

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 11 月 29 日(29.11.2012)



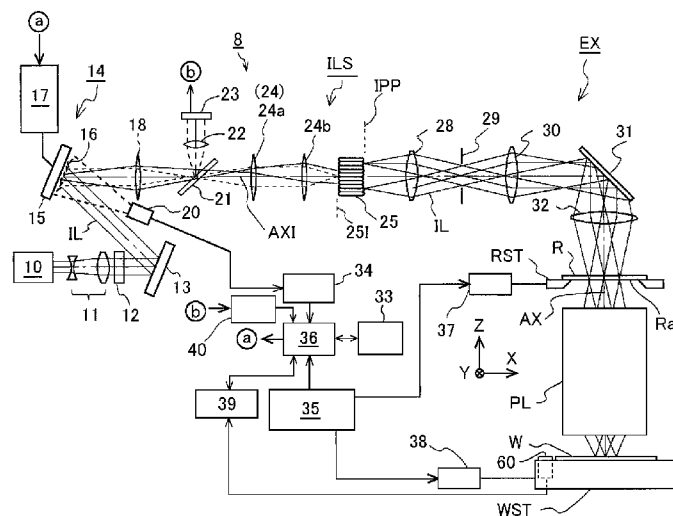
(10) 国際公開番号
WO 2012/160728 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/077731
- (22) 国際出願日: 2011 年 11 月 30 日(30.11.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
61/489,002 2011 年 5 月 23 日(23.05.2011) US
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目 1 2 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 古谷 俊輔(FURUYA Shunsuke) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目 1 2 番 1 号 株式会社ニコン知的財産本部内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大森 聡(OMORI Satoshi); 〒2140014 神奈川県川崎市多摩区登戸 2 0 7 5 番 2 - 5 0 1 大森特許事務所 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告(条約第 21 条(3))

(54) Title: ILLUMINATION METHOD, ILLUMINATION OPTICAL DEVICE, AND EXPOSURE DEVICE

(54) 発明の名称: 照明方法、照明光学装置、及び露光装置

[図1]



(57) Abstract: A method for illuminating a reticle surface using illumination light supplied from a light source includes: setting a drive signal for defining the tilt angle of a plurality of mirror elements of a spatial optical modulator, each of the mirror elements reflecting the illumination light, and illuminating the reticle surface with the illumination light via the plurality of mirror elements; monitoring the temperature of the plurality of mirror elements using a thermo camera; and correcting the drive signal for the mirror elements on the basis of the result of monitoring the temperature. Fluctuation in the light intensity distribution can be minimized when a surface to be illuminated is illuminated using a plurality of optical elements capable of controlling the state of incident light.

(57) 要約: 光源から供給される照明光を用いてレチクル面を照明する照明方法は、空間光変調器のそれぞれ照明光を反射する複数のミラー要素の傾斜角を規定する駆動信号を設定し、照明光で複数のミラー要素を介してレチクル面を照明することと、複数のミラー要素の温度をサーモカメラでモニタすることと、その温度のモニタ結果に基づいてミラー要素の駆動信号を補正することとを含む。入射する光の状態を制御可能な複数の光学要素を用いて被照射面を照明する場合に、光強度分布の変動を抑制できる。

ことと、その温度のモニタ結果に基づいてミラー要素の駆動信号を補正することとを含む。入射する光の状態を制御可能な複数の光学要素を用いて被照射面を照明する場合に、光強度分布の変動を抑制できる。

明 細 書

発明の名称： 照明方法、照明光学装置、及び露光装置

技術分野

[0001] 本発明は、被照射面を照明する照明技術、その照明技術を用いる露光技術、及びこの露光技術を用いるデバイス製造技術に関する。

背景技術

[0002] 例えば半導体素子等の電子デバイス（マイクロデバイス）を製造するためのリソグラフィー工程で使用されるステッパ又はスキャニングステッパ等の露光装置は、レチクル（マスク）を様々な照明条件で、かつ均一な照度分布で照明するために照明光学装置を備えている。従来の照明光学装置は、照明条件に応じて、照明光学系の瞳面（射出瞳と共役な面）での光強度分布を円形領域、輪帯状の領域、又は複数極の領域等で強度が大きくなる分布に設定するために、交換可能な複数の回折光学素子(Diffractive Optical Element)を有する強度分布設定光学系を備えていた。

[0003] 最近では、照明光学系の瞳面上での光強度分布の形状（以下、瞳形状という。）をレチクルのパターンに応じて様々な分布に最適化できるように、傾斜角可変の多数の微小なミラー要素を有する可動マルチミラー方式の空間光変調器(spatial light modulator)を用いる強度分布設定光学系を備えた照明光学装置も提案されている（例えば特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許出願公開第2003/0038225号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 従来の空間光変調器を有する照明光学装置を使用して露光を継続すると、空間光変調器の多数のミラー要素を介して設定される瞳形状が次第に変動することが分かった。これは、空間光変調器の各ミラー要素の駆動機構の剛性

がこのミラー要素に対する露光用の照明光（露光光）の照射によって変化するためであると考えられる。

本発明は、このような事情に鑑み、入射する光の状態を制御可能な複数の光学要素を用いて被照射面を照明する場合に、光強度分布の変動を抑制することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の第1の態様によれば、供給される光を用いて被照射面を照明する照明方法が提供される。この照明方法は、並列に配置されてそれぞれに入射する光の状態を制御可能な複数の光学要素のその入射する光の状態に対する制御量を設定することと、その供給される光でその複数の光学要素を介してその被照射面を照明することと、その複数の光学要素の温度情報をモニタすることと、その複数の光学要素の温度情報のモニタ結果に基づいてその複数の光学要素のその制御量を補正することと、を含むものである。

[0007] また、第2の態様によれば、供給される光を用いて被照射面を照明する照明方法が提供される。この照明方法は、それぞれに入射する光の状態を制御可能な複数の光学要素をそれぞれ複数の光学要素を含む複数のブロックに分け、その複数のブロックの配列を記憶することと、その複数のブロック毎に、その複数の光学要素のその入射する光の状態に対する制御量を設定して、その供給される光でその複数の光学要素を介してその被照射面を照明することと、その複数のブロック毎にその複数の光学要素のその制御量を補正することと、を含むものである。

[0008] また、第3の態様によれば、光源からの光を用いて被照射面を照明する照明光学装置が提供される。この照明光学装置は、その光源からの光の光路に配置されて、それぞれに入射する光の状態を制御可能な複数の光学要素を有する空間光変調器と、その複数の光学要素の温度情報をモニタする温度検出装置と、その複数の光学要素のその入射する光の状態に対する制御量を設定するとともに、その温度検出装置でモニタされるその複数の光学要素の温度情報に基づいてその駆動量を補正する制御系と、を備えるものである。

[0009] また、第４の態様によれば、露光光でパターンを照明し、その露光光でそのパターン及び投影光学系を介して基板を露光する露光装置において、本発明の照明光学装置を備え、その照明光学装置からの光をその露光光として用いる露光装置が提供される。

また、第５の態様によれば、本発明の露光装置を用いて基板上に感光層のパターンを形成することと、そのパターンが形成されたその基板を処理することと、を含むデバイス製造方法が提供される。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、複数の光学要素を介して被照射面を照明するときに、光学要素毎に又は複数のに分けられたブロック毎に複数の光学要素の入射する光に対する制御量を補正している。このとき、例えば光学要素若しくはブロック毎の温度情報、又は入射する光の積算エネルギー等に応じてその制御量を補正することによって、複数の光学要素を用いて被照射面を照明する場合に、光強度分布の変動を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図１]第１の実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

[図２]（Ａ）は図１中の空間光変調器のミラー要素アレイの一部を示す拡大斜視図、（Ｂ）は図２（Ａ）中の一つのミラー要素の駆動機構を示す斜視図である。

[図３]図１中の瞳モニタを示す一部を切り欠いた図である。

[図４]（Ａ）は温度が低いときのミラー要素を示す拡大図、（Ｂ）は温度が高いときのミラー要素を示す拡大図、（Ｃ）はミラー要素の温度と駆動信号と傾斜角との関係を示す図である。

[図５]（Ａ）はミラー要素の温度が低いときの瞳形状を示す図、（Ｂ）はミラー要素の温度が高いときの瞳形状を示す図である。

[図６]温度変化に対するミラー要素の駆動信号の補正量を求める方法の一例を示すフローチャートである。

[図７]照明方法を含む露光方法の一例を示すフローチャートである。

[図8] (A) は露光開始前に複数のミラー要素の温度を計測している状態を示す図、(B) は図8 (A) のミラー要素を含む複数のミラー要素の像を示す図、(C) は露光開始後に複数のミラー要素の温度を計測している状態を示す図、(D) は図8 (C) のミラー要素を含む複数のミラー要素の像を示す図である。

[図9] (A) は複数のブロックに分けられたミラー要素アレイの一部を示す拡大図、(B) は変形例の空間光変調器の一部を示す拡大図である。

[図10] 第2の実施形態の照明方法を含む露光方法の一例を示すフローチャートである。

[図11] 電子デバイスの製造工程の一例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0012] [第1の実施形態]

本発明の第1の実施形態につき図1～図8を参照して説明する。

図1は本実施形態に係る露光装置EXの概略構成を示す。露光装置EXは、一例としてスキャニングステッパ（スキャナー）よりなる走査露光型の露光装置（投影露光装置）である。図1において、露光装置EXは、露光用の照明光（露光光）ILでレチクルR（マスク）のパターン面であるレチクル面Raを照明する照明装置8を備えている。照明装置8は、照明光ILを発生する光源10と、光源10からの照明光ILでレチクル面Raを照明する照明光学系ILSと、照明光学系ILS内の光学部材の動作を制御する照明制御部36と、照明制御部36に接続された記憶装置33とを備えている。さらに、露光装置EXは、レチクルRを移動するレチクルステージRSTと、レチクルRのパターンの像をウエハW（基板）の表面に投影する投影光学系PLと、ウエハWを移動するウエハステージWSTと、装置全体の動作を統括的に制御するコンピュータよりなる主制御系35と、各種制御系等とを備えている。

[0013] 以下、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を設定し、Z軸に垂直な平面内において図1の紙面に平行な方向にX軸を、図1の紙面に垂直な方向に

Y軸を設定して説明する。本実施形態では、露光時のレチクルR及びウエハWの走査方向はY軸に平行な方向（Y方向）である。また、X軸、Y軸、及びZ軸に平行な軸の回りの回転方向（傾斜方向）を θ_x 方向、 θ_y 方向、及び θ_z 方向として説明する。

[0014] 光源10としては、一例として波長193nmの直線偏光のレーザ光をパルス発光するArFエキシマレーザ光源が使用されている。なお、光源10として、波長248nmのレーザ光を供給するKrFエキシマレーザ光源、又は固体レーザ光源（YAGレーザ、半導体レーザ等）から出力されるレーザ光の高調波を発生する高調波発生装置等も使用できる。

[0015] 図1において、不図示の電源部によって制御される光源10から発光されたレーザ光よりなる直線偏光の照明光ILは、ビームエキスパンダ11を含む伝達光学系、偏光方向及び偏光状態を調整するための偏光光学系12、及び光路折り曲げ用のミラー13を経て、空間光変調器（SLM: spatial light modulator）14のそれぞれ直交する2軸の回りの傾斜角が可変の多数の微小なミラー要素16の反射面に所定の小さい入射角で斜めに入射する。空間光変調器14（以下、SLM14という。）は、多数のミラー要素16のアレイと、各ミラー要素16を支持して駆動する駆動基板部15とを有する。各ミラー要素16の傾斜角はSLM制御系17によって制御される。

[0016] 図2（A）は、SLM14の一部を示す拡大斜視図である。図2（A）において、SLM14の駆動基板部15の表面には、ほぼY方向及びZ方向に一定ピッチで近接して配列された多数のミラー要素16のアレイが支持されている。

図2（B）に示すように、一つのミラー要素16の駆動機構は、一例としてミラー要素16を支柱41を介して支持するヒンジ部材43と、支持基板44と、支持基板44上にヒンジ部材43を支持する4つの支柱部材42と、支持基板44上に形成された4つの電極45A、45B、45C、45Dとを備えている。この構成例では、ミラー要素16の裏面と電極45A～45Dとの間の電位差を制御して、電極間に作用する静電力を制御することで

、ヒンジ部材 4 3 を介して可撓的に支持される支柱 4 1 を揺動及び傾斜させることができる。これによって、支柱 4 1 に固設されたミラー要素 1 6 の反射面の直交する 2 軸の回りの傾斜角を所定の可変範囲内で連続的に制御することができる。

[0017] このような空間光変調器としては、例えば欧州特許公開第 7 7 9 5 3 0 号明細書、米国特許第 6, 9 0 0, 9 1 5 号明細書等が開示されているものを使用可能である。なお、ミラー要素 1 6 はほぼ正方形の平面ミラーであるが、その形状は矩形等の任意の形状であってもよい。

[0018] 図 1 において、S L M 1 4 は、照明条件に応じて、多数のミラー要素 1 6 を介して後述のフライアイレンズ 2 5 の入射面 2 5 1 に所定の光強度分布を形成する。一例として、輪帯照明を行う場合には、S L M 1 4 は、照明光 I L を反射してその入射面 2 5 1 に、輪帯状の領域で強度が大きくなる光強度分布を形成する。また、通常照明時には、円形の領域で強度が大きくなる光強度分布を形成し、2 極又は 4 極照明時には、2 箇所又は 4 箇所の領域で強度が大きくなる光強度分布を形成する。主制御系 3 5 が、照明条件の情報を照明制御部 3 6 に供給し、これに応じて照明制御部 3 6 が S L M 制御系 1 7 を介して S L M 1 4 の動作を制御する。

[0019] S L M 1 4 の多数のミラー要素 1 6 で反射された照明光 I L は、照明光学系 I L S の光軸 A X 1 に沿って照明光 I L を平行光に変換する入射光学系 1 8 に入射する。入射光学系 1 8 は、入射面 2 5 1 に形成される光強度分布を入射面 2 5 1 と入射光学系 1 8 との間の面に形成する働きをも有する。入射光学系 1 8 を通過した照明光 I L の一部がビームスプリッター 2 1 によって反射され、反射（分離）された光束が集光レンズ 2 2 を介して光電センサよりなるインテグレータセンサ 2 3 に入射する。インテグレータセンサ 2 3 の検出信号は照明装置 8 の一部である積算部 4 0 に供給され、積算部 4 0 は、その検出信号に所定の演算を施して照明光 I L の照射エネルギーを積算した積算エネルギー（積算光量）を求める。積算エネルギーは照明制御部 3 6 に供給される。なお、インテグレータセンサ 2 3 に照明光 I L から分離した光

束を供給するためのビームスプリッター 21 は、照明光路上の任意の位置に配置可能である。

[0020] ビームスプリッター 21 を透過した照明光 I L は、第 1 レンズ系 24 a 及び第 2 レンズ系 24 b よりなるリレー光学系 24 を介してフライアイレンズ 25 の入射面 25 I に入射する。フライアイレンズ 25 は、多数のレンズエレメントを Z 方向及び Y 方向にほぼ密着するように配置したものであり、フライアイレンズ 25 の射出面が照明光学系 I L S の瞳面（以下、照明瞳面という）I P P（射出瞳と共役な面）となる。フライアイレンズ 25 の射出面（照明瞳面 I P P）には、波面分割によって多数の二次光源（光源像）よりなる面光源が形成される。

[0021] フライアイレンズ 25 は、多数の光学系を並列に配置したものであるため、入射面 25 I における大局的な光強度分布がそのまま射出面である照明瞳面 I P P に伝達される。言い換えると、入射面 25 I に形成される大局的な光強度分布と、二次光源全体の大局的な光強度分布とが高い相関を示す。ここで、入射面 25 I は照明瞳面 I P P と等価な面であり、入射面 25 I に形成される照明光 I L の任意の光強度分布の形状（光強度が所定レベルとなる輪郭線で囲まれた領域の形状）がそのまま照明瞳面 I P P における光強度分布の形状である瞳形状となる。また、入射面 25 I は、レチクル面と光学的にほぼ共役でもある。なお、フライアイレンズ 25 の代わりにマイクロレンズアレイを使用してもよい。また、フライアイレンズとして、例えば米国特許第 6,913,373 号明細書に開示されているシリンドリカルマイクロフライアイレンズを用いてもよい。

[0022] また、照明瞳面 I P P に形成された面光源からの照明光 I L は、第 1 リレーレンズ 28、レチクルブラインド（視野絞り）29、第 2 リレーレンズ 30、光路折り曲げ用のミラー 31、及びコンデンサー光学系 32 を介して、レチクル面 R a の照明領域を均一な照度分布で照明する。ビームエキスパンダ 11 から S L M 14 までの光学部材、入射光学系 18、ビームスプリッター 21、集光レンズ 22、インテグレータセンサ 23、リレー光学系 24、

及びフライアイレンズ25からコンデンサー光学系32までの光学部材を含んで照明光学系1LSが構成されている。照明光学系1LSの各光学部材は、不図示のフレームに支持されている。

[0023] また、照明装置8は、SLM14の多数のミラー要素16のアレイに対向するように不図示のフレームに支持された非接触式の温度計としてのサーモカメラ20（赤外放射温度計）と、サーモカメラ20の検出信号を処理する温度マップ作成装置34とを備えている。サーモカメラ20は、一例としてSLM14の全部のミラー要素16から温度に応じて発せられる赤外線を受光して、全部のミラー要素16の赤外線による像を撮像する。温度マップ作成装置34は、サーモカメラ20からの検出信号を処理して、全部のミラー要素16の温度を個別に求め、各ミラー要素16の位置と温度とを対応させた温度マップを作成し、作成した温度マップを照明制御部36に供給する。なお、サーモカメラ20の代わりに、被検物体から温度に応じて発せられる可視光を検出する光温度計等の任意の放射線温度センサを使用してもよい。さらに、サーモカメラ20の代わりに、放射線温度センサ以外の任意の非接触式の温度計を使用してもよい。

[0024] 照明光学系1LSからの照明光1Lのもとで、レチクルRの照明領域内のパターンは、両側（又はウエハ側に片側）テレセントリックの投影光学系PLを介して、ウエハWの一つのショット領域の露光領域に所定の投影倍率（例えば1/4、1/5等）で投影される。照明瞳面1PPは、投影光学系PLの瞳面（射出瞳と共役な面）と共役である。ウエハWは、リシコン等の基材の表面にフォトレジスト（感光材料）を所定の厚さで塗布したものを含む。

[0025] また、レチクルRはレチクルステージRSTの上面に吸着保持され、レチクルステージRSTは、不図示のレチクルベースの上面（XY平面に平行な面）に、Y方向に一定速度で移動可能に、かつ少なくともX方向、Y方向、及びθz方向に移動可能に載置されている。レチクルステージRSTの2次元的位置は不図示のレーザ干渉計によって計測され、この計測情報に基づ

いて主制御系 35 が、リニアモータ等を含む駆動系 37 を介してレチクルステージ R S T の位置及び速度を制御する。

[0026] 一方、ウエハ W はウエハホルダ（不図示）を介してウエハステージ W S T の上面に吸着保持され、ウエハステージ W S T は、不図示のウエハベースの上面（X Y 平面に平行な面）で X 方向、Y 方向に移動可能であるとともに、Y 方向に一定速度で移動可能である。ウエハステージ W S T の 2 次元的位置は不図示のレーザ干渉計によって計測され、この計測情報に基づいて主制御系 35 が、リニアモータ等を含む駆動系 38 を介してウエハステージ W S T の位置及び速度を制御する。なお、レチクル R 及びウエハ W のアライメントを行うためのアライメント系（不図示）も備えられている。

[0027] また、照明装置 8 は、ウエハステージ W S T の上部に設けられた瞳モニタ 60 と、瞳モニタ 60 から供給される撮像信号を処理する信号処理装置 39 とを備えている。図 3 に示すように、瞳モニタ 60 は、ウエハステージ W S T に固定されたケース 60 c と、ケース 60 c 内に投影光学系 P L 側から順に支持された集光レンズ 60 a 及び C C D 又は C M O S 型の 2 次元の撮像素子 60 b とを有する。集光レンズ 60 a の焦点面に撮像素子 60 b の受光面が配置されている。

[0028] 瞳モニタ 60 を投影光学系 P L の露光領域内に移動することで、撮像素子 60 b の受光面と図 1 の照明瞳面 I P P とは共役になる。この状態で、レチクルステージ R S T にレチクル R の代わりに例えば素通しのガラス基板をロードし、照明光 I L を発生させて撮像素子 60 b の撮像信号を信号処理装置 39 で処理することによって、瞳形状を求めることができる。瞳形状の情報は照明制御部 36 に供給される。なお、ウエハステージ W S T に固定された瞳モニタ 60 の代わりに、ウエハステージ W S T 又はレチクルステージ R S T に設けられる着脱式の瞳モニタを使用することも可能である。

[0029] なお、瞳モニタ 60 の代わりに、或いは瞳モニタ 60 に加えて、例えば照明光学系の射出瞳位置と光学的に共役な位置に配置された光電変換面を有する撮像部を備え、照明光学系による被照射面上の各点に関する瞳強度分布（

各点に入射する光が照明光学系の射出瞳位置に形成する瞳強度分布)をモニタする瞳モニタ系を使用してもよい。このような瞳モニタ系の詳細な構成および作用については、例えば米国特許出願公開第2008/0030707号明細書や米国特許出願公開第2010/0020302号明細書を参照することができる。

[0030] 露光装置EXによるウエハWの露光時に、主制御系35は、レチクルRのパターンに応じて照明条件(瞳形状)を選択し、選択した照明条件を照明制御部36に設定する。照明制御部36は、その照明条件に応じてSLM制御系17を介してSLM14の各ミラー要素16の2軸の回りの傾斜角を個別に制御する。続いて、ウエハステージWSTの移動(ステップ移動)によってウエハWが走査開始位置に移動する。その後、光源10の発光を開始して、レチクルRのパターンの投影光学系PLによる像でウエハWを露光しつつ、レチクルステージRST及びウエハステージWSTを介してレチクルR及びウエハWを投影倍率を速度比として同期して移動することで、ウエハWの一つのショット領域にレチクルRのパターンの像が走査露光される。このようにウエハWのステップ移動と走査露光とを繰り返すステップ・アンド・スキャン動作によって、ウエハWの全部のショット領域にレチクルRのパターンの像が露光される。ここで、走査方向として図1におけるX方向とすることができる。

[0031] さて、このような露光を継続していくと、SLM14の多数のミラー要素16を介してフライアイレンズ25の入射面251に形成される光強度分布、ひいては照明瞳面IPPに形成される瞳形状が次第に変動することが分かった。この変動の要因につき図4(A)、(B)及び図5(A)、(B)を参照して説明する。

まず、照明瞳面IPPにおける目標とする瞳形状は、図5(A)に示すように内半径 r_1 及び外半径 r_2 の輪帯状の領域51(光強度が所定レベル以上になる領域)であるとする。このとき、露光開始直後のSLM14のあるミラー要素16の直交する2軸のうちの第1軸の回りの傾斜角を θ_{ty1} 、

このミラー要素 16 で反射される照明光 I L の反射角を $\phi 1$ とする。その後、露光が継続されると、照明光 I L の照射エネルギーによってミラー要素 16 及びその駆動機構の温度が次第に高くなり、その駆動機構（特に図 2（B）のヒンジ部材 43）の剛性が低下する。そのため、ミラー要素 16 を駆動するための駆動信号（電圧）が同じであると、図 4（B）に示すように、ミラー要素 16 の傾斜角 θ_{ty2} は θ_{ty1} よりも大きくなり、照明光 I L の反射角 $\phi 2$ も $\phi 1$ より大きくなる。同様に、ミラー要素 16 の温度の上昇によって、ミラー要素 16 の直交する 2 軸のうちの第 2 軸の回りの傾斜角も次第に大きくなり、反射光の反射角も大きくなる。

[0032] この結果、瞳形状は、図 5（B）に示すように内半径 r_{1A} 及び外半径 r_{2A} がそれぞれ前の半径 r_1 及び r_2 よりも大きい輪帯状の領域 51A となる。従って、露光を継続した場合に、ミラー要素 16 の制御信号を同じ値に設定しておく、ミラー要素 16 及びその駆動機構の温度が上昇して、瞳形状が次第に大きくなることが分かる。

そこで、本実施形態では、露光中の瞳形状の変動を抑制するために、露光中にサーモカメラ 20 で SLM 14 の各ミラー要素 16 の温度を計測し、この計測結果に基づいて各ミラー要素 16 の駆動信号を補正する。先ず、図 6 のフローチャートを参照して、温度変化に対する各ミラー要素 16 の駆動信号の補正量を求める方法の一例につき説明する。この動作は主制御系 35 によって制御される。以下では、駆動信号はミラー要素 16 の直交する 2 軸のうちの第 1 軸の回りの傾斜角を規定する信号であるとする。ミラー要素 16 の第 2 軸の回りの傾斜角を規定する駆動信号の補正量も同様に求められる。

[0033] 図 6 のステップ 102 において、一例として輪帯照明を行うものとして、照明制御部 36 は、SLM 制御系 17 に輪帯照明用の各ミラー要素 16 の傾斜角（角度）の情報を供給する。これに応じて、SLM 制御系 17 では、その傾斜角に応じた駆動信号 DS（電圧（V））を SLM 14 の各ミラー要素 16 の駆動機構に設定する。

露光開始前の各ミラー要素 16 の温度 T を例えば雰囲気温度と同じ T_a

とする。このとき、図4（C）に示すように、各ミラー要素16の駆動信号DS（V）と、これに対応する傾斜角 θ_{ty} との関係は直線C1で表される。直線C1の係数の情報は記憶装置33に記憶されている。例えばあるミラー要素16の傾斜角を θ_{ty1} に設定するために、その駆動信号はDS1に設定される。

[0034] 次のステップ104において、レチクルステージRSTに例えば素通しのガラス基板をロードし、ウエハステージWSTを駆動して瞳モニタ60の受光面を投影光学系PLの露光領域内に移動する。次のステップ106において、光源10からの照明光ILの発光を開始させる。次のステップ108において、サーモカメラ20でSLM14の全部のミラー要素16のアレイの像を撮像し、温度マップ作成装置34で全部のミラー要素16の個別の温度（温度マップ）を求め、求めた温度マップを照明制御部36に供給する。次のステップ110において、瞳モニタ60によって照明瞳面IPPにおける光強度分布の像を撮像し、信号処理装置39で瞳形状を求め、求めた瞳形状の情報を照明制御部36に供給する。なお、ステップ108及び110はほぼ同時に実行することが好ましい。

[0035] 次のステップ112で所定時間（例えば1枚のウエハの露光時間程度）経過したかどうかを確認し、その所定時間経過した場合にはステップ114に移行する。ステップ114で計測を続行する場合には、ステップ108に戻り、サーモカメラ20を用いてSLM14の全部のミラー要素16の個別の温度を求め、次のステップ110において、瞳モニタ60を用いて瞳形状を求める。そして、ミラー要素16の温度が飽和温度程度になるまで、ステップ108及びステップ110を繰り返す。

[0036] その後、ステップ114で計測が終了したときには、動作はステップ116に移行して、照明光ILの発光を停止する。次のステップ118において、照明制御部36は、ステップ108で求められた各ミラー要素16の温度と、ステップ110で求められた瞳形状とを用いて、各ミラー要素16の傾斜角 θ_{ty} に対応する駆動信号DSの温度変化に対する補正量を算出する。

この場合、図4（C）において、あるミラー要素16の温度 T は、初期値 T_a から次第に T_b 及び T_c へと上昇する。そして、ミラー要素16の温度が上昇すると、同じ駆動信号 DS であっても、傾斜角 θ_{ty} は大きくなるため、駆動信号 DS と傾斜角 θ_{ty} との関係を表す直線 C_1 は、温度 T が T_b 、 T_c と高くなると、直線 C_2 及び C_3 に示すように傾きが大きくなる。

[0037] 一例として、計測された瞳形状から駆動信号が DS_1 であるときに、温度 T_b 、 T_c に対応する傾斜角 θ_{ty2} 、 θ_{ty3} を求めることで、照明制御部36は、直線 C_2 及び C_3 を求めることができる。直線 C_2 、 C_3 が求められると、ミラー要素16の温度 T が T_a から次第に T_b 、 T_c に変化する場合に、ミラー要素16の傾斜角 θ_{ty} が変化しないように維持しておくための駆動信号 DS の補正量 $(-\alpha)$ 及び $(-\beta)$ を求めることができる。従って、駆動信号 DS とミラー要素16の温度 T とに対応して駆動信号 DS の補正量 ΔDS を求めることができる。補正量 ΔDS は、例えば所定量ずつ変化する駆動信号 DS 及び所定量ずつ変化する温度 T に対して補正用マップ（又はテーブル）の形で記憶装置33に記憶される。その後、ミラー要素16の駆動信号 DS 及び温度 T に応じて補正量 ΔDS を求める場合には、例えばそのマップ中のデータの補間を行ってもよい。これによって、各ミラー要素16の温度が任意の温度のときに、その補正用マップを用いて各ミラー要素16の駆動信号の補正量を求めることができる。

[0038] 次に、本実施形態の露光装置 EX による照明方法を含む露光方法の一例につき、図7のフローチャートを参照して説明する。この動作は主制御系35によって制御される。

まず、図7のステップ120において、レチクル R が図1のレチクルステージ RST にロードされる。次のステップ122において、主制御系35は、例えば露光データファイルからレチクル R の照明条件の情報を読み出して照明制御部36に出力する。照明制御部36は、その照明条件に応じて、 SLM 制御系17を介して SLM 14の各ミラー要素16の駆動信号を設定することによって、各ミラー要素16の傾斜角（角度）を設定する。

[0039] 次のステップ124で、ウエハステージWSTに例えば1ロットの先頭のフォトレジストが塗布されたウエハWがロードされる。次のステップ126において、サーモカメラ20でSLM14の全部のミラー要素16のアレイの像を撮像し、温度マップ作成装置34で全部のミラー要素16の個別の温度（温度マップ）を求め、求めた温度マップを照明制御部36に供給する。

[0040] 図8（A）は、その先頭のウエハWに対する露光開始前に、サーモカメラ20を用いてミラー要素16の一部のミラー要素16の像を撮像している状態を示し、図8（B）は、図8（A）のサーモカメラ20の撮像信号を用いて得られる像の一部を示す。図8（B）において、SLM14のミラー要素16のアレイの像14P中の各ミラー要素16の像16Pの直交する2つの配列方向に沿ってY軸及びZ軸を設定している。また、Y方向にi番目でZ方向にj番目（i, jは1以上の整数）のミラー要素の像16Pの位置をP（i, j）で表し、位置P（i, j）の像16Pから求められる温度T（i, j）を対応するミラー要素16の実際の温度とする。露光開始前では、一例として全部の温度T（i, j）が初期値T_iであり、位置P（i, j）に対応するミラー要素16の駆動信号はDS（i, j）である。なお、駆動信号は実際には直交する2軸の回りの傾斜角を設定するために2つの信号を含んでいる。

[0041] 次のステップ128において、照明制御部36は、各ミラー要素16の傾斜角（これに対応する駆動信号）及び温度の計測値に応じて、記憶装置33に記憶されている補正用マップから駆動信号の補正量を求め、求めた補正量をSLM制御系17に供給する。SLM制御系17では、各ミラー要素16の駆動信号をその補正量分だけ補正する。この段階では、露光開始前であるため、各ミラー要素16の駆動信号の補正量はほぼ0である。次に、光源10からの照明光ILの発光が開始され（ステップ130）、SLM14の多数のミラー要素16のアレイからの反射光によって形成される面光源からの照明光ILでレチクルRが照明される（ステップ132）。なお、図1のレチクルブラインド29中の可変ブラインドの開閉によって、照明光ILのレ

チクルR及びウエハWに対する照射は制御されている。そして、照明光ILのもとで、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハWの各ショット領域にレチクルRのパターンの像が走査露光される（ステップ134）。次に、照明光ILの発光が停止され（ステップ136）、ウエハWがアンロードされる（ステップ138）。

[0042] 次のステップ140で、未露光のウエハが残っている場合には動作はステップ124に移行して、次のウエハがウエハステージWSTにロードされ、次のステップ126で各ミラー要素16の温度が計測され、次のステップ128で、その温度の計測値に基づいて各ミラー要素16の駆動信号が補正される。

図8（C）は、次のウエハに対する露光開始前に、サーモカメラ20を用いて一部のミラー要素16の像を撮像している状態を示し、図8（D）は、図8（C）のサーモカメラ20の撮像信号を用いて得られる像の一部を示す。図8（D）において、ミラー要素の像16Pの濃度は温度が変化していることを表している。即ち、位置 $P(i, j)$ のミラー要素の像16Pから求められる温度を $T(i, j)$ とすると、照明制御部36は、この温度 $T(i, j)$ とミラー要素16の駆動信号 $DS(i, j)$ とに応じて、記憶装置33に記憶されている補正用マップを用いて補正量 $\Delta DS(i, j)$ を求めてSLM制御系17に供給する。SLM制御系17では、その補正量 $\Delta DS(i, j)$ を用いて対応するミラー要素16の駆動信号 $DS(i, j)$ を例えば初期値を基準として補正する。これによって、例えば照明瞳面IPPにおける瞳形状を図5（A）の輪帯状の領域51に設定する場合には、露光を継続して、SLM14の各ミラー要素16の駆動信号と傾斜角との特性が変化しても、瞳形状は常に図5（A）の形状に維持される。

[0043] その後、ステップ130～134で、次のウエハに対する露光が行われ（ステップ130～134）、照明光ILの発光停止及びウエハのアンロードが行われる（ステップ136、138）。そして、1ロットの全部のウエハに対して、ステップ124～138の動作が繰り返され、ステップ140で

1 ロットのウエハの露光が終了しているときに、露光が終了する。

[0044] このように、この照明方法を含む露光方法によれば、S L M 1 4 の各ミラー要素 1 6 の温度が変化しても照明瞳面 I P P における瞳形状が常に目標とする形状に維持される。従って、常にレチクル R のパターンの像を高精度に 1 ロットのウエハの各ショット領域に露光できる。

上述のように本実施形態の照明装置 8 は照明光学系 I L S を備え、照明装置 8 は光源 1 0 からの照明光 I L でレチクル面 R a を照明する。また、照明装置 8 は、照明光 I L の光路に配置されて、それぞれに入射する光の反射角を制御するために直交する 2 軸の回りの傾斜角が制御可能な複数のミラー要素 1 6 を有する S L M 1 4 と、各ミラー要素 1 6 の温度をモニタするサーモカメラ 2 0 と、複数のミラー要素 1 6 のその入射光の反射角を制御するための駆動信号（制御量）を設定するとともに、サーモカメラ 2 0 でモニタされる複数のミラー要素 1 6 の温度に基づいてその駆動信号を補正する照明制御部 3 6 及び S L M 制御系 1 7 を備えている。

[0045] また、照明装置 8 を用いる照明方法は、S L M 1 4 の複数のミラー要素 1 6 に対して入射光の反射角を制御するための駆動信号（制御量）を設定するステップ 1 2 2 と、光源 1 0 からの照明光 I L で複数のミラー要素 1 6 を介してレチクル面 R a を照明するステップ 1 3 2 と、複数のミラー要素 1 6 の温度をモニタするステップ 1 2 6 と、その温度のモニタ結果に基づいて複数のミラー要素 1 6 の駆動信号を補正するステップ 1 2 8 とを含んでいる。

[0046] 本実施形態によれば、複数のミラー要素 1 6 を介してレチクル面 R a を照明するときに、各ミラー要素 1 6 の温度の計測値に基づいて、温度変化によるミラー要素 1 6 の反射面の角度の変動を抑制するように各ミラー要素 1 6 の駆動信号を補正している。従って、照明光学系 I L S のフライアイレンズ 2 5 の入射面 2 5 1 における照明光 I L の光強度分布を一定に維持することができ、この結果、照明瞳面 I P P における瞳形状の変動を抑制できる。

[0047] また、本実施形態の露光装置 E X は、露光用の照明光 I L でレチクル R のパターンを照明し、照明光 I L でそのパターン及び投影光学系 P L を介して

ウエハWを露光する露光装置において、照明装置8を備え、照明装置8からの照明光を照明光ILとして使用している。この露光装置EXによれば、露光を継続して行っても瞳形状が目標とする形状に維持されるため、レチクルRのパターンの像を常に高精度にウエハWに露光できる。

[0048] なお、本実施形態では、SLM14の各ミラー要素16の温度の計測値を用いて各ミラー要素16の駆動信号を補正しているが、例えば各ミラー要素16の温度変化の履歴を求め、その温度変化の履歴に基づいて当該ミラー要素16の駆動信号の補正量を変えてもよい。即ち、各ミラー要素16は、照明光ILの照射熱による温度の上昇によって、同じ駆動信号でも傾斜角が大きくなっている。このため、全部のミラー要素16のうちで、例えば照射熱によって温度が高い状態が長時間継続しているミラー要素16では、同じ温度であっても傾斜角が大きく変化する場合がある。このような場合には、照明制御部36は、サーモカメラ20を用いて各ミラー要素16の温度を計測するときに、各ミラー要素16の温度が所定の設定温度を超えた時間を積算して、各ミラー要素16がその設定温度以上になった時間（温度変化の履歴）を記憶装置33に記憶する。そして、各ミラー要素16の温度の計測値に基づいて、各ミラー要素16の駆動信号を補正する場合には、記憶装置33から読み出した当該ミラー要素16がその設定温度を超えていた時間に応じてその駆動信号の補正量を次第に大きくしてもよい。

[0049] また、照明制御部36は、SLM14の全部のミラー要素16のうちで、温度がその設定温度を超えた時間の積算値が所定の規格値を超えたミラー要素16については、主制御系35を介して例えばメンテナンス対象としてオペレータに知らせてもよい。又は、温度がその設定温度を超えた時間の積算値の多いミラー要素16から、メンテナンスの優先順位を高く設定してもよい。メンテナンスによって、一例として、当該ミラー要素16が別のミラー要素16で代替される。

[0050] なお、本実施形態では、サーモカメラ20を用いてSLM14の全部のミラー要素16の温度を計測している。しかしながら、図1のSLM14の全

部のミラー要素 16 を図 9 (A) に示すように複数のブロック B (i 1, j 1) (i 1, j 1 は 1 以上の整数) に分割し、各ブロック B (i 1, j 1) 単位で温度を計測してもよい。図 9 (A) において、SLM 14 の多数のミラー要素 16 の直交する 2 つの配列方向に沿って Y 軸及び Z 軸を設定し、Y 方向に i 番目で Z 方向に j 番目 (i , j は 1 以上の整数) のミラー要素 16 がある位置を Q (i , j) としている。さらに、ブロック B (i 1, j 1) は、Y 方向に N 行で Z 方向に M 列 (N , M は 1 以上の整数で、 N , M の少なくとも一方は 2 以上の整数) に配列された複数のミラー要素 16 を含んでいる。

[0051] この場合には、ブロック B (i 1, j 1) の配列情報が記憶装置 33 に記憶される。そして、図 6 のステップ 108 及び図 7 のステップ 126 において、サーモカメラ 20 を用いて各ブロック B (i 1, j 1) 内の複数のミラー要素 16 の平均的な温度 T (i 1, j 1) が計測される。そして、図 6 のステップ 118 では、温度 T (i 1, j 1) の計測値に基づいて、各ミラー要素 16 の駆動信号の温度変化に対する補正量が求められる。これに対応して、図 7 のステップ 126 では、温度 T (i 1, j 1) の計測値に基づいて、各ミラー要素 16 の駆動信号が補正される。

[0052] なお、本実施形態では、ミラー要素 16 の温度は非接触式の温度計（例えばサーモカメラ 20）よりなる温度センサで計測されているが、ミラー要素 16 の温度は、接触式の温度計よりなる温度センサで計測してもよい。

例えば、SLM 14 の複数のミラー要素 16 の温度をブロック B (i 1, j 1) 毎に計測する場合には、接触式の温度計としての温度計測素子を用いて各ブロック B (i 1, j 1) の駆動基板部 15 の温度を直接計測してもよい。このように温度計測素子を設けた空間光変調器の構成例を図 9 (B) に示す。

[0053] 図 9 (B) は、変形例の空間光変調器 14 A（以下、SLM 14 A という）の複数のミラー 16 のアレイの一部を示す。図 9 (B) において、ミラー要素 16 のアレイは Y 方向及び Z 方向に複数のミラー要素 16 を含むブロッ

ク B (i 1 , j 1) に分けられている。一例として、各ブロック B (i 1 , j 1) の中央の駆動基板部 1 5 の表面にそれぞれ例えばサーミスタ又は白金抵抗体等の温度計測素子 5 2 が固定される。 S L M 1 4 A は図 1 の S L M 1 4 の代わりに照明光路に設置することができる。なお、温度計測素子 5 2 としては、サーミスタ（サーミスタ温度計）若しくは白金抵抗体（抵抗温度計）以外の熱電対温度計、半導体温度計等を含む任意の電気式の温度計が使用可能である。さらに、温度計測素子 5 2 としては、電気式の温度計の代わりに、バイメタル、熱膨張温度計、又は磁気温度計等の任意の機械式の温度計も使用可能である。

[0054] また、 S L M 1 4 A を照明光路に設置したときには、 S L M 1 4 A の温度計測素子 5 2 で計測される各ブロック B (i 1 , j 1) の温度情報が図 1 の照明制御部 3 6 に供給される。この場合には、サーモカメラ 2 0 及び温度マップ作成装置 3 4 を設ける必要はない。照明制御部 3 6 では、温度計測素子 5 2 の計測値を用いて、瞳形状が変化しないように、ミラー要素 1 6 の駆動信号を補正することができる。

[0055] なお、 S L M 1 4 A のミラー要素 1 6 の配置スペースに余裕がある場合には、例えば各ミラー要素 1 6 の裏面に温度計測素子を設け、温度計測素子によって各ミラー要素 1 6 の温度を直接計測し、この計測値を用いて各ミラー要素 1 6 の駆動信号を補正してもよい。

また、上記の実施形態では、 S L M 1 4 , 1 4 A のミラー要素 1 6 毎にそれぞれ駆動信号を補正している。しかしながら、その代わりに、例えば照明瞳面 I P P における瞳形状が通常照明又は複数極照明の場合のように比較的単純である場合には、例えば図 9 (A) の S L M 1 4 の複数のブロック B (i 1 , j 1) を単位として、ブロック B (i 1 , j 1) 内の全部のミラー要素 1 6 の駆動量を共通の駆動量に設定してもよい。この場合には、ブロック B (i 1 , j 1) に温度を計測し、この温度の計測結果に基づいて、ブロック B (i 1 , j 1) 単位でミラー要素 1 6 の駆動信号を共通の補正量で補正してもよい。これによって、ミラー要素 1 6 の数が多い場合でも、全部のミ

ラー要素 16 の制御が容易になる。

[0056] [第 2 の実施形態]

本発明の第 2 の実施形態につき図 10 を参照して説明する。本実施形態においても図 1 の露光装置 EX を使用するが、本実施形態では SLM 14 のミラー要素 16 の温度情報を間接的にモニタするためにインテグレートセンサ 23 及び積算部 40 を用いて計測される照明光 IL の積算エネルギーを用いる。従って、本実施形態では、サーモカメラ 20 は必ずしも必要ではない。さらに、本実施形態では、SLM 14 の全部のミラー要素 16 を、図 9 (A) にその一部を示すように、複数のブロック B (i 1, j 1) (i 1, j 1 は 1 以上の整数) に分けて、ミラー要素 16 の駆動量をブロック B (i 1, j 1) 単位で設定する。

[0057] 本実施形態の照明方法を含む露光方法の一例につき図 10 のフローチャートを参照して説明する。なお、図 10 において、図 7 に対応するステップには同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。この動作は主制御系 35 によって制御される。また、本実施形態では、予め各照明条件について、瞳形状 (照明瞳面 IPP における光強度分布) を一定に維持するための、照明光 IL の積算エネルギーと SLM 14 の複数のミラー要素 16 のブロック B (i 1, j 1) 毎の駆動信号の補正量との関係が求められており、その関係が記憶装置 33 に記憶されている。

[0058] そして、図 10 のステップ 120 (レチクルのロード) に続くステップ 150 において、照明制御部 36 は、SLM 14 のミラー要素 16 に関して図 9 (A) の各ブロック B (i 1, j 1) 内に含まれる全部のミラー要素 16 の位置 Q (i, j) の情報を含むブロック図の配列情報を記憶装置 33 に記憶する。次のステップ 152 において、照明制御部 36 は、レチクル R 用の照明条件に応じて、SLM 14 のブロック B (i 1, j 1) 毎にミラー要素 16 の 2 軸の回りの傾斜角 (角度) を SLM 制御系 17 に設定し、SLM 制御系 17 は、その傾斜角に対応する駆動信号で各ミラー要素 16 を駆動する。

[0059] また、次のステップ124（ウエハのロード）に続くステップ154において、照明制御部36は、積算部40から照明光ILの積算エネルギー ΣE を取り込む。次のステップ156において、照明制御部36は、記憶装置33に記憶されている上記の積算エネルギーと補正量との関係、及びその積算エネルギー ΣE を用いて、SLM14のブロックB（i1, j1）毎にミラー要素16の駆動信号の補正量を求め、この補正量をSLM制御系17に設定する。これに応じてSLM制御系17は、各ミラー要素16の駆動信号をその補正量だけ補正する。

[0060] その後、照明光の発光（ステップ130）、SLM14のミラー要素16からの反射光によるレチクル面Raの照明（ステップ132）、及びウエハWの走査露光（ステップ134）が実行される。これ以外の動作は第1の実施形態と同様である。

従って、本実施形態の照明方法は、図1の光源10から供給される照明光ILを用いてレチクル面Raを照明する照明方法であって、SLM14の全部のミラー要素16をそれぞれ複数のミラー要素16を含む複数のブロックB（i1, j1）に分け、複数のブロックB（i1, j1）の配列を記憶するステップ150と、複数のブロックB（i1, j1）毎に、照明瞳面IPPにおける瞳形状を目標とする形状に設定するように複数のミラー要素16の駆動信号を設定するステップ152と、複数のブロックB（i1, j1）毎に、インテグレータセンサ23を介して計測される照明光ILの積算エネルギーに基づいて、瞳形状が変動しないように、複数のミラー要素16の駆動信号を補正するステップ156と、を含んでいる。

[0061] 本実施形態において、ウエハの露光枚数が増加するにつれて、SLM14のミラー要素16の温度が上昇すると、照明光ILの積算エネルギーも大きくなる。従って、ステップ156で、積算エネルギーに基づいてSLM14のミラー要素16の駆動信号を補正することによって、瞳形状の変動を抑制でき、常に高精度にレチクルRのパターンの像をウエハWに露光できる。

[0062] さらに、複数のブロックB（i1, j1）毎に補正量を求めればよいため

、制御が容易である。

なお、本実施形態においても、サーモカメラ 20（非接触式の温度計）又は図 9（B）の温度計測素子 52（接触式の温度計）等の SLM14 のミラー要素 16 の温度情報をブロック（ i 1, j 1）毎に計測する温度センサを設けてもよい。この場合には、ステップ 156 において、インテグレータセンサ 23 を介して計測される積算エネルギー ΣE の代わりに、その温度センサで計測される複数のブロック B（ i 1, j 1）毎の温度を用いて複数のブロック B（ i 1, j 1）毎の補正量を求めてもよい。

[0063] また、上記の各実施形態では、瞳モニタ 60 を用いて瞳形状の変化量、ひいては SLM14 のミラー要素 16 の温度と傾斜角との関係を求めている。しかしながら、ミラー要素 16 の温度と傾斜角との関係は、別途 SLM14 単体で求めておいてもよい。この場合には、図 6 のミラー要素 16 の駆動信号の補正量を求める動作は省略してもよい。

[0064] また、上記の実施形態では、入射面 25 I 又は照明瞳面 I P P における光強度分布（光量分布）を設定するために複数のミラー要素 16 の直交する 2 軸の回りの傾斜角を制御可能な SLM14, 14 A が使用されている。しかしながら、SLM14, 14 A の代わりに、それぞれ反射面の法線方向の位置が制御可能な複数のミラー要素のアレイを有する空間光変調器を使用する場合にも、本発明が適用可能である。このような空間光変調器としては、たとえば米国特許第 5, 312, 513 号明細書、並びに米国特許第 6, 885, 493 号明細書の図 1 d に開示される空間光変調器を用いることができる。これらの空間光変調器では、二次元的な高さ分布を形成することで回折面と同様の作用を入射光に与えることができる。なお、上述した二次元的に配列された複数の反射面を持つ空間光変調器を、たとえば米国特許第 6, 891, 655 号明細書や、米国特許出願公開第 2005/0095749 号明細書の開示に従って変形しても良い。さらに、SLM14, 14 A の代わりに、例えばそれぞれ入射する光の状態（反射角、屈折角、透過率等）を制御可能な複数の光学要素を備える任意の光変調器を使用する場合にも、本発

明が適用可能である。

[0065] また、上記の実施形態ではオプティカルインテグレータとして図1の波面分割型のインテグレータであるフライアイレンズ25が使用されている。しかしながら、オプティカルインテグレータとしては、内面反射型のオプティカルインテグレータとしてのロッド型インテグレータを用いることもできる。

[0066] また、上述の実施形態において、露光装置の投影光学系は縮小系のみならず等倍及び拡大系のいずれでも良いし、投影光学系は屈折系のみならず、反射系及び反射屈折系のいずれでも良いし、この投影像は倒立像及び正立像のいずれでも良い。

また、例えば国際公開第2001/035168号パンフレットに開示されているように、干渉縞をウエハW上に形成することによって、ウエハW上にライン・アンド・スペースパターンを形成する露光装置（リソグラフィシステム）に適用することができる。

さらに、例えば米国特許第6,611,316号明細書に開示されているように、2つのレチクルパターンを、投影光学系を介してウエハ上で合成し、1回のスキャン露光によってウエハ上の1つのショット領域をほぼ同時に二重露光する露光装置に適用することができる。

[0067] なお、上記実施形態でパターンを形成すべき物体（エネルギービームが照射される露光対象の物体）はウエハに限られるものでなく、ガラスプレート、セラミック基板、フィルム部材、あるいはマスクブランクスなど他の物体でも良い。

また、上記実施形態において、米国特許出願公開第2006/0170901号明細書、米国特許出願公開第2007/0146676号明細書に開示される、いわゆる偏光照明方法を適用することも可能である。

また、上述の実施形態では、露光装置においてマスク（またはウエハ）を照明する照明光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、マスク（またはウエハ）以外の被照射面を照明する一般的な照明光

学系に対して本発明を適用することもできる。

[0068] また、上記の実施形態の露光装置E X又は露光方法を用いて半導体デバイス等の電子デバイス（マイクロデバイス）を製造する場合、この電子デバイスは、図10に示すように、デバイスの機能・性能設計を行うステップ221、この設計ステップに基づいたマスク（レチクル）を製作するステップ222、デバイスの基材である基板（ウエハ）を製造するステップ223、前述した実施形態の露光装置E X又は露光方法によりマスクのパターンを基板に露光する工程、露光した基板を現像する工程、現像した基板の加熱（キュア）及びエッチング工程などを含む基板処理ステップ224、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程などの加工プロセスを含む）225、並びに検査ステップ226等を経て製造される。

[0069] 言い換えると、上記のデバイスの製造方法は、上記の実施形態の露光装置E X又は露光方法を用いて、マスクのパターンを介して基板（ウエハW）を露光する工程と、その露光された基板を処理する工程（即ち、基板のレジストを現像し、そのマスクのパターンに対応するマスク層をその基板の表面に形成する現像工程、及びそのマスク層を介してその基板の表面を加工（加熱及びエッチング等）する加工工程）と、を含んでいる。

[0070] このデバイス製造方法によれば、露光装置E Xの瞳形状の変動を防止して、レチクルのパターンの像を常に高精度にウエハに露光できるため、電子デバイスを高精度に製造できる。

なお、本発明は、例えば米国特許出願公開第2007/242247号明細書、又は欧州特許出願公開第1420298号明細書等の開示されている液浸型露光装置にも適用できる。さらに、本発明は、コンデンサー光学系を使用しない照明光学装置にも適用可能である。さらに、本発明は、投影光学系を用いないプロキシミティ方式等の露光装置にも適用することができる。

[0071] また、本発明は、半導体デバイスの製造プロセスへの適用に限定されることなく、例えば、液晶表示素子、プラズマディスプレイ等の製造プロセスや

、撮像素子（CMOS型、CCD等）、マイクロマシン、MEMS (Microelectromechanical Systems：微小電気機械システム)、薄膜磁気ヘッド、及びDNAチップ等の各種デバイス（電子デバイス）の製造プロセスにも広く適用できる。

[0072] このように本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。また、本願に記載した上記公報、各国際公開パンフレット、米国特許、又は米国特許出願公開明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

また、明細書、特許請求の範囲、図面、及び要約を含む2010年5月23日付け提出の米国特許出願第61／489,002号の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用して本願に組み込まれている。

[0073] また、米国特許法第112条（35 U. S. C. § 112）を満足するために必要とされる詳細において本特許出願において説明しかつ例示した「表題」の実施形態の特定の態様は、上述の実施形態の態様のあらゆる上述の目的、及び上述の実施形態の態様により又はその目的のあらゆる他の理由で又はその目的のために解決すべき問題を完全に達成することができるが、請求した内容の上述の実施形態のここで説明した態様は、請求した内容によって広く考察された内容を単に例示しかつ代表することは、当業者によって理解されるものとする。実施形態のここで説明しかつ主張する態様の範囲は、本明細書の教示内容に基づいて当業者に現在明らかであると考えられるか又は明らかになると考えられる他の実施形態を漏れなく包含するものである。本発明の「表題」の範囲は、単独にかつ完全に特許請求の範囲によってのみ限定され、いかなるものも特許請求の範囲の詳細説明を超えるものではない。単数形でのこのような請求項における要素への言及は、解釈において、明示的に説明していない限り、このような要素が「1つ及び1つのみ」であることを意味するように意図しておらず、かつ意味しないものとし、「1つ又はそれよりも多い」を意味する意図とし、かつ意味するものとする。当業者に公知か又は後で公知になる実施形態の上述の態様の要素のいずれかに対する

全ての構造的及び機能的均等物は、引用により本明細書に明示的に組み込まれると共に、特許請求の範囲によって包含されるように意図されている。本明細書及び／又は本出願の請求項に使用され、かつ本明細書及び／又は本出願の請求項に明示的に意味を与えられたあらゆる用語は、このような用語に関するあらゆる辞書上の意味又は他の一般的に使用される意味によらず、その意味を有するものとする。実施形態のいずれかの態様として本明細書で説明した装置又は方法は、それが特許請求の範囲によって包含されるように本出願において開示する実施形態の態様によって解決するように求められる各及び全て問題に対処することを意図しておらず、また必要でもない。本発明の開示内容におけるいかなる要素、構成要素、又は方法段階も、その要素、構成要素、又は方法段階が特許請求の範囲において明示的に詳細に説明されているか否かに関係なく、一般大衆に捧げられることを意図したものではない。特許請求の範囲におけるいかなる請求項の要素も、その要素が「～のための手段」という語句を使用して明示的に列挙されるか又は方法の請求項の場合にはその要素が「作用」ではなく「段階」として列挙されていない限り、米国特許法第 1 1 2 条（3 5 U. S. C. § 1 1 2）第 6 項の規定に基づいて解釈されないものとする。

[0074] 米国の特許法（3 5 U. S. C.）の準拠において、本出願人は、本出願の明細書に添付されたあらゆるそれぞれの請求項、一部の場合には 1 つの請求項だけにおいて説明した各発明の少なくとも 1 つの権能付与的かつ作用する実施形態を開示したことが当業者によって理解されるであろう。本出願人は、開示内容の実施形態の態様／特徴／要素、開示内容の実施形態の作用、又は開示内容の実施形態の機能を定義し、及び／又は開示内容の実施形態の態様／特徴／要素のあらゆる他の定義を説明する際に、随時又は本出願を通して、定義的な動詞（例えば、「i s」、「a r e」、「d o e s」、「h a s」、又は「i n c l u d e」など）、及び／又は他の定義的な動詞（例えば、「生成する」、「引き起こす」、「サンプリングする」、「読み取る」、又は「知らせる」など）、及び／又は動名詞（例えば、「生成すること

」、「使用すること」、「取ること」、「保つこと」、「製造すること」、「判断すること」、「測定すること」、又は「計算すること」など）を使用した。あらゆるこのような定義的語又は語句などが、本明細書で開示する１つ又はそれよりも多くの実施形態のいずれかの態様／特徴／要素、すなわち、あらゆる特徴、要素、システム、サブシステム、処理、又はアルゴリズムの段階、特定の材料などを説明するのに使用されている場合は、常に、本出願人が発明しかつ請求したものに關する本発明の範囲を解釈するために、以下の制限的語句、すなわち、「例示的に」、「例えば、」、「一例として」、「例示的に単に」、「例示的にのみ」などの１つ又はそれよりも多く又は全てが先行し、及び／又は語句「することができる」、「する可能性がある」、「かもしれない」、及び「することができるであろう」などのいずれか１つ又はそれよりも多く又は全てを含むと読むべきである。全てのこのような特徴、要素、段階、及び材料などは、たとえ特許法の要件の準拠において本出願人が特許請求した内容の実施形態又はいずれかの実施形態のあらゆるそのような態様／特徴／要素の単一の権能付与的な実施例だけを開示したとしても、１つ又はそれよりも多くの開示した実施形態の単に可能な態様として説明されており、いずれかの実施形態のいずれか１つ又はそれよりも多くの態様／特徴／要素の唯一の可能な実施、及び／又は特許請求した内容の唯一の可能な実施形態として説明していないと考えるべきである。本出願又は本出願の実施において、特許請求の範囲のあらゆる開示する実施形態又はあらゆる特定の発明の開示する実施形態の特定の態様／特徴／要素が、特許請求の範囲の内容又はあらゆるそのような特許請求の範囲に説明されるあらゆる態様／特徴／要素を実行する１つ及び唯一の方法になると本出願人が考えていることを明示的かつ具体的に特に示さない限り、本出願人は、本特許出願の特許請求の範囲の内容のあらゆる開示する実施形態のあらゆる開示した態様／特徴／要素又は実施形態全体のあらゆる説明が、特許請求の範囲の内容又はそのあらゆる態様／特徴／要素を実行するそのような１つ及び唯一の方法であり、従って、特許請求の範囲の内容の他の可能な実施例と共に

あらゆるそのように開示した実施例を包含するのに十分に広範囲にわたるものであるあらゆる特許請求の範囲をこのような開示した実施形態のそのような態様／特徴／要素又はそのような開示した実施形態に限定するように解釈されることを意図していない。本出願人は、１つ又は複数の親請求項に説明した特許請求の範囲の内容又は直接又は間接的に従属する請求項のあらゆる態様／特徴／要素、段階のようなあらゆる詳細と共にいずれかの請求項に従属する従属請求項を有するあらゆる請求項は、親請求項の説明事項が、他の実施例と共に従属請求項内に更なる詳細を包含するのに十分に広範囲にわたるものであること、及び更なる詳細が、あらゆるこのような親請求項で請求する態様／特徴／要素を実行し、従って従属請求項の更なる詳細を親請求項に取り込むことによって含むあらゆるこのような親請求項のより幅広い態様／特徴／要素の範囲をいかなる点においても制限するいずれかの従属請求項に説明されるいずれかのこのような態様／特徴／要素の更なる詳細に限られる唯一の方法ではないことを意味するように解釈されるべきであることを具体的、明示的、かつ明解に意図するものである。

符号の説明

[0075] E X…露光装置、 I L S…照明光学系、 R…レチクル、 P L…投影光学系、 W…ウエハ、 I P P…照明瞳面、 8…照明装置、 1 0…光源、 1 4…空間光変調器（S L M）、 2 0…サーモカメラ、 2 3…インテグレートセンサ、 2 5…フライアイレンズ、 3 6…照明制御部、 6 0…瞳モニタ

請求の範囲

- [請求項1] 供給される光を用いて被照射面を照明する照明方法において、
並列に配置されてそれぞれに入射する光の状態を制御可能な複数の光学要素の前記入射する光の状態に対する制御量を設定することと、
前記供給される光で前記複数の光学要素を介して前記被照射面を照明することと、
前記複数の光学要素の温度情報をモニタすることと、
前記複数の光学要素の温度情報のモニタ結果に基づいて前記複数の光学要素の前記制御量を補正することと、
を含む照明方法。
- [請求項2] 前記複数の光学要素の前記制御量を補正することは、前記複数の光学要素の温度の積算値に応じて前記制御量の補正量を切り替えることを含む請求項1に記載の照明方法。
- [請求項3] 前記複数の光学要素は複数のブロックに分割されており、
前記複数の光学要素の温度情報をモニタするために、前記複数のブロック毎に前記光学要素の温度情報をモニタし、
前記複数の光学要素の前記制御量を補正するために、前記複数のブロック毎に前記光学要素の前記制御量を補正する請求項1又は2に記載の照明方法。
- [請求項4] 供給される光を用いて被照射面を照明する照明方法において、
それぞれに入射する光の状態を制御可能な複数の光学要素をそれぞれ複数の光学要素を含む複数のブロックに分け、前記複数のブロックの配列を記憶することと、
前記複数のブロック毎に、前記複数の光学要素の前記入射する光の状態に対する制御量を設定して、前記供給される光で前記複数の光学要素を介して前記被照射面を照明することと、
前記複数のブロック毎に前記複数の光学要素の前記制御量を補正することと、

を含む照明方法。

- [請求項5] 前記複数の光学要素の前記制御量を補正するために、温度センサを用いて前記複数のブロック毎に前記複数の光学要素の温度情報をモニタする請求項4に記載の照明方法。
- [請求項6] 前記複数の光学要素の前記制御量を補正するために、前記供給される光の積算エネルギーをモニタする請求項4に記載の照明方法。
- [請求項7] 光源からの光を用いて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記光源からの光の光路に配置されて、それぞれに入射する光の状態を制御可能な複数の光学要素を有する空間光変調器と、
前記複数の光学要素の温度情報をモニタする温度検出装置と、
前記複数の光学要素の前記入射する光の状態に対する制御量を設定するとともに、前記温度検出装置でモニタされる前記複数の光学要素の温度情報に基づいて前記駆動量を補正する制御系と、
を備える照明光学装置。
- [請求項8] 前記温度検出装置は、温度センサである請求項7に記載の照明光学装置。
- [請求項9] 前記温度センサは、前記複数の光学要素を光学的に観察可能な位置に配置された放射線センサである請求項8に記載の照明光学装置。
- [請求項10] 前記温度センサは、前記空間光変調器に設けられている請求項8又は9に記載の照明光学装置。
- [請求項11] 前記複数の光学要素の温度の積算値の情報を記憶する記憶装置を備え、
前記制御系は、前記記憶装置に記憶されている前記温度の積算値の情報に基づいて前記制御量の補正量を切り替える請求項7～10のいずれか一項に記載の照明光学装置。
- [請求項12] 前記光源からの光のエネルギーをモニタする光電検出器を備え、
前記制御系は、前記光電検出器の検出信号の積算値の情報に基づいて前記制御量の補正量を切り替える請求項7～11のいずれか一項に

記載の照明光学装置。

[請求項13] 前記光電検出器は、前記光源からのエネルギー分布をモニタする請求項12に記載の照明光学装置。

[請求項14] 前記制御系は、前記複数の光学要素を複数のブロック毎に制御する請求項7～13のいずれか一項に記載の照明光学装置。

[請求項15] 前記空間光変調器は、前記照明光学装置の照明光路における所定の位置に光の光量分布を形成する光学系の一部であり、

前記空間光変調器からの光より前記光の光量分布と等価な光量分布を持つ面光源を形成する面光源形成光学系を備える請求項7～14のいずれか一項に記載の照明光学装置。

[請求項16] 露光光でパターンを照明し、前記露光光で前記パターン及び投影光学系を介して基板を露光する露光装置において、

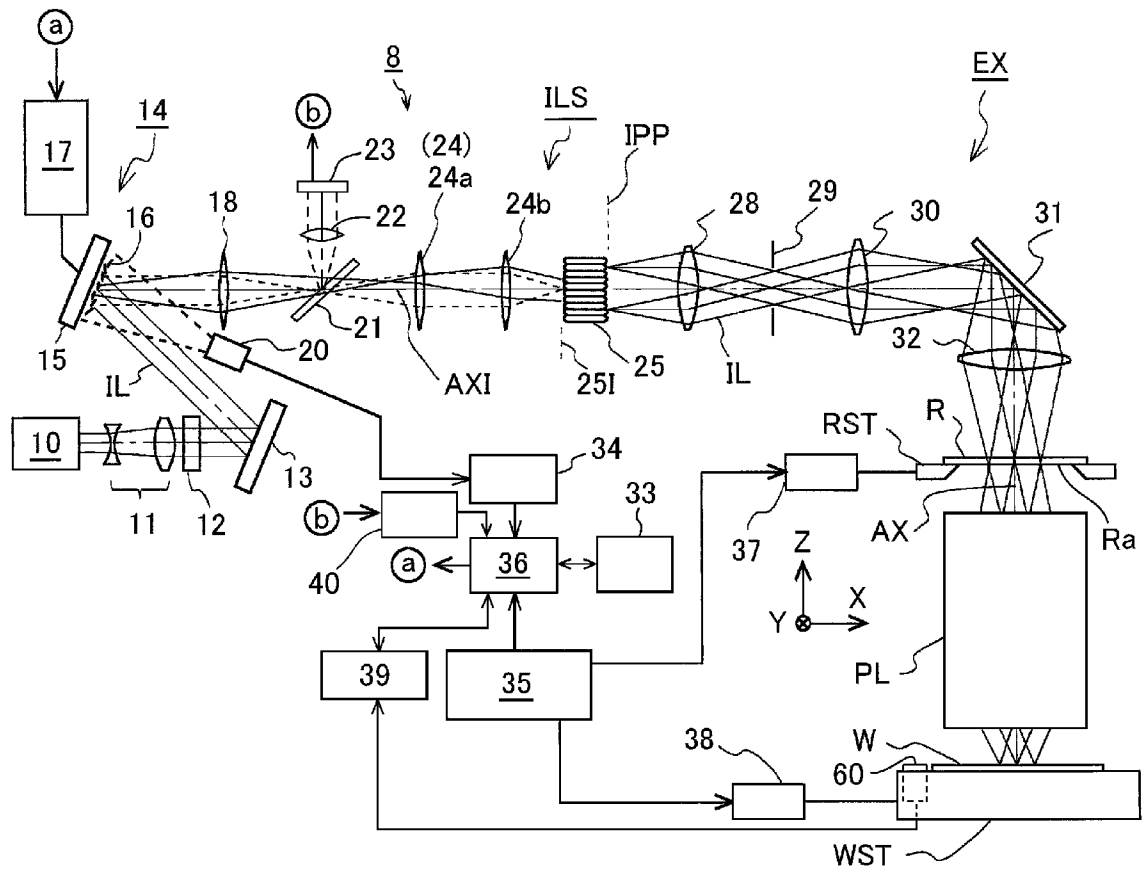
請求項7～15のいずれか一項に記載の照明光学装置を備え、

前記照明光学装置からの光を前記露光光として用いる露光装置。

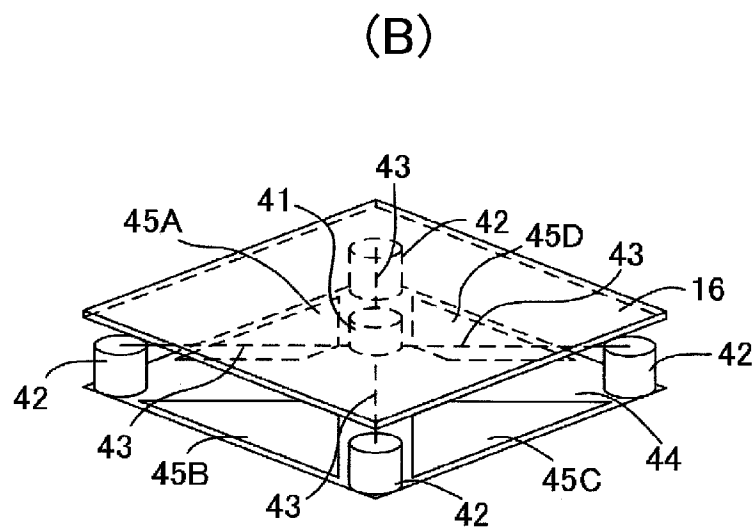
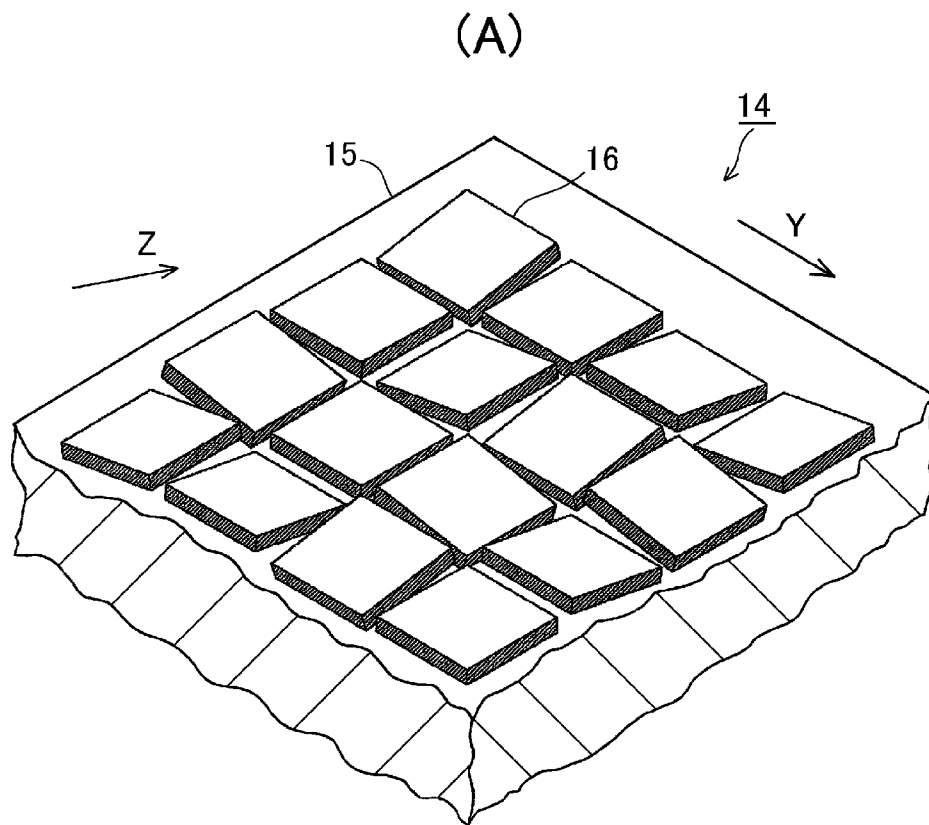
[請求項17] 請求項16に記載の露光装置を用いて基板上に感光層のパターンを形成することと、

前記パターンが形成された前記基板を処理することと、
を含むデバイス製造方法。

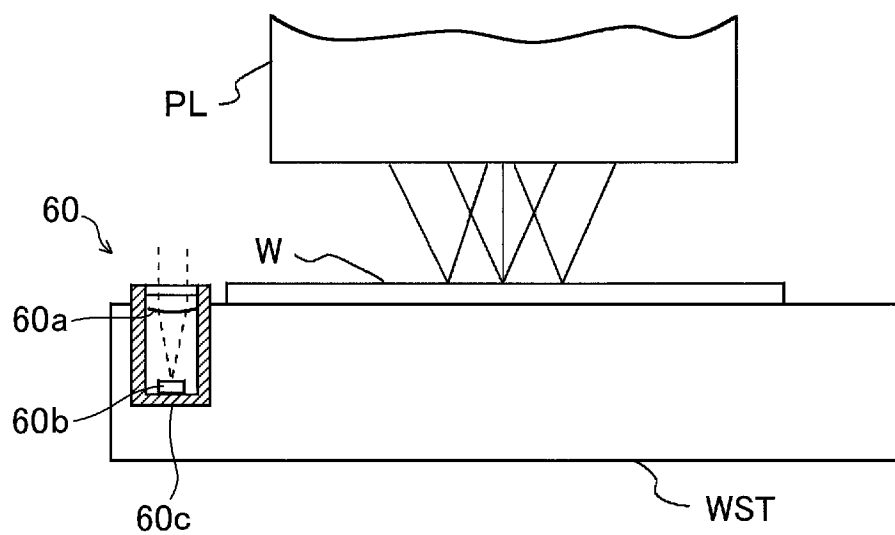
[図1]



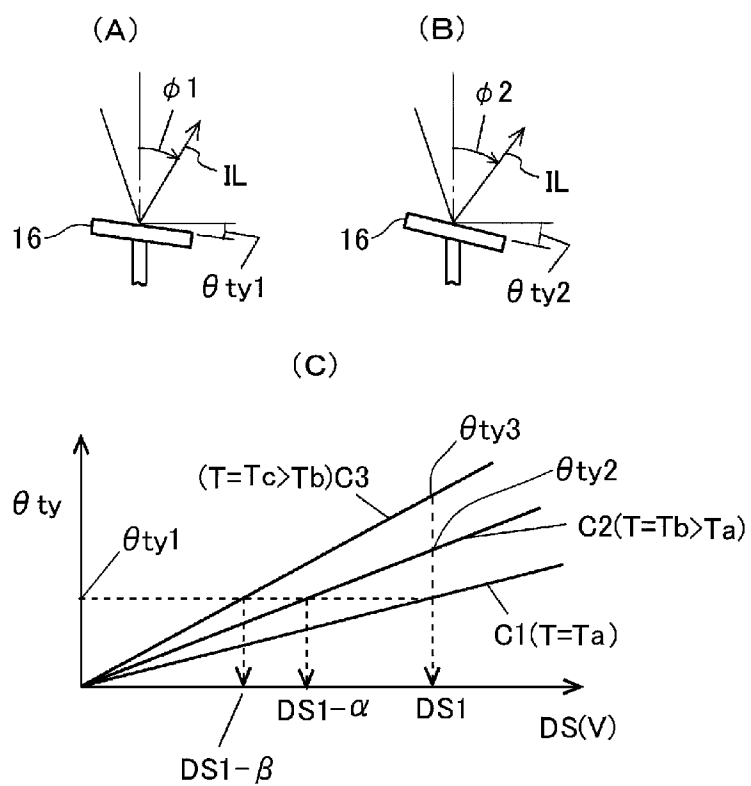
[図2]



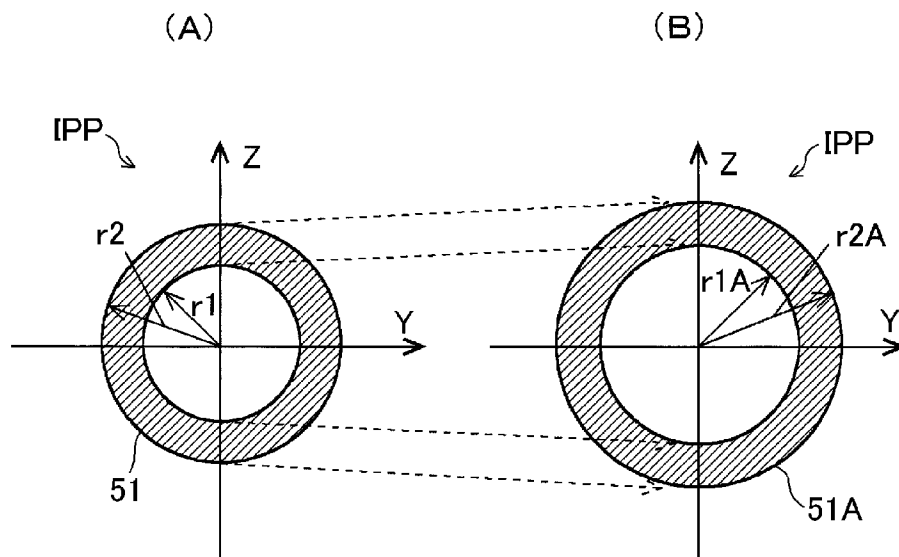
[図3]



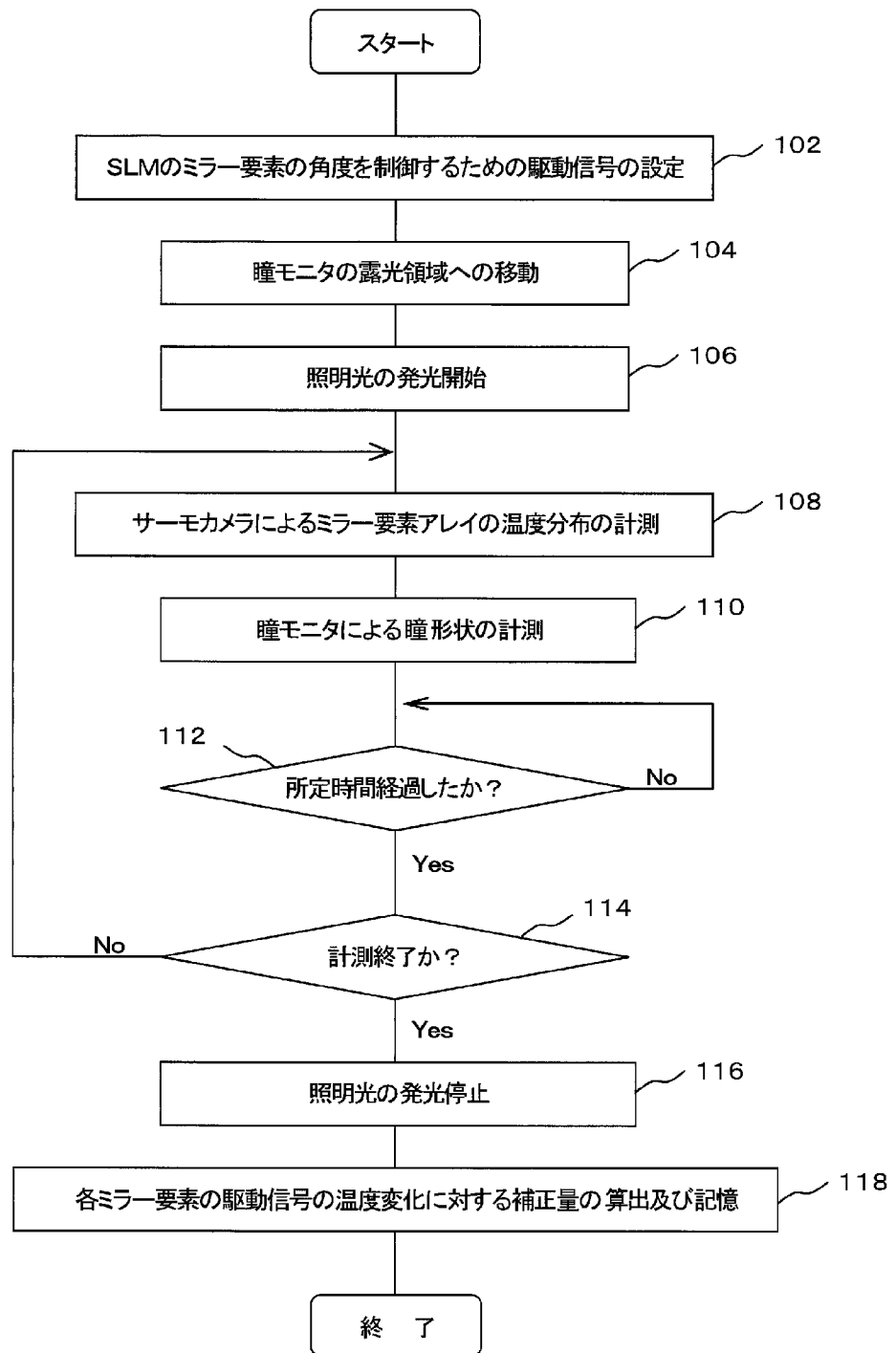
[図4]



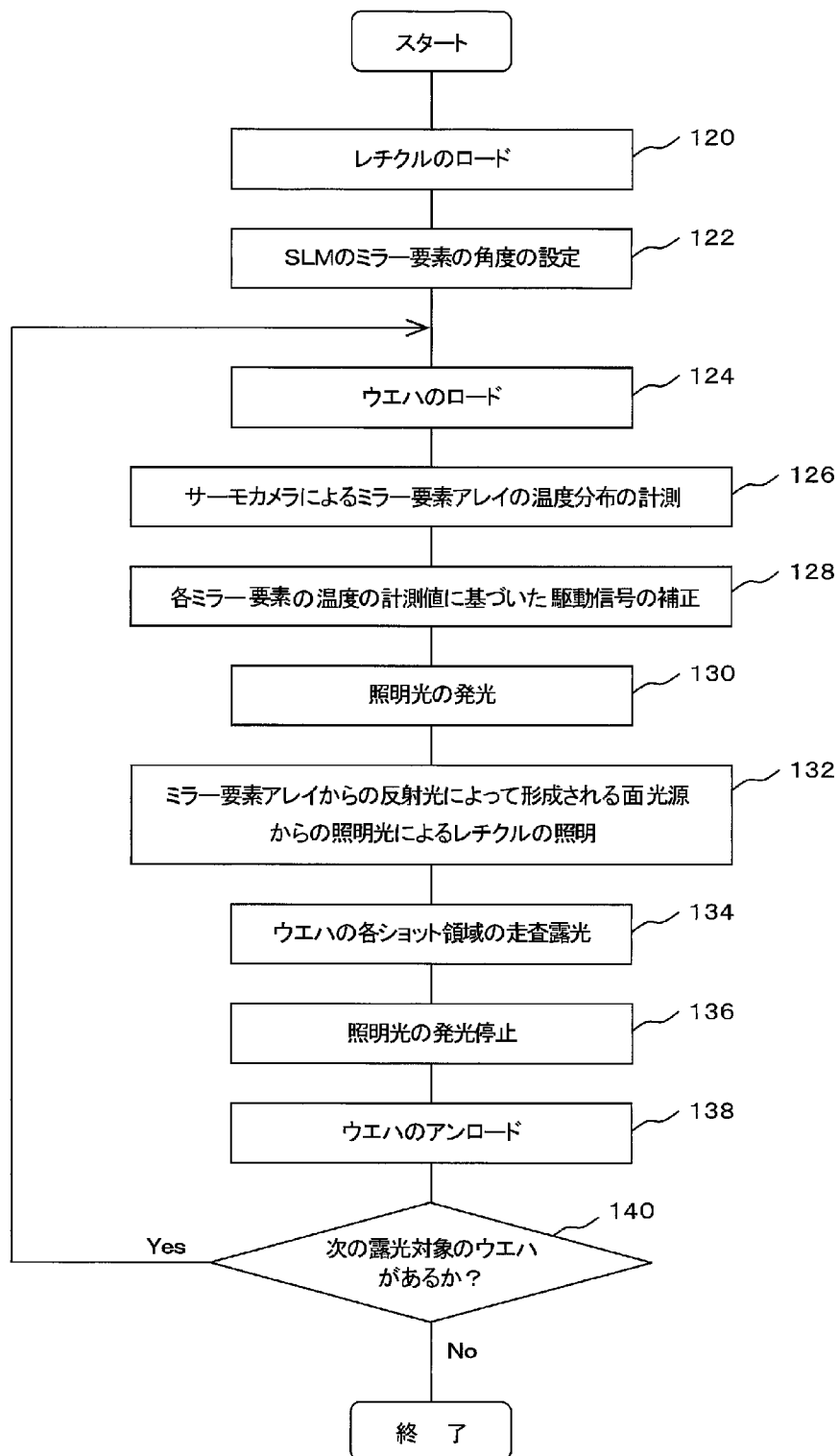
[図5]



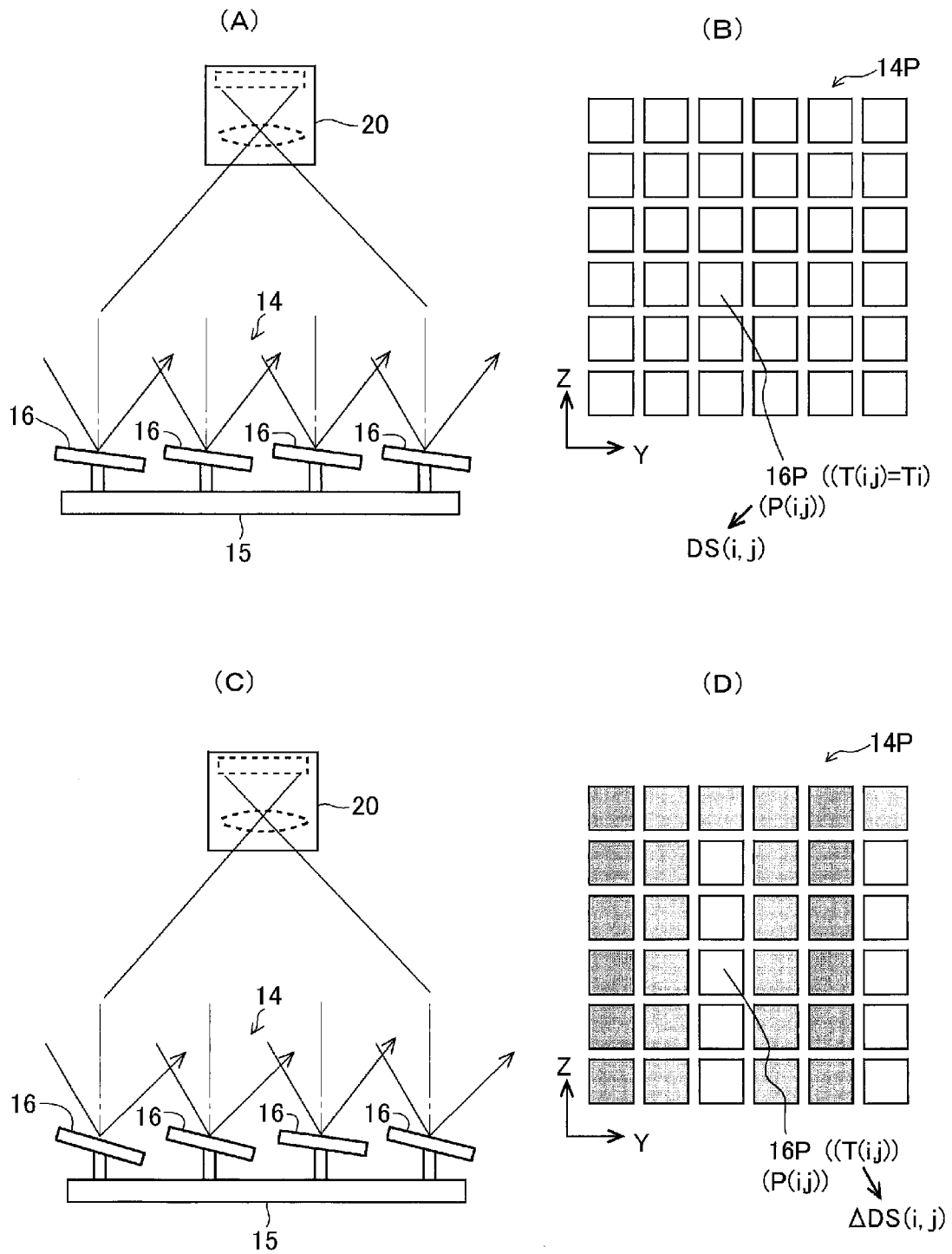
[図6]



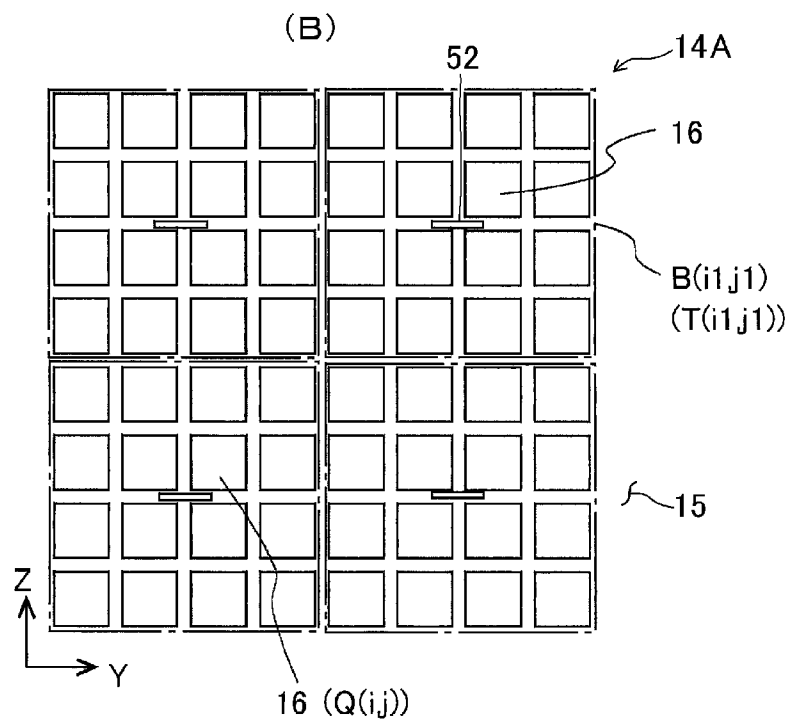
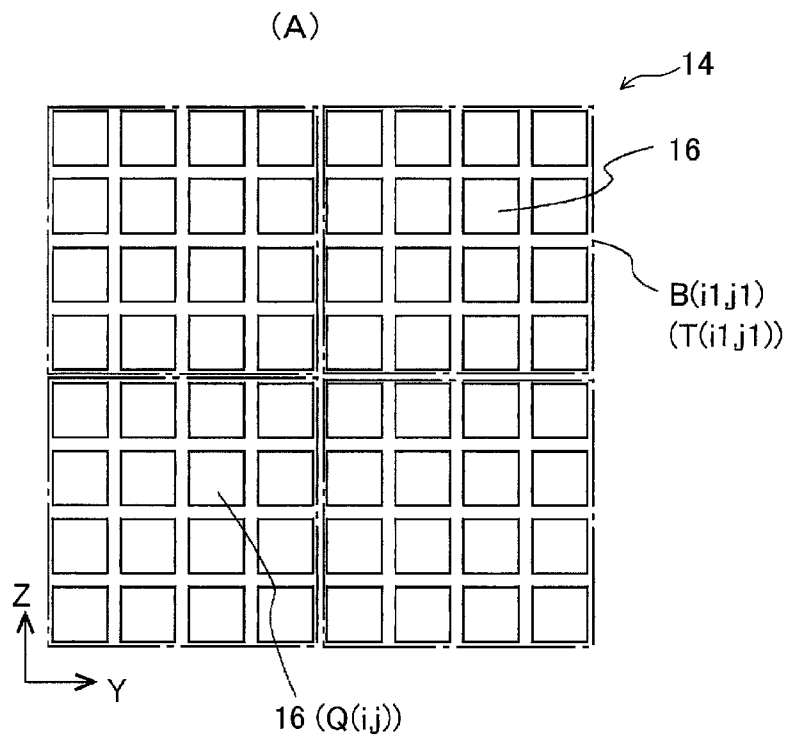
[図7]



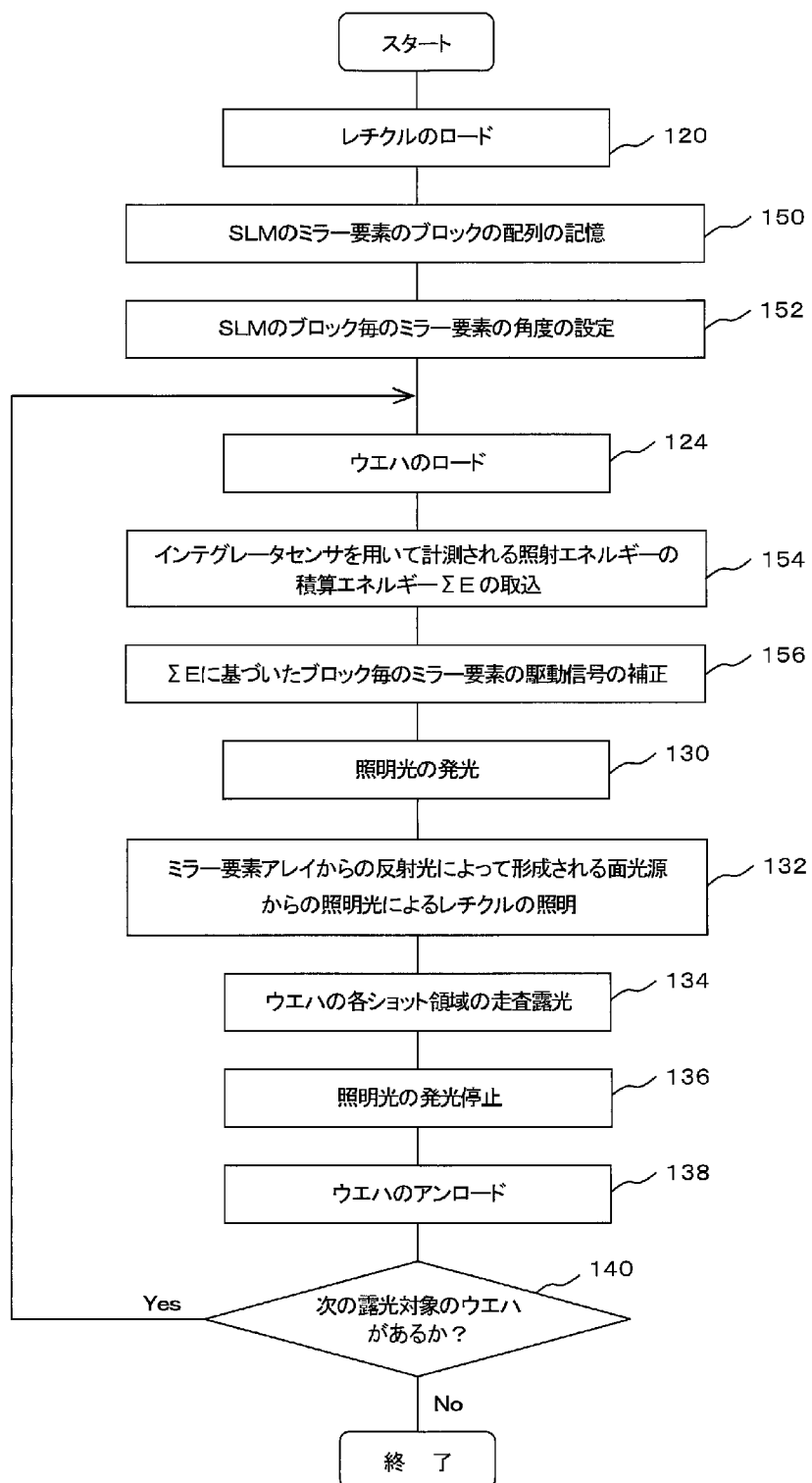
[図8]



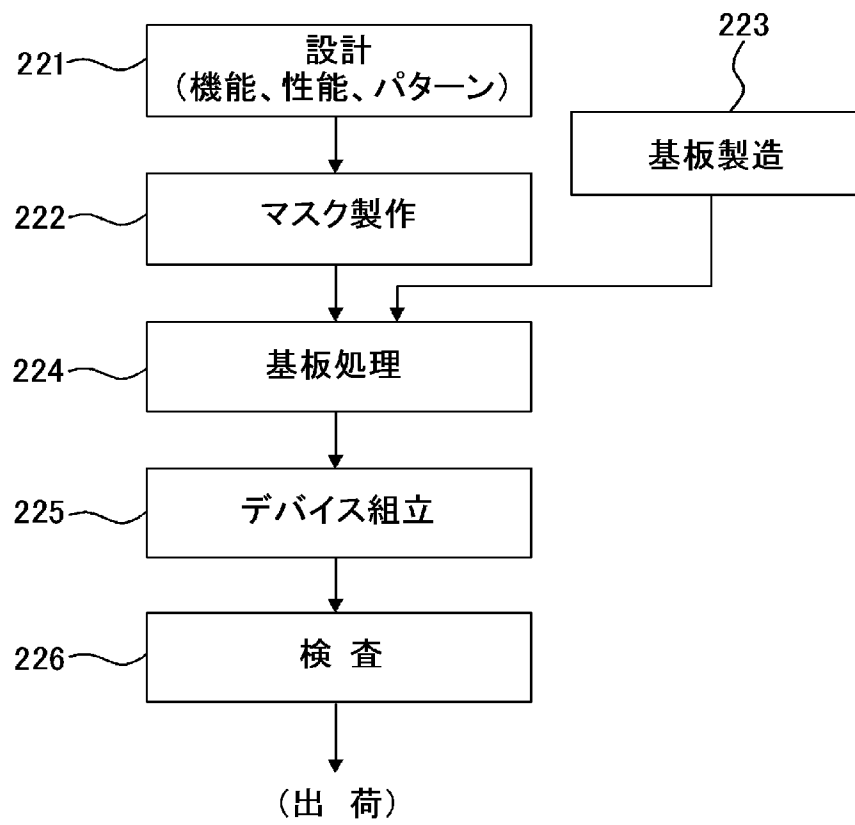
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/077731

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-34553 A (ASML Netherlands B.V.), 12 February 2010 (12.02.2010), entire text; all drawings & US 2010/0020300 A1 & NL 1036861 A & NL 1036861 A1	1-17
A	JP 2009-177176 A (ASML Netherlands B.V.), 06 August 2009 (06.08.2009), entire text; all drawings & US 2009/0201483 A1 & NL 1036407 A & NL 1036407 A1	1-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
19 January, 2012 (19.01.12)

Date of mailing of the international search report
31 January, 2012 (31.01.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/077731

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-109132 A (ASML Netherlands B.V.), 08 May 2008 (08.05.2008), entire text; all drawings & US 2008/0117494 A1 & US 2008/0106717 A1 & EP 1914583 A2 & CN 101165533 A & KR 10-2008-0034794 A & SG 142242 A	1-17
A	JP 2005-189403 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 14 July 2005 (14.07.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-17

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/027 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/027

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-34553 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.) 2010.02.12, 全文, 全図 & US 2010/0020300 A1 & NL 1036861 A & NL 1036861 A1	1-17
A	JP 2009-177176 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.) 2009.08.06, 全文, 全図 & US 2009/0201483 A1 & NL 1036407 A & NL 1036407 A1	1-17

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 9 . 0 1 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

3 1 . 0 1 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

久保田 創

2 M

4 4 5 7

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 4

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-109132 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.) 2008. 05. 08, 全文, 全図 & US 2008/0117494 A1 & US 2008/0106717 A1 & EP 1914583 A2 & CN 101165533 A & KR 10-2008-0034794 A & SG 142242 A	1-17
A	JP 2005-189403 A (富士写真フイルム株式会社) 2005. 07. 14, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17