

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7201364号

(P7201364)

(45)発行日 令和5年1月10日(2023.1.10)

(24)登録日 令和4年12月26日(2022.12.26)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/027 (2006.01)

H 0 1 L 21/30 5 4 1 M

H 0 1 J 37/305 (2006.01)

H 0 1 L 21/30 5 4 1 W

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

H 0 1 J 37/305 B

G 0 3 F 7/20 5 0 4

請求項の数 25 外国語出願 (全50頁)

(21)出願番号	特願2018-155191(P2018-155191)	(73)特許権者	509316578
(22)出願日	平成30年8月22日(2018.8.22)		アイエムエス ナノファブリケーション
(65)公開番号	特開2019-75543(P2019-75543A)		ゲーエムペーハー
(43)公開日	令和1年5月16日(2019.5.16)		オーストリア共和国 2 3 4 5 ブルン
審査請求日	令和3年8月2日(2021.8.2)		アム ゲビルゲ ヴォルフホルツガッセ
(31)優先権主張番号	17187922.4		2 0 - 2 4
(32)優先日	平成29年8月25日(2017.8.25)	(74)代理人	100080816
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)		弁理士 加藤 朝道
		(74)代理人	100098648
			弁理士 内田 潔人
		(74)代理人	100119415
			弁理士 青木 充
		(72)発明者	エルマー ブラツグマー
			オーストリア国 1 0 9 0 ウィーン シ
			ュトウルードウルホーフガッセ 1 7
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 マルチビーム描画装置において露光される露光パターンにおける線量関連の特徴再形成

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子マルチビーム描画装置(1)によってターゲット上に露光されるべきパターンを再計算する方法であって、前記装置は、前記ターゲット上の露光領域(r1)内の複数のピクセルを露光して、複数のビームレットからなる構造化ビームが前記ターゲット上に導かれ、前記露光領域(r1)上の経路に沿って移動される走査ストライプ露光によって前記パターンを生成し、後続の露光ステップと露光ステップの間に、前記構造化ビームは、前記ターゲット上の前記構造化ビームの幅よりも小さい露光長さ(LG)に対応する連続する距離だけ、前記ターゲット上をシフトされ、

前記パターン(p11)は、最初に複数のパターン要素(t1、t2、t3、t0)を含み、各パターン要素は、境界および内部を含むそれぞれの形状を有し、前記それぞれの形状の内部のピクセルについて露光されるべき露光線量の値を規定する、それぞれ割り当てられた線量(D1、D2、D3)に関連付けられ、

前記パターンの再計算は、前記荷電粒子マルチビーム描画装置内で走査ストライプ露光のために指定された最大露光のピクセルに対して露光されるべき露光線量の所定の標準値を表す公称線量(D1)に関して実行され、

前記公称線量(D1)から外れる割り当てられた線量(D2、D3)に関連付けられた少なくとも1つのパターン要素(t2、t3)について、前記パターン要素は、

所定の線量勾配関数(f_{DS})に基づき前記公称線量(D1)に関して前記割り当てられた線量(D2、D3)の値から再形成距離(x_E、f2、f3)を決定すること、

10

20

再形成パターン要素 (r_{t2} 、 r_{t3}) を形成すること、但し、該再形成パターン要素は、前記パターン要素 (t_2 、 t_3) の対応する境界セグメント (複数) の位置に対して、前記再形成距離に等しいオフセット距離だけかつそれぞれのセグメントに対して直角をなす方向にオフセットされた境界セグメントを有すること、及び、前記公称線量 (D_1) を前記再形成パターン要素に割り当てること、及び、

前記パターン要素 (t_2 、 t_3) を前記再形成パターン要素 (r_{t2} 、 r_{t3}) で置換すること

によって、再形成され、及び、

再形成パターンは、前記再形成パターン要素によって対応するパターン要素を置換することによって前記パターンから生成される、

10

方法。

【請求項 2】

請求項 1 の方法において、

再計算は、前記ターゲット上にアパーチャ画像 (複数) を生成する描画処理によって描画されるべきパターンに対して行われ、但し、後続の露光ステップのアパーチャ画像は互いに重なり合い、及び、前記アパーチャ画像は前記ターゲット上に生成された隣接するアパーチャ画像のピクセル位置間の距離 (e) の倍数である公称幅 (b) を有し、

前記方法は、

前記アパーチャ画像によって前記ターゲット上のピクセルを露光することを通して前記描画処理によって所望のパターンを露光するのに適したピクセル露光パターンを前記再形成パターンから生成する追加のステップを含む、

20

方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 の方法において、

パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われ、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記再形成距離だけ前記ピクセル表現における前記パターン要素の輪郭を変更するために、グレースケール拡大 (dilation) ステップとグレースケール縮小 (erosion) ステップの組み合わせを含む、

方法。

【請求項 4】

30

請求項 1 又は 2 の方法において、

パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われ、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記ピクセル表現におけるエッジの位置を検出すること、及び、そのように検出されたエッジの位置を、それぞれのエッジに対し直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離だけシフトさせることを含む、

方法。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 の何れかの方法において、

パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメント (複数) から構成され、

40

再形成パターン要素 (r_{t2} 、 r_{t3}) を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記パターン要素 (t_0) の多角形表現の頂点 (t_{v1} 、 t_{v2}) と、該頂点の各々における角度二等分線 (ab_1 、 ab_2) とを決定すること、

前記頂点から、シフトされた頂点 (sv_1 、 sv_2 ； xv_1 、 xv_2) を計算すること、但し、前記シフトされた頂点の各々は、該シフトされた頂点が該頂点 (t_{v1} 、 t_{v2}) に所属するエッジに対し前記再形成距離 (d_1 、 d_2) のところにあるよう、シフトされた位置に位置付けられること、

前記シフトされた頂点 (sv_1 、 sv_2 ； xv_1 、 xv_2) を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素 (st_1 ； st_2) を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定し、及び、前記公称線量を該再形成パターン要

50

素に割り当てること、
を含む、
方法。

【請求項 6】

請求項 1 ～ 5 の何れかの方法において、
パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループと一緒に規定する一組の境界セグメントから構成され、

再形成パターン要素 (r_{t2} 、 r_{t3}) を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記セグメント (複数) の位置をそれぞれのセグメントに対して直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離 (d_3 ; d_4) だけシフトすることによって前記パターン要素の境界セグメント (t_{12}) から得られるセグメント (複数) として、再形成境界セグメント (v_{12} ; u_{12}) を決定すること、

10

前記再形成境界要素 [セグメント] を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素 (s_{t3} ; s_{t4}) を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定すること、

を含む、
方法。

【請求項 7】

請求項 1 ～ 6 の何れかの方法において、
前記公称線量 (D_1) は、前記荷電粒子マルチビーム描画装置内における走査ストライプ露光中に、ピクセル (複数) に対して達成可能な最大露光線量を表す、
方法。

20

【請求項 8】

請求項 1 ～ 7 の何れかの方法において、
前記公称線量は、1つのピクセルに与えられるとき、該1つのピクセルのリソグラフィ現像 (development) を引き起こすために必要とされる露光線量の最小値を表す正の露光線量 (D_{Dtc}) の2倍である、

方法。

【請求項 9】

請求項 1 ～ 7 の何れかの方法において、
前記公称線量は、露光線量値で露光される領域とゼロ露光の領域との間の輪郭の位置が、前記荷電粒子マルチビーム描画装置における走査ストライプ露光中に露光に使用されるビームのブラー (blur) の量に依存しない場合、そのような露光線量の値を表すアイソフォーカル (isofocal) 線量 (D_1) である、

30

方法。

【請求項 10】

請求項 1 ～ 9 の何れかの方法において、
再形成距離 (x_E 、 f_2 、 f_3) を決定する前記ステップは、前記公称線量 (D_1) に対する前記割当て線量 (D_2 、 D_3) の値の関数として前記再形成距離を記述する所定の線量勾配関数 (f_{DS}) に基づいて実行される、

40

方法。

【請求項 11】

請求項 10 の方法において、
前記公称線量に対する前記割当て線量の値の前記関数は、線量勾配数を用いた線形関数である、

方法。

【請求項 12】

請求項 1 ～ 11 の何れかの方法において、
パターン要素の再形成は、少なくとも前記公称線量に対する所定の偏差因子 (factor) だけ、前記公称線量から外れる割当て線量を有する各パターン要素に対して行われる、

50

方法。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 12 の何れかの方法において、

後続の露光ステップと露光ステップとの間にオフセット距離として適用される前記露光長さ (L_G) は均一であり、及び、

複数のビームレットに複数の異なるピクセルを連続的に露光させる一方で、前記露光領域内の複数のピクセルが後続の露光ステップ (複数) 中に一連のビームレットによって露光されるよう、該露光長さ (L_G) は、前記構造化ビームにおける該露光長さ (L_G) の方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の少なくとも 2 の倍数に相当する、

方法。

10

【請求項 14】

請求項 13 の方法において、

前記少なくとも 2 の倍数は、前記構造化ビームにおける前記露光長さ (L_G) の方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の整数倍である、

方法。

【請求項 15】

荷電粒子マルチビーム描画装置 (1) によってターゲット上に露光されるべきパターンを再計算する方法であって、前記装置は、前記ターゲット上の露光領域 (r_1) 内の複数のピクセルを露光して、複数のビームレットからなる構造化ビームが前記ターゲット上に導かれ、前記露光領域 (r_1) 上の経路に沿って移動される走査ストライプ露光によって前記パターンを生成し、後続の露光ステップと露光ステップの間に、前記構造化ビームは、前記ターゲット上の前記構造化ビームの幅よりも小さい露光長さ (L_G) に対応する連続する距離だけ、前記ターゲット上をシフトされ、

20

前記パターン (p_{11}) は、最初に複数のパターン要素 (t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_0) を含み、各パターン要素は、境界および内部を含むそれぞれの形状を有し、前記それぞれの形状の内部のピクセルについて露光されるべき露光線量の値を規定する、それぞれ割り当てられた線量 (D_1 、 D_2 、 D_3) に関連付けられ、

前記パターンの再計算は、前記荷電粒子マルチビーム描画装置内で走査ストライプ露光のために指定された最大露光のピクセルに対して露光されるべき露光線量の所定の標準値を表す公称線量 (D_1) に関して実行され、

30

前記公称線量 (D_1) から外れる割り当てられた線量 (D_2 、 D_3) に関連付けられた少なくとも 1 つのパターン要素 (t_2 、 t_3) について、前記パターン要素は、所定の線量勾配関数 (f_{DS}) に基づき前記公称線量 (D_1) に関して前記割り当てられた線量 (D_2 、 D_3) の値から再形成距離 (x_E 、 f_2 、 f_3) を決定すること、

再形成パターン要素 (rt_2 、 rt_3) を形成すること、但し、該再形成パターン要素は、前記パターン要素 (t_2 、 t_3) の対応する境界セグメント (複数) の位置に対して、前記再形成距離に等しいオフセット距離だけかつそれぞれのセグメントに対して直角をなす方向にオフセットされた境界セグメントを有すること、及び、前記公称線量 (D_1) を前記再形成パターン要素に割り当てること、及び、

前記パターン要素 (t_2 、 t_3) を前記再形成パターン要素 (rt_2 、 rt_3) で置換すること

40

によって、再形成され、及び、

再形成パターンは、前記再形成パターン要素によって対応するパターン要素を置換することによって前記パターンから生成されること、

前記公称線量 (D_1) は以下の線量の何れか 1 つであること：

a) 前記荷電粒子マルチビーム描画装置内における走査ストライプ露光中に、ピクセル (複数) に対して達成可能な最大露光線量、

b) 1 つのピクセルに与えられるとき、該 1 つのピクセルのリソグラフィ現像 (development) を引き起こすために必要とされる露光線量の最小値を表す正の露光線量 (D_{ptc}) の 2 倍、及び、

50

c) 露光線量値で露光される領域とゼロ露光の領域との間の輪郭の位置が、前記荷電粒子マルチビーム描画装置における走査ストライプ露光中に露光に使用されるビームのブラー(blur)の量に依存しない場合、そのような露光線量の値を表すアイソフォーカル(isofocal)線量(D1)を特徴とする方法。

【請求項16】

請求項15の方法において、

再計算は、前記ターゲット上にアパーチャ画像(複数)を生成する描画処理によって描画されるべきパターンに対して行われ、但し、後続の露光ステップのアパーチャ画像は互いに重なり合い、及び、前記アパーチャ画像は前記ターゲット上に生成された隣接するアパーチャ画像のピクセル位置間の距離(e)の倍数である公称幅(b)を有し、

10

前記方法は、

前記アパーチャ画像によって前記ターゲット上のピクセルを露光することを通して前記描画処理によって所望のパターンを露光するのに適したピクセル露光パターンを前記再形成パターンから生成する追加のステップを含む、

方法。

【請求項17】

請求項15又は16の方法において、

パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われ、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記再形成距離だけ前記ピクセル表現における前記パターン要素の輪郭を変更するために、グレースケール拡大(dilation)ステップとグレースケール縮小(erosion)ステップの組み合わせを含む、

20

方法。

【請求項18】

請求項15又は16の方法において、

パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われ、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記ピクセル表現におけるエッジの位置を検出すること、及び、そのように検出されたエッジの位置を、それぞれのエッジに対し直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離だけシフトさせることを含む、

方法。

30

【請求項19】

請求項15～18の何れかの方法において、

パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメント(複数)から構成され、

再形成パターン要素(rt2、rt3)を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記パターン要素(t0)の多角形表現の頂点(tv1、tv2)と、該頂点の各々における角度二等分線(ab1、ab2)とを決定すること、

前記頂点から、シフトされた頂点(sv1、sv2；xv1、xv2)を計算すること、

但し、前記シフトされた頂点の各々は、該シフトされた頂点が該頂点(tv1、tv2)に所属するエッジに対し前記再形成距離(d1、d2)のところにあり、シフトされた位置に位置付けられること、

40

前記シフトされた頂点(sv1、sv2；xv1、xv2)を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素(st1；st2)を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定し、及び、前記公称線量を該再形成パターン要素に割り当てること、

を含む、

方法。

【請求項20】

請求項15～19の何れかの方法において、

パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメ

50

ントから構成され、

再形成パターン要素 (r_{t2} 、 r_{t3}) を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記セグメント (複数) の位置をそれぞれのセグメントに対して直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離 (d_3 ; d_4) だけシフトすることによって前記パターン要素の境界セグメント (t_{12}) から得られるセグメント (複数) として、再形成境界セグメント (v_{12} ; u_{12}) を決定すること、

前記再形成境界要素 [セグメント] を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素 (s_{t3} ; s_{t4}) を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定すること、

を含む、

10

方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 5 ~ 2 0 の何れかの方法において、

再形成距離 (x_E 、 f_2 、 f_3) を決定する前記ステップは、前記公称線量 (D_1) に対する前記割当て線量 (D_2 、 D_3) の値の関数として前記再形成距離を記述する所定の線量勾配関数 (f_{DS}) に基づいて実行される、

方法。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 の方法において、

前記公称線量に対する前記割当て線量の値の前記関数は、線量勾配数を用いた線形関数である、

20

方法。

【請求項 2 3】

請求項 1 5 ~ 2 2 の何れかの方法において、

パターン要素の再形成は、少なくとも前記公称線量に対する所定の偏差因子 (factor) だけ、前記公称線量から外れる割当て線量を有する各パターン要素に対して行われる、

方法。

【請求項 2 4】

請求項 1 5 ~ 2 3 の何れかの方法において、

後続の露光ステップと露光ステップとの間にオフセット距離として適用される前記露光長さ (L_G) は均一であり、及び、

30

複数のビームレットに複数の異なるピクセルを連続的に露光させる一方で、前記露光領域内の複数のピクセルが後続の露光ステップ (複数) 中に一連のビームレットによって露光されるよう、該露光長さ (L_G) は、前記構造化ビームにおける該露光長さ (L_G) の方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の少なくとも 2 の倍数に相当する、

方法。

【請求項 2 5】

請求項 2 4 の方法において、

前記少なくとも 2 の倍数は、前記構造化ビームにおける前記露光長さ (L_G) の方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の整数倍である、

40

方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は 2017 年 8 月 25 日に出願された欧州特許出願第 17187922.4 号についてのパリ条約上の優先権の利益を主張するものであり、当該出願の全内容は引照を以って本書に繰り込みここに記載されているものとする。

本発明は、走査ストライプ露光を用いる荷電粒子マルチビーム描画装置の描画性能を最適化するための、ターゲットに露光されるべきパターンの再計算方法に関する。このタイプの装置は、複数のビームレットからなる構造化ビームがターゲットに指向され、露光領

50

域上の経路に沿って移動される走査ストライプ露光によってパターンを生成するために、ターゲット上の露光領域内で複数のピクセルを露光し、後続の露光ステップと露光ステップとの間において、構造化ビームは、継続的な (consecutive) 複数の露光長さだけターゲット上でシフトされて、複数のビームレットに複数の異なるピクセルを継続的に (consecutive) 露光させる。但し、該露光長さはターゲット上における構造化ビームの幅よりも短い。パターンは、最初に、複数のパターン要素を含み、各パターン要素は、境界と内部を含むそれぞれの形状を有し、かつ、それぞれの形状の内部のピクセル (複数) について露光されるべき露光線量の値を規定するそれぞれの割当て線量に関連付けられる。例えば、境界は、内部を包囲する閉ループと一緒に規定する一組の境界セグメント (複数) の集合から構成されると考えてもよい。

10

【背景技術】

【0002】

上記のタイプの荷電粒子マルチビーム処理装置は先行技術において良く知られている。特に、本出願人は、荷電粒子光学系、パターン定義 (PD: Pattern Definition) 装置及び該装置で使用されるマルチビーム描画方法に関し本出願人の名義の幾つの特許に記載されているような荷電粒子マルチビーム装置を実現している。例えば、193nm液浸リソグラフィ用のフォトマスク (複数)、EUVリソグラフィ用のマスク (複数) 及びインプリントリソグラフィ用のテンプレート (複数) (1x masks) の最先端の複合体の実現を可能にする50keV電子マルチビーム描画機が実現されており、6 (6インチ) マスクブランク基板の露光のための、eMET (electron Mask Exposure Tool) 又はM

20

【0003】

MBWの典型的な具体例として、本出願人は、基板における $81.92\mu\text{m} \times 81.92\mu\text{m}$ の寸法のビームアレイフィールド内に $512 \times 512 (= 262,144)$ 本のプログラマブルビームレットを含む20nmのトータルビームサイズを実現する50keV電子描画ツールを実現している。この描画ツールでは、典型的なタイプの基板は、電子ビーム感応性レジストで被覆された6 マスクブランク (これは $6 \times 6 = 152.4\text{mm} \times 152.4\text{mm}$ の面積と、例えば $1/4 = 6.35\text{mm}$ の厚みを有する) である。更に、マルチビーム描画はレジスト被覆150mmシリコンウェハに対しても同様に可能である。MBWタイプのこの描画ツールに関する更なる情報は、本出願人による米国特許第9,653,263号に見出すことができるが、その内容は引照を以って本書に繰り込みここに記載されているものとする。MBWは、本書において「走査ストライプ露光 (scanning stripe exposure)」と称される描画方法を実行するように構成されている。走査ストライプ露光描画方法は、本発明の文脈において必要とされる限りにおいて、図1~図7を参照して以下に説明されている。走査ストライプ露光に関する更なる詳細は、本出願人の米国特許第9,053,906号に見出すことができるが、その内容は引照を以って本書に繰り込みここに記載されているものとする。

30

40

【0004】

ガラス基板上のマスクパターンのようなパターンの露光に使用されるもう1つの技術水準の描画技術は、所謂VSB (Variable Shaped Beam) 技術である。VSB技術は、基板に対する「ショット (複数)」の連続 (sequential) 供給に基づくものであり、ショットはサイズが調節可能で、ショットあたりの線量は高速ブランカー (blanker) によって制御可能である。典型的には、先進VSB描画機の電流密度は非常に大きく ($100 - 1000\text{A}/\text{cm}^2$)、他方、MBWの電流密度は $1 - 4\text{A}/\text{cm}^2$ のオーダーである。従って、VSB描画機の電流密度は、MBWと比較して、大きさが1000倍にまで及ぶことになる。MBWの改善された生産性は、典型的には25万本以上のオーダーの極めて多数のビーム (「ビームレット」) に起因する。従って、同じビームサイズが使用される場

50

合、マルチビーム描画機は、電流密度がより小さいにも拘らず、V S B 描画機よりも、理論的には250倍までより大きな電流を供給できる。ビーム中の粒子内のクーロン相互作用のような、全ての機器的及び物理的制限を考慮しても、マルチビーム描画機は、V S B 描画機よりも、実用的には約10倍から25倍のより大きい電流を依然として供給することが可能であるが、これにより、生産性の改善が説明される。

【0005】

しかしながら、MBWは、総電流が増加されているにも拘らず、個々のビームレットの最大電流密度については制限されている。MBWの典型的な描画方法においては、ビームがある(1つの)セル領域内で走査される間、ステージは1つの選択されたステージ移動方向に沿って一定の速度で走査され(米国特許第9,053,906号参照)、そして、MBWにおけるターゲット上の単一部位のための最大露光時間は、パターンが露光線量を必要とするか否かに拘わらず、その方法に固有のビーム走査動作によって決定される。これによって、所与の部位(「ピクセル」)における最大露光線量は、ビームレット(複数)の局所的電流密度に、(個別)ビームレットの断面積と露光期間を乗じた値、更には場合によっては複数のビームレットがその後1つのピクセルに寄与する冗長性係数、を乗じることによって決定される値に制限される。例えば、あるパターンが大きな線量で露光されるべき特徴を含む場合、MBWのためには、たとえ全体のパターン密度が露光パターンにおいて小さくても、相応に走査速度を低下することによって、最大露光の値を増加する必要がある;従って、これにより、生産性は著しく制限され得る。

【0006】

一方、V S B 描画機は、それぞれの特徴についてのみ、表面(パターンが存在しないアドレスエリアではない)に渡って(across)ビームがベクトル走査されるブランカー(blank)時間を単に延長するだけで、非常に高い線量を局所的に供給することができる。V S B 描画機のこの側面は、ある種の特徴のサイズを補正するために利用されており、これはその特徴の露光線量を調節することにより行われる。所謂「オーバードージング(過剰照射: overdosing)」(又は「アンダードージング(過小照射: underdosing)」)、何れであるかはその特徴に対する線量を増やすか減らすかに依存する)である。リソグラフィの観点から見れば、特徴のオーバードージング(又はアンダードージング)は露光処理のクオリティに対し殆ど又は全く影響を及ぼさないが、技術水準の当業者は、エッチング/エロージョンのような処理関連効果又はパターン密度関連負荷(load)効果を補正するために大幅な線量調節を伴って動作することが一般的であるV S B 系技術に慣れ親しんでいる。なお、オーバードージングの特定量は、特徴のサイズの所望の縮小(contraction)又は拡大(expansion)に対応する。これにより、複数の異なるパターン成分が大きく異なる露光線量レベルを有するパターンが生じることもあり、極端な場合には、そのような線量調節は、所謂アイソフォーカル(isofocal)線量に対し、-40%のアンダードージングから+300%までのまたはそれ以上のオーバードージングの範囲に及び得る。なお、「アイソフォーカル線量」とは、そのような露光線量値で露光された領域とゼ口露光の領域との間の輪郭の位置が、それぞれのリソグラフィ装置で使用されるブラーの量に依存しない場合における、露光線量の値を表す。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】US 9,653,263

US 9,053,906

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、MBWにとっては、オーバードージング/アンダードージング技術はいくつかの理由により不利である。例えば、最悪の場合、パターン内の割当て線量の最大値によって決定される露光時間の必然的延長のために、オーバードージングは、マルチビー

10

20

30

40

50

ム描画機のスループットを2分の1又は3分の1にまで (by a factor of up to factor 2 or 3) 低下させ得る。更に、付加された電流はレジストの発熱を増加させ得るが、これは、例えばターゲットの変形のために、描画精度に著しい影響を及ぼし得る。露光前に、限られた数の離散的なグレーレベルを用いて P E C (Proximity Effect Correction; 近接効果補正) 後に線量割当てを表すことが典型的に必要なとされるため、オーバードージングは、より大きな線量範囲を、ひいては (グレースケールが一定の数のグレーレベルを使用することに限定されていると仮定すれば) グレーレベル間のより大きな線量ステップを意味するであろう。これは、露光されるべきパターンにおける達成可能な配置精度に悪影響を及ぼし得る。

【0009】

10

M B W に関し線量に基づく特徴サイズの操作から生じる別の問題は、M B W システムにおけるシングルビームレットのブラーは V S B 描画機におけるブラーよりも一般的に相当に小さいという事実に関連する。したがって、露光のエッジ付近の線量の勾配は M B W ではより大きく、その結果、所謂「線量勾配 (dose-slope)」(すなわち、特徴の線量を単位線量だけ増分する場合における特徴のエッジの位置の変化) は急峻性がより小さい。したがって、単位線量変化によって引き起こされるような特徴サイズの変化は、V S B 描画機におけるよりも M B W において遙かにより小さい。したがって、線量の所要の変化は、マルチビームシステムにおいては、V S B ツールで同じ効果を達成する場合よりも、より大きくなることさえあり得る。極端なケースでは、アンダードージングは、大きな目標サイズ減縮 (reductions) のために、割当て線量が、不所望の非線形的効果、エッジラフネス、或いはパターンアーチファクトさえも最終的に引き起こし得るドーズ・ツー・クリア (dose-to-clear) に近づくという効果を有し得る。

20

【0010】

強度のオーバードージングまたはアンダードージングがオーバーラッピングピクセル (複数) を使用する典型的な M B W 描画モードと組み合わせて実行される場合、さらに別の問題が生じる。すなわち、ドージングによる C D の変化は物理的なグリッドに対するパターンの位置に依存することが判明した。特に、そのエッジが物理的グリッドと一致する特徴と、そのエッジが物理的グリッドのピッチの半分だけ相対的にシフトされる特徴は、線量の変化によって、同様にはサイズ変化されない。したがって、この描画モード特有の物理的効果は、C D 均一性の劣化を招くこともあり得る。

30

【0011】

さらに、本発明者は、M B W システムの線量勾配はしばしばビームフィールドに渡って一定ではなく、このことは単位線量の変化が特徴サイズの不均一な変化をもたらすことを示唆するであろうことに気付いた。このことは、アイソフォーカル線量以外のすべての線量設定において、臨界寸法 (critical dimension) 均一性の劣化を最終的に引き起こし得る。特に、この劣化 (の程度) は、アイソフォーカル線量からの線量偏差の大きさに応じて異なる。

【0012】

要約すると、特徴サイズを操作するための現在の技術水準のドージング技術は、品質及び/又はスループットの低下に関し M B W にとって問題であり得る。

40

【0013】

したがって、本発明の目的は、割当て線量の値が M B W の描画方法、及びとりわけ荷電粒子マルチビーム描画装置における走査ストライプ露光、に適合するよう、パターンのパターン要素に関連する割当て線量の分布を改善するためにパターンを修正する方法を見出すことである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の第1の視点により、荷電粒子マルチビーム描画装置によってターゲット上に露光されるべきパターンを再計算する方法が提供される。前記装置は、前記ターゲット上の露光領域内の複数のピクセルを露光して、複数のビームレットからなる構造化ビームが前

50

記ターゲット上に導かれ、前記露光領域上の経路に沿って移動される走査ストライプ露光によって前記パターンを生成し、後続の露光ステップと露光ステップの間に、前記構造化ビームは、前記ターゲット上の前記構造化ビームの幅よりも小さい露光長さに対応する連続する距離だけ、前記ターゲット上をシフトされ、

前記パターンは、最初に複数のパターン要素を含み、各パターン要素は、境界および内部を含むそれぞれの形状を有し、前記それぞれの形状の内部のピクセルについて露光されるべき露光線量の値を規定する、それぞれ割り当てられた線量に関連付けられ、

前記パターンの再計算は、前記荷電粒子マルチビーム描画装置内で走査ストライプ露光のために指定された最大露光のピクセルに対して露光されるべき露光線量の所定の標準値を表す公称線量に関して実行され、

前記公称線量から外れる割り当てられた線量に関連付けられた少なくとも1つのパターン要素について、前記パターン要素は、

所定の線量勾配関数に基づき前記公称線量に関して前記割り当てられた線量の値から再形成距離を決定すること、

再形成パターン要素を形成すること、但し、該再形成パターン要素は、前記パターン要素の対応する境界セグメント（複数）の位置に対して、前記再形成距離に等しいオフセット距離だけかつそれぞれのセグメントに対して直角をなす方向にオフセットされた境界セグメントを有すること、及び、前記公称線量を前記再形成パターン要素に割り当てること、及び、

前記パターン要素を前記再形成パターン要素で置換すること

によって、再形成され、及び、

再形成パターンは、前記再形成パターン要素によって対応するパターン要素を置換することによって前記パターンから生成される（形態1）。

本発明の第2の視点により、荷電粒子マルチビーム描画装置によってターゲット上に露光されるべきパターンを再計算する方法が提供される。前記装置は、前記ターゲット上の露光領域内の複数のピクセルを露光して、複数のビームレットからなる構造化ビームが前記ターゲット上に導かれ、前記露光領域上の経路に沿って移動される走査ストライプ露光によって前記パターンを生成し、後続の露光ステップと露光ステップの間に、前記構造化ビームは、前記ターゲット上の前記構造化ビームの幅よりも小さい露光長さに対応する連続する距離だけ、前記ターゲット上をシフトされ、

前記パターンは、最初に複数のパターン要素を含み、各パターン要素は、境界および内部を含むそれぞれの形状を有し、前記それぞれの形状の内部のピクセルについて露光されるべき露光線量の値を規定する、それぞれ割り当てられた線量に関連付けられ、

前記パターンの再計算は、前記荷電粒子マルチビーム描画装置内で走査ストライプ露光のために指定された最大露光のピクセルに対して露光されるべき露光線量の所定の標準値を表す公称線量に関して実行され、

前記公称線量から外れる割り当てられた線量に関連付けられた少なくとも1つのパターン要素について、前記パターン要素は、

所定の線量勾配関数に基づき前記公称線量に関して前記割り当てられた線量の値から再形成距離を決定すること、

再形成パターン要素を形成すること、但し、該再形成パターン要素は、前記パターン要素の対応する境界セグメント（複数）の位置に対して、前記再形成距離に等しいオフセット距離だけかつそれぞれのセグメントに対して直角をなす方向にオフセットされた境界セグメントを有すること、及び、前記公称線量を前記再形成パターン要素に割り当てること、及び、

前記パターン要素を前記再形成パターン要素で置換すること

によって、再形成され、及び、

再形成パターンは、前記再形成パターン要素によって対応するパターン要素を置換することによって前記パターンから生成されること、

前記公称線量は以下の線量の何れか1つであること；

10

20

30

40

50

a) 前記荷電粒子マルチビーム描画装置内における走査ストライプ露光中に、ピクセル（複数）に対して達成可能な最大露光線量、
 b) 1つのピクセルに与えられるとき、該1つのピクセルのリソグラフィ現像（development）を引き起こすために必要とされる露光線量の最小値を表す正の露光線量の2倍、及び、
 c) 露光線量値で露光される領域とゼロ露光の領域との間の輪郭の位置が、前記荷電粒子マルチビーム描画装置における走査ストライプ露光中に露光に使用されるビームのブラー（blur）の量に依存しない場合、そのような露光線量の値を表すアイソフォーカル（isofocal）線量を特徴とする（形態15）。

10

【発明を実施するための形態】

【0015】

ここに、本発明の好ましい形態を示す。

（形態1）上掲本発明の第1の視点参照。

（形態2）形態1の方法において、

再計算は、前記ターゲット上にアパーチャ画像（複数）を生成する描画処理によって描画されるべきパターンに対して行われ、但し、後続の露光ステップのアパーチャ画像は互いに重なり合い、及び、前記アパーチャ画像は前記ターゲット上に生成された隣接するアパーチャ画像のピクセル位置間の距離の倍数である公称幅を有し、

前記方法は、

20

前記アパーチャ画像によって前記ターゲット上のピクセルを露光することを通して前記描画処理によって所望のパターンを露光するのに適したピクセル露光パターンを前記再形成パターンから生成する追加のステップを含むことが好ましい。

（形態3）形態1又は2の方法において、

パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われ、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記再形成距離だけ前記ピクセル表現における前記パターン要素の輪郭を変更するために、グレースケール拡大（dilation）ステップとグレースケール縮小（erosion）ステップの組み合わせを含むことが好ましい。

（形態4）形態1又は2の方法において、

パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われ、

30

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記ピクセル表現におけるエッジの位置を検出すること、及び、そのように検出されたエッジの位置を、それぞれのエッジに対し直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離だけシフトさせることを含むことが好ましい。

（形態5）形態1～4の何れかの方法において、

パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメント（複数）から構成され、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記パターン要素の多角形表現の頂点と、該頂点の各々における角度二等分線とを決定すること、

40

前記頂点から、シフトされた頂点を計算すること、但し、前記シフトされた頂点の各々は、該シフトされた頂点が該頂点に所属するエッジに対し前記再形成距離のところにあるよう、シフトされた位置に位置付けられること、

前記シフトされた頂点を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定し、及び、前記公称線量を該再形成パターン要素に割り当てること、

を含むことが好ましい。

（形態6）形態1～5の何れかの方法において、

パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメントから構成され、

50

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記セグメント（複数）の位置をそれぞれのセグメントに対して直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離だけシフトすることによって前記パターン要素の境界セグメントから得られるセグメント（複数）として、再形成境界セグメントを決定すること、

前記再形成境界要素〔セグメント〕を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定すること、

を含むことが好ましい。

（形態 7）形態 1 ～ 6 の何れかの方法において、前記公称線量は、前記荷電粒子マルチビーム描画装置内における走査ストライプ露光中に、ピクセル（複数）に対して達成可能な最大露光線量を表すことが好ましい。

10

（形態 8）形態 1 ～ 7 の何れかの方法において、前記公称線量は、1 つのピクセルに与えられるとき、該 1 つのピクセルのリソグラフィ現像（development）を引き起こすために必要とされる露光線量の最小値を表す正の露光線量の 2 倍であることが好ましい。

（形態 9）形態 1 ～ 7 の何れかの方法において、前記公称線量は、露光線量値で露光される領域とゼロ露光の領域との間の輪郭の位置が、前記荷電粒子マルチビーム描画装置における走査ストライプ露光中に露光に使用されるビームのブラー（blur）の量に依存しない場合、そのような露光線量の値を表すアイソフォーカル（isofocal）線量であることが好ましい。

（形態 10）形態 1 ～ 9 の何れかの方法において、再形成距離を決定する前記ステップは、前記公称線量に対する前記割当て線量の値の関数として前記再形成距離を記述する所定の線量勾配関数に基づいて実行されることが好ましい。

20

（形態 11）形態 10 の方法において、前記公称線量に対する前記割当て線量の値の前記関数は、線量勾配数を用いた線形関数であることが好ましい。

（形態 12）形態 1 ～ 11 の何れかの方法において、パターン要素の再形成は、少なくとも前記公称線量に対する所定の偏差因子（factor）だけ、前記公称線量から外れる割当て線量を有する各パターン要素に対して行われることが好ましい。

（形態 13）形態 1 ～ 12 の何れかの方法において、

後続の露光ステップと露光ステップとの間にオフセット距離として適用される前記露光長さは均一であり、及び、

30

複数のビームレットに複数の異なるピクセルを連続的に露光させる一方で、前記露光領域内の複数のピクセルが後続の露光ステップ（複数）中に一連のビームレットによって露光されるよう、該露光長さは、前記構造化ビームにおける該露光長さの方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の少なくとも 2 の倍数に相当することが好ましい。

（形態 14）形態 13 の方法において、前記少なくとも 2 の倍数は、前記構造化ビームにおける前記露光長さの方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の整数倍であることが好ましい。

（形態 15）上掲本発明の第 2 の視点参照。

（形態 16）形態 15 の方法において、

再計算は、前記ターゲット上にアパーチャ画像（複数）を生成する描画処理によって描画されるべきパターンに対して行われ、但し、後続の露光ステップのアパーチャ画像は互いに重なり合い、及び、前記アパーチャ画像は前記ターゲット上に生成された隣接するアパーチャ画像のピクセル位置間の距離の倍数である公称幅を有し、

40

前記方法は、

前記アパーチャ画像によって前記ターゲット上のピクセルを露光することを通して前記描画処理によって所望のパターンを露光するのに適したピクセル露光パターンを前記再形成パターンから生成する追加のステップを含むことが好ましい。

（形態 17）形態 15 又は 16 の方法において、

パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われ、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記再形成距離だけ前記ピクセル表現に

50

おける前記パターン要素の輪郭を変更するために、グレースケール拡大 (dilation) ステップとグレースケール縮小 (erosion) ステップの組み合わせを含む、ことが好ましい。

(形態 18) 形態 15 又は 16 の方法において、

パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われ、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記ピクセル表現におけるエッジの位置を検出すること、及び、そのように検出されたエッジの位置を、それぞれのエッジに対し直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離だけシフトさせることを含む、ことが好ましい。

(形態 19) 形態 15 ~ 18 の何れかの方法において、

パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメント (複数) から構成され、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記パターン要素の多角形表現の頂点と、該頂点の各々における角度二等分線とを決定すること、

前記頂点から、シフトされた頂点を計算すること、但し、前記シフトされた頂点の各々は、該シフトされた頂点が該頂点に所属するエッジに対し前記再形成距離のところにあるよう、シフトされた位置に位置付けられること、

前記シフトされた頂点を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定し、及び、前記公称線量を該再形成パターン要素に割り当てること、

を含む、ことが好ましい。

(形態 20) 形態 15 ~ 19 の何れかの方法において、

パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメントから構成され、

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記セグメント (複数) の位置をそれぞれのセグメントに対して直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離だけシフトすることによって前記パターン要素の境界セグメントから得られるセグメント (複数) として、再形成境界セグメントを決定すること、

前記再形成境界要素 [セグメント] を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定すること、

を含む、ことが好ましい。

(形態 21) 形態 15 ~ 20 の何れかの方法において、再形成距離を決定する前記ステップは、前記公称線量に対する前記割当て線量の値の関数として前記再形成距離を記述する所定の線量勾配関数に基づいて実行される、ことが好ましい。

(形態 22) 形態 21 の方法において、前記公称線量に対する前記割当て線量の値の前記関数は、線量勾配数を用いた線形関数である、ことが好ましい。

(形態 23) 形態 15 ~ 22 の何れかの方法において、パターン要素の再形成は、少なくとも前記公称線量に対する所定の偏差因子 (factor) だけ、前記公称線量から外れる割当て線量を有する各パターン要素に対して行われる、ことが好ましい。

(形態 24) 形態 15 ~ 23 の何れかの方法において、
後続の露光ステップと露光ステップとの間にオフセット距離として適用される前記露光長さは均一であり、及び、
複数のビームレットに複数の異なるピクセルを連続的に露光させる一方で、前記露光領域内の複数のピクセルが後続の露光ステップ (複数) 中に一連のビームレットによって露光されるよう、該露光長さは、前記構造化ビームにおける該露光長さの方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の少なくとも 2 の倍数に相当する、ことが好ましい。

(形態 25) 形態 24 の方法において、前記少なくとも 2 の倍数は、前記構造化ビームにおける前記露光長さの方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の整数倍である、ことが好ましい。

【 0 0 1 6 】

10

20

30

40

50

この目的は、基礎をなす荷電粒子マルチビーム描画装置内で走査ストライプ露光のために指定された最大露光のピクセルに対して露光されるべき露光線量の所定の標準値を表す公称線量 (nominal dose) に関して、上述のような種類の、パターンの再計算方法によって達成される。該方法において、再形成パターンは、少なくとも1つの再形成パターン要素によって対応するパターン要素を置換することによって該パターンから生成され；そのような再形成パターン要素は公称線量から外れる (逸れる) 割当て線量に関連付けられたパターン要素に対して生成される。パターン要素は、

所定の線量勾配関数 (dose slope function) に基づき公称線量に関して割り当てられた線量の値から再形成距離を決定すること、

再形成パターン要素を形成すること、但し、該再形成パターン要素は、パターン要素の対応する境界セグメント (複数) の位置に対して、上記再形成距離に等しいオフセット距離だけかつそれぞれのセグメントに対して直角をなす方向にオフセットされた境界セグメント (複数) を有すること、そして、公称線量を再形成パターン要素に割り当てること、及び、

パターン要素を再形成パターン要素で置換すること、
によって再形成される。

【0017】

換言すれば、本発明は、パターンデータにインサイチュー (in-situ) 変換を適用し、割当て線量の逸脱した値を最初に有するそれらのパターン要素を、パターンの残部 (他の部分) と同じ線量でプリント可能であろうなパターン要素に変換する一方で、依然として意図した寸法を提供する。これは、パターンに対する所定の線量勾配に応じたサイズ補正を含む (伴う)。

【0018】

本発明は、とりわけ露光されるべき最初のパターンにおける線量割り当てが実際に必要な露光線量よりも大きい場合に、生産性の向上に関して、MBWの利点をより良く活用することを可能にする。実際、特定のレジスト材料に対する線量割り当てが「理想線量」より2倍大きいこと或いは3倍大きいことさえも異常なことではない。理想線量の典型的な値は、所謂アイソフォーカル線量での又はその付近での線量設定である。ここで、「付近」とは凡そ $\pm 20\%$ 以内の偏差 (逸れ) を有すること意味する。レジストのクリア線量 (ドーズ・ツー・クリア: dose-to-clear) は、これは閾値線量とも称されるが、以下でさらに説明するように、典型的には、この理想線量の50%強度に近い。以下において、用語「公称線量」 (nominal dose) は「理想線量」の意味で用いられるが、これは、一般的に、速度または品質、或いはそれらの間の特定のトレードオフに関して描画性能を最適化する設定 (setting) に対応する。

【0019】

さらに、本発明は、特定のレジスト材料の理想線量よりも少ない線量、例えば理想的な露光線量の90%又は80%の線量が割り当てられたパターンのリソグラフィ品質を改善を可能にする。

【0020】

本発明のさらなる利点は、

- 1) スループット低下の回避。これは、ステージ走査速度は選択されたパターン要素に発生する最大線量によって制限されないからである；
- 2) 所与の線量分解能 (グレーレベル) に対する、ラインエッジの配置精度の向上。これは、最小露光線量と最大露光線量との間の範囲 (即ち、露光されるべき線量ウインドウの範囲) が減縮され、その結果、利用可能なグレースケール値のより精細な分布 (所謂、グレースケールのより精細な「アドレスグリッド」) が生じるからである；
- 3) 選択されたパターン要素がアンダードーズされるべき場合 (即ちそれらが理想線量よりもより小さい線量で露光されるべき場合)、非線形的効果及び/又はコントラスト問題及び関連するパターンの劣化が回避される。選択されたパターン要素のサイズを減縮しつつ線量を増加させると、そのような特徴のプリント可能性が向上することが分かった。

4) オーバーラップピクセル(複数)を用いる描画モードについての配置精度の大幅な改善。即ち、それらの状況において、アイソフォーカル線量に対するオーバードージング又はアンダードージングによる臨界寸法均一性の悪化は低減されることができ、或いは、それらのシナリオについて、回避されることさえあり得る。

5) オーバードージングの改善。半導体産業における一般的なアプローチでは、エッチング/エロージョン(erosion)効果、または局所的なスケールで(例えば、スキッターバーに)生じ、局所的なパターン配置およびパターン密度にも依存し得る同様の効果の補償のために、特定のデータタイプまたは線量クラスを使用する。典型的には、処理自体に起因する一連のサイズ変更を含む、プロセスチェーン全体の後に最終的に得られるような特徴の寸法目標を満たすように、データタイプのパラメータを反復的に調節するために計測学(metrology)情報が使用される。このオーバードージング(又は該当する場合、アンダードージング)は、実際の寸法と設計寸法との対比に基づき特徴のサイズと寸法を調節するリソグラフィの標準的な方法になっている。本発明による再形成方法は、とりわけM B Wにおいて、描画スループットを減少させるであろうようなパターンレイヤ内における大きな線量差異を回避するほぼ同等の代替手段を提供する。

10

【0021】

公称線量のための1つの好適な選択として、このパラメータは、上記荷電粒子マルチビーム描画装置における走査ストライプ露光中にピクセル(複数)に対して達成可能な最大露光線量を表すように選択されてもよい。

【0022】

20

公称線量の極めて適切な1つの選択は、ピクセルに付与されたときに、当該ピクセルのリソグラフィ現像を引き起こすのに必要とされる露光線量の最小値を表す正の露光線量(D_{DTC} ともいう)の2倍である。

【0023】

公称線量の非常に適切な他の1つの選択は、そのような露光線量値で露光される領域と、ゼロ露光の領域との間の輪郭の位置が、荷電粒子マルチビーム描画装置における走査ストライプ露光中に使用されるブラー(ないしボケ: blur)の量に依存しない場合の露光線量の値を表すアイソフォーカル線量である。

【0024】

本発明の有利な展開において、再形成距離を決定するステップは、公称線量に対する割当て線量の値の関数として再形成距離を記述する所定の線量勾配関数に基づいて実行される。この関数は、線量勾配数を用いた線形(一次)関数とされてもよく、これは、殆どの応用の場合、実際の線量勾配関係に対する非常に優れた近似値を提供する。線量勾配関数は、例えば実験データ及び/又は理論計算(シミュレーション)から予め決定される。

30

【0025】

本発明による再形成方法を加速するために、1つの適切なアプローチは、パターン要素(複数)の再計算を、それらの割当て線量が所望の公称線量から大きく外れたパターン要素に限定することである。従って、パターン要素の再形成は、公称線量に対し少なくとも所定の偏差係数だけ公称線量から外れる(逸れる)割当て線量を有するパターン要素(のみ)に対して行われ、好ましくは、上記偏差は、典型的には、 $\pm 10\%$ の範囲内であるが、特定の応用では $\pm 20\%$ 以内であってもよい。

40

【0026】

(1つの)パターン要素の境界が内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメントの集合から構成される本発明の1つの側面において、再形成パターン要素を形成するステップの1つの適切な実施態様はオフセット法(offsetting method)に基づく。従って、本方法は、以下のステップ:

パターン要素の多角形表現の頂点(複数)と、当該頂点の各々における角度二等分線(複数)とを決定すること、

該頂点から、シフトされた頂点を計算すること、但し、該シフトされた頂点の各々は、シフトされた頂点が当該頂点に所属するエッジに対し再形成距離のところにあり、シ

50

フトされた位置に位置付けられること、

シフトされた頂点（複数）を結んで閉ループを形成することによって再形成パターン要素を形成し、該閉ループを用いて再形成パターン要素の形状を規定し、及び、公称線量を再形成パターン要素に割り当てること、

を含んでもよい。

【 0 0 2 7 】

パターン要素の境界が内部を包囲する閉ループと一緒に規定する一組の境界セグメント集合から構成される1つの変形側面においては、再形成はパターン要素（複数）のエッジ（複数）を実際にシフトすることに基づいていてもよく、従って、再形成パターン要素を形成するステップは、以下のステップ：

セグメント（複数）の位置をそれぞれのセグメントに対して直角をなすそれぞれの方向に沿って再形成距離だけシフトすることによってパターン要素の境界セグメント（複数）から得られるセグメント（複数）として、再形成境界セグメント（複数）を決定すること、再形成境界要素〔セグメント〕（複数）を結んで閉ループを形成することによって再形成パターン要素を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定すること、

を含んでもよい。

【 0 0 2 8 】

上記の各側面の代りとされ又それらと組み合わせられてもよい他の一側面において、パターン要素の再形成は、パターンのピクセル表現に関して行われてもよい。この場合、再形成パターン要素を形成するステップは、ピクセル表現におけるエッジの位置を検出すること、及び、そのように検出されたエッジの位置をそれぞれのエッジに対し直角をなすそれぞれの方向に沿って再形成距離だけシフトさせることを含んでもよい。代替的に又は組み合わせで、再形成パターン要素を形成するステップは、再形成距離だけピクセル表現におけるパターン要素の輪郭を変更するために、グレースケール膨張（即ち拡大：dilation）ステップとグレースケール収縮（即ち縮小：erosion）ステップの組み合わせを含んでもよい。これら2つのアプローチは、例えば、パターン要素の異なるサブセットにそれらを適用することによって組み合わせられてもよい。

【 0 0 2 9 】

本発明の1つの重要な特殊なケースは、描画されるべきパターンのための描画処理に関する具現化に関し、描画処理は、後続の露光ステップのオーバーチャ画像が互いに重なりあう（オーバーラップする）よう、ターゲット上にオーバーチャ画像を生成し、及び、オーバーチャ画像（複数）は、ターゲット上に生成された隣接するオーバーチャ画像のピクセル位置間の距離の倍数（multiple）（但し、倍数とは1倍より大きいこと、好ましくは1より大きい整数倍を意味する）である（共通の）公称幅を有する。これに関し、本方法は、更に、該オーバーチャ画像（複数）によってターゲット上のピクセル（複数）を露光することを通して該描画処理によって所望のパターンを露光するのに適したピクセル露光パターンを再形成パターンから生成する追加のステップを有してもよい。

【 0 0 3 0 】

本発明は上記の走査ストライプ露光方法に特に適しているが、この場合、後続の露光ステップと露光ステップと間にオフセット距離として適用される露光長さは均一であり、そして、複数のビームレットに複数の異なるピクセルを継続的に（consecutively）露光させる一方で、露光領域内の複数のピクセルが後続の露光ステップ（複数）中に一連のビームレットによって露光されるよう、露光長さは、構造化ビームにおける該露光長さの方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の少なくとも2の倍数、好ましくは整数の倍数に相当する。

【 0 0 3 1 】

以下に、本発明をさらに説明するために、図面に示されているような例示的かつ非限定的な実施形態について説明する。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

【図 1】先行技術のリソグラフィシステムの一例の縦断面図。

【図 2】先行技術のパターン定義システムの一例の縦断面図。

【図 3】ストライプを用いた、ターゲットに対する基本的な描画方法。

【図 4】ターゲット上に結像されるアパーチャの例示的な一配置。

【図 5 A】露光されるべき例示的なパターンのピクセルマップの一例。

【図 5 B】露光されるべき例示的なパターンのピクセルマップの一例。

【図 6 A】 $M = 2$ 、 $N = 2$ のアパーチャの配置。

【図 6 B】「ダブルグリッド」配置におけるピクセルのオーバーサンプリングの一例。

【図 7 A】1つのストライプの露光。

【図 7 B】グレーレベル（複数）の露光。

【図 8 A】グリッド配置の第 1 例としての「ダブルグリッド（Double Grid）」。

【図 8 B】グリッド配置の第 2 例としての「クワッドグリッド（Quad Grid）」。

【図 8 C】グリッド配置の第 3 例としての「ダブルセンターグリッド（Double-Centered Grid）」。

【図 9】単一の露光スポットが最大線量で露光されるときに生成される強度プロファイル。

【図 10】図 1 に示したタイプの M B W の強度プロファイルの一例と、 30 nm の線についての線量レベルプロファイルの一例。

【図 11】図 10 の 30 nm 線線量レベルプロファイルについての強度プロファイルの一例。

【図 12 A】 31.4 nm の線幅を有する線のシミュレーションについて得られた M B W 強度プロファイル及び関連データの例。

【図 12 B】 40.0 nm の線幅を有する線のシミュレーションについて得られた M B W 強度プロファイル及び関連データの例。

【図 13】M B W による 30 nm 線の生成。

【図 13 A】強度プロファイルが「 0.5 」強度レベルを横切る左側傾斜（立ち上がり）部分における図 13 の詳細図（部分的拡大図）。

【図 14 A】所定の幅の線の露光から生成された強度プロファイル。

【図 14 B】露光スポットに対応する線量レベルの適切な修正を介した、図 14 A の線の 1 つのエッジの位置の微調節。

【図 14 C】露光スポットに対応する線量レベルの適切な修正を介した、図 14 A の線の両方のエッジの位置の微調節。

【図 15 A】図 13 A に類似する詳細図。強度分布を 4% だけ増加したことによる効果。これにより、 0.43 nm の線エッジシフトが生じた。

【図 15 B】図 13 A に類似する詳細図。強度分布を 5% だけ減少したことによる効果。これにより、 0.48 nm の線エッジシフトが生じた。

【図 16】本発明によるカーネル（kernel）の適用による、単一線の特徴の拡大図。

【図 17】異なるブラーでの M B W における強度プロファイルの例。

【図 17 A】強度プロファイルが「 0.5 」強度レベルを横切る左側傾斜（立ち上がり）部分における図 17 の詳細図。

【図 18】1つのパターンについてのデータ作成のための「データパス」を説明するフローチャート。

【図 19】アイソフォーカル線量を説明するための異なるブラーでの種々の線量プロファイルの例。

【図 20】本発明による再形成の基本原理を説明するための線量プロファイルの比較の一例。

【図 21】追加パラメータとしてのブラーを有する、相対線量の関数としての特徴サイズの変化（即ち、公称線量に対するパターン要素の線量の変化）を説明する「線量勾配関数」の一例。

【図 22】複数の多角形によって定義されるパターンレイアウトの一例。

10

20

30

40

50

【図 2 3】本発明による再形成方法。(A)は最初に与えられるパターン要素(複数)の線量プロファイルの例。(B)は再形成後のパターン要素の線量プロファイルの例。

【図 2 4】本発明の第 1 の側面によるパターン要素の縮小的(contracting)再形成の例。

【図 2 5】第 1 の側面によるパターン要素の拡大的(expanding)再形成の例。

【図 2 6】本発明の第 2 の側面によるパターン要素の縮小的再形成の例。

【図 2 7】第 2 の側面によるパターン要素の拡大的再形成の例。

【図 2 8】凸状エッジ(複数)の 1 つの構成を示す図 2 7 の詳細図。

【図 2 9】露光領域の一例。再形成は該露光領域の異なる領域に依存して行われる。

【図 3 0】ピクセルドメイン内の(1つの)線パターンに対して行われる再形成方法の具体的実行の例。

【図 3 1】ピクセルドメインの(1つの)線パターンに対して実行される再形成方法が、ピクセルサイズの整数倍でない再形成距離値に対して行われる様子。

【図 3 2 A】オーバーラッピングピクセル(複数)を含む好ましい描画モードにおける、アイソフォーカル線量から外れた(逸れた)線量設定についての臨界寸法均一性の劣化の例。

【図 3 2 B】オーバーラッピングピクセル(複数)を含む好ましい描画モードにおける、アイソフォーカル線量から外れた(逸れた)線量設定についての臨界寸法均一性の劣化の例。

【図 3 2 C】オーバーラッピングピクセル(複数)を含む好ましい描画モードにおける、アイソフォーカル線量から外れた(逸れた)線量設定についての臨界寸法均一性の劣化の例。

【図 3 3】相対線量 D/D_n と時間ドメイン及び時間サブドメインとの相関関係の一例。これは、この相関関係が分かれば、再形成値(複数)は、サブドメインの持続時間および開始時間によって、各サブドメインに独立に(個別に)割り当て可能であることを示す。

【実施例】

【0033】

以下に示す本発明の例示的实施形態の詳細な説明は、本発明の基本的なコンセプト及びさらなる有利な展開を開示する。本発明の特定の用途に適すると認められるものとして、本書で説明する実施形態の幾つか又は全てを自由に組み合わせることは、当業者には明らかであろう。本書を通じて、「有利な」、「例示的」、「好ましくは」または「好ましい」のような用語は、本発明またはその実施形態に特に適している(が不可欠ではない)要素または寸法を示し、明示的に必要とされる場合を除き、当業者によって適切と認められる限り、修正可能である。本発明は、例示の目的のために与えられかつ本発明の好適な具体化を提供するに過ぎない、以下に説明する例示的实施形態に限定されるものではない。

【0034】

リソグラフィ装置

【0035】

本発明の好ましい実施形態を採用するのに適したリソグラフィ装置の一例の概要が図 1 に示されている。以下では、本発明の開示に必要とされる詳細のみを記載し、明瞭性のために、図 1 において構成要素は寸法通りには示されていない。リソグラフィ装置 1 の主要構成要素は、この例では図 1 の紙面において垂直方向下方に延伸するリソグラフィビーム 1 b 及び p b の方向の順に、照明システム 3、パターン規定(ないしパターン画定; PD: pattern definition)システム 4、投影システム 5、及び基板 1 6 を有するターゲットステーション 6 である。装置 1 全体は、装置の光軸 c w に沿って荷電粒子のビーム 1 b、p b が邪魔されないように伝播することを保証するために、高真空に保持されている真空ハウジング 2 内に収容されている。荷電粒子光学システム 3 及び 5 は、静電レンズ及び/又は磁気レンズを用いて実現される。

【0036】

照明システム 3 は、例えば、電子銃 7、抽出システム 8、及び集光レンズシステム 9 を含む。尤も、電子の代わりに、一般的には、他の荷電粒子も同様に使用できる。これらの

10

20

30

40

50

粒子は、電子以外では、例えば、水素イオン又はより重いイオン、荷電原子クラスター、または荷電分子であり得る。

【0037】

抽出システム8は、典型的には数keV、例えば5keVの所定のエネルギーにまで粒子を加速する。光源7から放出された粒子は、集光レンズシステム9によって、リソグラフィビーム1bとして機能する幅の広い実質的にテレセントリックな粒子ビーム50に形成される。次に、リソグラフィビーム1bは、複数の開口部（アパーチャとも呼ばれる）を有する複数のプレートを含むPDシステム4を照射する。PDシステム4はリソグラフィビーム1bの経路上の特定の位置に保持され、そのため、リソグラフィビーム1bは、該複数のアパーチャ及び/又は開口部を照射し、複数のビームレットに分割される。

10

【0038】

これらのアパーチャ/開口部の幾つかは、それらが自身を貫通通過するビームの部分すなわちビームレット51をターゲットに到達させるという意味で、入射ビームに対して透過性（透明）であるように、「スイッチオン」され、ないしは「オープン（開状態）」であり、他のアパーチャ/開口部は「スイッチオフ」され、ないしは「クローズ（閉状態）」である、即ち、対応するビームレット52はターゲットに到達できず、従って、実質的に、これらのアパーチャ/開口部はビームに対して非透過性（不透明）である。したがって、リソグラフィビーム1bは、PDシステム4から出射するパターン化ビームpbに構造化される。スイッチオンされたアパーチャのパターン、リソグラフィビーム1bに対して透過性であるPDシステム4の唯一の部分、は、荷電粒子感応性レジスト17で被覆された基板16上で露出されるべきパターンにしたがって選択される。なお、アパーチャ/開口部の「スイッチオン/オフ」は、通常、PDシステム4の複数のプレートの1つに設けられた適切なタイプの偏向手段によって実現されることに注意すべきである。「スイッチオフ」ビームレット52は、（十分であるが非常に小さい角度で）それらの経路から偏向され、そのため、ターゲットに到達できず、専ら、リソグラフィ装置の何れかの部位において、例えば吸収板11において、吸収される。

20

【0039】

パターン化ビームpbによって表されるパターンは、その後、磁気電気光学式（electro-magneto-optical）投影システム5によって基板16上に投影され、そこでビームは「スイッチオン」アパーチャ及び/又は開口部の像を形成する。投影システム5は、2つのクロスオーバーc1とc2によって、例えば200:1の縮小（demagnification）を実施する。基板16は、例えば、粒子感応性レジスト層17で被覆された6（インチ）マスクブランケットまたはシリコンウェハである。基板は、チャック15によって保持され、ターゲットステーション6の基板ステージ14によって位置決めされる。

30

【0040】

露光されるべきパターンに関する情報は、電子パターン情報処理システム18によって実現されるデータパス（data path）によってPDシステム4に供給される。データパスの更なる詳細については、以下の「データパス」の項で説明する。

【0041】

図1に示す実施形態において、投影システム5は、好ましくは静電レンズ及び/又は磁気レンズを含み、場合によっては他の偏向手段も含む、一連の複数の磁気電気光学式投影ステージ10a、10b、10cから構成される。これらのレンズおよび手段は、その使用が先行技術において周知であるため、象徴的な形でのみ示されている。投影システム5は、クロスオーバーc1、c2を介する縮小イメージングを用いる。双方のステージの縮小率は、全体として数百倍の縮小、例えば200:1の縮小が結果として得られるように選択される。このオーダーの縮小は、PDデバイスにおける小型化という問題を軽減するために、リソグラフィ設備（setup）にとりわけ適している。

40

【0042】

投影システム5全体において、色収差および幾何学収差に関してレンズ及び/又は偏向手段を大幅に補償するよう、条件が定められている。像を全体として横方向に、すなわち

50

光軸 $c w$ に直角な方向に沿ってシフトさせる手段として、偏向手段 1 2 a、1 2 b 及び 1 2 c が、集光レンズ 3 及び投影システム 5 に設けられている。これらの偏向手段は、例えば、ソース抽出システム 8 付近若しくは、図 1 に偏向手段 1 2 b で示されているような、2 つのクロスオーバーの一方の付近に位置付けられるか、又は、図 1 のステージ偏向手段 1 2 c の場合のように、相応のプロジェクタの最終レンズ 1 0 c に後置されるマルチポール電極システムとして実現されることも可能である。この装置では、マルチポール電極配置は、ステージの動きに関連して像をシフトするためにかつ荷電粒子光学系位置合わせ (alignment) システムと連動する結像システムを補正するために、偏向手段として使用される。これらの偏向手段 1 2 a、1 2 b、1 2 c は、ストッププレート 1 1 と連動する P D システム 4 の偏向アレイ手段と混同されるべきではない。なぜなら、後者は、パターン化ビーム p b の選択されたビームレットを「オン」または「オフ」にスイッチするためにして使用されるものであるのに対し、前者は、粒子ビームを全体として取り扱うだけであるからである。更に、軸線方向の磁界をもたらしソレノイド 1 3 を用いてプログラマブルビームの集合を回転させる可能性もある。

【 0 0 4 3 】

図 2 の断面詳細図は、P D システム 4 の 1 つの好適実施形態を示す。P D システム 4 は、一連に重なる (consecutive) 構成で積み重ねられた 3 つのプレート、すなわち「アパーチャアレイプレート」(A A P) 2 0、「偏向アレイプレート」(D A P) 3 0 及び「フィールド境界アレイプレート」(F A P) 4 0 を含む。なお、用語「プレート」はそれぞれの装置の全体的な形状を表すものであるが、プレートが単一のプレート部品として実現されることを必ずしも示すものではない (尤も後者は通常は好ましい実現の仕方である)。それでもなお、特定の実施形態では、アパーチャアレイプレートのような「プレート」は、複数のサブプレートから構成されてもよい。これらのプレートは、好ましくは、互いに平行に、Z 方向 (図 2 の紙面の上下方向の軸) に沿って相互に間隔をおいて、配置される。

【 0 0 4 4 】

A A P 2 0 の平坦な上面は、荷電粒子集光光学系 / 照明システム 3 に対する定義されたポテンシャルインターフェースを形成する。A A P は、例えば、肉薄の中央部分 2 2 を有するシリコンウェハ (およそ 1 mm の厚さ) 2 1 の方形または矩形片から作成されてもよい。プレートは、導電性保護層 2 3 によって被覆されてもよい。この導電性保護層 2 3 は (米国特許第 6,858,118 号のように) 水素イオンまたはヘリウムイオンを使用する場合とりわけ有利であろう。電子または重イオン (例えば、アルゴンまたはキセノン) を使用する場合、層 2 3 は、層 2 3 とバルク部分 2 1、2 2 との間に界面が存在しないよう、2 1 および 2 2 のそれぞれの表面部分によってもたらされるシリコンであってもよい。

【 0 0 4 5 】

A A P 2 0 は、肉薄部分 2 2 を貫通する開口部によって形成される複数のアパーチャ 2 4 を備える。アパーチャ 2 4 は、肉薄部分 2 2 に設けられたアパーチャ領域内に所定の配列で配置されて、アパーチャアレイ 2 6 を形成する。アパーチャアレイ 2 6 におけるアパーチャの配列は、例えば、ジグザグ (staggered) 配列、または、規則的な矩形もしくは方形アレイ (図 4 を参照) であってよい。図示の実施形態では、アパーチャ 2 4 は、層 2 3 に形成された直線的プロファイルと、開口部の下流側出口部 2 5 がアパーチャ 2 4 の主要部分よりも幅が広いような、A A P 2 0 のバルク層における「後方 (下流側) 拡開 (末広がり: retrograde)」プロファイルとを有するように実現される。直線プロファイルおよび後方拡開プロファイルは両方とも、反応性イオンエッチングのような技術水準の構造化技法によって形成可能である。後方拡開プロファイルは、開口部を貫通通過するビームのミラー荷電 (mirror charging) 効果を大きく低減する。

【 0 0 4 6 】

D A P 3 0 は複数の開口部 3 3 を備えたプレートであり、開口部 3 3 の位置は A A P 2 0 におけるアパーチャ 2 4 の位置に対応し、開口部 3 3 には、開口部 3 3 を貫通通過する個別ビームレットを選択的にそれぞれの経路から偏向するよう構成された電極 3 5、3 8

10

20

30

40

50

が設けられている。DAP30は、例えば、ASIC回路構成を有するCMOSウェハを後処理することによって作成可能である。DAP30は、例えば、方形または矩形状を有する1片のCMOSウェハ片で作成され、及び、肉薄化されている（但し肉薄部分22の厚みと比べて適切により肉厚であってもよい）中央部分32を保持するフレームを形成する肉厚部分31を含む。中央部分32におけるアパーチャ開口部33は、開口部24と比べて（例えば紙面左右両側にそれぞれ凡そ2 μ mだけ）広がっている。MEMS技術によって設けられる電極35、38を制御するために、CMOS電子回路34が設けられる。各開口部33に隣接して、「アース」電極35及び偏向電極38が設けられる。アース電極（複数）35は電氣的に相互接続され、共通のアース電位に接続され、帯電を阻止するための後方拡開部分36と、CMOS回路に対する不所望のショートカットを阻止するための絶縁部分37とを含む。アース電極35は、シリコンバルク部31および32と同じ電位のCMOS回路34の部分に接続されてもよい。

10

【0047】

偏向電極38は、静電ポテンシャルが選択的に印加されるように構成される。そのような静電ポテンシャルが電極38に印加されると、この電極は、対応するビームレットに偏向を引き起こし、該ビームレットをその公称経路から逸らす電界を生成するように構成されている。電極38は、同様に、帯電を回避するために後方拡開部分39を有していてもよい。電極38の各々は、その下側部分において、CMOS回路34内部の対応するコンタクト部位に接続される。

【0048】

20

アース電極35の高さは、ビームレット間のクロストーク効果を抑制するために、偏向電極38の高さより高い。

【0049】

図2に示されるDAP30を有するPDシステム4の配置は、いくつかの可能性の内の1つに過ぎない。（不図示の）変形形態では、DAPのアース電極35及び偏向電極38は、下流側ではなく寧ろ、上流側に（紙面上方を向く側に）配向されてもよい。例えば埋込型のアース電極および偏向電極を有する更なるDAP構成は、当業者によって案出可能である（米国特許第8,198,601B2のような、本出願人名義の他の特許を参照）。

【0050】

FAPとして機能する第3のプレート40は、下流側で縮小を行う荷電粒子投影光学系5の第1レンズ部分に面する平面を有し、そのため、投影光学系の第1のレンズ10aに対する定義されたポテンシャルインターフェースを提供する。FAP40の肉厚部分41は、肉薄中央部分42を有する、シリコンウェハの一部から構成される方形または矩形フレームである。FAP40は、AAP20およびDAP30の開口部24、33に対応するが、それらと比べて幅が広い複数の開口部43が設けられている。

30

【0051】

PDシステム4、特にその第1のプレートであるAAP20は、幅広荷電粒子ビーム50（本書において、「幅広」ビームは、ビームがAAPにおいて形成されたアパーチャアレイの領域全体をカバーするために十分に幅が広いことを意味する）によって照射され、その結果、荷電粒子ビーム50は、アパーチャ24を貫通して通過させられると、何千ものマイクロメートルサイズのビームレット51に分割される。ビームレット51は、DAP及びFAPを、妨げられることなく、横断する（通過する）ことになる。

40

【0052】

既述のように、偏向電極38がCMOS電子回路によって電力供給される場合はいつでも、偏向電極と対応するアース電極との間に電界が生成されることになるが、それにより、そこを通過するそれぞれのビームレット52は小さいが十分に偏向される（図2）。偏向されたビームレットは、開口部33および43がそれぞれ十分に広い幅に形成されているため、DAP及びFAPを妨げられることなく横断することができる。しかしながら、偏向されたビームレット52は、サブカラムのストッププレート11においてフィルター除去される（図1）。したがって、DAPによる影響を受けないビームレットのみが基板

50

に到達することになる。

【 0 0 5 3 】

縮小荷電粒子光学系 5 の縮小率は、ビームレットの寸法、P D 装置 4 におけるそれらの相互間距離、及びターゲットにおける構造体の所望の寸法を考慮して適切に選択される。これにより、P D システムにおいてはマイクロメートルサイズのビームレットの生成が可能になるとともに、基板にはナノメートルサイズのビームレットが投影される。

【 0 0 5 4 】

A A P によって形成される（影響を受けていない）ビームレット 5 1 の束は、荷電粒子投影光学系の所定の縮小率 R によって基板に投影される。それゆえ、基板において、幅 $B X = A X / R$ と $B Y = A Y / R$ をそれぞれ有する「ビームアレイフィールド」（B A F）が投影される。ここで、A X 及び A Y は、それぞれ、X 方向および Y 方向に沿ったアパーチャアレイフィールドのサイズを示す。基板におけるビームレット（すなわち、アパーチャ画像）の公称幅は、それぞれ、 $b X = a X / R$ 及び $b Y = a Y / R$ で与えられ、a X 及び a Y は、それぞれ、D A P 3 0 のレベル（高さ）における X 方向および Y 方向に沿って測定されるビームレット 5 1 のサイズを示す。従って、ターゲット上に形成される単一のアパーチャ画像のサイズは $b X \times b Y$ である。

【 0 0 5 5 】

なお、図 2 に示された個別ビームレット 5 1、5 2 は、2 次元の X - Y アレイに配置される極めて多数の、典型的には何千本ものビームレットを表す。本出願人は、例えば、イオンについて $R = 2 0 0$ の縮小率を有するマルチビーム荷電粒子光学系及び何千本もの（例えば、2 6 2、1 4 4 本の）プログラブルビームレットを有する電子マルチビームカラム（複数）を実現している。さらに、本出願人は、基板において凡そ $8 2 \mu m \times 8 2 \mu m$ の B A F を有するそのようなカラムを実現している。これらの例は、例示の目的で挙げられたものであり、限定的な例として理解されるべきではない。

【 0 0 5 6 】

パターンの描画

【 0 0 5 7 】

図 3 を参照すると、P D システム 4 によって定義されるようなパターン画像 p m がターゲット 1 6 上に生成されている。荷電粒子感応性レジスト層 1 7 によって被覆されたターゲット表面は、露光されるべき 1 つ又は複数の領域 r 1 を含むことになる。一般的に、ターゲット上に露光されるパターン画像 p m は、パターン化されるべき領域 r 1 の幅より、通常は十分に小さい有限サイズ y 0 を有する。従って、走査ストライプ露光法が利用されるが、この場合、ターゲットは、ターゲット上におけるビームの位置を絶え間なく変更するよう、入射ビームの下で移動される、即ち、ビームはターゲット表面に渡って効率的にスキャンされる。本発明の目的のためには、ターゲット上におけるパターン画像 p m の相対運動のみが重要であることを強調しておく。該相対移動によって、パターン画像 p m は、幅 y 0 を有する一連のストライプ s 1、s 2、s 3、・・・s n（露光ストライプ）を形成するよう、領域 r 1 上で移動される。ストライプの完全なセットは基板表面の領域全体をカバーする。走査方向 s d は、一定の方向を有してもよく、或いは、ストライプごとに移動方向が互い違いになってもよい。

【 0 0 5 8 】

図 5 A に、 $1 0 \times 1 8 = 1 8 0$ ピクセルのサイズの結像パターン p s の簡単な一例を示す。この場合、露光領域のいくつかのピクセル p 1 0 0 は 1 0 0 % のグレーレベル 4 0 1 に露光され、他のピクセル p 5 0 は完全なグレーレベルの 5 0 % にだけ露光 4 0 2 される。残りのピクセルは 0 % 線量 4 0 3 に露光される（全く露光されない）。図 5 B は、5 0 % のレベルの実現の仕方を示す。即ち、各ピクセルは数回露光され、0 % から 1 0 0 % の間のグレーレベルを有するピクセルについては、活性化されるピクセルに応じて露光の回数を相応に選択することによって、グレーレベルは実現される；グレーレベルは、活性化された露光を露光の総数で割った結果（活性化された露光を分子、露光の総数を分母とする分数）である。この例では、5 0 % レベルは、4 回（露光総数）のうち 2 回（活性化露

10

20

30

40

50

光数)を選択することにより実現される。当然ながら、本発明の現実的な応用においては、標準画像のピクセル数ははるかに大きいものになる。しかしながら、図5A及び図5Bでは、より良い明瞭性のため、ピクセル数は180のみとしてある。更に、一般的には、一層より多くの段階のグレーレベルが0%から100%のスケールの範囲内において使用されるであろう。

【0059】

従って、パターン画像 p_m (図3)は、露光されるべき所望のパターンに応じた線量値で露光される複数のパターンピクセル p_x から構成される。尤も、PDシステムのアパーチャフィールドには有限の数のアパーチャしか存在しないため、同時に露光できるのは1つのサブセットのピクセル p_x だけであることに注意すべきである。スイッチオンされるアパーチャのパターンは、基板に露光されるべきパターンに応じて選択される。このため、実際のパターンでは、ピクセルのすべてが完全な線量で露光されるのではなく、ピクセルの一部は実際のパターンに応じて「スイッチオフ」されることになる；任意のピクセル毎に(又は、等価的には、該ピクセルをカバーする各ビームレット毎に)、ターゲット上に露光または構造化されるべきパターンに応じて該ピクセルが「スイッチオン」されるか「スイッチオフ」されるかにより、露光線量はピクセル露光サイクル毎に変化されることができる。

【0060】

基板16が連続的に動かされる間に、ターゲット上のパターンピクセル p_x に対応した同じ像要素は、一連(シーケンス)のアパーチャの像によって何度かカバーされることができる。同時に、PDシステムにおけるパターンは、PDシステムのアパーチャを介して、段階的に(ステップ毎に)、シフトされる。したがって、ターゲット上のある場所にある1ピクセルについて考えると、すべてのアパーチャがスイッチオンされてそのピクセルをカバーするとすれば、これにより、最大露光線量レベル、即ち、100%に相当する「ホワイト」シェードが生じるであろう。「ホワイト」シェードに加えて、最小(「ブラック」)露光線量レベルと最大(「ホワイト」)露光線量レベルとの間を補間するであろうようなより低い線量レベル(「グレーシェード」とも称される)に従って、ターゲットにおけるピクセルを露光することができる。グレーシェードは、例えば、1ピクセルの描画に関与し得るアパーチャの1つのサブセットのみをスイッチオンすることによって実現されることが可能であり、例えば、16個のアパーチャのうちの4つにより、25%のグレーレベルが与えられるであろう。もう1つのアプローチは、関与するアパーチャのブランキングされない(unblanked)露光の持続時間を低減させることである。従って、1つのアパーチャ画像の露光持続時間は、グレースケールコードによって、例えば、整数によって制御される。露光されたアパーチャ画像は、ゼロと、最大露光持続時間及び線量レベルとに対応する所与の数のグレーシェードのうちの1つの現れである。グレースケールは、通常、一組のグレー値、例えば、 $0, 1/(n_y - 1), \dots, i/(n_y - 1), \dots, 1$ 、但し n_y はグレー値の数、 i は整数(「グレーインデックス」、 $0 \leq i < n_y$)、を定義する。尤も、一般的には、グレー値は等間隔である必要はなく、0と1の間の非減少(non-decreasing)数列を形成する。

【0061】

図4は、基本的レイアウトによる、PDデバイスのアパーチャフィールドにおけるアパーチャの配置を示し、以下で用いるいくつかの量及び略語を示す。濃い(黒の)シェードで示された、ターゲット上に投影されたアパーチャ画像(複数) b_1 の配置が示されている。主軸 X および Y は、それぞれ、ターゲット運動の進行方向(走査方向 s_d)及びその直角方向に対応する。各アパーチャ画像は、夫々、方向 X 及び Y に沿って幅 b_X 及び b_Y を有する。アパーチャは、 M_X 個のアパーチャを有する行及び M_Y 個のアパーチャを有する列に沿って配置されており、各行及び各列における隣接するアパーチャ間にオフセットは夫々 $N_X \cdot b_X$ 及び $N_Y \cdot b_Y$ である。その結果、各アパーチャ画像には、 $N_X \cdot b_X \cdot N_Y \cdot b_Y$ の面積を有する概念セル C_1 が属し、アパーチャアレンジメントは、矩形に配列された $M_X \cdot M_Y$ 個のセルを含む。以下では、これらのセル C_1 を「露光セル」と称

する。ターゲット上に投影される完全なアパーチャアレンジメントは、 $B \times (= M \times \cdot N \times \cdot b \times) \times B Y (= M Y \cdot N Y \cdot b Y)$ の寸法を有する。以下の説明においては、矩形グリッドの特殊なケースとしての方形グリッドを想定し、かつ、 $b = b X = b Y$ 、 $M = M X = M Y$ 、 $N = N X = N Y$ 、 M は整数とするが、これらはすべて更なる説明のためのものであり、一般化を制限するものではない（これらに限定されない）。かくして、「露光セル」はターゲット基板上で $N \cdot b \times N \cdot b$ のサイズを有する。

【0062】

隣り合う2つの露光位置間のピッチは、以下において、 e で表す。一般的に、距離 e は、アパーチャ画像の公称幅 b と異なり得る。最も単純な例では、 $b = e$ であり、これは、 2×2 露光セル $C 3$ の配置の例として図6Aに示されているが、1つのアパーチャ画像 $b i 0$ は1ピクセル（の公称位置）をカバーする。図6Bに示される（及び米国特許第8,222,621号及び米国特許第7,276,714号の教示に沿った）他の興味深い例では、 e はアパーチャ画像の幅 b の分数 b / o であってよく、ここで、 $o > 1$ は、オーバーサンプリング係数とも称される整数であるのが好ましい（但し必須ではない）。この場合、アパーチャ画像は、様々な（複数の）露光の過程で空間的に重なり合い、それにより、パターンの位置決め（placement）のより高い解像度を生成可能にする。その後、（1つの）アパーチャの各画像は、一度に、複数のピクセル、すなわち o^2 個のピクセルをカバーするであろう。ターゲットに結像されるアパーチャフィールドの領域全体は、 $(N M o)^2$ 個のピクセルを含むであろう。アパーチャ画像の位置決め観点からすれば、このオーバーサンプリングは、ターゲット領域を単にカバーするために必要になるであろうものとは異なる（間隔がより細かいため）、いわゆる位置決めグリッドに対応する。

【0063】

図6Bは、「ダブルグリッド」とも称される、位置決めグリッドと組み合わせられた $o = 2$ のオーバーサンプリングの一例、すなわち、 $o = 2$ 、 $N = 2$ のパラメータを持つ露光セル $C 4$ を有するアパーチャアレイの画像、を示す。従って、各公称位置（図6Bにおける小さな方形フィールド）には、規則的なグリッドにおいてX方向及びY方向の両方向に距離 e だけオフセットされている4つのアパーチャ画像 $b i 1$ （破線〔ハッチング〕）がプリントされる。アパーチャ画像のサイズは依然として同じ値 b であるのに対し、位置決めグリッドのピッチ e は今や $b / o = b / 2$ である。従前の公称位置に対するオフセット（位置決めグリッドのオフセット）も $b / 2$ のサイズである。同時に、各ピクセルの線量及び/又はグレーシェードは、夫々のピクセルをカバーするアパーチャ画像に対し適切なグレー値を選択することによって、適合化（低減）されることができる。その結果、サイズ $b \times b$ の領域がプリントされるが、より精細な位置決めグリッドにより、位置決め精度は向上されている。図6Bと図6Aを直接比較することにより、アパーチャ画像の位置は、位置決めグリッド上で従前よりも2倍（一般的には o 倍）の精細に配置されている一方、アパーチャ画像（複数）自体は重なり合っていることが分かる。露光セル $C 4$ は、今や、描画プロセス中に扱われるべき $(N o)^2$ の位置（即ち「ピクセル」）を、従って、 o^2 の倍数だけ、従前よりも多くのピクセルを含む。これに応じて、 $b \times b$ のアパーチャ画像のサイズを有する領域 $b i 1$ は、図6Bにおける $o = 2$ であるオーバーサンプリング（「ダブルグリッド」とも称される）の場合、 $o^2 = 4$ ピクセルに関連付けられる。当然ながら、 o も同様に、任意の他の整数値、特に4（「クワッドグリッド」、不図示）又は8であってもよい。更に、パラメータ o は、米国特許第9,653,263号に示されている「ダブルセンターグリッド」の場合に対応して、 $2^{1/2} = 1.414$ 又は $2^{3/2} = 2.828$ のような1より大きい非整数値であってもよい。

【0064】

なお、連結（interlockong）グリッド（ $o > 1$ ）を用いることにより、「ディザリング（dithering）」によってグレーシェードの数の増加が可能になる一方で、線量分布は均一に維持される。これは、グレーシェードがいずれの公称グリッドについても等しいことを基礎とする。これは、ダブル連結グリッドでは、実現可能な有効線量レベルの数（複数）は非連結グリッドの場合より4倍多いことを意味する。一般的に言えば、オーバーサン

プリングされる露光グリッド（即ち $o > 1$ ）は、何れも、 X 及び Y 方向に b / o の距離だけシフトされる o^2 個までの公称グリッドから構成される。従って、ある線量レベルから次の線量レベルへのステップは o 個のサブステップに分割することができ、この場合、これらの o 個のグリッドの 1 つのみの線量レベルが増大される。これは、全てのサブグリッドが公称レベルを露光するまで、他のグリッドについて繰り返すことができる。基板におけるビーム形状は、機械ブラーとアパーチャプレートの減縮されたアパーチャ形状との畳み込みであることは、当業者であれば分かるであろう。幅 b を露光グリッド定数 e の自然数倍に設定することにより、換言すれば $o = b / e$ を整数にすることにより、基板上における均一な線量分布を得ることができる。そうでない場合、線量分布は、エイリアシング（aliasing）効果のため、露光グリッドの周期性に伴って最小値と最大値を有し得る。多数のグレーシェードは、より優れた特徴位置決めを可能にする。従って、グレーレベルの増加は、ピクセル位置ごとのグレーシェードが所定の数に限られている場合、重要である。

【 0 0 6 5 】

図 7 A は、好ましくは本発明によって使用される走査ストライプ露光に適切なピクセルの露光スキームを示す。図示されているのは一連のフレームであるが、時間は（紙面）頂部（より早期）から（紙面）底部（より遅期）に進行する。この図におけるパラメータ値は $o = 1$ 、 $N = 2$ であり、更に、 $M X = 8$ 及び $M Y = 6$ の矩形ビームアレイが想定されている。ターゲットは常に（紙面）左側に動くのに対し、ビーム偏向は、紙面の左側に示されているように、のこぎり波関数で制御される。長さ T_1 の各時間間隔（interval）中は、ビーム画像は、（「位置決めグリッド」の位置に対応する）ターゲット上のある位置に固定されたままである。従って、ビーム画像 p_m は、位置決めグリッドシーケンス p_{11} 、 p_{21} 、 p_{31} を通過するように示される。位置決めグリッドの 1 サイクルは、ターゲット運動 v によって、時間間隔 $L / v = N M b / v$ 以内に露光される。各位置決めグリッドにおける露光のための時間 T_1 は、「露光長さ」と称される長さに相当し、これは $L_G = v T_1 = L / p = N M b / p$ で与えられる。但し、 p は 1 つのセルの内部の露光位置の数（通常のオーバーサンプリングされたグリッドでは $p = N o^2$ ）を表す。

【 0 0 6 6 】

ビームレット（複数）は、ターゲットと共に 1 セットの画像要素の露光中に、 L_G の距離にわたって移動される。換言すれば、すべてのビームレットは、時間間隔 T_1 の間、基板の表面に対して固定された（一定の）位置を維持する。距離 L_G に沿ってターゲットと共にビームレットを移動させた後、ビームレットは即座に（極めて短い時間以内に）再配置されて、次の位置決めグリッドの画像要素の露光を開始する。（1 つの）位置決めグリッドサイクルの位置 $p_{11} \cdots p_{31}$ を介する 1 つの完全なサイクルの後、シーケンスは、 X 方向（走査方向）に平行な縦方向のオフセット $L = b N M$ を付加して、新たに開始される。ストライプの始点と終点において、この露光方法は連続的なカバリング（covering）を形成しなくてもよく、そのため、完全には充足（露光）されない長さ L のマージンがあってもよい。

【 0 0 6 7 】

なお、図 7 A には、実際のパターンに応じた個別アパーチャの開閉のために必要な時間は省略されていることに注意すべきである。実際は、DAP の偏向装置及び偏向マルチポールシステムは、再位置決め及び過渡的振動のフェードアウト（収束）後にアパーチャの状態を安定化するために、所定の安定化期間 T_s を必要とする。安定化期間 T_s は、ピクセル露光サイクル T_1 の（極めて）小さい部分である。従って、完全なピクセル露光サイクル T_1 より寧ろ、専ら使用可能時間 $T_u = T_1 - T_s$ がピクセルの露光のために使用される。時間間隔 T_u は、その時間以内に適切な線量がそれぞれのピクセルに供給されることを保証するピクセル露光期間である。しかし、以下においては、 T_s は T_1 と比べて無視できる程小さいと仮定し、したがって、 T_u と T_1 は以下では区別しない。

【 0 0 6 8 】

使用可能露光時間 T_u は、処理可能なグレーシェードの数に対応する g 個の時間枠に分割される。 g の値の一例は $g = 16$ （4 ビット）である。ピクセル露光は、 T_u 以内に使

10

20

30

40

50

用される時間枠の合計である所望のグレーシェードに応じて活性化される。時間 T_u 以内に 1 つのピクセルに適用される線量が g 個のグレーレベルにデジタル化されれば、ブランキングセル全体を g 回、時間 T_u の間にリロードすることができる。ブランキングアレイにおける各ブランキングセルは、露光期間 T_1 (より正確には使用可能時間 T_u) の間にそれぞれ個別のグレーシェードを受け取る。

【0069】

図 7 B に、 $g = 5$ とした単純化した例における、異なるグレーシェードを有する 2 つのピクセルの露光を示す。安定化期間 T_s の相対的サイズは著しく誇張して示されている。 $g = 5$ に応じて、各使用可能時間 T_u に 5 つの時間枠がある。第 1 ピクセル p_{72} [p_{71}] は、100% (即ち「ブラック」) のグレーシェードで露光され、第 2 ピクセル p_{71} [p_{72}] は 40% のグレーシェードで露光される。ピクセル p_{71} [p_{72}] に対して、対応するブランキング電極の 2 つの時間枠は、(40% は 5 つの内の 2 つのグレーシェードに相当するため) 1 つのグレーにシェードされたピクセルを生成し、時間枠の 2 つは、任意の順序で、スイッチオンに設定される。他方、ピクセル p_{72} [p_{71}] については、それぞれのブランキング電極は、5 つの全ての時間枠の間活性化され、その結果、 T_u の間に与えられ得る最大線量を有するブラック (黒い) ピクセルを生成する。

【0070】

ダブルグリッド及びクワッドグリッドにおける特徴の露光

【0071】

図 8 A ~ 図 8 C を参照すると、アパーチャ画像 b_{i0} 、 b_{i1} (図 6 A、図 6 B) に対応する各露光スポット 60 は、以下においてより詳細に説明するように、離散的な線量レベルで露光される。図 8 A ~ 図 8 C は、特別に重要ないくつかのオーバーラップ構成を示す。

【0072】

図 8 A は、図 6 B について上述したような「ダブルグリッド」マルチビーム露光を示すが、露光スポット間のオーバーラップは X 方向及び Y 方向においてビームスポットサイズの半分である。この場合、物理的グリッドサイズ 61 は、スポット (spots) の線形サイズ 60 の半分である。

【0073】

図 8 B は、「クワッドグリッド」マルチビーム露光を示すが、スポット間のオーバーラップは X 方向及び Y 方向においてビームスポットサイズの $1/4$ である。この場合、物理的グリッドサイズ 62 は、スポットサイズ幅の 4 分の 1 である。

【0074】

図 8 C は、別のグリッドレイアウトを示すが、この場合、ダブルグリッドオーバーラッピングビーム露光に加えて、ビーム露光は中間にある中心点 (複数) において行われる。従って、物理的グリッドサイズ 63 は、線形スポットサイズの $1/2^{3/2}$ (即ち $2/4$) である。このマルチビーム露光モードは「ダブルセンターグリッド」と称される。

【0075】

図 9 は、最大線量レベルで露光される 1 つの露光スポット (その幅は 60 で示されている) の強度プロファイルの象徴的描写 (「ブリック (brick) 層」) を示す。4 ビットコーディングの例示的ケースでは、16 の線量レベル (0、1、2、... 15) がある。即ち、最大線量レベルは、15 の線量レベル増分の合計 64 である。

【0076】

図 10 は、ゼロブラーの理想的な場合における、幅 30 nm の線についての理想強度プロファイル 71 を示す。「クワッドグリッド」マルチビーム露光を使用する場合、オーバーラップはビームサイズの 4 分の 1 である。従って、ビームサイズが 20 nm の場合、物理的グリッドサイズは 5 nm である。選択した例では 5 nm \times 5 nm である物理的グリッドの各領域には、離散的 (discrete) 線量レベルを割り当てることができる; 図 10 における線 72 は、30 nm 線を生成するためにピクセル位置に割り当てられた離散的線量レベルを有するオーバーラッピング露光スポット (複数) によって構成されるような強度の

10

20

30

40

50

重ね合わせ（又は総線量）を示すが、見やすくするために、ブラーはゼロに設定されている（そのため、単一の露光スポットの線量分布は矩形になる）。ブラーが図 1 3 に示すような現実的な値を有する場合、矩形のエッジにおけるステップ（階段）関数は、ガウス関数で畳み込まれ、最終的にガウス形状に変換される。その意味で、線 7 2 は、ブラーゼロでのガウス関数の重ね合わせとみなすことができる。一般的な場合、線量レベルのヒストグラムは、左右のエッジを所定の位置に位置付けるために、対称にはならないであろう。

【 0 0 7 7 】

図 1 1 は、0 . 0 nm に位置付けられるべき左側エッジと、3 0 . 0 nm に位置付けられるべき右側エッジとを有する 3 0 . 0 nm 幅の線についてのシミュレーションの一例を示す。このシミュレーションでは、2 0 nm のビームスポットが、5 . 1 nm の 1 シグマ（sigma）ブラー（即ち 1 2 . 0 nm の FWHM（full width at half maximum：半値全幅）ブラー）で露光されるものとした。強度プロファイル 7 6 は、露光スポット 7 3、7 4 及び 7 5 のプロファイルの重ね合わせにより形成される。最も左側の露光スポット 7 4 の線量レベルは、3 0 nm の線が所望の開始位置 7 7、即ち 0 nm で開始するように調節される。最も右側の露光スポット 7 5 の線量レベルは、被露光線が 3 0 . 0 nm の位置 7 8 で終了するように調節される。図 1 1 から分かる通り、「クワッドグリッド」露光によれば、露光スポット 7 3、7 4、7 5 のオーバーラップは、ビームサイズの 4 分の 1、即ち 5 nm である。

【 0 0 7 8 】

図 1 2 A 及び図 1 2 B は、MBW が精細エッジ定義（ないし分解能：definitions）により線を描画する仕方を示す。各図において、紙面上側のフレームは、線幅に対するエッジ位置エラー x （双方とも単位はナノメートル）を示し、紙面中央のフレームは強度プロファイル（3 1 . 4 nm 及び 4 0 nm の線幅 w_x のそれぞれについて強度の単位は任意）を示し、紙面下側のフレームは、線幅に対する露光線量を 1 0 % 増大した場合（ $D = 1 0 \%$ ）のエッジ位置ずれ x_E を示す。図 1 2 A は、3 1 . 4 nm 線幅について得られた強度プロファイルを示し、図 1 2 B は、4 0 . 0 nm 線幅について得られた強度プロファイルを示す。2 0 nm ビームサイズとクワッドグリッド露光（5 nm の物理的グリッドサイズ）による MBW を使用することにより、露光によって生成される構造の線幅は、0 . 1 nm 刻みで変更することができる。線量レベルが整数であるため、0 . 1 nm アドレスグリッドからは僅かなずれが生じる。これらのずれは、3 0 . 0 nm と 4 0 . 0 nm の間で 0 . 1 nm 刻みの所望の線幅 w_x の関数として示されている「エッジ位置エラー」 x （紙面上側フレーム）として示されている。図から分かる通り、これらのずれは $\pm 0 . 0 5$ nm の範囲内にある。さらに、線量の 1 0 % 変化によるエッジ位置の変化 x_E は僅か凡そ 1 nm であり、紙面下側フレームに示されているように線幅が変化しても僅かしか変化しない。換言すれば、線量は MBW において 1 % よりも良好に制御されるので、線量の 1 % の変化によるエッジ位置の変化は凡そ 1 原子層以内である。

【 0 0 7 9 】

図 1 3 は、MBW の最も重要な一利点、即ち、線幅は 5 0 % 線量閾値で見るとブラーには事実上依存しないことを示す。図 1 3 には、ゼロブラーについての強度プロファイル 7 1、線量レベルヒストグラム 7 2、及び、それぞれ 3 . 5 nm、5 . 0 nm 及び 7 . 5 nm の 1 シグマブラーで算出された結果として生じる強度プロファイル 8 1、8 2、8 3 が示されている。生成された構造のエッジ位置 x_{E1} 及び x_{E2} は、ゼロブラー強度プロファイル 7 1 が「0 . 5」強度レベル（ドーズ・ツー・クリア（dose-to-clear））と交差する所にある。図 1 3 A の拡大詳細図は、（紙面）左側傾斜（立ち上がり）部分における位置 x_{E1} の周囲の領域を示す。線量レベル割当て 7 2 は、5 nm の 1 シグマブラーを有する 2 0 nm ビームサイズと、5 nm の物理的グリッドサイズを与えるクワッドグリッドマルチビーム露光を使用するためのものである。

【 0 0 8 0 】

図 1 4 A、図 1 4 B 及び図 1 4 C は、本書で説明するマルチビーム露光方法が、グリッドサイズより小さい解像度で、構造特徴の精細位置決めを達成できる仕方を示す強度プロ

ファイル図を示す。図 1 4 A ~ C に示すような強度プロファイル図において、離散的な線量レベルは、「煉瓦 (brick) 層」の配置で積み重ねられる、均一の高さの矩形 6 4 として視覚化されている。当然ながら、この「煉瓦層」の描写は象徴的なものにすぎず、図面の説明を容易にすることが意図されているに過ぎない。

【 0 0 8 1 】

図 1 4 A は、2 0 n m 幅のビームスポットサイズのクワッドグリッドにおいて 4 ビット (即ちスポット当たり 1 5 の線量レベル) 露光によって露光された 3 0 n m 幅の線の例についての、線量レベルヒストグラムを示す。グリッドサイズ 6 2 は、「煉瓦層」配置で積み重ねられた矩形として象徴的に示されている露光スポットの線形サイズの 1 / 4 であり、その結果として得られる線量レベル分布 6 5 は太線で輪郭が描かれている。

10

【 0 0 8 2 】

線幅は、グリッドサイズ、この例ではクワッドグリッドサイズ 6 2 より小さい、極めて細かい刻みでより狭く又はより広くされることができる。線幅の減縮 (reducing) は、最も外側の露光スポットの線量レベルを低下すること及び / 又は幾つかの露光スポットを無視すること (減縮が露光スポットサイズの少なくとも凡そ半分である場合は後者) によって達成できる。線幅の増大 (increasing) は、最も外側の露光スポットの線量レベルを増大すること、及び / 又は、特に最大線量レベルに既に到達している場合は、追加の、好ましくはオーバーラップする露光スポットを付加することによって達成可能である。後者の側面は、図 1 4 B に示されている。即ち、所定の線量レベルを有する露光スポット 6 6 が付加され、その結果、6 5 と比べてより広い幅を有する線についての線量レベルヒストグラム 6 7 が得られる。(紙面左右) 両側における縮小および増加のこれらの効果を組み合わせることによって、非常に精細なステップ (刻み) で線位置をシフトすることもできる。図 1 4 C は、幅の変化を伴わない線のシフトを示し、これは、幾つかの線量レベルをスポット 6 8 から除去しかつ幾つかの線量レベルをスポット 6 9 から [スポット 6 9 に] 付加することによって達成されるが、その結果、図 1 4 A の線と比較して紙面右側にシフトされた線に対応する線量レベルヒストグラム 7 0 が得られる。

20

【 0 0 8 3 】

図 1 4 A ~ 図 1 4 C の強度プロファイルは、ターゲット面の X 方向に沿って示されている。本書で説明するマルチビーム露光方法は、他の方向に沿った線に対しても利用可能であることは明らかであり、また、ターゲット面上において任意の角度をなす線について精細位置決めを達成することができる。

30

【 0 0 8 4 】

現実的な状況下では、B A F 内の目標露光線量に対して局所的な露光線量の偏差がある。さらに、露光フィールドに渡るビームブラーの僅かな変化も予期され得る。これについては、図 1 5 A 及び図 1 5 B に示されている。縦軸 (a.u.) は任意のスケールを示す。

【 0 0 8 5 】

図 1 5 A は、図 1 3 の強度プロファイル 8 2 を有する 5 n m の 1 シグマビームブラーの場合から出発し、露光線量が公称線量レベルから + 4 % だけずれる例示の場合を示す。図から分かる通り、0 . 5 強度レベルでの線エッジは 0 . 4 3 n m だけシフトされる。これは、この例において、3 0 . 0 n m の C D の代わりに、 $3 0 . 0 \text{ n m} + 2 \times 0 . 4 3 \text{ n m} = 3 0 . 8 6 \text{ n m}$ の幅を有する線が、4 % の線量レベル増分の結果としてプリントされるであろうことを意味する。

40

【 0 0 8 6 】

図 1 5 B に示されるように、7 . 5 n m の 1 シグマブラーを有する図 1 3 に示す局所的ビーム強度プロファイル 8 3 から出発し、- 5 % の線量レベル減分を引き起こす線量エラーによって、エッジ位置は - 0 . 6 0 n m だけシフトされ、そのため、3 0 . 0 n m の C D の代わりに、2 8 . 8 n m 幅の線がプリントされることになるであろう。

【 0 0 8 7 】

エッジの特徴の位置の補正は、シフトされるべきエッジ付近に露光線量を適切に付加することによって可能である。例えば、図 1 6 は、線を拡幅するための一例として線量レベ

50

ルヒストグラム 86 を示す。図 14 A の 30 nm 線 (図 16 の点線 65) から出発すると、両方のエッジは、エッジの位置にオーバーラップする露光スポット 84 及び 85 を付加することによって、1 物理的グリッドサイズ 62 の量だけシフトされ、その結果、線量レベルヒストグラム 86 が得られる。

【0088】

図 17 は、強度分布がブラーの増加によって劣化される様子を示し、及び、結果として得られるエッジ位置に対するあり得る影響を示す。ブラーを無視する (「ゼロブラー (zero blur)」) ことにより得られる、理想強度プロファイル 90 が 30 nm の線幅を有する線について示されている。強度プロファイルの「0.5」レベルは、レジスト現像 (development) の有無で領域 (複数) を互いに区別するための「ドーズ・ツー・クリア」に対応する。「0.5」レベルは描画されるべき線のエッジを定義するため、ブラーの効果 (影響) は、複数の異なる線量ラチチュード (latitudes)、従って、所望の公称位置からの、描画されたエッジ位置のずれを引き起こすかもしれない。(紙面) 左側エッジおよび (紙面) 右側エッジのそれぞれの所望位置 $x^{\circ}E_1$ 及び $x^{\circ}E_2$ は、ゼロブラー強度プロファイル 90 については達成されている。5 nm の 1 シグマブラーについては、強度プロファイル 93 は依然としてこの条件を大方満たすことができるが、10 nm、15 nm 及び 20 nm の 1 シグマブラーにそれぞれ対応する強度プロファイル 94、95 及び 96 では、ずれが大きくなっていく。特に、図 17 A の拡大細部から分かる通り、強度プロファイルの位置 (即ち、「0.5」レベルの交点) は、所望のエッジ位置 $x^{\circ}E_1$ 及び $x^{\circ}E_2$ (それぞれ (紙面) 左側エッジおよび (紙面) 右側エッジ) から、夫々 15 nm および 20 nm の 1 シグマブラーの強度プロファイルの劣化したエッジ位置 $x^{\circ}E_1$ 及び $x^{\circ}E_2$ へシフトされる。

【0089】

図 32 A は、そのエッジ (複数) が物理的グリッドと一致するある特徴の臨界寸法 920 及びそのエッジ (複数) が 2 つの物理的グリッドポイントの中間に位置するある特徴の臨界寸法 930 の変化 dCD を、該特徴で使用される局所露光量 D の関数として示す。なお、何れの場合も、「ダブルグリッド」マルチビーム露光モード及び 5 nm の 1 シグマブラーの場合についてのものである。理解の容易化のため、対応する特徴 921 及び 931 を図 32 B に示した (両者の特徴は同サイズ)。なお、ダブルグリッドモードの物理的グリッド 944 も示されている (図 6 A および図 8 A も参照)。特徴 921 のエッジ (複数) は、図 32 A の線 920 に応じて線量変化の下で変化する (scales) 物理的グリッドと一致する。他方、特徴 931 のエッジ (複数) は、ピッチ 950 の半分だけ相対的にオフセットされている。なお、ピッチ 950 は、例えば、20 nm 及び $\sigma = 2$ のビームレットサイズについては 10 nm であり、従って、物理的グリッドに対する 931 のオフセットは、 $10 \text{ nm} / 2 = 5 \text{ nm}$ である。単純化のため、この例では両方向 X 及び Y におけるオフセットが同じであるものとした。図 32 C には、両方の特徴の線量を変化させることによる臨界寸法の変化 dCD の間の差 $d(dCD)$ がプロットされており、グリッドに対し相対的な位置に依存する特徴サイズの結果として得られる差 $d(dCD)$ が、アイソフォーカル線量 D_1 については、丁度ゼロであることが示されている。このアイソフォーカル線量は、図 32 A 及び図 32 C においては、絶対線量値 100% に対応する。従って、アンダードージング又はオーバードージングは、オーバーラッピングピクセル描画モードと組み合わせられると、 CD 均一性の低下を引き起こし得る。なぜなら、特徴 (複数) は、物理的グリッドに対し相対的なそれらの位置に依存して異なるように変化 (scale) し得るからである。図から分かる通り、この CD エラーは、アイソフォーカル線量からのずれの量に応じて単調に変化する。

【0090】

データパス

【0091】

描画されるべきパターンを、描画プロセスにおいて使用可能な、(上述したような) ビームレット線量割当てに変換する描画ツール (図 1) の処理システム 18 の部分は、「デ

ータパス」システムと称される。図 18 は、本発明の意義におけるデータパス 170 のフローチャートの一例を示す。データパスはリアルタイムで実行されるのが好ましく、一変形態態では、データパスの計算の一部または全てが、例えば適切なコンピュータにおいて、予め実行されてもよい。

【0092】

完全なパターン画像は膨大な量の画像データを含むが、これが、それらのデータの効率的な計算 (computation) のために、露光されるべきピクセルデータを、好ましくはリアルタイムで、生成する高速データパスが適している理由である。露光されるべきパターンは、典型的には、例えば、矩形、台形または一般的な多角形のような幾何学的形状の集合として、ベクトルフォーマットで記述されるが、これにより、典型的には、より良好なデータ圧縮が提供され、したがって、データ記憶に関する要件が低減される。従って、データパスは以下の 3 つの主要部分から構成される：

ベクトル型物理的補正処理 (ステップ 160)

ベクトルをピクセルデータに変換する (translate) ためのラスタライズ処理 (ステップ 161 乃至 164)、及び

描画処理のための一時的記憶のためのピクセルデータのバッファリング (ステップ 165 及び 166)。

【0093】

データパスは、ステップ 160 で露光されるべきパターン PDATA の供給から開始する。ステップ 160 では、一般的に、露光されるべきパターン PDATA は、場合によって幾何学形状のオーバーラップを伴って、多数の小さなデータのチャンク (chunks) に分割される。ベクトルドメインにおいて適用可能な補正 (例えば、近接効果の補正) は、すべてのチャンクに対して独立に、場合によっては並列的に、実行されてもよく、結果として得られるデータは、後続のステップにおける計算速度を向上させる方法でソートされ (sorted) かつ符号化される。出力はチャンクの集合であり、これらのチャンクは全て幾何学的形状の集合を含有する。

【0094】

ステップ 161 : ラスタライズ RAST。 (全ての) チャンク毎の幾何学的形状をラスタライズされたピクセル画像に変換する。このステップでは、各ピクセルには、ラスタグリッドセルの対応する表面と露光されるべきパターン即ち関連する全てのチャンクの実体 (entity) との幾何学的なオーバーラップ (重ね合わせ) に依存して、浮動小数点グレースケール強度が割り当てられる。技術水準のソリューションでは、この浮動小数点強度は、それぞれのピクセル位置でターゲット上に供給されるべき理想的な物理的な露光線量を表す。より詳細には、完全に幾何学形状内にある (全ての) ピクセル (毎) に最大強度が割り当てられ、それに対し、幾何学形状のエッジと交差するピクセルの強度を、該幾何学形状によってカバーされているピクセルの領域の割合 (fraction) によって重み付けする。この方法は、幾何学形状の領域とラスタライズ後の総線量との間の直線関係を意味している。

【0095】

ステップ 162 : ピクセル・ツー・ビームレット (Pixel-to-beamlet) 割当て ASSIGN。このステップでは、特定の描画シーケンスが与えられ、どのピクセルがどのビームレットによって描画されるかが決定される。

【0096】

ステップ 163 : ピクセルベースの補正 CORR1。このステップでは、ピクセルドメインで適用可能なすべての補正が実行される。これらの補正は、(上記および本出願人の米国特許第 9,495,499 号に記載されているような) アパーチャフィールド上におけるビーム 50 の均一な電流密度からの偏差の補償及び/又は (米国特許出願公開第 2015/0248933 A1 号に記載されているような) DAP30 における個々の欠陥のあるビーム偏向器の補正を含む。ピクセルベースの補正は、各個別ピクセルの浮動小数点強度を修正することによって実現される。これは、ステップ 162 のピクセル・ツー・ビームレット割当てに関して実行され、これにより、各ピクセルについて、該ピクセルがどの

10

20

30

40

50

ビームレット（単数）によって描画されるか及び／又は隣接するピクセル（複数）がどのビームレット（複数）によって描画されるかに依存して、補償線量係数 q （または、等価的に線量シフト s ）を定義および適用することが可能になる。

【0097】

ステップ164：量子化 $QUANT$ 。量子化処理は、各ピクセルの、場合によっては補正された、浮動小数点強度を、所定のグレー値スケールを与えられた、量子化された（または等価的に「離散的な」）グレーレベルに変換する。

【0098】

ステップ165：グレーレベルのピクセルデータドメインにおけるさらなる任意のピクセルベースの補正 $CORR2$ が適用されてもよい（但し、本発明の一部ではない）。

【0099】

ステップ166：ピクセルパッケージング、 $PPACK$ 。ステップ164から得られたピクセル画像は、位置決めグリッドシーケンスに従ってソートされ、描画ツールの処理システム18（図1）に設けられたピクセルバッファ $PBUF$ に送信される。ピクセルデータは、ストライプの露光を引き起こす十分な量のデータ、典型的には少なくとも当該ストライプの長さ、が存在するまで、バッファされる（図7を参照）。データは描画処理中にバッファから取り出される。ストライプが描画された後、上述の処理は、次のストライプのような、露光領域の次の部分のパターンデータに対して、新たに開始する。

【0100】

線量誘導（Dose-guided）再形成（reshaping）

【0101】

本発明は、線量関連の特徴再形成を実現し、パターンデータ、特にパターンベクトルデータにおける線量割り当てのパターンサイズ調整への変換に関与する、パターンデータの再計算方法に関する。

【0102】

図19は、アイソフォーカル線量の概念を説明する図である。明らかに、任意のパターンについて、生成される線量プロファイルは、一般的に、露光に使用されるビームのブラーに依存する。例えば、理想的な線量プロファイル190を有する50 nmの線が露光されるところ、図19は、4 nm（191）、8 nm（192）及び16 nm（193）の標準偏差を有するビームブラーの出現（新たな：emerging）プロファイルを示す。理想的プロファイル190の割当て線量 $D1$ （図中において、線量 D の値は $D1$ に正規化されている）は、レジストのドーズ・ツー・クリアの2倍、即ち $D1 = 2 \times D_{DTC}$ 、になるように選択される場合、露光される幅は、通常、ビームのブラーには依存しない、従って「アイソフォーカル（isofocal）」である、即ち、光学結像システムの焦点変化に対して不変である。それ故、「アイソフォーカル線量」と称される。なお、特徴サイズがビームブラーのオーダーである場合、このような挙動は、一般的に、特定のパターン（例えば、等しい幅の線およびスペース）に対してのみ可能である。そのような場合、最適な処理ウィンドウ（期間）を得るため、異なる線量の使用が適切であり得る。しかし、本発明は、（例えば、スループット増加のために）アイソフォーカル量未満の公称線量で使用することもできる。

【0103】

図20は、オーバードーズ（過剰線量）に関する特徴サイズを操作するための基本原理を示す。図示の例では、処方（prescription）により、理想的線量プロファイル195を有する50 nmの線は、（1に正規化された）アイソフォーカル線量 $D1$ に対して、50%だけオーバードーズされた割当て線量を有する。5.1 nmシグマブラー（即ち、12 nmのFWHM）では、これにより、ドーズ・ツー・クリア D_{DTC} が（破線で示された）0.5レベルにあるとすれば、位置 x_{E1} 及び x_{E2} にエッジを有する出現プロファイル196が得られ、特徴サイズ $x_{E2} - x_{E1} = 54.4$ nmを実現する。このパターン要素の線量を高々1に（又はより一般的には、アイソフォーカル線量 $D1$ ）であるように制限する場合、出現プロファイルの幅を維持するために、再形成処理によって、公称特徴サイズを

当初の 50 nm から 54.4 nm に適合化することも必要になるであろう。これは、線量プロファイル 197 及び結果として得られる線量プロファイル 198 に対応する。

【0104】

図 21 は、挿入枠に示されているパラメータとしての異なるブラー値での図 19 及び図 20 に示す具体化例について、アイソフォーカル線量の値に対する、線量係数の関数としての線特徴のエッジ位置の変化 x_E を記述する線量勾配関数 f_{DS} を示す。線量勾配関数は、ブラー及び（アイソフォーカル線量に対する相対値、即ち D/D_1 としての）割当て線量 D がエッジ位置、従って特徴サイズ、の変化に関係付けられる様子を示す。そのようなチャートは、実験的にまたはシミュレーションから容易に得られ、線量操作（manipulations）を特徴サイズ操作（manipulations）に（又はその逆に）変換する（translate）のに使用できる。小さい線量又はブラーウィンドウのみが利用される場合、線形化で一般的には十分である（例えば、スカラー線量勾配を使用する）。

10

【0105】

図 22 は、ターゲット上の露光の 1 つの領域 ML_1 に定義されている、パターンレイアウト p_{11} の簡略化した一例を示す。いくつかのパターン要素が、例えば多角形 t_1 、 t_2 、... t_3 、 t_4 、... t_0 として定義されている。パターン要素の各々は、定義された割当て露光線量に関連付けられている。

【0106】

本発明による再形成方法の原理が、図 22 のパターン要素 t_1 、 t_2 、 t_3 の例を使用して図 23 に示されている。図 23 は、再形成の前後の、図 22 の線 $xxiii - xxi$ に沿って得た、線量プロファイル、即ち座標 X の関数としての局所的露光線量 D を示す。図 23 は、理想的線量プロファイルを実線で示し、他方、出現線量プロファイルは一点鎖線で示されている。図 23 (A) から分かる通り、当初のパターンレイアウトの 3 つのパターン要素 t_1 、 t_2 、 t_3 はそれぞれ幅 w_1 、 w_2 、 w_3 （線 $xxiii - xxi$ に沿った断面幅）を有し、それぞれ異なる割当て露光線量値 D_1 、 D_2 、 D_3 を有する。とりわけ、パターン要素 t_1 は、公称線量 D_1 と一致する割当て線量を有し、他方、他の 2 つのパターン要素 t_2 、 t_3 の割当て線量 D_2 、 D_3 は、夫々、公称線量 D_1 よりもより大きい（ D_2 ）又はより小さい（ D_3 ）。割当て線量 D_1 、 D_2 、 D_3 の各々は、ドーズ・ツー・クリア D_{DtC} の値よりも大きい。本発明による再形成は、露光されたパターン内の特徴（複数）の幅に影響を与ることなく、パターン要素（複数）に割当てられた露光線量が公称線量 D_1 に対応する値に修正されるよう、当該パターン要素（複数）を修正することを目的とする。このために、理想的プロファイル（複数）の幅は、適切な方法で適合化される必要があるであろう。図 23 (B) は、パターン要素の各々が、公称線量 D_1 が割り当てられた再形成パターン要素 rt_1 、 rt_2 、 rt_3 によって置換された再形成されたプロファイルの一例を示す。パターン要素の幅 w_1 、 w_2 、 w_3 は、線量勾配関数 f_{DS} （図 22 参照）に従って補正される。第 1 のパターン要素 t_1 については、その当初の割当て線量からして公称線量 D_1 に等しいため、適合化は不要である。第 2 のパターン要素 t_2 は、当初は、線量勾配値 $f_2 = f_{DS}(D_2/D_1)$ に対応する割当て線量 D_2 を有する。従って、再形成パターン要素 rt_2 の幅は $w_2 + 2 \times f_2$ に変化される。なお、適合化幅 rt_2 は、出現線量プロファイル（一点鎖線の曲線）が、当初のオーバードーズされたパターン要素 t_2 と同じ幅を有するように選択されていることに留意すべきである。同様に、第 3 の再形成パターン要素 rt_3 の幅は $w_3 + 2 \times f_3$ に変化されるが、 $D_3 < D_1$ であるため、 f_3 は負であり、従って、 $f_{DS}(D_3/D_1) < 0$ である。（ f_3 の計算は、更に、特徴 t_3 のエッジの傾斜（配向）に対する幾何学的補正を伴い（図 22 参照）、該補正は追加係数 $1/\sin$ を伴い、 θ は座標線 X に対する角度である；従って、 $f_3 = f_{DS}(D_3/D_1)/\sin(\theta/3)$ であり、 $\theta/3$ は 60° の角度である。要素 t_1 、 t_2 については、線（複数）は X 方向に対し直角であり、幾何学的補正係数は 1 である。これは、図 23 (B) における幅（複数）が、特定の方向 X に沿って得た断面の幅であるという事実の結果である。）その後、再形成パターン要素 $rt_1 \sim rt_3$ によって、当初パターン要素 $t_1 \sim t_3$ を置換し、再形成パターン rp_1 が形成さ

20

30

40

50

れる。

【 0 1 0 7 】

図 2 3 の例では、公称線量 D_1 は、ドーズ・ツー・クリア D_{DTC} よりも大きい任意の値を有するが、これは一般的な場合を表す。公称線量 D_1 の適切な選択は、上述したように、ドーズ・ツー・クリア D_{DTC} の 2 倍、即ち $D_1 = 2 \times D_{DTC}$ である。

【 0 1 0 8 】

本発明の方法は、ベクトルドメインまたはピクセルドメインにおいて実現され得る。図 1 8 に示すデータパスでは、PDATA ステップ 1 6 0 中において、ベクトル型再形成を実行することが可能であり、他方、再形成がピクセルドメインで行われる場合は、適切な実施は、線量量子化の前の CORR 1 ステップ 1 6 5 中である。適用目的に応じて、補正ステージの 1 つのみ又は両方が必要になり得る。

10

【 0 1 0 9 】

ベクトルドメインにおける再形成

【 0 1 1 0 】

本再形成方法は、パターン要素が幾何学的形状、例えば複数のエッジを含む多角形、として定義されているベクトルドメインで実行されることができる。とりわけ、再び図 2 2 を参照すると、パターンレイアウト p 1 1 の多角形 t_1 、 t_2 、... t_3 、 t_4 、... t_0 は、2 次元の閉じた多角形として定義されている。多角形は通常凸状であるが、凹状の形状もあり得る。再形成は、結果として得られる対象も閉じた形状（多角形）であるという制約の下、内側または外側へのエッジの平行シフトに対応する。ここで、「平行シフト」とは、エッジがその配向を維持しつつずらされることを意味し、シフトの量は各エッジの配向に対し直角な方向に沿って測定される。

20

【 0 1 1 1 】

幾何学的な観点から言うと、線量設定を変更することによって特徴サイズを微調整する一般的な方法は、（多角形）「オフセッティング」と呼ばれる幾何学的操作に対応する。この操作の他の一般用語は「波面伝搬」であり、例えば、Stefan Huber の博士論文 “Computing Straight Skeletons and Motorcycle Graphs: Theory and Practice”、ザルツブルク大学（オーストリア）、2 0 1 1 年 6 月、3 - 1 9 頁に記載されている。多角形オフセッティングは、（グローバルな乗算（multiplicative）操作である多角形全体に適用されるスケール操作とは対照的に）対象のエッジ及び頂点に適用される拡大（growing / expanding）（または縮小（shrinking / contracting））のローカルな操作のみを伴い、一般的に、幾何学的形状の、特に矩形形状のアスペクト比の変更も行うことになる。

30

【 0 1 1 2 】

これに関し、以下の 2 つのアルゴリズムが、MBW 描画機による使用のために考慮される。これらのアルゴリズムについて、例として F 字形状多角形に基づいて以下に説明する。出発形状は図 2 2 の多角形 t_0 （「出発多角形」）として図 2 4 ~ 図 2 7 に示されているが、これは、出発多角形 t_0 の頂点 t_{v1} 、 t_{v2} 、... のうちの順次の（関連する：subsequent）2 つをそれぞれ繋ぐ（黒の直線で示されるような）複数の直線的エッジ t_{01} 、 t_{12} 、... で定義される。

【 0 1 1 3 】

図 2 4 及び図 2 5 に例示する第 1 の好ましい実施形態では、多角形の再形成は一般化されたオフセッティング方法によって行われる。図 2 4 は、多角形 t_0 を再形成距離 d_1 だけ縮小する（contracting）例を示す。多角形の各頂点 t_{v1} 、 t_{v2} について、各頂点には 2 つのエッジが所属し（incident）、これら 2 つのエッジ（辺）の角度二等分線 a_{b1} 、 a_{b2} が決定される（例えば、頂点 t_{v1} については、角度二等分線 a_{b1} はエッジ t_{01} 及び t_{12} から決定される；頂点 t_{v2} については、角度二等分線 a_{b2} はエッジ t_{12} 及び t_{23} から決定される。以下同様。）。角度二等分線 a_{b1} 、 a_{b2} 、... は点線で示されている。各頂点 t_{v1} 、 t_{v2} 、... について、頂点の位置は、シフトされた頂点 s_{v1} 、 s_{v2} 、... が、それぞれの当初エッジ t_{01} 、 t_{12} 、 t_{23} 、... まで所定の距離のところ、即ち再形成距離 d_1 に対応する距離のところに位置するように、それぞれ

40

50

の角度二等分線 $a b_1$ 、 $a b_2$ 、.. \dots に沿ってシフトされる。この場合、頂点は、多角形の縮小的再形成のために必要とされるように、内側にシフトされる。かくして、シフトされた頂点 $s v_1$ 、 $s v_2$ 、.. \dots が得られるが、これらは円形ドット（黒丸）で示されている。シフトされた頂点は、図に破線で示されている結果として得られる多角形 $s t_1$ のシフトされたエッジ e_{01} 、 e_{12} 、.. \dots を定義する直線によって繋がれる（結び合わせられる）。結果として得られる多角形 $s t_1$ のシフトされたすべてのエッジ e_{01} 、 e_{12} は、対応する当初エッジ t_{01} 、 t_{12} に対し同じ再形成距離 d_1 のところに位置する。これから、割り当てられた線量は多角形形状の属性（attribute）のひとつであること、従って、割り当て線量と該割り当て線量から計算される再形成距離 d_1 は、ある形状のすべてのエッジについて均一であることは明らかである。具体的には、再形成距離 d_1 は、公称線量に関する所定の線量勾配関数 f_{DS} （図 2 1 参照）を用いて、多角形 t_0 の割り当て線量の値から決定される；多角形 t_0 の縮小（contracting）に対応するこの例では、後者は公称線量よりも低い割り当て線量を有するので、再形成距離 d_1 の符号は負、即ち $d_1 < 0$ である（図 2 4 では、 d_1 の絶対値のみが示されている）。結果として得られる多角形 $s t_1$ には、公称線量が割り当てられる。

【0114】

図 2 5 は、多角形 t_0 を再形成距離 d_2 だけ拡大する（expanding）（より一般的な）場合を示す。この処理は、頂点が多角形の当初の頂点 $t v_1$ 、 $t v_2$ から外側にシフトされることを除いて、図 2 4 で説明した上述の処理と基本的に同じである。従って、シフトされた各頂点 $x v_1$ 、 $x v_2$ 、.. \dots は、夫々の当初エッジ t_{01} 、 t_{12} 、.. \dots に対し距離 d_2 のところに位置し、この距離は再形成距離 d_2 に対応するが、今回は、シフトされた頂点は出発多角形 t_0 の外側にある。同様に、結果として得られる多角形 $s t_2$ のシフトされたエッジ x_{01} 、 x_{12} 、.. \dots は外側に移動しているが、それらも全て対応する当初エッジ t_{01} 、 t_{12} に対し同じ再形成距離 d_2 のところに位置する。再形成距離 d_2 は、公称線量に関する所定の線量勾配関数 f_{DS} （図 2 1 参照）を用いて、多角形 t_0 の割り当て線量の値から決定される。この場合、出発多角形 t_0 の割り当て線量は公称線量よりも大きい、これが、再形成距離 $d_2 > 0$ の理由である。結果として得られる多角形 $s t_2$ には、公称線量が割り当てられる。

【0115】

多角形をオフセッティングする方法は、明確（definite）かつ一義的（unambiguous）でありかつ実行が簡単な操作である。角度二等分線 $a b_1$ 、 $a b_2$ 、.. \dots は、多角形の「直線骨格（straight skeleton）」と呼ばれる構造の一部である。この方法の重要な特徴の 1 つは、当初のおよび結果として生じる多角形 t_0 、 $s t_1$ 、 $s t_2$ の直線骨格が、直線セグメントのみを含むことである。換言すれば、この方法は、当初の形状が曲線（curvilinear）セグメントを含んでいなかった場合、曲線セグメントを生成しない。この特性は、複雑性を軽減することが望まれる場合に重要であり、半導体分野における一般的なベクトルフォーマットが曲線セグメントをサポートしていないという事実を考慮すると、一層重要である。このオフセッティング方法の最も迅速な実行では、 $O(n \log n)$ 計算時間量（time complexity）と $O(n)$ メモリスケールングのみを要することが実証された（既出の Stefan Huber の博士論文）。ここで、 n は多角形の頂点の数を表す。

【0116】

第 2 の好ましい実施形態では、再形成は、所属エッジ（複数）の角度二等分線に沿って頂点を移動させるのではなく、寧ろ、これらのエッジを所与のオフセット距離 d_3 だけ移動させる手順に従って行われ、頂点は以下に説明するようにそれらのエッジを結合するものとして定義される。シフトされる順次の（関連する：subsequent）エッジが交差する場合、頂点はその交点に設定される。交点が生じない場合、内部（又は外部）のオフセット曲線が補間される。この特徴（distinction）は、オフセット距離 d_3 の大きさがあまり大きくない場合、即ち、基礎をなす多角形のセグメント部分の最小幅（又は「厚み」）の半分よりも小さい場合に常に可能である。

【0117】

10

20

30

40

50

図 2 6 は、図 2 4 及び図 2 5 におけるものと同じ形状の出発多角形 t_0 をオフセット距離 d_3 だけ縮小する (shrinking) 例についての第 2 実施形態の方法を示す。結果曲線 s_{t_3} は、出発多角形 t_0 の位置 (エッジ及び頂点) に対し均一な距離 d_3 に作成される。従って、基本的に、当初エッジ t_{12} の各々は、それぞれのシフトされたエッジ v_{12} に対応する；しかしながら、結果曲線 s_{t_3} 内の各点は、出発多角形 t_0 の境界から同じ距離 d_3 のところに位置付けられることが必要であるので、曲線セグメントが生じ得る。より具体的には、そのような曲線セグメントは、隣接するエッジによって形成される内角がより大きい全ての頂点において補間される。例えば、図 2 6 に示す縮小 (shrinking) 処理では、曲線セグメント c_{v_1} 、 c_{v_2} 、 c_{v_3} が夫々頂点 t_{v_4} 、 t_{v_5} 、 t_{v_8} に挿入される。頂点 t_{v_1} 及び t_{v_2} のような他の頂点では、シフトされたエッジの交点に、シフトされた新たな頂点 c_{v_1} 、 c_{v_2} を挿入し、必要に応じてエッジを短くするだけで十分である。(凸部分において結果として得られるシフトされた頂点 c_{v_1} 、 c_{v_2} は、 d_1 の代わりに再形成距離として d_3 を用いると、図 2 4 に示すオフセッティング方法によって得られる頂点 s_{v_1} 、 s_{v_2} に一致する。)

【0118】

反対に、例えば図 2 7 に示すようなオフセット距離 d_4 だけの外側への、拡大 (expansion) は、全ての凸部の頂点に、即ち、隣接するエッジによって形成される内角がより小さい頂点に、丸みのある (湾曲した) セグメントをもたらす。図 2 7 に示す例では、曲線セグメント c_{v_8} が凸部頂点 t_{v_1} に挿入され、他の凸部頂点についても同様である。凹部頂点については、結果として得られる拡大多角形 s_{t_4} の、例えば、シフトされた頂点 c_{v_4} 、から分かる通り、頂点をシフトするだけで十分である。

【0119】

この方法は、ボロノイ (Voronoi) ダイアグラムと密接に関連している (1 つの具体例について、P. Palfrader & M. Held、Computer Aided Design & Applications、12 (4)、2015 年、414 - 424 を参照。http://dx.doi.org/10.1080/16864360.2014.997637 にて入手可能)。そのような変形 (transformation) を実現するための具体化手段は利用可能であるが、上述の骨格方法に匹敵する時間および記憶の複雑性を伴い、この方法は曲線セグメントをもたらすという事実は、曲線セグメントをサポートしない (に対応しない) ベクトルフォーマットを扱う場合、問題になり得る。この種の状況を単純化する 1 つの方法は、図 2 8 に示されているように、いくつかの線形セグメントが、それぞれの頂点に対し距離 d_4 のところに位置するそれぞれシフトされたエッジ u_{01} 、 u_{12} の終端頂点 e_{v_10} 、 e_{v_12} の間に補間 (内挿) される補助頂点 $a_{u \times 1}$ 、 $a_{u \times 2}$ によって形成される複数の線形セグメントのような、曲線セグメントの離散近似によって、曲線セグメントを近似することである。

【0120】

なお、図 2 4 ~ 図 2 8 に示す方法は、リング状の構造または「穴」を含む閉じた多角形にも適用可能であることに留意すべきである。当業者には明らかであるように、「穴」の周については、内側 / 外側の運動方向と縮小 (contracting) / 拡大 (expanding) の所望処理との間の関係は、単に反対になるだけである。

【0121】

ピクセルドメインにおける再形成

【0122】

本発明の別の実施形態では、形状補正はピクセルドメインで実行される。ピクセルドメイン補正は、特に、ビーム領域内にあるすべてのパターン要素に同じ形状補正が適用されるべきであり、個別の形状補正係数に関して異なるパターン要素の区別が必要とされない場合、有利である。ピクセルデータに基づき再形成を実現する簡単な方法の 1 つは、最初に、公知のエッジ検出アルゴリズムを用いて、ピクセルデータをベクトルデータに変換するエッジ検出を行い、そして、上述のようにベクトルデータを再形成し、再ラスタ化することである。別の可能性は、ピクセルドメインにおいて直接的に再形成を行うことであるが、これは計算上 (コンピュータ処理上) 有利であり得る。ピクセルベースのサイズ調

10

20

30

40

50

節は、例えば、ピクセルドメインにおいて上述のベクトル操作と同様の機能を提供する十分に確立されたツールキットである、グレースケール形態学的 (morphological) 画像処理を用いて実行可能である (例えば、Shih、Frank Y. Image processing and mathematical morphology: fundamentals and applications、CRCプレス、2009年、28 - 30頁参照)。特に重要であるのは、形態学的操作 膨張 (拡大: dilation)

\oplus

及び収縮 (縮小: erosion)

\ominus

10

である。画像ドメイン (又はグリッド) におけるグレースケール画像 $f(x)$ (ここではラスタ化されたパターン) 及び構造関数 $b(x)$ に対して、これらは、

$$(f \oplus b)(x) = \max_{y \in \Omega} f(y) + b(x - y)$$

$$(f \ominus b)(x) = \min_{y \in \Omega} f(y) - b(x - y)$$

で定義される。

【0123】

20

とりわけ、エッジ方向に対し直角をなす $2k + 1$ ピクセル幅である構造化要素 B_k (例えば0を中心とする $2k + 1$ ピクセル幅の方形又は $2k + 1$ ピクセル幅の円) について、フラット (flat) 構造化関数

$$b_k(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \in B_k \\ -\infty & \text{otherwise} \end{cases}$$

を用いて、膨張 (dilation) による外側への k ピクセルのエッジシフトを生成し、

$$f_k = f \oplus b_k$$

を得る。同様に、収縮 (erosion) によって生成可能な内側への k ピクセルのエッジシフトにより、

30

$$f_{-k} = f \ominus b_k$$

を得る。なお、計算的 (コンピュータ处理的) には、

$$f \oplus b_k$$

又は

$$f \ominus b$$

についての方程式における最大 (値) / 最小 (値) が計算される領域は (例えば

40

$$b_k(x) \neq -\infty$$

のボックスに) 制限されることに留意すべきである。

【0124】

結果として5nmのピクセルサイズを生じる、20nmアパーチャによるクワッドグリッド ($o = 4$) 露光についての一例が図30に与えられている。画像 (複数) は、(例えば16のグレーレベルを用いた) 75×50 nmフィールド中の (破線のグリッドで示された) すべてのピクセルについての0 (ゼロ線量、黒色方形) と1 (公称線量、白色方形) の間の線量割当てを示す。図30の紙面中央の図は、 32.5 nm線180を示す。この線180は、構造化要素182 (3×3 ピクセルの方形) から生成されるフラット構造

50

化関数 $b(x)$ を用いて当該線を表す画像 $f(x)$ についての操作によって修正される。
 なお、右側エッジについての（標準化された）線量割当て 181 は、線幅がピクセルサイズの倍数ではない（従って右側エッジは完全ピクセル幅に対し 2.5 nm だけ即ち半ピクセルだけシフトされる）ため、0.5 だけであることに留意すべきである。図 30 の上側の図及び下側の図は、夫々、この方法によって得られる、収縮化線（eroded line）183（対応画像 f_{-1} ）及び膨張化線（dilated line）184（画像 f_1 ）を示す。とりわけ、膨張化線 184 は、構造化要素 182 が 3×3 ピクセル方形（即ち $k = 1$ ）であるため、（左右）両側のエッジにおいて夫々完全ピクセル（5 nm）だけ幅がより広い。

【0125】

サブピクセルのエッジシフトを得るためには、カスタマイズされたアプローチを使用する必要がある。1つのピクセルのフラクショナル $0 < q < 1$ でグレースケール画像 f （これは標準化公称線量 1 を有するものとする）を膨張化（dilate）するためには、 3×3 ピクセル方形 B_3 を選択する場合、

$$f_q = \min(f + f \oplus b_q, 1 - bg) \text{ where } b_q(x) = \begin{cases} (q-1)(1-bg) & \text{for } x \in B_3 \\ -\infty & \text{otherwise} \end{cases}$$

を用いる。ここで、 bg は近接効果による線量バックグラウンドである。整数 k 、 $0 < q < 1$ について任意のサイズ変化 $k + q$ を実行するためには、まず、完全ピクセル膨張又は収縮操作を実行して、中間画像 f_k を取得し、次いで、部分膨張（fractional dilation）を行って、

$$f_{k+q} = (f_k)_q$$

を得る。（ $bg = 0$ について）図 31 に一例を与える。紙面中央の図は、図 30 と同じ 32.5 nm 線 180 を示すが、これは、図 31 の紙面下側の図及び紙面上側の図に示されているように、夫々、 $3/4$ ピクセルだけ膨張及び収縮されることになっている（それによって、夫々、外側及び内側へ 3.75 nm のエッジシフトされる）。紙面下側の図において紙面右側のエッジ 186 に 0.25 の線量割当てがなされるため、該右側エッジは $(1/2) + (1/4) = 3/4$ ピクセルだけ移動する。同様に、（紙面）左側エッジ 185 における 0.75 の線量割当てにより、該エッジは $3/4$ ピクセルだけ移動する（米国特許第 8,222,621 号参照）。図 30 の紙面上側の図において $3/4$ ピクセルだけ内側にエッジをシフトするためには、まず、1 ピクセルの収縮を実行し、次いで、 $1/4$ ピクセルの膨張を行う。従前の通り、結果として夫々得られる左側エッジ 187 及び右側エッジ 188 における線量割当て 0.25 及び 0.75 により、夫々、 $3/4$ ピクセルのエッジシフトが引き起こされるが、この場合、内側へ（のシフト）である。

【0126】

（割当て線量に基づく）所要サイズ補正は一般的にベクトルドメインで与えられるため、これら（の補正）は、（例えばラスタ化中におけるピクセルのサイズ割当てスカラーの記憶によって、）リサイジング（resizing）の前に、ピクセルベースマップへ翻訳（変換）される必要がある。

【0127】

ターゲット上の位置に基づく再形成

【0128】

一変形態態では、再形成は、ターゲット上の夫々のパターン要素の位置に基づいて実行されてもよい。図 29 は、複数のパターン要素を有する（1つの）パターン p_{lm} を含む、ターゲット上の露光領域 ML_2 の一例を示す。この例では、露光線量の割当て値は、パターン p_{lm} のパターン要素（複数）にではなく、露光領域 ML_2 内の異なるエリア（複数）に関係付けられている。このため、領域 ML_2 は、複数のエリア M_{11} 、 M_{21} 、 \dots 、 M_{m1} 、 M_{22} 、 \dots 、 M_{mn} に分割されるが、これらのエリアは同じ形状であるのが好ましい（但し必須ではない）。複数のエリア $M_{11} \sim M_{mn}$ の各々について、1つの再形成値が、露光領域 ML_2 内の可能なパターン p_{lm} の如何に拘わらず

、定義される。これらのエリアの各々における再形成は、夫々のエリアに位置付けられるすべてのパターン要素についての再形成距離としての再形成値を用いて行われる。換言すれば、再形成距離の決定は、あたかも1つのエリア内のすべてのパターン要素が同じ初期割当て線量を有するかのようにしてなされる。エリア $M_{11} \sim M_{mn}$ の定義及び再形成距離の割当て値は、通常、パターンの設計中に又は実験データに基づくパターンデータの補正工程中に、ユーザ（利用者）によって与えられる。

【0129】

あるパターン要素が1つのエリアから他の（1つの）エリアに延在している場合、再形成パターン要素は、エリアとエリアの間の移行領域において平滑化されるか、又は、それらのエリアの平均値がそのパターン要素について使用される。

10

【0130】

他の一変形形態では、再形成は、ビームフィールド内の夫々のパターン要素の位置に、即ち構造化ビーム内の位置に基づいて実行されてもよい。この場合、図29を用いて上述した方法と同様の方法で、エリア（複数）がビームフィールド内で定義されるが、パターン要素（複数）のエリア及び位置は、ターゲットというより寧ろビームフィールドに関して求められる。

【0131】

時間依存型再形成

【0132】

図33は、時間依存型再形成を用いたパターンの再計算の一例を示す。時間 t に依存するそのような再形成は、露光プロセスの期間又はその部分期間中における相対線量 D/D_n の予測可能なドリフト（ぶれ：drift）を有するファクタ（複数）の補償のために適用されてもよい。その例には、とりわけ、露光中のMBMWコンポーネントの熱膨張に起因するビームプラーの増大、延長された露光によるフォトレジストの加熱（の増大）、電子銃又はパターン定義装置のようなコンポーネントのその寿命期間中におけるエイジング又はドリフティング（の増大）が含まれる。一般的に、これらの例の各々について、あるイベントが開始し終了する時間ドメイン T_d が定義されることができる（例えば、マスクブランク露光又はコンポーネントの寿命）。相対線量 $(D/D_n)(t)$ の時間推移（変化）を記述する関数 f_{DT} （図33参照）は、実験データ、理論またはシミュレート挙動に基づいて導き出すことができる。時間ドメイン T_d 内では、いくつかのサブドメイン T_{d1} 、 $T_{d2} \dots T_{dn}$ が定義されてもよく、それらの各々には、平均化 $(D/D_n)(T_{dn}) = \text{Avg}(f_{DT}(T_{dn}))$ によって、一定の D/D_n 値が割り当てられる。ここで、 Avg は、それぞれのサブドメイン T_{dn} の持続時間による平均化を表す。従って、再形成値は、各 T_{dn} について f_{DS} に応じて計算することができる。サブドメイン T_{dn} 内に描画される全てのパターン p_{l1} 、 p_{lm} は、 T_{dn} に割り当てられた再形成値に応じて補正される。サブドメインの時間および範囲は、イベント期間および主要イベント内で起こる単一（single）サブイベントの持続時間に応じて選択できる。従って、サブドメイン T_{d1} 、 \dots 、 T_{dn} は、継続的（consecutive）である必要もなければ、同じ持続時間を有する必要もない。一例を挙げると、主要イベントがあるコンポーネント（例えば、描画処理中に顕著なドリフトを示す電子銃）の使用期間または寿命である場合、時間ドメイン T_d はこの寿命に対応し、サブドメイン（複数）への好都合な分割は、時間ドメイン T_d 中に起きる幾つかの露光の夫々1つに対応する T_{d1} 、 \dots 、 T_{dn} である。

20

30

40

【0133】

本発明の全開示（特許請求の範囲及び図面を含む）の枠内において、さらにその基本的技術思想に基づいて、実施形態の変更・調整が可能である。また、本発明の全開示の枠内において種々の開示要素（各請求項の各要素、各実施例の各要素、各図面の各要素等を含む）の多様な組み合わせないし選択が可能である。すなわち、本発明は、特許請求の範囲及び図面を含む全開示、本発明の技術的思想にしたがって当業者であればなし得るであろう各種変形、修正を含むことは勿論である。特に、本書に記載した数値範囲については、当該範囲内に含まれる任意の数値ないし小範囲が、別段の記載のない場合でも具体的に記

50

載されているものと解釈されるべきである。

【 0 1 3 4 】

更に、特許請求の範囲に付記した図面参照符号は専ら特許請求の範囲に係る発明の理解を助けるためのものであり、特許請求の範囲に係る発明を図示の例に限定することを意図していないことに留意すべきである。

【 0 1 3 5 】

更に、上掲した各文献の全内容は引照を以って本書に繰り込みここに記載されているものとする。

【 0 1 3 6 】

ここに、本発明の可能な態様を付記する。

「付記 1」荷電粒子マルチビーム描画装置によってターゲット上に露光されるべきパターンを再計算する方法。前記装置は、前記ターゲット上の露光領域内の複数のピクセルを露光して、複数のビームレットからなる構造化ビームが前記ターゲット上に導かれ、前記露光領域上の経路に沿って移動される走査ストライプ露光によって前記パターンを生成する。後続の露光ステップと露光ステップの間に、前記構造化ビームは、前記ターゲット上の前記構造化ビームの幅よりも小さい露光長さに対応する連続する距離だけ、前記ターゲット上をシフトされる。

前記パターンは、最初に複数のパターン要素を含み、各パターン要素は、境界および内部を含むそれぞれの形状を有し、前記それぞれの形状の内部のピクセルについて露光されるべき露光線量の値を規定する、それぞれ割り当てられた線量に関連付けられる。

前記パターンの再計算は、前記荷電粒子マルチビーム描画装置内で走査ストライプ露光のために指定された最大露光のピクセルに対して露光されるべき露光線量の所定の標準値を表す公称線量に関して実行される。

前記公称線量から外れる割り当てられた線量に関連付けられた少なくとも 1 つのパターン要素について、前記パターン要素は、

所定の線量勾配関数に基づき前記公称線量に関して前記割り当てられた線量の値から再形成距離を決定すること、

再形成パターン要素を形成すること、但し、該再形成パターン要素は、前記パターン要素の対応する境界セグメント（複数）の位置に対して、前記再形成距離に等しいオフセット距離だけかつそれぞれのセグメントに対して直角をなす方向にオフセットされた境界セグメントを有すること、及び、前記公称線量を前記再形成パターン要素に割り当てること、及び、

前記パターン要素を前記再形成パターン要素で置換すること

によって、再形成される。及び、

再形成パターンは、前記再形成パターン要素によって対応するパターン要素を置換することによって前記パターンから生成される。

「付記 2」上記の方法において、

再計算は、前記ターゲット上にアパーチャ画像（複数）を生成する描画処理によって描画されるべきパターンに対して行われる。但し、後続の露光ステップのアパーチャ画像は互いに重なり合う。及び、前記アパーチャ画像は前記ターゲット上に生成された隣接するアパーチャ画像のピクセル位置間の距離の倍数である公称幅を有する。

前記方法は、

前記アパーチャ画像によって前記ターゲット上のピクセルを露光することを通して前記描画処理によって所望のパターンを露光するのに適したピクセル露光パターンを前記再形成パターンから生成する追加のステップを含む。

「付記 3」上記の方法において、パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われる。

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記再形成距離だけ前記ピクセル表現における前記パターン要素の輪郭を変更するために、グレースケール拡大（dilation）ステップとグレースケール縮小（erosion）ステップの組み合わせを含む。

10

20

30

40

50

〔付記 4〕上記の方法において、パターン要素の再形成は前記パターンのピクセル表現に関して行われる。

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、前記ピクセル表現におけるエッジの位置を検出すること、及び、そのように検出されたエッジの位置を、それぞれのエッジに対し直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離だけシフトさせることを含む。

〔付記 5〕上記の方法において、パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメント（複数）から構成される。

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記パターン要素の多角形表現の頂点と、該頂点の各々における角度二等分線とを決定すること、

前記頂点から、シフトされた頂点を計算すること、但し、前記シフトされた頂点の各々は、該シフトされた頂点が該頂点に所属するエッジに対し前記再形成距離のところにあるよう、シフトされた位置に位置付けられること、

前記シフトされた頂点を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定し、及び、前記公称線量を該再形成パターン要素に割り当てること、

を含む。

〔付記 6〕上記の方法において、パターン要素の境界は、前記内部を包囲する閉ループを一緒に規定する一組の境界セグメントから構成される。

再形成パターン要素を形成する前記ステップは、以下のステップ：

前記セグメント（複数）の位置をそれぞれのセグメントに対して直角をなすそれぞれの方向に沿って前記再形成距離だけシフトすることによって前記パターン要素の境界セグメントから得られるセグメント（複数）として、再形成境界セグメントを決定すること、

前記再形成境界要素〔セグメント〕を結合して閉ループを形成することによって再形成パターン要素を形成し、該閉ループを用いて前記再形成パターン要素の形状を規定すること、を含む。

〔付記 7〕上記の方法において、前記公称線量は、前記荷電粒子マルチビーム描画装置内における走査ストライプ露光中に、ピクセル（複数）に対して達成可能な最大露光線量を表す。

〔付記 8〕上記の方法において、前記公称線量は、1つのピクセルに与えられるとき、該1つのピクセルのリソグラフィ現像（development）を引き起こすために必要とされる露光線量の最小値を表す正の露光線量の2倍である。

〔付記 9〕上記の方法において、前記公称線量は、露光線量値で露光される領域とゼロ露光の領域との間の輪郭の位置が、前記荷電粒子マルチビーム描画装置における走査ストライプ露光中に露光に使用されるビームのブラー（blur）の量に依存しない場合、そのような露光線量の値を表すアイソフォーカル（isofocal）線量である。

〔付記 10〕上記の方法において、再形成距離を決定する前記ステップは、前記公称線量に対する前記割当て線量の値の関数として前記再形成距離を記述する所定の線量勾配関数に基づいて実行される。

〔付記 11〕上記の方法において、前記公称線量に対する前記割当て線量の値の前記関数は、線量勾配数を用いた線形関数である。

〔付記 12〕上記の方法において、パターン要素の再形成は、少なくとも前記公称線量に対する所定の偏差因子（factor）だけ、前記公称線量から外れる割当て線量を有する各パターン要素に対して行われる。

〔付記 13〕上記の方法において、後続の露光ステップと露光ステップとの間にオフセット距離として適用される前記露光長さは均一である。及び、

複数のビームレットに複数の異なるピクセルを連続的に露光させる一方で、前記露光領域内の複数のピクセルが後続の露光ステップ（複数）中に一連のビームレットによって露光されるよう、該露光長さは、前記構造化ビームにおける該露光長さの方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の少なくとも2の倍数に相当する。

10

20

30

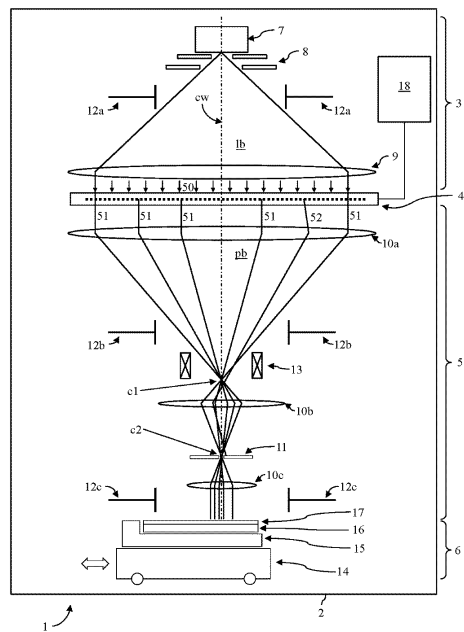
40

50

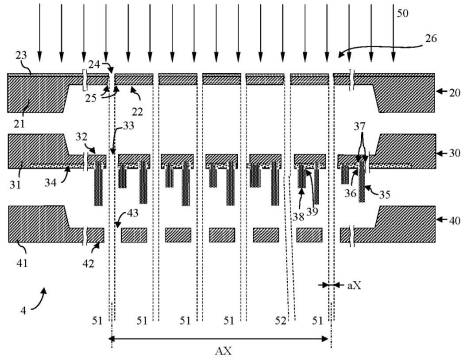
[付記 1 4] 上記の方法において、前記少なくとも 2 の倍数は、前記構造化ビームにおける前記露光長さの方向に沿って隣接するビームレット間の間隔の整数倍である。

【 図面 】

【 図 1 】



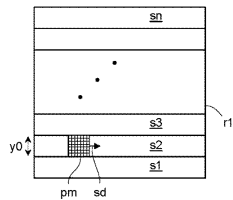
【 図 2 】



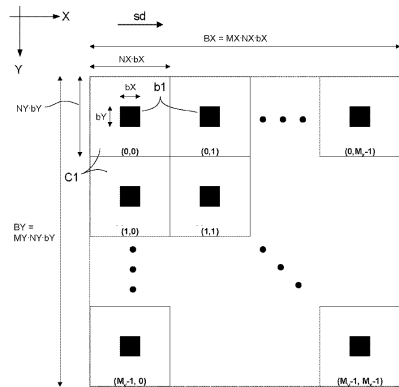
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】

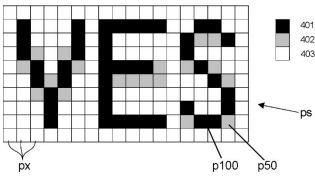


30

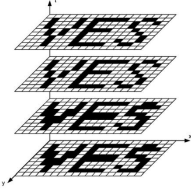
40

50

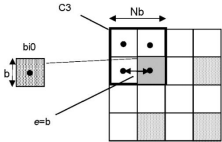
【図 5 A】



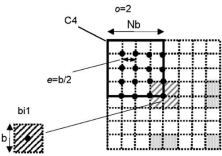
【図 5 B】



【図 6 A】

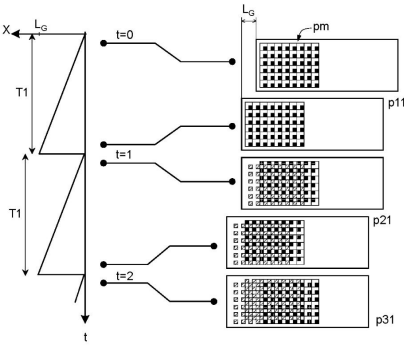


【図 6 B】

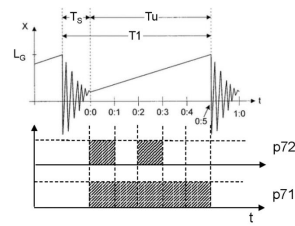


10

【図 7 A】

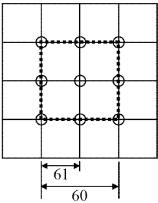


【図 7 B】

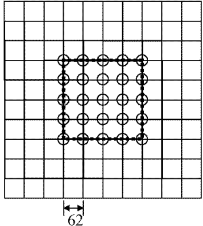


20

【図 8 A】



【図 8 B】

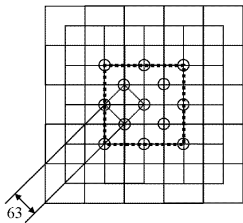


30

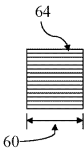
40

50

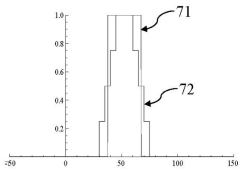
【図 8 C】



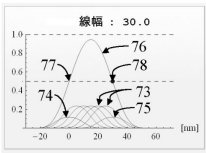
【図 9】



【図 1 0】

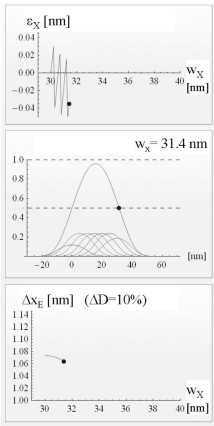


【図 1 1】

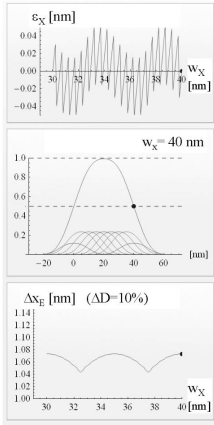


10

【図 1 2 A】



【図 1 2 B】



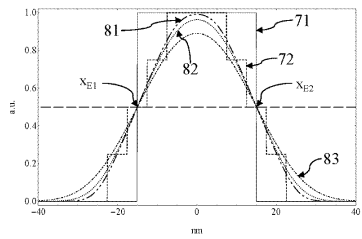
20

30

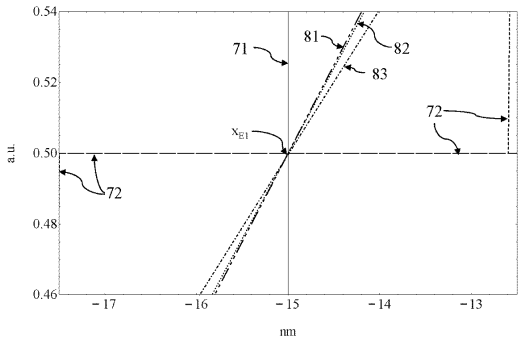
40

50

【図 1 3】

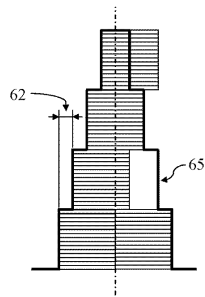


【図 1 3 A】

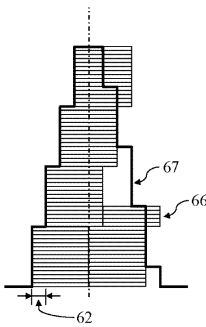


10

【図 1 4 A】

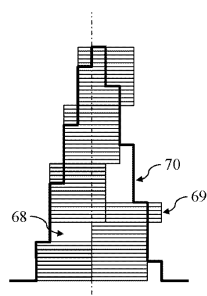


【図 1 4 B】

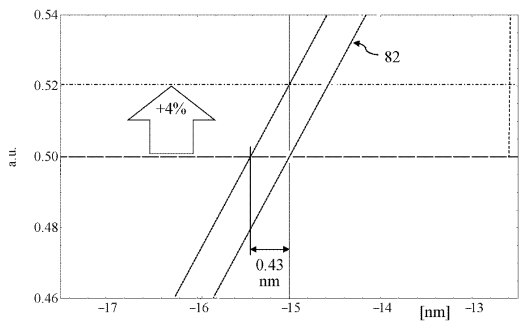


20

【図 1 4 C】



【図 1 5 A】

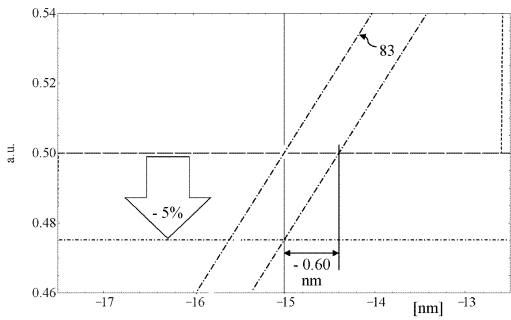


30

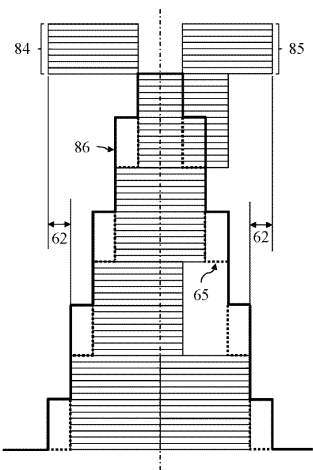
40

50

【図 15 B】

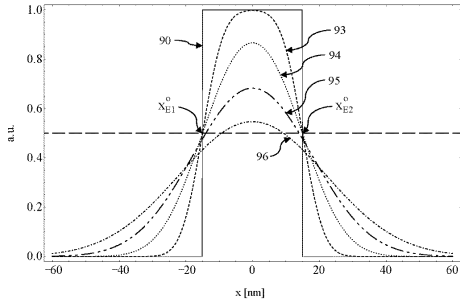


【図 16】

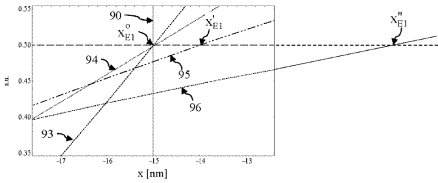


10

【図 17】



【図 17 A】



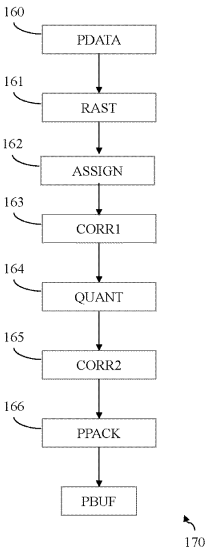
20

30

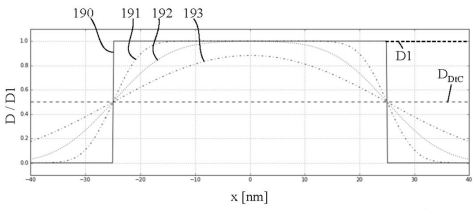
40

50

【図 18】

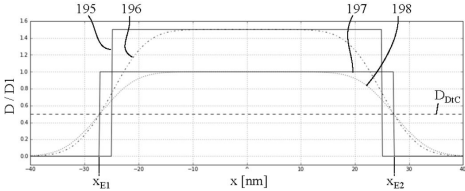


【図 19】

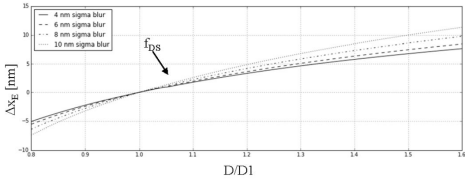


10

【図 20】



【図 21】



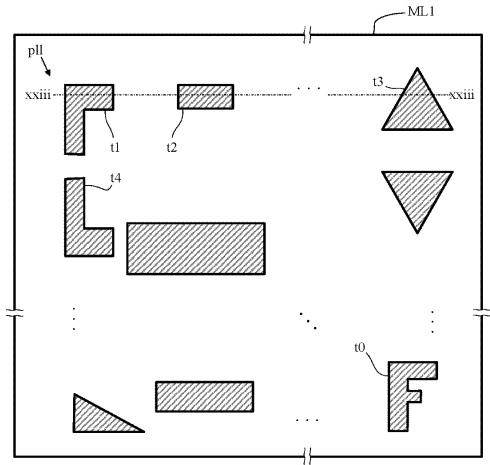
20

30

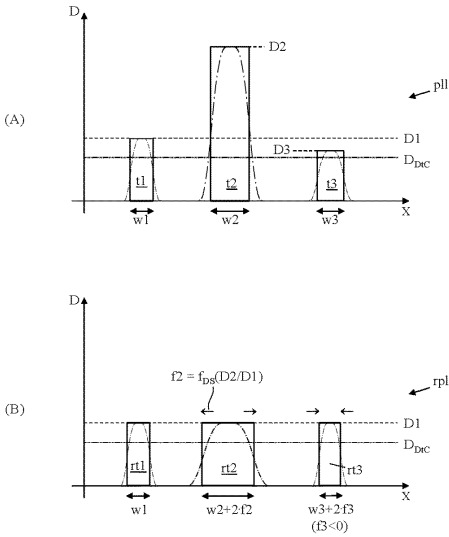
40

50

【図 2 2】

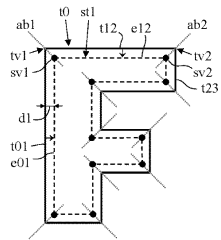


【図 2 3】

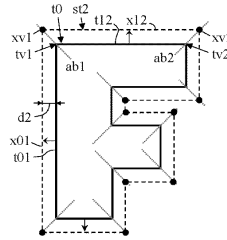


10

【図 2 4】

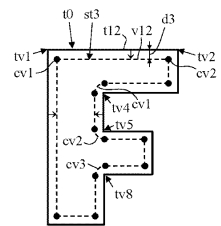


【図 2 5】

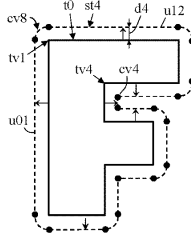


20

【図 2 6】



【図 2 7】

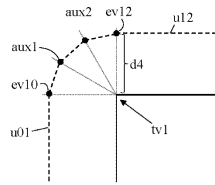


30

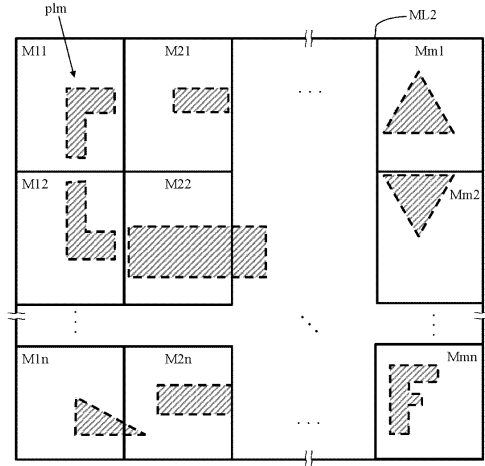
40

50

【 図 2 8 】

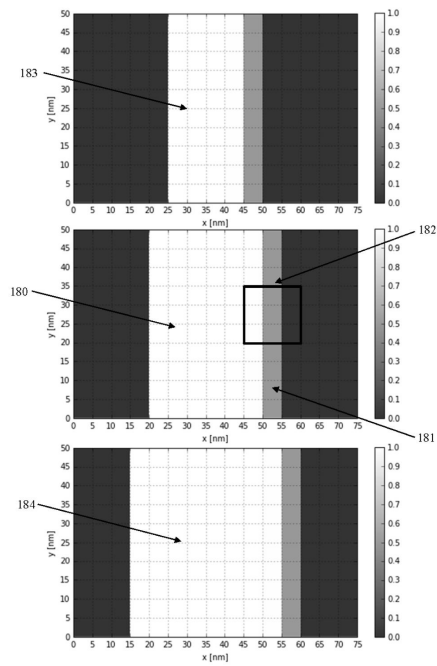


【圖 29】

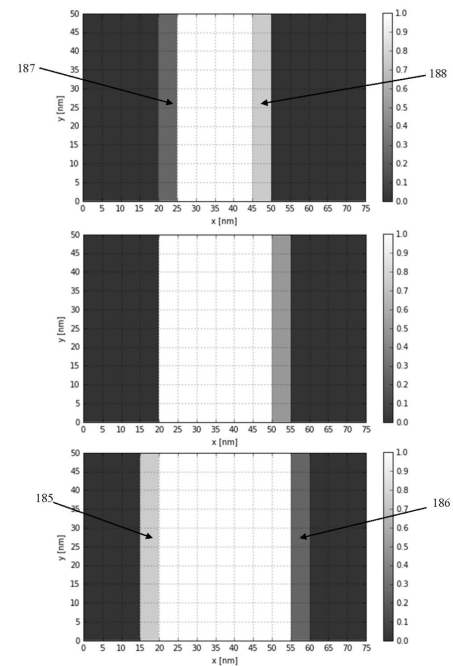


10

【 図 3 0 】



【 図 3 1 】



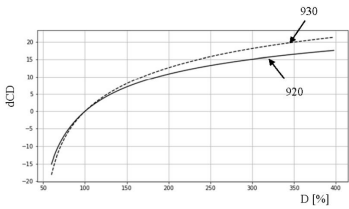
20

30

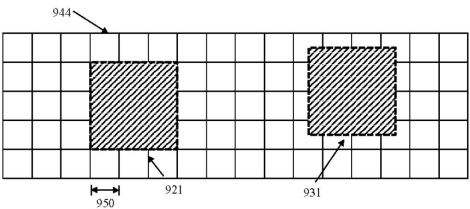
40

50

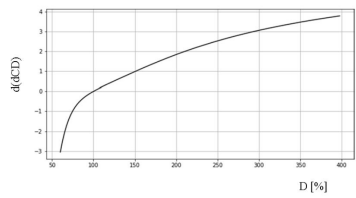
【図 3 2 A】



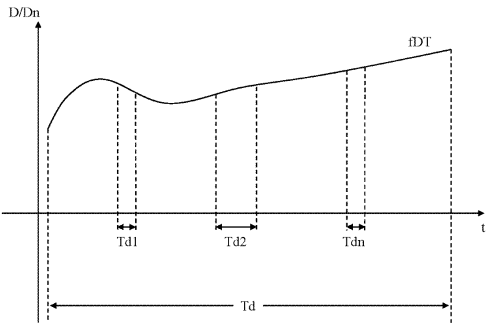
【図 3 2 B】



【図 3 2 C】



【図 3 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 クリストフ シュペングラ－
 オーストリア国 １１５０ ウィーン ディーフェンバッハガッセ ３８ - ７

(72)発明者 ヴォルフ ナエタル
 オーストリア国 １０８０ ウィーン スコダガッセ ２６ / ７

審査官 田中 秀直

(56)参考文献 特開２０１０ - ２６７７２５ (Ｊ Ｐ , Ａ)
 特開２０１６ - １７４１５２ (Ｊ Ｐ , Ａ)
 特表２０１２ - ５２７７６４ (Ｊ Ｐ , Ａ)
 特開２００７ - ２４２８２４ (Ｊ Ｐ , Ａ)
 特開２００４ - ０６３５４６ (Ｊ Ｐ , Ａ)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , Ｄ Ｂ 名)
 Ｈ ０ １ Ｌ ２ １ / ０ ２ ７
 Ｈ ０ １ Ｊ ３ ７ / ３ ０ ５
 Ｇ ０ ３ Ｆ ７ / ２ ０