

(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2005-141158

(P2005-141158A)

(43) 公開日 平成17年6月2日(2005.6.2)

(51) Int.C1.<sup>7</sup>

F 1

テーマコード(参考)

G02B 19/00

G02B 19/00

2H052

G02B 17/00

G02B 17/00

Z

2H087

G02B 27/00

G03F 7/20

521

5F046

G03F 7/20

G02B 27/00

V

H01L 21/027

H01L 21/30

531A

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2003-380075 (P2003-380075)

(22) 出願日

平成15年11月10日 (2003.11.10)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100090538

弁理士 西山 恵三

(74) 代理人 100096965

弁理士 内尾 裕一

(72) 発明者 辻 俊彦

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

Fターム(参考) 2H052 BA02 BA03 BA07 BA09 BA12

2H087 KA21 TA02

5F046 BA05 CA08 CB02 CB05 GA03

GB01

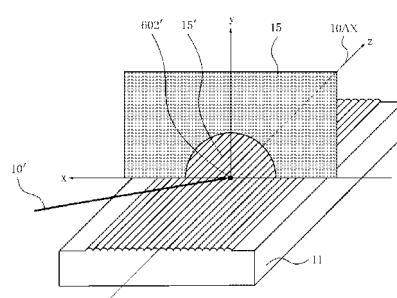
(54) 【発明の名称】 照明光学系及び露光装置

## (57) 【要約】

【課題】 比較的少ないミラー枚数で、良好な照明を容易に可能とする照明光学系を提供すること。

【解決手段】 光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、ミラー11と、そのミラーの反射面に對して略垂直に開口面が配置された絞り15と、を有することを特徴とする構成とした。

【選択図】 図7



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、  
ミラーと、該ミラーの反射面に対して略垂直に開口面が配置された絞りと、を有することを特徴とする照明光学系。

**【請求項 2】**

光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、  
ミラーと、該ミラーの反射面の近傍に配置された絞りと、を有し、  
前記光源からの光は、前記ミラーの反射面と前記絞りとで形成される開口を通過することを特徴とする照明光学系。 10

**【請求項 3】**

光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、  
ミラーと該ミラーの反射面の近傍に配置された絞りとを備えた光学ユニットを有し、  
前記光源からの光は、前記絞りと前記絞りの前記ミラーの反射面による虚像とを合わせたものに制限されたかの如く前記絞りによって制限され、前記光学ユニットから出射することを特徴とする照明光学系。

**【請求項 4】**

光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、  
ミラーと、開口が設けられた絞りと、を有し、  
前記絞りは、前記ミラーに入射する前の光と前記ミラーで反射された後の光とが前記開口を同じ側から通過するように、前記ミラーの反射面の近傍に配置されることを特徴とする照明光学系。 20

**【請求項 5】**

光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、  
ミラーと、絞りと、を有し、  
前記絞りは、前記ミラーに入射する前の光と前記ミラーで反射された後の光とが前記絞りの同じ側で遮光されるように、前記ミラーの反射面の近傍に配置されることを特徴とする照明光学系。

**【請求項 6】**

光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、  
ミラーと、該ミラーの反射面の近傍に配置された絞りと、を有し、  
前記絞りと前記絞りの前記ミラーの反射面による虚像とを合わせたものの開口が、有効光源の分布形状を規定することを特徴とする照明光学系。 30

**【請求項 7】**

光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、  
ミラーと、  
該ミラーの反射面の近傍に配置され、開口を持つ絞りと、を有し、  
前記開口の形状は、有効光源の分布形状を所定の軸に対して対称に分けた場合の、その片方の分布形状と同じであることを特徴とする照明光学系。

**【請求項 8】**

前記ミラーは、前記光源からの光で複数の2次光源を形成する反射型インテグレータであることを特徴とする請求項1～7のいずれか一項記載の照明光学系。 40

**【請求項 9】**

前記光源からの光を略平行にして前記反射型インテグレータに入射させる第1の光学ユニットと、

前記複数の2次光源からの光を前記被照明面の照明領域に重ねる第2の光学ユニットと、を更に有することを特徴とする請求項8記載の照明光学系。

**【請求項 10】**

前記反射型インテグレータは、その反射面が前記第2の光学ユニットの共軸に沿って配置されることを特徴とする請求項9記載の照明光学系。 50

**【請求項 1 1】**

前記ミラーは、その反射面上の前記光源からの光により照射される照射領域の中心が、前記被照明面と実質的にフーリエ変換の関係となる所定面上となるように配置されることを特徴とする 1 ~ 7 のいずれか一項記載の照明光学系。

**【請求項 1 2】**

前記絞りは、有効光源の分布形状を規定する絞りであることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか一項記載の照明光学系。

**【請求項 1 3】**

前記絞りの開口の形状は、有効光源の分布形状を所定の軸に対して対称に分けた場合の、その片方の分布形状と略同じであることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか一項記載の照明光学系。10

**【請求項 1 4】**

前記絞りの前記所定の軸に対応する部分は、前記ミラーの反射面に一致又は略一致するように配置されることを特徴とする請求項 7 又は 13 記載の照明光学系。

**【請求項 1 5】**

マスクを照明する請求項 1 ~ 14 のいずれか一項記載の照明光学系と、該マスクのパターンを基板に投影する投影光学系とを有することを特徴とする露光装置。

**【請求項 1 6】**

請求項 15 記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と、該露光された基板を現像する工程とを有することを特徴とするデバイス製造方法。20

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は照明光学系及びそれを用いた露光装置に関し、特に露光光として波長 200 nm ~ 10 nm の極端紫外線 (EUV) 領域又は X 線領域の光を利用する照明光学系及び、それを用いて半導体ウエハ用の単結晶基板、液晶ディスプレイ用のガラス基板などの被処理体を露光する露光装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

デバイスパターンの微細化の要求に伴い、露光装置において露光光として用いられる光の波長は短くなっている。30

**【0003】**

そして、近年は、露光光として EUV 又は X 線を露光光とする露光装置に関する様々な提案がなされている（例えば、特許文献 1 ~ 3 参照。）。

**【特許文献 1】特開平 10 - 70058 号公報****【特許文献 2】特開 2003 - 045774 号公報****【特許文献 3】特開 2003 - 045784 号公報****【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

EUV 又は X 線（特に 20 ~ 5 nm の光）を露光光とする露光装置においては、光源からの光でマスク（レチクル）を照明するための照明光学系として、透過型（屈折）光学系を使用することはできず、反射多層膜を施した反射光学系で構成される。

**【0005】**

この反射光学系に使用される多層膜ミラーの反射率は 67 % 程度であり、光源からの光の利用効率を照明光学系において落とさないためには、照明光学系を構成するミラーの枚数は少ないほうが好ましい。

**【0006】**

しかし、良好な照明を行うため、例えば、有効光源を規定するには、開口絞りを置く場所（瞳面）を確保しなければならないため、照明光学系を構成するミラーの枚数を増やす

10

20

30

40

50

必要があり、その結果、照明光学系の光の利用効率（全系透過率）が落ちてしまうという問題があった。

【0007】

そこで、上記従来技術の問題点に鑑み、本発明の例示的な目的は、比較的少ないミラー枚数で、良好な照明を容易に可能とする照明光学系を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての照明光学系は、光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、ミラーと、該ミラーの反射面に対して略垂直（垂直含む）に開口面が配置された絞りと、を有することを特徴とする。

10

【0009】

また、本発明の別の一側面としての照明光学系は、光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、ミラーと、該ミラーの反射面の近傍（接触している場合を含む）に配置された絞りと、を有し、前記光源からの光は、前記ミラーの反射面と前記絞りとで形成される開口を通過することを特徴とする。

【0010】

更に、本発明の別の一側面としての照明光学系は、光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、ミラーと該ミラーの反射面の近傍（接触している場合を含む）に配置された絞りとを備えた光学ユニットを有し、前記光源からの光は、前記絞りと前記絞りの前記ミラーの反射面による虚像とを合わせたものに制限されたかの如く前記絞りによって制限され、前記光学ユニットから出射することを特徴とする。

20

【0011】

更に、本発明の別の一側面としての照明光学系は、光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、ミラーと、開口が設けられた絞りと、を有し、前記絞りは、前記ミラーに入射する前の光と前記ミラーで反射された後の光とが前記開口を同じ側から通過するように、前記ミラーの反射面の近傍（接触している場合を含む）に配置されることを特徴とする。

【0012】

更に、本発明の別の一側面としての照明光学系は、光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、ミラーと、絞りと、を有し、前記絞りは、前記ミラーに入射する前の光と前記ミラーで反射された後の光とが前記絞りの同じ側で遮光されるように、前記ミラーの反射面の近傍（接触している場合を含む）に配置されることを特徴とする。

30

【0013】

更に、本発明の別の一側面としての照明光学系は、光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、ミラーと、該ミラーの反射面の近傍（接触している場合を含む）に配置された絞りと、を有し、前記絞りと前記絞りの前記ミラーの反射面による虚像とを合わせたものの開口が、有効光源の分布形状を規定することを特徴とする。

【0014】

更に、本発明の別の一側面としての照明光学系は、光源からの光で被照明面を照明する照明光学系において、ミラーと、該ミラーの反射面の近傍（接触している場合を含む）に配置され、開口を持つ絞りと、を有し、前記開口の形状は、有効光源の分布形状を所定の軸に対して対称に分けた場合の、その片方の分布形状と同じであることを特徴とする。

40

【0015】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下、添付の図面を参照して説明される好ましい実施例等によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0016】

従来よりも、性能の良い照明光学系を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

50

以下に、本発明の実施の形態を添付の図面に基づいて詳細に説明する。

【実施例 1】

【0018】

図1は本発明の第1の実施例の要部概略図である。同図において、1は放電ヘッダ、2はEUV光を放射するプラズマ発光点であり、プラズマ発光点から放射される光束は集光ミラー4により集光される。5はミラー4により集光されたEUV光束である。6aはプラズマからの飛散粒子(デブリ)を除去するフィルタ、6bはEUV光以外の波長の光束を除去する波長フィルタ、7は集光ミラー4の集光点近傍に配置されたピンホール状のアーチャである。これらの部材は真空容器8に収容され、光源部を構成する。そして、露光装置本体と光源部を真空状態で接続するための接続部9を設けられている。

10

【0019】

次に照明光学系を構成する部材について説明する。10a、10bはアーチャ7を通過した光源部からのEUV光束を受光し、ほぼ平行光束に変換するための凹面ミラーと凸面ミラーからなる平行変換光学系(第1の光学ユニット)、10cはミラー、11は複数の円筒反射面を有するインテグレータである。そして、インテグレータ11の反射面上には、その反射面に対して開口面がほぼ垂直に配置された開口絞り15が配置されており、ここが本実施例の照明光学系の特にポイントとなるところである。この開口絞りは、有効光源の分布形状を規定し、被照明面であるマスク(レチクル)16上の各点を照明する光の角度分布を規定する。

20

【0020】

14a、14bはインテグレータ11からの光束を円弧状に集光するための円弧光学系(第2の光学ユニット)を形成しており、14cは円弧光学系の像側光束を、反射型マスク16へはね上げて所定の角度で入射するための平面ミラーである。そして、反射型マスク12の直前には、円弧状の開口を有するスリット12が配置されており、以上が照明光学系である。

【0021】

反射型マスク16は、マスクステージ17に保持されている。18は複数枚の多層膜ミラーにより構成される投影光学系であり、共軸光学系となっており物体側が非テレンセンで像側がテレンセンになるように設計されている。19は感光材が塗布されたウエハ、20はそのウエハ19を保持するウエハステージ、21はEUV光の減衰を防ぐために光学系全体を真空に保つための真空容器である。

30

【0022】

電流供給源である不図示のパルスパワー電源により励起されたパルス大電流は、放電ヘッダ1に印加されて放電され、このエネルギーにより電極間のプラズマ媒質から高エネルギー密度プラズマ2が生成される。このプラズマ媒質としては例えばXeガスが使用され、放電ヘッド1の電極間に流量制御して導入するように構成されている。そしてこのプラズマ2からの熱輻射によって、波長13.5nm近辺のEUV光が発生する。このようなプラズマ生成方式による光源を、放電励起プラズマ型EUV光源(ディスチャージ・プロデュースト・プラズマ光源)と称し、放電励起の手法により、Zピッチ、プラズマ・フォーカス、キャピラリー・ディスチャージ等の種々の方式がある。

40

【0023】

なお、本実施例ではプラズマ媒質としてXeガスを用いた形態を示しているが、プラズマ媒質としては例えばSnの蒸気を用いることで、13.5nm近傍の光パワーをさらに高出力化した様なEUV光源を用いてもよい。

【0024】

また、放電励起プラズマ型ではなく、高出力パルスレーザを集光してプラズマ媒質に照射し、プラズマを発生させるレーザ励起型プラズマEUV光源を用いたり、あるいは、EUV光源としてアンジュレータを用いたりしても本発明の本質は変わらない。

【0025】

プラズマ発光点2から放射されたEUV光は、回転橜円ミラー等による集光ミラー4に

50

より集光されて EUV 光束として取り出され、フィルタ 6a によりプラズマ及びその周辺から直接前方へ飛ぶ飛散粒子（デブリ）を除去され、さらに必要に応じてフィルタ 6b により EUV 露光に不要な波長成分を除去されて、プラズマ光源を収容する真空容器 8 と、露光装置本体の真空容器 21 の境界面に設けられたピンホール状のアーチャ 7 の位置に集光される。光源の真空容器 8 と露光装置本体の真空容器 21 は、接続部 9 で接続されており、必要に応じて作動排気が行なわれている。

## 【0026】

上記アーチャ 7 を通過した EUV 光束 5 は、中心部分に開口部を有する凹面ミラー 10a と比較的小径の凸面ミラー 10b からなる平行変換光学系によりほぼ平行な光束 10' に変換される。

## 【0027】

ここで上記の集光ミラー 4 及びミラー 10a、10b は、EUV 光を効率良く反射するための反射多層膜が成膜されており、高温のプラズマ 2 からの放射エネルギーを一部吸収するために、露光中に高温になる。そのために材質としては熱伝導性の高い金属等の材料を用いるとともに、水冷など不図示の冷却手段を有しており、露光中は常に冷却されている。

## 【0028】

また、以下では特に明示しないが、光学系に用いられている各ミラーの反射面には、EUV 光を効率良く反射するための反射多層膜が成膜されており、必要に応じてミラーは熱伝導性の高い金属等の材料を用いたり、冷却手段を装備したりしている。

## 【0029】

次に、ほぼ平行な光束に変換された EUV 光 10' は、ミラー 10c により方向を変えられて、複数の円筒面ミラーを有するインテグレータ 11 に入射される。そしてインテグレータ 11 に入射した EUV 光束は、各円筒面により分割されて発散し、後述する開口絞り 15 を経て、ミラー 14a、14b からなる円弧光学系により円弧状に集光される事で、円弧スリット 12 の開口部に均一な照度分布をもつ円弧照明領域を形成する。

## 【0030】

ここで、インテグレータ 11 によって円弧領域を均一に照明する原理について、別の図を用いて詳細に説明する。

## 【0031】

図 2 (a) は複数の凸円筒面をもった反射型凸円筒面インテグレータ 11 に平行光が入射した場合の模式的斜視図であって、前記のほぼ平行な EUV 光束 10' は図示した方向から入射する。また図 2 (b) は、図 2 (a) と同様の効果を有する複数の凹円筒面をもった反射型凹円筒面インテグレータの模式的斜視図である。図 1 のインテグレータ 11 は、図 2 (a) で示されるような反射型凸円筒面インテグレータであるが、図 2 (b) で示されるような反射型凹円筒面インテグレータでも、あるいはこれらの凹凸の組み合わせであっても良い。

## 【0032】

図 3 は反射型凸円筒面インテグレータの模式的断面図、図 4 は反射型凸円筒面インテグレータの円筒面での EUV 光反射の説明図、図 5 は反射型凸円筒面インテグレータの円筒面で反射した EUV 光束の角度分布図である。各図中、符号 11 は反射型凸円筒面インテグレータを示している。

## 【0033】

図 2 (a) の様に、複数の円筒面をもったインテグレータ 11 にほぼ平行な EUV 光束 10' を入射すると、このインテグレータの表面近傍に線状の 2 次光源が形成されると共に、この 2 次光源から放射される EUV 光束の角度分布が円錐面状となる。次にこの 2 次光源位置を焦点とする反射鏡で前記 EUV 光束を反射して反射マスクあるいは反射マスクと共に役な面を照明することにより、円弧形状の照明が可能となる。

## 【0034】

複数の円筒面をもった反射型インテグレータの作用を説明するために、まず、一つの円

10

20

30

40

50

筒面反射鏡に平行光が入射した場合の反射光の振る舞いについて図4を用いて述べる。今、一つの円筒面にその中心軸に垂直な面に対しての角度で平行光を入射する場合を考える。平行な入射光の光線ベクトルを

$$P_1 = (0, -\cos, \sin)$$

円筒面形状の反射面の法線ベクトルを

$$n = (-\sin, \cos, 0)$$

とすると、反射光の光線ベクトルは

$$P_2 = (-\cos \times \sin^2, \cos \times \cos^2, \sin)$$

となる。

#### 【0035】

このとき反射光の光線ベクトルを位相空間にプロットすれば、図5に示すようにxy平面上で半径 $\cos$ の円となる。即ち、反射光は円錐面状の発散光となり、この円錐面の頂点の近傍に2次光源が存在することになる。この2次光源はインテグレータ11の円筒面が凹面であれば反射面の外部に実像として存在し、凸面であれば反射面の内部に、虚像として存在することになる。また図3に示すように反射面が円筒面の一部に限られていて、その中心角が2である場合は、図5に示すように反射光の光線ベクトル $P_2$ の存在範囲はxy平面上で中心角4の円弧501となる。

#### 【0036】

次に、上述した円筒面反射鏡に平行光が入射して形成される2次光源の位置に焦点をもつ、焦点距離 $f$ の回転放物面ミラーと、さらにこの反射鏡から $f$ だけ離れた位置に被照明面を配置した場合を考える。2次光源から出た光は円錐面状の発散光になり焦点距離 $f$ の反射鏡で反射したのち、平行光となる。このときの反射光は半径 $f \times \cos$ で中心角4の円弧状断面のシートビームになる。従って図5で示した様に、被照明面上の半径 $f \times \cos$ で中心角4の円弧状領域501のみが照明されることになる。

#### 【0037】

これまで1つの円筒面反射鏡について説明してきたが、次に、多数の円筒面を平行に多数並べた広い面積のインテグレータ11に、ある光束径を有する平行光10'が図1に示した方向に入射した場合について、図6を用いて説明する。

#### 【0038】

図6において、11は前述したインテグレータ、14a, 14bはそれぞれ反射多層膜を成膜した球面又は非球面の凸面ミラー、凹面ミラーであって円弧光学系(第2の光学ユニット)を成している。602は像面(被照明面)であって図1におけるマスク16の面と等価であり、該円弧光学系は、この面上に投影光学系18に対して好適な円弧照明領域を形成するように結像する機能を有する。

#### 【0039】

その円弧光学系は、ほぼインテグレータ11の表面上に位置する軸10AXを中心対称軸とした共軸系であり、インテグレータ11上の光束照射領域の中心602'と像面602が、互いにほぼフーリエ変換面の関係になるように構成されている。即ち、位置602'は像面602のほぼ瞳面となっており、後述する開口絞り15はこの位置に配置されている。このような配置にした場合、前述した様に、ほぼ平行なEUV光束10'が図のようにインテグレータ11に入射すると、像面602の近傍に円弧状に集光される。

#### 【0040】

この時注意すべきは、像側は非テレセンな構成となっていることであり、像面602への主光線604の入射角度601(主光線604と円弧光学系の光軸10AXとのなす角度)は、投影光学系18の対応する物体側主光線のマスク面法線に対する傾斜角とほぼ等しくなるように設定されていることである。つまり、反射型マスクの照明領域内の各位置に対応する、円弧光学系のマスク側主光線と光軸10AXとのなす角度は、投影光学系のマスク側主光線とマスク面の法線とのなす角度とほぼ等しくなるように設定されている。本実施例の場合には、入射角度601は約6°に設定されており、投影光学系18のマスク側の対応する主光線とマスク面の法線とのなす角度と等しくなっている。また、像側の

10

20

30

40

50

ボケについても良好に補正されており、像面でスポット径が 5 mm 以下、望ましくは 1 mm 以下になるように設計されている。

【0041】

また、円弧光学系を成すミラー 14a, 14b への EUV 光束主光線の入射角は、低入射角度、具体的には 20° 以下に設定されており、これにより回転放物面ミラー等を用いて入射角が高入射角となるような配置にするよりも、像面 602 への集光の際に生じるボケ量を小さくして、円弧照明領域への集光効率を高めることができる。これにより後述する円弧スリット 12 におけるケラレによる光の損失を抑える事が可能となり、照明系効率の向上をもたらすことができる。

【0042】

図 1 で示した円弧光学系においては、平面ミラー 14c で像側光束を反射マスク 16 の方向へはね上げた時に、その反射によって形成される円弧照明領域の円弧の向きは反転して、且つその円弧の中心は投影光学系 18 の中心軸 18AX と反射マスク面の交点に一致するように構成されている。そして上記で示したように入射角度 601 を設定することで、円弧光学系の像側主光線 604 と投影光学系 18 の物体側光束 18' の対応する主光線が、反射型マスク 16 を反射面として互いに一致するように配置する事が可能となる。

【0043】

そして、円筒面を平行に多数並べた反射鏡で反射された光の角度分布は、前述した単一の円筒面での例と変わらないので、像面 602 の一点に入射する光は、円筒面を平行に多数並べた反射鏡の照射領域全域から到達する。ここでほぼ平行な EUV 光束 10' の光束径を D、円弧光学系の焦点距離を f とすると、その角度広がり（すなわち集光 NA）603 はこれを  $\theta = D / f$  となる。

【0044】

この時、円弧照明領域において、その円弧に沿った方向に対して、インテグレータ 11 の多数の円筒面からの各光束が重畳されることで、照度の均一性が達成されている。即ちこれにより効率が良く均一な円弧照明を行なうことが可能となる。

【0045】

次に、開口絞り 15 とインテグレータ 11 で構成される光学ユニットの詳細について図 7 及び図 6 を用いて説明する。図 7 は開口絞り 15 とインテグレータ 11 の配置を示す概略図である。同図において、10' はインテグレータ 11 に入射する EUV 光束の中心主光線の方向を示しており、位置 602' は先に述べた円弧光学系の瞳面のほぼ中心である。この 602' を原点として x y z 座標が記載されているが、z 軸は前記円弧光学系の共軸 10AX と一致しており、インテグレータ 11 表面の円筒面の母線とほぼ平行である。

【0046】

開口絞り 15 の開口面 15' は、インテグレータ 11 の多数の円筒面が並ぶ反射面に対してほぼ垂直に配置され、且つ前記共軸 10AX に対してほぼ垂直となるように配置されている。また、開口絞り 15 の下辺はインテグレータ 11 の反射面にほぼ一致している。なお、より詳しく図に示される開口絞りは、変形照明する照明モードではなく、通常照明する照明モードにおける開口の例を示している。本実施例では、瞳面に配置される開口絞りの開口形状が、図に示す様に半円形状になっていることが特徴である。なお、この開口絞りは、光路から挿脱可能である。また後述するように、有効光源の分布形状が輪帯状や四重極状である変形照明を行なう際にも、その有効光源の分布形状を所定の軸（開口絞り 15 の下辺の部分に対応する）に対して対称に分けた場合の、その片方の分布形状と略同じである開口を有する開口絞りを配置する。

【0047】

図 6において、上述した開口絞り 15 が光束の一部を制限する様子を以下に説明する。ほぼ平行な EUV 光束 10' がインテグレータ 11 の反射面に比較的高入射角（例えば 70°）で入射すると、この入射光束は開口絞り 15 の半円形開口により一部が遮光されることで制限を受ける。一方、この光束 10' の前記反射面に対する虚像を考えると、これは図中に波線で示した光束 10" として表示することができ、この光束はやはりインテグ

レータ 11 反射面に対する開口絞り 15 の虚像 15" により制限を受けていくことになる。この開口絞り 15 及びその虚像 15" を合わせて考えれば、所望の有効光源形状に対応した円形の開口を有する開口絞りを配置したのと等価であることが分かる。つまり、開口絞り 15 をインテグレータの反射面に対して対称に折り返したもの 15" と、折り返す前の開口絞り 15 とで形成される開口の形状は、所望の有効光源の分布形状と略等しくなる。

#### 【0048】

あるいは、光束 10' の下半分 10' a はインテグレータ 11 に入射する前に開口絞り 15 の光源側（入射面側）の面でその一部が遮光されて制限され、光束 10' の上半分 10' b はインテグレータ 11 で反射してから開口絞り 15 の光源側の面で初めてその一部が遮光され制限されると考えてもよい。

#### 【0049】

また、光束 10' の下半分 10' a はインテグレータ 11 に入射する前に開口絞り 15 の開口に光源側から入射し、光束 10' の上半分 10' b はインテグレータ 11 で反射してから開口絞り 15 の開口に最初に光源側から入射すると考えてもよい。

#### 【0050】

なお、本実施例においては、インテグレータ 11 の反射面に対して垂直に開口面 15' を配置したが、有効光源分布の微調整のために、その開口面 15' を反射面に対し完全に垂直ではなく、若干傾けて配置するようにしてもよい。また、有効光源分布の調整やテレンセン度の調整等を可能とするため、開口絞り 15 の開口面のミラーの反射面に対する角度を調整する不図示の駆動機構を開口絞り 15 の近傍に設けても良い。

#### 【0051】

以上より、開口絞りの開口の形状が半円形であっても、インテグレータ 11 の反射面に対して図 7 に示したように配置することで、有効光源分布（投影光学系の瞳面又は照明光学系の瞳面における光強度分布）は、円弧照明領域内の任意の位置で円形になっている。図 8 にその様子を示す。同図において 800 はウエハ 19 面上の円弧照明領域であり、801 および 802 の各点はそれぞれ円弧の中央部及び端部における、有効光源の観測位置を示している。

#### 【0052】

図 8 (a) は、前記の開口絞り 15 が配置されていない場合の有効光源の形状を示しており、円弧領域の中央部 801 においては 805 の様に円形状の分布となっていても、開口絞りがないことで円弧領域の端部に移るに従って分布が歪んでいき、円弧領域の端部 802 においては 806 の様に有効光源は橢円形状となっている。

#### 【0053】

照明領域の任意の点において観測した有効光源分布は、その点にある開口数 (NA) で円錐状に入射する光束の角度分布を示しており、これが 806 のような非対称な形状である事は、即ち露光 NA の非対称性があるという事になり、解像性能に悪影響を与える原因となり許容されない。

#### 【0054】

一方、図 8 (b) は、前記の開口絞り 15 が配置されている場合の有効光源の形状を示しており、位置 801 と位置 802 においてそれぞれ 807、808 に示す様に有効光源分布は正円となっている。これにより露光 NA の均一化が達成されている。

#### 【0055】

なお、有効光源分布 805 から 807 において示されている斜線は、インテグレータ 11 によって生じる 2 次光源が多数の線状の 2 次光源から成ることを示している。この線の間隔はインテグレータ 11 の反射面に配置された多数の円筒面の幅に依存しており、あるインテグレータの幅に対して、円筒面の幅を狭くして円筒面の数を増やす事により、前記の間隔を狭くして有効光源分布の密度を緻密にすることが可能である。

#### 【0056】

次に、開口絞り 15 の切り替えにより、コヒーレントファクタ を変えたり、輪帯照明

10

20

30

40

50

等の変形照明を行なったりする方法について述べる。開口絞り 15 の開口面と投影光学系 18 の瞳面は、互いに共役な関係にあるので、開口絞り 15 の開口パターンつまり光束の透過パターンが、投影光学系瞳面における光源像即ち有効光源分布と対応している。

#### 【0057】

図 9 は、開口絞り 15 が有する開口部の形状の例を示す図であり、(a) の絞りは半円形状の開口を有し通常照明の大に対応し、(b) の絞りは (a) よりも半径の小さい半円形状の開口を有し通常照明の小に対応し、(c) の絞りは輪帯を直線で 2 等分した形状の開口を有し輪帯照明に対応し、(d) の絞りは円形状の開口を 2 つ有し四重極照明に対応している。

#### 【0058】

いずれの開口絞りにおいても、その下辺部に対して対称に折り返せば、従来の一般的な円形を基本とした開口絞りの形状となっていることがわかる。

#### 【0059】

このようないくつかの開口パターンを例えれば一列に並べて用意しておき、不図示の開口絞り駆動系により順次切り替えることで、所望の開口形状に切り替えることが可能である。これにより、様々な種類のマスクをそのマスクに適した照明モードで照明することが可能となる。

#### 【0060】

ここで図 1 に戻り、本実施例の露光方法について引き続き説明する。同図において円弧スリット 12 の開口部近傍に形成された円弧照明領域は、マスクステージ 17 に保持された反射型マスク 16 上に、所望の入射角度で入射して円弧照明領域を形成することで反射マスク 16 に対して円弧照明を行なう。なおこの円弧状の照明領域の曲率中心は、投影光学系 18 の光軸 18 AX にほぼ一致している。

#### 【0061】

この円弧照明された反射型マスク 16 からの回路パターン情報を有する EUV 反射光は、投影光学系 18 により露光に最適な倍率で、感光材が塗布されたウエハ 19 に投影結像されることで、回路パターンの露光が行なわれる。

#### 【0062】

上記ウエハ 19 はウエハステージ 20 に固定されており、紙面上で上下前後に平行移動する機能を持ち、その移動は不図示のレーザ干渉計等の測長器で制御されている。そして、投影光学系 18 の倍率を M とすると、例えば反射型マスク 16 を紙面に平行な方向に速度 v で走査すると同時に、ウエハ 19 を紙面に平行な方向に速度 v / M にて同期走査することで、全面スキャン露光が行なわれる。

#### 【0063】

上記投影光学系 18 は複数の多層膜反射鏡によって構成され、光軸中心 18 AX に対して軸外の細い円弧状の領域が良好な結像性能をもつよう設計されている。そして反射型マスク 16 上のパターンをウエハ 19 表面に縮小投影する構成となっており、像側(ウエハ側)テレセントリック系となっている。そして物体側(反射型マスク側)は、反射型マスク 16 に入射する照明光束との物理的干渉を避けるために、通常、非テレセントリックな構成となっており、例えば本実施例においては、物体側主光線はマスク 16 の法線方向に対して 6° ほど傾いている。

#### 【0064】

次に、スキャン露光において、円弧スリット 12 により露光ムラを補正する方法の詳細について図 10 を用いて説明する。同図において、1013 は円弧スリット 12 のスリット幅 1011 を部分的に変えるための可動エッジ部が多数並んだものであり、1011 は円弧照明領域を形成するためのスリット開口部、1012 は前述したインテグレータ 11 及び円弧形成光学系により形成された円弧照射領域であって、この照射領域からスリット開口部 1011 を通過する光束を切り出すようになっている。

#### 【0065】

ここでスキャン露光時において、反射型マスク 16 の回路パターンをウエハ 19 に縮小

10

20

30

40

50

して転写する際に、円弧スリット内に照度ムラがあるとスキャン露光した際に露光ムラが発生する。この問題を解消するために、円弧スリット内で照度が相対的に強い部分のスリット幅のみを、可動エッジ部 1013 を不図示の駆動系で部分的に動かすことにより少し狭くして、所望の量だけ光量を少し減らしてスキャン露光することで、露光領域全面で積算した結果として均一な強度で露光することが可能となる。なお、スキャン露光中、円弧スリット 12 は投影光学系 18 に対して常に静止していることは言うまでもない。

#### 【0066】

以上の実施例においては、ミラーとして反射型インテグレータを用いて本発明を説明したが、照明系の瞳面近傍に配置された平面反射面を有するミラーに上記実施例と同様にして絞りを配置しても同じ効果が得られる。この場合、絞りの開口面は、ミラーに入射する光の入射面とミラー反射面との交線とほぼ垂直に配置されているとも言える。

#### 【0067】

また、以上の実施例においては、絞りとして開口絞りを用いる場合の実施例を示したが、被照明面の照明領域を規定する視野絞りに関しても同様な構成とすることも可能である。

#### 【0068】

以上の本実施例による照明光学系を用いることにより、従来では実現が困難であった比較的ミラーの少ない構成（例えば、所謂マスキング結像系がない構成）で、高効率かつ均一な円弧照明を行なうことが可能となり、露光装置に好適な照明光学系を達成することが可能である。これによって、露光装置は、スループットを落とさずに高解像かつ安定した像を得ることができる。

#### 【実施例 2】

#### 【0069】

次に、実施例 1 の露光装置を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図 11 はデバイス（IC や LSI 等の半導体チップ、液晶パネルや CCD）の製造フローを示す。ステップ 1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行なう。ステップ 2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスク（レチクル）を製作する。一方、ステップ 3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いて基板（被処理体）としてのウエハを製造する。ステップ 4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハとを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ 5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ 4 よりて作成されたウエハを用いてチップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ 6（検査）ではステップ 5 で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ 7）される。

#### 【0070】

図 12 は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ 11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ 12 ではウエハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ 13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ 14（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ 15（レジスト処理）ではウエハにレジスト（感材）を塗布する。ステップ 16（露光）では実施例 1 の露光装置によってマスクの回路パターンの像でウエハを露光する。ステップ 17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ 18（エッティング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ 19（レジスト剥離）ではエッティングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらステップを繰り返し行なうことによりウエハ上に回路パターンが形成される。

#### 【0071】

本実施例の製造方法を用いれば、従来よりも高集積度のデバイスをより歩留まり良く製造することが可能になる。

#### 【0072】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定さ

10

20

30

40

50

れないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、本実施形態では 13.5 nm の EUV 光を用いる照明系及び露光装置について説明したが、本発明はその他の光（例えば、波長 200 nm ~ 10 nm の極端紫外線（EUV）領域又は X 線領域の光）を用いる照明光学系及び露光装置にも適用することができる。なお、特に 20 ~ 5 nm の光に対しては、透過型（屈折）光学系として使用できる硝材が無く、反射光学系を使用しなければならないため、その波長領域の光を用いる照明光学系及び露光装置に本発明を適用するとより有効である。

【図面の簡単な説明】

【0073】

【図 1】実施例 1 の露光装置の概略図である。

10

【図 2】反射型インテグレータの概略図である。

【図 3】反射型インテグレータの断面形状を示す図である。

【図 4】円筒面で反射した光束の角度分布を説明する図である。

【図 5】円筒面で反射した光束により円弧領域が形成されることを示す図である。

【図 6】反射型インテグレータに平行光束が入射した場合について説明する図である。

【図 7】反射型インテグレータと開口絞りの配置を示す概略図である。

【図 8】有効光源の形状を示す図である。

【図 9】照明モードの切り替えのための開口絞りの概略図である。

【図 10】円弧スリットの概略図である。

20

【図 11】デバイスの製造フローを示す図である。

【図 12】図 11 中のウエハプロセスを示す図である。

【符号の説明】

【0074】

1 放電ヘッダ

2 プラズマ発光点

4 集光ミラー

10 a, 10 b 平行変換光学系（第 1 の光学ユニット）

30

11 インテグレータ

12 可変円弧スリット

14 a, 14 b 円弧光学系（第 2 の光学ユニット）

15 開口絞り

16 反射型マスク（反射型レチクル）

17 マスクステージ

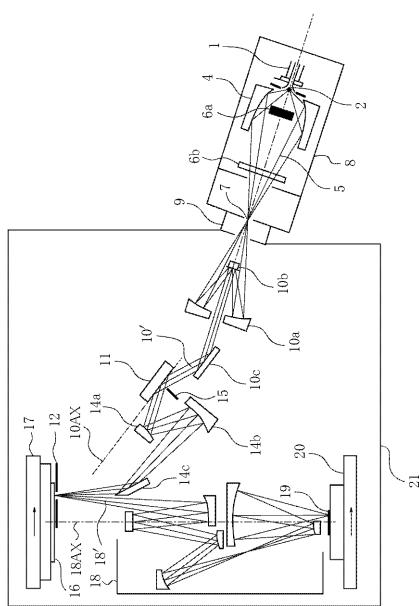
18 投影光学系

19 ウエハ

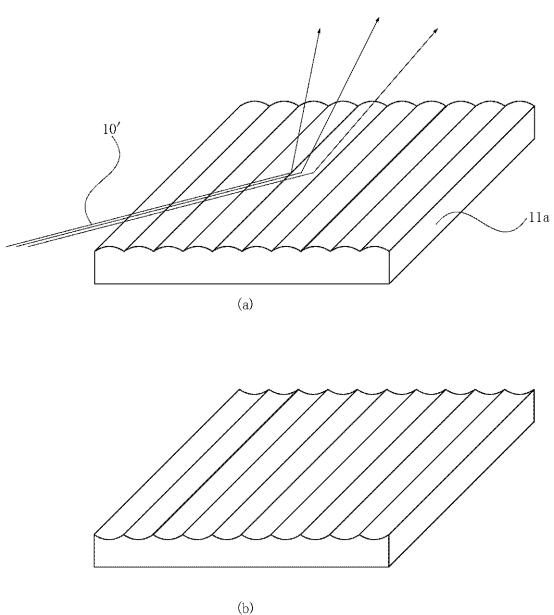
20 ウエハステージ

8, 21 真空容器

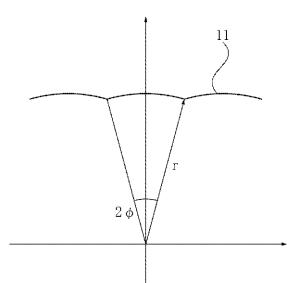
【図1】



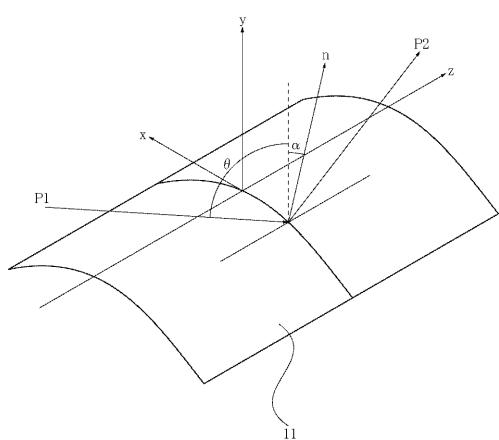
【図2】



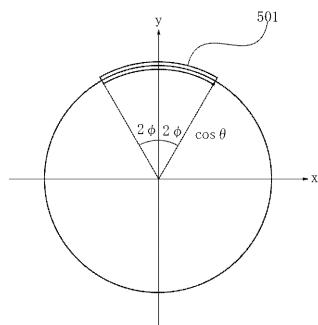
【図3】



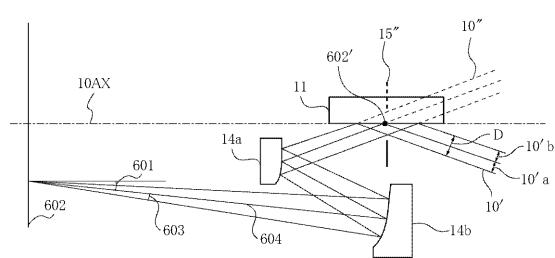
【図4】



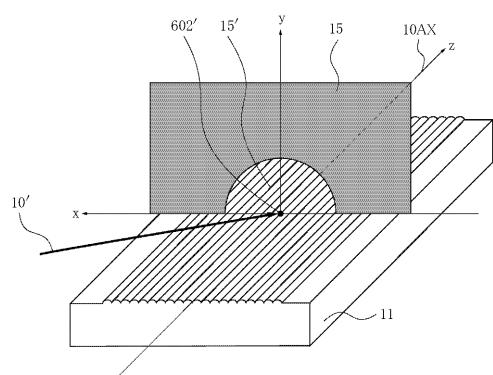
【図5】



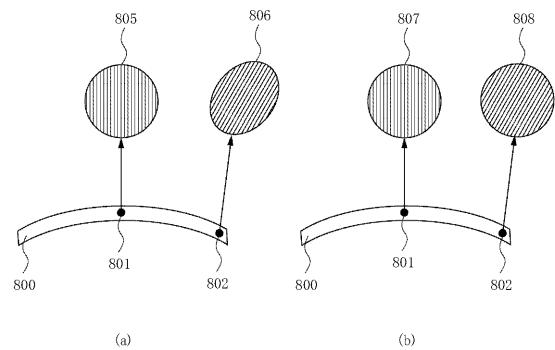
【図6】



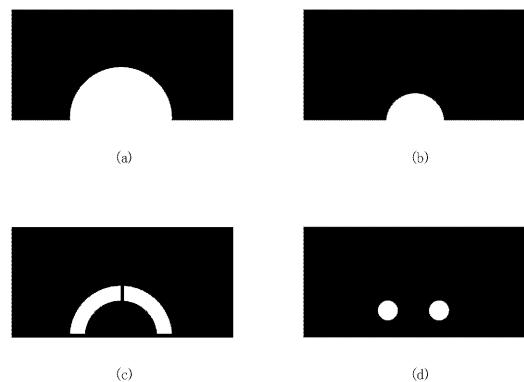
【図7】



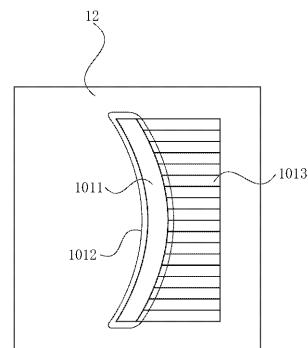
【図8】



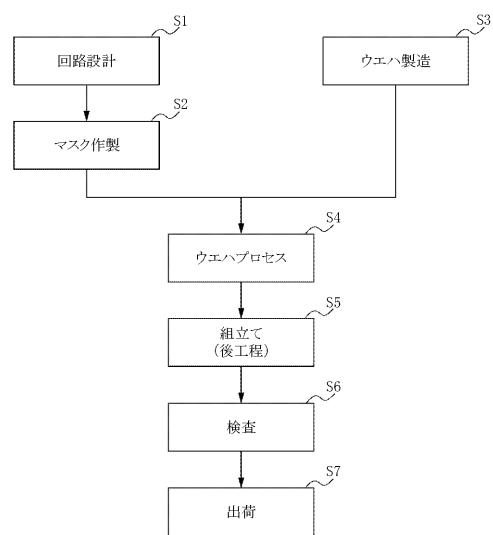
【図9】



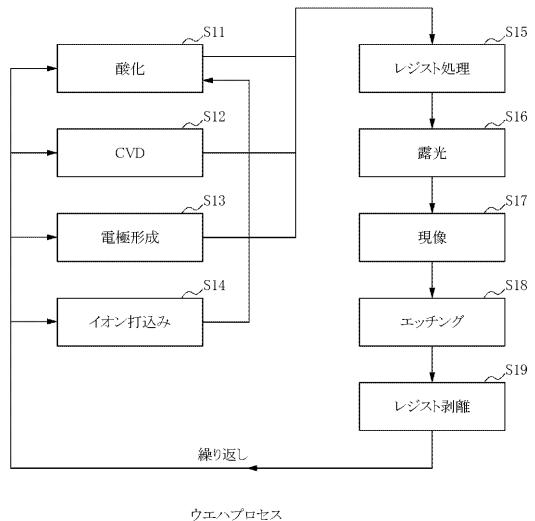
【図10】



【図11】



【図12】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

F I

テーマコード(参考)

H 01 L 21/30 517