

(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2007-27419

(P2007-27419A)

(43) 公開日 平成19年2月1日(2007.2.1)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H O 1 L 21/027 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/30	5 O 3 G
<b>G O 3 F 7/20 (2006.01)</b>	G O 3 F 7/20	5 2 1
	H O 1 L 21/30	5 1 7
	H O 1 L 21/30	5 3 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2005-207528 (P2005-207528)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成17年7月15日 (2005.7.15)		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	100110412
			弁理士 藤元 亮輔
		(72) 発明者	大沢 大
			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
		(72) 発明者	大久保 彰律
			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
		(72) 発明者	山添 賢治
			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)	5F046 AA17 BA05 CA07 CB17 GA03 GA12 GA20 GC03

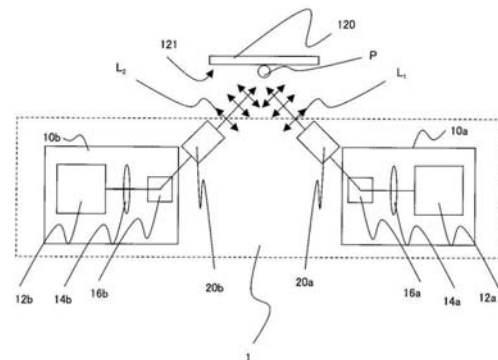
(54) 【発明の名称】 露光装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 マスク面に付着した微粒子を露光装置内で効率よく洗浄可能な露光装置を提供する。

【解決手段】 原版のパターンを被露光体に露光する露光装置であって、原版の洗浄を行う洗浄装置10a, 10bを有し、洗浄装置は、原版にレーザ光を照射する照射手段と、パターンが伸びる方向に対応して前記レーザ光の偏光方向を制御する偏光制御手段20a, 20bとを有し、マスクパターン幅がレーザ光波長以下であってもパターンが伸びる方向に対応して照射光の偏光方向を制御し、パターン溝へレーザ光が到達することを可能にする。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

原版のパターンを被露光体に露光する露光装置であって、  
前記原版の洗浄を行う洗浄装置を有し、  
当該洗浄装置は、  
前記原版にレーザ光を照射する照射手段と、  
前記パターンが延びる方向に対応して前記レーザ光の偏光特性を制御する偏光制御手段とを有することを特徴とする露光装置。

## 【請求項 2】

前記偏光制御手段は、前記レーザ光が、前記パターンが延びる方向に垂直な方向に偏光方向を有するように前記偏光特性を制御することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。 10

## 【請求項 3】

前記偏光制御手段は、前記レーザ光の偏光方向を直交する二方向で切り替えることを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

## 【請求項 4】

前記照射手段は、前記レーザ光を前記パターンの全面に一括して照射することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

## 【請求項 5】

前記照射手段は、前記レーザ光を前記パターンの一部に照射し、  
前記露光装置は、前記原版を前記レーザ光で走査する手段を更に有することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。 20

## 【請求項 6】

前記レーザ光は、300mJ以下の照度を有することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

## 【請求項 7】

前記照射手段は、複数のレーザ光を照射する複数の照射手段を含み、  
前記偏光制御手段は、前記複数の照射手段にそれぞれ対応する複数の偏光制御手段を含むことを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

## 【請求項 8】

前記複数の照射手段は、異なる方向から複数のレーザ光を照射することを特徴とする請求項 7 記載の露光装置。 30

## 【請求項 9】

前記異なる方向から照射される複数のレーザ光は、同一平面上に光軸を有し、  
前記偏光制御手段は当該複数のレーザ光の偏光特性を同一に設定することを特徴とする請求項 7 記載の露光装置。

## 【請求項 10】

前記パターンは第 1 の方向に延びる第 1 のパターンと、前記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に延びる第 2 のパターンを含み、

前記複数の照射手段は、前記第 1 のパターンに第 1 のレーザ光を照射する第 1 の照射手段と、前記第 2 のパターンに第 2 のレーザ光を照射する第 2 の照射手段とを含むことを特徴とする請求項 7 記載の露光装置。 40

## 【請求項 11】

前記複数の照射手段は、波長、パルス幅及び照度のうち少なくとも一つが異なる複数のレーザ光を前記原版に照射することを特徴とする請求項 7 記載の露光装置。

## 【請求項 12】

前記複数の偏光制御手段は、前記複数の照射手段から照射される前記レーザ光の偏光特性が互いに異なるように制御することを特徴とする請求項 7 記載の露光装置。

## 【請求項 13】

前記照射手段は、一の光源からの光を前記第 1 のレーザ光と前記第 2 のレーザ光に分割する手段を有することを特徴とする請求項 7 記載の露光装置。 50

## 【請求項 14】

前記パターンの構造を格納するメモリと、  
前記原版に照射されるレーザ光の照射方向を変更する駆動部と、  
当該駆動部による駆動を、前記メモリに格納された前記パターンの構造に基づいて制御する制御部とを更に有する請求項 1 記載の露光装置。

## 【請求項 15】

波長 20 nm 以下の露光光を使用して前記パターンを前記被露光体に露光することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

## 【請求項 16】

請求項 1 乃至 15 のうちいずれか一項記載の露光装置を用いて被露光体を露光するステップと、

前記露光された被露光体を現像するステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

## 【請求項 17】

パターンを有する原版を洗浄する洗浄装置であって、  
前記原版にレーザ光を照射する照射手段と、  
前記パターンが延びる方向に対応して前記レーザ光の偏光特性を制御する偏光制御手段とを有することを特徴とする洗浄装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

20

## 【0001】

本発明は、一般には露光装置に係り、特に、露光装置の原版（マスク又はレチクル、以下、「マスク」という。）の洗浄に関する。本発明は、例えば、極紫外光（EUV 光）を露光光として使用する露光装置（以下、「EUV 露光装置」という。）に好適である。

## 【背景技術】

## 【0002】

マスクパターンを投影光学系によってウェハ等の被露光体に露光する投影露光装置は従来から使用されており、近年では、高解像度な露光装置が益々要求されている。かかる要請に応える一手段として露光光の短波長化があり、近年では紫外線よりも波長が短い 10 nm ~ 20 nm 程度の波長の EUV 光を用いた EUV 露光装置が提案されている。

30

## 【0003】

EUV 光の波長域においては物質による光の吸収率が高くなるため、EUV 露光装置は屈折部材を使用しない反射光学系を一般に用いる。このため、屈折光学系に使用されるようなペリクルをマスクに搭載することができなくなり、マスクパターン面は剥き出しとなる。ここで、「ペリクル」とは、マスクパターン面を覆う透過率の高い薄膜であり、微粒子（パーティクル）がパターン面に付着することを防止する。微粒子は、例えば、マスクを駆動する駆動部や残留気体に起因する。マスクパターン面に微粒子が付着すると転写不良（欠陥）を引き起こすため、微粒子をマスクパターン面から除去する必要となる。

## 【0004】

この点、熱泳動や静電気を用いて微粒子の付着を低減させる方法が知られているが（例えば、非特許文献 1 及び 2 を参照のこと）、かかる方法は付着の低減に止まり微粒子の完全な除去には至らない。そこで、露光装置外で化学的洗浄を行って微粒子を除去する方法やパルスレーザ光を照射して微粒子を除去する方法が提案されている（例えば、特許文献 1 及び 2 を参照のこと）。

40

## 【0005】

その他の従来技術としては、非特許文献 3 乃至 5 がある。

## 【特許文献 1】特開平 1 - 12526 号公報

## 【特許文献 2】特開平 2 - 86128 号公報

【非特許文献 1】L E Klebanoff, D E Dedrick, D J Rader and E W Beyer, "Verification studies of the

50

rmophoretic protection of EUV masks", Emerging Lithographic Technologies VI, SPIE Proceedings Vol. 4688, 2002

【非特許文献2】Roel Moors, G. - J. Heerens, "Electrostatic mask protection for extreme ultraviolet lithography", Journal of Vacuum Science & Technology B, Vol. 20, No. 1, 316 - 320, 2002

【非特許文献3】Scime et. al., Extreme-Ultraviolet Polarization and filtering with gold transmission gratings, Applied Optics, Vol. 34, No. 4, 1 Feb. 1995 10

【非特許文献4】Laser-assisted removal of particles on silicon wafers, pp3838 - 3842

【非特許文献5】「エキシマレーザを利用したシリコンウエハ表面のクリーニング」、P 80 - 83

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、従来の微粒子除去方法には、次のような課題がある。即ち、化学的洗浄は露光装置内では実施できないため、露光装置外で洗浄した後に露光装置内に搬入する過程で微粒子が再付着する。また、特許文献1及び2に記載されたパルスレーザ光の照射方法は微粒子を効率よく除去できない。これは、EUV露光装置用のマスクパターンの幅がパルスレーザ光の波長以下と微小であるために、光の偏光方向によってはパターンの溝まで光が到達しないことによる。なお、波長以下の幅のパターンに光が入射する場合に、パターン溝の奥の部分に到達する光の強度には偏光依存性があることは特許文献3に記載されている。例えば、溝に垂直な電界成分を有する光は溝の深くまで入射可能であるが、溝に平行な電界成分を有する光は、溝の深くまで入射することができない。 20

【0007】

そこで、本発明は、マスク面に付着した微粒子を露光装置内で効率よく洗浄可能な露光装置を提供する。 30

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面としての露光装置は、原版のパターンを被露光体に露光する露光装置であって、前記原版の洗浄を行う洗浄装置を有し、当該洗浄装置は、前記原版にレーザ光を照射する照射手段と、前記パターンが延びる方向に対応して前記レーザ光の偏光方向を制御する偏光制御手段とを有することを特徴とする。

【0009】

上述の露光装置を用いて被露光体を露光するステップと、前記露光された前記被露光体を現像するステップとを有するデバイス製造方法も本発明の別の側面を構成する。デバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。 40

【0010】

また、本発明の別の側面としての洗浄装置は、パターンを有する原版を洗浄する洗浄装置であって、前記原版にレーザ光を照射する照射手段と、前記パターンが延びる方向に対応して前記レーザ光の偏光特性を制御する偏光制御手段とを有することを特徴とする。

【0011】

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

## 【発明の効果】

## 【0012】

本発明によれば、マスク面に付着した微粒子を露光装置内で効率よく洗浄可能な露光装置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】

## 【0013】

以下、添付図面を参照して、本発明の一側面としての洗浄装置1及びそれを有するEUV露光装置100について説明する。ここで、図1は、洗浄装置1の概略ブロック図である。洗浄装置1は、EUV露光装置100内でマスク120の洗浄を行う機能を有し、図1に示すように、一对の照射装置10a及び10bと、一对の偏光制御装置20a及び20bとを有する。なお、特に断らない限り、参照番号にアルファベットを付したものはアルファベットの無い参照番号によって総括される。

10

## 【0014】

照射装置10は、マスク120にレーザ光Lを照射してマスクパターン面121に付着した微粒子Pを除去する機能を有する。照射装置10aは、光源12a、集光レンズ14a及び走査光学系16aを有し、照射装置10bは、光源12b、集光レンズ14b及び光走査光学系16bを有する。

## 【0015】

幾つかのレーザ光の照射方式が考えられる。第1の照射方式は、マスクパターン面121の一部にレーザ光を照射してそれをマスクパターン面の全面で走査する方式であり、図1はかかる方式を採用している。この他、第2の照射方式として、レーザ光をマスクパターン面121の全面に一括して照射してもよい。第2の照射方式では、走査光学系16aは不要である。第3の照射方式は、マスクパターン面121上の微粒子Pの位置を検出し、当該位置にのみ局所的にレーザ光を照射する方式である。第3の照射方式の場合にも走査光学系16aは不要であるが、微粒子Pの位置を検出する検出装置が必要である。

20

## 【0016】

光源12はパルスレーザ光源であり、レーザ光は、例えば、KrFエキシマレーザ、ArFエキシマレーザ、F<sub>2</sub>レーザ、Nd:YAGレーザ、フェムト秒レーザ、チタンサファイアレーザである。パルスレーザ光は、マスク120の損傷を低減するために好ましい。本実施例のレーザ光の照度は300mJ以下に設定される。300mJ以下としたのは、マスク120の変形その他の損傷を防止するためである。

30

## 【0017】

ある実施例では、光源12a及び12bが射出するレーザ光は同一の波長、パルス幅及び照度を有するが、別の実施例では、これらのうち一又は複数が異なる。光源12a及び12bが同一のレーザ光を生成する場合は、異なる方向に延びるパターンに対応した偏光方向でレーザ光を照射する場合に好適である。光源12a及び12bが異なる種類のレーザ光を生成する場合は、複数の種類や大きさの微粒子Pを除去する場合に好適である。複数の種類の微粒子P（例えば、金属粒子や非金属粒子）は、異なる波長のレーザ光によって洗浄可能な場合があるし、異なる大きさの微粒子Pは異なる照度のレーザ光によって洗浄可能な場合があるからである。もちろんこれらは組み合わせられてもよい。従って、光源の数は2つ以上であってもよい。また、図2を参照して後述されるように、光源の数は1であってもよい。

40

## 【0018】

集光レンズ14は、レーザ光を集光又は発散する。走査光学系16は、ガルバノミラー等から構成され、マスク120の一部に照射されたレーザ光をマスク120の全面で走査する。

## 【0019】

マスク120は、第1の方向に延びる第1のパターンと、第1の方向とは異なる第2の方向に延びる第2のパターンをマスクパターン面121に含み、典型的には、第1の方向と第2の方向とは直交する。照射装置10aは、第1のパターンにレーザ光を照射し、照

50

射装置 10 b は第 2 のパターンにレーザ光を照射してもよい。別の実施例では、異なる種類や大きさの微粒子 P を除去するために、照射装置 10 a と照射装置 10 b は同一方向のパターンに照射される。

#### 【0020】

直交するパターンに対応して直交する偏光方向を有するレーザ光を照射することは、後述するように、各パターンの溝の奥にレーザ光が到達することを可能にする。また、同一の偏光方向を有するレーザ光をある位置にあるパターンに異なる方向から照射することは、平坦でないマスク上に存在する微粒子 P を効率よく除去することを可能にする。この場合の異なる方向とは、典型的には、図 7 を参照して後述するように、対向する方向である。また、走査スリットに直交するパターンが混在する場合には直交する偏光方向を有する 2 種類のレーザ光で独立に走査することによっていずれのパターンからも微粒子 P を効率よく除去することができる。更に、異なる種類のレーザ光を照射すれば異なる種類の微粒子を除去することができる。

10

#### 【0021】

偏光制御装置 20 は、照射装置 10 からのレーザ光の偏光特性を制御する。偏光制御装置 20 a は、偏光特性が制御された光束  $L_1$  を、偏光制御装置 20 b は、照射装置 10 b からの偏光特性が制御された光束  $L_2$  をマスクパターン面 121 に照射する。光束  $L_1$  及び  $L_2$  は、光束 L で総括する場合もある。偏光特性は、偏光度と偏光方向を含む。偏光制御装置 20 が調整する偏光特性は、目的とするパターンが延びる方向及び微粒子の除去に適した偏光特性である。

20

#### 【0022】

このように、照射装置 10 が複数の照射装置 10 a、10 b などを含む場合には、偏光制御装置 20 は、複数の照射装置にそれぞれ対応する複数の偏光制御装置 20 a、20 b などを含む。照射装置 10 の数が 2 つに限定されないために偏光制御装置 20 の数も 2 つに限定されない。

#### 【0023】

この場合、複数の偏光制御装置 20 は、各照射装置 10 から照射されるレーザ光の偏光特性が同一になるように制御してもよいし、異なるように制御してもよい。同一になるように制御した場合、同一パターンに対して異なる方向からレーザ光を照射して平坦でないマスク上に存在する微粒子 P を効率よく除去することができる。異なるように制御する場合は、直交するパターンに異なる偏光方向を有するレーザ光を照射することは、後述するように、各パターンの溝の奥にレーザ光が到達することを可能にする。

30

#### 【0024】

別の実施例では、照射装置 10 と偏光制御装置 20 の数は一つずつ設けられる。この場合、偏光制御装置 20 は、照射装置 10 の偏光特性をある偏光特性に制御して一方向に走査した後で、その偏光特性を 90 度変更する（切り替える）。90 度変更した偏光特性で再度同一方向に走査することによって、走査スリットが直交するパターン列を含む場合にどちらのパターン列からも微粒子を効率良く除去することができる。

#### 【0025】

以下、図 2 を参照して、洗浄装置 1 の変形例としての洗浄装置 1 A について説明する。ここで、図 2 は、洗浄装置 1 A の概略ブロック図である。なお、図 1 と同一部材には同一の参照符号を付して説明は省略する。洗浄装置 1 A は、一の光源 12 a のみを利用する点で洗浄装置 1 と異なる。洗浄装置 1 A は、EUV 露光装置 100 内でマスク 120 の洗浄を行う機能を有し、図 1 に示すように、一对の照射装置 10 c 及び 10 d と、一对の偏光制御装置 20 a 及び 20 b とを有する。

40

#### 【0026】

照射装置 10 c は、光源 12 a、ビームスプリッタ 13 a、集光レンズ 14 a、ミラー 15 a 及び走査光学系 16 a を有する。照射装置 10 b は、ビームスプリッタ 13 b、集光レンズ 14 b、ミラー 15 b 及び光走査光学系 16 b を有する。本実施例は、光源 12 a からのレーザ光を、ビームスプリッタ 13 a、ミラー 15 a 及び 15 b、ビームスプリ

50

ッタ 13b を介して、照射装置 10b に引き回しており、光源の数を洗浄装置 1 よりも低減してコストダウンを図っている。また、洗浄装置 1 では、光源 12a 及び 12b を異なる種類（波長）のレーザ光源にすることができる。一方、洗浄装置 1A は同一のレーザ光源を使用する。このため、照射装置 10c から照射され、偏光制御装置 20a が偏光制御したレーザ光  $L_3$  と、照射装置 10d から照射され、偏光制御装置 20b が偏光制御したレーザ光  $L_4$  の波長は等しくなる。

#### 【0027】

以下、洗浄装置 1 及び 1A の動作について説明する。まず、光源 12 から発生するレーザ光は集光レンズ 14 で集光又は発散された後、走査光学系 16 により走査される。より詳細には、洗浄装置 1 では、照明装置 10a 及び 10b では、光源 12a 及び 12b から発生するレーザ光が集光レンズ 14a 及び 14b に導入される。これに対して、洗浄装置 1A の照明装置 10a では、光源 12a から発生するレーザ光はビームスプリッタ 13a を透過して集光レンズ 14a に入射する。また、洗浄装置 1A の照明装置 10b には、光源 12a から発生するレーザ光が、ビームスプリッタ 13a で反射され、ミラー 15a 及び 15b を介して導入され、集光レンズ 14b に入射する。

10

#### 【0028】

照射装置 10 から射出したレーザ光は偏光制御装置 20 によってその偏光特性が制御された後、マスクパターンに光束  $L_1$  及び  $L_2$ （又は  $L_3$  及び  $L_4$ ）として照射される。光束  $L_1$  及び  $L_2$ （又は  $L_3$  及び  $L_4$ ）が照射されたマスク 120 の熱膨張により微粒子 P は、マスクパターン面 121 から良好に除去される。また、走査光学系 16 が、マスク 120 の全面で光束  $L_1$  及び  $L_2$ （又は  $L_3$  及び  $L_4$ ）を走査するので、マスク全面で微粒子 P を除去することができる。洗浄装置 1 を用いて走査露光中に、露光に用いるスリット幅以外の領域に存在する微粒子 P を予め除去しておけば、露光を中断せずに、パターン欠陥の原因となる微粒子 P を除去することができる。

20

#### 【0029】

以下、レーザ光 L の照度について説明する。従来、パルス幅の小さなレーザで低照度で微粒子を除去可能であることが知られている。例えば、非特許文献 5 の P 81 及び図 3 に従来例が示されている。また、P 80 に記載の KrF エキシマレーザを用いて、 $300 \text{ mJ/cm}^2 \cdot \text{pulse}$  の照度でレーザ照射すると、 $0.3 \mu\text{m}$  の PSS (polystyrene latex) 標準粒子を 95% 以上の除去率で Si ウエハ上より良好に除去

30

#### 【0030】

ここで、その KrF エキシマレーザのパルス幅は  $30 \text{ ns}$  である（例えば、非特許文献 4 の P 3838 を参照のこと。）。一方、KrF エキシマレーザの照度  $300 \sim 340 \text{ mJ/cm}^2$  にてシリコンウエハ表面に光損傷が現れることが知られている（例えば、非特許文献 4 の p 3842 及び図 2 と非特許文献 5 の P 83 を参照のこと。）。更に、Mo/Si の多層膜から構成される EUV マスク表面において光損傷が発生し始めるレーザの照度も、Si ウエハと同程度の照度  $300 \sim 340 \text{ mJ/cm}^2$  からとされている。

#### 【0031】

本発明者らは、パルス幅  $7 \text{ nm}$  の KrF エキシマレーザ（ラムダ・フィジックス社製）を用いて、照度  $40 \text{ mJ/cm}^2 \cdot \text{pulse}$  の低照度で  $0.3 \mu\text{m}$  の PSS 標準粒子を 95% 以上の除去率で Si ウエハ上より良好に除去できることを実験的に確認している。即ち、Si ウエハ及び EUV マスク表面において光損傷の発生し始めるレーザ照度  $300 \text{ mJ/cm}^2$  に比較して十分に余裕を持った低照度にて良好に微粒子を除去することができる。

40

#### 【0032】

理論的に、同照度のレーザ照射において、パルス幅の小さなレーザが、より小さな照度で微粒子を除去可能である。例えば、非特許文献 4 の P 3840 の式（4）を参照のこと。本実施例の光源 12 は、例えば、レーザ光として、約  $10 \text{ ns}$  以下のパルス幅と約  $50 \text{ mJ}$  以下の照度を有する KrF エキシマレーザや、約  $100 \text{ ps}$  のパルス幅と約  $40 \text{ mJ}$

50

の照度を有するチタンサファイアレーザを使用することができる。

【0033】

以下、図3乃至図6を参照して、偏光特性が制御されたレーザ光Lによる微粒子Pの除去の機構をより詳細に説明する。ここで、図3は、微粒子 $P_1$ 及び $P_2$ が付着したマスク120の概略断面図である。図4は、図3に示すマスク120がレーザ光Lの照射によって加熱された後の様子を示す概略断面図である。

【0034】

図3に示すように、マスク120は、一般に、基板122、多層膜123、キャッピング層124、吸収体125をこの順番に積層する反射型マスクである。吸収体125は、露光するパターンの幅（デザインルール）の投影光学系の倍率の逆数分（例えば、4倍）の幅にパターンニングされ、マスクパターンを形成する。微粒子 $P_1$ はパターンニングされた吸収体125の奥のキャッピング層124の表面に付着し、微粒子 $P_2$ は吸収体125の上に付着している。

【0035】

レーザ光Lの照射により、マスク120の構成要素122乃至125は図4のハッチングに示すように熱膨張し、微粒子 $P_1$ 及び $P_2$ は矢印に示すようにマスク120から離脱する。

【0036】

一方、回路素子の微細化に伴い、デザインルールはウェハ上で45nm以下、例えば、32nmや22nmと細くなる。従って、1/4倍のEUV露光装置に使用されるマスクパターンの幅は180nm以下になり、例えば、128nmや88nmと細くなる。この結果、パルスレーザ光照射による微粒子除去手段に用いられる光源の波長248nm、193nm、157nmと同程度若しくはそれ以下になってきた。

【0037】

また、非特許文献3に開示されているように、波長と同程度若しくはそれ以下の幅のパターンに入射する光がパターンの溝の奥に到達できるかどうかは偏光に依存する。例えば、図5(a)に示すように、パターンの溝に垂直な電界成分を有する光は溝の奥に到達可能であるのに対し、図5(b)に示すように、パターンの溝に平行な電界成分を有する光は、溝の奥に到達することができない。ここで、図5(a)は、パターン方向に対して垂直な方向に偏光方向を有する光をパターンに照射した場合の作用を説明する概略部分斜視図である。図5(b)は、パターン方向に対して平行な方向に偏光方向を有する光をパターンに照射した場合の作用を説明する概略部分斜視図である。

【0038】

偏光特性（特に、偏光方向）を制御しないレーザ光を照射すれば、図3に示す微粒子 $P_1$ の位置（即ち、パターン溝の奥）に必ずしもレーザ光が到達せず、微粒子 $P_1$ を効率良く除去することができない。本実施例は、図1に示すように、光源12自体の偏光状態が円偏光であっても偏光制御装置20が微粒子Pの除去に適した偏光特性を有した光束に変換する。このため、光束Lの偏光方向をパターン方向に対して垂直な偏光方向に制御してパターン面121の溝の奥まで光束Lが到達することを可能にし、効率良い微粒子の除去を実現している。

【0039】

以下、図6を参照して、S偏光 $L_s$ とP偏光 $L_p$ をパターン列に対して斜めから照射した場合について説明する。ここで、図6は、パターン列に対して斜めからS偏光 $L_s$ とP偏光 $L_p$ を照射した様子を示す概略断面図である。図中、丸印で示されたS偏光 $L_s$ はパターン列に対して平行な偏光方向であるため、パターン内の照射位置 $IP_s$ には十分な光量が届かない。従って、S偏光 $L_s$ による微粒子の除去効率は低い。一方、図中、矢印で示されたP偏光 $L_p$ はパターン列に対して垂直な偏光方向であるため、パターン内の照射位置 $IP_p$ には十分な光量が到達する。従って、P偏光 $L_p$ は効率良く微粒子を除去することができる。

【0040】

10

20

30

40

50



以下、図 7 を参照して、マスクへのレーザ光の入射方向について説明する。ここで、図 7 は、微粒子 P が付着したマスクパターン 121 に入射させるべきレーザ光の方向を説明する概略平面図である。キャッピング層 124 は、微粒子 P を除去する被検面の一部であり、マスクパターンは、キャッピング層 124 に形成された Cr 等の吸収体 125 で構成され、有限な厚みを有する。今、一番上の L 字形状のマスクパターンをマスクパターン 125a と呼ぶ。

#### 【0041】

マスク面 121 に垂直な 1 つの平面内に光軸をもつ光束  $L_{11}$  及び  $L_{12}$  のうち、光束  $L_{12}$  は光束  $L_{11}$  よりもマスクパターン 125a によって遮られやすく微粒子 P に到達しにくい。一方、光束  $L_{11}$  はマスクパターン 125a に遮られることなく微粒子 P に到達し易い。同様に、マスク面に垂直な他の平面内に光軸をもつ光束  $L_{13}$  及び  $L_{14}$  のうち、光束  $L_{14}$  は光束  $L_{13}$  よりもマスクパターン 125a によって遮られやすく微粒子 P に到達しにくい。一方、光束  $L_{13}$  はマスクパターン 125a に遮られることなく微粒子 P に到達し易い。このように、マスク面 121 に垂直な 2 つ以上の平面内に光軸を持つ光を対向させて入射させることによって、縦横に配置される回路パターンに遮られることなく微粒子 P に光を照射して除去することができる。更に、光を対向させて入射させることで、微粒子を安定的に捕捉して除去することが可能となる。

#### 【0042】

対向する方向から 2 つのレーザ光を入射する代わりに、一つのレーザ光の入射方向をマスクパターンを考慮して変更してもよい。このような構成は、例えば、図 8 に示す洗浄装置 1B によって実現することができる。洗浄装置 1B は、洗浄装置 1 の構成要素に加えて、ステージ 30a 及び 30b と、制御部 40 と、メモリ 42 とを更に有する。

#### 【0043】

ステージ 30a は、照射装置 10a 及び / 又は偏光制御装置 20a を支持及び駆動する。ステージ 30b は、照射装置 10b 及び / 又は偏光制御装置 20b を支持して二次元方向に駆動する。ステージ 30a 及び 30b は、レーザ光の照射方向を変更する駆動部として機能する。メモリ 42 は、マスクパターンの構造を格納する。これは、半導体回路のマスクであれば、一般に、パターン構造は予め分かっているからである。制御部 40 は、メモリ 42 に格納されたマスクパターンの構造を参照して、マスクパターンにより光が遮られないようにステージ 30a 及び 30b による駆動を制御する。この結果、制御部 40 は、マスクパターンの構造が図 7 に示すような場合に、ステージ 30a を駆動制御して光束  $L_1$  の照射方向を光束  $L_{11}$  の方向を選択し、ステージ 30b を駆動制御して光束  $L_2$  の照射方向を光束  $L_{13}$  の方向を選択することができる。洗浄装置 1B によれば、マスクパターンに遮られない入射方向を有する光をマスク 120 に照射して、効率良く微粒子 P を除去することが可能となる。なお、レーザ光の照射方向を変更する駆動部としては、上述のステージ 30a 及び 30b の他、光学素子で入射方向を変化させたり、複数の方向から入射する光のうち適切な方向のみの光を選択してマスクに照射したりすることも可能である。

#### 【0044】

以下、図 9 を参照して、洗浄装置 1 を搭載した EUV 露光装置 100 について説明する。ここで、図 9 は、EUV 露光装置 100 の概略ブロック図である。EUV 露光装置 100 は、露光用の照明光として EUV 光（例えば、波長 13.4 nm）を用いて、例えば、ステップ・アンド・スキャン方式でマスク 120 に形成された回路パターンを被露光体 140 に露光する投影露光装置である。露光装置 100 は、マスク 120 を洗浄する洗浄装置 1 と、回路パターンが形成されたマスク 120 を照明する照明装置 110 と、マスク 120 を載置するマスクステージ 125 と、照明されたマスクパターンの像を被露光体 140 に投影する投影光学系 130 と、アライメント検出機構 150 と、フォーカス位置検出機構 160 とを有する。

#### 【0045】

EUV 光は、大気に対する透過率が低く、残留ガス（高分子有機ガス）成分との反応に

10

20

30

40

50

よりコンタミを生成してしまうため、少なくとも、EUV光が通る光路中（即ち、光学系全体）は真空雰囲気V Aとなっている。

【0046】

照明装置110は、投影光学系130の円弧状の視野に対する円弧状のEUV光によりマスク120を照明する照明装置であって、EUV光源部112と、照明光学系114とを有する。

【0047】

EUV光源部112は、例えば、レーザープラズマ光源が用いられる。レーザープラズマ光源は、真空中に置かれたターゲット材に高強度のパルスレーザー光を照射し、高温のプラズマを発生させ、これから放射されるEUV光を利用する。ターゲット材としては、金属薄膜、不活性ガス、液滴などが用いられる。放射されるEUV光の平均強度を高くするためには、パルスレーザーの繰り返し周波数は高い方がよく、通常数kHzの繰り返し周波数で運転される。EUV光源部112は、放電プラズマ光源を用いることもできる。

10

【0048】

照明光学系114は、集光ミラー114a、オプティカルインテグレーター114b、アパーチャ114cから構成される。集光ミラー114aは、レーザープラズマ光源からほぼ等方的に放射されるEUV光を集める。オプティカルインテグレーター114bは、マスク120を均一に所定の開口数で照明する。アパーチャ114cは、マスク120と共役な位置に設けられ、マスク120の照明領域を円弧状に限定する。

【0049】

マスク120は、上述の反射型マスクで、マスクステージ125に支持及び駆動されている。マスク120から発せられた回折光は、投影光学系130で反射されて被露光体140上に投影される。マスク120と被露光体140とは光学的に共役の関係に配置される。露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置（スキャナー）であるため、マスク120と被露光体140を同期走査することによりマスク120のパターンを被露光体140上に縮小投影する。

20

【0050】

マスクステージ125は、レチクルチャック125aを介してマスク120を支持して図示しない移動機構に接続されている。マスクステージ125は、当業界周知のいかなる構造をも適用することができる。レチクルチャック125aは、静電チャックであり、静電吸着力によってマスク120を吸着する。

30

【0051】

投影光学系130は、複数の多層膜ミラー130aを用いて、マスクパターンを像面である被露光体140上に縮小投影する。複数のミラー130aの枚数は、4枚乃至6枚程度である。少ない枚数のミラーで広い露光領域を実現するには、光軸から一定の距離だけ離れた細い円弧状の領域（リングフィールド）だけを用いて、マスク120と被露光体140を同時に走査して広い面積を転写する。投影光学系130は、本実施形態では、4枚のミラー130aによって構成され、マスク120のパターンを1/4に縮小して被露光体140上に結像する。

【0052】

ミラー130aは、低熱膨張ガラスやSiC等の剛性及び硬度が高く、熱膨張率が小さい材料からなる基板を研削及び研磨して所定の反射面形状を作成した後、反射面にモリブデンとシリコンなどの多層膜を成膜する。ミラー130aの反射面の形状は、凸面又は凹面の球面又は非球面であり、開口数（NA）を0.1乃至0.2程度である。

40

【0053】

被露光体140は、本実施形態ではウェハであるが、液晶基板その他の被露光体を広く含む。被露光体140には、フォトレジストが塗布されている。

【0054】

ウェハステージ145は、ウェハチャック145aによって被露光体140を支持する。ウェハステージ145は、例えば、リニアモーターを利用して被露光体140を移動す

50

る。ウェハチャック 145a は、粗動ステージ、微動ステージの上に構成され、2つの電極を有する双曲型の静電チャックである。

【0055】

アライメント検出機構 150 は、マスク 120 の位置と投影光学系 130 の光軸との位置関係、及び、被露光体 140 の位置と投影光学系 130 の光軸との位置関係を計測する。また、アライメント検出機構 150 は、マスク 120 の投影像が被露光体 140 の所定の位置に一致するようにマスクステージ 125 及びウェハステージ 145 の位置と角度を設定する。

【0056】

フォーカス位置検出機構 160 は、被露光体 140 面で所謂 Z 方向のフォーカス位置を計測する。フォーカス位置検出機構 160 は、ウェハステージ 145 の位置及び角度を制御することによって、露光中、常時被露光体 140 面を投影光学系 130 による結像位置に保つ。

【0057】

露光に先立って、洗浄装置 1 はマスク 120 を上述のように洗浄する。照度と洗浄時間など、マスクの洗浄に必要な条件を予めシミュレーションや実験によって求めてメモリに格納しておけば、かかるメモリを参照して洗浄の終了を把握できる。もちろん実際に実験的に露光を行って転写不良が解消されたことを確認して洗浄の終了を決定してもよい。洗浄が終了したと判断すれば、照射装置 10 による照射を停止する。

【0058】

洗浄によりマスク 120 は熱膨張するため、露光前に冷却しなければならない。例えば、マスク 120 の母材にゼロデュアなどの超低熱膨張材（例えば、熱膨張率  $0.05 \times 10^{-6} / \text{K}$ ）が用いてレーザ照射によって温度が 1℃ 上昇したとするとマスク 120 全面では約 7.5 nm の熱膨張が発生するからである。かかる冷却手段の一例を図 10 にブロック図で示す。

【0059】

図 10 では、レーザ光 L をミラー 50 を介してマスク 120 に照射している。また、冷却手段は、電子冷却手段 126a 及び 126b と、それに接続されている冷却板 127a 及び 127b とを有する。電子冷却手段 126a 及び 126b はペルチェ素子からなる。本実施例の冷却手段は冷却板 127a 及び 127b による輻射冷却を用いる。冷却板 127a 及び 127b としては熱伝導率の高い部材で、輻射率が 1 に近い大きいものが効果的である。また、冷却板 127a 及び 127b としてはマスク全面を覆う大きさを有して、図 10 に示すようにマスク近傍に配置させる。これにより、輻射冷却で重要となる熱源と冷却板との間の形態係数をほぼ 1 にすることができるため、パルスレーザ照射によって加えられたエネルギーを効率良く回収することができる。なお、冷却手段は本実施例のものに限定されるものではなく、例えば、冷却板に冷却水を流して冷却するなど、いかなる手段でも構わない。

【0060】

露光において、照明装置 110 はマスク 120 を均一に照明し、マスクパターンを投影光学系 130 を介して被露光体 140 に投影する。洗浄装置 1 は、露光装置 100 内で洗浄を行うため、マスク 120 は真空雰囲気 VA の外部雰囲気に晒されない。このため、マスク 120 は外部雰囲気の微粒子から保護される。また、洗浄装置 1 は真空雰囲気 VA においてマスクステージ 125 や残留気体からもたらされる微粒子を効率よく除去するために転写不良がなく、高品位な露光を提供することができる。

【0061】

図 11 に、EUV 露光装置 100 の変形例としての EUV 露光装置 100A の概略ブロック図を示す。図 11 は、洗浄装置 1 を真空雰囲気 VA にマスク交換機構（例えば、ゲートバルブ）172 によって接続された真空容器 170 に設けている。EUV 露光装置 100A は、微粒子がマスクに付着していた場合でも、露光前にマスクを洗浄することによって除去することができるため、歩留まりの低下を抑えることができる。EUV 露光装置 1

10

20

30

40

50

00Aでも、洗浄装置1は、真空雰囲気が維持された露光装置内に設けられ、外部の雰囲気の影響を受けない。EUV露光装置100Aは、図1に示すEUV露光装置のように真空雰囲気VA内に洗浄装置1を設ける空間手的な余裕がない場合に好適である。

#### 【0062】

次に、図10及び図11を参照して、露光装置100を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図10は、半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、あるいは液晶パネルやCCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。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を製作する。一方、ステップ3（ウェハ製造）では、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウェハを用いて、リソグラフィ技術によってウェ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によって作製されたウェハを用いて半導体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で作製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。

#### 【0063】

図11は、図10のステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着等によって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウェハに感光材を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置100によってマスクパターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像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。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例の製造方法を用いれば、洗浄装置1により転写不良が減少するので、従来よりも高品位なデバイス（半導体素子、LCD素子、撮像素子（CCDなど）、薄膜磁気ヘッドなど）を製造することができる。また、このように、露光装置100を使用するデバイス製造方法、並びに結果物（中間、最終生成物）としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

#### 【0064】

本実施例の洗浄装置1によれば、露光装置100外でマスク120を洗浄する必要がないためにスループットが向上する。また、洗浄時にマスクパターンを損傷せずに微粒子を除去することができる。

#### 【0065】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態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。例えば、レーザ光の偏光方向は、微粒子除去に効果的な方向であれば必ずしもパターン列に垂直な方向なくてもよい。また、本実施例の洗浄装置は、露光装置のマスクだけでなくインプリントの原版や射出成形の原版などにも適用することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0066】

【図1】本発明の洗浄装置の概略ブロック図である。

【図2】図1に示す洗浄装置の変形例の概略ブロック図である。

【図3】図1又は図2に示すマスクから微粒子を除去する様子を説明する概略断面図である。

【図4】図1又は図2に示すマスクから微粒子を除去する様子を説明する概略断面図である。

【図 5】図 1 又は図 2 に示すマスクから微粒子を除去する様子を説明する概略断面図である。

【図 6】図 1 又は図 2 に示すマスクから微粒子を除去する様子を説明する概略断面図である。

【図 7】図 1 又は図 2 に示すマスクから微粒子を除去する様子を説明する概略断面図である。

【図 8】図 1 に示す洗浄装置の更に別の変形例の概略ブロック図である。

【図 9】図 1、2 又は 8 に示す洗浄装置を搭載した露光装置の概略ブロック図である。

【図 10】図 9 に示すマスクの冷却機構を説明するための部分拡大断面図である。

【図 11】図 9 に示す露光装置の変形例の概略ブロック図である。

【図 12】本発明の露光装置を利用するデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

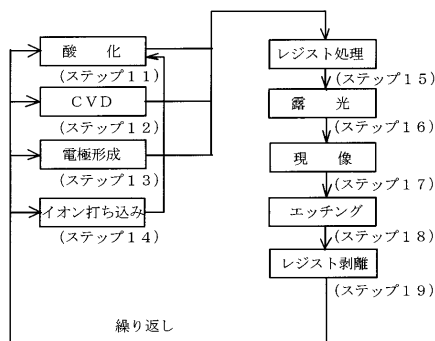
【図 13】図 11 に示すステップ 4 の詳細なフローチャートである。

【符号の説明】

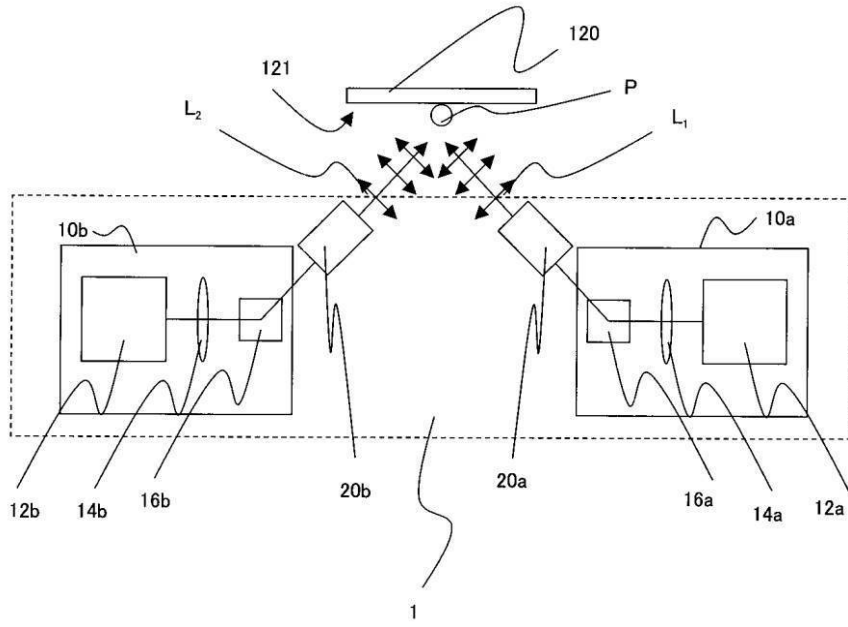
【0067】

1、1A、1B	洗浄装置
10a - 10d	照射装置
20a、20b	偏光制御装置
100、100A	露光装置
120	マスク

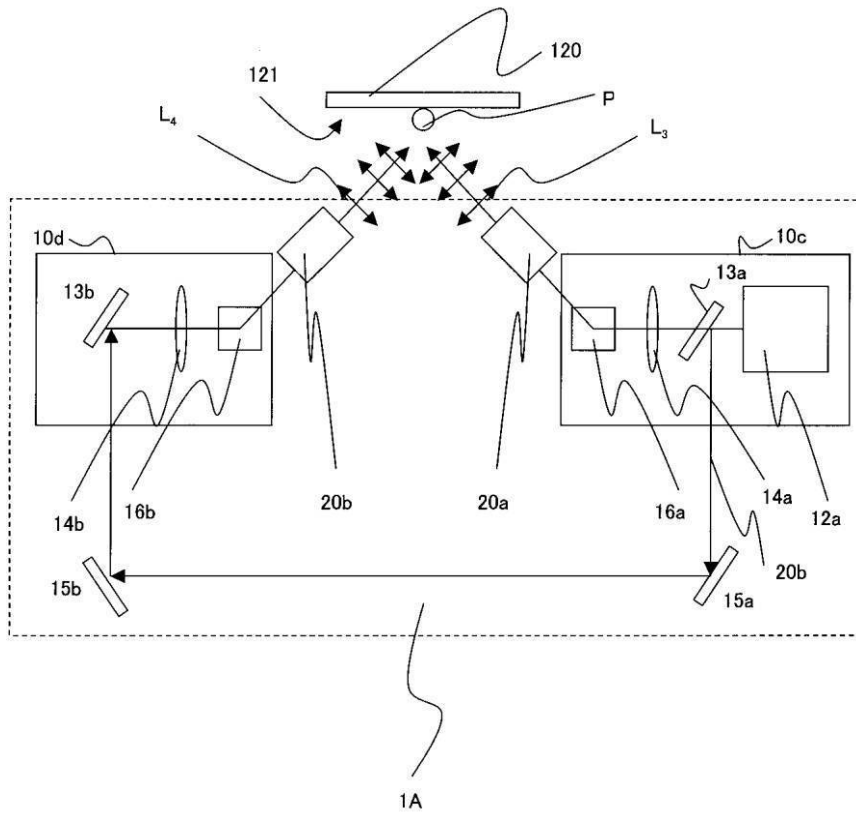
【図 13】



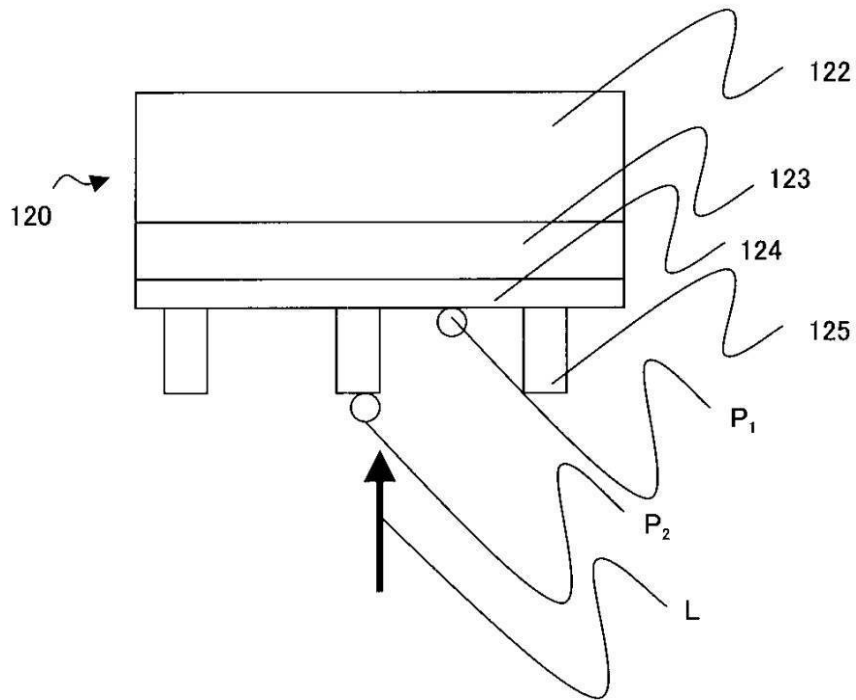
【図 1】



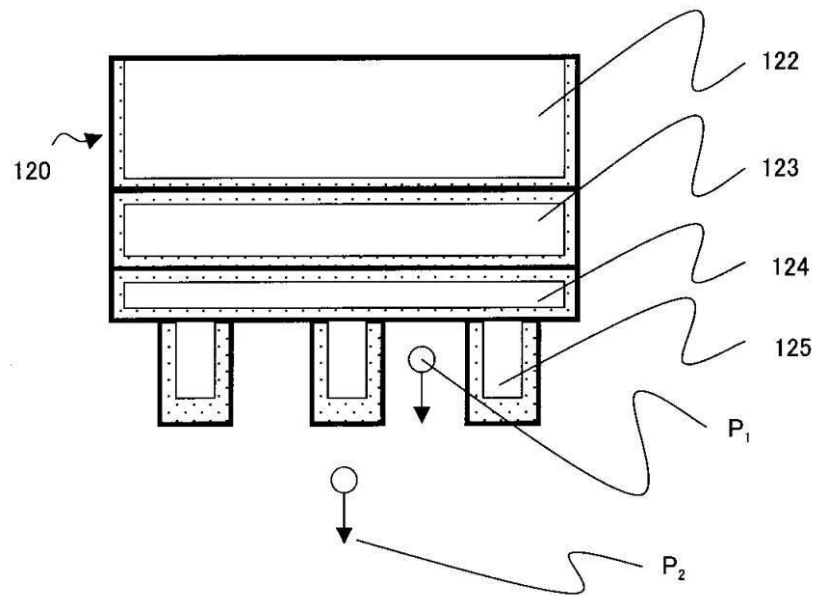
【図 2】



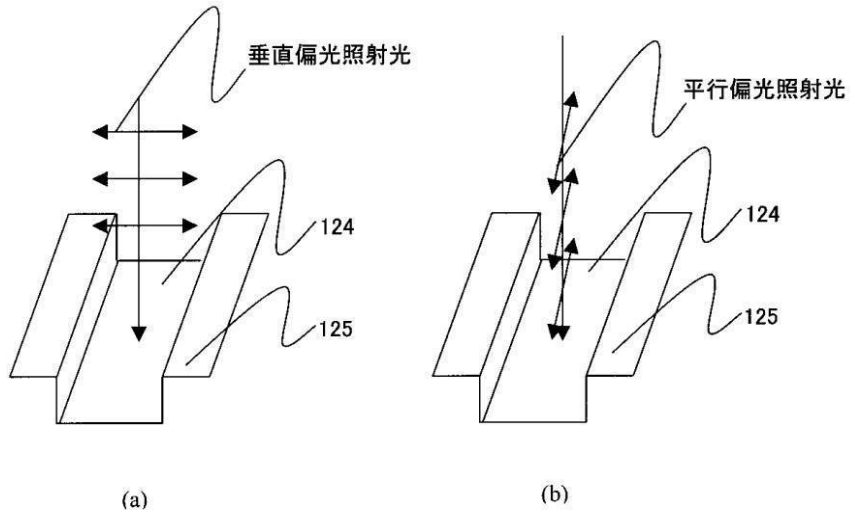
【 図 3 】



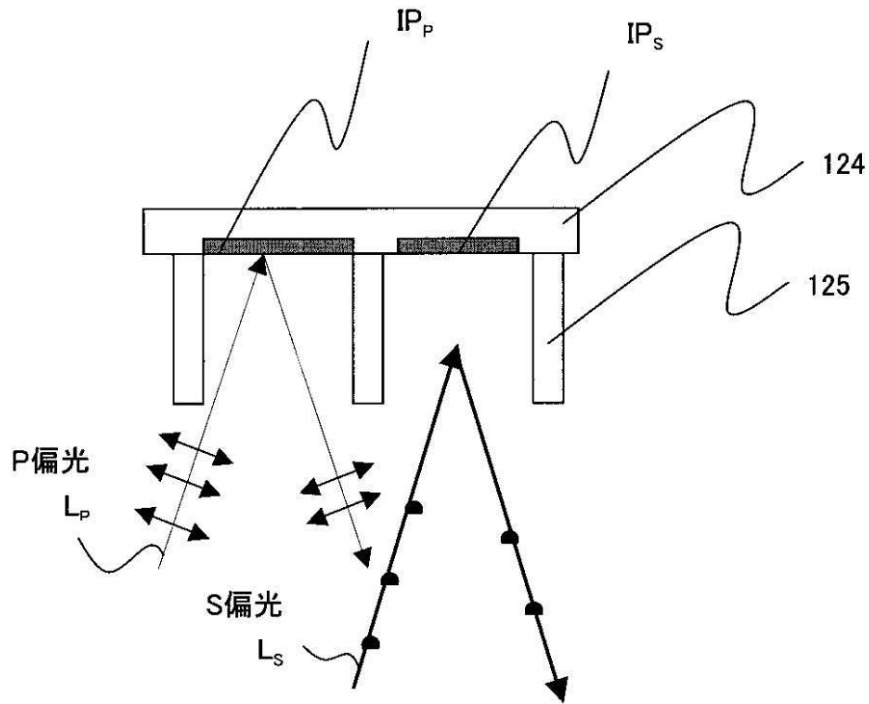
【 図 4 】



【 図 5 】

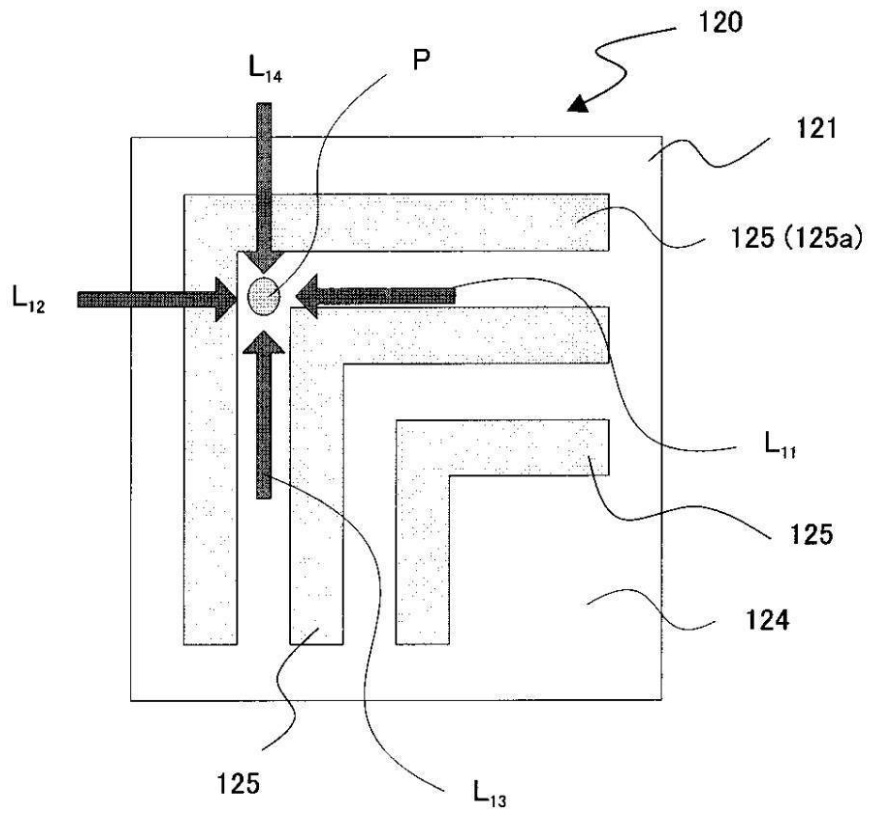


【 図 6 】

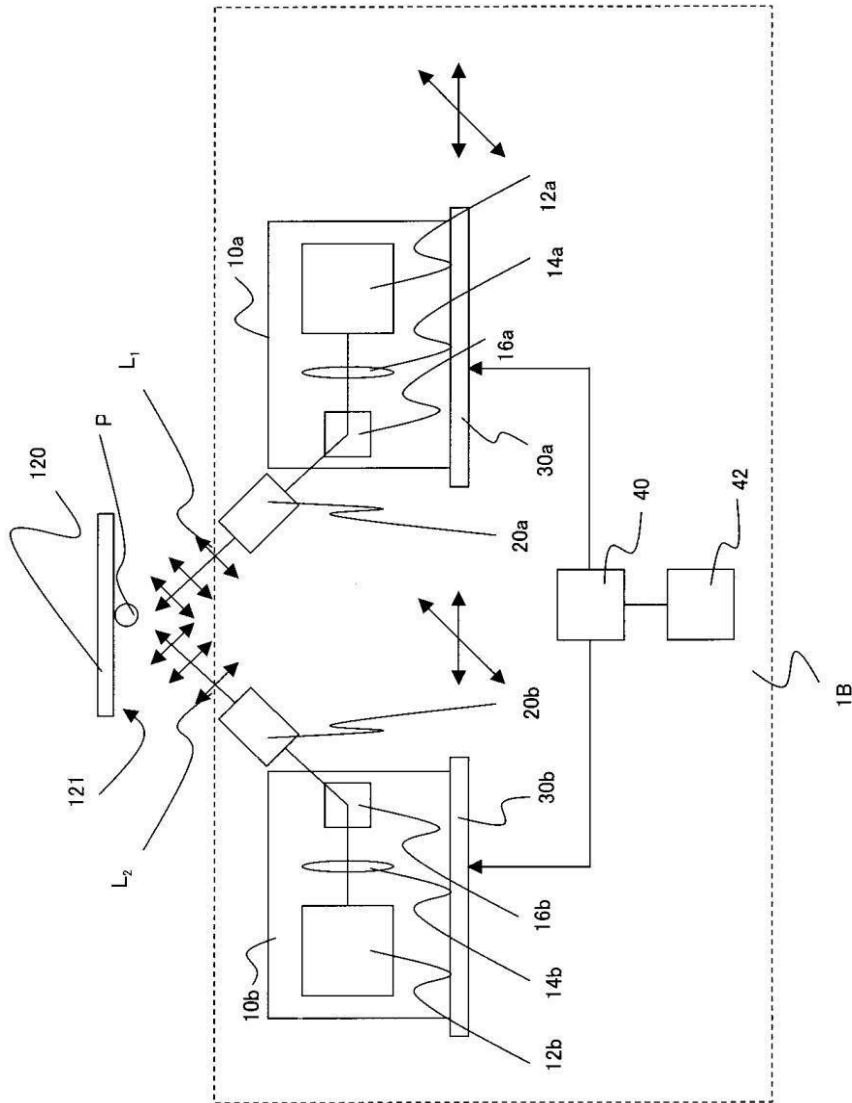




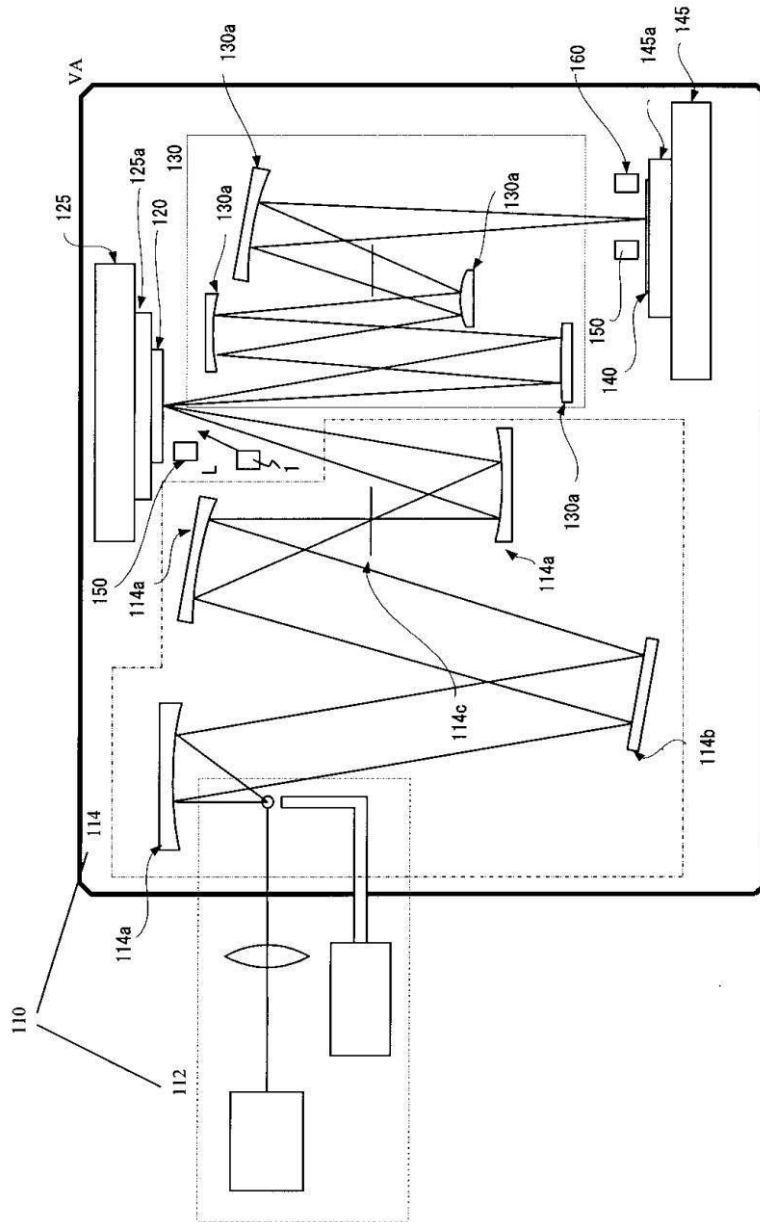
【 図 7 】



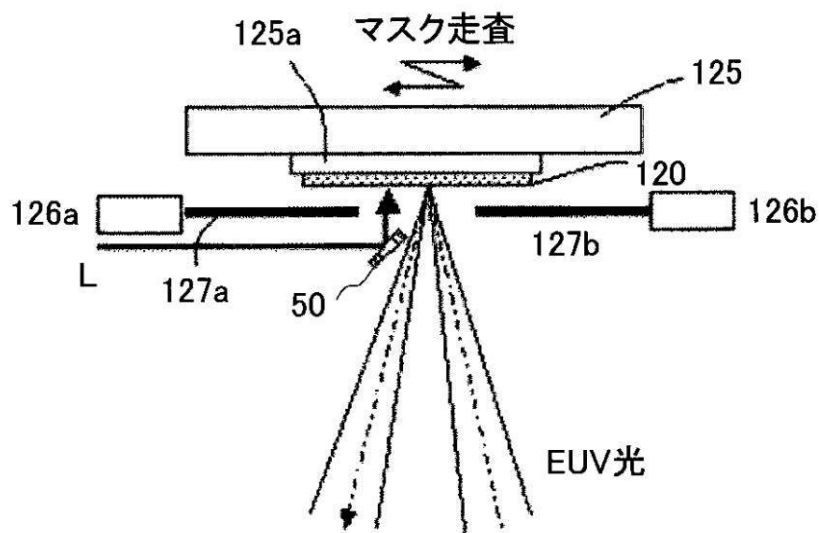
【 図 8 】



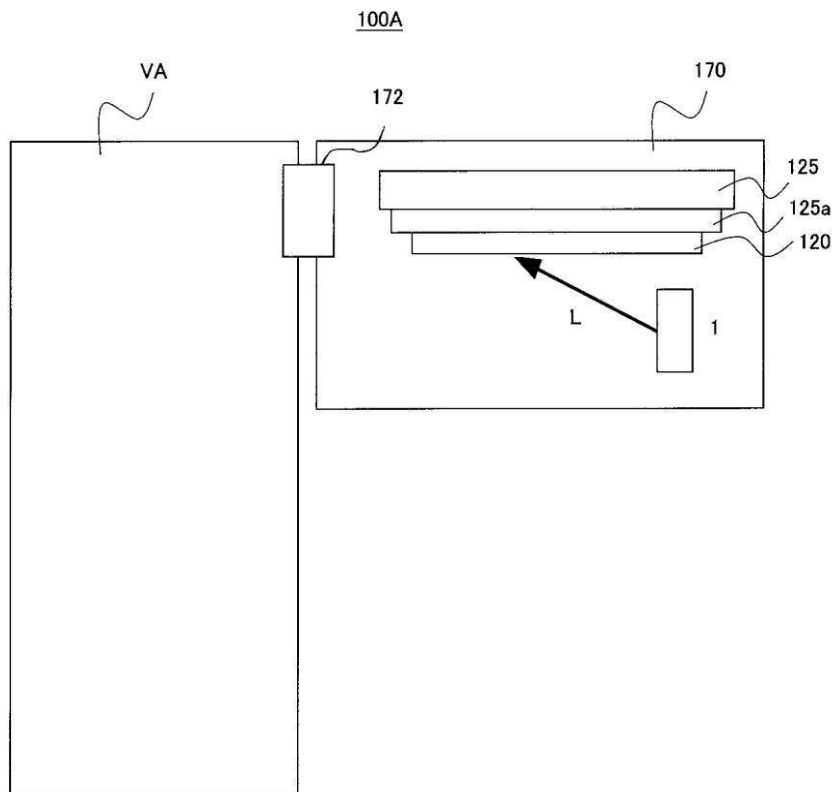
【 図 9 】

100

【図 10】



【図 11】



【 図 1 2 】

