

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5768124号  
(P5768124)

(45) 発行日 平成27年8月26日 (2015. 8. 26)

(24) 登録日 平成27年6月26日 (2015. 6. 26)

(51) Int. Cl.

F I

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

G O 2 B 13/24 (2006. 01)

G O 2 B 13/24

G O 2 B 17/08 (2006. 01)

G O 2 B 17/08 Z

請求項の数 8 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2013-501741 (P2013-501741)  
 (86) (22) 出願日 平成23年3月17日 (2011. 3. 17)  
 (65) 公表番号 特表2013-524497 (P2013-524497A)  
 (43) 公表日 平成25年6月17日 (2013. 6. 17)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2011/054084  
 (87) 国際公開番号 W02011/120821  
 (87) 国際公開日 平成23年10月6日 (2011. 10. 6)  
 審査請求日 平成25年7月5日 (2013. 7. 5)  
 (31) 優先権主張番号 102010029651.1  
 (32) 優先日 平成22年6月2日 (2010. 6. 2)  
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)  
 (31) 優先権主張番号 61/318, 880  
 (32) 優先日 平成22年3月30日 (2010. 3. 30)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 503263355  
 カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー  
 エムペーハー  
 ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オーバー  
 コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ  
 ーセ 2  
 (74) 代理人 100092093  
 弁理士 辻居 幸一  
 (74) 代理人 100082005  
 弁理士 熊倉 禎男  
 (74) 代理人 100067013  
 弁理士 大塚 文昭  
 (74) 代理人 100086771  
 弁理士 西島 孝喜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マスクによって生じる結像収差の補正を用いて投影露光装置を作動させる方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照明光でマスクを照明し、かつ異なる照明設定を生成するための照明系と、  
 対物系の物体平面に置かれた前記マスクを対物系の像平面に置かれたウェーハ上に結像  
 するための対物系と、

を含み、

前記対物系が、異なるマニピュレータ偏位を有するマニピュレータを含み、その手段に  
 よって該対物系の結像の波面を操作することができる、

マイクロリソグラフィのための投影露光装置を異なる構造方向に異なるピッチ及び／又  
 は異なる構造幅を有する構造を有するマスクに適應させる方法であって、

マスクの異なる構造方向に該マスクの複数の異なるピッチ及び／又は構造幅を定義する  
 段階と、

照明系内で照明設定又は自由形状照明を設定する段階と、

前記定義されたピッチ及び／又は定義された構造幅とは独立の波面収差に加えて、前記  
 定義されたピッチ及び／又は定義された構造幅によって生じる波面収差を低減するマニピ  
 ュレータ偏位のうちの1つを決定する段階と、

決定された前記マニピュレータ偏位にしたがってマニピュレータを偏位させる段階と、  
 を含み、

前記マスクの前記構造方向のうちの第1のものが定義され、

前記マスクの前記構造方向のうちの前記第1のものと異なる第2のものが定義され、

前記マスクの前記第 1 及び同じく前記第 2 の構造方向に存在するピッチ又は構造幅が定義され、

前記第 1 の構造方向及び同じく前記第 2 の構造方向に対する前記ピッチ又は前記構造幅の前記波面収差が決定され、

前記第 1 の構造方向の前記ピッチ又は前記構造幅の前記波面収差を低減する第 1 のマニピュレータ偏位  $M_1$  が決定され、

前記第 1 の構造方向に対する前記ピッチ又は前記構造幅の前記波面収差と前記第 2 の構造方向に対するものが異なる場合には、該第 2 の構造方向の該ピッチ又は該構造幅の該波面収差を低減する第 2 のマニピュレータ偏位  $M_2$  が決定され、該構造方向の相対重み付け

[ 0 , 1 ] が定義され、前記マニピュレータは、値  $M_1 + ( 1 - ) M_2$  だけ偏位され、

10

前記第 1 の構造方向に対する前記ピッチ又は前記構造幅の前記波面収差と前記第 2 の構造方向に対するものが異なる場合には、前記マニピュレータは、値  $M_1$  だけ偏位される、

ことを特徴とする方法。

#### 【請求項 2】

照明光でマスクを照明し、かつ異なる照明設定を生成するための照明系と、

対物系の物体平面に置かれたマスクを対物系の像平面に置かれたウェーハ上に結像するための対物系と、

を含み、

20

前記対物系が、異なるマニピュレータ偏位を有するマニピュレータを含み、その手段によって該対物系の結像の波面を操作することができる、

マイクロリソグラフィのための投影露光装置を作動させる方法であって、

異なる構造方向に異なるピッチ及び / 又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクを準備する段階と、

前記マスクの前記異なる構造方向に該マスクの複数の前記異なるピッチ及び / 又は構造幅を定義する段階と、

照明系内で照明設定又は自由形状照明を設定する段階と、

前記定義されたピッチ及び / 又は定義された構造幅とは独立の波面収差に加えて、前記定義されたピッチ及び / 又は定義された構造幅によって生じる波面収差を低減するマニピュレータ偏位のうちの 1 つを決定する段階と、

30

決定された前記マニピュレータ偏位にしたがってマニピュレータを偏位させる段階と、

を含み、

前記マスクの前記構造方向のうちの第 1 のものが定義され、

前記マスクの前記構造方向のうちの前記第 1 のものとは異なる第 2 のものが定義され、

前記マスクの前記第 1 及び同じく前記第 2 の構造方向に存在するピッチ又は構造幅が定義され、

前記第 1 の構造方向及び同じく前記第 2 の構造方向に対する前記ピッチ又は前記構造幅の前記波面収差が決定され、

前記第 1 の構造方向の前記ピッチ又は前記構造幅の前記波面収差を低減する第 1 のマニピュレータ偏位  $M_1$  が決定され、

40

前記第 1 の構造方向に対する前記ピッチ又は前記構造幅の前記波面収差と前記第 2 の構造方向に対するものが異なる場合には、該第 2 の構造方向の該ピッチ又は該構造幅の該波面収差を低減する第 2 のマニピュレータ偏位  $M_2$  が決定され、該構造方向の相対重み付け

[ 0 , 1 ] が定義され、前記マニピュレータは、値  $M_1 + ( 1 - ) M_2$  だけ偏位され、

前記第 1 の構造方向に対する前記ピッチ又は前記構造幅の前記波面収差と前記第 2 の構造方向に対するものが異なる場合には、前記マニピュレータは、値  $M_1$  だけ偏位される、

ことを特徴とする方法。

50

## 【請求項 3】

照明光でマスクを照明し、かつ異なる照明設定を生成するための照明系と、  
対物系の物体平面に置かれた前記マスクを対物系の像平面に置かれたウェーハ上に結像するための対物系と、

を含み、

前記対物系が、異なるマニピュレータ偏位を有するマニピュレータを含み、その手段によって該対物系の結像の波面を操作することができる、

マイクロリソグラフィのための投影露光装置を異なる構造方向に異なるピッチ及び／又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクに適応させる方法であって、

マスクの異なる構造方向に該マスクの複数の異なるピッチ及び／又は構造幅を定義する段階と、

照明系内で照明設定又は自由形状照明を設定する段階と、

前記定義されたピッチ及び／又は定義された構造幅とは独立の波面収差に加えて、前記定義されたピッチ及び／又は定義された構造幅によって生じる波面収差を低減するマニピュレータ偏位のうちの1つを決定する段階と、

決定された前記マニピュレータ偏位にしたがってマニピュレータを偏位させる段階と、

を含み、

前記マニピュレータが、前記対物系の瞳平面に配置され、

前記マニピュレータが、 $[0, 0.5]$  に対して瞳直径の 倍まで空間分解方式で前記波面の位相に影響を及ぼすことができ、

前記ピッチの第1のもの又は前記構造幅の第1のものが定義され、

前記第1のピッチ又は前記第1の構造幅のn次の回折次数が定義され、

前記ピッチの第2のもの又は前記構造幅の第2のものが定義され、

前記第2のピッチ又は前記第2の構造幅のm次の回折次数が定義され、

それにより、前記第1のピッチ又は前記第1の構造幅の前記n次の回折次数及び前記第2のピッチ又は前記第2の構造幅の前記m次の回折次数が、前記瞳直径の少なくとも 倍だけ互いから離間し、

前記第1のピッチ又は前記第1の構造幅の前記波面収差及び前記第2のピッチ又は前記第2の構造幅の前記波面収差が決定され、

前記第1のピッチ又は前記第1の構造幅の前記波面収差のそのn次の回折次数の場所での位相誤差を低減し、かつ前記瞳の他の場所での前記波面の前記位相を不変量に留める第1のマニピュレータ偏位M1が決定され、

前記第2のピッチ又は前記第2の構造幅の前記波面収差のそのm次の回折次数の場所での位相誤差を低減し、かつ前記瞳の他の場所での前記波面の前記位相を不変量に留める第2のマニピュレータ偏位M2が決定されることと、

前記マニピュレータは、値M1 + M2だけ偏位される、

ことを特徴とする方法。

## 【請求項 4】

照明光でマスクを照明し、かつ異なる照明設定を生成するための照明系と、  
対物系の物体平面に置かれたマスクを対物系の像平面に置かれたウェーハ上に結像するための対物系と、

を含み、

前記対物系が、異なるマニピュレータ偏位を有するマニピュレータを含み、その手段によって該対物系の結像の波面を操作することができる、

マイクロリソグラフィのための投影露光装置を作動させる方法であって、

異なる構造方向に異なるピッチ及び／又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクを準備する段階と、

前記マスクの前記異なる構造方向に該マスクの複数の前記異なるピッチ及び／又は構造幅を定義する段階と、

照明系内で照明設定又は自由形状照明を設定する段階と、

10

20

30

40

50

前記定義されたピッチ及び／又は定義された構造幅とは独立の波面収差に加えて、前記定義されたピッチ及び／又は定義された構造幅によって生じる波面収差を低減するマニピュレータ偏位のうちの１つを決定する段階と、

決定された前記マニピュレータ偏位にしたがってマニピュレータを偏位させる段階と、  
を含み、

前記マニピュレータが、前記対物系の瞳平面に配置され、

前記マニピュレータが、 $[0, 0.5]$  に対して瞳直径の 倍まで空間分解方式で前記波面の位相に影響を及ぼすことができ、

前記ピッチの第１のもの又は前記構造幅の第１のものが定義され、

前記第１のピッチ又は前記第１の構造幅の  $n$  次の回折次数が定義され、

前記ピッチの第２のもの又は前記構造幅の第２のものが定義され、

前記第２のピッチ又は前記第２の構造幅の  $m$  次の回折次数が定義され、

それにより、前記第１のピッチ又は前記第１の構造幅の前記  $n$  次の回折次数及び前記第２のピッチ又は前記第２の構造幅の前記  $m$  次の回折次数が、前記瞳直径の少なくとも 倍だけ互いから離間し、

前記第１のピッチ又は前記第１の構造幅の前記波面収差及び前記第２のピッチ又は前記第２の構造幅の前記波面収差が決定され、

前記第１のピッチ又は前記第１の構造幅の前記波面収差のその  $n$  次の回折次数の場所での位相誤差を低減し、かつ前記瞳の他の場所での前記波面の前記位相を不変量に留める第１のマニピュレータ偏位  $M_1$  が決定され、

前記第２のピッチ又は前記第２の構造幅の前記波面収差のその  $m$  次の回折次数の場所での位相誤差を低減し、かつ前記瞳の他の場所での前記波面の前記位相を不変量に留める第２のマニピュレータ偏位  $M_2$  が決定されることと、

前記マニピュレータは、値  $M_1 + M_2$  だけ偏位される、

ことを特徴とする方法。

#### 【請求項５】

異なる構造方向に異なるピッチ及び／又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクにマイクロリソグラフィのための投影露光装置を適応させるか又はそれに対して作動させる、請求項１又は請求項２に記載の方法であって、

照明設定の変化又は自由形状照明の変化及びマニピュレータ偏位によるマニピュレータの偏位により、異なるピッチ及び／又は異なる構造幅によって生じる波面収差が低減されるように、該マニピュレータ偏位に加えて該照明設定の該変化又は該自由形状照明の該変化が決定される、

ことを特徴とする方法。

#### 【請求項６】

異なる構造方向に異なるピッチ及び／又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクにマイクロリソグラフィのための投影露光装置を適応させるか又はそれに対して作動させる請求項１又は請求項２に記載の方法であって、

照明設定の変化又は自由形状照明の変化及びマニピュレータ偏位によるマニピュレータの偏位及び照明光の偏光の変化により、異なるピッチ及び／又は異なる構造幅によって生じる波面収差が低減されるように、該マニピュレータ偏位及び該照明設定の該変化又は該自由形状照明の該変化に加えて該照明光の該偏光の該変化が決定される、

ことを特徴とする方法。

#### 【請求項７】

前記対物系は、前記波面収差の視野依存性を補正する更に別のマニピュレータを含む、ことを特徴とする請求項１から請求項６のいずれか１項に記載の方法。

#### 【請求項８】

前記対物系は、該対物系の瞳平面に位置付けられない更に別のマニピュレータを含み、前記更に別のマニピュレータは、前記コントローラによって制御可能であり、

前記コントローラは、前記更に別のマニピュレータに対する偏位を１組の異なるピッチ

10

20

30

40

50

及び／又は構造幅に割り当てる割り当てテーブルを格納するためのメモリを含む、

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載のマイクロリソグラフィのための投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロリソグラフィのための投影露光装置を適応させる方法に関する。

【0002】

本発明は、更に、マイクロリソグラフィのための投影露光装置を作動させる方法に関する。

【0003】

最後に、本発明は、上述の 2 つの方法を実施するために装備されたマイクロリソグラフィのための投影露光装置に関する。

【背景技術】

【0004】

以下では簡単に投影露光装置と呼ぶマイクロリソグラフィのための投影露光装置は、一般的に、光源と、光源から放出された光線进行处理して照明光を形成する照明系と、一般的にレチクル又はマスクと呼ばれる投影される物体と、以下では簡単に対物系と呼ぶ物体視野を像視野上に結像する投影対物系と、上部に投影を受ける一般的にウェーハと呼ばれる更に別の物体とで構成される。マスク又はマスクの少なくとも一部は、物体視野内に置かれ、ウェーハ又はウェーハの少なくとも一部は、像視野内に置かれる。

【0005】

マスクが、物体視野の領域内に完全に収まり、ウェーハが、ウェーハと像視野との相対移動なしに露光される場合には、投影露光装置は、一般的にウェーハステップと呼ばれる。マスクの一部のみが物体視野の領域内に収まる場合には、ウェーハは、ウェーハと像視野との相対移動中に露光され、この場合、投影露光装置は、一般的にウェーハスキナと呼ばれる。レチクルとウェーハとの相対移動によって定義される空間座標軸は、一般的に走査方向と呼ばれる。

【0006】

ウェーハの露光中に、マスクは、照明系による照明光で照明される。照明の種類は、設定として指定される。コヒーレント照明と、0 と 1 の間の設定を有する非コヒーレント照明と、輪帯照明と、異なる照明開口角を有する X 又は Y の二重極設定と、四重極設定との間で区別がつけられる。現在の開発は、自由形状照明の方向に傾いており、例えば、「Yasushi Mizuno 他著「光源マスクの最適化のための照明光学系 (Illumination Optics for Source-Mask Optimization)」」、SPIE 会報 7640、764011 (2010 年)」を参照されたい。この場合、照明系の射出瞳内の照明光の強度をいずれかの望ましい方式で高い空間分解能を伴って設定することができる。

【0007】

マイクロリソグラフィ露光工程を用いて製造される集積回路の集積密度に対して、周期的構造は極めて重要なものである。これらの構造は、ピッチ及び構造幅によって表される。ウェーハ上で使用される構造幅は、露光されるレジストのレジスト閾値により、ある一定の程度まで自由に設定することができる。それとは対照的に、最小到達可能ピッチ  $Pitch_{min}$  は、照明光の波長及び対物系の物体側開口数によって与えられる。予め定められた設定であるを有するコヒーレント照明及び非コヒーレント照明に対して、次式が成り立つ。

$$Pitch_{min} = \frac{\lambda}{NA(1+\sigma)}$$

【0008】

結像されるマスク上の構造は、一般的に2つの好ましい方向を有する。従って、投影露光装置の結像品質の評価では、少なくともH（水平）構造の最大分解可能ピッチとV（垂直）構造の最大分解可能ピッチとの間で区別がつけられる。この場合、以下では、H構造は、一連のマスクの光透過領域と光不透過領域を意味し、これらの領域のうちの各々の1つは、走査方向に対して直角により大きい長さを有することを了解すべきである。

#### 【0009】

最終的に投影露光装置においてウェーハ上で到達可能な集積密度は、(a)対物系の焦点深度DOF、(b)像側開口数NA、及び(c)照明光の波長 というパラメータに実質的に依存する。投影露光装置の信頼性の高い作動のためには、望ましい臨界寸法CD、すなわち、ウェーハ上で発生する最も小さい構造幅、及び所定の開口数NAに対して、可能なデフォーカスFV（フォーカス変化）と照明光の照射量変化とで構成される可能な最も大きいいわゆるプロセスウィンドウを保証すべきである。この場合、NAとDOFとは反比例する。臨界寸法CDを更に小さくするために、一般的に開発は、開口数NAを高めることに向う傾向にある。しかし、開口数NAを高めることは、焦点深度DOFの低減、従って、プロセスウィンドウの縮小を招く。

#### 【0010】

従って、減少する臨界寸法CDの関連においてプロセスウィンドウを拡大するか又は少なくとも安定化するための解決法への要求が存在する。

#### 【0011】

現時点で最良のピッチ及びCDの分解能は、2つの部類の投影露光装置によって得られる。

#### 【0012】

第1の部類の投影露光装置は、偏光光を有する193nmの照明光波長のArFレーザを用いて作動され、液浸作動で、すなわち、ウェーハの前の最後の媒質として液体を用いて、又は乾式作動で、すなわち、ウェーハの前の最後の媒質として気体を用いて作動する。照明されるマスクをウェーハ上に結像する関連の対物系は、一般的に屈折対物系又は反射屈折対物系である。後者は、0.8又は1.3又はそれよりも多い像側開口数で作動される（一例として、US 2006013961A1、US 20090034061A1、又はUS 20080151365A1参照）。レチクルは、一般的にガラス基板であり、レチクルの構造は、この基板上で構造化されたCr、MoSi、又は他の材料から構成される層によって定義される。

#### 【0013】

第2の部類の投影露光装置は、13.5nmの照明光波長における軟X線放射線（技術用語でEUV、極紫外と呼ばれる）の光源を用いて作動される。技術用語では、いわゆるEUV系又はEUV投影露光装置とばれる。照明されるマスクをウェーハ上に結像する関連の対物系は、反射対物系である。反射対物系は、0.2から0.35、0.9又はそれよりも多い像側開口数で作動される（例えば、US 20050088760A1又はUS 200801700310A1参照）。一般的にレチクルは、13.5nmの波長を有する光の場合に、交替するMoとSiとの積層体を通じて非常に反射性が高くなるULE（登録商標）又はZerodur（登録商標）のようなガラス基板であり、更にレチクルの構造は、構造化されたCr層、又はそうでなければTaN又は他の材料から構成される構造化された層によって定義される。構造化された層の厚みは、一般的に50~70nmである。

#### 【0014】

第1の部類の投影露光装置では、「Ruoff他著「トポグラフィマスクによって生じる偏光誘導非点収差（Polarization-induced astigmatism caused by topographic masks）」、SPIE会報6730、67301T（2007年）」に説明されている効果が発生する。それにより、照明光のTM偏光成分及びTE偏光成分は、それぞれ、H構造及びV構造の異なるフォーカスの位置を招く。従って、マスクの偏光照明及びその後の対物系による結像の場合に、

波面収差及びこの場合には特に非点収差  $Z_5$ 、 $Z_6$  が発生する。非点収差項  $Z_5$ 、 $Z_6$  は、フリンジ表記に従う指数を有するゼルニケ多項式であり、「Singer 他編「光学系ハンドブック (Handbook of Optical Systems)」、Wiley-Vch、2005 年」を参照されたい。これは、この場合、偏光照明と関連して光に対して 3 次元で出現するマスクにおける照明光の回折に対するキルヒホッフ近似の失敗に実質的に関連付けられる。上述の文献は、これらの効果を考慮する一般化されたキルヒホッフ近似について述べている。技術用語では精密 (rigorous) と呼ばれるこれらの効果は、構造幅と、例えば、Cr のようなマスクの構造を定義する材料と、マスクの領域内の照明光のビーム経路の方向におけるこれらの構造の厚みとに依存する。

#### 【0015】

従って、この第 1 の部類の投影露光装置では、マスクの精密効果によって生じる（同義語 = 引き起こされる）波面の構造依存又はピッチ依存の収差を補正するための解決法の必要性があり、特に、マスクによって生じる構造依存及びピッチ依存の非点収差の補正の必要性がある。

#### 【0016】

この場合、以下では、構造、構造幅、又はピッチによって生じる波面収差、又は誘導波面収差は、マスクのこの構造化だけによって生じる収差を意味する。別の言い方をすると、この収差は、既に存在する対物系の他の収差に加えて生じる収差である。ピッチ又は構造幅の誘導波面収差の代わりに、単にピッチ又は構造幅の波面収差とも呼ぶ。

#### 【0017】

第 2 の部類の投影露光装置では、マスクの照明は反射で発生する。従って、マスクのいずれのテレセントリック照明も可能ではなく、これは、そうでなければ照明系と対物系とが障害物になるからである。第 1 の部類における投影露光装置の場合の主光線角度 CRA は、テレセントリック光線からの主光線のずれである。この第 2 の部類における投影露光装置の場合には、主光線角度 CRA は、対物系の物体平面に対する仮想直交軸に対する照明光の主光線の角度である。US 20050088760A1 に示されている投影露光装置の場合には、0.33 という像側開口数 NA の場合に 6° の CRA が使用される。US 200801700310A1 に示されている投影露光装置の場合には、0.5 という像側開口数 NA の場合に 15° の CRA が使用される。一般的に、使用される CRA は、対物系の開口数 NA と共に増大する。

#### 【0018】

以下に説明する効果に対しては、「Erdmann 他著「EUV マスクに関するマスク回折分析及び最適化 (Mask diffraction analysis and optimization for EUV masks)」、SPIE - 光工学の国際学会、2009 会報、第 7271 巻」も参照されたい。

#### 【0019】

以下により詳細に例示するが、0° とは異なる CRA は、対物系の物体平面に対して直交するマスク構造の長さによって反射照明光の遮蔽をもたらす。従って、この場合、照明系とマスクと対物系との幾何学的な 3 次元配列によって決定されるマスクの純粋にトポグラフィ的な効果が存在する。しかし、第 1 の部類の投影露光装置とは対照的に、この効果は、非回折照明光にも影響を及ぼす。

#### 【0020】

マスク上で構造化された層の厚みは、厳密には EUV 投影露光装置に対してはこの効果をもはや無視することができない。なぜならば、 $\lambda = 13.5 \text{ nm}$  の照明光波長の数個分であり、従って、 $\lambda = 193 \text{ nm}$  の波長で作動される第 1 の部類の投影露光装置とは対照的に、陰付けが関係する可能性があるからである。

#### 【0021】

非回折照明光だけに注意すると、照明系及び対物系の設計においてマスク上への CRA の入射平面が、H 構造の個々の構造の延伸領域に対して直交すると仮定した場合に、この遮蔽は、V 構造よりも H 構造においてより大きい範囲で出現する。後に例示することにな

10

20

30

40

50

るが、マスク上で同一の構造幅を仮定した場合、ウェーハ上のH構造の構造幅とV構造の構造幅との間の差の大きさは、対物系の物体平面内では物体点と見なされるこれらの構造の位置に依存する。従って、H構造は、対物系の物体平面内でのその位置に基づいて、一般的に広めに結像される。更に、H構造では、波面の視野依存傾斜 $Z_2$ 、 $Z_3$ に対応する物体点の位置に依存する像オフセットが生じる。波面全体が分析される場合には、収差として視野依存歪曲項 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、デフォーカス $Z_4$ 、及び非点収差 $Z_5$ 、 $Z_6$ が生じる。これらの収差には、コマ収差 $Z_7$ 、 $Z_8$ 、及び2次非点収差 $Z_{12}$ 、 $Z_{13}$ のようなより高次の波面収差が付随する。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0022】

【特許文献1】US 2006013961A1

【特許文献2】US 2009003406A1

【特許文献3】US 2008015136A1

【特許文献4】US 2005008876A1

【特許文献5】US 2008017003A1

【特許文献6】EP 678768A2

【特許文献7】EP 1670041A1

【特許文献8】WO 2008037496A2

【特許文献9】US 2003023491A1

20

【特許文献10】US 2009025703A1

【特許文献11】WO 2009026970A1

【特許文献12】EP 851304A2

【特許文献13】US 2003006326A1

【特許文献14】US 6191898B1

【特許文献15】WO 2007062794A1

【特許文献16】DE 102005034991A1

【特許文献17】US 2007016520A1

【特許文献18】WO 2009100856A1

【特許文献19】DE 102009016A1

30

【特許文献20】WO 2009034109A2

【非特許文献】

【0023】

【非特許文献1】Yasushi Mizuno他著「光源マスクの最適化のための照明光学系 (Illumination Optics for Source-Mask Optimization)」、SPIE会報7640、764011(2010年)

【非特許文献2】Ruoff他著「トポグラフィマスクによって生じる偏光誘導非点収差 (Polarization-induced astigmatism caused by topographic masks)」、SPIE会報6730、67301T(2007年)

40

【非特許文献3】Singer他編「光学系ハンドブック (Handbook of Optical Systems)」、Wiley-Vch、2005年

【非特許文献4】Erdmann他著「EUVマスクに関するマスク回折分析及び最適化 (Mask diffraction analysis and optimization for EUV masks)」、SPIE - 光工学の国際学会、2009会報、第7271巻

【非特許文献5】「Yasushi Mizuno他著「光源マスクの最適化のための照明光学系 (Illumination Optics for Source-Mask Optimization)」、SPIE会報7640、754011(2010年)

【非特許文献6】Alfred Kwok-Kit Wong著「光学リソグラフィにお

50



ける分解能改善技術 (Resolution Enhancement Techniques in Optical Lithography)」、SPIE 出版、米国ワシントン州ベリンハム、2001年

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0024】

従って、この第2の部類の投影露光装置においても、マスクの精密効果によって生じる波面の構造幅依存及びピッチ依存の収差を補正するための解決法の必要性があり、特に、マスクによって生じる構造幅依存及びピッチ依存の非点収差、物体点の位置に依存する構造幅依存及びピッチ依存の歪曲、並びに構造幅依存及びピッチ依存のフォーカスの位置の補正の必要性がある。

10

【課題を解決するための手段】

【0025】

本発明は、第1の手法（以下では「マスク波面最適化」MWOで表す）において、上述の効果を補償するために、上述の2つの部類の投影露光装置に対して波面操作の可能性を与えるか、又は既存の波面操作の可能性を使用することを提案する。これらの操作は、マスクの構造に関するアプリアリな情報、特に、マスクの構造方向、ピッチ、及び構造幅を考慮することを意図するものである。この場合、波面の操作は、補正目的に実施される他の波面操作に加えて実施されるものを意味すると理解される。

【0026】

20

一般的に投影露光装置には、装置の機能がその寿命にわたって維持されることを保証する操作可能性が備えられる。これは、例えば、対物系の光学要素への照明光の印加が、これらの光学要素の加熱及び劣化を招き、従って、これらの光学要素の光学特性の変化を招くことによる。一般的に光学特性のこの変化は、対物系の結像性能の劣化、従って、投影露光装置の劣化を招く。それによって特にプロセスウィンドウが縮小する。

【0027】

従って、対物系の光学要素のうちの一部には、投影光学系の他の光学要素に対するこれらの光学要素の相対位置が、又はこれらの光学要素の形状、屈折光学要素の場合はこれらの光学要素の屈折率かのいずれかを広域的又は局所的に変更することができる操作可能性が備えられる。

30

【0028】

一例として、EP 678768A2又はEP 1670041A1では、レンズが、その元の効果から逸脱する光学効果を提供するようにレンズの形状が変更されるか、又は熱の印加によってこのレンズの屈折率が変更される。WO 2008037496A2は、トルクを導入することにより、より高いラジアル次数を満たすレンズの形状変更を提供することが同様に可能であることを示している。ミラーの場合には、このミラーの照明光から外れた側に対する力の作用により、ミラーのほぼ任意の形状変更を提供することができる（例えば、US 20030234918A1参照）。US 20090257032A1及びWO 2009026970A1は、光学要素内で電流が印加される導体線路を用いて、光学要素、特に、石英ガラスから構成される平面板の温度、従って、屈折率、及び形状を局所的にもたらすマニピュレータを提供している。

40

【0029】

EP 851304A2は、予め定められた互いに対する空間的なゼロ位置では光学効果を呈さないが、互いに対する平行相対移動の場合に、予め計算された光学効果を提供する非球面化された平面板の対、いわゆるアルバレス板を提供している。更に、US 20030063268A1、及びUS 6191898B1は、光学要素が、マニピュレータによって光軸の方向又は光軸に対して直角に変位し、それによって投影光学系に属する追加の光学要素に対するこの相対移動による光学効果が確立されるようにする投影光学系内の光学要素の操作を開示している。最後に、WO 2007062794A1は、投影光学系が光軸を含む投影光学系の光学要素の操作を開示している。この場合、光学要素

50

は、光軸方向の変位、光軸に対して垂直な2つの変位、及び光軸に対応しない軸の回りの2つの回転移動という5つの空間自由度で移動される。

【0030】

上述のマニピュレータのうちの1つが影響を及ぼす光学要素が、対物系の瞳平面に置かれる場合には、像視野の各視野点の波面に対するこのマニピュレータの効果は同一である。そうではない場合、すなわち、この光学要素が、対物系の瞳平面に置けない場合には、波面に対するこの効果は、一般的に視野依存のものであり、すなわち、マニピュレータによって生じる波面変化は、着目している視野点に依存する。従って、そのような場合には、このマニピュレータを視野依存方式で作用するマニピュレータと記す。特に、対物系の瞳平面に配置されない光学要素に対して作用する上述のマニピュレータのうちの1つを使用すると、対物系の波面収差の視野依存性を補正することができる。

10

【0031】

本発明は、波面の操作に加えて、第2の手法（以下では「光源マスク波面最適化」SMWOで表す）において設定、すなわち、マスクを照明する照明光の特性を操作することを提案する。これらの操作もまた、マスクの構造に関するアприオリな情報、特に、マスクの構造方向、ピッチ、及び構造幅を考慮することを意図するものである。この場合、設定操作は、照明系によって既に実施されている可能性がある照明光の設定に加えての変更として具現化されるものを意味すると理解される。

【0032】

投影露光装置の照明系は、環状設定（例えば、DE 102005034991A1参照）、二重極設定又は四重極設定、又はUS 20070165202A1、又は自由形状照明（例えば、WO 2009100856A1又は「Yasushi Mizuno 他著「光源マスクの最適化のための照明光学系（Illumination Optics for Source-Mask Optimization）」、SPIE会報7640、754011（2010年）」参照）を可能にする操作可能性を備えることができる。

20

【0033】

本発明は、波面及び設定の操作に加えて、第3の手法（以下では「光源マスク偏光波面最適化」SMPOで表す）において、更に照明光の偏光を操作することを提案する。これらの操作もまた、マスクの構造に関するアприオリな情報、特に、マスクの構造方向、ピッチ、及び構造幅を考慮することを意図するものである。この場合、偏光操作は、照明によって与えられる可能性がある照明光の偏光に加えて実施されるものを意味すると理解される。

30

【0034】

投影露光装置の照明系は、照明光の偏光に影響を及ぼす操作可能性を備えることができる（例えば、DE 102009016A1又はWO 2009034109A2参照）。

【0035】

以下に続く本発明の構成は、本発明を限定するものと見なすべきではない。特に、これらの構成は、上述の2つの部類のいずれにも対応しない投影露光装置に適用することができる。この場合、精密マスク効果は、上記に詳細に解説した2つの部類の投影露光装置におけるものよりも有意ではないが、それでも同じく存在はする。更に、本発明は、上述の2つの部類の中間に位置する偏光照明を用いたEUV系にも適用される。

40

【0036】

以下に続く本発明の構成はMWOであり、これらの構成は、簡略化の目的で番号を振り、表記した考案(formulation)であることを理解すべきである。

【0037】

第1の考案。

- 照明光でマスクを照明し、異なる照明設定を生成するための照明系と、
- 対物系の物体平面に置かれたマスクを対物系の像平面に置かれたウェーハ上に結像す

50

るための対物系と、  
を含み、

- 対物系が、異なるマニピュレータ偏位を有するマニピュレータを含み、マニピュレータを用いて対物系の結像の波面を操作することができる、

マイクロリソグラフィのための投影露光装置を異なる構造方向に異なるピッチ及び／又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクに適應させる方法であって、

- マスクの異なる構造方向にマスクの複数の異なるピッチ及び／又は構造幅を定義する段階と、

- 照明系内で照明設定又は自由形状照明を設定する段階と、

- 定義されたピッチ及び／又は定義された構造幅によって生じる波面収差を低減するマニピュレータ偏位のうちの１つを決定する段階と、

- マニピュレータを決定されたマニピュレータ偏位に偏位させる段階と、

を特徴とする方法。

#### 【 0 0 3 8 】

第１の考案による方法を使用することにより、対物系のマニピュレータは、例えば、対物系の光学要素の位置公差、面公差、又は材料公差により、又は対物系の光学要素の加熱によって生じ、従って、照明されるマスク上の構造とは基本的に独立した波面収差を補正するだけではないように偏位される。マニピュレータの偏位における重ね合わせ原理により、少なくともこの１つのマニピュレータについて、その偏位の一部は、精密マスク効果を補償するのに使用される。それによって投影露光装置は、マスク形式又はマスクの部類と整合される。ピッチ及び／又は構造幅の定義は、リソグラフィ工程に対して特に重要なものとして分類される構造に基づいて行われる。これらの構造は、特に小さい焦点深度ＤＯＦを有する構造若しくは集積回路の機能に対して特に重要な幾何学形状を有する構造とすることができ、又はこれらの２つの基準の組合せは、ピッチ及び／又は構造幅を定義するのに使用される。

#### 【 0 0 3 9 】

第２の考案。

- 照明光でマスクを照明し、異なる照明設定を生成するための照明系と、

- 対物系の物体平面に置かれたマスクを対物系の像平面に置かれたウェーハ上に結像するための対物系と、

を含み、

- 対物系が、異なるマニピュレータ偏位を有するマニピュレータを含み、マニピュレータを用いて対物系の結像の波面を操作することができる、

マイクロリソグラフィのための投影露光装置を作動させる方法であって、

- 異なる構造方向に異なるピッチ及び／又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクを準備する段階と、

- マスクの異なる構造方向にマスクの複数の異なるピッチ及び／又は構造幅を定義する段階と、

- 照明系内で照明設定又は自由形状照明を設定する段階と、

- 定義されたピッチ及び／又は定義された構造幅によって生じる波面収差を低減するマニピュレータ偏位のうちの１つを決定する段階と、

- マニピュレータを決定されたマニピュレータ偏位に偏位させる段階と、

を特徴とする方法。

#### 【 0 0 4 0 】

第２の考案による方法を使用することにより、現在照明されるべきマスクとアプリアリに整合されていない投影露光装置は、第１の考案の場合と同様に現在照明されるべきマスクと整合される。

#### 【 0 0 4 1 】

第３の考案。

- 照明光でマスクを照明し、異なる照明設定を生成するための照明系と、

- 対物系の物体平面に置かれたマスクを対物系の像平面に置かれたウェーハ上に結像するための対物系と、

を含み、

- 対物系が、異なるマニピュレータ偏位を有するマニピュレータを含み、マニピュレータを用いて対物系の結像の波面を操作することができる、

マイクロリソグラフィのための投影露光装置を異なる構造方向に異なるピッチ及び／又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクに適應させる方法であって、

- マスクを準備する段階と、

- 照明系内で照明設定又は自由形状照明を設定する段階と、

- マスクによって生じた波面収差を決定する段階と、

- 決定された波面収差を低減するマニピュレータ偏位のうちの１つを決定する段階と、

- マニピュレータを決定されたマニピュレータ偏位に偏位させる段階と、

を特徴とする方法。

#### 【 0 0 4 2 】

第３の考案による方法は、このマニピュレータによって補償するように意図する波面収差を有する個々又は少数の重要なピッチ及び／又は構造幅を決定する段階を含まない。代替的に、マスクによって生じる波面収差全体が、このマニピュレータによって低減される。この場合、マスクによって生じる波面収差の特定は、理想的な対物系による仮定上の理想的な結像の下でのマスクの完全なシミュレーションによって実施される。この目的のために、そのようなシミュレーションを計算するのに使用することができる例えば B r i o n からの T a c h y o n (登録商標) プラットフォームを使用することができる。

#### 【 0 0 4 3 】

第４の考案。

第１の考案又は第２の考案による方法であって、

- マスクの構造方向のうちの第１のものが定義され、

- 第１の構造方向の異なるピッチのうちの２つの異なるピッチ P １ 及び P ２ 又は異なる構造幅のうちの２つの異なる構造幅 S １ 及び S ２ が定義され、

- 異なるピッチ P １ 及び P ２ 又は異なる構造幅 S １ 及び S ２ の波面収差が決定され、

- ピッチ P １ 又は構造幅 S １ の波面収差を低減する第１のマニピュレータ偏位 M １ が決定され、

- ピッチ P １ の波面収差とピッチ P ２ の波面収差又は構造幅 S １ の波面収差と構造幅 S ２ の波面収差とがそれぞれ異なる場合に、ピッチ P ２ 又は構造幅 S ２ の波面収差を低減する第２のマニピュレータ偏位 M ２ が決定され、P ２ に対するピッチ P １ の相対重み付け

[ 0 , 1 ]、又は構造幅 S １ と S ２ との相対重み付け [ 0 , 1 ] が定義され、マニピュレータは、値  $M 1 + ( 1 - ) M 2$  だけ偏位され、

- ピッチ P １ の波面収差とピッチ P ２ の波面収差又は構造幅 S １ の波面収差と構造幅 S ２ の波面収差とがそれぞれ異なる場合には、マニピュレータは、値 M １ だけ偏位される、

ことを特徴とする方法。

#### 【 0 0 4 4 】

第４の考案による方法を使用することにより、ピッチ又は構造幅に依存して波面の補正が行われる。重み付け を使用することにより、最終的に製造される集積回路の機能に対して重要なピッチ又は重要な構造幅の波面を可能な限り良好に補正することができる。波面の構造非依存補正と比較して、最終的にこの補正は、集積回路の製造においてより少ない不合格品しかもたらさない。

#### 【 0 0 4 5 】

第５の考案。

第１の考案又は第２の考案による方法であって、

- マスクの構造方向のうちの第１のものが定義され、

- マスクの構造方向のうちの第１のものとは異なる第２のものが定義され、

- マスクの第 1、及び第 2 の構造方向に存在するピッチ又は構造幅が定義され、
  - 第 1 の構造方向、及び第 2 の構造方向におけるピッチ又は構造幅の波面収差が決定され、
  - 第 1 の構造方向のピッチ又は構造幅の波面収差を低減する第 1 のマニピュレータ偏位  $M_1$  が決定され、
  - 第 1 の構造方向におけるピッチ又は構造幅の波面収差と第 2 の構造方向におけるピッチ又は構造幅の波面収差とが異なる場合に、第 2 の構造方向のピッチ又は構造幅の波面収差を低減する第 2 のマニピュレータ偏位  $M_2$  が決定され、構造方向の相対重み付け  $[0, 1]$  が定義され、マニピュレータは、値  $M_1 + (1 - ) M_2$  だけ偏位され、
  - 第 1 の構造方向におけるピッチ又は構造幅の波面収差と第 2 の構造方向におけるピッチ又は構造幅の波面収差とが異なる場合に、マニピュレータは、値  $M_1$  だけ偏位される、
- ことを特徴とする方法。

## 【0046】

第 5 の考案による方法を使用することにより、構造方向に依存して波面の補正が行われる。重み付けを使用することにより、最終的に製造される集積回路の機能に対して重要な構造方向に波面を可能な限り良好に補正することができる。波面の構造方向非依存補正と比較すると、この補正は、集積回路の製造においてより少ない不合格品しかもたらない。

## 【0047】

第 6 の考案。

第 1 の考案又は第 2 の考案による方法であって、

- マニピュレータが、対物系の瞳平面に配置され、
  - マニピュレータが、 $[0, 0.5]$  において瞳直径の 倍まで空間分解方式で波面の位相に影響を及ぼすことができ、
  - ピッチの第 1 のもの又は構造幅の第 1 のものが決定され、
  - 第 1 のピッチ又は第 1 の構造幅の  $n$  次の回折次数が決定され、
  - ピッチの第 2 のもの又は構造幅の第 2 のものが決定され、
  - 第 2 のピッチ又は第 2 の構造幅の  $m$  次の回折次数が決定され、
  - それにより、第 1 のピッチ又は第 1 の構造幅の  $n$  次の回折次数及び第 2 のピッチ又は第 2 の構造幅の  $m$  次の回折次数が、瞳直径の少なくとも 倍だけ互いから離間し、
  - 第 1 のピッチ又は第 1 の構造幅の波面収差及び第 2 のピッチ又は第 2 の構造幅の波面収差が決定され、
  - 第 1 のピッチ又は第 1 の構造幅の  $n$  次の回折次数の場所における第 1 のピッチ又は第 1 の構造幅の波面収差の位相誤差を低減し、瞳の他の場所において波面の位相を不変量に留める第 1 のマニピュレータ偏位  $M_1$  が決定され、
  - 第 2 のピッチ又は第 2 の構造幅の  $m$  次の回折次数の場所における第 2 のピッチ又は第 2 の構造幅の波面収差の位相誤差を低減し、瞳の他の場所において波面の位相を不変量に留める第 2 のマニピュレータ偏位  $M_2$  が決定されることと、
  - マニピュレータの値  $M_1 + M_2$  分の偏位と、
- を特徴とする方法。

## 【0048】

この場合、マニピュレータを用いた波面の位相の瞳直径の 倍までの空間分解能は、以下のことを意味すると理解されるように意図したものであり、すなわち、瞳直径が 1 である場合に、各場合に少なくとも距離 を有する瞳の 2 つの点における位相に対して、マニピュレータにより、これらの 2 つの点のうちの第 1 のものにおいてこれらの 2 つの点のうちの第 2 のものとは独立して影響を及ぼすことができることを意味するように意図したものである。瞳直径が 1 に等しくない場合には、相応に瞳直径に対するスケージングが行われる。言い換えれば、マニピュレータは、波面の位相に対して局所的に作用し、他の場所における位相を不変量に留める。そのようなマニピュレータは、例えば、US 2009

10

20

30

40

50

0 2 5 7 0 3 2 A 1 及び W O 2 0 0 9 0 2 6 9 7 0 A 1 に開示されている。この場合、不変性は、必ず 1 0 0 % の不変性を意味すると理解すべきではない。瞳のいずれかの望ましい場所において値 だけ波面の位相に影響を及ぼすことができ、この場合に瞳のいずれかの他の点において 0 . 1 ・ を上回って、又は更に 0 . 0 5 ・ を上回っては位相に影響を及ぼさない場合があるマニピュレータも、上述の意味の範囲で空間分解すると理解されるように意図したものである。そのようなマニピュレータは、例えば、W O 2 0 0 8 0 3 7 4 9 6 A 2 及び U S 2 0 0 3 0 2 3 4 9 1 8 A 1 に開示されている。

【 0 0 4 9 】

第 6 の考案による方法は、異なるピッチ又は異なる構造幅の回折次数を対物系の瞳平面内で空間的に分離させることができることを利用する。一般的に固定的に選択された回折次数  $m$  は、1 組の瞳の場所によって与えられる。従来照明  $= 0$  では、この組は、1 つの点の組であり、より高い  $m$  では、より大きい半径を有する円が存在する。この場合、第 1 の回折次数と第 2 の回折次数の間の距離は、第 1 の回折次数からの第 1 の点と第 2 の回折次数からの第 2 の点の間の最短距離によって定義される。個々の回折次数の位置及び距離は、設定と構造幅とピッチと対物系とに依存し、従って、投影露光装置が始動される前に決定することができる。例えば、二重極照明又は四重極照明のような非従来設定では、回折次数が分離されるか否かということは、極に対する構造方向の相対的な向き、及びその長さに依存する。輪帯照明の場合には、一般的に第 6 の考案は使用されず、これは、この場合の回折次数が通例はもはや分離されないことによる。従って、この瞳平面又はいずれかの他の瞳平面に、それぞれのピッチ又は構造幅によって生じた波面の位相収差をそれぞれ固定的に選択された回折次数の領域内で互いから分離して補正することができるマニピュレータを設けることができる。これは、マニピュレータが、この目的に対して十分な空間分解能を伴って瞳の波面の補正を実施することができるということを仮定している。例えば、高い集積密度を必要とするフラッシュメモリの製造におけるリソグラフィ工程では、厳密に対物系の分解能限界の近くに置かれたピッチ又は構造幅が最も重要であるので、低次、特に、2 次から 4 次の回折次数の収差のない干渉は極めて重要なものである。これは、第 6 の考案による方法によって保証される。

【 0 0 5 0 】

第 4 の考案から第 6 の考案までの考案のうちの 1 つによる方法は、異なる構造方向の異なるピッチ又は構造幅を波面収差に関して調べて重み付けを実施することによって組合せ方式に実施することができる。一般的な手法では、方法は、対で異なる  $m$  個のピッチ、対で異なる  $n$  個の構造幅、1 個の異なる構造方向から構成される有限の組に対して実施される。この場合、下式が定義される時に合計で  $1 (m + n)$  個の波面収差及び  $a_1, \dots, a_{1(m+n)}$  の重みが決定される。

$$\sum_{i=1}^{1(m+n)} a_i = 1$$

構造方向は、精密マスク効果に対して純粋に幾何学的にしか影響を及ぼさず、H 及び V 以外の構造方向の効果は、H 及び V のものから解析的に導出することができるので、一般的に  $1 = 2$  で十分である。

【 0 0 5 1 】

第 7 の考案。

- 照明光でマスクを照明し、異なる照明系又は自由形状照明を可能にするための照明系と、

- 対物系の物体平面に置かれたマスクを対物系の像平面に置かれたウェーハ上に結像するための対物系と、

を含み、

- 対物系が、異なるマニピュレータ偏位を有するマニピュレータを含み、マニピュレータを用いて対物系の結像の波面を操作することができ、

- 投影露光装置は、マニピュレータを制御するためのコントローラを含み、

- コントローラは、マニピュレータ偏位を 1 組の異なるピッチ及び / 又は構造幅に割り

10

20

30

40

50

当てる割り当てテーブルを格納するためのメモリを含む、  
ことを特徴とするマイクロリソグラフィのための投影露光装置。

【0052】

第7の考案による投影露光装置は、第1の考案による方法に従って1つのマスク又はある部類のマスクのいずれかに適応させることができ、又は第2の考案による方法に従って作動させることができる。第1の考案による適合又は第2の考案による作動は、マスクの構造及びピッチに関する情報しか必要としないので、偏位させるべきマニピュレータ偏位も同様にこれらにしか依存しない。従って、マニピュレータ偏位に対するピッチ及び構造幅の割り当てをコントローラのメモリに格納される割り当てテーブル（同義語＝ルックアップテーブル）の形態で格納することができる。

10

【0053】

以下に続く本発明の構成はSMWOであり、更にこれらの構成には、簡略化の目的で順次番号を振っていることを理解すべきである。

【0054】

第8の考案。

異なる構造方向に異なるピッチ及び／又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクにマイクロリソグラフィのための投影露光装置を適応させるか又は投影露光装置を作動させる、第1の考案、第2の考案、第4の考案、又は第5の考案のいずれかによる方法であって、

- マニピュレータ偏位に加えて、照明設定の変化又は自由形状照明の変化が決定され、照明設定の変化又は自由形状照明の変化及びこのマニピュレータ偏位を用いたマニピュレータの偏位により、異なるピッチ及び／又は異なる構造幅によって生じる波面収差が、少なくとも考案1による方法におけるものと同じ程度まで低減される、

20

ことを特徴とする方法。

【0055】

第8の考案による方法を使用することにより、異なるピッチ及び／又は異なる構造幅によって生じる波面収差がマニピュレータを用いて低減されるばかりではなく、設定が、波面を補正するための自由度として付加的に使用される。その結果、少なくともそれ程悪くはなく、多くの場合に良好な波面補正を提供する。一例として、二重極設定の場合には、この補正は、極の幅を狭くすることによって、瞳内の回折次数のより良好な分離が提供されるということに基づいて達成することができる。この場合、第5の考案による方法は、ピッチのアプリオリにより大きい組からのピッチに対して実施することができる。

30

【0056】

9. 第7の考案によるマイクロリソグラフィのための投影露光装置であって、

- 照明設定又は自由形状照明を変更することができる照明系のマニピュレータと、  
- 第2のマニピュレータが、コントローラによって制御可能であることと、  
- コントローラが、照明設定又は自由形状照明を1組の異なるピッチ及び／又は構造幅に割り当てる割り当てテーブルを格納するためのメモリを含むことと、

を特徴とする投影露光装置。

【0057】

第9の考案による投影露光装置は、第8の考案による方法に従って1つのマスク又はある部類のマスクのいずれかに適応させることができ、又は作動させることができる。第8の考案による適応化又は作動は、マスクの構造及びピッチに関する情報しか必要としないので、偏位させるべきマニピュレータ偏位及び設定される設定又は自由形状照明の変化も同様にこれらにしか依存しない。従って、マニピュレータ偏位及び設定又は自由形状照明に対するピッチ及び構造幅の割り当ては、コントローラのメモリに格納される割り当てテーブル（同義語＝ルックアップテーブル）の形態で格納することができる。

40

【0058】

以下に続く本発明の構成はSMPWOであり、更にこれらの構成には、簡略化の目的で順次番号を振っていることを理解すべきである。

50

## 【 0 0 5 9 】

第 1 0 の考案。

異なる構造方向に異なるピッチ及び / 又は異なる構造幅を有する構造を有するマスクにマイクロリソグラフィのための投影露光装置を適応させるか又は投影露光装置を作動させる、第 1 の考案又は第 2 の考案のいずれか、又は第 4 の考案から第 6 の考案のいずれか、又は第 8 の考案による方法であって、

- マニピュレータ偏位及び照明設定の変化又は自由形状照明の変化に加えて、照明光の偏光の変化が決定され、照明設定の変化又は自由形状照明の変化及びこのマニピュレータ偏位を用いたマニピュレータの偏位、並びに照明光の偏光の変化により、異なるピッチ及び / 又は異なる構造幅によって生じる波面収差が、少なくとも考案 8 による方法におけるものと同一程度まで低減される、

ことを特徴とする方法。

## 【 0 0 6 0 】

第 1 0 の考案による方法を使用することにより、異なるピッチ及び / 又は異なる構造幅によって生じる波面収差がマニピュレータを用いて低減されるだけではなく、照明光の偏光が、波面を補正するための自由度として付加的に使用される。その結果、少なくともそれ程悪くはなく、多くの場合に良好な波面補正を提供する。

## 【 0 0 6 1 】

第 1 1 の考案。

上述の考案のうちのいずれかによる方法であって、

- 対物系が、波面収差の視野依存性を補正する更に別のマニピュレータを含む、  
ことを特徴とする方法。

## 【 0 0 6 2 】

第 1 2 の考案。

上述の考案のうちのいずれかによるマイクロリソグラフィのための投影露光装置であって、

- 対物系が、対物系の瞳平面に位置しない更に別のマニピュレータを含み、  
- 更に別のマニピュレータは、コントローラによって制御することができ、  
- コントローラは、更に別のマニピュレータに対する偏位を 1 組の異なるピッチ及び / 又は構造幅に割り当てる割り当てテーブルを格納するためのメモリを含む、  
ことを特徴とする投影露光装置。

## 【 0 0 6 3 】

本発明を以下に続く例示的な実施形態に基づいてこれらの実施形態の添付図面を用いて説明する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 6 4 】

【図 1 a】  $CRA > 0^\circ$  の場合のマスクにおける精密効果の発生の図である。

【図 1 b】  $CRA > 0^\circ$  の場合のマスクにおける精密効果の発生の図である。

【図 1 c】  $CRA > 0^\circ$  の場合のマスクにおける精密効果の発生の図である。

【図 2 a】 偏光照明の場合のマスクにおける精密効果の発生の図である。

【図 2 b】 偏光照明の場合のマスクにおける精密効果の発生の図である。

【図 3】 異なるピッチを有する H 構造及び V 構造における位相誤差を示す図である。

【図 4】 異なる構造方向にわたって加え合わされた波面収差を示す図である。

【図 5 a】 H 構造に対する V 構造のベストフォーカスの変位を示す図である。

【図 5 b】 波面を補償しない場合の 3 つの構造におけるデフォーカスと臨界寸法との関係の例を示す図である。

【図 5 c】 波面を補償する場合の 3 つの構造におけるデフォーカスと臨界寸法との関係の例を示す図である。

【図 5 d】 波面を補償する場合及び補償しない場合の 3 つの構造におけるベストフォーカスの位置を示す図である。

10

20

30

40

50



【図 5 e】投影系の瞳内で波面を補償する段階を示す図である。

【図 5 f】波面を補償する場合のベストフォーカスの場所と補償しない場合のベストフォーカスの場所との比較を示す図である。

【図 6 a】H 構造に対する V 構造のフォーカスの変位から生じるプロセスウィンドウの縮小を示す図である。

【図 6 b】対物系の瞳内の異なるピッチの回折次数の位置を示す図である。

【図 6 c】異なるピッチの得られる異なるプロセスウィンドウを示す図である。

【図 6 d】対物系の瞳内での本発明による波面操作の後に生じる異なるピッチのプロセスウィンドウを示す図である。

【図 7】マニピュレータを有する、マイクロリソグラフィのための投影露光装置の対物系を示す図である。

10

【図 8】付加的に偏光に影響を及ぼすマニピュレータと付加的に設定に影響を及ぼすマニピュレータとを有する投影露光装置を示す図である。

【図 9 a】 $CRA > 0^\circ$  に起因する遮蔽効果の不可避性の図である。

【図 9 b】 $6^\circ$  の  $CRA$  における EUV 対物系の設計の図である。

【発明を実施するための形態】

【0065】

図 1 は、上述の第 2 の部類の投影露光装置に対して極めて重要なマスクにおける精密効果の発生を示している。

【0066】

20

図 1 a) は、 $0^\circ$  よりも大きい  $CRA$  の場合のマスクにおける精密効果の発生を示している。左手の図 1 0 1 は、この図では 3 次元で示すマスクの H 構造 1 0 4 の場合の照明光の入射を示している。H 構造は支持体 1 0 3 上に置かれ、支持体 1 0 3 は、照明光波長  $= 13.5 \text{ nm}$  に対して高い反射性を有し、交替する  $Mo$  と  $Si$  の層から構成される。この図では、この支持体の面に対して直交する座標軸を  $z$  で表し、 $z$  は、クロム  $Cr$  から構成される H 構造 1 0 4 の厚みが約  $60 \text{ nm}$  である座標軸に対応する。H 構造は、 $x$  方向よりも  $y$  方向に大きい長さを有する。照明光の光線 1 0 5 が、方向  $z$  に対して角度  $> 0^\circ$ 、例えば、 $= 6^\circ$  又は  $= 15^\circ$  でマスク上に入射する場合には、この図で妨げられるように示す反射光線に対して遮蔽効果が発生する。この効果は、右手の図 1 0 2 に示す V 構造 1 0 6 の場合は発生しない。

30

【0067】

構造、例えば、右手の図にある V 構造の構造幅は、この図ではその  $y$  方向の長さ 1 0 7 である。ピッチは、この図で  $y$  方向の 1 0 8 として示す 2 つの V 構造の間の距離である。

【0068】

図 1 b) は、視野依存性、すなわち、対物系の像視野に結像される構造の位置である物体平面 1 1 2 に対する直交軸 1 1 1 に対して  $CRA > 0^\circ$  の場合の H 構造 1 1 3 及び V 構造 1 1 4 の位置への依存性を示している。図 1 a) に記載の図に対応する方位角  $= 0^\circ$  においてのみ、入射照明光 1 1 5 は、図 1 a) に示すように構造を見る。走査方向に対して  $> 0^\circ$  の方位角では、照明光 1 1 5 は、 $CRA$  及び方位角 という 2 つの角度を取る。図 1 b) では、1 1 6 は、対物系の物体平面内に位置するマスクの 3 次元図である。1 1 2 は、この物体平面の 1 つの座標軸のみを示しており、正確には、1 1 2 は、投影露光装置の走査方向である。

40

【0069】

図 1 c) は、対物系の物体平面内の視点から遮蔽効果を示している。照明光 1 2 1 は、左手側から層積層体 1 2 2 上に入射し、層積層体 1 2 2 内で反射され、右手の構造 1 2 3 において、同様に純粋に幾何学的な性質のものであり、層積層体内の照明光の有効反射場所に依存する遮蔽 1 2 4 が発生することを認めることができる。

【0070】

図 2 a) は、上述の第 1 の部類の投影露光装置に対して極めて重要なマスクにおける精密効果の発生を示している。入射照明光 1 3 1 は、マスク支持体 1 3 2 上に配置された C

50

r 構造 1 3 3 によって回折次数 1 3 4、1 3 5 に回折される。個々の偏光方向 T E 及び T M は、構造方向に基づいて定義される。照明光の電界ベクトルは、T E 偏光の場合は構造方向と平行に、T M 偏光の場合は構造方向と垂直に振動する。キルヒホッフ近似では、ゼロ次の回折次数と高次の回折次数の間の位相差は、ゼロ又は少なくとも一定である。高次の回折次数が各場合にゼロ次の回折次数と比較して個々の位相差を有する場合に収差が発生する。従って、マスクによって生じるいずれの収差も、キルヒホッフ近似内では予想されないことになる。精密計算時には、高次の回折次数のそのような個々の位相差が発生し、これらの位相差は、更に T E と T M とで異なる可能性がある。H 線及び V 線は、例えば、走査方向に対して直交する同じ照明偏光が与えられた場合に、ある時には T E をかつある時には T M を「見る」のでこれらの位相差は異なる。そのような偏光は、H 線について T E 偏光され、相応に V 線については T M 偏光される。従って、2 つの構造は、異なるフォーカスシフトのような異なる収差を誘導し、この誘導は、最終的に非点収差としての効果を有する。

#### 【 0 0 7 1 】

図 2 b ) は、図 2 a ) に記載の効果を定量的に例示している。2 つのグラフには、照明光の個々の回折次数を横座標上に列記している。左手のグラフには、入射振幅に対する個々の回折次数の相対振幅を縦座標上に例示している。非偏光光 ( 図では「キルヒホッフ」で表す ) と T E 偏光と T M 偏光の間にはいずれの差も認められない。右手のグラフは、T E に対する T M の位相差をナノメートルで例示している。この図では、T E と T M との間で有意な差を認めることができる。2 つのグラフについて求められた値は、ピッチを 2 0 0 0 n m とした構造幅 2 0 0 n m のマスク上で法線入射方向を有するコヒーレント照明に対して計算したものである。

#### 【 0 0 7 2 】

図 3 は、上述の投影露光装置の第 2 の部類に入る E U V 投影露光装置に対して、図 1 b ) に例示したものののような H 構造及び V 構造における位相誤差を示している。横座標は、- 1 と 1 との間で変化し、対物系の入射瞳内の正規化瞳座標を示している。縦座標は、0 次の回折次数 = 0 に対する位相誤差を n m に示している。ピッチ 1 0 0 n m と 2 0 0 n m と 3 0 0 n m と 5 0 0 n m とを比較している。1 0 0 n m の最も小さいピッチでは、回折次数 - 2、- 1、0、1、2 しか対物系を通過しないことを容易に認めることができる。波面の位相は、V 構造では、そのラジアル成分に関して偶関数に対応し、各ピッチに対して、各場合に 2 つの変曲点を有する。大きいピッチと比較して小さいピッチにおける回折次数は、瞳内でより外側に向けて位置するので、小さピッチでは変曲点もより外側に向けて位置する。1 0 0 n m よりも小さいピッチの場合 ( この図には例示していない ) には、回折次数 - 1、0、1 しか対物系を通過しない場合が発生する可能性がある。この場合、そのようなピッチの波面の位相は、もはや変曲点を全く持たない。全体として波面の位相誤差は、ゼルニケ多項式  $Z_4$ 、 $Z_9$ 、に展開することができ、一般的には平方数  $i$  の時に  $Z_i$  に展開することができる。V 構造の位相誤差に加えて、H 構造の位相誤差も、傾斜、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、及び  $Z_7$ 、 $Z_8$ 、のような高次の項を受ける。

#### 【 0 0 7 3 】

各ピッチに対して、第 1 の考案、第 2 の考案、又は第 3 の考案から第 6 の考案までの考案のうちのいずれかによるマニピュレータによって波面の位相を補正することができる。この場合、第 6 の考案にあるもののような上述のマニピュレータが、対物系の瞳平面に置かれるならば有利である。第 4 の考案による複数のピッチの同時の重み付きの補正の場合には、個々のピッチの位相誤差の重ね合わせから生じる波面が、事前にそのラジアル成分において多数の変曲点を有するので、第 6 の考案による空間分解マニピュレータが有利である。

#### 【 0 0 7 4 】

図 4 では、方位角方向に関して一様に分布すると仮定するマスクの複数の構造の共通の位相誤差が重ね合わされている。左手の図には、対物系の入射瞳内の正規化瞳座標の重ね合わせ位相誤差を示している。重ね合わせ位相誤差は、右手の図にあるゼルニケ多項式に

展開される。そのような複雑な瞳プロファイルは、第6の考案による空間分解マニピュレータによって有利に補正することができることが明らかになる。

【0075】

上述の図は、対物系の物体視野の固定的に選択された物体点に当て嵌まり、他の物体点に対して類似の図を導出することができる。従って、これらの図は、結像される物体点に場所依存するものであると理解される。別の言い方をすると、異なるピッチによって生じる波面収差は視野プロファイルを有し、視野プロファイルは、対物系の瞳平面に位置しない第12の考案による第2のマニピュレータによって有利に補正される。

【0076】

上記に既に例示したように、フォーカスに影響を及ぼす項は、主に異なるピッチによって生じる波面収差内に見つかる。この点に関して、その全てが偶関数であり、従って、瞳の回転対称な位相誤差に対応する図3の最初の列に記載の位相プロファイルを参照されたい。

【0077】

フォーカスは、ピッチ依存のものであるばかりではなく、結像される構造幅にも依存することを明らかにしている。

【0078】

図5aは、偏光照明を利用し、200nmの幅を有し、分離された構造の結像に伴う、V構造に関連するベストフォーカスの場所とH構造に関連するベストフォーカスの場所との比較を示している。横座標、並びに縦座標はマイクロメートルで与えられる。横座標の原点は、V構造の像の幅が最大である点として定義される。破線グラフは、像平面がデフォーカスにされる場合のV構造の像の幅の減少を示している。実線グラフは、像平面がデフォーカスされる場合のH構造の像の幅の減少を示している。H構造の像の最大幅は、V構造の像の幅が最大である場所に対して+60nmのデフォーカスに位置する。これらの2つの最大点では、破線グラフ及び実線グラフの微分係数はゼロになるので、これらの2つの最大点は、V構造及びH構造それぞれを結像するのにベストフォーカスの場所である。明らかにこれらの2つの最良の場所は60nmだけ異なる。

【0079】

図5bから図5fは、異なる構造、向き、ピッチサイズに関連付けられたベストフォーカスの場所の更に別の例を提供しており、これらの場所の間の差を低減する解決法を示している。

【0080】

図5bは、3つのBossung曲線、すなわち、90nmのピッチサイズを有する45nmV構造、グラフ45p90V、ピッチサイズ350nmを有する90nmV構造、グラフ90p350V、及びピッチサイズ350nmを有する90nmH構造、グラフ90p350Hという3つの所与の構造に対するデフォーカスの関数として、線幅(臨界寸法CD)の変化の3つのグラフを示している。図5bに示すデフォーカスに対する臨界寸法変化CDは、 $NA = 1.35$ の像側開口数及び193nmの照明光波長を有するVUV投影光学系に対して計算したものである。照明設定は、部分コヒーレンス因子 $\sigma = 0.2$ を有するy偏光部分コヒーレント設定であり、照明設定の技術的詳細に対しては、Alfred Kwok - Kit Wong著「光学リソグラフィにおける分解能改善技術(Resolution Enhancement Techniques in Optical Lithography)」、SPIE出版、米国ワシントン州ベリンハム、2001年を参照されたい。3つの構造は、100nmのCr層及び192nmのエッチング深さによって与えられる不透過区画を有する交互位相シフトマスクによって与えられる。模擬した空間像のレジスト閾値は、45p90Vピッチがサイズ通りに印刷され、すなわち、得られる像がゼロデフォーカスで45nmのCDを有するように選択された。

【0081】

図5aと同様に、図5bの横座標はデフォーカスの量である。図5aとは対照的に、デフォーカスは、マイクロメートルの代わりにナノメートルで与えられる。縦座標は、選択

10

20

30

40

50

した3つの構造のゼロデフォーカスにおけるそれぞれのCDのナノメートルでの臨界寸法CDの偏差CDを示している。CDは、0nmの正規化された値に対して与えられ、同様にデフォーカスは、0nmの正規化されたフォーカスの位置に対して与えられる。3つの星印は、3つの構造のそれぞれのベストフォーカスの場所を示している。これらの場所は明らかに一致しない。図5dの表の上側の行は、図5bの選択した原点に対するこれらのベストフォーカスの場所の数値を示している。これらの数値は、約74nmの最小の間隔内にある。この間隔の幅は、リソグラフィ工程の不安定性の基準値であると理解することができ、すなわち、間隔が小さい程、フォーカスの変化に対するCD変化は安定する。

【0082】

図5fは、ベストフォーカスの場所をグラフに示している。そのような3つの種類の構造45p90V、90p350V、及び90p350Hを同時に結像する場合には、マスクの精密効果を補償するために投影光学系の波面を修正することができる（第1の部類の投影露光装置の上述の解説参照）。図5eの位相プロファイルが波面に付加される場合には、図5cに例示しており、図5dの表の2行目に定量化しているように、3つの構造のベストフォーカスは、ほぼ同じ場所に収まる。明らかに、74nmの上述の間隔は0.4nmまで縮小し、これは、3つ全ての構造がその最適なフォーカスの位置において結像されることを意味する。図5fは、図5eの波面の印加の前と後の3つのベストフォーカスの場所をグラフに示している。

【0083】

図5eの波面は、EP 678768A2、EP 1670041A1、WO 2008037496A2、US 20030234918A1、US 20090257032A1、WO 2009026970A1、EP 851304A2、US 20030063268A1、及びWO 2007062794A1に説明されている1つ又は複数のマニピュレータによって生成することができる1.35という瞳半径に正規化された60nmの $Z_5$ と70nmの $Z_9$ と60nmの $Z_{12}$ との重ね合わせから構成される。

【0084】

明らかに、副作用として図5eの波面の印加も、空間像における有意なCD変化を招くが、このCD変化は、レチクル上の線幅の適切な変更によって補償することができる。

【0085】

図6aは、横座標がデフォーカス（同義語＝フォーカス変化FV）をnmに示し、縦座標が、強度閾値ITを示すEUV投影露光装置の2つのプロセスウィンドウを示している。レジスト閾値に対して、V構造をその幅において縮尺通りに $=0.5$ の照明設定、及び32nmの構造幅で結像するプロセスウィンドウを示している。マスクの構造は、80nmの厚みを有する層によって生成される。CRAは6°の角度を有し、物体の物体側開口数は $NA=0.3$ である。上側のウィンドウは、64nmのピッチにおけるプロセスウィンドウを示しており、それに対して下側のウィンドウは、150nmのピッチにおけるプロセスウィンドウを示している。150nmのピッチではV構造に対するH構造の相対的なデフォーカスが主に発生し、プロセスウィンドウの変位を招き、それに対して64nmのピッチにおけるプロセスウィンドウはそれに基づいて影響を受けないか、又は若干しか影響を受けないことが明らかになる。それによって上述の2つのプロセスウィンドウの交差部に対応するH構造とV構造とにおける共通のプロセスウィンドウは縮小する。考案1から考案6までの上述の考案のうちのいずれかによるマニピュレータの設定の結果として、プロセスウィンドウは必ずしも拡大するわけではないが、最も臨界的に結像されるピッチの波面収差を補正するためのマニピュレータの偏位は、最終的に集積回路の製造においてより少ない不合格品しかもたらさない。第6、第8、又は第10の考案による方法の場合には、H構造及びV構造の波面収差を互いに独立して補正することができるので、プロセスウィンドウを一層拡大することができる。集積回路の製造及びウェーハの露光中には、固定のレジスト閾値が、ウェーハのフォトレジストの使用によって既に予め定められている。この場合、プロセスウィンドウは、その縦座標に関してもはや強度閾値ITによって定められず、その代わりに、引き続き製造工程において設定することができる照射量

10

20

30

40

50

Dによって定められる。しかし、この照射量は、固定的に選択されたレジストでは強度閾値ITに反比例するので、この場合にも同様にプロセスウィンドウは、図6aに示すものと同じ形態を有し、上記に例示したものと同一問題が発生する。

#### 【0086】

図6bは、EUV投影露光装置の対物系の瞳を示している。瞳座標の横座標及び縦座標は、それぞれ、対物系の物体側開口数に対応する値0.32において最大値を取る。瞳内に置かれた小さい円は、瞳を通過する回折次数を表している。これらの円の直径は、0.3という設定に対応する。20nmの長さを有する周期的なV構造が対物系によって結像される。左手の図では、周期は、40nmのピッチp40に対応し、中央の図では、60nmのピッチp60に対応し、右手の図では、80nmのピッチp80に対応する。40nmのピッチの場合、すなわち、左手の図の場合には、0次の回折次数と-1次及び1次の回折次数の一部としか瞳を通過しないことを容易に認めることができる。これらの回折次数の間の距離は、約0.12に対応する。従って、第6の考案からの瞳は、約0.12、すなわち、瞳直径の約1/6に対応する。ピッチの長さが増加した場合には、更に別の回折次数が瞳を通過する可能性があるが、これらの間の距離は、例えば、右手の図にあるように、60nmのピッチの場合に回折次数が重なり合うまで減少し、従って、 $\Delta = 0$ が成り立つ。

#### 【0087】

図6cは、図6bにおける3つのピッチの場合の精密効果（既に解説した）から生じるそれぞれのデフォーカスを示している。これらのデフォーカスは、6°のCRAの場合に50nmの構造層の厚みからもたらされ、個々の回折次数に異なる程度に影響を及ぼす。従って、異なるピッチに対して異なるデフォーカスが生じる。40nmのピッチでは-6nmのデフォーカスがもたらされ、60nmのピッチでは-21nmのデフォーカスがもたらされ、80nmのピッチでは-35nmのデフォーカスが生じる。これらの値は、0nmのデフォーカスに対応する基準であり、マスクによって生じる波面収差を伴わない対物系のフォーカスの位置がそれに対応する基準に関する。-21nmのデフォーカスの場合に、これらの3つのピッチに対して70nmの最適な焦点深度DOFが得られる。設定することができる最良の強度閾値ITは0.218であり、得られる共通のプロセスウィンドウは、0.002マイクロメートルの区域を有する。

#### 【0088】

図6dは、対物系の瞳平面に置かれた対物系の光学要素に対して作用するマニピュレータによる波面の位相の本発明による操作の後のプロセスウィンドウを示している。図6b及び図6cに記載の3つのピッチの回折次数は互いに素ではないので、この場合、ピッチ40nm及び60nmの回折次数において $\Delta > 0$ が成り立つが、第6の考案による方法は使用することができない。従って、個々のピッチは、結像される集積回路に対するこれらのピッチの重要性に従って格付けされるか、又はこれらの3つのピッチに対して共通のプロセスウィンドウが最大にされる。これが図6dの場合である。対物系の瞳平面に置かれた対物系の光学要素に対して作用し、波面の位相を-0.7nmのゼルニケ多項式Z<sub>9</sub>で操作する上述のマニピュレータのうちの1つが使用される場合には、個々のピッチは、もはや互いに対して事実上デフォーカスされない。強度閾値ITにおける0.219へのいくらかの増大は、焦点深度DOFが72nmに増大する場合に、0.003μmの区域を有する共通のプロセスウィンドウをもたらす。

#### 【0089】

図7は、物体視野701を像視野702に結像するための第1の部類の投影露光装置700を示している。投影装置700は対物系710を含む。一例として、対物系によって像平面702に結像され、物体視野内に置かれた2つの視野点703及び704を示している。対物系は、レンズ711、ミラー712、及び平面板713のような光学要素を含む。マニピュレータ721は、レンズのうちの1つに対して作用し、このマニピュレータは、レンズを変位、屈曲、加熱、及び/又は冷却することができる。第2のマニピュレータ722は、ミラー712に対して同様に作用し、第3のマニピュレータ723は、平面

10

20

30

40

50

板 7 1 3 を非球面化された更に別の平面板（この図には例示していない）と交換するためなどに機能するか、又は固定的に設けられた平面板 7 1 3 を局部的に加熱するためなどに機能する。レンズ 7 1 1、ミラー 7 1 2 に対して作用するか又は平面板 7 1 3 に対して加熱方式で作用するマニピュレータは、好ましくは、第 5 の考案の意味の範囲で空間分解するものであり、レンズ、ミラー、又は平面板は、それぞれ対物系 7 1 0 の瞳平面に置かれる。例えば、同様に上述の種類のうちの 1 つのものであり、この図には例示していない対物系の更に別のマニピュレータは、対物系の追加の光学要素を操作する。この光学要素は、対物系の瞳平面に置かれない。所定の像側開口数の場合には、開口によって制限された最大光ビームが、2 つの視野点 7 0 3 及び 7 0 4 から射出する。この図では、このビームの最外側光線を破線形式で例示している。これらの最外側光線は、視野点 7 0 3 及び 7 0 4 にそれぞれ関連する波面の境界を定める。本発明の例示目的で、これらの波面は球面であると仮定する。波面センサ及び / 代替的に更に別のセンサ、及び / 又は予想モデルは、像収差に関する情報、又は対物系を通じた波面の通過後のこれらの波面に関する情報を提供する特定ユニット 7 7 0 を形成する。これらの更に別のセンサは、例えば、空気圧センサ、対物系内の温度を測定するためのセンサ、又はレンズ上又はミラーの後側の温度を測定するセンサである。マニピュレータ 7 2 1、7 2 2、7 2 3 は、コントローラ 7 3 0 によって制御され、例えば、投影露光装置の光学要素の加熱によって生じ、決定ユニットによって決定されるもののような波面収差を相殺する。コントローラ 7 3 0 は、マニピュレータ 7 2 1、7 2 2、7 2 3 のうちの少なくとも 1 つにおけるマニピュレータの偏位を 1 組の異なるピッチ及び / 又は構造幅に割り当てる第 7 の考案による割り当てテーブルを格納するための第 7 の考案によるメモリ 7 4 0 を有する。投影露光装置がマスクと整合された時に、集積回路の機能に対して重要なピッチが決定され、このピッチによって生じる波面収差を補償するために、マニピュレータ 7 2 1、7 2 2、7 2 3 のうちの少なくとも 1 つが、割り当てテーブルに従って偏位される。このピッチによって生じる波面収差の視野プロファイルは、更に別のマニピュレータによって補償される。

#### 【 0 0 9 0 】

図 8 は、投影露光装置 8 0 1 を示している。投影露光装置を通る照明光の進路を矢印によって略示している。照明系 8 0 3 は、マスク 8 0 2 を照明する。照明系 8 0 3 内では、照明系 8 1 2 のマニピュレータによって照明設定又は自由形状照明を設定することができる。二重極設定、四重極設定、又は環状設定を設定する回折光学要素 D O E、又はマルチミラーアレイとして具現化され、自由形状照明を設定する空間光変調器 S L M は、マニピュレータとして使用される。更に、照明系の更に別のマニピュレータ 8 1 3 により、照明光の偏光を設定することができる。コントローラ 8 1 1 内では、第 8 の考案による方法によるマスクのピッチ又は構造幅と共に、マニピュレータ偏位、設定、又は自由形状照明に基づいてかつ第 1 0 の考案に従って照明光の偏光も操作される。

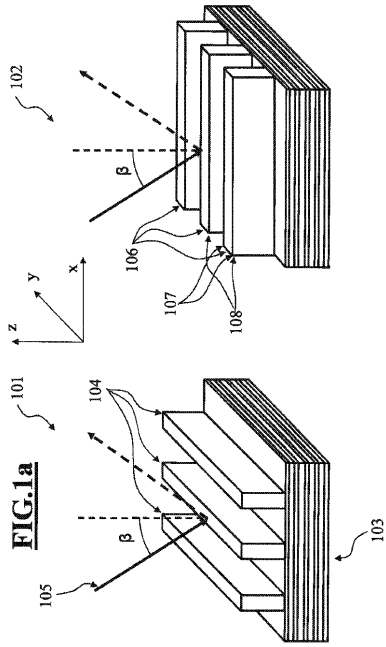
#### 【 0 0 9 1 】

図 9 a ) は、E U V 投影露光装置を示している。照明系 9 0 1、マスク 9 0 2、及び対物系 9 0 3 の幾何学的配列が  $C R A > 0^{\circ}$  を必要とすることを認めることができる。

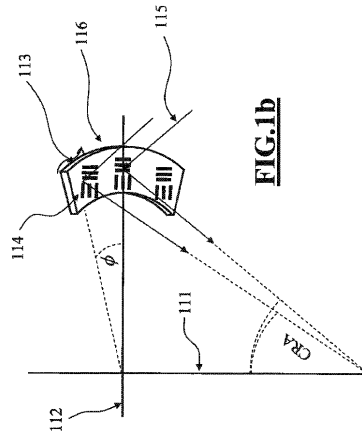
#### 【 0 0 9 2 】

従来技術から引用したものであり、E U V 投影露光装置の対物系 9 0 3 を示す図 9 b ) では、 $6^{\circ}$  の主光線角度  $C R A$  が使用され、主光線  $C R$  を 9 0 4 で表している。

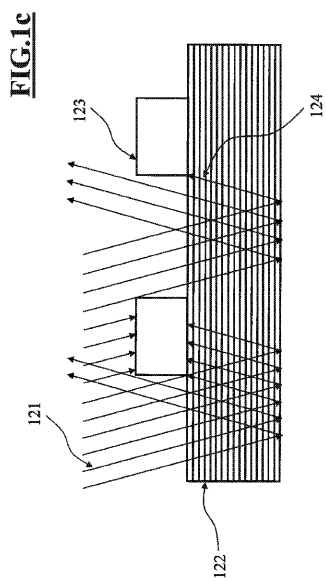
【図 1 a】



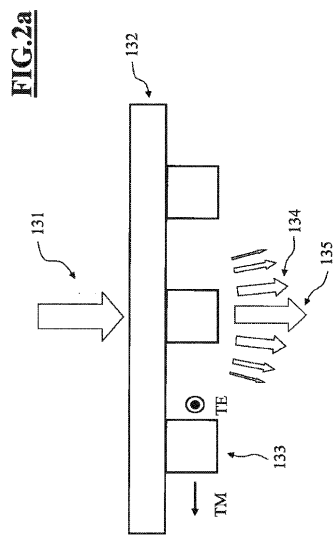
【図 1 b】



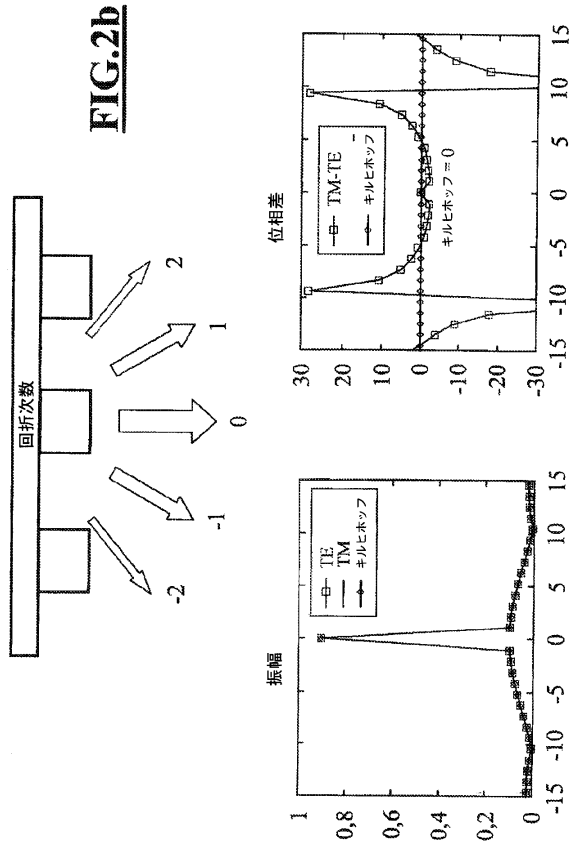
【図 1 c】



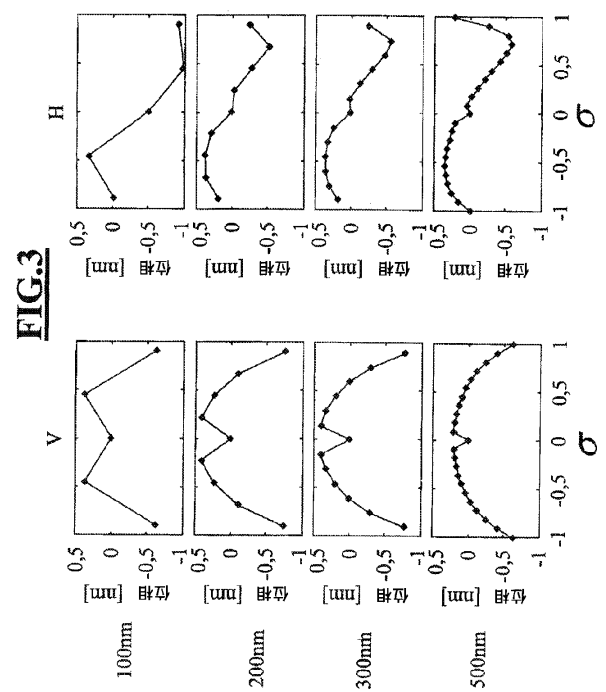
【図 2 a】



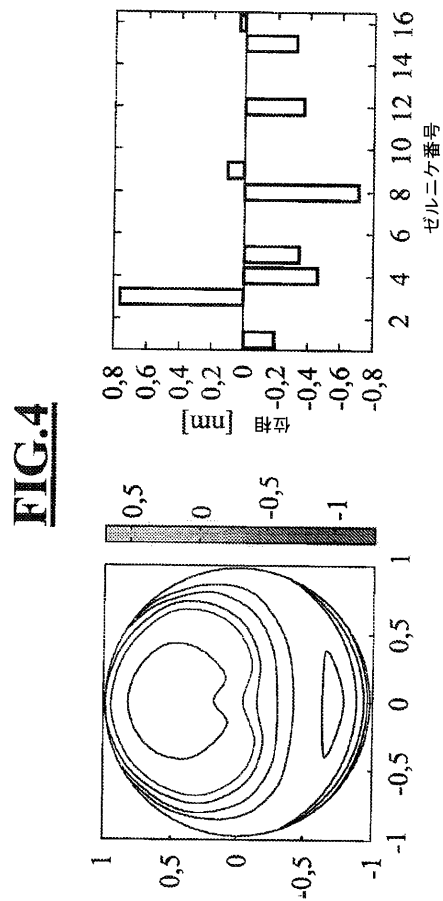
【図2b】



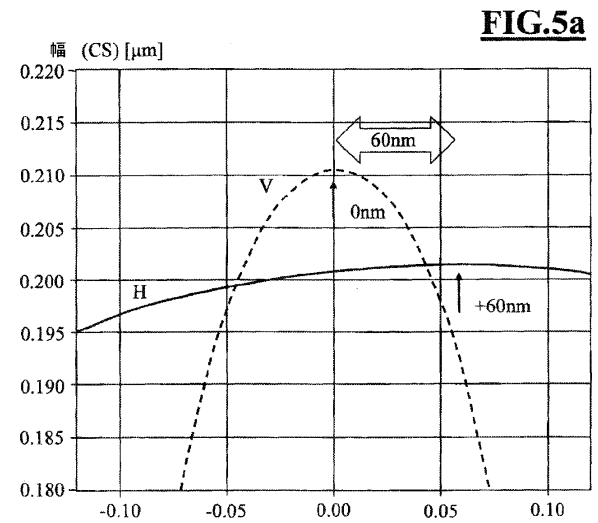
【図3】



【図4】

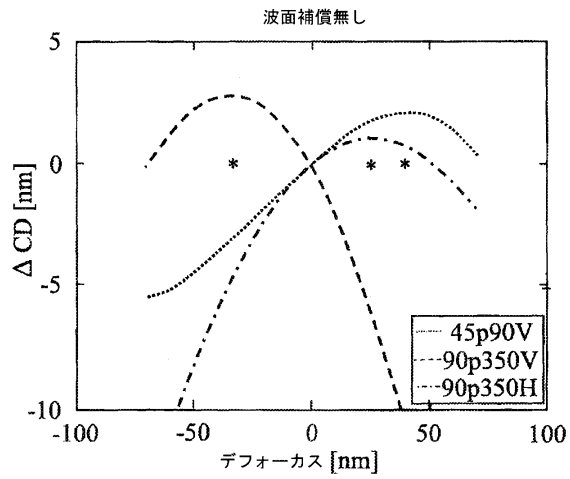


【図5a】

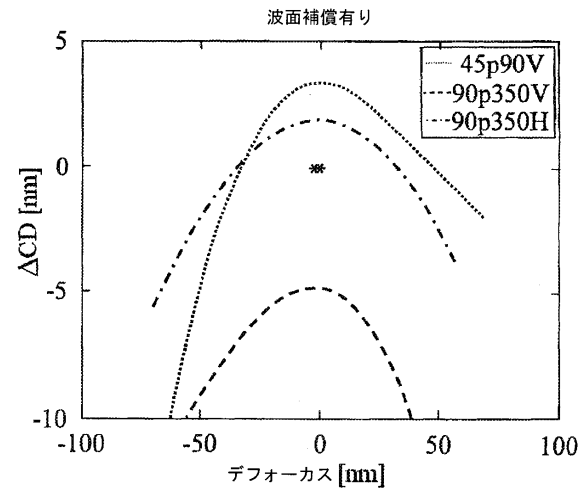




【図 5 b】

**FIG.5b**

【図 5 c】

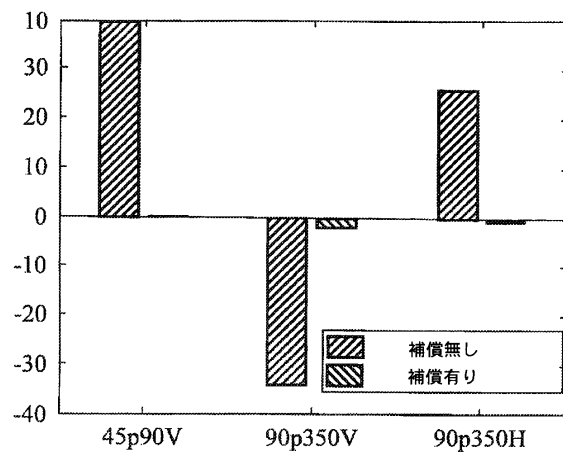
**FIG.5c**

【図 5 d】

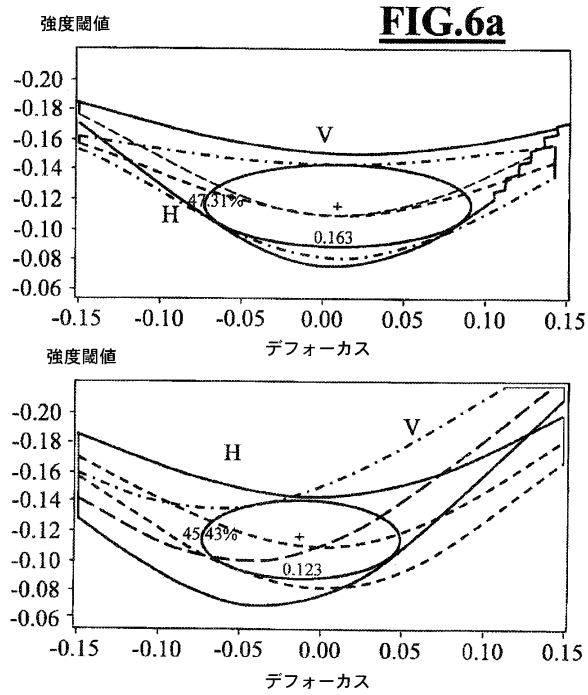
**FIG.5d**

	45p90V	90p350V	90p350H
補償無しの ベストフォーカス	39.9	33.9	25.8
補償有りの ベストフォーカス	0.0	-2.0	-0.4

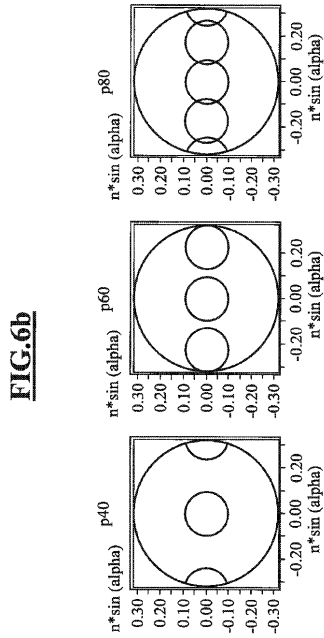
【図 5 f】

**FIG.5f**

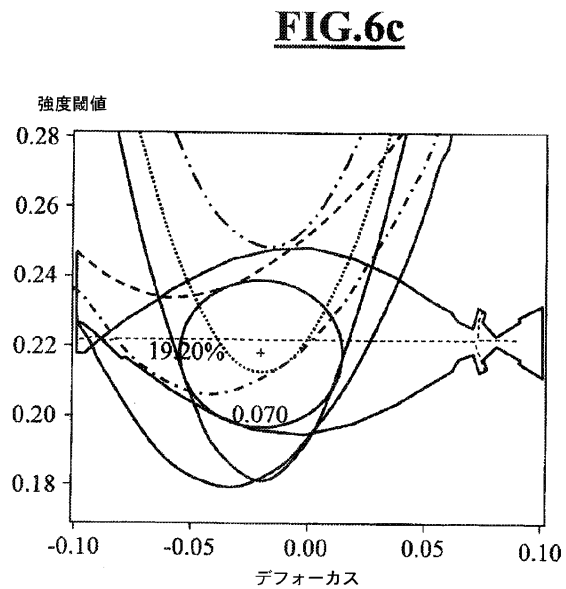
【図 6 a】



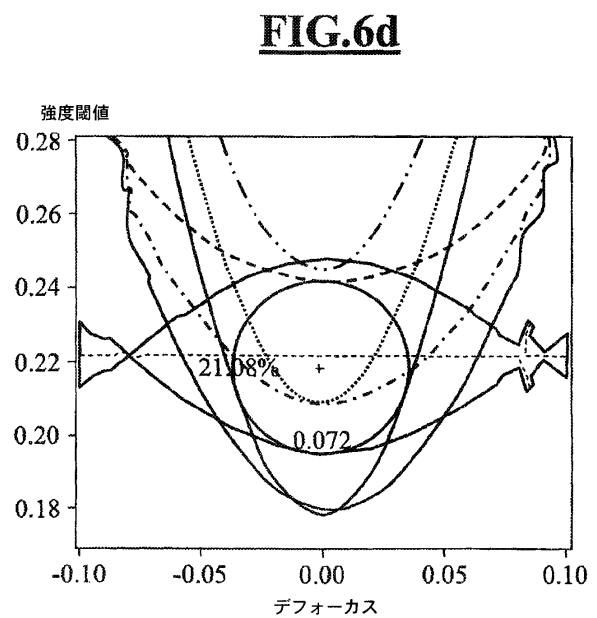
【図 6 b】



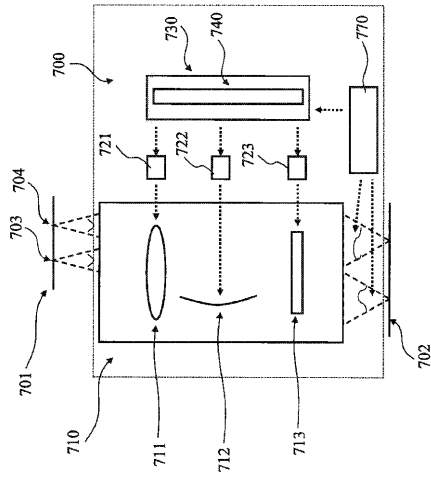
【図 6 c】



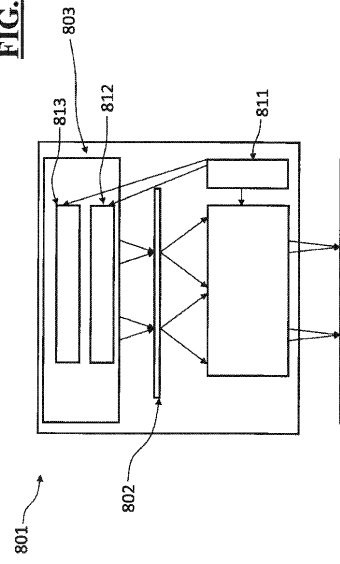
【図 6 d】



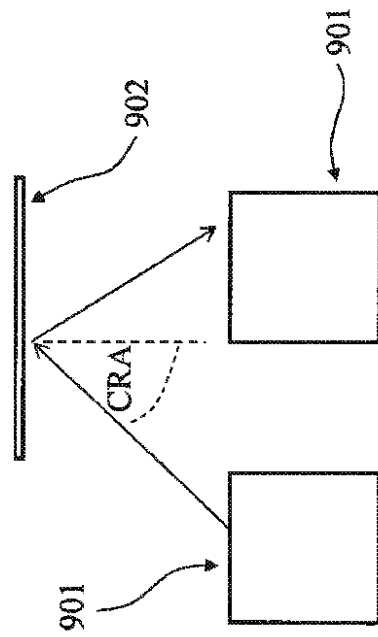
【 図 7 】

**FIG.7**

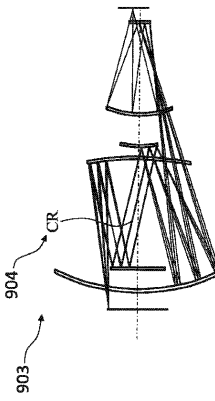
【 図 8 】

**FIG.8**

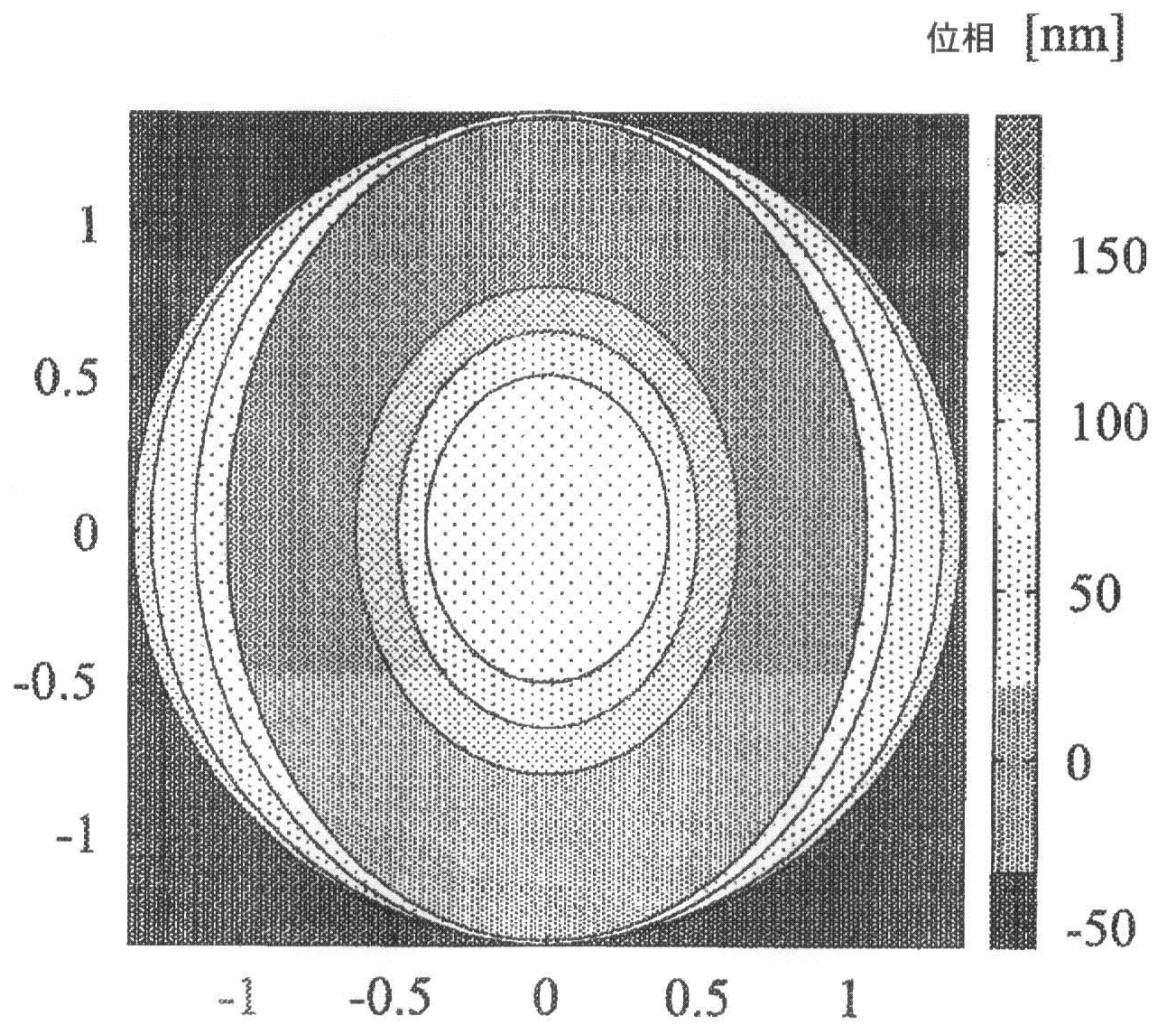
【 図 9 a 】

**FIG.9a**

【 図 9 b 】

**FIG.9b**

【図 5 e】

**FIG.5e**

---

フロントページの続き

(74)代理人 100109070

弁理士 須田 洋之

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100151987

弁理士 谷口 信行

(72)発明者 ルオフ ヨハネス

ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 1 アーレン ドロシュテ - ヒュルスホフ - ヴェーク 3 5

審査官 松岡 智也

(56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 1 7 9 6 6 3 ( J P , A )

特開 2 0 0 7 - 1 6 5 8 9 4 ( J P , A )

特開 2 0 0 6 - 1 7 3 3 0 5 ( J P , A )

国際公開第 2 0 0 8 / 0 3 4 6 3 6 ( W O , A 2 )

特開 2 0 0 7 - 1 9 4 5 5 1 ( J P , A )

特開 2 0 0 6 - 3 3 2 1 6 8 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 0 2 7

G 0 3 F 7 / 2 0 - 7 / 2 4、9 / 0 0 - 9 / 0 2