

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4005881号

(P4005881)

(45) 発行日 平成19年11月14日(2007.11.14)

(24) 登録日 平成19年8月31日(2007.8.31)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

G O 3 F 7/20 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 O 2 V

H O 1 L 21/30 5 1 6 Z

G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 14 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2002-255210 (P2002-255210)
 (22) 出願日 平成14年8月30日(2002.8.30)
 (65) 公開番号 特開2004-95871 (P2004-95871A)
 (43) 公開日 平成16年3月25日(2004.3.25)
 審査請求日 平成15年8月28日(2003.8.28)

前置審査

(73) 特許権者 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 100058479
 弁理士 鈴江 武彦
 (74) 代理人 100091351
 弁理士 河野 哲
 (74) 代理人 100088683
 弁理士 中村 誠
 (74) 代理人 100084618
 弁理士 村松 貞男
 (74) 代理人 100092196
 弁理士 橋本 良郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置の検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照明光学系の二次光源の面の像を、投影光学系を介して、基板上に投影する露光装置の検査方法であって、

前記基板として検査用の感光基板を設置し、この感光基板の表面と前記照明光学系の二次光源の面とが光学的に共役な状態で、前記感光基板を二重露光する工程であって、前記二重露光の一方においては、前記投影光学系の瞳の端を含まない第1の領域を照明し、他方においては、前記投影光学系の瞳の端を含む第2の領域を照明し、かつ、前記第1の領域および前記第2の領域として互いに重ならない領域を選ぶ工程と、

前記感光基板を現像して得られたパターンに基づいて、前記露光装置の照明軸ずれを検査する工程とを有し、

前記感光基板の表面と前記照明光学系の二次光源の面とを光学的に共役な状態にするために、前記照明光学系と前記投影光学系との間、または前記投影光学系と前記感光基板との間に、表面にパターンが形成されたパターン部材を設けることを特徴とする露光装置の検査方法。

【請求項 2】

前記パターン部材は検査用フォトマスクであり、かつ、該検査用フォトマスクは、そのパターンが形成された面が、前記投影基板の表面と光学的に共役でない状態にして、第1の設置手段上に設置されることを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 3】

前記検査用フォトマスクの前記パターンは、露光光に対して透明な開口パターンを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 4】

前記開口パターンが設けられた面を前記二次光源の面に向けて、前記検査用フォトマスクを前記第 1 の設置手段上に設置することにより、前記検査用フォトマスクの前記開口パターンが形成された面と前記感光基板の表面とを光学的に共役でない状態にすることを特徴とする請求項 3 に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 5】

前記開口パターンの直径を、 $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $80\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲に設定することを特徴とする請求項 4 に記載の露光装置の検査方法。

10

【請求項 6】

前記開口パターンが設けられた面を前記投影光学系の瞳に向けて、前記検査用フォトマスクを前記第 1 の設置手段上に設置することを特徴とする請求項 3 に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 7】

前記投影光学系の瞳と前記感光基板の表面との間の距離を制御することによって、前記検査用フォトマスクの前記開口パターンが形成された面と前記感光基板の表面とを光学的に共役でない状態にすることを特徴とする請求項 6 に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 8】

前記感光基板として、露光光に対して透明な基板と、該基板の前記露光光が入射する側の面と反対の面に設けられ、前記露光光を反射する反射膜とを含むものを用いることを特徴とする請求項 6 に記載の露光装置の検査方法。

20

【請求項 9】

前記開口パターンの直径を、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲に設定することを特徴とする請求項 6 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 10】

前記感光基板は、シリコンウェハと、該シリコンウェハ上に塗布されたフォトレジストとを含むことを特徴とする請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 11】

30

前記パターン部材はレンズ部材であり、かつ、該レンズ部材は、前記投影光学系と前記感光基板との間の光路中に設置されることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 12】

前記二次光源により、前記第 2 の領域を照明して、前記感光基板を露光する際に、前記二次光源の照明形状を輪帯状にすることを特徴とする請求項 1 ないし 11 のいずれか 1 項に記載の露光装置の検査方法。

【請求項 13】

前記二次光源により、前記第 2 の領域を照明して、前記感光基板を露光する際に、前記二次光源の照明形状を 3 方向以上に輝度の極大をもつ形状にすることを特徴とする請求項 1 ないし 11 のいずれか 1 項に記載の露光装置の検査方法。

40

【請求項 14】

前記投影光学系の瞳面における前記二次光源の照明形状は、

$$NA_{i1} > NA_{in} > NA_{i2}$$

NA_{in} ：前記投影光学系の入射側開口数

NA_{i1} ：前記照明光学系の出射側開口数

NA_{i2} ：前記二次光源の内周に対応する光の入射角を開口数の次元で表した数値

の不等式を満たすことを特徴とする請求項 12 または 13 に記載の露光装置の検査方法。

【発明の詳細な説明】

50

【 0 0 0 1 】

【 発明の属する技術分野 】

本発明は、半導体装置の製造プロセスに使用される露光装置の検査方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【 従来技術 】

半導体デバイスの歩留まりを高い状態に維持するために重要なことの一つとして、光リソグラフィの工程に用いられる露光装置を正常な結像状態に保っておくことがあげられる。そのためには、簡単な方法で露光装置の状態を検査・監視する技術が要求される。露光装置においては、二次光源の形状や輝度の分布が変わると、マスクパターンの基板面への結像に関する特性が変化する。したがって、露光装置の照明光学系についても常に検査し、
10 10

【 0 0 0 3 】

露光装置の結像特性に影響を及ぼす照明光学系の誤差要因としては、二次光源の形状や輝度の分布の他に、フォトマスクに入射する照明光が全体として斜めに傾く現象（照明軸ずれ）がある。

【 0 0 0 4 】

図 19 を用いて照明軸ずれの影響を説明すると、照明軸ずれが起きていない状態（図 19（a））では、ウェハ上にレジストが塗布された基板（感光基板）100が像面101にある状態（ベストフォーカス）で、光102Aで露光して得られるレジストパターン103Aと、ベストフォーカスから多少デフォーカスした状態で、光102B, 102Cで露光して得られるレジストパターン103B, 103Cとの間には位置ずれがないため、フォーカス変動に対して強固な装置となる。一方、照明軸ずれが起きている状態（図 19（b））においては、感光基板100のデフォーカスによってレジストパターン103A～103Cの形成位置が横にずれてしまい、露光領域全体として所望のパターンができにくくなる恐れがある。これは、不良品の数を増加させる原因となる。
20 20

【 0 0 0 5 】

このような不都合は、照明軸ずれを検査し、照明軸ずれの存在を確認したら、露光装置を停止してメンテナンスを行うことによって、未然に防止することができる。以下、二次光源の形状、輝度分布、照明軸ずれの検査を、まとめて「照明光学系の検査」と表記する。

【 0 0 0 6 】

半導体デバイスの製造装置の検査方法としては、装置を停止させないで短時間で簡便に計測する方法が望ましい。このような条件を満たす照明光学系の検査法として、周囲を遮光した開口パターン（ピンホールパターン）を用い、この開口パターンを感光基板の表面と共役ではない位置に設置して露光を行うことによって感光基板上に二次光源の像を形成し、二次光源の形状や輝度分布を計測する方法が、USP 5973771や、Proceedings of SPIE vol.3334, pp. 281-288に開示されている。これらの方法では、開口パターンをピンホールカメラのレンズとして機能させることにより、感光基板上に二次光源の像を転写させ、転写像を観察することにより検査が行われる。一方、単純な開口パターンではなく、ゾーンプレートを使用して二次光源の転写像を取得し検査する方法が、USP 6048651に開示されている。
40 40

【 0 0 0 7 】

しかしながら、上記の公報等で開示されたいずれの方法でも、照明軸ずれを知ることはできない。何故なら、感光基板上に形成されるパターンは二次光源の輝度分布を表す像であり、投影光学系に関する情報は何も含んでいないため、投影光学系に対して照明光の垂直性が保たれているか否かを判断することができないからである。

【 0 0 0 8 】

二次光源の形状や輝度分布を計測すると同時に、照明軸ずれも計測する方法として、周囲を遮光した開口パターンの内部に回折格子を設置したパターン（グレーティングピンホールパターン、例えば図20）を用いる方法が、特開2000-21732に開示されている。この方法では、回折格子により発生した回折光を利用し、投影光学系の開口数を規定
50 50

する絞りの位置を二次光源の輝度分布と同時に転写させる。

【0009】

図21は、この露光によって感光基板上に形成されるパターンの一例である。0次回折光の像110は二次光源の輝度分布の情報を含む。1次回折光の像(輪郭像)111は絞りの輪郭の位置の情報を含んでいる。0次回折光の像110の中央と絞りの輪郭像111の中央との間の位置のずれが、照明軸ずれの量をあらわす。

【0010】

しかしながら、この方法では、検査に使用するフォトマスク上の回折格子の周期を非常に小さくしなければならない。この点について、以下、具体的に説明する。

【0011】

照明光学系の検査に用いるフォトマスク上の回折格子の周期は、回折光に関する二つの制限条件、すなわち(1)0次回折光の像と1次回折光の像とが重ならないこと、(2)1次回折光が絞りの位置(瞳の端)を通過すること、を満たしている必要がある。

【0012】

例えば、露光波長が193nm、投影縮小率が1/4の露光装置において、投影光学系の射出側開口数(NA)を0.68、コヒーレンスファクタ()を0.75とした状態を検査する場合、上記二つの条件を満たすために必要な適切な回折格子の周期は約0.64μmとなる。これは感光基板上のスケールに換算すると、ハーフピッチ0.08μmとなり、現在量産されている半導体デバイスにおいて使用される繰り返しパターンの最小線幅、0.13~0.11μmよりも小さい。

【0013】

このような微細なパターンをもつフォトマスクの作成は高度な技術が必要であり、コストがかかる。したがって、従来の技術では、露光装置の照明軸ずれをコストをかけずに検査することは困難である。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

上述の如く、二次光源の形状や輝度分布を計測すると同時に、照明軸ずれも計測する露光装置の検査方法として、周囲を遮光した開口パターンの内部に回折格子を設置したパターンを用いる方法が知られていたが、検査に使用するフォトマスクの製造コストが高いという問題がある。

【0015】

本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、コストをかけずに照明軸ずれの検査を行える露光装置の検査方法を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば下記の通りである。すなわち、上記目的を達成するために、本発明に係る露光装置の検査方法は、照明光学系の二次光源の面の像を、投影光学系を介して、基板上に投影する露光装置の検査方法であって、前記基板として検査用の感光基板を設置し、この感光基板の表面と前記照明光学系の二次光源の面とが光学的に共役な状態で、前記感光基板を二重露光する工程であって、前記二重露光の一方においては、前記投影光学系の瞳の端を含まない第1の領域を照明し、他方においては、前記投影光学系の瞳の端を含む第2の領域を照明し、かつ、前記第1の領域および前記第2の領域として互いに重ならない領域を選ぶ工程と、前記感光基板を現像して得られたパターンに基づいて、前記露光装置の照明軸ずれを検査する工程とを有し、前記感光基板の表面と前記照明光学系の二次光源の面とを光学的に共役な状態にするために、前記照明光学系と前記投影光学系との間、または前記投影光学系と前記感光基板との間に、表面にパターンが形成されたパターン部材を設けることを特徴とする。

【0017】

本発明では、照明光学系の二次光源の面と感光基板の表面とを光学的に共役な状態にして

10

20

30

40

50

、投影光学系の瞳の端を含まない第1の領域を照明して感光基板を露光し、投影光学系の瞳の端を含む第2の領域を照明して感光基板を露光するという二重露光を行い、該二重露光が行われた感光基板を現像して得られるパターンに基づいて、露光装置の照明軸ずれを検査する。

【0018】

ここで、上記二つのパターンのうち前者の露光に対応したパターン（第1のパターン）は、照明光学系の情報は含むが、投影光学系の情報を含まない。一方、後者の露光に対応したパターン（第2のパターン）は照明光学系および投影光学系の情報を含む。具体的には、第2のパターンの輪郭は、投影光学系の瞳の端の情報を含み、第2のパターンのうち上記輪郭よりも内側のパターンは、照明光学系の情報を含んでいる。

10

【0019】

したがって、照明軸のずれ（照明光学系と投影光学系との光学的なずれ）の検査は、第1のパターンと第2のパターンとを比較することにより可能となる。そして、このような検査は、高価なグレーティングピンホールを用いずに実施できるので、コストをかけずに済む。これらの点については、発明の実施の詳細においてさらに説明する。

【0022】

本発明の上記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記載および添付図面によって明らかになるであろう。

【0023】

【発明の実施の形態】

20

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

【0024】

（第1の実施形態）

図1は、本発明の第1の実施形態に係る露光装置の検査方法において使用する検査用フォトマスク（以下、単にフォトマスクという。）を示す平面図である。

【0025】

フォトマスク1は、厚さが6.35mm（0.25インチ）の透明基板としての石英基板（不図示）と、この石英基板上に順次堆積されたクロム膜、酸化クロム膜の積層膜からなり、直径が55μmの円形開口部2（開口パターン）を有する遮光膜3とを含む。上記石英基板の厚さは6.35mmに限定されず、1mm以上10mm未満の範囲であれば構わ

30

【0026】

円形開口部2の端から200μm以内の領域には別の円形開口部はない。すなわち、円形開口部2を透過した光と、円形開口部2とは別の円形開口部を透過した光とが、同じ箇所を照射しないように設計されている。また、円形開口部2の内部には回折格子などの遮光領域はない。

【0027】

フォトマスク1は、微細なパターンを持たないので、製造が容易である。したがって、フォトマスク1は、従来の微細な回折格子パターンを有すフォトマスクに比べて、製造コストはかからない。

40

【0028】

次に、フォトマスク1を用いた露光装置の検査方法について説明する。

【0029】

図2は、検査対象である周知の露光装置内に本実施形態のフォトマスク1をセットした状態を模式的に示す図である。フォトマスク1はピンホールカメラとして機能し、このフォトマスク1の機能により、照明光学系13の二次光源14の面と感光基板18の表面とは光学的に共役な状態になる。

【0030】

図2において、11はKrFエキシマレーザー光源や水銀ランプなどの光源を示しており、この光源11から発した露光光12は照明光学系13を経て整形され、二次光源14が

50

形成される。

【0031】

二次光源 14 の面上には図示しない複数のアパーチャマスクが設けられ、これらのアパーチャマスクの任意の一つを選択できるようになっている。したがって、二次光源 14 の照明形状は、選択したアパーチャマスクの開口部（アパーチャ）に対応したものとなる。

【0032】

そして、二次光源 14 から発し、上記アパーチャマスクを通過した光は、コンデンサレンズ 15 を経て、マスクステージ 16（第 1 の設置手段）上に設置されたフォトマスク 1 をほぼ均一な照度で照明する。

【0033】

フォトマスク 1 を通過した光は投影光学系 17 により集光され、検査用の感光基板 18 上にフォトマスク 1 のパターンの像を投影する。感光基板 18 は基板ステージ 19（第 2 の設置手段）上に設置されている。ここでは、投影光学系 17 の縮小率 M を $1/4$ とする。縮小率 M は、通常、 $1/4$ または $1/5$ である。

【0034】

投影光学系 17 の内部には瞳の大きさを規定する絞りがあって、投影光学系 17 の中心軸から遠く離れた光はここで遮光される。したがって、絞りの縁付近を通るような光束を照射した場合、感光基板 18 には絞りの縁を表すパターンが転写される。二次光源 14 から発した光束が投影光学系 17 の瞳のどの領域を通過するかは、上記絞りの縁を表すパターンの転写位置から判明する。

【0035】

感光基板 18 は、直径 200 mm のシリコンウェハと、このシリコンウェハ上に塗布されたポジ型フォトレジストとを含む。ポジ型フォトレジストの代わりにネガ型フォトレジストを用いても構わない。本実施形態の検査用の感光基板 18 は、汎用品（シリコンウェハ、フォトレジスト）で構成されているので、コストはかからない。

【0036】

本実施形態では、露光装置を検査するときに、露光装置内にフォトマスク 1 をセットし、照明光学系 13 の二次光源 14 の面と感光基板 18 の表面とを光学的に共役の状態にする。

【0037】

なお、半導体デバイスパターンを露光するときは、二次光源 14 の面と投影光学系 17 の瞳面が光学的に共役、フォトマスク 1 のパターン面と感光基板 18 の表面が共役の関係にある。この場合、二次光源 14 の面の光強度分布とフォトマスク 1 のパターン面における像強度はフーリエ変換対の関係で表される。投影光学系 17 の瞳面における光強度分布と感光基板 18 の表面における像強度についてもフーリエ変換対の関係で表される。

【0038】

本実施形態では、図 2 に示すように、フォトマスク 1 のパターン面の向きを、半導体デバイスパターンを露光するときの向き（図 3）とは逆に、すなわち裏返しにして設置する。これにより、フォトマスク 1 のパターン面と感光基板 18 の表面とを光学的に共役な状態にせず済む。

【0039】

ここで、フォトマスク 1 のパターン面と感光基板 18 の表面とを光学的に共役な状態すると、フォトマスク 1 の情報（パターンの形状・寸法）は、感光基板 18 を現像して得られるレジストパターン上に反映される。照明軸ずれの検査に必要な情報は、照明光学系の情報と投影光学系の情報であり、フォトマスク 1 の情報は不要である。

【0040】

レジストパターン上にフォトマスク 1 の情報が反映された場合、フォトマスク 1 の情報と照明光学系および投影光学系の情報とを区別する必要がある、検査が煩雑になる恐れがある。したがって、検査を簡便に行うためには、レジストパターン上にフォトマスク 1 の情報を反映させない方が好ましい。

10

20

30

40

50

【0041】

なお、後述する第5の実施形態の場合のように、パターンが無いフォトマスク1つまり透明基板を用いる場合は、フォトマスク1と感光基板18とを光学的に共役な状態にしても問題はない。

【0042】

このようにフォトマスク1をマスクステージ16上に設置し、感光基板18を基板ステージ19上に設置し、そして、フォトマスク1および感光基板9が静止した状態で露光を行う。この露光は、二次光源14の照明形状が異なる二つの状態でそれぞれ1回ずつ行う、二重露光である。

【0043】

図4に、本実施形態で用いられる二次光源14の照明形状の平面図を示す。図4(a)は1回目の露光で使用される照明形状21を示し、図4(b)は2回目の露光で使用される照明形状22を示している。以下、これらの照明形状を用いた二重露光について詳説する。

【0044】

今、ある半導体デバイスのあるレイヤのパターンの露光を、 $NA = 0.55$ 、 $\sigma = 0.85$ の状態で行うとして、この状態における露光装置を検査する場合、1回目の露光を $NA = 0.55$ 、 $\sigma = 0.85$ の状態(状態1)で行う。さらに、この1回目の露光では、照明形状21(二次光源14の中心の位置が現れる様な二次光源形状)を用いる。

【0045】

なお、 σ は照明光学系の出射側開口数 NA_{ill} と投影光学系17の入射側開口数 NA_{in} の比(NA_{ill} / NA_{in})である。 $NA_{in} = NA \times M$ (M は投影レンズの縮小率)であるから、 $\sigma = NA_{ill} / (NA \cdot M)$ とも表される。上記 $NA(0.55)$ は投影光学系17の射出側開口数であり、 $\sigma = 0.85$ 、 $M = 1/4$ であるから、 $NA_{in} = 0.1375$ 、 $NA_{ill} = 0.116875$ である。したがって、 $NA_{in} > NA_{ill}$ である。

【0046】

2回目の露光は、 NA を変化させないで、照明形状21を照明形状22に変更した状態(状態2とする)で行う。2回目の露光の照明形状22による照明は輪帯照明であって、輪帯の外周の大きさが $\sigma = 1$ よりも大きく、かつ、輪帯の内周の大きさが $\sigma = 1$ よりも小さい輪帯照明である。さらに、2回目の露光の照明形状22は、1回目の露光の照明形状21と重ならないように選ばれている。

【0047】

ここで、輪帯の内周を形成する光と、該光が入射するフォトマスク1の面の法線とがなす角度 θ_2 (二次光源の内周に対応する光の入射角)を開口数の次元で表した数値 NA_{i2} ($= \sin \theta_2$)は、 NA_{in} よりも小さくなる。したがって、本実施形態の場合、 $NA_{i1} > NA_{in} > NA_{i2}$ の不等式を満たす。

【0048】

1回目の露光が $NA_{ill} = 0.116875$ であることを考慮し、2回目露光における輪帯照明の外周が $NA_{in} = 0.1375$ よりも大である位置、内周が $NA_{in} = 0.1375$ よりも小でかつ $NA_{ill} = 0.116875$ よりも大である位置とする。具体的には、例えば、2回目の露光の輪帯照明の外周を $NA_{ill} = 0.15$ 、内周を $NA_{ill} = 0.125$ とする。この場合、感光基板18上に投影される二次光源14の像は、その外側が投影光学系17の絞りにより遮られたものとなる。言い換えると、投影光学系17の瞳の輪郭が感光基板18上に投影される。

【0049】

図5(a)は、1回目の露光時に二次光源14から発した光束の投影光学系17の瞳面における位置(光束位置)31および絞り位置32、図5(b)は、2回目の露光時に二次光源14から発した光束の投影光学系17の瞳面における位置(光束位置)33および絞り位置34を示している。

【0050】

10

20

30

40

50

瞳面においては、１回目の露光時に光束が通過する第１の領域と２回目の露光時に光束が通過する第２の領域とは重なっておらず、２回目の露光時の光束は絞りの輪郭を転写する。なお、状態１での露光と状態２での露光の順序を入れ替えても構わない。また、状態１の露光の露光量と状態２の露光の露光量はほぼ同じ値とする。

【００５１】

１回目、２回目の露光が完了したら、感光基板１８を露光装置から搬出して現像を行う。図６に、感光基板１８上に形成されたレジストパターンを示す。レジストパターンは、中央に状態１の照明形状および輝度分布を反映したパターン（以下、内側パターンという。）４１と、この内側パターン４１の周囲にあり、状態２の照明形状および輝度分布を反映した輪帯状のパターン（以下、外側パターンという。）４２とを含む構造となる。図にお

10

【００５２】

照明光学系の検査は上記レジストパターンを測定することにより行われる。まず、二次光源１４の形状と輝度分布の検査は、内側パターン４１を計測することにより行われる。適切な露光量で露光していれば、高輝度の領域はフォトレジストが溶解し、低輝度の領域はフォトレジストが溶解しない状態となるため、露光量とレジストの溶解分布の関係をもとに照明形状と輝度分布が判明する。

【００５３】

一方、照明軸ずれの検査は、内側パターン４１の外周を表す円の中心と、外側パターン４２の外周を表す円の中心とのずれを計測することにより行われる。照明軸ずれがない理想的な状態では二つの円の中心は一致する。

20

【００５４】

一方、二つの円の中心のずれが０でない場合、二次光源１４から発した光束が投影光学系１７の瞳の中央からずれた位置を通過していることを意味する。これは、投影光学系１７に入射する照明光が全体として斜めになっている状態（照明軸ずれの状態）であって、二つの円の中心ずれが大きいほど照明軸ずれが大きいことを意味する。

【００５５】

ここで、フォトマスク１に入射する光の軸（正確には、フォトマスク１に入射する有限の広がりをもつ円錐状の光の中心軸）と、該光が入射するフォトマスク１の面の法線とのなす角（フォトマスク１に入射する有限の広がりをもつ円錐状の光の中心軸の傾き）をラジアンとすると、照明軸ずれは、下式（１）によって評価することができる。

30

【００５６】

$$\sin = L \times NA / R \quad (1)$$

L：内側パターン４１の外周を表す円と外側パターン４２の外周を表す円の中心間の距離

R：投影光学系１７の瞳を表す円の半径

LとRは測定可能であるので、式（１）を使えば、照明軸ずれの大きさ（sin）が求められる。照明軸ずれの方向は、例えば、内側パターン４１の外周を表す円の中心を原点とするX-Y座標系における、外側パターン４２の外周を表す円の中心のX座標とY座標の値で評価することができる。

40

【００５７】

本実施形態においては状態１、状態２の二つの状態で露光を行っているが、検査対象である状態は状態１であって、状態２の照明光学系１３の検査をするわけではない。

【００５８】

状態２の露光を行う目的は投影光学系１７を状態１と同様に保ったまま露光することによって、状態１での絞りの位置（投影光学系１７の情報）をレジストパターン上に投影することである。したがって、状態２においては、仮に多少の照明軸ずれが発生していたとしても、光束が絞りに投射される状態であれば、計測に関して問題はない。図７に、そのような場合に得られるレジストパターンの例を示す。

50

【 0 0 5 9 】

以上述べたように、本実施形態によれば、検査に用いるフォトマスクとして、従来法において使用されているような微細な構造を有する製造が困難なフォトマスクを使用する代わりに、製造が容易なフォトマスク 1 を使用することで、製造コストをかけずに、露光装置の照明軸ずれの検査を行えるようになる。

【 0 0 6 0 】

なお、本実施形態では、円形開口部 2 (ピンホール) の直径を $55\ \mu\text{m}$ としたが、円形開口部 2 の直径は $55\ \mu\text{m}$ に限定されるものではない。以下、この点についてさらに説明する。

【 0 0 6 1 】

二次光源 14 の像を感光基板 18 上に正確に転写するためには、円形開口部 2 のサイズを適切にしなければならない。それは大きすぎると感光基板 18 上の像のぼけが大きくなり、逆に小さすぎても回折により像がぼけるからである。

【 0 0 6 2 】

適切な円形開口部 2 のサイズは、円形開口部 2 からフォトマスク 1 の下面までの距離 (フォトマスク 1 の透明基板の厚さ) と露光波長とが関係する。本発明者らは、フォトマスク 1 の厚さが $6.3\ \text{mm}$ で屈折率が約 1.5、露光波長が $248\ \text{nm}$ (KrF エキシマレーザの波長) の場合、円形開口部 2 の直径を $50 \sim 60\ \mu\text{m}$ の範囲内に設定することにより、感光基板 18 上に解像度が良好な二次光源 14 の像を表すレジストパターンが得られることを実験により確認した。

【 0 0 6 3 】

また、上記 $50 \sim 60\ \mu\text{m}$ の直径条件から多少はずれた場合でも、直径が $40\ \mu\text{m}$ 以上 $80\ \mu\text{m}$ 以下の大きさの円形開口部 2 を用いれば、精度が多少落ちる場合もあるが、実用上必要な精度は得られ、検査が可能であることも確認した。

【 0 0 6 5 】

ここで、 a は $0.5 \sim 0.6$ 程度の値である。

【 0 0 6 6 】

(第 2 の実施形態)

本実施形態が第 1 の実施形態の異なる点は、状態 2 の照明形状を、図 8 (b) に示すように、縦横 4 方向に輝度分布の極大をもつ照明形状 52 としたことにある。状態 2 の照明形状は、図 8 (a) に示すように、図 4 (a) の照明形状 21 と同様の円形の照明形状 51 である。

【 0 0 6 7 】

この場合も、第 1 の実施形態と同様に、状態 1 の照明形状 51 と状態 2 の照明形状 52 との間に重なりが無いようにし、状態 2 の照明形状の最外周に対応する円 53 の大きさを $= 1$ よりも大きな状態、最内周に対応する円 54 の大きさを $= 1$ よりも小さい状態とする。

【 0 0 6 8 】

この場合、取得されるレジストパターンは、図 9 に示すように、中央に状態 1 の照明形状・輝度分布を反映したパターン 61 と、このパターン 61 の周囲に有り、状態 2 の照明形状および輝度分布を反映した 4 個のパターン 62 とを含む構造となる。

【 0 0 6 9 】

パターン 62 の外周をなぞる仮想的な円 63 は、第 1 の実施形態の図 6 の円 43 に相当し、投影光学系 17 の瞳を表す円 (投影光学系 17 の絞りの縁の像) を示している。

【 0 0 7 0 】

露光装置の検査方法は、第 1 の実施形態における内側パターン 41、外側パターン 42、円 43 を、それぞれ、パターン 61、パターン 62、円 63 と読み替えることによって、第 1 の実施形態と同様に行える。

【 0 0 7 1 】

なお、本実施形態では、縦横 4 方向に輝度分布の極大をもつ照明形状 52 としたが、原理

10

20

30

40

50

的には3方向以上に輝度分布の極大をもつ照明形状であれば、測定は行える。

【0072】

(第3の実施形態)

本実施形態が第1の実施形態と異なる点は、第1に、図10に示すように、フォトマスク1のパターン面の向きを、半導体デバイスパターンを露光するときの向きと同じに設定することにある。本実施形態のフォトマスク1は、円形開口部の直径が $15\mu\text{m}$ であり、第1の実施形態の場合よりも小さくなっている。フォトマスク1に関し、その他の条件は第1の実施形態と同じである。

【0073】

第2に、このままでは、フォトマスク1のパターン面と感光基板18の表面とが光学的に共役の状態になるので、図10に示すように、感光基板18の表面位置を、マスクパターン転写時の位置P1から、感光基板1の表面の法線方向で投影光学系17から遠ざかる方向に $30\mu\text{m}$ 移動させ、フォトマスク1のパターン面と感光基板18の表面とを光学的に共役でない状態にする。

10

【0074】

このようにフォトマスク1と感光基板18を設置し、さらにフォトマスク1および感光基板18を静止させた状態で露光を行う。この露光は、二次光源14の照明形状が異なる二つの状態でそれぞれ1回ずつ二重露光を行う。

【0075】

1回目の露光における光学条件は、 $NA = 0.55$ 、 $NA_{ill} = 0.116875$ とし、2回目の露光では、 $NA = 0.55$ 、外周が $NA_{ill} = 0.15$ であり、内周が $NA_{ill} = 0.125$ である輪帯照明とする。状態1の露光の露光量と状態2の露光の露光量はほぼ同じ値とする。

20

【0076】

1回目、2回目の露光が完了したら、感光基板18を露光装置から搬出して現像を行う。感光基板18上に形成されるレジストパターンは、図6のそれと相似形のものとなる。上記レジストパターンは、中央に形成された円盤状のパターンと、この円盤状のパターンの周囲にある輪帯状のパターンとを含む構造となる。照明光学系の検査は、第1の実施形態に記載した方法と同様の手順で行われる。

【0077】

なお、本実施形態では、感光基板18を投影光学系17から遠ざかる方向に移動させたが、投影光学系17に近づく方向に移動させて、フォトマスク1のパターン面と感光基板18の表面とを光学的に共役でない状態にすることでも、同様の効果が得られる。

30

【0078】

なお、本実施形態では、フォトマスク1の円形開口部(ピンホール)の直径を $15\mu\text{m}$ としたが、円形開口部の直径は $15\mu\text{m}$ に限定されるものではない。以下、この点についてさらに説明する。

【0079】

二次光源14の像を感光基板18上に正確に転写するためには、円形開口部2のサイズを適切にしなければならない。それは大きすぎると感光基板18上の像のぼけが大きくなり、逆に小さすぎても回折により像がぼけるからである。

40

【0080】

適切な円形開口部2のサイズは、フォトマスク1のパターン面から感光基板18の表面までの距離と露光波長に関係する。本発明者らは、感光基板18のP1からのずらし距離(デフォーカス距離)が約 $30\mu\text{m}$ 、露光波長が 248nm の場合、フォトマスク1の円形開口部の直径を $10 \sim 15\mu\text{m}$ の範囲内に設定することにより、感光基板18上に解像度が良好な二次光源14の像を表すレジストパターンが得られることを実験により確認した。

【0081】

また、上記 $10 \sim 15\mu\text{m}$ の直径条件から多少はずれた場合でも、フォトマスク1の円形

50

開口部の直径が $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲であれば、精度が多少落ちる場合もあるが、実用上必要な精度は得られ、検査が可能であることも確認した。

【0082】

(第4の実施形態)

図11は、本発明の第4の実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態では、フォトマスク1のパターン面の向きを裏返して設置するとともに、感光基板18'として図12に示す構造のものを使用する。

【0083】

感光基板18'は、露光光(露光波長)に対してほぼ透明な材質、図12に示すように、溶融石英からなる厚さが 1mm の薄い透明基板70と、この透明基板70の表面に設けられ、露光光(露光波長)の一部が透過する程度の透明度を有するフォトレジスト(感光剤)71と、透明基板70の裏面に設けられ、該裏面を鏡面化して露光光を反射するためのクロム膜(反射膜)72とを含む。フォトレジスト71は塗布法で形成され、クロム膜72は蒸着法で形成される。

10

【0084】

フォトマスク1は、第1の実施形態(図1)で説明したように、円形開口部2を有するが、その直径はここでは $80\text{ }\mu\text{m}$ である。フォトマスク1のパターン面と感光基板18'の表面とは光学的に共役の状態にある。

【0085】

第3の実施形態に記した光学条件で1回目および2回目の露光を行う。図12に示すように、感光基板18'の表面に到達した露光光はフォトレジスト71を感光してフォトマスク1のパターンの像(第1の像)を形成するとともに、フォトレジスト71および透明基板70を通過してクロム膜72(感光基板18'の裏面の鏡面)で反射し、再び感光基板18'の表面に到達して、フォトレジスト71を感光して像(第2の像)を形成する。

20

【0086】

ここで、フォトマスク1のパターン面と感光基板18'の表面とは光学的に共役の状態にあるので、フォトマスク1のパターン面と第1の像が形成された領域の感光基板18の表面とは光学的に共役の状態にある。

【0087】

しかし、感光基板18'の裏面で反射した光の光路は、感光基板18'の表面で反射した光の光路よりも長いため、フォトマスク1のパターン面と第2の像が形成された領域の感光基板18の表面とは光学的に共役の状態にはない。

30

【0088】

すなわち、第2の像を形成する光は、実質的に、第3の実施形態と同様に、マスクパターン転写時の位置から投影光学系17から遠ざかる方向に移動させた感光基板18を露光することになる。

【0089】

1回目、2回目の露光が完了したら、感光基板18を露光装置から搬出して現像を行う。図13に、感光基板18'上に形成されるレジストパターンを示す。レジストパターンは、中央にフォトマスク1のパターンの縮小像(第1の像)に対応したパターン81と、このパターン81の周囲に有り、感光基板18'の裏面の鏡面で反射した光により感光して形成された第2の像に対応したパターン82とを含む構造となる。

40

【0090】

図において、83はパターン82の外周を表す円、すなわち投影光学系の絞りの縁の像を示している。また、二つのパターン82のうち内側の円形パターンが図6のパターン41に相当し、外側の輪帯パターンが図6のパターン42に相当する。

【0091】

パターン82について第1の実施形態に記載した方法と同様の手順で照明光学系の検査が行われる。このとき、パターン81の直径はパターン82の $1/100$ 以下となるので、パターン82の解析においては障害とならない。

50

【 0 0 9 2 】

(第 5 の実施形態)

本実施形態が第 1 の実施形態と異なる点は、フォトマスク 1 の代わりに、図 1 4 に示すようなレンズアレイ 9 0 を用いて、照明光学系 1 3 の二次光源 1 4 の面と感光基板 1 8 の表面とを光学的に共役な状態にすることにある。また、レンズアレイ 9 0 は露光装置に組み込まれたものである。

【 0 0 9 3 】

レンズアレイ 9 0 は、露光光 (露光波長) に対して透明なレンズホルダ 9 1 と、このレンズホルダ 9 1 上にマトリクス状に固定して設置された複数のレンズ 9 2 とを含む。図 1 4 (a) は側面図、図 1 4 (b) は上平面図を示している。

10

【 0 0 9 4 】

レンズホルダ 9 1 は、図示しない駆動機構により制御されるアーム 9 3 (待避手段) により、支持されて光路中に挿入または光路から退避されるようになっている。これにより、レンズアレイ 9 0 は配置された半導体デバイスパターンの露光の際には光路外に退避され、そして、照明光学系の検査をする際には、図 1 5 に示すように、露光光の光路中に挿入される。

【 0 0 9 5 】

このとき、レンズホルダ 9 1 は、レンズ 9 2 が配置された面 (レンズ面) が感光基板 1 8 の表面と平行となるように、フォトマスク 1 の表面の上方に挿入される。なお、ここでは、フォトマスク 1 はパターンを含まない単なる透明基板であり、省略可能である。

20

【 0 0 9 6 】

さらに、レンズアレイ 9 0 は、フォトマスクの表面の上方に該表面に対して垂直な方向に、所定距離離れた位置に設置される。所定距離は、露光波長の光に対するレンズ 9 2 の焦点距離もしくは該所定距離に略一致する距離 (焦点距離と実質的に同じ距離) である。このような位置にレンズアレイ 9 0 を設置することにより、鮮明なレジストパターン (像) を感光基板 1 8 に形成できるようになる。

【 0 0 9 7 】

この状態では、二次光源 1 4 の面とフォトマスク 1 の表面 (下面) とが光学的に共役となり、さらにフォトマスクの裏面 (下面) と感光基板 1 8 の裏面とが光学的に共役となるため、二次光源 1 4 の面と感光基板 1 8 の表面とは光学的に共役となる。

30

【 0 0 9 8 】

なお、フォトマスク 1 (透明基板) を用いない場合、フォトマスク 1 (透明基板) が仮想的にあるとした場合に、該仮想的なフォトマスク 1 (透明基板) の表面に焦点が位置するように、レンズアレイ 9 0 は設置される。フォトマスク 1 は省略可能であるが、レンズアレイ 9 0 の位置決めの基準となるフォトマスク 1 が実際にあった方が、位置決めを容易に正確に行える。

【 0 0 9 9 】

レンズアレイ 9 0 を挿入した状態で、第 1 の実施形態に記した露光方法を実施し、レジストパターンを取得し、そして、第 1 の実施形態と同様に、レジストパターンを解析することで、照明光学系の検査を行える。

40

【 0 1 0 0 】

また、本実施形態によれば、露光装置の照明光学系 1 3 の検査を行うために必要な機構である、レンズアレイ 9 0 およびそれを駆動するための図示しない駆動機構を装置自身に持たせることによって、検査を行う毎に検査に必要な機構を用意する場合に比べて、簡便に検査を行えるようになる。

【 0 1 0 1 】

なお、図 1 4、図 1 5 には、厚みのあるレンズ 9 2 が描かれているが、円形開口やゾーンプレートを使用しても同様の効果が得られる。

【 0 1 0 2 】

また、本実施形態では、レンズアレイ 9 0 を使用しているので、露光フィールド全体の検

50

査を一括して行えるが、１個のレンズを用いても該レンズの配置位置を変えながら複数回の露光を行い、その後、現像を行うことでも、同様の検査結果は得られる。レンズアレイ 90 を使用した場合には、短時間で検査を行え、一方、１個のレンズを使用した場合には、装置コストの削減化が可能となる。

【 0 1 0 3 】

図 16 に、レンズアレイ 90 の変形例を示す。この変形例のレンズアレイ 90' は、レンズ 92 が設けられた領域が露光光に対して透明領域、レンズ 92 が設けられていない領域が露光光に対して遮光領域となっている、レンズホルダ 91 を含む。

【 0 1 0 4 】

このようなレンズアレイ 90' は、レンズホルダ 91 として、例えば、透明基板と、この透明基板上に形成され、レンズ 92 が設けられる領域に開口部を有する遮光膜とを含むものを用いることで実現できる。

【 0 1 0 5 】

このようなレンズアレイ 90' を使用すれば、レンズ 92 が設けられた領域のレンズホルダ 91 の表面に照射された露光光のみが、感光基板 18 レンズ 92 に届く。そのため、不要な露光光が迷光となって感光基板 18 に届くのが防止されるので、該迷光による測定パターンの形状劣化を防止でき、より精度の高い測定が可能となる。

【 0 1 0 6 】

(第 6 の実施形態)

図 17 は、本発明の第 6 の実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。

【 0 1 0 7 】

本実施形態が第 5 の実施形態と異なる点は、レンズアレイ 90 の挿入位置を照明光学系 12 と投影光学系 17 との間、具体的にはフォトマスク 1 と投影光学系 17 との間にしたことにある。この場合は、フォトマスク 1 から距離が、露光波長の光に対するレンズ 92 の焦点距離の位置もしくはとほぼ一致する位置に、レンズアレイ 90 を挿入する。

【 0 1 0 8 】

このような位置にレンズアレイ 90 を挿入することで、第 5 の実施形態と同様の測定が可能となる。また、第 5 の実施形態と同様の変形例も可能である。

【 0 1 0 9 】

(第 7 の実施形態)

図 18 は、本発明の第 7 の実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。

【 0 1 1 0 】

本実施形態が第 7 の実施形態と異なる点は、レンズアレイ 90 の挿入位置を投影光学系 17 と感光基板 18 との間にしたことにある。この場合は、露光波長の光に対するレンズ 92 の焦点が、感光基板 18 の表面もしくは表面近傍となる位置に、レンズアレイ 90 を挿入することで、第 5 の実施形態と同様の測定が可能となる。また、第 5 の実施形態と同様の変形例も可能である。

【 0 1 1 1 】

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、上記実施形態では、照明光学系の二次光源の面と感光基板の表面とを光学的に共役な状態にするために、フォトマスク（ピンホールカメラ）1 やレンズアレイ 90 を用いたが、他のパターン部材を用いても構わない。

【 0 1 1 2 】

さらに、上記実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。例えば、実施形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題を解決できる場合には、この構成要件が削除された構成が発明として抽出され得る。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 3 】

その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施できる。

【 0 1 1 4 】

【 発明の効果 】

以上詳説したように本発明によれば、コストをかけずに照明軸ずれの検査を行える露光装置の検査方法を実現できるようになる。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施形態に係る露光装置の検査方法において使用するフォトマスクを示す平面図

【 図 2 】 検査対象である周知の露光装置内に同フォトマスクをセットした状態を模式的に示す図 10

【 図 3 】 半導体デバイスパターンを露光するときのフォトマスクのパターン面の向きを示す図

【 図 4 】 第 1 の実施形態で用いられる二次光源の照明形状を示す平面図

【 図 5 】 1 回目および 2 回目の露光時に二次光源から発した光束の投影光学系の瞳面における位置および絞り位置を示す図

【 図 6 】 図 4 の二次光源の照明形状を用いた場合に感光基板上に形成されるレジストパターンを示す平面図

【 図 7 】 変形例の二次光源の照明形状を用いた場合に感光基板上に形成されるレジストパターンを示す平面図 20

【 図 8 】 本発明の第 2 の実施形態に係る二次光源の照明形状を示す平面図

【 図 9 】 図 8 の二次光源の照明形状を用いた場合に感光基板上に形成されるレジストパターンを示す平面図

【 図 1 0 】 本発明の第 3 の実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図

【 図 1 1 】 本発明の第 4 の実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図

【 図 1 2 】 同露光装置の検査方法において使用する感光基板を示す断面図

【 図 1 3 】 同感光基板上に形成されるレジストパターンを示す平面図

【 図 1 4 】 本発明の第 5 の実施形態に係るレンズアレイを示す側面図および上面図

【 図 1 5 】 照明光学系の検査をするために同レンズアレイが光経路中に挿入された露光装置を示す図 30

【 図 1 6 】 図 1 4 のレンズアレイの変形例を示す側面図および平面図

【 図 1 7 】 本発明の第 6 の実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図

【 図 1 8 】 本発明の第 7 の実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図

【 図 1 9 】 露光装置の照明軸ずれの影響を説明するための図

【 図 2 0 】 従来の照明軸ずれの計測方法で使用されるグレーティングピンホールを示す平面図

【 図 2 1 】 従来の照明軸ずれの計測方法で形成される感光基板上のパターンを示す平面図

【 符号の説明 】

1 ... フォトマスク (パターン部材)

2 ... 円形開口部 40

3 ... 遮光膜

1 1 ... 光源

1 2 ... 露光光

1 3 ... 照明光学系

1 4 ... 二次光源

1 5 ... コンデンサレンズ

1 6 ... マスクステージ (第 1 の設置手段)

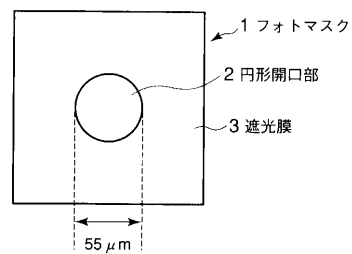
1 7 ... 投影光学系

1 8 , 1 8 ' ... 感光基板

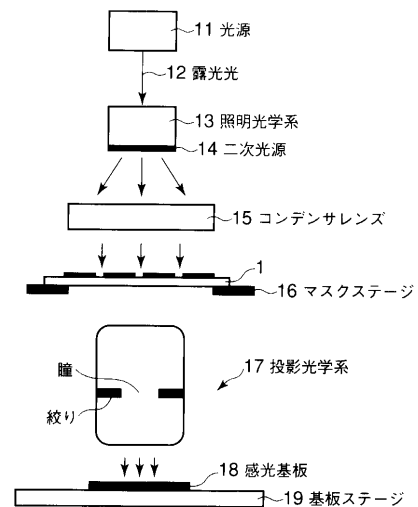
1 9 ... 基板ステージ (第 2 の設置手段) 50

- 2 1 , 2 2 ...照明形状
- 3 1 , 3 3 ...光束位置
- 3 2 , 3 4 ...絞り位置
- 4 1 ...内側パターン
- 4 2 ...外側パターン
- 4 3 ...投影光学系の絞りの縁の像
- 5 1 , 5 2 ...照明形状
- 6 1 , 6 2 ...パターン
- 6 3 ...仮想的な円
- 7 0 ...透明基板
- 7 1 ...フォトリソスト
- 7 2 ...クロム膜（反射膜）
- 8 1 , 8 2 ...パターン
- 8 3 ...投影光学系の絞りの縁の像
- 9 0 , 9 0 ' ...レンズアレイ（パターン部材）
- 9 1 ...レンズホルダ
- 9 2 ...レンズ
- 9 3 ...アーム（待避手段）

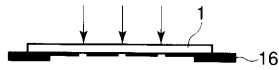
【図 1】



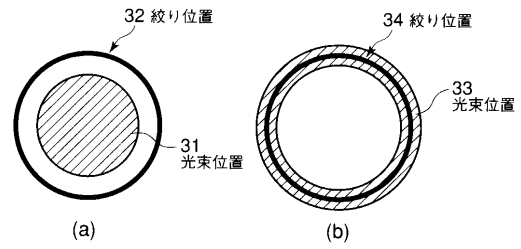
【図 2】



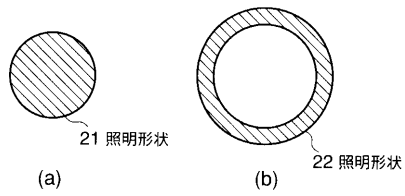
【図 3】



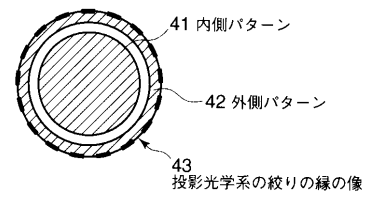
【図 5】



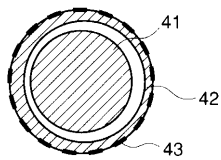
【図 4】



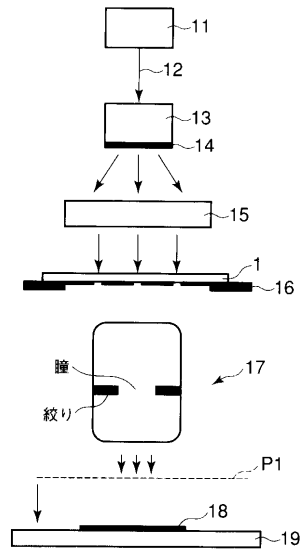
【図 6】



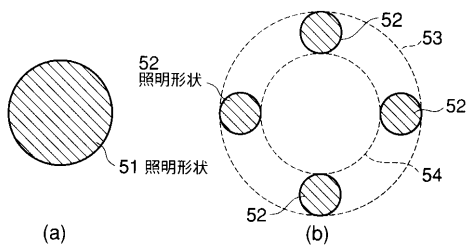
【図 7】



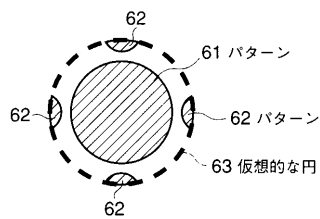
【図 10】



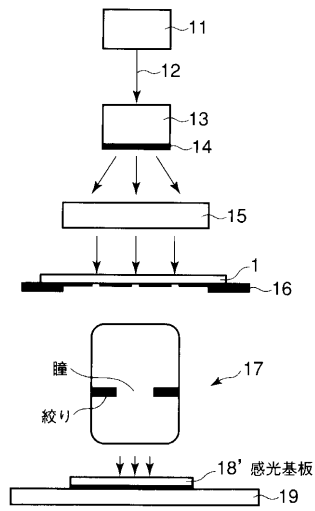
【図 8】



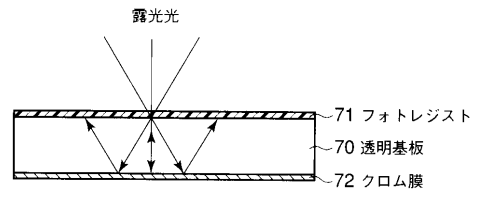
【図 9】



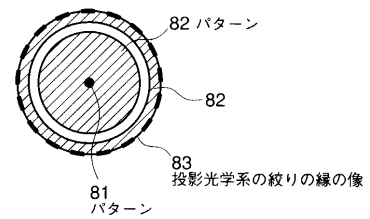
【図 1 1】



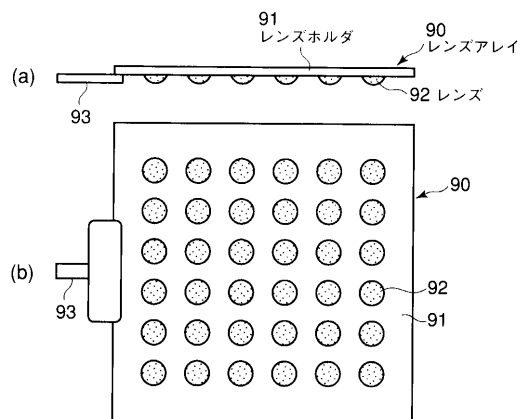
【図 1 2】



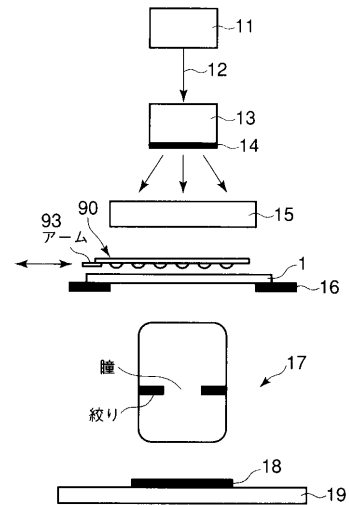
【図 1 3】



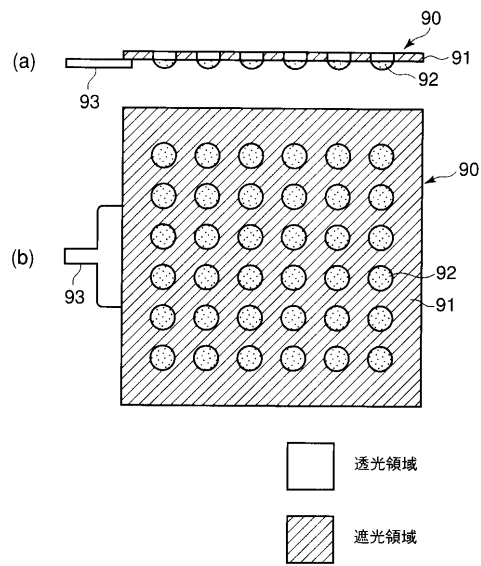
【図 1 4】



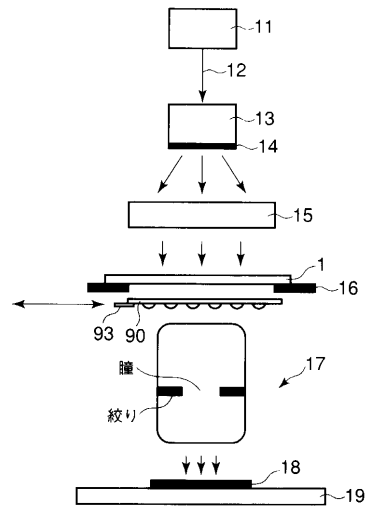
【図 1 5】



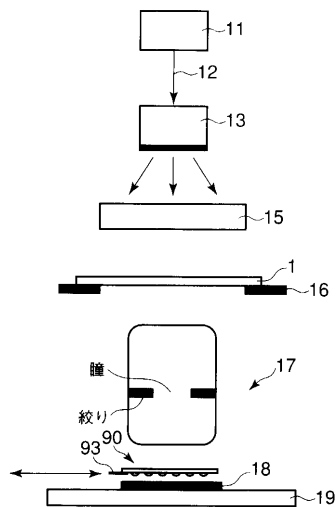
【図 16】



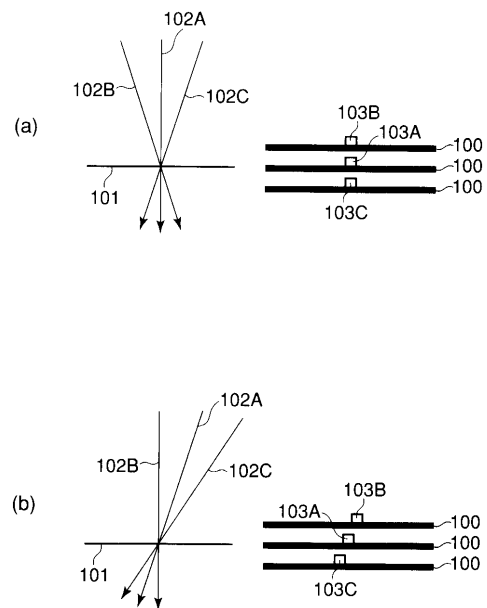
【図 17】



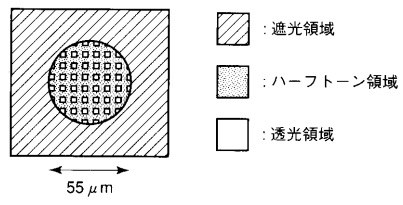
【図 18】



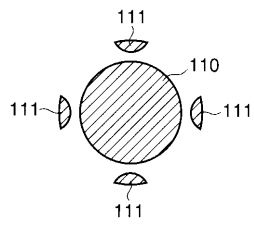
【図 19】



【図 2 0】



【図 2 1】



フロントページの続き

- (72)発明者 福原 和也
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 井上 壮一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

審査官 佐藤 秀樹

- (56)参考文献 特開平03-065623(JP,A)
特開2000-021732(JP,A)
特開2002-083761(JP,A)
特開2001-230180(JP,A)
特開2003-255512(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027
G01M 11/00-11/08