

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5057787号
(P5057787)

(45) 発行日 平成24年10月24日(2012.10.24)

(24) 登録日 平成24年8月10日(2012.8.10)

(51) Int. Cl.	F 1				
G09F 9/00 (2006.01)	G09F	9/00	3	5	2
G02F 1/13 (2006.01)	G02F	1/13	1	0	1
B05C 5/00 (2006.01)	B05C	5/00	1	0	1
B05C 9/12 (2006.01)	B05C	9/12			
H01L 21/027 (2006.01)	H01L	21/30	5	0	2
請求項の数 5 (全 16 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号	特願2007-2277 (P2007-2277)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成19年1月10日(2007.1.10)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2008-170605 (P2008-170605A)		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
(43) 公開日	平成20年7月24日(2008.7.24)	(74) 代理人	100106909
審査請求日	平成21年12月28日(2009.12.28)		弁理士 棚井 澄雄
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100101465
			弁理士 青山 正和
		(74) 代理人	100094400
			弁理士 鈴木 三義
		(74) 代理人	100086379
			弁理士 高柴 忠夫
		(74) 代理人	100129403
			弁理士 増井 裕士
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 欠陥修正装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検体の表面に形成されたパターンを拡大観察するための観察光学系と、
前記被検体の表面に形成されたパターンの欠陥を修正する修正材料を前記被検体の表面に吐出する吐出ノズルを有する修正材料吐出部と、
ビーム整形されたレーザ光を前記被検体の表面に照射するレーザ照射光学系とを備え、
前記観察光学系および前記レーザ照射光学系が、前記被検体側に共通の対物光学系を有し、

前記修正材料吐出部の前記吐出ノズルが、前記観察光学系で観察像を形成する光の光路の最外径の範囲内において、前記対物光学系の内部に固定して設けられ、

前記対物光学系の、前記被検体とは反対側の光路中に、被検体側から前記観察光学系に向かう光を反射する光路分岐素子が設けられ、

前記修正材料吐出部は、前記対物光学系の光軸上および前記光路分岐素子の中心部に貫通されるとともに前記対物光学系および前記光路分岐素子に固定され、前記光路分岐素子の支持部材を兼用していることを特徴とする欠陥修正装置。

【請求項 2】

前記被検体は水平に載置され、前記対物光学系の光軸は鉛直軸に沿って配置されたことを特徴とする請求項 1 に記載の欠陥修正装置。

【請求項 3】

前記吐出ノズルは、前記対物光学系の光軸近傍に設けられたことを特徴とする請求項 1

または 2 に記載の欠陥修正装置。

【請求項 4】

前記対物光学系は、凸反射面と凹反射面とが前記被検体からこの順に同軸上に配置された反射光学系を備えることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の欠陥修正装置。

【請求項 5】

前記レーザ光をビーム整形するため、前記レーザ光を空間変調する空間変調素子を、前記レーザ照射光学系の光路上に備えることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の欠陥修正装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、表面にパターンが形成された被検体の欠陥を修正する欠陥修正装置に関する。例えば、半導体ウエハや液晶基板等の配線パターン、層膜パターンが欠損した場合の欠陥を修正する欠陥修正装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体用シリコンウエハあるいは液晶パネル等の基板をフォト・リソグラフィ・プロセスによって製造する場合、基板表面に塗布したレジストにおいて、レジストパターンの部分的な抜け、断線等の欠陥があると、エッチング後にパターンの線幅不良やパターン内のピンホールなどの不良（以下、パターン欠陥と称する）となって現れる。

20

そのため、基板の生産工程においてレジストパターンにパターン欠陥が検出された場合には、パターン欠陥が生じた基板のレジストを除去し、再度元の工程をやり直すリワークを行う場合がある。

この場合、数少ない微小なパターン欠陥のために、基板全面の再加工を行うので非常に効率が悪く、このパターン欠陥に対して何もせずに次工程へ進み、次工程以降にて対応（修正）することも考えられるが、他の生産工程に対する負担が大きくなる。また、パターン欠陥を残したまま別の工程に移行することで、これ以外の欠陥を誘発させるリスクも生じる。

したがって、パターン欠陥が検出された段階でレジストを直接修正して、パターン欠陥の修正を行うことが望ましい場合がある。

30

従来、このようなパターン欠陥を修正する欠陥修正装置として、基板の修正部分にパターン欠陥を修正する液状の修正材料を塗布、供給し、修正材料にレーザ光を照射して、修正が必要な部分以外を除去するものが知られている。

例えば、特許文献 1 には、このような欠陥修正装置における電極の断線補修方法として、基板上にパターンニングされた電極の断線を補修する際、電極をパターンニングする際に使用したペーストを補修ペーストとして断線部分に塗布して乾燥させた後、レーザ光を照射して補修ペーストの有機分を焼失させる方法が記載されている。

また、特許文献 2 には、このような欠陥修正装置に用いるため、基板上で可動に保持され、先端が細く絞られたピペットによって、レジストのような揮発性の高い液体材料を基板上の欠陥部分に所定量供給する液体材料微量供給装置が記載されており、ピペットの供給状態を観察する観察光学系が配備されている実施例が開示されている。この場合、観察光学系が鉛直に配備されているときは、ピペットで観察視野を遮らないように、ピペットが基板に対して斜めに配備されている。

40

【特許文献 1】特開平 6 - 20604 号公報

【特許文献 2】特開平 8 - 66652 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、上記のような従来の欠陥修正装置には以下のような問題があった。

一般に、欠陥修正装置では、欠陥修正に先立って、欠陥箇所の位置や欠陥状態の画像に

50

よる確認を行う必要があるが、基板の配線パターンや層膜パターンの欠陥修正を行う場合、微細なパターンが形成されているため、顕微鏡と同様な性能を有する高精度観察光学系を用いて行われる。したがって、比較的高い倍率、高いNAの対物レンズを用い、詳細な目視検査或いは高密度撮像素子による画像取得を行い、観察者の判断またはパターンマッチング等の画像処理を行うことによって欠陥が検出される。

また、特許文献2に記載の技術によって修正材料を塗布するには、ピペットから吐出した修正材料を欠陥箇所₁₀に正確な位置に着弾するように制御する必要がある。さらに、着弾したレジストの不要部分を、特許文献1に記載の技術によってレーザー光で修正を行った後には、修正箇所の状態を上記のような高精度観察光学系により画像で確認する必要がある。

このように高倍率で観察する場合には、観察光学系の対物レンズのワーキングディスタンスが短くなり、対物レンズと基板との間隔が狭まるため、それらの間にピペットを配置することが困難になる。

このため、特許文献2のように、ピペットの先端は、観察方向に対して大きな角度で傾斜して配置される。この結果、基板とピペットの距離、吐出速度、吐出物の物性等の条件がばらつくと吐出される修正材料の着弾点₂₀が変化しやすく、高精度での塗布ができないという問題がある。

塗布精度を向上するため、ピペットと基板との距離を近接させることも考えられるが、この場合、ピペットの先端がパターン欠陥に近接するため、パターン欠陥近傍の画像を良好に観察できなくなる。また、ピペットはレーザー光も遮ることになるため、レーザー光の照射時は、照射範囲外に退避させる必要があり、この移動時間のため、修正加工の効率が悪くなるという問題がある。また、このような進退移動に伴う移動誤差などにより、かえって着弾位置の精度が悪化する可能性もある。

【0004】

本発明は、上記のような問題に鑑みてなされたものであり、被検体の表面を高倍率で観察しつつ、被検体の表面上に修正材料を高精度に塗布することができるようにした欠陥修正装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記の課題を解決するために、本発明の欠陥修正装置は、被検体の表面に形成されたパターンを拡大観察するための観察光学系と、前記被検体の表面に形成されたパターンの欠陥を修正する修正材料を前記被検体の表面に吐出する吐出ノズルを有する修正材料吐出部と、ビーム整形されたレーザー光を前記被検体の表面に照射するレーザー照射光学系とを備え、前記観察光学系および前記レーザー照射光学系が、前記被検体側に共通の対物光学系を有し、前記修正材料吐出部の前記吐出ノズルが、前記観察光学系で観察像を形成する光の光路の最外径の範囲内において、前記対物光学系の内部に固定して設けられ、前記対物光学系の、前記被検体とは反対側の光路中に、被検体側から前記観察光学系に向かう光を反射する光路分岐素子が設けられ、前記修正材料吐出部は、前記対物光学系の光軸上および前記光路分岐素子の中心部に貫通されるとともに前記対物光学系および前記光路分岐素子に固定され、前記光路分岐素子の支持部材を兼用している構成とする。

この発明によれば、修正材料吐出部の吐出ノズルが、観察光学系で観察像を形成する光の光路の最外径の範囲内において対物光学系の内部に固定されているので、吐出ノズルが観察光学系の視野範囲内の一定位置に固定されるとともに、対物光学系と一体となって、被検体に近接して配置される。そのため、観察光学系が高倍率を有し、対物光学系が被検体の表面に近接する場合でも、観察される視野範囲内の一定位置から、被検体の表面に向けて修正材料を確実に吐出することができる。

【発明の効果】

【0006】

本発明の欠陥修正装置によれば、観察光学系が高倍率を有し、対物光学系が被検体の表面に近接する場合でも、観察される視野範囲内の一定位置から、被検体の表面に向けて修

10

20

30

40

50

正材料を確実に吐出することができるので、被検体の表面を高倍率で観察しつつ、被検体の表面上に修正材料を高精度に塗布することができるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

以下では、本発明の実施の形態について添付図面を参照して説明する。すべての図面において、実施形態が異なる場合であっても、同一または相当する部材には同一の符号を付し、共通する説明は省略する。

【0008】

本発明の実施形態に係る欠陥修正装置について説明する。

図1は、本発明の実施形態に係る欠陥修正装置の概略構成を示す模式的な正面図である。図2は、本発明の実施形態に係る欠陥修正装置の主要部の光軸を含む模式的な断面図である。図3は、図2の部分拡大図である。なお、各図は、模式図のため、寸法比などは誇張されている。

【0009】

本実施形態の欠陥修正装置100は、表面に金属層やレジスト層などが所定の配線パターンや層膜パターン（以下、パターンと総称する）にパターンニングされた基板11を被検体として、基板11の表面を観察し、パターンに断線や欠損などのパターン欠陥が観察された場合、パターン欠陥の修正を行えるようにしたものである。

基板11としては、例えば、半導体ウエハやフラットパネルディスプレイ用の液晶ガラス基板などの例を挙げることができる。

【0010】

欠陥修正装置100の概略構成は、図1に示すように、基板11を水平方向に載置し水平方向に移動させるステージ機構を兼ねる載置台17、レーザ光源30、空間変調素子6、結像レンズ7、対物光学系10、吐出部16、照明ランプ14、結像レンズ12、撮像素子13、およびモニタ40等からなる。

なお、特に図示しないが、撮像素子13によって撮像された画像からパターン欠陥を抽出し、欠陥修正を行う領域を演算したり、その演算結果に基づいて空間変調素子6を駆動制御したり、載置台17を制御して基板11を移動させたり、吐出部16の吐出機構16dを制御したりする周知の演算処理や装置駆動制御を行う制御部を備えている。制御部の装置構成としては、CPU、メモリ、入出力部、外部記憶装置などで構成されたコンピュータを採用することができる。

また図示しないが、欠陥修正装置100とレーザ光源30は、鏡枠によって一体に形成され、ガントリと呼ばれる門形の支柱に一次元または二次元の方向に移動可能な機構が設けられ、欠陥修正顕微鏡ヘッドとして搭載される。なお一次元に移動可能な場合は、移動方向に直交する方向に、ステージが基板を移動させる構成となっている。

【0011】

レーザ光源30は、レーザ光31bを空間変調素子6に向けて出射する欠陥修正用の光源である。本実施形態では、レーザ発振器1、結合レンズ2、光ファイバ3、および投影レンズ4からなる構成を採用している。

レーザ発振器1は、基板11上のパターン欠陥を修正するための修正材料、例えば、レジストパターンを修正する場合には修正用レジストなどを除去するため、適宜の波長、出力を備えるレーザ光31aを出力するもので、例えば、パルス発振可能なYAGレーザなどを好適に採用することができる。

レーザ光31aは、基本波の波長1.064μmだけではなく、第2高調波、第3高調波、および第4高調波である532nm、355nm、266nmの波長光も、必要に応じて選択して取り出すことができるようになっている。レジストまたは金属パターンを修正加工する場合には、光化学反応を誘導する355nmや266nmの光を用いることが有効である。

【0012】

レーザ発振器1から出力されるレーザ光31aは、光量分布が一般にガウシアン分布に

10

20

30

40

50

なっているので、本実施形態では、レーザ光 3 1 a の光路上に配置された結合レンズ 2 によって集光して光ファイバ 3 の一方の端部 3 a に光結合する。そして、光ファイバ 3 を通過させて、光ファイバ 3 の他方の端部 3 b から出射させることで、光量分布が均一化したレーザ光 3 1 b を出射することができる。

投影レンズ 4 は、ファイバ端面 3 b から出射されたレーザ光 3 1 b を必要な NA (開口数) として、空間変調素子 6 に照射するレンズまたはレンズ群である。ここで図示しない可変絞りを設けて NA を適宜必要な大きさに変更可能な構成としてもよい。

【0013】

空間変調素子 6 は、レーザ光源 3 0 の投影レンズ 4 から投射されたレーザ光 3 1 b を空間変調する反射型空間変調素子である。本実施形態では、微小ミラーアレイである DMD (Digital Micro mirror Device) を採用している。すなわち、矩形状の変調領域内に、複数の微小ミラーが、それらの反射面が基準平面内に整列して、2 次的に配列されており、各微小ミラーは制御部からの制御信号に応じて発生する静電電界によって、傾斜角をオン状態とオフ状態とに制御される。オン状態では、例えば、基準平面から + 12° 回転され、オフ状態では、基準平面から - 12° 回転される。

以下では、オン状態の微小ミラーによって反射された光をオン光、オフ状態の微小ミラーによって反射された光をオフ光と称する。

【0014】

本実施形態では、空間変調素子 6 が、基板 1 1 と略平行に配置され、オン光 3 2 の光軸が鉛直軸に沿って進むように、投影レンズ 4 の光軸が空間変調素子 6 の基準平面に対して傾斜されている。

【0015】

結像レンズ 7、対物光学系 1 0 は、空間変調素子 6 で空間変調され、一定方向に向けて反射されたオン光 3 2 による像を、基板 1 1 の表面上に結像する光学素子群であり、結像レンズ 7 が空間変調素子 6 側、対物光学系 1 0 が基板 1 1 側に配置されている。そして、これらにより、空間変調素子 6 の各微小ミラーが配列された基準平面と、基板 1 1 の表面とが共役の関係とされる。

ここで、結像レンズ 7 の NA は、オフ光 (不図示) として反射された光が、入射しない大きさとされる。

【0016】

対物光学系 1 0 は、本実施形態では、空間変調素子 6 側から基板 1 1 側に向けて、主鏡である凹面反射鏡 1 0 B、副鏡である凸面反射鏡 1 0 A がこの順に同軸に配置されてなるシュワルツシルド型の複合反射鏡である。

凹面反射鏡 1 0 B は、基板 1 1 側に、凹反射面 1 0 b が設けられ、光軸 5 0 を含む中心部に光束を透過させるための開口部 1 0 c が形成されている。

凸面反射鏡 1 0 A は、外形が凹面反射鏡 1 0 B よりも小さく、凹面反射鏡 1 0 B 側に凸反射面 1 0 a を有する構成とされる。そして、凸面反射鏡 1 0 A の中心部には、対物光学系 1 0 の光軸 5 0 に沿って延ばされ、凸面反射鏡 1 0 A および凹面反射鏡 1 0 B の開口部 1 0 c を貫通する吐出部 1 6 が固定されている。

【0017】

このように、対物光学系 1 0 は、凸反射面 1 0 a と凹反射面 1 0 b とが基板 1 1 からこの順に同軸上に配置された反射光学系となっているので、凹反射面 1 0 b、凸反射面 1 0 a の正と負のパワーの組み合わせた光学系とすることによって、収差補正を良好に行うことができる。特に球面収差、コマ収差の補正に有効である。

【0018】

吐出部 1 6 は、基板 1 1 側の端部に吐出ノズル 1 6 a が設けられたガラス管などの管状部材からなり、基板 1 1 と反対側の端部に設けられた材料供給管 1 6 b を通して、材料タンク 1 5 と接続されている。

【0019】

材料タンク 1 5 は、基板 1 1 のパターン欠陥を修正するための液状の修正材料、例えば

10

20

30

40

50

修正用レジストを収める容器である。材料タンク 15 に収められた修正材料は、吐出部 16 の材料供給管 16 b との接続部近傍に設けられた吐出機構 16 d (図 2 参照) により、押し出され、吐出ノズル 16 a の先端から適量ずつ吐出できるようになっている。

吐出機構 16 d は、周知のいかなる吐出機構を用いてもよいが、本実施形態では、小型化するため圧電素子などを用いた機構を採用している。

【0020】

このような構成を有する対物光学系 10 では、図 2 に示すように、顕微鏡対物の場合、基板 11 上の物点から対物光学系 10 側に向かう光線 Q が、凸面反射鏡 10 A の外方を進んで、凹面反射鏡 10 B により凸面反射鏡 10 A に集められ、凸面反射鏡 10 A から射出される光線は略平行とされ、凹面反射鏡 10 B の開口部 10 c を透過して、遠い位置に拡大像を結ぶようになっている。

10

【0021】

吐出ノズル 16 a の先端位置は、本実施形態では、図 3 に示すように、凸面反射鏡 10 A による基板 11 側の遮光部を形成する外径 D の裏面 10 d の基板 11 からの高さを H とするとき、裏面 10 d から高さ h (ただし、 $0 < h < H$) だけ基板 11 側に突出されている。

ここで、高さ h は、少なくとも、基板 11 上の物点中心から凹面反射鏡 10 B に入射する光線 Q を遮らない設定とされる。すなわち、対物光学系 10 の光軸 50 と角度 θ_1 をなして、凸面反射鏡 10 A の裏面 10 d の外周を通過する光線 Q_1 と、対物光学系 10 の光軸 50 と角度 θ_2 ($\theta_2 > \theta_1$) をなして、凹反射面 10 b に最大入射角で入射する光線 Q_2 とで囲まれる範囲に出射される光線 Q を遮らない設定とされる。

20

【0022】

なお、観察光学系で観察像を形成する光の光路は、観察光学系の倍率にもよるが、観察光学系の視野範囲に応じて、光線 Q の範囲を含む、やや広い範囲に分布している。このため、観察像の輝度、鮮明さをより良好とするためには、基板 11 上の視野範囲から凹面反射鏡 10 B に入射して撮像素子 13 上に観察像を形成するすべての光を遮らない範囲に設定することが好ましい。

【0023】

このように、本実施形態では、吐出部 16 を、観察光学系で観察像を形成する光の光路の最外径の範囲内に配置しているため、視野範囲との位置関係が密接でしかも対物光学系 10 が高倍率になって基板 11 との間隙が少ない場合でも、基板 11 に近接する位置に吐出ノズル 16 a を配置することができる。

30

その際、本実施形態では、基板 11 に最も近く、基板 11 と反対側の開口部 10 c に対向する位置にある凸面反射鏡 10 A の中心に、吐出ノズル 16 a を貫通させているため、吐出部 16 は、凸面反射鏡 10 A によってもともと遮蔽される領域に配置されている。そのため、吐出部 16 によって遮蔽部を増加させることなく、基板 11 に近接した領域に配置することができ、良好な画質の画像を観察しつつ、高精度に修正材料を吐出することが可能となる。

【0024】

結像レンズ 7、対物光学系 10 の光学パラメータは、必要な倍率に応じて適宜設計することができるが、収差を低減するため、凹反射面 10 b、凸反射面 10 a は、非球面を採用することが好ましい。また、対物光学系 10 は無限遠設計とすることが好ましい。

40

対物光学系 10 を無限遠設計としない場合、結像レンズ 7 と対物光学系 10 との間に適宜の光学素子を配置して、この光学素子と対物光学系 10 とによって無限遠設計された対物光学系を構成してもよい。

【0025】

このような構成において、レーザ光源 30、空間変調素子 6、結像レンズ 7、および対物光学系 10 は、ビーム整形されたレーザ光であるオン光 32 を基板 11 の表面に照射するレーザ照射光学系を構成している。

【0026】

50

結像レンズ7と対物光学系10との間の光路上には、オン光32の波長光を透過し、後述する照明ランプ14から照射される観察用光33に関しては、一部を透過し、他を反射することにより、凹面反射鏡10Bの開口部10cを透過して空間変調素子6側に向かう観察用光33の光路を分岐させる光路分岐素子であるハーフミラー9が配置されている。

本実施形態では、ハーフミラー9は、吐出部16の基板11と反対側の端部において、吐出部16をハーフミラー9の中心部に貫通させた状態で、対物光学系10の光軸50に対して、一定角度だけ傾斜して取り付けられている。

このように、対物光学系10に固定された吐出部16は、ハーフミラー9の支持部材を兼用しているため、部品点数が削減されるとともに、対物光学系10に対する位置関係を容易、かつ高精度に保持することができる。

【0027】

照明ランプ14は、基板11の表面を照明して観察を行うため照明光源であり、本実施形態では、可視光域の観察用光33を略平行光として出射するものである。光源の種類は特に限定されず、例えば、適宜の白色光源などを採用することができる。

ハーフミラー9と結像レンズ7との間の光路上には、ハーフミラー9と同様な反射透過特性を有するハーフミラー8が配置されている。これにより、照明ランプ14から出射された観察用光33は、ハーフミラー8によって反射されて対物光学系10の光軸50に沿って開口部10cに入射し、対物光学系10を通して基板11を照射できるになっている。

【0028】

結像レンズ12は、ハーフミラー9で反射される基板11からの光の光路上に配置され、基板11からの光を撮像素子13の撮像面上に適宜倍率で結像するレンズまたはレンズ群である。

撮像素子13は、撮像面上に結像された画像を光電変換するもので、例えば、CCDなどからなる。

撮像素子13で光電変換された画像信号は、制御部で画像処理され、欠陥抽出処理などを施されるとともに、モニタ40に送出される。それにより基板11の表面を拡大観察できるようになっている。

このように、対物光学系10、結像レンズ12は、基板11の表面と撮像素子13の撮像面とを共役の関係とする結像光学系であり、基板11の表面に形成されたパターンを拡大観察するための観察光学系を構成している。

本実施形態では、ハーフミラー9を吐出部16に貫通させて設けていることにより、吐出機構16d、材料供給管16bなど、光路を遮蔽する部材が、観察光学系の外部に配置される。そのため、撮像素子13により基板11の表面の画像が鮮明となり、高精度でパターン欠陥の画像を取得することができる。

【0029】

なお、対物光学系10を無限遠設計としない場合、結像レンズ12と対物光学系10との間に適宜の光学素子を配置して、この光学素子と対物光学系10とによって無限遠設計された対物光学系を構成してもよい。

【0030】

次に、欠陥修正装置100の動作について、レジストパターンを修正する場合の例で、パターン欠陥の修正工程を行う順に沿って説明する。

被検体として、表面にレジストパターンが形成された基板11が搬送され、載置台17上に載置されると、まず、すでに他の検査装置によって欠陥の位置座標が検出されており、その座標情報に従って載置台17やガントリの移動機構を制御して、欠陥が観察光学系により観察できるようにする。そして、観察光学系によって、基板11の表面を観察し、修正が必要な欠陥であるか否か判定する。

そのため、照明ランプ14を点灯し、観察用光33をハーフミラー8に向けて投射する。

観察用光33は、ハーフミラー8で反射され、対物光学系10の光軸50に沿って進み

10

20

30

40

50

、ハーフミラー 9 を透過して、凹面反射鏡 10 B の開口部 10 c から、対物光学系 10 に入射する。

この観察用光 33 は、図 3 に記載された光線の矢印の逆方向に進んで、基板 11 の表面に照射される。すなわち、観察用光 33 は、凸反射面 10 a、凹反射面 10 b で順次反射され、光束が絞られ、観察光学系の視野範囲を覆う状態で、基板 11 の表面に照射される。

【0031】

観察用光 33 は、基板 11 上で反射されると、反射光が図 3 の矢印の方向沿って進み、凹反射面 10 b、凸反射面 10 a で順次反射されて、略平行光として、吐出部 16 の外周側に沿って進み、開口部 10 c から出射される。

そして、図 1 に示すように、ハーフミラー 9 で反射されて、結像レンズ 12 に入射し、撮像素子 13 の撮像面上に結像され、基板 11 の表面の観察像が得られる。この観察像は、撮像素子 13 で画像信号に光電変換され、モニタ 40 に表示される。また、画像信号は、画像データとして、不図示の制御部に送出され、周知の画像処理が施され、パターン欠陥が抽出される。そしてパターン欠陥の位置座標や大きさなどの欠陥情報が取得される。

この欠陥抽出のアルゴリズムとしては、例えば、取得された画像データと、あらかじめ記憶された正常な状態のパターン画像データとの差分をとり、その差分データから欠陥を抽出する、といった処理を採用することができる。

そして、その欠陥が、除去が必要な欠陥か、レジストを塗布してつなぐ修正が必要な欠陥か、それとも何もせず無視してもよい欠陥かを判定する。ここでは、欠陥が、レジストを塗布してパターンをつなぐ修正が必要な欠陥であるものとする。

【0032】

次に、このようにして取得された欠陥情報、および吐出部 16 の吐出量等から決まる修正用レジストの塗布範囲に基づいて、修正すべきレジストパターンの欠損、欠落部分を覆う範囲の中心位置の直上に吐出ノズル 16 a が位置するように、基板 11 と吐出ノズル 16 a との水平方向の相対位置を移動させる。

本実施形態では、対物光学系 10 の光軸 50 上に吐出ノズル 16 a を配置しているため、観察光学系の視野中心に修正用レジストの塗布範囲を移動させることになる。したがって、操作者は、塗布範囲の周辺の画像も確認しながら修正加工を行うことができる。また、塗布範囲や欠陥の観察を行うためズームングなどを行う場合にも、画像中心と塗布範囲、欠陥の中心位置が一致するため、効率的に操作を行うことができる。

この移動は、本実施形態の場合、載置台 17 の移動により行う。

【0033】

この移動中、モニタ 40 には、基板 11 の画像が拡大表示されており、操作者が基板 11 のパターンの状態を観察することができる。そのため、欠陥の有無、塗布範囲の設定をモニタ 40 上で確認することができる。移動位置を修正する必要がある場合は、手動にて載置台 17 を移動させる。

モニタ 40 に表示された欠陥部分に塗布してよい場合は、吐出部 16 の吐出機構 16 d を駆動して、修正用レジストを吐出する。これにより、材料タンク 15 から供給される修正用レジストが一定量だけ吐出ノズル 16 a から吐出され、基板 11 に滴下されて、基板 11 の表面の一定範囲に広がって塗布される。

【0034】

吐出部 16 は、対物光学系 10 に固定されているため、吐出ノズル 16 a が常に観察光学系の視野範囲の一定位置に位置し、観察光学系を通じた画像位置と吐出位置との相対位置が安定している。そのため、修正用レジストの基板 11 上での着弾位置が安定する。

また、本実施形態では、吐出ノズル 16 a が、対物光学系 10 の基板 11 側の外部に突出して設けられているため、基板 11 に近接されているため、着弾位置がより高精度となる。

さらに、本実施形態では、吐出部 16 が鉛直方向に沿って設けられているので、吐出された修正用レジストは、重力によって直下の基板 11 に滴下される。このため、放物軌道

10

20

30

40

50

を描いて吐出される場合と異なり、吐出速度などの影響を受けないため、着弾位置がきわめて高精度となる。

【0035】

次に、修正用レジストと下地膜との密着性を高めるため、塗布範囲に選択的に光を照射して溶剤を蒸発させるプレベークを行う。プレベークは、スポット加熱が有効であり、その方法はIR光加熱装置、ハロゲンヒータなどを用いて行う。

【0036】

プレベーク完了後、撮像素子13により基板11の画像を取得し、最初を取得した塗布前の基板11の画像との差分をとるなどの画像処理を行って、修正用レジストの塗布範囲と修正用レジストの除去範囲の画像データを算出する。

10

【0037】

次に、この除去範囲の画像データに基づいて、除去範囲のみにオン光32が到達するように、空間変調素子6の微小ミラーの傾斜角の制御を行う。

そして、レーザ発振器1から、レーザ光31aをパルス発振する。レーザ光31aは、結合レンズ2でファイバ端面3aを通して光ファイバ3に光結合され、光量分布が均一な発散光としてファイバ端面3bから出射され、投影レンズ4によって集光されて、レーザ光31bとして空間変調素子6を覆う範囲に照射される。

【0038】

レーザ光31bは、空間変調素子6上の微小ミラーの傾斜方向に応じて、空間変調されたオン光32として、結像レンズ7に入射する。

20

結像レンズ7では、オン光32が略平行光とされ、ハーフミラー8、9を透過して凹面反射鏡10Bの開口部10cから対物光学系10に入射する。

そして、図3に示す光路を矢印と逆方向に進んで、凸反射面10a、凹反射面10bでそれぞれ反射され、凸面反射鏡10Aの側方を通過して、基板11上に結像される。

微小ミラーが配列された空間変調素子6の基準平面と基板11の表面とは、結像レンズ7と対物光学系10とによって共役の関係とされているので、空間変調素子6のオン光による画像が、所定の倍率で、基板11上に投影されることになる。

【0039】

このようにして、オン光32が修正用レジストの除去範囲に到達し、到達部分の修正用レジストが基板11上から除去される。

30

このとき、本実施形態では、除去範囲の画像データに合わせて、修正用レジストの塗布範囲における除去範囲に選択的にレーザ光を照射して除去させるので、通常は1回のレーザ光照射により、除去処理を終了することができる。

【0040】

この除去処理によって、修正用レジストが正しく除去されたかどうかは、撮像素子13によって基板11を撮像することで、モニタ40で直ちに確認することができる。

パターン欠陥が正しく修正された場合には、必要に応じて残存する修正用レジスト層に対して選択的なポストベークを行う。これにより、基板11上のレジストパターンの修正が完了する。

そして、このレジストパターンにより、エッチング処理等を行う。

40

【0041】

このように、欠陥修正装置100によれば、観察光学系が高倍率を有し、対物光学系が被検体の表面に近接する場合でも、観察される視野範囲内の一定位置から、被検体の表面に向けて修正材料を確実に吐出することができるので、被検体の表面を高倍率で観察しつつ、被検体の表面上に修正材料を高精度に塗布することができる。

【0042】

次に、本発明の実施形態の第1変形例について説明する。

図4は、本発明の実施形態の第1変形例の対物光学系の近傍の様子を模式的に示す断面図である。

【0043】

50

本変形例は、上記第1の実施形態の欠陥修正装置100の対物光学系10、吐出部16に代えて、それぞれ図4に示す対物光学系20、吐出部26を備えるものである。以下、上記実施形態と異なる点を中心に説明する。

【0044】

対物光学系20は、図4に示すように、レンズ鏡筒20Aに、基板11側(図4の下側)からレンズL1~L6が順次配列されてなる対物レンズ20Bが収められたものである。対物光学系20の光軸51は、上記実施形態の欠陥修正装置100において、対物光学系10の光軸50に対応する位置に配置される。

吐出部26は、レンズ鏡筒20Aの側面を光軸50に沿って延ばされたストレート部26c、ストレート部26cからレンズ鏡筒20Aの基板11側の端部を径方向内側に横切る横断部26b、および横断部26bの先端から光軸51に沿って基板11側に向かって延ばされた吐出ノズル26aによって構成される略Z字状のガラス管などの管状部材である。ストレート部26cは、このような位置関係を保持するように、レンズ鏡筒20Aの側部に対して固定されており、ストレート部26cの基板11と反対側の端部は、上記実施形態の材料供給管16bと接続されている。

10

吐出機構は、特に図示しないが、上記実施形態の吐出機構16dと同様のものが、吐出部26の材料供給管16bとの接続部、または材料供給管16bの管路上に設けられている。

【0045】

このような構成によれば、吐出ノズル26aは、観察光学系で観察像を形成する光の光路の最外径の範囲内において、対物光学系の被検体側の外部に固定して設けられており、上記実施形態と同様に、観察される視野範囲内の一定位置から、被検体の表面に向けて修正材料を確実に吐出することができる。

20

本変形例では、吐出ノズル26aと、横断部26bとによって、対物レンズ20Bを透過する光束が遮蔽されるが、吐出部26の管径をできるだけ細くし、横断部26cをレンズL1側にできるだけ近づけることで、光束が遮蔽されることによる光量低下を必要に応じて低減することができる。

【0046】

次に、本発明の実施形態の第2変形例について説明する。

図5は、本発明の実施形態の第2変形例の対物光学系の近傍の様子を模式的に示す断面図である。

30

【0047】

本変形例は、上記第1の実施形態の欠陥修正装置100の対物光学系10、吐出部16に代えて、それぞれ図5に示す対物光学系21、吐出部27を備えるものである。以下、上記実施形態と異なる点を中心に説明する。

【0048】

対物光学系21は、図5に示すように、レンズ鏡筒21Aに、基板11側(図5の下側)からレンズL1~L6が順次配列されてなる対物レンズ21Bが収められたものである。レンズL1~L6は、対物レンズ20Bと同様のレンズ構成を採用することができるが、各レンズの中心に貫通孔が設けられている。

40

対物光学系20の光軸52は、上記実施形態の欠陥修正装置100において、対物光学系10の光軸50に対応する位置に配置される。

吐出部27は、対物レンズ21Bの中心に設けられた貫通孔を光軸52に沿って貫通して、対物レンズ21Bに固定されたガラス管などの管状部材であり、最も基板11側のレンズL1の近傍の外部側に突出する先端に吐出ノズル27aが形成されている。

吐出機構は、特に図示しないが、上記実施形態の吐出機構16dと同様のものが、吐出部26の材料供給管16bとの接続部、または材料供給管16bの管路上に設けられている。

【0049】

本変形例は、光束の遮蔽部が、対物レンズ21Bの基板11と反対側の端部において、

50

光路を横断する材料供給管 16b となっている点が上記第 1 変形例と異なる例となっている。

この場合、第 1 変形例に比べて、光量低下量は略同じであるが、遮蔽部が像面から十分離れた略平行光束の光路に設けられるため、観察画像に対する画質劣化の影響をより低減することができる。

【0050】

なお、上記の説明では、被検体が水平に載置され、対物光学系の光軸が鉛直軸に沿って配置された場合の例で説明したが、修正材料の着弾位置精度が許容できる場合には、それぞれの水平面、鉛直軸から傾斜させた配置としてもよい。

【0051】

また、上記の説明では、レーザ照射光学系においてビーム整形する手段として、DMD からなる空間変調素子 6 を用いたが、DMD 以外の空間変調素子を用いてもよい。

また、レーザ光の光路上に可変スリットを配置して開口制限を行って照射範囲を調整し、この照射範囲を被検体に対して相対移動させる構成としてもよい。

また、スキャニングに要する時間が許容できる場合には、ガルバノミラーのような偏向器を用い、レーザの投射位置を可変する構成としてもよい。

【0052】

また、上記の説明では、吐出ノズルが対物光学系の光軸近傍に設けられた場合の例で説明したが、吐出ノズルは、被検体と対物光学系との相対位置関係が固定され、観察光学系で観察像を形成する光の光路の最外径の範囲内であれば、観察光学系の視野範囲内の一定位置に吐出ノズルを位置させることができるので、配置位置は光軸の近傍には限定されない。

例えば、上記実施形態の場合、吐出ノズルは、図 3 に示す凸面反射鏡 10A の裏面 10d と光線 Q_1 に囲まれた三角錐の領域内の場合、どの位置でも問題なく配置することができる。

また、観察光学系の視野範囲の直上の領域に配置することも着弾精度を高精度にする点では有効である。

【0053】

また、上記の説明では、吐出ノズルが対物光学系の被検体側の外部に設けられた場合の例で説明したが、修正材料の吐出に支障がなければ、吐出ノズルは対物光学系の内部に設けられていてもよい。例えば、図 3 において、吐出ノズル 16a の先端が、凸面反射鏡 10A の裏面 10d と同一面またはより内部側に配置されていてもよい。

【0054】

また、上記の説明では、光路分岐素子を修正材料吐出部に貫通させた構成の例で説明したが、光路分岐素子は、対物光学系等を固定する適宜の筐体などによって保持することにより、修正材料吐出部に貫通させない構成としてもよい。

【0055】

また、上記の説明では、レーザ光源から出射されるレーザ光の光量を均一化するために、光ファイバ 3 を透過させる構成の例で説明したが、レーザ光の均一化手段は、他の光学素子、例えば、フライアイレンズ、回折素子、非球面レンズや、カレイド型ロッドを用いたものなどの種々の構成のホモジナイザーなどを用いた構成としてもよい。

【0056】

また、上記の各実施形態、各変形例に記載された構成要素は、技術的に可能であれば、本発明の技術的思想の範囲内で適宜組み合わせる実施することができる。

【実施例 1】

【0057】

次に、上記に説明した実施形態の対物光学系の実施例である数値実施例について説明する。

図 6 は、本発明の実施形態の対物光学系の数値実施例の光路図である。ここで、図中の光線は、FAN 光線（光束中の光線）を示している。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 8 】

本実施例は、対物光学系 10 の物体側に、負のメニスカスレンズからなるレンズ 19 を配置することにより、対物光学系 10 と合わせて無限遠設計の対物光学系を構成しているものである。

【 0 0 5 9 】

下記に数値実施例の、光学系の構成パラメータを示す。図 6 に表記された r_i 、 d_i (i は整数) は、下記に示す光学系の構成パラメータの r_i 、 d_i に対応する。また屈折率については、 d 線 (波長 587.56 nm) に対するものを表記している。

座標系は、光線追跡において、軸上主光線に沿う方向を Z 軸方向とし、物体側からレンズ 19 に向かう方向を Z 軸正方向とし、紙面を Y - Z 平面とし、紙面の表から裏へ向かう方向を X 軸正方向とし、X 軸、Z 軸と右手直交座標系を構成する軸を Y 軸とする。

本実施例に用いる非球面の形状は、この X Y Z 直交座標系を用いて、以下の定義式 (a) で与えられる回転対称非球面である。なお、下記数値実施例のレンズデータは、逆光線追跡のデータとなっているので、図 6 の左側の - Z の方向が像側であり、右側の集光点が物体面の位置となる。

【 0 0 6 0 】

【 数 1 】

$$Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + \dots \dots \dots \quad \dots(a)$$

10

20

【 0 0 6 1 】

ここで、 $h = (X^2 + Y^2)$ であり、 c は頂点の近軸曲率半径、 k はコーニック定数 (円錐定数)、 A 、 B 、 C 、... はそれぞれ 4 次、6 次、8 次、... の非球面係数である。この定義式 (a) の Z 軸が回転対称非球面の軸となる。

以下に示す構成パラメータにおいて、長さの単位は (mm) である。

また、データの記載されていない非球面に関する項は 0 である。

30

【 0 0 6 2 】

面番号	曲率半径	面間隔	屈折率	アッペ数
物体面				
1	$r_1 = 13.77$	$d_1 = 35.00$	$n_1 = 1.7847$	$\nu_1 = 25.7$
2	$r_2 = 8.88$	$d_2 = 25.00$		
3	非球面 [1]	$d_3 = -5.73$		
4	非球面 [2] (絞り)	$d_4 = 21.66$		
像面		$d_5 = 0.00$		

非球面 [1]

c 2.95

k -2.0921

A 2.1388×10^{-3} B -3.2970×10^{-4}

非球面 [2]

c 10.78

k -6.5828×10^{-1} A 3.5722×10^{-5} B 1.7793×10^{-7} 焦点距離 $f = 2.7627 \text{mm}$

NA = 0.33

ミラー面 (凸面鏡) から試料面までの距離 15.9mm

倍率 65倍 (結像レンズの焦点距離 180mm)

40

50

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】本発明の実施形態に係る欠陥修正装置の概略構成を示す模式的な正面図である。

【図2】本発明の実施形態に係る欠陥修正装置の主要部の光軸を含む模式的な断面図である。

【図3】図3は、図2の部分拡大図である。

【図4】本発明の実施形態の第1変形例の対物光学系の近傍の様子を模式的に示す断面図である。

【図5】本発明の実施形態の第2変形例の対物光学系の近傍の様子を模式的に示す断面図である。

10

【図6】本発明の実施形態の対物光学系の数値実施例の光路図である。

【符号の説明】

【0064】

6 空間変調素子

7、12 結像レンズ

9 ハーフミラー（光路分岐素子）

10、20、21 対物光学系

10A 凸面反射鏡

10B 凹面反射鏡

10a 凸反射面

10b 凹反射面

10c 開口部

11 基板（被検体）

13 撮像素子

14 照明ランプ

16、26、27 吐出部（修正材料吐出部）

16a、26a、27a 吐出ノズル

19 レンズ

20B、21B 対物レンズ

30 レーザ光源

31a、31b レーザ光

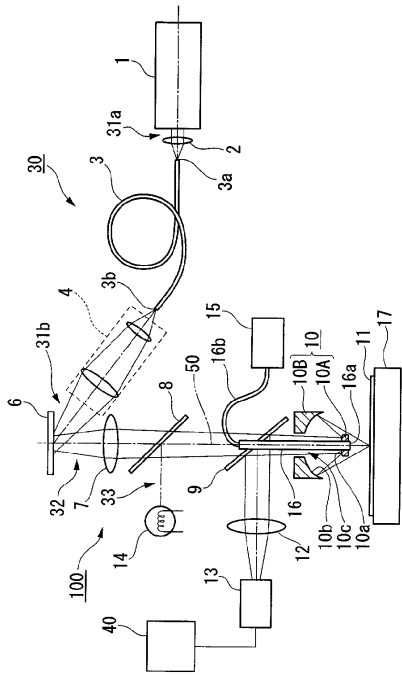
32 オン光

100 欠陥修正装置

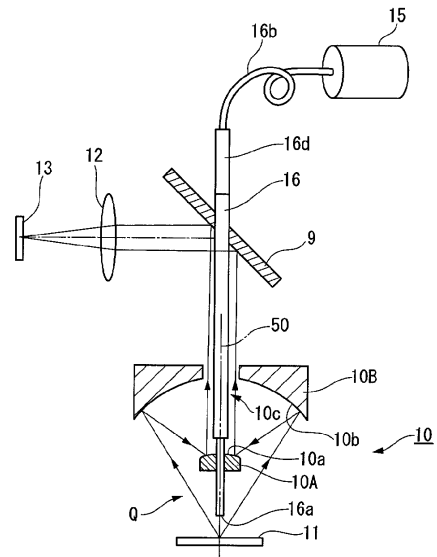
20

30

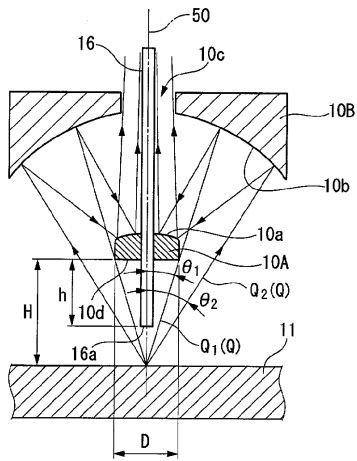
【 図 1 】



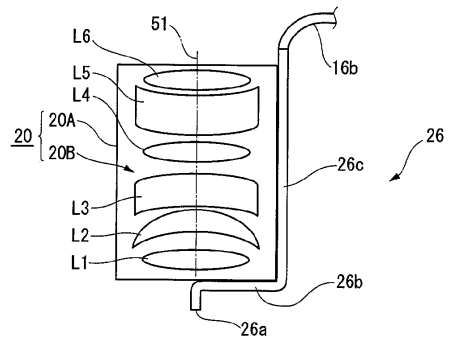
【 図 2 】



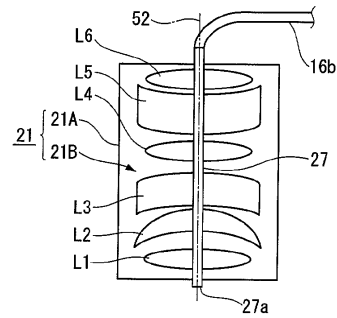
【 図 3 】



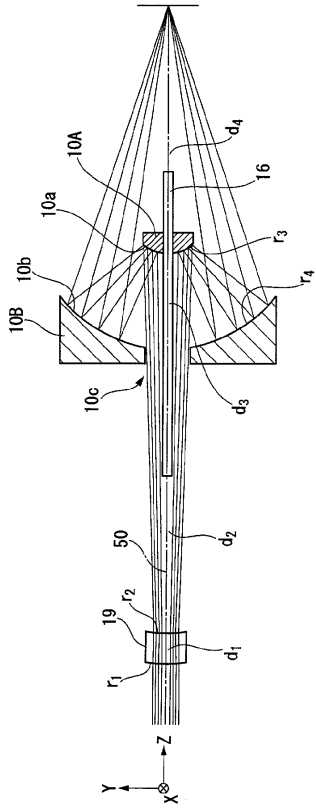
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 3 F 7/40 (2006.01) G 0 3 F 7/40 5 1 1

(72)発明者 高 橋 浩一
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリパス株式会社内

審査官 佐竹 政彦

(56)参考文献 特開平05-040034(JP,A)
特開平07-194557(JP,A)
特開平07-035856(JP,A)
特開平04-307314(JP,A)
特開平09-138117(JP,A)
特開平01-108515(JP,A)
特開昭55-096289(JP,A)
特開2006-013343(JP,A)
特開2006-130460(JP,A)
国際公開第89/001603(WO,A1)
国際公開第2006/100780(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 9 F 9 / 0 0 - 9 / 4 6