

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4596191号
(P4596191)

(45) 発行日 平成22年12月8日 (2010. 12. 8)

(24) 登録日 平成22年10月1日 (2010. 10. 1)

(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 1 6 F

G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 47 (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2007-517829 (P2007-517829)
 (86) (22) 出願日 平成18年5月23日 (2006. 5. 23)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2006/310218
 (87) 国際公開番号 W02006/126522
 (87) 国際公開日 平成18年11月30日 (2006. 11. 30)
 審査請求日 平成21年2月10日 (2009. 2. 10)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-151562 (P2005-151562)
 (32) 優先日 平成17年5月24日 (2005. 5. 24)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000004112
 株式会社ニコン
 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
 (74) 代理人 100102901
 弁理士 立石 篤司
 (72) 発明者 上原 祐作
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
 式会社ニコン内
 (72) 発明者 鈴木 広介
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
 式会社ニコン内
 (72) 発明者 中野 勝志
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
 式会社ニコン内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光方法及び露光装置、並びにデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

エネルギービームを、液体を含む光学系を介して物体に照射し、該物体を露光する露光方法であって、

前記液体に入射する前記エネルギービームのエネルギー情報と前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する情報とに基づいて、前記液体のエネルギー吸収に起因する、前記光学系の光学特性の変動を予測する工程と；

該予測結果に基づき、前記物体に対する露光動作を行う工程と；を含む露光方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の露光方法において、

前記光学系の光学特性の変動を予測する工程では、前記エネルギー情報及び前記透過率に関するパラメータを含む算出式を用いて、前記液体のエネルギー吸収に起因する前記光学系の光学特性の変動を予測する露光方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の露光方法において、

前記算出式は、前記液体の温度に関するパラメータをさらに含む露光方法。

【請求項 4】

請求項 2 に記載の露光方法において、

前記液体の透過率に関するパラメータは、前記液体中の溶存酸素濃度の変化に起因する前記液体の透過率の変動に関するパラメータを含む露光方法。

10

20

【請求項 5】

請求項 1 に記載の露光方法において、
前記液体の透過率に基づいて、前記物体に対する積算露光量を制御する露光方法。

【請求項 6】

請求項 2 に記載の露光方法において、
前記光学系を通過した前記エネルギービームのエネルギー強度を所定のタイミングで計測し、
該計測結果に基づいて前記算出式を更新する露光方法。

【請求項 7】

請求項 2 に記載の露光方法において、
前記光学系は、前記エネルギービームが通過する光学素子を含み、
前記光学系の光学特性の変動を予測する工程では、前記エネルギー情報をパラメータとして含む、前記算出式とは別の算出式を用いて、前記光学素子のエネルギー吸収に起因する前記光学系の光学特性の変動も予測する露光方法。

10

【請求項 8】

請求項 1 に記載の露光方法において、
前記光学系の光学特性の変動を予測する工程では、前記光学系の光学特性の変動を、前記液体の温度にさらに基づいて予測する露光方法。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の露光方法において、
前記光学系は、前記エネルギービームが通過する光学素子を含み、
前記光学系の光学特性の変動予測は、前記光学素子のエネルギー吸収をも考慮して行われる露光方法。

20

【請求項 10】

請求項 1 に記載の露光方法において、
前記光学系の少なくとも一部を構成する光学素子のビーム射出側に前記物体を配置し、
前記光学素子のビーム入射側のビーム路を前記液体で満たす露光方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の露光方法において、
前記光学素子と前記物体との間を、前記液体とは異なる種類若しくは同一種類の別液体で満たす露光方法。

30

【請求項 12】

請求項 11 に記載の露光方法において、
前記光学系の光学特性の変動を予測する工程では、前記エネルギー情報をパラメータとして含む、前記算出式とは別の算出式を用いて、前記別液体のエネルギー吸収に起因する前記光学系の光学特性の変動をも予測する露光方法。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の露光方法において、
前記エネルギービームが照射された液体を、前記エネルギービームが照射されていない液体と交換したときには、前記液体のエネルギー吸収に起因する前記光学系の光学特性の変動はないものとする露光方法。

40

【請求項 14】

エネルギービームを液体を介して物体に照射し、該物体を露光する露光方法であって、
前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する物理量の変動に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御しつつ、前記物体を露光する露光方法。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の露光方法において、
前記物理量は、前記エネルギービームに対する前記液体の透過率を含む露光方法。

【請求項 16】

請求項 14 に記載の露光方法において、
前記液体の前記物理量の変動は、前記液体中の溶存酸素濃度の変化を含む露光方法。

50

【請求項 17】

請求項 16 に記載の露光方法において、
前記液体中の溶存酸素濃度を計測し、
該計測結果に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御する露光方法。

【請求項 18】

請求項 14 に記載の露光方法において、
前記物理量は、前記液体中の溶存酸素濃度を含む露光方法。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の露光方法において、
前記液体中の溶存酸素濃度を計測し、
該計測結果に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御する露光方法。

10

【請求項 20】

請求項 1 ~ 19 のいずれか一項に記載の露光方法により物体を露光して、該物体上にデバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法。

【請求項 21】

エネルギービームを液体を介して物体に照射し、該物体を露光する露光装置であって、
前記液体を含む光学系と；
前記液体に入射する前記エネルギービームのエネルギー情報と前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する情報とを取得するためのセンサシステムと；
該センサシステムを用いて取得された前記エネルギー情報と前記液体の透過率に関連する情報とに基づいて、前記液体のエネルギー吸収に起因する、前記液体を含む光学系の光学特性の変動を予測し、該予測結果に基づき、前記物体に対する露光動作を制御する制御装置と；を備える露光装置。

20

【請求項 22】

請求項 21 に記載の露光装置において、
前記制御装置は、前記エネルギー情報及び前記液体の透過率に関するパラメータを含む算出式を用いて、前記液体のエネルギー吸収に起因する前記光学系の光学特性の変動を予測する露光装置。

【請求項 23】

請求項 22 に記載の露光装置において、
前記算出式は、前記液体の温度に関するパラメータをも含む露光装置。

30

【請求項 24】

請求項 22 に記載の露光装置において、
前記液体の透過率に関するパラメータは、前記液体中の溶存酸素濃度の変化に起因する前記液体の透過率の変動に関するパラメータを含む露光装置。

【請求項 25】

請求項 21 ~ 24 のいずれか一項に記載の露光装置において、
前記センサシステムは、前記液体の透過率に関連する情報として前記液体中の溶存酸素濃度を計測する酸素計を含む露光装置。

【請求項 26】

請求項 21 に記載の露光装置において、
前記制御装置は、前記液体の透過率に基づいて、前記物体に対する積算露光量を制御する露光装置。

40

【請求項 27】

請求項 22 に記載の露光装置において、
所定パターンの像を前記光学系を介して前記物体上に投影するために、前記所定パターンを前記エネルギービームを使って照明する照明系をさらに備え、
前記制御装置は、前記算出式を、前記所定パターンに対する照明条件毎に設定する露光装置。

【請求項 28】

50

請求項 2 2 に記載の露光装置において、
前記光学系は、前記エネルギービームが通過する光学素子を含み、
前記制御装置は、前記エネルギー情報をパラメータとして含む、前記算出式とは別の算出式を用いて、前記光学素子のエネルギー吸収に起因する前記光学系の光学特性の変動も予測する露光装置。

【請求項 2 9】

請求項 2 1 に記載の露光装置において、
前記制御装置は、前記光学系の光学特性の変動を、前記エネルギービームに対する前記液体の透過率と前記液体の温度との少なくとも一方に基づいて予測する露光装置。

【請求項 3 0】

請求項 2 1 に記載の露光装置において、
前記光学系は、前記エネルギービームが通過する光学素子を含み、
前記制御装置は、前記光学素子のエネルギー吸収をも考慮して前記光学系の光学特性の変動予測を行う露光装置。

【請求項 3 1】

請求項 2 1 に記載の露光装置において、
前記光学系の少なくとも一部を構成する光学素子のビーム射出側に前記物体が配置され、
前記光学素子のビーム入射側のビーム路が前記液体で満たされる露光装置。

【請求項 3 2】

請求項 3 1 に記載の露光装置において、
前記光学素子と前記物体との間が、前記液体とは異なる種類若しくは同一種類の別液体で満たされる露光装置。

【請求項 3 3】

請求項 3 2 に記載の露光装置において、
前記制御装置は、前記エネルギー情報をパラメータとして含む、前記算出式とは別の算出式を用いて、前記別液体のエネルギー吸収に起因する前記光学系の光学特性の変動も予測する露光装置。

【請求項 3 4】

請求項 2 1 に記載の露光装置において、
前記液体を供給可能な液浸機構をさらに備える露光装置。

【請求項 3 5】

請求項 2 1 に記載の露光装置において、
前記制御装置は、前記液浸機構を制御して、前記エネルギービームが照射された液体を、前記エネルギービームが照射されていない液体と交換するとともに、前記液浸機構による液体の交換を行ったときに、前記液体のエネルギー吸収に起因する前記光学系の光学特性の変動はないものとする露光装置。

【請求項 3 6】

請求項 2 1 に記載の露光装置において、
前記エネルギービームを射出するビーム源をさらに備え、
前記センサシステムは、前記ビーム源と前記光学系との間で前記エネルギービームの一部を分岐する分岐素子と、該分岐素子で分岐されたエネルギービームが入射するセンサ素子とを有する露光装置。

【請求項 3 7】

エネルギービームを液体を介して物体に照射し、該物体を露光する露光装置であって、
前記エネルギービームを射出するビーム源と；
前記物体を露光するときに、前記ビーム源から射出されたエネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する物理量の変動に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御する制御装置と；を備える露光装置。

【請求項 3 8】

請求項 3 7 に記載の露光装置において、
前記物理量は、前記エネルギービームに対する前記液体の透過率を含む露光装置。

【請求項 3 9】

請求項 3 7 に記載の露光装置において、
前記液体の前記物理量の変動は、前記液体中の溶存酸素濃度の変化を含む露光装置。

【請求項 4 0】

請求項 3 9 に記載の露光装置において、
前記液体中の溶存酸素濃度を計測する計測器をさらに備え、
前記制御装置は、前記計測器の計測結果に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御する露光装置。

10

【請求項 4 1】

請求項 3 7 に記載の露光装置において、
前記物理量は、前記液体中の溶存酸素濃度を含む露光装置。

【請求項 4 2】

請求項 4 1 に記載の露光装置において、
前記液体中の溶存酸素濃度を計測する計測器をさらに備え、
前記制御装置は、前記計測器の計測結果に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御する露光装置。

【請求項 4 3】

請求項 2 1 ~ 4 2 のいずれか一項に記載の露光装置を用いて物体を露光し、該物体上にデバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法。

20

【請求項 4 4】

エネルギービームを、液体を含む光学系を介して物体に照射することによって該物体を露光し、該物体上にデバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記液体に入射する前記エネルギービームのエネルギー情報と前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する情報とに基づいて、前記液体のエネルギー吸収に起因する、前記光学系の光学特性の変動を予測する工程と；

該予測結果に基づき、前記物体に対する露光動作を行う工程と；を含むデバイス製造方法。

30

【請求項 4 5】

エネルギービームを液体を介して物体に照射することにより該物体を露光し、該物体上にデバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記エネルギービームをビーム源から発射する工程と；

前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する物理量の変動に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御しつつ、前記物体を露光処理する工程と；を含むデバイス製造方法。

【請求項 4 6】

エネルギービームを、液体を含む光学系を介して物体に照射することによって該物体を露光し、該物体上にデバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

センサシステムを使って、前記液体に入射する前記エネルギービームのエネルギー情報と前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する情報とを取得する工程と；

該センサシステムを用いて取得された前記エネルギー情報と前記液体の透過率に関連する情報とに基づいて、前記液体のエネルギー吸収に起因する、前記液体を含む光学系の光学特性の変動を予測する工程と；

該予測結果に基づき、前記物体に対する露光動作を実行する工程と；を含むデバイス製造方法。

40

【請求項 4 7】

エネルギービームを液体を介して物体に照射することにより該物体を露光し、該物体上に

50

デバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、
ビーム源から前記エネルギービームを射出する工程と；

前記ビーム源から射出されたエネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する物理量の変動に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御しつつ、前記ビーム源から前記エネルギービームで前記物体を露光する工程と；を含むデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光方法及び露光装置、並びにデバイス製造方法に係り、更に詳しくは、半導体素子（集積回路）、液晶表示素子などの電子デバイスを製造するリソグラフィ工程で用いられる露光方法及び露光装置、並びにこれらを利用するデバイス製造方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来より、半導体素子（集積回路等）、液晶表示素子等の電子デバイスを製造するリソグラフィ工程では、マスク（又はレチクル）のパターンの像を投影光学系を介して、レジスト（感応材）が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の感応性の物体（以下、「ウエハ」と総称する）上の複数のショット領域の各々に投影するステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）などが、主として用いられている。

【0003】

20

この種の投影露光装置では、集積回路の高集積化によるパターンの微細化に伴って、より高い解像力（解像度）が年々要求されるようになり、最近では、液浸法を利用した露光装置が、注目されるようになってきた。この液浸法を利用した露光装置として、投影光学系の下面とウエハ表面との間を水又は有機溶媒等の液体で局所的に満たした状態で露光を行うものが知られている（例えば、下記特許文献1参照）。この特許文献1に記載の露光装置では、液体中での露光光の波長が、空気中の $1/n$ 倍（ n は液体の屈折率で通常 $1.2 \sim 1.6$ 程度）になることを利用して解像度を向上すると共に、空気中に比べて焦点深度を実質的に n 倍に拡大することができる。

【0004】

ところで、液浸露光装置では、露光光の照射による液体の屈折率変化により投影光学系及び液体（例えば、水）を含む全体の光学系の光学特性（例えば収差）が変動する可能性がある。また、液体が大気に触れることによって露光光に対する液体の透過率も変動する可能性がある。例えば、液体中のTOC（Total Organic Carbon：全有機体炭素）及び/又は液体中の溶存酸素量の増加によって液体の透過率が低下する可能性がある。

30

【0005】

この結果、露光装置で許容される収差、要求される各種精度などを維持又は確保することが困難になるおそれがある。

【0006】

【特許文献1】特開平6-252022号公報

【発明の開示】

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、上述のような事情の下でなされたもので、第1の観点からすると、エネルギービームを、液体を含む光学系を介して物体に照射し、該物体を露光する露光方法であって、前記液体に入射する前記エネルギービームのエネルギー情報と前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する情報とに基づいて、前記液体のエネルギー吸収に起因する、前記光学系の光学特性の変動を予測する工程と；該予測結果に基づき、前記物体に対する露光動作を行う工程と；を含む第1の露光方法である。

【0008】

これによれば、液体のエネルギー吸収に起因するその液体を含む光学系の光学特性の変動

50

の影響を抑えて露光動作を実行することが可能になる。

【 0 0 0 9 】

本発明は、第 2 の観点からすると、エネルギービームを液体を介して物体に照射し、該物体を露光する露光方法であって、前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する物理量の変動に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御しつつ、前記物体を露光する第 2 の露光方法である。

【 0 0 1 0 】

これによれば、液体の透過率変動しても、この透過率変動の影響を抑えて物体を露光することが可能となる。

【 0 0 1 1 】

リソグラフィ工程において、本発明の第 1、第 2 の露光方法のいずれかにより、物体を露光して、該物体上にデバイスパターンを形成することで、物体上にデバイスパターンを精度良く形成することが可能になる。従って、本発明は、第 3 の観点からすると、本発明の第 1、第 2 の露光方法のいずれかを用いるデバイス製造方法であるとも言える。

【 0 0 1 2 】

本発明は、第 4 の観点からすると、エネルギービームを液体を介して物体に照射し、該物体を露光する露光装置であって、前記液体を含む光学系と；前記液体に入射する前記エネルギービームのエネルギー情報と前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する情報とを取得するためのセンサシステムと；該センサシステムを用いて取得された前記エネルギー情報と前記液体の透過率に関連する情報とに基づいて、前記液体のエネルギー吸収に起因する、前記液体を含む光学系の光学特性の変動を予測し、該予測結果に基づき、前記物体に対する露光動作を制御する制御装置と；を備える第 1 の露光装置である。

【 0 0 1 3 】

これによれば、液体のエネルギー吸収に起因するその液体を含む光学系の光学特性の変動の影響を抑えて露光動作を実行することが可能になる。

【 0 0 1 4 】

本発明は、第 5 の観点からすると、エネルギービームを液体を介して物体に照射し、該物体を露光する露光装置であって、前記エネルギービームを射出するビーム源と；前記物体を露光するときに、前記ビーム源から射出されたエネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する物理量の変動に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御する制御装置と；を備える第 2 の露光装置である。

【 0 0 1 5 】

これによれば、液体の透過率変動しても、この透過率変動の影響を抑えて物体を露光することが可能となる。

【 0 0 1 6 】

リソグラフィ工程において、本発明の第 1、第 2 の露光装置のいずれかにより、物体を露光して、該物体上にデバイスパターンを形成することで、物体上にデバイスパターンを精度良く形成することが可能になる。従って、本発明は、第 6 の観点からすると、本発明の第 1、第 2 の露光装置のいずれかを用いるデバイス製造方法であるとも言える。

【 0 0 1 7 】

本発明は、第 7 の観点からすると、エネルギービームを、液体を含む光学系を介して物体に照射することによって該物体を露光し、該物体上にデバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、前記液体に入射する前記エネルギービームのエネルギー情報と前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する情報とに基づいて、前記液体のエネルギー吸収に起因する、前記光学系の光学特性の変動を予測する工程と；該予測結果に基づき、前記物体に対する露光動作を行う工程と；を含むデバイス製造方法である。

【 0 0 1 8 】

これによれば、液体のエネルギー吸収に起因するその液体を含む光学系の光学特性の変動の影響を抑えて物体に対する露光動作を実行することが可能になり、物体上にデバイスパ

10

20

30

40

50

ターンを精度良く形成することが可能になる。

【 0 0 1 9 】

本発明は、第 8 の観点からすると、エネルギービームを液体を介して物体に照射することにより該物体を露光し、該物体上にデバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、前記エネルギービームをビーム源から発射する工程と；前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する物理量の変動に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御しつつ、前記物体を露光処理する工程と；を含む露光方法である。

【 0 0 2 0 】

これによれば、液体の透過率の変動しても、この透過率変動の影響を抑えて物体を露光することが可能となり、物体上にデバイスパターンを精度良く形成することが可能になる。

10

【 0 0 2 1 】

本発明は、第 9 の観点からすると、エネルギービームを、液体を含む光学系を介して物体に照射することによって該物体を露光し、該物体上にデバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、センサシステムを使って、前記液体に入射する前記エネルギービームのエネルギー情報と前記エネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する情報とを取得する工程と；該センサシステムを用いて取得された前記エネルギー情報と前記液体の透過率に関連する情報とに基づいて、前記液体のエネルギー吸収に起因する、前記液体を含む光学系の光学特性の変動を予測する工程と；該予測結果に基づき、前記物体に対する露光動作を実行する工程と；を含むデバイス製造方法である。

20

【 0 0 2 2 】

これによれば、液体のエネルギー吸収に起因するその液体を含む光学系の光学特性の変動の影響を抑えて物体に対する露光動作を実行することが可能になり、物体上にデバイスパターンを精度良く形成することが可能になる。

【 0 0 2 3 】

本発明は、第 10 の観点からすると、エネルギービームを液体を介して物体に照射することにより該物体を露光し、該物体上にデバイスパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、ビーム源から前記エネルギービームを射出する工程と；前記ビーム源から射出されたエネルギービームに対する前記液体の透過率に関連する物理量の変動に基づいて前記物体に対する積算露光量を制御しつつ、前記ビーム源から前記エネルギービームで前記物体を露光する工程と；を含むデバイス製造方法である。

30

【 0 0 2 4 】

これによれば、液体の透過率の変動しても、この透過率変動の影響を抑えて物体を露光することが可能となり、物体上にデバイスパターンを精度良く形成することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 5 】

【図 1】一実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】投影光学系の像面側及びノズル部材近傍を示す断面図である。

【図 3】ノズル部材を下から見た図である。

40

【図 4】投影光学系の構成を示す図である。

【図 5】図 1 の装置の制御系の主要部を示すブロック図である。

【図 6】図 6 (A) ~ 図 6 (D) は、一実施形態の露光装置の効果を説明するための図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 6 】

以下、本発明の一実施形態を図 1 ~ 図 6 (D) に基づいて説明する。

【 0 0 2 7 】

図 1 には、一実施形態に係る露光装置 100 の構成が概略的に示されている。この露光装置 100 は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置、すなわちいわゆるス

50

キャナである。

【 0 0 2 8 】

露光装置 1 0 0 は、光源 1 6 及び照明光学系 1 2 を含む照明系、該照明系から射出される露光用のエネルギービームとしての照明光 I L により照明されるレチクル R を保持して所定の走査方向（ここでは、図 1 における紙面内左右方向である Y 軸方向とする）に移動するレチクルステージ R S T、レチクル R のパターンをウエハ W 上に投影する投影光学系 P L を含む投影ユニット P U、ウエハ W を保持して水平面（X Y 平面内）を移動するウエハステージ W S T 及び液浸機構、並びにこれらを制御する制御系等を備えている。

【 0 0 2 9 】

光源 1 6 としては、一例として波長 2 0 0 n m ~ 1 7 0 n m の真空紫外域の光を発するパルス光源である A r F エキシマレーザ（出力波長 1 9 3 n m ）が用いられている。

10

【 0 0 3 0 】

前記照明光学系 1 2 は、所定の位置関係で配置された、ビーム整形光学系 1 8、エネルギー粗調器 2 0、オプティカル・インテグレート（ユニフォマイザ、又はホモジナイザ）2 2、照明系開口絞り板 2 4、ビームスプリッタ 2 6、第 1 リレーレンズ 2 8 A、第 2 リレーレンズ 2 8 B、固定レチクルブラインド 3 0 A、可動レチクルブラインド 3 0 B、光路折り曲げ用のミラー M 及びコンデンサレンズ 3 2 等を含む。なお、オプティカル・インテグレート 2 2 としては、フライアイレンズ、内面反射型インテグレート、又は回折光学素子などが用いられるが、図 1 ではフライアイレンズを用いているので、以下では「フライアイレンズ」とも呼ぶ。

20

【 0 0 3 1 】

前記エネルギー粗調器 2 0 は、光源 1 6 から入射したレーザビーム L B の断面形状を整形するビーム整形光学系 1 8 後方のレーザビーム L B の光路上に配置され、回転板（レボルバ）3 4 の周囲に透過率（= 1 - 減光率）の異なる複数個（例えば 6 個）の N D フィルタ（図 1 ではそのうちの 2 個の N D フィルタが示されている）を配置し、その回転板 3 4 を駆動モータ 3 8 で回転することにより、入射するレーザビーム L B に対する透過率を 1 0 0 % から複数段階で切り換えることができる。駆動モータ 3 8 は、主制御装置 5 0 によって制御される。なお、エネルギー粗調器 2 0 を、複数個の N D フィルタを備えた 2 段のレボルバ、又は透過率の異なる複数のメッシュフィルタ等を備えた 1 段若しくは複数段のフィルタ交換部材により構成しても良い。

30

【 0 0 3 2 】

エネルギー粗調器 2 0 の後方では、円板状部材から成る照明系開口絞り板 2 4 がフライアイレンズ 2 2 を介して配置されている。この照明系開口絞り板 2 4 には、ほぼ等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り（通常絞り）、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである σ 値を小さくするための開口絞り（小 σ 絞り）、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り（図 1 ではこのうちの 2 種類の開口絞りのみが図示されている）等が配置されている。この照明系開口絞り板 2 4 は、主制御装置 5 0 により制御されるモータ等の駆動装置 4 0 により回転され、これによりいずれかの開口絞りが照明光 I L の光路上に選択的に設定される。

40

【 0 0 3 3 】

なお、本実施形態においては、照明系開口絞り板 2 4 を用いて照明条件を変更しているが、照明条件を変更する光学素子（光学系）はこれに限らない。例えば米国特許 6, 5 6 3, 5 6 7 号明細書に開示されているような光学系を用いて照明条件を変更してもよい。なお、本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記米国特許の開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

【 0 0 3 4 】

前記照明系開口絞り板 2 4 後方の照明光 I L の光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ 2 6 が配置され、更にこの後方の光路上に、固定レチクルブラインド（固定視野絞り）3 0 A 及び可動レチクルブラインド（可動視野絞り）3 0 B を介在させ

50

て第1リレーレンズ28A及び第2リレーレンズ28Bを含むリレー光学系が配置されている。

【0035】

固定レチクルブラインド30Aは、レチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の照明領域IARを規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド30Aの近傍に可変の開口部を有する可動レチクルブラインド30Bが配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動レチクルブラインド30Bを用いて照明領域IARを更に制限することによって、不要な露光が防止される。

【0036】

第2リレーレンズ28B後方の照明光ILの光路上には、当該第2リレーレンズ28Bを通過した照明光ILをレチクルRに向けて反射する折り曲げミラーMが配置され、このミラーMの後方の照明光ILの光路上にコンデンサレンズ32が配置されている。

【0037】

一方、ビームスプリッタ26の一方の面(表面)で反射された照明光ILは、集光レンズ44を介して光電変換素子より成るインテグレートセンサ46で受光され、インテグレートセンサ46の光電変換信号が、不図示のホールド回路及びA/D変換器などを介して出力DS(digit/pulse)として主制御装置50に供給される。インテグレートセンサ46としては、例えば遠紫外域や真空紫外域で感度があり、且つ光源16からのパルス光を検出するために高い応答周波数を有するPIN型のフォトダイオード等が使用できる。

【0038】

また、ビームスプリッタ26の他方の面(裏面)で反射した光を受光するために、照明光学系12の瞳面と共役な位置に光電変換素子よりなる反射量モニタ47が配置されている。本実施形態では、ウエハWで反射された照明光IL(反射光)は、投影光学系PL、コンデンサレンズ32、ミラーM、リレー光学系を介してビームスプリッタ26に戻り、ビームスプリッタ26で反射された光が反射量モニタ47で受光され、反射量モニタ47の検出信号が主制御装置50に供給される。反射量モニタ47は、後述する光学系の照明光吸収による結像特性(諸収差)の変動、いわゆる照射変動を算出するための基礎となるウエハ反射率の測定に用いられる。

【0039】

従って、露光中には、インテグレートセンサ46の出力信号よりレチクルRを介して投影光学系PL及び該投影光学系PLとウエハWとの間に満たされた液体Lq1を通過する照明光ILの光量(第1光量とする)がモニタされ、反射量モニタ47の検出信号よりウエハWで反射されて液体Lq1及び投影光学系PLを再び通過する反射光の光量(第2光量とする)がモニタできるため、その第1光量と第2光量とに基づいて、投影光学系PL及び液体Lq1を通過する光の全光量がより正確にモニタできるようになっている。後述するように、本実施形態では、投影光学系PLの一部を構成する最も像面に近い光学素子とこれに隣接する光学素子との間の空間にも液体Lq2(図2参照)が満たされるが、液体Lq2は、投影光学系PLを構成する光学素子の一部であるとみなし、ここでは、液体Lq1のみを投影光学系PLとは別に説明したものである。

【0040】

前記レチクルステージRST上には、レチクルRが載置され、不図示のバキュームチャック等を使って吸着保持されている。レチクルステージRSTは、例えばリニアモータ方式のレチクルステージ駆動系48によって、水平面(XY平面)内で微小駆動可能であるとともに、走査方向(ここでは図1の紙面内左右方向であるY軸方向とする)に所定ストローク範囲で走査される。レチクルステージRSTの位置は、レチクルステージRSTの鏡面加工された側面(反射面)を使って外部のレチクルレーザ干渉計53によって計測され、このレチクルレーザ干渉計53の計測値が主制御装置50に供給される。

【0041】

本実施形態では、前記投影ユニットPUは、図1に示されるように、レチクルステー

10

20

30

40

50

R S Tの下方に配置されている。投影ユニットPUは、鏡筒140と、該鏡筒140内に所定の位置関係で保持された複数の光学素子を有する投影光学系PLとを含む。また、本実施形態では、前記投影光学系PLとしては、反射屈折系（カタディ・オプトリック系）が用いられている。

【0042】

本実施形態の露光装置100では、後述するように液浸法を適用した露光が行われるため、開口数NAが実質的に増大することに伴いレチクル側の開口が大きくなる。このため、レンズのみで構成する屈折光学系においては、ペッツヴァルの条件を満足することが困難となり、投影光学系が大型化する傾向にある。かかる投影光学系の大型化を避けるために、投影光学系PLとして反射屈折系を採用したものである。

10

【0043】

図4には、投影光学系PLの構成例が、レチクルR（レチクルステージRST）及びウエハW（ウエハステージWST）とともに示されている。この投影光学系PLは、前述の鏡筒140の内部に、所定の位置関係で配置された3つの結像光学系G1、G2、G3等を含み、全体として縮小光学系（投影倍率は、例えば1/4倍、1/5倍又は1/8倍）である。

【0044】

投影光学系PLは、レチクルRに形成されたパターンの一次像を形成する屈折型の第1結像光学系G1と、当該一次像を再結像して二次像を形成する反射屈折型の第2結像光学系G2と、当該二次像をウエハ上に再結像して最終像を形成する第3結像光学系G3とを備える。第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中及び第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中には、光路折曲げ鏡FMが配置される。第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸AX3とは共軸であり、これらの光軸AX1、AX3と第2結像光学系G2の光軸AX2とは一点で交差する。この交差点には、光路折曲げ鏡FMが有する2つの反射面の仮想的な頂点（稜線）が位置する。

20

【0045】

この投影光学系PLでは、第2結像光学系G2の一部を構成する凹面反射鏡M1が正の屈折力を持ちつつペッツヴァル和への寄与は負レンズと同様であるため、凹面反射鏡M1と正レンズとの組み合わせによりペッツヴァル和の補正が容易に可能であり、像面湾曲を良好に補正できる。これにより、大きな像側開口数NAであっても、有効結像領域（実効露光領域）の全体に亘って球面収差及び／又はコマ収差を良好に補正できる。そして、第2結像光学系G2中には1以上の負レンズが配置されており、これらの負レンズと凹面反射鏡M1との協働によって、第1結像光学系G1および第3結像光学系G3で生じる色収差を補償している。

30

【0046】

この投影光学系PLのような反射屈折系を用いる場合には、凹面反射鏡M1に向かって進む光と凹面反射鏡M1で反射されて戻る光とを如何に分離するかが課題になる。本実施形態の投影光学系PLは、図3に示されるように光軸AX（すなわち光軸AX1、AX3）に対して-Y側に距離Aだけ偏心した実効露光領域（有効結像領域）IAを有しており、光路中に2つの中間像を形成している。そして、2つの中間像の近傍に光路分離用の平面反射鏡、すなわち光路折曲げ鏡FMの2つの反射面を配置して、凹面反射鏡M1に向かって進む光と凹面反射鏡M1で反射されて戻る光とを容易に分離している。この構成により、露光領域（すなわち実効露光領域）IAの光軸AXからの距離A、すなわち軸外し量を小さく設定できる。これは、収差補正の点で有利となるだけでなく、投影光学系PLの小型化、光学調整、機械設計、製造コストなどの点でも有利となる。そして、2つの中間像を光路折曲げ鏡FMよりも凹面反射鏡M1側に形成することにより、さらに軸はずし量を小さく設定できる。

40

【0047】

また、レチクルR上では、上記の実効露光領域IAの偏心に対応して、光軸AXから-Y方向に軸外し量Aに対応する所定距離だけ離れた位置に、実効露光領域IAに対応した

50

大きさおよび形状を有する矩形状の照明領域（すなわち実効照明領域）I A R が形成される（図 4 参照）。

【 0 0 4 8 】

投影光学系 P L の複数の光学素子のうち、終端光学素子 1 9 1 を除く、最もウエハに近い位置に配置された光学素子である境界レンズ 1 9 2（以下、適宜、「光学素子 1 9 2」とも記述する）は、レチクル側に凸面を有する。換言すれば、境界レンズ 1 9 2 のレチクル側の面は、正の屈折力を有する。そして、境界レンズ 1 9 2 とウエハ W との間の光路中には、平行平板から成る終端光学素子 1 9 1 が配置されている。さらに、境界レンズ 1 9 2 と終端光学素子 1 9 1 との間の光路および終端光学素子 1 9 1 とウエハ W との間の光路は、1 . 1 よりも大きい屈折率を有する液体で満たされている。本実施形態では、A r F エキシマレーザ光すなわち波長 1 9 3 n m の照明光 I L に対する屈折率が 1 . 4 4 の純水でそれぞれの光路が満たされている。純水は A r F エキシマレーザ光のみならず、例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線（g 線、h 線、i 線）及び K r F エキシマレーザ光（波長 2 4 8 n m）等の遠紫外光（D U V 光）も透過可能である。

10

【 0 0 4 9 】

本実施形態では、投影光学系 P L の複数のレンズのうちの特定の複数のレンズ、例えば第 1 結像光学系 G 1 に含まれる複数のレンズのうちの一部（例えば 5 枚）のレンズ（以下、「可動レンズ」と呼ぶ）は、主制御装置 5 0 からの指令に基づいて、図 1 に示される結像特性補正コントローラ 5 2 によって駆動され、投影光学系 P L を含む光学系の光学特性（結像特性を含む）、例えば倍率、ディストーション、コマ収差、及び像面湾曲（像面傾斜を含む）などを調整できるようになっている。

20

【 0 0 5 0 】

図 1 に示されるように、前記ウエハステージ W S T は、投影光学系 P L の下方で不図示のベースの上方に配置され、リニアモータ等を含むウエハステージ駆動系 5 6 によって、X Y 面内（ θz 回転を含む）で自在に移動される。また、ウエハステージ W S T は、ウエハステージ駆動系 5 6 の一部であるアクチュエータによって、Z 軸方向、及び X Y 面に対する傾斜方向（X 軸回りの回転方向（ θx 方向）及び Y 軸回りの回転方向（ θy 方向））へ微小移動される。なお、ウエハステージ駆動系 5 6 は Z 軸方向及び X Y 平面に対する傾斜方向に加えて、ウエハステージ W S T を X Y 面内で微小移動させるアクチュエータを備えていても良い。

30

【 0 0 5 1 】

ウエハステージ W S T の X Y 平面内での位置、及び回転（ヨーイング（Z 軸回りの回転である θz 回転）、ピッチング（X 軸回りの回転である θx 回転）、ローリング（Y 軸回りの回転である θy 回転））は、ウエハステージ W S T に設けられた反射面を使って、ウエハレーザ干渉計 5 4 によって常時検出されている。

【 0 0 5 2 】

ウエハステージ W S T の位置情報（又は速度情報）は主制御装置 5 0 に供給される。主制御装置 5 0 は、ウエハステージ W S T の上記位置情報（又は速度情報）に基づき、ウエハステージ駆動系 5 6 を介してウエハステージ W S T を制御する。

【 0 0 5 3 】

40

ウエハステージ W S T 上の所定位置には、複数の基準マークを有する基準部材（不図示）が設けられている。また、ウエハステージ W S T 上のウエハ W の近傍に例えば特開昭 5 7 - 1 1 7 2 3 8 号公報及びこれに対応する米国特許第 4 , 4 6 5 , 3 6 8 号明細書などに開示されているような照度むらセンサ 2 1 P が設けられている。照度むらセンサ 2 1 P の受光面はウエハ W の表面と同じ高さに設定されて、ピンホール状の受光部（不図示）が形成されている。更に、ウエハステージ W S T 上には、露光領域 I A よりも広い受光部（不図示）が形成された例えば特開平 1 1 - 1 6 8 1 6 号公報及びこれに対応する米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 0 6 1 4 6 9 号明細書などに開示されているような照射量モニタ 5 8 がその受光面がウエハ W の表面とほぼ同一面に位置する状態で設けられている。照射量モニタ 5 8 及び照度むらセンサ 2 1 P により、投影光学系 P L を通過した照明光 I L を

50

投影光学系 P L の像面又はその近傍の面上で受光できる。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及び対応米国特許又は米国特許出願公開明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

【 0 0 5 4 】

照射量モニタ 5 8 及び照度むらセンサ 2 1 P としては、照明光 I L と同じ波長域（例えば波長 3 0 0 n m ~ 1 0 0 n m 程度）に対して感度があり、且つ照明光 I L を検出するために高い応答周波数を有するフォトダイオード、又はフォトマルチプライアチューブ等の光電変換素子を使用できる。照射量モニタ 5 8 及び照度むらセンサ 2 1 P の検出信号（光電変換信号）が不図示のホールド回路、及びアナログ/デジタル（A / D）変換器などを介して主制御装置 5 0 に供給されている。

10

【 0 0 5 5 】

前記投影ユニット P U の近傍（例えば + Y 側）には、ウエハ W 上のアライメントマークなどの検出対象マークを光学的に検出するオフアクシス・アライメント系（以下、「アライメント系」と略述する）A L G（図 1 では不図示、図 5 参照）が設けられている。なお、アライメント系 A L G としては、各種方式のセンサを用いることができるが、本実施形態においては、画像処理方式のセンサが用いられている。なお、画像処理方式のセンサは、例えば特開平 4 - 6 5 6 0 3 号公報及びこれに対応する米国特許第 5 , 4 9 3 , 4 0 3 号明細書などに開示されており、ここでは詳細説明を省略する。アライメント系 A L G からの撮像信号は、主制御装置 5 0 に供給される（図 5 参照）。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び対応米国特許明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

20

【 0 0 5 6 】

また、図 1 では不図示であるが、レチクル R の上方には、投影光学系 P L を介してレチクル R 上の一対のレチクルアライメントマークとこれらに対応する前述のウエハステージ W S T 上の基準部材に設けられた一対の基準マークとの位置関係を露光波長の光を用いて検出する一対の T T R（Through The Reticle）アライメント系 R A a , R A b（図 5 参照）が X 軸方向に所定距離隔てて設けられている。レチクルアライメント系 R A a , R A b としては、例えば特開平 7 - 1 7 6 4 6 8 号公報及びこれに対応する米国特許第 5 , 6 4 6 , 4 1 3 号明細書などに開示されるものと同様の構成のものが用いられている。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び対応米国特許明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

30

【 0 0 5 7 】

図 1 に戻り、前記液浸機構は、第 1 液体供給ユニット 6 8、第 2 液体供給ユニット 7 2、第 1 液体回収ユニット 6 9、第 2 液体回収ユニット 7 3 及びノズル部材 7 0、並びにこれら各部に接続された配管系等を備えている。

【 0 0 5 8 】

前記ノズル部材 7 0 は、ウエハ W（ウエハステージ W S T）の上方において鏡筒 1 4 0 の下端部の周りを囲むように設けられた環状部材である。このノズル部材 7 0 は、投影ユニット P U を防振装置（不図示）を介して保持する不図示のメインコラムに不図示の支持部材を介して支持されている。

40

【 0 0 5 9 】

前記第 1 液体供給ユニット 6 8 は、供給管 6 6 を介してノズル部材 7 0 に接続されている。この第 1 液体供給ユニット 6 8 は、供給管 6 6 を介して液体 L q 1 を投影光学系 P L の最も像面に近い終端光学素子 1 9 1（図 2 参照）とウエハ W（ウエハステージ W S T）との間の第 1 空間 K 1（図 2 参照）に供給する。この第 1 液体供給ユニット 6 8 は、液体 L q 1 を収容するタンク、供給する液体 L q 1 の温度を調整する温度調整装置、液体 L q 1 中の異物を除去するフィルタ装置、及び加圧ポンプ、並びに供給する液体 L q 1 の流量を制御する流量制御弁等を含む。この第 1 液体供給ユニット 6 8 は、主制御装置 5 0 に制御され、ウエハ W 上に液浸領域 A R（図 2 参照）を形成する際、液体 L q 1 をウエハ W 上に供給する。なお、露光装置 1 0 0 の第 1 液体供給ユニット 6 8 に、タンク、温度調整装

50

置、フィルタ装置、加圧ポンプのすべてを設けずに、それらの少なくとも一部を露光装置 100 が設置される工場などの設備で代用しても良い。

【0060】

前記第1液体回収ユニット69は、回収管67を介してノズル部材70に接続されている。この第1液体回収ユニット69は、上記第1空間K1に供給された液体Lq1を回収する。この第1液体回収ユニット69は、例えば真空ポンプ等の真空系（吸引装置）、回収された液体Lq1と気体とを分離する気液分離器、及び回収した液体Lq1を収容するタンク、回収される液体の流量を制御するための流量制御弁等を含む。なお、露光装置100に真空系、気液分離器、タンク、流量制御弁のすべてを設けずに、それらの少なくとも一部を露光装置100が配置される工場の設備で代用しても良い。第1液体回収ユニット69は、主制御装置50に制御され、ウエハW上に液浸領域ARを形成するために、第1液体供給ユニット68より供給されたウエハW上の液体Lq1を所定量回収する。

10

【0061】

前記第2液体供給ユニット72は、供給管74を介してノズル部材70より僅かに上方の位置で鏡筒140の+Y側の側面に接続されている。この第2液体供給ユニット72は、液体Lq2を投影光学系PLの終端光学素子191の上面側に形成された第2空間K2（図2参照）に供給する。この第2液体供給ユニット72は、液体Lq2を収容するタンク、供給する液体Lq2の温度を調整する温度調整装置、液体Lq2中の異物を除去するフィルタ装置、及び加圧ポンプ等を備えている。なお、露光装置100の第2液体供給ユニット72に、タンク、温度調整装置、フィルタ装置、加圧ポンプのすべてを設けずに、それらの少なくとも一部を露光装置100が設置される工場などの設備で代用しても良い。

20

【0062】

前記第2液体回収ユニット73は、回収管75を介してノズル部材70より僅かに上方の位置で鏡筒140の-Y側の側面に接続されている。この第2液体回収ユニット73は、上記第2空間K2に供給された液体Lq2を回収する。この第2液体回収ユニットは、例えば真空ポンプ等の真空系（吸引装置）、回収された液体Lq2と気体とを分離する気液分離器、及び回収した液体Lq2を収容するタンク等を備えている。なお、露光装置100に真空系、気液分離器、タンクのすべてを設けずに、露光装置100が配置される工場などの設備を代用しても良い。

30

【0063】

図2には、投影光学系PLの像面側及びノズル部材70近傍の断面図が示され、図3にはノズル部材70を下から見た図が示されている。ここで、これら図2及び図3に基づいて、ノズル部材70近傍の構成等について説明する。

【0064】

図2及び図3において、終端光学素子191及びその上方に配置された境界レンズ192は、鏡筒140に支持されている。終端光学素子191は平行平板であって、該終端光学素子191の下面191aは鏡筒140の下面140aとほぼ面一となっている。鏡筒140に支持された終端光学素子191の上面191b及び下面191aはXY平面とほぼ平行となっている。また、終端光学素子（平行平板）191はほぼ水平に支持されており、無屈折力である。また、鏡筒140と終端光学素子191とのギャップはシールされている。すなわち、終端光学素子191の下側の第1空間K1と終端光学素子191の上側の第2空間K2とは互いに独立した空間であり、第1空間K1と第2空間K2との間での液体の流通が阻止されている。上述したように、第1空間K1は、終端光学素子191とウエハW（又はウエハステージWST）との間の空間であって、その第1空間K1の液体Lq1で液浸領域ARが形成される。一方、第2空間K2は、鏡筒140の内部空間の一部であって、終端光学素子191の上面191bとその上方に配置された境界レンズ192の下面192aとの間の空間である。

40

【0065】

なお、図2においては、終端光学素子191の上面191bの面積は、その上面191

50

bと対向する境界レンズ192の下面192aの面積とほぼ同一、もしくは下面192aの面積よりも小さく、第2空間K2を液体Lq2で満たした場合、終端光学素子191の上面191bのほぼ全面が液体Lq2で覆われる。しかしながら、終端光学素子191の上面191bの面積を、境界レンズ192の下面192aの面積よりも大きくしても良い。この場合、終端光学素子191の上面191bの一部のみを液体Lq2で覆うようにしても良い。

【0066】

また、終端光学素子191は、鏡筒140に対して容易に取り付け・外しが可能となっている。すなわち、終端光学素子191が交換可能な構成が採用されている。

【0067】

ノズル部材70は、図2に示されるように、ウエハW（ウエハステージWST）の上方で鏡筒140の下端部を囲むように配置されている。このノズル部材70は、その中央部に投影ユニットPU（鏡筒140）の下端部を所定の隙間を介して配置可能な穴部70hを有している。本実施形態では、投影光学系PLの投影領域、すなわち実効露光領域IAは、図3に示されるように、X軸方向（非走査方向）を長手方向とする矩形状に設定されている。

【0068】

ウエハWに対向するノズル部材70の下面70aには、その中央部にX軸方向を長手方向とする凹部78が形成されている。この凹部78の内部底面78aの中央部に前述の穴部70hの開口端が形成されている。凹部78の内部底面78aは、XY平面と略平行であり、ウエハステージWSTに支持されたウエハWと対向するキャビティ面とされている。また、凹部78の側壁内面78bは、XY平面に対してほぼ直交するように設けられている。

【0069】

ノズル部材70の下面70aに形成された凹部78の側壁内面78bには、投影光学系PLの終端光学素子191（投影領域IA）を挟んでY軸方向の一側と他側に第1供給口80a、80bがそれぞれ形成されている。第1供給口80a、80bは、ノズル部材70の内部に形成された第1供給流路82の一端部にそれぞれ接続されている。この第1供給流路82は、複数（2つ）の第1供給口80a、80bのそれぞれにその他端部を接続可能なように途中から分岐している。また、前記第1供給流路82の他端部は、前述の供給管66の一端に接続されている。

【0070】

第1液体供給ユニット68の液体供給動作は主制御装置50により制御される。液浸領域ARを形成するために、主制御装置50は、第1液体供給ユニット68より液体Lq1を送出する。第1液体供給ユニット68より送出された液体Lq1は、供給管66を流れた後、ノズル部材70の内部に形成された第1供給流路82の一端部に流入する。そして、第1供給流路82の一端部に流入した液体Lq1は、ノズル部材70に形成された複数（2つ）の第1供給口80a、80bから、終端光学素子191とウエハWとの間の第1空間K1に供給される。なお、本実施形態においては、第1供給口80a、80bから供給される液体Lq1は、ウエハW表面とほぼ平行に吹き出されているが、下向きに液体Lq1が供給されるように第1供給口を形成しても良い。

【0071】

また、第1供給口を、終端光学素子191のX軸方向の両側に設けても良いし、第1供給口は1箇所であっても良い。

【0072】

ノズル部材70の下面70aにおいて、投影光学系PLの投影領域IAを基準として凹部78の外側には第1回収口81が設けられている。この第1回収口81は、ウエハWに対向するノズル部材70の下面70aにおいて投影光学系PLの投影領域IAに対して第1供給口80a、80bの外側に設けられており、投影領域IA、及び第1供給口80a、80bを囲むように環状に形成されている。また、第1回収口81には多孔体81Pが

10

20

30

40

50

設けられている。

【 0 0 7 3 】

前述の回収管 6 7 の一端部は、図 2 に示されるように、ノズル部材 7 0 の内部に形成された第 1 回収流路 8 3 の一部を構成するマニホールド流路 8 3 M の一端部に接続されている。一方、マニホールド流路 8 3 M の他端部は、第 1 回収口 8 1 に接続され、第 1 回収流路 8 3 の一部を構成する環状流路 8 3 K の一部に接続されている。

【 0 0 7 4 】

第 1 液体回収ユニット 6 9 の液体回収動作は主制御装置 5 0 に制御される。主制御装置 5 0 は、液体 L q 1 を回収するために、第 1 液体回収ユニット 6 9 を駆動する。第 1 液体回収ユニット 6 9 の駆動により、ウエハ W 上の液体 L q 1 は、そのウエハ W の上方に設けられている第 1 回収口 8 1 を介して流路 8 3 を流れる。その後、回収管 6 7 を介して第 1 液体回収ユニット 6 9 に吸引回収される。

10

【 0 0 7 5 】

鏡筒 1 4 0 の側壁内面 1 4 0 c には、第 2 供給口 8 6 が形成されている。第 2 供給口 8 6 は、第 2 空間 K 2 の近傍位置に形成されており、投影光学系 P L の光軸 A X に対して + Y 側に設けられている。この第 2 供給口 8 6 は、鏡筒 1 4 0 の側壁内部に形成された第 2 供給流路 8 4 の一端に接続され、第 2 供給流路 8 4 の他端部に前述の供給管 7 4 の一端が接続されている。

【 0 0 7 6 】

また、鏡筒 1 4 0 の側壁内面 1 4 0 c の第 2 供給口 8 6 にほぼ対向する位置には、第 2 回収口 8 7 が形成されている。第 2 回収口 8 7 は、第 2 空間 K 2 の近傍位置に形成されており、投影光学系 P L の光軸 A X に対して - Y 側に設けられている。この第 2 回収口 8 7 は、鏡筒 1 4 0 の側壁に形成された第 2 回収流路 8 5 の一端に接続され、第 2 回収流路 8 5 の他端部に前述の回収管 7 5 の一端が接続されている。

20

【 0 0 7 7 】

第 2 液体供給ユニット 7 2 の液体供給動作は主制御装置 5 0 により制御される。主制御装置 5 0 が、第 2 液体供給ユニット 7 2 より液体 L q 2 を送出すると、その送出された液体 L q 2 は、供給管 7 4 を流れた後、鏡筒 1 4 0 の内部に形成された第 2 供給流路 8 4 の一端部に流入する。そして、第 2 供給流路 8 4 の一端部に流入した液体 L q 2 は、鏡筒 1 4 0 の側壁内面 1 4 0 c に形成された第 2 供給口 8 6 から、光学素子 1 9 2 と終端光学素子 1 9 1 との間の第 2 空間 K 2 に供給される。この場合、第 2 供給口 8 6 からは、終端光学素子 1 9 1 の上面 1 9 1 b と略平行、すなわち X Y 平面と略平行に（横方向に）液体 L q 2 が吹きだされる。

30

【 0 0 7 8 】

第 2 液体回収ユニット 7 3 の液体回収動作は主制御装置 5 0 に制御される。主制御装置 5 0 は、液体 L q 2 を回収するために、第 2 液体回収ユニット 7 3 を駆動する。第 2 液体回収ユニット 7 3 の駆動により、第 2 空間 K 2 の液体 L q 2 は、第 2 回収口 8 7 を介して第 2 回収流路 8 5 に流入し、その後、回収管 7 5 を介して第 2 液体回収ユニット 7 3 に吸引回収される。

【 0 0 7 9 】

なお、本実施形態では、鏡筒 1 4 0 の側壁の内部に流路 8 4 , 8 5 がそれぞれ形成されているが、鏡筒 1 4 0 の一部に貫通孔を設けておき、そこに流路となる配管を通すようにしても良い。また、本実施形態においては、供給管 7 4 及び回収管 7 5 は、ノズル部材 7 0 とは別に設けられているが、供給管 7 4 及び回収管 7 5 の代わりにノズル部材 7 0 の内部に供給路及び回収路を設けて、鏡筒 1 4 0 内部に形成された流路 8 4 , 8 5 のそれぞれと接続するようにしても良い。

40

【 0 0 8 0 】

なお、液浸機構（ノズル部材 7 0 、液体供給ユニット 6 8 , 7 2 、液体回収ユニット 6 9 , 7 3 など）の構造および配置は、上述のものに限られず、照明光 I L の光路中の所定空間を液体で満たすことができれば、いろいろな形態の液浸機構を適用することができる

50

。

【0081】

境界レンズ192の下面192a及び終端光学素子191の上面191bには第2空間K2に満たされた液体Lq2が接触し、終端光学素子191の下面191aには第1空間K1の液体Lq1が接触する。本実施形態においては、少なくとも光学素子191、192は石英によって形成されている。石英は、液体Lq1、Lq2すなわち純水との親和性が高いので、液体接触面である境界レンズ192の下面192a、終端光学素子191の上面191b及び下面191aのほぼ全面に液体Lq1、Lq2を密着させることができる。したがって、光学素子192、191の液体接触面192a、191b及び191aに液体Lq2、Lq1を密着させることによって、光学素子192と終端光学素子191との間の光路、及び終端光学素子191とウエハWとの間の光路を液体Lq2、Lq1で確実に満たすことができる。

10

【0082】

なお、光学素子192、191の少なくとも一方は、水との親和性が高い蛍石であっても良い。また、例えば残りの光学素子を蛍石で形成し、光学素子192、191を石英で形成しても良いし、すべての光学素子を石英（あるいは蛍石）で形成しても良い。

【0083】

また、光学素子192、191の液体接触面192a、191b、191aに、親水化（親液化）処理を施して、液体Lq2、Lq1との親和性をより高めるようにしても良い。

20

【0084】

また、本実施形態においては、鏡筒140の側壁内面140c、及び境界レンズ192の側面192bのそれぞれは、撥液化処理されて撥液性を有している。鏡筒140の側壁内面140c、及び境界レンズ192の側面192bのそれぞれを撥液性にする事で、側壁内面140cと側面192bとの間に形成される間隙に第2空間K2の液体Lq2が浸入することが防止される。

【0085】

上記撥液化処理としては、例えば、ポリ四フッ化エチレン等のフッ素系樹脂材料、アクリル系樹脂材料、シリコン系樹脂材料等の撥液性材料を塗布、あるいは前記撥液性材料からなる薄膜を貼付する等の処理が挙げられる。

30

【0086】

また、鏡筒140の側壁外面140bとノズル部材70の穴部70hの側壁内面70kとのそれぞれに撥液処理を施しても良い。側壁外面140bと側壁内面70kとを撥液性にする事により、側壁外面140bと側壁内面70kとの間に形成される間隙に第1空間K1の液体Lq1が浸入することが防止される。

【0087】

本実施形態の露光装置100では、第2空間K2の+Y側の端部近傍、-Y側の端部近傍に、液体Lq2の温度をそれぞれ検出する第1温度センサ62及び第2温度センサ63（図2、図5参照）がそれぞれ設けられている。これらの温度センサ62、63の検出値は、主制御装置50に供給される。

40

【0088】

また、露光装置100では、第2空間K2内部の液体Lq2中の溶存酸素濃度を検出する酸素濃度計64（図2、図5参照）が設けられ、この酸素濃度センサ64の検出値は、主制御装置50に供給される。

【0089】

なお、第1空間K1の液体Lq1の温度を検出する温度センサ及び/又は、液体Lq1中の溶存酸素濃度を検出する酸素濃度センサを設けても良いが、本実施形態では、これらのセンサを設けていない。

【0090】

更に、本実施形態の露光装置100では、図1では不図示であるが、照射系110a及

50

10

制御系は、図 1 中、主制御装置 50 を含み、主制御装置 50 は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダム・アクセス・メモリ）等から成るいわゆるマイクロコンピュータ（又はミニコンピュータ）を含み、装置全体を統括的に制御する。主制御装置 50 には、メモリ 51 が接続されている。

20

まず、前提となる照明光 I_L の照射量 P の測定方法について説明する。

30

40

$$P_{EXP} = P_0 \times I_1 / I_0 \dots \dots (1)$$

50

、光源 16 のパワーが変動した場合にも照射量が誤差無く算出できる。また、レチクル R の走査位置に応じた関数となっているので、例えばレチクルパターンが面内で片寄っていた場合にも正確に照射量を算出できる。

【 0 0 9 8 】

なお、上の説明では、準備作業として実際の露光時の照明条件下で照射量モニタ 58 の出力を取り込むものとしたが、例えば照射量モニタ 58 の特性により信号が飽和してしまうような場合には、エネルギー粗調器 20 の ND フィルタの一つを照明光路上に選択的に入れるなどして照明光量を意識的に減光した照明条件下で、上記の準備作業を実行しても良い。この場合には、ND フィルタの減光率を考慮して実際の露光時における上記照射量 P_{EXP} の計算を行えば良い。

10

【 0 0 9 9 】

ウエハ反射率の測定

次に、同じく前提となるウエハ反射率 R_W の測定方法について説明する。ウエハステージ W S T 上には、既知の反射率 R_H 、反射率 R_L をそれぞれ有する 2 枚の反射板（不図示）が設置されている。まず、上述した照射光量測定と同様に、主制御装置 50 は、実際の露光時と同一に露光条件（レチクル R、レチクルブラインド、照明条件）を設定し、ウエハステージ W S T を駆動して反射率 R_H の反射板を投影光学系 P L 直下に移動する。このときも、前述の第 1 空間 K 1 は液体 L q 1 で満たされ、かつ常時液体 L q 1 の入れ替えが行われている。また、投影ユニット P U 内の第 2 空間 K 2 は、液体 L q 2 で満たされている。

20

【 0 1 0 0 】

次に、主制御装置 50 は光源 16 の発光を開始するとともに、レチクルステージ R S T を実際の露光と同じ条件で移動しながら反射量モニタ 47 の出力 V_{H0} 及びインテグレータセンサ 46 の出力 I_{H0} を所定のサンプリング間隔で同時に取り込むことにより、レチクルステージ R S T の移動位置（走査位置）に応じた反射量モニタ 47 の出力 V_{H0} 、及びこれに対応するインテグレータセンサ 46 の出力 I_{H0} を内部メモリ内に記憶する。これにより、反射量モニタ 47 の出力 V_{H0} 、及びインテグレータセンサ 46 の出力 I_{H0} が、レチクル R の走査位置に応じた関数として、内部メモリ内に記憶される。次に、主制御装置 50 は、ウエハステージ W S T を駆動して設置された反射率 R_L の反射板を投影光学系 P L 直下に移動して、上記と同様に、反射量モニタ 47 の出力 V_{L0} 、及びインテグレータセンサ 46 の出力 I_{L0} を、レチクル R の走査位置に応じた関数として内部メモリ内に記憶する。

30

【 0 1 0 1 】

このような準備作業を、主制御装置 50 は露光に先立って実行しておく。そして、実際の露光時にはレチクル R の走査位置に応じて記憶しておいた反射量モニタ 47 の出力とインテグレータセンサ 46 の出力、及び露光時の反射量モニタ 47 の出力 V_1 とインテグレータセンサ 46 の出力 I_1 に基づいて、ウエハ反射率 R_{EXPW} を、次式（2）に基づいて算出し、照明光吸収の計算に使用する。

【 0 1 0 2 】

【数 1】

40

$$R_{EXPW} = \frac{R_H - R_L}{V_H - V_L} \times V_1 + \frac{V_H \times R_L - V_L \times R_H}{V_H - V_L} \quad \dots(2)$$

ただし、

$$\tilde{V}_H = V_{H0} \times \frac{I_1}{I_{H0}}$$

$$\tilde{V}_L = V_{L0} \times \frac{I_1}{I_{L0}}$$

50

【 0 1 0 3 】

この式 (2) によると、インテグレータセンサ 4 6 の出力比を計算に使用しているので、光源 1 6 のパワーが変動した場合にもウエハ反射率を正確に算出できる。

【 0 1 0 4 】

なお、上述したような照射量計算及び反射率計算に必要な基礎データの計測をレチクル上のパターンに対する照明条件毎に行って、その計測結果を予めメモリ 5 1 内に照明条件毎に記憶しておいても良い。

【 0 1 0 5 】

照明光吸収による結像特性の変化量の算出

次に、投影光学系 P L (第 2 空間 K 2 内の液体 L q 2 を含む) の照明光吸収による光学系 P L L の結像特性の変動の算出方法について、一例としてフォーカスの変動を採りあげて説明する。

【 0 1 0 6 】

上述のようにして求められた照射量 P_{EXP} 、ウエハ反射率 R_{EXPW} から次式 (3) で表されるモデル関数を使用して投影光学系 P L (第 2 空間 K 2 内の液体 L q 2 を含む) の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカス変動 F_{HEAT} を算出する。

【 0 1 0 7 】

$$F_{HEAT}(t) = F_{EXP}(t) + F_W(t) \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 $F_{HEAT}(t)$ は、時刻 t における光学系 P L L の照射によるフォーカス変動、すなわちフォーカスの照射変動 [m] である。また、 $F_{EXP}(t)$ は、時刻 t における第 2 空間 K 2 内の液体 L q 2 を除く投影光学系 P L の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカス変動 [m] である。また、 $F_W(t)$ は、時刻 t における第 2 空間 K 2 内の液体 L q の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカス変動 [m] である。ここで、上式 (3) に、第 1 空間 K 1 内の液体 L q 1 の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカス変動の関数項が含まれないのは、第 1 空間内の液体 L q 1 は、常時入れ替えられているので、液体 L q 1 の照明光吸収による光学系の結像特性の変動量は、非常に小さく、無視できる程度となるからである。

【 0 1 0 8 】

また、上式 (3) 中の $F_{EXP}(t)$ 、 $F_W(t)$ は、それぞれ次の式 (4)、式 (5) で表される関数である。

【 0 1 0 9 】

【 数 2 】

$$F_{EXP}(t) = \sum_{k=A,B,C} \left[F_{EXPk}(t - \Delta t) \times \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_{FEXPk}}\right) + C_{FEXPk} \times (1 + \alpha_{FEXP} \times R_{EXPW}) \times P_{EXP} \times \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_{FEXPk}}\right) \right\} \right] \quad \dots(4)$$

【 0 1 1 0 】

ここで、 Δt は、照明光吸収による上記光学系の結像特性の変動の計算間隔、すなわち前述のサンプリング間隔であり、 T_{FEXPk} は、第 2 空間 K 2 内の液体 L q を除く投影光学系 P L の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカス変動 (以下、「投影光学系 P L の照明光吸収による光学系のフォーカスの照射変動」と略述する) の時定数 [s e c] ($k=A, B, C$) である。また、 $F_{EXPk}(t - \Delta t)$ は、時刻 ($t - \Delta t$) における第 2 空間 K 2 内の液体 L q を除く投影光学系 P L の照明光吸収による光学系のフォーカスの照射変動の時定数 T_{FEXPk} 成分 [m] ($k=A, B, C$) であり、 C_{FEXPk} は、第 2 空間 K 2 内の液体 L q を除く投影光学系 P L の照明光吸収による光学系のフォーカスの照射変動の飽和値 [m / W] ($k=A, B, C$) であり、 α_{FEXP} は、第 2 空間 K 2 内の液体 L q を除く投影光学系 P L の照明光吸収による光学系のフォーカスの照射変動のウエハ反射率依存性である。なお、 $A, B, C = X, Y, Z$ である。

【 0 1 1 1 】

【数 3】

$$F_w(t) = \sum_{k=A,B,C} \left[F_{wk}(t - \Delta t) \times \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_{FWk}}\right) + C_{FWk} \times (1 + \alpha_{FW} \times R_{WW}) \times P_{EXP} \times \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_{wk}}\right) \right\} \right] \dots(5)$$

【0112】

ここで、 Δt は、前述のサンプリング間隔（照明光吸収による光学系 P L L の結像特性の変動の計算間隔）であり、 T_{FWk} は、第 2 空間 K 2 内の液体 L q 2 の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカス変動（以下、「液体 L q 2 の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカスの照射変動」と略述する）の時定数〔sec〕（ $k=A,B,C$ ）である。また、 $F_{wk}(t - \Delta t)$ は、時刻（ $t - \Delta t$ ）における液体 L q 2 の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカスの照射変動の時定数 T_{FWk} 成分〔m〕（ $k=A,B,C$ ）であり、 C_{FWk} は、液体 L q 2 の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカスの照射変動の飽和値〔m/W〕（ $k=A,B,C$ ）である。また、 R_{WW} は、ウエハ反射率であり、前述のウエハ反射率 R_{EXPW} がそのまま用いられる。また、 α_{FW} は、液体 L q 2 の照明光吸収による光学系 P L L のフォーカスの照射変動のウエハ反射率依存性である。

10

【0113】

上記式（4）、式（5）のモデル関数は、ともに、照射量 P_{EXP} を入力、フォーカス変動を出力と見た時に、1 次遅れ系 3 個の和の形になっている。なお、モデル関数に関しては投影光学系 P L、液体 L q 2 の照明光吸収量と必要とされる精度から変更しても良い。例えば、照明光吸収量が比較的小さければ、1 次遅れ系 2 個の和でも良いし、1 次遅れ系 1 個でも良い。また、投影光学系 P L、液体 L q 2 が照明光を吸収してから結像特性変化として現れるまでに熱伝導により時間が掛かるようならば、ムダ時間系のモデル関数を採用しても良い。なお、フォーカスの照射変動の時定数、フォーカスの照射変動の飽和値、及びウエハ反射率依存性はいずれも実験により求める。あるいは、高精度な熱解析シミュレーションにより計算で求めても良い。あるいは、その両方から求めても良い。

20

【0114】

上記フォーカスと同様の手法により、他の結像特性、すなわち像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差についても、照明光吸収による変動を計算することができる。すなわち、照明光吸収による像面湾曲変化 $C_{U_{HEAT}}$ 、照明光吸収による倍率変化 M_{HEAT} 、照明光吸収によるディストーション変化 D_{HEAT} 、照明光吸収によるコマ収差変化 $C_{O_{HEAT}}$ 、及び照明光吸収による球面収差変化 $S_{A_{HEAT}}$ を、上記式（3）（並びに式（4）及び式（5））と同様のモデル関数に基づいて算出すれば良い。

30

【0115】

なお、上述したフォーカスでは 1 次遅れ系 3 個の和のモデル関数が必要であったが、例えば像面湾曲の計算には 1 次遅れ系 1 個で十分なことも考えられるので、要求される精度に応じて各結像特性毎に照明光吸収のモデル関数を変更しても良い。1 次遅れ系が 2 個又は 1 個のモデル関数を用いる場合には、計算時間の短縮の効果がある。

【0116】

本実施形態では、上記式（3）、（4）、（5）等のモデル関数は、主制御装置 50 により、メモリ 51 内に記憶されている前述の照明条件毎の照射量計算および反射率計算に必要な基礎データの計測結果を用いて、照明条件毎に設定される。

40

【0117】

次に、投影光学系 P L の回転対称な 6 種類の結像特性、具体的にはフォーカス、像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差の補正方法について説明する。

【0118】

まず、フォーカス、像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差の 6 種類の結像特性の変化量は、それらの変化量を各要素とする 6 行 1 列の第 1 マトリックス（A とする）が、各可動レンズにおける上記 6 種類の結像特性変化係数を各要素とする 6 行 5 列の第 2 マトリックス（B とする）と 5 つの可動レンズの移動量を各要素とする 5 行 1 列

50

の第3マトリックス（Cとする）との積として表すことができる。すなわち、次式（6）が成立する。

【0119】

$$A = B \cdot C \quad \dots \dots (6)$$

そこで、まず、初期調整の段階で、主制御装置50は、結像特性補正コントローラ52を介して前述の5つの可動レンズを1個ずつ駆動しながら、フォーカス、像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差の6種類の結像特性について測定を行い、上記第2マトリックスの各要素である各可動レンズにおける上記6種類の結像特性変化係数（ $C_{11} \sim C_{65}$ とする）を求める。なお、これらの結像特性変化係数 $C_{11} \sim C_{65}$ は、高精度な光学シミュレーションにより計算で求めても良い。

10

【0120】

そして、上記の結像特性変化係数の内、フォーカスを除く5種類の結像特性変化係数 $C_{21} \sim C_{65}$ と5個の可動レンズの移動量（駆動量）とを用いて、各可動レンズの移動量（駆動量）を要素とする5行1列のマトリックスCが、フォーカスを除く5種類の結像特性変化係数 $C_{21} \sim C_{65}$ を各要素とする5行5列の行列（ B' とする）の逆行列と、像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差の5種類の結像特性の変動量を各要素とする5行1列のマトリックス（ A' とする）との積で表されたとする、次の5元1次連立方程式を立てる。

【0121】

$$C = [B']^{-1} \cdot A' \quad \dots \dots (7)$$

20

上式（7）の5元1次の連立方程式が予め作成され、メモリ51の内部に格納されている。

【0122】

そして、上の連立方程式を用いることにより、例えば、所定の倍率に変化させたい場合は、その式中の倍率の結像特性変化係数に所定量を入れ、他の4種類の結像特性変化係数に「0」を入れた新たな連立方程式を立て、この連立方程式を解いて各可動レンズの駆動量を求め、この駆動量に応じて各可動レンズを駆動することにより、像面湾曲、ディストーション、コマ収差、球面収差に影響を与えることなく、倍率のみを所定の値に制御することが可能となる。ここでは、倍率を変化させる場合について説明したが、像面湾曲、ディストーション、コマ収差、及び球面収差についても上記と同様であって、他に影響を与えずに個別に値を変化させることができる。

30

【0123】

ところで、上の連立方程式でフォーカスを除くのは、倍率等の他の結像特性を補正するため可動レンズを駆動すると、それに付随してフォーカスが変動するので、フォーカスの補正にはこの影響も考慮する必要があるからである。

【0124】

上記5種類の結像特性を補正するために、5個のレンズ群を移動したことにより副作用的に発生するフォーカス変化をFGとすると、FGは、フォーカスの変化係数 $C_{11} \sim C_{15}$ を各要素とする1行5列のマトリックスと、上で求めた各可動レンズの駆動量を要素とする5行1列のマトリックスとの積として求めることができる。

40

【0125】

結局、光学系自身のフォーカス変化FLは、照明光吸収変化、レンズ移動変化を合せて次式（8）のようになる。

【0126】

$$FL = F_{HEAT} + FG \quad \dots \dots (8)$$

となる。

【0127】

このFLを、ウエハステージWSTの駆動による所定のフォーカス補正の式に代入してフォーカス誤差が0となるようにウエハステージWSTをZ軸方向に駆動することで、レチクルRとウエハWの共役関係（光学的距離）が保たれる。

50

【 0 1 2 8 】

次に、本実施形態の露光装置 1 0 0 における露光の際の動作について説明する。

【 0 1 2 9 】

ウエハWに対する露光を行うに際し、主制御装置 5 0 は、第 2 液体供給ユニット 7 2 を制御して第 2 空間 K 2 に液体 L q 2 を供給する。このとき、主制御装置 5 0 は、第 2 液体供給ユニット 7 2 による単位時間あたりの液体 L q 2 の供給量及び第 2 液体回収ユニット 7 3 による単位時間あたりの液体 L q 2 の回収量を最適に制御しつつ、第 2 液体供給ユニット 7 2 及び第 2 液体回収ユニット 7 3 による液体 L q 2 の供給及び回収を行い、第 2 空間 K 2 のうち、少なくとも照明光 I L の光路上を液体 L q 2 で満たす。

【 0 1 3 0 】

また、ローディングポジション（ウエハ交換位置）でウエハステージ W S T 上にウエハ W がロードされた後、主制御装置 5 0 は、ウエハ W を保持したウエハステージ W S T を投影光学系 P L の下、すなわち露光位置に移動する。そして、ウエハステージ W S T と投影光学系 P L の終端光学素子 1 9 1 とを対向させた状態で、主制御装置 5 0 は、第 1 液体供給ユニット 6 8 による単位時間あたりの液体 L q 1 の供給量及び第 1 液体回収ユニット 6 9 による単位時間あたりの液体 L q 1 の回収量を最適に制御しつつ、第 1 液体供給ユニット 6 8 及び第 1 液体回収ユニット 6 9 による液体 L q 1 の供給及び回収を行い、第 1 空間 K 1 のうち、少なくとも照明光 I L の光路上に液体 L q 1 の液浸領域 A R を形成し、その照明光 I L の光路を液体 L q 1 で満たす。

【 0 1 3 1 】

ここで、主制御装置 5 0 は、ウエハ W の露光処理を行う前に、ウエハステージ W S T 上に設けられた基準部材上のマーク計測や、前述の照度むらセンサ 2 1 P あるいは照射量モニタ 5 8 等を使った各種計測動作（前述の照射量の測定のための事前準備及びウエハ反射率の測定のための事前準備を少なくとも含む）を行い、その計測結果に基づいて、ウエハ W のアライメント処理や、投影光学系 P L の結像特性調整などのキャリブレーション処理を行う。例えば照度むらセンサ 2 1 P あるいは照射量モニタ 5 8 等を使った計測動作を行う場合には、主制御装置 5 0 は、ウエハステージ W S T を X Y 方向に移動することで液体 L q 1 の液浸領域 A R に対してウエハステージ W S T を相対的に移動し、それらのセンサの受光面上に液体 L q 1 の液浸領域 A R を形成し、その状態で液体 L q 1 及び液体 L q 2 を介した計測動作を行う。

【 0 1 3 2 】

上記アライメント処理及びキャリブレーション処理を行った後、主制御装置 5 0 は、第 1 液体供給ユニット 6 8 によるウエハ W 上に対する液体 L q 1 の供給と並行して、第 1 液体回収ユニット 6 9 によるウエハ W 上の液体 L q 1 の回収を行いつつ、ウエハ W を支持するウエハステージ W S T を Y 軸方向（走査方向）に移動しながら、レチクル R のパターン像を、投影光学系 P L （液体 L q 2 を含む）及び第 1 空間 K 1 の液体 L q 1 （すなわち液浸領域 A R の液体）を介して表面にレジストが塗布されたウエハ W 上に投影する。ここで、第 2 液体供給ユニット 7 2 による液体の供給動作及び第 2 液体回収ユニット 7 3 による液体の回収動作は遅くとも露光が開始される時点では主制御装置 5 0 によって停止されており、第 2 空間 K 2 のうち、少なくとも照明光 I L の光路上を液体 L q 2 で満たされた状態となっている。

【 0 1 3 3 】

本実施形態の露光装置 1 0 0 は、レチクル R とウエハ W とを Y 軸方向（走査方向）に移動しながらレチクル R のパターンの像をウエハ W に投影するものであって、走査露光中、投影光学系 P L （液体 L q 2 を含む）、及び第 1 空間の液体 L q 1 を介してレチクル R の一部のパターン像が投影領域 I A 内に投影され、レチクル R が - Y 方向（又は + Y 方向）に速度 V で移動するのに同期して、ウエハ W が投影領域 I A に対して + Y 方向（又は - Y 方向）に速度 $\beta \cdot V$ （ β は投影倍率）で移動する。ウエハ W 上には複数のショット領域が設定されており、1 つのショット領域への露光終了後に、ウエハ W のステッピング移動によって次のショット領域が走査開始位置に移動し、以下、ステップ・アンド・スキャン方

10

20

30

40

50

式でウエハWを移動しながら各ショット領域に対する走査露光処理が順次行われる。

【0134】

本実施形態では、主制御装置50により、前述した投影光学系PL（液体Lq2を含む）の照明光吸収に起因する光学系PLLの結像特性（諸収差（フォーカスを含む））の照射変動の推定演算（式（3）及び同等の演算）が時間 Δt 毎に実行され、その結像特性の推定演算の結果に基づき、露光動作が制御されている。

【0135】

例えば、主制御装置50は、例えば時間 Δt 毎に式（3）の演算を行うとともに、式（3）と同様の推定演算を時間 Δt 毎に行ってフォーカス以外の像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差の照射変動の推定演算を行い、この推定演算の結果と前述の連立方程式とを用いて、前述の如くして、その結像特性の変化を補正するための各可動レンズの駆動量を求め、この駆動量に応じて各可動レンズを駆動することで、光学系の像面湾曲、倍率、ディストーション、コマ収差、球面収差のうちの少なくとも1つの結像特性の照射変動を逐次補正している。

【0136】

また、主制御装置50は、フォーカスを除く結像特性の照射変動が結像特性補正コントローラ52を介して補正される度に、前述の式（6）を用いて光学系自身のフォーカス変化FLを算出し、このFLを所定のフォーカス補正式（この補正式には、多点焦点位置検出系（110a, 110b）によって計測されるデフォーカス量が項として含まれる）に代入してフォーカス誤差が0となるようにウエハステージWSTをZ軸方向に駆動する、ウエハWのオートフォーカス制御を実行する。

【0137】

ところで、本実施形態の露光装置100のような液浸露光装置では、液体の使用を続けていると、液体（純水）の純度が低下し、バクテリアが発生する可能性がある。そこで、本実施形態では、このような事態が極力生じないように、第2空間K2内の液体Lq2を定期的に交換するようにしている。但し、液体Lq2の交換は、スループット低下の要因となるので、あまり頻繁に行うこともできない。そこで、本実施形態では、主制御装置50が、各ロットの先頭のウエハの露光の開始直前毎（あるいは、所定枚数のウエハの露光終了毎）に第2の液体供給ユニット72及び第2の液体回収ユニット73を用いて、第2空間K2内の液体Lq2を交換する。

【0138】

そして、主制御装置50は、この液体Lq2を交換する度に、その交換直後に前述の式（5）中の $F_{wk}(t - \Delta t) = 0$ として、前述の式（3）の演算を実行することとしている。この場合、露光中でないので、照射量 $P_{EXP} = 0$ であるから、 $F_w(t) = 0$ であり、その結果、液体Lq2の交換直後には、 $F_{HEAT}(t) = F_{EXP}(t)$ となって、式（3）は式（4）と同じ演算となる。

【0139】

このように、本実施形態においては、液体Lq2を除いた投影光学系PLの照明光吸収に起因する光学系PLLの結像特性の照射変動のモデル式と、液体Lq2の照明光吸収に起因する光学系PLLの結像特性の照射変動のモデル式が別々に用意されているので、液体Lq2を交換した際にも、投影光学系PL（液体Lq2を含む）及び液体Lq1を含む全体の光学系PLLのフォーカス等の結像特性の照射変動を、正確に推定演算することが可能となり、その光学系の結像特性の高精度な調整が可能となる。

【0140】

例えば、図6（A）に示されるように、時刻 t_0 から時刻 t_1 の間、ウエハの露光を行い、時刻 t_1 以降は露光を停止する場合を考える。この図6（A）において、縦軸は光学系PLLに照射される照明光のエネルギー強度Powerである。

【0141】

この場合の投影光学系PL（液体Lq2を除く）の照明光吸収に起因する光学系PLLの結像特性の変動 AB_{LEN} は、前述の式（4）のモデル式から例えば図6（B）のように

なり、液体 L q 2 の照明光吸収に起因する光学系 P L L の結像特性の変動 $A B_w$ は、前述の式 (5) のモデル式から図 6 (C) 中の細い実線のようにになる。また、時刻 t_1 で液体 L q 2 の交換が行われた場合には、照明光 I L が照射された使用後の液体 L q 2 が、照明光 I L が照射されていない使用前の液体 L q 2 に交換されるため、液体 L q 2 の照明光吸収に起因する光学系 P L L の結像特性の変動 $A B_w$ は、時刻 t_1 以降は、太い実線で示されるように零になる。

【0142】

従って、時刻 t_1 で液体 L q 2 の交換が行われた場合に、液体 L q 2 を除いた投影光学系 P L の照明光吸収に起因する光学系 P L L の結像特性の照射変動のモデル式と、液体 L q 2 の照明光吸収に起因する光学系 P L L の結像特性の照射変動のモデル式とを使って求めた光学系 P L L の全体の照射変動 $A B$ は、図 6 (D) 中の太い実線のようにになる。一方、モデル式として、投影光学系 P L の全体 (液体 L q 2 を含む) の照明光吸収に起因する光学系 P L L の結像特性の変動のモデル式のみしか持たない場合には、液体 L q 2 の交換があった場合にも、それを考慮することができないので、時刻 t_1 で液体 L q 2 の交換が行われた場合であっても、交換が行われない場合と同様に、図 6 (D) 中の細い実線のようにになる。従って、結像特性の照射変動の推定演算の結果に細い実線と太い実線との差に相当する誤差が生じることとなる。

【0143】

上述したように、本実施形態によると、液体 L q 2 を除いた投影光学系 P L の照明光吸収に起因する光学系 P L L の結像特性の照射変動のモデル式と、液体 L q 2 の照明光吸収に起因する光学系 P L L の結像特性の照射変動のモデル式が別々に用意されているので、液体 L q 2 の交換を実行した場合にも、光学系 P L L の結像特性の照射変動の推定演算の結果に上記の誤差が生じない。従って、高精度な光学系 P L L の結像特性の照射変動の推定演算、及びこれに基づく、光学系 P L L の結像特性の高精度な調整が可能となる。

【0144】

なお、上述したように、本実施形態においては、第 1 空間 K 1 内の液体 L q 1 は、液体中へのレジストの溶け込み等による影響を小さくするため常時交換しているので、液体 L q 1 による照明光吸収に起因する光学系の結像特性の変動は問題としていない。

【0145】

また、主制御装置 50 は、前述したように、酸素濃度計 64 の計測結果に基づいて液体 L q 2 中の溶存酸素濃度の変化に起因する、照明光 I L に対する液体 L q 2 の透過率の変動量を求め、その透過率の変動量に基づいて、ウエハ W に対する積算露光量制御 (ドーズ制御) を行っている。

【0146】

液体 L q 2 は、例えば境界レンズ 192 と鏡筒 140 との間のギャップの気体 (酸素) と接触しているため、第 2 液体供給ユニット 72 の供給動作と第 2 液体回収ユニット 73 の回収動作を停止している間に、液体 L q 2 中に酸素が溶け込こみ、照明光 I L に対する液体 L q 2 の透過率が変化 (低下) する可能性がある。

【0147】

照明光 I L に対する液体 L q 2 の透過率が変化 (低下) した場合、インテグレータセンサ 46 の出力に基づいて算出される照明光 I L の光量 (パルス強度) と、実際にウエハ W に到達する照明光 I L の光量 (パルス強度) との間に差が生じ、ウエハ W に対するドーズ制御誤差が生じる虞がある。

【0148】

そこで、主制御装置 50 は、液体 L q 2 中の溶存酸素濃度の変化量と照明光 I L に対する液体 L q 2 の透過率の変化量との関係を示す透過率データを予め記憶している。また主制御装置 50 は、交換直後の液体 L q 2 の溶存酸素濃度を、酸素濃度計 64 を使って取得し、記憶するとともに、液体 L q 2 の交換後、第 2 液体供給ユニット 72 および第 2 液体回収ユニット 73 の動作を停止している間、液体 L q 2 の溶存酸素濃度を酸素濃度計 64 を使って常時モニタする。そして、主制御装置 50 は、酸素濃度計 64 の計測結果と記憶

10

20

30

40

50

されている透過率データとに基づいて、液体 $Lq2$ の透過率の変動量を求め、その変動量をウエハ W に対するドーズ制御に反映させている。より具体的には、液体 $Lq2$ の透過率の変動量に基づいて、照明光 IL の光量（パルス強度）、ウエハ W の走査速度、露光領域 IA の走査方向（ Y 軸方向）の幅、及び光源 16 のパルス光の発射周期の少なくとも一つを微調整する。これにより、照明光 IL に対する液体 $Lq2$ の透過率変化が生じた場合にも、ウエハ W に対するドーズ制御を高精度に実行することが可能となる。

【0149】

以上説明したように、本実施形態の露光装置 100 によると、主制御装置 50 により、インテグレータセンサ 46 等を用いて取得された照射量（エネルギー情報）に基づいて、投影ユニット PU 内部の第 2 空間 $K2$ 内の液体 $Lq2$ のエネルギー吸収に起因する、その液体 $Lq2$ を含む投影光学系及び第 1 空間 $K1$ 内の液体 $Lq1$ を含む光学系 PLL の光学特性の一種である結像特性の変動が予測され、その予測結果に基づき、ウエハ W に対する露光動作が制御される。

【0150】

本実施形態では、主制御装置 50 は、照射量（エネルギー情報）をパラメータとして含む式（ 5 ）を用いて、液体 $Lq2$ のエネルギー吸収に起因する光学系 PLL の結像特性の変動を予測する。また、主制御装置 50 は、照射量（前記エネルギー情報）をパラメータとして含む、式（ 5 ）とは別の式（ 4 ）を用いて、投影光学系 PL （液体 $Lq2$ を除く）による照明光 IL のエネルギー吸収に起因する光学系 PLL の光学特性（結像特性）の変動も予測する。そして、主制御装置 50 は、式（ 5 ）と式（ 4 ）との和である、式（ 3 ）に基づいて、光学系の結像特性の照射変動を推定演算により求め、この演算結果に基づいて、露光動作を制御する。従って、液体 $Lq2$ と投影光学系 PL （液体 $Lq2$ を除く）とのそれぞれの照明光のエネルギー吸収をそれぞれ考慮して光学系 PLL の光学特性（結像特性）の変動を予測することが可能になる。

【0151】

また、主制御装置 50 は、前述の液浸機構を制御して、照明光 IL が照射された液体 $Lq2$ を、照明光 IL が照射されていない液体 $Lq2$ と交換するとともに、液浸機構による液体 $Lq2$ の交換を行ったときに、その液体 $Lq2$ のエネルギー吸収に起因する光学系 PLL の光学特性の変動はなくなったものとする。すなわち、前述の如く $F_{wk}(t - \Delta t) = 0$ 、ひいては $F_w(t) = 0$ とする。

【0152】

従って、液体 $Lq2$ の交換直後などにおいて、液体 $Lq2$ のエネルギー吸収に起因する光学系 PLL の光学特性の変動を考慮せずに露光動作を実行することが可能になる。

【0153】

また、本実施形態の露光装置 100 によると、主制御装置 50 により、ウエハ W を露光するときに、光源 16 から射出された照明光 IL に対する投影光学系 PL 内部の第 2 空間内の液体 $Lq2$ の透過率の変動に基づいて、ウエハ W に対する積算露光量が制御される。本実施形態では、酸素濃度計 64 によって液体 $Lq2$ 中の溶存酸素濃度の変化に基づいて透過率の変動を間接的にモニタしている。すなわち、本実施形態では、主制御装置 50 により、光源 16 からの照明光 IL をウエハ W に照射してウエハ W を露光するときに、酸素濃度計 64 によって計測される液体 $Lq2$ 中の溶存酸素濃度の変化に基づいてウエハ W に対する積算露光量が制御されていると言える。従って、液体 $Lq2$ の溶存酸素濃度の変化に起因して液体 $Lq2$ の透過率が変動し、インテグレータセンサ 46 の出力に基づいて算出される照明光 IL の光量（パルス強度）と、実際にウエハ W に到達する照明光 IL の光量（パルス強度）との間に差が生じる場合にも、ウエハ W に対するドーズ制御を高精度に実行することが可能となる。

【0154】

また、本実施形態では、レンズ作用を有する境界レンズ 192 の下に、平行平板からなる終端光学素子 191 が配置されているが、終端光学素子 191 の下面 $191a$ 側及び上面 $191c$ 側の第 1 、第 2 空間 $K1$ 、 $K2$ のそれぞれに液体 $Lq1$ 、 $Lq2$ を満たすこ

とで、境界レンズ192の下面192aや終端光学素子191の上面191bでの反射損失が低減され、大きな像側開口数を確保した状態で、ウエハWを良好に露光することができる。また終端光学素子191は、無屈折力の平行平板なので、例えば、液体Lq1中の汚染物質が終端光学素子191の下面191aに付着した場合にも、容易に交換することが可能である。

【0155】

なお、終端光学素子191の交換などを考慮しない場合には、終端光学素子191は屈折力を有するレンズでも良い。

【0156】

本実施形態の露光装置100によると、ウエハWに対する高精度かつ線幅制御性の良好な露光が行われ、ウエハW上の各ショット領域にレチクルRのパターンが精度良く転写される。また、本実施形態の露光装置100では、液浸露光により、高解像度かつ空気中と比べて大焦点深度の露光を行うことで、レチクルRのパターンを精度良くウエハ上に転写することができ、例えばArFエキシマレーザ光で、デバイスルールとして45~100nm程度の微細パターンの転写を実現することができる。

【0157】

なお、上記実施形態では、主制御装置50は、インテグレートセンサ46などを使って求められる照明光ILの照射量（エネルギー情報）をパラメータとして含む式（5）を用いて、液体Lq2のエネルギー吸収に起因する光学系PLLの光学特性の変動を予測する場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。例えば、式（4）、式（5）に代えて、それぞれの右辺に、式（4）、式（5）の右辺に加えあるいは代えて、液体Lq2の温度に関するパラメータ、及び照明光ILに対する液体Lq2の透過率に関するパラメータの少なくとも一方を含む項を含むモデル式を用いても良い。照明光ILに対する液体Lq2の透過率に関するパラメータとしては、液体Lq2の透過率に影響する液体Lq2中の溶存酸素濃度を使っても良い。

【0158】

上記の液体Lq2の温度に関するパラメータとしては、例えば温度センサ62、63の検出値を採用することができる。また、液体Lq2の透過率に関するパラメータとして、酸素濃度計64の計測値を採用することができる。また液体Lq2の透過率に関するパラメータは、液体Lq2の溶存酸素濃度に限らず、液体Lq2の透過率に影響を及ぼす可能性のある他のパラメータ（TOCなど）をモデル式に含めても良い。

【0159】

なお、本実施形態の露光装置100は、第2空間K2に温度センサ62、63が設置されているが、上述のように、インテグレートセンサ46などを使って求められる照明光ILの照射量に基づいて光学系PLLの光学特性の変動を予測する場合には、第2空間K2に配置された温度センサ62、63を省いても良い。

【0160】

また、液体Lq2の透過率の変動を考慮しない場合（例えば、第2の液体供給ユニット72及び第2の液体回収ユニット73を使って液体Lq2の常時入れ替えを行う場合には、第2空間K2に配置された酸素濃度計64を省いても良い。

【0161】

なお、主制御装置50は、温度センサ62、63の検出値に基づいて、液体Lq2の左右（Y軸方向の一側と他側）の温度差を監視し、その温度差に起因する光学系PLLの波面収差の1θ成分を必要に応じて補正することとしても良い。図4に示されるように、本実施形態では、投影光学系PLとして反射屈折系を用いており、第2空間K2において照明光ILが光軸AX3に対して-Y方向に偏った位置を通過するため、第2空間K2内において光軸AX3の-Y側の液体Lq2と+Y側の液体Lq2とに温度差が生じる可能性があるが、主制御装置50は、温度センサ62、63を使って、この温度差を検知することができるので、その温度差に起因する光学系PLLの収差を補正することができる。

【0162】

なお、上述の実施形態においては、第1空間K1内の液体Lq1は常時入れ替えを行っているので、液体Lq1の照明光吸収（エネルギー吸収）に起因する光学系PLLの光学特性の照射変動を考慮せずにウエハWの露光を行っているが、例えば、第1空間K1の液体Lq1の交換を定期的に行う場合、及び/又は液体Lq1の照明光の吸収が大きい場合には、液体Lq1の照明光吸収に起因する光学系PLLの光学特性の照射変動を考慮しても良い。この場合、液体Lq2と同様に、液体Lq1の照明光吸収に起因する光学系PLLの光学特性を変動を予測するためのモデル式をさらに用意しても良い。

【0163】

また、液体Lq1の溶存酸素濃度が変動し、照明光ILに対する液体Lq1の透過率が変動する場合には、液体Lq1の透過率（溶存酸素濃度）を考慮して、光学系PLLの光学特性の調整とウエハWに対するドーズ制御の少なくとも一方を行うようにしても良い。

10

【0164】

また、液体Lq1の照明光吸収及び液体Lq1の透過率の少なくとも一方を考慮する場合には、液体Lq1の温度を計測する温度センサ及び液体Lq1の溶存酸素濃度を検出する酸素濃度計の少なくとも一方を第1空間K1の近傍などに配置しても良い。

【0165】

また、上記実施形態では、光学系の少なくとも一部を構成する終端光学素子191のビーム射出側にウエハWを配置し、終端光学素子のビーム入射側の第2空間K2のうち少なくとも照明光ILの光路（ビーム路）を液体Lq2で満たし、かつ終端光学素子191とウエハWとの間の第1空間K1を、液体Lq1で満たす場合について説明した。しかしながら、本発明がこれに限定されないことは勿論である。例えば、終端光学素子191とウエハWとの間の第1空間K1のみを、液体、例えば純水で満たすこととしても良い。この場合に、主制御装置50は、エネルギー情報をパラメータとして含む、式(5)とは別のモデル式を用いて、その液体の照明光の吸収（エネルギー吸収）に起因する光学系PLLの光学特性の変動を予測することとしても良い。

20

【0166】

また、この場合も、液体Lq1の透過率（溶存酸素濃度）を考慮して、光学系PLLの光学特性の調整とウエハWに対するドーズ制御の少なくとも一方を行うようにしても良いし、液体Lq1の照明光吸収及び液体Lq1の透過率の少なくとも一方を考慮する場合には、液体Lq1の温度を計測する温度センサ及び液体Lq1の溶存酸素濃度を検出する酸素濃度計の少なくとも一方を第1空間K1の近傍などに配置しても良い。

30

【0167】

また、上記実施形態において、前述の照射量計測の準備作業と同様に、光学系PLLを通過した照明光ILのエネルギー強度を所定のタイミングで計測し、該計測結果に基づいて前述の式(3)に含まれる部分のうち少なくとも式(5)部分のうち、単位時間当たりの照射量 P_{EXP} の算出の基礎となる I_0/I_1 （すなわち光学系の透過率）、ひいてはそれを用いた式(5)を更新することとしても良い。かかる場合には、結像特性の照射変動の演算に、光学系透過率の経時的な変化を反映させることが可能になる。

【0168】

なお、上記実施形態では、液体Lq1、Lq2として同じ純水を供給しているが、第1空間に供給される純水（液体Lq1）と第2空間に供給される純水（液体Lq2）との品質を異ならせても良い。純水の品質としては、例えば温度均一性、温度安定性、比抵抗値、あるいはTOC(total organic carbon)値などが挙げられる。

40

【0169】

例えば、第2空間K2に供給される純水よりも、投影光学系PLの像面に近い第1空間K1へ供給される純水の品質を高くしても良い。また、第1空間と第2空間に互いに異なる種類の液体を供給し、第1空間K1に満たす液体Lq1と第2空間K2に満たす液体Lq2とを互いに異なる種類にしても良い。例えば、第2空間K2にフッ素系オイルをはじめとする純水以外の所定の液体を満たすことができる。オイルは、バクテリアなどの細菌の繁殖する確率が低い液体であるため、第2空間K2や液体Lq2（フッ素系オイル）の

50

流れる流路の清浄度を維持することができる。

【 0 1 7 0 】

また、液体 L_{q1} 、 L_{q2} の双方を水以外の液体にしても良い。例えば、照明光 I_L の光源が F_2 レーザである場合、 F_2 レーザ光は水を透過しないので、液体 L_{q1} 、 L_{q2} としては F_2 レーザ光を透過可能な例えば、過フッ化ポリエーテル (PFPE) やフッ素系オイル等のフッ素系流体であっても良い。この場合、液体 L_{q1} 、 L_{q2} と接触する部分には、例えばフッ素を含む極性の小さい分子構造の物質で薄膜を形成することで親液化処理する。また、液体 L_{q1} 、 L_{q2} としては、その他にも、照明光 I_L に対する透過性があるだけ屈折率が高く、投影光学系 PL やウエハ W 表面に塗布されているフォトレジストに対して安定なもの (例えばセダー油) を用いることも可能である。この場合も表面処理は用いる液体 L_{q1} 、 L_{q2} の極性に依拠して行われる。

10

【 0 1 7 1 】

なお、上述したような液浸法においては、投影光学系の開口数 NA が 0.9 ~ 1.3 になることもある。このように投影光学系の開口数 NA が大きくなる場合には、従来から露光光として用いられているランダム偏光光では偏光効果によって結像性能が悪化することもあるので、偏光照明を用いるのが望ましい。その場合、マスク (レチクル) のライン・アンド・スペースパターンのラインパターンの長手方向に合わせた直線偏光照明を行い、マスク (レチクル) のパターンからは、S 偏光成分 (TE 偏光成分)、すなわちラインパターンの長手方向に沿った偏光方向成分の回折光が多く射出されるようにすると良い。投影光学系 PL とウエハ W 表面に塗布されたレジストとの間が液体で満たされている場合、投影光学系 PL とウエハ W 表面に塗布されたレジストとの間が空気 (気体) で満たされている場合に比べて、コントラストの向上に寄与する S 偏光成分 (TE 偏光成分) の回折光のレジスト表面での透過率が高くなるため、投影光学系の開口数 NA が 1.0 を越えるような場合でも高い結像性能を得ることができる。また、位相シフトマスクや特開平 6 - 188169 号公報に開示されているようなラインパターンの長手方向に合わせた斜入射照明法 (特にダイポール照明法) 等を適宜組み合わせると更に効果的である。

20

【 0 1 7 2 】

更に、マスク (レチクル) のラインパターンの長手方向に合わせた直線偏光照明 (S 偏光照明) だけでなく、特開平 6 - 53120 号公報などに開示されているように、光軸を中心とした円の接線 (周) 方向に直線偏光する偏光照明法と斜入射照明法との組み合わせも効果的である。本国際出願で指定した指定国 (又は選択した選択国) の国内法令が許す限りにおいて、上記公報における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

30

【 0 1 7 3 】

なお、上述の実施形態では、投影光学系 PL として反射屈折系を採用しているが、反射素子を含まない屈折系を採用することもできる。また、投影光学系 PL として、例えば米国特許第 6,636,350 号明細書、米国特許第 6,873,476 号明細書、及び米国特許出願公開第 2004/016066 号明細書に開示されているタイプの反射屈折系を用いることもできる。本国際出願で指定した指定国 (又は選択した選択国) の国内法令が許す限りにおいて、上記各米国特許明細書又は米国特許出願公開明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

40

【 0 1 7 4 】

また、上述の実施形態では、光学系 PLL の光学特性として、フォーカスだけでなく、倍率、ディストーションなどの照射変動を予測し、調整するようにしているが、必要に応じて、それらの少なくとも一つを選択して予測及び調整を実行しても良い。

【 0 1 7 5 】

なお、上記実施形態では、本発明がスキャナに適用された場合について説明したが、これに限らず、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置 (ステッパ) などの静止露光型の露光装置、さらに、ステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置、又はプロキシミティ方式の露光装置などであっても液浸領域を介して露光を行うのであれば、本発明は適用が可能である。この場合も、上記実施形態と同様の光学系の結像特性の照射変動演算、及

50

び調整を行うようにすれば良い。但し、投影光学系を持たないプロキシミティ方式の露光装置の場合、液浸領域を形成する液体が光学系に相当する。

【0176】

また、本発明は、特開平10-163099号公報、特開平10-214783号公報（対応米国特許第6,341,007号明細書、第6,400,441号明細書、第6,549,269号明細書及び第6,590,634号明細書）、特表2000-505958号公報（対応米国特許第5,969,441号明細書）あるいは米国特許第6,208,407号明細書などに開示されているようなウエハを保持するウエハステージを複数備えたマルチステージ型の露光装置にも適用できる。また、本発明は、特開2000-164504号公報（対応米国特許第6,897,963号明細書などに開示されているように、ウエハステージWSTとは別に計測ステージを備えた露光装置にも適用できる。この場合、照射量モニタ58や照度むらセンサ21Pを計測ステージに設けても良い。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及び対応米国特許明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

10

【0177】

また、上述の実施形態においては、投影光学系PLとウエハWとの間に局所的に液体を満たす露光装置を採用しているが、本発明は、特開平6-124873号公報、特開平10-303114号公報、米国特許第5,825,043号明細書などに開示されているような露光対象のウエハなどの表面全体が液体中に浸かっている状態で露光を行う液浸露光装置にも適用可能である。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及び米国特許明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

20

【0178】

なお、上述の実施形態においては、光透過性の基板上に所定の遮光パターン（又は位相パターン・減光パターン）を形成した光透過型マスクを用いたが、このマスクに代えて、例えば米国特許第6,778,257号明細書に開示されているように、露光すべきパターンの電子データに基づいて、透過パターン又は反射パターン、あるいは発光パターンを形成する電子マスクを用いても良い。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記米国特許明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

30

【0179】

また、国際公開第2001/035168号パンフレットに開示されているように、干渉縞をウエハW上に形成することによって、ウエハW上にライン・アンド・スペースパターンを形成する露光装置（リソグラフィシステム）にも本発明を適用することができる。本国際出願で指定した指定国（又は選択した選択国）の国内法令が許す限りにおいて、上記国際公開パンフレットにおける開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

【0180】

露光装置の用途としては半導体製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを転写する液晶用の露光装置や、有機EL、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCD等）、マイクロマシン及びDNAチップなどを製造するための露光装置にも広く適用できる。また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。

40

【0181】

なお、上記実施形態の露光装置の光源は、ArFエキシマレーザに限らず、KrFエキシマレーザ（出力波長248nm）、F₂レーザ（出力波長157nm）、Ar₂レーザ（出力波長126nm）、Kr₂レーザ（出力波長146nm）などのパルスレーザ光源や、g線（波長436nm）、i線（波長365nm）などの輝線を発する超高圧水銀ランプなどを用いることも可能である。また、YAGレーザの高調波発生装置などを用いるこ

50

ともできる。この他、DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイットルビウムの両方）がドーパされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。また、投影光学系は縮小系のみならず等倍および拡大系のいずれでも良い。

【0182】

なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み、光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより、上記各実施形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

10

【0183】

なお、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、ウエハ等の物体上にレジストなどの感応材を塗布するコート処理、上記実施形態の露光装置で、前述の液浸露光により感応材が塗布されたウエハ等の物体を露光する露光処理、及び露光後のウエハを現像する現像処理を含むリソグラフィステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。この場合、リソグラフィステップで、上記実施形態の露光装置を用いて前述の液浸露光方法が実行され、物体上にデバイスパターンが形成されるので、高集積度のデバイスを歩留り良く製造することができる。

20

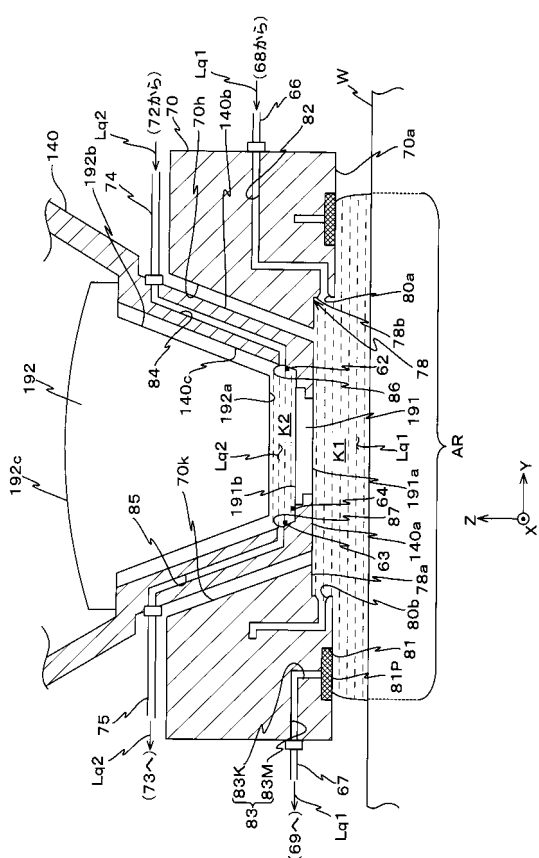
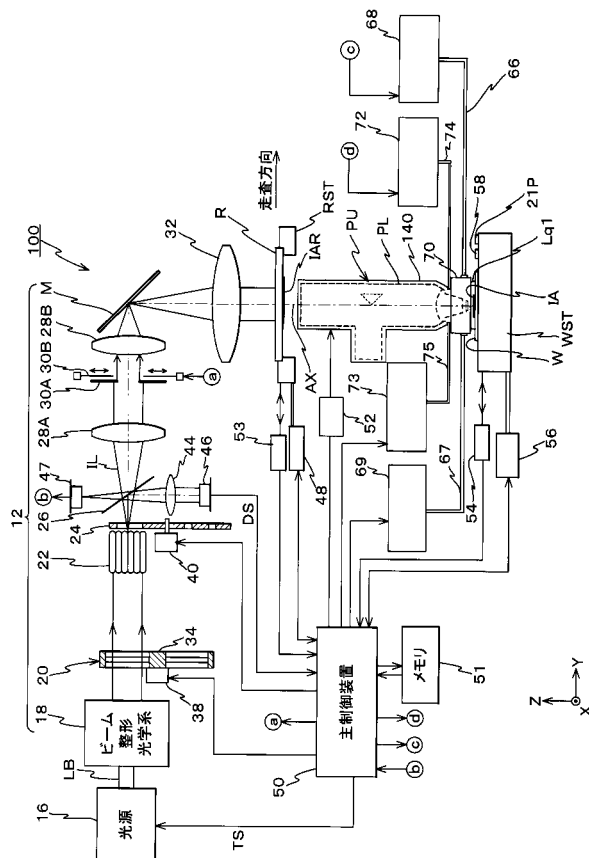
【産業上の利用可能性】

【0184】

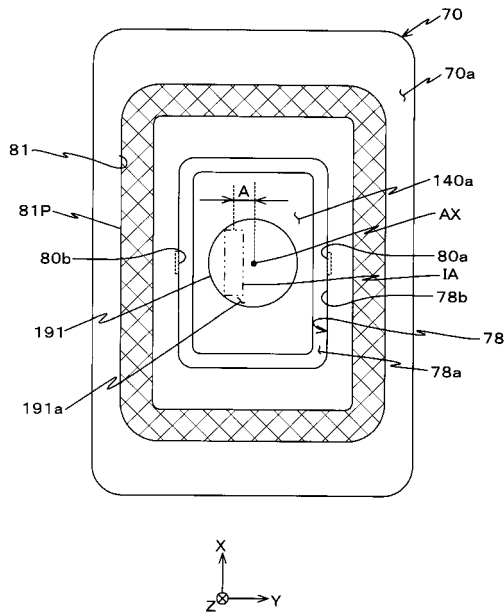
以上説明したように、本発明の露光方法及び露光装置は、物体を露光するのに適している。本発明のデバイス製造方法は、マイクロデバイスの製造に適している。

【図1】

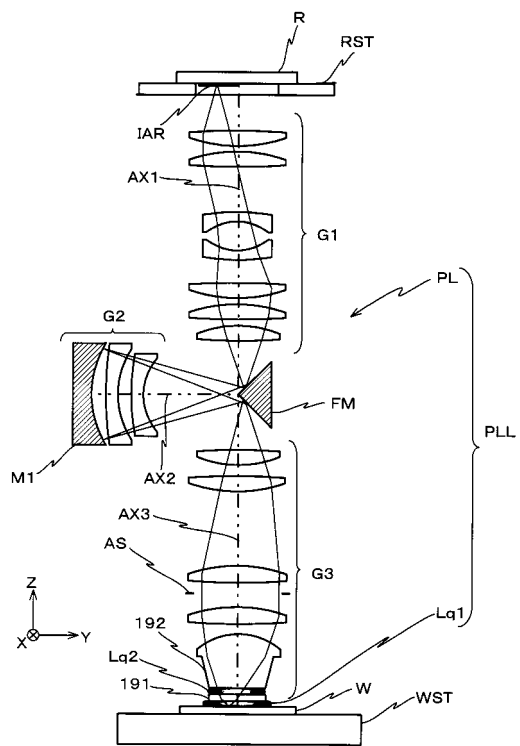
【図2】



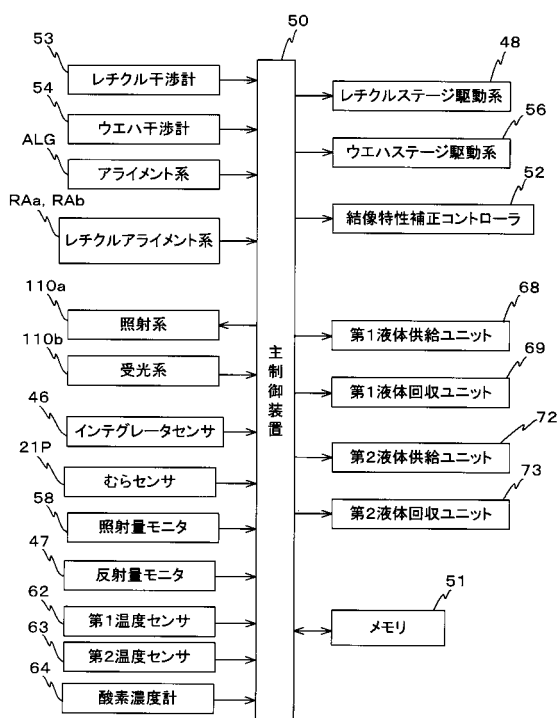
【図 3】



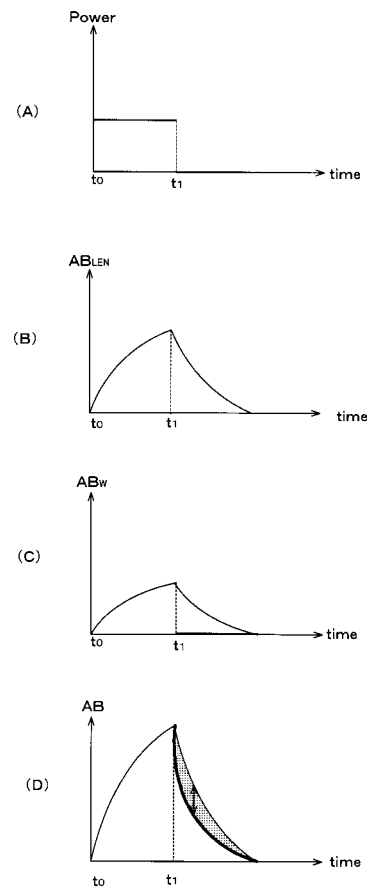
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 大村 泰弘
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

審査官 新井 重雄

(56)参考文献 特開2005-116570(JP,A)
特開2005-012201(JP,A)
特開2005-051147(JP,A)
特開2005-093997(JP,A)
特開平10-303114(JP,A)
特開平10-340846(JP,A)
特開2004-193252(JP,A)
特開2006-303193(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20