

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4612849号
(P4612849)

(45) 発行日 平成23年1月12日(2011.1.12)

(24) 登録日 平成22年10月22日(2010.10.22)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L	21/027	(2006.01)	HO 1 L	21/30 5 1 4 C
GO 3 F	7/20	(2006.01)	GO 3 F	7/20 5 2 1
			HO 1 L	21/30 5 1 5 D

請求項の数 12 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2005-56007 (P2005-56007)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成17年3月1日(2005.3.1)	(74) 代理人	100110412 弁理士 藤元 亮輔
(65) 公開番号	特開2006-245115 (P2006-245115A)	(72) 発明者	山添 賢治 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(43) 公開日	平成18年9月14日(2006.9.14)	審査官	岩本 勉
審査請求日	平成20年2月28日(2008.2.28)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光方法、露光装置及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの光を用いて、投影光学系を介して基板を露光する露光方法において、マスクに形成されたコンタクトホールパターン及び補助パターンの周期に応じて、前記光源からの光の偏光状態を設定する設定ステップと、

前記コンタクトホールパターンが解像され、且つ、前記補助パターンの解像が抑制されるように、前記設定ステップにおいて偏光状態が設定された光で前記マスクを照明するステップとを有し、

前記設定ステップにおいて、 λ を前記光の波長、NA を前記投影光学系の像側の開口数とすると、前記コンタクトホールパターン及び補助パターンのうち隣り合うパターンの中心間隔の半分の長さを λ / NA で規格化した値を 0.25×2 と比較した結果に基づいて前記偏光状態を設定することを特徴とする露光方法。

【請求項2】

前記中心間隔は、前記補助パターンと、前記補助パターンに隣り合う前記コンタクトホールパターンとの中心間隔であることを特徴とする請求項1に記載の露光方法。

【請求項3】

前記コンタクトホールパターンは、孤立コンタクトホール又は中間周期のコンタクトホールパターンを含むことを特徴とする請求項1に記載の露光方法。

【請求項4】

前記コンタクトホールパターンは、孤立コンタクトホールのみからなり、前記中心間隔

は前記補助パターンの隣り合うパターンの中心間隔であることを特徴とする請求項 1 に記載の露光方法。

【請求項 5】

前記コンタクトホールパターンは、孤立コンタクトホールと、中間周期のコンタクトホールパターン若しくはデンスコンタクトホールパターンとを含み、

前記中心間隔は前記補助パターンの隣り合うパターンの中心間隔であることを特徴とする請求項 1 に記載の露光方法。

【請求項 6】

前記コンタクトホールパターンは、デンスコンタクトホールパターンを含み、前記補助パターンの隣り合うパターンの中心間隔は前記デンスコンタクトホールの中心間隔に等しいことを特徴とする請求項 5 に記載の露光方法。

10

【請求項 7】

前記マスクはバイナリマスク又はハーフトーンマスクであり、

前記設定ステップにおいて、

前記値が 0.25×2 よりも大きい場合には動径方向に偏光した軸外照明を設定し、

前記値が 0.25×2 以下である場合には接線方向に偏光した軸外照明を設定することを特徴とする請求項 1 に記載の露光方法。

【請求項 8】

前記マスクは位相シフトマスクであり、

前記設定ステップにおいては、

前記値が 0.25×2 よりも大きい場合には無偏光照明を設定し、

前記値が 0.25×2 以下である場合には動径方向に偏光した軸外照明を設定することを特徴とする請求項 1 に記載の露光方法。

20

【請求項 9】

光源からの光を用いて、投影光学系を介して基板を露光する露光方法において、

マスクに形成されたコンタクトホールパターン及び補助パターンの周期に応じて、前記光源からの光の偏光状態を設定する設定ステップと、

前記コンタクトホールパターンが解像され、且つ、前記補助パターンの解像が抑制されるように、前記設定ステップにおいて偏光状態が設定された光で前記マスクを照明するステップとを有し、

30

前記設定ステップにおいて、を前記光の波長、NA を前記投影光学系の像側の開口数とすると、直交する 2 方向のうち縦方向における前記コンタクトホールパターン及び補助パターンのうち隣り合うパターンの中心間隔を λ / NA で規格化した値の 2 乗の逆数と横方向における前記コンタクトホールパターン及び補助パターンのうち隣り合うパターンの中心間隔を λ / NA で規格化した値の 2 乗の逆数との和を $1/6$ と比較した結果に基づいて前記偏光状態を設定することを特徴とする露光方法。

【請求項 10】

光源からの光を用いて基板を露光する露光装置において、

前記光源からの光を用いて、コンタクトホールパターン及び補助パターンを有する前記マスクを照明する照明光学系と、

40

前記マスクのパターンの像を基板に投影する投影光学系と、

前記マスクに形成された前記コンタクトホールパターン及び前記補助パターンの周期に応じて、前記光源からの光の偏光状態を設定するユニットと、

前記ユニットは、を前記光の波長、NA を前記投影光学系の像側の開口数とすると、前記コンタクトホールパターン及び補助パターンのうち隣り合うパターンの中心間隔の半分の長さを λ / NA で規格化した値を 0.25×2 と比較した結果に基づいて前記偏光状態を設定することを特徴とする露光装置。

【請求項 11】

前記ユニットは、

前記マスクがバイナリマスク又はハーフトーンマスクである場合に、前記周期に対応

50

する第1の値が閾値としての第2の値よりも大きい場合には動径方向に偏光した軸外照明を設定し、前記第1の値が前記第2の値以下である場合には接線方向に偏光した軸外照明を設定し、

前記マスクが位相シフトマスクである場合に、前記第1の値が前記第2の値よりも大きい場合には無偏光照明を設定し、前記第1の値が前記第2の値以下であれば動径方向に偏光した軸外照明を設定し、

を前記光の波長、 NA を前記投影光学系の像側の開口数、 m_{ax} を前記照明光学系のマスク側の開口数と前記投影光学系の物体側の開口数の比の最大値又は $\frac{1}{m_{ax}}$ が1以上であれば1とすると、前記第1の値は直交する2方向の一方の方向において前記デンスコンタクトホールの隣り合うコンタクトホールの中心間隔の半分の長さを $\frac{1}{NA}$ で規格化した値であり、前記第2の値は $0.25 \times \frac{2}{m_{ax}}$ であることを特徴とする請求項10に記載の露光装置。

【請求項12】

請求項10又は11に記載の露光装置を用いて基板を露光するステップと、前記露光された基板を現像するステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般には、露光に関し、特に、IC、LSIなどの半導体チップ、液晶パネルなどの表示素子、磁気ヘッドなどの検出素子、CCDなどの撮像素子といった各種デバイス、マイクロメカニクスで用いるマスク及びその製造方法、露光方法及び装置に関する。ここで、マイクロメカニクスは半導体集積回路製造技術を微細構造体の製作に応用し、高度な機能を持ったミクロン単位の機械システムやそれを作る技術をいう。本発明の露光方法及び装置は、例えば、投影光学系の最終面と被露光体の表面とを液体に浸漬し、投影光学系及び液体を介して被露光体に露光するいわゆる液浸露光に好適である。

【背景技術】

【0002】

マスク（レチクル）に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に露光する投影露光装置は従来から使用されており、高解像度な露光装置が益々要求されている。高解像度を達成する手段として投影光学系の開口数（ NA ）を増加することが知られている。

【0003】

しかし、高 NA 化が進むにつれ、結像性能への光の偏光の影響が無視できなくなる。光のウェハへの入射角が大きいほど、光の偏光方向による結像性能に差を生じてしまうためである。光の偏光による結像性能への影響は、2光束の角度が大きくなるため3光束干渉より2光束干渉への方がはるかに大きい。特に、近年提案されている液浸露光においては、光の偏光方向によってまったく結像しなくなる条件が存在するという問題も生じる。

【0004】

このため、露光光の偏光制御を行う試みがなされている（例えば、非特許文献1参照）。非特許文献1ではラインアンドスペース（ L/S ）パターンにおける偏光制御を検討している。 L/S パターンに最適な偏光照明はそのままコンタクトホールパターンに適用可能というわけではないため、コンタクトホール用の偏光照明に関しても研究が行われている（例えば、非特許文献2及び3参照）。

【非特許文献1】Proceedings of SPIE、Volum 5377（2004）pp. 68

【非特許文献2】Proceedings of SPIE、Volum 5040（2003）pp. 1352

【非特許文献3】2004 International Microprocesses and Nanotechnology Conference（MNC2004

10

20

30

40

50

)で2004年10月27日に発表番号27A-3-2で発表された論文(発表題目:「Intrinsic Problem Affecting Contact Hole Resolution in Hyper NA Era」)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

L/Sパターンについては、非特許文献1に記載されている通り、S偏光、もしくは、有効光源の接線方向に偏光されている接線方向偏光がパターンの解像に適している。一方、コンタクトホールパターンについては、非特許文献2は、デンスコンタクトホールパターンには有効光源で動径方向に偏光している動径方向偏光が効果的であると述べている。また、非特許文献3は、現時点でデンスコンタクトホールに効果的な偏光照明は見つかっていないと述べている。更に、コンタクトホールには、コンタクトホールが密集しているいわゆるデンスコンタクトホール、コンタクトホールが光学的に孤立している(又は周期性のない)孤立コンタクトホール、デンスコンタクトホールと孤立コンタクトホールの中間のコンタクトホールを含み、コンタクトホールパターンはこれらのうち一種類又は複数種類を含む。

10

【0006】

本発明は、コンタクトホールパターンに適した偏光照明条件を与える露光方法及び装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

20

【0007】

本発明の一側面としての露光方法は、光源からの光を用いて、投影光学系を介して基板を露光する露光方法において、マスクに形成されたコンタクトホールパターン及び補助パターンの周期に応じて、前記光源からの光の偏光状態を設定する設定ステップと、前記コンタクトホールパターンが解像され、且つ、前記補助パターンの解像が抑制されるように、前記設定ステップにおいて偏光状態が設定された光で前記マスクを照明するステップとを有し、前記設定ステップにおいて、
 $\frac{\lambda}{NA}$ を前記光の波長、NAを前記投影光学系の像側の開口数とすると、前記コンタクトホールパターン及び補助パターンのうち隣り合うパターンの中心間隔の半分の長さを
 $\frac{\lambda}{NA}$ で規格化した値を 0.25×2 と比較した結果に基づいて前記偏光状態を設定することを特徴とする。

30

【0008】

本発明の別の側面としての露光方法は、光源からの光を用いて、投影光学系を介して基板を露光する露光方法において、マスクに形成されたコンタクトホールパターン及び補助パターンの周期に応じて、前記光源からの光の偏光状態を設定する設定ステップと、前記コンタクトホールパターンが解像され、且つ、前記補助パターンの解像が抑制されるように、前記設定ステップにおいて偏光状態が設定された光で前記マスクを照明するステップとを有し、前記設定ステップにおいて、
 $\frac{\lambda}{NA}$ を前記光の波長、NAを前記投影光学系の像側の開口数とすると、直交する2方向のうち縦方向における前記コンタクトホールパターン及び補助パターンのうち隣り合うパターンの中心間隔を
 $\frac{\lambda}{NA}$ で規格化した値の2乗の逆数と横方向における前記コンタクトホールパターン及び補助パターンのうち隣り合うパターンの中心間隔を
 $\frac{\lambda}{NA}$ で規格化した値の2乗の逆数との和を 1.6 と比較した結果に基づいて前記偏光状態を設定することを特徴とする。

40

【0011】

本発明の別の側面としての露光装置は、光源からの光を用いて基板を露光する露光装置において、前記光源からの光を用いて、コンタクトホールパターン及び補助パターンを有する前記マスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターンを像を基板に投影する投影光学系と、前記マスクに形成された前記コンタクトホールパターン及び補助パターンの周期に応じて、前記光源からの光の偏光状態を設定するユニットと、前記ユニットは、
 $\frac{\lambda}{NA}$ を前記光の波長、NAを前記投影光学系の像側の開口数とすると、前記コンタクトホールパターン及び補助パターンのうち隣り合うパターンの中心間隔の半分の長さを
 $\frac{\lambda}{NA}$

50

規格化した値を 0.25×2 と比較した結果に基づいて前記偏光状態を設定することを特徴とする。

【0013】

本発明の別の側面としてのデバイス製造方法は、上述の露光装置を用いて基板を露光するステップと、露光された前記基板を現像するステップとを有することを特徴とする。上述の露光装置の作用と同様の作用を奏するデバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは例えば、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

【0014】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、コンタクトホールパターンに適した偏光照明条件を与える露光方法及び装置を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

露光装置の露光光の波長を λ とし、投影光学系の像側開口数を NA とする。照明光学系よりマスク面に入射する光束がなす開口数と投影光学系の物体側開口数の比を NA_{obj} とする。

NA_{obj} は露光装置の照明光学系で様々な部材により可変であるが、一般的な露光装置においては最大 NA_{obj} が1より小さいが、ほぼ1である装置が開発されている。

【0017】

さて、露光装置では様々な NA と NA_{obj} を取りうるため、パターンサイズを (λ / NA) で規格化すると都合がよい。例えば、 λ が 248 nm で NA が 0.73 のとき、 100 nm を上述のように規格化すると 0.29 となる。このような規格化を本明細書では $k1$ 換算と呼ぶことにする。 $k1$ 換算された値が小さければ小さいほど露光は困難になる。

【0018】

コンタクトホールには、上述のように、デンスコンタクトホール、孤立コンタクトホール、これらの中間のコンタクトホール（かかるコンタクトホールを後述するように「中間周期を有するコンタクトホール」と呼ぶ）があり、コンタクトホールパターンはこれらのうち一種類又は複数種類を含む。まず、マスクパターンがデンスコンタクトホールのみを含む場合について検討する。

【0019】

まず、デンスコンタクトホールを露光することを考える。デンスコンタクトホールパターンとはコンタクトホールが密集（大まかにはホール径とホール間隔が $1:1$ から $1:3$ くらいまでを密集しているという）して配置されているパターンであり、例えば、図2に模式的に示すように、コンタクトホール21が縦横方向に周期 p で配置されている。ここで、マスクとしてバイナリマスクとハーフトーンマスクについて考える。バイナリマスクは、透光部と遮光部からなるマスクであり、図2であれば、透光部は21、遮光部は24に相当する。ハーフトーンマスクは、バイナリマスクの遮光部が光減衰部になり、かつ、透光部に対して略 180 度の位相差を与えるマスクである。図2であれば、透光部は21で光減衰部は24に相当する。光減衰部を透過した光は透光部を透過した光に比べて4%から25%の範囲に減衰していれば足りる。縦横方向にしかパターンが無い場合、図3に示すように、パターンの周期に応じて瞳面上に碁盤の目状に回折光32が現れる。瞳31の中心に現れる回折光を $(0, 0)$ 次回折光とよび、 x 方向に n 番目、 y 方向に m 番目（ただし、 n と m は整数）に現れる回折光に (n, m) 次回折光と名前をつける。また、マスクの種類、もしくは、パターンの配置によっては (n, m) 次回折光と $(n, m \pm 1)$ 次回折光の間に回折光が発生する。これらの回折光を本明細書では $(n, m \pm 1/2)$ 次回折光と呼ぶ。同様に、 (n, m) 次回折光と $(n \pm 1, m)$ 次回折光の間に発生

10

20

30

40

50

する回折光は、 $(n \pm 1/2, m)$ 次回折光と呼ぶ。

【0020】

露光装置の最大 λ を 1 とし、デンスコンタクトホールパターンの周期 p の半分 (半ピッチ) を k_1 換算したとき $0.25 \times \lambda$ よりも大きい場合には瞳内に少なくとも 4 つ以上の回折光を取り込むことができる。このとき、接線方向偏光の軸外照明であれば、瞳面での回折光分布と偏光状態は、例えば、図 4 (a) に示すようになる。即ち、瞳 31 には $(0, 0)$ 次回折光、 $(1, 0)$ 次回折光、 $(0, 1)$ 次回折光、 $(1, 1)$ 次回折光の 4 種類の回折光が取り込まれ、それぞれの回折光の偏光方向は図中矢印で示すようになる。前述の偏光と干渉を考慮すれば、 $(0, 0)$ 次回折光と $(1, 1)$ 次回折光は十分干渉するが、 $(1, 0)$ 次回折光と $(0, 1)$ 次回折光はあまり干渉しない。対して、動径方向偏光の軸外照明であれば、瞳 31 に取り込まれる回折光と偏光の様子は図 4 (b) に示すようになり、 $(1, 0)$ 次回折光と $(0, 1)$ 次回折光が干渉するが、 $(0, 0)$ 次回折光と $(1, 1)$ 次回折光は干渉しない。つまり、接線方向偏光の軸外照明の場合には、 $(0, 0)$ 次回折光が結像に大きく関与し、動径方向偏光の軸外照明の場合には、 $(0, 0)$ 次回折光が結像にあまり関与しない。

10

【0021】

上記のような干渉を考慮して、デンスコンタクトホールパターンの半ピッチを k_1 換算したとき $0.25 \times \lambda$ より大きくし、バイナリマスクを軸外照明することとした場合、接線方向偏光照明と動径方向偏光照明では結像性能にほとんど差がないことが予想される。 $(0, 0)$ 次回折光と $(1, 1)$ 次回折光の強度差が大きいため、若干接線方向偏光照明の方がコントラストが多少悪くなる。

20

【0022】

同様に、デンスコンタクトホールパターンの半ピッチを k_1 換算したとき $0.25 \times \lambda$ より大きく、ハーフトーンマスクを軸外照明とした場合を考える。 $(0, 0)$ 次回折光の強度がかなり弱められるため、接線方向偏光照明と動径方向偏光照明では、動径方向偏光照明の方が結像性能がよい。

【0023】

デンスコンタクトホールパターンの半ピッチを k_1 換算したとき $0.25 \times \lambda$ より大きく、マスクがレベンソン型の位相シフトマスクの場合について考える。位相シフトマスクは、縦横方向に互いに隣り合う透光部の位相差が 180 度であるようなマスクである。この場合、 $(1/2, 0)$ 次回折光、 $(-1/2, 0)$ 次回折光、 $(0, 1/2)$ 次回折光、 $(0, -1/2)$ 次回折光の回折光が必ず瞳に入る。これらの回折光強度は等しいため、接線方向偏光照明と動径方向偏光照明では結像性能に差がでない。この場合は、偏光照明を使っても使わなくてもよい。

30

【0024】

次に、露光装置の最大 λ を 1 とし、デンスコンタクトホールパターンの半ピッチを k_1 換算したとき $0.25 \times \lambda$ 以下の場合を考える。この場合、物理的に瞳内に 4 種類以上の回折光を取り込むことは不可能で、基本的には 2 種類の回折光しか瞳に取り込むことができない。

【0025】

さて、デンスコンタクトホールパターンの半ピッチが k_1 換算したとき $0.25 \times \lambda$ 以下で、バイナリマスクかハーフトーンマスクを軸外照明したとき、接線方向偏光だと、例えば、図 5 (a) に示すように瞳面上での回折光分布と偏光状態が得られる。この場合、 $(0, 0)$ 次回折光と $(0, 1)$ 次回折光が十分干渉する。照明が動径方向偏光だと、図 5 (b) に示すような瞳面上での回折光分布と偏光状態が得られ、 $(0, 0)$ 次回折光と $(0, 1)$ 次回折光はあまり干渉しない。このため、デンスコンタクトホールパターンの半ピッチが k_1 換算したとき $0.25 \times \lambda$ 以下で、マスクがバイナリマスクかハーフトーンマスクのときは接線方向偏光照明を用いればよい。

40

【0026】

デンスコンタクトホールパターンの半ピッチが k_1 換算したとき $0.25 \times \lambda$ 以下で

50

、位相シフトマスクを軸外照明したとき、動径方向偏光だと、例えば、図6(a)に示すように、瞳面上での回折光分布と偏光状態が得られ、像面光強度分布は十分なコントラストを保って干渉する。しかし、接線方向偏光の照明を用いると、例えば、図6(b)に示すように、瞳面上での回折光分布と偏光状態になってしまい、像面光強度は十分なコントラストを得ることができない。即ち、デンスコンタクトホールパターンの半ピッチが k_1 換算したとき 0.25×2 以下で、マスクが位相シフトマスクのときは動径方向偏光照明を用いればよい。

【0027】

以上をまとめれば、デンスコンタクトホールパターンに対して照明条件を決めるには図7のようなフローチャートに従えばよいことがわかる。図7において、 m_{ax} は使用する露光装置の最大で、ただし、最大が1以上のときは1とする。

10

【0028】

同図に示すように、まず、 k_1 換算された値が $0.25 \times 2 / m_{ax}$ より大きいかどうか判断する(ステップ1002)。ステップ1002で大きいと判断されれば位相シフトマスクを使用するかどうかを判断する(ステップ1004)。位相シフトマスクを使用すると判断すれば(ステップ1004)、無偏光若しくは任意の偏光照明を使用する(ステップ1006)。一方、ステップ1002で k_1 換算された値が $0.25 \times 2 / m_{ax}$ 以下であると判断すれば、位相シフトマスクを使用するかどうかを判断する(ステップ1008)。ステップ1004で位相シフトマスクを使用しないと判断した場合若しくはステップ1008で位相シフトマスクを使用すると判断すれば、動径方向偏光照明を使用する(ステップ1010)。一方、ステップ1008で位相シフトマスクを使用しないと判断すれば、接線方向偏光照明を使用する(ステップ1012)。

20

【0029】

なお、縦方向と横方向の周期が異なる場合は、それらのうち周期の短い方について k_1 換算した値に基づいて図7のフローチャートを適用すればよい。なぜなら、周期が小さければ小さいほど偏光の影響を受けやすいため、周期の小さいほうを優先すべきだからである。ここでいう周期とは、図2のようなマスクの場合にはデンスコンタクトホールパターンの周期をいい、図10(b)、(d)のようなマスクの場合には後述のように所望パターンと補助パターン(ダミーパターン)を含めたパターンの周期をいう。なお、より厳密に図7のフローチャートを適用したい場合には、縦方向と横方向の周期が異なる場合、縦方向の周期を k_1 換算した値の2乗の逆数と横方向の周期を k_1 換算した値の2乗の逆数を足した値が16より大きい場合と16以下の場合とで場合わけをする必要がある。縦方向の周期を k_1 換算した値の2乗の逆数と横方向の周期を k_1 換算した値の2乗の逆数を足した値が16より大きいというように、図7のステップ1002の条件を変えればよく、そのほうが好ましい。

30

【実施例1】

【0030】

露光装置として、波長が約193nm、投影光学系のNAが0.92、最大が1を考える。ホール径が85nmで、ホール間隔が85nmのデンスコンタクトホールパターンを考える。有効光源形状は図8(a)に示すように水平方向(パターンの周期方向)となす角が ± 45 度方向に光照射部(明るい部分)を持つ四重極照明にし、各光照射部81の中心は中心からに換算して0.85離れており、各光照射部81の直径はに換算して0.20とする。

40

【0031】

マスクをバイナリマスクとしたとき、デフォーカス量とホール径(CDとも言う)の関係(フォーカス特性ともいう)を図9(a)に示す。図9(a)において、10nmバイアスとは、ホール径を95nm、ホール間隔を75nmに調整したものであるが、像面光強度分布におけるスライスレベルを調節することによって、露光後のホール径が85nmになる。前述の通り、バイナリマスクだと接線方向偏光と動径方向偏光でほとんどデフォーカス特性に差がなく、動径方向偏光の方が若干特性がよいことがわかった。

50

【 0 0 3 2 】

続いて、マスクを光減衰部の強度透過率を6%としたハーフトーンマスクにしたときのデフォーカス特性を図9(b)に示す。前述の通り、動径方向偏光の方が接線方向偏光よりフォーカス特性が良い。

【 0 0 3 3 】

なお、図9では、10nmバイアスを入れたときと入れないときでは結像性能にほとんど差はないが、実際は、10nmバイアスを入れたときのほうが像面上での光量が多いためスルーットの面で有利になる。

【 0 0 3 4 】

本実施例は図7のフローチャートの有効性を証明している。なお、本実施例では有効光源形状として図8(a)に示すような四重極照明を用いたが、基本的には中心部が暗い有効光源であることが好ましい。例えば、図8(b)に示すような輪帯照明や図8(c)に示すように中心にパターンの周期方向とその周期方向と垂直な方向とに延びた十字型の遮光部(暗い部分)を持つような照明でコンタクトホールを露光するときにも本実施例の考え方が当てはまる。同様に、図8(d)に示すように水平方向(パターンの周期方向)に対して0度と90度方向に光照射部を持つような十字斜入射照明や図8(e)に示すように2箇所の光照射部を持つ二重極照明でも同様に本実施例の考え方が当てはまる。また、四重極照明と十字斜入射照明は光照射部が隔離して4箇所あることが前提であり、光照射部の形状は問わない。例えば、輪帯照明を有効光源中心からある広がり角度で4箇所を切り出したような形状を持つ有効光源も四重極照明、もしくは、十字斜入射照明である。同様に、二重極照明も光照射部が隔離して2箇所あることが前提であるため、光照射部の形状は問わない。

【 実施例 2 】

【 0 0 3 5 】

前述までに、デンスコンタクトホールパターンに最適な偏光照明をマスクの種類と半ピッチの大きさから考察してきた。しかるに、実際のコンタクトホールマスクにはデンスコンタクトホールパターンのみならず、孤立コンタクトホールパターンが存在する。ここで、孤立コンタクトホールとは、ホール径とホール間隔が1:7以上の場合は光学的に十分孤立とみなすことができる。ホール径とホール間隔が1:3までを密集としたので、1:3から1:7までは本明細書中では中間周期と呼ぶことにする。従来から、孤立コンタクトホールには小照明が、デンスコンタクトホールパターンには軸外照明が良いとされてきた。この慣例から理解される通り、孤立コンタクトホールとデンスコンタクトホールでは照明条件が異なる。これは、孤立コンタクトホールの回折光はホール径が小さくなると、瞳中心に比べて瞳周辺でなだらかに強度が低下するような中心対称の分布を瞳面内で示すからであり、デンスコンタクトホールの回折光分布とは全く異なったものになるからである。このため、孤立コンタクトホールに対する偏光の影響を直感的に理解するのは難しく、孤立コンタクトホールに対する偏光照明の解は知られていない。

【 0 0 3 6 】

一方、孤立コンタクトホールパターンを露光するとき、マスク上の孤立コンタクトホールパターンの周辺に解像しないくらいの大きさの補助パターン(ダミーパターン)を入れるという手法がある(詳しくは、特開2003-234285号公報参照。)。補助パターンが光学的近接効果で影響しあい、所望パターンの結像特性を向上させることが知られている。

【 0 0 3 7 】

本発明者は、孤立コンタクトホールパターンの周辺に解像しないくらいの大きさの補助パターンを入れたとき、瞳面上の回折光分布がデンスコンタクトホールパターンの回折光分布を似たようになることを突き止めた。デンスコンタクトホールパターンの回折光分布から最適な偏光照明を導くことができることは図7のフローチャートで示したとおりである。

【 0 0 3 8 】

例えば、図10(a)のような孤立コンタクトホール22があったとき、その周りに補助パターン23を図10(b)に示すように配置する。補助パターンの所望パターンの中心間隔は所望ホール径の1.8倍から2.2倍の範囲にあるのがよい。補助パターンの大きさは所望パターンの50%から90%の範囲にあるのが好ましい。所望パターンと補助パターンの中心間隔を p としたとき、半ピッチを k_1 換算して図7のフローチャートに当てはめればよい。

【0039】

例えば、波長が193nm、投影光学系のNAが0.92、最大 σ が1を考える。有効光源形状は図8(a)に示すように水平方向と成す角が ± 45 度方向に光照射部を持つ四重極照明にし、各光照射部81の中心は有効光源の中心から σ に換算して0.85離れており、各光照射部81の直径は σ に換算して0.20とする。バイナリマスクを考え、図10(a)において所望パターンホール径85nmとして接線方向偏光と動径方向偏光としたときのフォーカス特性と、図10(b)において所望パターンホール径85nm、補助パターンホール径を60nm、そして、 p を170nmとして接線方向偏光と動径方向偏光としたときのフォーカス特性の結果を図11(a)に載せる。補助パターンがあるときとないときでは、補助パターンがあるときの方がフォーカス特性が良く、補助パターンがあるときとないときのそれぞれでは動径方向偏光の方が若干フォーカス特性が良い。

【0040】

光減衰部の強度透過率が6%であるようなハーフトーンマスクにおいても同様のフォーカス特性を調べ、図11(b)のような結果が得られた。ただし、図11(b)の結果を導くに当たって、所望パターンには10nmのバイアスを入れてある。接線方向偏光照明のときは、補助パターンがあるほうがフォーカス特性がよく、動径方向偏光照明では補助パターンのあるなしでフォーカス特性はほとんど変わらない。ただし、補助パターンが入っているほうが実際には像面にたくさんの光が到達するので、スループットがよくなる。

【0041】

以上をまとめると、孤立コンタクトホールには周辺に補助パターンをいれ、所望パターンと補助パターンの中心間隔の半分を k_1 換算し、図7のフローチャートに従えばよいことがわかる。こうして、デンスコンタクトホールと孤立コンタクトホールが混在するようなマスクにおいても同一の偏光照明を適用することが可能となる。

【0042】

孤立コンタクトホールに補助パターンを入れる場合であって、同一マスクにデンスコンタクトホールが混在している場合は、補助パターンの周期をデンスコンタクトホールの周期と同一にしてもよいし、異なるものとしてもよい。補助パターンの周期がデンスコンタクトホールの周期の周期と異なる場合には、図7のステップ1002において使用する値はデンスコンタクトホールの周期を使用することが好ましい。

【0043】

孤立コンタクトホールに補助パターンを入れないときは、図11の結果から動径方向の偏光照明を使用すればよい。孤立コンタクトホールに補助パターンを入れないときは、同一マスクにデンスコンタクトホールが混在している場合は、図7のフローチャートに従い、デンスコンタクトホールに最適な偏光が動径方向偏光になるようにマスクの種類を決定すればよい。

【0044】

次に、中間周期のコンタクトホールパターンに対しても偏光照明を適用することを考える。例えば、図10(c)のように縦方向には密集しているが、横方向には中間周期を持つようなコンタクトホールパターンがあるとする。この場合は、中間周期を成すコンタクトホール間に解像しない大きさの補助パターンを入れれば、回折光はデンスパターンようになるため、図7のフローチャートが適用される。図10(d)は図10(c)のマスクに補助パターンを入れたマスクである。図10(d)の周期 p に応じて図7のフローチャートが適用される。

【0045】

10

20

30

40

50

なお、実施例 1 において図 8 に関して議論は本実施例でもそのまま当てはまる。

【実施例 3】

【0046】

以下、図 1 を参照して、本発明の一実施形態としての露光装置 100 について説明する。ここで、図 1 は、露光装置 100 の概略ブロック図である。図 1 に示すように、露光装置 100 は、照明装置 110 と、マスク 130 と、マスクステージ 132 と、投影光学系 140 と、主制御ユニット 150 と、モニタ及び入力装置 152 と、ウェハ 170 と、ウェハステージ 176 と、媒質としての液体 180 とを有する。このように、露光装置 100 は、投影光学系 140 の最終面とウェハ 170 が液体 180 に浸漬し、液体 180 を介してマスクパターンをウェハ 170 に露光する液浸露光装置である。露光装置 100 は、ステップアンドスキャン方式の投影露光装置（即ち、スキャナー）であるが、ステップアンドリピート方式その他の露光方式を適用してもよい。

10

【0047】

照明装置 110 は転写用の回路パターンが形成されたマスク 130 を照明し、光源部と照明光学系とを有する。

【0048】

光源部は、光源としてのレーザー 112 と、ビーム整形系 114 とを含む。レーザー 112 は、波長約 193 nm の ArF エキシマレーザー、波長約 248 nm の KrF エキシマレーザー、波長約 157 nm の F₂ エキシマレーザーなどのパルスレーザーからの光を使用することができる。レーザーの種類、個数は限定されず、光源部の種類も限定されない。

20

【0049】

ビーム整形系 114 は、例えば、複数のシリンドリカルレンズを備えるビームエクパンダ等を使用することができ、レーザー 112 からの平行光の断面形状の寸法の縦横比率を所望の値に変換する（例えば、断面形状を長方形から正方形にするなど）ことによりビーム形状を所望のものに成形する。ビーム整形系 114 は、後述するオプティカルインテグレーター 118 を照明するのに必要な大きさと発散角を持つ光束を形成する。

【0050】

照明光学系は、マスク 130 を照明する光学系であり、本実施形態では、集光光学系 116 と、偏光制御手段 117 と、オプティカルインテグレーター 118 と、開口絞り 120 と、集光レンズ 122 と、折り曲げミラー 124 と、マスキングブレード 126 と、結像レンズ 128 とを含む。照明光学系は、従来の照明、図 8 (a) 乃至図 (e) に示す変形照明など様々な照明モードも実現することができる。

30

【0051】

集光光学系 116 は、複数の光学素子から構成され、オプティカルインテグレーター 118 に所望の形状で効率よく導入する。例えば、集光光学系 116 はズームレンズシステムを含み、オプティカルインテグレーター 118 への入射ビームの形および角度の分配をコントロールする。

【0052】

集光光学系 116 は、マスク 130 への照明光の露光量を照明毎に変更可能な露光量調整部を含む。露光量調整部は、主制御ユニット 150 によって制御される。露光量モニタを、例えば、オプティカルインテグレーター 118 とマスク 130 の間やその他の場所に置き露光量を計測しその結果をフィードバックすることもできる。

40

【0053】

偏光制御手段 117 は、例えば、偏光素子を含み、投影光学系 140 の瞳 142 とほぼ共役な位置に配置される。偏光制御手段 117 は、図 4 乃至図 6 で説明したように、瞳 142 に形成される有効光源の所定の領域の偏光状態を制御する。複数種類の偏光素子からなる偏光制御手段 117 が図示しないアクチュエータによって回転可能なターゲット上に設けられて主制御ユニット 150 がかかるアクチュエータの駆動を制御してもよい。

【0054】

50

オプティカルインテグレーター 118 はマスク 130 に照明される照明光を均一化し、本実施形態では、入射光の角度分布を位置分布に変換して出射する八エの目レンズとして構成される。八エの目レンズは、その入射面と出射面とがフーリエ変換の関係に維持され、ロッドレンズ（即ち、微小レンズ素子）を多数組み合わせることによって構成されている。但し、オプティカルインテグレーター 118 は八エの目レンズに限定されず、光学ロッド、回折格子、各組が直交するように配置された複数の組のシリンドリカルレンズアレイ板、マイクロレンズアレイなどを含む。

【0055】

オプティカルインテグレーター 118 の出射面の直後には、形状及び径が固定された開口絞り 120 が設けられている。開口絞り 120 は、投影光学系 140 の瞳 142 に形成される図 8 (a) 乃至図 8 (e) などに示される有効光源とほぼ共役な位置に配置され、開口絞りの 120 の開口形状は投影光学系 140 の瞳面 142 の有効光源形状に相当する。開口絞り 120 は有効光源の形状を制御する。

10

【0056】

開口絞り 120 は、照明条件に応じて絞り交換機構（アクチュエータ）121 によって、開口絞りが光路中に位置するように切り替え可能となっている。アクチュエータ 121 の駆動は、主制御ユニット 150 によって制御される駆動制御ユニット 151 によって制御される。なお、開口絞り 120 は、偏光制御手段 117 と一体に構成されてもよい。

【0057】

集光レンズ 122 はオプティカルインテグレーター 118 の射出面近傍の 2 次光源から射出し、開口絞り 120 を透過した複数の光束を集光し、ミラー 124 で反射させて被照斜面としてのマスクングブレード 126 面を均一にケラー照明によって照明する。

20

【0058】

マスクングブレード 126 は複数の可動遮光板より構成され、投影光学系 140 の有効面積に対応するほぼ矩形の任意の開口形状を有している。マスクングブレード 126 の開口部を透過した光束をマスク 130 の照明光として使用する。マスクングブレード 126 は開口幅を自動可変な絞りであり、転写領域を変更できる。また、露光装置 100 は、スキャン方向の転写領域を変更可能にする、上述のマスクングブレードと類似した構造のスキャンブレードを更に有してもよい。スキャンブレードも開口幅が自動可変できる絞りであり、マスク 12 面と光学的にほぼ共役な位置に設けられる。露光装置 100 は、これら二つの可変ブレードを用いることによって露光を行うショットの寸法に合わせて転写領域の寸法を設定することができる。

30

【0059】

結像レンズ 128 は、マスクングブレード 126 の開口形状をマスク 130 面上に照射して転写し、マスク 130 面上のパターンを図示しないウエハチャックに載置したウエハ 170 面上に縮小投影する。

【0060】

マスク 130 は、転写されるべきコンタクトホールパターンが形成され、マスクステージ 132 に支持及び駆動される。マスク 130 から発せられた回折光は投影光学系 140 を通りウエハ 170 に投影される。マスク 130 とウエハ 170 とは光学的に共役の関係に配置される。露光装置 100 はスキャナーであるため、マスク 130 とウエハ 170 を同期走査することによりマスク 130 のパターンをウエハ 170 上に転写する。なお、ステップアンドリピート方式の露光装置（即ち、「ステッパー」）であれば、マスク 130 とウエハ 170 とを静止させた状態で露光を行う。マスク 130 は、バイナリーマスク、ハーフトーンマスク、位相シフトマスクのいずれも使用することができる。

40

【0061】

マスクステージ 132 は、マスク 130 を支持して図示しない移動機構に接続されている。マスクステージ 132 及び投影光学系 140 は、例えば、床等に載置されたベースフレームにダンパ等を介して支持されるステージ鏡筒定盤上に設けられる。マスクステージ 132 は、当業界周知のいかなる構成をも適用できる。図示しない移動機構はリニアモーター

50

タなどで構成され、XY方向にマスクステージ132を駆動することでマスク130を移動することができる。露光装置100は、マスク200とウェハ170を主制御ユニット150によって同期した状態で走査する。

【0062】

投影光学系140は、マスク130に形成されたパターンを経た回折光をウェハ170上に結像する機能を有する。投影光学系300は、複数のレンズ素子のみからなる光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有する光学系（カタディオプトリック光学系）等を使用することができる。

【0063】

主制御ユニット150は、各部の駆動制御を行うが、特に、モニタ及び入力装置152の入力装置から入力される情報、照明装置110からの情報、図示しないメモリに格納された図7のフローチャートに従うプログラムに基づいて照明制御を行う。より詳細には、主制御ユニット150は、マスク130に貼付られたバーコードからマスクの種類（バイナリマスク、ハーフトーンマスク、位相シフトマスク）とコンタクトホールパターンの周期を読み取って図7に示すフローチャートに従って偏光制御手段117を制御して適切な偏光状態（即ち、動径方向照明、接線方向照明、無偏光照明、その他の偏光照明）と投影光学系140の瞳142に形成される有効光源の形状を設定する。もちろん、バーコードを介さず、オペレータがこの情報を主制御ユニット150に直接入力してもよいし、オペレータが図7に示すフローチャートに従って偏光状態を選択、設定してもよい。有効光源形状についても同様である。主制御ユニット150による制御情報やその他の情報はモニタ及び入力装置152のモニタに表示される

ウェハ170は、別の実施形態では液晶基板その他の被露光体に置換される。ウェハ170ではフォトレジスト172が基板174上に塗布されている。

【0064】

ウェハ170はウェハステージ176に支持される。ステージ176は、当業界で周知のいかなる構成をも適用することができるので、ここでは詳しい構造及び動作の説明は省略する。例えば、ステージ176はリニアモータを利用してXY方向にウェハ170を移動する。マスク130とウェハ170は、例えば、同期して走査され、マスクステージ132とウェハステージ176の位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。ステージ176は、例えば、ダンパを介して床等の上に支持されるステージ定盤上に設けられ、マスクステージ132及び投影光学系140は、例えば、鏡筒定盤は床等に載置されたベースフレーム上にダンパ等を介して支持される図示しない鏡筒定盤上に設けられる。

【0065】

液体180には、露光波長の透過率がよく、投影光学系に汚れを付着させず、レジストプロセスとのマッチングが良い物質が選択される。投影光学系140の最終面には液体180からの影響を保護するためにコーティングを施す。

【0066】

露光において、レーザー112から発せられた光束は、ビーム整形系114によりそのビーム形状が整形された後で、集光光学系116を介して、オプティカルインテグレーター118に導入される。一方、主制御ユニット150は、図7に示すフローチャートに従ってマスクパターンに適した照明条件としての開口形状と偏光状態を、偏光制御手段117の図示しないアクチュエータと開口絞り120のアクチュエータ121を駆動することによって設定する。オプティカルインテグレーター118は照明光を均一化し、開口絞り120は、図8(a)乃至図8(e)に示すような有効光源形状を設定する。かかる照明光は集光レンズ122、折り曲げミラー124、マスキングブレード126、結像レンズ128を介してマスク200を最適な照明条件で照明する。マスク130を通過した光束は投影光学系140によって、ウェハ170上に所定倍率で縮小投影される。

【0067】

投影光学系 140 のウェハ 170 への最終面は空気よりも屈折率の高い液体 180 に浸漬されているので、投影光学系 140 の NA は高くなり、ウェハ 170 に形成される解像度も微細になる。また、偏光制御により、レジスト 172 上にはコントラストの高い像が形成される。これにより、露光装置 100 はレジストへのパターン転写を高精度に行って高品位なデバイス（半導体素子、LCD 素子、撮像素子（CCD など）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【実施例 4】

【0068】

次に、図 12 及び図 13 を参照して、上述の露光装置 100 を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図 12 は、デバイス（IC や LSI などの半導体チップ、LCD、CCD 等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ 1（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ 2（マスク製作）では、設計した回路パターン形成に適したマスクを製作する。ステップ 3（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ 4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ 5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ 4 によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ 6（検査）では、ステップ 5 で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これ

10

20

【0069】

図 13 は、ステップ 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ 11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ 12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ 13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ 14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ 15（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ 16（露光）では、露光装置 100 によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ 17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ 18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ 19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位なデバイスを製造することができる。

30

【0070】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0071】

【図 1】本発明の一側面としての露光装置の概略ブロック図である。

【図 2】図 1 に示すマスクに適用可能なデンスコンタクトホールパターンの概略平面図である。

40

【図 3】図 2 に示すマスクがバイナリーマスク又はハーフトーンマスクの場合に、縦横パターンがもたらす瞳面上の回折光の分布を示す模式図である。

【図 4】図 4 (a) 及び図 4 (b) は、異なる偏光照明状態で図 2 に示すマスクを照明し、図 2 に示すマスクがバイナリーマスク又はハーフトーンマスクの場合に、デンスコンタクトホールパターンの周期が大きい場合に瞳面上の回折光の分布を示す模式図である。

【図 5】図 5 (a) 及び図 5 (b) は、異なる偏光照明状態で図 2 に示すマスクを照明し、図 2 に示すマスクがバイナリーマスク又はハーフトーンマスクの場合に、デンスコンタクトホールパターンの周期が小さい場合に瞳面上の回折光の分布を示す模式図である。

【図 6】図 6 (a) 及び図 6 (b) は、異なる偏光照明状態で図 2 に示すマスクを照明し

50

、図2に示すマスクが位相シフトマスクの場合に、デンスコンタクトホールパターンの周期が小さい場合に瞳面上の回折光の分布を示す模式図である。

【図7】本発明の一側面としての露光方法の偏光状態の設定を説明するためのフローチャートである。

【図8】図8(a)乃至図8(e)は、図1に示す露光装置に適用可能な有効光源形状の概略平面図である。

【図9】図9(a)及び図9(b)は、図7に示す方法の効果の説明するためのグラフである。

【図10】図10(a)乃至図10(d)は、図1に示すマスクに適用可能なコンタクトホールパターンの模式図である。

【図11】図11(a)及び図11(b)は、図7に示す方法の効果の説明するためのグラフである。

【図12】デバイス(ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等)の製造を説明するためのフローチャートである。

【図13】図12に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【符号の説明】

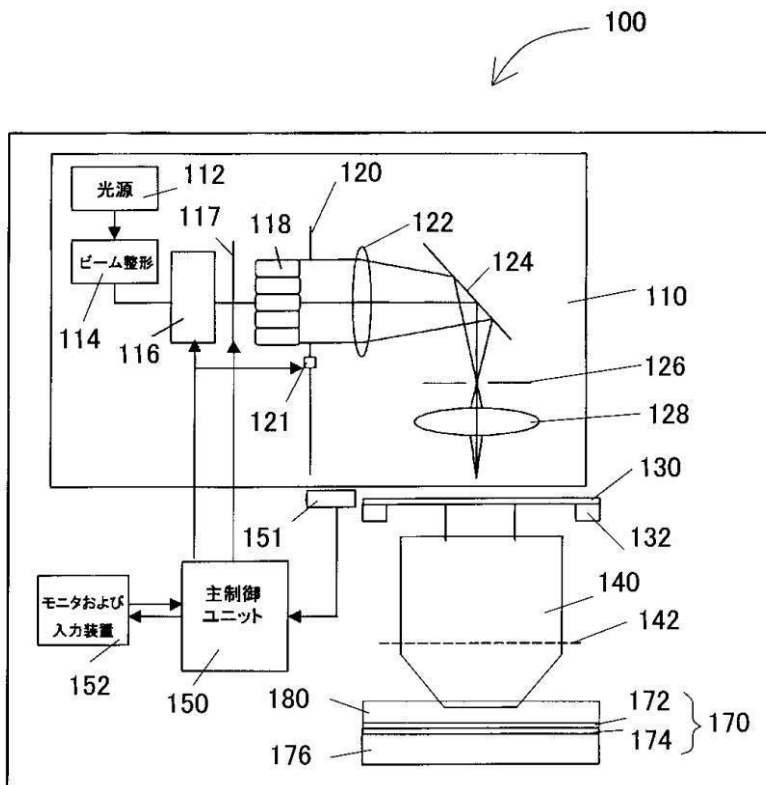
【0072】

- 100 露光装置
- 110 照明光学系
- 130 マスク
- 117 偏光制御手段
- 140 投影光学系
- 180 液体

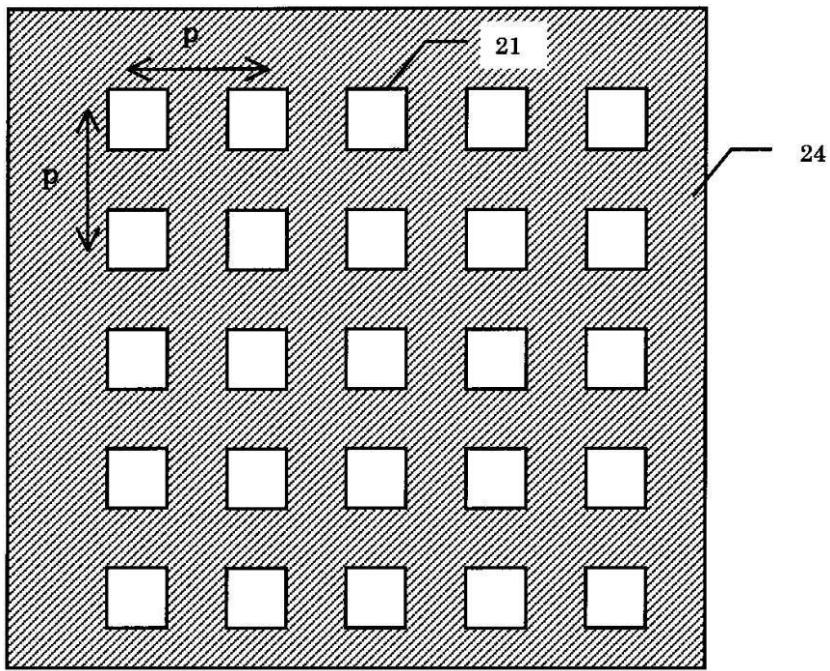
10

20

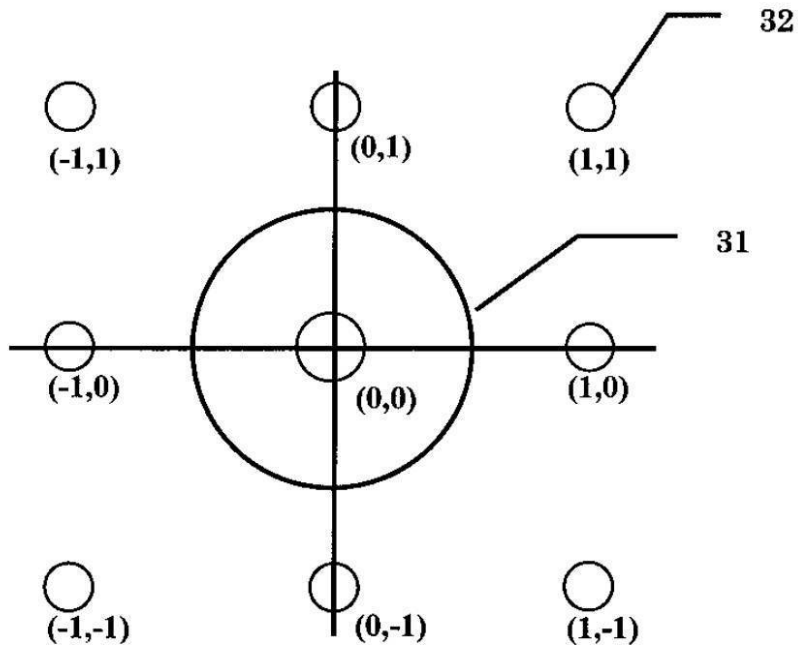
【図1】



【 図 2 】

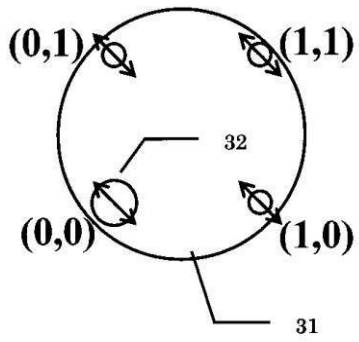


【 図 3 】

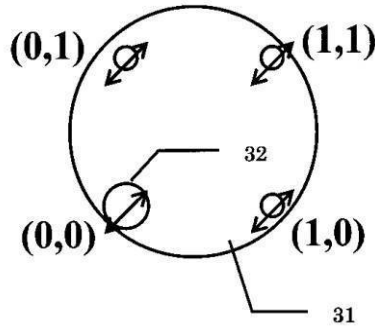


【 図 4 】

(a)

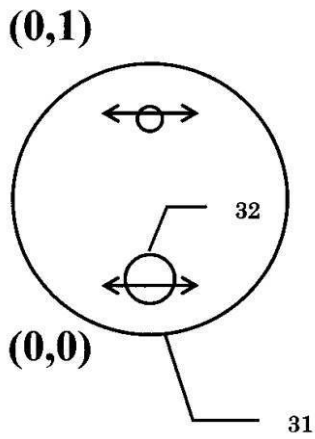


(b)

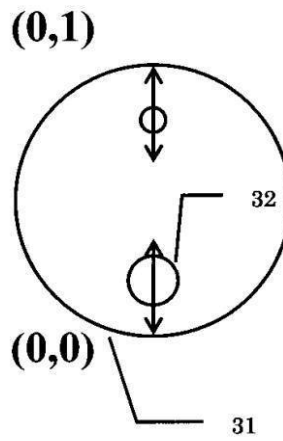


【 図 5 】

(a)

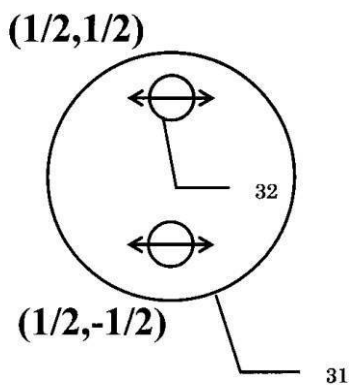


(b)

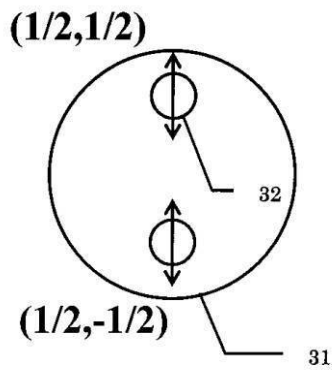


【 図 6 】

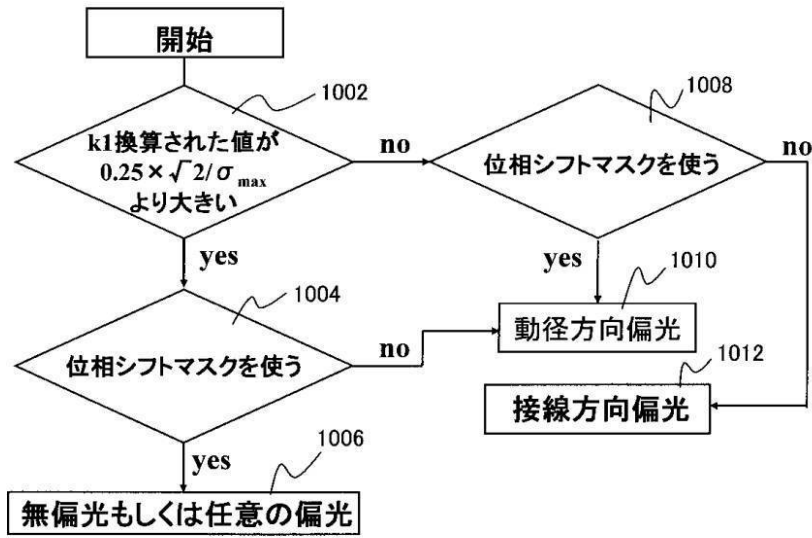
(a)



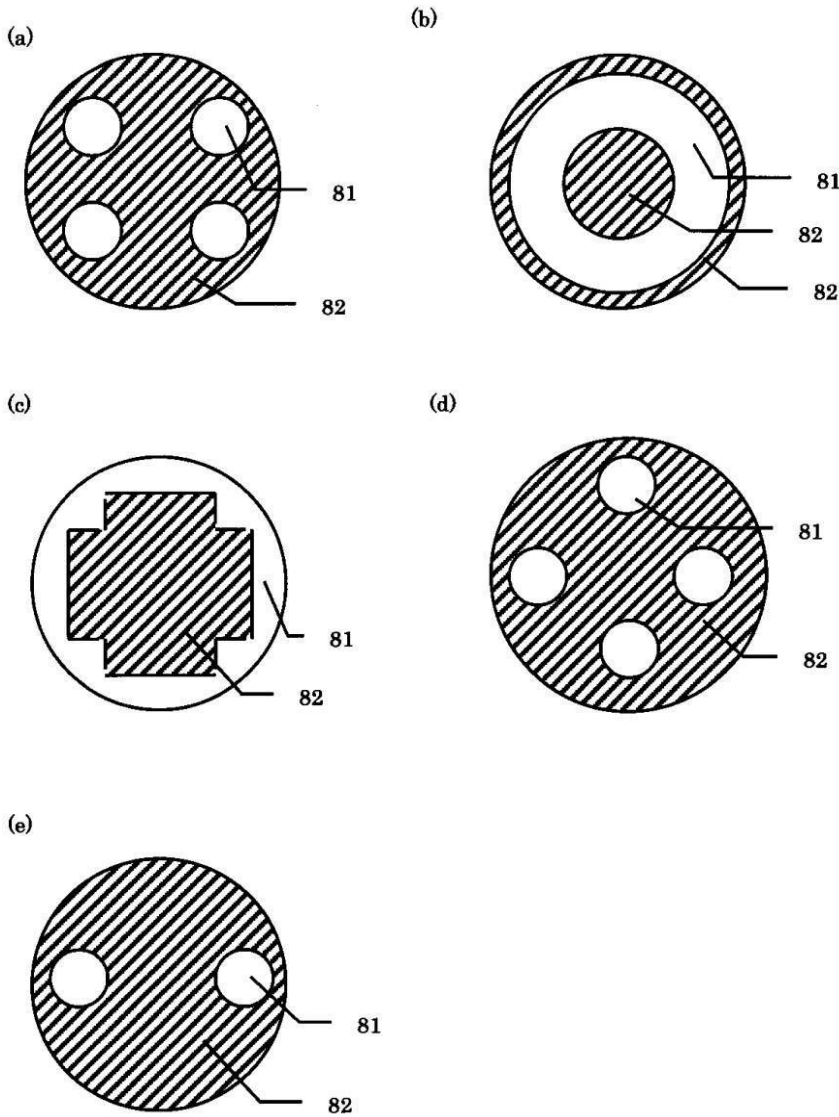
(b)



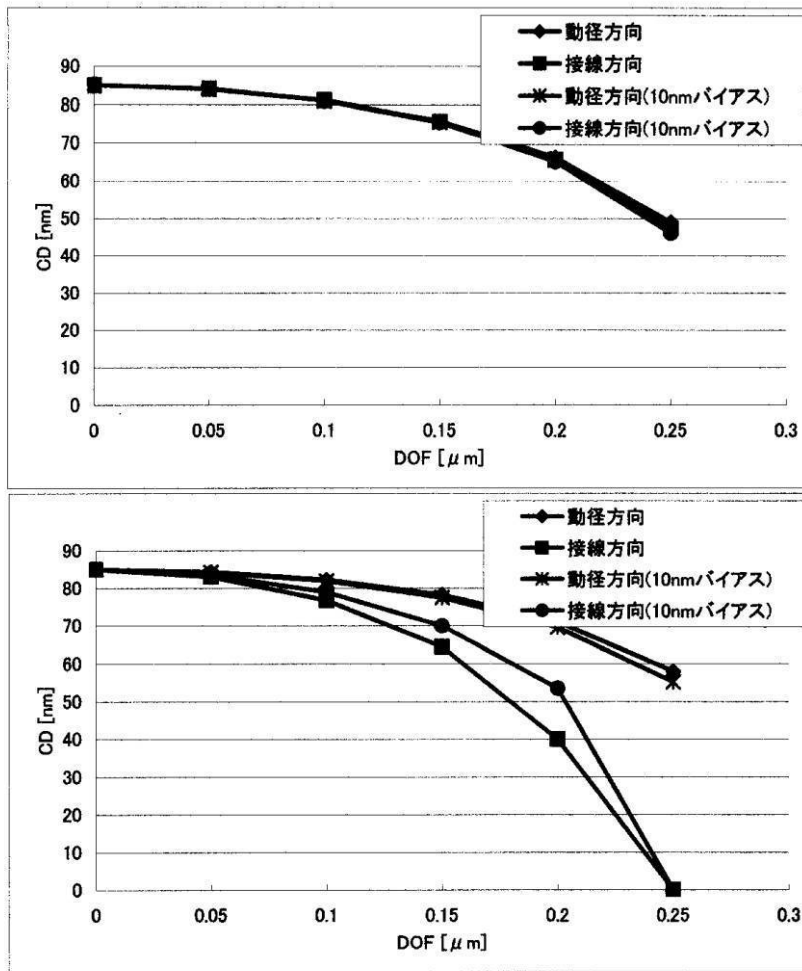
【 図 7 】



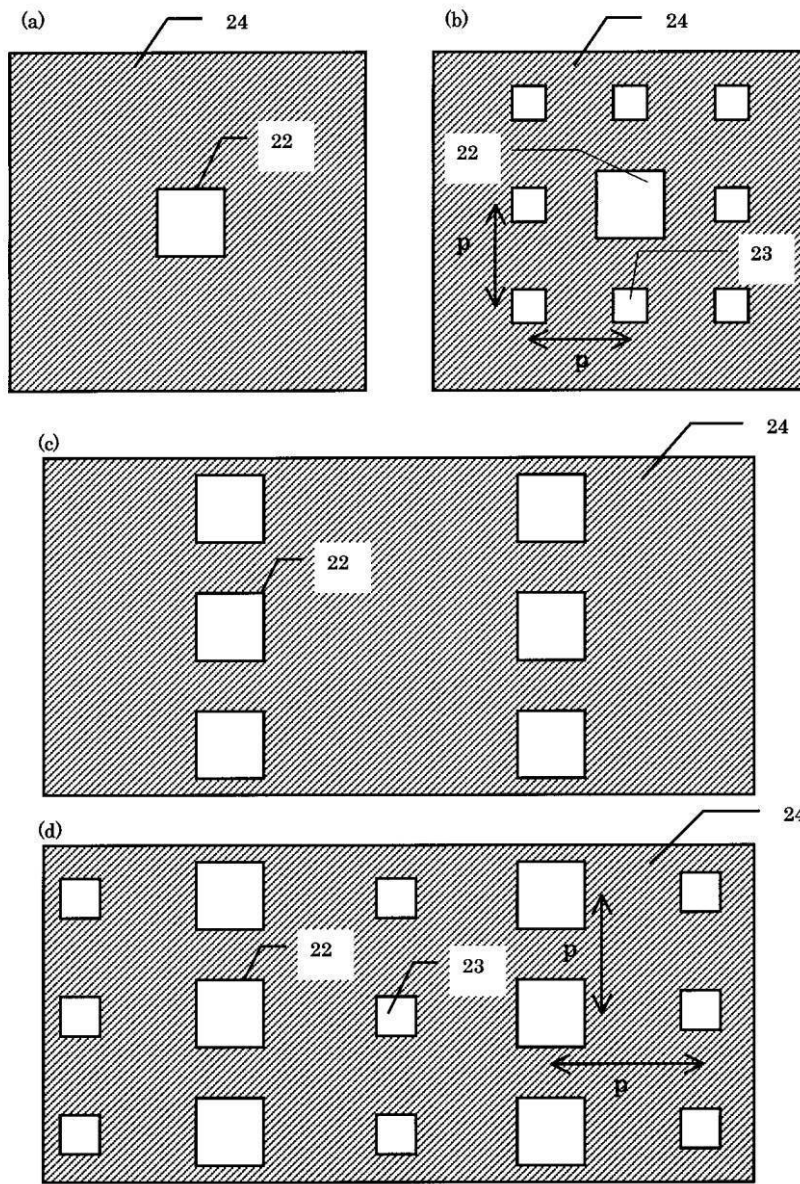
【 図 8 】



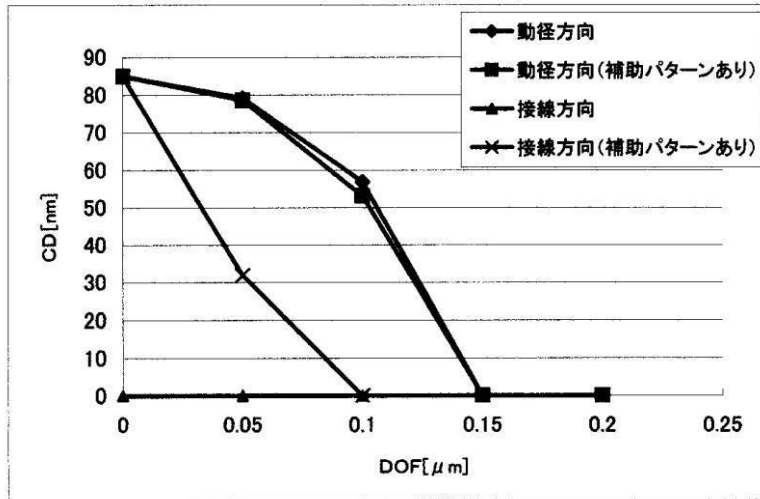
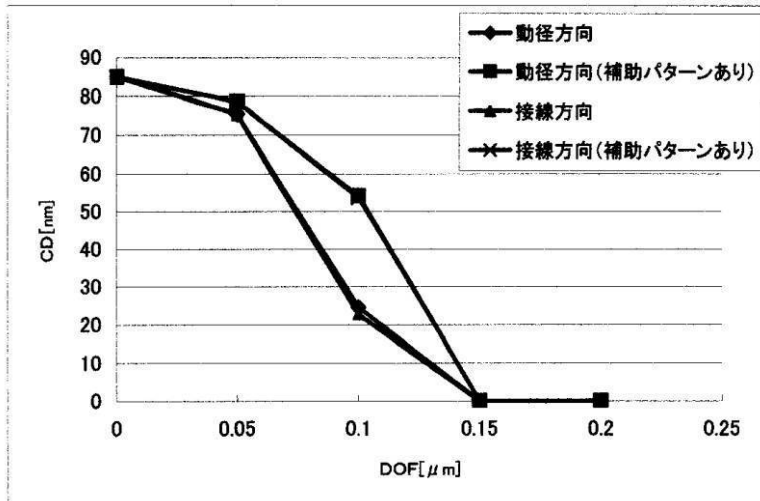
【図9】



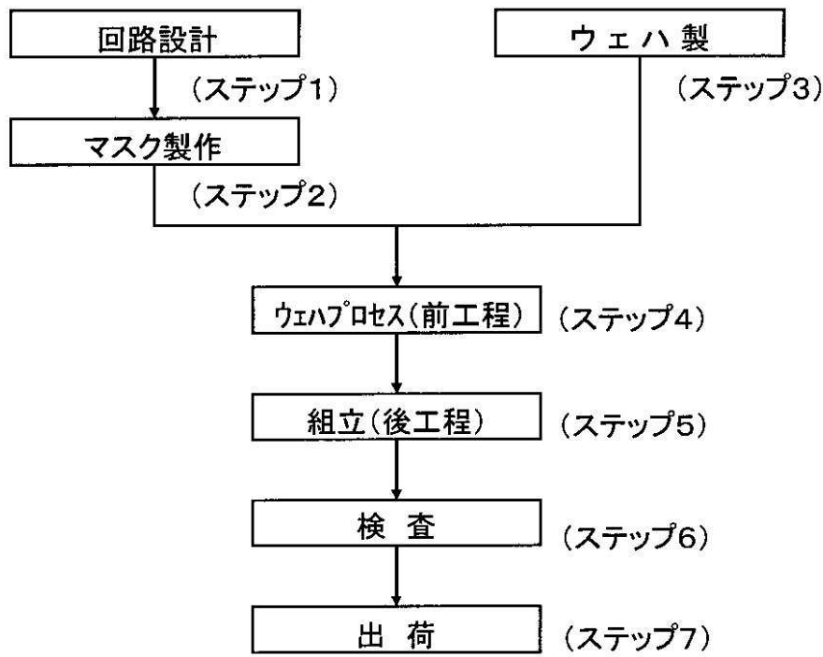
【 図 10 】



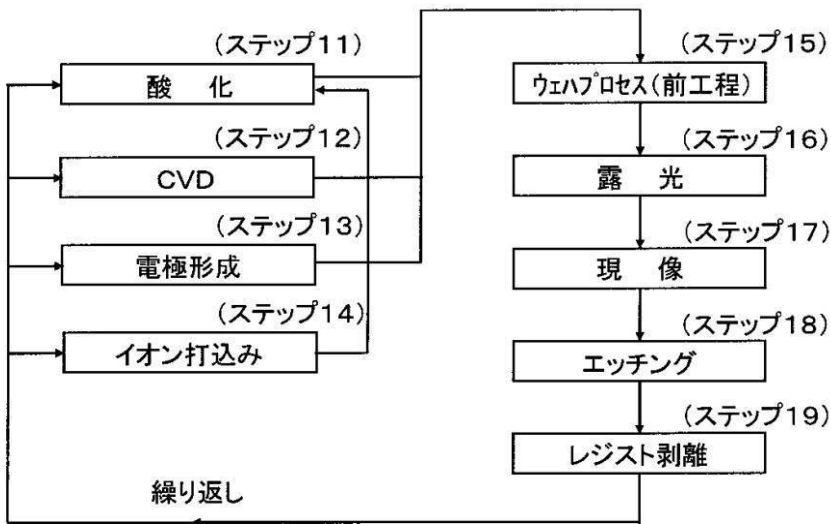
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-111678(JP,A)
国際公開第2004/077154(WO,A2)
国際公開第2004/090952(WO,A1)
特開平11-135402(JP,A)
特開2005-055878(JP,A)
特開2004-207709(JP,A)
特開2003-035822(JP,A)
国際公開第2006/077849(WO,A1)
国際公開第2005/124420(WO,A1)
国際公開第2006/016469(WO,A1)
国際公開第2005/076045(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G03F 7/20