

(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2006-303370

(P2006-303370A)

(43) 公開日 平成18年11月2日(2006.11.2)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO 1 L 21/027 (2006.01)</b>	HO 1 L 21/30 5 3 1 A	2 H 0 8 7
<b>GO 2 B 17/00 (2006.01)</b>	GO 2 B 17/00 Z	2 H 0 9 7
<b>GO 3 F 7/20 (2006.01)</b>	GO 3 F 7/20 5 0 3	5 F 0 4 6
	HO 1 L 21/30 5 1 5 D	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2005-126391 (P2005-126391)	(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
(22) 出願日	平成17年4月25日 (2005.4.25)	(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	中内 章博 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)	2H087 KA21 TA02 2H097 AA02 AB09 CA06 CA15 GB01 LA10 5F046 BA05 CB02 CB13 DA01 DB01 GA03 GB01 GB02 GD10

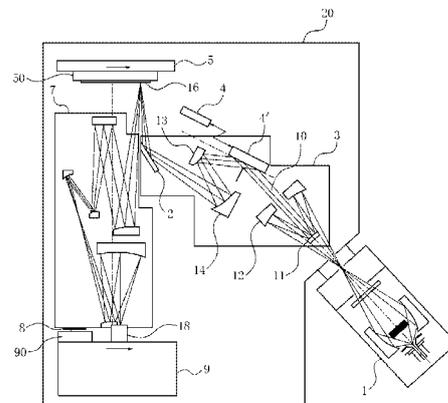
(54) 【発明の名称】 露光装置及びそれを用いたデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 露光装置の投影光学系の物体面に、複数種類のマスクを配置する場合にも、夫々のマスクに適した照明を実行すること。

【解決手段】 光源からの光で反射型マスクを照明する照明光学系と、物体面に配置された前記反射型マスクの图案の像を像面に配置された基板上に投影する投影光学系と、を備える露光装置において、前記照明光学系は、前記光源からの光で複数の二次光源を形成する反射型インテグレータと、前記複数の二次光源からの光の夫々を前記反射型マスク上に重畳するコンデンサユニットと、前記反射型インテグレータの代わりに光路中に配置可能なミラーと、を有し、前記反射型インテグレータの代わりに前記ミラーを光路中に配置することで、前記投影光学系の物体面上の照明領域が前記反射型インテグレータが光路中に配置されているときの該照明領域よりも小さくなることを特徴とする構成とした。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光源からの光で反射型マスクを照明する照明光学系と、物体面に配置された前記反射型マスクの 패턴の像を像面に配置された基板上に投影する投影光学系と、を備える露光装置において、

前記照明光学系は、前記光源からの光で複数の二次光源を形成する反射型インテグレータと、前記複数の二次光源からの光の夫々を前記反射型マスク上に重畳するコンデンサユニットと、前記反射型インテグレータの代わりに光路中に配置可能なミラーと、を有し、前記反射型インテグレータの代わりに前記ミラーを光路中に配置することで、前記投影光学系の物体面上の照明領域が前記反射型インテグレータが光路中に配置されているときの該照明領域よりも小さくなることを特徴とする露光装置。 10

## 【請求項 2】

前記光源からの光を用いて前記投影光学系の光学特性を計測する計測ユニットを更に備え、

前記計測ユニットは、前記投影光学系の物体面に配置される第一マスクを有し、前記ミラーを光路中に配置して前記第一マスクを照明することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

## 【請求項 3】

前記計測ユニットは、前記投影光学系からの光を制限する第二マスクと、前記第一マスクと前記投影光学系と第二マスクをその順番に通過した前記光源からの光を検出する検出器と、を更に有することを特徴とする請求項 2 記載の露光装置。 20

## 【請求項 4】

前記計測ユニットは、前記投影光学系と前記第二マスクとの間に配置された回折格子を更に有し、

前記第一マスクはピンホール状の反射部を含み、前記第二マスクは 2 つの開口を含み、前記検出器は、前記第一マスクの前記反射部を反射することで略理想球面波となった前記光源からの光が、前記投影光学系を通過した後、前記回折格子により回折され、所定の次数の回折光が前記 2 つの開口を通過して干渉することで形成する干渉縞を、検出することを特徴とする請求項 3 記載の露光装置。

## 【請求項 5】

前記ミラーは、平面ミラー又は凸面ミラーを含むことを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。 30

## 【請求項 6】

前記照明光学系は、前記ミラーの傾きを変える駆動機構を更に有し、前記駆動機構で前記ミラーの傾きを変えることで前記投影光学系の物体面上の照明領域の位置を変えることを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

## 【請求項 7】

前記コンデンサユニットは、平面ミラーと、該ミラーの傾きを変える駆動機構と、を更に有し、

前記平面ミラーの傾きを変えることで前記投影光学系の物体面上の照明領域の位置を変えることを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。 40

## 【請求項 8】

前記計測ユニットは、干渉計又は焦点検出ユニットであることを特徴とする請求項 2 記載の露光装置。

## 【請求項 9】

前記反射型インテグレータは、複数の第一反射素子を持つ第一ミラーと複数の第二反射素子を持つ第二ミラーとを含むことを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれか一項記載の露光装置。

## 【請求項 10】

前記反射型インテグレータの代わりに配置される前記ミラーは、複数のミラーを含むこ 50

とを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか一項記載の露光装置。

【請求項 1 1】

光源からの光で反射型マスクを照明する照明光学系と、物体面に配置された前記反射型マスクのパターンの像を像面に配置された基板上に投影する投影光学系と、を備える露光装置において、

前記反射型マスクの代わりに前記投影光学系の物体面に配置される透過型マスクへ前記照明光学系からの光を導くミラーと、を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 1 2】

前記光源からの光を用いて前記投影光学系の光学特性を計測する計測ユニットを更に備え、

前記計測ユニットは、第一マスクとしての前記透過型マスクと、前記投影光学系からの光を制限する第二マスクと、前記第一マスクと前記投影光学系と第二マスクをその順番に通過した前記光源からの光を検出する検出器と、を更に有することを特徴とする請求項 1 1 記載の露光装置。

【請求項 1 3】

前記照明光学系は、前記光源からの光で複数の二次光源を形成する反射型インテグレートと、前記複数の二次光源からの光の夫々を前記反射型マスク上に重畳するコンデンサユニットと、前記反射型インテグレートの代わりに光路中に配置可能なミラーと、を有し、

前記反射型インテグレートの代わりに前記ミラーを光路中に配置することで、前記投影光学系の物体面上の照明領域が前記反射型インテグレートが光路中に配置されているときの該照明領域よりも小さくなることを特徴とする請求項 1 1 記載の露光装置。

【請求項 1 4】

前記ミラーは凸面ミラーを含み、該凸面ミラーを光路中に配置することで前記投影光学系の物体面上に前記光源からの光を集光させることを特徴とする請求項 1 3 記載の露光装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 ~ 1 4 のいずれか一項記載の露光装置を用いて基板を露光する段階と、露光された前記基板を現像する段階と、を有することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、露光装置及びそれを用いたデバイス製造方法に関し、特に、露光光として波長 5 nm ~ 20 nm の極端紫外線領域の光 (EUV 光) を利用する露光装置及びそれを用いて半導体デバイスや液晶表示デバイスなどのデバイスを製造する方法に関する。

【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きている。

【0003】

そして、近年は、露光光として波長 5 nm ~ 20 nm の EUV 光を用いる露光装置 (以下、EUV 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 参照)。

【0004】

EUV 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、EUV 光に対して実用的な屈折率を持つ材料が無いため、透過型の光学系 (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ミラーを用いた反射光学系が用いられる。

【0005】

また、マスクのパターンをウエハやガラスプレートなどの基板に投影するための投影光学系としても、同様の理由から、複数枚のミラーを用いた反射型光学系が用いられる。

10

20

30

40

50

## 【0006】

ミラーは数十層のMo/Siのペアからなる反射多層膜を有しEUV光を比較的高い反射率で反射する。

## 【0007】

図2に特許文献1のEUV露光装置を示す。同図において、EUV光を発振する光源部1は、XeガスやSn蒸気などを放電によりプラズマ化することでEUV光を発生させる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)又は、XeやSnに高出力パルスレーザを集光照射し、プラズマを発生させるレーザ励起型プラズマEUV光源(レーザ・プロデュースト・プラズマ光源)等を含む。

## 【0008】

照明光学系3は、複数のミラーから構成される。凸面ミラー11、凹面ミラー12は、光源部1からのEUV光束を受光し、ほぼ平行光束に変換するための平行変換ユニットを構成する。反射型インテグレート4は、複数の円筒反射面を有する。そして、インテグレート4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が配置されている。この開口絞り15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)6上の各点を照明する光の角度分布を規定する。

10

## 【0009】

凸面ミラー13、凹面ミラー14、平面ミラー2はインテグレート4からの光束を円弧状に集光するためのコンデンサユニットを形成しており、平面ミラー2はコンデンサユニットの像側光束を、はね上げて所定の角度で反射型マスク6へ入射させる。

20

## 【0010】

反射型マスク6は、マスクステージ5上のマスクチャック50に保持されている。投影光学系7は、複数枚の多層膜ミラーにより構成される共軸光学系となっており物体側が非テレセントリックで像側がテレセントリックになるように設計されている。

## 【0011】

感光材が塗布されたウエハ8は、ウエハステージ9上のウエハチャック90に保持されている。真空チャンパー20は露光装置本体を真空に保つためのものである。

## 【0012】

図3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ト4に平行光が入射した場合の模式的斜視図であって、ほぼ平行なEUV光束10は図示した方向から入射する。

30

## 【0013】

図3の様に、複数の円筒面をもったインテグレート4にほぼ平行なEUV光束10が入射すると、このインテグレートの表面近傍に線状の2次光源が複数形成されると共に、この複数の2次光源の夫々から放射される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を照明することにより、複数の2次光源の夫々からの光が反射型マスク上で重なり合い、円弧形状の照明が可能となる。

## 【0014】

そして、EUV露光装置用の投影光学系の光学性能を測定する方法に関しても様々な提案がなされている(例えば、特許文献2~5参照)。

40

## 【0015】

ここで、従来のEUV露光装置の投影光学系の波面収差を測定するための干渉計について説明する。

## 【0016】

EUV露光装置の投影光学系の波面収差を測定する干渉計としては、SORとUNDULATORとを光源として用いた、シアリング干渉計、点回折干渉計(PDI)、線回折干渉計(LDI)等がある。図7は被検光学系の波面収差を測定する干渉計の概念図である。

## 【0017】

SORとUNDULATORにより生成されたEUV光21は、照明光学系22により

50

、真空チャンバー 23 へと導かれる。そして、折り曲げミラー 24 により反射された後、被検光学系 31 を介して、CCD などのディテクタ 30 により検出される。ピンホールや窓が配された第一マスク 25、第一回折格子 26、第二回折格子 27、及びピンホールや窓が配された第二マスク 28 は、夫々必要な場合に図示したように光路中に配置される。真空チャンバー 23 は、除振台 29 により支えられている。なお、図 7 の干渉計においては、2 枚ミラー系の投影光学系を被検光学系 31 として配置している。

【0018】

図 7 の干渉計では、複数の干渉方式で被検光学系 31 を評価することが可能である。図 8 に代表的な 2 タイプの干渉方式の概念図を示す。

【0019】

図 8 (a) は PDI (Point Diffraction Interferometer)、図 8 (b) は LSI (Lateral Shearing Interferometer) である。図中、図 7 と同一の部材については同じ符号を使用している。

【0020】

まず、図 8 (a) を用いて、PDI について説明する。光源からの光 21 はテスト光学系 31 の物体面に配置された第一マスク 25 に集光する。第一マスク 25 には、回折限界以下 (即ち、被検光学系 31 の開口数を NA、光 21 の波長を  $\lambda$  とした場合に  $\lambda / 2NA$  以下) の大きさの径を持つピンホールが配されている。光 21 はマスク 25 上のピンホールを通過することで実質的に理想球面波に整形される。第一マスク 25 からの光は回折格子 26 で回折を受け、被検光学系 31 に入射し、被検光学系 31 の像面におかれた第二マスク 28 上に集光する。第二マスク 28 には、回折限界以下のピンホールと、回折限界より十分大きい窓部が配されている。第二マスク 28 に集光する光束は、回折格子 26 で回折を受けているので、第二マスク 28 上には回折次数に応じて複数の光が夫々集光している。このうち、0 次光がピンホールを、1 次光又は -1 次光が窓部を通過するように、第二マスク 28 と回折格子 26 はアライメントされている。

【0021】

その他の次数の光束は、第二マスク 28 の遮光部でカットされる。

【0022】

第二マスク 28 のピンホールを回折した光は実質的に理想球面波とみなすことができ、被検光学系 31 の波面収差情報が除かれている。一方、第二マスク 28 の窓部を通過した光は被検光学系 31 の波面収差情報を有している。

【0023】

これら 2 つの光の干渉縞が検出器としての CCD 30 で観察される。干渉縞からテスト光学系の波面収差を出す方法としては、チルト縞の載った干渉縞一枚を用いる所謂電子モアレ法や所謂フーリエ変換法を用いることできる。または、回折格子 26 を光軸と垂直に走査しながら CCD 30 で複数の干渉縞を取得することでいわゆるフリッジ走査法を用いる事も可能である。

【0024】

図 8 (a) の構成において、第一マスク 25 と第二マスク 28 として、ピンホールの代わりにスリットを設けたマスクを用いると LDI (Line diffraction Interferometer) となる。この場合、第一マスクと第二マスクを透過する光量が大きくなるので、低輝度の光源でも計測することが容易になる。

【0025】

次に、図 8 (b) を用いて、LSI について説明する。光源からの光 21 を第一マスクに照射する。第一マスクには回折限界以下のピンホールが配置されている。

【0026】

第一マスクのピンホールで回折した光は被検光学系 31 通過後、第二回折格子 27 に入射する。第二回折格子 27 は被検光学系 31 からの光を回折し、第二マスク 28 上に複数の集光点を形成させる。第二マスク 28 には、回折限界より十分大きい次数選択窓が 2 つ配置され、第二回折格子 27 で回折した光のうち、 $\pm 1$  次光のみを透過させるようになっ

10

20

30

40

50

ている。第二マスク通過後の光はお互いに干渉し、CCD30で干渉縞が観察される。干渉縞から位相情報をだすのは、前述の電子モアレ法やフリンジスキャン法で行う。ここで得られる位相情報は、投影光学系の波面収差の一方向の差分値（例えばx方向の差分値）である。次に、第二回折格子27及び第二マスク28を光軸周りに90°回転させた状態で、同様にして干渉縞をCCD30で取得し、位相情報を取り出す。ここで得られる情報は被検光学系31の波面収差のy方向の差分値となる。xとyの2方向の差分位相情報値から、被検光学系31の波面収差情報を得ることが可能である。

【0027】

以上では、第一マスクとして、ピンホールを配置したが、第二回折格子27と平行な方向のスリット25'、25''を配置することも可能である。

10

【0028】

また、図8(b)の干渉計において、第二回折格子27としてクロスグレーティング等の2次元回折格子27aを用い、第二マスクとして回折限界より十分大きい次数選択窓が4つ配置されたマスク28aを用いることも可能である。この場合、被検光学系31のxとyの2方向の波面収差情報を一度に取得できる。

【特許文献1】特開2003-309057号公報

【特許文献2】特開2000-97622号公報

【特許文献3】特開2003-302205号公報

【特許文献4】米国特許出願公開第2002/0001088号明細書

【特許文献5】米国特許第5835217号明細書

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0029】

EUV露光装置用の投影光学系は、それを構成するミラーの位置精度や熱による変形に大変敏感であるため、露光の合間に投影光学系の波面収差を測定し、ミラー位置を調整しフィードバックをかけるなど、露光装置本体上での投影光学系の性能保証が必要となっている。

【0030】

また、ミラーのMo/Si多層膜上に不純物が付着、化学変化を起こすことで、いわゆるコンタミによる位相の変化等も発生し、露光装置本体上で露光波長で投影光学系の光学性能を測定する必要がある。

30

【0031】

本発明者は、EUV露光装置本体に、その投影光学系の光学特性を測定する測定ユニット（例えば、干渉計）を搭載しようとした場合に、通常使用する反射型マスクの代わりに、ピンホール状やスリット状の反射部を有するマスクを第一のマスクとして配置することが考えられるが、その構成では、投影光学系の光学特性を計測するために必要な光量をあまり得られないということを見出した。

【0032】

これは、EUV露光装置の照明光学系は、一般に、インテグレータを用いて二次光源を形成し、その二次光源からの光を被照射面上に重畳することで反射型マスクを均一にケララ照明しているが、これにより被照射面上の照度が下がってしまうことが原因である。

40

【0033】

そこで、露光装置の投影光学系の物体面に、複数種類のマスク（例えば、透過型マスク及び反射型マスク、又はパターン領域が互いに異なる複数の反射型マスク）を配置する場合にも、夫々のマスクに適した照明を実行することができる露光装置を提供することが望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0034】

本発明の一側面としての露光装置は、光源からの光で被照明面上の反射型マスクを照明する照明光学系と、物体面に配置された前記反射型マスクのパターンの像を像面に配置さ

50

れた基板上に投影する投影光学系と、を備える露光装置において、前記照明光学系は、前記光源からの光で複数の二次光源を形成する反射型インテグレータと、前記複数の二次光源からの光の夫々を前記反射型マスク上に重畳するコンデンサユニットと、前記反射型インテグレータの代わりに光路中に配置可能なミラーと、を有し、前記反射型インテグレータの代わりに前記ミラーを光路中に配置することで、前記投影光学系の物体面上の照明領域が前記反射型インテグレータが光路中に配置されているときの該照明領域よりも小さくなることを特徴とする。

【0035】

また、本発明の別の一側面としての露光装置は、光源からの光で反射型マスクを照明する照明光学系と、物体面に配置された前記反射型マスクのパターンの像を像面に配置された基板上に投影する投影光学系と、を備える露光装置において、前記反射型マスクの代わりに前記投影光学系の物体面に配置される透過型マスクへ前記照明光学系からの光を導くミラーと、を有することを特徴とする。

10

【0036】

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】

【0037】

露光装置の投影光学系の物体面に、複数種類のマスク（例えば、透過型マスク及び反射型マスク、又はパターン領域が互いに異なる複数の反射型マスク）を配置する場合にも、夫々のマスクに適した照明を実行することができる露光装置を提供することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0038】

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】

【0039】

図1に本実施例の露光装置の説明図を示す。図中、図2の露光装置と同一部材には同一の符号を記す。

【0040】

波長13.4nmのEUV光を発生する光源部1から射出した光束は、照明光学系3に入射する。照明光学系3において、光源からのEUV光は平行変換ユニット11, 12でほぼ平行光となり、平面ミラー4'に入射する。平面ミラー4'反射後の光は、コンデンサユニット13, 14, 2で反射された後、投影光学系7の物体面に集光される。平面ミラー2は、照明光学系からの光を反射型マスクに所定の角度で入射するようにその角度が調整されている。本実施例の場合には、入射角度は約6°に設定されており、投影光学系7の物体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。

30

【0041】

照明系3からの光は、波面収差計測用の専用テストマスクに配置された第一マスク16に入射する。その専用テストマスクは、露光用の反射型マスクの代わりに、マスクステージ5上のマスクチャック50により保持されている。なお、第一マスク16をマスクステージ5上のチャック50の隣に設けておき、マスクステージ5を移動させることで、露光用の反射型マスクの代わりに、光路中にその第一マスクを配置することとしても良い。

40

【0042】

第一マスク16のパターンとしては、図8の第一マスク25に設けられていたようなピンホール状又はスリット状の反射部が設けられており、その他の部分は遮光されている。その反射部から反射した光は、図8の従来例と同様に、ピンホール状の反射部の場合には理想球面波、スリット状の反射部の場合には一方向が整形された波面となる。

【0043】

本実施例では、照明系3において、波面収差測定時は、不図示のミラー切替手段でインテグレータ4を平面ミラー4'に切替え、第一マスク16を投影光学系7の物体面に配

50

置する。これにより、光源 1 からの光で円弧状にケラー照明されていた投影光学系 7 の物体面上（第一マスク 16 上）は、光源 1 の発光点と共役になりスポット状にクリティカル照明されることになる。このことにより、第一マスク 16 のピンホール状又はスリット状の反射部には、より強度の強い光が入射することになり、第一マスク 16 により遮光される光源からの EUV 光が低減され、効率の良い照明が可能となる。

**【0044】**

第一マスク 16 を反射した光は、投影光学系 7 を通過し、像側で結像する。

**【0045】**

像側には、被露光基板としてのウエハを保持するためのウエハステージ 9 上に配置されたウエハ側ユニット 18 が配されている。ウエハ側ユニット 18 の詳細を図 9 に示す。ウエハ側ユニット 18 は、回折格子 41（図 8（b）の回折格子 27 に相当）、次数選択窓を 2 つ有する第二マスク 42（図 8（b）のマスク 28 に相当）、検出器としての CCD 43（図 8（b）の CCD 30 に相当）より構成される。

10

**【0046】**

回折格子 41 で回折した光は、第二マスク 42 で特定次数のみ CCD 43 に到達する。CCD 43 では特定次数の干渉縞が観察されるので従来例のような方法でシアリング干渉の原理を用いて、投影光学系 7 の波面収差を測定することが可能である。なお、回折格子 41 として、図 8（b）に示したようなクロスグレーティング等の 2 次元回折格子を配することも可能である。また、回折格子 41 を第一マスクと投影光学系 8 の間に配置することで、図 8（a）に示したような構成とすることもできる。

20

**【0047】**

図 9 のウエハ側ユニット 18 において、次数選択窓を 2 つ有する第二マスク 42 の代わりに、図 8（a）のマスク 28 のようなピンホールと窓部から構成されるマスクを配置すれば、PDI の構成が可能である。また、ピンホールの代わりにスリットを使用することも可能である。この場合 LDI 干渉計となる。

**【0048】**

干渉縞から位相情報を出す方法としては、1 枚の干渉縞を用いて所謂電子モアレ法を使用することが可能である。また、ウエハ側ユニット 18 を光軸に垂直方向に走査しながら、CCD 43 により干渉縞を複数枚取得することでいわゆるフリンジスキャン法により位相を出すことも可能である。

30

**【0049】**

投影光学系 7 の露光領域上における複数の物点（像点）における波面収差を測定する場合は、インテグレータ 4 を平面ミラー 4' に切替えた後、4' を紙面と平面ミラー 4' 自身に平行な軸の周りに回転させると、折り曲げミラー 2 を紙面に垂直な軸の周りで回転させることを組み合わせることで、円弧領域内全ての測定ポイントに集光スポットを移動させることが可能である。この場合、それに伴って、円弧内の測定ポイントに第一マスクと、ウエハ側ユニットを移動させる。

**【0050】**

なお、その集光スポットの移動により、集光スポットが多少ボケたりするが、投影光学系 7 の物体面に配置されたピンホール状又はスリット状の反射部から理想球面波等が発生されれば良いため、あまり問題にはならない。

40

**【0051】**

本実施例の露光装置では、円筒面を備える複数の反射素子（円筒面）を持つ一つのミラーからなるインテグレータ 4 を用いているが、インテグレータとしては、図 6 に示したような、複数の円弧状の反射素子 132 を持つ第一ミラー 130 及び複数の長方形（正方形）状の反射素子 138 を持つ第二ミラー 136 からなるインテグレータを用いることとしても良い（詳しくは、例えば、特開平 11 - 312638 号公報参照。）。その場合には、第一ミラー 130 及び第二ミラー 136 を複数の 2 次光源を形成しない平面ミラー、凹面ミラー、又は凸面ミラーのいずれかに切替えることで第一マスク 16 のピンホール状やスリット状の反射部を効率的に照明することが可能である。図 6 は複数のミラーを含むイ

50

ンテグレータの図である。

【0052】

また、本実施例では、インテグレータ4を平面ミラー4'に切替えているが、平面ミラー4'の代わりに凹面ミラー又は凸面ミラーに切替えることとしてもよい。この場合には、投影光学系7の物体面において、照明領域が多少ボケることになるが、最終的にピンホール状等の反射部から理想球面波等が発生すれば良いので、そのことはあまり問題にならない。

【0053】

さらに、本実施例では、投影光学系の光学特性を計測するための計測ユニットとして、投影光学系の波面収差を計測する干渉計を示したが、計測ユニットとして、投影光学系の焦点を検出するための焦点検出ユニットを用いることもできる。その際には、第一マスク及び第二マスクのパターンとして、互に対応するラインアンドスペース等のパターンを用い、回折格子は光路中に配置せず、検出器としてCCDではなく光量検出器を用いれば良い(詳しくは、例えば、特開平08-298238号公報参照。)

10

【0054】

以上、本実施例によれば、投影光学系の光学特性を計測するための計測ユニットの光源として、露光光源を用いており、更に、その計測ユニットの第一マスクのパターンを照明するのに、露光装置本体の照明光学系の光学部材を流用しているので、露光装置全体がコンパクトとなる。

【0055】

また、その計測ユニットによる計測の際に、照明光学系の二次光源を形成するためのインテグレータを、二次光源を形成しないミラーへと交換して、計測ユニットの第一マスクのマーク(ピンホール・スリット・ラインアンドスペース等)を効率的に照明しており、投影光学系の光学特性を計測するのが容易となる。

20

【実施例2】

【0056】

図10に本発明の実施例2の露光装置を示す。図中、図1の露光装置と同一部材には同一の符号を記す。

【0057】

光源部1から射出した光は、照明光学系3に入射する。照明光学系3では、平行変換ユニット11, 12にて、光源部1からのEUV光はほぼ平行光束にされ、平面ミラー4'に入射させられる。平面ミラー4'を反射した光は、コンデンサユニット13, 14, 2で、投影光学系7の物体面上に集光させられる。平面ミラー2は、照明光学系3からの光を反射型マスクに所定の角度で入射するような角度配置となっている。本実施例の場合には、入射角度は約6°に設定されており、投影光学系7の物体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。

30

【0058】

照明系3からの光は、マスク側ユニット17に入射する。マスク側ユニット17は、波面収差計測用の専用テストマスクに配置されていて、それがマスクチャック50に取り付けられる構成でもいいし、図10に示したように、マスクステージ5上のマスクチャック50の隣に配置されていてもよい。

40

【0059】

図11にマスク側ユニット17の詳細図を示す。

【0060】

図11においては、マスク側ユニット17の光線角度は説明のため大きい角度となっている。

【0061】

実施例1では、第一マスクとして反射型マスクを用いたが、本実施例では、反射型マスクより製造が簡単である透過型マスクを用いることとした。更に、本実施例では、マスク側ユニット17として、透過型の第一マスク45に加えて、ミラー44を用いている。光

50

源部 1 から照明光学系 3 を通過して、マスクステージ 5 に向かって上向きに来た光はミラー 4 4 で、ウエハステージ 9 側に折り曲げられるので、透過型の第一マスク 4 5 を使用することが可能となる。

【 0 0 6 2 】

折り曲げミラー 4 4 と透過マスク 4 5 の間隔と光線けられについて図 1 2 を用いて説明する。物体側の NA を 0 . 0 6 2 5 、主光線角度を 6 ° とし、反射ミラー 4 4 ( 図 1 2 の反射面 ) に対して透過型マスク 4 5 は z 0 の距離だけ離れているとする。

【 0 0 6 3 】

主光線を  $y = a x$  の直線 ( $a = \tan(90^\circ - 6^\circ)$ )、NA の最端の光線をそれぞれ、 $y = b x$  ,  $y = c x$  とおく。不図示の照明光学系からきた光は、レチクル側ユニット 1 7 の反射面 4 4 で反射し、透過型マスク 4 5 の透過パターンが配置されたパターン面に光が集光する。このとき、集光点と照明光学系からの光が十分分離されている必要がある。つまり、 $y = c x$  の直線と集光点が空間的に離れていなくてはならない。透過型マスク 4 5 が反射面に対して z 0 の距離の位置にある時の分離距離 の関係を表したのが以下の表である。

【 0 0 6 4 】

【表 1】

z0(mm)	$\Delta$ (mm)
5	0.40
10	0.79
20	1.59

【 0 0 6 5 】

投影光学系の像側 NA が 0 . 2 5 ( 物体側 NA が 0 . 0 6 2 5 ) でも、光束は十分分離可能である事がわかる。

【 0 0 6 6 】

なお、本実施例に、実施例 1 で述べた全ての構成を夫々更に適用しても、もちろん良い。

【 0 0 6 7 】

以上、本実施例の露光装置によれば、投影光学系の光学性能を計測する計測ユニットの第一マスクとして、反射型のマスクよりも容易に製造できる透過型のマスクを使用しているため、投影光学系の光学性能の計測が容易に可能となる。

【実施例 3】

【 0 0 6 8 】

実施例 2 において、コンデンサユニットから、投影光学系 7 の物体面までの距離は、図 1 1 のマスク側ユニット 1 7 内の反射ミラー 4 4 で折り曲げる分だけ長くなる。この為、照明光学系 3 からの光束は、透過型の第一マスク 4 5 の手前で集光することになり、第一マスク 4 5 上に焦点を結ばず、第一マスク 4 5 上の集光スポットがボケて比較的広がってしまうことになる。投影光学系 7 の物体面に配置されたピンホール又はスリットから理想球面波等が発生されれば良いため、さほど問題にならないと考えられる。

【 0 0 6 9 】

しかし、本実施例では、投影光学系の光学性能の計測に用いる光の光量を更に得るため、図 1 0 の平面ミラー 4 ' の代わりに負のパワーを持った凸面ミラーを採用する。これにより、集光位置までの距離が長くなり、マスクユニット 1 7 のミラー 4 4 を用いる場合でも、第一マスク 4 5 と光源とを共役にすることができ、第一マスク 4 5 上に光を集光させることが可能となる。それ以外の構成は、実施例 2 の露光装置と同様であるため、詳細な説明は省略する。

【 0 0 7 0 】

本実施例においては、平面ミラー 4 ' の代わりに負のパワーを持った凸面ミラーを採用したが、コンデンサユニットのミラー 1 3 , 1 4 をズーム光学系で構成して、その焦点距離を可変とすることで、マスクユニット 1 7 のミラー 4 4 を用いる場合でも、第一マスク

10

20

30

40

50

45と光源とを共役にすることも可能である。また、その場合には、コンデンサユニットのミラー13, 14を、焦点距離の異なるミラーに切替えることとしても良い。

【0071】

なお、本実施例に、実施例1で述べた全ての構成を夫々更に適用しても、もちろん良い。

【0072】

以上、本実施例によれば、干渉計等の計測ユニットが持つマスクが透過型であった場合にも、照明光学系の被照射面を投影光学系の物体面に置かれたその第一マスクに略一致させることが可能となり、計測ユニットが持つマスクのパターンをより効率良く照明することが可能となる。

10

【実施例4】

【0073】

次に、上述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。

【0074】

図5は半導体デバイス(ICやLSI等の半導体チップ等)の製造フローを示す。ステップ1(回路設計)では半導体装置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によっ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装置の動作確認テスト、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装置が完成し、これが出荷(ステップ7)される。

20

【0075】

図6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)では上記投影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(エッチング)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)ではエッチ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。

30

【0076】

本実施例の製造方法を用いれば、従来は難しかった高集積度のデバイスを製造することが可能になる。

【0077】

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。

40

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図1】実施例1の露光装置の概略図である。

【図2】従来の露光装置の説明図である。

【図3】従来の反射型インテグレータの概略図である。

【図4】デバイスの製造フローを示す図である。

【図5】図4のウエハプロセスを示す図である

【図6】複数のミラーを含むインテグレータの図である。

【図7】透過波面測定装置の概略図である。

50

【図 8】PDI と LSI の説明図である。

【図 9】ウエハ側ユニットの説明図である。

【図 10】実施例 2 の露光装置の概略図である。

【図 11】マスク側ユニットの概略図である。

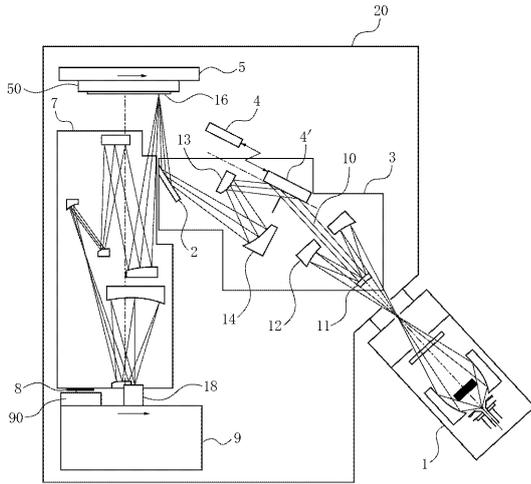
【図 12】マスク側ユニットにおける、光線分離の説明図である。

【符号の説明】

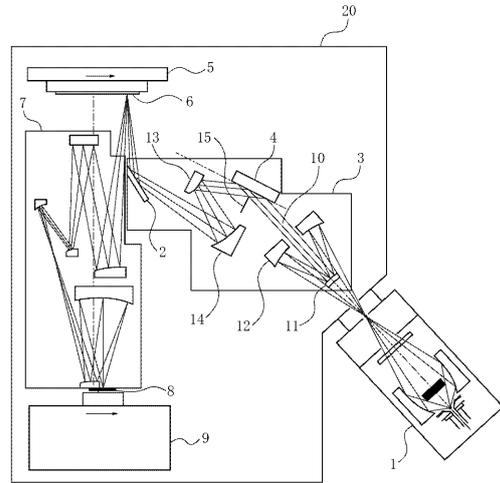
【0079】

- |    |                            |    |
|----|----------------------------|----|
| 1  | 光源部                        |    |
| 2  | コンデンサユニットの平面ミラー            |    |
| 3  | 照明光学系                      | 10 |
| 4  | インテグレータ                    |    |
| 4' | 平面ミラー、または、凸面ミラー            |    |
| 5  | マスクステージ                    |    |
| 6  | 反射型マスク                     |    |
| 7  | 投影光学系                      |    |
| 8  | 基板（ウエハ）                    |    |
| 9  | ウエハステージ                    |    |
| 10 | 光源部 1 からの平行光束              |    |
| 11 | 平行変換ユニットの凸ミラー              |    |
| 12 | 平行変換ユニットの凹ミラー              | 20 |
| 13 | コンデンサユニットの凸ミラー             |    |
| 14 | コンデンサユニットの凹ミラー             |    |
| 15 | 開口絞り                       |    |
| 16 | 波面収差測定用第一マスク               |    |
| 17 | マスク側ユニット                   |    |
| 18 | ウエハ側ユニット                   |    |
| 20 | 真空チャンバー                    |    |
| 21 | SOR + UNDULATOR からの EUV 光束 |    |
| 22 | 波面収差測定用照明光学系               |    |
| 23 | 波面収差測定用真空チャンバー             | 30 |
| 24 | 折り曲げミラー                    |    |
| 25 | 第一マスク                      |    |
| 26 | 第一回折格子                     |    |
| 27 | 第二回折格子                     |    |
| 28 | 第二マスク                      |    |
| 29 | 除振台                        |    |
| 30 | 検出器（CCD）                   |    |
| 31 | テスト光学系                     |    |
| 41 | 回折格子                       |    |
| 42 | 次数選択窓                      | 40 |
| 43 | 検出器（CCD）                   |    |
| 44 | 反射ミラー                      |    |
| 45 | 透過型マスク                     |    |
| 50 | マスクチャック                    |    |
| 90 | ウエハチャック                    |    |

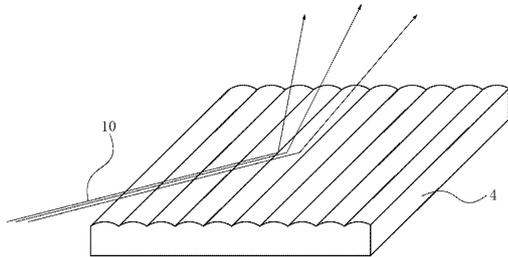
【図1】



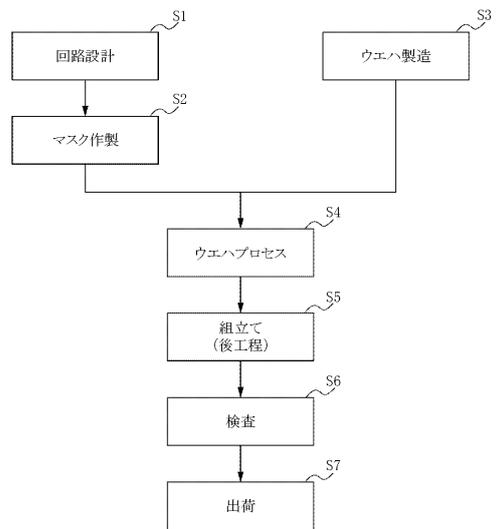
【図2】



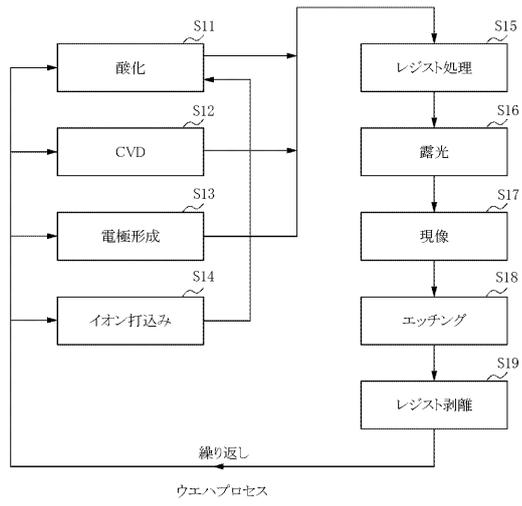
【図3】



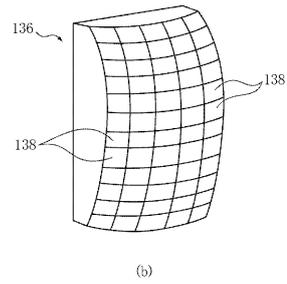
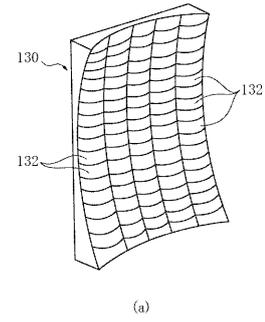
【図4】



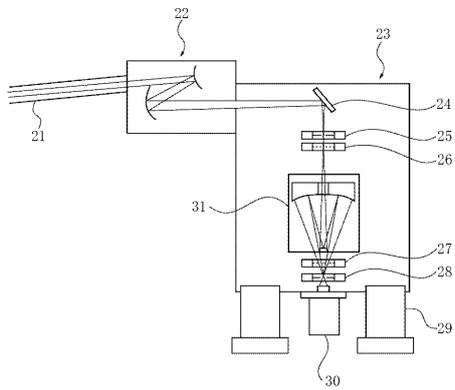
【 図 5 】



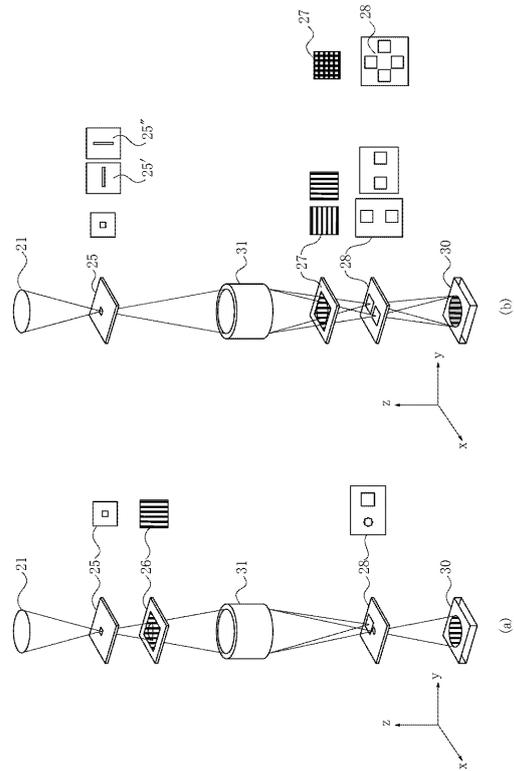
【 図 6 】



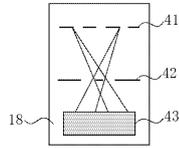
【 図 7 】



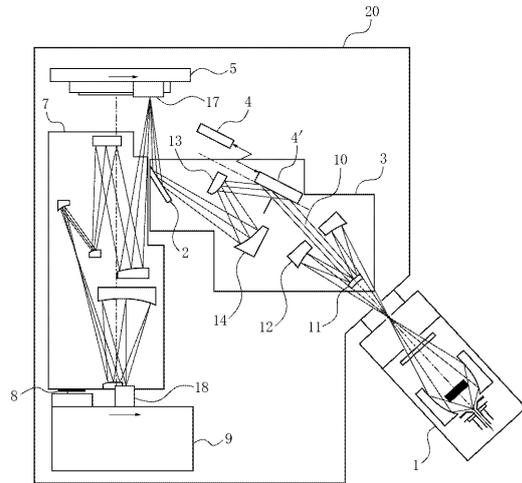
【 図 8 】



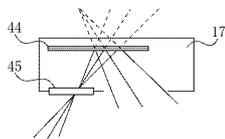
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】

