

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6969163号
(P6969163)

(45) 発行日 令和3年11月24日(2021.11.24)

(24) 登録日 令和3年11月1日(2021.11.1)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 M 11/00 (2006.01)	GO 1 M 11/00 M
GO 3 F 7/20 (2006.01)	GO 1 M 11/00 T
GO 2 B 26/02 (2006.01)	GO 3 F 7/20 5 0 1
GO 2 B 26/00 (2006.01)	GO 3 F 7/20 5 2 1
	GO 2 B 26/02 E
請求項の数 32 (全 33 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2017-107846 (P2017-107846)	(73) 特許権者	000004112 株式会社ニコン 東京都港区港南二丁目15番3号
(22) 出願日	平成29年5月31日(2017.5.31)	(74) 代理人	100104765 弁理士 江上 達夫
(65) 公開番号	特開2018-205018 (P2018-205018A)	(72) 発明者	浅井 岳 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内
(43) 公開日	平成30年12月27日(2018.12.27)	審査官	田中 洋介
審査請求日	令和2年4月20日(2020.4.20)		
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 検査装置及び検査方法、露光装置及び露光方法、並びに、デバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を検査する検査装置であって、

前記入射領域に検査光を照射する第1光学系と、

前記入射領域への前記検査光の照射により前記入射領域から発生する第1出射光のうち、前記検査光の正反射光を含む第2出射光以外の第3出射光を通過させ、前記第2出射光を遮蔽する第2光学系と、

前記第2光学系を通過した前記第3出射光を検出する検出器と、

前記検出器の検出結果を用いて、前記複数の光学要素のうちの欠陥が生じている少なくとも一つの光学要素を特定するコントローラとを備える検査装置。

【請求項2】

前記第1光学系は、複数波長の前記検査光を前記入射領域に照射する

請求項1に記載の検査装置。

【請求項3】

前記第2光学系は、前記第2光学系の開口数を、前記第1光学系が照射する前記検査光の波長に応じて変化させる

請求項2に記載の検査装置。

【請求項4】

前記第 2 出射光は、更に、前記複数の光学要素の間の隙間を介した第 4 出射光を含む
請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 5】

前記第 1 光学系は、平行光である前記検査光を前記入射領域に照射する
請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 6】

前記第 1 光学系は、前記検査光が前記入射領域に対して垂直入射又は斜入射するように、
前記検査光を照射する
請求項 5 に記載の検査装置。

【請求項 7】

前記第 1 光学系は、前記コントローラが前記複数の光学要素の状態を同じにするための
制御信号を用いて前記複数の光学要素を制御している状態で、前記検査光を照射する
請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 8】

前記第 1 光学系は、単一波長を有する前記検査光を照射する
請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 9】

前記第 1 光学系は、夫々異なる波長を有する複数の前記検査光を順に照射する
請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 10】

前記第 2 光学系は、前記空間光変調器と前記検出器との間における前記第 2 出射光の光
路上に配置され且つ前記第 2 出射光を遮光する第 1 光学素子を含む
請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 11】

前記第 2 光学系は、前記第 3 出射光が通過可能な開口を有する第 2 光学素子を含む
請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 12】

前記第 2 光学系は、前記空間光変調器と前記検出器との間における前記第 2 出射光の光
路上に配置され且つ前記第 2 出射光を遮光する第 1 光学素子と、前記第 3 出射光が通過可
能な開口を有し且つ前記第 1 光学素子と一体化された第 2 光学素子とを含む
請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 13】

前記第 2 出射光は、前記複数の光学要素の間の隙間を介した第 4 出射光を更に含み、
前記第 2 光学素子は、前記第 4 出射光を通過させない
請求項 11 又は 12 に記載の検査装置。

【請求項 14】

前記第 2 光学系は、前記第 1 光学系が照射する前記検査光の波長に対する前記第 2 光学
系の開口数の比が一定になるように、前記第 2 光学系の開口数を変化させる
請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 15】

前記検出器は、前記入射領域と光学的に共役な所定の光学面上での前記第 3 出射光の強
度分布を検出する
請求項 1 から 14 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 16】

前記コントローラは、前記第 3 出射光の強度が極大又は極小となる前記光学面上の第 1
領域に対応する前記入射領域中の第 2 領域に存在する前記光学要素を、前記欠陥が生じて
いる少なくとも一つの光学要素として特定する
請求項 15 に記載の検査装置。

【請求項 17】

前記第 1 光学系は、状態が既知である複数の光学要素を備える基準器に前記検査光を照

10

20

30

40

50

射し、

前記検出器は、前記基準器への前記検査光の照射により前記基準器から発生する第 5 出射光のうち、前記検査光の正反射光を含む第 6 出射光以外の第 7 出射光を検出し、

前記コントローラは、前記第 7 出射光の検出結果に基づいて、前記第 3 出射光の強度の基準値を算出し、

前記コントローラは、前記基準値と前記第 3 出射光の検出結果とに基づいて、前記欠陥が生じている前記少なくとも一つの光学要素を特定する

請求項 1 から 1 6 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 1 8】

前記欠陥は、前記少なくとも一つの光学要素の位置が固着する欠陥である

請求項 1 から 1 7 のいずれか一項に記載の検査装置。

【請求項 1 9】

光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を検査する検査方法であって、

前記入射領域に検査光を照射することと、

前記入射領域への前記検査光の照射により前記入射領域から発生する第 1 出射光のうち、前記検査光の正反射光を含む第 2 出射光を遮蔽し、前記第 2 出射光以外の第 3 出射光を、光学系を介して検出することと、

前記第 3 出射光の検出結果を用いて、前記複数の光学要素のうちの欠陥が生じている少なくとも一つの光学要素を特定することと

を備える検査方法。

【請求項 2 0】

前記照射することは、複数波長の前記検査光を前記入射領域に照射することを含む

請求項 1 9 に記載の検査方法。

【請求項 2 1】

前記検出することは、前記光学系の開口数を、前記検査光の波長に応じて変化させることを含む

請求項 1 9 に記載の検査方法。

【請求項 2 2】

光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を介して露光光を物体に照射することで前記物体を露光する露光装置であって、

前記空間光変調器と、

請求項 1 から 1 8 のいずれか一項に記載の検査装置と

を備える露光装置。

【請求項 2 3】

前記検査装置は、前記物体に前記露光光が照射されていない第 1 期間中に、前記空間光変調器を検査する

請求項 2 2 に記載の露光装置。

【請求項 2 4】

前記検査装置は、前記第 1 期間中に、前記入射領域に前記検査光を照射可能な第 1 位置に配置され、前記物体に前記露光光が照射されている第 2 期間中に、前記物体への前記露光光の照射を妨げない第 2 位置に配置される

請求項 2 3 に記載の露光装置。

【請求項 2 5】

前記第 1 及び第 2 位置の間で前記検査装置を移動可能な第 1 移動装置を備える

請求項 2 4 に記載の露光装置。

【請求項 2 6】

前記空間光変調器は、前記第 1 期間中に、前記検査光が照射される第 3 位置に配置され、前記物体に前記露光光が照射されている第 2 期間中に、前記露光光が照射される第 4 位置に配置される

10

20

30

40

50

請求項 2 3 から 2 5 のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項 2 7】

前記第 3 及び第 4 位置の間で前記空間光変調器を移動可能な第 2 移動装置を備える
請求項 2 6 に記載の露光装置。

【請求項 2 8】

前記検査装置の検査結果に基づいて前記空間光変調器を制御する制御装置を備える
請求項 2 2 から 2 7 のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項 2 9】

光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を介して露
光光を物体に照射することで前記物体を露光する露光装置であって、

前記空間光変調器と、

請求項 1 9 から 2 1 のいずれか一項に記載の検査方法の検査結果に基づいて、前記空間
光変調器を制御する制御装置と

を備える露光装置。

10

【請求項 3 0】

光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を介して露
光光を物体に照射することで前記物体を露光することと、

請求項 1 9 から 2 1 のいずれか一項に記載の検査方法を用いて前記空間光変調器を検査
することと

を備える露光方法。

20

【請求項 3 1】

光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を介して露
光光を物体に照射することで前記物体を露光する露光方法であって、

請求項 1 9 から 2 1 のいずれか一項に記載の検査方法を用いた前記空間光変調器の検査
結果を取得することと、

前記空間光変調器の検査結果に基づいて、前記空間光変調器を制御することと
を備える露光方法。

【請求項 3 2】

請求項 3 0 又は 3 1 に記載の露光方法を用いて、感光剤が塗布された前記物体を露光し
、当該物体に所望のパターンを転写し、

露光された前記感光剤を現像して、前記所望のパターンに対応する露光パターン層を形
成し、

前記露光パターン層を介して前記物体を加工するデバイス製造方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、空間光変調器を検査する検査装置及び検査方法、空間光変調器を用いて物体
を露光する露光装置及び露光方法、並びに、露光方法を用いたデバイス製造方法の技術分
野に関する。

【背景技術】

40

【0 0 0 2】

マスクに代えて、それぞれが入射する光を反射可能な複数の光学要素（例えば、微小ミ
ラー）を有する空間光変調器（SLM：Spatial Light Modulator）を備える露光装置が提案されている（特許文献 1 参照）。更には、それぞれが入射する光を透過可能な複数の光学要素（例えば、液晶素子）を有する空間光変調器を備える露光装置もまた提案されている。このような空間光変調器では、光学要素に欠陥が生ずる可能性があるがゆえに、当該光学要素の欠陥を検出することが望まれる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 3】

50

【特許文献1】国際公開第2004/063695号パンフレット

【発明の概要】

【0004】

第1の態様によれば、光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を検査する検査装置であって、前記入射領域に検査光を照射する第1光学系と、前記入射領域への前記検査光の照射により前記入射領域から発生する第1出射光のうち、前記検査光の正反射光を含む第2出射光以外の第3出射光を検出する検出器と、前記検出器の検出結果を用いて、前記複数の光学要素のうちの欠陥が生じている少なくとも一つの光学要素を特定するコントローラとを備える検査装置が提供される。

【0005】

第2の態様によれば、光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を検査する検査方法であって、前記入射領域に検査光を照射することと、前記入射領域への前記検査光の照射により前記入射領域から発生する第1出射光のうち、前記検査光の正反射光を含む第2出射光以外の第3出射光を検出することと、前記検出器の検出結果を用いて、前記複数の光学要素のうちの欠陥が生じている少なくとも一つの光学要素を特定することとを備える検査方法が提供される。

【0006】

第3の態様によれば、光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を介して露光光を物体に照射することで前記物体を露光する露光装置であって、前記空間光変調器と、上述した第1の態様における検査装置とを備える露光装置が提供される。

【0007】

第4の態様によれば、光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を介して露光光を物体に照射することで前記物体を露光する露光装置であって、前記空間光変調器と、上述した第2の態様における検査方法の検査結果を用いて、前記空間光変調器を制御する制御装置とを備える露光装置が提供される。

【0008】

第5の態様によれば、光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を介して露光光を物体に照射することで前記物体を露光することと、上述し第2の態様における検査方法を用いて前記空間光変調器を検査することとを備える露光方法が提供される。

【0009】

第6の態様によれば、光が入射可能な入射領域に配置された複数の光学要素を備える空間光変調器を介して露光光を物体に照射することで前記物体を露光する露光方法であって、上述した第2の態様における検査方法を用いた前記空間光変調器の検査結果を取得することと、前記空間光変調器の検査結果を用いて、前記空間光変調器を制御することとを備える露光方法が提供される。

【0010】

第7の態様によれば、上述した第5又は第6の態様における露光方法を用いて、感光剤が塗布された前記物体を露光し、当該物体に所望のパターンを転写し、露光された前記感光剤を現像して、前記所望のパターンに対応する露光パターン層を形成し、前記露光パターン層を介して前記物体を加工するデバイス製造方法が提供される。

上記態様の作用及び他の利得は次に説明する実施するための形態から明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、第1実施形態の露光装置の構造の一例を示す側面図である。

【図2】図2(a)は、空間光変調器の光変調面の構造を示す平面図であり、図2(b)は、空間光変調器の光変調面の一部の構造を示す斜視図であり、図2(c)は、空間光変調器の1つのミラー要素の構成を示す斜視図であり、図2(d)は、空間光変調器が備えるミラー要素がとりえる2つの状態を示す側面図である。

10

20

30

40

50

【図3】図3(a)は、検査装置の断面(具体的には、YZ平面に沿った断面)を、空間光変調器の断面と共に示す断面図であり、図3(b)及び図3(c)の夫々は、検査装置が備える瞳絞りを示す平面図である。

【図4】図4は、第1実施形態の露光装置の動作の流れを示すフローチャートである。

【図5】図5(a)は、ウェハの表面上における露光領域の移動経路の一例を示す平面図であり、図5(b)及び図5(c)の夫々は、複数のミラー要素の状態分布の一例を示す平面図である。

【図6】図6(a)から図6(f)の夫々は、複数のミラー要素の状態の一例を示す断面図である。

【図7】図7(a)は、露光光によるウェハの露光が行われている露光期間中の検査装置の位置を示す露光装置の側面図であり、図7(b)は、検査装置が空間光変調器を検査する検査期間中の検査装置の位置を示す露光装置の側面図である。

【図8】図8は、検出強度の一例を示すグラフである。

【図9】図9は、第2実施形態の露光装置の構造の一例を示す側面図である。

【図10】図10は、第2実施形態の露光装置の動作の流れを示すフローチャートである。

【図11】図11は、第3実施形態の露光装置の構造の一例を示す側面図である。

【図12】図12(a)は、露光光によるウェハの露光が行われている露光期間中の空間光変調器の位置を示す露光装置の側面図であり、図12(b)は、検査装置が空間光変調器を検査する検査期間中の空間光変調器の位置を示す露光装置の側面図である。

【図13】図13は、第4実施形態の検査装置の断面(具体的には、YZ平面に沿った断面)を、空間光変調器の断面と共に示す断面図である。

【図14】図14は、第5実施形態の露光装置の構造の一例を示す側面図である。

【図15】図15は、第5実施形態の検査装置の断面(具体的には、YZ平面に沿った断面)を、空間光変調器の断面と共に示す断面図である。

【図16】図16は、マイクロデバイスを製造する方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、図面を参照しながら、検査装置及び検査方法、露光装置及び露光方法、並びに、デバイス製造方法の実施形態について説明する。但し、本発明が以下に説明する実施形態に限定されることはない。

【0013】

以下の説明では、互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸から定義されるXYZ直交座標系を用いて、露光装置及び検査装置の夫々を構成する各種構成要素の位置関係について説明する。尚、以下の説明では、説明の便宜上、X軸方向及びY軸方向のそれぞれが水平方向(つまり、水平面内の所定方向)であり、Z軸方向が鉛直方向(つまり、水平面に直交する方向であり、実質的には上下方向)であるものとする。また、X軸、Y軸及びZ軸周りの回転方向(言い換えれば、傾斜方向)を、それぞれ、X方向、Y方向及びZ方向と称する。

(1) 第1実施形態の露光装置1

図1から図8を参照しながら、第1実施形態の露光装置1について説明する。

(1-1) 第1実施形態の露光装置1の構造

(1-1-1) 第1実施形態の露光装置1の全体の構造

初めに、図1を参照しながら、第1実施形態の露光装置1の構造について説明する。図1は、第1実施形態の露光装置1の構造の一例を示す側面図である。

【0014】

図1に示すように、露光装置1は、光源11と、照明光学系12と、ミラー13と、空間光変調器(SLM: Spatial Light Modulator)14と、投影光学系15と、ステージ16と、コントローラ17と、検査装置18と、移動装置19とを備えている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

光源 1 1 は、コントローラ 1 7 によって制御され、露光光 E L 1 を射出する。光源 1 1 は、露光光 E L 1 として、所定の周波数で明滅を繰り返すパルス光を射出する。つまり、光源 1 1 は、所定の発光時間（以下、当該発光時間を“パルス幅”と称する）で発光するパルス光を所定の周波数で射出する。例えば、光源 1 1 は、パルス幅が 5 0 n s となるパルス光を 4 k H z から 6 k H z の周波数で射出してもよい。光源 1 1 からパルス発光される露光光 E L 1 は、波長が 1 9 3 n m となる A r F エキシマレーザ光であってもよい。

【 0 0 1 6 】

照明光学系 1 2 は、例えば米国特許第 8 , 7 9 2 , 0 8 1 号公報などに開示されるように、フライアイレンズやロッド型インテグレート等のオプティカルインテグレートを有する照度均一化光学系、及び照野絞り（いずれも不図示）を有していてもよい。照明光学系 1 2 は、光源 1 1 からの露光光 E L 1 の光量を均一化して露光光 E L 2 として射出する。この露光光 E L 2 によって空間光変調器 1 4 の光変調面 1 4 a が照明される。尚、空間光変調器の光変調面 1 4 a 上には、照明光学系 1 2 の照野絞り（マスキングシステム）で規定された矩形の照明領域が形成される。尚、照明光学系 1 2 は、光変調面 1 4 a 上での露光光 E L 2 の強度分布を変更するビーム強度分布変更部等を含んでいてもよい。

ミラー 1 3 は、照明光学系 1 2 から出力される露光光 E L 2 を偏向して、空間光変調器 1 4 の光変調面 1 4 a に導く。

【 0 0 1 7 】

空間光変調器 1 4 は、後述するように、2 次元的に配列された複数のミラー要素 1 4 1 を備える。複数のミラー要素 1 4 1 が配列されている面を、光変調面 1 4 a と称する。光変調面 1 4 a には、照明光学系 1 2 からミラー 1 3 を介して伝搬してくる露光光 E L 2 が入射する。光変調面 1 4 a は、X Y 平面に平行な平面であって、露光光 E L 2 の進行方向に交わる面である。光変調面 1 4 a は、矩形の形状を有している。露光光 E L 2 は、光変調面 1 4 a をほぼ均一な照度分布で照明する。

【 0 0 1 8 】

空間光変調器 1 4 は、当該空間光変調器 1 4 の光変調面 1 4 a に照射された露光光 E L 2 を、投影光学系 1 5 に向けて反射する。空間光変調器 1 4 は、露光光 E L 2 を反射する際に、当該露光光 E L 2 を、ウェハ 1 6 1 に転写すべきデバイスパターンに応じて空間変調する。ここで、「光を空間変調する」とは、当該光の進行方向を横切る断面における当該光の振幅（強度）、光の位相、光の偏光状態、光の波長及び光の進行方向（言い換えれば、偏向状態）のうちの少なくとも 1 つである光特性の分布を変化させることを意味していてもよい。本実施形態では、空間光変調器 1 4 は、反射型の空間光変調器である。

【 0 0 1 9 】

次に、図 2 (a) から図 2 (d) を参照しながら、空間光変調器 1 4 について更に説明を加える。図 2 (a) 及び図 2 (b) に示すように、空間光変調器 1 4 は、複数のミラー要素 1 4 1 を備えている。尚、図 2 (b) は、図面の見易さを考慮して、図 2 (a) に示す複数のミラー要素 1 4 1 の一部を抜粋した図面である。

【 0 0 2 0 】

複数のミラー要素 1 4 1 は、光変調面 1 4 a に平行な面である X Y 平面上において、2 次元のアレイ状に（言い換えれば、マトリクス状に）配列されている。例えば、複数のミラー要素 1 4 1 の Y 軸方向に沿った配列数は、数百から数千である。例えば、複数のミラー要素 1 4 1 の X 軸方向に沿った配列数は、複数のミラー要素 1 4 1 の Y 軸方向に沿った配列数の数倍から数十倍である。複数のミラー要素 1 4 1 の X 軸方向に沿った配列数の一例は、数百から数万である。複数のミラー要素 1 4 1 は、X 軸方向に沿って所定の配置間隔 p_x の間隔を隔て且つ Y 軸方向に沿って所定の配置間隔 p_y の間隔を隔てるように、配列されている。配置間隔 p_x は、配置間隔 p_y と同じであるが、異なってもよい。配置間隔 p_x 及び p_y の夫々の一例は、例えば、1 0 マイクロメートルから 1 マイクロメートルである。

【 0 0 2 1 】

10

20

30

40

50

各ミラー要素 1 4 1 は、正方形の形状（或いは、その他任意の板状の形状）を有している。各ミラー要素 1 4 1 の位置及び／又は姿勢が変更されるため、各ミラー要素 1 4 1 のサイズ L は、配置間隔 p_x 及び p_y よりも小さくなる。つまり、 X 軸方向に沿って隣接する 2 つのミラー要素 1 4 1 の間及び Y 軸方向に沿って隣接する 2 つのミラー要素 1 4 1 の間には、ミラー要素 1 4 1 を構成しない隙間 1 4 2 が存在する。但し、サイズ L に対して隙間 1 4 2 のサイズが十分に小さいため、第 1 実施形態では、説明の簡略化のために、各ミラー要素 1 4 1 の X 軸方向及び Y 軸方向の夫々のサイズ L は、上述した配置間隔 p_x 及び p_y と同じであるものとする。

【 0 0 2 2 】

各ミラー要素 1 4 1 のうち露光光 $E L 2$ が照射される面は、露光光 $E L 2$ を反射する反射面 1 4 1 a となっている。各ミラー要素 1 4 1 の $X Y$ 平面に平行な 2 つの表面のうち、 Z 側に位置する表面は、反射面 1 4 1 a となっている。反射面 1 4 1 a には、例えば反射膜が形成されている。反射面 1 4 1 a の反射膜としては、例えば金属膜や誘電体多層膜を用いてもよい。複数のミラー要素の 1 4 1 の反射面 1 4 1 a の集合が、実質的には、露光光 $E L 2$ が照射される光変調面 1 4 a となる。

10

【 0 0 2 3 】

図 2 (c) に示すように、空間光変調器 1 4 の各ミラー要素 1 4 1 は、第 1 接続部材 1 4 3 によってヒンジ部 1 4 4 と接続されている。ヒンジ部 1 4 4 は、弾性変形を利用して Z 軸方向に撓むことが可能な可撓性を有している。このヒンジ部 1 4 4 は、支持基板 1 4 9 上に設けられた一対のポスト部 1 4 5 によって支持されている。また、ヒンジ部 1 4 4 には、後述する電極 1 4 8 によって静電力（引力又は斥力）の作用を受けるアンカー部 1 4 6 とヒンジ部 1 4 4 とを接続する第 2 接続部材 1 4 7 が設けられている。このように、アンカー部 1 4 6 とミラー要素 1 4 1 とは、第 1 接続部材 1 4 3 及び第 2 接続部材 1 4 7 並びにヒンジ部 1 4 4 を介して機械的に接続されている。そして、支持基板 1 4 9 の表面には電極 1 4 8 が形成されている。なお、ポスト部 1 4 5 は一対には限定されず、2 以上の数であってもよい。

20

【 0 0 2 4 】

電極 1 4 8 に所定の電圧が印加されると、アンカー部 1 4 6 の裏面と電極 1 4 8 との間に静電力が作用する。上述の通り、アンカー部 1 4 6 の裏面と電極 1 4 8 との間に静電力を作用させると、アンカー部 1 4 6 が支持基板 1 4 9 側に移動し、この移動に伴ってミラー要素 1 4 1 も支持基板 1 4 9 側に移動する。

30

【 0 0 2 5 】

各ミラー要素 1 4 1 の状態は、アンカー部 1 4 6 と電極 1 4 8 との間に作用する静電力及びヒンジ部 1 4 4 の弾性力に起因して、反射面 1 4 1 a に直交する方向（つまり、 Z 軸方向）に沿った位置が異なる 2 つの状態の間で切り替わる。例えば、図 2 (d) の左側に示すように、アンカー部 1 4 6 と電極 1 4 8 との間に静電力が作用していない場合（つまり、ヒンジ部 1 4 4 が撓んでいない場合）には、各ミラー要素 1 4 1 は、各ミラー要素 1 4 1 の反射面 1 4 1 a が基準平面 $A 1$ に一致する第 1 状態となる。例えば、図 2 (d) の右側に示すように、アンカー部 1 4 6 と電極 1 4 8 との間に静電力が作用している場合（つまり、ヒンジ部 1 4 4 が撓んでいる場合）には、各ミラー要素 1 4 1 は、各ミラー要素 1 4 1 の反射面 1 4 1 a が基準平面 $A 1$ から $+Z$ 方向側に向かって距離 $d 1$ だけシフトした変位平面 $A 2$ に一致する第 2 状態となる。

40

【 0 0 2 6 】

第 2 状態にあるミラー要素 1 4 1 の反射面 1 4 1 a は、第 1 状態にあるミラー要素 1 4 1 の反射面 1 4 1 a から $+Z$ 側に向かって距離 $d 1$ だけシフトした位置にある。このため、第 2 状態にあるミラー要素 1 4 1 が露光光 $E L 2$ を反射することで得られる露光光 $E L 3$ の波面の位相と、第 1 状態にあるミラー要素 1 4 1 が露光光 $E L 2$ を反射することで得られる露光光 $E L 3$ の波面の位相とは異なる。この位相差は、距離 $d 1$ の倍の長さに相当する。第 1 実施形態では、距離 $d 1$ は、露光光 $E L 1$ の波長の $1/4$ と一致する。この場合、第 2 状態にあるミラー要素 1 4 1 が露光光 $E L 2$ を反射することで得られる露光光 E

50

L3の波面の位相は、第1状態にあるミラー要素141が露光光EL2を反射することで得られる露光光EL3の波面の位相と比較して、180度(ラジアン)だけ異なる。尚、以下では、説明の便宜上、第1状態を「0状態」と称し、第2状態を「状態」と称する。

【0027】

空間光変調器14は、コントローラ17の制御下で、ウェハ161に転写すべきデバイスパターンに応じて、複数のミラー要素141の状態を制御する。具体的には、不図示のパターン設計装置は、ウェハ161に転写すべきデバイスパターンに応じて、複数のミラー要素141の状態の分布(言い換えれば、配列)を決定する。例えば、パターン設計装置は、複数のミラー要素141のそれぞれが0状態となるべきか又は状態となるべきかを決定することで、複数のミラー要素141の状態の分布を決定する。これにより、複数のミラー要素141で反射される露光光EL3の、当該露光光EL3の進行方向に直交する(或いは、交わる)面における位相分布が決定される。コントローラ17は、パターン設計装置から、複数のミラー要素141の状態の分布を規定する変調パターンデータを取得する。コントローラ17は、変調パターンデータを用いて、複数のミラー要素141の状態を制御する。

10

尚、このような空間光変調器14の一例は、例えば、米国特許出願公開第2013/0222781号明細書に記載されている。

【0028】

再び図1において、投影光学系15は、空間光変調器14によって空間変調された露光光EL3でウェハ161に明暗パターンを投影する。投影光学系15は、露光光EL3でウェハ161の表面(具体的には、ウェハ161に塗布されているレジスト膜の表面)に、空間光変調器14による空間変調に応じた明暗パターンを投影する。

20

【0029】

投影光学系15は、露光光EL3を、ウェハ161の表面に設定される面状の露光領域ELAに投影する。つまり、投影光学系15は、ウェハ161の表面に設定される面状の露光領域ELAが露光光EL3によって露光されるように、露光領域ELAに露光光EL3を投影する。投影光学系15の光軸AXは、面状の露光領域ELAに直交する。面状の露光領域ELAは投影光学系15の光軸AXから外れた位置に形成される。ウェハ161の表面と投影光学系15の光軸AXとが一致する部分から外れた所定領域が、面状の露光領域ELAとなる。

30

【0030】

投影光学系15は、デバイスパターンに基づく位相分布を有する露光光EL3を、位相分布に応じた強度分布を持つ空間像としてウェハ161の表面に投影する。

【0031】

投影光学系15は、縮小系である。第1実施形態では、投影光学系15の投影倍率は、一例として1/200である。第1実施形態における投影光学系15の解像度は、空間光変調器14の各ミラー要素141のサイズLに投影倍率を乗じた値よりも大きくなるように設定されている。従って、単一のミラー要素141によって反射された露光光EL3は、露光領域ELA上では解像されることはない。尚、投影光学系15の投影倍率は、1/200の縮小倍率には限定されず、例えば1/400の縮小倍率であってもよく、等倍や拡大倍率であってもよい。

40

【0032】

ステージ16は、ウェハ161を保持可能であり、保持したウェハ161をリリース可能である。ステージ16は、コントローラ17の制御下で、ウェハ161を保持した状態で、露光領域ELAを含む平面(例えば、XY平面)に沿って移動可能である。ステージ16は、X軸方向、Y軸方向、Z軸方向、X方向、Y方向及びZ方向のうち少なくとも一つに沿って移動可能である。例えば、ステージ16は、平面モータを含むステージ駆動系162の動作により移動してもよい。尚、平面モータを含むステージ駆動系162の一例は、例えば、米国特許第6,452,292号に開示されている。但し、ステー

50

ジ駆動系 162 は、平面モータに加えて又は代えて、他のモータ（例えば、リニアモータ）を含んでいてもよい。

【0033】

ステージ 16 の X Y 平面内での位置（但し、X 方向、Y 方向及び Z 方向のうちの少なくとも一つに沿った回転角度を含んでいてもよい）は、レーザ干渉計 163 によって、例えば 0.25 nm 程度の分解能で常時計測されている。レーザ干渉計 163 の計測結果は、コントローラ 17 に出力される。但し、露光装置 1 は、レーザ干渉計 163 に加えて又は代えて、ステージ 16 の X Y 平面内での位置を計測可能なその他の計測装置（例えば、エンコーダ）を備えていてもよい。

【0034】

コントローラ 17 は、露光装置 1 の動作を制御する。コントローラ 17 は、例えば、CPU (Central Processing Unit) や、メモリを含んでいてもよい。例えば、コントローラ 17 は、光源 11 による露光光 EL1 の射出動作を制御する。具体的には、コントローラ 17 は、所定のパルス幅を有すると共に所定の周波数でパルス発光するパルス光を露光光 EL1 として適切なタイミングで射出するように光源 11 を制御する。更に、コントローラ 17 は、空間光変調器 14 による露光光 EL2 の空間変調動作を制御する。具体的には、コントローラ 17 は、パターン設計装置から取得した変調パターンデータを用いて、複数のミラー要素 141 の状態を制御する。更に、コントローラ 17 は、ステージ 16 の移動を制御する。具体的には、コントローラ 17 は、露光領域 ELA がウェハ 161 の表面上を所望の移動経路を通して相対的に移動していくように、ステージ駆動系 162 を制御する。

【0035】

検査装置 18 は、空間光変調器 14 を検査する。検査装置 18 は、空間光変調器 14 が備える各ミラー要素 141 を検査する。具体的には、検査装置 18 は、各ミラー要素 141 に欠陥が生じているか否かを判定する。言い換えれば、検査装置 18 は、空間光変調器 14 を検査することで、欠陥が生じているミラー要素 141 を特定する。検査装置 18 の検査結果は、コントローラ 17 に対して出力される。コントローラ 17 は、検査装置 18 の検査結果を用いて、所望のデバイスパターンがウェハ 161 に適切に転写されるように、露光装置 1 の動作を制御する。

【0036】

検査装置 18 は、コントローラ 17 の制御下で、移動可能である。検査装置 18 は、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向、X 方向、Y 方向及び Z 方向のうちの少なくとも一つに沿って移動可能である。例えば、検査装置 18 は、平面モータを含む移動装置 19 の動作により移動してもよい。但し、移動装置 19 は、平面モータに加えて又は代えて、他のモータ（例えば、リニアモータ）を含んでいてもよい。

【0037】

尚、照明光学系 12 は、露光光 EL2 が光変調面 14a の一部に照射されるように露光光 EL1 を調整してもよい。照明光学系 12 は、光変調面 14a 上での露光光 EL2 が照射される照射領域が光変調面 14a よりも小さくなるように、露光光 EL1 を調整してもよい。照明光学系 12 は、光変調面 14a 上での露光光 EL1 が照射される照射領域の形状が光変調面 14a の形状と一致しないように、露光光 EL1 を調整してもよい。また、照明光学系 12 は、露光光 EL2 のビーム断面内での強度分布を変更して、光変調面 14a に達する露光光 EL2 の照度分布をほぼ均一にしてもよい。この場合、照明光学系 12 は、照明光学系 12 が備えるオプティカルインテグレータの射出側の光路に配置されるビーム強度分布変更部を備えていてもよい。

【0038】

空間光変調器 14 は、露光光 EL3 の位相分布を制御することに加えて又は代えて、露光光 EL3 の強度分布（つまり、露光光 EL3 の進行方向に直交する（或いは、交わる）方向に沿った面上における強度分布）を制御してもよい。空間光変調器 14 は、複数のミラー要素 141 に代えて、露光光 EL2 を空間変調することが可能な任意の装置（例えば

10

20

30

40

50

、液晶パネル等)を備えていてもよい。

【0039】

上述の例における空間光変調器14は、それぞれの上下方向(つまり、露光光EL2の進行方向)に沿った位置が可変である複数のミラー要素141を備える位相型(ピストン型)の空間光変調器である。しかしながら、空間光変調器14は、それぞれが傾斜可能な(例えば、X軸又はY軸に対して傾斜可能な)複数のミラー要素を備える傾斜型の空間光変調器であってもよい。また、空間光変調器14は、傾斜型の空間光変調器が備える複数のミラー要素の反射面に段差を設けた位相段差傾斜ミラー型の空間光変調器であってもよい。位相段差傾斜ミラー型の空間光変調器は、光変調面14aに平行な反射面141aが反射する光と光変調面14aに対して傾斜している反射面141aが反射する光との間の位相差を、露光光EL1の波長の半分(180度(ラジアン))に設定する空間光変調器である。また、国際公開第2005/059596号パンフレットに開示されている、それぞれの上下方向の位置が可変である複数のミラー要素と、当該複数のミラー要素の間に位置する固定反射面とを備え、ミラーの上下方向の移動によって光強度を空間変調する空間光変調器が用いられてもよい。また、上述の例における空間光変調器は、2次元的に配置されている複数のミラー要素141を備えたものである。しかしながら、空間光変調器は、移動可能或いは傾斜可能な複数のミラー要素141を1次元方向に配置した空間光変調器であってもよい。このような空間光変調器は、例えば米国特許第9,395,531号公報や米国特許第7,903,337号公報に開示されている。

10

(1-1-2)検査装置18の構造

20

【0040】

続いて、図3(a)から図3(c)を参照しながら、検査装置18の構造について説明する。図3(a)は、検査装置18の断面(具体的には、YZ平面に沿った断面)を、空間光変調器14の断面と共に示す断面図である。図3(b)及び図3(c)の夫々は、検査装置18が備える瞳絞り185の一例を示す平面図である。

【0041】

図3(a)に示すように、検査装置18は、照明光学系IL1と、結像光学系IM1と、検出器187と、コントローラ188とを備える。照明光学系IL1は、光源181と、導光光学系182と、ビームスプリッタ183と、レンズ184とを含む。結像光学系IM1は、レンズ184と、瞳絞り185と、ビームスプリッタ183と、レンズ186とを含む。つまり、レンズ184及びビームスプリッタ183の夫々は、照明光学系IL1及び結像光学系IM1によって共用される。

30

【0042】

光源181は、コントローラ188の制御下で、空間光変調器14を検査するための検査光DL1を射出する。検査光DL1は、複数のミラー要素141が反射可能な光である限りは、どのような光であってもよい。検査光DL1の波長は、複数のミラー要素141が反射可能な光である限りは、どのような波長であってもよい。例えば、検査光DL1は、可視光であってもよいし、紫外光であってもよい。

【0043】

光源181が出射した検査光DL1は、レンズ182a及び182bを含む導光光学系182に入射する。導光光学系182は、検査光DL1の光量を均一化して収束光として射出する。導光光学系182から射出した検査光DL1は、ビームスプリッタ183に入射する。ビームスプリッタ183は、検査光DL1を、ビームスプリッタ183と空間光変調器14(特に、光変調面14a)との間に配置されているレンズ184に向けて反射する。レンズ184は、ビームスプリッタ183によって反射されて発散光となった検査光DL1を、平行光に変換する。レンズ184を通過して平行光になった検査光DL1は、空間光変調器14の光変調面14aの少なくとも一部に相当する検査領域14bに垂直入射する。従って、照明光学系IL1は、平行光である検査光DL1を検査領域14bに照射する。

40

【0044】

50

検査領域 14 b は、光変調面 14 a のうち少なくとも一部の領域である。検査領域 14 b は、少なくとも 1 つのミラー要素 14 1 (特に、その反射面 14 1 a) を包含する領域である。本実施形態では、検査領域 14 b は、隣接する 2 つ以上のミラー要素 14 1 を包含する領域であるものとする。具体的には、検査領域 14 b は、X 軸方向に沿って隣接する (言い換えれば、配列される) 少なくとも 2 つのミラー要素 14 1 を包含する領域であってもよい。検査領域 14 b は、Y 軸方向に沿って隣接する (言い換えれば、配列される) 少なくとも 2 つのミラー要素 14 1 を包含する領域であってもよい。検査領域 14 b は、X 軸方向に沿って隣接する少なくとも 2 つのミラー要素 14 1 と、Y 軸方向に沿って隣接する少なくとも 2 つのミラー要素 14 1 を包含する領域であってもよい。また、検査領域 14 b は、空間光変調器 14 が備える全てのミラー要素 14 1 を包含する領域であつてもよいし、空間光変調器 14 が備える全てのミラー要素 14 1 のうちの一部を包含する領域であってもよい。

10

【0045】

検査光 DL 1 が照射された検査領域 14 b からは、検査光 DL 1 の照射に起因して発生する出射光 DL 2 が出射する。出射光 DL 2 は、レンズ 18 4、ビームスプリッタ 18 3、瞳絞り 18 5 及びレンズ 18 6 を含む結像光学系 IM 1 を介して、結像光学系 IM 1 の像面に配置される検出器 18 7 の検出面 18 7 a に入射する。つまり、出射光 DL 2 は、結像光学系 IM 1 を介して、検出器 18 7 の検出面 18 7 a において結像する。検出器 18 7 は、検出面 18 7 a に入射した出射光 DL 2 を検出することで、検出面 18 7 a 上における出射光 DL 2 の強度分布に関する情報を取得する。このため、検出器 18 7 は、撮像面が検出面 18 7 a に一致するように規則的に配列された複数の撮像素子を含む。複数の撮像素子の配列ピッチは、複数のミラー要素 14 1 の配列ピッチに、出射光 DL 2 を空間光変調器 14 から検出器 18 へと導く結像光学系 IM 1 の結像倍率を掛け合わせて得られる配列ピッチと同じであってもよいし、小さくてもよいし、大きくてもよい。複数の撮像素子の配列ピッチが小さくなればなるほど、検出器 18 7 の解像度が高くなる。

20

【0046】

第 1 実施形態では特に、瞳絞り 18 5 は、出射光 DL 2 の一部を遮光して検出器 18 7 に導かない一方で、出射光 DL 2 の他の一部を通過させて検出器 18 7 に導くように構成されている。具体的には、出射光 DL 2 は、検査光 DL 1 の正反射光 DL 2 (0) を含んでいる。瞳絞り 18 5 は、少なくとも正反射光 DL 2 (0) を遮光して検出器 18 7 に導かないように構成されている。このため、瞳絞り 18 5 は、図 3 (b) に示すように、正反射光 DL 2 (0) の光路上に配置される遮光素子 18 5 c を含んでいる。一方で、瞳絞り 18 5 は、出射光 DL 2 のうち正反射光 DL 2 (0) 以外の他の光成分の少なくとも一部を通過させて検出器 18 7 に導くように構成されている。このため、瞳絞り 18 5 は、図 3 (b) に示すように、出射光 DL 2 のうち正反射光 DL 2 (0) 以外の他の光成分 (以降、適宜 “非正反射光 DL 2 (NR)” と称する) の少なくとも一部が通過可能な開口 18 5 b を規定する絞り部材 18 5 a を含んでいる。

30

【0047】

出射光 DL 2 は、非正反射光 DL 2 (NR) として、ミラー要素 14 1 の欠陥による散乱光 DL 2 (S) の少なくとも一部を含む。従って、瞳絞り 18 5 は、ミラー要素 14 1 の欠陥による散乱光 DL 2 (S) の少なくとも一部を通過させて検出器 18 7 に導くように構成されている。ここで、欠陥による散乱光 DL 2 (S) は、高次の回折光を含まなくてもよい。開口 18 5 b の形状や配置位置によっては、図 3 (c) に示すように、遮光素子 18 5 c が絞り部材 18 5 a と一体化されることがある尚、図 3 (c) は、開口 18 5 b が光軸に関して偏心している瞳絞り 18 5 の一例を示す。

40

【0048】

検出器 18 7 には、出射光 DL 2 のうち瞳絞り 18 5 を通過した光成分 (つまり、瞳絞り 18 5 によって遮光されなかった光成分) が入射する。従って、検出器 18 7 は、出射光 DL 2 のうち正反射光 DL 2 (0) 以外の他の光成分 (つまり、非正反射光 DL 2 (NR)) の少なくとも一部を、検出光 DL 3 として検出する。その結果、検出器 18 7 は、

50

検出面 187 a 上における検出光 DL3 の強度分布に関する情報を取得する。尚、検出面 187 a は、光変調面 14 a と光学的に共役な位置に配置される。

【0049】

ここで、上述したように、検出面 187 a に入射する出射光 DL2 (つまり、検出光 DL3) には、欠陥による散乱光 DL2 (S) の少なくとも一部が含まれる。従って、検出器 187 は、例えば、散乱光 DL2 (S) の少なくとも一部の強度分布に関する情報を取得可能である。

【0050】

コントローラ 188 は、検出器 187 の検出結果 (つまり、検出光 DL3 の強度分布に関する情報) を用いて、空間光変調器 14 が備える複数のミラー要素 141 の状態を推定する。具体的には、コントローラ 188 は、検出器 187 の検出結果を用いて、各ミラー要素 141 に欠陥が生じているか否かを判定する。言い換えれば、コントローラ 188 は、欠陥が生じているミラー要素 141 を特定する。尚、コントローラ 188 が複数のミラー要素 141 に欠陥が生じているか否かを判定する動作については、後に詳述するため (図 4 等参照)、ここでの説明を省略する。

(1-2) 第 1 実施形態の露光装置 1 の動作

【0051】

続いて、図 4 を参照しながら、第 1 実施形態の露光装置 1 の動作について説明する。図 4 は、第 1 実施形態の露光装置 1 の動作の流れを示すフローチャートである。

【0052】

図 4 に示すように、まず、レジストが塗布された未露光のウェハ 161 が露光装置 1 にローディングされる (ステップ S11)。つまり、ステージ 16 上にウェハ 161 が搭載される。その後、コントローラ 17 は、ウェハ 161 を露光するように露光装置 1 を制御する (ステップ S12)。

【0053】

ここで、図 5 (a) から図 5 (c) を参照しながら、ウェハ 161 を露光する動作について更に詳細に説明する。図 5 (a) は、ウェハ 161 の表面上における露光領域 ELA の移動経路の一例を示す平面図である。図 5 (b) 及び図 5 (c) は、それぞれ、複数のミラー要素 141 の状態分布の一例を示す平面図である。

【0054】

図 5 (a) に示すように、露光光 EL3 は、ウェハ 161 の表面に設定される面状の露光領域 ELA に照射される。露光光 EL3 は、露光領域 ELA を露光する。露光領域 ELA は、露光光 EL3 であるパルス光のうちの 1 回又は複数回のパルス発光によって露光される。その結果、露光光 EL3 は、ウェハ 161 の表面のうち露光領域 ELA と重なる少なくとも一部の面部分である露光対象面 110 に照射される。

【0055】

露光領域 ELA がウェハ 161 の表面上を所望の移動経路を通過して相対的に移動していくようにステージ 16 が移動する。図 5 (a) 中に示す矢印は、露光領域 ELA の移動経路の一例を示している。図 5 (a) に示す例では、ステージ 16 は、あるタイミングで露光領域 ELA が +Y 方向に向かって移動するように、-Y 方向に向かって移動する。その後、ステージ 16 は、露光領域 ELA が -X 方向に向かって移動するように、+X 方向に向かって移動する。その後、ステージ 16 は、露光領域 ELA が -Y 方向に向かって移動するように、+Y 方向に向かって移動する。その後、ステージ 16 は、露光領域 ELA が -X 方向に向かって移動するように、+X 方向に向かって移動する。以降、ステージ 16 は、-Y 方向に向かう移動、+X 方向に向かう移動、+Y 方向に向かう移動及び +X 方向に向かう移動を繰り返す。その結果、露光領域 ELA は、ウェハ 161 の表面を図 5 (a) 中の矢印が示す経路を通過して相対的に移動する。

【0056】

ウェハ 161 の表面は、複数の露光対象面 110 に区分可能である。この場合、ステージ 16 は、露光領域 ELA が複数の露光対象面 110 に順次重なるように移動する。ステ

10

20

30

40

50

ージ 16 は、露光領域 E L A が複数の露光対象面 110 を順次トレースするように移動する。図 5 (a) に示す例では、ステージ 16 は、露光領域 E L A が露光対象面 110 - 1 に重なるように - Y 方向に向かって移動する。露光領域 E L A が露光対象面 110 - 1 に重なるタイミングで露光光 E L 3 が露光領域 E L A (つまり、露光対象面 110 - 1) を露光するように、光源 11 は、露光光 E L 1 を射出する。つまり、光源 11 は、露光領域 E L A が露光対象面 110 - 1 に重なるタイミングと光源 11 が射出するパルス光のうちの 1 回のパルス発光のタイミングとが一致するように、露光光 E L 3 を射出する。その後、ステージ 16 は、Y 軸方向に沿って露光対象面 110 - 1 に隣接する露光対象面 110 - 2 a に露光領域 E L A が重なるように - Y 方向に向かって移動する。露光領域 E L A が露光対象面 110 - 1 から露光対象面 110 - 2 に向かって移動している間は、光源 11 は、露光光 E L 1 を射出しない。つまり、露光領域 E L A が露光対象面 110 - 1 から露光対象面 110 - 2 に向かって移動している間は、パルス発光が行われることはない。露光領域 E L A が露光対象面 110 - 2 に重なるタイミングで露光光 E L 3 が露光領域 E L A (つまり、露光対象面 110 - 2) を露光するように、光源 11 は、露光光 E L 1 を射出する。以降、Y 軸に沿って並ぶ一連の露光対象面 110 に対しても同様の動作が繰り返される。その後、Y 軸に沿って並ぶ一連の露光対象面 110 に対する露光が終了する(つまり、露光対象面 110 - 3 に対する露光が終了する)と、ステージ 16 は、露光対象面 110 - 3 に X 軸方向に沿って隣接する露光対象面 110 - 4 に露光領域 E L A が重なるように - X 方向に向かって移動する。以降、露光対象面 110 - 4 を起点として、Y 軸に沿って並ぶ一連の露光対象面 110 に対しても同様の動作が繰り返される。以降は、図 5 (a) に示す移動経路を通して露光対象面 E L A が移動するように、上述した動作が繰り返される。

【 0057 】

空間光変調器 14 が備える複数のミラー要素 141 は、1 回の露光(つまり、1 回のパルス発光)毎に、1 回のパルス発光による露光によってウェハ 161 に転写されるべきデバイスパターンに基づく状態に遷移する。つまり、複数のミラー要素 141 は、変調パターンデータが規定する、1 回のパルス発光による露光を行う際の複数のミラー要素 141 の状態に遷移する。

【 0058 】

図 5 (a) に示す例では、露光対象面 110 - 1 が露光される場合には、複数のミラー要素 141 は、露光対象面 110 - 1 に対する 1 回の露光によってウェハ 161 に転写されるべきデバイスパターン(つまり、露光対象面 110 - 1 の下部に位置するウェハ 161 に転写されるべきデバイスパターン)に基づく状態に遷移する。その後、露光対象面 110 - 1 に続いて露光対象面 110 - 2 が露光される場合には、複数のミラー要素 141 は、露光対象面 110 - 2 に対する 1 回の露光によってウェハ 161 に転写されるべきデバイスパターン(つまり、露光対象面 110 - 2 の下部に位置するウェハ 161 に転写されるべきデバイスパターン)に基づく状態に遷移する。例えば、図 5 (b) は、露光対象面 110 - 1 を露光するための複数のミラー要素 141 の状態の一例を示す。例えば、図 5 (c) は、露光対象面 110 - 2 を露光するための複数のミラー要素 141 の状態の一例を示す。

【 0059 】

尚、図 5 (b) 及び図 5 (c) 中の白抜き領域で示すミラー要素 141 は、0 状態にあるミラー要素 141 を示している。一方で、図 5 (b) 及び図 5 (c) 中の網掛け領域で示すミラー要素 141 は、状態にあるミラー要素 141 を示している。

【 0060 】

再び図 4 において、その後、コントローラ 17 は、ウェハ 161 の露光が完了したか否かを判定する(ステップ S 13)。つまり、コントローラ 17 は、ウェハ 161 上の全ての露光対象面 110 の露光が完了したか否かを判定する。ステップ S 13 の判定の結果、ウェハ 161 の露光が完了していないと判定される場合には(ステップ S 13 : No)、コントローラ 17 は、ウェハ 161 の露光を継続するように露光装置 1 を制御する(ステ

10

20

30

40

50

ップS 1 2)。他方で、ステップS 1 3の判定の結果、ウェハ1 6 1の露光が完了したと判定される場合には(ステップS 1 3: Yes)、露光済みのウェハ1 6 1が露光装置1からアンローディングされる(ステップS 1 4)。アンローディングされたウェハ1 6 1は、不図示のデベロッパによって現像される。その後、ウェハ1 6 1は、不図示のエッチング装置によってエッチングされる。その結果、ウェハ1 6 1上に、デバイスパターンが転写(言い換えれば、形成)される。

【0061】

ウェハ1 6 1がアンローディングされた後又はウェハ1 6 1のアンローディングと並行して、検査装置1 8は、空間光変調器1 4を検査する(ステップS 2 1からステップS 2 7)。つまり、検査装置1 8は、露光光EL 3によるウェハ1 6 1の露光が行われていない(言い換えれば、ステージ1 6がウェハ1 6 1を保持していない)非露光期間中に、空間光変調器1 4を検査する。

10

【0062】

第1実施形態では、検査装置1 8は、空間光変調器1 4を検査する動作として、各ミラー要素1 4 1に欠陥が生じているか否かを判定する。特に、検査装置1 8は、各ミラー要素1 4 1に、各ミラー要素1 4 1が固着する欠陥が生じているか否かを判定する。ミラー要素1 4 1が固着する欠陥は、ミラー要素1 4 1の反射面1 4 1 aの位置(つまり、Z軸方向の位置であり、実質的には高さに相当)を変更することができなくなる欠陥である。つまり、ミラー要素1 4 1が固着する欠陥は、ミラー要素1 4 1の反射面1 4 1 aの位置を制御又は調整することができなくなる欠陥である。以下、ミラー要素1 4 1が固着する欠陥の一例について説明する。

20

【0063】

例えば、図6(a)は、全てのミラー要素1 4 1が0状態にある空間光変調器1 4を示す。全てのミラー要素1 4 1に欠陥が生じていない場合には、全てのミラー要素1 4 1の状態を0状態から状態に遷移させるための制御信号をコントローラ1 7が空間光変調器1 4に出力すると、空間光変調器1 4の状態は、図6(a)に示す状態から、図6(b)に示す状態へと遷移する。つまり、全てのミラー要素1 4 1の状態が0状態から状態へと遷移する。一方で、あるミラー要素1 4 1に欠陥(特に、反射面1 4 1 aの位置が基準平面A 1で固着する欠陥)が生じている場合には、全てのミラー要素1 4 1の状態を0状態から状態に遷移させるための制御信号をコントローラ1 7が空間光変調器1 4に出力すると、空間光変調器1 4の状態は、図6(a)に示す状態から、図6(c)に示す状態へと遷移する。つまり、あるミラー要素1 4 1の状態が0状態から状態へと遷移しない。

30

【0064】

同様に、例えば、図6(d)は、全てのミラー要素1 4 1が状態にある空間光変調器1 4を示す。全てのミラー要素1 4 1に欠陥が生じていない場合には、全てのミラー要素1 4 1の状態を状態から0状態に遷移させるための制御信号をコントローラ1 7が空間光変調器1 4に出力すると、空間光変調器1 4の状態は、図6(d)に示す状態から、図6(e)に示す状態へと遷移する。つまり、全てのミラー要素1 4 1の状態が状態から0状態へと遷移する。一方で、あるミラー要素1 4 1に欠陥(特に、反射面1 4 1 aの位置が変位平面A 2で固着する欠陥)が生じている場合には、全てのミラー要素1 4 1の状態を状態から0状態に遷移させるための制御信号をコントローラ1 7が空間光変調器1 4に出力すると、空間光変調器1 4の状態は、図6(d)に示す状態から、図6(f)に示す状態へと遷移する。つまり、あるミラー要素1 4 1の状態が状態から0状態へと遷移しない。

40

【0065】

或いは、あるミラー要素1 4 1に、反射面1 4 1 aの位置が基準平面A 1と変位平面A 2との間の中間位置A 3で固着する欠陥が生じている場合には、全てのミラー要素1 4 1の状態を0状態又は状態にするための制御信号をコントローラ1 7が空間光変調器1 4に出力したとしても、あるミラー要素1 4 1の状態が0状態にもならず且つ状態にもな

50

らない。

【 0 0 6 6 】

再び図 4 において、このような欠陥が生じているミラー要素 1 4 1 を特定するために、コントローラ 1 7 は、まず、空間光変調器 1 4 (特に、その検査領域 1 4 b) に対して検査装置 1 8 が検査光 D L 1 を照射することが可能な検査位置に位置するようになるまで検査装置 1 8 が移動するように、移動装置 1 9 を制御する (ステップ S 2 1)。その結果、検査装置 1 8 は、検査位置に位置することになる。

ここで、図 7 (a) 及び図 7 (b) を参照しながら、検査装置 1 8 の移動について更に説明する。

【 0 0 6 7 】

図 7 (a) は、露光光 E L 3 によるウェハ 1 6 1 の露光が行われている (言い換えれば、ステージ 1 6 がウェハ 1 6 1 を保持している) 露光期間中の検査装置 1 8 の位置を示す。図 7 (a) に示すように、露光期間中は、空間光変調器 1 4 の光変調面 1 4 a には、露光光 E L 2 が照射される。更に、空間光変調器 1 4 が空間変調した露光光 E L 3 は、投影光学系 1 5 を介してウェハ 1 6 1 に照射される。一方で、露光期間中は、検査装置 1 8 は、検査領域 1 4 b に対して検査光 D L 1 を照射しなくてもよい。このため、図 7 (a) に示すように、露光期間中は、検査装置 1 8 は、ウェハ 1 6 1 への露光光 E L 3 の照射を検査装置 1 8 が妨げることがない非検査位置に位置する。具体的には、検査装置 1 8 は、露光光 E L 1、E L 2 及び E L 3 の光路に重ならない非検査位置に位置する。

【 0 0 6 8 】

一方で、図 7 (b) は、検査装置 1 8 が空間光変調器 1 4 を検査する検査期間中の検査装置 1 8 の位置を示す。尚、検査期間は、露光光 E L 3 によるウェハ 1 6 1 の露光が行われていない非露光期間の少なくとも一部である。図 7 (b) に示すように、検査期間中は、ウェハ 1 6 1 に露光光 E L 3 が照射されない。このため、検査期間中は、検査装置 1 8 は、ウェハ 1 6 1 への露光光 E L 3 の照射を妨げることがない非検査位置に位置していてもよい。従って、露光期間中は非検査位置に位置していた検査装置 1 8 は、移動装置 1 9 の動作により、空間光変調器 1 4 (特に、その検査領域 1 4 b) に対して検査光 D L 1 を照射することが可能な検査位置に位置するようになるまで移動する。

【 0 0 6 9 】

再び図 4 において、その後、コントローラ 1 8 8 は、検査光 D L 1 を検査領域 1 4 b に照射するように、光源 1 8 1 を制御する。その結果、光源 1 8 1 は、検査領域 1 4 b に対して検査光 D L 1 が照射されるように、検査光 D L 1 を射出する (ステップ S 2 2)。その結果、検査光 D L 1 の照射に起因して、検査領域 1 4 b からは、出射光 D L 2 が出射する。検出器 1 8 7 は、出射光 D L 2 を検出する (ステップ S 2 3)。特に、検出器 1 8 7 は、出射光 D L 2 のうち正反射光 D L 2 (0) 以外の他の光成分 (つまり、非正反射光 D L 2 (N R)) の少なくとも一部を、検出光 D L 3 として検出する。その結果、検出器 1 8 7 は、検出光 D L 3 の強度分布に関する情報を取得する。

【 0 0 7 0 】

検査領域 1 4 b が、空間光変調器 1 4 が備える全てのミラー要素 1 4 1 の一部を包含する領域である場合には、ステップ S 2 2 及びステップ S 2 3 の処理が、空間光変調器 1 4 に対する検査装置 1 8 の相対位置を変えながら繰り返される。具体的には、光変調面 1 4 a 上の第 1 位置に設定される検査領域 1 4 a に対して検査光 D L 1 が照射され且つ当該第 1 位置に設定される検査領域 1 4 a からの出射光 D L 2 が検出される。その後、移動装置 1 9 は、コントローラ 1 8 8 の制御下で、光変調面 1 4 a 上の第 1 位置とは異なる第 2 位置に設定される検査領域 1 4 a に対して検査光 D L 1 が照射され且つ当該第 2 位置に設定される検査領域 1 4 a からの出射光 D L 2 が検出されるように、空間光変調器 1 4 に対して検査装置 1 8 を移動させる。その結果、光変調面 1 4 a 上の第 2 位置に設定される検査領域 1 4 a に対して検査光 D L 1 が照射され且つ当該第 2 位置に設定される検査領域 1 4 a からの出射光 D L 2 が検出される。以降、同様の動作が、光変調面 1 4 a 上の全ての位置に検査領域 1 4 b が設定されるまで繰り返される。つまり、検査装置 1 8 は、光変調面

10

20

30

40

50

14 aの全体に渡って検査領域14 bが順次設定されるように、空間光変調器14に対する検査装置18の相対位置を変えながら検査光DL1を検査領域14 bに照射する。その結果、検査装置18は、光変調面14 aの各部分に検査光DL1を順次照射することで、光変調面14 aの全体に検査光DL1を照射することができる。従って、検出器187は、光変調面14 aの各部分からの出射光DL2を順次検出することで、光変調面14 aの全体からの出射光DL2を検出することができる。

【0071】

一方で、検査領域14 bが、空間光変調器14が備える全てのミラー要素141を包含する領域である場合には、ステップS22及びステップS23の処理は、空間光変調器14に対する検査装置18の相対位置を固定したまま少なくとも1回行われればよい。つまり、検査装置18は、空間光変調器14に対する検査装置18の相対位置を固定したまま、検査光DL1を検査領域14 b（つまり、光変調面14 aの全体）に照射すればよい。その結果、検出器187は、光変調面14 aの全体からの出射光DL2をまとめて検出することができる。

10

【0072】

ステップS22及びステップS23の処理が行われている間は、コントローラ17は、コントローラ188の制御下で、検査領域14 bに含まれるミラー要素141の全て（或いは、空間光変調器14が備える複数のミラー要素141の全て、以下この段落において同じ）を同じ状態にするための制御信号を空間光変調器14に出力する。つまり、コントローラ17は、コントローラ188の制御下で、検査領域14 bに含まれるミラー要素141の全てが0状態及び状態のいずれかになるように、空間光変調器14を制御する。この場合、検査領域14 bに含まれるミラー要素141の全てを0状態にするための制御信号がコントローラ17から空間光変調器14に出力されている状態でステップS22及びステップS23の処理が行われ、その後、検査領域14 bに含まれるミラー要素141の全てを状態にするための制御信号がコントローラ17から空間光変調器14に出力されている状態でステップS22及びステップS23の処理が行われてもよい。その結果、コントローラ188は、固着する欠陥が生じているミラー要素141を特定することに加えて、生じている欠陥が、反射面141 aの位置が基準平面A1で固着する欠陥であるのか、反射面141 aの位置が変位平面A2で固着する欠陥であるのか、又は、反射面141 aの位置が基準平面A1と変位平面A2との間の中間位置A3で固着する欠陥であるのかをも特定することができる。

20

30

【0073】

その後、コントローラ188は、ステップS23で取得される検出光DL3の強度分布（つまり、検出光DL3の検出強度）を用いて、各ミラー要素141に、各ミラー要素141が固着する欠陥が生じているか否かを判定する（ステップS24からステップS25）。

【0074】

ここで、検出面187 a上のある撮像位置 (x, y) において検出される検出光DL3の検出強度 $I(x, y)$ は、当該撮像位置 (x, y) に対応する検査領域14 b中のある検査位置 (X, Y) に位置するミラー要素141 (X, Y) の反射面141 aの高さ（より具体的には、反射面141 aの基準位置からのZ軸方向の変位量） d と、検査光DL1の周波数に依存して変動する。具体的には、検出強度 $I(x, y)$ は、 $I(x, y) = I_0(x, y, d_0) \times (1 - \cos(4\pi d / c))$ という数式で近似可能である。尚、 $I_0(x, y, d_0)$ は、ミラー要素141 (X, Y) の反射面141 aの高さ d が所定の高さ d_0 である場合に撮像位置 (x, y) において検出される検出光DL3の検出強度（以降、“基準強度”と称する）を示す。 c は、光速を示す。ここで、検査光DL1の周波数及び光速 c は、コントローラ188にとって既知のパラメータである。このため、基準強度 $I_0(x, y, d_0)$ がコントローラ188にとって既知のパラメータとなれば、検出強度 $I(x, y)$ は、ミラー要素141 (X, Y) の反射面141 aの高さ d に依存して変動することになる。従って、ある検査位置 (X_1, Y_1) のミ

40

50

ラー要素 141 (X1, Y1) に欠陥が生じている場合に検査位置 (X1, Y1) に対応する撮像位置 (x1, y1) で検出される検出強度 $I(x1, y1)$ は、ミラー要素 141 (X1, Y1) に欠陥が生じていない場合に検出される検出強度 $I(x1, y1)$ とは異なる。例えば、ミラー要素 141 (X1, Y1) に欠陥が生じている場合に検出される検出強度 $I(x1, y1)$ は、ミラー要素 141 (X1, Y1) に欠陥が生じていない場合に検出される検出強度 $I(x1, y1)$ よりも大きくなる (或いは、場合によっては小さくなる)。このため、ミラー要素 141 (X1, Y1) に欠陥が生じている一方でミラー要素 141 (X1, Y1) 以外の他のミラー要素 141 に欠陥が生じていない場合には、図 8 に示すように、検出光 DL3 の強度分布は、検出強度 $I(x1, y1)$ が極大値 (或いは、場合によっては極小値) となる強度分布となる。更に、検出強度 $I(x1, y1)$ の大きさは、ミラー要素 141 (X1, Y1) の高さ d に依存して変動する。例えば、検出強度 $I(x1, y1)$ は、ミラー要素 141 (X1, Y1) の高さ d が高くなるほど (或いは、場合によって低くなるほど) 大きくなる。

【0075】

このため、コントローラ 188 は、ステップ S23 で取得された検出強度 (以降、実際に取得した検出強度を、“検出強度 $I_{detect}(x, y)$ ” と称する) から、ミラー要素 141 (X, Y) の反射面 141a の高さ d が、欠陥が生じている高さとなっているのか又は正常な高さであるのかを特定することができる。例えば、コントローラ 188 は、検査領域 14b に含まれるミラー要素 141 の全てを 0 状態にするための制御信号がコントローラ 17 から空間光変調器 14 に出力されている状態で取得された検出強度 $I_{detect}(x, y)$ から、ミラー要素 141 (X, Y) の反射面 141a の高さ d が、正常な高さ (つまり、基準平面 A1 に相当する高さ) であるのか又は欠陥が生じている高さ (例えば、変位平面 A2 又は中間位置 A3 に相当する高さ) であるのかを特定することができる。例えば、コントローラ 188 は、検査領域 14b に含まれるミラー要素 141 の全てを 状態にするための制御信号がコントローラ 17 から空間光変調器 14 に出力されている状態で取得された検出強度 $I_{detect}(x, y)$ から、ミラー要素 141 (X, Y) の反射面 141a の高さ d が、正常な高さ (つまり、変位平面 A2 に相当する高さ) であるのか又は欠陥が生じている高さ (例えば、基準平面 A1 又は中間位置 A3 に相当する高さ) であるのかを特定することができる。

【0076】

コントローラ 188 は、このような方法で各ミラー要素 141 に、各ミラー要素 141 が固着する欠陥が生じているか否かを判定する。このため、コントローラ 188 は、まず、上述した基準強度 $I_0(x, y, d_0)$ を取得する (ステップ S24)。基準強度 $I_0(x, y, d_0)$ は、全てのミラー要素 141 の高さ d が既知の空間光変調器 14 に対して検査装置 18 が行うテスト検査動作によって取得されてもよい。テスト検査動作は、全てのミラー要素 141 の高さ d が所定の高さ d_0 であって且つ全てのミラー要素 141 に欠陥が生じていない空間光変調器 14₀ に対して検査光 DL1 を照射し、当該空間光変調器 14₀ からの出射光 DL2 を検出することで検出光 DL3 の強度分布を取得する動作である。テスト検査動作は、図 4 に示す露光動作が行われる前に露光装置 1 外で予め行われる。但し、テスト検査動作は、図 4 に示す露光動作中に行われてもよいし、露光装置 1 内で行われてもよい。この場合には、露光装置 1 が、基準となる空間光変調器 14₀ を備えている。或いは、基準強度 $I_0(x, y, d_0)$ は、全てのミラー要素 141 の高さ d が所定の高さ d_0 となる空間光変調器 14₀ を模擬するシミュレーションモデルを用いてテスト検査動作をシミュレートすることで取得されてもよい。

【0077】

その後、コントローラ 188 は、ステップ S23 で取得した検出光 DL3 の検出強度 $I_{detect}(x, y)$ 及びステップ S24 で取得した基準強度 $I_0(x, y, d_0)$ を用いて、各ミラー要素 141 に、各ミラー要素 141 が固着する欠陥が生じているか否かを判定する (ステップ S25)。具体的には、コントローラ 188 は、上述した検出強度 $I(x, y)$ の数式に対して、ステップ S23 で実際に取得した検出強度 I_{dete}

10

20

30

40

50

$c_t(x, y)$ 及びステップ S 2 4 で取得した基準強度 $I_0(x, y, \quad, d_0)$ を代入することで、各ミラー要素 1 4 1 の高さ d を特定することができる。その後、コントローラ 1 8 8 は、特定した各ミラー要素 1 4 1 の高さ d が正常な高さであるのか又は欠陥が生じている高さであるのかを特定する。その結果、コントローラ 1 8 8 は、各ミラー要素 1 4 1 が固着する欠陥が生じているか否かを判定できると共に、欠陥が生じているミラー要素 1 4 1 における欠陥の程度（例えば、反射面 1 4 1 a の固着位置等）を特定することができる

【 0 0 7 8 】

或いは、コントローラ 1 8 8 は、ステップ S 2 3 で取得した検出強度 $I_{detect}(x, y)$ からステップ S 2 4 で取得した基準強度 $I_0(x, y, \quad, d_0)$ に応じた変動成分を排除する補正を行ってもよい。その結果、コントローラ 1 8 8 は、補正後の検出強度 $I_{amd}(x, y)$ として、各ミラー要素 1 4 1 の高さ d に依存して変動する検出強度を取得できる。その後、コントローラ 1 8 8 は、補正後の検出強度 $I_{amd}(x, y)$ の分布中に、ある一定強度以上の極大値が存在しなければ、全てのミラー要素 1 4 1 に欠陥が生じていない（つまり、正常である）と判定してもよい。例えば、コントローラ 1 8 8 は、補正後の検出強度 $I_{amd}(x, y)$ の分布中に、ある一定強度以上の極大値が存在していれば、当該極大値が存在する撮像位置 (x_2, y_2) に対応する検査位置 (X_2, Y_2) のミラー要素 1 4 1 (X_2, Y_2) に欠陥が生じていると判定してもよい。更に、この場合には、コントローラ 1 8 8 は、極大値の大きさから、ミラー要素 1 4 1 (X_2, Y_2) に生じている欠陥の程度を特定してもよい。

【 0 0 7 9 】

検出器 1 8 7 が備える複数の撮像素子の配列ピッチが、複数のミラー要素 1 4 1 の配列ピッチ（但し、出射光 DL 2 を空間光変調器 1 4 から検出器 1 8 へと導く結像光学系 IM 1 の結像倍率を考慮した配列ピッチ）と同じである場合には、複数の撮像素子の数は、複数のミラー要素 1 4 1 の数に一致する。つまり、複数の撮像素子と複数のミラー要素 1 4 1 とは、1 対 1 で対応する。具体的には、検出面 1 8 7 a 上のある一つの撮像位置 (x_3, y_3) に位置する一つの撮像素子は、当該一つの撮像位置 (x_3, y_3) に対応する一つの検査位置 (X_3, Y_3) に位置する一つのミラー要素 1 4 1 (X_3, Y_3) に対応する。この場合には、コントローラ 1 8 8 は、ある一つの撮像位置 (x_3, y_3) における検出強度 $I_{detect}(x_3, y_3)$ に基づいて、ある一つのミラー要素 1 4 1 (X_3, Y_3) に欠陥が生じているか否かを判定することができる。

【 0 0 8 0 】

複数の撮像素子の配列ピッチが、複数のミラー要素 1 4 1 の配列ピッチ（但し、結像光学系 IM 1 の結像倍率を考慮した配列ピッチ）よりも小さい場合には、複数の撮像素子の数は、複数のミラー要素 1 4 1 の数よりも多い。つまり、複数の撮像素子と複数のミラー要素 1 4 1 とは、 n 対 1（但し、 n は 1 以上の実数）で対応する。具体的には、検出面 1 8 7 a 上のある複数の撮像位置 (x_4, y_4) に夫々位置する複数の撮像素子は、当該複数の撮像位置 (x_4, y_4) に共通して対応する一つの検査位置 (X_4, Y_4) に位置する一つのミラー要素 1 4 1 (X_4, Y_4) に対応する。この場合には、コントローラ 1 8 8 は、複数の撮像位置 (x_4, y_4) における複数の検出強度 $I_{detect}(x_4, y_4)$ に基づいて、ある一つのミラー要素 1 4 1 (X_4, Y_4) に欠陥が生じているか否かを判定することができる。例えば、コントローラ 1 8 8 は、複数の撮像位置 (x_4, y_4) における複数の検出強度 $I_{detect}(x_4, y_4)$ の平均値を算出し、当該検出強度 $I_{detect}(x_4, y_4)$ の平均値に基づいて、ある一つのミラー要素 1 4 1 (X_4, Y_4) に欠陥が生じているか否かを判定することができる。

【 0 0 8 1 】

複数の撮像素子の配列ピッチが、複数のミラー要素 1 4 1 の配列ピッチ（但し、結像光学系 IM 1 の結像倍率を考慮した配列ピッチ）よりも大きい場合には、複数の撮像素子の数は、複数のミラー要素 1 4 1 の数よりも少ない。つまり、複数の撮像素子と複数のミラー要素 1 4 1 とは、1 : m （但し、 m は 1 以上の実数）で対応する。具体的には、検出面

187a上のある1つの撮像位置(x5, y5)に位置する1つの撮像素子は、当該1つの撮像位置(x5, y5)に共通して対応する複数の検査位置(X5, Y5)に位置する複数のミラー要素141(X5, Y5)に対応する。この場合には、コントローラ188は、撮像位置(x5, y5)の周辺位置における検出光DL3の強度を、検出強度 $I_{detect}(x, y)$ を補間することで推定すると共に、当該推定した検出光DL3の強度に基づいて、当該1つの撮像位置(x5, y5)に共通して対応する複数の検査位置(X5, Y5)に位置する複数のミラー要素141(X5, Y5)に欠陥が生じているか否かを判定することができる。この場合には、複数の撮像素子の配列ピッチが複数のミラー要素141の配列ピッチよりも大きいままでよい(つまり、結像光学系186の開口数が相対的に小さくてもよい)ため、結像光学系IM1の負荷が相対的に緩和されるというメリットもある。但し、コントローラ188は、1つの撮像位置(x5, y5)における1つの検出強度 $I_{detect}(x5, y5)$ に基づいて、複数のミラー要素141(X5, Y5)に欠陥が生じているか否かを判定してもよい。

10

【0082】

ミラー要素141に欠陥が生じているか否かが判定された後には、コントローラ17は、検査装置18がウェハ161への露光光EL3の照射を妨げない非検査位置に位置するまで検査装置18が移動するように、移動装置19を制御する(ステップS26)。その結果、検査装置18は、非検査位置に位置することになる。

【0083】

その後、コントローラ17は、露光装置1が新たなウェハ161を露光するか否かを判定する(ステップS27)。ステップS27の判定の結果、露光装置1が新たなウェハ161を露光しないと判定される場合には(ステップS27: No)、図4に示す動作が終了する。

20

【0084】

他方で、ステップS27の判定の結果、露光装置1が新たなウェハ161を露光すると判定される場合には(ステップS27: Yes)、ステップS11以降の動作が繰り返される。つまり、露光装置1は、新たなウェハ161に対して露光光EL3を照射することで、新たなウェハ161を露光する。このとき、コントローラ17は、検査装置18の検査結果(つまり、複数のミラー要素141の欠陥の有無の判定結果)を用いて、露光光EL3でウェハ161を露光する動作を制御してもよい。具体的には、コントローラ17は、所望のデバイスパターンをウェハ161に適切に転写可能な適切な露光光EL3がウェハ161に照射されるように、光源11、照明光学系12、空間光変調器14、投影光学系15及びステージ16の少なくとも一つを制御してもよい。例えば、少なくとも1つのミラー要素141に欠陥が生じている場合には、全てのミラー要素141に欠陥が生じていない場合と比較して、ウェハ161上の各領域部分に対する露光光EL3の露光量が変化する可能性がある。このため、コントローラ17は、複数のミラー要素141の欠陥の有無に依存することなく、ウェハ161上の各領域部分に対する露光光EL3の露光量が適切な露光量となるように、光源11、照明光学系12、空間光変調器14、投影光学系15及びステージ16の少なくとも一つを制御してもよい。

30

【0085】

以上説明したように、第1実施形態の露光装置1は、空間光変調器14に対して検査光DL1を照射すると共に、当該検査光DL1の照射に起因して発生する出射光DL2を検出することで、空間光変調器14を検査することができる。このため、露光装置1は、空間光変調器14を比較的容易に検査することができる。加えて、第1実施形態の露光装置1は、出射光DL2のうち正反射光DL2(0)以外の他の光成分の少なくとも一部を検出光DL3として検出することで、空間光変調器14を検査することができる。このため、検出光DL3の強度分布において、欠陥が発生しているミラー要素141に起因する強度と欠陥が発生していないミラー要素141に起因する強度が明確に分離可能となる。このため、空間光変調器14の検査精度が相対的に向上する。つまり、検査装置18のSN比が相対的に向上する。

40

50

【 0 0 8 6 】

尚、出射光 D L 2 には、複数のミラー要素 1 4 1 の間の隙間 1 4 2 を介したノイズ光が含まれる可能性がある。例えば、出射光 D L 2 には、ノイズ光として、複数の隙間 1 4 2 を介して反射面 1 4 1 a 以外の部材に照射された検査光 D L 1 の当該部材から反射光が含まれている可能性がある。例えば、出射光 D L 2 には、ノイズ光として、複数の隙間 1 4 2 の周期的な配列に起因して発生する回折光が含まれている可能性がある。このノイズ光は、複数のミラー要素 1 4 1 の反射面 1 4 1 a に関係なく発生する光である。このため、検出器 1 8 7 がこのノイズ光を検出すると、検査装置 1 8 の検査精度が悪化する可能性がある。このため、瞳絞り 1 8 5 は、出射光 D L 2 のうち隙間 1 4 2 を介したノイズ光を遮光して検出器 1 8 7 に導かないように構成されていてもよい。例えば、瞳絞り 1 8 5 が備える遮光素子 1 8 5 c が、ノイズ光の少なくとも一部を遮光してもよい。例えば、瞳絞り 1 8 5 の絞り部材 1 8 5 a が、ノイズ光の少なくとも一部を遮光してもよい。その結果、空間光変調器 1 4 の検査精度が相対的に向上する。尚、光変調面 1 4 a に対するノイズ光の出射角度は、相対的に大きくなる可能性が高い。このため、出射光 D L 2 のうち 2 次以上の高次の回折光 D L 2 (± 2、 ± 3、 ···) を遮光して検出器 1 8 7 に導かないように構成されている瞳絞り 1 8 5 は、実質的には、出射光 D L 2 のうちノイズ光を遮光して検出器 1 8 7 に導かないように構成されている可能性が相対的に高い。つまり、瞳絞り 1 8 5 を含む結像光学系 I M 1 の開口数が相対的に小さい場合には、結像光学系 1 8 6 は、出射光 D L 2 のうちノイズ光を検出器 1 8 7 に導かないように構成されている可能性が相対的に高い。

10

20

【 0 0 8 7 】

上述した説明では、検査装置 1 8 は、露光光 E L 3 によって露光されたウェハ 1 6 1 がアンロードされた後に又は露光光 E L 3 によって露光されたウェハ 1 6 1 のアンロードと並行して、空間光変調器 1 4 を検査している。しかしながら、検査装置 1 8 は、露光光 E L 3 がウェハ 1 6 1 に照射されていない任意の期間中に、空間光変調器 1 4 を検査してもよい。例えば、検査装置 1 8 は、ウェハ 1 6 1 がローディングされる前に、空間光変調器 1 4 を検査してもよい。例えば、検査装置 1 8 は、ウェハ 1 6 1 がローディングされてからウェハ 1 6 1 の露光を開始するまでの期間の少なくとも一部において、空間光変調器 1 4 を検査してもよい。例えば、検査装置 1 8 は、ウェハ 1 6 1 の露光が完了してからウェハ 1 6 1 がアンローディングされるまでの期間の少なくとも一部において、空間光変調器 1 4 を検査してもよい。例えば、ウェハ 1 6 1 が露光される露光期間中であっても、ステージ 1 6 が X 軸方向に沿って移動している期間（つまり、ステップ移動期間、図 3 (a) 参照）中は、ウェハ 1 6 1 に対する露光光 E L 3 の照射が一時的に中断される。このため、検査装置 1 8 は、ステップ移動期間の少なくとも一部において、空間光変調器 1 4 を検査してもよい。

30

【 0 0 8 8 】

上述した説明では、検査装置 1 8 は、1 枚のウェハ 1 6 1 の露光が完了する都度、空間光変調器 1 4 を検査している。しかしながら、検査装置 1 8 は、2 枚以上の（或いは、所定枚数の）ウェハ 1 6 1 の露光が完了する都度、空間光変調器 1 4 を検査してもよい。

【 0 0 8 9 】

上述した説明では、コントローラ 1 7 は、検査装置 1 8 の出力を用いて、ウェハ 1 6 1 上の各領域部分に対する露光光 E L 3 の露光量が適切な露光量となるように、光源 1 1、照明光学系 1 2、空間光変調器 1 4、投影光学系 1 5 及びステージ 1 6 の少なくとも一つを制御している。しかしながら、コントローラ 1 7 は、検査装置 1 8 の出力に基づいて、空間光変調器 1 4 の交換を促す警告を不図示の表示装置に出力させてもよい。また、コントローラ 1 7 は、検査装置 1 8 の出力に基づいて、空間光変調器 1 4 の交換時期を推測してもよい。

40

【 0 0 9 0 】

上述した説明では、露光装置 1 が検査装置 1 8 を備えている。しかしながら、露光装置 1 は、検査装置 1 8 を備えていなくてもよい。この場合には、空間光変調器 1 4 を検査す

50

るタイミングで、露光装置 1 の外部から検査装置 1 8 が露光装置 1 の内部（特に、検査位置）に搬送されてもよい。

(2) 第 2 実施形態の露光装置 2

続いて、第 2 実施形態の露光装置 2 について説明する。

(2-1) 第 2 実施形態の露光装置 2 の構造

【0091】

はじめに、図 9 を参照しながら、第 2 実施形態の露光装置 2 の構造について説明する。第 2 実施形態の露光装置 2 は、第 1 実施形態の露光装置 1 と比較して、検査装置 1 8 に代えて検査装置 2 8 を備えているという点で異なっている。図 9 に示すように、検査装置 2 8 は、検査装置 1 8 と比較して、照明光学系 I L 1、結像光学系 I M 1 及びコントローラ 1 8 8 に代えて、照明光学系 I L 2、結像光学系 I M 2 及びコントローラ 2 8 8 を備えているという点で異なっている。照明光学系 I L 2 は、照明光学系 I L 1 と比較して、光源 1 8 1 に代えて光源 2 8 1 を備えているという点で異なっている。結像光学系 I M 2 は、結像光学系 I M 1 と比較して、瞳絞り 1 8 5 に代えて瞳絞り 2 8 5 を備えているという点で異なっている。第 2 実施形態の露光装置 2 のその他の構成要件は、第 1 実施形態の露光装置 1 のその他の構成要件と同一であってもよい。このため、第 1 実施形態の露光装置 1 の構成要件と同一の構成要件については、同一の参照符号を付することでその詳細な説明を省略する。

10

【0092】

光源 2 8 1 は、光源 1 8 1 と比較して、複数の異なる波長の検査光 D L 1 を出射可能であるという点で異なる。光源 2 8 1 のその他の機能は、光源 1 8 1 のその他の機能と同一であってもよい。瞳絞り 2 8 5 は、瞳絞り 1 8 5 と比較して、絞り部材 1 8 5 a に代えて、開口 1 8 5 b の形状や配置位置を変更するように動作可能な可変絞り部材 2 8 5 a を含むという点で異なる。瞳絞り 2 8 5 のその他の構成要件は、瞳絞り 1 8 5 のその他の構成要件と同一であってもよい。コントローラ 2 8 8 は、コントローラ 1 8 8 と比較して、複数の異なる波長の検査光 D L 1 を順次出射するように光源 2 8 1 を制御するという点で異なる。更に、コントローラ 2 8 8 は、コントローラ 1 8 8 と比較して、基準強度 $I_0(x, y, z, d_0)$ (図 4 のステップ S 2 4) を取得することなく、各ミラー要素 1 4 1 に、各ミラー要素 1 4 1 が固着する欠陥が生じているか否かを判定するという点で異なる。コントローラ 2 8 8 のその他の構成要件は、コントローラ 1 8 8 のその他の構成要件と同一であってもよい。

20

30

(2-2) 第 2 実施形態の露光装置 2 の動作

【0093】

続いて、図 10 を参照しながら、第 2 実施形態の露光装置 2 の動作について説明する。尚、第 1 実施形態の露光装置 1 が行う処理と同一の処理については、同一のステップ番号を付することでその詳細な説明を省略する。

【0094】

図 10 に示すように、第 2 実施形態の露光装置 2 は、第 1 実施形態の露光装置 1 と同様に、ステップ 1 1 からステップ S 2 1 までの動作を行う。つまり、未露光のウェハ 1 6 1 が露光装置 2 にローディングされ（ステップ S 1 1）、ウェハ 1 6 1 が露光され（ステップ S 1 2）、露光されたウェハ 1 6 1 がアンローディングされ（ステップ S 1 4）、検査装置 2 8 が検査位置に位置するようになるまで検査装置 2 8 が移動する（ステップ S 2 1）。

40

【0095】

その後、第 2 実施形態においても、コントローラ 2 8 8 は、検査光 D L 1 を検査領域 1 4 b に照射するように、光源 2 8 1 を制御する（ステップ S 2 2）。その結果、検出器 1 8 7 は、出射光 D L 2 を検出する（ステップ S 2 3）。

【0096】

第 2 実施形態では、ステップ S 2 2 及び S 2 3 の処理は、光源 2 8 1 が出射する検査光 D L 1 の波長を変更しながら繰り返される（ステップ S 3 1）。具体的には、光源 2 8

50

1は、第1の波長 λ_1 の検査光DL1を出射し、検出器187は、第1の波長 λ_1 の検査光DL1が照射された検査領域14bからの出射光DL2を検出する。その後、光源281は、第1の波長 λ_1 とは異なる第2の波長 λ_2 の検査光DL1を出射し、検出器187は、第2の波長 λ_2 の検査光DL1が照射された検査領域14bからの出射光DL2を検出する。以降、同様の動作が、検査光DL1の波長 λ の変更が不要であると判定されるまで繰り返される。

【0097】

検査光DL1の波長 λ の切替と並行して、コントローラ288は、波長 λ の切替前後において結像光学系IM2の開口数NAを検査光DL1の波長 λ で除算することで得られるパラメータ(つまり、 NA/λ)が一定になるように、結像光学系IM2の開口数NAを調整する。例えば、コントローラ288は、検査光DL1の波長 λ が第1の波長 λ_1 に設定されている場合には、結像光学系IM2の開口数NAが第1の開口数 NA_1 に設定され、検査光DL1の波長 λ が第2の波長 λ_2 に設定されている場合には、結像光学系IM2の開口数NAが第2の開口数 NA_2 (但し、 NA_2 は、 $NA_2/\lambda_2 = NA_1/\lambda_1$ を満たす)に設定されるように、結像光学系IM2の開口数NAを調整する。コントローラ288は、結像光学系IM2の開口数NAを調整するために、瞳絞り285の可変絞り部材285aを制御する。但し、コントローラ288は、その他の方法で、結像光学系IM2の開口数NAを調整してもよい。

【0098】

その後、コントローラ288は、ステップS23で取得される検出光DL3の強度分布(つまり、検出光DL3の検出強度 $I_{detect}(x, y)$)を用いて、各ミラー要素141に、各ミラー要素141が固着する欠陥が生じているか否かを判定する(ステップS31)。具体的には、上述したように、検出強度 $I(x, y)$ は、ミラー要素141(X, Y)の反射面141aの高さdを用いた「 $I(x, y) = I_0(x, y, \lambda, d_0) \times (1 - \cos(4\pi d/\lambda))$ 」という数式で近似可能である。上述した第1実施形態では、コントローラ188は、基準強度 $I_0(x, y, \lambda, d_0)$ を既知のパラメータとして取得している。一方で、第2実施形態では、コントローラ288は、基準強度 $I_0(x, y, \lambda, d_0)$ を既知のパラメータとして取得することなく、異なる複数の波長の検査光DL1を照射することで取得される複数の検出強度 $I_{detect}(x, y)$ を用いて、各ミラー要素141の高さdを特定する。具体的には、上述したように、検出強度 $I(x, y)$ は、基準強度 $I_0(x, y, \lambda, d_0)$ 及びミラー要素141の高さdという2つの変数を含む数式(つまり、方程式)によって特定される。第2実施形態では、コントローラ288は、2つの変数を含む数式に、ステップS23で取得した複数の検出強度 $I_{detect}(x, y)$ を代入することで得られる連立方程式を解くことで、各ミラー要素141の高さdを特定する。

【0099】

或いは、結像光学系IM2の開口数NAを検査光DL1の波長 λ で除算することで得られるパラメータ(つまり、 NA/λ)が一定に維持されると、検査光DL1の周波数 f に対する基準強度 $I_0(x, y, \lambda, d_0)$ の依存性がなくなる。つまり、周波数 f の変動(つまり、波長 λ の変動)に対して基準強度 $I_0(x, y, \lambda, d_0)$ が固定される。その結果、「 $I(x, y) = I_0(x, y, \lambda, d_0) \times (1 - \cos(4\pi d/\lambda))$ 」という数式に従えば、ある撮像位置 (x_6, y_6) で検出される検出強度 $I(x_6, y_6)$ は、検査光DL1の周波数 f ($= 1/\lambda$)に対して、撮像位置 (x_6, y_6) に対応する検査位置 (X_6, Y_6) に位置するミラー要素141(X6, Y6)の高さdに応じた周期で正弦波状に変化することになる。つまり、検出強度 $I(x_6, y_6)$ は、検出強度 $I(x_6, y_6)$ を縦軸とし且つ検査光DL1の周波数 f を横軸とする座標平面上において、ミラー要素141(X6, Y6)の高さdに応じた周期で変化するコサインカーブの曲線となる。このため、コントローラ288は、異なる複数の波長の検査光DL1を照射することで撮像位置 (x_6, y_6) において夫々検出される複数の検出強度 $I_{detect}(x_6, y_6)$ をこの座標平面上でフィッティング(つまり、プロット)し、その結

10

20

30

40

50

果得られるコサインカーブの曲線の周期を特定することで、ミラー要素 1 4 1 (X 6 , Y 6) の高さ d を特定してもよい。コントローラ 2 8 8 は、この動作を、全ての撮像位置 (x , y) において繰り返すことで、複数のミラー要素 1 4 1 の高さ d を特定可能である。

【 0 1 0 0 】

このように、第 2 実施形態においても、第 1 実施形態と同様に、コントローラ 2 8 8 は、各ミラー要素 1 4 1 に各ミラー要素 1 4 1 が固着する欠陥が生じているか否かを判定することができる。このため、第 2 実施形態の露光装置 2 もまた、第 1 実施形態の露光装置 1 が享受可能な効果と同様の効果を楽しむことができる。

(3) 第 3 実施形態の露光装置 3

【 0 1 0 1 】

続いて、図 1 1 を参照しながら、第 3 実施形態の露光装置 3 について説明する。図 1 1 に示すように、第 3 実施形態の露光装置 3 は、第 1 実施形態の露光装置 1 と比較して、検査装置 1 8 を移動するための移動装置 1 9 に代えて、空間光変調器 1 4 を移動するための移動装置 3 9 を備えているという点で異なっている。第 3 実施形態の露光装置 3 のその他の構成要件は、第 1 実施形態の露光装置 1 のその他の構成要件と同一であってもよい。このため、第 1 実施形態の露光装置 1 の構成要件と同一の構成要件については、同一の参照符号を付することでその詳細な説明を省略する。

【 0 1 0 2 】

空間光変調器 1 4 は、コントローラ 1 7 の制御下で、移動可能である。空間光変調器 1 4 は、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向、 X 方向、 Y 方向及び Z 方向のうち少なくとも一つに沿って移動可能である。例えば、空間光変調器 1 4 は、平面モータを含む移動装置 3 9 の動作により移動してもよい。但し、移動装置 3 9 は、平面モータに加えて又は代えて、他のモータ (例えば、リニアモータ) を含んでもよい。

【 0 1 0 3 】

空間光変調器 1 4 は、露光光 E L 3 によるウェハ 1 6 1 の露光が行われている露光期間中は、図 1 2 (a) に示すように、照明光学系 1 2 からの露光光 E L 2 が照射され且つ投影光学系 1 5 を介してウェハ 1 6 1 に露光光 E L 3 を照射可能な露光位置に位置する。一方で、空間光変調器 1 4 は、検査装置 1 8 が空間光変調器 1 4 を検査する検査期間中は、図 1 2 (b) に示すように、検査装置 1 8 からの検査光 D L 1 が照射され且つ出射光 D L 2 を検査装置 1 8 に向けて出射可能な被検査位置に位置する。つまり、検査期間の開始に伴い、露光期間中は露光位置に位置していた空間光変調器 1 4 は、移動装置 3 9 の動作により被検査位置に位置するようになるまで移動する。同様に、露光期間の開始に伴い、検査期間中は被検査位置に位置していた空間光変調器 1 4 は、移動装置 3 9 の動作により露光位置に位置するようになるまで移動する。

このような第 3 実施形態の露光装置 3 もまた、第 1 実施形態の露光装置 1 が享受可能な効果と同様の効果を楽しむことができる。

【 0 1 0 4 】

尚、第 3 実施形態では、検査装置 1 8 は、移動可能ではないが、移動可能であってもよい。つまり、露光装置 3 は、移動装置 3 9 に加えて、第 1 実施形態で説明した移動装置 1 9 も備えていてもよい。

(4) 第 4 実施形態の露光装置 4

【 0 1 0 5 】

続いて、第 4 実施形態の露光装置 4 について説明する。第 4 実施形態の露光装置 4 は、第 1 実施形態の露光装置 1 と比較して、検査装置 1 8 に代えて検査装置 4 8 を備えているという点で異なる。従って、以下では、図 1 3 を参照しながら、検査装置 4 8 について説明を進める。尚、第 4 実施形態の露光装置 4 のその他の構成要件は、第 1 実施形態の露光装置 1 のその他の構成要件と同一であってもよい。このため、第 1 実施形態の露光装置 1 の構成要件と同一の構成要件については、同一の参照符号を付することでその詳細な説明を省略する。

【 0 1 0 6 】

10

20

30

40

50

図13に示すように、検査装置48は、検査装置18と比較して、照明光学系IL1及び結像光学系IM1に代えて、照明光学系IL4及び結像光学系IM4を備えているという点で異なっている。照明光学系IL4は、検査領域14bに対して検査光DL1が斜入射するように検査領域14bに検査光DL1を照射するという点で、検査領域14bに対して検査光DL1が垂直入射するように検査領域14bに検査光DL1を照射する照明光学系IL1と異なっている。図13に示す例では、照明光学系IL4は、照明光学系IL1と比較して、レンズ182b、ビームスプリッタ183及びレンズ184を含んでいなくてもよいという点で異なっている。但し、照明光学系IL4は、検査領域14bに対して検査光DL1が斜入射するように検査領域14bに検査光DL1を照射することができる限りは、どのような構造を有していてもよい。結像光学系IM4は、検査光DL1が斜入射した検査領域14bからの出射光DL2の一部を検出器187に導くという点で、検査光DL1が垂直入射した検査領域14bからの出射光DL2の一部を検出器187に導く結像光学系IM1と異なっている。図13に示す例では、結像光学系IM4は、結像光学系IM1と比較して、ビームスプリッタ183を含んでいなくてもよいという点で異なっている。但し、結像光学系IL4は、検査光DL1が斜入射した検査領域14bからの出射光DL2の一部を検出器187に導くことができる限りは、どのような構造を有していてもよい。第4実施形態の検査装置48のその他の構成要件は、第1実施形態の検査装置18のその他の構成要件と同一であってもよい。

このような第4実施形態の露光装置4もまた、第1実施形態の露光装置1が享受可能な効果と同様の効果を享受可能である。

【0107】

加えて、斜入射に起因して、照明光学系IL4、結像光学系IM4及び検出器187を、空間光変調器14に入射する露光光EL2及び空間光変調器14から出射する露光光EL3の光路に重ならないように配置することも可能である。この場合には、露光光EL3によるウェハ161の露光が行われる露光期間中の検査装置48の位置と、検査装置48が空間光変調器14を検査する検査期間中の検査装置48の位置とが同じであっても、露光光EL3によるウェハ161の露光が検査装置48によって妨げられることはない。つまり、検査装置48が移動しない場合であっても、露光光EL3によるウェハ161の露光が検査装置48によって妨げられることはない。このため、この場合には、露光装置4は、移動装置19を備えていなくてもよい。その結果、露光装置4の構造が相対的に簡易になる。

(5) 第5実施形態の露光装置5

【0108】

続いて、図14を参照しながら、第5実施形態の露光装置5について説明する。図14に示すように、第5実施形態の露光装置5は、第4実施形態の露光装置4と比較して、光変調面14aがカバーガラス51によって保護されているという点で異なっている。第5実施形態の露光装置5のその他の構成要件は、第4実施形態の露光装置4のその他の構成要件と同一であってもよい。このため、第4実施形態の露光装置4の構成要件と同一の構成要件については、同一の参照符号を付することでその詳細な説明を省略する。

【0109】

光変調面14aがカバーガラス51によって保護されている場合は、露光光EL2は、カバーガラス51を介して光変調面14aに照射される。更に、光変調面14aによって空間変調された露光光EL3は、カバーガラス51を介して投影光学系15に入射する。更に、検査光DL1は、カバーガラス51を介して検査領域14bに照射される。

【0110】

このようなカバーガラス51を露光装置5が備えている場合には、露光装置5は、検査装置48に代えて、検査装置58を備える。図15に示すように、検査装置58は、検査装置48と比較して、照明光学系IL4に代えて、照明光学系IL5を備えているという点で異なっている。照明光学系IL5は、照明光学系IL4と比較して、偏光板589を更に備えているという点で異なっている。偏光板589は、光源181とカバーガラス5

10

20

30

40

50

1 との間における検査光 D L 1 の光路上に配置される。偏光板 5 8 9 は、検査光 D L 1 を p 偏光に変換する。第 5 実施形態では更に、カバーガラス 5 1 に対する検査光 D L 1 (つまり、p 偏光に変換された検査光 D L 1) の入射角 i が、ブルースター角 (言い換えれば、偏光角) となるように、カバーガラス 5 1 に対して照明光学系 I L 5 が位置合わせされている。その結果、第 5 実施形態では、検査光 D L 1 がカバーガラス 5 1 の表面で殆ど反射しなくなる。このため、検査光 D L 1 のカバーガラス 5 1 での反射に起因したノイズが、出射光 D L 2 に重畳されることがない。従って、検査光 D L 1 のカバーガラス 5 1 での反射に起因した検査精度の悪化が適切に防止される。

(6) その他の変形例

【0111】

尚、図 1 から図 1 5 を用いて説明した露光装置 1 及び検査装置 1 8 の構造及び動作は一例である。従って、露光装置 1 及び検査装置 1 8 の構造及び動作の少なくとも一部が適宜変更されてもよい。以下、露光装置 1 及び検査装置 1 8 の構造及び動作の少なくとも一部の改変の例について説明する。

【0112】

上述の説明では、露光装置 1 は、液体を介することなくウェハ 1 6 1 を露光するドライタイプの露光装置である。しかしながら、露光装置 1 は、露光光 E L 3 の光路を含む液浸空間を投影光学系 1 5 とウェハ 1 6 1 との間に形成すると共に、投影光学系 1 5 及び液浸空間を介してウェハ 1 6 1 を露光する液浸露光装置であってもよい。尚、液浸露光装置の一例は、例えば、欧州特許出願公開第 1, 4 2 0, 2 9 8 号明細書、国際公開第 2 0 0 4 / 0 5 5 8 0 3 号及び米国特許第 6, 9 5 2, 2 5 3 号明細書等に開示されている。

【0113】

露光装置 1 は、複数のステージ 1 6 を備えるツインステージ型又はマルチステージ型の露光装置であってもよい。露光装置 1 は、複数のステージ 1 6 及び計測ステージを備えるツインステージ型又はマルチステージ型の露光装置であってもよい。ツインステージ型の露光装置の一例は、例えば、援用によって本願明細書に取り込まれる米国特許第 6, 3 4 1, 0 0 7 号、米国特許第 6, 2 0 8, 4 0 7 号及び米国特許第 6, 2 6 2, 7 9 6 号に開示されている。

【0114】

光源 1 1 は、露光光 E L 1 として、波長が 1 9 3 nm である A r F エキシマレーザ光とは異なる任意の光を射出してもよい。例えば、光源 1 1 は、波長が 2 4 8 nm である K r F エキシマレーザ光等の遠紫外光 (D U V 光: D e e p U l t r a V i o l e t 光) を射出してもよい。光源 1 1 は、F₂ レーザ光 (波長 1 5 7 nm) 等の真空紫外光 (V U V 光: V a c u u m U l t r a V i o l e t 光) を射出してもよい。光源 1 1 は、所望の波長を有する任意のレーザ光又はその他任意の光 (例えば、水銀ランプから射出される輝線であり、例えば、g 線、h 線若しくは i 線等) を射出してもよい。光源 1 1 は、米国特許第 7, 0 2 3, 6 1 0 号明細書に開示されているように、D F B 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 (或いは、エルビウムとイットリウムの双方) がドープされたファイバアンプで増幅すると共に非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換することで得られる高調波を射出してもよい。光源 1 1 は、波長が 1 0 0 nm 以上の光に限らず、波長が 1 0 0 nm 未満の光を射出してもよい。例えば、光源 1 1 は、軟 X 線領域 (例えば、5 から 1 5 nm の波長域) の E U V (E x t r e m e U l t r a V i o l e t) 光を射出してもよい。露光装置 1 は、光源 1 1 に加えて又は代えて、露光光 E L 1 として用いることが可能な電子線ビームを射出する電子線ビーム源を備えていてもよい。露光装置 1 は、光源 1 1 に加えて又は代えて、Y A G レーザ若しくは固体レーザ (半導体レーザ等) から出力されるレーザ光の高調波を生成する固体パルスレーザ光源を備えていてもよい。固体パルスレーザ光源は、露光光 E L 1 として用いることが可能な波長が 1 9 3 nm (これ以外の種々の波長、例えば 2 1 3 nm、2 6 6 nm、3 5 5 nm 等の波長が可能) でパルス幅 1 ns 程度のパルスレーザ光を 1 ~ 2 M H z 程度の周波数で射出可能である。露光装置 1 は、光源 1 1 に加

10

20

30

40

50

えて又は代えて、露光光E L 1として用いることが可能な任意のエネルギービームを射出するビーム源を備えていてもよい。

【0115】

デバイスパターンが転写される物体は、ウェハ161に限らず、ガラス板や、セラミック基板や、フィルム部材や、マスクブランクス等の任意の物体であってもよい。露光装置1は、ウェハ161に半導体素子パターンを露光する半導体素子製造用の露光装置であってもよい。露光装置1は、液晶表示素子製造用の又はディスプレイ製造用の露光装置であってもよい。露光装置1は、薄膜磁気ヘッド、撮像素子(例えば、CCD)、マイクロマシン、MEMS、DNAチップ及びフォトリソグラフィに用いられるマスク若しくはレチクルのうちの少なくとも一つを製造するための露光装置であってもよい。

10

【0116】

半導体デバイス等のマイクロデバイスは、図16に示す各ステップを経て製造されてもよい。マイクロデバイスを製造するためのステップは、マイクロデバイスの機能及び性能設計を行うステップS201、機能及び性能設計を用いて空間光変調器14を制御するための制御データ(つまり、複数のミラー要素141の状態の分布を規定する変調パターンデータ)を生成するステップS202、デバイスの基材であるウェハ161を製造するステップS203、空間光変調器14が露光光E L 2を反射することで得られる露光光E L 3を用いてウェハ161を露光し且つ露光されたウェハ161を現像するステップS204、デバイス組み立て処理(ダイシング処理、ボンディング処理、パッケージ処理等の加工処理)を含むステップS205及びデバイスの検査を行うステップS206を含んでい

20

【0117】

上述の各実施形態の構成要件の少なくとも一部は、上述の各実施形態の構成要件の少なくとも他の一部と適宜組み合わせることができる。上述の各実施形態の構成要件のうちの一部が用いられなくてもよい。また、法令で許容される限りにおいて、上述の各実施形態で引用した露光装置等に関する全ての公開公報及び米国特許の開示を援用して本文の記載の一部とする。

【0118】

本発明は、上述した実施例に限られるものではなく、特許請求の範囲及び明細書全体から読み取れる発明の要旨或いは思想に反しない範囲で適宜変更可能であり、そのような変更を伴う検査装置及び検査方法、露光装置及び露光方法、並びに、デバイス製造方法もまた本発明の技術的範囲に含まれるものである。

30

【符号の説明】

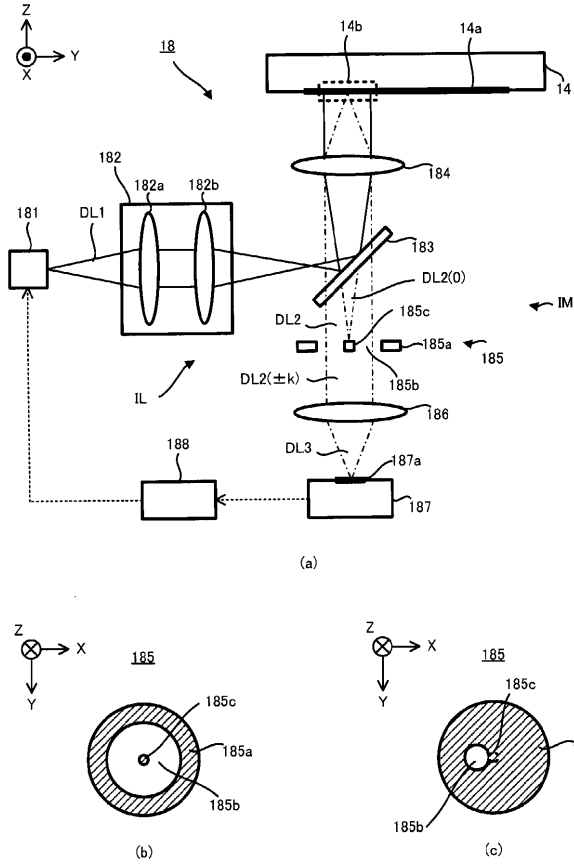
【0119】

- 1 露光装置
- 11 光源
- 12 照明光学系
- 14 空間光変調器
- 14a 光変調面
- 141 ミラー要素
- 15 投影光学系
- 16 ステージ
- 161 ウェハ
- 17 コントローラ
- 18 検査装置
- 181 光源
- 185 瞳絞り
- 187 検出器
- 188 コントローラ
- I L 1 照明光学系

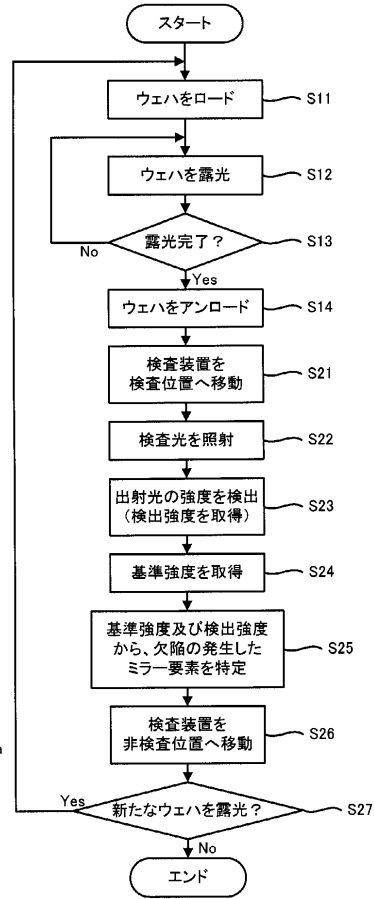
40

50

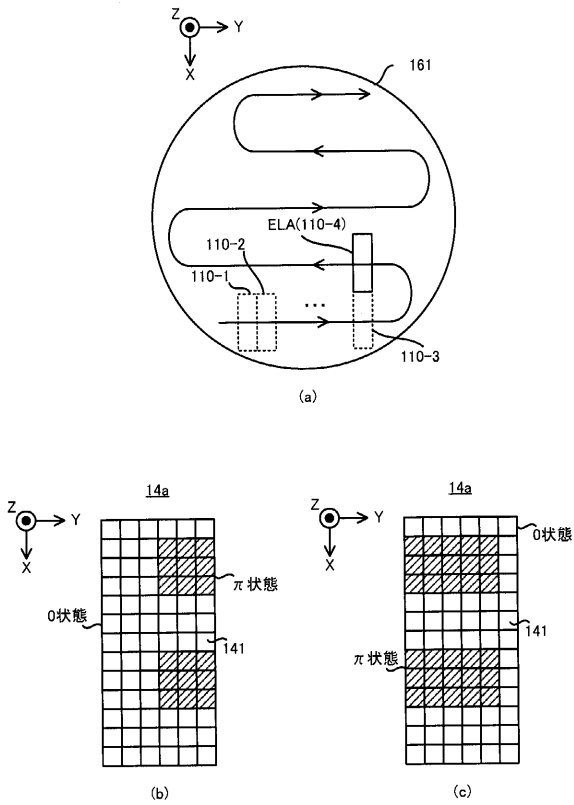
【図3】



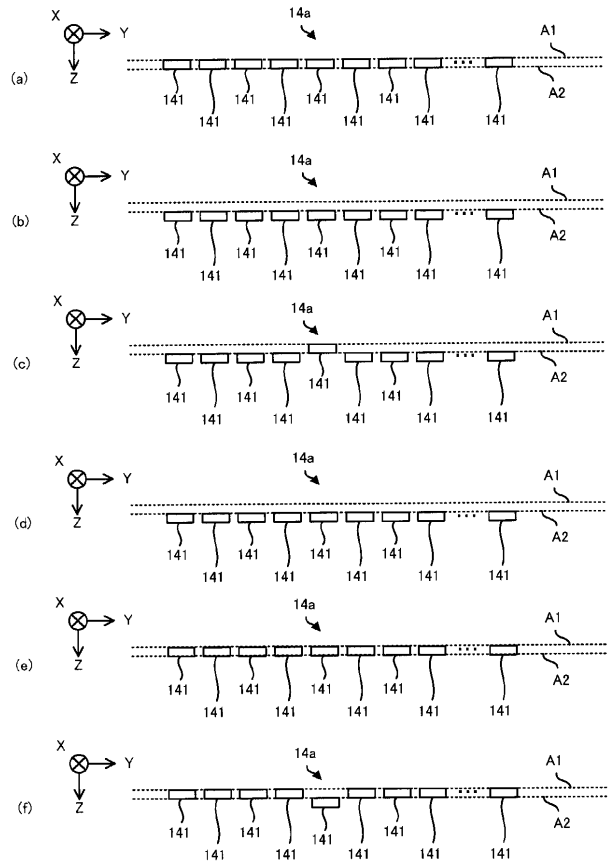
【図4】



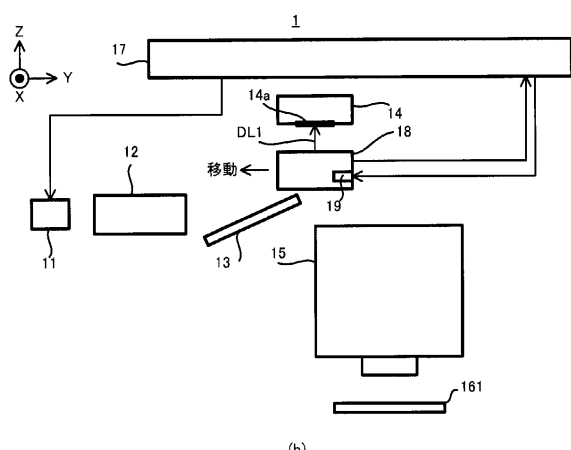
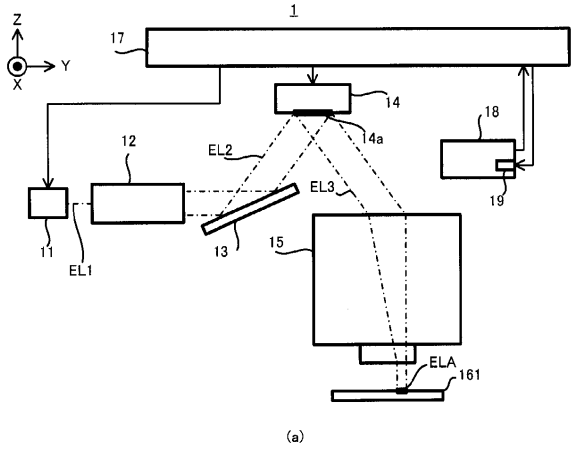
【図5】



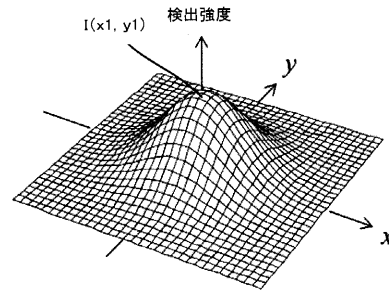
【図6】



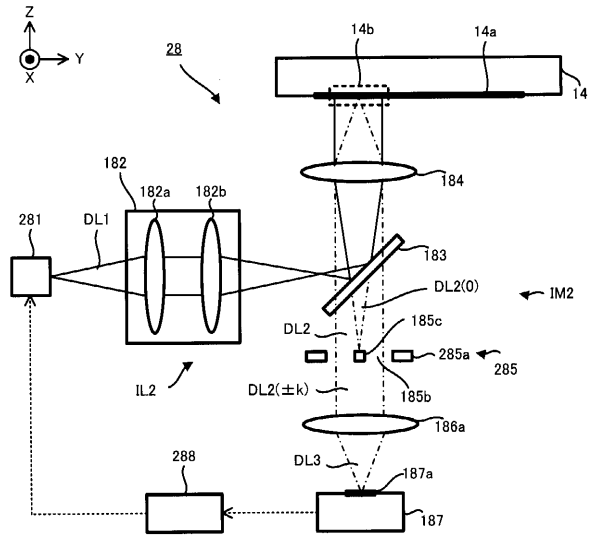
【図7】



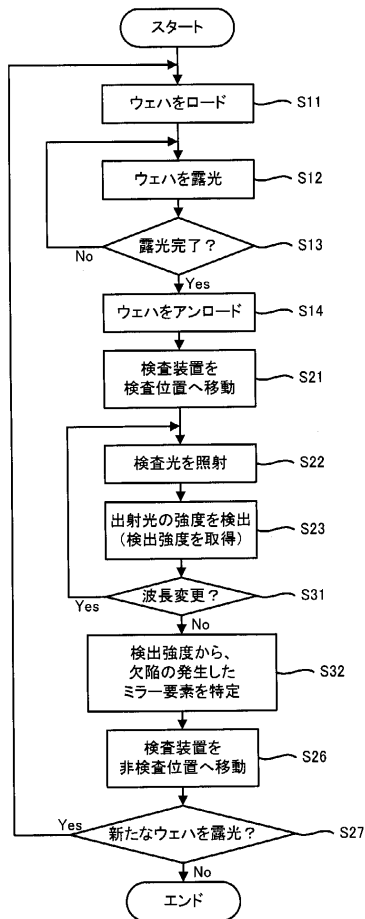
【図8】



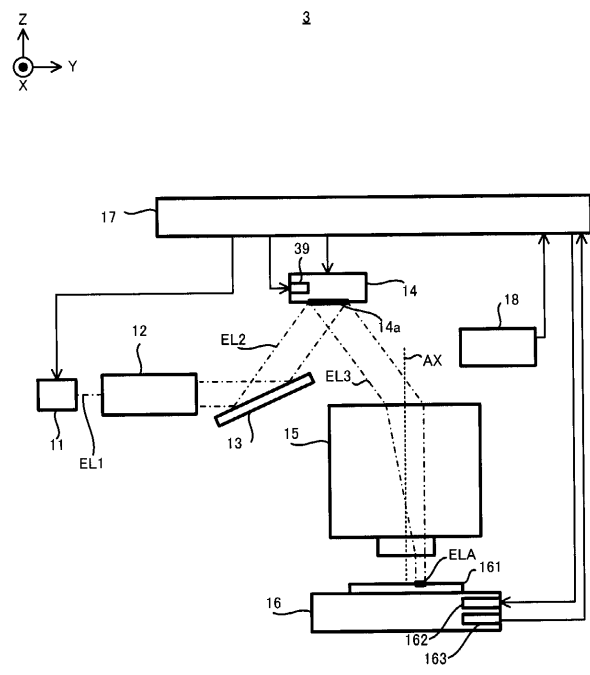
【図9】



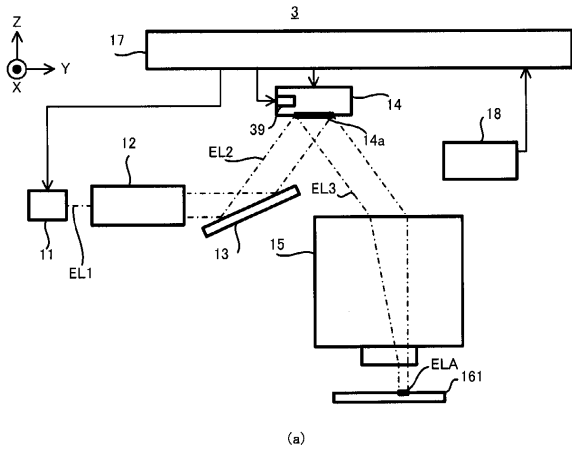
【図10】



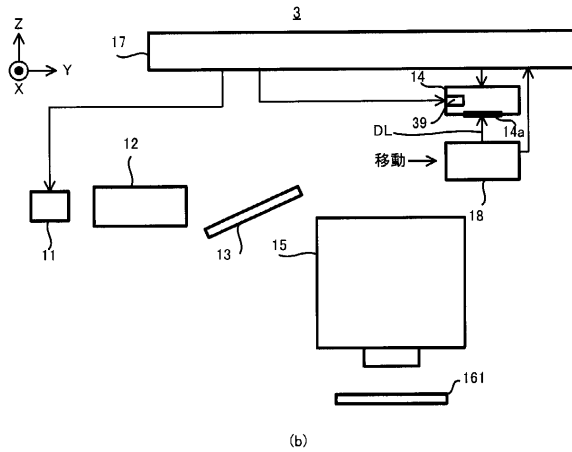
【図11】



【図12】

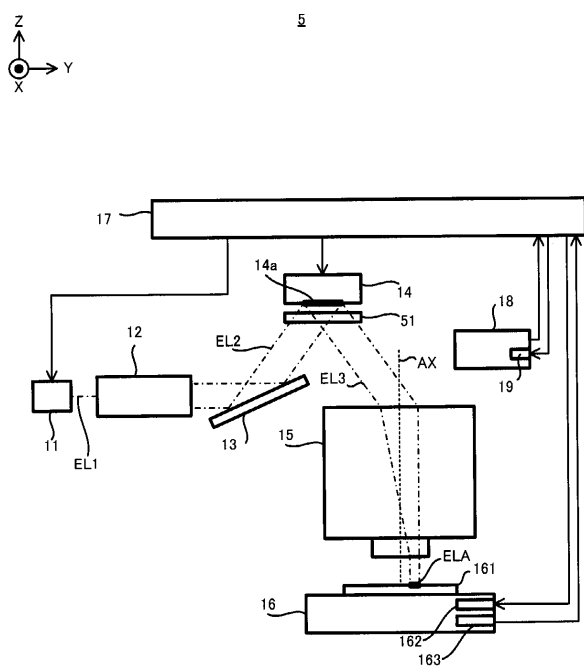


(a)



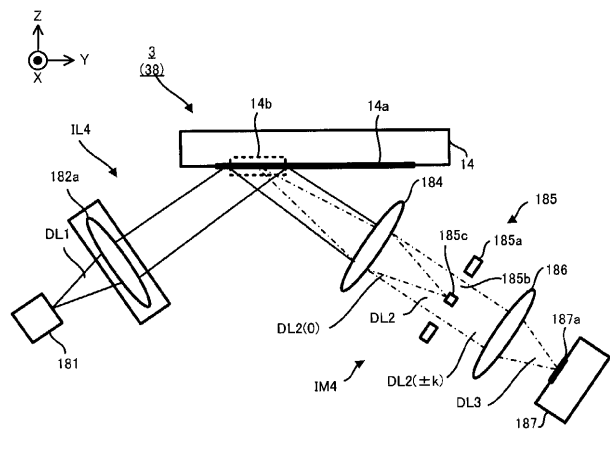
(b)

【図14】

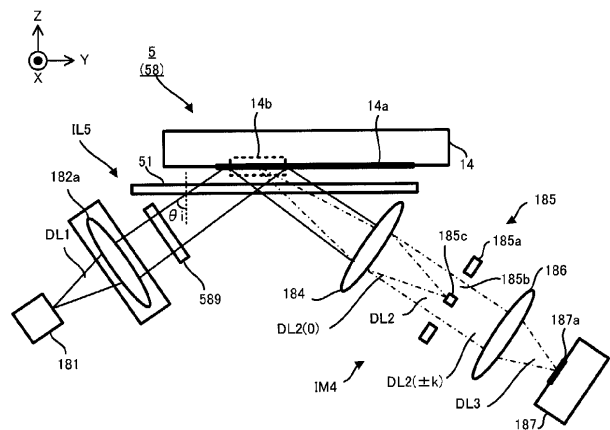


5

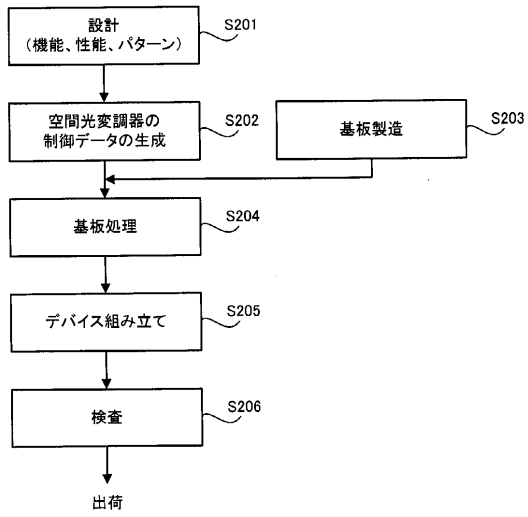
【図13】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

G 0 2 B 26/00

(56)参考文献 国際公開第2009/145048(WO,A1)
特開2009-229245(JP,A)
特開平09-258197(JP,A)
特開平10-246616(JP,A)
国際公開第2013/031901(WO,A1)
特開2003-207457(JP,A)
特開2013-122445(JP,A)
米国特許出願公開第2005/0151949(US,A1)
米国特許第6088474(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G01M11/00-G01M11/08

G01N21/84-G01N21/958

JSTPlus/JST7580(JDreamIII)