

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6099970号
(P6099970)

(45) 発行日 平成29年3月22日 (2017.3.22)

(24) 登録日 平成29年3月3日 (2017.3.3)

(51) Int.Cl. F 1
G 0 3 F 7 / 2 0 (2006.01) G 0 3 F 7 / 2 0 5 0 1

請求項の数 12 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2012-284352 (P2012-284352)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成24年12月27日 (2012.12.27)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2014-127620 (P2014-127620A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成26年7月7日 (2014.7.7)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成27年12月24日 (2015.12.24)		弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置及びデバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を露光する露光装置であって、
マスクを照明する照明光学系と、
前記マスクのパターンからの光を前記基板に照射する投影光学系と、
前記投影光学系と前記基板との間の空間の酸素濃度を調整する調整部と、
前記基板に照射される光の照度を計測する計測部と、
前記基板の1つのショット領域の複数回露光の各回において前記基板に照射される光の照度が計測されるように前記計測部を制御し、前記計測された照度のそれぞれに基づいて前記各回の照度に対応する酸素濃度を求め、前記各回において前記空間の酸素濃度が求められた酸素濃度になるように前記調整部を制御する制御部と、を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 2】

前記制御部は、
前記計測された照度に対応する、前記基板に転写されるパターンの評価指標の値を許容範囲に収めるために必要となる前記空間の酸素濃度を決定し、
前記空間の酸素濃度が前記計測された照度のそれぞれに対応して決定した酸素濃度となるように、前記調整部を制御することを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 3】

前記制御部は、前記計測された照度のそれぞれに基づいて、前記複数回露光の各回にお

10

20

いて前記空間の酸素濃度が異なるように前記空間の酸素濃度を段階的に変更するように前記調整部を制御することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の露光装置。

【請求項 4】

前記基板にマスクのパターンを転写する転写処理は、前記基板の 1 つのショット領域の複数回露光を行うことで 1 つのマスクのパターンを前記 1 つのショット領域に転写する処理であることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 5】

基板を露光する露光装置であって、

マスクを照明する照明光学系と、

前記マスクのパターンからの光を前記基板に照射する投影光学系と、

前記投影光学系と前記基板との間の空間の酸素濃度を調整する調整部と、

1 つのマスクを用いて前記基板の 1 つのショット領域の複数回露光を行うことで 1 つのマスクのパターンを前記 1 つのショット領域に転写している間、前記酸素濃度が所定の濃度になるように前記調整部を制御し、かつ、前記複数回露光のそれぞれにおける照度が異なるように各回において前記基板に照射される光の照度を制御する制御部と、を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 6】

前記制御部は、前記複数回露光の各回において前記基板に照射される光の照度が異なるように前記照度を段階的に変更することを特徴とする請求項 5 に記載の露光装置。

【請求項 7】

前記制御部は、前記基板に転写されるパターンの評価指標の値が許容範囲に収まるように前記調整部を制御することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 8】

前記調整部は、前記空間にガスを供給することによって前記酸素濃度を調整することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 9】

前記調整部は、前記空間に不活性ガスを供給することによって前記酸素濃度を調整することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 10】

基板を露光する露光装置であって、

マスクを照明する照明光学系と、

前記マスクのパターンからの光を前記基板に照射する投影光学系と、

前記投影光学系と前記基板との間の空間にガスを供給する供給部と、

前記基板に照射される光の照度を計測する計測部と、

前記基板の 1 つのショット領域の複数回露光の各回において前記基板に照射される光の照度が計測されるように前記計測部を制御し、前記計測された照度のそれぞれに基づいて前記各回の照度に対応する酸素濃度を求め、前記各回において前記空間の酸素濃度が求められた酸素濃度になるように前記供給部によるガスの供給を制御する制御部と、を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 11】

基板を露光する露光装置であって、

マスクを照明する照明光学系と、

前記マスクのパターンからの光を前記基板に照射する投影光学系と、

前記投影光学系と前記基板との間の空間の酸素濃度を調整する調整部と、

前記基板に照射される光の照度を計測する計測部と、

前記基板の 1 つのショット領域を 1 回で露光する間において、前記基板に照射される光の照度が複数回計測されるように前記計測部を制御し、前記複数回計測された照度のそれぞれに基づいて各回の照度に対応する酸素濃度を求め、各回において前記空間の酸素濃度が求められた酸素濃度になり、前記 1 回で露光する間に前記空間の酸素濃度を連続的に変

10

20

30

40

50

更するように、前記調整部を制御する制御部と、を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 乃至 1 1 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と

、
露光した前記基板を現像する工程と、

を有することを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光装置及びデバイスの製造方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

カラーフィルターの製造方法としては、染色法、印刷法、電着・電界法、顔料分散法などの様々な方法がある。これらの方法のうち、現在では、製造上の安定性や簡易性から顔料分散法が主流となっている。代表的な顔料分散法である感光アクリル法では、アクリロイド系感光性樹脂を含み、着色機能と感光機能との両方を有するカラーレジストに対して、フォトリソグラフィによってパターンを形成する。

【0003】

カラーレジストは、ネガレジストであるため、露光光を照射すると、反応に寄与するラジカルを発生し、ポリマーを光重合させ、現像液に不溶となる。但し、カラーレジストに含まれる顔料の成分は露光光を吸収しやすく、また、発生したラジカルは空气中に存在する酸素にトラップされてしまうため、光重合反応は妨げられる傾向にある。従って、所定のパターン寸法（又は形状）を得るためには、露光量（露光エネルギー）を増大する必要があり、スループットの低下を招いてしまう。

20

【0004】

そこで、ポリビニルアルコールからなる膜（酸素を遮断する酸素遮断膜）をレジスト上に形成（塗布）する技術が提案されている。但し、かかる技術は、酸素遮断膜のレジスト上への濡れ性の悪さからパターン欠陥を生じる可能性がある。また、酸素遮断膜を形成する工程が増えることによるコスト増加の問題もある。更に、酸素遮断膜を形成しても酸素濃度を制御することができないため、微細なパターンを形成する場合において、パターン寸法の精度制御に対するフレキシビリティが低減してしまう。

30

【0005】

一方、ポリビニルアルコールからなる酸素遮断膜をレジスト上に形成することなく、レジストに窒素（ガス）を吹き付けて低酸素状態で露光を行う技術も提案されている（特許文献 1 参照）。また、高解像度のレジスト像を得るために、不活性ガスの雰囲気中で露光する 1 次露光と活性ガスの雰囲気中で露光する 2 次露光とに分けて基板を露光する技術も提案されている（特許文献 2 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

40

【特許文献 1】特開平 1 - 1 9 5 4 4 5 号公報

【特許文献 2】特開昭 6 1 - 5 1 1 5 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従来技術では、1 次露光と 2 次露光とにおいて、基板（レジスト）上の酸素濃度を異ならせることで酸素による光重合反応の阻害を抑制し、所定のパターン寸法を得ている。この場合、光学系の透過率の劣化や光源の発光強度の劣化などによって基板上の露光光の照度が低下すると、レジストにおける光重合反応が変化する懸念がある。レジストにおける光重合反応が変化した場合、複数回に分けて基板を露光する従来技術では、所定のパター

50

ン寸法が得られなくなることがある。そこで、露光量を増加することでパターン寸法を最適化することも考えられるが、この場合、スループットの低下を招いてしまう。

【 0 0 0 8 】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、スループットの低下を抑えながら、パターンを基板に転写するのに有利な露光装置を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての露光装置は、基板を露光する露光装置であって、マスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターンからの光を前記基板に照射する投影光学系と、前記投影光学系と前記基板との間の空間の酸素濃度を調整する調整部と、前記基板に照射される光の照度を計測する計測部と、前記基板の1つのショット領域の複数回露光の各回において前記基板に照射される光の照度が計測されるように前記計測部を制御し、前記計測された照度のそれぞれに基づいて前記各回の照度に対応する酸素濃度を求め、前記各回において前記空間の酸素濃度が求められた酸素濃度になるように前記調整部を制御する制御部と、を有することを特徴とする。

10

【 0 0 1 0 】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、例えば、スループットの低下を抑えながら、パターンを基板に転写するのに有利な露光装置を提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図1】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略図である。

【図2】1次露光と2次露光とに分けて基板を露光する露光処理を説明するための図である。

【図3】基板に照射される光の照度と基板に転写されるパターンの線幅との関係を示す図である。

【図4】1次露光と2次露光とに分けて基板を露光する露光処理を説明するための図である。

30

【図5】基板に照射される光の照度と投影光学系と基板との間の局所空間の酸素濃度との関係を示す図である。

【図6】1次露光、2次露光、・・・n次露光に分けて基板を露光する露光処理における露光時間と酸素濃度との関係を示す図である。

【図7】図1に示す露光装置における露光処理の一例を説明するためのフローチャートである。

【図8】露光処理における露光時間と酸素濃度との関係を示す図である。

【図9】基板に照射される光の照度の変更によるスループットの低下の回避を説明するための図である。

40

【図10】図1に示す露光装置における露光処理の一例を説明するためのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【 0 0 1 4 】

図1は、本発明の一側面としての露光装置1の構成を示す概略図である。露光装置1は、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクル（マスク）のパターンを基板に転写する転写処理を行うリソグラフィ装置である。但し、露光装置1は、ステップ・アンド・リピー

50

ト方式やその他の露光方式を適用することも可能である。

【0015】

露光装置1は、光源102と、減光部104と、照明光学系106と、レチクル108を保持して移動するレチクルステージ110と、投影光学系112と、基板114を保持して移動する基板ステージ116とを有する。また、露光装置1は、ガス供給部118と、酸素濃度計120と、ビームスプリッタ122と、積算センサ124と、計測器126と、制御部128と、記憶部130とを有する。露光装置1の各部は、露光室を規定するチャンバーCHの内部に配置され、チャンバーCHの内部の雰囲気は、雰囲気維持部EMによって、温度及び湿度が制御された空気雰囲気に維持されている。

【0016】

水銀ランプ、ArFエキシマレーザー、KrFエキシマレーザーなどの光源102から射出された光は、減光部104及び照明光学系106を通過してレチクル108を照明する。レチクル108のパターンを通過した光は、投影光学系112を介して、基板114に塗布されたレジストRSに投影される。減光部104は、光源102から射出された光、即ち、基板114に照射される光の照度を調整する調整部として機能し、本実施形態では、NDフィルターで構成されている。但し、光源102を構成する水銀ランプに供給する電圧を変更することで照度を調整してもよいし、光源102と照明光学系106との間の距離を変更することで照度を調整してもよい。

【0017】

レチクル108は、レチクルステージ110に移動可能に保持され、基板114は、基板ステージ116に移動可能に保持されている。基板ステージ116の端部には、キャリブレーションのための基準マークRMが形成されている。

【0018】

ガス供給部118は、投影光学系112と基板114（基板ステージ116）との間の空間（局所空間）に不活性ガスを供給する。ガス供給部118は、本実施形態では、ガス供給ノズルを介して、局所空間に空気と不活性ガスとの混合ガス及び空気のうちいずれか一方を供給する。不活性ガスは、例えば、窒素ガスを含む。ガス供給部118は、不活性ガスと空気との組成比が異なり、酸素濃度が互いに異なる複数種類の混合ガスを個別に收容し、混合ガスで置換される局所空間の酸素濃度を変更できるように構成されていてもよい。また、ガス供給部118から供給されるガスで置換される局所空間は、基板114を露光する際に混合ガスの拡散を防止して酸素濃度を効率的に低下させるために、局所空間を取り囲む隔壁などを配置して略閉空間にするとよい。

【0019】

酸素濃度計（濃度計測部）120は、投影光学系112と基板114との間の局所空間の近傍に配置され、局所空間の酸素濃度を計測する。また、酸素濃度計120は、投影光学系112と基板114との間の酸素濃度を代替計測可能な一に配置することも可能である。例えば、ガス供給部118から投影光学系112（の最終面の近傍）との間に酸素濃度計120を配置することで、局所空間の酸素濃度を代替計測することが可能である。

【0020】

ビームスプリッタ122は、照明光学系106を通過してレチクル108を照明するための光（露光光）を、基板114に向かう光と、積算センサ124に向かう光とに、例えば、1：数百万分の1の光強度の割合で分割する。積算センサ124は、積算センサ124に入射する光の量（光量）を積算し、基板114に照射される露光光の積算量（露光量）を間接的に計測するために用いられる。

【0021】

計測器（計測部）126は、基板ステージ116に配置され、基板114が配置される面、即ち、投影光学系112の像面に入射する光の照度及び照度分布を計測する。換言すれば、計測器126は、基板114に照射される光の照度及び照度分布のデータを取得する機能を有する。計測器126は、例えば、ピンホールを有する遮光板と、かかるピンホールを通過した光を検出する光電変換素子とを含む。計測器126に含まれる光電変換素

10

20

30

40

50

子は、１つの素子の光電変換素子に限定されず、複数の光電変換素子を含むラインセンサ又はイメージセンサであってもよい。また、遮光板のピンホールの面積に関する情報は、記憶部１３０に記憶されており、計測器１２６の出力に基づいて照度を求めるために用いられる。

【００２２】

基板１１４に照射される光の照度を計測する際には、計測器１２６が目標計測位置の近傍に配置されるように、基板ステージ１１６を移動させる。また、基板１１４に照射される光の照度分布を計測する際には、基板ステージ１１６を、例えば、所定のステップ幅でステップ移動させながら、計測器１２６で照度を計測する。そして、基板ステージ１１６の複数の位置（即ち、計測器１２６の複数の位置）と、それらの位置に対応して計測器１

10

【００２３】

制御部１２８は、ＣＰＵなどを含み、露光装置１の全体（動作）を制御する。本実施形態では、制御部１２８は、光源１０２、減光部１０４、レチクルステージ１１０、基板ステージ１１６、ガス供給部１１８などを介して、レチクル１０８のパターンを基板１１４に転写する転写処理を制御する。例えば、制御部１２８は、酸素濃度計１２０で計測された酸素濃度に基づいて、投影光学系１１２と基板１１４との間の局所空間の酸素濃度が目標酸素濃度となるように、ガス供給部１１８による混合ガス（不活性ガス）の供給を制御する。また、制御部１２８は、積算センサ１２４で計測された露光量に基づいて、光源１

20

30

【００２４】

露光装置１における露光処理について説明する。まず、図２を参照して、特許文献２に開示された露光処理、即ち、１次露光と２次露光とに分けて基板１１４を露光する露光処理を説明する。図２は、１次露光と２次露光とに分けて基板１１４を露光する露光処理における露光時間と酸素濃度（投影光学系１１２と基板１１４との間の局所空間の酸素濃度）との関係を示す図であって、露光時間を横軸に採用し、酸素濃度を縦軸に採用している。

【００２５】

図２において、ＴＤ１は、基板１１４に照射される光の照度が所定の照度である場合における露光時間と酸素濃度との関係を示している。１次露光では、投影光学系１１２と基板１１４との間の局所空間の酸素濃度が酸素濃度ＯＤ１となる雰囲気において、時刻０から時刻Ｔ１まで基板１１４を露光する。次いで、２次露光では、投影光学系１１２と基板１１４との間の局所空間の酸素濃度が酸素濃度ＯＤ２となる雰囲気において、時刻Ｔ１から時刻Ｔ２まで基板１１４を露光する。

40

【００２６】

但し、露光を継続していると、基板１１４に照射される光の照度が低下している（即ち、所定の照度が得られない）場合がある。例えば、光源１０２が劣化すると、特に、光源１０２に水銀ランプを用いている場合には、２ヶ月で３０％程度の照度の低下が発生することが知られている。また、中長期的には、照明光学系１０６や投影光学系１１２の透過率が劣化してしまう。この場合には、光源１０２を交換したとしても、レジストの種類に

50

応じた最適な照度を実現することができないため、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めることができなくなる。

【 0 0 2 7 】

一般に、基板 1 1 4 (に塗布されたレジスト R S) を露光する際には、露光量 (露光エネルギー) を一定量に維持してレチクル 1 0 8 のパターンを基板 1 1 4 に転写する。露光量は照度と露光時間との積で表されるため、照度が低下した状態では、露光時間を長くする必要はある。

【 0 0 2 8 】

図 2 において、T D 2 は、基板 1 1 4 に照射される光の照度が所定の照度から低下した場合における露光時間と酸素濃度との関係を示している。照度の低下による露光量の低減を回避するために、2 次露光では、時刻 T 1 から時刻 T 3 まで基板 1 1 4 を露光する。このように、露光時間を増加させると、スループットが低下することになる。ここでは、2 次露光における露光時間を増加させる場合を説明したが、1 次露光における露光時間を増加させる場合、或いは、1 次露光及び 2 次露光の両方における露光時間を増加させる場合も同様に、スループットが低下することになる。

【 0 0 2 9 】

次に、図 3 を参照して、基板 1 1 4 に照射される光の照度と基板 1 1 4 に転写されるパターンの線幅との関係を説明する。図 3 では、基板 1 1 4 に照射される光の照度を横軸に採用し、基板 1 1 4 に転写されるパターンの線幅を縦軸に採用している。

【 0 0 3 0 】

図 3 において、W I 1 1、W I 1 2、W I 1 3 及び W I 1 4 は、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度が酸素濃度 O D 1 1 となる雰囲気では基板 1 1 4 を露光した結果を示している。W I 1 は、W I 1 2 乃至 W I 1 4 に示す結果を近似した関数を示している。また、W I 2 1、W I 2 2、W I 2 3 及び W I 2 4 は、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度が酸素濃度 O D 1 2 となる雰囲気では基板 1 1 4 を露光した結果を示している。W I 2 は、W I 2 2 乃至 W I 2 4 に示す結果を近似した関数を示している。なお、W I 1 1 及び W I 2 1 は、露光処理時の照度が不足してレジストにおける光重合発生物質に十分なエネルギーが供給されず、パターンが解像されなかったことを示している。

【 0 0 3 1 】

図 3 を参照するに、基板 1 1 4 に転写すべきパターン (目標パターン) の線幅 T W L を得るためには、局所空間の酸素濃度を酸素濃度 O D 1 とすると、基板 1 1 4 に照射される光の照度を照度 I R 1 にすればよいことがわかる。ここで、基板 1 1 4 に照射される光の照度が低下すると、光重合反応の低下によって、基板 1 1 4 に転写されるパターンの線幅に変動が生じる。光重合反応を増加するためには、一般的に、露光量を増加することが考えられるが、露光時間を長くする必要があり、スループットが低下することになる。

【 0 0 3 2 】

一方、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を低くした状態で露光すると、酸素による光重合反応の障害が低減されるため、レジストにおける光重合反応が進行し、基板 1 1 4 に転写されるパターンの線幅が変動する。そこで、照度が照度 I R 1 から照度 I R 2 に低下した状態において、局所空間の酸素濃度を酸素濃度 O D 1 2 から酸素濃度 O D 1 1 に低下させて露光すれば、目標パターンの線幅 T L W を得ることが可能となる。また、酸素による光重合反応の障害を低減することによって、目標パターンの線幅 T L W を得ることができるため、露光量を増加する必要がなく、スループットの低下を防止することができる。

【 0 0 3 3 】

図 4 を参照して、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度によるスループットの低下の防止について説明する。図 4 は、1 次露光と 2 次露光とに分けて基板 1 1 4 を露光する露光処理における露光時間と酸素濃度との関係を示す図であって、露光時間を横軸に採用し、酸素濃度を縦軸に採用している。

【0034】

図4において、TD3は、基板114に照射される光の照度が所定の照度から低下した場合における露光時間と酸素濃度との関係を示している。上述したように、基板114に照射される光の照度が低下すると、光重合反応も低下するため、基板114に転写されるパターンの線幅を許容範囲に収めることができなくなる。但し、投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度を低下させ、酸素による光重合反応の阻害を低減することによって、光重合反応を進行させることができる。従って、露光時間を増加させる必要がなくなるため、スループットを低下させることなく、基板114に転写されるパターンを許容範囲に収めることができる。

【0035】

次いで、図5を参照して、基板114に照射される光の照度が低下した場合において、1次露光における投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度の決定方法について説明する。図5は、基板114に照射される光の照度と投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度との関係を示す図であって、照度を横軸に採用し、酸素濃度を縦軸に採用している。

【0036】

図5において、DI2、DI3及びDI4は、基板114に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めるための照度と酸素濃度との対応関係を示し、DIは、DI2乃至DI4に示す対応関係を近似した関数（近似関数）を示している。また、DI1は、基板114に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めることができない場合（照度と酸素濃度との対応関係）を示している。

【0037】

図5を参照するに、基板114に照射される光の照度を照度IR11とすると、基板114に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めるためには、投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度を酸素濃度OD31にすればよいことがわかる。また、基板114に照射される光の照度が照度IR12に低下した場合、基板114に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めるためには、投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度を酸素濃度OD32にすればよい。更に、近似関数DIを参照して、任意の照度IR3に対応する最適な酸素濃度OD33を決定することも可能である。

【0038】

また、本実施形態では、図4に示すように、1次露光において投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度を低下させる場合を説明した。但し、2次露光において局所空間の酸素濃度を低下させてもよいし、1次露光及び2次露光の両方において局所空間の酸素濃度を低下させてもよい。更に、基板114に照射される光の各照度に対して、基板114に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めるために、1次露光及び2次露光における露光時間、及び、1次露光及び2次露光における酸素濃度を予め決定しておくともよい。

【0039】

また、1次露光と2次露光とに分けて（即ち、2回に分けて）基板114を露光するのではなく、図6に示すように、1次露光、2次露光、・・・、n次露光とに分けて、投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度を段階的に変更してもよい。これにより、レジストにおける光重合反応を更に微細に制御することが可能となり、基板114に転写されるパターンの線幅の改善を図ることができる。図6は、1次露光、2次露光、・・・、n次露光に分けて基板114を露光する露光処理における露光時間と酸素濃度との関係を示す図であって、露光時間を横軸に採用し、酸素濃度を縦軸に採用している。

【0040】

図7を参照して、露光装置1における露光処理の一例について説明する。かかる露光処理は、1次露光、2次露光、・・・、n次露光に分けて基板114を露光する、即ち、基板114の同一のショット領域を複数回露光することで1つのパターンをショット領域に転写する露光処理である。図7に示す露光処理は、上述したように、制御部128が露光装

10

20

30

40

50

置 1 の各部を統括的に制御することで行われる。

【 0 0 4 1 】

露光装置 1 において、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度の最適値、基板 1 1 4 に照射される光の照度の最適値、及び、基板上の露光量の最適値は、基板 1 1 4 に塗布されるレジスト R S の種類に応じて異なる。ここで、「最適値」とは、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めるために必要となる局所空間の酸素濃度、基板 1 1 4 に照射される光の照度、及び、基板上の露光量である。そこで、基板 1 1 4 に転写すべきパターンの寸法となる酸素濃度、照度及び露光量の関係を実験などで予め取得して記憶部 1 3 0 に記憶しておく。この際、かかる関係を単独で記憶するのではなく、露光レシピとして記憶してもよい。また、基板 1 1 4 に塗布されるレジスト R S が複数のカラーレジストから選択されるレジストである場合、青色レジストと、緑色レジストと、赤色レジストとでは、基板 1 1 4 に転写すべきパターンの寸法となる酸素濃度、照度及び露光量が異なる。従って、本実施形態では、レジストの種類ごとに、基板 1 1 4 に転写すべきパターンの寸法となる酸素濃度、照度及び露光量の対応関係を表す情報を取得し、露光レシピとして記憶部 1 3 0 に記憶している。

10

【 0 0 4 2 】

図 7 を参照するに、S 7 0 2 において、制御部 1 2 8 は、積算センサ 1 2 4 又は計測器 1 2 6 を用いて、基板 1 1 4 に照射される光の照度を計測する。また、照度情報が記憶部 1 3 0 などに記憶されている場合には、基板 1 1 4 に照射される光の照度を実際に計測するのではなく、照度情報から基板 1 1 4 に照射される光の照度のデータを取得してもよい。ここで、照度情報とは、例えば、各時刻における基板 1 1 4 に照射される光の照度や照度の時間的な劣化を表す情報である。

20

【 0 0 4 3 】

S 7 0 4 において、制御部 1 2 8 は、S 7 0 2 で計測された照度、及び、記憶部 1 3 0 に記憶された照度と酸素濃度と露光量との対応関係に基づいて、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めるために必要となる酸素濃度及び露光量を決定する。但し、記憶部 1 3 0 に記憶された露光レシピから、露光処理に必要な（即ち、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めるために必要となる）酸素濃度及び露光量のデータを取得してもよい。

【 0 0 4 4 】

S 7 0 6 において、制御部 1 2 8 は、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を設定する。具体的には、制御部 1 2 8 は、局所空間の酸素濃度が S 7 0 4 で決定した酸素濃度となるように、酸素濃度計 1 2 0 を用いて、ガス供給部 1 1 8 を制御する。

30

【 0 0 4 5 】

S 7 0 8 において、制御部 1 2 8 は、基板 1 1 4 （に塗布されたレジスト R S ）を露光する。具体的には、制御部 1 2 8 は、基板 1 1 4 に対して、S 7 0 6 で設定した酸素濃度の雰囲気下で露光を開始する（即ち、投影光学系 1 1 2 からの露光光の基板 1 1 4 への照射を開始する）。そして、制御部 1 2 8 は、基板上の露光量が S 7 0 4 で決定（又は取得）した露光量に達した段階で、基板 1 1 4 の露光を終了する（即ち、投影光学系 1 1 2 からの露光光の基板 1 1 4 への照射を終了する）。

40

【 0 0 4 6 】

S 7 1 0 において、露光の回数が規定回数（n 回）に達しているかどうか、即ち、n 次露光が終了しているかどうかを判定する。露光の回数が規定回数に達していない場合には、次の次数の露光を行うために、S 7 0 2 に移行して、基板 1 1 4 に照射される光の照度を計測する。但し、記憶部 1 3 0 に記憶された露光レシピから酸素濃度及び露光量のデータを取得する場合には S 7 0 4 に移行してもよい。一方、露光の回数が規定回数に達している場合には、処理を終了する。

【 0 0 4 7 】

このように、図 7 に示す露光処理によれば、複数回露光の各回において照度が計測され

50

、それに基づいて酸素濃度が決定される。これにより、基板 1 1 4 に照射される光の照度が低下している場合であっても、最適な酸素濃度の状態で基板 1 1 4 を露光することができる。従って、露光装置 1 は、スループットの低下の要因となる露光量の増加を抑えながら、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めることができる。

【 0 0 4 8 】

本実施形態では、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法の一例として、パターンの線幅について説明した。但し、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法は、パターンの線幅に限定されるものではなく、パターンの側面の垂直性を含むパターンの形状や、その他の任意のパターンの評価指標であってもよい。

【 0 0 4 9 】

また、多段階で（段階的に）露光するのでなく、図 8 に示すように、1 回の露光中（投影光学系 1 1 2 からの光が基板 1 1 4 に照射されている間）に、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を連続的に変更してもよい。図 8 は、露光処理における露光時間と酸素濃度との関係を示す図であって、露光時間を横軸に採用し、酸素濃度を縦軸に採用している。図 8 において、T D 5 は、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を線形的に変更する場合における露光時間と酸素濃度との関係を示している。

【 0 0 5 0 】

投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を変更する際には、ガス供給部 1 1 8 から局所空間に不活性ガスと空気との混合ガスが供給される。ガス供給部 1 1 8 から混合ガスが供給された直後は、局所空間に存在する空気と混合ガスとが混在した状態となるため、局所空間の酸素濃度を安定させるための待ち時間が必要となる。従って、図 2 には示していないが、1 次露光と 2 次露光との間には、局所空間の酸素濃度の変更による（即ち、酸素濃度を安定させるための）待ち時間が必要となる。

【 0 0 5 1 】

一方、図 8 では、基板の露光をした経過時間（露光時間）に応じて、局所空間の酸素濃度を連続的に、且つ、微小に変更しているため、酸素濃度を安定させるための待ち時間が不要となる。ガス供給部 1 1 8 は、図 8 に示すような連続的に変化する酸素濃度を目標値として、例えば、ガスの供給量を変更することによって、実際の局所空間の酸素濃度を連続的に変更する。これにより、酸素濃度を安定させるための待ち時間を大幅に削減することが可能となり、従来技術と比較して、スループットを向上させることができる。

【 0 0 5 2 】

また、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を線形的に変更する（T D 5）のではなく、T D 6 や T D 7 に示すように、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を曲線的に変更してもよい。このように、露光時間と酸素濃度との関係は、直線や滑らかな曲線などの連続関数で表される。換言すれば、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法が許容範囲に収まるように、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を変更すればよい。

【 0 0 5 3 】

これまでは、基板 1 1 4 に照射される光の照度の変化に応じて投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を変更することによって、光重合反応を制御して基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収める場合について説明した。但し、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の密閉性が低い場合には、局所空間の酸素濃度が安定するまでに時間を要することがある。また、露光装置 1 の各部との干渉を考慮すると、ガス供給部 1 1 8（のガス供給ノズル）を投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の近傍に配置することが難しく、酸素濃度を高応答性で制御することが困難である場合もある。このような場合には、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を変更するのではなく、基板 1 1 4 に照射される光の照度を変更することで、スループットの低下を回避することが可能である。

【 0 0 5 4 】

図9を参照して、基板114に照射される光の照度の変更によるスループットの低下の回避について具体的に説明する。図9(a)は、1次露光と2次露光とに分けて基板114を露光する露光処理における露光時間と酸素濃度(投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度)との関係を示す図であって、露光時間を横軸に採用し、酸素濃度を縦軸に採用している。

【0055】

図9(a)と図2との差異は、局所空間の酸素濃度を酸素濃度OD1から酸素濃度OD2に変更した際に(即ち、1次露光と2次露光との間に)、局所空間の酸素濃度を安定させるための待ち時間(安定時間)を設定していることである。上述したように、局所空間の酸素濃度を変更して露光する場合には、局所空間の酸素濃度を安定させるための安定時間として、時刻T1から時刻T5までの時間が必要となる。従って、2次露光が時刻T5から時刻T6まで行われるため、図2と比較して、露光が終了するまでの時間が増加してスループットが低下することになる。

【0056】

そこで、図9(b)に示すように、投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度を酸素濃度OD1から変更せずに、基板114に照射される光の照度を照度IR91から照度IR92に変更して基板114を露光する。図9(b)は、1次露光と2次露光とに分けて基板114を露光する露光処理における露光時間と照度(基板114に照射される光の照度)との関係を示す図であって、露光時間を横軸に採用し、照度を縦軸に採用している。特許文献2では、1次露光と2次露光とにおいて、基板上の酸素濃度を異ならせる(変更する)ことで酸素による光重合反応の阻害を抑制(制御)している。一方、本実施形態では、投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度を一定濃度に維持し、基板114に照射される光の照度を変更することで、光重合反応の制御を可能としている。具体的には、1次露光では、基板114に照射される光の照度を照度IR91として、時刻0から時刻T1まで基板114を露光する。次いで、時刻T1から時刻T7までの間に、基板114に照射される光の照度を照度IR91から照度IR92に変更する。そして、2次露光では、基板114に照射される光の照度が照度IR92である状態で、時刻T7から時刻T8まで基板114を露光する。これにより、1次露光と2次露光との間における照度の変更に要する時間(照度変更時間)が時刻T1から時刻T7までとなり、図9(a)に示す安定時間(時刻T1から時刻T5まで)よりも短縮することができる。

【0057】

基板114に照射される光の照度の変更は、上述したように、光源102や減光部104において行われる。光源102や減光部104で行われる照度の変更は、メカニカルな切り替え、或いは、電氣的な変更で対応可能である。従って、投影光学系112と基板114との間の局所空間の酸素濃度が安定するまでに要する時間よりも短時間で基板114に照射される光の照度を変更することができる。

【0058】

また、1次露光と2次露光とに分けて(即ち、2回に分けて)基板114を露光するのではなく、図9(c)に示すように、1次露光、2次露光、・・・、n次露光とに分けて、基板114に照射される光の照度を段階的に変更してもよい。これにより、レジストにおける光重合反応を更に微細に制御することが可能となり、基板114に転写されるパターンの線幅の改善を図ることができる。

【0059】

また、多段階で(段階的に)露光するのでなく、図9(d)に示すように、1回の露光中(投影光学系112からの光が基板114に照射されている間)に、基板114に照射される光の照度を連続的に変更してもよい。これにより、図9(b)に示すような照度を変更するための時間(照度変更時間)が不要となるため、スループットを更に向上させることができる。また、基板114に照射される光の照度は、IT91に示すように、線形的に変更してもよいし、IT92及びIT93に示すように、曲線的に変更してもよい。

換言すれば、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法が許容範囲に収まるように、基板 1 1 4 に照射される光の照度を変更すればよい。なお、I T 9 1 乃至 I T 9 3 は、基板 1 1 4 に照射される光の照度を連続的に変更する場合における露光時間と照度との関係を示している。

【 0 0 6 0 】

図 1 0 を参照して、基板 1 1 4 に照射される光の照度を変更する場合の露光処理について説明する。かかる露光処理は、1 次露光、2 次露光、・・・n 次露光に分けて基板 1 1 4 を露光する露光処理であって、上述したように、制御部 1 2 8 が露光装置 1 の各部を統括的に制御することで行われる。S 1 0 0 2 乃至 S 1 0 0 8 は、図 7 に示す S 7 0 2 乃至 S 7 0 8 と同様な処理であるため、ここでの詳細な説明は省略する。

10

【 0 0 6 1 】

S 1 0 1 0 において、露光の回数が規定回数（n 回）に達しているかどうか、即ち、n 次露光が終了しているかどうかを判定する。露光の回数が規定回数に達している場合には、処理を終了する。一方、露光の回数が規定回数に達していない場合には、S 1 0 1 2 に移行する。

【 0 0 6 2 】

S 1 0 1 2 において、制御部 1 2 8 は、記憶部 1 3 0 に記憶された照度情報から、次の露光において基板 1 1 4 に照射される光の照度のデータを取得する。

【 0 0 6 3 】

S 1 0 1 4 において、制御部 1 2 8 は、基板 1 1 4 に照射される光の照度を調整する。具体的には、制御部 1 2 8 は、基板 1 1 4 に照射される光の照度が S 1 0 1 2 で取得された照度となるように、光源 1 0 2 から射出する光の光強度や減光部 1 0 4 における透過率を制御する。

20

【 0 0 6 4 】

このように、図 1 0 に示す露光処理では、露光の回数が規定回数に達していない場合、投影光学系 1 1 2 と基板 1 1 4 との間の局所空間の酸素濃度を設定（変更）するのではなく、基板 1 1 4 に照射される照度を調整（変更）している。これにより、図 7 に示す露光処理と比べて、スループットを更に向上させながら、基板 1 1 4 に転写されるパターンの寸法を許容範囲に収めることができる。

【 0 0 6 5 】

30

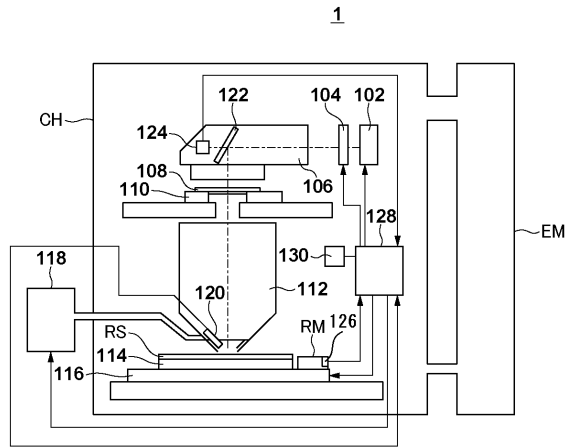
このように、露光装置 1 は、スループットの低下を抑えながら、レチクル 1 0 8 のパターンを基板 1 1 4 に転写することができる。従って、露光装置 1 は、高いスループットで経済性よく高品位なデバイス（半導体デバイス、液晶表示デバイス、フラットパネルディスプレイ（FPD）など）を提供することができる。かかるデバイスは、露光装置 1 を用いてフォトレジスト（感光剤）が塗布された基板（ウエハ、ガラスプレート等）を露光する工程と、露光された基板を現像する工程と、その他の周知の工程と、を経ることによって製造される。

【 0 0 6 6 】

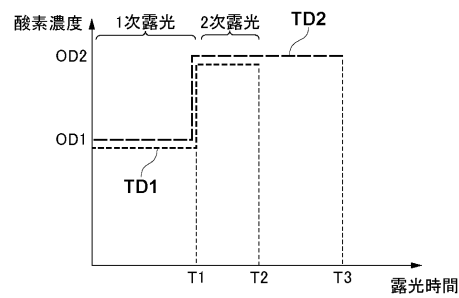
以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、光源を露光装置外に設置し、光源からの光を露光装置の照明光学系に導く形態であってもよい。

40

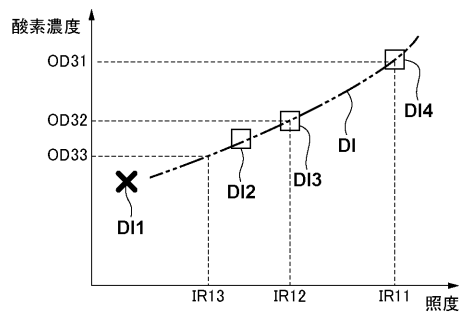
【図 1】



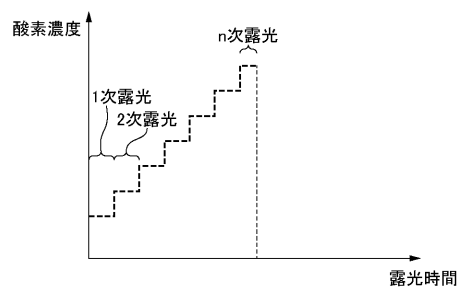
【図 2】



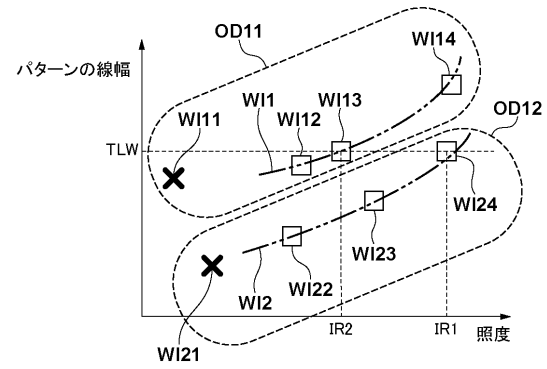
【図 5】



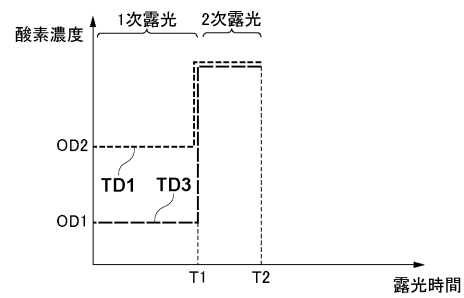
【図 6】



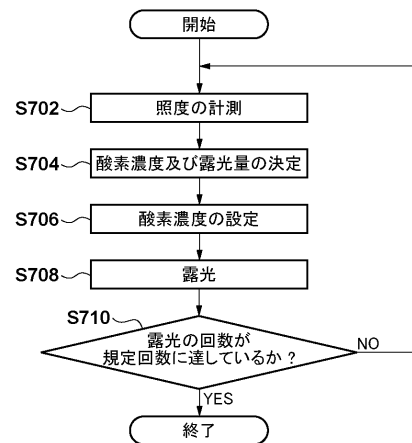
【図 3】



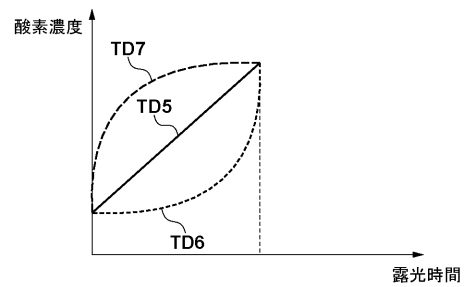
【図 4】



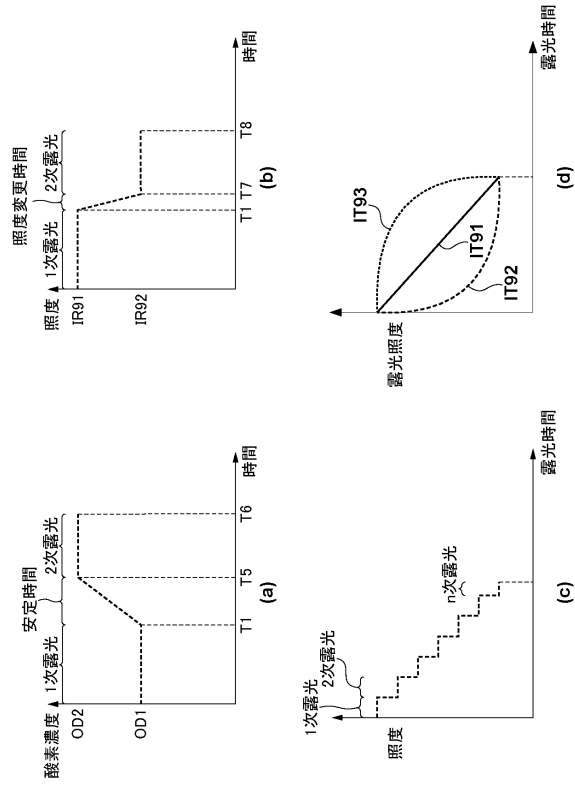
【図 7】



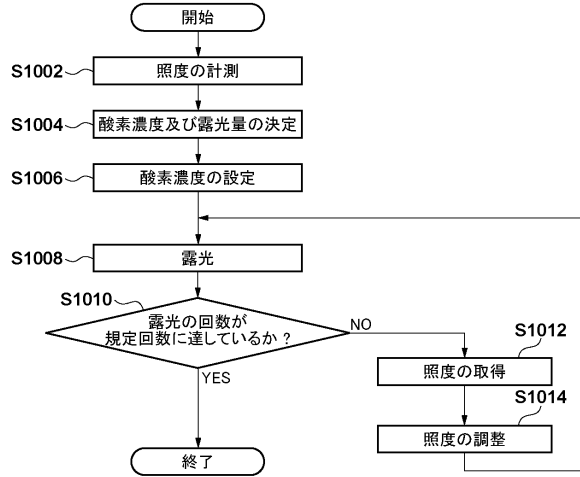
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 佐々木 亮
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 松岡 智也

(56)参考文献 特開昭61-213814(JP,A)
特開平11-087230(JP,A)
特開2003-257822(JP,A)
特開2011-096859(JP,A)
特開2012-109553(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G03F 7/20-7/24、9/00-9/02
H01L 21/027