

(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
2013 年 3 月 7 日(07.03.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/031901 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) *G02F 1/13* (2006.01)
G02B 26/06 (2006.01) *G03F 7/20* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/072025
- (22) 国際出願日: 2012 年 8 月 30 日(30.08.2012)
- (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:
特願 2011-191319 2011 年 9 月 2 日(02.09.2011) JP
- (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): 藤原 朋春(FUJIWARA Tomoharu) [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, BN, 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, 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).

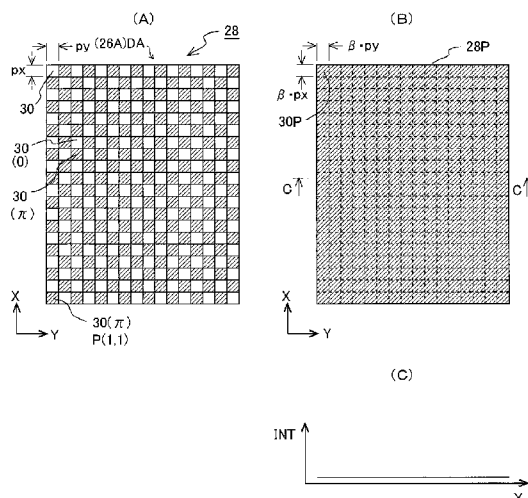
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR INSPECTING SPATIAL LIGHT MODULATOR, AND EXPOSURE METHOD AND DEVICE

(54) 発明の名称: 空間光変調器の検査方法及び装置、並びに露光方法及び装置

[図4]



(57) Abstract: A method for inspecting a spatial light modulator, comprising: performing control so that in a region to be inspected in a mirror element array, mirror elements in a first state in which the amount of phase change with respect to incident light is zero and mirror elements in a second state in which the amount of phase change with respect to incident light is 180° (π) are arranged in a checkerboard pattern; guiding light that has passed through the region to be inspected into a projection optical system having a resolution limit that is coarser than the width of an image from one mirror element, and forming a spatial image; and inspecting the characteristics of the spatial light modulator from the spatial image. It is thereby possible to readily inspect the characteristics of a spatial light modulator having an array of a plurality of optical elements.

(57) 要約: 空間光変調器の検査方法は、ミラー要素のアレイの検査対象領域で、入射光に対する位相の変化量が0の第1の状態のミラー要素と、入射光に対する位相の変化量が 180° (π)の第2の状態のミラー要素とが市松模様状に配列された状態になるように制御し、検査対象領域を通過した光を、一つのミラー要素の像の幅よりも解像限界の粗い投影光学系に導いて空間像を形成し、空間像から空間光変調器の特性を検査する。複数の光学要素のアレイを

有する空間光変調器の特性の検査を容易に行うことができる。

明 細 書

発明の名称：

空間光変調器の検査方法及び装置、並びに露光方法及び装置

技術分野

[0001] 本発明は、複数の光学要素を有する空間光変調器の検査技術、この検査技術を用いて物体を露光する露光技術、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] 例えば半導体素子又は液晶表示素子等のデバイス（電子デバイス又はマイクロデバイス）を製造するためのリソグラフィ工程中で、所定のパターンを投影光学系を介してウエハ又はガラスプレート等の基板の各ショット領域に形成するために、ステッパ等の一括露光型の露光装置、又はスキャニングステッパ等の走査露光型の露光装置等が使用されている。

[0003] 最近では、複数種類のデバイス毎に、さらに基板の複数のレイヤ毎にそれぞれマスクを用意することによる製造コストの増大を抑制し、各デバイスを効率的に製造するために、マスクの代わりに、それぞれ傾斜角が可変の多数の微小ミラーのアレイを有する空間光変調器(spatial light modulators: SLM)を用いて、投影光学系の物体面に可変のパターンを生成するいわゆるマスクレス方式の露光装置が提案されている（例えば、特許文献1参照）。また、空間光変調器としては、入射する光の位相分布を制御するために、それぞれ反射面の高さが制御可能な多数の微小ミラーのアレイを有するタイプも提案されている（例えば、非特許文献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2008/0309898号明細書

非特許文献

[0005] 非特許文献1：D. Lopez et al., “Two-dimensional MEMS array for maskle

ss lithography and wavefront modulation,” Proc. of SPIE (米国) Vol. 6589, 65890S (2007)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 多数の微小ミラーのアレイを有する空間光変調器を用いる際に、そのアレイ中に高さの制御が正確にできない微小ミラー（欠陥素子）が生じるか、又はその空間光変調器の反射面の曲がりが許容範囲を超える等の現象が発生すると、最終的に基板の表面に形成される空間像の強度分布が目標とする分布から外れる恐れがある。

また、空間光変調器の欠陥素子等の特性の検査を行う場合には、例えば露光装置から取り外すことなくオンボディで容易に検査できることが好ましい。

[0007] 本発明は、このような事情に鑑み、複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器の特性の検査を容易に行うことを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の第1の態様によれば、光が照射される複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器の検査方法が提供される。この検査方法は、その光学素子のアレイの少なくとも一部の検査対象領域で、入射する光の位相を第1の位相だけ変化させて通過させる第1の状態の光学素子と、入射する光の位相をその第1の位相と180°異なる第2の位相だけ変化させて通過させる第2の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状態になるように制御することと、その検査対象領域を通過した光を、一つの光学素子の像の幅よりも解像限界の粗い投影光学系に導いて空間像を形成することと、その投影光学系によって形成される空間像からその空間光変調器の特性を検査することと、を含むものである。

[0009] また、第2の態様によれば、光が照射される複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器の検査装置が提供される。この検査装置は、その光学素子のアレイの少なくとも一部の検査対象領域を照明する照明装置と、その検査

対象領域で、入射する光の位相を第1の位相だけ変化させて通過させる第1の状態の光学素子と、入射する光の位相をその第1の位相と 180° 異なる第2の位相だけ変化させて通過させる第2の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状態になるように制御する制御装置と、その検査対象領域を通過した光から空間像を形成するとともに、一つの光学素子の像の幅よりも解像限界の粗い投影光学系と、その投影光学系によって形成される空間像に基づいてその空間光変調器の検査を行う演算装置と、を備えるものである。

[0010] また、第3の態様によれば、露光光で複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器及び投影光学系を介して基板を露光する露光方法において、本発明の空間光変調器の検査方法によってその空間光変調器の検査を行う工程を含む露光方法が提供される。

また、第4の態様によれば、照明系からの露光光で投影系を介して基板を露光する露光装置が提供される。この露光装置は、その投影系の物体面側に配置されて、それぞれその露光光をその投影系に導くように制御可能な複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器と、本発明の空間光変調器の検査装置と、を備えるものである。

[0011] また、第5の態様によれば、本発明の露光方法又は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

[0012] 本発明によれば、空間光変調器の光学素子のアレイの検査対象領域で、第1の状態の光学素子と第2の状態の光学素子とを市松模様状に配列し、その検査対象領域からの光を一つの光学素子の像の幅よりも解像限界の粗い投影光学系に導いて空間像を形成することで、その光学素子のアレイの特性と目標とする特性との間に相違があると、その空間像の強度分布がほぼ一定の低レベルの分布から変化する。従って、その空間像を用いて空間光変調器の特性の検査を容易に行うことができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]実施形態の一例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 28 の一部を示す拡大斜視図、(B) は図 2 (A) の B B 線に沿う断面図である。

[図3] (A) は走査露光時のウエハのショット領域を示す図、(B) はステップ・アンド・リピート方式で露光する際のウエハのショット領域を示す図である。

[図4] (A) は空間光変調器 28 によって設定される市松模様の第 1 の位相分布を示す部分拡大図、(B) は図 4 (A) の位相分布に対応する空間像を示す拡大図、(C) は図 4 (B) の C C 線上の強度分布を示す図である。

[図5] (A) は空間光変調器 28 によって設定される市松模様の第 2 の位相分布を示す部分拡大図、(B) は図 5 (A) の位相分布に対応する欠陥部を含む空間像を示す拡大図、(C) は図 5 (B) の C C 線上の強度分布を示す図である。

[図6] (A)、(B)、(C)、及び(D)は、それぞれ空間光変調器 28 によって形成される位相分布中を矩形のパターン領域が Y 方向に移動する様子を示す部分拡大図である。

[図7]第 1 の実施形態の検査方法を示すフローチャートである。

[図8] (A) は第 2 の実施形態において、空間光変調器 28 の反射面の曲がりの一例を示す拡大図、(B) は空間像の強度分布の一例を示す図である。

[図9] (A) は第 3 の実施形態において空間光変調器 28 によって設定される第 1 の位相分布を示す部分図、(B) は空間光変調器 28 によって設定される第 2 の位相分布を示す部分拡大図、(C) は図 9 (A) の位相分布に対応する空間像の強度分布を示す図、(D) は図 9 (B) の位相分布に対応する空間像の強度分布を示す図である。

[図10]変形例の露光装置の概略構成を示す図である。

[図11]第 4 の実施形態の検査装置を示す図である。

[図12]第 4 の実施形態の空間光変調器で設定される位相分布の一例を示す図である。

[図13] (A)、(B)、及び(C)はそれぞれ空間光変調器のミラー要素の高さのばらつきが1 nm、2 nm、及び4 nmの場合の高さの分布の一例を示す図である。

[図14] (A)、(B)、(C)はそれぞれ空間光変調器のミラー要素の高さのばらつきが1 nm、2 nm、及び4 nmの場合の空間像の一例を示す図、(D)はミラー要素の高さのばらつきと空間像のコントラストとの関係の一例を示す図である。

[図15]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

[0014] [第1の実施形態]

以下、第1の実施形態につき図1～図7を参照して説明する。

図1は、本実施形態のマスクレス方式の露光装置EXの概略構成を示す。図1において、露光装置EXは、パルス発光を行う露光用の光源2と、光源2からの露光用の照明光（露光光）ILで被照射面を照明する照明光学系ILSと、ほぼその被照射面又はその近傍の面上に二次元のアレイ状に配列されたそれぞれ高さが可変の微小ミラーである多数のミラー要素30を備えた空間光変調器28と、空間光変調器28を駆動する変調制御部48と、空間光変調器28の検査装置53とを備えている。さらに、露光装置EXは、多数のミラー要素30によって生成された反射型の可変の凹凸パターン（可変の位相分布を持つマスクパターン）で反射された照明光ILを受光して、その凹凸パターン（位相分布）に対応して形成される空間像（デバイスパターン）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の位置決め及び移動を行うウエハステージWSTと、装置全体の動作を統括制御するコンピュータよりなる主制御系40と、各種制御系等とを備えている。

[0015] 以下、図1において、ウエハステージWSTの底面（不図示のガイド面に平行な面）に垂直に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Y軸を、図1の紙面に垂直な方向にX軸を設定して説明する。また、X軸、Y軸、Z軸の回りの角度をそれぞれ θ_x 方向、 θ_y 方向、 θ_z

z 方向の角度とも呼ぶ。本実施形態では、露光時にウエハWはY 方向（走査方向）に走査される。

[0016] 光源 2 としては、波長 193 nm でパルス幅 50 ns 程度のほぼ直線偏光のレーザ光を 4 ～ 6 kHz 程度の周波数でパルス発光する ArF エキシマレーザ光源が使用されている。なお、光源 2 として、波長 248 nm の KrF エキシマレーザ光源、パルス点灯される発光ダイオード、又は YAG レーザ若しくは固体レーザ（半導体レーザ等）から出力されるレーザ光の高調波を生成する固体パルスレーザ光源等も使用できる。固体パルスレーザ光源は、例えば波長 193 nm（これ以外の種々の波長が可能）でパルス幅 1 ns 程度のレーザ光を 1 ～ 2 MHz 程度の周波数でパルス発光可能である。

[0017] 本実施形態においては、光源 2 には電源部 42 が連結されている。主制御系 40 が、パルス発光のタイミング及び光量（パルスエネルギー）を指示する発光トリガパルス TP を電源部 42 に供給する。その発光トリガパルス TP に同期して電源部 42 は、指示されたタイミング及び光量で光源 2 にパルス発光を行わせる。

光源 2 から射出された断面形状が矩形でほぼ平行光束のパルスレーザ光よりなる照明光 IL は、1 対のレンズよりなるビームエキスパンダ 4、照明光 IL の偏光状態を制御する偏光制御光学系 6 及びミラー 8A を介して、Y 軸に平行に、複数の回折光学素子（diffractive optical element）10A、10B 等から選択された回折光学素子（図 1 では回折光学素子 10A）に入射する。偏光制御光学系 6 は、例えば照明光 IL の偏光方向を回転する 1/2 波長板、照明光 IL を円偏光に変換するための 1/4 波長板、及び照明光 IL をランダム偏光（非偏光）に変換するための楔型の複屈折性プリズム等を交換可能に設置可能な光学系である。

[0018] 回折光学素子 10A、10B 等は、回転板 12 の周縁部にほぼ等角度間隔で固定されている。主制御系 40 が駆動部 12a を介して回転板 12 の角度を制御して、照明条件に応じて選択された回折光学素子を照明光 IL の光路上に設置する。選択された回折光学素子で回折された照明光 IL は、レンズ

14 a, 14 b よりなるリレー光学系 14 によってマイクロレンズアレイ 16 の入射面に導かれる。マイクロレンズアレイ 16 に入射した照明光 I L は、マイクロレンズアレイ 16 を構成する多数の微小なレンズエレメントによって二次元的に分割され、各レンズエレメントの後側焦点面である照明光学系 I L S の瞳面（照明瞳面 I P P）には二次光源（面光源）が形成される。

[0019] 一例として、回折光学素子 10 A は通常照明用であり、回折光学素子 10 B は、小さいコヒーレンスファクター（ σ 値）の照明光を生成する小 σ 照明用であり、その他に、2 極照明用、4 極照明用、及び輪帯照明用等の回折光学素子（不図示）も備えられている。なお、複数の回折光学素子 10 A, 10 B 等の代わりに、それぞれ傾斜角が可変の多数の微小ミラーのアレイを有する空間光変調器を使用してもよく、マイクロレンズアレイ 16 の代わりにフライアイレンズ等も使用可能である。

[0020] 照明瞳面 I P P に形成された二次光源からの照明光 I L は、第 1 リレーレンズ 18、視野絞り 20、光路を $-Z$ 方向に折り曲げるミラー 8 B、第 2 リレーレンズ 22、コンデンサ光学系 24、及びミラー 8 C を介して、XY 平面に平行な被照射面（設計上の転写用のパターンが配置される面）に $\theta \times$ 方向に平均的な入射角 α で入射する。言い換えると、その被照射面に対して照明光学系 I L S の光軸 A X I は $\theta \times$ 方向に入射角 α で交差している。入射角 α は例えば数 $deg(^{\circ})$ から数 $10 deg$ である。その被照射面又はその近傍の面に、空間光変調器 28 の 2 次元のアレイ状に配列された多数のミラー要素 30 の電源オフ時の反射面が配置される。ビームエキスパンダ 4 からコンデンサ光学系 24 及びミラー 8 C までの光学部材を含んで照明光学系 I L S が構成されている。照明光学系 I L S からの照明光 I L は、空間光変調器 28 の多数のミラー要素 30 のアレイ上の X 方向に細長い長方形の照明領域 26 A をほぼ均一な照度分布で照明する。多数のミラー要素 30 は、照明領域 26 A を含む長方形の領域に X 方向及び Y 方向に所定ピッチで配列されている。照明光学系 I L S は不図示のフレームに支持されている。

[0021] 図 2 (A) は、図 1 中の空間光変調器 28 の反射面の一部を示す拡大斜視

図、図 2 (B) は図 2 (A) の B B 線に沿う断面図である。図 2 (A) において、空間光変調器 28 の反射面には、X 方向及び Y 方向にそれぞれピッチ (周期) p_x 及び p_y で、多数のミラー要素 30 が配列されている。ミラー要素 30 の X 方向及び Y 方向の幅は、それぞれピッチ p_x 及び p_y とほぼ等しいとみなすことができる。一例としてミラー要素 30 は正方形であり、ピッチ p_x , p_y は互いに等しい。なお、ミラー要素 30 は長方形等でもよく、ピッチ p_x , p_y は互いに異なってもよい。

[0022] その反射面において、X 方向に i 番目 ($i = 1, 2, \dots, I$) 及び Y 方向に j 番目 ($j = 1, 2, \dots, J$) の位置 $P(i, j)$ にそれぞれミラー要素 30 が配置されている。一例として、ミラー要素 30 の Y 方向 (ウエハ W の走査方向に対応する方向) の配列数 J は数 100 ~ 数 1000 であり、X 方向の配列数 I は配列数 J の数倍 ~ 数 10 倍である。また、ミラー要素 30 の配列のピッチ $p_x (= p_y)$ は例えば 10 ~ 1 μm 程度である。また、空間光変調器 28 は、多数のミラー要素 30 と、各ミラー要素 30 をそれぞれ可撓性 (弾性) を持つヒンジ部 35 (図 2 (B) 参照) を介して支持するベース部材 32 とを備えている。

[0023] 図 2 (B) において、ベース部材 32 は、例えばシリコンよりなる平板状の基材 32 A と、基材 32 A の表面に形成された窒化ケイ素 (例えば Si_3N_4) 等の絶縁層 32 B とから構成されている。また、ベース部材 32 の表面に X 方向、Y 方向に所定ピッチで支持部 34 が形成され、隣接する Y 方向の支持部 34 の間に、弾性変形によって Z 方向に可撓性を持つ 1 対の 2 段のヒンジ部 35 を介して、ミラー要素 30 の裏面側の凸部が支持されている。支持部 34、ヒンジ部 35、及びミラー要素 30 は例えばポリシリコンから一体的に形成されている。ミラー要素 30 の反射面 (表面) には、反射率を高めるために金属 (例えばアルミニウム等) の薄膜よりなる反射膜 31 が形成されている。

[0024] また、ミラー要素 30 の底面側のベース部材 32 の表面に電極 36 A が形成され、電極 36 A に対向するようにヒンジ部 35 の底面に電極 36 B が形

成されている。ベース部材 32 の表面及び支持部 34 の側面には、ミラー要素 30 毎に対応する電極 36 A, 36 B 間に所定の電圧を印加するための信号ライン（不図示）がマトリクス状に設けられている。この場合、電源オフ状態又は電源オン状態で電極 36 A, 36 B 間に電圧が印加されていない状態（第 1 の状態）では、照明光 I L 2 が入射している位置 $P(i, j-1)$ のミラー要素 30 で示すように、ミラー要素 30 の反射面は、XY 平面に平行な平面である基準平面 A 1 に合致している。一方、電源オン時で電極 36 A, 36 B 間に所定の電圧が印加されている状態（第 2 の状態）では、照明光 I L 1 が入射している位置 $P(i, j)$ のミラー要素 30 で示すように、ミラー要素 30 の反射面は、XY 平面に平行で基準平面 A 1 から Z 方向に間隔 d_1 だけ変位した平面 A 2 に合致している。図 1 の変調制御部 48 が、主制御系 40 から設定される照明光 I L の位相分布（凹凸パターン）の情報に応じて、位置 $P(i, j)$ のミラー要素 30 毎の電極 36 A, 36 B 間の電圧を制御する。各ミラー要素 30 は、その第 1 の状態又はその第 2 の状態のいずれかに設定される。

[0025] このような微小な立体構造の空間光変調器 28 は、例えば背景技術で引用した非特許文献 1 に記載されているように、MEMS (Microelectromechanical Systems : 微小電気機械システム) 技術を用いて製造することが可能である。空間光変調器 28 の各ミラー要素 30 は、平行移動によって第 1 の状態又は第 2 の状態に設定できればよいだけであるため、ミラー要素 30 の小型化及びミラー要素 30 の配列数の増大が容易である。

[0026] また、各ミラー要素 30 の反射面が基準平面 A 1 に合致している状態（第 1 の状態）で、当該ミラー要素 30 によって反射される照明光 I L の位相の変化量を第 1 の位相 δ_1 とすると、本実施形態では位相 δ_1 は 0° である。また、各ミラー要素 30 の反射面が基準平面 A 1 から間隔 d_1 だけ変位した平面 A 2 に合致している状態（第 2 の状態）で、当該ミラー要素 30 で反射される照明光 I L の位相の変化量を第 2 の位相 δ_2 とすると、位相 δ_2 は位相 δ_1 に対して 180° (π (rad)) 異なっている。すなわち、以下の

関係が成立する。ただし、空間光変調器 28 の製造誤差及び変調制御部 48 による駆動誤差等を考慮して、位相 $\delta 2$ は、以下の式に対して数 $deg(^{\circ})$ 程度の誤差は許容される。

$$[0027] \quad \delta 1 = 0^{\circ} \cdots (1A), \quad \delta 2 = 180^{\circ} = \pi \text{ (rad)} \cdots (1B)$$

なお、以下では、単位のない位相は rad を意味する。また、位置 $P(i, j)$ のミラー要素 30 の反射面が基準平面 $A1$ に合致しているときの点線で示す反射光 $B1$ の波面の位相の変化量と、その反射面が間隔 $d1$ の平面 $A2$ に合致しているときの反射光 $B2$ の波面の位相の変化量との差分が第 2 の位相 $\delta 2$ である。一例として、入射角 α を 0° として、ミラー要素 30 の反射面に入射する照明光 $IL1$ の波長を λ (ここでは $\lambda = 193 \text{ nm}$) とすると、間隔 $d1$ は次のようになる。

$$[0028] \quad d1 = \lambda / 4 \cdots (2)$$

図 2 (A) において、空間光変調器 28 の各ミラー要素 30 はそれぞれ入射する照明光 IL の位相を 0° 変化させて反射する第 1 の状態、又は入射する照明光 IL の位相を 180° 変化させて反射する第 2 の状態に制御される。以下では、その第 1 の状態に設定されたミラー要素 30 を位相 0 のミラー要素、その第 2 の状態に設定されたミラー要素 30 を位相 π のミラー要素とも呼ぶこととする。

[0029] 一例として、所定パルス数の照明光 IL の発光毎に、主制御系 40 が変調制御部 48 に、空間光変調器 28 によって設定される照明光 IL の位相分布 (凹凸パターン) の情報を供給する。これに応じて変調制御部 48 が空間光変調器 28 の各ミラー要素 30 を位相 0 又は位相 π になるように制御する。ウエハ W の表面にはその位相分布に応じた空間像が形成される。

[0030] 図 1 において、空間光変調器 28 のベース部材 32 は、例えば同一直線上にない 3 箇所配置された支持部材 56 (3 番目の支持部材は図示省略) 及びナット 57 によってフレーム FL に支持されている。さらに、ベース部材 32 の反射面 (ミラー要素 30 のアレイの反射面) に対向する裏面が、複数箇所ボルト 58 及びナット 57 を介してフレーム FL に連結されている。

この場合、ボルト 5 8 の軸方向における 2 箇所のナット 5 7 の位置を調整することで、ベース部材 3 2 の裏面の応力分布を調整して、空間光変調器 2 8 の反射面の平面度を調整することが可能である。

[0031] 空間光変調器 2 8 の照明領域 2 6 A 内の多数のミラー要素 3 0 のアレイで反射された照明光 I L は、平均的な入射角 α で投影光学系 P L に入射する。不図示のコラムに支持された光軸 A X W を持つ投影光学系 P L は、空間光変調器 2 8（物体面）側に非テレセントリックであり、ウエハ W（像面）側にテレセントリックの縮小投影光学系である。投影光学系 P L は、空間光変調器 2 8 によって設定される照明光 I L の位相分布に応じた空間像の縮小像を、ウエハ W の 1 つのショット領域内の露光領域 2 6 B（照明領域 2 6 A と光学的に共役な領域）に形成する。投影光学系 P L の投影倍率 β は例えば $1/10 \sim 1/100$ 程度である。投影光学系 P L の像面側の開口数を N A、照明光 I L の波長を λ として、照明条件を通常照明とすると、投影光学系 P L の解像度 R e（周期的パターンの線幅で表した解像限界）は、次のようになる。

[0032]
$$R e = \lambda / (2 \cdot N A) \quad \dots (3)$$

本実施形態では、解像度 R e は、空間光変調器 2 8 のミラー要素 3 0 の像の幅 ($\beta \cdot p_y$) よりも大きく設定されている。一例として、解像度 R e は、ミラー要素 3 0 の像の幅の 2 倍程度である。例えば、ミラー要素 3 0 の大きさ（配列のピッチ）が数 μm 程度、投影光学系 P L の投影倍率 β が $1/100$ 程度であれば、解像度 R e は数 10 nm の 2 倍程度である。なお、投影光学系 P L は開口絞り（不図示）を備えているため、後述の空間光変調器 2 8 の検査時に、その開口絞りによって、投影光学系 P L の解像度を露光時の解像度より低く設定してもよい。

[0033] また、ウエハ W（基板）は、例えばシリコン又は S O I (silicon on insulator) 等の円形の平板状の基材の表面に、フォトレジスト（感光材料）を数 10 nm $\sim$ 200 nm 程度の厚さで塗布したものを含む。

本実施形態のように物体側に非テレセントリックの投影光学系 P L を用い

ることによって、空間光変調器 28 の多数のミラー要素 30 の反射面とウエハ W の露光面（フォトレジストの表面）とをほぼ平行に配置できる。従って、露光装置の設計・製造が容易である。

[0034] また、露光装置 E X が液浸型である場合には、例えば米国特許出願公開第 2007/242247 号明細書に開示されているように、投影光学系 P L の先端の光学部材とウエハ W との間に照明光 I L を透過する液体（例えば純水）を供給して回収する局所液浸装置が設けられる。液浸型の場合には開口数 N A を 1 より大きくできるため、解像度をさらに高めることができる。

[0035] 図 1 において、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、不図示のガイド面上で X 方向、Y 方向にステップ移動を行うとともに、Y 方向に一定速度で移動する。ウエハステージ W S T の X 方向、Y 方向の位置、及び θ_z 方向の回転角等はレーザ干渉計 45 によって形成され、この計測情報がステージ制御系 44 に供給されている。ステージ制御系 44 は、主制御系 40 からの制御情報及びレーザ干渉計 45 からの計測情報に基づいて、リニアモータ等の駆動系 46 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、ウエハ W のアライメントを行うために、ウエハ W のアライメントマークの位置を検出するアライメント系（不図示）等も備えられている。

[0036] また、ウエハステージ W S T の上部のウエハ W の近傍に、露光領域 26 B に形成される空間像の強度分布を計測する空間像計測装置 54 が設けられている。空間像計測装置 54 は、一例として、空間像を拡大する拡大光学系と、拡大された空間像を撮像する 2 次元の撮像素子とを備えている。空間像計測装置 54 から出力される検出信号は演算装置 55 に供給され、演算装置 55 は、その検出信号を処理して後述のように空間光変調器 28 の特性を求め、求めた特性を主制御系 40 に供給する。主制御系 40 には、各種情報を入出力する入出力装置（不図示）も接続されている。照明光学系 I L S、変調制御部 48、投影光学系 P L、空間像計測装置 54、及び演算装置 55 を含んで、空間光変調器 28 の検査装置 53 が構成されている。なお、空間像計

測装置 5 4 としては、ピンホールと、このピンホールに入射する光を集光する集光光学系と、集光された光を受光する光電検出器とを含む走査型の計測装置を使用することも可能である。

[0037] ウエハWの露光時には、基本的な動作として、ウエハWのアライメントを行った後、照明光学系 I L S の照明条件を設定する。また、主制御系 4 0 から変調制御部 4 8 に、ウエハWの各ショット領域に露光されるパターンに対応する位相分布の情報が供給される。そして、例えば図 3 (A) に示すウエハWの表面でY方向に一系列に配列されたショット領域 S A 2 1, S A 2 2, …に露光を行うために、ウエハWを走査開始位置に位置決めする。その後、ウエハWの+Y方向への一定速度での走査を開始する。なお、図 3 (A) のショット領域 S A 2 1 等の中の矢印は、ウエハWに対する露光領域 2 6 B の相対的な移動方向を示している。

[0038] 次に、主制御系 4 0 は、露光領域 2 6 B に対するウエハWのショット領域 S A 2 1 の相対位置の情報を変調制御部 4 8 に供給し、その相対位置に応じて変調制御部 4 8 は、転写対象の部分位相分布を読み出し、読み出した部分位相分布を空間光変調器 2 8 で設定する。そして、主制御系 4 0 が電源部 4 2 に発光トリガパルス T P を供給することによって、ウエハW上の露光領域 2 6 B には、Y方向の位置に応じて目標とする空間像が露光される。この動作は、ウエハWが所定量移動する毎に、かつショット領域 S A 2 1 が露光領域 2 6 B を横切るまで繰り返される。

[0039] その後、ウエハWのショット領域 S A 2 1 に隣接するショット領域 S A 2 2 に露光するために、ウエハWを同じ方向に走査したまま、主制御系 4 0 は、変調制御部 4 8 に露光領域 2 6 B に対するショット領域 S A 2 2 の相対位置の情報を供給するとともに、電源部 4 2 に発光トリガパルス T P を供給する。このようにして、マスクレス方式で、ショット領域 S A 2 1 から S A 2 2 にかけて連続的に露光を行うことができる。そして、図 3 (A) のウエハWのX方向に隣接するショット領域 S A 3 1, S A 3 2 を含む列の露光に移行する場合には、ウエハステージ W S T を駆動してウエハWをX方向（走査

方向に直交する非走査方向) にステップ移動する。そして、点線で示す露光領域 26 B に対するウエハ W の走査方向を逆の -Y 方向に設定し、主制御系 40 から変調制御部 48 に露光領域 26 B に対するショット領域 SA 31 等の相対位置の情報を供給し、電源部 42 に発光トリガパルス TP を供給する。これによって、ショット領域 SA 32 から SA 31 にかけて連続的に露光を行うことができる。この露光に際して、ショット領域 SA 21, SA 22 等に互いに異なる空間像を露光することも可能である。その後、ウエハ W のフォトレジストの現像を行うことで、ウエハ W の各ショット領域に回路パターンに対応するレジストパターンが形成される。

[0040] 次に、本実施形態の露光装置 EX において、空間光変調器 28 の検査方法の一例として、空間光変調器 28 のミラー要素 30 中の欠陥要素を特定する方法につき図 7 のフローチャートを参照して説明する。欠陥要素とは、変調制御部 48 から第 1 の状態 (位相 0) 又は第 2 の状態 (位相 π) になるように制御を行っても、それぞれ第 1 の状態又は第 2 の状態に設定されないミラー要素 30 を意味する。この検査方法は主制御系 40 の制御のもとで実行される。

[0041] まず、図 7 のステップ 102 において、ウエハステージ WST を駆動して、空間像計測装置 54 の受光面を露光領域 26 B (この段階では照明光 IL は照射されていない) を覆う位置に移動する。さらに、照明光学系 ILS の照明条件は、一例として σ 値が 0.1 程度の小 σ 照明で、偏光条件は非偏光に設定される。次のステップ 104 において、図 4 (A) に示すように、空間光変調器 28 のミラー要素 30 のアレイ中の照明領域 26 A が設定される部分を検査対象領域 DA とする。そして、主制御系 40 からの制御情報に応じて、変調制御部 48 は、検査対象領域 DA において、第 1 の状態 (位相 0) のミラー要素 30 と第 2 の状態 (位相 π) のミラー要素 30 とが第 1 の市松模様状に配列されるように各ミラー要素 30 を駆動する。

[0042] 市松模様状の配列とは、検査対象領域 DA の X 軸に平行な 1 行目のミラー要素 30 において、位置 P (1, 1) を含む奇数番目のミラー要素 30 が第

2の状態（位相 π ）で、偶数番目のミラー要素30が第1の状態（位相0）になる場合、2行目のミラー要素30においては、奇数番目のミラー要素30が位相0で、偶数番目のミラー要素30が位相 π になり、以下の行では、1行目及び2行目と同じ配列が繰り返されることを意味する。なお、市松模様とは、市松格子又はチェッカーボードパターン(Checkerboard Pattern))とも言う。さらに、図4（A）の配列のように、位置P（1，1）のミラー要素30が位相 π である市松模様を、本実施形態では第1の市松模様と呼んでいる。

[0043] 次のステップ106において、主制御系40が電源部42に発光トリガパルスTPを供給することによって、ミラー要素30のアレイの照明領域26Aに照明光ILが照射され、投影光学系PLを介して露光領域26Bに、図4（A）の位相分布に対応する図4（B）の空間像28P（拡大して示されている）が形成される。なお、説明の便宜上、空間像28Pは正立像としている。そして、空間像計測装置54によって空間像28PのX方向、Y方向の強度分布を計測し、計測された画像データを演算装置55に取り込む。

[0044] 次のステップ108において、主制御系40からの制御情報に応じて、変調制御部48は、検査対象領域DAにおいて、第1の状態（位相0）のミラー要素30と第2の状態（位相 π ）のミラー要素30とが図5（A）に示す第2の市松模様状に配列されるように各ミラー要素30を駆動する。第2の市松模様とは、第1の市松模様の位相0の部分と位相 π の部分とを入れ替えた配列であり、図5（A）の位置P（1，1）のミラー要素30は位相0である。次のステップ110において、照明領域26Aに照明光ILが照射され、投影光学系PLを介して露光領域26Bに、図5（A）の位相分布に対応する図5（B）の空間像28Pが形成される。そして、空間像計測装置54によって空間像28Pの強度分布を計測し、計測された画像データを演算装置55に取り込む。

[0045] 次のステップ112において、演算装置55は、ステップ106及び110で計測された空間像28Pの画像データ（強度分布）を順次処理して、強

度が予め定められている閾値よりも高い部分を検出する。この場合、図4（A）の第1の市松模様の配列では、全部のミラー要素30の状態が設定された状態であり、かつ投影光学系PLの解像度はミラー要素30の像の幅よりも大きい（粗い）。そのため、図4（B）の空間像28Pは、全面が低レベルとなり、図4（B）のCC線（中央付近のミラー要素30の仮想的な像の中心を通りY軸に平行な直線）に沿う強度分布INTは、図4（C）に示すようにほぼ一定の低レベルである。

[0046] 一方、図5（A）の第2の市松模様の配列では、位置P（ i_1 , j_1 ）（一例として、 $i_1 = 11$, $j_1 = 8$ ）のミラー要素30の状態（位相0）が設定された状態（位相 π ）とは異なっている。このとき、位置P（ i_1 , j_1 ）を中心とするX方向に3個のミラー要素30及びY方向に3個のミラー要素30の像の幅は、1つのミラー要素30の像の幅の3倍になるため、位置P（ i_1 , j_1 ）のミラー要素30を含む部分の像は投影光学系PLによって解像される。そのため、図5（B）の空間像28Pは、位置P（ i_1 , j_1 ）のミラー要素30の仮想的な像30Pの部分で高レベルとなり、それ以外の部分で低レベルとなる。従って、図5（B）のCC線（像30Pの中心を通りY軸に平行な直線）に沿う強度分布INTは、図5（C）に示すように、像30Pに対応する部分で高レベルである。この場合、ステップ112の閾値は、一例として図5（C）の強度分布INTの低レベルと高レベル（例えば予め実測で定められるレベル）との中間に設定されている。そのため、演算装置55では、像30Pの部分を強度がその閾値よりも高い部分として検出できる。なお、強度が閾値より高い部分がない場合には、動作はステップ120に移行する。

[0047] ここでは、像30Pの部分の強度が閾値よりも高いため、動作はステップ114に移行する。そして、演算装置55は、空間像28P中で強度が閾値よりも高い部分（像30P）に対応する空間光変調器28の位置P（ i_1 , j_1 ）のミラー要素30を欠陥要素38（図6（A）参照）として特定する。欠陥要素38の位置の情報は、主制御系40から変調制御部48に供給さ

れる。

[0048] 次のステップ 116 において、変調制御部 48 は、図 6 (A) に示すように、ミラー要素 30 のアレイ中の検査対象領域 DA (照明領域 26 A) を、Y 方向 (ウエハ W の走査方向に対応する方向 SD) に、欠陥要素 38 を含む通常領域 37 A と、欠陥要素のない Y 方向に複数行 (図 6 (A) では 4 行) の予備領域 37 B とに分ける。予備領域 37 B は通常領域 37 A よりも狭い領域である。次のステップ 118 において、変調制御部 48 は、予備領域 37 B 内で、欠陥要素 38 に対して方向 SD に離れて配置されたミラー要素 30 を代替要素 39 (予備要素) として設定して記憶する。

[0049] その後、ステップ 120 の露光工程において、ウエハ W の表面に形成される空間像に対応するミラー要素 30 のアレイの位相分布が欠陥要素 38 によって位相 π に設定される部分を含む場合、変調制御部 48 は、欠陥要素 38 の代わりに代替要素 39 を使用する。一例として、図 6 (A) の X 方向に細長いパターン領域 60 内の全部のミラー要素 30 の位相が π の位相分布に対応する空間像をウエハ W の表面に形成するものとする。このとき、パターン領域 60 以外の部分では、ミラー要素 30 の位相分布は、位相 0 のミラー要素 30 と位相 π のミラー要素 30 とが市松模様状に設定され、パターン領域 60 以外の部分の空間像は低レベルとなる。また、予備領域 37 B も、通常は位相 0 のミラー要素 30 と位相 π のミラー要素 30 とが市松模様状に設定され、代替要素 39 は位相 0 に設定されて、予備領域 37 B の部分の空間像は低レベルとなる。

[0050] この場合、走査露光時には、照明領域 26 A の全体に照明光 IL がパルス的に照射されるとともに、ウエハ W が次第に Y 方向に走査されるのに同期して、パターン領域 60 も次第に Y 方向に移動する。そして、図 6 (B) に示すように、パターン領域 60 内に欠陥要素 38 が含まれる状態では、欠陥要素 38 の位相は 0 であるため、その部分に対応するウエハ W の表面では露光量が減少する。その後、図 6 (C) に示すように、パターン領域 60 が欠陥要素 38 を過ぎて、図 6 (D) に示すように、パターン領域 60 が予備領域

37B内の代替要素39を含む領域61に達すると、変調制御部48は代替要素39の位相を π に設定する。このときに、代替要素39を含む部分の像によるウエハWに対する露光量は、欠陥要素38で減少した露光量を相殺するように設定される。これによって、欠陥要素38が発生しても、ウエハWの表面の露光量の均一性が確保され、パターン領域60に対応する空間像をウエハWの表面に正確に形成できる。従って、ウエハWのフォトリソの現像によって目標とするパターンを高精度に形成できる。

[0051] なお、欠陥要素38が予備領域37B内に発生したときには、一例として、例えば視野絞り20によって照明領域26AのY方向の幅を欠陥要素を含まないように設定してもよい。また、欠陥要素38の個数は2個以上であってもよく、一つの代替要素39で複数個の欠陥要素の代替を行うことも可能である。

[0052] 本実施形態の効果等は以下の通りである。

(1) 本実施形態の露光装置EXは、複数のミラー要素30（光学要素）のアレイを有する空間光変調器28を備えている。また、空間光変調器28の検査方法は、ミラー要素30のアレイの検査対象領域DAで、入射光の位相を第1の位相（ 0° ）だけ変化させて反射する第1の状態のミラー要素30と、入射光の位相を第2の位相（ 180° ）だけ変化させて反射する第2の状態のミラー要素30とが市松模様状に配列された状態になるように制御するステップ104、108と、検査対象領域DAを通過した光を、一つのミラー要素30の像の幅よりも解像限界の粗い投影光学系PLに導いて空間像を形成するステップ106、110と、投影光学系PLによって形成される空間像から空間光変調器28の特性を検査するステップ112、114と、を含んでいる。

[0053] また、空間光変調器28の検査装置53は、ミラー要素30のアレイの検査対象領域DAを照明する照明光学系ILSと、検査対象領域DAで、その第1の状態のミラー要素30と、その第2の状態のミラー要素30とが市松模様状に配列された状態になるように制御する変調制御部48（制御装置）

と、検査対象領域DAを通過した光から空間像を形成する投影光学系PLと、投影光学系PLによって形成される空間像に基づいて空間光変調器28の検査を行う演算装置55と、を備えている。

[0054] 本実施形態によれば、空間光変調器28のミラー要素30のアレイの検査対象領域DAで、第1の状態のミラー要素30と第2の状態のミラー要素30とを市松模様状に配列し、検査対象領域DAからの光を一つのミラー要素30の像の幅よりも解像限界の粗い投影光学系PLに導いて空間像を形成することで、そのミラー要素30のアレイの特性と目標とする特性との間に相違があると、その空間像がほぼ一定の低レベルの状態から変化する。従って、その空間像を用いて空間光変調器28の特性の検査をオンボディで容易に行うことができる。

[0055] (2) また、本実施形態では、空間光変調器28の特性として、ミラー要素30中の欠陥要素38の有無を検査しているため、欠陥要素38が存在することによって、ウエハWに形成されるパターンに形状誤差が生じることを抑制できる。なお、本実施形態では、欠陥要素38が存在する場合には、代替要素39を割り当てているが、欠陥要素38が存在する場合に空間光変調器28を交換してもよい。この場合、露光装置EXの主制御系40は、露光装置EXのコンソールに設けられた表示部(モニター)に空間光変調器の交換を促す警告を表示させても良い。なお、欠陥要素38が存在する場合に代替要素39を割り当てる際にも、代替要素を割り当てている旨の注意情報を表示部に表示させても良い。また、上記の警告或いは注意情報は、製造プラントにおける多数のリソグラフィユニットに関して管理機能を有するマスターコンピュータシステムに通知されるものであっても良い。

[0056] (3) また、空間光変調器28は光学要素としてミラー要素30(反射要素)を有するため、照明光ILの利用効率が高い。しかしながら、空間光変調器28の代わりに、個々の光学要素がそれぞれ透過する光の位相を所定の $\phi 1$ 又は $(\phi 1 + 180^\circ)$ 変化させる透過型の空間光変調器を使用することも可能である。このような光学要素としては、電圧によって屈折率が変化

する電気光学素子又は液晶セル等を使用できる。

[0057] (4) また、本実施形態の露光装置E Xの露光方法は、照明光I L（露光光）で複数のミラー要素3 0のアレイを有する空間光変調器2 8及び投影光学系P Lを介してウエハW（基板）を露光する露光方法において、上記の空間光変調器2 8の検査方法によって空間光変調器2 8の検査を行う工程を含んでいる。

また、本実施形態の露光装置E Xは、照明光学系I L S（照明系）からの照明光I L（露光光）で投影光学系P L（投影系）を介してウエハWを露光する露光装置において、投影光学系P Lの物体面側に配置されて、それぞれ照明光I Lを投影光学系P Lに導くように制御可能な複数のミラー要素3 0のアレイを有する空間光変調器2 8と、上記の空間光変調器の検査装置5 3と、を備えている。

[0058] その露光方法又は露光装置E Xによれば、空間光変調器2 8を用いて種々のパターンをマスクレス方式でウエハWの表面に形成できる。さらに、空間光変調器2 8の特性の検査をオンボディで容易に行うことができるため、空間光変調器2 8の特性の検査に際して、露光工程のスループットの低下を抑制できる。

また、露光装置E Xの照明光学系I L S及び投影光学系P Lが検査装置5 3の照明光学系I L S及び投影光学系P Lとして兼用されている。従って、検査装置5 3の構成が簡単である。なお、検査装置5 3の照明装置及び投影光学系の少なくとも一方を、照明光学系I L S及び投影光学系P Lとは別に着脱可能に設けてもよい。また、検査装置5 3は、露光装置E Xとは独立に空間光変調器2 8の専用の検査装置として設けてもよい。

[0059] (5) また、照明光学系I L Sからの照明光I Lは、複数のミラー要素3 0（反射要素）にほぼ入射角 α で斜めに入射し、ミラー要素3 0からの反射光が、投影光学系P Lに対して投影光学系P Lの光軸A X Wに交差するように入射している。従って、投影光学系P Lは物体面側に非テレセントリックであるため、空間光変調器2 8からの反射光の全部を投影光学系P Lを介し

てウエハWに照射でき、照明光I Lの利用効率が高い。さらに、偏光制御光学系6で設定される照明光I Lの偏光状態をウエハWの表面で正確に再現できる。

[0060] [第2の実施形態]

次に、第2の実施形態につき図1及び図8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、空間光変調器28の特性として反射面の平面度を検査する点が異なっている。これに伴い演算装置55の動作が第1の実施形態とは異なっている。

[0061] 本実施形態の空間光変調器28の特性の検査時には、図7のステップ102, 104, 106と同じ動作を実行する。すなわち、空間光変調器28のミラー要素30の照明領域26A内のアレイは、図4(A)に示すように、位相0のミラー要素30と位相 π のミラー要素30とが市松模様状に配列され、図4(A)の位相分布に対応する空間像の強度分布が空間像計測装置54によって計測される。

[0062] 図8(B)の実線の強度分布64は、空間像計測装置54によって計測される空間像のX軸に平行な直線に沿う部分の強度分布INTである。実際には、その空間像の全面にY方向に所定間隔で配置された複数のX軸に平行な直線に沿う強度分布が計測され、計測結果が演算装置55に供給される。本実施形態では、予め空間像の強度分布INTと対応する空間光変調器28の反射面の曲がりとの関係の情報が求められ、この情報が演算装置55内の記憶装置に記憶されている。ベース部材32の歪み情報を含む強度分布64が、一例として図8(B)のような球面状の分布であるときには、図8(A)に示すように、空間光変調器28のベース部材32（ひいてはミラー要素30のアレイの反射面）が球面状に湾曲していると推定される。そこで、演算装置55は、強度分布64及びミラー要素30のアレイの反射面が平坦である場合の既知の強度分布（例えば強度分布65Aのような平坦な分布）の情報を、例えば2次元の画像のような形で主制御系40を介して不図示のモニターに表示する。

[0063] これに応じて、例えばオペレータは、図1の空間光変調器28のベース部材32の裏面のボルト58に沿ったナット57の位置を調整して、ベース部材32に作用する応力分布を制御して、計測された強度分布64が強度分布65Aに近づくようにベース部材32の平坦度を調整する。この場合、ベース部材32の平坦度を調整する毎に、ステップ104, 106の動作を実行して、空間像の強度分布INTを計測することが好ましい。この動作を繰り返すことによって、空間光変調器28のベース部材32、ひいてはミラー要素30のアレイの反射面を2点鎖線の位置65Bで示すように平坦にすることができる。

なお、演算装置55からは、ベース部材32に付加する応力分布の情報を供給してもよい。

また、空間光変調器28のベース部材32の裏面に、ベース部材32に作用する応力分布を可変にするための1つまたは複数のアクチュエータを設け、演算装置55からのベース部材32の平坦度に関する情報、空間光変調器23の反射面の曲がりに関する情報、または空間像の位置での光強度分布に関する情報に基づいて、ミラー要素30のアレイの反射面が平坦となるように、アクチュエータを駆動させても良い。

この第2の実施形態においても、露光装置EXの主制御系40は、露光装置EXのコンソールに設けられた表示部（モニター）に、ミラー要素30のアレイの反射面が平坦度に関する情報を表示させても良く、マスターコンピュータシステムにその情報を通知しても良い。なお、ミラー要素30のアレイの反射面を平坦に補正できない場合は、その情報を表示部に表示させるか、マスターコンピュータシステムに通知しても良い。

[0064] [第3の実施形態]

次に、第3の実施形態につき図1及び図9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、空間光変調器28の特性として迷光を検査し、この検査結果を用いて投影光学系PLのフレアを検査（計測）する点が異なっている。これに伴い演算装置55の動作が第1の実

施形態とは異なっている。

[0065] 本実施形態の空間光変調器 28 の特性の検査時には、まず、図 7 のステップ 102, 104, 106 と同じ動作を実行する。すなわち、空間光変調器 28 のミラー要素 30 の照明領域 26 A 内のアレイは、図 9 (A) に示すように、位相 0 のミラー要素 30 と位相 π のミラー要素 30 とが市松模様状に配列され、図 9 (A) の位相分布に対応する空間像の強度分布が空間像計測装置 54 によって計測される。

[0066] 図 9 (C) の実線の強度分布 68 B は、空間像計測装置 54 によって計測される空間像の X 方向の中央の部分で Y 軸に平行な直線（計測軸）に沿う部分の強度分布 INT である。実際には、その空間像の全面に X 方向に所定間隔で配置された複数の Y 軸に平行な直線に沿う強度分布を計測してもよい。その計測結果が演算装置 55 に供給される。本実施形態では、予め照明光 I_L を照射しない状態でも、図 9 (A) の位相分布に対応する空間像の強度分布 68 A が計測され、計測結果が演算装置 55 に記憶されている。演算装置 55 は、強度分布 68 B と強度分布 68 A との差分を位置 Y 毎に計算し、計算結果を空間光変調器 28 の迷光として記憶するとともに、主制御系 40 に供給する。

[0067] 次に、ミラー要素 30 の照明領域 26 A 内のアレイの位相分布を、図 9 (B) に示すように、中央の長方形の第 1 領域 66 内の全部のミラー要素 30 が位相 π になり、第 1 領域 66 を囲む枠状の第 2 領域 67 内で位相 0 のミラー要素 30 と位相 π のミラー要素 30 とが市松模様状に配列されるように設定する。そして、図 9 (B) の位相分布に対応する検査用空間像の強度分布を空間像計測装置 54 によって計測する。このときの上記の計測軸に沿う強度分布は、図 9 (D) の台形状の強度分布 68 C で示すように、第 1 領域 66 に対応する部分で高レベルになる。計測結果は演算装置 55 に供給される。

[0068] そして、演算装置 55 では、強度分布 68 C のレベルが低下した部分で、強度分布 68 C と図 9 (A) の位相分布に対応する空間像の強度分布 68 B

との差分 $FR1$ 、 $FR2$ を計算する。その差分 $FR1$ 、 $FR2$ は投影光学系 PL のフレアを表している。演算装置55は、その差分 $FR1$ 、 $FR2$ を投影光学系 PL のフレア情報として主制御系40に供給する。このように本実施形態によれば、空間光変調器28の迷光及び投影光学系 PL のフレアを効率的に検査できる。

ここで、空間光変調器28の迷光の量または分布、或いは投影光学系 PL のフレアの量または分布が許容値を超える場合には、露光装置 EX の主制御系40は、露光装置 EX のコンソールに設けられた表示部（モニター）に、許容値を超えている旨の情報を表示させても良く、マスターコンピュータシステムにその情報を通知しても良い。

ここで、上記の迷光またはフレアの許容値は、そのプロセスにおいて許容される線幅誤差（ OPC 誤差を含む）によって定めることができる。この線幅誤差（ OPC 誤差）は、例えば露光量の変更、瞳輝度分布などの照明条件の変更等によってある程度は補正することが可能であるため、露光装置 EX の主制御系40は、計測された迷光・フレアに関する情報に基づいて、露光量の変更や、瞳輝度分布などの照明条件の変更を行っても良い。この場合においても、露光装置 EX の主制御系40は、露光装置 EX のコンソールに設けられた表示部（モニター）に、これらの情報を表示させても良く、マスターコンピュータシステムにその情報を通知しても良い。

また、露光量の変更や、瞳輝度分布などの照明条件の変更を行っても、空間光変調器28の迷光の量または分布、或いは投影光学系 PL のフレアの量または分布が許容値を超えてしまう場合には、補正不可能である旨の情報（空間光変調器28の交換等を促す情報）を表示させても良く、マスターコンピュータシステムにその情報を通知しても良い。

[0069] なお、上記の実施形態では以下のような変形が可能である。

上記の実施形態では、投影光学系 PL の空間像を空間像計測装置54によって計測しているため、効率的に空間光変調器28の検査を行うことができる。なお、投影光学系 PL の空間像の状態を計測するために、実際にウエハ

Wのフォトレジストを露光し、フォトレジストの現像後に形成されるレジストパターンの形状等を例えば走査型電子顕微鏡（SEM）等を用いて計測してもよい。

[0070] また、上記の実施形態では、ウエハWを連続的に移動してウエハWを走査露光している。その他に、図3（B）に示すように、ウエハWの各ショット領域（例えばSA21）をY方向に複数の部分領域SB1～SB5等に分割し、投影光学系PLの露光領域26Bに部分領域SB1等が達したときに、照明光ILを所定パルス数だけ発光させて、空間光変調器28のミラー要素30のアレイからの反射光で部分領域SB1等を露光してもよい。この後、ウエハWをY方向にステップ移動させて、次の部分領域SB2等が露光領域26Bに達してから、同様に部分領域SB2等に露光が行われる。この方式は実質的にステップ・アンド・リピート方式であるが、部分領域SB1～SB5等には互いに異なるパターンが露光される。

[0071] 次に、上記の実施形態では、物体側に非テレセントリックの投影光学系PLを用いている。それ以外に、図10の変形例の露光装置EXAで示すように、物体側及び像面側に両側テレセントリックの投影光学系PLAを用いることも可能である。図10において、露光装置EXAは、S偏光の照明光ILをほぼ+Y方向に発生する照明光学系ILSAと、照明光ILを+Z方向に反射する偏光ビームスプリッタ51と、偏光ビームスプリッタ51からの照明光ILを円偏光に変換する1/4波長板52と、円偏光の照明光ILを-Z方向に反射する多数のミラー要素30の2次元のアレイを有する空間光変調器28と、ミラー要素30で反射されてから、1/4波長板52及び偏光ビームスプリッタ51を透過した照明光ILを受光してウエハWの表面の露光領域26Bに空間像（パターン）を投影する投影光学系PLAと、を備えている。照明光学系ILSAは、図1の照明光学系ILSからミラー8B、8Cを除いた光学系である。空間光変調器28の構成及び作用は図1の実施形態と同様である。

[0072] ただし、この変形例では、空間光変調器28のミラー要素30に対して照

明光 I L がほぼ入射角 0 で入射する。そのため、小 σ 照明の場合には、ミラー要素 30 からの反射光は、投影光学系 P L の光軸 A X にほぼ平行に投影光学系 P L に入射する。この変形例の露光装置 E X A によれば、両側テレセントリックの投影光学系 P L A を使用できるため、露光装置の構成が簡素化できる。

[0073] なお、照明光 I L の利用効率が $1/2$ に低下してもよい場合には、偏光ビームスプリッタ 51 の代わりに通常のビームスプリッタを使用し、 $1/4$ 波長板 52 を省略してもよい。この場合には、偏光照明が使用できる。

また、図 1 の波面分割型のインテグレータであるマイクロレンズアレイ 16 に代えて、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。

[0074] [第 4 の実施形態]

次に、第 4 の実施形態につき図 11 ~ 図 14 を参照して説明する。本実施形態においては、独立の検査装置を用いて空間光変調器の各ミラー要素の高さ（反射光の位相）の平均的な設定誤差（目標値に対する実際の設定値のばらつき） ΔZ を計測する。

[0075] 図 11 は、本実施形態の検査装置 70 を示す。検査装置 70 は、検査用の照明光 I L D を発生する照明系 71 と、照明光 I L D を折り曲げるハーフミラー 72 と、折り曲げられた照明光 I L D を検査対象の空間光変調器 28 のミラー要素 30 のアレイに照射する第 1 対物レンズ 73 A と、を有する。さらに、検査装置 70 は、ミラー要素 30 のアレイで反射されて第 1 対物レンズ 73 A 及びハーフミラー 72 を通過した照明光からミラー要素 30 のアレイの空間像を形成する第 2 対物レンズ 73 B と、対物レンズ 73 A, 73 B よりなる検査光学系（結像光学系）の瞳面（射出瞳と共役な面）又はこの近傍の面に配置される可変開口絞り 74 と、その空間像を撮像する例えば C C D 型の 2 次元の撮像素子 75 と、撮像素子 75 の撮像信号を処理して各ミラー要素 30 の高さの平均的な設定誤差 ΔZ を求める演算装置 55 A と、を有する。空間光変調器 28 には変調制御部 48 が接続されている。その検査光

学系の倍率は低倍であり、例えば1倍である。また、その検査光学系の開口数NAは可変である。

[0076] 本実施形態では、空間光変調器28のミラー要素30のアレイの高さの分布（反射光の位相分布）は、図12に示すように、一例としてX方向にN列でY方向にN行の $N \times N$ 画素（Nは1以上の整数）のミラー要素30を単位として市松模様状に設定される。図12において、全部で $M \times M$ 画素（MはNの整数倍）の検査対象のミラー要素30のアレイを $N \times N$ 個ずつのミラー要素30を含み市松模様状に配列された画素群76A、76Bに分けたとき、画素群76A内の全部のミラー要素30は、反射光の位相を第1の位相（ここでは 0° とする）だけ変化させる第1の状態に設定される。そして、画素群76AとX方向及びY方向に交互に配置される画素群76B内の全部のミラー要素30は、反射光の位相を第1の位相と 180° 異なる第2の位相（ここでは $180^\circ = \pi$ ）だけ変化させる第2の状態に設定される。

[0077] この場合、図11の検査光学系の開口NAは、各画素群76A、76Bの像を解像しないように設定される。具体的に、照明光ILDの波長を λ 、ミラー要素30の配列のピッチを p_x とすると、開口数NAは次の範囲であればよい。

$$NA < \lambda / (2^{1/2} \cdot N \cdot p_x) \quad \dots (4)$$

[0078] そして、図11の照明系71の照明条件を、一例としてコヒーレンスファクタ（ σ 値）が極めて小さい（ほぼ0）とともに、ランダム偏光であるとして、図12の整数Nを10、整数Mを100として、ミラー要素30のアレイの空間像をシミュレーションによって評価した。この際に、各ミラー要素30の高さの目標値に対する実際の設定値の設定誤差（ばらつき） ΔZ をガウス分布であると仮定し、設定誤差 ΔZ の標準偏差の3倍（以下、 $\Delta Z 3\sigma$ という。）が図13（A）、（B）、（C）に示す値である場合についてそれぞれ図11の撮像素子75で検出される空間像をシミュレーションによって求めた。図13（A）、（B）、（C）はそれぞれ $\Delta Z 3\sigma$ が1nm、2nm、及び4nmの場合の図12のミラー要素30のアレイの設定誤差 Δ の

分布の一例を示す。設定誤差 ΔZ の分布の形は互いに同じであるが、設定誤差 ΔZ の絶対値が $\Delta Z 3\sigma$ に比例して大きく設定されている。また、図11の検査光学系の開口数NAは、式(4)を満たす範囲でほぼ最も大きい値である0.6に設定した。

[0079] 図14(A)、(B)、(C)は、それぞれ空間光変調器28のミラー要素30の高さの設定誤差の標準偏差の3倍($\Delta Z 3\sigma$)が1nm、2nm、及び4nmの場合に、図11の検査装置70によって得られる空間像(光強度分布)をシミュレーションで求めた結果を示す。図14(A)~(C)より、 $\Delta Z 3\sigma$ が増加すると、空間像の最大値を平均値で割って得られるコントラストが大きくなっていることが分かる。

[0080] 図14(D)は、図14(A)~(C)の空間像の光強度の平均値(%) (折れ線77C)、それらの空間像の光強度の最大値(%) (折れ線77B)、及びその光強度の最大値を平均値で割ったコントラスト(%) (折れ線77A)を示す。図14(D)の折れ線77Aが示すコントラストは、ほぼ $\Delta Z 3\sigma$ に比例して変化していることが分かる。そこで、図11の演算装置55Aの記憶部には、図14(D)の折れ線77Aの情報が記憶されている。

[0081] そして、実際に空間光変調器28のミラー要素30の高さの設定誤差を評価するときには、演算装置55Aは、図11の撮像素子75の撮像信号から図12のミラー要素30のアレイの像のコントラストを求める。さらに、そのコントラストを折れ線77Aに適用することで、容易にミラー要素30のアレイの高さの設定誤差の標準偏差の3倍($\Delta Z 3\sigma$)を求めることができる。

なお、図11の検査装置70の動作を図1の実施形態の検査装置54で行うことも可能である。図1の実施形態の検査装置54を用いる場合には、ミラー要素30のアレイの高さの設定誤差に関する情報を、露光装置EXの表示部に表示、或いはマスターコンピュータシステムに通知しても良い。

[0082] また、電子デバイス(又はマイクロデバイス)を製造する場合、電子デバ

イスは、図 1 1 に示すように、電子デバイスの機能・性能設計を行うステップ 2 2 1、この設計ステップに基づいたマスクのパターンデータを実施形態の露光装置 E X、E X A の主制御系に記憶するステップ 2 2 2、デバイスの基材である基板（ウエハ）を製造してレジストを塗布するステップ 2 2 3、前述した露光装置 E X、E X A（又は露光方法）により空間光変調器 2 8 で生成される位相分布の空間像を基板（感応基板）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 2 2 4、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） 2 2 5、並びに検査ステップ 2 2 6 等を経て製造される。

[0083] このデバイスの製造方法は、上記の実施形態のマスクレス方式の露光装置（又は露光方法）を用いてウエハ W を露光する工程と、露光されたウエハ W を処理する工程（ステップ 2 2 4）とを含んでいる。従って、微細な回路パターンを備える電子デバイスを高精度に安価に製造できる。

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（C M O S 型、C C D 等）、マイクロマシーン、M E M S (Microelectromechanical Systems：微小電気機械システム)、薄膜磁気ヘッド、及び D N A 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。

[0084] なお、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、本発明は、以下の条項に従って記述することもできる。

1. 光が照射される複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器の検査方法であって、前記光学素子のアレイの少なくとも一部の検査対象領域で、第 1 の状態の光学素子と、入射する光の位相を、前記第 1 の状態の光学素子を通過した光の位相である第 1 の位相とは 180° 異なる第 2 の位相だけ変化させて通過させる第 2 の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状

態になるように制御することと、

前記検査対象領域を通過した光を、投影光学系の像面に導くことと、
一つの前記光学素子の像の幅よりも解像限界の粗い投影光学系に導いて空間像を形成することと、

前記投影光学系を通過した光から前記空間光変調器の特性を検査することと、

を含み、

$$\lambda / (2 \cdot NA) > \beta \cdot p_y$$

を満足する空間光変調器の検査方法。

但し、

λ : 前記光の波長、

NA : 前記投影光学系の像面に光を導く際の前記投影光学系の前記像面の側の開口数、 β : 前記投影光学系の倍率、

p_y : 前記複数の光学要素のアレイの幅、
である。

2. 前記空間光変調器の特性を検査するために、前記投影光学系によって形成される空間像から前記検査対象領域内の欠陥のある光学素子を特定する条項 1 に記載の空間光変調器の検査方法。

3. 前記欠陥のある光学素子を特定するために、前記検査対象領域内で、前記空間像のうちの光強度が所定の閾値よりも強い部分に対応する光学素子の位置を求める条項 2 に記載の空間光変調器の検査方法。

[0085] 4. 前記検査対象領域をそれぞれ複数の前記光学素子を含み、前記光学素子の配列方向である第 1 方向に隣接する第 1 領域及び第 2 領域に分割することと、

前記第 1 領域内に前記欠陥のある光学素子が配置されているときに、前記第 2 領域内で前記欠陥のある光学素子から前記第 1 方向に離れた光学素子を前記欠陥のある光学素子の代替の光学素子とすることと、
を含む条項 2 又は 3 に記載の空間光変調器の検査方法。

５． 前記空間光変調器の特性を検査するために、前記投影光学系によって形成される空間像から前記検査対象領域内の複数の前記光学素子の反射面の歪み情報を求める条項１に記載の空間光変調器の検査方法。

６． 前記反射面の歪み情報に基づいて、前記空間光変調器の前記検査対象領域に応力を加えることを含む条項５に記載の空間光変調器の検査方法。

７． 前記空間光変調器の特性を検査するために、前記投影光学系によって形成される空間像から前記空間光変調器に起因する迷光量を求める条項１に記載の空間光変調器の検査方法。

[0086] ８． 前記検査対象領域を、第１照明領域とこれを囲む第２照明領域とに分け、

前記第１照明領域内の複数の前記光学要素を前記第１の状態に設定し、前記第２照明領域を、前記第１の状態の光学素子と、前記第２の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状態に設定することと、

前記検査対象領域を通過した光によって前記投影光学系を介して検査用空間像を形成することと、

前記投影光学系によって形成される前記空間像と前記検査用空間像とから前記投影光学系のフレア情報を求めることと、

を含む条項７に記載の空間光変調器の検査方法。

９． 前記空間光変調器の特性を検査するために、前記投影光学系によって形成される空間像の光強度のコントラストから前記空間光変調器の前記光学要素を通過する光の位相のばらつきを求める条項１に記載の空間光変調器の検査方法。

１０． 前記空間像から前記空間光変調器の特性を検査することは、前記空間像を光学的に検出することを含む条項１～９のいずれか一項に記載の空間光変調器の検査方法。

１１． 露光光で複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器及び投影光学系を介して基板を露光する露光方法において、

条項１～１０のいずれか一項に記載の空間光変調器の検査方法によって前

記空間光変調器の検査を行う工程を含む露光方法。

[0087] 1 2. 前記投影光学系の像面に光を導く際の前記投影光学系の前記像面の側の開口数は、前記基板を露光する際の前記投影光学系の前記像面の側の開口数よりも低く設定する条項 1 1 に記載の露光方法。

1 3. 光が照射される複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器の検査装置であって、

前記光学素子のアレイの少なくとも一部の検査対象領域を照明する照明装置と、

前記検査対象領域で、第 1 の状態の光学素子と、入射する光の位相を、前記第 1 の状態の光学素子を通過した光の位相である第 1 の位相と 180° 異なる第 2 の位相だけ変化させて通過させる第 2 の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状態になるように制御する制御装置と、

前記検査対象領域を通過した光を像面に導く投影光学系と、

前記投影光学系を通過した光を用いて前記空間光変調器の検査を行う演算装置と、

を備え、

$$\lambda / (2 \cdot NA) > \beta \cdot p_y$$

を満足する空間光変調器の検査装置。

但し、

λ : 前記光の波長、

NA : 前記投影光学系の像面に光を導く際の前記投影光学系の前記像面の側の開口数、

β : 前記投影光学系の倍率、

p_y : 前記複数の光学要素のアレイの幅、

である。

1 4. 前記演算装置は、前記検査対象領域内の欠陥のある光学素子を特定する条項 1 3 に記載の空間光変調器の検査装置。

1 5. 前記制御装置は、

前記検査対象領域をそれぞれ複数の前記光学素子を含み、前記光学素子の配列方向である第 1 方向に隣接する第 1 領域及び第 2 領域に分割し、

前記第 1 領域内に前記欠陥のある光学素子が配置されているときに、前記第 2 領域内で前記欠陥のある光学素子から前記第 1 方向に離れた光学素子を前記欠陥のある光学素子の代替の光学素子とする条項 1 4 に記載の空間光変調器の検査装置。

[0088] 1 6. 前記演算装置は、前記検査対象領域内の複数の前記光学素子の反射面の歪み情報を求める条項 1 3 に記載の空間光変調器の検査装置。

1 7. 前記演算装置は、前記空間光変調器に起因する迷光量を求める条項 1 3 に記載の空間光変調器の検査装置。

1 8. 前記制御装置は、

前記検査対象領域を、第 1 領域とこれを囲む第 2 領域とに分け、

前記第 1 領域内の複数の前記光学要素を前記第 1 の状態に設定し、前記第 2 領域を、前記第 1 の状態の光学素子と、前記第 2 の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状態に設定し、

前記演算装置は、前記第 1 領域及び第 2 領域を通過した光によって前記投影光学系を介して形成される検査用空間像と前記空間像とに基づいて前記投影光学系のフレア情報を求める条項 1 7 に記載の空間光変調器の検査装置。

1 9. 前記演算装置は、前記投影光学系によって形成される空間像の光強度のコントラストから前記空間光変調器の前記光学要素を通過する光の位相のばらつきを求める条項 1 3 に記載の空間光変調器の検査装置。

[0089] 2 0. 照明系からの露光光で投影系を介して基板を露光する露光装置において、

前記投影系の物体面側に配置されて、それぞれ前記露光光を前記投影系に導くように制御可能な複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器と、

条項 1 3 ～ 1 9 のいずれか一項に記載の空間光変調器の検査装置と、
を備える露光装置。

2 1. 前記照明系は、前記検査装置の前記照明装置の少なくとも一部を兼

用し、

前記投影系は、前記検査装置の前記投影光学系を兼用する条項 20 に記載の露光装置。

22. 前記投影光学系の像面に光を導かれた光を用いて前記空間光変調器を検査を行う際の前記投影光学系の前記像面の側の開口数は、前記基板を露光する際の前記投影光学系の前記像面の側の開口数よりも低く設定する条項 20 または 21 に記載の露光装置。

23. 条項 11 または 12 に記載の露光方法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。

24. 条項 20～22 のいずれか一項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。

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 2011 年 9 月 2 日付け提出の日本国特許出願第 2011-191319 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。

符号の説明

[0090] EX, EXA…露光装置、ILS, ILSA…照明光学系、PL, PLA…投影光学系、W…ウエハ、28…空間光変調器、30…ミラー要素、37A…通常領域、37B…予備領域、38…欠陥要素、39…代替要素、48…変調制御部、53…検査装置、54…空間像計測装置

請求の範囲

- [請求項1] 光が照射される複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器の検査方法であって、
- 前記光学素子のアレイの少なくとも一部の検査対象領域で、入射する光の位相を第1の位相だけ変化させて通過させる第1の状態の光学素子と、入射する光の位相を前記第1の位相と 180° 異なる第2の位相だけ変化させて通過させる第2の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状態になるように制御することと、
- 前記検査対象領域を通過した光を、一つの前記光学素子の像の幅よりも解像限界の粗い投影光学系に導いて空間像を形成することと、
- 前記投影光学系によって形成される空間像から前記空間光変調器の特性を検査することと、
- を含む空間光変調器の検査方法。
- [請求項2] 前記空間光変調器の特性を検査するために、前記投影光学系によって形成される空間像から前記検査対象領域内の欠陥のある光学素子を特定する請求項1に記載の空間光変調器の検査方法。
- [請求項3] 前記欠陥のある光学素子を特定するために、前記検査対象領域内で、前記空間像のうちの光強度が所定の閾値よりも強い部分に対応する光学素子の位置を求める請求項2に記載の空間光変調器の検査方法。
- [請求項4] 前記検査対象領域をそれぞれ複数の前記光学素子を含み、前記光学素子の配列方向である第1方向に隣接する第1領域及び第2領域に分割することと、
- 前記第1領域内に前記欠陥のある光学素子が配置されているときに、前記第2領域内で前記欠陥のある光学素子から前記第1方向に離れた光学素子を前記欠陥のある光学素子の代替の光学素子とすることと、
- を含む請求項2又は3に記載の空間光変調器の検査方法。
- [請求項5] 前記空間光変調器の特性を検査するために、前記投影光学系によっ

て形成される空間像から前記検査対象領域内の複数の前記光学素子の反射面の歪み情報を求める請求項 1 に記載の空間光変調器の検査方法。

[請求項6] 前記反射面の歪み情報に基づいて、前記空間光変調器の前記検査対象領域に応力を加えることを含む請求項 5 に記載の空間光変調器の検査方法。

[請求項7] 前記空間光変調器の特性を検査するために、前記投影光学系によって形成される空間像から前記空間光変調器に起因する迷光量を求める請求項 1 に記載の空間光変調器の検査方法。

[請求項8] 前記検査対象領域を、第 1 照明領域とこれを囲む第 2 照明領域とに分け、

前記第 1 照明領域内の複数の前記光学要素を前記第 1 の状態に設定し、前記第 2 照明領域を、前記第 1 の状態の光学素子と、前記第 2 の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状態に設定することと、

前記検査対象領域を通過した光によって前記投影光学系を介して検査用空間像を形成することと、

前記投影光学系によって形成される前記空間像と前記検査用空間像とから前記投影光学系のフレア情報を求めることと、を含む請求項 7 に記載の空間光変調器の検査方法。

[請求項9] 前記空間光変調器の特性を検査するために、前記投影光学系によって形成される空間像の光強度のコントラストから前記空間光変調器の前記光学要素を通過する光の位相のばらつきを求める請求項 1 に記載の空間光変調器の検査方法。

[請求項10] 前記空間像から前記空間光変調器の特性を検査することは、前記空間像を光学的に検出することを含む請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の空間光変調器の検査方法。

[請求項11] 露光光で複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器及び投影光学系を介して基板を露光する露光方法において、

請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の空間光変調器の検査方法によって前記空間光変調器の検査を行う工程を含む露光方法。

[請求項12] 光が照射される複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器の検査装置であって、

前記光学素子のアレイの少なくとも一部の検査対象領域を照明する照明装置と、

前記検査対象領域で、入射する光の位相を第 1 の位相だけ変化させて通過させる第 1 の状態の光学素子と、入射する光の位相を前記第 1 の位相と 180° 異なる第 2 の位相だけ変化させて通過させる第 2 の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状態になるように制御する制御装置と、

前記検査対象領域を通過した光から空間像を形成するとともに、一つの前記光学素子の像の幅よりも解像限界の粗い投影光学系と、

前記投影光学系によって形成される空間像に基づいて前記空間光変調器の検査を行う演算装置と、

を備える空間光変調器の検査装置。

[請求項13] 前記演算装置は、前記検査対象領域内の欠陥のある光学素子を特定する請求項 12 に記載の空間光変調器の検査装置。

[請求項14] 前記制御装置は、

前記検査対象領域をそれぞれ複数の前記光学素子を含み、前記光学素子の配列方向である第 1 方向に隣接する第 1 領域及び第 2 領域に分割し、

前記第 1 領域内に前記欠陥のある光学素子が配置されているときに、前記第 2 領域内で前記欠陥のある光学素子から前記第 1 方向に離れた光学素子を前記欠陥のある光学素子の代替の光学素子とする請求項 13 に記載の空間光変調器の検査装置。

[請求項15] 前記演算装置は、前記検査対象領域内の複数の前記光学素子の反射面の歪み情報を求める請求項 12 に記載の空間光変調器の検査装置。

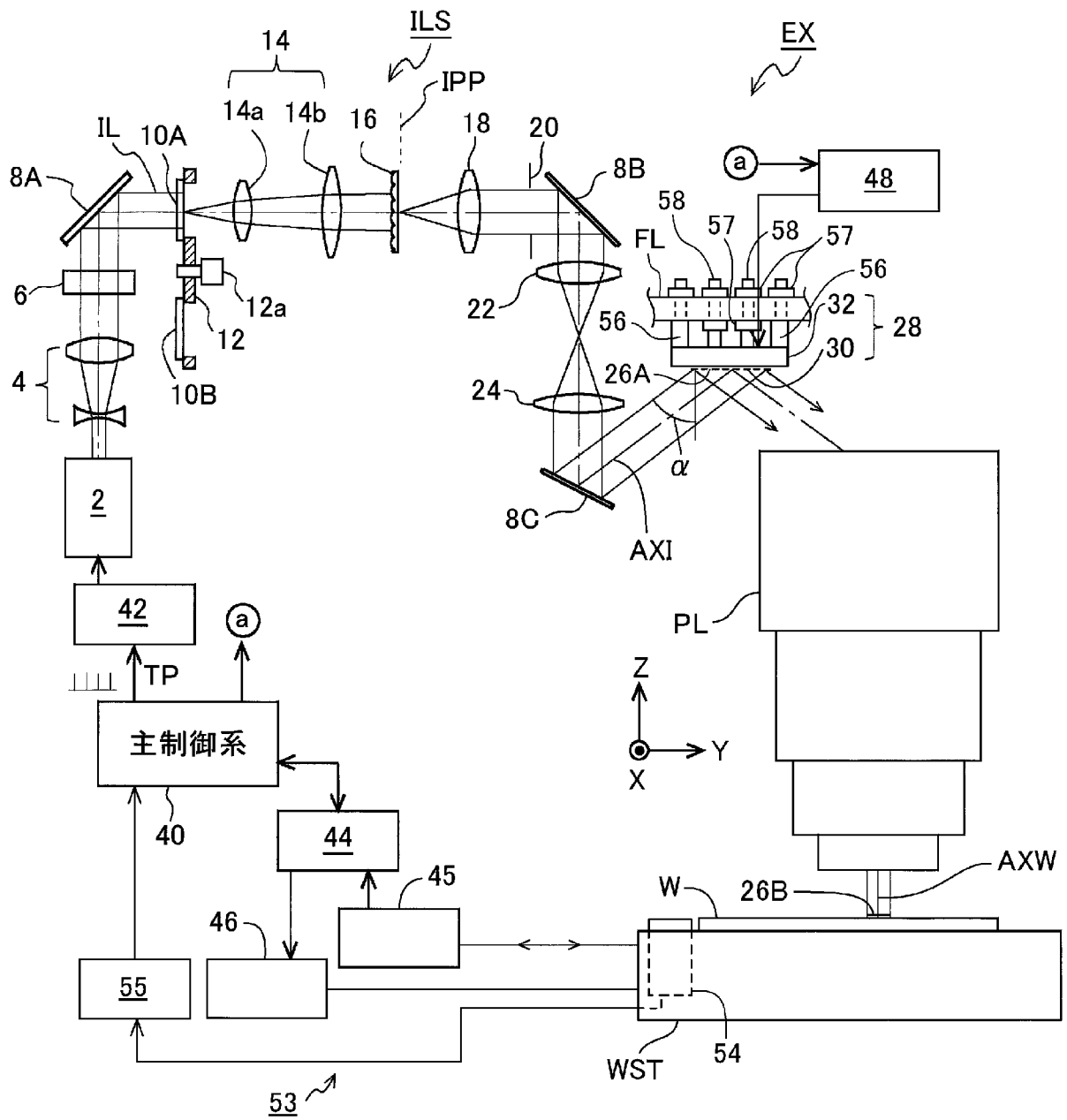
- [請求項16] 前記演算装置は、前記空間光変調器に起因する迷光量を求める請求項 1 2 に記載の空間光変調器の検査装置。
- [請求項17] 前記制御装置は、
前記検査対象領域を、第 1 領域とこれを囲む第 2 領域とに分け、
前記第 1 領域内の複数の前記光学要素を前記第 1 の状態に設定し、
前記第 2 領域を、前記第 1 の状態の光学素子と、前記第 2 の状態の光学素子とが市松模様状に配列された状態に設定し、
前記演算装置は、前記第 1 領域及び第 2 領域を通過した光によって前記投影光学系を介して形成される検査用空間像と前記空間像とに基づいて前記投影光学系のフレア情報を求める請求項 1 6 に記載の空間光変調器の検査装置。
- [請求項18] 前記演算装置は、前記投影光学系によって形成される空間像の光強度のコントラストから前記空間光変調器の前記光学要素を通過する光の位相のばらつきを求める請求項 1 2 に記載の空間光変調器の検査装置。
- [請求項19] 照明系からの露光光で投影系を介して基板を露光する露光装置において、
前記投影系の物体面側に配置されて、それぞれ前記露光光を前記投影系に導くように制御可能な複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器と、
請求項 1 2 ～ 1 8 のいずれか一項に記載の空間光変調器の検査装置と、
を備える露光装置。
- [請求項20] 前記照明系は、前記検査装置の前記照明装置の少なくとも一部を兼用し、
前記投影系は、前記検査装置の前記投影光学系を兼用する請求項 1 9 に記載の露光装置。
- [請求項21] 請求項 1 1 に記載の露光方法を用いて基板上に感光層のパターンを

形成することと、

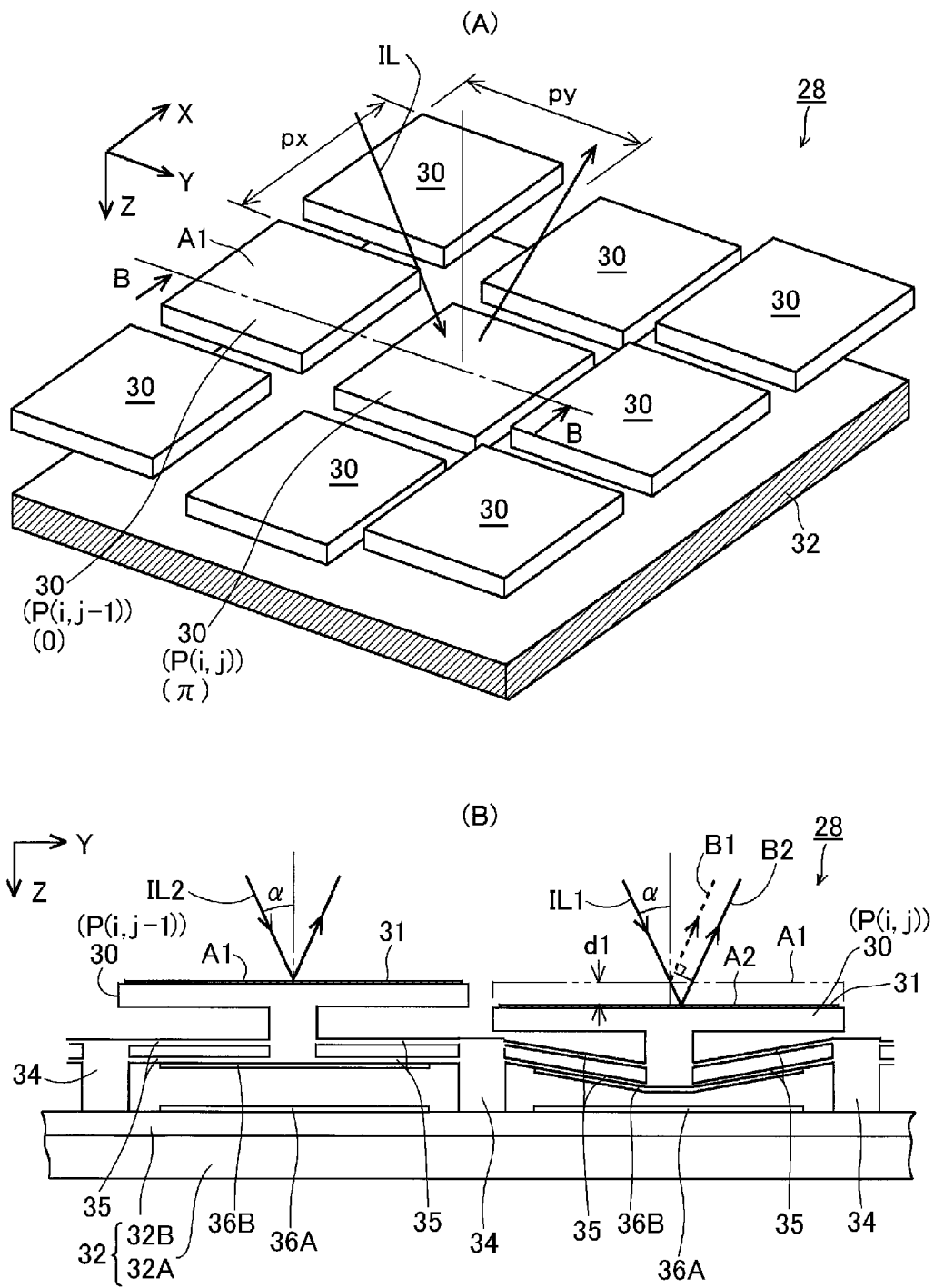
前記パターンが形成された前記基板を処理することと、
を含むデバイス製造方法。

[請求項22] 請求項19又は20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。

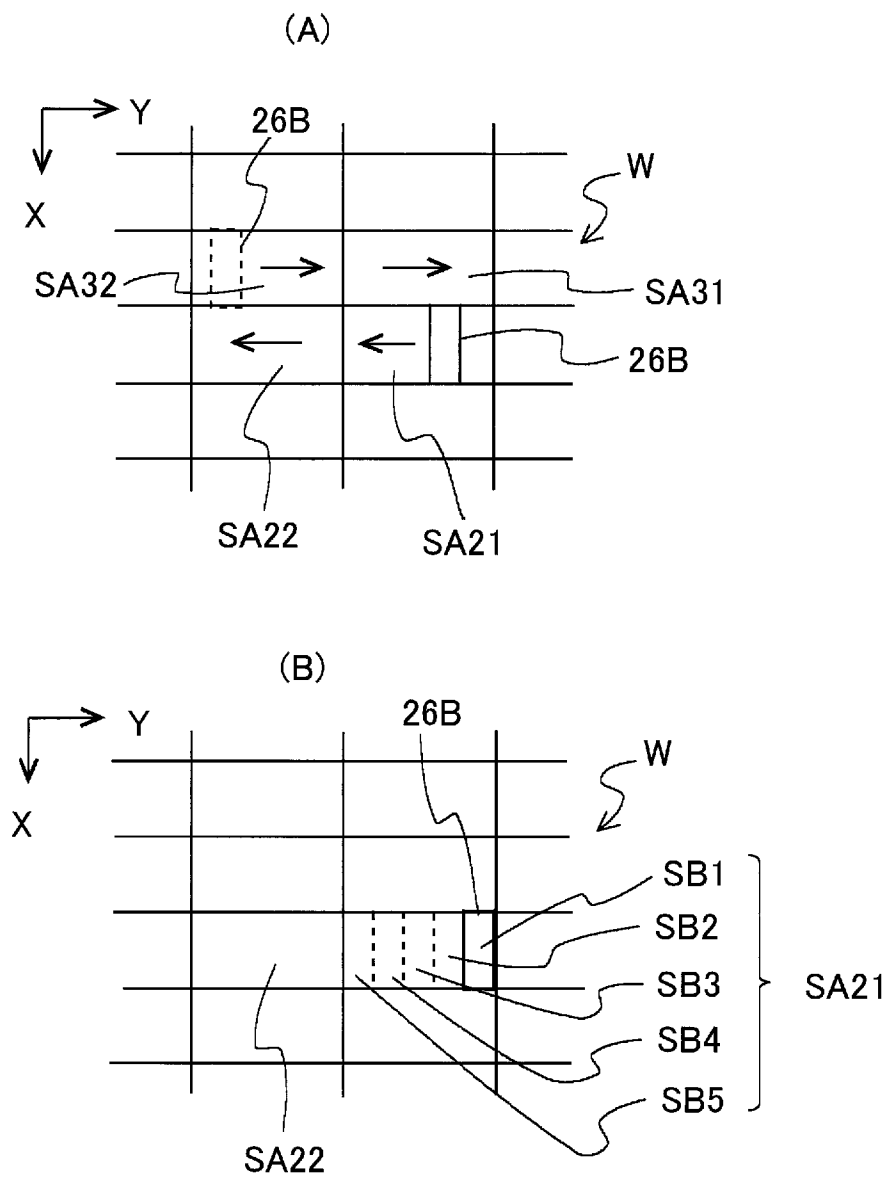
[図1]



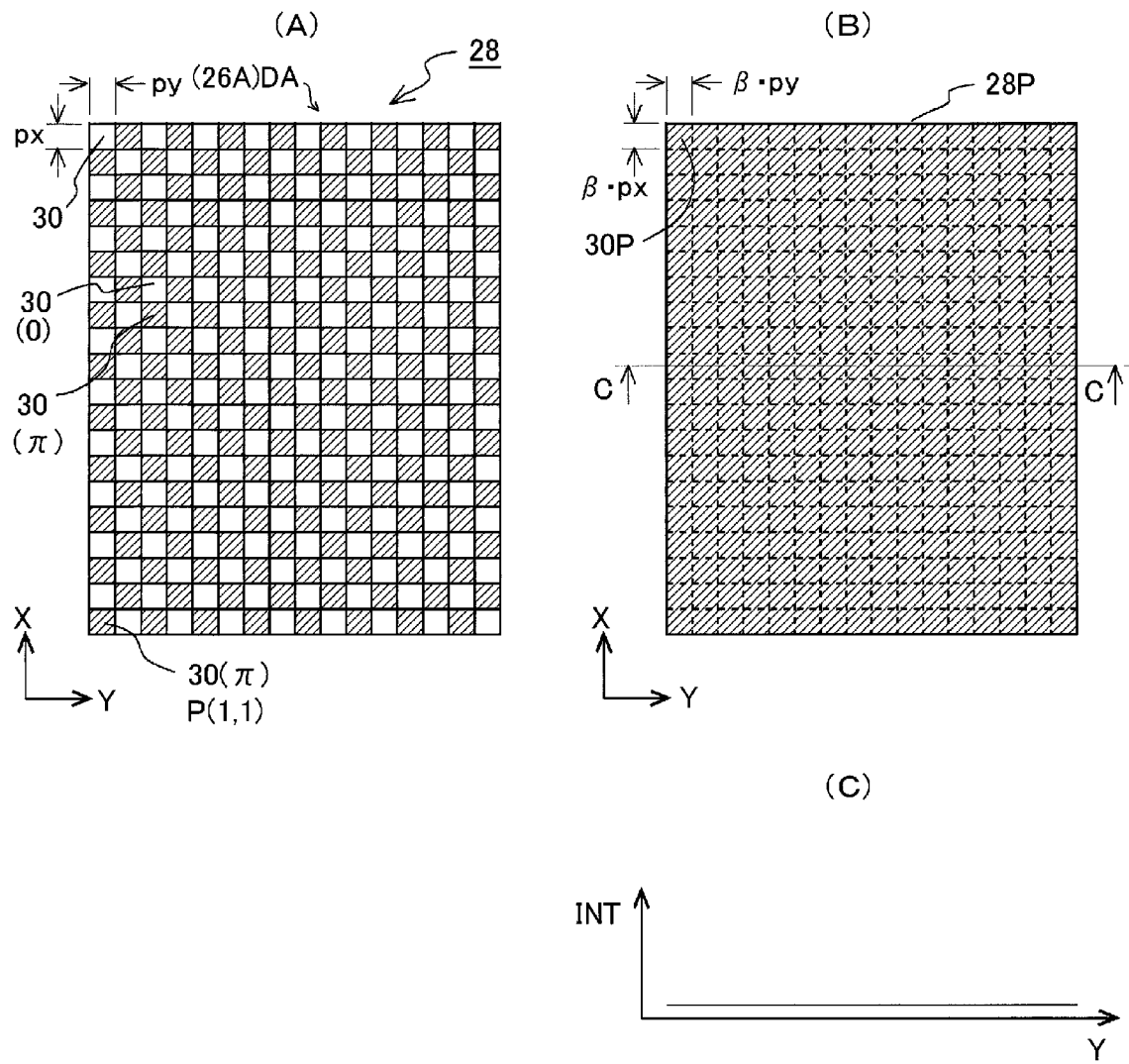
[図2]



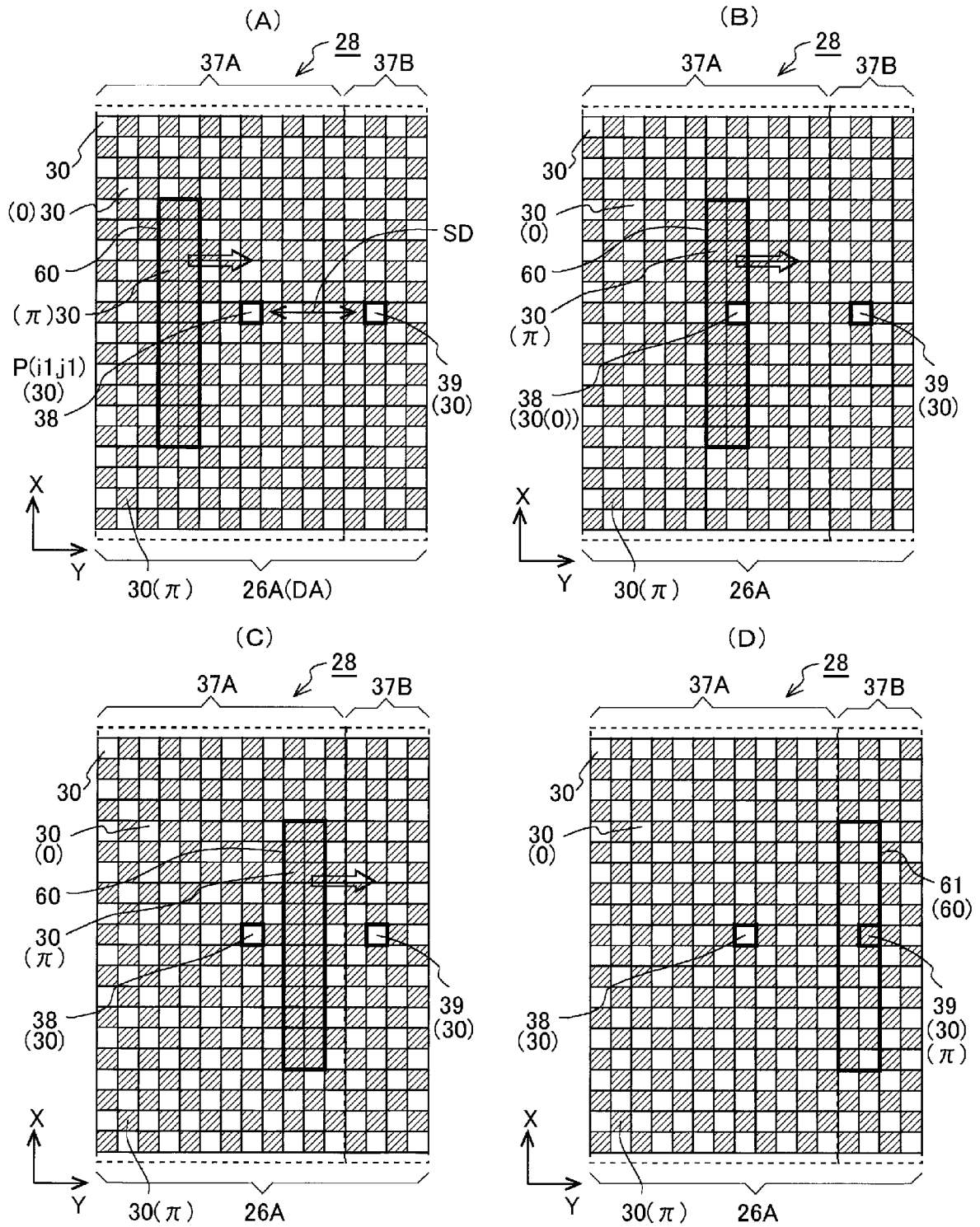
[図3]



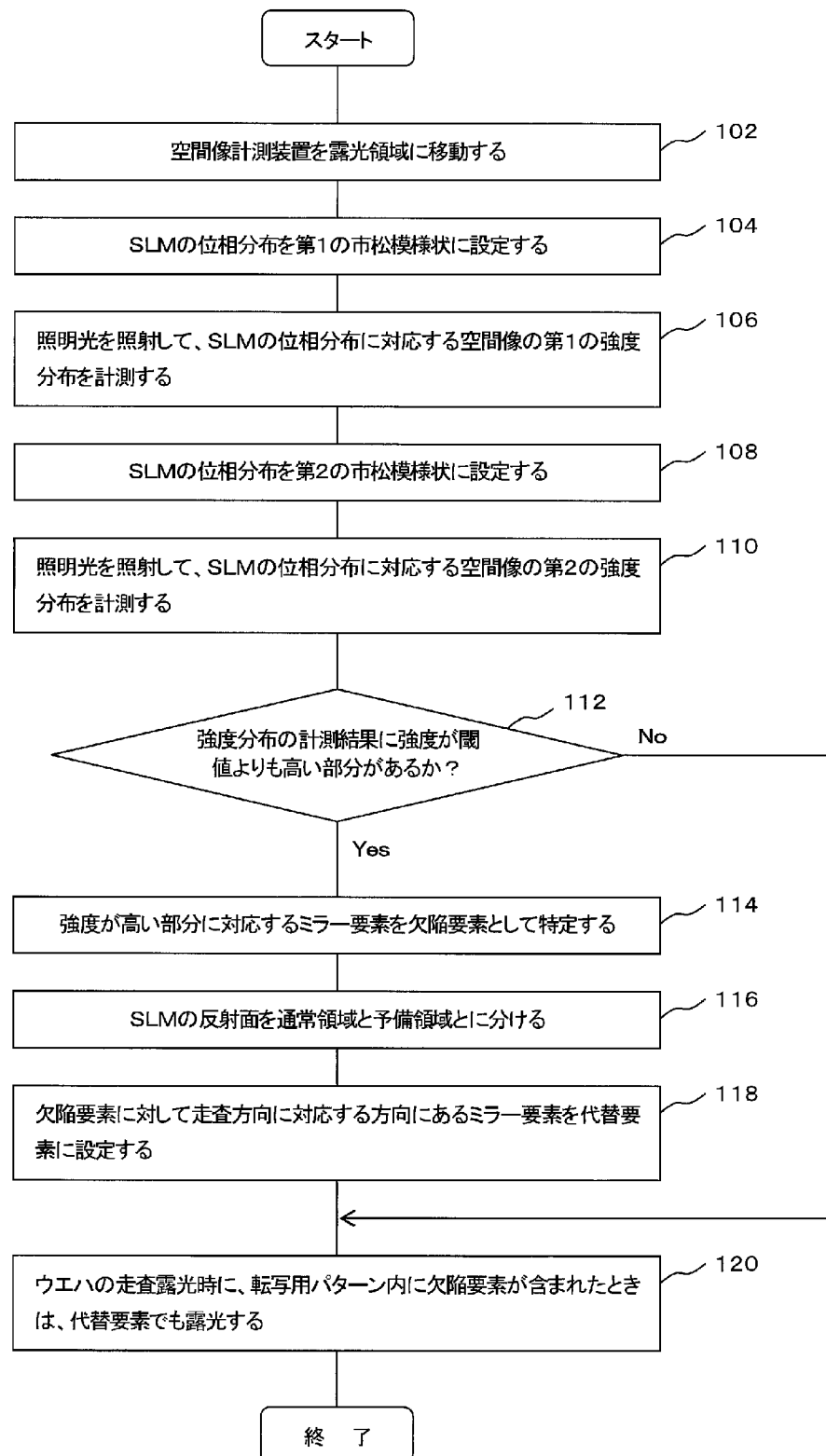
[図4]



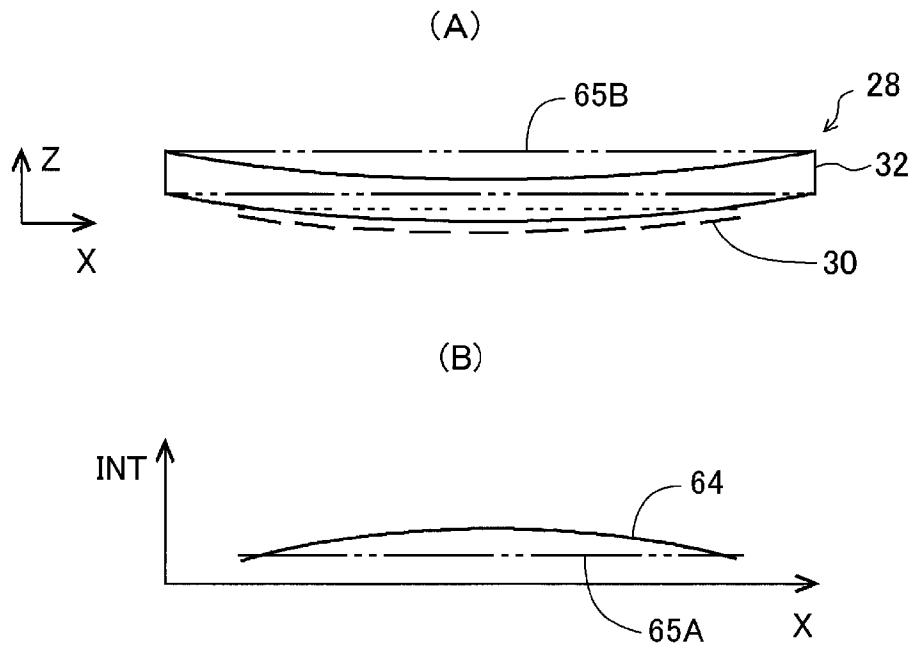
[図6]



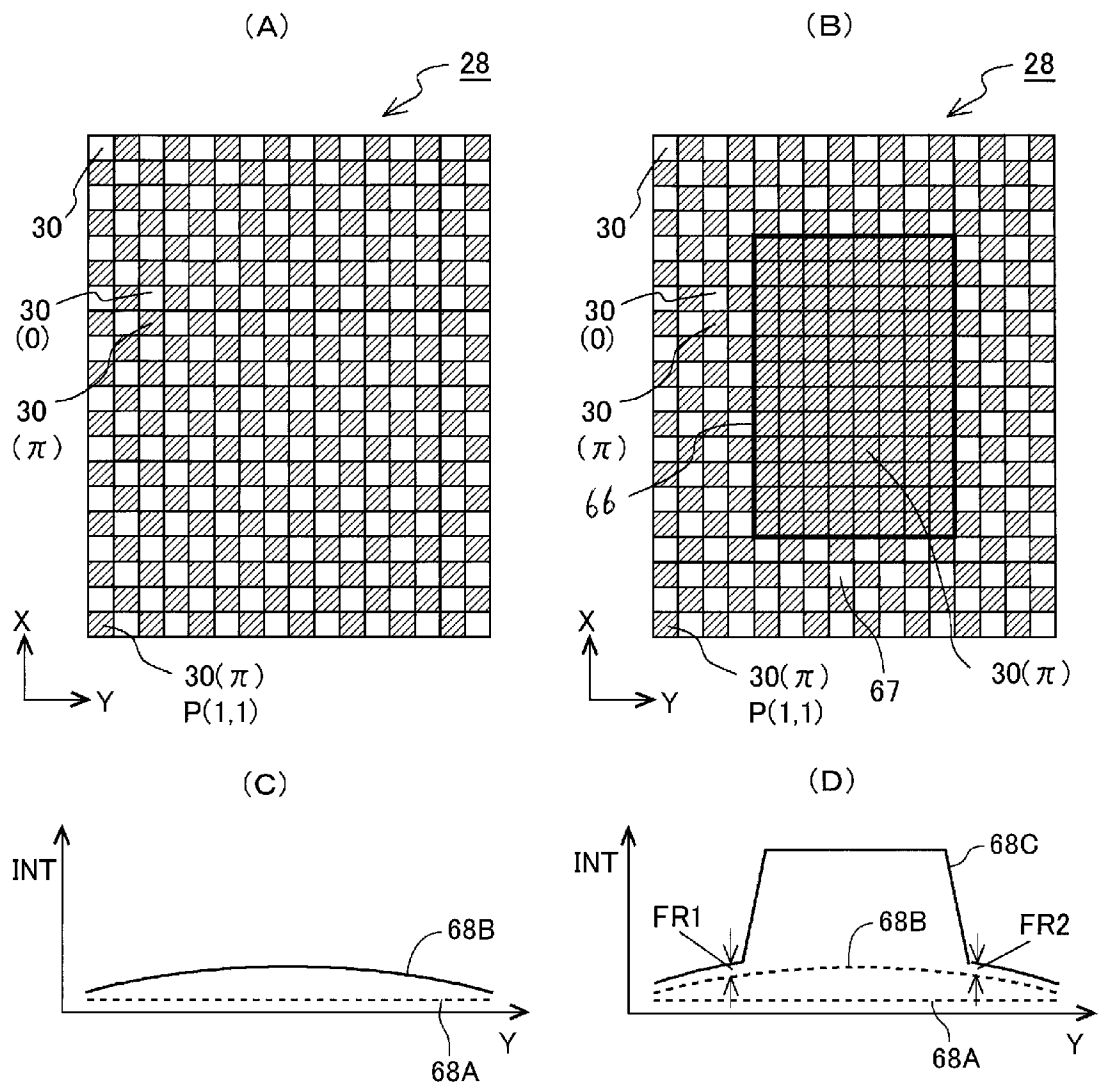
[図7]



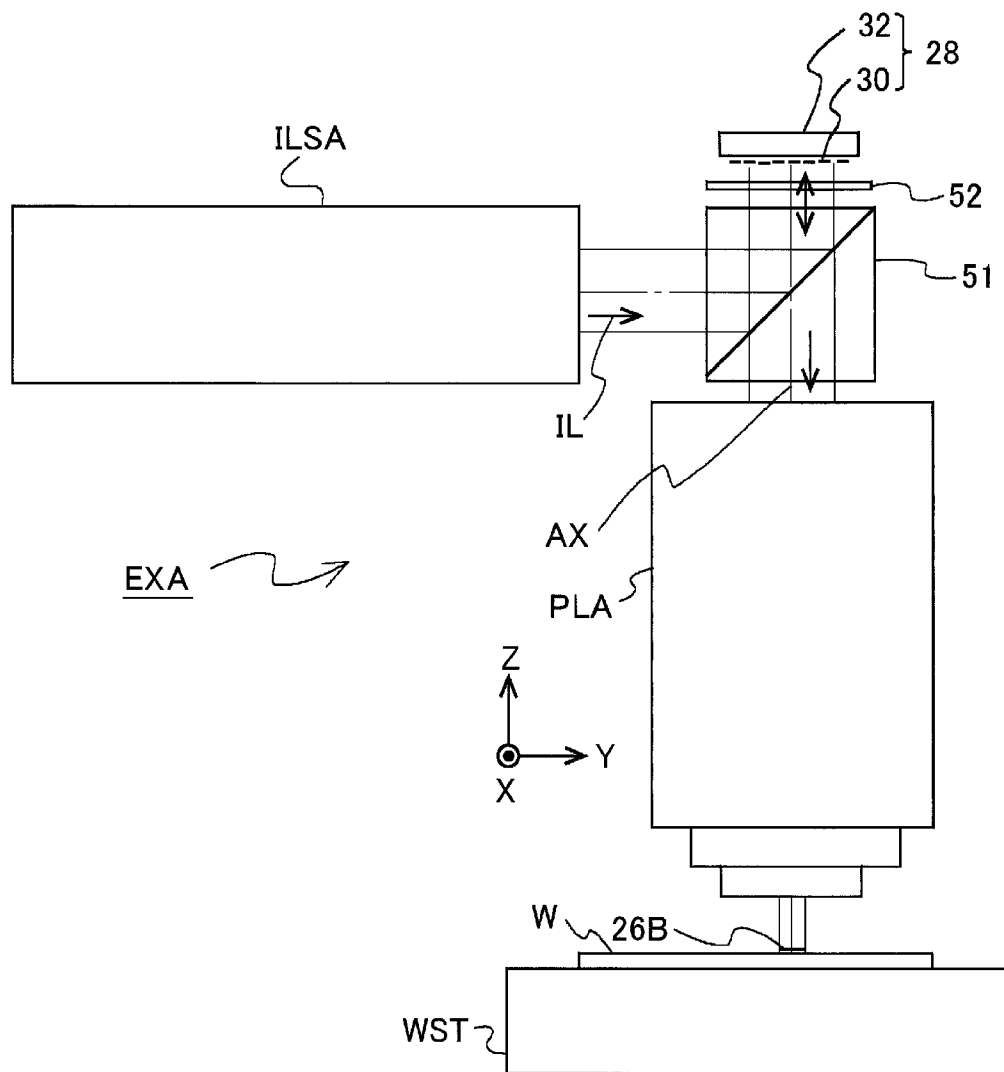
[図8]



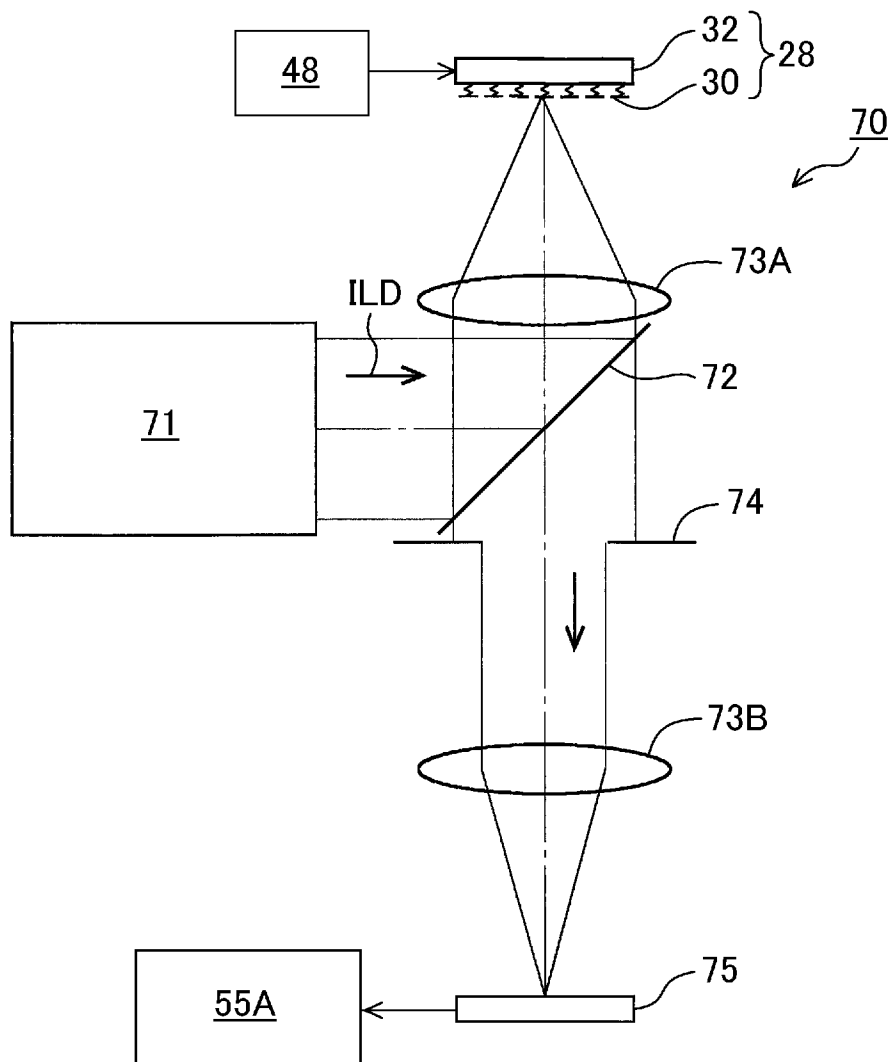
[図9]



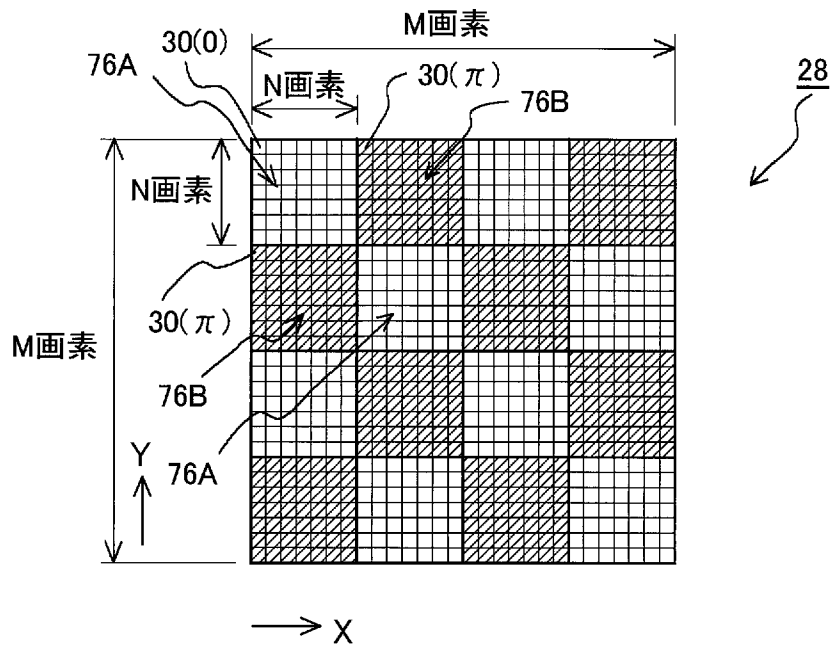
[図10]



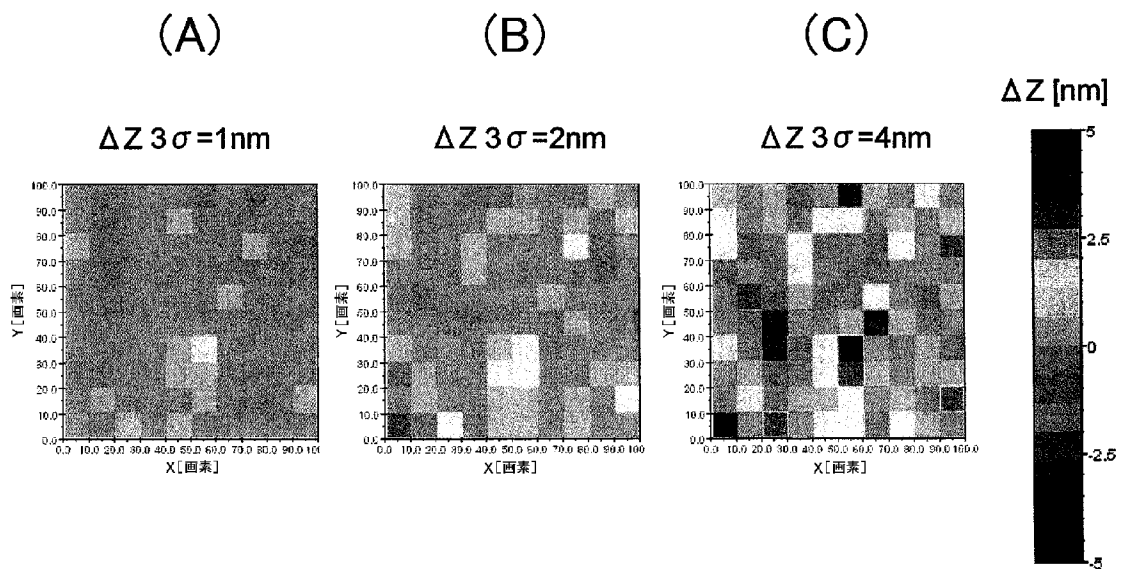
[図11]



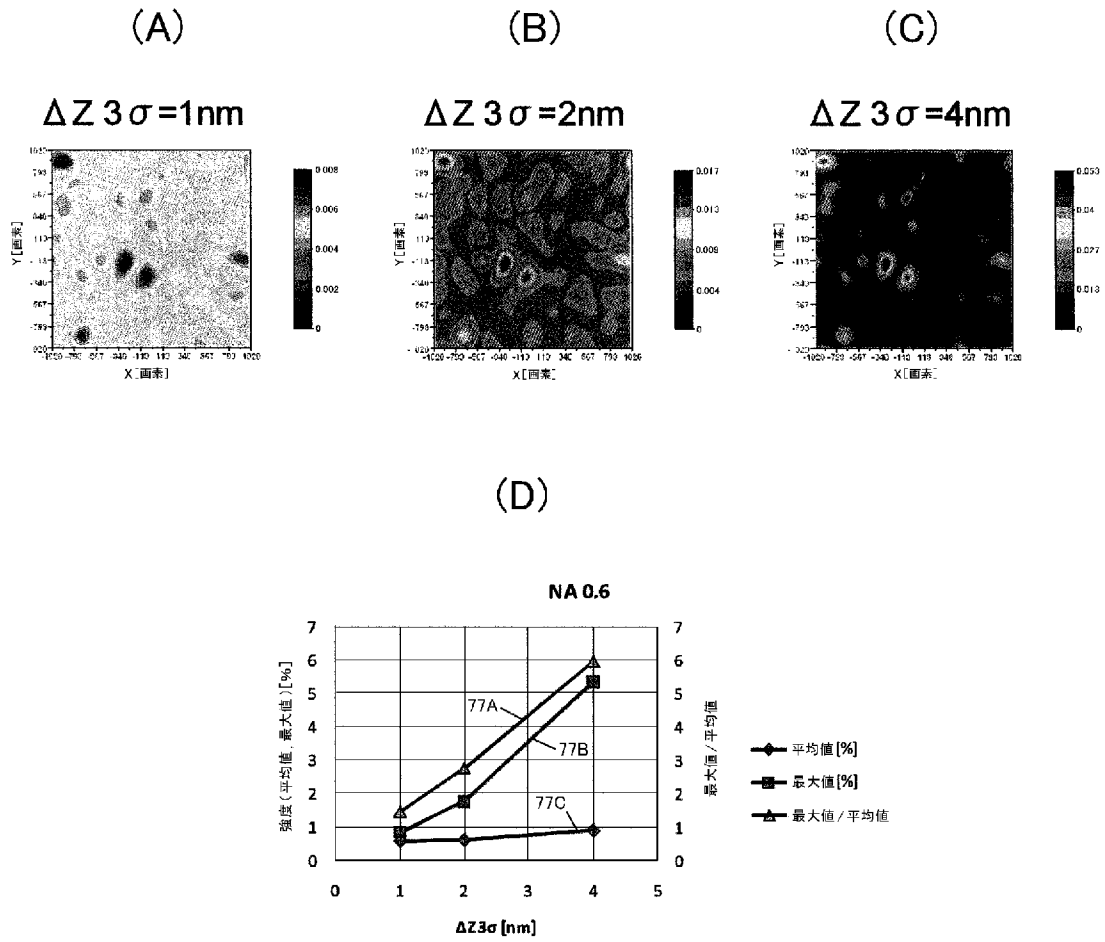
[図12]



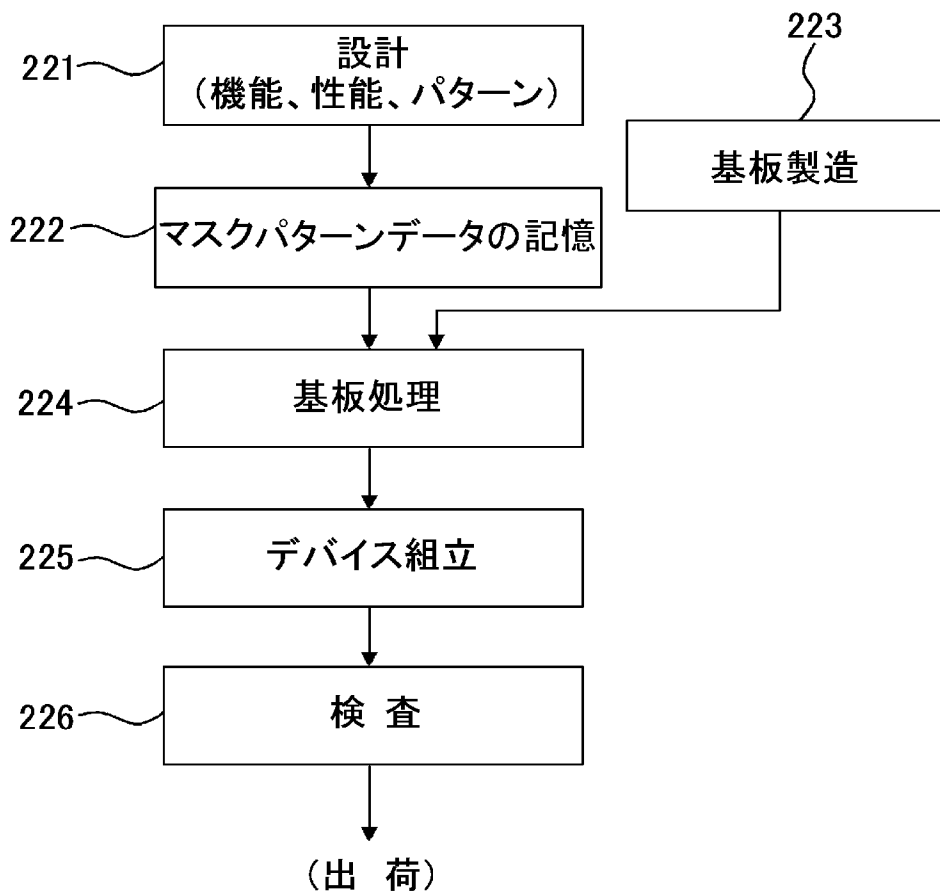
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/072025

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027(2006.01)i, G02B26/06(2006.01)i, G02F1/13(2006.01)i, G03F7/20(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, G02B26/00-26/10, G02F1/13, G03F7/20, G01M11/00-11/08, G01N21/84-21/958

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.
Y A	JP 2006-516724 A (Micronic Laser Systems AB.), 06 July 2006 (06.07.2006), claims 1, 2; paragraphs [0002], [0053], [0065] to [0073]; fig. 9 to 11 & US 2004/0207386 A1 & EP 1583946 A & WO 2004/063695 A1 & DE 602004003125 D & KR 10-2005-0086953 A & CN 1723384 A	1-5, 7-22 6
Y A	WO 2007/049383 A1 (Fujitsu Ltd.), 03 May 2007 (03.05.2007), paragraph [0058]; fig. 13 & US 2008/0239421 A1 & CN 101310226 A & KR 10-2008-0051183 A & KR 10-2010-0110904 A	1-5, 7-22 6



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
25 September, 2012 (25.09.12)Date of mailing of the international search report
09 October, 2012 (09.10.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/072025

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2010-530615 A (ASML Netherlands B.V.), 09 September 2010 (09.09.2010), paragraphs [0078], [0089]; fig. 5 & US 2008/0309899 A1 & WO 2008/151848 A1 & CN 101681122 A	1-5, 7-22 6
Y	JP 2008-541164 A (NXP B.V.), 20 November 2008 (20.11.2008), paragraphs [0054] to [0056], [0060] & US 2008/0304030 A1 & EP 1883862 A & WO 2006/120634 A2 & CN 101176042 A	4, 14
Y	JP 2005-510862 A (Micronic Laser Systems AB.), 21 April 2005 (21.04.2005), claims 1 to 16 & US 2003/0099026 A1 & US 2004/0047023 A1 & EP 1449033 A & WO 2003/046665 A1 & DE 60215852 D & DE 60215852 T & AU 2002356477 A & AT 344474 T & CN 1596388 A	4, 14
Y	JP 2010-002776 A (Canon Electronics Inc.), 07 January 2010 (07.01.2010), paragraphs [0007], [0008] (Family: none)	5, 15
Y	JP 2005-326465 A (Canon Inc.), 24 November 2005 (24.11.2005), paragraph [0009] (Family: none)	5, 15
A	JP 10-142531 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 29 May 1998 (29.05.1998), entire text; all drawings & US 5754286 A	1-22
A	JP 2009-009127 A (ASML Netherlands B.V.), 15 January 2009 (15.01.2009), entire text; all drawings & US 2008/0309898 A1	1-22
A	JP 2006-269802 A (NanoSystem Solutions, Inc.), 05 October 2006 (05.10.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-22
A	JP 2010-267978 A (Micronic Laser Systems AB.), 25 November 2010 (25.11.2010), entire text; all drawings & WO 1999/045439 A1 & DE 69928232 D & SE 9800665 A & AU 2755599 A & CN 1292103 A & RU 2232411 C & AT 398792 T & ES 2357473 T	1-22

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, G02B26/06 (2006.01)i, G02F1/13 (2006.01)i, G03F7/20 (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, G02B26/00-26/10, G02F1/13, G03F7/20, G01M11/00-11/08, G01N21/84-21/958

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
Y A	JP 2006-516724 A (マイクロニック レーザー システムズ アク チボラゲット) 2006.07.06, 請求項 1, 2、段落 0 0 0 2, 0 0 5 3, 0 0 6 5 - 0 0 7 3、図 9 - 1 1 & US 2004/0207386 A1 & EP 1583946 A & WO 2004/063695 A1 & DE 602004003125 D & KR 10-2005-0086953 A & CN 1723384 A	1-5, 7-22 6
Y A	WO 2007/049383 A1 (富士通株式会社) 2007.05.03, 段落 0058、図 13 & US 2008/0239421 A1 & CN 101310226 A & KR 10-2008-0051183 A	1-5, 7-22 6

☒ 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

2 5 . 0 9 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 9 . 1 0 . 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)

赤尾 隼人

2 M

4 4 5 6

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
	& KR 10-2010-0110904 A	
Y	JP 2010-530615 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.) 2010.09.09, 段落 0 0 7 8, 0 0 8 9、図 5	1-5, 7-22
A	& US 2008/0309899 A1 & WO 2008/151848 A1 & CN 101681122 A	6
Y	JP 2008-541164 A (エヌエックスビー ビー ヴィ) 2008.11.20, 段落 0 0 5 4 - 0 0 5 6, 0 0 6 0 & US 2008/0304030 A1 & EP 1883862 A & WO 2006/120634 A2 & CN 101176042 A	4, 14
Y	JP 2005-510862 A (マイクロニック レーザー システムズ アクチボラゲット) 2005.04.21, 請求項 1 - 1 6 & US 2003/0099026 A1 & US 2004/0047023 A1 & EP 1449033 A & WO 2003/046665 A1 & DE 60215852 D & DE 60215852 T & AU 2002356477 A & AT 344474 T & CN 1596388 A	4, 14
Y	JP 2010-002776 A (キヤノン電子株式会社) 2010.01.07, 段落 0 0 0 7, 0 0 0 8 (ファミリーなし)	5, 15
Y	JP 2005-326465 A (キヤノン株式会社) 2005.11.24, 段落 0 0 0 9 (ファミリーなし)	5, 15
A	JP 10-142531 A (富士写真フイルム株式会社) 1998.05.29, 全文、全図 & US 5754286 A	1-22
A	JP 2009-009127 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.) 2009.01.15, 全文、全図 & US 2008/0309898 A1	1-22
A	JP 2006-269802 A (株式会社ナノシステムソリューションズ) 2006.10.05, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-22
A	JP 2010-267978 A (マイクロニック レーザー システムズ アクチボラゲット) 2010.11.25, 全文、全図 & WO 1999/045439 A1 & DE 69928232 D & SE 9800665 A & AU 2755599 A & CN 1292103 A & RU 2232411 C & AT 398792 T & ES 2357473 T	1-22