

(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2007-27226

(P2007-27226A)

(43) 公開日 平成19年2月1日(2007.2.1)

(51) Int.C1.	F 1	テーマコード (参考)
<b>H01L 21/027</b> (2006.01)	H01L 21/30	531A 2H048
<b>G02B 5/26</b> (2006.01)	G02B 5/26	2H087
<b>G02B 5/28</b> (2006.01)	G02B 5/28	5F046
<b>G02B 13/14</b> (2006.01)	G02B 13/14	
<b>G02B 13/24</b> (2006.01)	G02B 13/24	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2005-203876 (P2005-203876)	(71) 出願人	000004112
(22) 出願日	平成17年7月13日 (2005.7.13)	株式会社ニコン	
		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号	
		(74) 代理人	100112427
		弁理士 藤本 芳洋	
		(72) 発明者	白石 雅之
			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
		F ターム (参考)	2H048 FA05 FA18 FA24 GA03 GA18 GA23 GA61 2H087 KA21 NA04 TA01 TA02 5F046 BA05 CA08 CB02 CB23 DA01 GA03 GA14 GB01 GC03

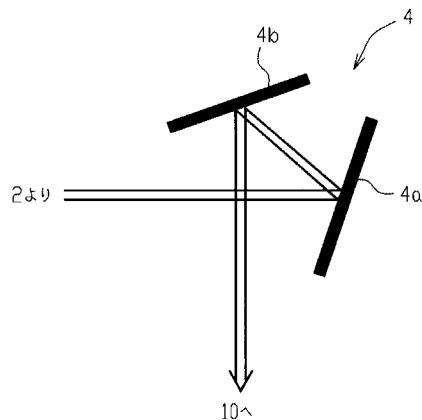
(54) 【発明の名称】反射光学系、照明光学装置及び露光装置

## (57) 【要約】

【課題】 極短紫外光の偏光特性バランスの悪化及び光量の損失を抑制しつつ、極短紫外光を所望の角度に折り曲げができる反射光学系を提供する。

【解決手段】 極短紫外光の進行方向を所定の角度に折り曲げる反射光学系4において、前記極短紫外光を所定の角度で入射させる第1の多層膜ミラー4aと、前記第1の多層膜ミラー4aにより反射された前記極短紫外光を所定の角度で入射させる第2の多層膜ミラー4bとを備え、前記第1の多層膜ミラー4aに入射する前記極短紫外光の進行方向と、前記第2の多層膜ミラー4bにより反射された前記極短紫外光の進行方向とのなす角度は、70° < < 110°である。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

極短紫外光の進行方向を所定の角度に折り曲げる反射光学系において、前記極短紫外光を所定の角度で入射させる第1の多層膜ミラーと、前記第1の多層膜ミラーにより反射された前記極短紫外光を所定の角度で入射させる第2の多層膜ミラーとを備え、前記第1の多層膜ミラーに入射する前記極短紫外光の進行方向と、前記第2の多層膜ミラーにより反射された前記極短紫外光の進行方向とのなす角度は、

$$70^\circ < \angle < 110^\circ$$

であることを特徴とする反射光学系。

10

## 【請求項 2】

前記第1の多層膜ミラーに入射する前記極短紫外光の進行方向と、前記第2の多層膜ミラーにより反射された前記極短紫外光の進行方向とのなす角度は、

$$77^\circ < \angle < 97^\circ$$

であることを特徴とする請求項1記載の反射光学系。

## 【請求項 3】

前記第1の多層膜ミラーに入射する前記極短紫外光と、前記第2の多層膜ミラーにより反射された前記極短紫外光とは略平行に位置する異なる平面内に存在することを特徴とする請求項1または請求項2記載の反射光学系。

## 【請求項 4】

光源から射出される極短紫外光により被照射面を照明する照明光学装置において、請求項1乃至請求項3の何れか一項に記載の反射光学系を備えることを特徴とする照明光学装置。

## 【請求項 5】

光源から射出される極短紫外光により照明された所定のパターンを感光性基板上に露光する露光装置において、

請求項1乃至請求項3の何れか一項に記載の反射光学系を備えることを特徴とする露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

30

## 【0001】

この発明は、半導体集積回路等のリソグラフィで用いられる反射光学系、該反射光学系を備えた照明光学装置及び該反射光学系を備えた露光装置に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

極短紫外光(EUV光、波長1nm～100nm)を露光光として用いる露光装置においては、EUV光を透過、屈折する材料が存在しないため、光学系は干渉効果を利用した多層膜ミラーにより構成されている。多層膜ミラーに対する光の反射率は入射する光の偏光により異なり、斜入射でない入射角で光が多層膜ミラーに入射した場合、通常S偏光の反射率がP偏光の反射率より高くなる。また、P偏光は、入射角45°付近のブリュスター角と呼ばれる角度で入射した場合、その反射率が0となる。即ち、光が入射角45°で多層膜ミラーに入射した場合、その多層膜ミラーにより反射される光は、入射した光の偏光度に関わらず、ほぼS偏光のみを含む光となる。露光装置に用いられる照明光学系においては高い偏光特性バランスを要求されるため、EUV光を多層膜ミラーに入射角45°で入射させ、略直角に折り曲げることは行われていない(例えば、特許文献1参照)。

## 【0003】

## 【特許文献1】国際公開第2004/090955号パンフレット

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

40

50

ところで、光の進行方向を略直角に折り曲げる場合、1つの多層膜ミラーに入射角45°で光を入射させる方法と、2つ以上の多層膜ミラーを用いることにより多層膜ミラーに入射角45°。以外の入射角で光を入射させる方法とが考えられる。しかしながら、多層膜ミラーに対するEUV光のS偏光の反射率がP偏光の反射率よりも高いため、多層膜ミラーの数を増加させることはEUV光のS偏光の偏光度を増加させることとなり、照明光学系の偏光特性バランスが更に悪化する。また、例えば波長約13.5nmのEUV光を用いる場合、EUV光に対して用いられるMo/Si多層膜ミラーの反射率は60~70%であるため、多層膜ミラーの数を増加させることはEUV光の光量の損失が大きく、照明光学系全体のスループットの低下を招く。したがって、偏光特性バランスの悪化、スループットの低下を回避するために、EUV光を用いた光学系（特に照明光学系）においては、EUV光を略直角に折り曲げる光学系は採用されておらず、光学系の設計及び構成の自由度を損ねていた。10

#### 【0005】

この発明の課題は、極短紫外光の偏光特性バランスの悪化及び光量の損失を抑制しつつ、極短紫外光を所望の角度に折り曲げができる反射光学系、該反射光学系を備えた照明光学装置及び該反射光学系を備えた露光装置を提供することである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0006】

この発明の反射光学系は、極短紫外光の進行方向を所定の角度に折り曲げる反射光学系において、前記極短紫外光を所定の角度で入射させる第1の多層膜ミラーと、前記第1の多層膜ミラーにより反射された前記極短紫外光を所定の角度で入射させる第2の多層膜ミラーとを備え、前記第1の多層膜ミラーに入射する前記極短紫外光の進行方向と、前記第2の多層膜ミラーにより反射された前記極短紫外光の進行方向とのなす角度は、70°<<110°であることを特徴とする。20

#### 【0007】

また、この発明の照明光学装置は、光源から射出される極短紫外光により被照射面を照明する照明光学装置において、この発明の反射光学系を備えることを特徴とする。

#### 【0008】

また、この発明の露光装置は、光源から射出される極短紫外光により照明された所定のパターンを感光性基板上に露光する露光装置において、この発明の反射光学系を備えることを特徴とする。30

#### 【発明の効果】

#### 【0009】

この発明の反射光学系によれば、1つの多層膜ミラーを用いて極短紫外光の進行方向を略直角に折り曲げた場合の極短紫外光の偏光特性と比較して、2つの多層膜ミラーを用いて極短紫外光の進行方向を略直角（70°<<110°）に折り曲げた場合の極短紫外光の偏光特性バランスは良好である。即ち、極短紫外光のS偏光成分とP偏光成分との良好なバランスを維持した状態で、極短紫外光を所望の角度に折り曲げができる。

#### 【0010】

また、1つの多層膜ミラーを用いて極短紫外光の進行方向を略直角に折り曲げた後の極短紫外光の反射率及び偏光特性と比較して、2つの多層膜ミラーを用いて極短紫外光の進行方向を略直角（77°<<97°）に折り曲げた後の極短紫外光の反射率は高くなり、偏光特性バランスは良好となる。即ち、極短紫外光のS偏光成分とP偏光成分との良好なバランス及び極短紫外光の高反射率を維持した状態で、極短紫外光を所望の角度に折り曲げができる。40

#### 【0011】

また、この発明の照明光学装置によれば、この発明の反射光学系を備えているため、極短紫外光のS偏光成分とP偏光成分との良好なバランス及び極短紫外光の高反射率を維持した状態で、極短紫外光を所望の角度に折り曲げができる。従って、極短紫外光の偏光特性バランスの悪化及び光量の損失を抑制しつつ、極短紫外光を被照射面に導く光学50

系の設計及び構成の自由度を高くすることができる。

【0012】

また、この発明の露光装置によれば、この発明の反射光学系を有する照明光学系を備えているため、極短紫外光のS偏光成分とP偏光成分との良好なバランス及び極短紫外光の高反射率を維持した状態で、極短紫外光を所望の角度に折り曲げることができる。従って、偏光特性バランスの悪化及び極短紫外光の光量の損失を抑制しつつ、照明光学系の設計及び構成の自由度を高くすることができ、かつ高スループット及び高解像度で露光を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、図面を参照して、この発明の第1の実施の形態にかかる投影露光装置について説明する。図1は、この実施の形態にかかる投影露光装置の概略構成を示す図である。

【0014】

この投影露光装置は、光源2、反射光学系4、コレクタミラー10、反射型フライアイ光学系12、14、コンデンサミラー18、20等により構成される照明光学装置により射出される露光光(照明光)、即ち13.5nmの波長の極短紫外光(以下、EUV光という。)を用いて、反射型投影光学系PLに対してマスクM及びウエハWを相対的に移動させつつマスクMに形成されている所定のパターンを感光性材料(レジスト)が塗布された感光性基板としてのウエハW上に露光するステップアンドスキヤン方式の露光装置である。

【0015】

また、この投影露光装置においては、露光光であるEUV光の大気に対する透過率が低いため、EUV光が通過する光路は図示しない真空チャンバにより覆われている。

【0016】

光源2はEUV光を放出する光源であり、レーザ或いは放電によりプラズマを生成するプラズマ光源等を用いる。EUV光の中心波長は約13.5nmであり、無偏光の光を反射光学系4に導く。

【0017】

光源2が備える図示しない集光ミラーにより反射されたEUV光は、EUV光の進行方向を所定の角度に折り曲げる反射光学系4に入射する。図2は、反射光学系4の構成を示す図である。図2に示すように、EUV光は、反射光学系4を構成する第1多層膜ミラー4aに入射角22.5°で入射する。第1多層膜ミラー4aは、周期長7.52nmのMo(モリブデン)/Si(シリコン)多層膜50層対のミラーである。なお、Mo/Siの1層対のうち、Mo層の厚さは2.63nm、Si層の厚さは4.89nmである。この第1多層膜ミラー4aの構成は、EUV光の反射率が最も高くなるように第1多層膜ミラー4aに入射するEUV光の波長及び入射角度等に基づいて決定される。

【0018】

ここで、第1多層膜ミラー4aに入射角22.5°で入射した場合における第1多層膜ミラー4aに対するS偏光の反射率は73.9%、第1多層膜ミラー4aに対するP偏光の反射率は62.9%である。入射光(EUV光)が無偏光であるため、入射光光量のうち第1多層膜ミラー4aに対するS偏光の光量を50%、第1多層膜ミラー4aに対するP偏光の光量を50%とすると、第1多層膜ミラー4aにより反射するEUV光のS偏光の光量は $50\% \times 0.739$ (反射率) = 37.0%、P偏光 $50\% \times 0.629$ (反射率) = 31.5%となる。

【0019】

第1多層膜ミラー4aにより反射されたEUV光は、第2多層膜ミラー4bに入射角22.5°で入射する。第2多層膜ミラー4bの多層膜の構成は、第1多層膜ミラー4aの多層膜の構成と同一である。第2多層膜ミラー4bの構成は、EUV光の反射率が最も高くなるように第2多層膜ミラー4bに入射するEUV光の波長及び入射角度等に基づいて決定される。EUV光の光路は同一平面内にあるため、第1多層膜ミラー4aに対するS

10

20

30

40

50

偏光は第2多層膜ミラー4bに対するS偏光となり、第1多層膜ミラー4aに対するP偏光は第2多層膜ミラー4bに対するP偏光となる。即ち、第1多層膜ミラー4aに対するS偏光は第2多層膜ミラー4bによりS偏光として反射し、第1多層膜ミラー4aに対するP偏光は第2多層膜ミラー4bによりP偏光として反射する。従って、第2多層膜ミラー4bにより反射したEUV光のS偏光の光量は37.0%（第2多層膜ミラー4bに入射した際のS偏光の光量）×0.739（反射率）=27.3%、P偏光の光量は31.5%（第2多層膜ミラー4bに入射した際のP偏光の光量）×0.629（反射率）=19.8%となる。

#### 【0020】

反射光学系4（第1多層膜ミラー4a及び第2多層膜ミラー4b）を介したEUV光の反射率は、27.3%（S偏光の反射率）+19.8%（P偏光の反射率）=47.1%となる。また、反射光学系4を介したEUV光のS偏光とP偏光の光量のバランスから、EUV光の偏光度は0.16（S偏光）となる。また、第1多層膜ミラー4aに入射するEUV光の進行方向と、第2多層膜ミラー4bにより反射されたEUV光の進行方向とのなす角度は、90°である。

#### 【0021】

反射光学系4を射出したEUV光は、光源2が備える図示しない集光ミラーの第2焦点位置またはその近傍に集光され、コレクタミラー10により反射される。コレクタミラー10により反射されたEUV光は、オプティカルインテグレータとしての反射型フライアイ光学系12, 14へ導かれる。入射側フライアイミラー12は、並列に配列された複数の凹面鏡である要素ミラーにより構成され、マスクM面やウェハW面と光学的に共役な位置またはその近傍に配置されている。

#### 【0022】

入射側フライアイミラー12に入射することにより波面分割されたEUV光は、入射側フライアイミラー12により反射され、開口絞り16を介して、反射型フライアイ光学系12, 14を構成する他方の射出側フライアイミラー14に入射する。射出側フライアイミラー14は、入射側フライアイミラー12を構成する複数の要素ミラーのそれぞれに対応して並列に配列された複数の凹面鏡である要素ミラーにより構成され、反射型投影光学系PLの瞳面と光学的に共役な位置に配置されている。

#### 【0023】

射出側フライアイミラー14の射出面もしくはその近傍には多数の光源像で構成される二次光源が形成される。射出側フライアイミラー14により反射されたEUV光は、開口絞り16を介してコンデンサミラー18に入射する。コンデンサミラー18に入射したEUV光は、コンデンサミラー18、コンデンサミラー20により反射され、マスクM上で集光する。反射光学系4、コレクタミラー10、反射型フライアイ光学系12, 14、コンデンサミラー18, 20により構成される照明光学系を介したEUV光は、所定の回路パターンが形成されている反射型マスクM上を重畳的に均一照明する。

#### 【0024】

なお、コレクタミラー10、反射型フライアイ光学系12, 14、コンデンサミラー18は、基板としてガラス、セラミックス、金属などを用いており、その基板上にモリブデン（Mo）及びシリコン（Si）からなる多層膜が形成されている。

#### 【0025】

反射型マスクMにより反射されたEUV光は、反射型投影光学系PLの瞳において二次光源像を形成し、レジストが塗布された感光性基板としてのウェハW上にマスクMに形成されたパターン像を投影露光する。

#### 【0026】

この第1の実施の形態にかかる反射光学系によれば、1つの多層膜ミラーを用いてEUV光の進行方向を略直角に折り曲げた場合のEUV光の反射率と比較して、2つの多層膜ミラー（第1多層膜ミラー及び第2多層膜ミラー）を用いてEUV光の進行方向を略直角に折り曲げているにもかかわらず、EUV光の反射率は高くなる。また、1つの多層膜ミ

10

20

30

40

50

ラーを用いて E U V 光の進行方向を略直角に折り曲げた後の E U V 光の偏光特性と比較して、2つの多層膜ミラーを用いて E U V 光の進行方向を略直角に折り曲げた後の E U V 光の偏光特性バランスは良好である。

【 0 0 2 7 】

比較例として、1枚の多層膜ミラーに入射角 45° で波長 13.5 nm の E U V 光（無偏光）を入射させて略直角に折り曲げた場合を考える。多層膜の周期と各層の厚さ及び材料は反射角が最大となるように最適化されており、例えば、周期長 10.1 nm の Mo（厚さ 3.54 nm）/ Si（厚さ 6.57 nm）多層膜を用いた。この多層膜ミラーに対する S 偏光の反射率は 72.4%、P 偏光の反射率は 5.5% である。この多層膜ミラーに入射する E U V 光は無偏光であるため、S 偏光の光量を 50%、P 偏光の光量を 50% とすると、この多層膜ミラーにより反射された E U V 光の S 偏光の光量は  $50\% \times 0.724$  (反射率) = 36.2%、P 偏光の光量は  $50\% \times 0.055$  (反射率) = 2.8% となる。従って、この多層膜ミラーにより反射された E U V 光の光量は、S 偏光の光量と P 偏光の光量の合計で 39.0%、即ち入射角 45° で多層膜ミラーにより反射される E U V 光の反射率は無偏光入射の場合 39.0% である。また、E U V 光の S 偏光と P 偏光の光量のバランスから、多層膜ミラーにより反射された E U V 光の偏光度は 0.86 (S 偏光) となる。

【 0 0 2 8 】

一方、この第 1 の実施の形態にかかる反射光学系（2つの多層膜ミラー）により反射される E U V 光の反射率は無偏光入射の場合、上述したように 47.1% であり、1つの多層膜ミラーにより E U V 光を略直角に折り曲げた場合より E U V 光の反射率は高くなる。また、この第 1 の実施の形態にかかる反射光学系により反射される E U V 光の偏光度は、上述したように 0.16 (S 偏光) であり、1つの多層膜ミラーにより E U V 光を略直角に折り曲げた場合より E U V 光の偏光特性バランスは良好である。

【 0 0 2 9 】

従って、この第 1 の実施の形態にかかる投影露光装置によれば、E U V 光の高反射率及び S 偏光成分と P 偏光成分との良好なバランスを維持した状態で、E U V 光を略直角に折り曲げることができる。即ち、E U V 光の光量の損失及び偏光特性バランスの悪化を抑制しつつ、照明光学系の設計及び構成の自由度を高くすることができ、かつ高スループット及び高解像度で露光を行うことができる。

【 0 0 3 0 】

なお、この第 1 の実施の形態にかかる反射光学系においては、E U V 光の進行方向を略直角に折り曲げているが、反射光学系に入射する E U V 光の進行方向と反射光学系から射出する E U V 光の進行方向とのなす角度が  $70^\circ < < 110^\circ$  の範囲内であればよい。図 3 は、反射光学系への入射光と出射光とのなす角と、その際の S 偏光の偏光度とを示すグラフである。図 3 に示すように、 $70^\circ < < 110^\circ$  の範囲内においては、1つの多層膜ミラーにより E U V 光の進行方向を同一の角度に折り曲げた場合と比較して、E U V 光の偏光度を 0.1 以上改善することができるため、E U V 光の偏光特性はバランス良く維持される。

【 0 0 3 1 】

また、図 4 は、反射光学系への入射光と出射光とのなす角と、その際の E U V 光の透過率（反射率）とを示すグラフである。図 4 に示すように、反射光学系に入射する E U V 光の進行方向と反射光学系から射出する E U V 光の進行方向とのなす角度を  $77^\circ < < 97^\circ$  の範囲内にした場合、1つの多層膜ミラーにより E U V 光の進行方向を同一の角度に折り曲げた場合と比較して、E U V 光の偏光度が 0.36 以上改善され、E U V 光の偏光特性がバランス良く維持されるだけでなく、E U V 光の透過率（反射率）も高くなる。

【 0 0 3 2 】

次に、図面を参照して、この発明の第 2 の実施の形態にかかる投影露光装置について説明する。なお、この第 2 の実施の形態にかかる投影露光装置の構成は、図 1 に示す第 1 の実施の形態にかかる投影露光装置を構成する反射光学系 4 を、反射光学系 6（図 5～図 7

10

20

30

40

50

参照)に変更したものである。したがって、第2の実施の形態の説明においては、第1の実施の形態にかかる投影露光装置の構成と同一の構成の詳細な説明は省略する。また、この第2の実施の形態にかかる投影露光装置の説明においては、第1の実施の形態にかかる投影露光装置と同一の構成には第1の実施の形態で用いたものと同一の符号を用いて説明を行う。また、以下の説明においては、図1中に示すXYZ直交座標系を設定し、このXYZ直交座標系を参照しつつ各部材の位置関係について説明する。XYZ直交座標系は、X軸及びY軸がウエハWに対して平行となるよう設定され、Z軸がウエハWに対して直交する方向に設定されている。

### 【0033】

図5～図7は、この実施の形態にかかる反射光学系6の構成を示す図である。図5及び図6に示すように、EUV光は、反射光学系6を構成する第1多層膜ミラー6aに入射角27.35°で入射する。第1多層膜ミラー6aは、周期長7.85nmのMo(モリブデン)/Si(シリコン)多層膜50層対のミラーである。なお、Mo/Siの1層対のうち、Mo層の厚さは2.75nm、Si層の厚さは5.10nmである。この第1多層膜ミラー6aの構成は、EUV光の反射率が最も高くなるように第1多層膜ミラー6aに入射するEUV光の波長及び入射角度等に基づいて決定される。

### 【0034】

ここで、第1多層膜ミラー6aに入射角27.35°で入射した場合における第1多層膜ミラー6aに対するS偏光の反射率は73.6%、第1多層膜ミラー6aに対するP偏光の反射率は54.9%である。入射光(EUV光)が無偏光であるため、入射光光量のうち第1多層膜ミラー6aに対するS偏光の光量を50%、第1多層膜ミラー6aに対するP偏光の光量を50%とすると、第1多層膜ミラー6aにより反射するEUV光のS偏光の光量は $50\% \times 0.736$ (反射率) = 36.8%、P偏光の光量は $50\% \times 0.549$ (反射率) = 27.5%となる。なお、第1多層膜ミラー6aに入射するEUV光の進行方向はベクトル(1, 0, 0)であり、第1多層膜ミラー6aの法線方向はベクトル(-0.888, -0.325, 0.325)である。また、第1多層膜ミラー6aに対するS偏光の向きはベクトル(0, -0.707, 0.707)、P偏光の向きはベクトル(0, 0.707, -0.707)である。

### 【0035】

第1多層膜ミラー6aにより反射されたEUV光は、図7に示すように、第2多層膜ミラー6bに入射角27.35°で入射する。第2多層膜ミラー6bの多層膜の構成は、第1多層膜ミラー6aの多層膜の構成と同一である。第2多層膜ミラー6bの構成は、EUV光の反射率が最も高くなるように第2多層膜ミラー6bに入射するEUV光の波長及び入射角度等に基づいて決定される。ここで、第1多層膜ミラー6aにより反射され、第2多層膜ミラー6bに入射するEUV光の進行方向はベクトル(-0.577, -0.577, 0.577)であり、第2多層膜ミラー6bの法線方向はベクトル(0.325, 0.325, -0.888)である。また、第2多層膜ミラー6bに対するS偏光の向きはベクトル(0, -0.707, -0.707)、P偏光の向きはベクトル(-0.817, 0.408, -0.408)である。

### 【0036】

従って、第1多層膜ミラー6aに対するS偏光及びP偏光の向きは、第2多層膜ミラー6bに対するS偏光及びP偏光の向きと一致しないため、第1多層膜ミラー6aにより反射された第1多層膜ミラー6aに対するS偏光及びP偏光を、第2多層膜ミラー6bに対するS偏光及びP偏光の向きに分配し、第2多層膜ミラー6bに入射する前の状態でその割合を算出する。算出した結果、

- (1) 第1多層膜ミラー6aにより反射されたS偏光のうち、第2多層膜ミラー6bに対するS偏光になる割合は、0.25
- (2) 第1多層膜ミラー6aにより反射されたS偏光のうち、第2多層膜ミラー6bに対するP偏光になる割合は、0.75
- (3) 第1多層膜ミラー6aにより反射されたP偏光のうち、第2多層膜ミラー6bに対するP偏光になる割合は、0.25

10

20

30

40

50

る S 偏光になる割合は、 0 . 7 5

(4) 第 1 多層膜ミラー 6 a により反射された P 偏光のうち、第 2 多層膜ミラー 6 b に対する P 偏光になる割合は、 0 . 2 5

となる。

#### 【 0 0 3 7 】

従って、

(1)の光量は、  $(50\% \times 0.736) \times 0.25 = 9.2\%$

(2)の光量は、  $(50\% \times 0.736) \times 0.75 = 27.6\%$

(3)の光量は、  $(50\% \times 0.549) \times 0.75 = 20.6\%$

(4)の光量は、  $(50\% \times 0.549) \times 0.25 = 6.9\%$

となり、第 2 多層膜ミラー 6 b に対する S 偏光の光量は  $(1) + (3) = 29.8\%$ 、第 2 多層膜ミラー 6 b に対する P 偏光の光量は  $(2) + (4) = 34.5\%$  となる。これらの光が第 2 多層膜ミラー 6 b により反射された場合、反射光の S 偏光の光量は  $29.8\% \times 0.736 = 21.9\%$ 、反射光の P 偏光の光量は  $34.5\% \times 0.549 = 18.9\%$  となる。従って、反射光学系 6 を介した EUV 光の光量は S 偏光及び P 偏光の合計で 40.8%、即ち、反射光学系 6 ( 第 1 多層膜ミラー 6 a 及び第 2 多層膜ミラー 6 b ) を介した EUV 光の反射率は 40.8% である。また、反射光学系 6 を介した EUV 光の S 偏光と P 偏光の光量のバランスから、EUV 光の偏光度は 0.07 ( S 偏光 ) となる。また、第 1 多層膜ミラー 6 a に入射する EUV 光の進行方向は上述したようにベクトル (1, 0, 0) であり、第 2 多層膜ミラー 6 b により反射された EUV 光の進行方向はベクトル (0, 0, -1) となり、略平行に位置する異なる平面内に存在するが、第 1 多層膜ミラー 6 a に入射する EUV 光の進行方向と第 2 多層膜ミラー 6 b により反射された EUV 光の進行方向とのなす角度は、90° である。

#### 【 0 0 3 8 】

この第 2 の実施の形態にかかる反射光学系によれば、1つの多層膜ミラーを用いて EUV 光の進行方向を略直角に折り曲げた場合の EUV 光の反射率と比較して、2つの多層膜ミラー ( 第 1 多層膜ミラー 及び 第 2 多層膜ミラー ) を用いて EUV 光の進行方向を略直角に折り曲げているにもかかわらず、EUV 光の反射率は高くなる。また、1つの多層膜ミラーを用いて EUV 光の進行方向を略直角に折り曲げた後の EUV 光の偏光特性と比較して、2つの多層膜ミラーを用いて EUV 光の進行方向を略直角に折り曲げた後の EUV 光の偏光特性バランスは良好である。

#### 【 0 0 3 9 】

第 1 の実施の形態で用いた比較例と第 2 の実施の形態とを比較する。比較例では、多層膜ミラーにより反射された EUV 光の反射率は無偏光入射の場合 39.0% であり、EUV 光の偏光度は 0.86 ( S 偏光 ) となる。

#### 【 0 0 4 0 】

一方、この第 2 の実施の形態にかかる反射光学系 ( 2 つの多層膜ミラー ) により反射される EUV 光の反射率は無偏光入射の場合、上述したように 40.8% であり、1つの多層膜ミラーにより EUV 光を略直角に折り曲げた場合より EUV 光の反射率は高くなる。また、この第 2 の実施の形態にかかる反射光学系により反射される EUV 光の偏光度は、上述したように 0.07 ( S 偏光 ) であり、1つの多層膜ミラーにより EUV 光を略直角に折り曲げた場合より EUV 光の偏光特性バランスは極めて良好である。

#### 【 0 0 4 1 】

従って、この第 2 の実施の形態にかかる投影露光装置によれば、EUV 光の高反射率及び S 偏光成分と P 偏光成分との良好なバランスを維持した状態で、EUV 光を略直角に折り曲げることができる。即ち、EUV 光の光量の損失及び偏光特性バランスの悪化を抑制しつつ、照明光学系の設計及び構成の自由度を高くすることができ、かつ高スループット及び高解像度で露光を行うことができる。

#### 【 0 0 4 2 】

なお、この第 2 の実施の形態にかかる反射光学系においては、EUV 光の進行方向を略

10

20

30

40

50

直角に折り曲げているが、反射光学系に入射する E U V 光の進行方向と反射光学系から射出する E U V 光の進行方向とのなす角度が  $70^\circ < \theta < 110^\circ$  の範囲内であればよい。 $70^\circ < \theta < 110^\circ$  の範囲内においては、1つの多層膜ミラーにより E U V 光の進行方向を同一の角度に折り曲げた場合と比較して、E U V 光の偏光特性はバランス良く維持される。

【 0 0 4 3 】

また、反射光学系に入射する E U V 光の進行方向と反射光学系から射出する E U V 光の進行方向とのなす角度を  $77^\circ < \theta < 97^\circ$  の範囲内にした場合、1つの多層膜ミラーにより E U V 光の進行方向を同一の角度に折り曲げた場合と比較して、E U V 光の偏光特性がバランス良く維持されるだけでなく、E U V 光の反射率も高くなる。

10

【 0 0 4 4 】

なお、上述の実施の形態にかかる投影露光装置においては、波長が  $13.5\text{ nm}$  の E U V 光を露光光として用いているが、波長が  $1\text{ nm}$  以上  $100\text{ nm}$  以下の E U V 光を露光光として用いてもよい。この場合には、第1多層膜ミラー及び第2多層膜ミラーの反射面上に形成される多層膜の種類及び膜数は、露光光の波長及び露光光が反射光学系を構成する第1多層膜ミラー及び第2多層膜ミラーに入射する角度に基づいて最適な反射率を有するものに決定される。

【 0 0 4 5 】

また、上述の実施の形態においては、第1多層膜ミラーと第2多層膜ミラーとに入射する E U V 光の入射角度は同一であるが、第1多層膜ミラーに入射する入射角度と第2多層膜ミラーに入射する入射角度が異なるようにしてもよい。また、第1多層膜ミラーと第2多層膜ミラーの多層膜の構成も同一であるが、第1多層膜ミラーの多層膜の構成と第2多層膜ミラーの多層膜の構成が異なるようにしてもよい。

20

【 0 0 4 6 】

また、上述の実施の形態にかかる投影露光装置においては、光源とコレクタミラーとの間の光路中に反射光学系を備えているが、照明光学装置内の他の光路中に反射光学系を備えるようにしてもよい。また、照明光学装置を構成するコレクタミラー、反射型フライアイ光学系、コンデンサミラー等の機能と、E U V 光を所定の角度に折り曲げる反射光学系の機能とを併せ持つ反射部材を備えるようにしてもよい。更に、照明光学系ではなく、投影光学系等他の光学系に上述の反射光学系を用いることもできる。

30

【 0 0 4 7 】

また、上述の実施の形態においては、ステップアンドスキャン方式の露光装置を例に挙げて説明しているが、ステップアンドリピート方式の露光装置にもこの発明を適用することができる。また、上述の説明では、無偏光の光を用いて説明したが、無偏光以外の E U V 光を用いることもできる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 8 】

【図1】第1の実施の形態にかかる投影露光装置の概略構成を示す図である。

【図2】第1の実施の形態にかかる反射光学系の構成を示す図である。

【図3】反射光学系への入射光と出射光とのなす角度と、その際の S 偏光の偏光度を示すグラフである。

40

【図4】反射光学系への入射光と出射光とのなす角度と、その際の極短紫外光の反射率を示すグラフである。

【図5】第2の実施の形態にかかる反射光学系の構成を示す図である。

【図6】第2の実施の形態にかかる反射光学系の構成を示す図である。

【図7】第2の実施の形態にかかる反射光学系の構成を示す図である。

【 符号の説明 】

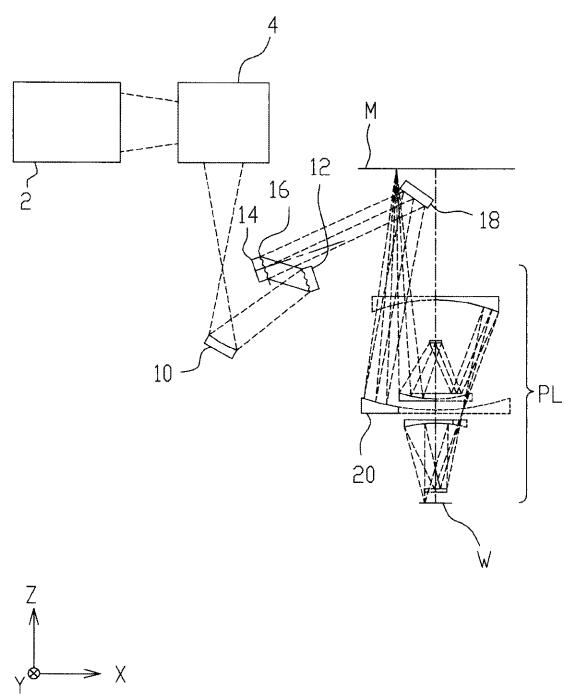
【 0 0 4 9 】

2 ... 光源、4 , 6 ... 反射光学系、10 ... コレクタミラー、12 , 14 ... 反射型フライアイ光学系、16 ... 開口絞り、18 , 20 ... コンデンサミラー、M ... 反射型マスク、P L ...

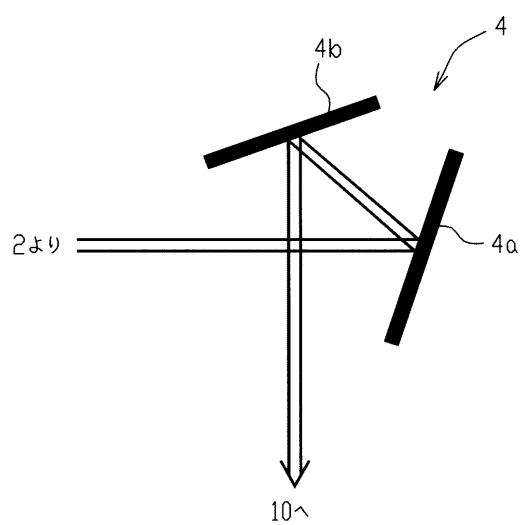
50

反射型投影光学系、W...ウエハ。

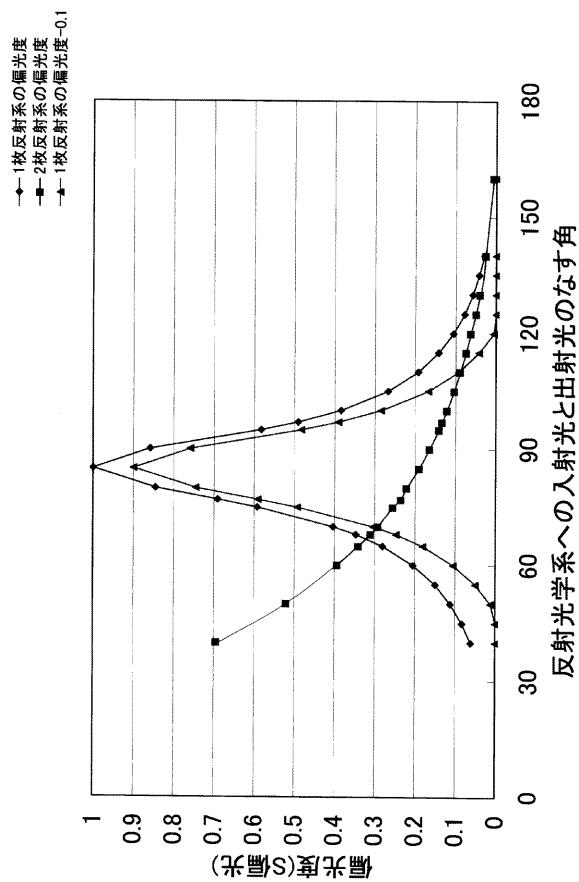
【図1】



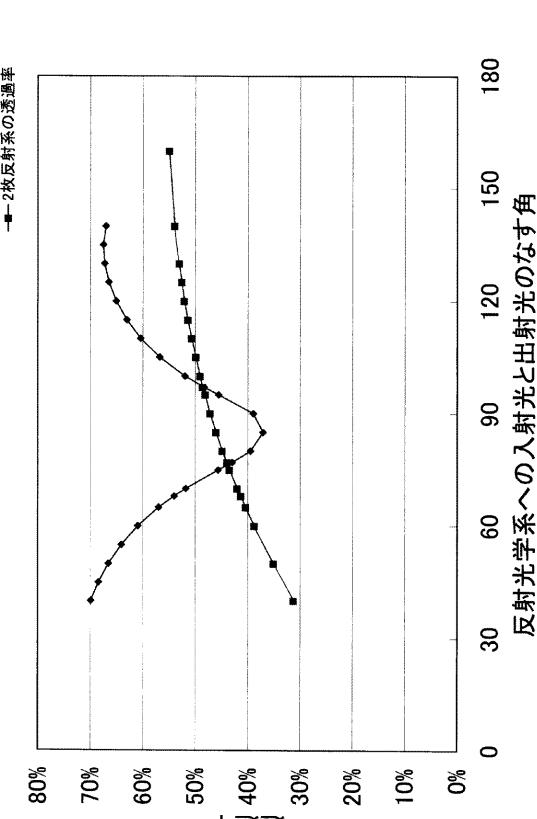
【 図 2 】



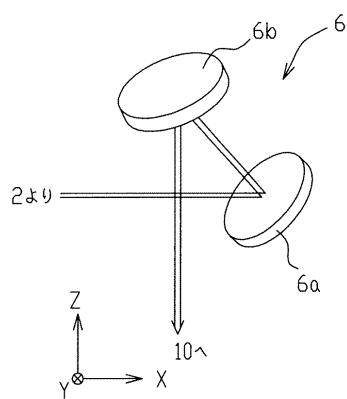
【図3】



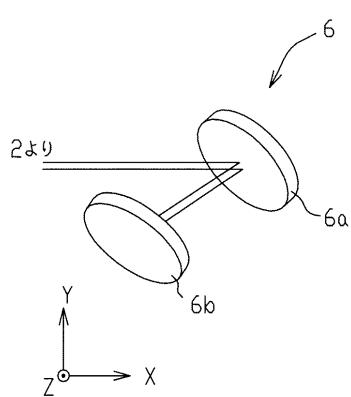
【図4】



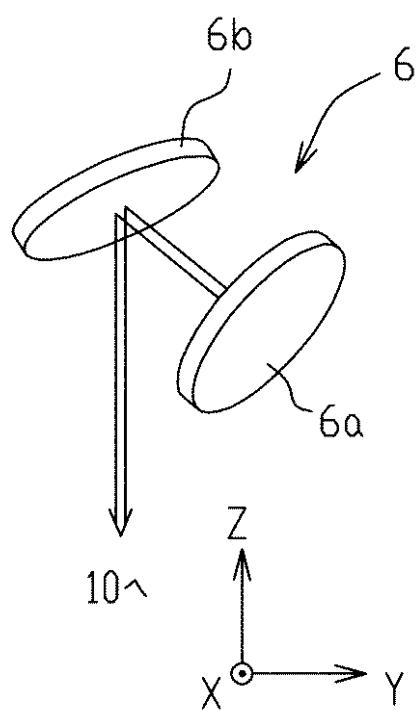
【図5】



【図6】



【図7】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
<b>G 0 2 B 17/00</b> (2006.01)	G 0 2 B 17/00	Z
<b>G 0 3 F 7/20</b> (2006.01)	G 0 3 F 7/20	5 2 1
	H 0 1 L 21/30	5 1 7