

(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7月25日(25.07.2013)



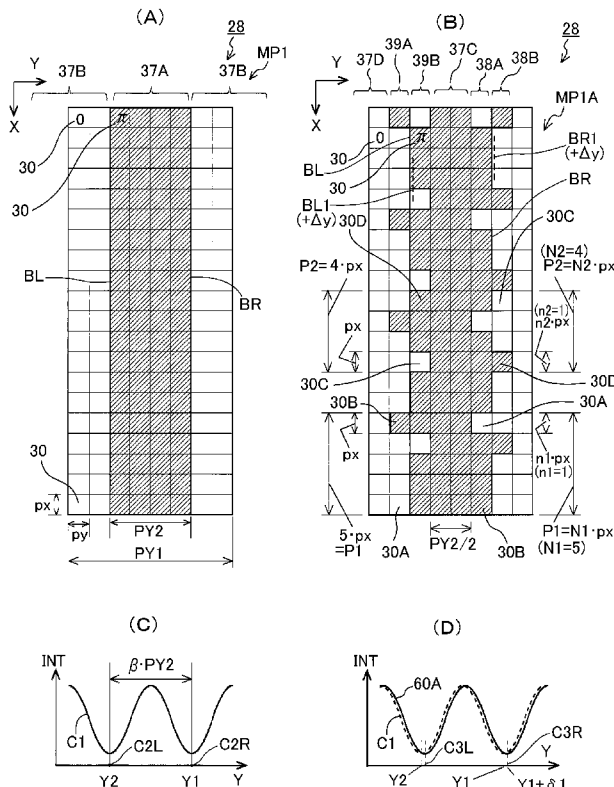
(10) 国際公開番号
WO 2013/108560 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
G02B 26/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/083753
- (22) 国際出願日: 2012年12月26日(26.12.2012)
- (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 2012-007727 2012年1月18日(18.01.2012) JP
- (71) 出願人: 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
12番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 大和 壮一(OWA Soichi); 〒1008331 東京
都千代田区有楽町一丁目12番1号 株式会社
ニコン 知的財産本部内 Tokyo (JP). 渡邊 陽司
(WATANABE Yoji); 〒1008331 東京都千代田区有
楽町一丁目12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2075番2-501
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, PA, 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

[続葉有]

(54) Title: DRIVE METHOD FOR SPATIAL LIGHT MODULATOR, METHOD FOR GENERATING PATTERN FOR EXPOSURE, AND EXPOSURE METHOD AND DEVICE

(54) 発明の名称: 空間光変調器の駆動方法、露光用パターンの生成方法、並びに露光方法及び装置



(57) Abstract: In a drive method for a spatial light modulator: mirror elements arranged at a first pitch not resolved by a projection optical system in the X direction are set to phase 0, and other mirror elements are set to phase π , inside a first boundary region from among the first boundary region and a second boundary region arranged adjacent in the Y direction and extending in the X direction; and mirror elements arranged at a second pitch not resolved by the projection optical system in the X direction are set to phase π and other mirror elements are set to phase 0, inside the second boundary region. When projecting a pattern on an object using the spatial light modulator, a pattern can be formed that has finer position precision or shape precision than the width of the image formed by each optical element in the spatial light modulator.

(57) 要約: 空間光変調器の駆動方法において、Y方向に隣接して配置されてX方向に伸びた第1境界領域及び第2境界領域のうち、第1境界領域内でX方向に投影光学系で解像されない第1ピッチで配列されたミラー要素を位相0に設定し、他のミラー要素を位相 π に設定し、第2境界領域内でX方向に投影光学系で解像されない第2ピッチで配列されたミラー要素を位相 π に設定し、他のミラー要素を位相0に設定する。空間光変調器を用いて物体にパターンを投影する際に、空間光変調器の各光学要素の像の幅よりも微細な位置精度又は形状精度でパターンを形成可能である。

WO 2013/108560 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

明 細 書

発明の名称：

空間光変調器の駆動方法、露光用パターンの生成方法、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駆動方法、空間光変調器を用いる露光用パターンの生成方法、空間光変調器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、ステッパー等の一括露光型の露光装置、又はスキャニングステッパー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：国際公開第2009/060745号パンフレット

非特許文献

- [0005] 非特許文献1: Yijian Chen et al., “Design and fabrication of tilting and piston micromirrors for maskless lithography,” Proc. of SPIE (米国) Vol. 5751, pp.1023-1037 (2005)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 従来の空間光変調器を用いて基板上にパターンを形成する場合には、空間光変調器の各微小ミラー（光学要素）の像を最小単位としてそのパターンが形成されていた。そのため、例えば微小ミラーの像の幅よりも微細な位置精度でそのパターンの位置を設定することが困難であるとともに、微小ミラーの像の幅の非整数倍のピッチを持つライン・アンド・スペースパターンを形成することも困難であった。
- [0007] 本発明の態様は、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を用いて物体にパターンを投影（形成）する際に、その光学要素の像の幅よりも微細な位置精度又は形状精度でパターンを形成可能とすることを目的とする。

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、それぞれ光を投影光学系に導くことが可能な複数の光学要素のアレイを有する第1の空間光変調器の駆動方法が提供される。この駆動方法は、第1方向に隣接して配置されるとともにそれぞれその第1方向に交差する第2方向に伸びた第1領域及び第2領域のうち、その第1領域内でその第2方向にその投影光学系で解像されない第1のピッチで配列されたその複数の光学要素を第1の状態に設定し、その第1領域内の他の光学要素をその第1の状態と異なる第2の状態に設定し、その第2領域内でその第2方向にその投影光学系で解像されない第2のピッチで配列されたその複数の光学要素をその第2の状態に設定し、その第2領域内の他の光学要素をその第1の状態に設定するものである。
- [0009] また、第2の態様によれば、それぞれ光を投影光学系に導くことが可能な複数の光学要素のアレイを有する第2の空間光変調器の駆動方法が提供され

る。この駆動方法は、第1方向に隣接して又は離れて配置されるとともにそれぞれその第1方向に交差する第2方向に伸びた第1領域及び第2領域のうち、その第1領域内でその第2方向にその投影光学系で解像されない第1のピッチで配列されたその複数の光学要素を第1の状態に設定し、その第1領域内の他の光学要素をその第1の状態と異なる第2の状態に設定し、その第2領域内の少なくとも一部の光学要素をその第1の状態に設定するものである。

[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が提供される。この露光方法は、第1の態様又は第2の態様の空間光変調器の駆動方法によって複数の光学要素の少なくとも一部をその第1の状態又はその第2の状態に設定し、その露光光でその第1の状態又はその第2の状態に設定されたその複数の光学要素及びその投影光学系を介して形成される空間像でその基板を露光するものである。

[0011] また、第4の態様によれば、照明光学系からの露光光で投影光学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、その投影光学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光学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、その空間光変調器の複数の光学要素を駆動する制御装置と、を備え、その制御装置は、その基板上にその投影光学系を介して形成される空間像に応じて、第1方向に隣接して又は離れて配置されるとともにそれぞれその第1方向に交差する第2方向に伸びた第1領域及び第2領域のうち、その第1領域内でその第2方向にその投影光学系で解像されない第1のピッチで配列されたその複数の光学要素を第1の状態に設定し、その第1領域内の他の光学要素をその第1の状態と異なる第2の状態に設定し、その第2領域内の少なくとも一部の光学要素をその第1の状態に設定するものである。

[0012] また、第5の態様によれば、投影光学系を用いて基板を露光するとき用いられ、グリッド状に配列された複数の区画を備える露光用パターンの生成

方法が提供される。この露光用パターンの生成方法は、第1方向に隣接して又は離れて配置されるとともにそれぞれその第1方向に交差する第2方向に伸びた第1領域及び第2領域に配列されたその複数の区画のうち、その第1領域内でその第2方向にその投影光学系で解像されない第1のピッチで配列されたその複数の区画を第1の状態に設定し、その第1領域内の他の区画をその第1の状態と異なる第2の状態に設定し、その第2領域内の少なくとも一部の区画をその第1の状態に設定するものである。

[0013] また、第6の態様によれば、第3の態様の露光方法又は第4の態様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

[0014] 本発明の態様によれば、空間光変調器において、第1領域内で第2方向に投影光学系で解像されない第1のピッチで配列された複数の光学要素を第1の状態に設定し、その第1領域内の他の光学要素をその第1の状態と異なる第2の状態に設定することによって、その第1領域の境界線（光学要素の端部）の像は、その第2方向に交差する第1方向にその光学要素の像の幅よりも微細な位置精度でシフト可能になる。従って、複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器を用いて物体にパターンを投影（形成）する際に、その光学要素の像の幅よりも微細な位置精度又は形状精度でパターンを形成可能になる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]実施形態の一例に係る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BB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)、(B)はそれぞれ空間光変調器によって設定される反射光の位相分布の例を示す部分拡大平面図、(C)、(D)はそれぞれ図4(A)、図4(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5] (A)、(B)、(C)はそれぞれ空間光変調器によって設定される反射光の位相分布の別の例を示す部分拡大平面図、(D)、(E)、(F)はそれぞれ図5(A)、図5(B)、図5(C)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6] (A)は実施形態で設定される反射光の位相分布の例を示す部分拡大平面図、(B)は比較例の反射光の位相分布を示す部分拡大平面図、(C)は実施形態の位相分布の空間像に対応するレジストパターンを示す拡大図、(D)は比較例のレジストパターンを示す拡大図である。

[図7] (A)はL & Sパターンを形成するために空間光変調器で設定される反射光の位相分布の一例を示す部分拡大平面図、(B)は図7(A)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8]空間光変調器を用いる露光動作の一例を示すフローチャートである。

[図9] (A)は所定のパターンの目標とするシフト量と実際のシフト量との関係の一例を示す図、(B)は第1変形例における所定のパターンの目標とするシフト量と実際のシフト量との関係の一例を示す図である。

[図10] (A)、(B)、(C)、(D)はそれぞれ第1変形例の空間光変調器で設定される反射光の位相分布の例を示す部分拡大平面図である。

[図11] (A)は図7(A)の位相分布の空間像の強度分布等を示す図、(B)は第2変形例の位相分布の空間像の強度分布等を示す図である。

[図12]第2変形例の空間光変調器で設定される反射光の位相分布を示す部分拡大平面図である。

[図13]第3変形例に係る露光装置の概略構成を示す図である。

[図14]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

[0016] 本発明の実施形態の一例につき図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、各種制御系等を備えている。

[0017] 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 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。

[0018] 光源2としては、波長193nmでパルス幅50ns程度のほぼ直線偏光のレーザ光を4～6kHz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248nm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193nm（これ以外の種々の波長が可能）でパルス幅1ns程度のレーザ光を1～2MHz程度の周波数でパルス発光可能である。

[0019] 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照明光ILの光路に交換可能に設置可能な光学系である。

[0020] 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14a、14b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IL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ILSの瞳面（照明瞳面IPP）には二次光源（面光源）が形成される。

[0021] 一例として、回折光学素子10Aは通常照明用であり、回折光学素子10B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10A、10B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。

[0022] 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 1 8、視野絞り 2 0、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 2 2、コンデンサ光学系 2 4、及びミラー 8 C を介して、X Y 平面に平行な被照射面（設計上の転写用パターンが配置される面）に θ x 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 θ x 方向に入射角 α で交差している。入射角 α は例えば数 d e g (°) から数 1 0 d e g である。その被照射面又はその近傍の面に、空間光変調器 2 8 の 2 次元のアレイ状に配列された多数のミラー要素 3 0 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 2 4 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 2 8 の多数のミラー要素 3 0 のアレイ上の X 方向に細長い長形状の照明領域 2 6 A をほぼ均一な照度分布で照明する。多数のミラー要素 3 0 は、照明領域 2 6 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 及び空間光変調器 2 8 は、不図示のフレームに支持されている。

[0023] 図 2 (A) は、図 1 中の空間光変調器 2 8 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 2 8 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 3 0 が配列されている。ミラー要素 3 0 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 3 0 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 3 0 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。

[0024] 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 3 0 が配置されている。一例として、ミラー要素 3 0 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(又は幅) $p_x (= p_y)$ は例えば $10\ \mu\text{m} \sim 1\ \mu\text{m}$ 程度である。

[0025] 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。

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32Aと、基材32A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32B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。

[0026] 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36Aが形成され、電極36Aに対向するようにヒンジ部35の底面に電極36B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36A、36B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36A、36B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 $IL2$ 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 $A1$ に合致している。一方、電源オン時で電極36A、36B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 $IL1$ 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A1からZ方向に間隔d1だけ変位した平面A2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IL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毎に電極36A, 36B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。

[0027] 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。

[0028] また、各ミラー要素30の反射面が基準平面A1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ILの位相の変化量を第1の位相 $\delta 1$ とすると、本実施形態では位相 $\delta 1$ は 0° である。また、各ミラー要素30の反射面が基準平面A1から間隔d1だけ変位した平面A2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ILの位相の変化量を第2の位相 $\delta 2$ とすると、位相 $\delta 2$ は位相 $\delta 1$ 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。

[0029] $\delta 1 = 0^\circ \dots (1A), \quad \delta 2 = 180^\circ = \pi \text{ (rad)} \dots (1B)$

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 をほぼ 0° として、ミラー要素30

の反射面に入射する照明光 I L 1 の波長を λ （ここでは $\lambda = 193 \text{ nm}$ ）とすると、間隔 d_1 はほぼ次のようになる。

$$[0030] \quad d_1 = \lambda / 4 \quad \dots (2)$$

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 I L 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 I L 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。

[0031] 一例として、所定パルス数の照明光 I L 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 I L 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。

図 1 において、空間光変調器 28 の照明領域 26 A 内の多数のミラー要素 30 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 28（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 28 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 26 B（照明領域 26 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 （周期的パターンのピッチ又は線幅の 2 倍で表した解像限界）は、次のようになる。

$$[0032] \quad R_e = \lambda / N A \quad \dots (3)$$

一例として、解像度 R_e は、空間光変調器 28 のミラー要素 30 の像の幅

($\beta \cdot p y$) の1倍～数倍程度である。例えば、ミラー要素30の大きさ(配列のピッチ)が数 μm 程度、投影光学系PLの投影倍率 β が $1/100$ 程度であれば、解像度Reは数 10nm ～その数倍程度である。ウエハW(基板)は、例えばシリコン又はSOI(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 10nm ～ 200nm 程度の厚さで塗布したものを含む。

[0033] 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PL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。さらに、照明光ILの偏光状態を任意の状態に設定できる。

また、露光装置EX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PLの先端の光学部材とウエハWとの間に照明光IL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NA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。

[0034] 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WSTの上面に吸着保持され、ウエハステージWST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WSTのX方向、Y方向の位置、及び θz 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WST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。

[0035] 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ILSの照明条件を設定する。また、主制御系40か

ら変調制御部48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SA21, SA22, …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SA21等の中の矢印は、ウエハWに対する露光領域26Bの相対的な移動方向を示している。

[0036] 次に、主制御系40は、露光領域26Bに対するウエハWのショット領域SA21の相対位置の情報を変調制御部48に供給し、その相対位置に応じて変調制御部48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28で設定する。そして、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、ウエハW上の露光領域26B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SA21が露光領域26Bを横切るまで繰り返される。

[0037] その後、ウエハWのショット領域SA21に隣接するショット領域SA22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40は、変調制御部48に露光領域26Bに対するショット領域SA22の相対位置の情報を供給するとともに、電源部42に発光トリガパルスTP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SA21からSA22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SA31, SA32を含む列の露光に移行する場合には、ウエハステージWST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26B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26Bに対するショット領域SA31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SA32からSA31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 2 1, SA 2 2 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。

[0038] 次に、本実施形態の露光装置 EX において、空間光変調器 2 8 のミラー要素 3 0 の像の幅よりも微細な位置精度及び／又は形状精度でパターンを形成する動作につき説明する。初めに、ウエハ W の表面に、X 方向に伸びた一つ又は複数のラインパターンをミラー要素 3 0 の像の幅よりも微細なシフト量で次第にシフトさせて露光するものとする。この場合の照明光学系 I L S の照明条件は、例えば σ 値が 0.14 程度の小 σ 照明で、照明光 I L の偏光方向がウエハ W 上で X 方向（ラインパターンの長手方向）になるように設定される。

[0039] まず、ウエハ W の表面に形成されるラインパターンの中心が、複数のミラー要素 3 0 の像の境界部にある場合を想定する。この場合、空間光変調器 2 8 のミラー要素 3 0 のアレイの位相分布は、図 4 (A) の部分拡大平面図（ベース部材 3 2 側から見た配置、以下同様）で示すように、Y 方向に複数列（例えば 4 列以上）で X 方向に複数行（例えば 1 5 行以上）のミラー要素 3 0 を含む矩形の第 1 パターン領域 3 7 A 内で各ミラー要素 3 0 が第 2 の状態（位相 π ）となり、第 1 パターン領域 3 7 A の -Y 方向に隣接し、第 1 パターン領域 3 7 A とほぼ同じ大きさの矩形の第 2 パターン領域 3 7 B（図 4 (A) ではそのうちの +Y 方向の 2 列分が現れている）内で各ミラー要素 3 0 が第 1 の状態（位相 0）となる分布に設定される。なお、説明の便宜上、図 4 (A) 及び後述の図 4 (B)、図 5 (A) ~ (C) 等では、第 2 の状態（位相 π ）のミラー要素 3 0 にはハッチングを施している。また、ミラー要素 3 0 の X 方向及び Y 方向の配列のピッチ（ミラー要素 3 0 の幅）は p_x 及び p_y （ここでは $p_x = p_y$ ）である。

[0040] なお、一例として、Y 方向の幅 $P_Y 2$ （図 4 (A) では $P_Y 2 = 4 p_y$ ）のパターン領域 3 7 A, 3 7 B は Y 方向に交互に繰り返して配列されて周期

的な位相分布を形成しており、図4 (A) にはその周期的な位相分布のうちのY方向に1ピッチ PY_1 ($PY_1 = 2PY_2$) 分の位相パターンMP1が示されている。図4 (A) で、第1パターン領域37Aの+Y方向に隣接して配列されている2列分の位相0のミラー要素30のアレイは、次の周期の第2パターン領域37Bの一部である。同様に、後述の図4 (B)、図5 (A) ~ (C) 等においても、それぞれ周期的な位相分布のうちのY方向に1ピッチ (1周期) 分の位相パターンMP1A, MP1B~MP1D等が示されている。

[0041] 図4 (A) の位相パターンMP1からの照明光ILによってウエハW表面の例えばポジ型のフォトリソ層に投影される空間像のY方向の強度INTの分布は、図4 (C) の強度分布C1で示すように、Y方向の位置 Y_1 , Y_2 で最小となり、位置 Y_1 , Y_2 の間隔は $\beta \cdot PY_2$ (β は投影倍率) である。言い替えると、強度分布C1は、図4 (A) のパターン領域37Aと±Y方向のパターン領域37Bとの境界線BR及びBLと共役なX方向に平行な中心線C2R及びC2L (位置 Y_1 及び Y_2) を中心とする部分で低レベル (感光レベルより低いレベル) となり、その両側で高レベル (感光レベルを超えるレベル) となっている。そのフォトリソ層を現像すると、図6 (C) に示すように、Y方向の幅が $\beta \cdot 2PY/2$ (ここでは $PY_2 = 4py$) で、Y方向の間隔が $\beta \cdot PY_2/2$ のX方向に細長いレジストパターンよりなる点線で現した2つのラインパターンC1Pが得られる。2つのラインパターンC1Pの中心線C2R, C2LのY方向の位置が図4 (C) の Y_2 及び Y_1 である。実際には、多数のラインパターンC1PがY方向に周期的に形成される。

[0042] 次に、ウエハWの表面に形成されるラインパターンの中心を、ミラー要素30の像の幅よりも狭い間隔 δ_1 (又はその像の幅の整数倍にその幅より狭い端数を加えた間隔) だけY方向にシフトさせるものとする。シフトした後のラインパターンを形成するための空間像の強度INTの分布は、図4 (D) の実線の強度分布60Aで示すように、シフト前の点線の強度分布C1に

対してY方向に $\delta 1$ だけ移動している。これは、例えば図4 (A) の位相パターンMP 1に対応するレジストパターンに対してX方向に離れた位置に、そのレジストパターンを間隔 $\delta 1$ だけY方向にシフトさせた形状のレジストパターンを形成する場合、又はウエハWの走査露光時にウエハWのY方向への移動に追従して空間光変調器28で生成される位相パターンMP 1をY方向に次第にシフトさせる場合に必要となる。

[0043] これらの場合、空間光変調器28のミラー要素30のアレイの位相パターンMP 1 Aは、図4 (B) に示すように、図4 (A) の位相パターンMP 1の境界線BR及びBLを $\delta 1$ に対応する $\Delta y (= \delta 1 / \beta)$ だけY方向にシフトさせた境界線BR 1及びBL 1の内側で位相 π となり、それらの外側で位相0となる位相分布（目標とする位相分布）と実質的に等価であればよい。図4 (B) の位相パターンMP 1 Aにおいて、図4 (A) の第1パターン領域37 AのうちY方向の両端の1列のミラー要素30を除いた部分に対応する第1パターン領域37 C内の全部のミラー要素30は位相 π （第2の状態）となる。また、図4 (A) の第2パターン領域37 BのうちY方向の両端の1列を除いた部分に対応する複数列（ここでは2列）のミラー要素30のアレイよりなる第2パターン領域37 D内のミラー要素30は位相0（第1の状態）となる。そして、第1パターン領域37 Cに対して+Y方向に隣接して配置された1列のミラー要素30よりなる第1境界領域38 Aにおいて、X方向に投影光学系PLで解像されない第1のピッチP 1で配列された複数のミラー要素30 Aを位相0に設定し、第1境界領域38 A内の他のミラー要素30 Bを位相 π に設定する。さらに、第1境界領域38 Aに対して+Y方向に隣接して配置された1列のミラー要素30よりなる第2境界領域38 Bにおいて、X方向に投影光学系PLで解像されない第2のピッチP 2で配列された複数のミラー要素30 Dを位相 π に設定し、第2境界領域38 B内の他のミラー要素30 Cを位相0に設定する。境界領域38 A、38 Bの境界が位相パターンをシフトさせる前の境界線BRである。

[0044] ここで、ピッチP 1及びP 2内にそれぞれN 1個及びN 2個（N 1及びN

2はそれぞれ2以上の整数)のミラー要素30が含まれるものとする、次の関係が成立する。

$$P1 = N1 \cdot p_x \cdots (4A), \quad P2 = N2 \cdot p_x \cdots (4B)$$

ここで、投影光学系PLの投影倍率 β を用いると、ピッチP1の位相パターン π の像のピッチは、 $\beta \cdot P1$ となる。また、ピッチP1, P2は投影光学系PLで解像されないように設定されているため、その位相パターンからの ± 1 次回折光が投影光学系PLを通過しない条件を求めればよい。式(3)の投影光学系PLの解像度 R_e 及び式(4A)、(4B)を用いると、ピッチP1, P2の位相パターンが投影光学系PLで解像されない条件、つまりピッチP1, P2の位相パターンが投影光学系PLの解像限界を超える条件は次のようになる。

[0045] $\beta \cdot P1 = \beta \cdot N1 \cdot p_x < \lambda / NA \cdots (5A),$

$$\beta \cdot P2 = \beta \cdot N2 \cdot p_x < \lambda / NA \cdots (5B)$$

これらの条件から整数N1, N2の条件は次のようになる。ただし、 $\beta \cdot p_x$ (ミラー要素30の像の幅)をDとおいている。

$$N1 < \lambda / (NA \cdot D) \cdots (6A), \quad N2 < \lambda / (NA \cdot D) \cdots (6B)$$

一例として、 $\lambda = 193 \text{ nm}$ 、 $NA = 1.35$ (液浸法の適用時)、 $D = \beta \cdot p_x = 20 \text{ (nm)}$ とすると、式(6A)及び(6B)の右辺はほぼ7.15となるため、ピッチP1, P2の位相パターンが投影光学系PLで解像されない条件は、次のように整数N1, N2が7以下であればよい。

[0046] $N1 \leq 7 \cdots (7A), \quad N2 \leq 7 \cdots (7B)$

また、図4(B)において、第1境界領域38A内でピッチP1内の位相 π のミラー要素30Aの個数を $n1$ ($n1$ はN1より小さい整数)、第2境界領域38B内でピッチP2内の位相 π のミラー要素30Dの個数を $n2$ ($n2$ はN2より小さい整数)とすると、境界線BRに対して Δy だけシフトした境界線BR1を持つ位相分布と等価な位相パターンMP1Aを形成する条件は、境界領域38A, 38BのY方向の幅(ここではミラー要素30の

Y方向の幅と同じ) p_y を用いて次のようになる。

$$[0047] \quad \Delta y = \{ - (n_1 / N_1) + (n_2 / N_2) \} p_y \quad \dots (8A)$$

また、シフト量 Δy に対応する図4 (D) の強度分布60Aが最小となる位置 (境界線BR1と共役な像C3R) の位置Y1からのシフト量 δ_1 は、投影倍率 β を用いて次のようになる。ただし、 $\beta \cdot p_y$ (ミラー要素30の像のY方向の幅) をDとおいている。

$$\delta_1 = \{ - (n_1 / N_1) + (n_2 / N_2) \} D \quad \dots (8B)$$

本実施形態では、ピッチ P_1 , P_2 を規定する整数 N_1 , N_2 が式 (6A) 及び (6B) を満たす範囲内で、整数 N_1 , N_2 及び整数 n_1 , n_2 の値の少なくとも一つを変更することによって、位相パターンMP1Aと等価な位相分布における境界線BR1のシフト量 Δy 、ひいては境界線BR1と共役な像のシフト量 δ_1 を調整する。また、光学的近接効果による誤差である OPE (Optical Proximity Error) 等を考慮しないものとする、2つの境界領域38A, 38Bを用いる場合には、原則としてピッチ P_1 とピッチ P_2 とは異なっている。すなわち、ピッチ P_1 , P_2 が互いに等しいときには、位相0のミラー要素30Aと位相 π のミラー要素30Dとの一方が相殺によって省略されるため、境界領域38A, 38Bのうちの一方が省略される。

[0048] 一例として、ミラー要素30の像の幅Dが20nmである場合に、シフト量 δ_1 を1nmに設定する場合には、図4 (B) に示すように、 $N_1 = 5$, $n_1 = 1$, $N_2 = 4$, $n_2 = 1$ に設定すればよい。これらの値を式 (8B) に代入すると、次のようにシフト量 δ_1 は1nmとなる。

$$\delta_1 = (-1 / 5 + 1 / 4) 20 = 1 \text{ (nm)} \quad \dots (9A)$$

また、本実施形態では、図4 (B) の位相パターンMP1Aと等価な位相分布の-Y方向の境界線BL1は、元の境界線BLに対して第1パターン領域37C側を正の符号として Δy だけ移動している。このため、位相パターンMP1Aにおいて、第2パターン領域37Dに対して+Y方向に隣接して配置された1列のミラー要素30よりなる第3境界領域39Aの位相分布が

第1境界領域38Aの位相分布を反転した分布となり、第3境界領域39Aに対して+Y方向に隣接して配置された（第1パターン領域37Cに対して-Y方向に隣接して配置された）1列のミラー要素30よりなる第4境界領域39Bの位相分布が第2境界領域38Bの位相分布を反転した分布となっている。境界領域39A、39Bの境界が位相パターンをシフトさせる前の境界線BLである。

[0049] 具体的に $N_1 = 5$ 、 $n_1 = 1$ 、 $N_2 = 4$ 、 $n_2 = 1$ の場合には、第3境界領域39Aにおいて、X方向にピッチ $5p_x$ でそれぞれ幅 p_x で配列された複数のミラー要素30Bが位相 π に設定され、他のミラー要素30Aが位相0に設定される。さらに、第4境界領域39Bにおいて、X方向にピッチ $4p_x$ でそれぞれ幅 p_x で配列された複数のミラー要素30Cが位相0に設定され、他のミラー要素30Dが位相 π に設定される。この位相パターンMP1Aを用いることによって、図4(A)の位相パターンMP1の空間像をY方向に $1nm$ だけシフトさせた空間像を形成できる。

[0050] 同様に、図4(A)の位相パターンMP1の像の強度分布C1をY方向に $2nm$ 、 $3nm$ 、及び $4nm$ だけシフトした図5(D)の強度分布60B、図5(E)の強度分布60C、及び図5(F)の強度分布60Dを形成するためには、空間光変調器28のミラー要素30のアレイの位相分布をそれぞれ図5(A)の位相パターンMP1B、図5(B)の位相パターンMP1C、及び図5(C)の位相パターンMP1Dに設定すればよい。図5(A)の位相パターンMP1Bにおいて、第1パターン領域37Cの+Y方向の第1境界領域38Cでは、X方向にピッチ $5p_x$ でそれぞれ幅 $2p_x$ で配列された複数のミラー要素30Aが位相0（第1の状態）に設定され、他のミラー要素30Bが位相 π （第2の状態）に設定され、第1境界領域38Cに隣接する第2境界領域38Dにおいて、X方向にピッチ $2p_x$ でそれぞれ幅 p_x で配列された複数のミラー要素30Dが位相 π に設定され、他のミラー要素30Cが位相0に設定される。また、第2パターン領域37Dに+Y方向に隣接する第3境界領域39C及びこれに+Y方向に隣接する（第1パターン

領域 37C に -Y 方向に隣接する) 第 4 境界領域 39D の位相分布は、それぞれ境界領域 38C 及び 38D の分布を反転した分布となる。この位相分布は、図 4 (B) で $N_1 = 5$, $n_1 = 2$, $N_2 = 2$, $n_2 = 1$ とした分布に相当するため、式 (8B) から次のようにシフト量 δ_1 は $2nm$ となる。

$$[0051] \quad \delta_1 = (-2/5 + 1/2) 20 = 2 (nm) \quad \dots (9B)$$

また、図 5 (B) の位相パターン MP1C は、第 1 パターン領域 37C の +Y 方向の第 1 境界領域 38E で、X 方向にピッチ $4p_x$ でそれぞれ幅 p_x で配列された複数のミラー要素 30A を位相 0 に設定し、他のミラー要素 30B を位相 π に設定し、それに隣接する第 2 境界領域 38F において、X 方向にピッチ $5p_x$ でそれぞれ幅 $2p_x$ で配列された複数のミラー要素 30D を位相 π に設定し、他のミラー要素 30C を位相 0 に設定したものである。さらに、第 2 パターン領域 37D に +Y 方向に順次隣接する第 3 境界領域 39E 及び第 4 境界領域 39F の位相分布は、それぞれ境界領域 38E 及び 38F の分布を反転した分布である。この位相分布は、図 4 (B) で $N_1 = 4$, $n_1 = 1$, $N_2 = 5$, $n_2 = 2$ とした分布に相当するため、式 (8B) からシフト量 δ_1 は $3nm$ となる。

[0052] また、図 5 (C) の位相パターン MP1D において、3 列分の位相 π のミラー要素 30 よりなる第 1 パターン領域 37E の +Y 方向に隣接する境界領域 62A では、X 方向にピッチ $5p_x$ でそれぞれ幅 p_x で配列された複数のミラー要素 30D が位相 π に設定され、他のミラー要素 30C が位相 0 に設定され、3 列分の位相 0 のミラー要素 30 よりなる第 2 パターン領域 37F の +Y 方向 (第 1 パターン領域 37E の -Y 方向) に隣接する境界領域 64A の位相分布は境界領域 62A の分布を反転した分布に設定される。この位相分布は、図 4 (B) で $n_1 = 0$, $N_2 = 5$, $n_2 = 1$ とした分布に相当するため、式 (8B) からシフト量 δ_1 は $4nm$ となる。同様に、式 (8B) の整数 N_1 , n_1 , N_2 , n_2 の値を調整することによって、図 4 (A) の位相パターン MP1 の像の強度分布を Y 方向に $5nm \sim 19nm$ まで $1nm$ ずつ又はほぼ $1nm$ ずつシフトした強度分布を持つ位相パターンを形成でき

る。

[0053] また、仮に図4 (B) の位相パターンMP 1 Aの空間像でウエハWを露光した場合には、図6 (C) に示すように、図4 (A) の位相パターンMP 1の空間像から得られるラインパターンC 1 Pの中心線C 2 R, C 2 Lに対してY方向に $\delta 1$ だけシフトした中心線C 3 R, C 3 Lを持つレジストパターンよりなるX軸に平行な2つのラインパターン6 0 A Pが得られる。ラインパターン6 0 A Pの中心線C 3 R及びC 3 Lは、それぞれ図4 (B) の位相パターンMP 1 Aと等価な位相分布の境界線B R 1 及びB L 1 と共役 (境界線B R 1 及びB L 1 の像) である。

[0054] また、図6 (A) は、図4 (B) の位相パターンMP 1 Aで $N 1 = 5$, $n 1 = 1$, $N 2 = 4$, $n 2 = 1$ としたときの位相パターンMP 1 Aを示している。従って、図6 (A) の位相パターンMP 1 Aの空間像を露光して現像すると、図6 (C) においてシフト量 $\delta 1$ が1 nmであるラインパターン6 0 A Pが得られる。ただし、ミラー要素3 0の像の幅Dを2 0 nmとしている。これに対して、1 nmのシフト量を得るためには、図6 (B) の比較例の空間光変調器2 8 Lで設定される位相パターンMP 2で示すように、3列分の位相 π のミラー要素3 0よりなる第1パターン領域3 7 Eの+Y方向に隣接する境界領域6 2 Bでは、X方向にピッチ2 0 pxでそれぞれ幅pxで配列された複数のミラー要素3 0 Dを位相 π に設定し、他のミラー要素3 0 Cを位相0に設定し、第1パターン領域3 7 Eの-Y方向に隣接する境界領域6 4 Bの位相分布を境界領域6 2 Aの分布を反転した分布に設定することも考えられる。

[0055] 図6 (B) の位相パターンMP 2は、図4 (B) で $n 1 = 0$, $N 2 = 2 0$, $n 2 = 1$ とした分布に相当するため、式 (8 B) からシフト量 $\delta 1$ は1 nmとなる。しかしながら、整数 $N 2$ の値2 0が、投影光学系PLで解像されない限界である式 (7 B) の上限値7を超えているため、境界領域6 2 B及び6 4 Bの像がウエハWに露光されてしまう。そのため、位相パターンMP 2の空間像を露光して得られるレジストパターンは、図6 (D) の2つのレ

ジストパターン61Pで示すように、X方向に周期的にうねるような形状となり、パターン忠実度が低下しており、好ましくない。

[0056] 本実施形態においては、例えば図4(B)のように位相パターンMP1Aにおいて、2つの境界領域38A、38B及び/又は39A、39Bを設けることによって、投影光学系PLで解像されないという条件(例えば式(7A)及び(7B))を満たしつつ、得られるラインパターンのY方向のシフト量をミラー要素30の像の幅Dに対して例えば1/20以下程度の微量に設定できる。

[0057] 次に、ウエハWの表面に、X方向に伸びたラインパターンをY方向にミラー要素30の像の幅の非整数倍のピッチで配列したライン・アンド・スペースパターン(以下、L&Sパターンという。)を形成するものとする。この場合の照明条件も、例えば σ 値が0.14程度の小 σ 照明に設定され、偏光条件も、照明光ILの偏光方向がウエハW上でX方向(ラインパターンの長手方向)になるように設定される。また、ミラー要素30の像の幅Dを20nmであるとして、ウエハW上でピッチが78nmのL&Sパターンを形成するものとする。

[0058] このために、空間光変調器28のミラー要素30のアレイを用いて、図7(A)の部分拡大平面図で示すように、Y方向に7列でX方向に複数行(例えば20行以上)のミラー要素30を含む第1部分パターンSP1と、この第1部分パターンSP1に順次+Y方向に隣接するとともにそれぞれY方向に8行でX方向に複数行(例えば20行以上)のミラー要素30を含む第2、第3、第4、及び第5部分パターンSP2、SP3、SP4、SP5とを含む位相パターンMP3を生成する。第1部分パターンSP1に-Y方向に隣接する領域のミラー要素30は位相0に設定する。なお、図7(A)において図4(A)~図5(C)に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。

[0059] 図7(A)の位相パターンMP3において、第1部分パターンSP1は、Y方向に3列の位相 π のミラー要素30のアレイよりなる第1パターン領域

37Eと、この領域に対して+Y方向に隣接して配置されて、X方向にピッチ $2p \times$ で配置された幅 $p \times$ の位相0（第1の状態）のミラー要素30Aとこれ以外の位相 π （第2の状態）のミラー要素30Bとを有する第1境界領域38Gと、この領域に対して+Y方向に隣接して配置されて、X方向にピッチ $5p \times$ で配置された幅 $2p \times$ （2個）のミラー要素30Dとこれ以外の位相0のミラー要素30Cとを有する第2境界領域38Hと、この領域に対して+Y方向に隣接して配置されたY方向に2行の位相0のミラー要素30のレイよりなる第2パターン領域37Dと、を有する。この場合、ミラー要素30A、30Dの配列のピッチは投影光学系PLによって解像されない値であり、式(8B)で、 $N1=2$ 、 $n1=1$ 、 $N2=5$ 、 $n2=2$ とおくことで、境界領域38G、38Hの境界線BRの像に対して等価的な位相分布（境界線BR1の-Y方向の位相が π で+Y方向の位相が0となる分布）の境界線BR1の像の-Y方向へのシフト量 $\delta 1$ は $2nm$ となる。

[0060] また、第1パターン領域37Eの-Y方向の端部とその境界線BR1との間隔 $PY3$ に投影倍率 β を掛けた値 $\beta \cdot PY3$ は $78nm$ であり、この値 $\beta \cdot PY1$ がウエハW上に形成されるL&SパターンのY方向のピッチとなる。さらに、第2部分パターンSP2、SP3、SP4、SP5は、それぞれ第1パターン領域37E又は37Cの-Y方向に隣接して配置されて等価的な位相分布の境界線の像を-Y方向に $4nm$ 、 $8nm$ 、 $12nm$ 、 $16nm$ シフトさせるための境界領域64D、64C、64E、64Aと、それぞれ第1パターン領域37E又は37Cの+Y方向に隣接して配置されて等価的な位相分布の境界線の像を-Y方向に $6nm$ 、 $10nm$ 、 $14nm$ 、 $18nm$ シフトさせるための境界領域38G、38I、境界領域62C、境界領域38A、38D、及び境界領域38C、38Dと、を有する。これによって、位相パターンMP3の空間像の強度INTは、図7(B)に示すようにピッチ $\beta \cdot PY3$ が均一に $78nm$ のL&Sパターンの分布となる。従って、L&Sパターンのピッチの精度を形状精度の一つとみなすと、空間光変調器28のミラー要素30の像の幅よりも微細な形状精度で周期的パターンが形

成できる。

[0061] 次に、図1の露光装置EXにおいて、空間光変調器28のミラー要素30の幅の像よりも微細な位置精度及び／又は形状精度でパターンを形成する場合の空間光変調器28の駆動方法を含む露光方法の一例につき、図8のフローチャートを参照して説明する。まず、図8のステップ102において、露光装置EXのウエハステージWSTにフォトリソが塗布されたウエハWをロードし、次のステップ104において、主制御系40は、空間光変調器(SLM)28で設定する全体の位相分布の情報を露光データファイルから読み出し、読み出した情報を変調制御部48に供給する。次のステップ106でウエハステージWSTのY方向への走査を開始し、露光領域26Bとなる部分にウエハWの露光対象のショット領域の先端部が到達したときに、主制御系から変調制御部48に当該ショット領域の相対位置の情報が供給される。

[0062] 次のステップ108において、変調制御部48は、全体の位相分布のデータのうちで露光領域26Bに転写される領域(転写対象領域)の部分位相分布を読み出す。次のステップ110において、変調制御部48は、空間光変調器28のミラー要素30単位で、部分位相分布に対応させてミラー要素30を第1の状態(位相0)又は第2の状態(位相 π)に設定する。これによって、転写対象の位相分布が図4(B)の場合には、第1パターン領域37Cのミラー要素30が位相 π に、第2パターン領域37Dのミラー要素30が位相0に設定される。

[0063] 次のステップ112で、変調制御部48は、その部分位相分布がミラー要素30の幅の内部に設定される境界線(位相0の領域と位相 π の領域との境界線)を含むかどうかを判定し、その境界線を含まないときにはステップ120に移行する。一方、ミラー要素30の幅の内部に設定される境界線を含む場合には、ステップ114に移行する。ステップ114において、変調制御部48は、その境界線が通過する領域及びこの領域に隣接する領域(境界線付近の領域)(図4(B)の例では境界線BR1, BL1が通過している

境界領域 38 A, 38 B 及び 39 A, 39 B) のうちの第 1 境界領域 38 A (第 1 領域) で第 1 のピッチ P 1 で複数のミラー要素 30 A の位相を 0 に設定し、他のミラー要素 30 B の位相を π に設定する。

[0064] 次のステップ 116 において、変調制御部 48 は、図 4 (B) の第 2 境界領域 38 B (第 2 領域) で第 2 のピッチ P 2 で複数のミラー要素 30 D の位相を π に設定し、他のミラー要素 30 C の位相を 0 に設定する。なお、境界線 B R の境界線 B R 1 に対するシフトを一つの境界領域内のミラー要素 30 の位相分布を調整するのみで行うことができる場合には、ステップ 116 は省略できる。次のステップ 118 において、変調制御部 48 は、第 3 境界領域 39 A (第 3 領域) 及び第 4 境界領域 39 B (第 4 領域) の位相分布をそれぞれ境界領域 38 A 及び 38 B の分布を反転した分布 (逆の分布) に設定する。なお、境界線 B L 1 が境界線 B L と一致する場合には、ステップ 118 は省略できる。さらに、境界線 B L 1 の境界線 B L に対するシフト量が、境界線 B R 1 のシフト量と異なる場合には、ステップ 118 の動作は、ステップ 114 (又はステップ 114, 116) と同様に独立に実行される。

[0065] 次のステップ 120 において、主制御系 40 は光源 2 から照明光学系 I L S を介して空間光変調器 28 に所定パルス数だけ照明光 I L を供給する。これによって、空間光変調器 28 で設定された位相分布に対応する空間像がウエハ W に露光される。次のステップ 122 で走査露光が終了していない場合には、動作はステップ 124 に移行し、主制御系 40 から露光領域 26 B に対する露光対象のショット領域の更新された相対位置の情報が供給される。これに応じて変調制御部 48 は、全体の位相分布のうちの転写対象領域を走査方向に対応する方向にシフトする。その後、動作はステップ 108 に戻り、ステップ 108 ~ 120 において、シフトした転写対象領域内の部分位相分布に対応する空間像がウエハ W に露光される。この露光動作は、ステップ 122 で走査露光が終了するまで継続される。

[0066] このように本実施形態によれば、孤立的なライン状の空間像、又は L & S パターンの空間像をそれぞれミラー要素 30 の像の幅よりも微細な位置精度

又は形状精度でマスクレス方式で形成することができる。従って、ウエハWの表面に種々のパターン（空間像）を高精度に形成できる。

本実施形態の効果等は以下の通りである。

[0067] 本実施形態の露光装置EXは、空間光変調器28及び変調制御部48を備えている。また、変調制御部48による空間光変調器28の駆動方法は、それぞれ照明光ILを投影光学系PLに導く複数のミラー要素30（光学要素）のアレイを有する空間光変調器28の駆動方法である。この駆動方法は、Y方向（第1方向）に隣接して配置されるとともにそれぞれY方向に直交するX方向（第2方向）に伸びた第1境界領域38A及び第2境界領域38Bのうち、第1境界領域38A内でX方向に投影光学系PLで解像されない（解像限界を超える）ピッチP1で配列された複数のミラー要素30Aを位相0の状態（第1の状態）に設定し、他のミラー要素30Bを位相 π の状態（第2の状態）に設定するステップ114と、第2境界領域38B内でX方向に投影光学系PLで解像されないピッチP2で配列された複数のミラー要素30Dを位相 π の状態に設定し、他のミラー要素30Cを位相0の状態に設定するステップ116と、を有する。

[0068] この空間光変調器28の駆動方法は、露光用パターンの生成方法でもある。ここで、空間光変調器28の複数のミラー要素30（光学要素）のアレイは、グリッド状に配列された複数の区画と見なすことができ、第1の状態（位相0）および第2の状態（位相 π ）に設定された空間光変調器28の複数のミラー要素30（区画）の配列は、露光用パターンとみなすことができる。

[0069] 本実施形態によれば、空間光変調器28において、第1境界領域38A内にピッチP1で配列された複数のミラー要素30Aを位相0に設定し、第2境界領域38B内にピッチP2で配列された複数のミラー要素30Dを位相 π に設定することによって、境界領域38A、38B間の境界線BRの像は、実質的に式(8B)に基づいてY方向にミラー要素30の像の幅Dよりも微細な位置精度でシフトする。従って、空間光変調器28を用いてウエハW

にパターンを投影する際に、ミラー要素30の像の幅よりも微細な位置精度又は形状精度でパターンを形成可能になる。

[0070] さらに、ミラー要素30A、30Dの配列ピッチが投影光学系PLで解像されないピッチであるため、ウエハWにラインパターンを形成する際に、ラインパターンの直線性が維持されるとともに、2つの隣接する境界領域38A、38B内で異なるピッチP1、P2で配列されたミラー要素30A、30Dの位相を設定することで、境界線BRの像のシフト量をより微細な精度で制御できる。

[0071] また、露光装置EXは、照明光IL（露光光）で投影光学系PLを介してウエハW（基板）を露光する露光装置であって、投影光学系PLの物体面側に配置されて、それぞれ照明光ILを投影光学系PLに導くように制御可能な複数のミラー要素30のアレイを有する空間光変調器28と、空間光変調器28の複数のミラー要素30を駆動する変調制御部48（制御装置）と、を備えている。そして、変調制御部48は、ウエハWの表面に投影光学系PLを介して形成される空間像に応じて、Y方向に隣接して配置された境界領域38A及び38Bのうち、第1境界領域38A内でX方向に投影光学系PLで解像されないピッチP1で配列された複数のミラー要素30Aを位相0の状態に設定し、他のミラー要素30Bを位相 π の状態に設定し、第2境界領域38B内でX方向に投影光学系PLで解像されないピッチP2で配列された複数のミラー要素30Dを位相 π の状態に設定し、他のミラー要素30Cを位相0の状態に設定する。

[0072] 従って、空間光変調器28を用いてウエハWにパターンを投影（形成）する際に、ミラー要素30の像の幅よりも微細な位置精度又は形状精度でパターン（レジストパターン等）を形成できる。

なお、ステップ116とステップ118とは、実質的に同時に実行することも可能である。また、ステップ118をステップ116よりも先に実行することも可能である。さらに、ミラー要素30のアレイのY軸に平行な境界線（ミラー要素30の間の領域）に対して、実質的にX方向にミラー要素3

0の幅よりも微細な量だけシフトした境界線で位相0の領域と位相 π の領域とが分かれている位相分布と等価な位相分布を設定する場合にも本実施形態が適用できる。この場合には、ミラー要素30のアレイ中で、X方向に隣接する2つの境界領域内で、投影光学系PLに解像されないピッチで配列された複数のミラー要素30の位相を0又は π に設定すればよい。

[0073] 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。

[0074] また、本実施形態の露光装置EXの露光方法は、照明光IL（露光光）で複数のミラー要素30のアレイを有する空間光変調器28及び投影光学系PLを介してウエハW（基板）を露光する露光方法であって、上記の空間光変調器28の駆動方法によって複数のミラー要素30の少なくとも一部（照明領域26A内のミラー要素30）を位相0又は π の状態に設定するステップ114、116と、照明光ILでその位相0又は π の状態に設定された複数のミラー要素30及び投影光学系PLを介して形成される空間像でウエハWを露光するステップ120と、を有する。

[0075] その露光方法又は露光装置EXによれば、ミラー要素30の像の幅より微細な精度でパターン（空間像）を形成できるため、より微細で複雑なパターンをマスクレス方式で形成できる。

なお、空間光変調器28の各ミラー要素30は、位相0の状態（第1の状態）及び位相 π の状態（第2の状態）以外の第3の状態（位相を $\pi/2$ 変化させる状態等）等を含む複数の状態に設定可能としてもよい。

[0076] また、照明光学系ILSからの照明光ILは、複数のミラー要素30（反射要素）にほぼ入射角 α で斜めに入射し、ミラー要素30からの反射光が、投影光学系PLに対して投影光学系PLの光軸AXWに交差するように入射

している。従って、投影光学系 PL 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 28 からの反射光の全部を投影光学系 PL を介してウエハ W に照射でき、照明光 IL 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 IL の偏光状態をウエハ W の表面で正確に再現できる。

[0077] また、ミラー要素 30 は、X 方向（第 2 方向）を長手方向とする長方形の領域に設けられ、露光装置 EX は、ウエハ W を投影光学系 PL の像面で X 方向と直交する Y 方向（第 1 方向）に対応する走査方向に移動するウエハステージ WST（基板ステージ）を備え、変調制御部 48 は、ウエハステージ WST によるウエハ W の移動に応じて、複数のミラー要素 30 によって形成されるパターン（位相分布）を Y 方向に移動している。これによって、ウエハ W の全面を効率的に露光できる。

[0078] 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。

上記の実施形態の空間光変調器 28 のミラー要素 30 のアレイにおいて、図 4（B）に示すように、境界領域 38 A 及び／又は 38 B 内の位相 0 又は π のミラー要素 30 A, 30 D のピッチ P1, P2 を規定する整数 N1, N2 及び 1 ピッチ内のミラー要素 30 A, 30 D の個数を規定する整数 n1, n2 を調整することで、境界領域 38 A, 38 B の境界線 BR に対して Y 方向に Δy だけシフトした境界線 BR1 の -Y 方向で位相が π で +Y 方向で位相が 0 となる位相分布と等価な位相分布を生成できる。この際に、例えば光学的近接効果による誤差である OPE（Optical Proximity Error）等を考慮して、図 4（B）の位相パターン MP1 A からの照明光 IL によって投影光学系 PL を介して像面に形成される強度分布をシミュレーションによって求め、その強度分布の図 4（D）の基準となる強度分布 C1 からのシフト量（実際のシフト量）を求めると、この実際のシフト量が、図 9（A）に示すように、整数 N1, N2 及び n1, n2 の値を式（8 B）に代入して計算される値（ターゲットシフト量）に対してある誤差を持つことが分かった。図 9（A）において、点線の直線 C4 T は、ターゲットシフト量（nm）と同じ縦軸の値を示し、実線の折れ線 C4 R は、ターゲットシフト量に対する実

際のシフト量 ($n m$) を現している。従って、直線 C 4 T に対する折れ線 C 4 R の差分がシフト量の誤差 e_{r1} となる。誤差 e_{r1} は、特にターゲットシフト量が $9 n m$ のときに $1.6 n m$ で最大になっている。

[0079] そこで、本実施形態の第1変形例では、例えば図10(A)～(D)の例で示すように、空間像の強度分布の実際のシフト量がターゲットシフト量にできるだけ近づくように、投影光学系 PL によって解像されないという条件は維持した上で、隣接する2つの境界領域内の位相 0 又は π のミラー要素 $30A$, $30D$ のピッチ $P1$, $P2$ (整数 $N1$, $N2$) 及び1ピッチ内のミラー要素 $30A$, $30D$ の個数 (整数 $n1$, $n2$) を変更する。図10(A)の実際のシフト量が $2 n m$ の位相パターン MP 4 2 は、第1パターン領域 $37C$ に +Y 方向に隣接する第1境界領域 $38J$ で $N1 = 6$, $n1 = 1$ として、それに隣接する第2境界領域 $38B$ で $N2 = 4$, $n2 = 1$ として、第1パターン領域 $37C$ の -Y 方向側の境界領域 $39J$, $39B$ の位相分布を境界領域 $38J$, $38B$ の分布を反転した分布としたものである。位相パターン MP 4 4 の式 (8B) から得られるシフト量はほぼ $1.7 (= +5 - 3.3) n m$ である。また、図10(B)の実際のシフト量が $6 n m$ の位相パターン MP 4 6 は、第1パターン領域 $37C$ に +Y 方向に隣接する第1境界領域 $38K$ で $N1 = 5$, $n1 = 3$ として、それに隣接する第2境界領域 $38L$ で $N2 = 5$, $n2 = 4$ として、第1パターン領域 $37C$ の -Y 方向側の境界領域 $39K$, $39L$ の位相分布を境界領域 $38K$, $38L$ の分布を反転した分布としたものである。この例では、整数 $N1$ と整数 $N2$ とが等しく設定されているとともに、式 (8B) から得られるシフト量はほぼ $4 (= +16 - 12) n m$ である。

[0080] 同様に、図10(C)の実際のシフト量が $7 n m$ の位相パターン MP 4 7 は、第1パターン領域 $37C$ に +Y 方向に隣接する第1境界領域 $38J$ で $N1 = 6$, $n1 = 1$ として、それに隣接する第2境界領域 $38D$ で $N2 = 2$, $n2 = 1$ として、第1パターン領域 $37C$ の -Y 方向側の境界領域 $39J$, $39D$ の位相分布を境界領域 $38J$, $38D$ の分布を反転した分布としたも

のである。この例では、式(8B)から得られるシフト量はほぼ $6.66 (= +10 - 3.33) \text{ nm}$ である。また、図10(D)の実際のシフト量が 9 nm の位相パターンMP49は、第1パターン領域37Cに+Y方向に隣接する第1境界領域38Aで $N1 = 5$, $n1 = 1$ として、それに隣接する第2境界領域38Mで $N2 = 5$, $n2 = 3$ として、第1パターン領域37Cの-Y方向側の境界領域39A, 39Mの位相分布を境界領域38A, 38Mの分布を反転した分布としたものである。この例では、整数 $N1$ と整数 $N2$ とが等しく設定されているとともに、式(8B)から得られるシフト量はほぼ $8 (= +12 - 4) \text{ nm}$ である。

[0081] 図9(B)の点線の直線C5Tは、ターゲットシフト量(nm)と同じ縦軸の値を示し、実線の折れ線C5Rは、シフト量が 2 nm 、 6 nm 、 7 nm 、及び 9 nm の場合に図10(A)~(D)の位相パターンMP42~MP49を用いて、他のシフト量に関しては式(8B)によってシフト量を計算する位相パターンを用いた場合の実際のシフト量(nm)を現している。従って、直線C5Tに対する折れ線C5Rの差分がシフト量の誤差 e_{r2} となる。誤差 e_{r2} は、ターゲットシフト量が 2 nm のときに 0.3 nm で最大になっているが、この誤差 e_{r2} は、整数 $N1$, $N2$ 及び $n1$, $n2$ の値を調整しない場合の図9(A)の誤差 e_{r1} に比べるとかなり小さくなっている。従って、この第1変形例によれば、目標とするパターンをより高精度に形成できる。

[0082] 次に、上記の実施形態の図7(A)の位相パターンMP3を用いて形成したL&Sパターンの空間像の強度分布をシミュレーションによって計算した結果を図11(A)に示す。図11(A)において、横軸は像面のY座標(nm)であり、曲線C6は、L&Sパターンの強度INT(相対値)の10個のピーク(明線)を示し、折れ線 ΔCD は、その曲線C6に対してある閾値を設定してレジストパターンを形成したときの目標値に対する線幅CD(critical dimension)の誤差(nm)を現している。曲線C6からL&Sパターンの空間像のピーク強度のばらつきがあることが分かり、折れ線 ΔCD か

ら線幅の誤差のばらつきが2 nm程度生じていることが分かる。

[0083] そこで、本実施形態の第2変形例では、L & Sパターンの空間像のピーク強度（明線の強度）のばらつきを低減するために、空間光変調器28の複数のミラー要素30のアレイの位相分布を図12の位相パターンMP5に設定する。図12において図7（A）に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。図12の位相パターンMP5は、各部分パターンSP1A～SP5A中の第1パターン領域37E（又は37C）内に、X方向に投影光学系PLで解像されないピッチ（ここではピッチ $5p_x$ 又は $6p_x$ ）で配列された複数のミラー要素30Aを位相0に設定し、第2パターン領域37D（又は37F）内に、X方向に投影光学系PLで解像されないピッチ（ここではピッチ $6p_x$ 又は $5p_x$ ）で配列された複数のミラー要素30Dを位相 π に設定したものである。なお、第1パターン領域37E（又は37C）内でミラー要素30A以外のミラー要素30の位相は π に設定され、第2パターン領域37D（又は37F）内でミラー要素30D以外のミラー要素30の位相は0に設定されている。この場合、第1パターン領域37E（又は37C）内のミラー要素30Aのピッチ、及び第2パターン領域37D（又は37F）内のミラー要素30Dのピッチは、その部分の空間像の強度分布のピークレベルが互いにほぼ等しくなるように設定してもよい。

[0084] 図12の位相パターンMP5を用いて形成したL & Sパターンの空間像の強度分布をシミュレーションによって計算した結果を図11（B）に示す。図11（B）において、横軸は像面のY座標（nm）であり、曲線C7は、L & Sパターンの強度INT（相対値）の10個のピーク（明線）を示し、折れ線 ΔCD は、その曲線C7に対してある閾値を設定してレジストパターンを形成したときの目標値に対する線幅の誤差（nm）を現している。曲線C7からL & Sパターンの空間像のピーク強度のばらつきが低減されたことが分かり、図11（B）の折れ線 ΔCD から線幅の誤差のばらつきが0.5 nm程度に減少していることが分かる。

[0085] このようにこの第2変形例の露光装置EXの変調制御部48による空間光

変調器 28 の駆動方法は、Y 方向（第 1 方向）に離れて配置されるとともにそれぞれ X 方向（第 2 方向）に伸びた第 1 パターン領域 37 E 及び第 2 パターン領域 37 D のうち、第 1 パターン領域 37 E 内で X 方向に投影光学系 PL で解像されないピッチ（5 p x）で配列された複数のミラー要素 30 A を位相 0（第 1 の状態）に設定し、第 1 パターン領域 37 E 内の他のミラー要素 30 を位相 π に設定し、第 2 パターン領域 37 D 内の少なくとも一部（ミラー要素 30 D 以外）のミラー要素 30 を位相 0 に設定している。

[0086] この変形例によれば、第 1 パターン領域 37 E 内に投影光学系 PL で解像されないピッチで他のミラー要素 30 と位相が異なるミラー要素 30 A を配置しているため、その第 1 パターン領域 37 E に対応する部分の空間像のピークレベルを調整することができる。従って、最終的に形成されるラインパターンの線幅等を最適化できる。さらに、そのミラー要素 30 A を例えば第 1 パターン領域 37 E の端部に配置することによって、最終的に形成されるラインパターンの線幅等をミラー要素 30 の像の幅よりも微細な精度で制御できる。

[0087] この空間光変調器 28 の駆動方法も、露光用パターンの生成方法でもある。ここで、空間光変調器 28 の複数のミラー要素 30（光学要素）のアレイは、グリッド状に配列された複数の区画と見なすことができ、第 1 の状態（位相 0）および第 2 の状態（位相 π ）に設定された空間光変調器 28 の複数のミラー要素 30（区画）の配列は、露光用パターンとみなすことができる。

[0088] 次に、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 SA 21）を Y 方向に複数の部分領域 SB 1 ~ SB 5 等に分割し、投影光学系 PL の露光領域 26 B に部分領域 SB 1 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 SB 1 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 SB 2 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。

[0089] 次に、上記の実施形態の空間光変調器28のミラー要素30は平行移動して照明光ILの位相を第1の位相又は第2の位相だけ変化させている。しかしながら、例えば図1において、空間光変調器28の代わりに、例えば米国特許第5,312,513号明細書、又は米国特許第6,885,493号明細書に開示されているように、傾斜角が可変の複数のミラー要素（反射要素）のアレイを有する空間光変調器を使用してもよい。

[0090] このような傾斜角可変方式の空間光変調器を使用する場合、ミラー要素の第1の状態は、照明光学系ILSからの照明光を投影光学系PLに導く状態（明部となる状態）であり、ミラー要素の第2の状態は、照明光学系ILSからの照明光を投影光学系PLに入射させない状態（暗部となる状態）である。この場合にも、ミラー要素のアレイにおいて、第1領域と第2領域との例えばX方向に伸びる境界領域で、投影光学系PLの解像限界よりも微細なピッチで配列される複数のミラー要素の状態を第1の状態又は第2の状態に設定することによって、Y方向にミラー要素の像の幅よりも微細な位置精度又は形状精度でパターンを形成できる。

また、複数のミラー要素の傾斜角と照明光ILの位相との両方を変化させる空間光変調器を用いても良い。この場合、複数のミラー要素は、複数のミラー要素が配列されている面の法線方向に平行移動すると共に、複数のミラー要素の反射面の当該法線に対する傾斜角が変更されるように傾斜する。

[0091] 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13の第3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13において、露光装置EXAは、光源（不図示）と、この光源からのレーザ光を用いて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方向又はそれ以外の方向に反射する多数の傾斜角可変のミラー要素56の2次元のアレイと、これらのアレイを支持するベース部材58とを有する空間光変調器54と、ミラー要素56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。ミラー要素56のうちで、第1の状態(反射光を投影光学系PLに入射させる状態)のミラー要素56Pと、第2の状態(反射光を投影光学系PLに入射させない状態)のミラー要素56Nとの組み合わせによってウエハW上にマスクレス方式でパターンを形成できる。

[0092] この第3変形例においても、ミラー要素56のアレイで、第1領域と第2領域との例えばX方向に伸びる境界領域で、投影光学系PLの解像限界よりも微細なピッチで配列される複数のミラー要素56の状態を第1の状態又は第2の状態に設定することによって、Y方向にミラー要素56の像の幅(ピッチ)よりも微細な位置精度又は形状精度でパターンを形成できる。この第3変形例の露光装置EXAによれば、両側テレセントリックの投影光学系PLAを使用できるため、露光装置の構成が簡素化できる。

[0093] また、この第3変形例において、空間光変調器54として図1の位相可変型の空間光変調器28を使用することも可能である。

なお、照明光IL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。

[0094] 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。

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14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221、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上記の実施形態の露光装置EX、EXAの主制御系に記憶するステップ222、デバイスの基材である基板（ウエハ）を製造してレジストを塗布するステップ223、前述した露光装置EX、EXA（又は露光方法）により空間光変調器28で生成される位相分布（又は空間光変調器54で生成される強度分布）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。

[0095] このデバイスの製造方法は、上記の実施形態の露光装置（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224）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（CMOS型、CCD等）、マイクロマシーン、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。

[0096] 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2012年1月18日付け提出の日本国特許出願第2012-007727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

[0097] 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、30A, 30C…位相0のミラー要素、30B, 30D…位相 π のミラー要素、37C…第1パターン領域、37D…第2パターン領域、38A…第1境界領域、38B…第2境界領域、39A…第3境界領域39A、39B…第4境界領域、48…変調制御部

請求の範囲

- [請求項1] それぞれ光を投影光学系に導くことが可能な複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器の駆動方法であって、
- 第1方向に隣接して配置されるとともにそれぞれ前記第1方向に交差する第2方向に伸びた第1領域及び第2領域のうち、前記第1領域内で前記第2方向に前記投影光学系で解像されない第1のピッチで配列された複数の前記光学要素を第1の状態に設定し、前記第1領域内の他の前記光学要素を前記第1の状態と異なる第2の状態に設定し、
- 前記第2領域内で前記第2方向に前記投影光学系で解像されない第2のピッチで配列された複数の前記光学要素を前記第2の状態に設定し、前記第2領域内の他の前記光学要素を前記第1の状態に設定することを特徴とする空間光変調器の駆動方法。
- [請求項2] 複数の前記光学要素はそれぞれ反射面を前記反射面に垂直な方向に移動させて入射する光を反射する反射要素であることを特徴とする請求項1に記載の空間光変調器の駆動方法。
- [請求項3] 前記投影光学系を介して像面上に形成されるパターンは、前記第1領域と前記第2領域との境界部に対応する境界パターン部を備え、
- 前記第1領域内で前記第1のピッチ内の前記第1の状態の光学要素の個数を n_1 、前記第1のピッチを P_1 、前記第2領域内で前記第2のピッチ内の前記第2の状態の光学要素の個数を n_2 、前記第2のピッチを P_2 として、前記光学要素の個数 n_1 及び n_2 並びに前記ピッチ P_1 及び P_2 のうちの少なくとも一つの値を変更して前記境界パターン部の前記第1方向に対応する方向の位置を制御することを特徴とする請求項1又は2に記載の空間光変調器の駆動方法。
- [請求項4] 前記第1のピッチと前記第2のピッチとは互いに異っており、
- 前記第1のピッチの幅内の前記光学要素の個数を N_1 、前記第2のピッチの幅内の前記光学要素の個数を N_2 、前記光学要素の前記投影光学系による像の前記第1方向に対応する方向の幅を D として、前記

像面における前記境界パターン部の前記第1方向に対応する方向の移動量は

$$\{-(n1/N1) + (n2/N2)\} D$$

であることを特徴とする請求項3に記載の空間光変調器の駆動方法。

[請求項5] 前記投影光学系の結像特性、及び前記像面における前記境界パターン部の前記第1方向に対応する方向の移動量の目標値に応じて、前記ピッチP1及びP2、並びに前記光学要素の個数n1及びn2のうち少なくとも一つを変更することを特徴とする請求項3に記載の空間光変調器の駆動方法。

[請求項6] 前記第1領域に対して前記第2領域と逆方向に隣接する第3領域内で前記第2方向に前記投影光学系で解像されない第3のピッチで配列された複数の前記光学要素を前記第1の状態に設定し、前記第3領域内の他の前記光学要素を前記第2の状態に設定することを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の空間光変調器の駆動方法。

[請求項7] それぞれ光を投影光学系に導くことが可能な複数の光学要素のアレイを有する空間光変調器の駆動方法であって、

第1方向に隣接して又は離れて配置されるとともにそれぞれ前記第1方向に交差する第2方向に伸びた第1領域及び第2領域のうち、前記第1領域内で前記第2方向に前記投影光学系で解像されない第1のピッチで配列された複数の前記光学要素を第1の状態に設定し、前記第1領域内の他の前記光学要素を前記第1の状態と異なる第2の状態に設定し、

前記第2領域内の少なくとも一部の前記光学要素を前記第1の状態に設定する

ことを特徴とする空間光変調器の駆動方法。

[請求項8] 複数の前記光学要素はそれぞれ反射面を前記反射面に垂直な方向に移動させて入射する光を反射する反射要素であることを特徴とする請求項7に記載の空間光変調器の駆動方法。

- [請求項9] 前記投影光学系を介して像面上に形成されるパターンは、前記第1領域及び前記第2領域に対応する第1パターン部及び第2パターン部を備え、
- 前記第1パターン部の光強度のピーク値に応じて、前記第1領域内で前記第1のピッチ内の前記第1の状態の光学要素の個数 N_1 及び前記第1のピッチ P_1 の少なくとも一つの値を変更することを特徴とする請求項7又は8に記載の空間光変調器の駆動方法。
- [請求項10] 前記第2領域内で前記第2方向に前記投影光学系で解像されない第2のピッチで配列された複数の前記光学要素を前記第2の状態に設定し、前記第2領域内の他の前記光学要素を前記第1の状態に設定することを特徴とする請求項7～9のいずれか一項に記載の空間光変調器の駆動方法。
- [請求項11] 前記光学要素の前記第1の状態は、入射する光の位相を第1の位相だけ変化させて前記投影光学系に導く状態であり、前記第2の状態は、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前記投影光学系に導く状態であることを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の空間光変調器の駆動方法。
- [請求項12] 複数の前記光学要素はそれぞれ傾斜角が可変の反射要素であり、
- 前記反射要素の前記第1の状態は、前記反射要素で反射される光を前記投影光学系に入射させる状態であり、前記第2の状態は、前記反射要素で反射される光を前記投影光学系に入射させない状態であることを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の空間光変調器の駆動方法。
- [請求項13] 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1～12のいずれか一項に記載の空間光変調器の駆動方法によって複数の前記光学要素の少なくとも一部を前記第1の状態又は前記第2の状態に設定し、

前記露光光で前記第 1 の状態又は前記第 2 の状態に設定された複数の前記光学要素及び前記投影光学系を介して形成される空間像で前記基板を露光する

ことを特徴とする露光方法。

[請求項14]

照明光学系からの露光光で投影光学系を介して基板を露光する露光装置において、

前記投影光学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光学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、

前記空間光変調器の複数の前記光学要素を駆動する制御装置と、を備え、

前記制御装置は、前記基板上に前記投影光学系を介して形成される空間像に応じて、

第 1 方向に隣接して又は離れて配置されるとともにそれぞれ前記第 1 方向に交差する第 2 方向に伸びた第 1 領域及び第 2 領域のうち、前記第 1 領域内で前記第 2 方向に前記投影光学系で解像されない第 1 のピッチで配列された複数の前記光学要素を第 1 の状態に設定し、前記第 1 領域内の他の前記光学要素を前記第 1 の状態と異なる第 2 の状態に設定し、

前記第 2 領域内の少なくとも一部の前記光学要素を前記第 1 の状態に設定する

ことを特徴とする露光装置。

[請求項15]

複数の前記光学要素はそれぞれ反射面を前記反射面に垂直な方向に移動させて入射する光を反射する反射要素であることを特徴とする請求項 14 に記載の露光装置。

[請求項16]

前記第 1 領域は前記第 1 方向に前記第 2 領域に隣接して配置されており、

前記制御装置は、前記第 2 領域内で前記第 2 方向に前記投影光学系

で解像されない第2のピッチで配列された複数の前記光学要素を前記第2の状態に設定し、前記第2領域内の他の前記光学要素を前記第1の状態に設定する

ことを特徴とする請求項14又は15に記載の露光装置。

[請求項17]

複数の前記光学要素はそれぞれ反射要素であり、

前記照明光学系からの前記露光光は、複数の前記反射要素に斜めに入射し、複数の前記反射要素からの反射光が、前記投影光学系に対して前記投影光学系の光軸に交差するように入射することを特徴とする請求項14～16のいずれか一項に記載の露光装置。

[請求項18]

前記空間光変調器と前記投影光学系との間に配置されるビームスプリッタを備え、

前記照明光学系からの前記露光光は、前記ビームスプリッタ、前記空間光変調器、及び前記ビームスプリッタを介して前記投影光学系に入射することを特徴とする請求項14～16のいずれか一項に記載の露光装置。

[請求項19]

複数の前記光学要素のアレイは第3方向を長手方向とする長方形の領域であり、

前記基板を前記投影光学系の像面で前記第1方向に対応する走査方向に移動する基板ステージを備え、

前記制御装置は、前記基板ステージによる前記基板の移動に応じて、複数の前記光学要素によって形成されるパターンを前記第1方向に移動することを特徴とする請求項14～18のいずれか一項に記載の露光装置。

[請求項20]

投影光学系を用いて基板を露光するときに用いられ、グリッド状に配列された複数の区画を備える露光用パターンの生成方法であって、

第1方向に隣接して又は離れて配置されるとともにそれぞれ前記第1方向に交差する第2方向に伸びた第1領域及び第2領域に配列された前記複数の区画のうち、前記第1領域内で前記第2方向に前記投影

光学系で解像されない第1のピッチで配列された複数の前記区画を第1の状態に設定し、前記第1領域内の他の前記区画を前記第1の状態と異なる第2の状態に設定し、

前記第2領域内の少なくとも一部の前記区画を前記第1の状態に設定する

ことを特徴とする露光用パターンの生成方法。

[請求項21] 前記第1の状態に設定された複数の前記区画と、前記第2の状態に設定された複数の前記区画とは、前記複数の区画が前記グリッド状に配列される面に垂直な方向の位置が異なることを特徴とする請求項20に記載の露光用パターンの生成方法。

[請求項22] 前記第1領域は前記第1方向に前記第2領域に隣接して配置されており、

前記第2領域内で前記第2方向に前記投影光学系で解像されない第2のピッチで配列された複数の前記区画を前記第2の状態に設定し、前記第2領域内の他の前記区画を前記第1の状態に設定する

ことを特徴とする請求項21に記載の露光用パターンの生成方法。

[請求項23] 前記第1の状態は、入射する光の位相を第1の位相だけ変化させて前記投影光学系に導く状態であり、前記第2の状態は、入射する光の位相を前記第1の位相とは異なる第2の位相だけ変化させて前記投影光学系に導く状態であることを特徴とする請求項20～22のいずれか一項に記載の露光用パターンの生成方法。

[請求項24] 請求項13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、

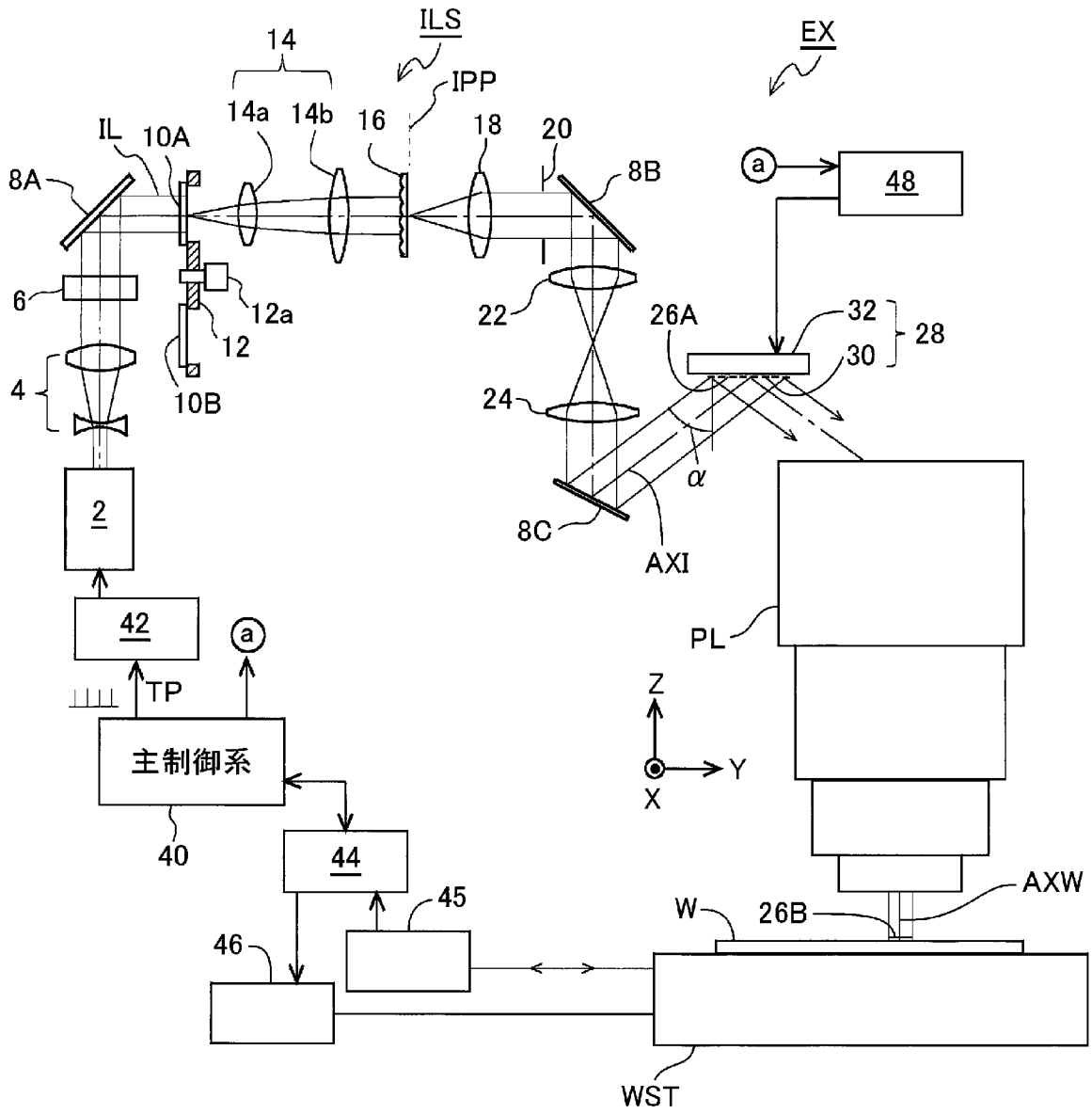
前記パターンが形成された前記基板を処理することと、
を含むデバイス製造方法。

[請求項25] 請求項14～19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、

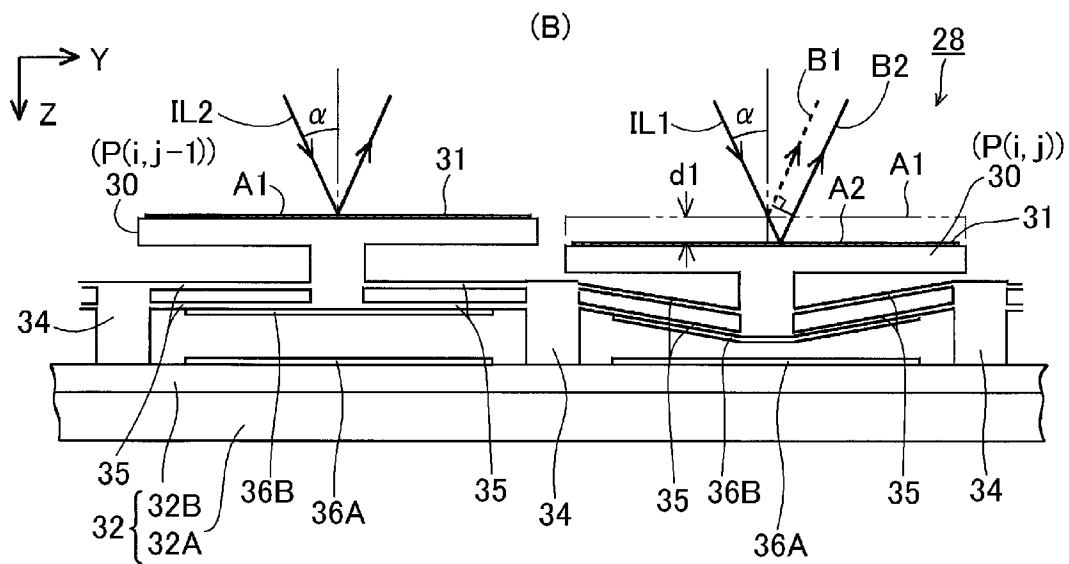
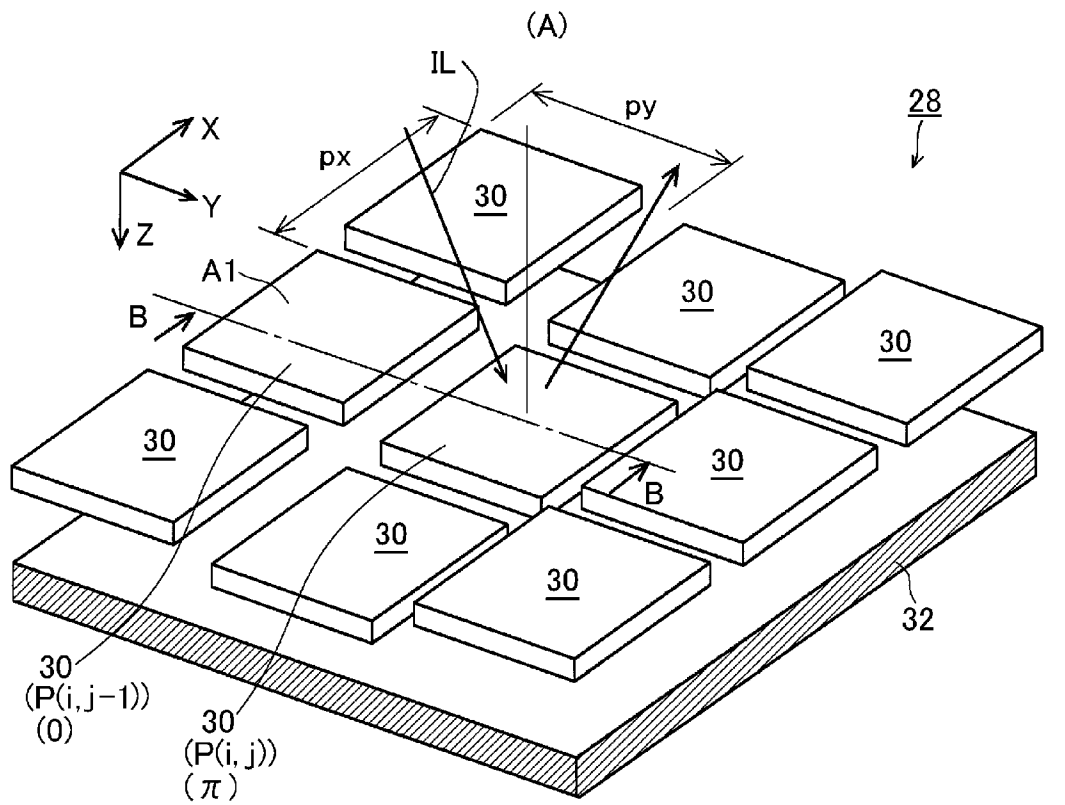
前記パターンが形成された前記基板を処理することと、

を含むデバイス製造方法。

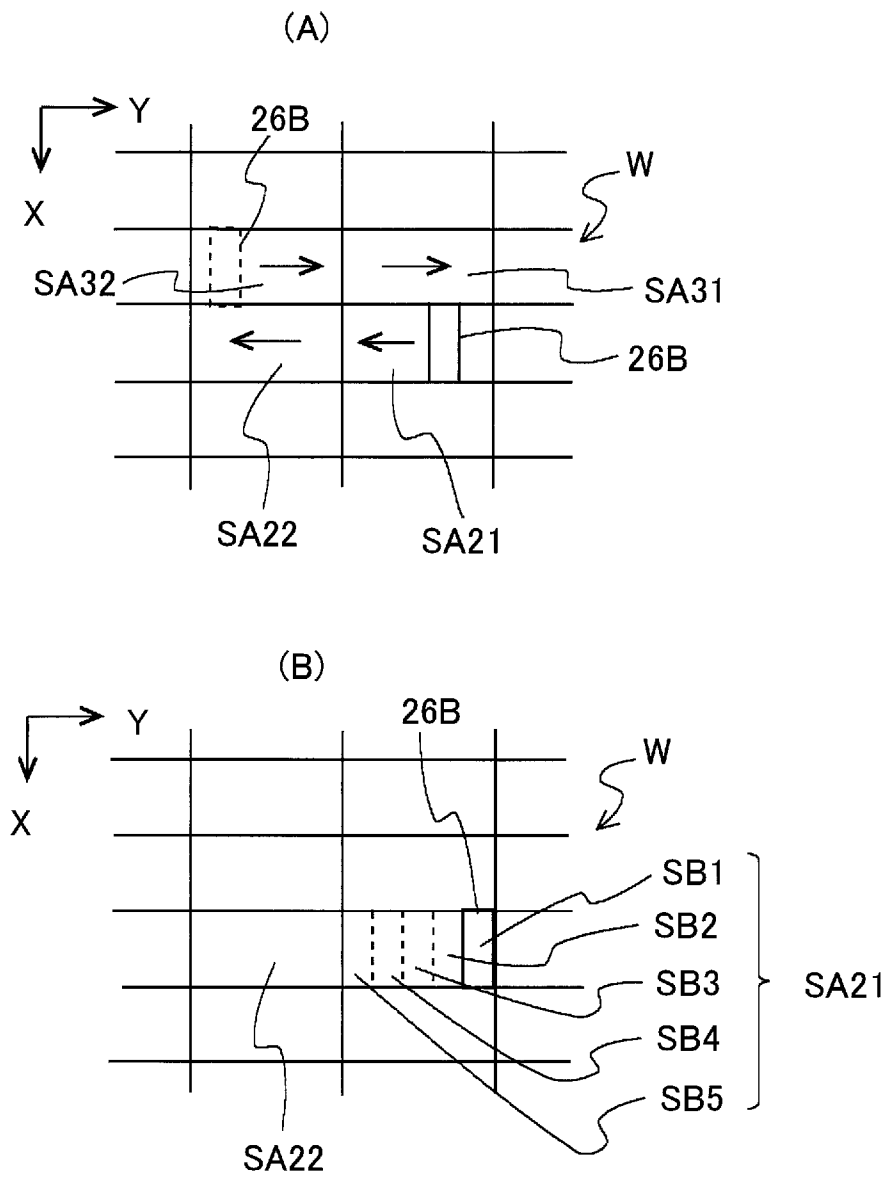
[図1]



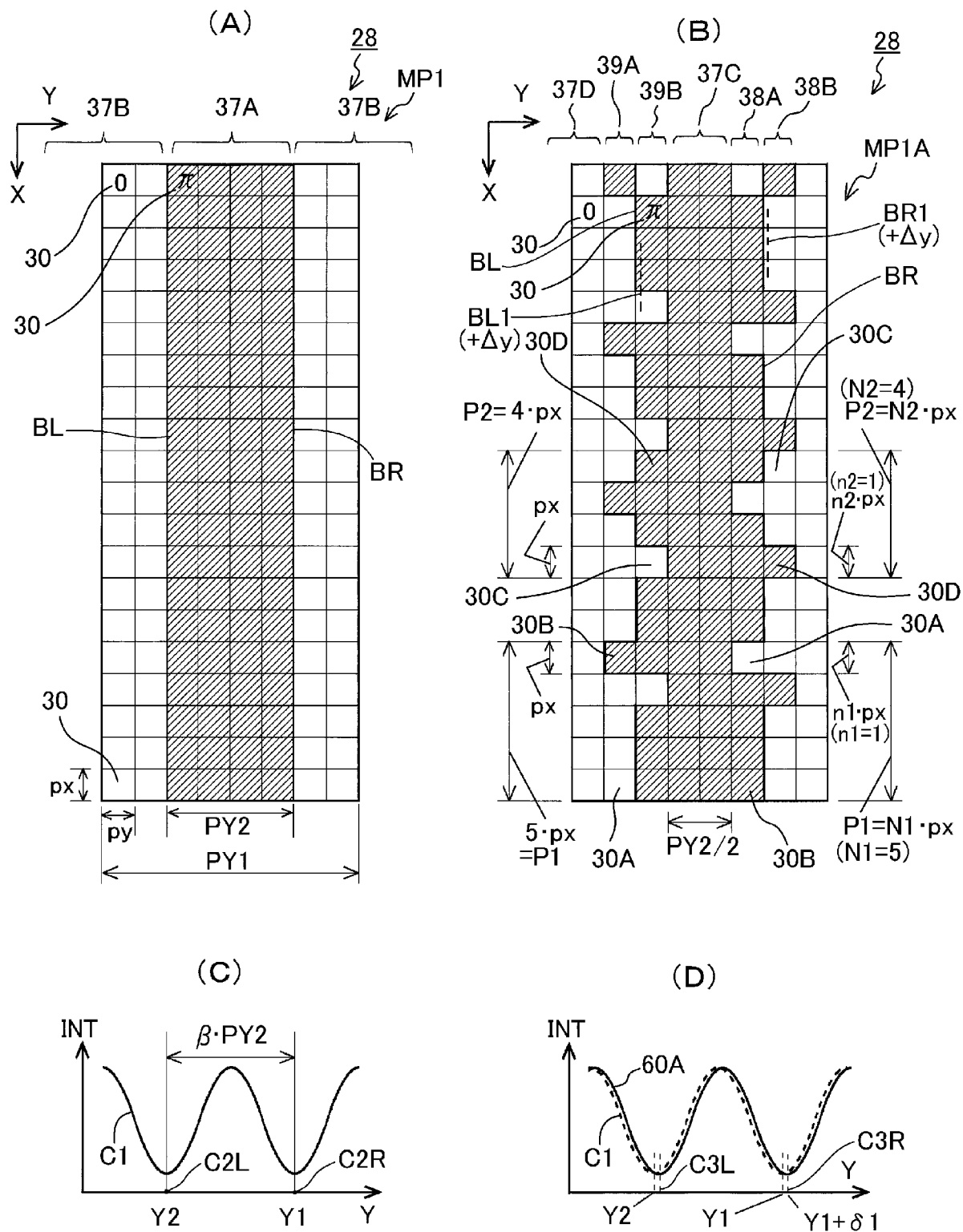
[図2]



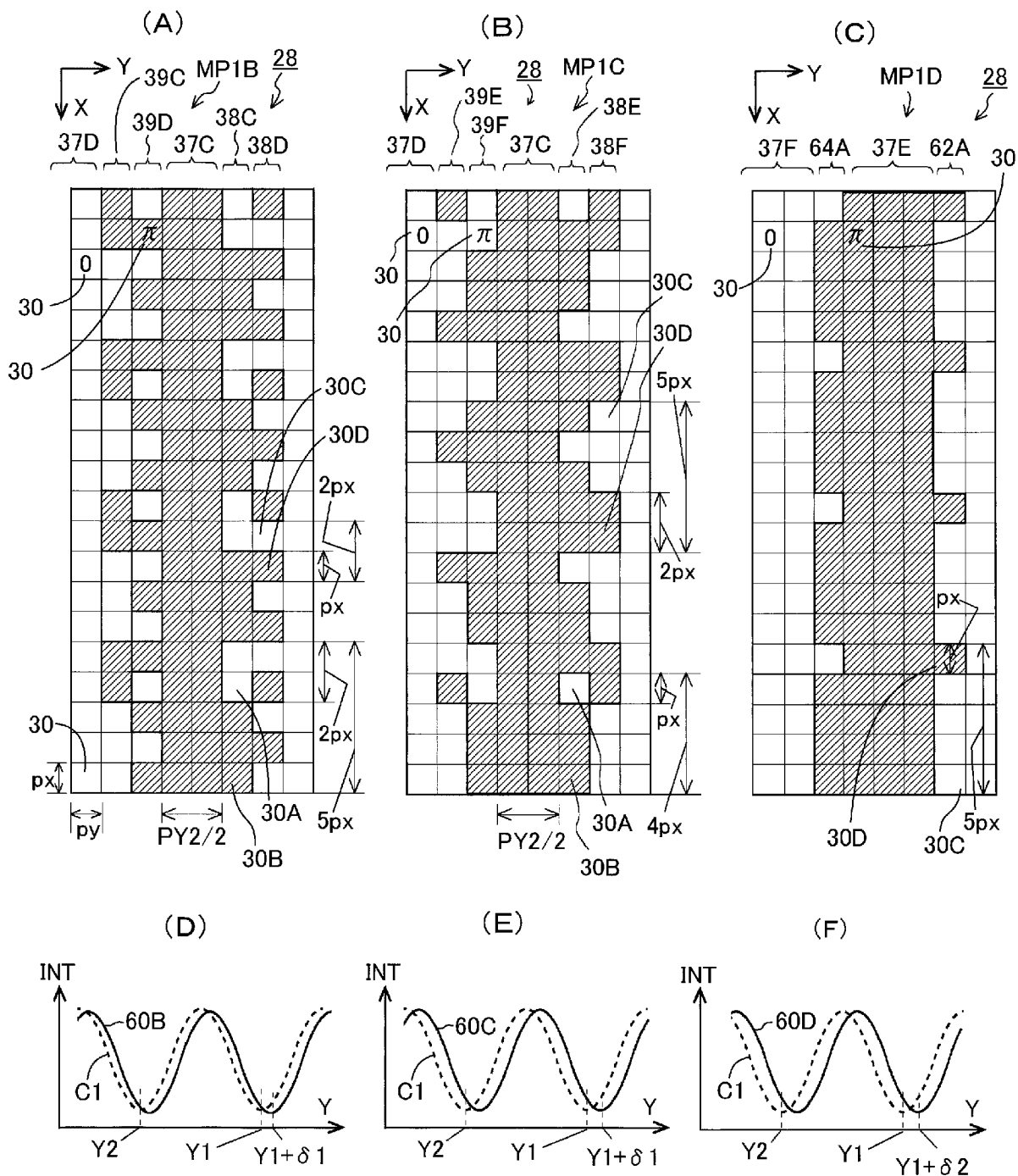
[図3]



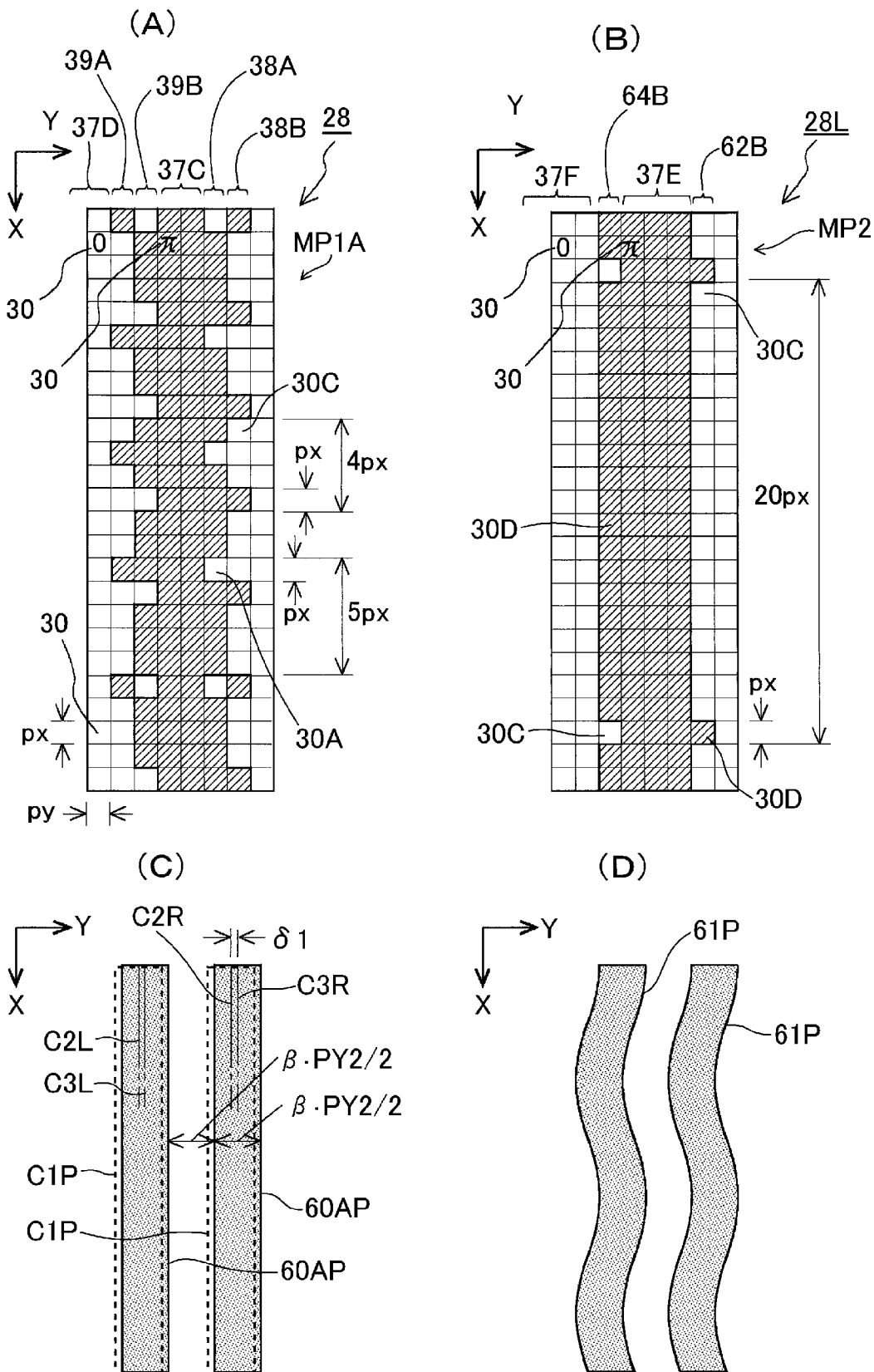
[図4]



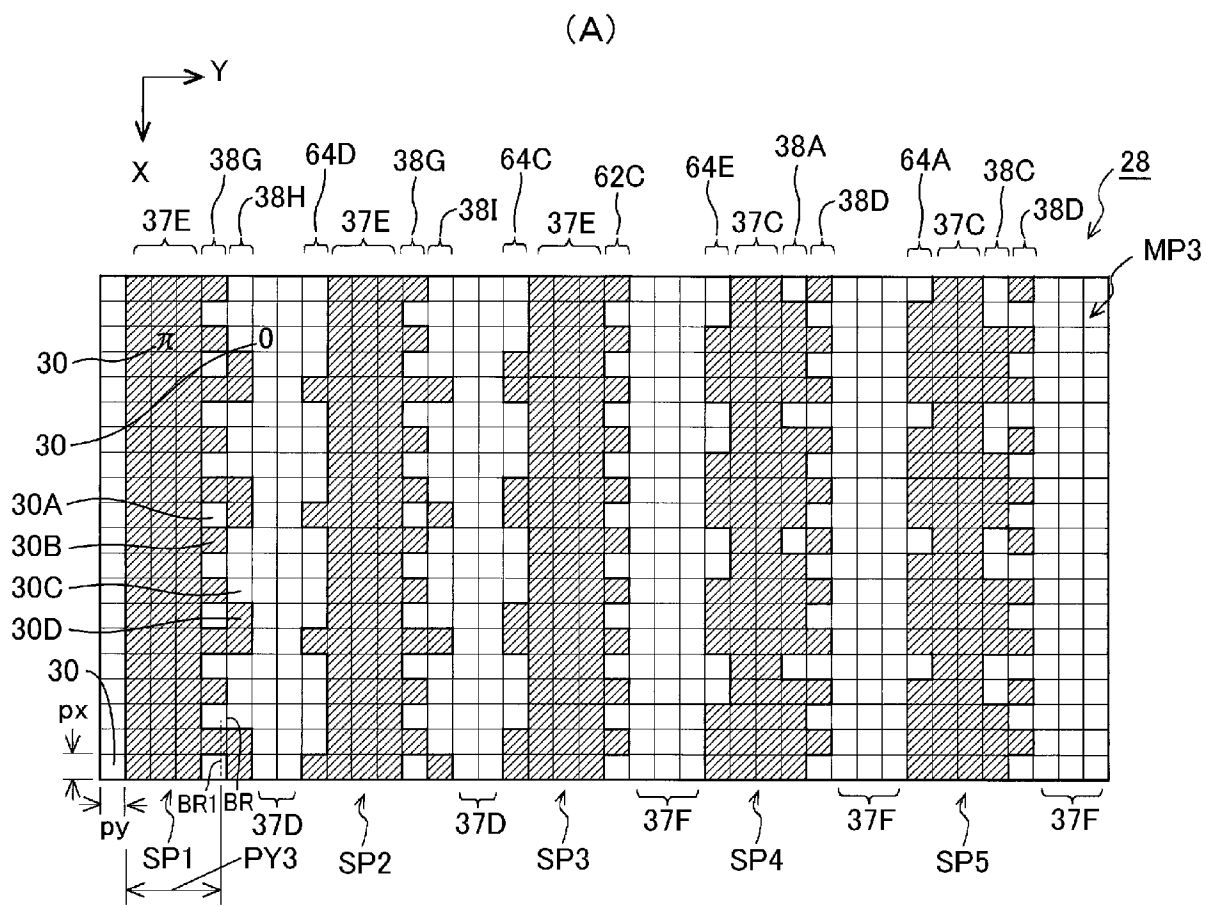
[図5]



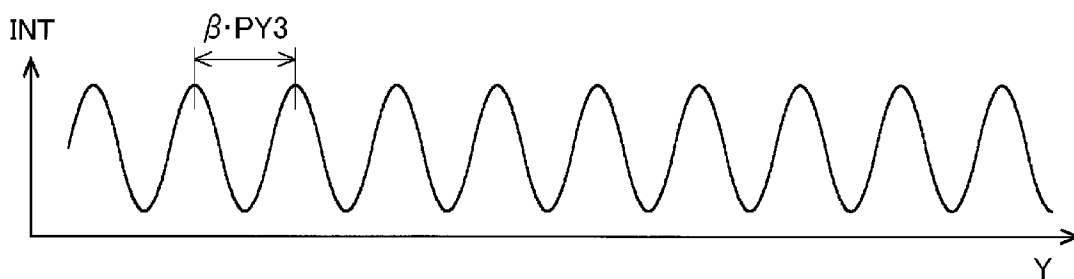
[図6]



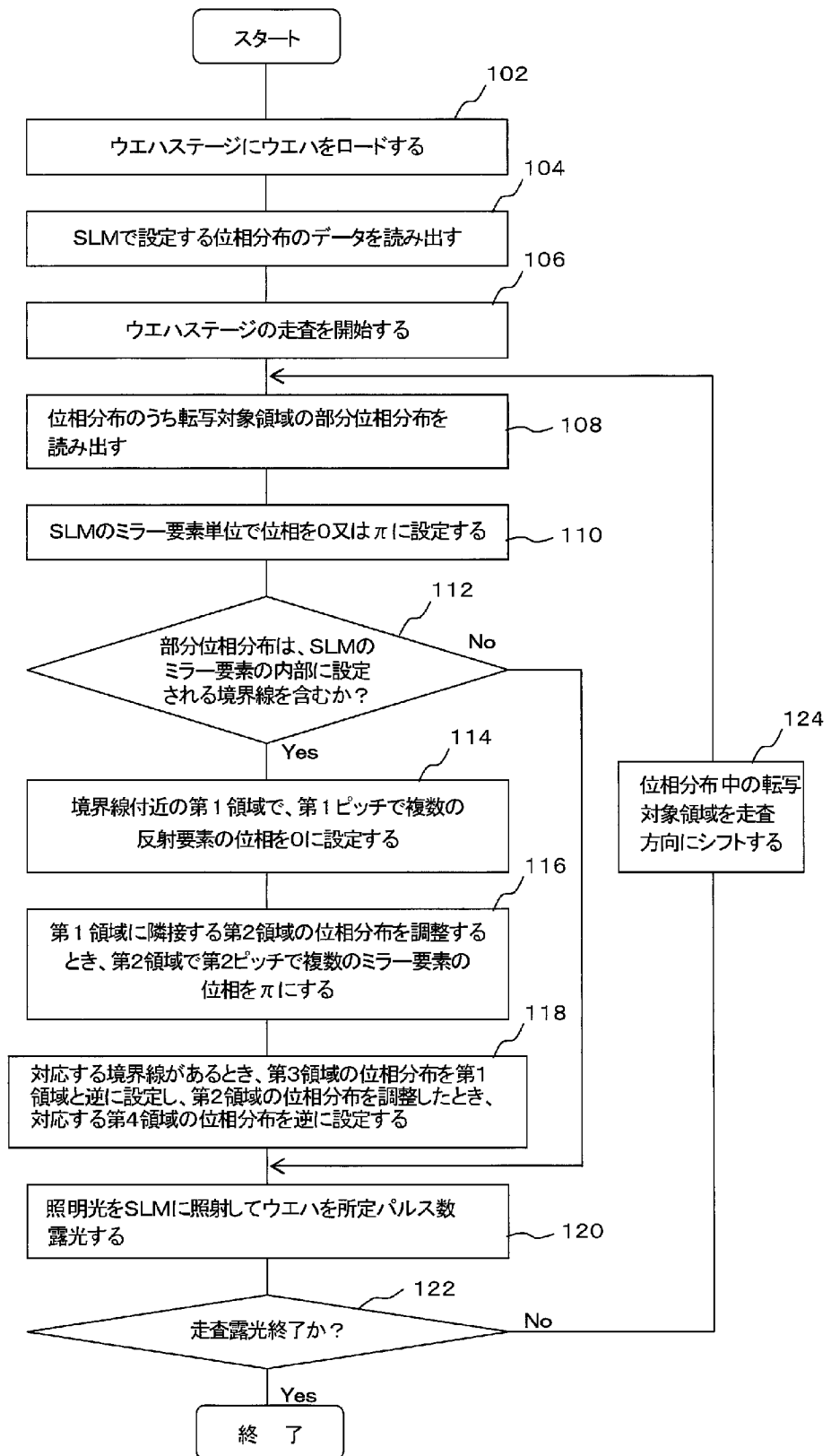
[図7]



(B)

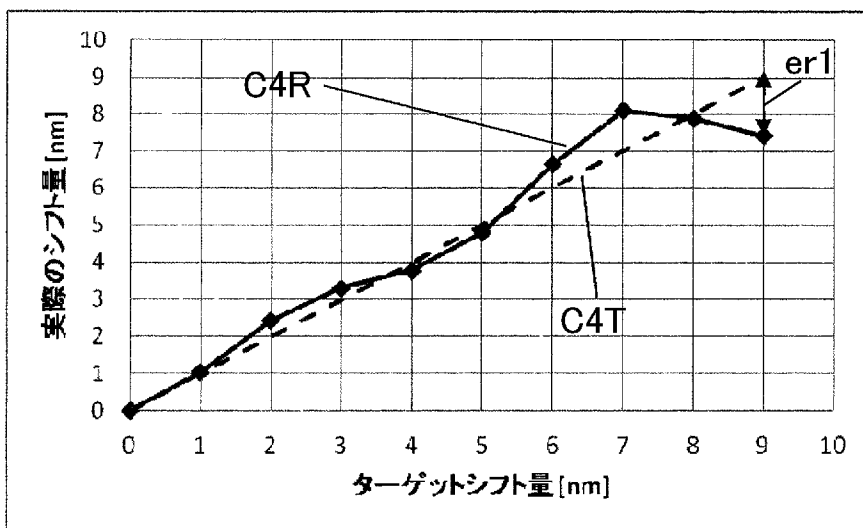


[図8]

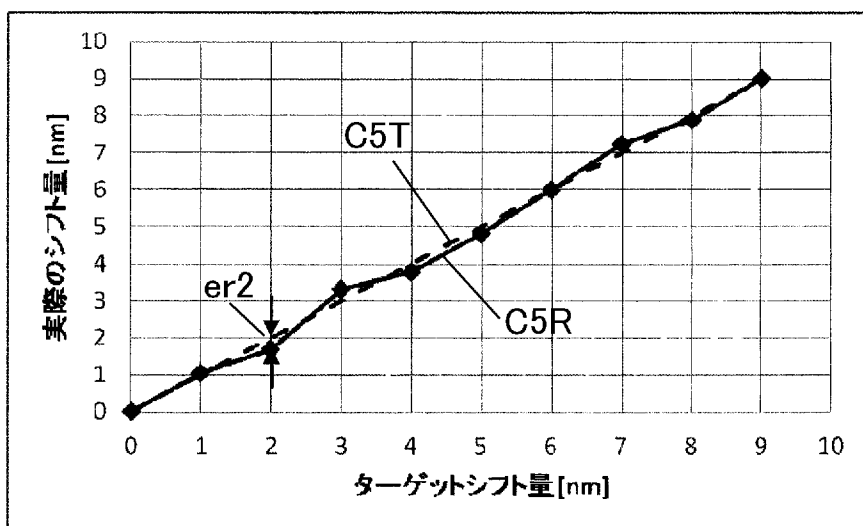


[図9]

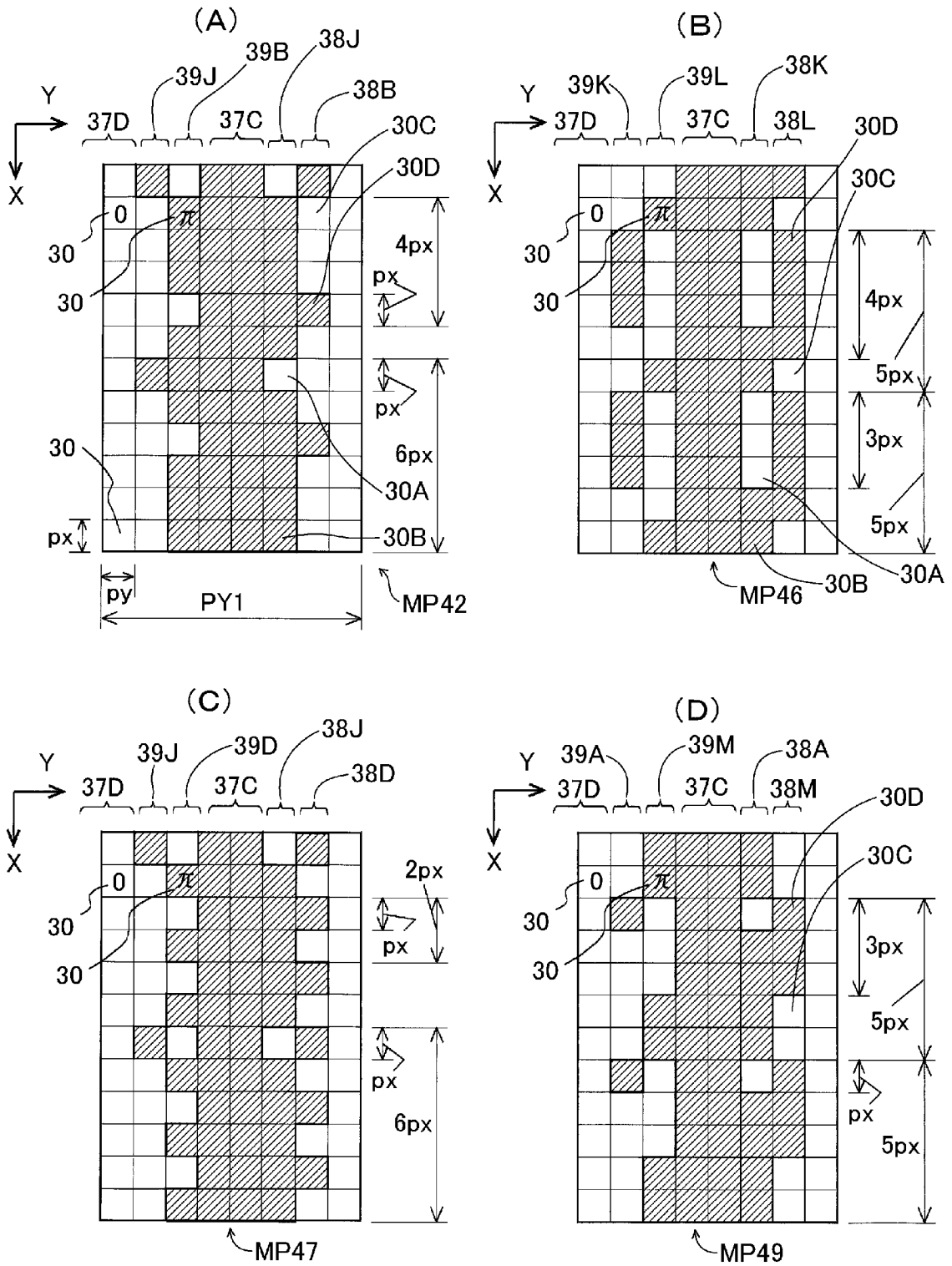
(A)



(B)

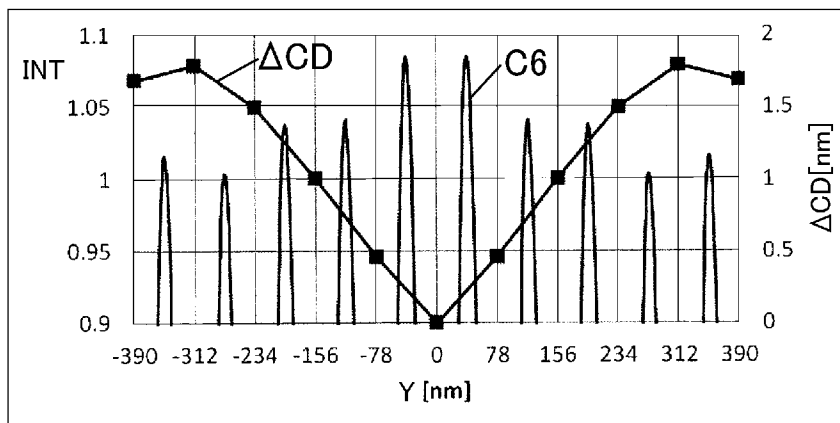


[図10]

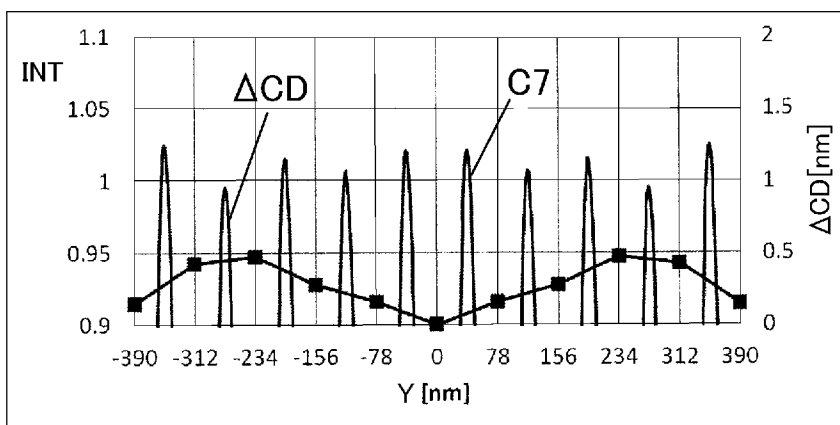


[図11]

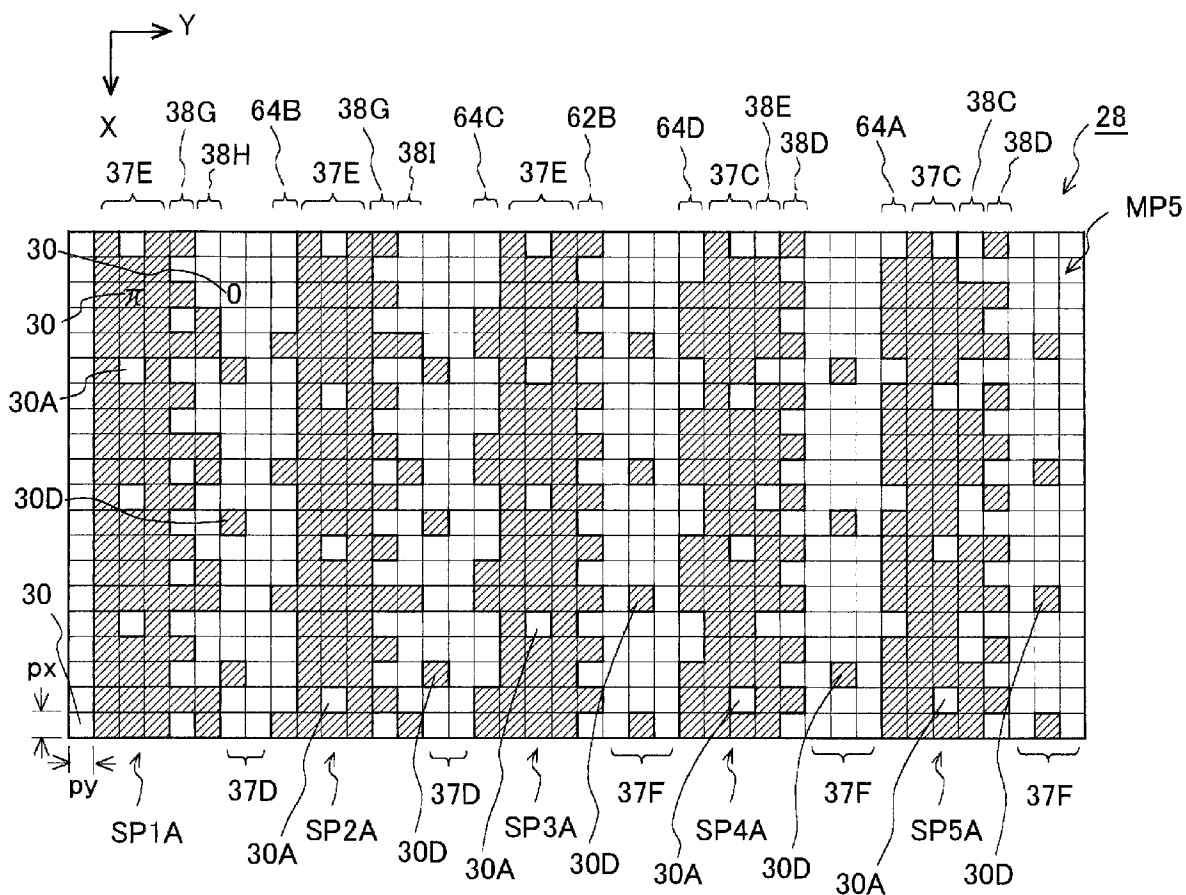
(A)



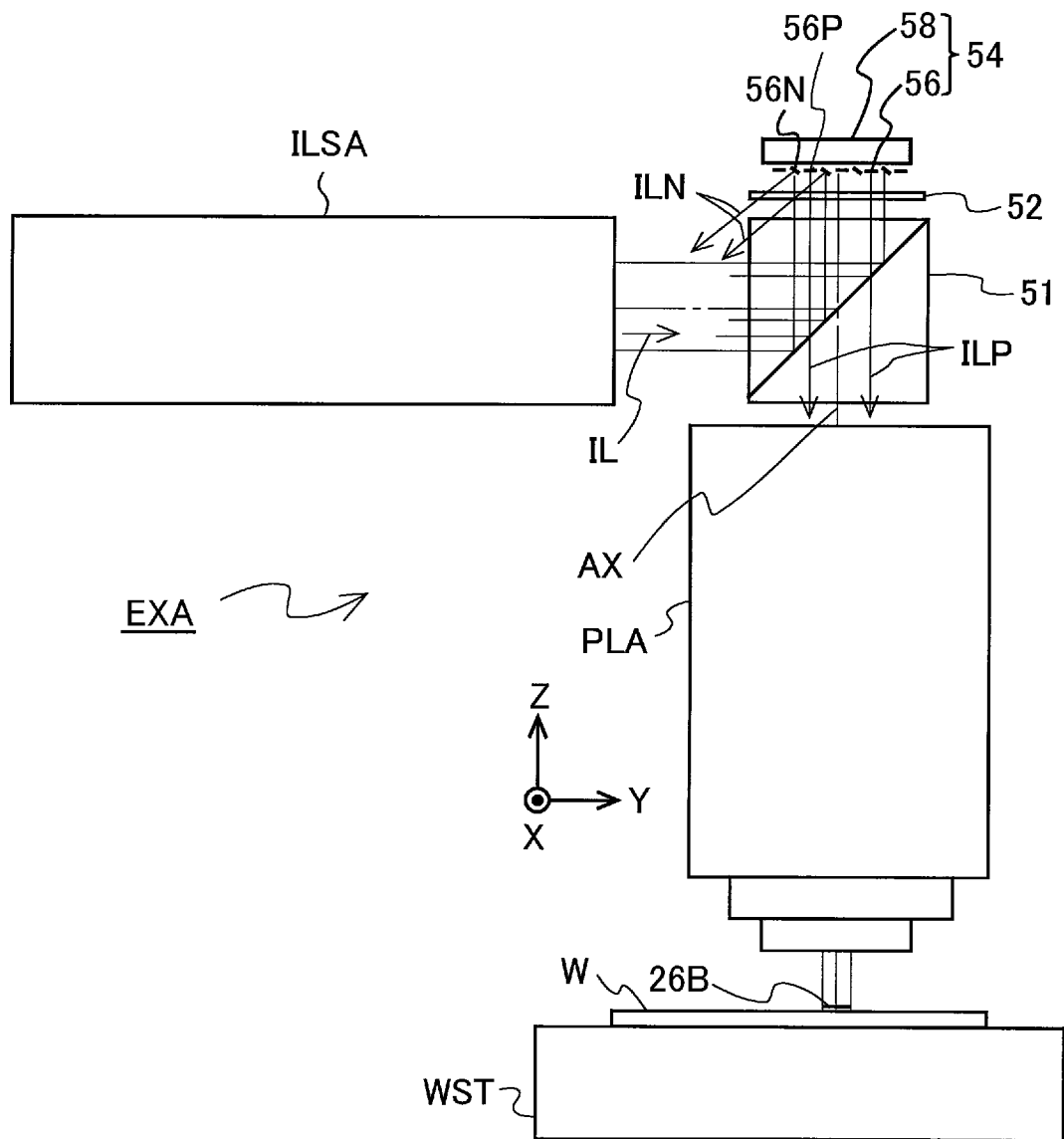
(B)



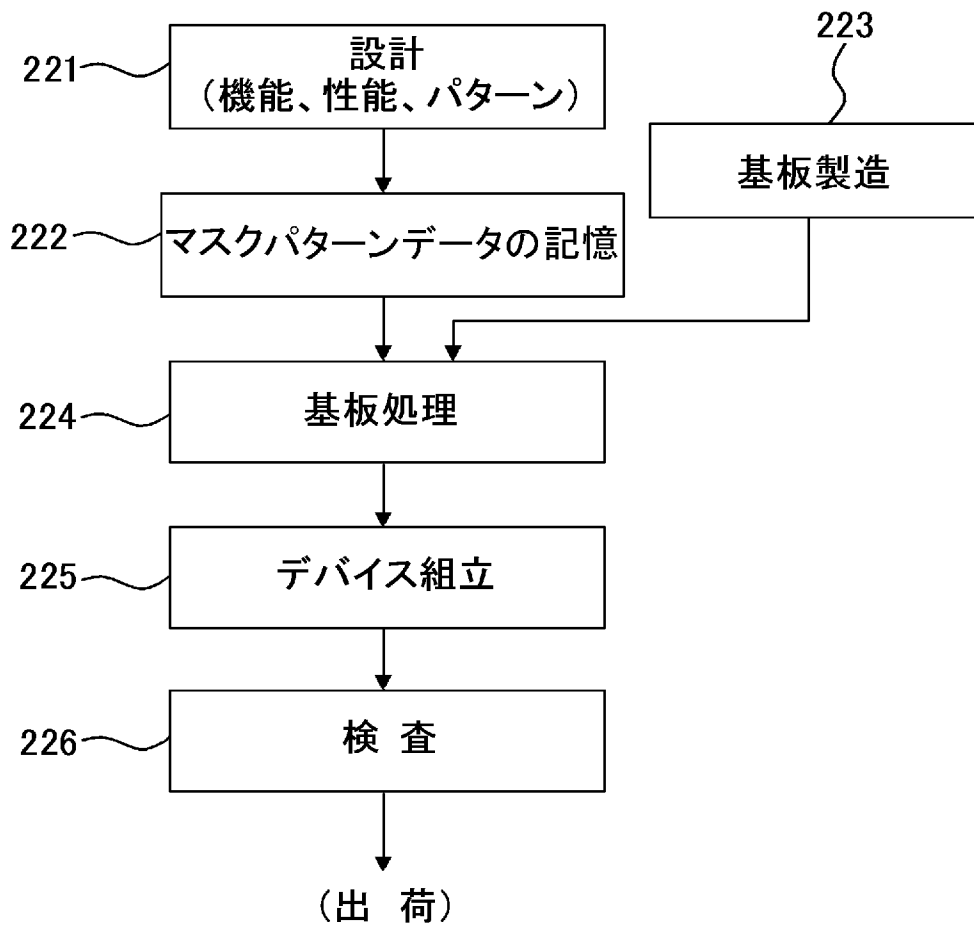
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/083753

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027(2006.01) i, G02B26/08(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, G02B26/08, G03F7/20

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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 2005-536875 A (Maskless Lithography, Inc.), 02 December 2005 (02.12.2005), entire text; all drawings & JP 2010-219547 A & JP 2010-219548 A & US 2004/0075882 A1 & US 2005/0041229 A1 & US 2009/0086307 A1 & US 2009/0086176 A1 & US 2009/0086182 A1 & EP 1573366 A & EP 1947513 A2 & WO 2004/019079 A2 & TW 266961 B & KR 10-2005-0058520 A & CN 1695076 A & CN 101487982 A & KR 10-2011-0013575 A & KR 10-2011-0013576 A & AU 2003265611 A & KR 10-2011-0056342 A & KR 10-1087862 B & KR 10-1087930 B	1-25

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 21 January, 2013 (21.01.13)	Date of mailing of the international search report 05 February, 2013 (05.02.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/083753

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 2006-128194 A (Canon Inc.), 18 May 2006 (18.05.2006), entire text; all drawings & US 2006/0087635 A1	1-25
A	WO 02/041196 A1 (BALL SEMICONDUCTOR, INC.), 23 May 2002 (23.05.2002), entire text; all drawings & JP 2004-514280 A & JP 2004-56100 A & US 6493867 B1 & US 6537738 B1 & US 2002/0092993 A1 & US 2002/0097495 A1 & WO 2002/012961 A1 & WO 2003/054749 A1 & WO 2002/073288 A1 & CN 1468406 A & CN 1495537 A	1-25
A	US 6312134 B1 (Anvlk Corp.), 06 November 2001 (06.11.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-25
P,X	WO 2012/043497 A1 (Nikon Corp.), 05 April 2012 (05.04.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-25

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01L21/027 (2006.01)i, G02B26/08 (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 (IPC))
 Int.Cl. H01L21/027, G02B26/08, G03F7/20

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 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2013年
 日本国実用新案登録公報 1996-2013年
 日本国登録実用新案公報 1994-2013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 2005-536875 A (マスクレス・リソグラフィ・インコーポレーテッド) 2005.12.02, 全文全図 & JP 2010-219547 A & JP 2010-219548 A & US 2004/0075882 A1 & US 2005/0041229 A1 & US 2009/0086307 A1 & US 2009/0086176 A1 & US 2009/0086182 A1 & EP 1573366 A & EP 1947513 A2 & WO 2004/019079 A2 & TW 266961 B & KR 10-2005-0058520 A & CN 1695076 A & CN 101487982 A & KR 10-2011-0013575 A & KR 10-2011-0013576 A & AU 2003265611 A & KR 10-2011-0056342 A & KR 10-1087862 B & KR	1-25

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 21.01.2013	国際調査報告の発送日 05.02.2013
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 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) 佐野 浩樹 電話番号 03-3581-1101 内線 3274

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
	10-1087930 B	
A	JP 2006-128194 A (キヤノン株式会社) 2006. 05. 18, 全文全図 & US 2006/0087635 A1	1-25
A	WO 02/041196 A1 (BALL SEMICONDUCTOR, INC.) 2002. 05. 23, 全文全図 & JP 2004-514280 A & JP 2004-56100 A & US 6493867 B1 & US 6537738 B1 & US 2002/0092993 A1 & US 2002/0097495 A1 & WO 2002/012961 A1 & WO 2003/054749 A1 & WO 2002/073288 A1 & CN 1468406 A & CN 1495537 A	1-25
A	US 6312134 B1 (Anvlk Corporation) 2001. 11. 06, 全文全図 (ファミリーなし)	1-25
P, X	WO 2012/043497 A1 (株式会社ニコン) 2012. 04. 05, 全文全図 (ファミリーなし)	1-25