

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5043910号
(P5043910)

(45) 発行日 平成24年10月10日(2012.10.10)

(24) 登録日 平成24年7月20日(2012.7.20)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 1 6 D
GO 3 F 7/20 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 2 9
	GO 3 F 7/20 5 0 5

請求項の数 15 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2009-210018 (P2009-210018)	(73) 特許権者	504151804
(22) 出願日	平成21年9月11日(2009.9.11)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー、
(62) 分割の表示	特願2005-166338 (P2005-166338)		ブイ、
原出願日	平成17年6月7日(2005.6.7)		オランダ国 ヴェルトホーフエン 550
(65) 公開番号	特開2009-296004 (P2009-296004A)	(74) 代理人	100105924
(43) 公開日	平成21年12月17日(2009.12.17)		弁理士 森下 賢樹
審査請求日	平成21年9月11日(2009.9.11)	(72) 発明者	カルス ツェーゲル トルースト
(31) 優先権主張番号	10/862876		オランダ国、ヴァールレ、モツアルトラ
(32) 優先日	平成16年6月8日(2004.6.8)	(72) 発明者	アルノ ヤン プレーケル
(33) 優先権主張国	米国 (US)		オランダ国、ヴェステルホーフエン、シュ
			テーノフェンス 67
		審査官	佐野 浩樹
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リソグラフィ装置およびデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

デバイス製造方法であって、

(a) 個々に制御可能な素子のアレイで放射線の投影ビームにパターン形成することと

(b) パターン形成したビームを基板に投影することを含み、パターン形成された投影ビームが複数のピクセルを有するピクセルパターンを備え、

前記投影することは、第一ピクセルパターンを前記基板に投影するための第一露光ステップと、第一露光ステップの前または後に第二ピクセルパターンを前記基板に投影するための第二露光ステップと、を含み、第一ピクセルパターンと第二ピクセルパターンとは前記基板上で互いに少なくとも部分的に重なり合い、

前記第一露光ステップは、前記第一ピクセルパターンの少なくとも一部分の各ピクセルが予め決定した線量以下の第一放射線線量を前記基板のある領域に送出するように、前記第一ピクセルパターンの前記一部分に対応する複数の素子を制御することを含み、該予め決定した線量は、補償のための専用の線量範囲の下限を定めており、前記ある領域は、前記投影することの間、欠陥のある素子に影響された欠陥ピクセルが投影されない領域であり、

前記第二露光ステップは、前記欠陥ピクセルによる前記第一露光ステップでの露光不足を少なくとも部分的に補償するために、少なくとも一つの素子を制御することを含み、該少なくとも一つの素子は、前記露光不足の生じる前記基板の少なくとも一つの位置に投影

される前記第二ピクセルパターンの少なくとも1つの選択ピクセルに対応し、該少なくとも1つの素子は、前記予め決定した線量より多い第二放射線線量を該少なくとも1つの選択ピクセルが送出するように制御される、方法。

【請求項2】

前記第二放射線線量は、前記予め決定した線量より少なくとも約1.1倍、1.5倍、または2倍大きい、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

予め決定した放射線線量パターンが前記基板の表面上に与えられ、該放射線線量パターンが、

少なくとも予め決定した閾値と等しい放射線線量が送出される白の領域と、

前記予め決定した閾値より少ない放射線線量が送出される黒の領域とを有し、

前記欠陥ピクセルと前記少なくとも1つの選択ピクセルとはともに、前記線量パターンの白の領域に投影され、

前記第二露光ステップは、前記少なくとも1つの選択ピクセルが前記第二放射線線量を送出して、前記欠陥ピクセルによる前記第一露光ステップでの白の領域の露光不足を少なくとも部分的に補償するように、前記少なくとも1つの素子を制御することを含む、請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】

基板が、放射化閾値を有する放射線感光性材料の層を有し、前記予め決定した閾値が前記放射化閾値であり、前記基板の表面が層の表面であり、

前記予め決定した線量は、前記予め決定した閾値より少なく、前記予め決定した閾値の半分より多い、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

前記第一露光ステップは、前記欠陥ピクセルによる前記第二露光ステップでの露光不足を少なくとも部分的に補償するために、少なくとも1つの素子を制御することを含み、該少なくとも1つの素子は、前記露光不足の生じる前記基板の少なくとも1つの位置に投影される前記第一ピクセルパターンの少なくとも1つの選択ピクセルに対応し、前記第二放射線線量を該少なくとも1つの選択ピクセルが送出するように制御され、

前記第二露光ステップは、前記第二ピクセルパターン的一部分の各ピクセルが前記第一放射線線量を前記ある領域に送出するように、前記第二ピクセルパターンの前記一部分に対応する複数の素子を制御することを含む、請求項1から4のいずれかに記載の方法。

【請求項6】

予め決定した放射線線量パターンを前記基板の目標部分に与えるために、前記投影することを実行し、

前記第一露光ステップは、前記目標部分を、第一アレイの第一セットの素子に対応する第一の複数のピクセルで露光し、

前記第二露光ステップは、前記目標部分を、前記第一アレイ又は第二の異なるアレイの第二セットの素子に対応する第二の複数のピクセルで露光する、請求項1から4のいずれかに記載の方法。

【請求項7】

各ピクセルが、前記素子のそれぞれに対応する、請求項1から6のいずれかに記載の方法。

【請求項8】

さらに、

各ピクセルの輝度分布を、アレイの個々の対応する素子、および個々の対応する素子にすぐ隣接する素子に依存させることを含む、請求項1から7のいずれかに記載の方法。

【請求項9】

前記第一露光ステップが、各ピクセルが、予め決定した標準的な最大輝度より低いか、それと等しいピーク輝度を有するように、素子を制御することを含み、

前記第二露光ステップが、前記少なくとも1つの選択されたピクセルが、標準的な最大

10

20

30

40

50

輝度より高い、増加したピーク輝度を有するように、素子を制御することを含む、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 10】

さらに、少なくとも 3 つの状態のうち 1 つに選択的に適応するように、欠陥がない各素子を制御することを含み、前記状態が、

対応するピクセルによって送出される放射線線量への寄与が最小になるように、素子が投影ビームと相互作用する名目上黒の状態と、

対応するピクセルによって送出される放射線線量への寄与が増加するように、素子が投影ビームと相互作用する、少なくとも 1 つの名目上グレーの状態と、

対応するピクセルに送出される放射線線量への寄与が、どのグレー状態よりも大きくなるように素子が投影ビームと相互作用する、少なくとも 1 つの名目上白の状態とを含み、

前記第一露光ステップが、黒またはグレーの状態のうち一方に適応するために、各素子を制御することを含み、

前記第二露光ステップが、白の状態に適応するために、少なくとも 1 つの選択された素子を制御することを含む、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 11】

リソグラフィ装置で、

放射線の投影ビームにパターンを形成する、個々に制御可能な素子のアレイと、

パターン形成したビームを基板に投影する投影システムとを有し、パターン形成したビームが複数のピクセルを有するピクセルパターンを備え、さらに、

前記素子を制御するコントローラを有し、

前記コントローラは、第一ピクセルパターンを前記基板に投影するための第一露光ステップと、第一露光ステップの前または後に第二ピクセルパターンを前記基板に投影するための第二露光ステップとを含む投影ステップを、第一ピクセルパターンと第二ピクセルパターンとが前記基板上で互いに少なくとも部分的に重なり合うように制御し、

前記第一露光ステップは、前記第一ピクセルパターンの少なくとも一部分の各ピクセルが予め決定した線量以下の第一放射線線量を前記基板のある領域に送出するように、前記第一ピクセルパターンの前記一部分に対応する複数の素子を制御することを含み、該予め決定した線量は、補償のための専用の線量範囲の下限を定めており、前記ある領域は、前記投影ステップにおいて、欠陥のある素子に影響された欠陥ピクセルが投影されない領域であり、

前記第二露光ステップは、前記欠陥ピクセルによる前記第一露光ステップでの露光不足を少なくとも部分的に補償するために、少なくとも 1 つの素子を制御することを含み、該少なくとも 1 つの素子は、前記露光不足の生じる前記基板の少なくとも 1 つの位置に投影される前記第二ピクセルパターンの少なくとも 1 つの選択ピクセルに対応し、該少なくとも 1 つの素子は、前記予め決定した線量より多い第二放射線線量を該少なくとも 1 つの選択ピクセルが送出するように制御される、リソグラフィ装置。

【請求項 12】

前記第二放射線線量は、前記予め決定した線量より少なくとも約 1.1 倍、1.5 倍、または 2 倍大きい、請求項 11 に記載のリソグラフィ装置。

【請求項 13】

予め決定した放射線線量パターンが前記基板上の表面に与えられ、該放射線線量パターンが、

少なくとも予め決定した閾値と等しい放射線線量が送出される白の領域と、

前記予め決定した閾値より少ない放射線線量が送出される黒の領域とを有し、

前記欠陥ピクセルと前記少なくとも 1 つの選択ピクセルとはともに、前記線量パターンの白の領域に投影され、

前記第二露光ステップは、前記少なくとも 1 つの選択ピクセルが前記第二放射線線量を送出して、前記欠陥ピクセルによる前記第一露光ステップでの白の領域の露光不足を少なくとも部分的に補償するように、前記少なくとも 1 つの素子を制御することを含む、請求

10

20

30

40

50

項 1 1 または 1 2 に記載のリソグラフィ装置。

【請求項 1 4】

前記第一露光ステップは、前記欠陥ピクセルによる前記第二露光ステップでの露光不足を少なくとも部分的に補償するために、少なくとも 1 つの素子を制御することを含み、該少なくとも 1 つの素子は、前記露光不足の生じる前記基板の少なくとも 1 つの位置に投影される前記第一ピクセルパターンの少なくとも 1 つの選択ピクセルに対応し、前記第二放射線線量を該少なくとも 1 つの選択ピクセルが送出するように制御され、

前記第二露光ステップは、前記第二ピクセルパターンの一部分の各ピクセルが前記第一放射線線量を前記ある領域に送出するように、前記第二ピクセルパターンの前記一部分に対応する複数の素子を制御することを含む、請求項 1 1 から 1 3 のいずれかに記載のリソグラフィ装置。

10

【請求項 1 5】

素子のアレイがプログラマブルミラーアレイを有する、請求項 1 1 から 1 4 のいずれかに記載のリソグラフィ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はリソグラフィ装置およびデバイス製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

リソグラフィ装置は、所望のパターンを基板の目標部分に適用する機械である。リソグラフィ装置は例えば、集積回路（IC）、名面パネルディスプレイ、および微細構造を含む他のデバイスの製造において使用可能である。従来のリソグラフィ装置では、代替的にマスクまたはレチクルと呼ばれるパターンング手段を使用して、IC（または他のデバイス）の個々の層に対応する回路パターンの生成することができ、このパターンを、放射線感光原料（例えばレジスト）の層を有する基板（例えばシリコンウェハまたはガラスプレート）上の目標部分（例えば 1 つあるいはそれ以上のダイの一部から成る）に描像することができる。パターンング手段は、マスクの代わりに、回路パターンを生成する個々に制御可能なアレイ状の素子を有してよい。

20

【0003】

一般的に、1 枚の基板は、順次照射される近接目標部分の全体ネットワークを含んでいる。既知のリソグラフィ装置は、全体マスクパターンを目標部分に 1 回の作動にて露光することによって各目標部分が照射されるステップと、所定の方向（「走査」方向）にマスクパターンを投影ビームで走査し、これと同時に基板をこの方向と平行に、あるいは反平行に走査することにより、各目標部分が照射されるスキャナとを含む。

30

【0004】

マスクなしリソグラフィとは、マスクの代わりに個々に制御可能なアレイ状の素子を使用して、目標に所望の放射線露光パターンを形成するリソグラフィを言う。アレイ状の素子を使用して、放射線ビームにパターンを形成し、パターン形成したビームを基板の目標表面に投影する。投影されたパターンは複数のピクセルを有し、各ピクセルは通常、制御可能な素子の個々のアレイに対応する。一般に、このような技術では各ピクセルがピーク輝度を有し、これは主に対応する個々の素子に依存するが、ある程度は対応する素子に隣接する素子にも依存する。

40

【0005】

プログラマブルアレイの基本的形態では、各素子は 2 つの状態のいずれかに適応するように制御可能でよい。つまり、投影パターン上の対応するピクセルが最低輝度を有する「黒」状態と、対応するピクセルが最高輝度を有する「白」状態である。したがって、アレイを制御して、対応する「黒」および「白」いピクセルの所望のパターンに基板の目標部分を露光することができ、各ピクセルは、露光ステップ中に対応する放射線線量を送出する。

50

【0006】

各素子が黒および白の状態に加えて複数のグレーの状態に適応するように制御可能である、さらに高性能のプログラマブルアレイを使用することも知られている。これによって、ピクセルが「白」の最大値と「黒」の最小値の間の線量を送出することができる。このように各ピクセルによって送出手される線量をさらに細かく制御することにより、結果として生じる露光パターンで、さらに細かい形体を達成することができる。

【0007】

当技術分野では、基板の目標表面を複数のピクセルに露光するプロセスを、印刷ステップと呼ぶことがあり、黒、白およびグレーの状態があるアレイ状素子を使用する場合、プロセスはグレースケール印刷と行うことができる。

10

【0008】

特定の用途では、基板を露光すべき放射線線量パターンを、特定値より多くの線量が出される領域と定義される「白」領域と、特定値より少ない線量が出される領域と定義される「黒」領域とを有するものと言うことができる。例えば、基板はレジスト層を有し、レジストの材料は特定の閾値放射化線量を有する。このような場合、白の領域は、そこに送出手される線量が放射化閾値を超える領域であり、黒の領域は、放射化閾値線量より少量を受けけるものであり、したがってその後の現像中に、黒の領域は除去され、白の領域のパターンのみ残る。

【0009】

制御可能な素子のアレイをマスクなしリソグラフィに使用することは、1つまたは複数の素子が欠陥品であるか、欠陥品になることがあり、制御信号に反応しないか、正常な望ましい方法で反応しなくなる。例えば、欠陥がある素子は、黒またはグレーの状態に固定される非反応性素子である。あるいは、制御しうる正常状態の数を低減してしまう素子であり、したがって白い状態か最も白い状態が得られない。

20

【0010】

欠陥がある素子に対する補償を実行しない場合、目標基板に送出手される放射線線量は、所望量より少なくなることがある。「白」のままのピクセルもあり、すなわち例えば十分に白い状態のままとなった素子に対応する。「白」のままのピクセルは、「黒」を印刷する場合、ように意図された場合、補正することができない。したがって、例えばプログラマブルミラーアレイの場合、アレイをリソグラフィに使用する前に、「白」のままのピクセルは全て、微細操作によって傾斜姿勢へと機械的に変形させるか、除去するか、その上に回折格子を作成するか、吸収性材料を局所的に配置して、ミラーを黒で被覆することによって、「黒」にする必要がある。

30

【0011】

目標基板上に所望の露光パターンを生成するために、2パスマスクなしリソグラフィ方法を使用することが知られている。このような方法では、目標表面の各部分をピクセルに2回露光する。つまり、2つの露光ステップを使用して、組み合わせにより必要な合計放射線線量を基板の各部分に送出手する。通常、基板は、目標表面の特定の部分が、同じピクセル（つまり、同じ制御可能な素子に対応するピクセル）に2回露光しないように、ビーム投影システムに対して第一露光ステップと第二露光ステップの間で移動させる。これは、欠陥があるピクセルが及ぼし得る最大の効果を制限するために実行されている。また、アレイ上に欠陥がある素子がない場合でも、2パスシステムによって、1回露光する方法と比較して改善された合計線量精度を達成することができる。

40

【0012】

基板のレジスト層の目標表面に「白」および「黒」の領域の所望の露光パターンを生成するために、2パスシステムは通常、各露光ステップで、十分に白いピクセルがレジスト放射化閾値の線量の半分よりわずかに多い放射線線量を送出手するように配置構成される。これは、露光時間（つまり各露光ステップで基板が特定の露光に露光する時間）および放射線ソースの輝度を適切に選択することによって達成される。

【0013】

50

以前のシステムは、可能な限り短い露光時間を使用するよう試み、これはピクセルの印刷速度を上げ、したがってスループットを改善するが、これは制御可能な素子の切り換え速度（つまりある状態から別の状態へと切り換えるために、いかに高速で制御できるか）によって制限される。以前のシステムは、必要以上の出力がない放射線ソースを使用するようにも試みた。これは、一般にソース出力が大きいほど費用が高く、ビームの調整、搬送、およびビームに対応する必要がある投影システムの費用が高くなるからである。また、ビーム輝度が高くなると、特定の構成要素の劣化速度が加速することがある。したがって、以前のシステムでは、投影されたビームが十分に「白い」素子と相互作用して、対応する「白い」ピクセルを生成し、これが特定の露光期間に必要な線量、つまりレジスト閾値線量の半分よりわずかに多い線量を送出することが、一般的要件であった。

10

【0014】

使用可能なソース出力を最大限に活用するために、先行技術の方法は、目標の「白」の領域を、十分に「白」い状態に設定した素子で印刷するように構成されていた。

【0015】

したがって、概して典型的な2パス方法では、目標の「白」の領域は、最高つまり100%の輝度（つまり、特定の放射線ソースおよび素子の状態範囲で使用可能な最高輝度）の「白」いピクセルを使用して印刷され、輝度が0%まで低下する「グレー」および「黒」のピクセルも、所望の線量パターンを構築するために使用されている。

【0016】

このような方法では、素子が完全に非反応性で、「黒」の状態に設定されているか、さもなければ対応するピクセルに作用するべくソースビームと相互作用できない場合、問題が発生する。つまり、素子が「黒のままとなっている素子」であると、それに対応するピクセルが「黒のままのピクセル」になる。例えば、「黒」のままのピクセルが目標表面の「白」の領域に当たると、第一パスで必要な線量（つまり閾値線量の約半分）を送出する代わりに、はるかに少量の線量を送出し、ゼロの線量になることもある。「黒」のままのピクセルが照たる「白」の領域の部分が、（例えば同じ素子アレイの欠陥がない素子、または別のアレイの欠陥がない素子に対応する）第二パスで十分な100%輝度の「白」のピクセルに露光しても、これが受け取った線量の組み合わせは、このように必要な閾値線量よりはるかに低くなる。

20

【0017】

このような欠陥がある素子による露光不足は、そのプロセスによって達成される線量パターンに悪影響を及ぼすことは明白である。完全な「黒」ではなく、欠陥がある素子が「グレー」の状態に設定され、対応するピクセルを介して十分に高い線量をパスの一方で送出できない場合も、同様の問題が生じる。

30

【0018】

黒のままのピクセルを補償する従来試されている方法の一つが、図2に図示されている。ここでは、ピクセル9個の単純化した投影パターン1が図示され、これは目標表面の白い領域の隅に当たる。白の領域の境界が破線13で指示されている。白の領域に当たるピクセル10、11は、十分に白くなるように（つまり十分な輝度で印刷されるように）意図され、黒の領域に当たるピクセル12は、十分に黒く（つまりゼロの輝度に）なるように意図される。しかし、ピクセル11は黒のままのピクセルである。

40

【0019】

これを補償するために、黒のままのピクセル11に隣接する白以外のピクセル12は、十分に黒くなるのではなく、グレーにされ、したがってピクセル11によって送出された放射線線量に対するその寄与と組み合わせられて、欠陥がある素子の結果である線量の損失を少なくとも部分的に補償する。したがって、同じ露光ステップ（例えば白のパス）で隣接する黒のピクセルを使用して、白の領域の縁部に当たる黒のままのピクセル11を補償し、すなわち、先行するパスまたは後続のパスでこのような補償を提供するために、隣接する（つまり周囲の）黒のピクセルを使用することも知られている。

【0020】

50

しかし、この補償方法の問題は、ピクセル12の輝度を黒の値からグレーの値へと上昇させることによって、黒のピクセルと欠陥がない白のピクセルとの間の形体縁部の位置が、望ましくないほどシフトすることがあり、黒の領域にグレーの線量が与えられると、これを逆にすることは不可能である。この方法で隣接ピクセルにより補正すると、(必然的に)縁部の位置をシフトするばかりでなく、縁部の峻度も低下する。(N)ILS(正規化した)描像ログ勾配)が悪化する。また、黒のままのピクセルが線を中心ではなく縁部に当たると、補償を目的とするすぐ隣の黒いピクセルの数が減少する。さらに、黒のままのピクセルが、欠陥のない白のピクセルに囲まれるように、白の領域内にある場合、上記の技術では補償されない。

【0021】

欠陥がある素子/ピクセルから生じる露光不足の問題を解決する別の試みは、追加の書き込みパスを使用することであり、これを「クリーンアップパルス」または露光と呼ぶことができる。ここでは、基板のどの部分も同じ欠陥があるピクセルに2回露光できないように、基板を投影システムに対して移動させる。クリーンアップパスは、先行する1つまたは複数の露光ステップで所望より少ない線量を受け取った基板の選択された部分に、目標を定めた放射線線量を送出するように、特に実行される。良好な補償を達成できるが、この技術の問題は、追加の書き込みパスが必要になるのでスループットが低下するか、印刷に通常必要であるアレイに制御可能な素子のさらなるアレイを追加して達成する場合は、費用および複雑性が増すことである。

【0022】

2パスシステムについて述べてきたが、欠陥がある素子の問題は単一パス方法、および必要な放射線線量パターンを達成するために3以上のパスを使用する多重パス方法でも生じる。

【0023】

したがって、マスクなしリソグラフィの欠陥がある素子の効果を補償することに伴う問題が残る。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0024】

したがって、必要とされるのは、マスクなしリソグラフィの欠陥がある素子の効果を、より効率的かつ効果的に補償することができるリソグラフィの方法および装置である。

【課題を解決するための手段】

【0025】

本発明の実施形態によると、デバイス製造方法であって、照明システムを使用して放射線の投影ビームを提供するステップと、投影ビームの断面にパターンを与えるために、個々に制御可能な素子のアレイを使用するステップと、放射線のパターン形成したビームを基板の目標部分に投影するステップとを含み、投影された放射線パターンが複数のピクセルを有し、したがって欠陥がある素子に対する補償が必要でない方法が提供される。素子は、各ピクセルが、露光ステップで目標部分に所定の正常な最大線量以下の放射線線量を送出するように制御される。欠陥がある素子の補償が必要な場合、方法は、少なくとも1つの選択されたピクセルが、露光ステップで、正常な最大線量より大きい、増加した放射線線量を送出するように、素子を制御する。これは、以下のうちの少なくとも1つを少なくとも部分的に補償する。つまり、(a)同じ露光ステップで、アレイの既知の位置における欠陥がある素子の、選択されたピクセルに隣接するピクセルに及ぼす効果、および(b)別の(つまり異なる)露光ステップで、既知の欠陥がある素子から影響されたピクセルによるある位置の露光で生じた、選択ピクセルのその位置における目標部分の露光不足を補償するのである。素子を例外的に制御するステップも、補償ステップとすることができる。

【0026】

上記で検討したように、従来の補償方法は、標準的な印刷最大値、つまり1つの露光ス

10

20

30

40

50

トップ/書き込みパスで十分に白く欠陥がないピクセルによって提供される線量まで、補償線量を使用するようにしていた。したがって、補償は、補償しないと黒またはグレーである投影パターンの選択されたピクセルによって送出される線量を増加させる程度のものであった。

【 0 0 2 7 】

対照的に、本発明のこの実施形態によると、標準的な印刷について予め決定された標準的の最大値までの線量を使用するが、この方法は、補償目的のために少なくとも1つの増量した線量を残しておく。これによって、投影された放射線パターンで、その名目上の白のピクセルを補償目的で使用可能にすることができる。したがって、黒のままのピクセルが、周囲にある白のピクセルのグループの中央に当たっても、同じ露光ステップにて、この
10
ような隣接する白のピクセルのうち1つまたは複数送出する放射線の線量を名目上十分に白の値より高い値まで増加させることによって、これを補償することができる。これは、補償目的のためにのみ、素子の最高輝度状態（つまり投影されたビームと相互作用して、ピクセルの輝度に最も貢献する状態）のうち1つまたは複数を残しておくことによって都合よく達成することができ、比較的低い輝度状態は、標準的印刷に使用される。

【 0 0 2 8 】

多重パス（つまり複数露光のステップ）の例では、1つのステップで、以前のステップで露光出不足の位置へ、または既知の欠陥のある素子に対応するピクセルに露光した結果として、その後のパスで受け取る線量が低下する位置へ、送出する線量を増加させること
20
ができる。増加した線量は、特定の実施形態では、別のステップでいかなる程度の露光不足があっても、1つのステップで完全に補償するのに十分な大きさである。特定のステップで、同じステップの欠陥のあるピクセルによる効果を補償する必要がなくなる。

【 0 0 2 9 】

概して、多ステップ方法では、各ステップの欠陥のある素子の効果を、そのステップで隣接するピクセルを使用して可能な限り補償する。これにより、他の1つまたは複数のステップで提供すべき補償の量が減少する。

【 0 0 3 0 】

同じ露光ステップで隣接ピクセルを使用する補償を、同期補償と呼ぶと都合がよく、先行するステップまたは後続するステップでの補償は、それぞれ事前補償および事後補償と呼ぶことができる。
30

【 0 0 3 1 】

従来の方法と比較すると、上記の実施形態が、同じ数のパス/露光ステップで同じ時間に基板上に同じ最終的放射線線量パターンが生成される場合、より高輝度のビームを送出する照明システムを使用することができる。標準的な印刷最大値を超える放射線線量を送出する能力を提供するために、輝度を上げる必要がある。その結果、費用が増大するが、白のピクセルで補償できる結果として、パターン品質の大幅な改善が達成され、さらなる利点は、スループットを低下させるような追加のクリーンアップパスが回避されることである。

【 0 0 3 2 】

一例では、補償ステップで送出可能な放射線線量の増大量は、標準的な最大線量より少
40
なくとも1.1倍、1.5倍、あるいは2倍も大きい。最後のケースでは、2パスシステムにおいて、1つの露光ステップにおける補償線量は、他のパスで黒のままのピクセルによって送出されている標準的な白の線量ではなく、ゼロの線量を完全に補償することができる。最大に増加した線量が、標準的な最大線量の2倍未満である場合は、十分に補償するために事前または事後補償に加えて、多少の同時補償が必要である。

【 0 0 3 3 】

通常、基板は、予め決定された放射線線量パターンが送出される目標表面を有する。この例では、線量パターンは、少なくとも予め決定された閾値に等しい放射線線量が送出される名目上の白の領域と、予め決定された閾値より少ない放射線線量が送出される名目上の黒の領域とを有する。通常通り素子を制御するステップ（つまり標準的な印刷ステップ
50

)は、白の領域に投影される(つまり当たる)各ピクセルが、露光ステップにて予め決定された標準的最大線量以下の放射線線量を送出するように、素子を制御することを含む。したがって、補償ステップは、選択されたピクセルがそれぞれ白の領域に投影され、その白の領域に増量された放射線線量を送出するように、素子を制御することを含む。つまり、補償は、白の領域が選択的に、正常な白の印刷閾値を超える過剰な線量を受けることを含む。このように、計算された大きさの増加線量を送出して、同じ露光ステップで同じ白の領域に当たる隣接の死んでいるピクセルを補償するために、白の領域に当たるピクセルを選択することができる。代替的または追加的に、先行する露光ステップまたは後続の露光ステップで欠陥があるピクセルによって露光不足である位置で、白の領域に増量した線量を送出するようにピクセルを選択することができる。

10

【0034】

一例では、基板は放射化閾値を有する放射線感光性材料(例えばレジスト)の層を有することができ、予め決定した閾値は、その放射化閾値と等しくてよい。そのような場合、目標表面はその層の表面である。1回パスの例では、予め決定した閾値より大きくなるように、標準的最大線量を構成する。多重パスの例の場合、標準的最大線量は、予め決定した閾値より少なく、予め決定した閾値の半分より多くてよい。

【0035】

一例では、方法は、露光ステップのうち2つを含むことができ、2つの露光ステップを組み合わせ、予め決定した放射線線量パターンを目標表面の共通目標部分に送出する。各ステップで、同じアレイの素子を使用してよいが、異なるセットの制御可能素子に対応する異なるセットのピクセルが、共通目標部分の露光に使用される。あるいは、異なるアレイを使用してよい。上述したように、各露光ステップは、欠陥がある要素がそのステップに及ぼす効果を、ほぼ同期して補償することを含んでよい。追加的または代替的に、第一露光ステップは、第二露光ステップの露光不足の補償ステップを含んでよく、第二露光ステップは、第一露光ステップの露光不足の効果を事後補償することを含んでよい。

20

【0036】

一例では、投影された放射線パターンの各ピクセルは、アレイの個々の素子に対応する。したがって、素子を例外的に制御するステップは、対応するピクセルが増加した放射線線量を送出するように、選択された素子を制御することを含んでよい。

【0037】

一例では、アレイ状の素子は、既知の位置に欠陥がある素子を含む。この例では、補償ステップは、欠陥があるピクセルのすぐ隣にあり、対応するピクセル(つまり、欠陥がある素子に対応するピクセル)が、増加した放射線線量を送出するように、欠陥がある素子のすぐ隣にある1つまたは複数の素子を制御することを含んでよい。したがって、欠陥がある素子が白の領域に当たる場合、その効果は、同じ白の領域に当たる周囲のピクセルが、増加した線量を送出するように、欠陥がある素子を囲む素子を制御することによって補償することができる。

30

【0038】

ほぼ同期した補償を実行するために、投影された放射線パターンの各ピクセルは、主に個々の対応する素子に依存するが、そのアレイの個々の対応する素子にすぐ隣接する素子にも依存する輝度分布を有する。

40

【0039】

様々な例で、線量の制御は様々な方法で達成することができる。例えば、ピクセルの輝度は、素子の状態を制御するか、投影ビームの輝度を制御する(例えば投影ビームがパルス状レーザソースによって供給されている場合、例えば10nsから30nsなどの特定のパルス長さであれば、レーザパルスの高さを調節する)、あるいはその両方を実行することによって調節することができる。あるいは、例えばレーザパルス長を調節することによって、ピクセルの継続時間を調節することができる。

【0040】

一例では、各ピクセルが送出する放射線線量の制御は、ピクセル輝度を制御(調節)す

50

ることによって達成される。したがって、素子を通常通りに制御するステップは、各ピクセルが予め決定された標準的の最大輝度以下のピーク輝度を有するように、素子を制御することを含み、素子を例外的に制御するステップは、選択された各ピクセルが、標準的の最大輝度より高い、増加したピーク輝度を有するように、素子を制御することを含むことができる。増加したピーク輝度は、少なくとも約1.1倍、1.5倍、または2倍までも標準的の最大輝度より高くてもよく、したがって補償目的のために、標準的な印刷に使用する0~100%の上に100~200%の輝度「上部余裕」が残される。

【0041】

一例では、欠陥がない場合に、少なくとも3つの状態のうち1つへと選択的に適応するように、各素子が制御可能であるアレイ状の素子を使用する。これらの状態は、(a)対応するピクセルによって送出される放射線線量への寄与が最小になるように素子が投影ビームと相互作用する標準的な黒の状態、(b)対応するピクセルによって送出される放射線線量への寄与が増加するように素子が投影ビームと相互作用する、少なくとも1つの名目上グレーの状態、および(c)対応するピクセルに送出される放射線線量への寄与が、どのグレー状態よりも大きくなるように素子が投影ビームと相互作用する、少なくとも1つの名目上白の状態である。これで、黒またはグレーの状態の素子セットを使用して、印刷を実行し、白の状態の素子を使用して補償を実行する。

10

【0042】

一例では、プログラマブルミラーアレイなどの制御可能なアレイで、ある範囲の傾斜角度に適応するために各ミラー素子が制御可能であるアレイを使用し、したがって素子の状態を使用して、帝王するピクセルによって送出される線量を、そのピクセルの輝度に影響を及ぼすことによって測定することができる。

20

【0043】

本発明を実現する方法は、単一の黒の状態、単一のグレーの状態、および単一の白の状態を有する素子を使用して実行してよいが、一連のグレーの状態および一連の白の状態のうち一方に選択的に適応するために、欠陥がない各素子が制御可能であってもよく、各グレーまたは白の状態は、対応するピクセルのピーク輝度の個々の寄与に対応する。グレーおよび白の状態は、別個の列または連続的な列を形成することができる。欠陥がない各素子は、グレースケール印刷を遂行できるように、64以上もの状態に適応するように制御可能でよいことが好ましい。したがって、投影された放射線パターンの位置と、制御可能な素子のアレイによって画定された「格子」との間の独立性を達成することができる。

30

【0044】

一例では、一連の白の状態が最も白い状態を含み、これは素子がビームと相互作用して、対応するピクセルのピーク輝度に最大限に寄与し、最大限の寄与とは、グレーの状態に対応する最大の寄与率の少なくとも2倍である。つまり、最も白い状態の素子は、最高輝度のグレーの状態にある素子に対応するピクセルの2倍の輝度を有するピクセルを提供することができる。

【0045】

この例では、黒の状態とグレーの状態がまとまって、第一セットの状態を形成し、これは標準的なビームのパターン形成、および基板の目標表面の露光に使用され、白の状態は第二セットの状態を形成し、これは現在の露光ステップまたは先行または後続の露光ステップの欠陥がある素子の効果を補償する際に使用するために残される。この方法で第二セットの状態を残しておく、露光の上部余裕が提供される。

40

【0046】

本発明の別の実施形態は、放射線の投影ビームを供給するリソグラフィシステム、投影ビームの断面にパターンを与える働きをする個々に制御可能な素子のアレイ、素子を制御するように構成されたコントローラ、基板を支持する基板テーブル、およびパターン形成したビームを基板の目標部分に投影する投影システムを有するリソグラフィ装置を提供する。投影された放射線パターンは複数のピクセルを有し、各ピクセルは、個々の放射線線量を目標部分に送出する。各素子は、欠陥がない場合、少なくとも3つの状態のうち1つ

50

に選択的に適応するように制御可能である。これらの状態は、(a) 対応するピクセルによって送出される放射線線量への寄与が最小になるように素子が投影ビームと相互作用する標準的な黒の状態、(b) 対応するピクセルによって送出される放射線線量への寄与が増加するように素子が投影ビームと相互作用する、少なくとも1つの名目上グレーの状態、および(c) 対応するピクセルに送出される放射線線量への寄与が、どのグレー状態よりも大きくなるように素子が投影ビームと相互作用する、少なくとも1つの名目上白の状態である。コントローラは、通常、黒またはグレーの状態のうち1つに各素子が適用するように、素子を制御するよう構成される。コントローラはさらに、白の状態に適応して、欠陥があるピクセルの効果を補償するために、素子を選択的に制御するように構成される。

10

【0047】

この実施形態では、コントローラは、通常の標準的基板露光に黒およびグレーの状態を使用し、補償の目的で白の状態を残しておく、つまり欠陥がある素子が送出される線量パターンに影響を及ぼしたか、及ぼしている、あるいは今後及ぼす場合にのみ使用するように構成される。欠陥がない各素子は、一連のグレーの状態のうち1つ、および一連の白の状態のうち1つに選択的に適用するように制御可能であり、素子は、プログラマブルミラーアレイによって供給できるので都合がよい。

【0048】

一例では、予め決定された放射線線量パターンが送出される先の目標表面を有する基板と組み合わせたりソグラフィ装置がある。線量パターンは、少なくとも予め決定された閾値と等しい放射線線量が送出される名目上白の領域、および予め決定した閾値より少ない放射線線量が送出される名目上黒の領域を有する。これで、一連のグレーの状態は、増加した寄与率がグレーの状態で最大になる最大グレー状態を含むことができる。共通の露光時間に目標部分を各ピクセルに露光するように配置されている照明システムおよびコントローラ、および最大グレー状態にある対応する素子を有するピクセルに目標部分を共通の露光時間だけ露光するように構成されている照明システムおよび素子は、少なくとも予め決定した閾値に等しい線量を送出する。あるいは、最大グレー状態にある対応する素子を有するピクセルに目標部分を共通の露光時間だけ露光することは、予め決定した閾値より少ないが、予め決定した閾値の半分よりは多い線量を送出するように構成することができる。

20

30

【0049】

上記の実施形態は、補正した欠陥ピクセルより、または100%の標準的な白のみに制限された周囲のピクセルを使用する従来通りの補正方法よりも、優れたCD(電荷線量)の制御を可能にすることができる。

【0050】

上記の実施形態は、補正目的のために「白より白く」印刷する機能を提供するものと言うことができる。

【0051】

別の実施形態は、失われた線量をクリーンアップ方式で印刷するために、第三パスが必要ないようにすることができ、したがって同じ数の制御可能な素子アレイ(33%)を使用する場合には、結果として生じるスループットの低下、または素子アレイ、関連する電子機器、およびクリーンアップの線量を提供するために追加の素子が必要になった場合に、結果として生じる投影フィールドの拡大に対する追加の費用を回避することができる。

40

【0052】

本発明のさらなる実施形態、特徴および利点、さらに本発明の様々な実施形態の構造および動作を、添付図面に関して以下で詳細に説明する。

【0053】

本明細書に組み込まれ、その一部を形成する添付図面は、本発明を図示し、さらに、説明とともに本発明の原理を説明して、当業者が本発明を作成し、使用できるようにする働きをする。

50

【 0 0 5 4 】

次に、添付の略図を参照に、本発明について説明する。図面では同様の番号は同一の要素または機能的に類似した要素を示すものとする。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 5 5 】

【 図 1 】 本発明の一つの実施形態によるリソグラフィ装置を示したものである。

【 図 2 】 欠陥のあるピクセルの補償方法を示したものである。

【 図 3 】 本発明の一つの実施形態によるリソグラフィ方法の一部を示したものである。

【 図 4 】 本発明の一つの実施形態による方法で使用する欠陥のあるピクセルの補償ステップを示したものである。

10

【 図 5 】 本発明の一つの実施形態による方法で使用する、さらなる欠陥のあるピクセルの補償ステップを示したものである。

【 図 6 】 素子のアレイの一部、およびリソグラフィの目標基板上に生成された対応する輝度パターンを示したものである。

【 図 7 】 素子のアレイの一部、および本発明の一つの実施形態によるリソグラフィで目標基板上に生成された対応する輝度パターンを示したものである。

【 図 8 】 素子のアレイの一部、および本発明の一つの実施形態による補償ステップを含むリソグラフィ方法で目標基板上に生成された対応する輝度パターンを示したものである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 5 6 】

20

概要および用語

マイクロレンズアレイ描像システムを使用する本発明の一つの実施形態では、照明システムにあるビーム拡張器の視野レンズ（視野レンズは、2つ以上の別個のレンズから形成してよい）の機能は、視野レンズとマイクロレンズアレイの間の光線の全成分が平行で、マイクロレンズアレイに対して直角であることを保証することによって、投影システムをテレセントリック系にすること、である。しかし、視野レンズとマイクロレンズアレイの間の光線は、ほぼ平行であるが、絶対的平行性は達成可能でないことがある。

【 0 0 5 7 】

したがって、投影システムにある程度の非テレセントリック性があっても、本発明の一つの実施形態によると、瞳と基板テーブルの間に配置されたレンズ構成要素のうち1つまたは複数を変位することによって、焦点が不当に失われることなく、小さい倍率調整を達成することができる。

30

【 0 0 5 8 】

一つの実施形態では、投影システムが瞳を画定する。本文書で使用する「瞳」という用語は、パターンングシステムに対して異なる位置であるが、パターンングシステムに対して直角である投影ビームの軸線に対して同じ角度にてパターンングシステムを出る光線と、投影ビームの光線が交差する面を指す。

【 0 0 5 9 】

例えば、本発明の一つの実施形態によると、視野レンズが、最初に、自身とレンズのアレイとの間に完全に平行な放射線のビームを生成するように構成されたマイクロレンズ描像システムを仮定する。また、視野レンズに到達する光が発散していると仮定する。視野レンズをマイクロレンズアレイから変位させると、投影ビームがわずかに発散し、視野レンズをマイクロレンズアレイに向かって変位させると、投影ビームがわずかに収束する。しかし、視野レンズが比較的弱いレンズであると、基板の歪み（通常は100万分率のオーダー）を補償するために投影システムの倍率を変化させるのに必要な変位は、基板表面上の投影ビームの焦点に許容不能な程度まで影響を及ぼすことなく達成することができる。基板に対するマイクロレンズアレイの変位による焦点の変化は、1次の効果であり、その結果、2次効果の倍率が変化するが、それにもかかわらず有用な倍率調節を実行することができる。

40

【 0 0 6 0 】

50

この実施形態では、視野レンズは、1枚または2枚またはそれ以上のレンズで構成することができる。各視野レンズは、マイクロレンズアレイに対して単純に平行移動で移動するか、露光した基板の表面にわたって倍率の変化が異なるように、視野レンズを傾斜することができる。同様に、マイクロレンズアレイは、平行運動および/または傾斜で動作させることができる。

【0061】

本明細書で使用する「個々に制御可能な素子のアレイ」という用語は、基板の目標部分に所望のパターンを生成できるように、入射する放射線ビームにパターン形成した断面を与えるために使用することができる任意のデバイスを指すものと、広義に解釈されたい。「ライトバルブ」および「空間光変調器」(SLM)という用語も、この状況で使用することができる。このようなパターンニングデバイスの例について、以下で検討する。

10

【0062】

プログラマブルミラーアレイは、粘弾性制御層および反射面を有するマトリクスアドレス可能面を有してよい。こうした装置の基本的原理は、例えば反射面のアドレスされた領域は入射光を回折光として反射するが、アドレスされていない領域は入射光を非回折光として反射するといったことである。適切な空間フィルタを使用することにより、基板に到達するように回折光のみを残して、非回折光を反射ビームからフィルタすることができる。この方法において、ビームはマトリクスアドレス可能面のアドレスパターンに従ってパターン作成される。

【0063】

20

代替方法として、フィルタは回折光をフィルタで除去し、基板に到達するために非回折光のみを残してよいことが理解される。回折光学微小電子機械システム(MEMS)デバイスのアレイも、対応する方法で使用することができる。各回折性光学MEMSデバイスは、入射光を回折光として反射する格子を形成するために、相互に対して変形できる複数の反射性リボンを含むことができる。

【0064】

さらなる代替実施形態は、非常に小さいミラーのマトリクス配列を使用するプログラマブルミラーアレイを含むことができ、そのミラーはそれぞれ、適した局部電界を適用することによって、もしくは圧電作動手段を用いることによって、軸を中心に個々に傾斜することができる。この場合も、ミラーはマトリクスアドレス可能であり、それによりアドレスされたミラーはアドレスされていないミラーとは異なる方向に入射の放射線ビームを反射する。このようにして、反射されたビームはマトリクスアドレス可能ミラーのアドレスパターンに従いパターン形成される。必要とされるマトリクスアドレス指定は適切な電子手段を用いて実行することができる。

30

【0065】

前述の両方の状況において、個々に制御可能な素子のアレイは1つまたは複数のプログラマブルミラーアレイを有することができる。ここに参照を行ったミラーアレイに関するより多くの情報は、例えば、米国特許第US5,296,891号および第5,523,193号、並びに、PCT国際特許出願第WO98/38597および同WO98/33096に開示されている。詳細は当該文献を参照されたい。

40

【0066】

プログラマブルLCDアレイも使用することができる。このような構造の例が、米国特許第5,229,872号に開示されている。詳細は、当該文献を参照されたい。

【0067】

例えば形体の事前バイアス付与、光学近接補正形体、移相技術、および複数の露光技術を使用する場合、個々に制御可能な素子のアレイに「表示される」パターンは、基板の層または基板上に最終的に転写されるパターンとは非常に異なることがある。同様に、最終的に基板に生成されるパターンは、個々に制御可能な素子のアレイ上に任意の瞬間に形成されたパターンに対応しないことがある。これは、基板の各部分に形成される最終的なパターンが、所与の期間にわたって、または個々に制御可能な素子のアレイ上のパターンお

50

よび/または基板の相対的位置が変化する間の所与の露光回数にわたって構築する配置構成に当てはまることもある。

【0068】

リソグラフィ装置の使用法に関して、本文ではICの製造において特に言及しているが、本明細書で説明するリソグラフィ装置が他の用途においても使用可能であることは理解されるべきである。例えば、これは、DNAチップ、MEMS、MOEMS、集積光学装置、磁気ドメインメモリ用ガイダンスおよび検出模様、平面パネルディスプレイ、薄膜磁気ヘッド等の製造に使用され得る。こうした代替的な用途においては、本文にて使用した「ウェハ」または「ダイ」といった用語は、それぞれ「基板」または「目標部分」といった、より一般的な用語と同義と見なし得ることは当業者にとって明らかである。本明細書で言及する基板は、露光前または露光後に、例えばトラック（通常はレジストの層を基板に塗布し、露光したレジストを現像するツール）または計測または検査ツールで処理することができる。適宜、本明細書の開示は、以上およびその他の基板処理ツールに適用することができる。さらに、基板は、例えば多層ICを生成するために、複数回処理することができ、したがって本明細書で使用する基板という用語は、既に複数の処理済み層を含む基板も指す。

10

【0069】

本明細書では、「放射線」および「ビーム」という用語は、イオンビームあるいは電子ビームといったような粒子ビームのみならず、紫外線（UV）放射線（例えば、365nm、248nm、193nm、157nm、あるいは126nmの波長を有する）および超紫外線（EUV）放射線（例えば、5nm～20nmの範囲の波長を有する）を含むあらゆるタイプの電磁放射線を網羅するものとして使用される。

20

【0070】

本明細書において使用する「投影システム」なる用語は、例えば使用する露光放射線、または浸漬流体の使用や真空の使用などの他の要因に合わせて適宜、例えば屈折光学システム、反射光学システム、および反射屈折光学システムを含むさまざまなタイプの投影システムを網羅するものとして広義に解釈されるべきである。本明細書において「レンズ」なる用語を使用した場合、これはさらに一般的な「投影システム」なる用語と同義と見なされる。

【0071】

照明システムは、放射線の投影ビームの指向、成形、あるいは制御を行う屈折、反射、および反射屈折光学構成要素などの様々なタイプの光学構成要素も含むことができ、こうした構成要素もまた以降において集約的に、あるいは単独的に「レンズ」と称する。

30

【0072】

リソグラフィ装置は2つ（デュアルステージ）あるいはそれ以上の基板テーブル（および/または2つもしくはそれ以上のマスクテーブル）を有するタイプのものでよい。このような「多段」機械においては、追加のテーブルが並列して使用される。もしくは、1つ以上の他のテーブルが露光に使用されている間に予備工程が1つ以上のテーブルにて実行される。

【0073】

リソグラフィ装置は、投影システムの最終要素と基板との間の空間を充填するよう、基板を比較的高い屈折率を有する液体（例えば水）に浸漬するタイプでもよい。浸漬液は、例えばマスクと投影システムの第一要素との間など、リソグラフィ装置の他の空間に適用してもよい。浸漬技術は、投影システムの開口数を増加させるため、当技術分野で周知である。

40

【0074】

さらに、装置には、流体と基板の照射部分との相互作用を可能にする（例えば、基板に化学物質を選択的に取り付けるか、基板の表面構造を選択的に改造する）ために、流体処理セルを設けることができる。

【0075】

50

リソグラフィ投影装置

図1は、本発明の実施形態によるリソグラフィ投影装置100を概略的に示したものである。装置100は、少なくとも放射線システム102、個々に制御可能な素子104のアレイ、オブジェクトテーブル106（例えば基板テーブル）および投影システム（「レンズ」）108を含む。

【0076】

放射線（例えばUV放射線）の投影ビーム110を供給するために、放射線システム102を使用することができ、これはこの特定のケースでは、放射線ソース112も有する。

【0077】

投影ビーム110にパターンを適用するために、個々に制御可能な素子104のアレイ（例えばプログラマブルミラーアレイ）を使用することができる。概して、個々に制御可能な素子104のアレイの位置を、投影システム108に対して固定することができる。しかし、代替構成では、投影システム108に対して正確に位置決めするために、個々に制御可能な素子104のアレイを、位置決めデバイス（図示せず）と接続してよい。本明細書で示すように、個々に制御可能な素子104は反射タイプである（例えば、個々に制御可能な素子の反射性アレイを有する）。

【0078】

オブジェクトテーブル106に、基板114（例えばレジストを被覆したシリコンウェハまたはガラス基板）を保持する基板ホルダ（特に図示せず）を設けることができ、オブジェクトテーブル106は、投影システム108に対して基板114を正確に位置決めするために、位置決めデバイス116に接続することができる。

【0079】

投影システム108（例えばクォーツおよび/またはCaF₂レンズシステム、またはこのような材料から作成したレンズ要素を有する反射屈折システム、またはミラーシステム）を、ビーム分割器118から受け取ったパターン形成ビームを基板114の目標部分120（例えば1つまたは複数のダイ）に投影するために使用することができる。投影システム108は、個々に制御可能な素子104のアレイの像を基板114に投影してよい。あるいは、投影システム108は、個々に制御可能な素子104のアレイの素子がシャッタとして作用する2次ソースの像を投影してよい。投影システム108は、2次ソースを形成し、微小スポットを基板114に投影するために、マイクロレンズアレイ（MLA）を有してもよい。

【0080】

ソース112（例えばエキシマレーザ）は、放射線122のビームを生成することができる。ビーム122は、直接的に、または例えばビーム拡張器126などの調整デバイス126を横断した後に、照明システム（照明装置）124に供給される。照明装置124は、ビーム122の輝度の外部および/あるいは内部放射範囲（一般的にそれぞれ、outerおよびinnerと呼ばれる）を設定する調節デバイス128を有してよい。また、照明装置124は、通常、積分器130およびコンデンサ132などの様々な他の構成要素を含む。このように、個々に制御可能な素子104のアレイに衝突する投影ビーム110は、その断面にわたり所望する均一性と輝度分布とを有する。

【0081】

図1に関して、ソース112は、リソグラフィ装置100のハウジング内にある（これは例えばソース112が水銀ランプである場合に多い）。代替実施形態では、ソース112は、リソグラフィ投影装置100から離してもよい。この場合、放射線ビーム122は（例えば適した誘導ミラーの助けにより）装置100内に誘導される。この後者のシナリオでは、ソース112がエキシマレーザである場合が多い。これらのシナリオは両方とも、本発明の範囲に入るものと想定されることが理解される。

【0082】

ビーム110はその後、ビーム分割器118を使用して誘導された後、個々に制御可能

10

20

30

40

50

な素子104のアレイと交差する。ビーム110は、個々に制御可能な素子104のアレイで反射した後、投影システム108を通過し、これによりビーム110を基板114の目標部分120に収束させる。

【0083】

位置決めデバイス116（および場合によっては、ビーム分割器140を介して干渉計のビーム138を受け取るベースプレート136上にある干渉計測定デバイス134）の助けにより、基板テーブル106は、ビーム110の経路における異なる目標部分120に位置を合わせるように、正確に運動可能である。個々に制御可能な素子104のアレイの位置決めデバイスを使用する場合、これは、例えば走査中にビーム110の経路に対して個々に制御可能な素子104のアレイの位置を正確に補正するために使用可能である。概して、オブジェクトテーブル106の運動は、図1に明示的に図示されていないロングストロークモジュール（粗動位置決め）およびショートストロークモジュール（微動位置決め）にて実現される。個々に制御可能な素子104のアレイを位置決めするために、同様のシステムも使用してよい。投影ビーム110は、代替的/追加的に移動可能でよく、オブジェクトテーブル106および/または個々に制御可能な素子104のアレイは、必要な相対的運動を提供するために、固定位置を有してよい。

10

【0084】

実施形態の代替構成では、基板114が基板テーブル106上で移動可能である状態、基板テーブル106を固定することができる。そうする場合、基板テーブル106には、平坦な最上表面に複数の開口を設け、開口を通して気体を供給し、基板114を支持することができる気体のクッションを提供する。これを、空気支承構成と呼ぶと都合がよい。基板114は、1つまたは複数のアクチュエータ（図示せず）を使用して、基板テーブル106上を移動し、これはビーム110の経路に対して基板114を正確に位置決めすることができる。あるいは、開口を介しての気体の通過を選択的に開始し、停止することによって、基板114を基板テーブル106上にて移動させることができる。

20

【0085】

本発明によるリソグラフィ装置100は、基板上のレジストを露光するように記載されているが、本発明は、この使用法に制限されず、装置100は、レジストなしリソグラフィで使用するために、パターン形成した投影ビーム110を投影することにも使用してよいことが理解される。

30

【0086】

ここに表した装置100は4つの好ましいモードにて使用可能である。

1. ステップモード。個々に制御可能な素子104のアレイ上にあるパターン全体を、1回で（つまり1回の「フラッシュ」で）目標部分120に投影する。次に、パターン形成した投影ビーム110で異なる目標部分120を照射するために、基板テーブル106がx方向および/またはy方向に異なる位置へと移動する。

2. 走査モード。基本的にステップモードと同じであるが、所与の目標部分120を1回の「フラッシュ」で露光しない。代わりに、個々に制御可能な素子104のアレイが、速度vで所与の方向（いわゆる「走査方向」で、例えばy方向）に移動可能であり、したがってパターン形成された投影ビーム110が、個々に制御可能な素子104のアレイを走査する。同時に、基板テーブル106を速度 $V = Mv$ で同じ方向または反対方向に同時に移動させ、ここでMは投影システム108の倍率である。このように、解像度を妥協せずに、比較的大きい目標部分120を露光することができる。

40

3. パルスモード。個々に制御可能な素子104のアレイは、基本的に静止状態に維持され、パルス状放射線システム102を使用して、パターン全体を基板114の目標部分120に投影する。基板テーブル106は、基本的に一定の速度で移動し、したがってパターン形成された投影ビーム110が、基板106にわたる線を走査する。個々に制御可能な素子104のアレイのパターンは、放射線システム102のパルス間で必要に応じて更新され、基板114上の必要な位置で連続する目標部分120が露光されるように、パルスのタイミングをとる。その結果、パターン形成された投影ビーム110が、基板11

50

4を走査し、基板114の細片で完全なパターンを露光することができる。線単位で基板114全体が露光されるまで、このプロセスを繰り返す。

4.連続走査モード。基本的にパルスモードと同じであるが、ほぼ一定の放射線システム102を使用し、パターン形成された投影ビーム110が基板114を走査し、それを露光するにつれ、個々に制御可能な素子104のアレイ上のパターンを更新する。

【0087】

上述した使用モードの組合せおよび/または変形、または全く異なる使用モードも使用することができる。

【0088】

図1に示した実施形態では、個々に制御可能な素子104のアレイはプログラマブルミラーアレイである。プログラマブルミラーアレイ104は非常に小さいミラーのマトリクス配列を有し、これはそれぞれ、軸線の周囲で個々に傾斜することができる。傾斜の程度が、各ミラーの状態を画定する。素子に欠陥がない場合、ミラーは、コントローラからの適切な制御信号によって制御可能である。欠陥がない各素子は、投影された放射線パターンの対応するピクセルの輝度を調節するように、一連の状態のいずれか1つに適應するよう制御可能である。

【0089】

一例では、一連の状態は、(a)ミラーによって反射した放射線が、対応するピクセルの輝度分布に寄与する程度が最低か、ゼロにもなる黒の状態、(b)反射した放射線が最大限に寄与する最も白い状態、および(c)反射した放射線が中間の寄与をする複数の中間状態を含む。状態は、標準的なビームのパターン形成/印刷に使用する標準的セットと、欠陥がある素子の効果を補償するために使用する補償セットとに分割される。標準的セットは、黒の状態、および第一グループの中間状態を有する。この第一グループは、グレー状態と呼ばれ、最低の黒の値から特定の標準的最大値まで、対応するピクセルの輝度に対する寄与率が漸進的に増加するように選択可能である。補償セットは、残りの第二グループの中間状態と最も白い状態とを有する。この第二グループの中間状態を白の状態と称し、これは、標準的最大値より大きく寄与し、最も白い状態に対応する真の最大値まで漸進的に増加するように選択可能である。第二グループの中間状態は、白の状態と称するが、これは単に標準的露光ステップと補償露光ステップとの区別を容易にするためであることが理解される。複数の状態全体を、代替的に黒と白の間にあるグレー状態のシーケンスと呼ぶことができ、これはグレースケール印刷を可能にするように選択可能である。

【0090】

例示的動作

図6は、従来のリソグラフィシステムの構成および方法を示し、ここでは制御可能な素子2の列を使用して、ピクセルのパターンを基板に投影する。素子は、適切な制御信号によって調節できる傾斜角度を有する小さいミラーである。図6の上部分は、4枚のミラー2wを最も白い状態で、2枚のミラー2bを黒の状態へと傾斜した姿勢で示す。図6の下部分は、非常に単純化した形態で、素子2の列に対応するピクセルの中心を通る目標基板上の線に沿った輝度分布を示す。図で見られるように、白の要素2w(w=白)に対応するピクセルの輝度は、最大値 I_0 であり、黒の要素2b(b=黒)に対応するピクセルの輝度はほぼゼロである。輝度 I_0 を有するピクセルは、目標の白の領域に投影され、黒のピクセルへの遷移は、白の領域の縁部に配置される。したがって、この従来通りの方法では、可能な限り最も白い(例えば最高輝度の)素子状態が、白の領域の標準的露光に使用される。

【0091】

図7は、本発明の一つの実施形態によるリソグラフィ装置100の動作の第一状態を示し、図8は、本発明の実施形態によるリソグラフィ装置100の動作の第二状態を示す。例えば、図7は、標準的露光ステップ(つまり標準的印刷)の一部を示し、図8は、基板を露光し、補償を提供する素子の標準的制御と例外的制御の組み合わせを示す。

【0092】

10

20

30

40

50

図6とは対照的に、図7は、本発明を実現する方法で標準的な基板露光を実行するために使用する（つまり、欠陥のある素子の補償が必要ない場合の）図1の装置のプログラマブルミラーアレイの素子2の列を示す。ここでは、基板の白の領域に当たるピクセルを有する素子2g（g = グレー）は、グレーの状態の1つにある。しかし、十分な出力の放射線ソースが使用され、したがって対応する素子が、輝度が低下したグレーの状態にあっても、白の領域に当たるピクセルは、なお輝度 I_0 を有する。基板の黒の領域に当たるピクセルを有する素子2bは、黒の状態に設定される。したがって、図1の装置のコントローラは、目標の白の領域が、標準状態では、白ではなくグレーの状態に設定された対応する素子を有するピクセルに露光されるように、素子を制御するよう構成される。

【0093】

グレーのピクセルで標準的に印刷することにより、100～200%という輝度の上部余裕の窓を、標準的に使用する0～100%の上に残すことができる。したがって、図1の装置は、適切に配置されたコントローラとともに使用して、先行または後続の露光ステップにて黒のままのピクセル（十分な標準的白の輝度で印刷するよう意図されている）によって失われた輝度を追加することができる。この補償は、その後のピクセルパターンがピクセル同士重なる場合に、都合よく達成することができる。

【0094】

図8は、図7の素子2の列を示し、この場合も白の形体の縁部を印刷するために使用されている。しかし、今回は、白の領域の部分が先行する露光線量で、黒のままのピクセルに露光した結果、ゼロの線量を受け取っている。したがって、素子2gのうち3個は標準的に制御されているが、標準的白の印刷に適切なグレーの状態に対応するために、選択された素子2wは、対応するピクセルが輝度 $2I_0$ を有するように、最も白の状態に設定されている。

【0095】

一例では、投影された放射線パターンの微細な位置決めは、グレーのスケーリングによって遂行ことができ、これによってミラーの格子からの独立性が可能になる。

【0096】

一例では、ピクセルごとに幾つかの、例えば64のグレーレベルを達成するために、欠陥がない素子が制御可能であってよい。この例では、制御システムによって、「動作不能の」ピクセルの意図されたグレーレベルに可能な限り近づくことができる。

【0097】

「格子外」印刷を達成できる方法の例は、以下の通りである。一連の6個のピクセルを以下の状態、つまりBBWWBB（ここでB = 黒、W = 白、および一連の6個のピクセルが印刷される線を横切る）に設定することにより、ピクセル2個分の幅の「白」の線を格子上で印刷することができる。ピクセル2個分の幅の線を、格子の位置のちょうど中途に印刷する（つまり格子外で印刷する）には、4個のピクセルをBBGWGB（ここでGはグレーの状態で、黒と白の間）に設定することができる。

【0098】

図7から図8は、制御可能な傾斜ミラーを有する素子のアレイを示すが、代替実施形態では様々な制御可能な素子のアレイを使用してよいことが理解される。例えば、ピストンミラー、つまりピストンと傾斜の機能の組み合わせを有するミラー（いわゆるピストン傾斜ミラー）を使用してよい。ピストンミラーの場合、黒のピクセルは、隣接するミラー間の 180° の位相差（例えば $1/4$ の高さの差で、反射により2回通過し、 180° となる）によって生成される。つまり、ウェハ上のピクセルは、実際に、2つの解像度ピストンミラーの協働的效果によって獲得される。このように、ピクセルが、ミラー「の間」に存在するものと見ることができる。傾斜とピストンミラーの両方が、任意の所望のパターンをウェハに投影する自由を提供し、グレースケーリングがミラー格子上でパターンを移動させるのを可能にする。したがって、この例では、必ずしも制御可能な素子のアレイのミラーに、目標基板上のピクセルを1対1でマッピングしなくてよい。ピクセルは、ピストンミラーなどの素子の組み合わせによって生成することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 9 】

図3は、本発明の1つの実施形態によるリソグラフィ方法の一部を示し、これは図1で示したような装置で実行することができる。白および黒の領域の線量パターンを、基板Wのレジスト層の目標表面に供給する。パターンの一部が、黒の領域と白の領域間に望ましい境界を線13で示して図示されている。ピクセルのパターン1が目標表面に投影され、各ピクセルは、投影する前に放射線ビームのパターン形成に使用するアレイの個々の制御可能な素子に対応する。単純にするために、パターンはわずか16個のピクセルで構成されるように図示されている。実際には、ピクセルの数が百万個を超えることがある。白の領域に当たるピクセルは、標準的にはそのグレーの輝度値のいずれかに設定され、黒の領域に当たるピクセルは、標準的には黒に設定される。しかし、白の領域に当たるピクセル11は、欠陥のある素子に対応し、補償しないと所望の線量を送出することができない。これを補償するには、同じ白の領域に当たる隣接ピクセル10のうち1つまたは複数の輝度を、標準的な印刷最大値より上まで上げる。これは、対応する欠陥がない素子を、その白の補償状態のうち1つに設定することによって実行される。したがって、白の領域内で、黒の領域に当たるピクセル12を使用せずに補償を遂行することができる。

10

【 0 1 0 0 】

所望のように補償し、所望のように縁部を画定するために、選択されたピクセルの数および位置、および実際に選択された各ピクセルの増加した輝度の大きさを計算することができる。また、従来の補償技術での問題は、意図された黒の領域への補償線量を取り消せなかったことであったが、本発明の上記の実施形態では、隣接する欠陥品のピクセルを補償するために、1つの露光ステップで白の位置に選択的に過剰な線量を与えると、その後のステップで「過剰線量」の位置に与える線量を減少させることによって、自動的に補償することができる。

20

【 0 1 0 1 】

図4は、本発明の実施形態による2パス方法の事前および事後補償を示す。これは、同じ露光ステップで隣接ピクセルを使用し、ほぼ同期して補償する例を示す図3とは対照的である。図4の実施形態では、第一露光ステップ中に、対応する素子のアレイを使用して、ピクセルパターン1aを基板に投影する。第二ステップで、同じアレイにより第二ピクセルパターン1bを基板に投影する。投影されたパターンは重なるが、欠陥がある素子が基板の同じ部分に2回当たらないように、シフトされている。ここでも、説明を単純にするために、小さいパターン（例えば9個のピクセル）しか図示されていない。このように単純化した結果、第一および第二パスからの欠陥のあるピクセルが、（以下で説明するように）相互に隣接する。これは、実際には通常発生しない。アレイが100万個以上の素子を有し、死んでいる素子が100万個につき5個未満だからである。アレイの中心の素子に欠陥があり、したがって第一および第二パターンの対応するピクセル11a、11bが、黒のままのピクセルである。しかし、両方とも目標基板の白の領域に当たる。したがって、第一ステップでは、その後に第二ステップで死んでいるピクセル11bによって目標が露光不足になるのを補償するために、ピクセル13aを配置して、輝度を（例えば標準的な白の領域の印刷輝度より上まで）上げる。白の領域に当たる第一パターンの他のピクセル10aは、標準的なこれより低い白の印刷輝度を有するように構成され、黒の領域に当たるピクセル12aは、最低輝度を有するように構成される。同様に第二ステップでは、第一ステップで動作不能のピクセル11aによる目標の以前の露光不足を補償するために、ピクセル13bを配置して、輝度を上げる。欠陥がない残りのピクセルは全て、白の領域に当たり、標準的なこれより低い白の印刷輝度を有するように構成される。

30

40

【 0 1 0 2 】

図5は、本発明の1つの実施形態により事後補償を使用する2パスリソグラフィ方法を示す。ここでは、欠陥がある素子を含む第一アレイの素子を使用して、第一露光ステップで第一ピクセルパターン1cを投影し、欠陥があるピクセル11cを生じる。欠陥品の素子がない第二アレイを使用して、第二露光ステップで第二の重なるピクセルパターン1dを投影する。第一ステップでは、ピクセル12cは黒であり、ピクセル10cは標準的な

50

白の輝度を有し、ピクセル 1 1 c は黒のままのままであるが、標準的な白であるよう意図されている。第二ステップでは、標準的な白のピクセル 1 0 d と比較して、ピクセル 1 3 d の輝度を上げることによって、以前の黒のままのピクセル 1 1 c の補償を遂行する。この例のピクセル 1 2 d は、白の領域の外側に当たるので、黒である。

【 0 1 0 3 】

図 3、図 4 および図 5 で示した同時、事前および事後補償技術は、別個に使用するか、本発明を実現する 1 つの方法で組み合わせてもよいことが理解される。

【 0 1 0 4 】

本発明の実施形態では、標準的印刷線量より多い放射線線量を補償に使用するが、このことは、全体的な補償に寄与するために、標準的印刷線量（例えば黒またはグレーのピクセルによって送出される）を追加的に使用することを排除するものではないことも理解される。概して、ある線量パターン（例えば輝度分布）を与えるために、既知の欠陥のある素子を考慮に入れて、アレイの機能的素子の全ての状態を設定する。欠陥のある素子の効果を最適に補償するが、均一な形体の鮮明さを与える（つまり、形体の縁部の線量傾斜を均一にし、縁部を均一に画定する）よう、所与の線量パターンを設定する。この均一性は、基板の様々な位置で形成される名目的に同一のデバイスが、同じ特性（例えば同じ速度で進行するクロック）を有するようにするのに重要である。したがって、特定のポイントで、可能な限り最も鮮明な形体の縁部にはならないが、基板全体で均一に形体を画定する補償を遂行するように、素子の状態を制御する。

【 0 1 0 5 】

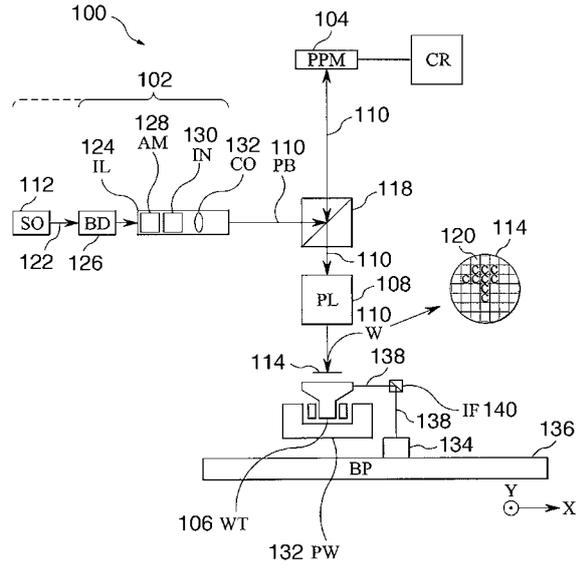
結論

以上、本発明の様々な実施形態を説明してきたが、これは例示としてのみ提示したもので、制限するものではないことを理解されたい。本発明の精神および範囲から逸脱することなく、形態および詳細の様々な変更を実行できることが、当業者には明白である。したがって、本発明の広さおよび範囲は、上述した例示の実施形態のいずれにも制限されず、請求の範囲およびその均等物によってのみ定義されるものである。

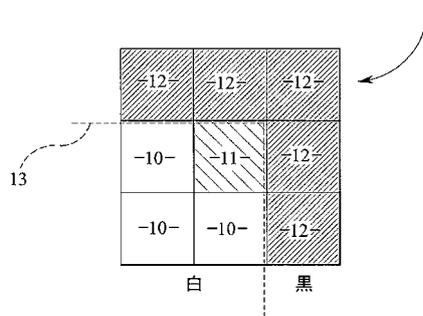
10

20

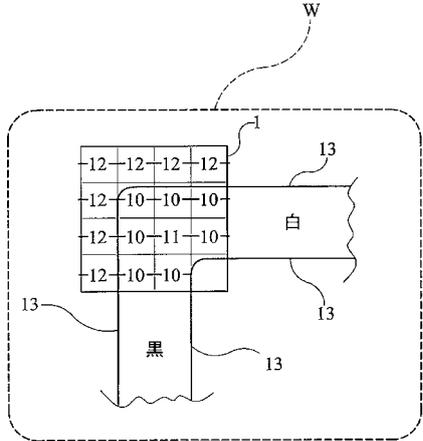
【 図 1 】



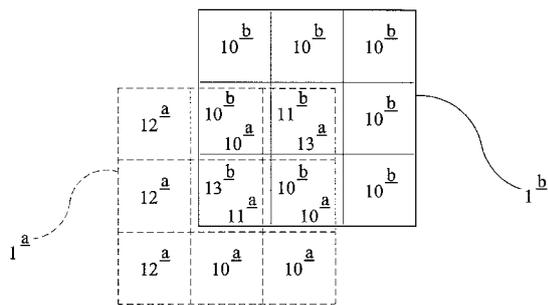
【 図 2 】



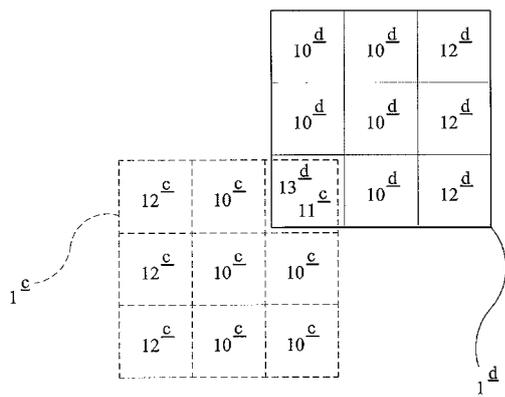
【 図 3 】



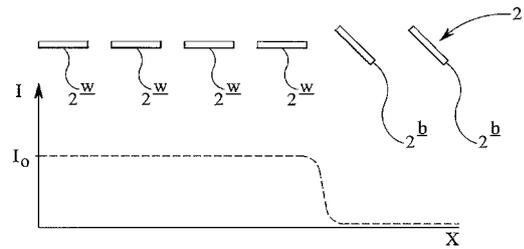
【 図 4 】



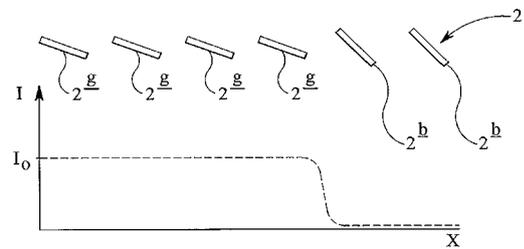
【 図 5 】



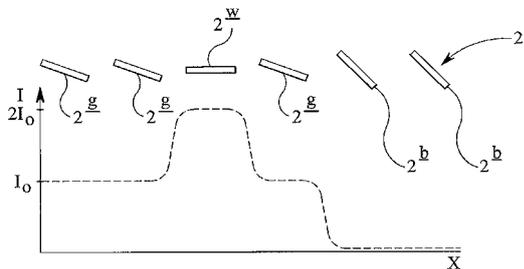
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2004/0047023(US, A1)
特開平08-054855(JP, A)
国際公開第02/041196(WO, A1)
米国特許第06312134(US, B1)
特開2001-135562(JP, A)
国際公開第2004/031831(WO, A1)
特開2002-367900(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 7/20 - 7/24 、 9/00 - 9/02 、
H01L21/027、21/30