

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-135111

(P2006-135111A)

(43) 公開日 平成18年5月25日(2006.5.25)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H O 1 L 21/027 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/30 5 1 5 D	2 F O 6 4
<b>G O 1 B 9/02 (2006.01)</b>	G O 1 B 9/02	2 G O 8 6
<b>G O 1 M 11/02 (2006.01)</b>	G O 1 M 11/02 B	5 F O 4 6
<b>G O 3 F 7/20 (2006.01)</b>	G O 3 F 7/20 5 2 1	
	H O 1 L 21/30 5 1 6 A	
審査請求 未請求 請求項の数 23 O L (全 15 頁)		

(21) 出願番号 特願2004-322997 (P2004-322997)

(22) 出願日 平成16年11月5日 (2004.11.5)

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. テフロン

(71) 出願人 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

(74) 代理人 100110412

弁理士 藤元 亮輔

(72) 発明者 此内 修

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

(72) 発明者 蔵本 福之

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

Fターム(参考) 2F064 BB03 EE05 FF01 GG22 GG41

GG44 HH03 HH07 KK01

2G086 HH06

5F046 AA17 BA03 CB01 DA13 DB01

DB11 DC12

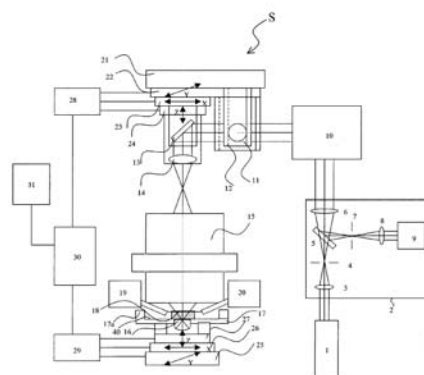
(54) 【発明の名称】 波面収差測定装置、露光装置、及びデバイス製造方法

## (57) 【要約】

【課題】被検レンズ（特に液浸露光装置に用いられる投影レンズ）の波面収差を高精度に測定することが可能な干渉計を提供すること。

【解決手段】この干渉計は、光を発する光源と、光を被検光と参照光とに分離し、被検光を被検レンズに入射させる光学系と、被検レンズから出射した被検光を再び同一光路で被検レンズに向けて反射する反射光学系と、被検レンズと反射光学系との間に充填された液体と、反射光学系により反射された後に被検レンズから出射した被検光と、被検レンズを通過しない参照光との光干渉により生成された干渉縞を検出する光検出器とを有する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光を発する光源と、  
該光を被検光と参照光とに分離し、該被検光を被検レンズに入射させる光学系と、  
前記被検レンズから出射した前記被検光を再び同一光路で前記被検レンズに向けて反射する反射光学系と、  
前記被検レンズと前記反射光学系との間に充填された液体と、  
前記反射光学系により反射された後に前記被検レンズから出射した前記被検光と、該被検レンズを通過しない前記参照光との干渉により生成された干渉縞を検出する光検出器とを有することを特徴とする干渉計。

10

## 【請求項 2】

前記反射光学系が集光光学系であり、かつその集光点が前記被検レンズの像面上に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉計。

## 【請求項 3】

前記集光点が、前記被検レンズと前記反射光学系との間に充填された前記液体内部に配置されていることを特徴とする請求項 2 に記載の波面収差測定装置。

## 【請求項 4】

前記反射光学系が所定の面と凸面とを有する光学素子であり、かつ前記被検レンズを出射した前記被検光が前記所定の面から前記光学素子内に入射し、前記凸面によって凹面反射されるように配置されていることを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

20

## 【請求項 5】

前記材料が、合成石英であることを特徴とする請求項 4 に記載の干渉計。

## 【請求項 6】

前記材料が、フッ化カルシウム ( $\text{CaF}_2$ ) であり、かつ前記平面が反射防止膜を有することを特徴とする請求項 4 に記載の干渉計。

## 【請求項 7】

前記材料が、低膨張ガラスであることを特徴とする請求項 4 に記載の干渉計。

## 【請求項 8】

前記凸面が非球面であることを特徴とする請求項 4 に記載の波面収差測定装置。

## 【請求項 9】

前記所定の面は、平面又は球面又は非球面であることを特徴とする請求項 4 に記載の干渉計。

30

## 【請求項 10】

前記凸面が球面であり、かつその曲率中心が前記被検レンズの像面上に配置されていることを特徴とする請求項 4 に記載の干渉計。

## 【請求項 11】

前記凸面の曲率中心と前記所定の面との距離が 0.6 mm 以上であることを特徴とする請求項 4 に記載の干渉計。

## 【請求項 12】

前記凸面の曲率半径が前記光学素子の最大肉厚よりも大きいことを特徴とする請求項 9 に記載の干渉計。

40

## 【請求項 13】

前記反射光学系が凸面とを有する 1 つの凸状反射素子であり、かつ前記被検レンズを出射した前記被検光が前記凸面によって反射されるように配置されていることを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

## 【請求項 14】

前記反射光学系が凹面とを有する 1 つの凹状反射素子であり、かつ前記被検レンズを出射した前記被検光が前記凹面によって反射されるように配置されていることを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

## 【請求項 15】

50

前記反射光学系の有効径外にテフロンコートが施されていることを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

【請求項 16】

前記接触角の大きな材料がテフロンコートであることを特徴とする請求項 16、17 に記載の干渉計。

【請求項 17】

前記被検レンズが ArF レーザ用投影レンズであり、かつ前記液体が水であることを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

【請求項 18】

前記被検レンズと前記反射光学系との間に前記液体を供給する液体供給系と、  
供給された該液体を前記被検レンズと前記反射光学系との間から回収する液体回収系とを有することを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。 10

【請求項 19】

前記液体が、以下の式を満足する一定速度  $V \text{ mm/s}$  で流動していることを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

$$V > D \times X$$

ただし、 $D$ ：浸液中での被検光の最大光束幅 (mm)

$X$ ：光検出器の検出フレームレート (Hz)

【請求項 20】

前記液体は測定時以外は流動し、測定時は静止していることを特徴とする請求項 2 及び 19 に記載の干渉計。 20

【請求項 21】

前記液体の屈折率と前記反射光学系の屈折率との差が 0.15 未満であることを特徴とする請求項 2 に記載の干渉計。

【請求項 22】

露光光源からの露光光をレチクルに導く照明光学系と、

該レチクルを駆動するレチクル駆動系と、

請求項 1～請求項 21 のうちいずれか 1 項に記載の干渉計と、

前記レチクル上のパターンを基板上へ投影する投影光学系と、

該被処理体を駆動する基板駆動系とを有することを特徴とする露光装置。 30

【請求項 23】

請求項 22 に記載の露光装置によって前記基板にパターンを投影露光する工程と、

投影露光された前記基板に所定のプロセスを行う工程とを有するデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般にレンズ等の光学素子及びそれを用いた光学系の波面収差を測定する干渉計に係り、特に露光装置内の投影光学系等に用いられる光学素子の干渉計に関する。本発明は、液浸タイプの露光装置やその投影光学系に好適である。

【背景技術】

【0002】

従来、液浸露光装置における投影光学系の波面収差測定は以下のように行われていた。なお、以下の図 5 を用いた説明においてはフィゾー型の干渉方式を例とするが、フィゾー干渉計に限らなくともよい。

【0003】

従来の液浸露光装置用投影レンズの波面収差測定は、ウエハ側空間を液体で満たさずに、液浸でない投影レンズ用の波面収差測定装置を用いて行われていた。この場合、ウエハ側の空間は空気が満たされた状態であるため、液体と空気の屈折率差により大きな球面収差が発生してしまう。この状態では、通常の干渉計測では干渉縞の密度が濃くなりすぎ、計測不可能であるか、又は、計測可能であっても高精度な計測が困難となる。そのため、 50

物体面（レチクル面）を通常的位置からずらし、発生した球面収差を最小化する。このように、物体面を球面収差が最小となる位置に最適化した後に波面収差の測定を行っていた（特許文献１～３参照）。以下に、測定方法の詳細を記述する。

#### 【０００４】

被検レンズ１５の使用波長に近い発振波長を有する可干渉性のよい光源１０１（例えば、レーザ光源等）からの光を干渉計ユニット１０２へ導光する。この光源１０１からの光は光路の途中で被検光と参照光とに分岐する。まず被検光の光路について説明する。干渉計ユニット１０２の内部においては、集光レンズ１０３により空間フィルタ１０４上に光が集められる。ここで、空間フィルタ１０４の径はコリメータレンズ１０６のＮＡ（開口数）により定まるエアリーディスク径の１／２程度に設定されている。これにより、空間フィルタ１０４からの出射光は理想球面波となり、ハーフミラー１０５を透過後、コリメータレンズ１０６により平行光に変換されて、干渉計ユニット１０２から出射する。

10

#### 【０００５】

その後、被検光は引き回し光学系１１０により被検レンズ１１５の物体面の上部へと導かれ、ＴＳ－ＸＹＺステージ（１２３，１２２，１２４）上へと入射される。そして、ステージ基盤１２１上に固定配置されたミラー１１１により、Ｙ方向に反射され、さらに、ＴＳ－Ｙステージ１２２上に配置されたＹ移動ミラー１１２によりＹ方向に反射され、ＴＳ－Ｘステージ１２３上に配置されたＸ移動ミラー１１３によりＺ方向へと反射される。さらに、ＴＳ－Ｚステージ１２１上に配置されたＴＳレンズ１１４により被検レンズ１１

20

#### 【０００６】

ここで、物体面は、露光装置上におけるレチクル面に対して、光軸方向にシフトして設定されている。ウエハ側に液体を満たしていないため、通常の物体面位置では球面収差が発生してしまい、高精度な波面収差の計測が困難となる。そこで、物体面の位置はこの球面収差が最小化されるように設定される。

その後、ＲＳ－ＸＹＺステージ（１２６，１２５，１２７）上に配置されたＲＳミラー１３２により反射された後、被検光は被検レンズ１１５、ＴＳレンズ１１４、ミラー１１３，１１２，１１１、引き回し光学系１１０を略同一光路で逆行し、再び干渉計ユニット１

30

#### 【０００７】

被検光は、干渉計ユニット１０２へ入射した後にコリメータレンズ１０６、ハーフミラー１０５で反射され、空間フィルタ１０７上に集光される。ここで、空間フィルタ１０７は、迷光及び急傾斜波面を遮断するためのものである。空間フィルタ１０７を通過した後、結像レンズ１０８によりＣＣＤカメラ１０９上にほぼ平行光束として入射する。

#### 【０００８】

一方、参照光は、光がＸ移動ミラー１１３からＴＳレンズ１１４へ入射し、その一部がＴＳレンズ１１４面で反射されたものである。つまり、ＴＳレンズ１１４の最終面であるフィゾー面からの表面反射光が同一光路で逆行し、参照光としてＣＣＤカメラ１０９上へと入射する。これら、参照光と被検光との重ね合わせにより干渉縞が得られる。

40

#### 【０００９】

ここで、ＴＳ－ＸＹＺステージ（１２３，１２２，１２４）及びＲＳ－ＸＹＺステージ（１２６，１２５，１２７）は、ホストコンピュータ１３１からの指令に基づいて、制御装置１３０及びＴＳ－ＸＹＺステージ駆動装置１２８、ＲＳ－ＸＹＺステージ駆動装置１２９を介して、被検レンズ１１５の任意の像高位置へと移動可能である。その結果、露光領域内の任意像点における波面収差を連続で測定することが可能となっている。

【特許文献１】特開２００１－０７４６０５号公報

【特許文献２】特開２００２－０７１５１３号公報

【特許文献３】特開２００２－２５０６７８号公報

50

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0010】

しかしながら、上述したような従来の測定においては、物体面のシフトにより低次の球面収差を打ち消すことは可能であるが、高次収差（例えば、*z e r n i k e*の16項以上）を打ち消すことが困難である。この結果、特に、被検レンズのNAが高い場合に残収差が増大してしまう。その結果、干渉縞の縞間隔が干渉計の空間分解能よりも密となり波面収差の測定が不可能となる場合がある。計測精度は一般に被検波面の大きさに比例して悪化するため、たとえ測定が可能であっても高精度な波面収差計測が困難となる問題があった。

10

## 【0011】

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、被検レンズ（特に液浸露光装置に用いられる投影レンズ）の波面収差を高精度に測定することが可能な波面収差測定装置を提供することを例示的目的とする。具体的には、被検レンズの像空間を液体媒質で満たし、液浸露光装置で用いられる状態と同様の状態を再現することにより高精度に波面収差測定を行うことができる波面収差測定装置を提供する。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0012】

上記の目的を達成するために、本発明の例示的側面としての干渉計は、光を発する光源と、光を被検光と参照光とに分離し、被検光を被検レンズに入射させる光学系と、被検レンズから出射した被検光を再び同一光路で被検レンズに向けて反射する反射光学系と、被検レンズと反射光学系との間に充填された液体と、反射光学系により反射された後に被検レンズから出射した被検光と、被検レンズを通過しない参照光との光干渉により生成された干渉縞を検出する光検出器とを有することを特徴とする。

20

## 【0013】

その反射光学系が集光光学系であり、かつその集光点が被検レンズの像面上に配置されていてもよい。集光点が、被検レンズと反射光学系との間に充填された液体内部に配置されていることはさらに望ましい。反射光学系が所定の面と凸面とを有する光学素子であり、かつ被検レンズを出射した被検光が該所定の面から光学素子内に入射して該光学素子内で凸面によって凹面反射されるように配置されていてもよい。光学素子の材料が、合成石英であってもよいし、フッ化カルシウム（ $\text{CaF}_2$ ）であり、かつ所定の面が平面、球面、非球面のいずれかであってもよいし、これらの面に反射防止膜を施してもよい。この場合は、浸液と反射光学系の屈折率差が小さいため、非球面の加工精度を緩和することが可能となる。また、光学素子の材料は低膨張ガラスであってもよい。

30

## 【0014】

光学素子の凸面が非球面であってもよいし、凸面が球面であり、かつその曲率中心が被検レンズの像面上に配置されていてもよい。凸面の曲率半径が平凸状反射素子の最大肉厚よりも大きくてもよい。また、平面が非球面であってもよい。

## 【0015】

被検レンズがArFレーザ用投影レンズであり、かつ浸液が水であってもよい。被検レンズと反射光学系との間に浸液を供給する浸液供給系と、供給された浸液を被検レンズと反射光学系との間から回収する浸液回収系とをさらに有してもよい。

40

## 【0016】

浸液が、以下の式を満足する一定速度  $V \text{ mm/s}$  で流動していてもよい。

## 【0017】

$$V > D \times X$$

ただし、 $D$ ：浸液中での被検光の最大高速幅（mm）

$X$ ：光検出器の検出フレームレート（Hz）

また、浸液の屈折率と反射光学系の屈折率との差が0.15未満であることが望ましい。

50

## 【 0 0 1 8 】

本発明の他の例示的側面としての投影レンズは、上記の波面収差測定装置によって波面収差が測定されたことを特徴とする。

## 【 0 0 1 9 】

本発明のさらに他の例示的側面としての露光装置は、露光光源からの露光光をレチクルに導く照明光学系と、レチクルを駆動するレチクル駆動系と、上記の波面収差測定装置と、レチクル上のパターンを基板上へ投影する投影光学系と、被処理体を駆動する基板駆動系とを有することを特徴とする。

## 【 0 0 2 0 】

本発明のさらに他の例示的側面としての露光装置は、露光光源からの露光光をレチクルに導く照明光学系と、レチクルを駆動するレチクル駆動系と、レチクル上のパターンを基板上へ投影する上記の投影レンズを有する投影光学系と、基板を駆動する基板駆動系とを有することを特徴とする。

## 【 0 0 2 1 】

本発明のさらに他の例示的側面としてのデバイス製造方法は、上記の露光装置によって基板にパターンを投影露光する工程と、投影露光された基板に所定のプロセスを行う工程とを有することを特徴とする。

## 【 0 0 2 2 】

本発明の他の目的及び更なる特徴は、以下、添付図面を参照して説明される実施形態により明らかにされるであろう。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 2 3 】

本発明によれば、被検レンズの波面収差を高精度に測定することができる。特に液浸露光装置に用いられる投影レンズ等の波面収差を実際の使用状態と略同様の液浸状態で測定することができるので、投影レンズのNAが高い場合でも残収差が増大することがなく、波面収差測定の精度が向上する。

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 2 4 】

## 〔 実施の形態 1 〕

以下、図面を用いて本発明の実施の形態1に係る波面収差測定装置について説明する。  
図1は、本発明の実施の形態1に係る波面収差測定装置Sの概略構成を示すブロック図である。この波面収差測定装置Sは、被検レンズ15の使用波長に近い発振波長を有する可干渉性のよい光源1（例えば、レーザ光源等）からの光を干渉計ユニット2へ導光する。この光源1からの光は光路の途中で被検光と参照光とに分岐する。まず被検光の光路について説明する。干渉計ユニット2の内部においては、集光レンズ3により空間フィルター4上に光が集められる。ここで、空間フィルター4の径はコリメータレンズ6のNA（開口数）により定まるエアリーディスク径の1/2程度に設定されている。これにより、空間フィルター4からの出射光は理想球面波となり、ハーフミラー5を透過後、コリメータレンズ6により平行光に変換されて、干渉計ユニット2から出射する。

## 【 0 0 2 5 】

その後、被検光は引き回し光学系10により被検レンズ15の物体面の上部へと導かれ、TS-XYZステージ（23, 22, 24）上へと入射される。そして、ステージ基盤21上に固定配置されたミラー11によりY方向に反射され、さらに、TS-Yステージ22上に配置されたY移動ミラー12によりX方向に反射され、TS-Xステージ23上に配置されたX移動ミラー13によりZ方向へと反射される。さらに、TS-Zステージ21上に配置されたTSレンズ14により被検レンズ15の物体面上へと集光され、被検レンズ15を透過後に、像面（ウエハ面。図2も参照。）201上に再結像される。その後、RS-XYZステージ（26, 25, 27）上に配置された反射素子（反射光学系）16により反射された後、被検光は被検レンズ15、TSレンズ14、ミラー13, 12, 11、引き回し光学系10を略同一光路で逆行し、再び干渉計ユニット2へと入射

10

20

30

40

50

する。

【0026】

被検光は、干渉計ユニット2へ入射した後にコリメータレンズ6、ハーフミラー5で反射され、空間フィルタ7上に集光される。ここで、空間フィルタ7は、迷光及び急傾斜波面を遮断するためのものである。空間フィルタ7を通過した後、結像レンズ8によりCCDカメラ（光検出器）9上にほぼ平行光束として入射する。

【0027】

一方、参照光は、光がX移動ミラー13からTSレンズ14へ入射し、その一部がTSレンズ14面で反射されたものである。つまり、TSレンズ14の最終面であるフィゾー面からの表面反射光が同一光路で逆行し、参照光としてCCDカメラ9上へと入射する。これら、参照光と被検光との重ね合わせにより干渉縞が得られる。 10

【0028】

ここで、TS-XYZステージ(23, 22, 24)及びRS-XYZステージ(26, 25, 27)は、ホストコンピュータ31からの指令に基づいて、制御装置30及びTS-XYZステージ駆動装置28、RS-XYZステージ駆動装置29を介して、被検レンズ15の任意の像高位置へと移動可能である。その結果、露光領域内の任意像点における波面収差を連続で測定することが可能となっている。

【0029】

上記のようにこの波面収差測定装置Sは従来の波面収差測定装置と基本的な構成は同様であるが、被検レンズ15の像面201側、すなわちウエハ側近傍に反射素子16、平行平板17、浸液18、浸液供給系19、浸液回収系20を有している。以下、これらの構成について図2を用いて詳述する。 20

【0030】

図2は、この波面収差測定装置Sの反射素子16近傍を拡大して示す要部拡大図である。反射素子16は、被検レンズ15からの光を反射して再び被検レンズ15へと入射させるものであり、透明材料で形成されている。反射素子16は被検レンズ15に対向する面が平面202、その反対面が凸面の平凸状反射素子である。被検レンズ15からの光は反射素子16の平面202から反射素子16内へと入射し、凸面で反射して再び平面202から出射する。すなわち、この反射素子16の凸面は被検光を凹面反射し、被検光にとってはあたかも集光光学系のように作用する。この際、凸面側には、被検光量のロスを避ける為に増反射膜が形成されている。 30

【0031】

反射素子16は、ガラス又は金属等により構成される透明な平行平板17に接着又は溶着されている。さらに浸液との接触角が大きな材料が平行平板17にコート或いは配置されている。これにより、反射素子16の浸液に対する接触角が小さい場合でも液膜の形成が可能となる。反射素子がSiO<sub>2</sub>で構成される場合は、接触角が小さいため液膜形成が困難であるが、上記のように周辺をテフロンコートすれば液膜の形成が可能となる。この反射素子16と被検レンズ15との間の像空間は、浸液18で満たされている。像空間が浸液18で満たされることにより、この波面収差測定装置Sでは、被検レンズ15が液浸露光装置で使用される場合と同様の状態を再現することができるようになっている。 40

【0032】

その浸液18は浸液供給系19から供給され、浸液回収系20により回収される。図2に示すように、浸液18が平行平板17のステージ部40上から外部へ流出するのを防止するために、平行平板17の周囲には低い壁材17aが設けられている。平行平板17と反射素子16とは、上述するように接着又は溶着によって浸液が漏れない構造とされている。平行平板17と反射球面16とは、高精度なRS-YXZステージ(26, 25, 27)上に配置され、被検レンズ15の任意の像高へと移動が可能である。

【0033】

被検レンズ15が、ArFレーザ用の投影レンズである場合は、浸液18として水が用いられる。この場合、反射素子16には蛍石(CaF<sub>2</sub>)又は合成石英(SiO<sub>2</sub>)が使 50

われる。反射素子 16 として蛍石を用いた場合は水による溶解を防止するため、蛍石の水との接触部分には反射防止膜が形成される。また、反射素子 16 として合成石英を用いた場合はコンパクション (compaction) やレアファクション (rarefaction) に対する対策が必要となる。そのため、光が反射素子 16 内部に集光しないようにする必要がある。すなわち、反射素子 16 はその平面 202 側が被検レンズ 15 に対向するように配置され、被検レンズ 15 の像面 201 は反射素子 16 の平面 202 よりも上方 (反射素子 16 の平面 202 と被検レンズ 15 との間) に配置される必要がある。その結果、反射素子の凸面が球面である場合は、反射素子 16 の最大肉厚を反射素子 16 の凸面の曲率半径よりも小さくする必要がある。なお、収差を低減するために反射素子 16 の凸面を非球面とした場合も、反射素子 16 の肉厚を凸面から集光点までの距離 (焦点距離の 2 倍の距離) よりも小さくする必要がある。上述のように、反射素子 16 と集光点のデフォーカス量は、コンパクション対策だけでなく、干渉計測でのゴースト対策としても重要である。ゴースト縞の径は 1 % 程度以下にすることが望ましく、そのためには、例えば NA1.2 の場合、デフォーカス量を 0.6 mm 以上にする必要がある。このデフォーカス量にしておけば、逆に、コンパクション条件 (0.1 mm 以下) も満足される。

#### 【0034】

この場合、浸液 18 内に集光点が形成される。そのため、光エネルギー吸収による浸液 18 の温度上昇或いは浸液周りの構造体からの熱伝導による浸液の温度ゆらぎに起因して浸液 18 の屈折率が変化し、波面収差測定の測定誤差が生じる場合がある。そこで、少なくとも波面収差測定中に、浸液供給系 19 及び浸液回収系 20 により浸液 18 が像空間において一定速度で流動するように流速が制御する。このとき、浸液 18 の流速  $V$  は以下の式 (1) を満足するように設定することが望ましい。

#### 【0035】

$$V > D \cdot X \quad \dots (1)$$

ここで、 $X$  : 干渉計内の光検出器 (CCD カメラ 9) の検出フレームレート (Hz)

$D$  : 浸液中での被検光の最大光束幅 (mm)

これにより、特に集光点近傍での温度上昇によって浸液 18 の屈折率分布が揺らいでしまうことによる影響を CCD カメラ 9 のフレームレート内で平均化することが可能となり、屈折率揺らぎに起因する測定誤差を低減することができる。

#### 【0036】

反射素子 16 と浸液 18 との屈折率差が予めわかっているため、その屈折率差に起因して発生する球面収差は測定波面を補正することが可能である。また、球面収差が最小となるように物体面 (レチクル面) の位置を光軸方向に補正した状態で測定を行えば、外乱による測定再現性の劣化が殆どなく、良好な測定が可能となる。

また、反射素子 16 の凸面の曲率中心と平面の距離は、0.6 mm 以上であることが望ましい。反射素子 16 の平面からの反射光がゴーストとなり測定精度を劣化させる為である。0.6 mm 以上にしておけば、ゴーストの影響による波面精度が劣化する領域を瞳半径の 1 % 以下にできるため、実質的には問題とならない。

#### 【0037】

##### [ 実施の形態 2 ]

本発明の実施の形態 2 に係る波面収差測定装置 S2 について図 3 を用いて説明する。実施の形態 1 においては反射素子 16 として、被検レンズ 15 に対向する面が平面 202、その平面 202 の反対面が凸面の平凸レンズ状のものをを用いたが、本実施の形態では、反射素子 16 として被検レンズ 15 に対向する面が反射凸面の凸面反射材 16a を用いている。実施の形態 1 においては、集光点近傍の温度上昇を低減するため、或いは、反射素子 16 のコンパクションを避けるために、反射素子 16 の平面 202 を被検レンズ 15 の像面 201 位置から所定距離デフォーカスして配置している。そのため、浸液 18 中の光路が長くなり、却って揺らぎの影響を受け易くなってしまいう可能性がある。しかしながら、本実施の形態では、図 3 に示すように被検レンズ 15 の像面 201 位置よりも上方で、すなわち像面 201 位置に至る前に被検光が凸面反射材 16a の凸面によって反射されるよ



うに凸面反射材 16a を配置している。それにより、浸液 18 中の温度上昇や光路増大に伴う揺らぎの影響を低減させることができる。例えば ArF レーザ用投影レンズを被検レンズ 15 とした場合、そのバックフォーカスは 1mm 程度であるため、凸面反射材 16a の凸面の曲率半径は 1mm より小さくする必要がある。

【0038】

また、反射素子 16 は通常の干渉計測で用いられる所謂球面 RS として、浸液を満たしても構わない。

【0039】

[ 実施の形態 3 ]

本発明の実施の形態 3 に係る露光装置 S3 について図 4 を用いて説明する。この露光装置 S3 は、例えば特開 2000-277412 号公報において開示されたものと同様の構造であって、実施の形態 1 に係る波面収差測定装置 S1 を有している。この図 4 において、符号 401 は露光光源、402, 406 は引き回し光学系、403 は光路切替えミラー、404 はインコヒーレント化ユニット、405 は照明光学系、407 は集光レンズ、408 は空間フィルター、409, 412 はコリメータレンズ、410 はハーフミラー、411 はミラー、413 は XYZ ステージ、414 はコリメータレンズユニット、415 はレチクル面、417 はウエハチャック、418 はウエハステージ、421 は干渉計ユニットである。その他の実施の形態 1 と同様の符号は実施の形態 1 と同様の構成を示す。

【0040】

露光装置 S3 のウエハステージ 418 上に実施の形態 1 と同様の平行平板 17 及びそれに接着又は溶着された反射素子 16 ( これらを含めて液浸用反射ユニットと呼ぶ。 ) が配置されている。光路切替えミラー 403 を波面収差測定用光路側に切り替えて、露光光源 401 からの光が引き回し光学系 406 に入射するようにする。引き回し光学系 406 を介してレチクル面 415 へと光を導き、投影レンズ ( 被検レンズ ) 15 によってウエハ面 201 上に再結像させる。ウエハステージ 418 は、反射素子 16 の集光点 ( すなわち曲率中心 ) がウエハ面 201 に一致するように反射素子 16 を移動させる。そうすると、光 ( 被検光 ) が反射素子 16 の凸面で反射され、投影レンズ 15 を逆進し、干渉光学系 421 内部に導かれる。そして、干渉光学系 421 内部に備えられた検出手段 ( 例えば CCD カメラ ) により干渉縞が検出され、投影レンズ 15 の波面収差が測定される。

【0041】

上述では、光源からの光束を引き回し光学系 406 へバイパスさせたが、CCD カメラ上で干渉計測に必要な光量を確保することができれば、引き回し光学系 406 を経由せず、露光装置の照明系 405 を経由して、レチクル面に照射された光束を波面収差計測に使っても構わない。

【0042】

[ 実施の形態 4 ]

次に、図 5 及び図 6 を参照して、上述の露光装置 S3 を利用したデバイスの製造方法の実施の形態を説明する。図 5 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 101 ( 回路設計 ) ではデバイスの回路設計を行う。ステップ 102 ( レチクル製作 ) では、設計した回路パターンを形成したレチクルを製作する。ステップ 103 ( ウエハ製造 ) ではシリコンなどの材料を用いてウエハ ( 基板 ) を製造する。ステップ 104 ( ウエハプロセス ) は前工程と呼ばれ、レチクルとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。ステップ 105 ( 組み立て ) は後工程と呼ばれ、ステップ 104 によって作成されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程 ( 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 106 ( 検査 ) では、ステップ 105 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、これが出荷 ( ステップ 107 ) される。

【0043】

10

20

30

40

50

図6は、ステップ104のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ111(酸化)ではウエハの表面を酸化させる。ステップ112(CVD)では、ウエハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ113(電極形成)では、ウエハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ114(イオン打ち込み)ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ115(レジスト処理)ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ116(露光)では、露光装置S3によってレチクルの回路パターンをウエハに露光する。ステップ117(現像)では、露光したウエハを現像する。ステップ118(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119(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エハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施の形態の製造方法によれば従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。

10

#### 【0044】

以上、本発明の好ましい実施の形態を説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、その要旨の範囲内で様々な変形や変更が可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0045】

【図1】本発明の実施の形態1に係る波面収差測定装置の概略構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示す波面収差測定装置の反射素子近傍を拡大して示す要部拡大図である。

【図3】本発明の実施の形態2に係る波面収差測定装置の反射素子近傍を拡大して示す要部拡大図である。

20

【図4】本発明の実施の形態3に係る露光装置の概略構成を示すブロック図である。

【図5】図4に示す露光装置によるデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図6】図5に示すステップ104の詳細なフローチャートである。

【図7】従来の波面収差測定装置の概略構成を示すブロック図である。

#### 【符号の説明】

#### 【0046】

S, S2: 波面収差測定装置

S3: 露光装置

30

1, 101: 光源

2, 102, 421: 干渉計ユニット

9, 109: CCDカメラ(光検出器)

15, 115: 被検レンズ

16: 反射素子(反射光学系、平凸状反射素子、集光光学系)

16a: 凸面反射材(反射光学系)

18: 浸液

19: 浸液供給系

20: 浸液回収系

201: 像面(ウエハ面)

40

202: 平面

401: 露光光源

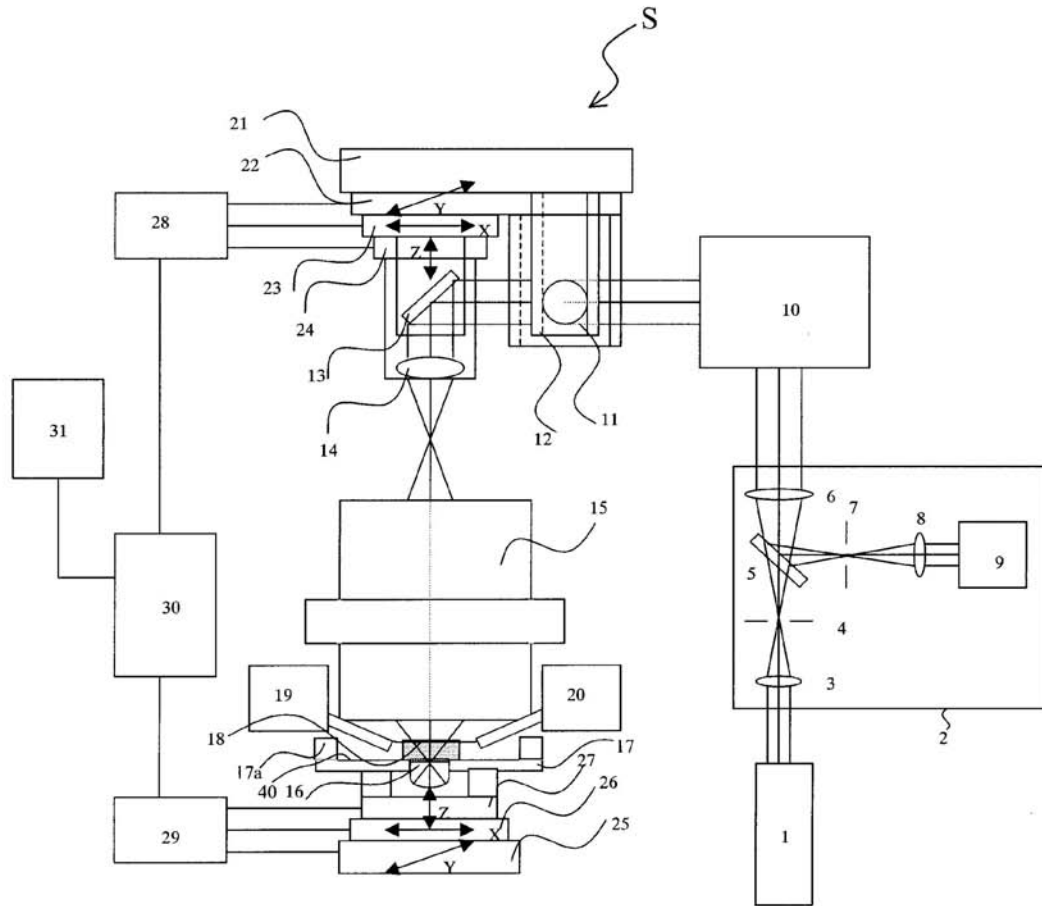
405: 照明光学系

415: レチクル面

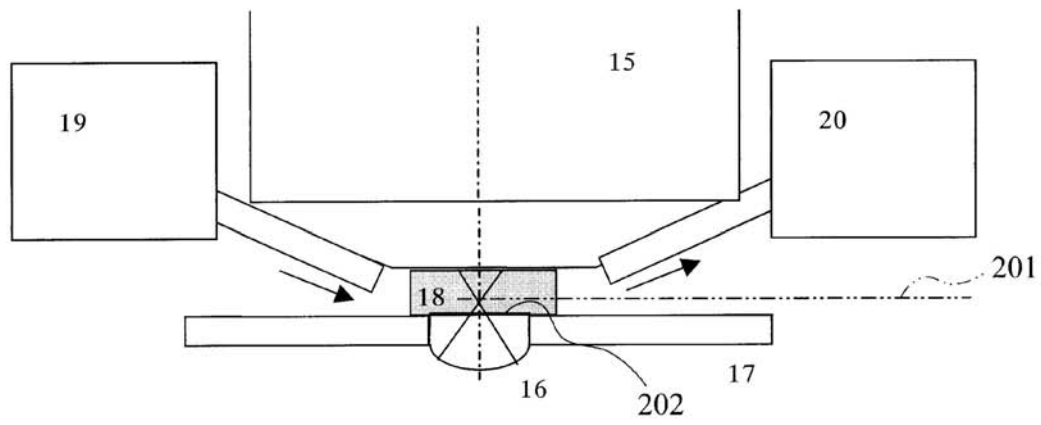
417: ウエハチャック

418: ウエハステージ

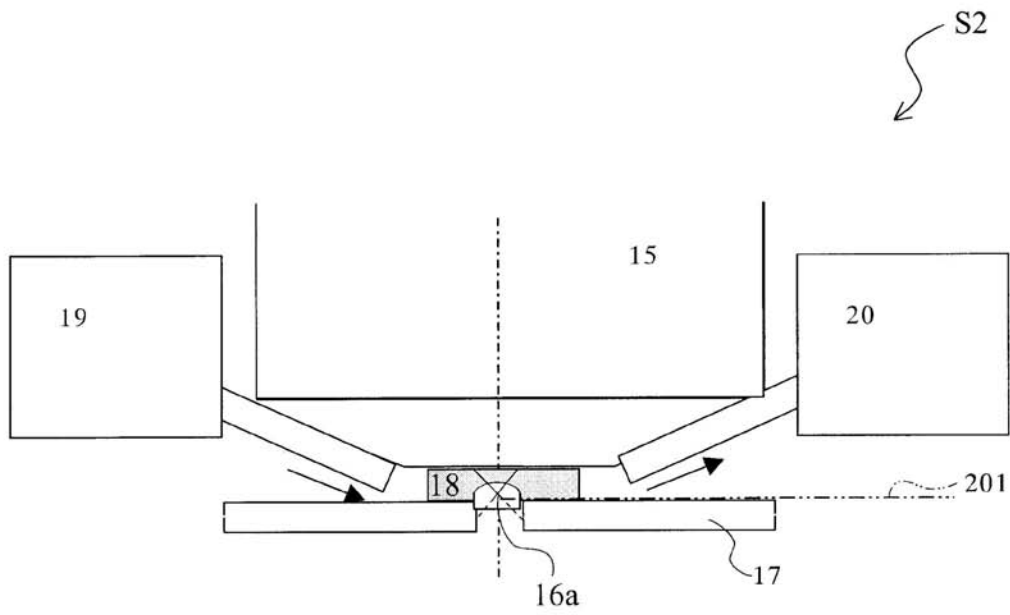
【図 1】



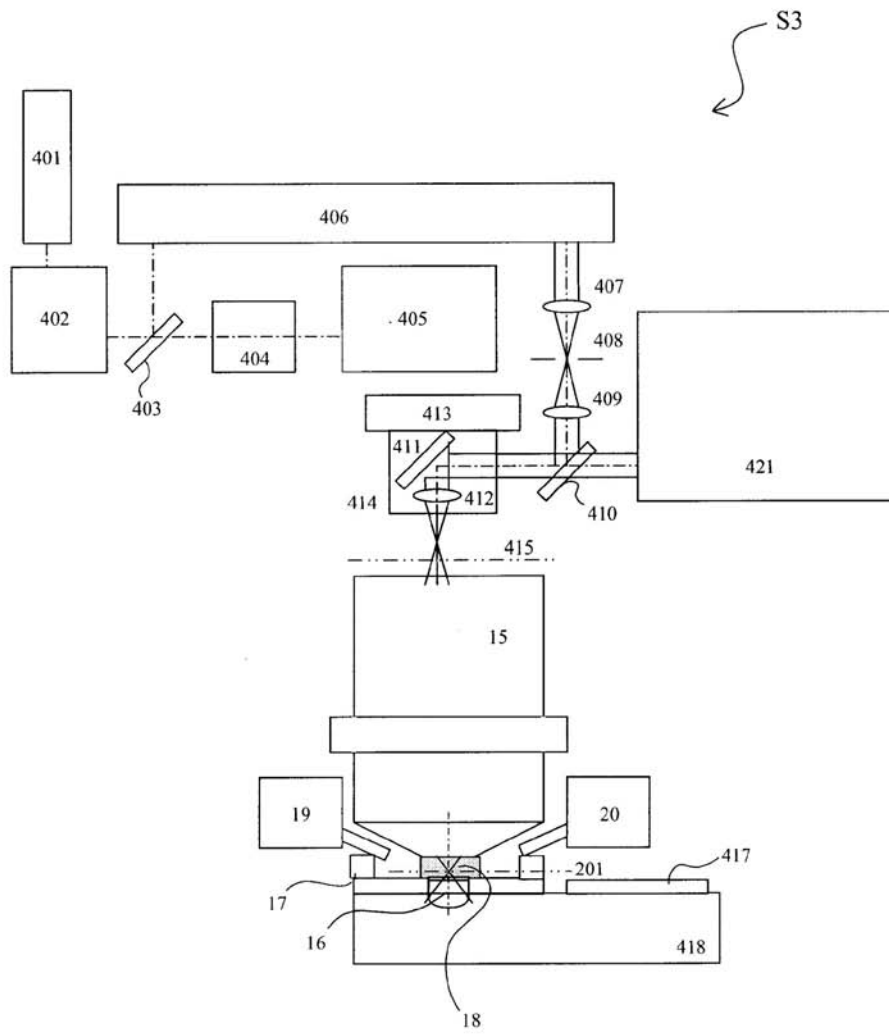
【 図 2 】



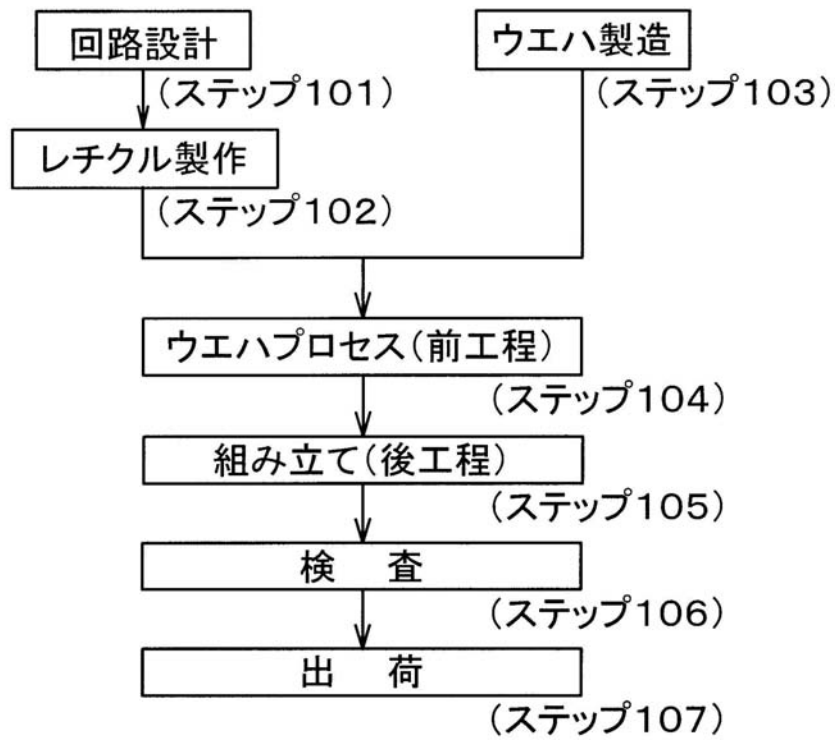
【 図 3 】



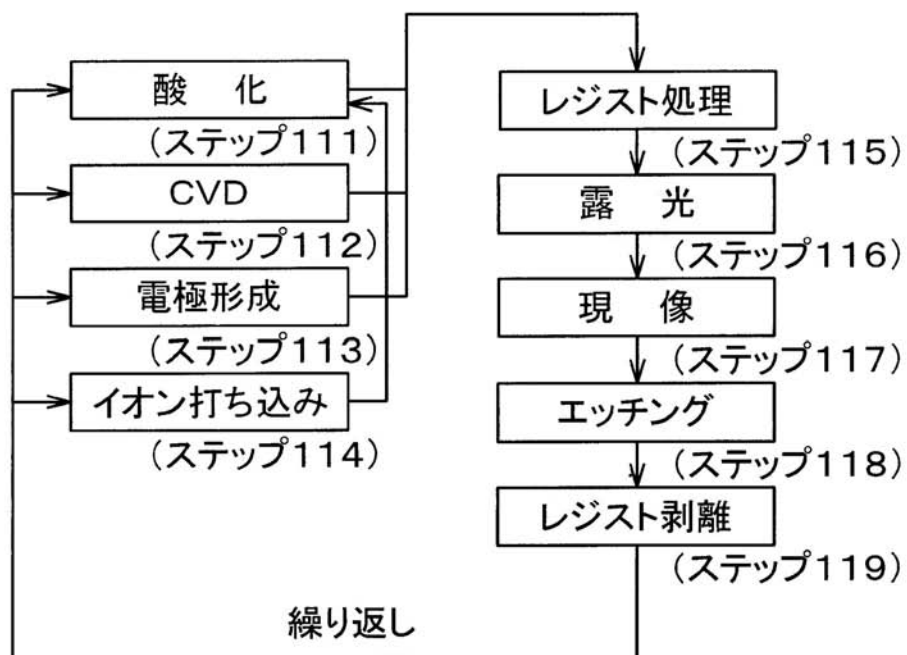
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

