

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2009年6月25日 (25.06.2009)

PCT

(10) 国  
WO 2009/078223 A1

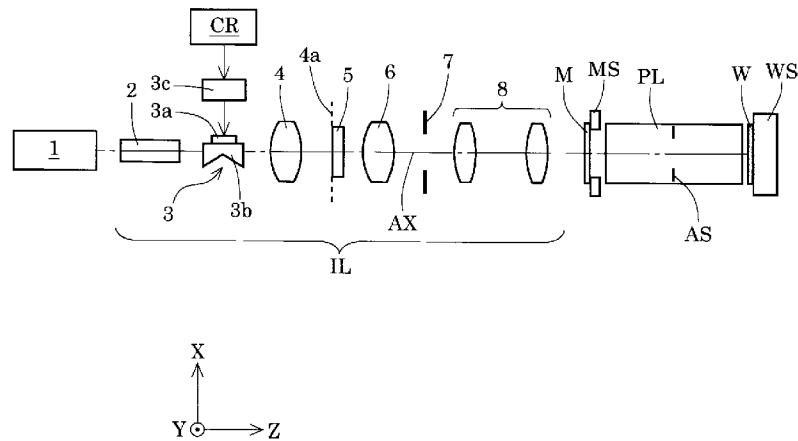
- (51) 国際f 許分類: G02B 26/08 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)  
G02B 1/00 (2006.01) H01J 21/027 (2006.01)
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 谷津 修 (TAN-ITSU, Osamu) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号株式会社ニコン内Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/069997
- (22) 国際出願日: 2008年11月4日 (04.11.2008)
- (74) 代理人: 山口孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒1010cm8 東京都千代田区神田司町二丁目10番地第一ビルTokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, C $\phi$ , CR, CU, CZ, DE, DK, DM, D $\phi$ , 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,  $\phi$ M, PG, PH, PL, PT, R $\phi$ , RS, RU, SC, SD, SE, SI, SK, SM, ST, SV, SW, SY, TD, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VE, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (30) 優先権子ータ: 特願 2007-3241 15  
2007年12月17日 (17.12.2007) 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 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: SPATIAL LIGHT MODULATING UNIT, ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM, ALIGNER, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 空間光変調ユニット、照明光学系、露光装置、および子バイス製造方法

[Uii]



(57) Abstract: An illumination optical system enabling a desired pupil intensity distribution, for example, by curbing the influence of diffracted light generated from around numerous regularly arranged micro-mirror elements. An illumination optical system (IL) for illuminating a surface (M) to be irradiated with light from a light source (1) comprises a spatial light modulating unit (3) and a distribution forming optical system (4, 5) for forming a predetermined light intensity distribution in an illumination pupil from a light flux which has passed through a spatial light modulator. The spatial light modulating unit (3) includes a spatial light modulator (3a) having two-dimensionally arranged and individually controlled optical elements and an angle varying means for varying the relative angle between a diffracted light generation region where diffracted light is generated around each of the optical elements and light incident on the reflected light generation region.

(57) 要約: 例えば規則的に配置された多数の微小なミラー要素の周囲から発生する回折光の影響を抑えて、所望の瞳強度分布を実現することのできる照明光学系。光源 (1) からの光に基づいて被照射面 (M) を照明する照明光学系 (IL)

[続葉有]

WO 2009/078223 A1



SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,  
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,  
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, ~~MX~~, N~~o~~, PL, PT, RO, SE,  
SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,  
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), -x-ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

---

は、空間光変調ユニット(3)と、空間光変調器を介した光束に基づいて照明瞳に所定の光強度分布を形成する分布形成光学系(4, 5)とを備えている。空間光変調ユニット(3)は、二次元的に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器(3a)と、複数の光学要素の各々の周囲において回折光を発生させる回折光発生領域と該回折光発生領域への入射光との相対的な角度を変化させる角度可変手段とを備えている。

## 明 細 書

空間光変調ユニット、照明光学系、露光装置、およびデバイス製造方法  
技術分野

[000<sub>1</sub>] 本発明は、空間光変調ユニット、照明光学系、露光装置、およびデバイス製造方法に関する。さらに詳細には、本発明は、半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に最適な照明光学系に関するものである。

## 背景技術

[000<sub>2</sub>] この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源（一般には照明瞳における所定の光強度分布）を形成する。以下、照明瞳での光強度分布を、「瞳強度分布」という。また、照明瞳とは、照明瞳と被照射面（露光装置の場合にはマスクまたはウェハ）との間の光学系の作用によって、被照射面が照明瞳のフーリエ変換面となるような位置として定義される。

[000<sub>3</sub>] 二次光源からの光束は、コンデンサーレンズにより集光された後、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクを透過した光は投影光学系を介してウェハ上に結像し、ウェハ上にはマスクパターンが投影露光（伝写）される。マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に伝写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

[000<sub>4</sub>] 従来、ズーム光学系を用いることなく瞳強度分布（ひいては照明条件）を連続的に変更することのできる照明光学系が提案されている（特許文献1を参照）。特許文献1に開示された照明光学系では、アレイ状に配列され且つ傾斜角および傾斜方向が個別に駆動制御される多数の微小なミラー要素により構成された可動マルチミラーを用いて、入射光束を反射面毎の微小単位に分割して偏向させることにより、光束の断面を所望の形状または所望の大きさに変換し、ひいては所望の瞳強度分布を実現している。

[000<sub>5</sub>] 特許文献1：特開2002-353103号公報

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題<sup>足頁</sup>

[0006] 特井文献1に記載された照明光学系では、姿勢が個別に制御される多数の微小なミラー要素を用いているので、瞳強度分布の形状および大きさの変更に関する自由度は高い。しかしながら、規則的に配置された多数のミラー要素の間に設けられた格子状のミラー枠から発生した回折光が照明瞳面において回折干渉縞を形成するため、この回折干渉縞の影響により所望の瞳強度分布を形成することが困難な場合がある。

[0007] 本発明は、前述の探題に鑑みてなされたものであり、例えば規則的に配置された多数の微小なミラー要素の周囲から発生する回折光の影響を抑えて、所望の瞳強度分布を実現することのできる照明光学系を提供することを目的とする。また、本発明は、回折光の影響を抑えて所望の瞳強度分布を実現する照明光学系を用いて、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことのできる露光装置を提供することを目的とする。

### 課題を<sup>角</sup>中央するための手段

[0008] 前記探題を解決するために、本発明の第1形態では、二次元的に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器と、

前記複数の光学要素の各々の周囲において回折光を発生させる回折光発生領域と核回折光発生領域への入射光との相対的な角度を変化させる角度可変手段とを備えていることを特徴とする空間光変調ユニットを提供する。

[0009] 本発明の第2形態では、光源からの光に某ついで被照射面を照明する照明光学系において、

第1形態の空間光変調ユニットと、

前記空間光変調器を介した光束に某ついで、前記照明光学系の照明瞳に所定の光強度分布を形成する分布形成光学系とを備えていることを特徴とする照明光学系を提供する。

[0010] 本発明の第3形態では、光源からの光に某ついで被照射面を照明する照明光学系において、

二次元的に配列されて個別に制御される複数の光学要素と、核複数の光学要素の各々の周囲において回折光を発生させる回折光発生領域とを有する空間光変調器と、

前記光源からの光を前記空間光変調器へ導く導光光学系とを備え、

前記空間光変調器と前記導光光学系の少なくとも一部との少なくとも一方の姿勢は、前記回折光発生領域と前記回折光発生領域への入射光との相対的な角度を変化させるために変更可能であることを特徴とする照明光学系を提供する。

[0011] 本発明の第4形態では、所定のパターンを照明するための第2形態または第3形態の照明光学系を備え、前記所定のパターンを感光性某板に露光することを特徴とする露光装置を提供する。

[0012] 本発明の第5形態では、第4形態の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性某板に露光する露光工程と、

前記所定のパターンが伝写された前記感光性某板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性某板の表面に形成する現像工程と、

前記マスク層を介して前記感光性某板の表面を加工する加工工程とを含むことを特徴とするデハイス製造方法を提供する。

### 発明の効果

[0013] 本発明の照明光学系では、空間光変調器の複数の光学要素の各々の周囲において回折光を発生させる回折光発生領域と、この回折光発生領域への入射光との相対的な角度を時間の経過に応じて適宜変化させる。その結果、照明瞳に形成される回折干渉縞の位置が時間の経過に応じて変化し、いわゆる時間的な平均化効果により瞳強度分布に対する回折干渉縞の影響が低減される。

[0014] こうして、本発明の照明光学系では、例えば規則的に配置された多数の微小なミラ要素の周囲の回折光発生領域から発生する回折光の影響を抑えて、所望の瞳強度分布を実現することかできる。また、本発明の露光装置では、回折光の影響を抑えて所望の瞳強度分布を実現する照明光学系を用いて、マスクのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことかでき、ひいては良好なデハイスを製造することかできる。

## 図面の簡単な説明

- [0015] [図1]本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。
- [図2]空間光変調ユニットおよびズーム光学系の構成を概略的に示す図である。
- [図3]空間光変調ユニットが備える空間光変調器の部分斜視図である。
- [図4]空間光変調器の典型的な構成を模式的に示す断面図である。
- [図5]本実施形態の第1手法を説明する図である。
- [図6]本実施形態の第2手法を説明する図である。
- [図7]本実施形態の第3手法を説明する図である。
- [図8]本実施形態のKプリズムと同様の機能を有するプリズム部材の第1の構成例を概略的に示す図である。
- [図9]本実施形態のKプリズムと同様の機能を有するプリズム部材の第2の構成例を概略的に示す図である。
- [図10]本実施形態のKプリズムと同様の機能を有する組立て光学部材の構成例を概略的に示す図である。
- [図11]半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。
- [図12]液晶表示素子等の液晶デバイスの製造工程を示すフローチャートである。

## 符号の説明

- [0016] 1 光源
- 2 ビーム送光部
- 3 空間光変調ユニット
- 3a 空間光変調器
- 3b Kプリズム
- 3c 駆動部
- 4 ズーム光学系
- 5 フライアイレンズ
- 6 コンデンザー光学系
- 7 照明視野絞り(マスクブライント)
- 8 視野絞り結像光学系

IL 照明光学系

CR 制御部

M マスク

PL 投影光学系

W ウェハ

### 発明を実施するための最良の形態

- [0017] 本発明の実施形態を、添付図面に某づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性某板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハWの露光面内において図1の紙面に平行な方向に沿ってX軸を、ウェハWの露光面内において図1の紙面に垂直な方向に沿ってY軸をそれぞれ設定している。
- [0018] 図1を参照すると、本実施形態の露光装置は、装置の光軸AXに沿って、空間光変調ユニット3を含む照明光学系ILと、マスクMを支持するマスクステージMSと、投影光学系PLと、ウェハWを支持するウェハステージWSとを備えている。本実施形態の露光装置では、照明光学系ILを介した光源1からの照明光（露光光）を用いてマスクMを照明する。マスクMを透過した光は、投影光学系PLを介して、マスクMのパターンの像をウェハW上に形成する。
- [0019] 光源1からの光に某づいてマスクMのパターン面（被照射面）を照明する照明光学系ILは、空間光変調ユニット3の作用により、複数極照明（2極照明、4極照明など）、輪帯照明等の変形照明を行う。照明光学系ILは、光軸AXに沿って光源1側から順に、ビーム送光部2と、空間光変調ユニット3と、ズーム光学系4と、フライアイレンズ5と、コンデンサー光学系6と、照明視野絞り（マスクブラインド）7と、視野絞り結像光学系8とを備えている。
- [0020] 空間光変調ユニット3は、ビーム送光部2を介した光源1からの光に某づいて、その遠視野領域（フラウンホーファー回折領域）に所望の光強度分布（瞳強度分布）を形成する。空間光変調ユニット3の構成および作用については後述する。ビーム送光部2は、光源1からの入射光束を適切な大きさおよび形状の断面を有する光束に変換しつつ空間光変調ユニット3へ導くとともに、空間光変調ユニット3に入射する光束の位

置変動および角度変動をアクティブに補正する機能を有する。スーム光学系4は、空間光変調ユニット3からの光を集光して、フライアイレンス5へ導く。

[0021] フライアイレンス5は、例えば桐密に配列された多数のレンズ素子からなる波面分割型のオプティカルインテグレータである。フライアイレンス5は、入射した光束を波面分割して、その後側焦点面にレンズ素子と同数の光源像からなる二次光源（実質的な面光源）を形成する。フライアイレンス5の入射面は、スーム光学系4の後側焦点位置またはその近傍に配置されている。フライアイレンス5として、例えばシリントリカルマイクロフライアイレンスを用いることができる。シリントリカルマイクロフライアイレンスの構成および作用は、例えば米国特許第6913373号公報に開示されている。また、フライアイレンスとして、例えば米国特許第6741394号公報に開示されているマイクロフライアイレンスを用いることもできる。ここでは、米国特許第6913373号公報および米国特許第6741394号公報の教示を参照として援用する。

[0022] 本実施形態では、フライアイレンス5により形成される二次光源を光源として、照明光学系ILの被照射面に配置されるマスクMをケラー照明する。このため、二次光源が形成される位置は投影光学系PLの開口絞りASの位置と光学的に共役であり、二次光源の形成面を照明光学系ILの照明瞳面と呼ぶことができる。典型的には、照明瞳面に対して被照射面（マスクMが配置される面、または投影光学系PLを含めて照明光学系と考える場合にはウェハWが配置される面）が光学的なフーリエ変換面となる。

[0023] なお、瞳強度分布とは、照明光学系ILの照明瞳面または当核照明瞳面と共役な面における光強度分布（輝度分布）である。フライアイレンス5による波面分割数が比較的大きい場合、フライアイレンス5の入射面に形成される大局的な光強度分布と、二次光源全体の大局的な光強度分布（瞳強度分布）とが高い相関を示す。このため、フライアイレンス5の入射面および当核入射面と光学的に共役な面における光強度分布についても瞳強度分布と称することができる。

[0024] コンテンザー光学系6は、フライアイレンス5から射出された光を集光して、照明視野絞り7を重畳的に照明する。照明視野絞り7からの光は、視野絞り結像光学系8を介して、マスクMのパターン形成領域の少なくとも一部に照明視野絞り7の開口部の



像である照明領域を形成する。なお、図1では、光軸（ひいては光路）を折り曲げるための光路折曲げミラーの設置を省略しているが、必要に応じて光路折曲げミラーを照明光路中に適宜配置することが可能である。

[0025] マスクステーションMSにはXY平面（例えば水平面）に沿ってマスクMが載置され、ウェハステーションWSにはXY平面に沿ってウェハWが載置される。投影光学系PLは、照明光学系ILによってマスクMのパターン面上に形成される照明領域からの光に某ついで、ウェハWの露光面（投影面）上にマスクMのパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面（XY平面）内においてウェハステーションWSを二次元的に駆動制御しながら、ひいてはウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが順次露光される。

[0026] 次に、図2および図3を参照して、空間光変調ユニット3の構成および作用を説明する。図2は、空間光変調ユニット3およびスーム光学系4の構成を概略的に示す図である。図3は、空間光変調ユニット3が備える空間光変調器3aの部分斜視図である。空間光変調ユニット3は、図2に示すように、例えば蛍石のような光学材料により形成されたプリズム3bと、プリズム3bのYZ平面に平行な側面3baに近接して取り付けられた反射型の空間光変調器3aとを備えている。プリズム3bを形成する光学材料は、蛍石に限定されることなく、光源1が供給する光の波長などに応じて、石英であっても良くその他の光学材料であっても良い。

[0027] プリズム3bは、直方体の1つの側面（空間光変調器3aが近接して取り付けられる側面3baと対向する側面）をV字状に凹んだ側面3bbおよび3bcと置き換えることにより得られる形態を有し、XZ平面に沿った断面形状に因ってKプリズムとも呼ばれる。プリズム3bのV字状に凹んだ側面3bbおよび3bcは、鈍角をなすように交差する2つの平面P1およびP2によって規定されている。2つの平面P1およびP2はともにXZ平面と直交し、XZ平面に沿ってV字状を呈している。

[0028] 2つの平面P1とP2との接線（Y方向に延びる直線）P3で接する2つの側面3bbおよび3bcの内面は、反射面R1およびR2として機能する。すなわち、反射面R1は平面P1上に位置し、反射面R2は平面P2上に位置し、反射面R1とR2とのなす角度は鈍

角である。一例として、反射面R1とR2とのなす角度を120度とし、光軸AXに垂直なプリズム3bの入射面IPと反射面R1とのなす角度を60度とし、光軸AXに垂直なプリズム3bの射出面OPと反射面R2とのなす角度を60度とすることができる。

[0029] プリズム3bでは、空間光変調器3aが近接して取り付けられる側面3baと光軸AXとが平行であり、且つ反射面R1が光源1側（露光装置の上流側：図2中左側）に、反射面R2がフライアイレンズ5側（露光装置の下流側：図2中右側）に位置している。さらに詳細には、反射面R1は光軸AXに対して斜設され、反射面R2は接線P3を通り且つXY平面に平行な面に関して反射面R1とは対称的に光軸AXに対して斜設されている。プリズム3bの側面3baは、後述するように、空間光変調器3aの複数のミラー要素SEが配列される面に対向した光学面である。

[0030] プリズム3bの反射面R1は、入射面IPを介して入射した光を空間光変調器3aに向かって反射する。空間光変調器3aは、反射面R1と反射面R2との間の光路中に配置され、反射面R1を経て入射した光を反射する。プリズム3bの反射面R2は、空間光変調器3aを経て入射した光を反射し、射出面OPを介してズーム光学系4へ導く。図2にはプリズム3bを1つの光学ブロックで一体的に形成した例を示しているが、後述するように複数の光学ブロックを用いてプリズム3bを構成しても良い。

[0031] 空間光変調器3aは、反射面R1を経て入射した光に対して、その入射位置に応じた空間的な変調を付与して射出する。空間光変調器3aは、図3に示すように、二次元的に配列された複数の微小なミラー要素（光学要素）SEを備えている。説明および図示を簡単にするために、図2および図3では空間光変調器3aが4×4=16個のミラー要素SEを備える構成例を示しているが、実際には16個よりもはるかに多数のミラー要素SEを備えている。

[0032] 図2を参照すると、光軸AXと平行な方向に沿って空間光変調ユニット3に入射する光線群のうち、光線L1は複数のミラー要素SEのうちのミラー要素SE<sub>a</sub>に、光線L2はミラー要素SE<sub>a</sub>とは異なるミラー要素SE<sub>b</sub>にそれぞれ入射する。同様に、光線L3はミラー要素SE<sub>a</sub>、SE<sub>b</sub>とは異なるミラー要素SE<sub>c</sub>に、光線L4はミラー要素SE<sub>a</sub>～SE<sub>c</sub>とは異なるミラー要素SE<sub>d</sub>にそれぞれ入射する。ミラー要素SE<sub>a</sub>～SE<sub>d</sub>は、その位置に応じて設定された空間的な変調を光L1～L4に与える。

- [0033] 空間光変調ユニット3では、空間光変調器3aのすへてのミラー要素SEの反射面がYZ平面に平行に設定された某準状態において、光軸AXと平行な方向に沿って反射面R1へ入射した光線が、空間光変調器3aを経た後に、反射面R2により光軸AXと平行な方向に向かって反射されるように構成されている。また、空間光変調ユニット外3は、プリズム3bの入射面IPからミラー要素SE<sub>a</sub>～SE<sub>d</sub>を経て射出面OPまでの空気換算長と、プリズム3bが光路中に配置されていないときの入射面IPに相当する位置から射出面OPに相当する位置までの空気換算長とが等しくなるように構成されている。ここで、空気換算長とは、光学系中の光路長を屈折率1の空気中の光路長に換算したものであり、屈折率nの媒質中の空気換算長は、その光路長に1/nを乗したものである。
- [0034] 空間光変調器3aは、スーム光学系4の前側焦点位置またはその近傍に配置されている。空間光変調器3aの複数のミラー要素SE<sub>a</sub>～SE<sub>d</sub>によって反射されて所定の角度分布が与えられた光は、スーム光学系4の後側焦点面4aに所定の光強度分布SP1～SP4を形成する。すなわち、スーム光学系4は、空間光変調器3aの複数のミラー要素SE<sub>a</sub>～SE<sub>d</sub>が射出光に与える角度を、空間光変調器3aの遠視野領域（フラウンホーファー回折領域）である面4a上での位置に変換している。
- [0035] 再び図1を参照すると、集光光学系として機能するスーム光学系4の後側焦点面4aの位置またはその近傍に、フライアイレンス5の入射面が位置決めされている。したがって、フライアイレンス5が形成する二次光源の光強度分布（輝度分布）は、空間光変調器3aおよびスーム光学系4が形成する光強度分布SP1～SP4に応じた分布となる。空間光変調器3aは、図3に示すように、平面形状の反射面を上面にした状態で1つの平面に沿って規則的に且つ二次元的に配列された多数の微小な反射素子であるミラー要素SEを含む可動マルチミラーである。
- [0036] 各ミラー要素SEは可動であり、その反射面の傾き、すなわち反射面の傾斜角および傾斜方向は、制御部CR（図3では不図示）からの指令にしたがって作動する駆動部3c（図3では不図示）の作用により独立に制御される。各ミラー要素SEは、その反射面に平行な二方向であって互いに直交する二方向（Y方向およびZ方向）を回伝軸として、所望の回伝角度だけ連続的或いは離散的に回伝することかできる。すな

わち、各ミラー要素 $sE$ の反射面の傾斜を二次元的に制御することが可能である。

[0037] なお、各ミラー要素 $sE$ の反射面を離散的に回伝させる場合、回伝角を複数の状態（例えば、 $\dots$ 、 $-2.5$ 度、 $-2.0$ 度、 $\dots$ 、 $0$ 度、 $+0.5$ 度 $\dots$ 、 $+2.5$ 度、 $\dots$ ）で切り換え制御するのが良い。図3には外形が正方形のミラー要素 $sE$ を示しているが、ミラー要素 $sE$ の外形形状は正方形に限定されない。ただし、光利用効率の観点から、ミラー要素 $sE$ の隙間が少なくなるように配列可能な形状（最密充填可能な形状）としても良い。また、光利用効率の観点から、隣り合う2つの要素ミラー $sE$ の間隔を必要最小限に抑えても良い。

[0038] 本実施形態では、空間光変調器 $3a$ として、二次元的に配列された複数のミラー要素 $sE$ の向きを連続的に（または離散的に）それぞれ変化させる空間光変調器を用いている。このような空間光変調器として、たとえば特表平10-50300号公報およびこれに対応する欧州特許公開第779530号公報、特開2004-78136号公報およびこれに対応する米国特許第6900915号公報、特表2006-524349号公報およびこれに対応する米国特許第7,095,546号公報、並びに特開2006-113437号公報に開示される空間光変調器を用いることができる。ここでは、欧州特許公開第779530号公報、米国特許第6900915号公報、および米国特許第7,095,546号公報の教示を参照として援用する。

[0039] 空間光変調器 $3a$ では、制御部 $CR$ からの制御信号に応じて作動する駆動部 $3c$ の作用により、複数のミラー要素 $sE$ の姿勢がそれぞれ変化し、各ミラー要素 $sE$ がそれぞれ所定の向きに設定される。空間光変調器 $3a$ の複数のミラー要素 $sE$ によりそれぞれ所定の角度で反射された光は、ズーム光学系 $4$ を介して、フライアイレンズ $5$ の後側焦点位置またはその近傍の照明瞳に、複数極状（2極状、4極状など）、輪带状等の光強度分布（瞳強度分布）を形成する。この瞳強度分布は、ズーム光学系 $4$ の作用により、相似的に（等方的に）変化する。

[0040] すなわち、ズーム光学系 $4$ およびフライアイレンズ $5$ は、空間光変調ユニット $3$ 中の空間光変調器 $3a$ を介した光束に基づいて、照明光学系 $IL$ の照明瞳に所定の光強度分布を形成する分布形成光学系を構成している。さらに、フライアイレンズ $5$ の後側焦点位置またはその近傍の照明瞳と光学的に共役な別の照明瞳位置、すなわち視野

絞り結像光学系8の瞳位置および投影光学系PLの瞳位置(開口絞りASの位置)にも、瞳強度分布に対応する光強度分布が形成される。

- [0041] 露光装置では、マスクMのパターンをウェハWに高精度に且つ忠実に伝写するために、例えばマスクMのパターン特性に応じた適切な照明条件のもとで露光を行うことが重要である。本実施形態では、複数のミラー要素SEの姿勢がそれぞれ個別に変化する空間光変調器3aを備えた空間光変調ユニット3を用いているので、空間光変調器3aの作用により形成される瞳強度分布を自在に且つ迅速に変化させることができる。
- [0042] しかしながら、空間光変調器3aを用いる本実施形態の照明光学系ILでは、後述するように、規則的に配置された複数のミラー要素SEの間に設けられた格子状のミラー枠FRの上面から発生した回折光が照明瞳面において回折干渉縞を形成する。その結果、この回折干渉縞の影響により、所望の瞳強度分布を形成することが困難な場合がある。以下、図4を参照して、回折干渉縞の発生および影響を説明する。
- [0043] 図4は、空間光変調器の典型的な構成を模式的に示す断面図である。図4に示すように、空間光変調器3aの典型的な構成例では、複数のミラー要素SEがヒンシ(不図示)を介して某盤BA上に取り付けられ、複数のミラー要素SEの間にはミラー枠FRが設けられている。ミラー要素SEは、例えば正形状の微小な反射面を有し、規則的に配置されている。したがって、ミラー要素SEの間に設けられたミラー枠FRの上面(図4中上側の面)は、例えば全体として格子状の形態を有することになる。
- [0044] この場合、ミラー枠FRの規則的に配置された微小な上面に光L41(図中実線で示す)が入射すると、ミラー枠FRの上面から反射回折光L42(図中破線で示す)が発生する。なお、図4では、図の簡略化のために、左端のミラー枠FRの上面への入射光L41だけを示しているが、入射光L41は実際には空間光変調器3aの全体に同じ角度で入射している。このとき、ミラー要素SEのピッチPと、光の波長 $\lambda$ と、ミラー枠FRの上面への光L41の入射角 $\theta_0$ と、ミラー枠FRの上面からのN次回折光の回折角 $\theta_N$ との間には、次の式(1)に示す関係が成立する。

$$\sin \theta_N - \sin \theta_0 = N \lambda / P \quad (1)$$

- [0045] このように、本実施形態の照明光学系ILでは、複数のミラー要素SEにより反射され

た所要光が照明瞳に形成する本来の光強度分布と、ミラー枠FRの上面から発生した不要光としての回折光が照明瞳に形成する光強度分布（回折干渉縞）とからなる瞳強度分布が得られる。換言すれば、本実施形態の照明光学系IIでは、特段の策を満しない限り、ミラー枠FRの上面からの回折光により形成される回折干渉縞の分だけ所望の瞳強度分布を得ることかできない。

[0046] 図4に示す構成例では複数のミラー要素SEの間にミラー枠FRが設けられ、ミラー枠FRの上面が複数のミラー要素SEの各々の周囲において回折光を発生させる回折光発生領域を構成している。なお、ミラー枠を設けない構成例においても、複数のミラー要素SEの微小な格子状の隙間から某盤の表面に達した光が回折光を発生させ、ひいては照明瞳に回折干渉縞を形成する。この場合、複数のミラー要素SEの微小な隙間に対応する格子状の某盤表面領域が、複数のミラー要素SEの各々の周囲において回折光を発生させる回折光発生領域を構成することになる。

[0047] 本実施形態では、空間光変調器3aの各ミラー要素SEの周囲において回折光を発生させる回折光発生領域（図4ではミラー枠FRの上面）と、この回折光発生領域への入射光（図4では光L41）との相対的な角度を時間の経過に応じて適宜変化させる。その結果、本実施形態では、照明瞳に形成される回折干渉縞の位置が時間の経過に応じて変化し、いわゆる時間的な平均化効果により瞳強度分布に対する回折干渉縞の影響が低減され、ひいては所望の瞳強度分布を実現することかできる。

[0048] こうして、本実施形態の照明光学系IIでは、空間光変調器3aにおいて規則的に配置された多数の微小なミラー要素SEの周囲の回折光発生領域から発生する回折光の影響を抑えて、所望の瞳強度分布を実現することかできる。また、本実施形態の露光装置（3WS）では、回折光の影響を抑えて所望の瞳強度分布を実現する照明光学系IIを用いて、マスクMのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことかできる。

[0049] 具体的に、本実施形態の第1手伝では、図5に示すように、制御部CRからの制御信号に応じて作動する第1可変部3dの作用により、空間光変調器3a全体の姿勢を、ひいては回折光発生領域の姿勢を時間の経過に応じて変化させる。第1可変部3dとして、例えば空間光変調器3aとプリズム3bの側面3baとの間において有効光束が通

過しない領域に取り付けられた駆動素子（ピエゾ素子など）を用いることかてきる。

[0050] 空間光変調器3a全体の姿勢が変化すると、ミラー枠FRの上面の向き、某盤BAの表面の向き、および各ミラー要素SEの反射面の向きも同様に变化する。一方、空間光変調器3aへの入射光L<sub>1</sub>の向きは、空間光変調器3a全体の姿勢が変化しても不変である。なお、図5では、図の簡略化のために、左端のミラー枠FRの上面への入射光L<sub>1</sub>だけを示しているが、入射光L<sub>1</sub>は実際には空間光変調器3aの全体に同じ角度で入射している。したがって、ミラー枠FRの上面（または某盤BAの表面）の回折光発生領域から発生する不要光としての回折光L<sub>d</sub>の向きは、空間光変調器3a全体の姿勢の変化に伴って変動する。

[0051] 同様に、駆動部3cにより各ミラー要素SEの姿勢を積極的に変化させない限り、各ミラー要素SEからの反射光L<sub>r</sub>の向きも、空間光変調器3a全体の姿勢の変化に伴って変動する。その結果、回折光発生領域からの回折光L<sub>d</sub>により照明瞳に形成される回折干渉縞の位置が時間の経過に応じて変動するとともに、各ミラー要素SEでの反射光L<sub>r</sub>によって照明瞳に形成される光強度分布（本来必要とする瞳強度分布）の位置も時間の経過に応じて変動する。

[0052] 本実施形態の露光装置において、例えばエキシマレーザー光源のようにパルス光を供給するレーザー光源を用いる場合に、照明瞳での回折干渉縞の位置変動による所要の平均化効果を得るには、1回の一括露光に要するパルス数すなわち露光パルス数の光照射の間に、空間光変調器3a全体を例えば所要の角度範囲に丘って往復傾斜させても良い。あるいは、露光パルス数の光照射の間に、空間光変調器3a全体を例えば所要の角度範囲に丘って片道傾斜させても良い。

[0053] また、スキャン露光を適用する際には、ウェハW上の1点当たりに照射すべき最小露光パルス数N<sub>min</sub>の光照射の間に、空間光変調器3a全体を例えば所要の角度範囲に丘って往復傾斜させるか、最小露光パルス数N<sub>min</sub>の光照射の間に、空間光変調器3a全体を例えば所要の角度範囲に丘って片道傾斜させても良い。なお、最小露光パルス数N<sub>min</sub>とは、露光呈制御を再現するに必要最低限のパルス数であり、例えば予め計測された装置定数としてのパルスエネルギーのはらつき（3σの値）δHと平均パルスエネルギー密度Hとの比δH/Hに某ついて求められる。すなわち、

最小露光パルス数 $N_{\min}$ は積算露光呈のはらつきを所定の許容値以内に抑えるために必要なパルス数である。

[0054] 従って、典型的にはウェハ $W$ 上の走査露光範囲(ショット領域)内の各点に $N$ パルスずつ照明光 $IL$ が照射される。なお、 $N \equiv N_{\min}$ であれば、その走査露光範囲での積算光呈が各点でほぼ等しくなり、特に非走査方向であっても走査露光範囲での積算光呈分布がほぼ均一になる、即ちその積算光呈むらか所定の許容値以内に抑えられる。但し、 $N \equiv N_{\min}$ を価足する $N$ パルスの照射光 $IL$ を走査露光範囲の各点に照射しても、非走査方向の積算光呈分布が均一化されないときは、積算光呈のはらつきを所定の許容値以内に抑えるに必要なパルス数たけてよく、非走査方向の積算光呈分布を均一化するのに必要なパルス数をも考慮して、最小露光パルス数 $N_{\min}$ を決定しておいても良い。

[0055] 上述したように、空間光変調器 $3a$ 全体の姿勢の変化に同期して、各ミラー要素 $SE$ での反射光 $L_r$ が照明瞳に形成する光強度分布の位置も変動するか、反射光 $L_r$ による本来の光強度分布の位置変動が許容範囲内であれば、空間光変調器 $3a$ 全体の姿勢を変化させても駆動部 $3c$ による各ミラー要素 $SE$ の姿勢の調整を行う必要はない。この場合、反射光 $L_r$ による本来の光強度分布の位置変動と同様に回折光 $L_d$ による回折干渉縞の位置変動が僅かであっても、瞳強度分布に対する回折干渉縞の悪影響は低減される。

[0056] 一方、各ミラー要素 $SE$ での反射光 $L_r$ が照明瞳に形成する光強度分布の位置変動が許容範囲を超えている場合、空間光変調器 $3a$ 全体の姿勢の変化に応じて、駆動部 $3c$ により各ミラー要素 $SE$ の姿勢を調整する必要がある。この場合、図5に示すように、空間光変調器 $3a$ 全体の姿勢が変化しても、入射光 $L_i$ と各ミラー要素 $SE$ の反射面との相対的な角度(ひいては各ミラー要素 $SE$ からの反射光 $L_r$ の向き)が常に一定に保たれるように、各ミラー要素 $SE$ の姿勢を個別に調整すれば良い。換言すれば、空間光変調器 $3a$ 全体の姿勢が変化しても、空間光変調器 $3a$ の外の空間軸に対して各ミラー要素 $SE$ の反射面が一定の角度を保つように各ミラー要素 $SE$ の姿勢を個別に調整することにより、反射光 $L_r$ による本来の光強度分布の位置を変動させることなく、回折光 $L_d$ による回折干渉縞の位置だけを変動させることかてきる。



[0057] あるいは、入射光 $L_i$ と各ミラー要素SEの反射面との相対的な角度（ひいては各ミラー要素SEからの反射光 $L_r$ の向き）を一定に保たなくても、各ミラー要素SEからの反射光 $L_r$ が照明瞳に形成する光強度分布がほとんど変動しないように、パルス毎に各ミラー要素SEの姿勢を所要の姿勢に切り換える調整も可能である。換言すれば、空間光変調器3aの外の空間軸に対して各ミラー要素SEの反射面を一定の角度に保たなくても、反射光 $L_r$ による本来の光強度分布が静止するようにパルス毎に各ミラー要素SEの姿勢を個別に調整することにより、回折光 $L_d$ による回折干渉縞の位置だけを変動させることができる。

[0058] 本実施形態の第2手法では、図6に示すように、制御部CRからの制御信号に応じて作動する第2可変部3eの作用により、反射面および屈折面を持つプリズム3bの姿勢を、ひいては回折光発生領域への入射光 $L_i$ の向きを時間の経過に応じて変化させる。第2可変部3eとして、例えばプリズム3bに取り付けられた駆動素子（ピエゾ素子など）を用いることができる。プリズム3bの姿勢が変化すると、空間光変調器3aへの入射光 $L_i$ の向きが変化する。一方、ミラー枠FRの上面の向き、某盤BAの表面の向き、および各ミラー要素SEの反射面の向きは、プリズム3bの姿勢が変化しても不変である。

[0059] したがって、ミラー枠FRの上表面（または某盤BAの表面）の回折光発生領域から発生する不要光としての回折光 $L_d$ の向きおよび各ミラー要素SEからの反射光 $L_r$ の向きは、プリズム3bの姿勢の変化に伴って変動する。その結果、回折光 $L_d$ によって照明瞳に形成される回折干渉縞の位置および反射光 $L_r$ によって照明瞳に形成される光強度分布の位置は時間の経過に応じて変動する。

[0060] 各ミラー要素SEからの反射光 $L_r$ による光強度分布の位置変動が許容範囲内であれば、プリズム3bの姿勢を変化させても駆動部3oによる各ミラー要素SEの姿勢の調整を行う必要はない。一方、各ミラー要素SEでの反射光 $L_r$ が照明瞳に形成する光強度分布の位置変動が許容範囲を超えている場合、プリズム3bの姿勢の変化に応じて、駆動部3cにより各ミラー要素SEの姿勢を個別に調整する必要がある。この場合、各ミラー要素SEの姿勢の調整は、第1の手法における調整と同様である。なお、プリズム3bの反射面または屈折面は光学面とみなすことができる。この第2手法では

、プリズム3bを導光光学系と見なすことができ、プリズム3bの反射面を導光光学系の一部とみなすことができる。

[0061] 上述の第2手法では、プリズム3bの姿勢を変化させることにより回折光発生領域への入射光Liの向きを変化させている。しかしながら、これに限定されることなく、例えば図7に示す第3手法のように、プリズム3bへ入射する光の向きを変化させることにより回折光発生領域への入射光Liの向きを変化させることもできる。具体的に、本実施形態の第3手法では、制御部CRからの制御信号に応じて作動する第3可変部11aの作用により、例えばプリズム3bの入射側に配置されて所定の角度をなす2つの平面(屈折面)を持つ偏角プリズム11を光軸AX廻りに回伝させる。この偏角プリズム11の屈折面は光学面とみなすことができる。この第3手法においては、偏角プリズム11を導光光学系の一部とみなすことができる。

[0062] こうして、光軸AX廻りに回伝する偏角プリズム11の作用により、プリズム3bへ入射する光の向きが、ひいては回折光発生領域への入射光Liの向きが時間の経過に応じて変化する。図7では、プリズム3bへ入射する光の向きを変化させる手段として光軸AX廻りに回伝する偏角プリズム11を例示しているが、例えばプリズム3bの前側に配置された光路折曲げ用の平面ミラーを振動させることによりプリズム3bへ入射する光の向きを変化させることもできる。

[0063] なお、上述の説明では、空間光変調器3aの複数のミラー要素が配列される面に対向した光学面を有するプリズム部材として、1つの光学ブロックで一体的に形成されたKプリズム3bを用いている。しかしながら、これに限定されることなく、例えば図8に示すような一对のプリズム31と32とにより、Kプリズム3bと同様の機能を有するプリズム部材を構成することができる。この場合、プリズム31と32との接触面を光が通るため、接触面の研磨が必要である。場合によっては、プリズム31と32との間でオプティカルコンタクトが必要になる。

[0064] また、例えば図9に示すような平行平板33と一对の三角プリズム34および35とにより、Kプリズム3bと同様の機能を有するプリズム部材を構成することができる。三角プリズム34と35とは互いに接触しないため、三角プリズム34と35との間にオプティカルコンタクトは不要である。平行平板33と三角プリズム34および35とは互いに

接触していても良いし、間隔を隔てていても良い。平行平板33は空間光変調器3aのカバーガラスの機能も果たすので、空間光変調器3aの寿命後の交換時には、平行平板33および空間光変調器3aを交換するだけで三角プリズム34および35を交換する必要はない。

[0065] また、例えば図10に示すような平行平板36と一对の平面ミラー37および38とにより、Kプリズム3bと同様の機能を有する組立て光学部材を構成することができる。図10の構成は、図9における三角プリズム34および35を平面ミラー37および38で置き換えたものである。この場合、図9の構成例と同様に、空間光変調器3aの寿命後の交換時には、平行平板36および空間光変調器3aを交換するだけで平面ミラー37および38を交換する必要はない。また、図9の構成例に比して、平面ミラー37から平行平板36へ入射する光の屈折分だけ、空間光変調器3aへ入射する光の角度を小さくすることができる。

[0066] この図10の構成例において、上述の第2手法を適用する場合には、空間光変調器3aの入射側に位置する平面ミラー37の姿勢を変化させればよい。なお、平面ミラー37および38の姿勢を一体的に変化させる構成であってもよい。これら平面ミラー37および38の反射面は光学面とみなすことができる。また、この平面ミラー37を導光光学系の一部とみなすことができる。

[0067] また、上述の説明では、二次元的に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器として、二次元的に配列された複数の反射面の向き(角度:傾き)を個別に制御可能な空間光変調器を用いている。しかしながら、これに限定されることなく、たとえば二次元的に配列された複数の反射面の高さ(位置)を個別に制御可能な空間光変調器を用いることもできる。このような空間光変調器としては、たとえば特開平6-281869号公報及びこれに対応する米国特許第5,312,513号公報、並びに特表2004-520618号公報およびこれに対応する米国特許第6,885,493号公報の図1dに開示される空間光変調器を用いることができる。これらの空間光変調器では、二次元的な高さ分布を形成することで回折面と同様の作用を入射光に与えることができる。なお、上述した二次元的に配列された複数の反射面を持つ空間光変調器を、たとえば特表2006-513442号公報およびこれに対応する米回

特許第6,891,655号公報や、特表2005-524112号公報およびこれに対応する米回特許公開第2005/0095749号公報の開示に従って変形しても良い。

[0068] また、上述の挽明では、複数のミラー要素を有する反射型の空間光変調器を用いているか、これに限定されることなく、たとえば米回特許第5,229,872号公報に開示される透過型の空間光変調器を用いても良い。ここでは、米回特許第5,312,513号公報、米回特許第6,885,493号公報、米回特許第6,891,655号、米回特汗公開第2005/0095749号公報、および米国特汗第5,229,872号公報の教示を参照として援用する。

[0069] なお、上述の実施形態では、空間光変調器を用いて瞳強度分布を形成する際に、瞳輝度分布計測装置で瞳強度分布を計測しつつ、この計測結果に応じて空間光変調器中の空間光変調器を制御してもよい。このような技術は、たとえば特開2006-54328号公報や特開2003-22967号公報およびこれに対応する米回特許公開第2003/0038225号公報に開示されている。ここでは、米回特許公開第2003/0038225号公報の教示を参照として援用する。

[0070] また、上述の実施形態では、マスクの代わりに、所定の電子データに基づいて所定パターンを形成する可変パターン形成装置を用いることができる。このような可変パターン形成装置を用いられれば、パターン面が縦置きでも同期精度に及ばず影響を最低限にできる。なお、可変パターン形成装置としては、たとえば所定の電子データに基づいて駆動される複数の反射素子を含むDMD(テントル・マイクロミラー・デバイス)を用いることができる。DMDを用いた露光装置は、例えば特開2004-304135号公報、国際特許公開第2006/080285号パンフレットおよびこれに対応する米回特許公開第2007/0296936号公報に開示されている。また、DMDのような非発光型の反射型空間光変調器以外に、透過型空間光変調器を用いても良く、自発光型の画像表示素子を用いても良い。なお、パターン面が横置きの場合であっても可変パターン形成装置を用いても良い。ここでは、米回特許公開第2007/0296936号公報の教示を参照として援用する。

[0071] なお、上述の実施形態では、オプティカルインテグレータとして、フライアイレンズを用いているか、その代わりに、内面反射型のオプティカルインテグレータ(典型的に

はロッド型インテグレータ)を用いても良い。この場合、ズーム光学系4の後側にその前側焦点位置がズーム光学系4の後側焦点位置と一致するように集光レンズを配置し、この集光レンズの後側焦点位置またはその近傍に入射端が位置決めされるようにロッド型インテグレータを配置する。このとき、ロッド型インテグレータの射出端が照明視野絞り7の位置になる。ロッド型インテグレータを用いる場合、このロッド型インテグレータの下流の視野絞り結像光学系8内の、投影光学系PLの開口絞りASの位置と光学的に共役な位置を照明瞳面と呼ぶことができる。また、ロッド型インテグレータの入射面の位置には、照明瞳面の二次光源の虚像が形成されることになるため、この位置およびこの位置と光学的に共役な位置も照明瞳面と呼ぶことができる。ここで、ズーム光学系4と上記の集光レンズとを、オプティカルインテグレータと空間光変調器との間の光路中に配置された集光光学系とみなすことができ、ズーム光学系4、上記の集光レンズおよびロッド型インテグレータを分布形成光学系とみなすことができる。

[0072] 上述の実施形態の露光装置は、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、細み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この細み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への細み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への細み立て工程の前に、各サブシステム個々の細み立て工程があることが刊行までない。各種サブシステムの露光装置への細み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行っても良い。

[0073] 次に、上述の実施形態にかかる露光装置を用いたデバイス製造方法について説明する。図11は、半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。図11に示すように、半導体デバイスの製造工程では、半導体デバイスの某板となるウェハWに

金属膜を蒸着し(ステップ540)、この蒸着した金属膜上に感光性材料であるフォトリジストを塗布する(ステップ542)。つづいて、上述の実施形態の投影露光装置を用い、マスク(レチクル)Mに形成されたパターンをウエハW上の各ショット領域に伝写し(ステップS44:露光工程)、この伝写が終了したウエハWの現像、つまりパターンが伝写されたフォトリジストの現像を行う(ステップS46:現像工程)。その後、ステップS46によってウエハWの表面に生成されたレジストパターンをマスクとし、ウエハWの表面に対してエッチング等の加工を行う(ステップ548:加工工程)。

[0074] ここで、レジストパターンとは、上述の実施形態の投影露光装置によって伝写されたパターンに対応する形状の凹凸が生成されたフォトリジスト層であって、その凹部がフォトリジスト層を貫通しているものである。ステップS48では、このレジストパターンを介してウエハWの表面の加工を行う。ステップS48で行われる加工には、例えばウエハWの表面のエッチングまたは金属膜等の成膜の少なくとも一方が含まれる。なお、ステップ544では、上述の実施形態の投影露光装置は、フォトリジストが塗布されたウエハWを、感光性基板つまりプレートPとしてパターンの伝写を行う。

[0075] 図12は、液晶表示素子等の液晶デバイスの製造工程を示すフローチャートである。図12に示すように、液晶デバイスの製造工程では、パターン形成工程(ステップS50)、カラーフィルタ形成工程(ステップ552)、セル組立工程(ステップ554)およびモジュール組立工程(ステップ556)を順次行う。

[0076] ステップ550のパターン形成工程では、プレートPとしてフォトリジストが塗布されたガラス基板上に、上述の実施形態の投影露光装置を用いて回路パターンおよび電極パターン等の所定のパターンを形成する。このパターン形成工程には、上述の実施形態の投影露光装置を用いてフォトリジスト層にパターンを伝写する露光工程と、パターンが伝写されたプレートPの現像、つまりガラス基板上のフォトリジスト層の現像を行い、パターンに対応する形状のフォトリジスト層を生成する現像工程と、この現像されたフォトリジスト層を介してガラス基板の表面を加工する加工工程とが含まれている。

[0077] ステップS52のカラーフィルタ形成工程では、R(Red)、G(Green)、B(Blue)に対応する3つのドットの組をマトリックス状に多数配列するか、またはR、G、Bの3本のストラ

イプのフィルタの組を水平走査方向に複数配列したカラーフィルタを形成する。

[0078] ステップ554のセル組立工程では、ステップ550によって所定パターンが形成されたガラス基板と、ステップ552によって形成されたカラーフィルタとを用いて液晶パネル(液晶セル)を細み立てる。具体的には、例えばガラス基板とカラーフィルタとの間に液晶を注入することで液晶パネルを形成する。ステップ556のモジュール組立工程では、ステップ554によって細み立てられた液晶パネルに対し、この液晶パネルの表示動作を行わせる電気回路およびバックライト等の各種部品を取り付ける。

[0079] また、本発明は、半導体デバイス製造用の露光装置への適用に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子(CCD等)、マイクロマシン、薄膜磁気ヘッド、及びDNAチップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク(フォトマスク、レチクル等)をフォトリソグラフィ工程を用いて製造する際の、露光工程(露光装置)にも適用することができる。

[0080] なお、上述の実施形態では、露光光としてArFエキシマレーザー光(波長:193nm)やKrFエキシマレーザー光(波長:248nm)を用いることができる。また、これに限定されることなく、他の適当なレーザー光源、たとえば波長157nmのレーザー光を供給するF<sub>2</sub>レーザー光源などを用いることもできる。

[0081] また、上述の実施形態において、投影光学系と感光性基板との間の光路中を1.1よりも大きな屈折率を有する媒体(典型的には液体)で満たす手法、所謂液浸法を適用しても良い。この場合、投影光学系と感光性基板との間の光路中に液体を満たす手法としては、国際公開第WO99/49504号パンフレットに開示されているような局所的に液体を満たす手法や、特開平6-124873号公報に開示されているような露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる手法や、特開平10-303114号公報に開示されているようなステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する手法などを採用することができる。ここでは、国際公開第WO99/49504号パンフレット、特開平6-124873号公報および特開平10-303114号公報の教示を参照として援用する。

- [0082] また、上述の実施形態において、米国特許公開第2006/0170901号公報及び米国特許公開第2007/0146676号公報に開示されるいわゆる偏光照明方法を適用することも可能である。ここでは、米国特許公開第2006/0170901号公報及び米国特許公開第2007/0146676号公報の教示を参照として援用する。
- [0083] また、上述の実施形態では、露光装置においてマスクを照明する照明光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、マスク以外の被照射面を照明する一般的な照明光学系に対して本発明を適用することもできる。



## 請求の範囲

- [1] 二次元的に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器と、  
前記複数の光学要素の各々の周囲において回折光を発生させる回折光発生領域と該回折光発生領域への入射光との相対的な角度を変化させる角度可変手段とを備えていることを特徴とする空間光変調ユニット。
- [2] 前記角度可変手段は、前記回折光発生領域の姿勢を変化させる第1可変手段を有することを特徴とする請求項1に記載の空間光変調ユニット。
- [3] 前記角度可変手段は、前記回折光発生領域への入射光の向きを変化させる第2可変手段を有することを特徴とする請求項1または2に記載の空間光変調ユニット。
- [4] 前記空間光変調器は、二次元的に配列された複数のミラー要素と、該複数のミラー要素の姿勢を個別に制御駆動する駆動部とを有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の空間光変調ユニット。
- [5] 前記駆動部は、前記複数のミラー要素の向きを連続的に変化させることを特徴とする請求項4に記載の空間光変調ユニット。
- [6] 前記角度可変手段による前記相対的な角度変化に応じて前記複数のミラー要素の姿勢を変更するために前記駆動部を制御する制御部をさらに備えていることを特徴とする請求項4または5に記載の空間光変調ユニット。
- [7] 前記複数のミラー要素の光の入射側に設けられた光学面をさらに備えていることを特徴とする請求項4乃至6のいずれか1項に記載の空間光変調ユニット。
- [8] 前記第2可変手段は、前記光学面の姿勢を変化させることを特徴とする請求項7に記載の空間光変調ユニット。
- [9] 前記第2可変手段は、前記光学面へ入射する光の向きを変化させることを特徴とする請求項7または8に記載の空間光変調ユニット。
- [10] 前記光学面は反射面または屈折面を備えていることを特徴とする請求項7乃至9のいずれか1項に記載の空間光変調ユニット。
- [11] 前記光学面を有するプリズム部材をさらに備えていることを特徴とする請求項7乃至10のいずれか1項に記載の空間光変調ユニット。

- [12] 前記複数のミラー要素が配列される面に対向した光学面を有するプリズム部材をさらに備えていることを特徴とする請求項4乃至6のいずれか1項に記載の空間光変調ユニット。
- [13] 前記第2可変手段は、前記プリズム部材の姿勢を変化させることを特徴とする請求項12に記載の空間光変調ユニット。
- [14] 前記第2可変手段は、前記プリズム部材へ入射する光の向きを変化させることを特徴とする請求項12または13に記載の空間光変調ユニット。
- [15] 光源からの光に某づいて被照射面を照明する照明光学系において、  
請求項1乃至14のいずれか1項に記載の空間光変調ユニットと、  
前記空間光変調器を介した光束に某づいて、前記照明光学系の照明瞳に所定の光強度分布を形成する分布形成光学系とを備えていることを特徴とする照明光学系。
- [16] 光源からの光に某づいて被照射面を照明する照明光学系において、  
二次元的に配列されて個別に制御される複数の光学要素と、該複数の光学要素の各々の周囲において回折光を発生させる回折光発生領域とを有する空間光変調器と、  
前記光源からの光を前記空間光変調器へ導く導光光学系とを備え、  
前記空間光変調器と前記導光光学系の少なくとも一部との少なくとも一方の姿勢は、前記回折光発生領域と前記回折光発生領域への入射光との相対的な角度を変化させるために変更可能であることを特徴とする照明光学系。
- [17] 前記分布形成光学系は、オプティカルインテグレータと、該オプティカルインテグレータと空間光変調ユニットとの間の光路中に配置された集光光学系とを有することを特徴とする請求項15または16に記載の照明光学系。
- [18] 前記複数の光学要素は、前記角度可変手段による前記相対的な角度変化の際に前記照明瞳上の前記所定の光強度分布が静止するように制御されることを特徴とする請求項15乃至17のいずれか1項に記載の照明光学系。
- [19] 前記被照射面と光学的に共役な面を形成する投影光学系と組み合わせて用いられ、前記照明瞳は前記投影光学系の開口絞りと光学的に共役な位置であることを特徴

とする請求項15乃至18のいずれか1項に記載の照明光学系。

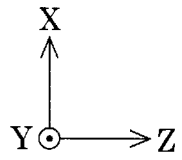
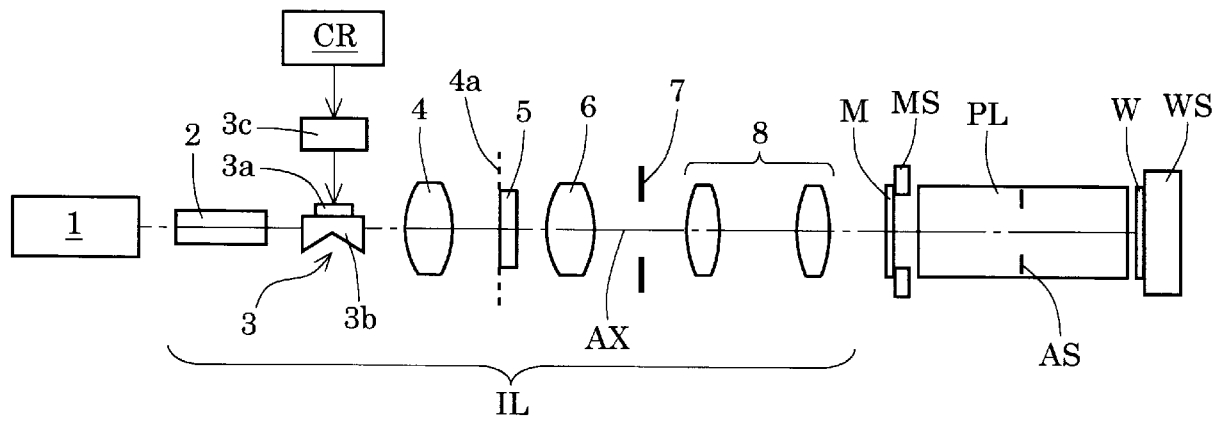
[20] 所定のパターンを照明するための請求項15乃至19のいずれか1項に記載の照明光学系を備え、前記所定のパターンを感光性某板に露光することを特徴とする露光装置。

[21] 請求項20に記載の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性某板に露光する露光工程と、

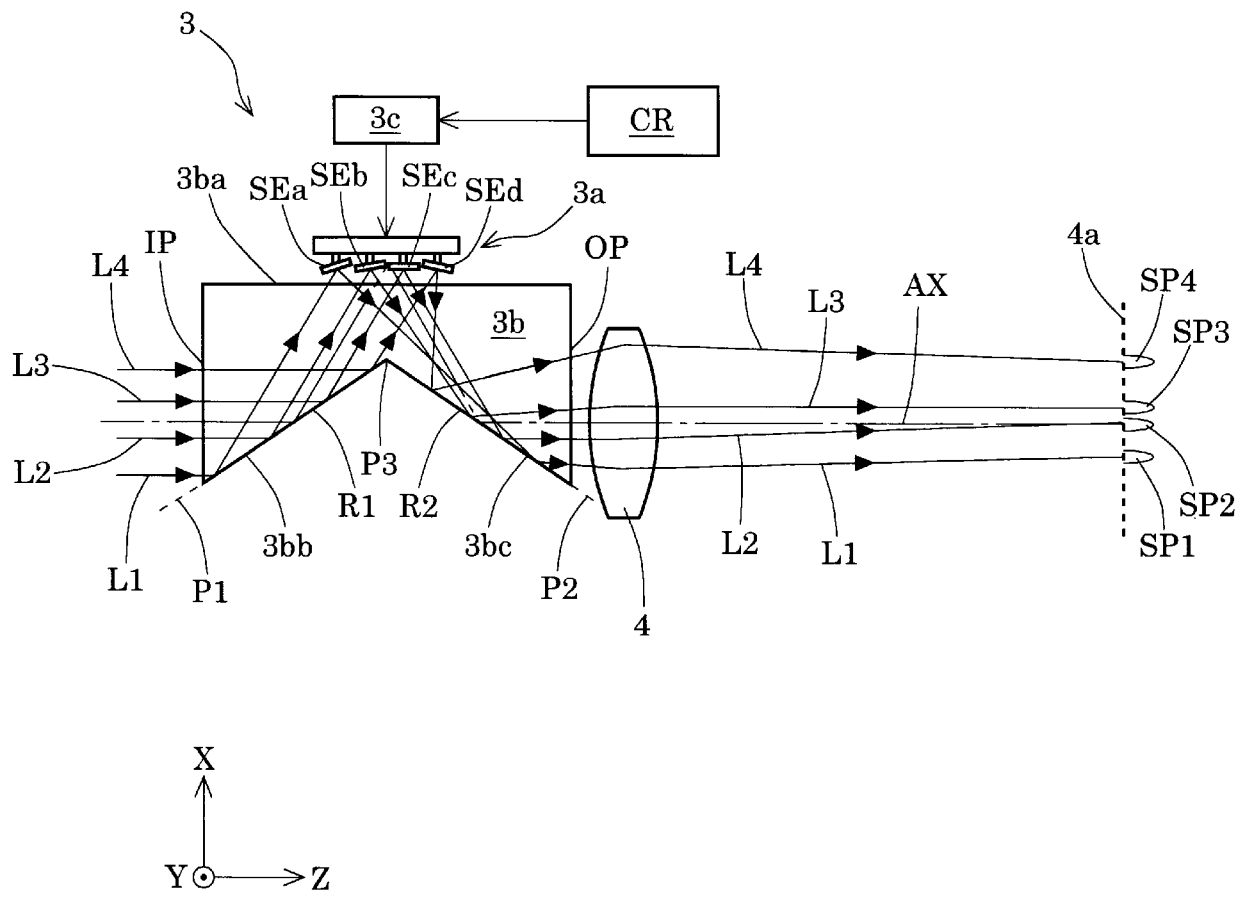
前記所定のパターンが伝写された前記感光性某板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性某板の表面に形成する現像工程と、

前記マスク層を介して前記感光性某板の表面を加工する加工工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

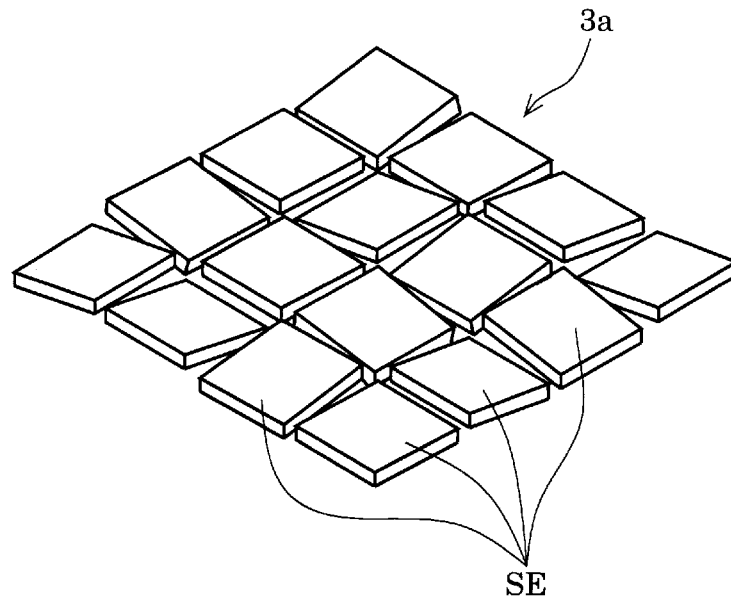
[図1]



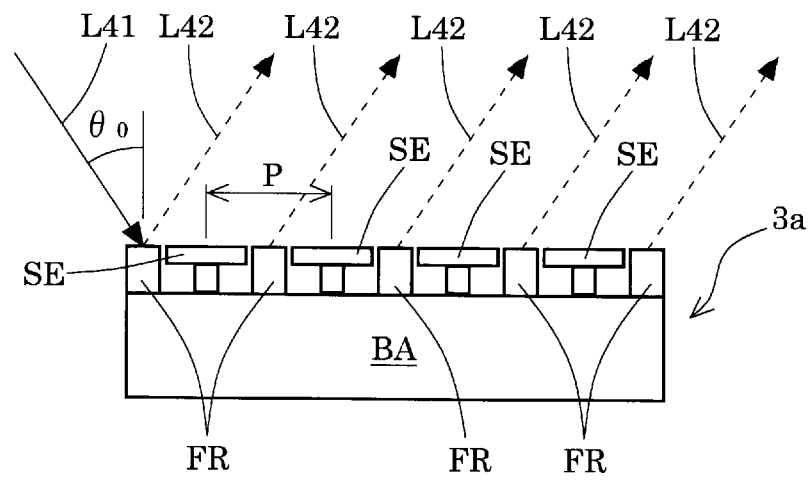
[図2]



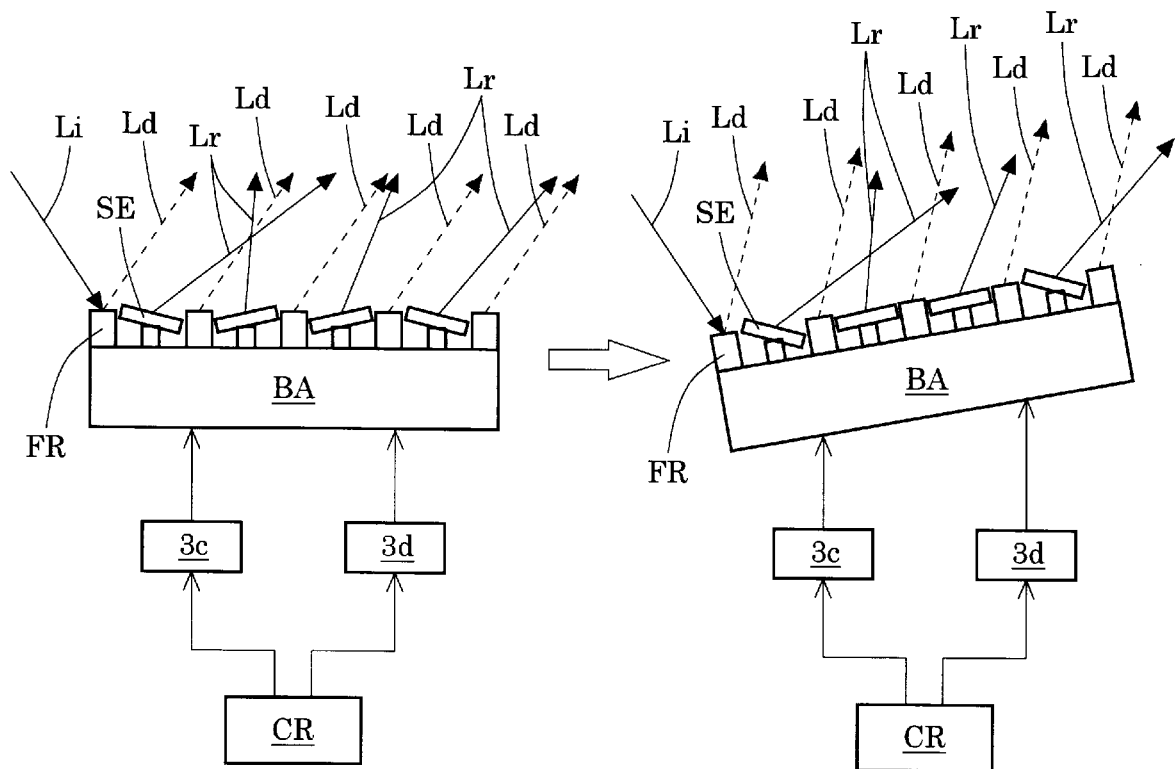
[図3]



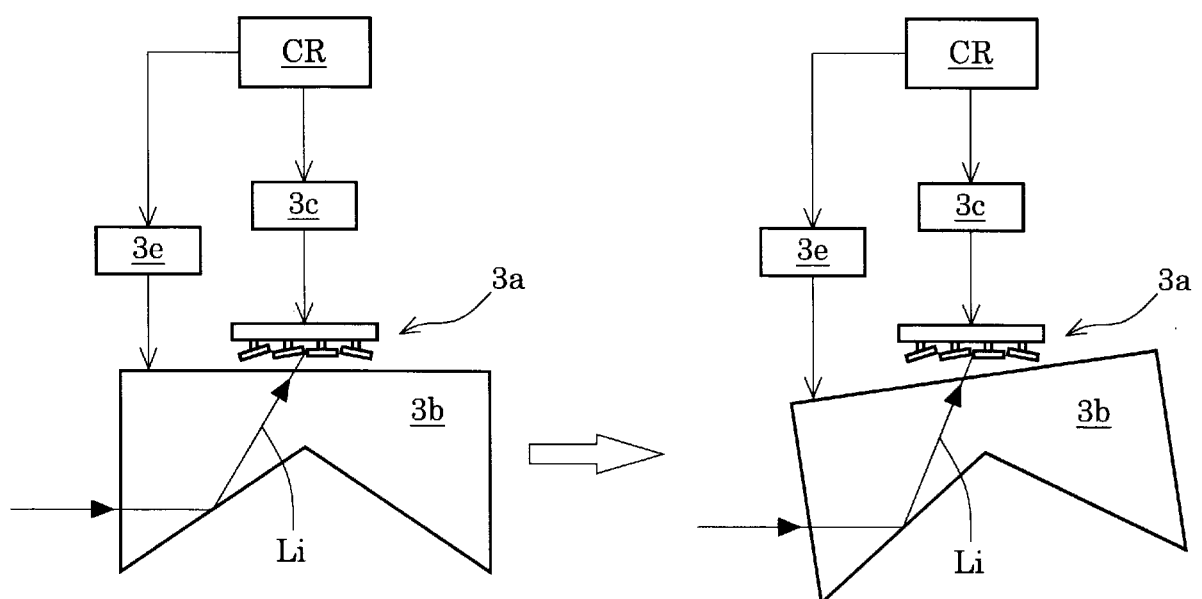
[図4]



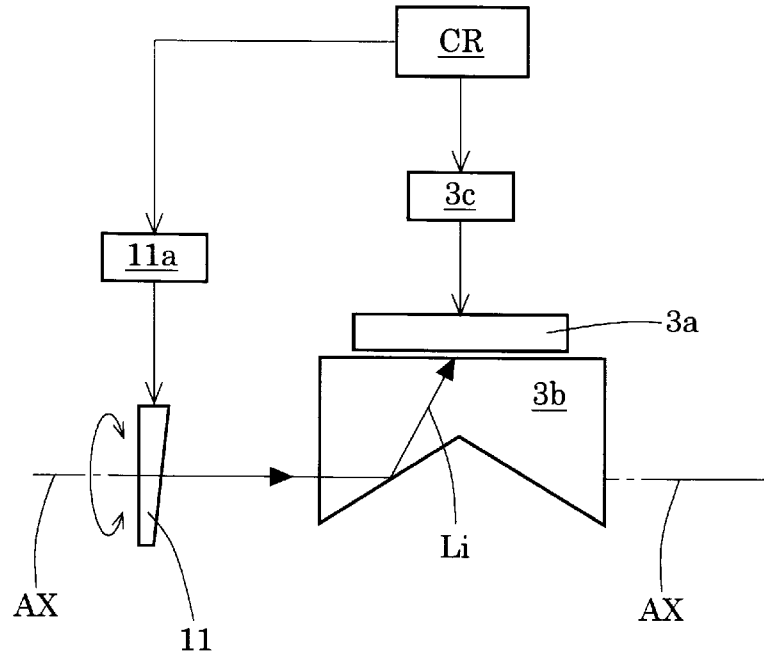
[図5]



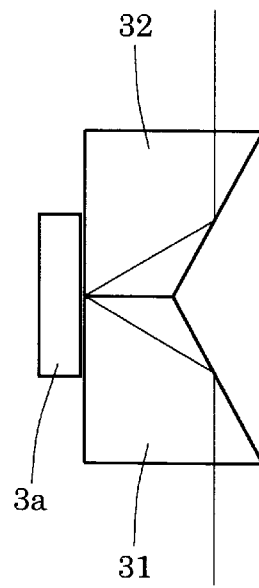
[図6]



[図7]

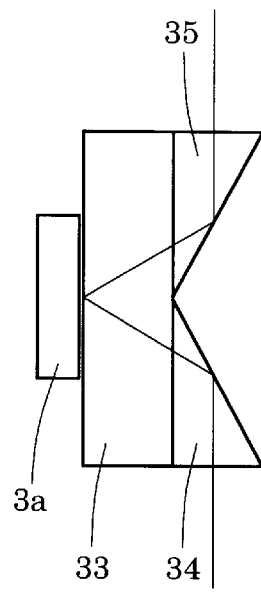


[図8]

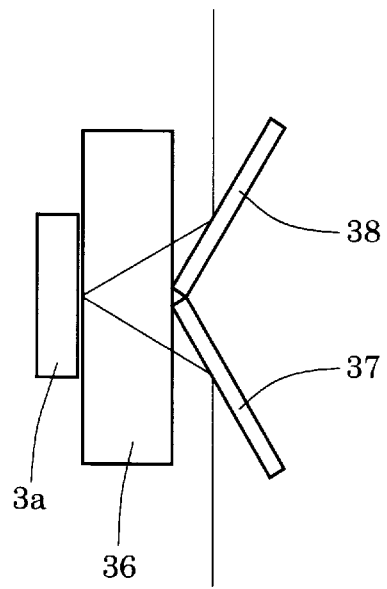




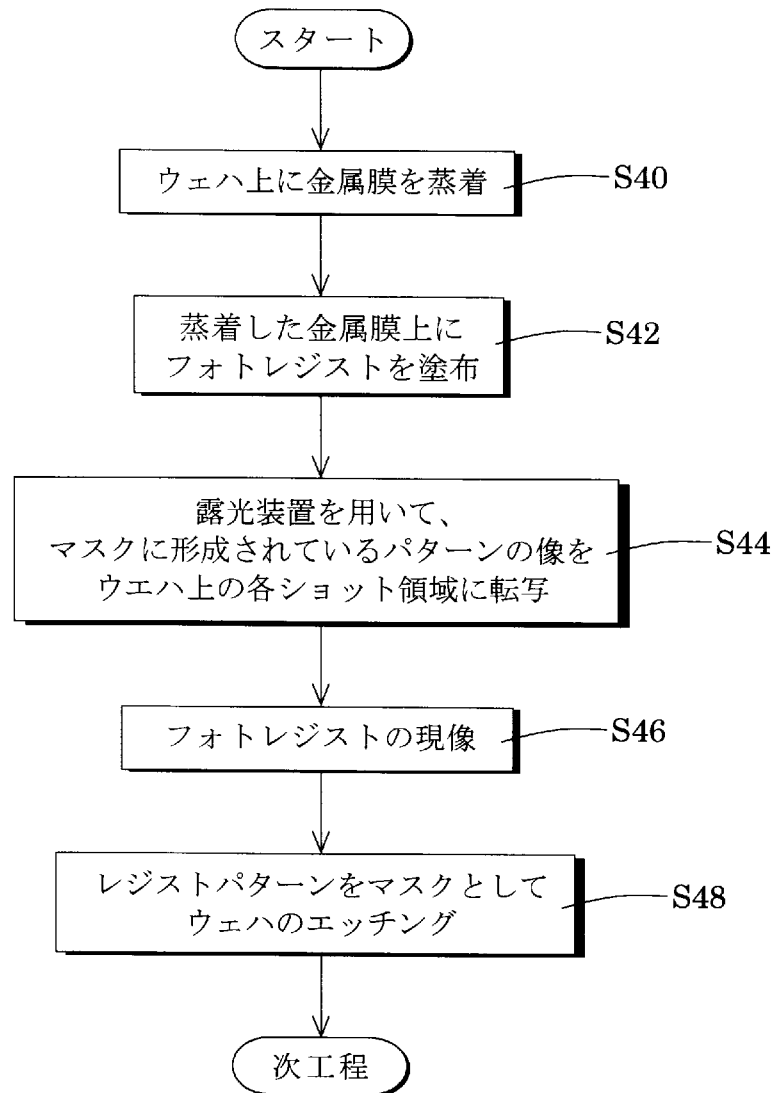
[図9]



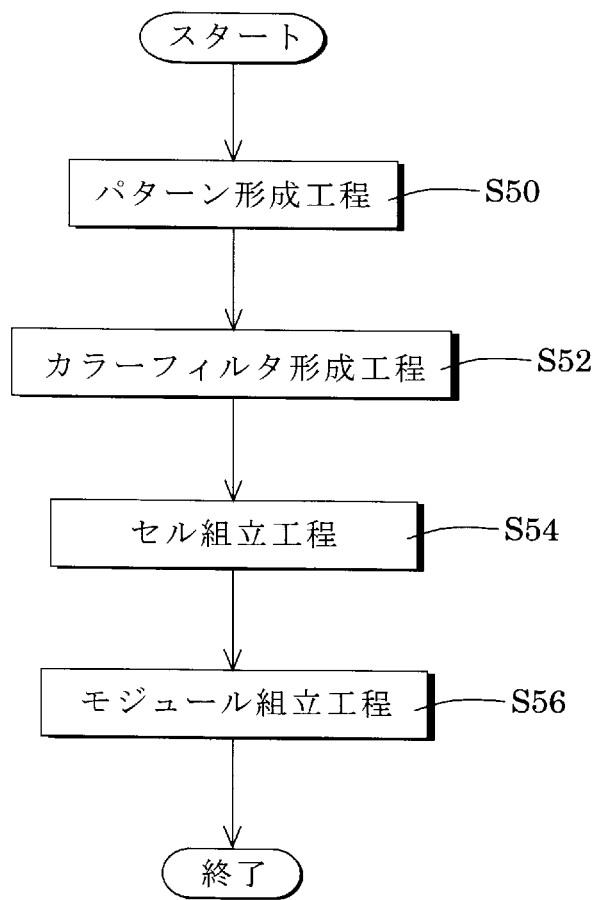
[図10]



[図11]



[図12]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/069997

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B26/08(2006 .01) i , G02B19/00 (2006 .01) i , G03F7/20 (2006 .01) i , H01L21/027 (2006.01) i

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

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B26/00-26/08 , G02B5/00-5/136 , G02B7/28 , G02B9/00- 17/08 ,  
G02B21/02 -21/04 , G02B25/00-25/04 , G03F7/20-7/24 , G03F9/00- 9/02 ,  
H01L21/027

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2008  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008

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	JP 2005-136387 A (ASML Netherlands B.V.), 26 May, 2005 (26.05.05) , Claims 1, 7; Par. Nos. [0041] to [0047], [0050] to [0052]; Figs. 1, 5, 7, 8 & US 2005/0074906 A1 & US 2005/0068510 A1 & EP 1517188 A2	1-21
Y	JP 2007-258691 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 04 October, 2007 (04.10.07), Par. No. [0006] & US 2007/0195834 A1	1-21



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  
27 November , 2008 (27.11.08)

Date of mailing of the international search report  
09 December, 2008 (09.12.08)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 5-102003 A (Nikon Corp.), 23 April, 1993 (23.04.93), Par. Nos. [0029] to [0035] ; Figs . 1, 3 & US 5719704 A & US 6100961 A & US 2002/0048008 A1	7-14
Y	JP 2001-350105 A (Kabushiki Kaisha Oyo Kodan Kenkyushitsu) , 21 December, 2001 (21.12.01) , Par. Nos. [0021] , [0031] , [0032] ; Figs . 3, 4 (Family: none)	7-14
Y	JP 2002 -353105 A (Nikon Corp .) , 06 December, 2002 (06.12.02) , Par . Nos . [0003] , [0017] to [0023] , [0027] to [0031] ; Figs . 1 to 4, 6, 7 (Family : none)	15-21



C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の テコy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 請求の範囲の番号
Y	JP 5-102003 A (株式会社ニコン) 1993. 04. 23, 段落 [0029] - [0035] , 第 1, 3 図 & US 5719704 A & US 6100961 A & US 2002/0048008 A1	7-14
Y	JP 2001-350105 A (株式会社応用光電研究室) 2001. 12.21, 段落 [0021] , [0031] , [0032] , 第 3, 4 図 (ファミリーなし)	7-14
Y	JP 2002-353105 A (株式会社ニコン) 2002.12.06, 段落 [0003] , [0017] - [0023] , [0027] - [0031] , 第 1-4, 6, 7 図 (ファミリーなし)	15-21