述の本発明の目的を達成するためには、EUV光源又は続くその中間像の一つを直接観察することが必要であると考へた。しかしながら、センサを光源点に密接して配置することは、その場所に存在するための条件から不可能である。更にこれは、掩蔽によって大幅な照明強度の減少を招く可能性がある。これに代わって、発明者は、ピンホールカメラの原理に従って機能する開口絞り及びセンサ装置によって、位置の変化を極め

10

20

30

40

50

て簡単に検出できるEUV光源の像を生成できることを発見した。代替として、或いは付加的に、EUV光源自体を観察する代わりに、EUV光源の一以上の中間像を観測することができる。EUV光源の像が移動して基準位置から離れた場合、EUV光源自体の位置が変化すると直接結論付けることができる。更に、EUV光源の光源パワーを像の照明強度から測定することができる。本発明の装置及び方法によると、(広帯域スペクトルの波長の光を照射する)EUV光源の光源パワー及び/又は光源位置を、投影露光装置で使用する、有効利用する波長又は有効利用する波長範囲で検出することができる。

【0017】

例えば、米国特許第6,727,980号の最新の解決方法では、調整に使用した波長が有効利用する波長ではないことが明記されている。むしろ、使用した光はEUV光源から照射される可視光であり、有効利用する波長とは異なる波長であった。

10

【0018】

ここで、「開口絞り及びセンサ装置」とは、少なくとも一つの開口絞りとEUV位置センサを備えた測定装置を意味する。開口絞りは、測定する物体、この場合、EUV光源又はその中間像の一つ、と位置センサとの間に位置し、本用途では、EUV位置センサはEUV照射を感知する。開口絞りの効果によって、物点から発せられて位置センサに当たる照射は通常、小さい立体角に制限される。焦点は結ばれない。その代わりに、必要とする有限の開口絞りの径のため、各物点から発せられる光は、中央投射又は中央投影の法則に従って、その像として錯乱円を形成する。投影する物体、開口絞りの開口、物体距離とカメラの設計上の長さとの比率が十分に小さければ、投影は錯乱円の大きさを制限し、ピンホールカメラの原理に従って、所定の不鮮明さを有する物体の像が形成される。開口絞り及びセンサ装置を用いてEUV光源、又はその中間像の一つを観察する本発明によると、例えば、EUV位置センサを用いるので、実際には像を撮影しない。このため、開口絞り及びセンサ装置の基本的なパラメータ、即ち、物体距離、開口絞りの径、設計上の長さ、センサ解像度は、EUV光源の光源点の動きの所望の空間解像度、及び物体の寸法から選択する。即ち、この選択は上述の条件からの逸脱である。

20

【0019】

本発明の概念を拡張すると、異なる視野角から光源を観察するために2以上の開口絞り及びセンサ装置を用いる。これによって、基準位置からの水平(lateral)方向と垂直(longitudinal)方向の偏差を検出することができる。最小開口数を下回るEUV光源の光は集光しない集光器を用いる場合、少なくとも一つ、好ましくは少なくとも二つの開口絞り及びセンサ装置をこの未使用のスペースに配置することができる。スペースの制限からこれができない場合、一つ又は複数の開口絞りセンサ装置を、未使用の部分光線を用いて光源の像を生成するように配置することができる。

30

【0020】

集光器光学素子又は集光器の後方の反射光学システムの部材を介した通過開口の設計では、開口絞り及びセンサ装置を通常、反射光学面によって掩蔽される後方の領域に配置することができる。

【0021】

上述の構成は、開口絞り及びセンサ装置による中間像の観察にも同様に応用できる。発明者は、EUV光源の位置変化及び集光器光学素子の変化の効果が中間像の動きに現れることを発見した。この組み合わせがEUV照明システムによって取り込まれた実際の光量となるので、中間像の観察に基づいて、EUV光源の光源点又は下方の集光器光学素子、又はその部分を効果的に補正することができる。

40

【0022】

EUV光源及びその中間像の少なくとも一つを開口絞り及びセンサ装置を介して観察することは特に有利である。これによって、EUV光源の動きを焦点距離の変化とは分離することができる。更に、光源強度の変動を、例えば、EUV光源に続く光学部材の汚染又は劣化と区別することができる。

【0023】

50

開口絞り及びセンサ装置に加えて、照射の効果によって生成した光電子電流を少なくとも一つの鏡で空間解像度をもって測定することができる。このために使用するセンサ要素は、同一の接地電位を共有する個々の電極からなる陽極環を含む。電極の光電子電流を比較することによって、鏡面に当たる照射の重心を決定することができる。更に、電極の光電子電流の合計が、照射強度全体の測定値を表す。上記のセンサ要素は、光線パターンの調整、及び光源点の位置、光路で後方に続く光学部材の焦点距離の測定のためにも同様に用いることができる。ここで、センサ要素の他にも、上述の開口絞り及びセンサ装置を追加的に用いて、組み合わせ使用することが好ましい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

本発明について以下、様々な例を用いて図面を参照しながら説明する。

【0025】

図1は、集光光学系5.1と比較して寸法の小さいEUV光源3の概略図である。この種の光源3として、例えば、レーザービームを金属プレートに照射して生じるプラズマを用いることができる。或いは、この種のEUV発光プラズマは、放電の際に電極の近傍で生成される。図1に示す座標系では、図面の面はx軸とy軸を含む。EUV光源3は、その基準点の外側である位置3.1に位置する。図1に示されるように、この位置は、第1の開口絞り及びセンサ装置1.1によって、特に有効利用する波長で観察される。この開口絞り及びセンサ装置1.1は、集光シェル5.1の外形によって極めて簡略に表される集光器の中央に位置する。集光器の種類については、出願人によってドイツ特許庁に出願され、その内容が参照により本明細書に組み込まれる、ドイツ出願第DE10138284A1号を参照されたい。開口絞り及びセンサ装置は、更に、z軸の方向に延在する集光器の光軸1.1に沿って配置されている。この構成によって、第1の開口絞り及びセンサ装置1.1は、EUV光源3の像を位置検出器に生成する。

【0026】

EUV光源の水平方向の動き、即ち、基準位置からx方向、又は、図面の面に対して垂直なy方向への偏差は変換されて、開口絞り及びセンサ装置1.1の位置検出器2.3の像の基準位置からの偏差となり、中央投射又は中央投影の法則に従って、この偏差は図1の z_2 、 z_1 の長さの比率に一致する。位置検出器の像の偏差を測定することによって、光源の基準位置及び開口絞り及びセンサ装置の開口絞りの中心点によって画定される軸に対して垂直方向の光源の位置の偏差を測定することができる。この場合、後者の軸はz軸である。従って、集光器の中央に位置するセンサ部は、x軸及びy軸に対する光源の位置を測定することができる。EUV光源のその基準位置からの偏差の距離、及び集光シェル5.1の焦点距離の変化は、EUV光源の中間像7を測定する第2の開口絞り及びセンサ装置1.2によって測定する。開口絞り及びセンサ装置は光軸に対して角度を形成して配置されているので、その基準位置から中間像7の水平方向及び垂直方向の偏差を測定することができる。

【0027】

図2に、開口絞り及びセンサ装置をEUV投影システムの内部に取り付ける、異なる取り付け位置を概略的に例示する。EUV光源3、代表的にはプラズマ光源から、射出された光は、例えば、i入れ子型集光器として構成できる、集光器5によって集光される。第1の開口絞り及びセンサ装置1.1は、集光器の最小開口を下回る未使用のスペースに配置する。この開口絞り及びセンサ装置は、集光器の内部に配置するか、或いは、後者とともに一体の装置として設計できる。好ましくは、第1の開口絞り及びセンサ装置1.1は、集光器の光軸に沿った方向に配置する。

【0028】

例えば、集光器が非対称の形状であるために、集光器5の内部に光軸を画定することができない場合、集光器を個々の部位に細かく分割して、それぞれの部位について光軸を画定することができる。EUV光源を直接観察する第1の開口絞り及びセンサ装置1.1は、これらの軸の中間に沿って配置することができる。更に、EUV光源3の近傍の開口絞

10

20

30

40

50

りセンサ装置 1 . 1 は、必要とする中央掩蔽部としても同時に機能できるように構成できる。

【 0 0 2 9 】

これらの可能性の他にも、本発明による上述の測定手段、並びに測定及び補正方法は、光を同一の E U V 照明システムに導く複数の E U V 光源のモニタ及び補正にも使用することができる。

【 0 0 3 0 】

図 2 に、少なくとも一回は集光器光学素子に反射する光線の方向に位置する更なる開口絞り及びセンサ装置 1 . 2、1 . 3 を示す。図示の構成では、開口絞り及びセンサ装置 1 . 2 は、反射型光学素子の後方に位置し、開口絞り及びセンサ装置 1 . 3 は、E U V 光源 3 を集光シェルの開口 5 . 2 を介して観察する。このようにして開口絞り及びセンサ装置 1 . 3 は、集光器の後方の側の位置を占める。更に、開口絞り及びセンサ装置 1 . 4 をスベクトル格子フィルタ 1 9 などの更なる光学素子の側方に配設できる。更に、第 1 の中間像 7 . 1 を観察する開口絞り及びセンサ装置 1 . 5 を設けることができる。同様に、更なる中間像、例えば、第 2 の中間像 7 . 2 を更なる開口絞り及びセンサ装置 1 . 6 の手段によって観察できる。

【 0 0 3 1 】

図示の可能な実施の形態の E U V 投影システムは、環状フィールドを有するフィールド面 2 2 を形成して照射するように働く光学システムを更なる構成として有する。フィールドを均一に照明するための混合部として、光学システムは、2 つのファセット鏡部 2 9 . 1、2 9 . 2、2 つの結像鏡部 3 0 . 1、3 0 . 2、及びフィールド形成斜入射鏡部 3 2 とを含む。

【 0 0 3 2 】

第 1 のファセット鏡部 2 9 . 1、いわゆるフィールドファセット鏡部は、第 2 のファセット鏡部 2 9 . 2、いわゆる瞳ファセット鏡部の面の中又は近傍に複数の二次光源を生成する。続く結像光学素子は、照明システムの射出瞳に瞳ファセット鏡部 2 9 . 2 の像を形成する。射出瞳は投影対物光学系 2 6 の入射瞳に位置する。第 1 のファセット鏡部 2 9 . 1 及び第 2 のファセット鏡部 2 9 . 2 の個々のファセットは、第 1 のファセット鏡部 2 9 . 1 の個々のフィールドファセットの像が照明システムのフィールド面 2 2 で重なるように角度をなして傾いているので、フィールド面 2 2 に位置する構造形成マスクに均一性の高い照明を照射することができる。環状フィールドの部位は、フィールド形成斜入射鏡部 3 2 によってその形状を与えられる。

【 0 0 3 3 】

二重ファセット照明システムは、米国特許第 6 , 1 9 8 , 7 9 3 B 号に開示されており、結像及びフィールド形成部品は、米国出願第 1 0 / 0 6 0 , 9 0 9 号として米国特許庁に出願された国際出願第 W O 0 1 / 0 9 6 8 1 号に開示されている。これらの内容は参照により本明細書に全体が包含される。

【 0 0 3 4 】

フィールド面 2 2 に配置される、レチクルとも呼ばれる構造形成マスクの像は、投影対物光学系 2 6 によってフィールド面 2 2 の像面 2 8 に投影される。投影対物光学系 2 6 は、例えば、本出願人によって 2 0 0 0 年 1 2 月 1 3 日に米国特許庁に出願された、米国特許出願第 6 0 / 2 5 5 2 1 4、又は出願番号ドイツ特許出願 D E 1 0 0 3 7 8 7 0 A にも開示された 6 反射鏡投影対物光学系であり、これらの内容は参照によって本明細書に全体が包含される。露光する物体、例えばウェーハは、像面 2 8 に配置する。

【 0 0 3 5 】

図 3 は、集光シェル 5 . 1 を有する入れ子型集光器の軸方向断面図である。一例として、集光シェル 5 . 1 は 3 つ図示している。代替の実施の形態の集光器は双曲面及び / 又は楕円面形状の鏡を含み、ヴォルター (W o l t e r) 光学系として文献にも記載されている。ヴォルター (W o l t e r) 光学系の内容については、参照により本明細書に全体が包含される、W o l t e r , A n n a l e n d e r P h y s i k 1 0 , 9 4 - 1 1

10

20

30

40

50

4, 1952などの文献を参照されたい。この種の集光器では、ほぼ点形状の光源から射出される光が所定の最小開口数のみを上回って集光される。このため、開口絞り及びセンサ装置1を含む本発明の測定システムを、この最小開口数を下回る立体角内で未使用のスペースに光損失を発生させずに配置することができる。

【0036】

開口絞り及びセンサ装置の結像の原理について図4を参照して説明する。ここでは、開口絞り及びセンサ装置自体を参照記号1で表す。開口絞りの開口が、理想的には、点形状とみなせるように小さいとした場合、物体、この場合は光源3などの像4が、結像光束の軸に対してほぼ垂直に延在する何れかの面に形成される。倍率は、開口絞り2.1と像面との間の距離として定義される設計上の長さ Z_2 に対する開口絞り及びセンサ装置と物体との間隔 Z_1 との比率を調整して設定できる。

10

【0037】

更に、図4は、基準位置から外れたEUV光源の二つの位置3.1、3.2を示す。位置3.1、3.2は二つとも、同一の光線上にあるので、お互いに中心点が一致する像を生成する。これは、開口絞り及びセンサ装置が、開口絞りセンサ装置の座標系に対してEUV光源の位置の水平方向の偏差を測定するために好適であることを示している。有限次元(finite dimension)の光源の場合、垂直方向の変位は、開口絞り及びセンサ装置の像の大きさの変化を生じる。一実施の形態では、十分に正確な空間解像度を有するEUV位置センサを用いて、この種の大きさの変化を検出する。しかしながら、少なくとも二つの開口絞り及びセンサ装置がEUV光源を観察する、或いは、異なる視野

20

【0038】

有限次元の実在の開口絞りの開口では、検出器の面に投影される開口絞りの領域に対応する検出器の光源の像が不鮮明になる。しかしながら、ほぼ対称な光源の像の重心の位置は、対称な開口絞りの機能によって不鮮明さによる影響を受けずに保たれるため、この不鮮明さは対称となり、不鮮明さにより生じる測定精度の低下はないか、無視できる程度に小さくなる。

【0039】

開口絞りの開口については、透過するパワーの量と、検出器のサイズとの間で妥協をする必要がある。開口絞りの開口は、一方では、センサを過剰に露光してセンサが飽和することのないように、小さく選択する必要がある。しかしながら他方では、EUV光源の位置を測定するために十分な光強度をEUV位置センサに与えるため、開口絞りの開口を十分に大きく選択する必要がある。これは、特に、EUV光源の位置の偏差を迅速に測定する場合に必要である。

30

【0040】

物体距離の代表的な値を150mmとし、EUV位置センサで容易に実現可能な解像度を0.1mmとすると、設計上の長さは $Z_2 = 90\text{mm}$ と選択することが有利である。

【0041】

EUV光源の光源位置を測定するために用いる開口絞り及びセンサ装置は、位置検出器2.3を含む。位置検出器2.3は、EUV光源の像が基準の像位置から離れる量を測定するように機能する。最も単純なケースでは、この目的のため、光ダイオードによる一つのセンサ要素を用いる。しかしながら、これは、基本的には、1バイナリビットの情報、即ち、EUV光源の位置光源のその基準位置からの偏差が、像がセンサフィールドの内部に依然としてとどまる程度に小さいか否かしか伝達しない。更なる情報は、一列、好ましくは行列の形状、更に好ましくは、四分円状検出器を構成する複数の光ダイオードからなるセンサから送出される。光源位置の偏差は、個々のセンサフィールドの信号の相対的な大きさから測定できる。一例として、この種の四分円状検出器44を図9に、基準を表すx/y座標系で示す。個々のセンサフィールドA、B、C、Dのそれぞれの強度信号から、センサ面の水平方向の偏差を以下のように求める。

40

$$X' = [(B + D) - (A + C)] / (A + B + C + D)$$

50

$$Y' = [(A + B) - (C + D)] / (A + B + C + D)$$

センサフィールド全体の合計から、較正後の、光源から照射されるパワーの合計量を決定することができる。これは特に、光源のパワーの変動が発生する可能性のある、プラズマ光源では重要である。

【0042】

本発明の開口絞り及びセンサ装置を、EUV光源、又はその中間像の一つの位置変化の測定に用いるので、従来のピンホールカメラとは異なり、実像を写す必要がないため、蛍光スクリーンとカメラとセンサを組み合わせたセンサは必要なく、ただ、有限の数のセンサ要素を有するEUV位置センサのみを用いるだけでよい。特に、四分円状検出器が好ましい。しかしながら、像センサは、センサとして、可能な代替を表す。更に、EUV位置センサ2.3を、入射EUV照射の重心を照射される光電子又は光電流から決定するように較正できる。

10

【0043】

使用可能な開口絞り及びセンサ装置の設置スペース、即ち大きさには限度があるため、観察する光源に十分に近接させて配置する必要がある。このため、 Z_2 に対する Z_1 の比率は、十分に小さくする必要がある。しかしながら、光源に近づけることは、プラズマ生成で生じるデブリ(debris)による汚染のリスクがある。このため、好ましい測定は、開口絞り及びセンサ装置の前方又は後方に粒子フィルタ2.4を配置して行う。更に好ましい特徴として、検査するEUV光源の照射を有効利用する範囲の波長にほぼ制限するスペクトルフィルタ要素2.2を、開口部開口2.1の前方又は後方の光路に配置する。これによって、特に、赤外線、可視光、EUVの範囲の照射を抑制することができる。これを実行するためには、例えば、ジルコニウムを含むホイル(foil)フィルタを用いることができる。後者は、同時に粒子フィルタとしても機能する。更なる可能性として、図10に示すように、電磁力を用いて、例えば、一以上の組の磁極48を開口絞りの開口の後方に配置して、荷電粒子を偏向させることができる。追加的に、或いは代替として、多層鏡、又はスペクトル格子フィルタを開口絞り及びセンサ装置の付加的な較正として組み込むことができる。

20

【0044】

図10に、EUV光源3の位置を測定する開口絞り及びセンサ装置を極めて単純に示す。開口絞りの開口2.1を囲繞する領域は、照射が入射するため、強い熱の流入40に曝される。開口絞り及びセンサ装置の有利な構成では、この囲繞部はその背面に冷却部50を備え、例えば、ペルチェ素子、又は冷却液部などを用いて熱を導き逃がすようになっている。センサ要素の後部に冷却器を配設しているため、照明システムに付加的な掩蔽効果は発生しない。更に、前置増幅部52をEUVセンサ44に可能な限り近接して、冷却部を設けて有利に配置することができる。信号評価電子装置54の残りの部分は開口絞り及びセンサ装置の外部に配置することができる。

30

【0045】

図5に、第1の開口絞り及びセンサ装置1.1を入れ子型集光器の光軸に沿って配置し、第2の開口絞り及びセンサ装置1.2をEUV光源の基準位置を観測するように、光軸に対して角度 θ となるように、又は図面のx/y平面に配置した、開口絞り及びセンサ装置の対応する構成部を示す。その向きに従って開口絞り及びセンサ装置1.2は局所座標系g-h-kを画定する。図5に、g軸とk軸を示しているが、h軸は図面の面にはない。EUV光源が基準位置からx-y-z座標系において水平方向にx、垂直方向にz変位した位置3.1にあるとした場合、開口絞り及びセンサ装置の像の変位成分g、h、kは以下のようにして得られる。

40

$$g = x \cos(\theta) + z \sin(\theta)$$

$$h = y$$

$$k = x \sin(\theta) + z \cos(\theta)$$

【0046】

代替として、二つの開口絞り及びセンサ装置を、光軸に対して角度をもって配置するか

50

、或いは、更なる開口絞り及びセンサ装置を、EUV光源の位置をモニタするために追加することもできる。

【0047】

測定の推定値を得るため、軸方向の位置の不確かさ z_a については、光軸に沿って方向付けられた開口絞り及びセンサ装置1と、光軸に対して角度 β で横方向に方向付けられた第2の開口絞り及びセンサ装置の組み合わせを考察する。図8に示すように、二つの開口絞り及びセンサ装置に対する、図面で破線で記した水平方向の測定の不確かさ x_{a1} と x_{a2} は相互に交差する。これから、軸方向の位置の測定の不確かさ z_a は以下のように算出できることがわかる。

【0048】

【数1】

$$\Delta z_a = \frac{\Delta x_{a1}}{\tan \beta} + \frac{\Delta x_{a2}}{\sin \beta}$$

ここで、角度 β は 10° であり、二つの開口絞り及びセンサ装置の水平方向の測定不確かさが等しく、 $x_{a1} = x_{a2} = 0.58 \text{ mm}$ であるとする、これらの数値から、軸方向の位置の測定不確かさ $z_a = 6.63 \text{ mm}$ が得られる。予想した通り、角度 β が小さいと、位置測定の軸方向の不確かさは水平方向の不確かさより大幅に悪化する。上述の値は、あくまでも一例に過ぎず、限定するものと解すべきではない。

【0049】

図6に、開口絞り及びセンサ装置を集光器光学素子の後方に配置、又は集光器光学素子に続けて配置する代替の構成を示す。ここで、「集光器光学素子の後方に配置」とは、開口絞り及びセンサ装置1.1を集光器鏡システムの開口を介してEUV光源を観察するように配置することを意味する。有利な実施の形態では、これらの通過開口は、開口絞りの開口として設計されている。開口絞り及びセンサ装置は、この場合、この開口絞りの開口に直接配置するか、或いは、開口絞りの開口と一体の装置を構成するように設計する。このような設計構成は、集光シェル5.1と連結しているため、散乱光の損失を最小化して、開口絞り及びセンサ装置を個別に調整する必要がないという利点がある。

【0050】

しかしながら、集光シェル5.1もまた、その位置及び長さが、熱の効果による変化を受けやすいということに注意すべきである。本発明の一つの可能な実施の形態では、焦点の変位を生じる集光シェル5.1の位置変化は、例えば、干渉計などの追加の測定システムによって測定する。代替の実施の形態では、同様にこの機能を、反射シェル5.1で少なくとも一回反射した光線と一直線上に位置する開口絞り及びセンサ装置1.2によって実行する。この開口絞り及びセンサ装置1.2の像の基準位置からの偏差は、EUV光源の動きと集光シェル5.1の幾何学的な変化の両方に関する情報を含む。ここで、EUV光線を直接観察する開口絞り及びセンサ装置と、集光シェル5.1で少なくとも一回反射させる種類の開口絞り及びセンサ装置を使用する場合、これらの二つの異なる情報を分けることができる。

【0051】

代替として、或いは付加的に、EUV光源の中間像7を観察する更なる開口絞り及びセンサ装置を用いることができる。図7に示すように、このために未使用の部分光束を使用し、開口絞り及びセンサ装置を、中間像の空間的な動きを捕捉できるように配設する。EUV光線の光源点の基準位置からの変位 x 、 y 、 z として、中間像7で光線の角度 θ の周縁光線について、中間焦点7の変位成分 x' 、 y' 、 z' の共役値を以下のようにして得る。

$$\sin(\theta') = \sin(\theta) / \dots$$

$$x' = x * \dots$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned} y' &= y^* \\ z' &= z^* \end{aligned}$$

中間像のこれらの偏差は、中間像の基準点に対する、それらの方向性に従って、開口絞り及びセンサ装置の対応する座標系の偏差に変換する。

【0052】

更に、二以上の中間像に開口絞り及びセンサ装置を配置し、開口絞り及びセンサ装置の一つの装置を用いて、少なくとも一つの開口絞り及びセンサ装置が中間像の一つを観察し、少なくとも一つの開口絞り及びセンサ装置がEUV光源を直接観察するようにしてもよい。

【0053】

本発明者は、更に、光源から照射された光の測定に、照明システムの一以上の反射光学部材の鏡面をセンサ要素として使用できることも発見した。この考えに基づいて、鏡面上に電極を配置することによって、発生する光電子が、局所的な照明強度に依存することを結論付けることができる。鏡面に当たる照明のプロファイルから光線の位置を測定し、これに基づいて調整を行うことができるので、測定に使用する部品が光路に突出して掩蔽部が発生するという問題が生じない。更に、光電子全体の流れを測定することによって、照射強度を決定することができる。

【0054】

図12に、鏡面38から生じる光電子を測定する電極36の可能な構成を示す。ここで、陽極環34は4つの独立した環状部位に細分割され、それぞれの電極は同一の電位であり、お互いに他の電極から離間し、電気的に絶縁されている。電極36に電圧を印加してもよいが、照射される鏡面38と陽極環34の間に光電効果によって電位差が生じるため、これは光電流の測定のための絶対条件とはならない。それぞれの電極の光電流を測定し、測定した電流 I_1 から I_4 の比率から、光電子発生の重心を求める。測定した電流 I_1 から I_4 を合計すると鏡に入射する照射強度の測定値が得られる。

【0055】

陽極環34の電極36の詳細な設計については当業者には選択可能である。電極による光路の掩蔽を回避するように設計することが好ましい。更に、陽極環34から鏡面38への距離を、数センチ以下に変更できることが好ましい。陽極環34を鏡の上部の長方形領域を覆う4つの電極36に細分割する代わりに、陽極環34を三角形の形状の3つの電極で構成してもよい。更に、単純な構成では、陽極環34の代わりに、二つの電極36のみを用いて、鏡の一方向の強度プロファイルを測定してもよい。更なる実施の形態では、陽極環34を5つ以上の電極36で形成して、陽極環34の形状が円形に近くなるようにしてもよい。更に、これによって形状を、鏡の被照射面の外側輪郭に合わせることができる。更なる実施の形態では、単一の陽極環34の代わりに複数の陽極環を用いて、光電流を受ける。陽極環を、例えば、同心円状に、或いは、鏡面38からの距離が異なるように配置してもよい。このようにして、光電子の起点をより高い空間解像度で測定できる。

【0056】

上述のセンサ要素を用いて、鏡に入射する照明のプロファイルを検査することによって、EUV光源の光源点について結論付けることができる。このためには、単一のセンサ要素を用いるか、或いは、複数の鏡を有する場合は、複数のセンサ要素のシステムを用いてもよい。

【0057】

代替の実施の形態のセンサ要素では、光電流を光路に配設したファセット鏡部29.1の個々のファセットで測定する。図13に示すように、光電流を測定するために選択するファセット39.2は各々相互に、更に残りのファセットからも電気的に絶縁されており、電流計52を備えている。個々の光電流を比較し合うことによって、ファセット鏡部29.1を照射する照明の強度の空間的な分布について相対的な情報(statement)を生成することができる。このため、測定において十分に高い精度の空間解像度を得るためには、できるだけ多くのファセットに光電流測定装置を設けることが好ましい。しか

10

20

30

40

50

しながら、実際には、光電流の測定部と電氣的に接続していないファセット素子 39.1 があってもよい。具体的には、これは、かかる接続を有さない素子をファセット鏡部の構造的な順位で配設することによって可能である。光電流測定 of 較正を公知の照射強度で実行する場合、空間的に区分した照射強度の絶対値のプロファイルを測定し、これを用いて、例えば、EUV光源のモニタリング、及びファセット鏡部又は先行する鏡の汚染の度合いをモニタリングするための、最適化調整を行うことができる。

【0058】

本発明の更なる有利な実施の形態では、一以上のセンサ要素を、光源又はその中間像の一つを測定するための一以上の開口絞り及びセンサ装置と組み合わせて使用する。

【0059】

図11に、一体の装置として設計した二つの開口絞り及びセンサ装置 1.1、1.2を示す。この装置は小型で、物体距離が短くても占有する立体角空間が少ないため、最小開口を下回る集光器に有利に配設することができる。開口絞り及びセンサ装置 1.1、1.2に照射する結像光束が通過する二つのピンホールを識別できるように参照記号を付している。図8に、それぞれの光束の重心光線を示す。開口絞り及びセンサ装置は各々、結像光束を反射して、二つの開口絞り及びセンサ装置 1.1、1.2がほぼ隣接する (border on each other) ような場合には、省スペースで光をEUV位置センサ 2.3に再び導く、少なくとも一つの反射光学部材 17を有する。

【0060】

一以上の開口絞り及びセンサ装置によって、EUV照明システムのEUV光源 3又はEUV光源 3の中間像 7の光源点及び光源パワーを測定する本発明の測定方法を、EUV光源 3の光源点、或いは集光器光学部又はその部分、又はシステムの後方に続く更なる光学部材の位置を制御、調整又は調節するために用いる。付加的に、或いは代替として、少なくとも一つの鏡で光電子の生成を位置関数として検出するセンサ要素を用いる。これによって、特に、EUV照明システムの動作時に、サーボ調整位置制御によって、EUV光源の中間像を基準位置の周囲の所定の領域の範囲に保つことができる。更なる実施の形態では、EUV光源 3の光源パワーを動作時に適合させる。

【0061】

本発明の範囲は、更に、照明システムが少なくとも一つの開口絞り及びセンサ装置を有する本発明の測定システムを備えた、マイクロリソグラフィ用途の投影露光装置の開示も含む。この種の投影露光装置によるマイクロ電子部品、特に、半導体チップの製造方法も開示する。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】EUV光源とその中間像を観察することによって、EUV光源のその基準位置からの水平方向及び垂直方向の偏差と集光器光学素子の焦点距離の変化を検出する二つの開口絞り及びセンサ装置を示す図である。

【図2】EUV光源とその中間像をモニタする開口絞り及びセンサ装置を備えたEUV投影露光装置を示す図である。

【図3】入れ子型集光器の光軸に沿った開口絞り及びセンサ装置の配置を示す図である。

【図4】開口絞り及びセンサ装置の設計構造と異なる光源点位置から投影された像を示す図である。

【図5】入れ子型集光器の未使用の中央空間の内部に配置した二つの開口絞り及びセンサ装置による同一のEUV光源の観察を示す図である。

【図6】集光シェルの後方に続く、開口絞り及びセンサ装置の配置を示す図である。

【図7】二つの開口絞り及びセンサ装置によるEUV光源の中間像のモニタを示す図である。

【図8】二つの開口絞り及びセンサ装置が交差する場合の位置測定の軸方向の位置の測定の不確定さを推定する方法を示す図である。

【図9】四分円検出器として機能するEUV位置センサを示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 0】開口絞り及びセンサ装置の設計構造を示す図である。

【図 1 1】二つの開口絞り及びセンサ装置を一体として構成した装置と、該装置の集光器の最小開口を下回る未使用のスペースの内部への配置を示す図である。

【図 1 2】反射光学部材上で空間解像度をもって光電流を測定するセンサ要素を示す図である。

【図 1 3】図 1 2 のセンサ要素の代替の実施の形態を示す図である。

【符号の説明】

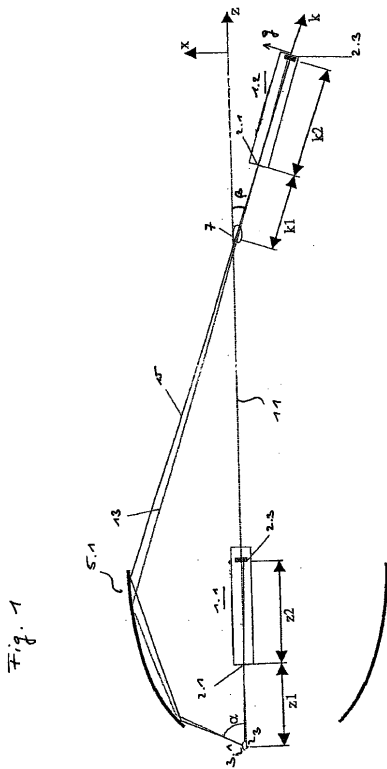
【 0 0 6 3 】

1, 1.1, 1.2, 1.3 開口絞り及びセンサ装置	
2.1 開口部開口	10
2.2 スペクトルフィルタ要素	
2.3 位置検出器	
2.4 粒子フィルタ	
3 E U V 光源	
3.1, 3.2 基準位置の外側の E U V 光源の位置	
4 E U V 光源の像	
5 集光器	
5.1 集光シェル	
5.2 集光シェルの通過開口	
6 最小開口数	20
7 中間像	
7.1, 7.2 第 1 及び第 2 の中間像	
9.1, 9.2 開口絞り	
11 光軸	
12 多層鏡	
13 基準光線	
15 結像光線	
17 反射光学部材	
19 スペクトル格子フィルタ	
22 フィールド面	30
26 投影対物光学系	
28 像面	
29.1, 29.2 ファセット鏡部	
30.1, 30.2 結像鏡部	
32 フィールド形成斜入射鏡	
34 陽極環	
36 陽極環の電極	
38 鏡面	
39.1, 39.2 ファセット鏡部の鏡ファセット	
40 熱流入	40
42 熱流出	
44 四分円検出器	
48 磁極の組み	
50 冷却器	
52 前置増幅部	
53 電流計	
54 信号評価電子装置	
A, B, C, D 四分円センサのセンサフィールド	
Z ₁ 物体距離	
Z ₂ 開口絞り及びセンサ装置の設計上の長さ	50

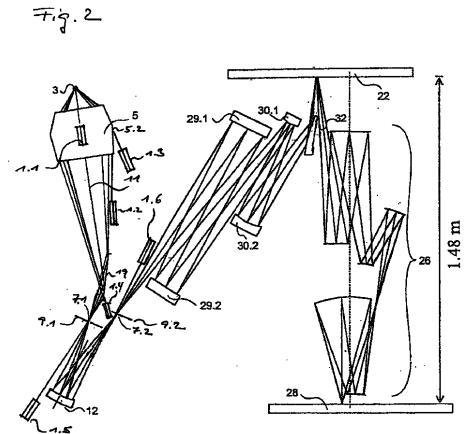
光軸に対する角度

- x_a , x_{a1} , x_{a2} 水平位置の測定不確定さ
- x_q 光源寸法
- x_i 開口絞りの開口幅
- x_d EUV位置センサの解像度
- z_a 軸方向の位置の測定不確定さ

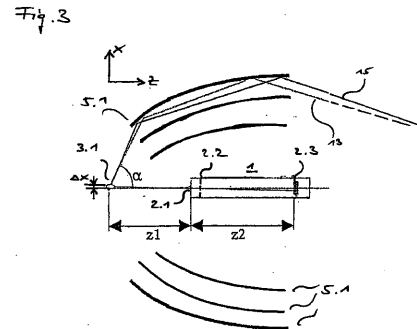
【図1】



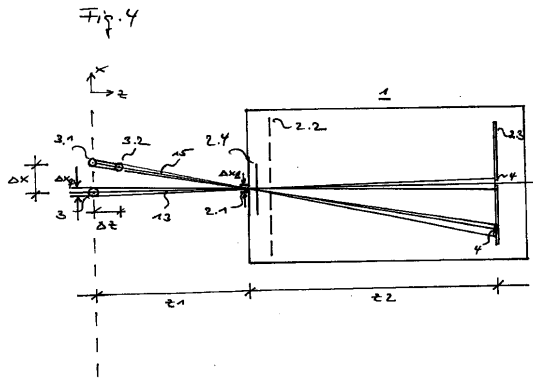
【図2】



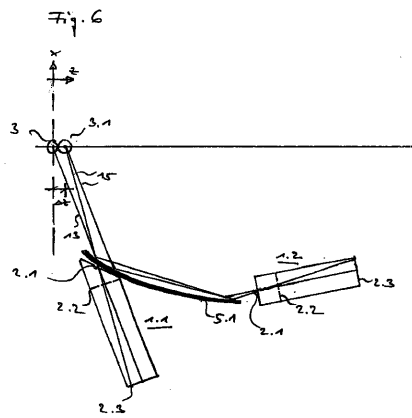
【図3】



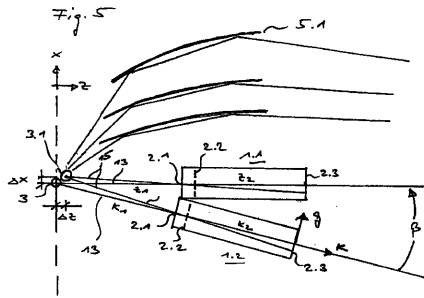
【図4】



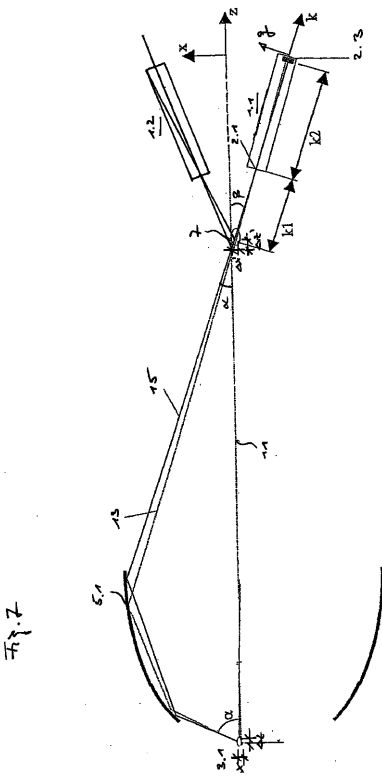
【図6】



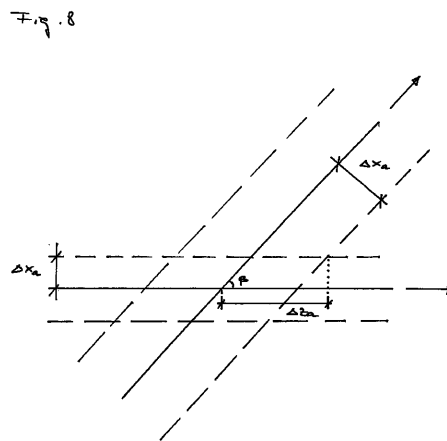
【図5】



【図7】



【図8】



【図 9】

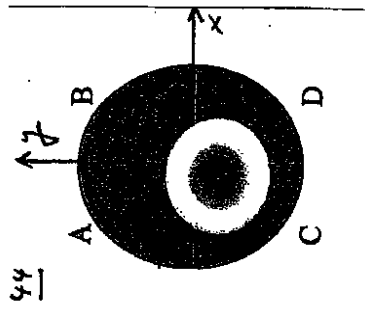


Fig. 9

【図 10】

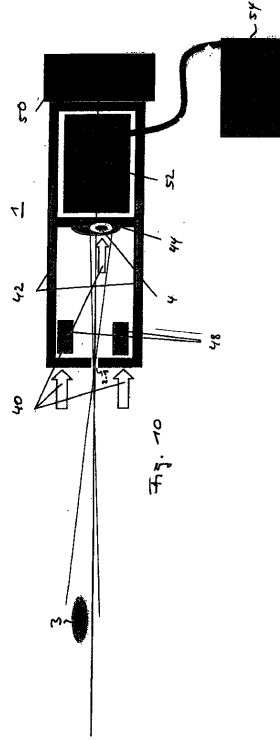


Fig. 10

【図 11】

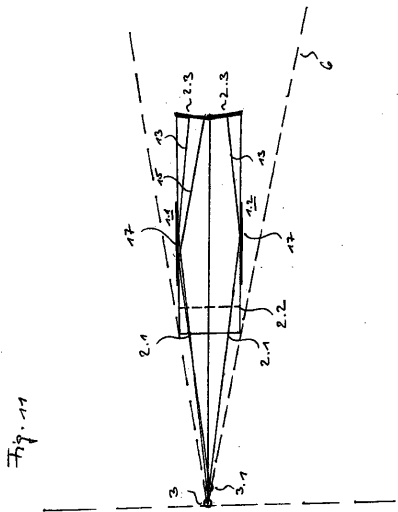


Fig. 11

【図 12】

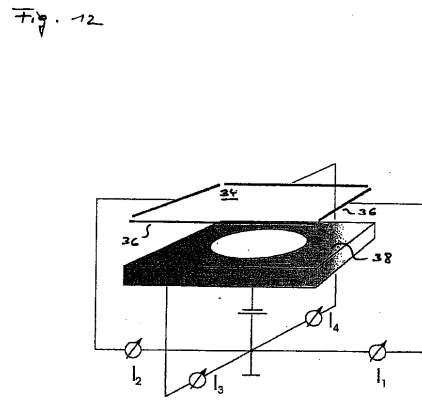


Fig. 12

【図 13】

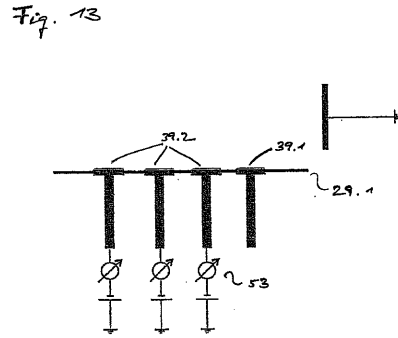


Fig. 13

フロントページの続き

- (72)発明者 ショルツ アクセル
ドイツ連邦共和国 アーレン ホファッケルシュトラーセ 43
- (72)発明者 ヴァイス マルクス
ドイツ連邦共和国 アーレン イム ゾンネンヴィンケル 9
- (72)発明者 マウル マンフレッド
ドイツ連邦共和国 アーレン エルハウエグ 29
- (72)発明者 ボッセルマン フィリップ
ドイツ連邦共和国 グミュント シュパービッシュ シュワルベンウエグ 4

審査官 佐野 浩樹

- (56)参考文献 特開2000-056099(JP, A)
特開2003-224053(JP, A)
特開2005-310453(JP, A)
特開2004-165638(JP, A)
特開2002-141280(JP, A)
国際公開第2004/031854(WO, A2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L21/027、21/30、
H05G1/00 - 2/00