

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7026575号
(P7026575)

(45)発行日 令和4年2月28日(2022.2.28)

(24)登録日 令和4年2月17日(2022.2.17)

(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 D

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

G 0 3 F 7/20 5 0 4

G 0 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 5 (全21頁)

(21)出願番号 特願2018-98298(P2018-98298)
(22)出願日 平成30年5月22日(2018.5.22)
(65)公開番号 特開2019-204857(P2019-204857
A)
(43)公開日 令和1年11月28日(2019.11.28)
審査請求日 令和3年4月8日(2021.4.8)

(73)特許権者 504162958
株式会社ニューフレアテクノロジー
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番 1
(74)代理人 100119035
弁理士 池上 徹真
(74)代理人 100141036
弁理士 須藤 章
(74)代理人 100178984
弁理士 高下 雅弘
(72)発明者 中山田 憲昭
神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番 1
株式会社ニューフレアテクノロジー内
審査官 富士 健太

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電子ビーム照射方法、電子ビーム照射装置、及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板に形成されるパターンの複雑度を示す指標を用いて、基板上に電子ビームが照射された場合の帯電量分布を演算する工程と、
得られた前記帯電量分布を用いて、前記電子ビームの照射に起因して形成される照射パターンの位置ずれ量を演算する工程と、
前記位置ずれ量を用いて、照射位置を補正する工程と、
補正された照射位置に電子ビームを照射する工程と、
を備え、

前記パターンの複雑度を示す指標として、パターンの面積密度 U と、単位面積当たりのパターンの外周距離を用いることを特徴とする電子ビーム照射方法。

【請求項 2】

前記パターンの面積密度 U と、前記単位面積当たりのパターンの外周距離 W と、前記パターンの面積密度 U に依存する関数と、を用いて前記帯電量分布が演算されることを特徴とする請求項 1 記載の電子ビーム照射方法。

【請求項 3】

前記パターンの面積密度 U と、前記単位面積当たりのパターンの外周距離 W と、前記パターンの面積密度 U に依存する関数 $a(U)$ と、前記関数 $a(U)$ とは異なる前記パターンの面積密度 U に依存する関数 $b(U)$ と、係数 c とを用いた、
 $a(U) \cdot W / U + b(U) \{ 1 - \exp(-c \cdot W / U) \}$

で示すモデル式を演算することによって前記帯電量分布が演算されることを特徴とする請求項 1記載の電子ビーム照射方法。

【請求項 4】

基板に形成されるパターンの複雑度を示す指標を用いて、基板上に電子ビームが照射された場合の帯電量分布を演算する帯電量分布演算部と、
得られた前記帯電量分布を用いて、前記電子ビームの照射に起因して形成される照射パターンの位置ずれ量を演算する位置ずれ量演算部と、
前記位置ずれ量を用いて、照射位置を補正する補正部と、
補正された照射位置に電子ビームを照射する電子ビーム照射機構と、
を備え、

10

前記パターンの複雑度を示す指標として、パターンの面積密度 U と、単位面積当たりのパターンの外周距離を用いることを特徴とする電子ビーム照射装置。

【請求項 5】

基板に形成されるパターンの複雑度を示す指標を用いて、基板上に電子ビームが照射された場合の帯電量分布を演算する処理と、
得られた前記帯電量分布を用いて、前記電子ビームの照射に起因して形成される照射パターンの位置ずれ量を演算する処理と、
を電子ビームを照射する電子ビーム照射装置を制御するコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

前記パターンの複雑度を示す指標として、パターンの面積密度 U と、単位面積当たりのパターンの外周距離を用いることを特徴とするプログラム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電子ビーム照射方法、電子ビーム照射装置、及びプログラムに係り、例えば、電子ビームを用いて試料にパターンを描画する電子ビーム描画装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの微細化の進展を担うリソグラフィ技術は半導体製造プロセスのなかでも唯一パターンを生成する極めて重要なプロセスである。近年、LSIの高集積化に伴い、半導体デバイスに要求される回路線幅は年々微細化されてきている。これらの半導体デバイスへ所望の回路パターンを形成するためには、高精度の原画パターン（レチクル或いはマスクともいう。）が必要となる。ここで、電子線（EB：Electron beam）描画技術は本質的に優れた解像性を有しており、高精度の原画パターンの生産に用いられる。

30

【0003】

図13は、可変成形型電子線描画装置の動作を説明するための概念図である。可変成形型電子線描画装置は、以下のように動作する。第1のアーチャ410には、電子線330を成形するための矩形の開口411が形成されている。また、第2のアーチャ420には、第1のアーチャ410の開口411を通過した電子線330を所望の矩形形状に成形するための可変成形開口421が形成されている。荷電粒子ソース430から照射され、第1のアーチャ410の開口411を通過した電子線330は、偏向器により偏向され、第2のアーチャ420の可変成形開口421の一部を通過して、所定の一方（例えば、X方向とする）に連続的に移動するステージ上に搭載された試料340に照射される。すなわち、第1のアーチャ410の開口411と第2のアーチャ420の可変成形開口421との両方を通過できる矩形形状が、X方向に連続的に移動するステージ上に搭載された試料340の描画領域に描画される。第1のアーチャ410の開口411と第2のアーチャ420の可変成形開口421との両方を通過させ、任意形状を作成する方式を可変成形方式（VSB方式）という。

40

【0004】

50

マスク等の基板に電子ビームを照射する場合に、過去に照射した電子ビームにより照射位置やその周囲が帯電してしまう。従来、このビーム照射位置ずれを補正する方法の1つとして、基板上に帯電防止膜(CDL: Charge Dissipation Layer)を形成して、基板表面の帯電を防止する方法が知られている。しかし、この帯電防止膜は、基本的に酸の特性を有しているため、基板上に化学増幅型レジストが塗布されている場合などにおいて相性が良くない。また、帯電防止膜を形成するために新たな設備を設ける必要があり、例えば、フォトリソを製造する場合等に、その製造コストが更に増大してしまう。このため、帯電防止膜を用いることなく、帯電効果補正(CEC: charging effect correction)を行うことが望まれている。なお、帯電現象に起因した照射位置の位置ずれは、電子ビーム描画装置に限るものではなく、電子ビーム等の荷電粒子ビームでパターンを検査する検査装置等、狙った位置に荷電粒子ビームを照射することで得られる結果を用いる荷電粒子ビーム照射装置において同様に生じ得る。

10

【0005】

そこで、かかる帯電現象に起因した位置ずれに対して、出願人は、帯電量分布を求めてビーム照射位置の補正量を算出し、該補正量に基づいて補正された位置にビームを照射する帯電効果補正の手法を用いた描画装置について提案した(例えば、特許文献1, 2参照)。しかしながら、昨今の微細化に応じたさらなる高い寸法精度が求められる中、かかる帯電効果補正では、補正が十分ではない場合があるといった問題が生じている。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0006】

【文献】特開2012-15246号公報

特開2015-138882号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

そこで、本発明の一態様は、電子ビームを照射する場合に、従来よりも帯電効果補正の精度を向上可能な方法および装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

30

本発明の一態様の電子ビーム照射方法は、
基板に形成されるパターンの複雑度を示す指標を用いて、基板上に電子ビームが照射された場合の帯電量分布を演算する工程と、
得られた帯電量分布を用いて、電子ビームの照射に起因して形成される照射パターンの位置ずれ量を演算する工程と、
位置ずれ量を用いて、照射位置を補正する工程と、
補正された照射位置に電子ビームを照射する工程と、
を備え、

前記パターンの複雑度を示す指標として、パターンの面積密度Uと、単位面積当たりのパターンの外周距離を用いることを特徴とする。

40

【0009】

また、パターンの複雑度を示す指標として、単位面積当たりのパターンの外周距離を用いると好適である。

【0010】

また、パターンの面積密度Uと、単位面積当たりのパターンの外周距離Wと、パターンの面積密度Uに依存する関数と、を用いて帯電量分布が演算されると好適である。

【0011】

また、パターンの面積密度Uと、単位面積当たりのパターンの外周距離Wと、パターンの面積密度Uに依存する関数 $a(U)$ と、関数 $a(U)$ とは異なるパターンの面積密度Uに依存する関数 $b(U)$ と、係数 c とを用いた、

50

$$a(U) \cdot W/U + b(U) \{1 - \exp(-c \cdot W/U)\}$$

で示すモデル式を演算することによって帯電量分布が演算されると好適である。

【0012】

本発明の一態様の電子ビーム照射装置は、
 基板に形成されるパターンの複雑度を示す指標を用いて、基板上に電子ビームが照射された場合の帯電量分布を演算する帯電量分布演算部と、
 得られた帯電量分布を用いて、電子ビームの照射に起因して形成される照射パターンの位置ずれ量を演算する位置ずれ量演算部と、
 位置ずれ量を用いて、照射位置を補正する補正部と、
 補正された照射位置に電子ビームを照射する電子ビーム照射機構と、
 を備え、

10

前記パターンの複雑度を示す指標として、パターンの面積密度Uと、単位面積当たりのパターンの外周距離を用いることを特徴とする。

【0013】

本発明の一態様のコンピュータに実行させるためのプログラムは、
 基板に形成されるパターンの複雑度を示す指標を用いて、基板上に電子ビームが照射された場合の帯電量分布を演算する処理と、
 得られた前記帯電量分布を用いて、前記電子ビームの照射に起因して形成される照射パターンの位置ずれ量を演算する処理と、
 を電子ビームを照射する電子ビーム照射装置を制御するコンピュータに実行させるプログラムであって、

20

前記パターンの複雑度を示す指標として、パターンの面積密度Uと、単位面積当たりのパターンの外周距離を用いることを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、電子ビームを照射する場合に、従来よりも帯電効果補正の精度を向上できる。その結果、高精度な照射位置にビームを照射できる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】実施の形態1における描画装置の要部構成の一例を示す概念図である。

30

【図2】実施の形態1におけるステージ移動の様子を説明するための図である。

【図3】実施の形態1の比較例における評価基板のパターン領域の一例と製品に使用される基板の実パターン領域の一例とを示す図である。

【図4】実施の形態1の比較例における評価パターンの帯電量の一例と製品基板の実パターンに見立てた模擬パターンの帯電による位置ずれ量の一例とを示す図である。

【図5】実施の形態1の比較例における評価パターンの一例と製品基板の実パターンに見立てた模擬パターンの一例とを示す図である。

【図6】実施の形態1における評価基板に描画される評価パターンのレイアウトの一例を示す図である。

【図7】実施の形態1におけるパターンの複雑度に起因する帯電量の測定結果を示す図である。

40

【図8】実施の形態1におけるパターンの複雑度に起因する帯電減衰強度の測定結果を示す図である。

【図9】実施の形態1における描画方法の要部工程の一例を示すフローチャート図である。

【図10】実施の形態1における描画方法の要部工程の他の一例を示すフローチャート図である。

【図11】実施の形態1の比較例における帯電効果補正を行った結果の位置ずれ量の一例を示す図である。

【図12】実施の形態1における帯電効果補正を行った結果の位置ずれ量の一例を示す図である。

50

【図 1 3】可変成型型電子線描画装置の動作を説明するための概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 における描画装置の要部構成の一例を示す概念図である。図 1 において、描画装置 100 は、描画機構 150 および制御系回路 160 を備えている。描画装置 100 は、電子ビーム描画装置の一例である。また、描画装置 100 は、電子ビーム照射装置の一例である。描画機構 150 は、電子鏡筒 1 と描画室 14 を有している。電子鏡筒 1 内には、電子銃 5、照明レンズ 7、第 1 の成形アパーチャ基板 8、投影レンズ 9、偏向器 10、第 2 の成形アパーチャ基板 11、対物レンズ 12、偏向器 13、及び静電レンズ 15 が配置される。また、描画室 14 内には、XY ステージ 3 が配置される。XY ステージ 3 上には、描画対象となる試料 2 が配置される。試料 2 には、半導体製造の露光に用いるフォトリソグラフィや半導体装置を形成する半導体ウェハ等が含まれる。また、描画されるフォトリソグラフィには、まだ何も描画されていないマスクブランクスが含まれる。描画される際には、試料上には電子ビームにより感光するレジスト膜が形成されていることは言うまでもない。また、XY ステージ 3 上には、試料 2 が配置される位置とは異なる位置にステージ位置測定用のミラー 4 が配置される。

10

【0017】

制御系回路 160 は、制御計算機 110、120、ステージ位置検出機構 45、ステージ制御機構 46、偏向制御回路 130、メモリ 142、磁気ディスク装置等の記憶装置 140、143、144、及び外部インターフェース (I/F) 回路 146 と、を有している。制御計算機 110、120、ステージ位置検出機構 45、ステージ制御機構 46、偏向制御回路 130、メモリ 142、記憶装置 140、143、144、及び外部 I/F 回路 146 は、図示しないバスにより互いに接続されている。偏向制御回路 130 は、偏向器 10、13 に接続される。

20

【0018】

制御計算機 110 内には、描画制御部 30、パターン密度分布算出部 31、ドーズ量分布算出部 32、照射量分布算出部 33、かぶり電子量分布算出部 34、帯電量分布算出部 35、描画経過時間演算部 37、累積時間演算部 38、位置ずれ量分布算出部 36、及び外周距離取得部 39 といった機能が配置される。描画制御部 30、パターン密度分布算出部 31、ドーズ量分布算出部 32、照射量分布算出部 33、かぶり電子量分布算出部 34、帯電量分布算出部 35、描画経過時間演算部 37、累積時間演算部 38、位置ずれ量分布算出部 36、及び外周距離取得部 39 といった各「部」は、処理回路を含み、その処理回路には、電気回路、コンピュータ、プロセッサ、回路基板、量子回路、或いは、半導体装置等が含まれる。また、各「部」は、共通する処理回路 (同じ処理回路) を用いてもよい。或いは、異なる処理回路 (別々の処理回路) を用いても良い。描画制御部 30、パターン密度分布算出部 31、ドーズ量分布算出部 32、照射量分布算出部 33、かぶり電子量分布算出部 34、帯電量分布算出部 35、描画経過時間演算部 37、累積時間演算部 38、位置ずれ量分布算出部 36、及び外周距離取得部 39 内に必要な入力データ或いは演算された結果はその都度メモリ 142 に記憶される。

30

40

【0019】

制御計算機 120 内には、ショットデータ生成部 41 および位置ずれ補正部 42 といった機能が配置される。ショットデータ生成部 41 および位置ずれ補正部 42 といった各「部」は、処理回路を含み、その処理回路には、電気回路、コンピュータ、プロセッサ、回路基板、量子回路、或いは、半導体装置等が含まれる。また、各「部」は、共通する処理回路 (同じ処理回路) を用いてもよい。或いは、異なる処理回路 (別々の処理回路) を用いても良い。ショットデータ生成部 41 および位置ずれ補正部 42 内に必要な入力データ或いは演算された結果はその都度図示しないメモリに記憶される。

【0020】

偏向制御回路 130 内には、成形偏向器制御部 43 および対物偏向器制御部 44 といった

50

機能が配置される。成形偏向器制御部 4 3 および対物偏向器制御部 4 4 といった各「～部」は、処理回路を含み、その処理回路には、電気回路、コンピュータ、プロセッサ、回路基板、量子回路、或いは、半導体装置等が含まれる。また、各「～部」は、共通する処理回路（同じ処理回路）を用いてもよい。或いは、異なる処理回路（別々の処理回路）を用いても良い。成形偏向器制御部 4 3 および対物偏向器制御部 4 4 内に必要な入力データ或いは演算された結果はその都度図示しないメモリに記憶される。

【 0 0 2 1 】

また、描画されるための複数の図形パターンが定義される描画データ（レイアウトデータ）が描画装置 1 0 0 の外部から入力され、記憶装置 1 4 0 に格納される。

【 0 0 2 2 】

図 1 では、本実施の形態 1 を説明する上で必要な構成部分以外については記載を省略している。描画装置 1 0 0 にとって、通常、必要なその他の構成が含まれることは言うまでもない。

【 0 0 2 3 】

電子銃 5 から放出された電子ビーム 6 は、照明レンズ 7 により矩形の穴を持つ第 1 の成形アパーチャ基板 8 全体を照明する。ここで、電子ビーム 6 をまず矩形に成形する。そして、第 1 の成形アパーチャ基板 8 を通過した第 1 のアパーチャ像の電子ビーム 6 は、投影レンズ 9 により第 2 の成形アパーチャ基板 1 1 上に投影される。かかる第 2 の成形アパーチャ基板 1 1 上での第 1 のアパーチャ像の位置は、成形偏向器制御部 4 3 により制御された偏向器 1 0 によって偏向制御され、ビーム形状と寸法を変化させることができる（可変成形）。そして、第 2 の成形アパーチャ基板 1 1 を通過した第 2 のアパーチャ像の電子ビーム 6 は、対物レンズ 1 2 により焦点を合わせ、対物偏向器制御部 4 4 に制御された例えば静電型の偏向器 1 3 により偏向され、移動可能に配置された X Y ステージ 3 上の試料 2 の所望する位置に照射される。X Y ステージ 3 はステージ制御機構 4 6 によって駆動制御される。そして、X Y ステージ 3 の位置は、ステージ位置検出機構 4 5 によって検出される。ステージ位置検出機構 4 5 には、例えば、ミラー 4 にレーザを照射して、入射光と反射光の干渉に基づいて位置を測定するレーザ測長装置が含まれる。静電レンズ 1 5 は、試料 2 面の凹凸に対応して、動的に電子ビーム 6 の焦点位置を補正する（ダイナミックフォーカス）。

【 0 0 2 4 】

図 2 は、実施の形態 1 におけるステージ移動の様子を説明するための図である。試料 2 に描画する場合には、X Y ステージ 3 を例えば X 方向に連続移動させながら、描画（露光）面を電子ビーム 6 が偏向可能な短冊状の複数のストライプ領域（S R）に描画領域（R）が仮想分割された試料 2 の 1 つのストライプ領域上を電子ビーム 6 が照射する。X Y ステージ 3 の X 方向の移動は、例えば連続移動とし、同時に電子ビーム 6 のショット位置もステージ移動に追従させる。連続移動させることで描画時間を短縮させることができる。そして、1 つのストライプ領域を描画し終わったら、X Y ステージ 3 を Y 方向にステップ送りして X 方向（今度は逆向き）に次のストライプ領域の描画動作を行なう。各ストライプ領域の描画動作を蛇行させるように進めることで X Y ステージ 3 の移動時間を短縮することができる。また、描画装置 1 0 0 では、レイアウトデータ（描画データ）を処理するにあたっては、描画領域を短冊状の複数のフレーム領域に仮想分割して、フレーム領域毎にデータ処理がおこなわれる。そして、例えば、多重露光を行なわない場合には、通常、フレーム領域と上述したストライプ領域とが同じ領域となる。多重露光を行なう場合には、多重度に応じてフレーム領域と上述したストライプ領域とがずれることになる。或いは、多重度に応じたストライプ領域と同じ領域となる複数のフレーム領域に描画領域が仮想分割され、フレーム領域毎にデータ処理がおこなわれる。このように、試料 2 の描画領域は、複数の描画単位領域となるフレーム領域（ストライプ領域）に仮想分割され、描画機構 1 5 0 は、かかるフレーム領域（ストライプ領域）毎に描画する。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、実施の形態 1 の比較例における評価基板のパターン領域の一例と製品に使用され

10

20

30

40

50

る基板の実パターン領域の一例とを示す図である。図 3 (a) では、比較例における評価基板のパターン領域の一例を示す。評価基板のパターン領域には、複数の評価パターン 2 0 が配置される。各評価パターン 2 0 は、例えば、パターン密度を異にするシンプルパターンが配置される。例えば、コンタクトホールパターン (矩形パターン) がパターン密度に応じてサイズを変えて配置される。これに対して、図 3 (b) では、比較例における製品に使用される基板の実パターン領域の一例を示す。製品基板の実パターン領域には、評価パターン 2 0 のようなシンプルパターンではなく、複雑な回路レイアウトの実パターン 2 1 が配置される。これらを従来の帯電量補正の手法を用いて実際に描画すると、両パターンの位置ずれ量に違いが生じることがわかった。かかる帯電量に対するこれらの違いが、パターンの複雑度起因するものと想定して、これらの評価を行った。

10

【 0 0 2 6 】

図 4 は、実施の形態 1 の比較例における評価パターンの帯電量の一例と製品基板の実パターンに見立てた模擬パターンの帯電による位置ずれ量の一例とを示す図である。

図 5 は、実施の形態 1 の比較例における評価パターンの一例と製品基板の実パターンに見立てた模擬パターンの一例とを示す図である。図 5 (a) では、評価パターン 2 0 として、パターン密度 U が 2 5 % のシンプルパターンを最大ショットサイズ $0.25 \mu\text{m}$ のショット図形を繋ぎ合わせて描画した場合の矩形パターンを示している。図 4 (a) では、評価パターン 2 0 として、パターン密度 U が 2 5 % のシンプルパターンを最大ショットサイズ $0.25 \mu\text{m}$ のショット図形を繋ぎ合わせて描画した場合の評価パターン 2 0 及びその周辺の帯電による位置ずれ量の一例を示している。これに対して、図 5 (b) では、評価パターン 2 0 として、密度 U が 2 5 % のシンプルパターンを最大ショットサイズ $0.25 \mu\text{m}$ のショット図形を繋ぎ合わせて描画した場合の矩形パターンよりも複雑な形状パターンを実パターンに見立てた模擬パターンとして示している。図 4 (b) では、実パターン 2 1 に見立てた模擬パターンとして、パターン密度 U が 2 5 % の模擬パターン (複雑パターン) を最大ショットサイズ $0.25 \mu\text{m}$ のショット図形を繋ぎ合わせて描画した場合の実パターン 2 1 及びその周辺の帯電による位置ずれ量の一例を示している。図 4 (a) の例及び図 4 (b) の例では、いずれもパターン密度 U が 2 5 % で描画しているので、両パターンで生じる帯電量は同じようになると思われるところ、図 4 (a) 及び図 4 (b) に示すように、その帯電量分布に差が生じることがわかった。かかる違いについて、ショットサイズの影響を検討した。図 5 (c) では、評価パターン 2 0 として、パターン密度 U が 2 5 % のシンプルパターンを最大ショットサイズ $0.1 \mu\text{m}$ のショット図形を繋ぎ合わせて描画した場合の矩形パターンを示している。かかるショットサイズを変えて描画した帯電結果を図 4 (c) に示している。図 4 (c) では、評価パターン 2 0 として、パターン密度 U が 2 5 % のシンプルパターンを最大ショットサイズ $0.1 \mu\text{m}$ のショット図形を繋ぎ合わせて描画した場合の評価パターン 2 0 及びその周辺の帯電による位置ずれ量の一例を示している。しかし、図 4 (a) 及び図 4 (c) に示すように、その帯電量分布に実質的な差が生じなかった。よって、かかる点から、帯電量に対するこれらの違いが、パターンの複雑度起因するものであることを見出した。

20

30

【 0 0 2 7 】

図 6 は、実施の形態 1 における評価基板に描画される評価パターンのレイアウトの一例を示す図である。図 6 において、評価基板には、パターン密度と、パターンの複雑度とを可変にした複数の評価パターンが配置される。実施の形態 1 では、パターンの複雑度を示す指標として、単位面積あたりのパターンの外周距離 W を用いる。単位面積内に複数のパターンが配置される場合には、単位面積あたりのパターンの外周距離の合計 W を用いる。そこで、図 6 の例では、複数のパターン密度 U について、単位面積あたりのパターンの外周距離 W を可変にするように、複数のパターンレイアウトを構成する。

40

【 0 0 2 8 】

図 6 の例では、パターン密度 5 % について、単純な矩形パターン (5 %) と、線幅 $0.4 \mu\text{m}$ のラインアンドスペースパターン (C 5 - 2) と、サイズ $0.45 \mu\text{m}$ のコンタクトホールパターン (C 5 - 3) と、サイズ $0.25 \mu\text{m}$ のコンタクトホールパターン (C 5

50

- 4) と、線幅 0 . 1 μm のラインアンドスペースパターン (C 5 - 5) と、サイズ 0 . 1 μm のコンタクトホールパターン (C 5 - 6) と、を配置する。

【 0 0 2 9 】

同様に、パターン密度 1 5 % について、単純な矩形パターン (1 5 %) と、線幅 0 . 4 μm のラインアンドスペースパターン (C 1 5 - 2) と、サイズ 0 . 4 5 μm のコンタクトホールパターン (C 1 5 - 3) と、サイズ 0 . 2 5 μm のコンタクトホールパターン (C 1 5 - 4) と、線幅 0 . 1 μm のラインアンドスペースパターン (C 1 5 - 5) と、サイズ 0 . 1 μm のコンタクトホールパターン (C 1 5 - 6) と、を配置する。

【 0 0 3 0 】

同様に、パターン密度 2 5 % について、単純な矩形パターン (2 5 %) と、線幅 0 . 4 μm のラインアンドスペースパターン (C 2 5 - 2) と、サイズ 0 . 4 5 μm のコンタクトホールパターン (C 2 5 - 3) と、サイズ 0 . 2 5 μm のコンタクトホールパターン (C 2 5 - 4) と、線幅 0 . 1 μm のラインアンドスペースパターン (C 2 5 - 5) と、サイズ 0 . 1 μm のコンタクトホールパターン (C 2 5 - 6) と、を配置する。

【 0 0 3 1 】

同様に、パターン密度 3 5 % について、単純な矩形パターン (3 5 %) と、線幅 0 . 4 μm のラインアンドスペースパターン (C 3 5 - 2) と、サイズ 0 . 4 5 μm のコンタクトホールパターン (C 3 5 - 3) と、サイズ 0 . 2 5 μm のコンタクトホールパターン (C 3 5 - 4) と、線幅 0 . 1 μm のラインアンドスペースパターン (C 3 5 - 5) と、サイズ 0 . 1 μm のコンタクトホールパターン (C 3 5 - 6) と、を配置する。

【 0 0 3 2 】

同様に、パターン密度 5 0 % について、単純な矩形パターン (5 0 %) と、線幅 0 . 4 μm のラインアンドスペースパターン (C 5 0 - 2) と、サイズ 0 . 4 5 μm のコンタクトホールパターン (C 5 0 - 3) と、サイズ 0 . 2 5 μm のコンタクトホールパターン (C 5 0 - 4) と、線幅 0 . 1 μm のラインアンドスペースパターン (C 5 0 - 5) と、サイズ 0 . 1 μm のコンタクトホールパターン (C 5 0 - 6) と、を配置する。

【 0 0 3 3 】

同様に、パターン密度 7 5 % について、単純な矩形パターン (7 5 %) と、線幅 0 . 4 μm のラインアンドスペースパターン (C 7 5 - 2) と、サイズ 0 . 4 5 μm のコンタクトホールパターン (C 7 5 - 3) と、サイズ 0 . 2 5 μm のコンタクトホールパターン (C 7 5 - 4) と、線幅 0 . 1 μm のラインアンドスペースパターン (C 7 5 - 5) と、サイズ 0 . 1 μm のコンタクトホールパターン (C 7 5 - 6) と、を配置する。

【 0 0 3 4 】

図 7 は、実施の形態 1 におけるパターンの複雑度起因する帯電量の測定結果を示す図である。図 7 において、縦軸に静的帯電量 (単位は $\text{a} \cdot \text{u} \cdot$) を示し、横軸に単位面積あたりの外周距離 W (単位は $\text{a} \cdot \text{u} \cdot$) を示す。図 7 では、図 6 に示した評価基板に描画される評価パターンを描画する場合における帯電量の測定結果を示している。図 7 に示すように、単位面積あたりの外周距離 W が大きくなるのに沿って、いずれのパターン密度 U についても、一旦、帯電量が減少 (正帯電が減少) し、さらに単位面積あたりの外周距離 W が大きくなると帯電量が緩い上昇に転じる傾向があることがわかる。かかる図 7 の結果を多項式でフィッティングすると、パターンの複雑度起因する帯電量 C_w は、以下の式 (1) で近似できる。

$$(1) \quad C_w (U , W) = a (U) \cdot W / U + b (U) \{ 1 - \exp (- c \cdot W / U) \}$$

【 0 0 3 5 】

関数 $a (U)$ は、パターン密度 U に依存した関数を示す。関数 $b (U)$ は、関数 $a (U)$ とは異なるパターン密度 U に依存した関数を示す。 c は、係数を示す。このように、パターンの複雑度起因する帯電量 C_w は、パターンの面積密度 U と、単位面積あたりのパターンの外周距離 W と、パターンの面積密度 U に依存する関数 $a (U)$ と、関数 $a (U)$ とは異なるパターンの面積密度 U に依存する関数 $b (U)$ と、係数 c とを用いたモデル式 (1) を適用して演算することによって求めることができる。

【 0 0 3 6 】

ここで、試料 2 に生じる帯電量は、パターンの複雑度起因する帯電量 C_w の他に、照射電子が寄与する変数 $C_E(E)$ と、かぶり電子が寄与する変数 $C_F(F)$ と、経過時間が寄与する帯電減衰分 $C_T(T, t)$ とに分解することができる。これらのうち、帯電減衰分 C_T について、パターンの複雑度起因する成分を検証する。

【 0 0 3 7 】

図 8 は、実施の形態 1 におけるパターンの複雑度起因する帯電減衰強度の測定結果を示す図である。図 8 において、縦軸に帯電減衰強度（単位は $a \cdot u$ ）を示し、横軸に単位面積あたりの外周距離 W （単位は $a \cdot u$ ）を示す。図 8 では、図 6 に示した評価基板に描画される評価パターンを描画する場合における帯電減衰強度の測定結果を示している。図 8 に示すように、単位面積あたりの外周距離 W が大きくなるのに沿って、いずれのパターン密度 U についても、帯電減衰強度が大きくなり（減衰が進み）収束（飽和）する傾向があることがわかる。かかる図 8 の結果を多項式でフィッティングすると、パターンの複雑度起因する帯電減衰強度 k_w は、以下の式（2）で近似できる。

（2） $k_w =$

$$k_{w1}(U) \cdot W / U + k_{w2}(U) \cdot \{1 - \exp(-k_{w3} \cdot W / U)\}$$

【 0 0 3 8 】

関数 $k_{w1}(U)$ は、パターン密度 U に依存した関数を示す。関数 $k_{w2}(U)$ は、関数 $k_{w1}(U)$ とは異なるパターン密度 U に依存した関数を示す。 k_{w3} は、係数を示す。このように、パターンの複雑度起因する帯電減衰強度 k_w は、パターンの複雑度起因する帯電減衰強度 $k_w(U, W)$ が、パターンの面積密度 U と、単位面積当たりのパターンの外周距離 W と、パターンの面積密度 U に依存する関数 $k_{w1}(U)$ と、関数 $k_{w1}(U)$ とは異なるパターンの面積密度 U に依存する関数 $k_{w2}(U)$ と、係数 k_{w3} とを用いたモデル式（2）を適用して演算することによって求めることができる。

【 0 0 3 9 】

式（2）は、 $k_{w1}(U)$ を関数 $a(u)$ と、 $k_{w2}(U)$ を関数 $b(u)$ と、係数 k_{w3} を係数 c と置き換えれば、上述したモデル式（1）と同様になる。言い換えれば、パターンの複雑度起因する帯電量とパターンの複雑度起因する帯電減衰強度とは、同じモデル式（1）で表現できる。以上を踏まえて、実施の形態 1 では、かかるパターンの複雑度起因する帯電量を考慮して帯電量分布 C を求める。同様に、実施の形態 1 では、かかるパターンの複雑度起因する帯電減衰強度を考慮して帯電量分布 C を求める。

【 0 0 4 0 】

図 9 は、実施の形態 1 における描画方法の要部工程の一例を示すフローチャート図である。図 9 において、実施の形態 1 における描画方法は、パターン面積密度分布 $U(x, y)$ 演算工程（S100）と、ドーズ量分布 $D(x, y)$ 算出工程（S102）と、照射量分布 $E(x, y)$ 算出工程（S104）と、かぶり電子量分布 $F(x, y, U)$ 算出工程（S106）と、描画経過時間 $T(x, y)$ 演算工程（S107）と、累積時間 t 演算工程（S108）と、帯電量分布 $C(x, y)$ 算出工程（S109）と、位置ずれ量分布 $p(x, y)$ 演算工程（S110）と、偏向位置補正工程（S112）と、描画工程（S114）と、という一連の工程を実施する。

【 0 0 4 1 】

パターン面積密度分布 $U(x, y)$ 演算工程（S100）として、パターン密度分布算出部 31 は、記憶装置 140 から描画データを読み出し、描画領域（或いはフレーム領域）が所定寸法（グリッド寸法）でメッシュ状に仮想分割された複数のメッシュ領域のメッシュ領域毎に、描画データに定義される図形パターンの配置割合を示すパターン密度 $U(x, y)$ を演算する。そして、メッシュ領域毎のパターン密度の分布 $U(x, y)$ を作成する。

【 0 0 4 2 】

ドーズ量分布 $D(x, y)$ 算出工程（S102）として、ドーズ量分布算出部 32 は、パターン密度分布 $U(x, y)$ を用いて、メッシュ領域毎のドーズ量の分布 $D(x, y)$ を

10

20

30

40

50

算出する。ドーズ量の演算には、後方散乱電子による近接効果補正を行うと好適である。ドーズ量 D は、以下の式 (3) で定義できる。

$$(3) \quad D = D_0 \times \{ (1 + 2 \times \quad) / (1 + 2 \times \quad \times U) \}$$

式 (3) において、 D_0 は基準ドーズ量であり、 \quad は後方散乱率である。

【0043】

これらの基準ドーズ量 D_0 及び後方散乱率 \quad は、当該描画装置 100 のユーザにより設定される。後方散乱率 \quad は、電子ビーム 6 の加速電圧、試料 2 のレジスト膜厚や下地基板の種類、プロセス条件 (例えば、PEB 条件や現像条件) などを考慮して設定することができる。

【0044】

照射量分布 $E(x, y)$ 算出工程 (S104) として、照射量分布算出部 33 は、パターン密度分布 $U(x, y)$ の各メッシュ値と、ドーズ量分布 $D(x, y)$ の対応メッシュ値とを乗算することによって、メッシュ領域毎の照射量分布 $E(x, y)$ (「照射強度分布」ともいう) を演算する。

【0045】

かぶり電子量分布 $F(x, y, U)$ 算出工程 (S106) として、かぶり電子量分布算出部 34 (かぶり荷電粒子量分布演算部) は、かぶり電子の分布関数 $g(x, y)$ と、上述した照射量分布 $E(x, y)$ 算出工程により算出された照射量分布 $E(x, y)$ とを畳み込み積分することによって、かぶり電子量分布 $F(x, y, U)$ (かぶり荷電粒子量分布) ($= E \cdot g$) を演算する。以下、具体的に説明する。

【0046】

まず、かぶり電子の広がり分布を示す分布関数 $g(x, y)$ は、かぶり効果の影響半径を用いて、以下の式 (4-1) で定義できる。ここでは、一例としてガウス分布を用いている。

$$(4-1) \quad g(x, y) = (1 / \quad^2) \times \exp \{ - (x^2 + y^2) / \quad^2 \}$$

【0047】

かぶり電子量分布 $F(x, y, \quad)$ は、以下の式 (4-2) で定義できる。

$$(4-2) \quad F(x, y, \quad) = \int \int g(x - x', y - y') E(x', y') dx' dy'$$

【0048】

描画経過時間 $T(x, y)$ 演算工程 (S107) として、描画経過時間演算部 37 は、試料 2 上の各位置について描画開始時刻 (レイアウト先頭或いは先頭フレームの描画を開始する時刻) から実際に描画する時刻までの経過時間 $T(x, y)$ を演算する。例えば、該当するフレーム領域 (ストライプ領域) が i 番目の第 i フレーム領域である場合には、描画開始位置 $S(0, 0)$ の描画を開始する描画開始時刻から 1 つ前の第 $i - 1$ フレーム領域 (ストライプ領域) までの各位置 (x, y) を描画するまでの予想時間を経過時間 $T(x, y)$ として演算する。

【0049】

累積時間 t 演算工程 (S108) として、累積時間演算部 38 は、既に描画が終了した描画単位領域となる例えばフレーム領域 (ストライプ領域) の描画にかかった描画時間を累積した累積時間 t を演算する。例えば、現在、該当するフレーム領域が i 番目の第 i フレーム領域である場合には、第 1 フレーム領域を描画するための時間 $t(1)$ 、第 2 フレーム領域を描画するための時間 $t(2)$ 、 \dots 第 i フレーム領域を描画するための時間 $t(i)$ までを累積加算した加算値を算出する。これにより、該当するフレーム領域までの累積時間 t を得ることができる。

【0050】

ここで、現在、処理を行なっている該当フレーム領域内を実際に描画する場合、1 つ前のフレーム領域までは描画が既に完了しているので、1 つ前までのフレーム領域内で電子ビーム 6 が照射された箇所は帯電部分となる。よって、該当フレーム領域の累積時間 t から帯電部分がある 1 つ前までのフレーム領域内の各位置 (x, y) の描画経過時間 $T(x, y)$

10

20

30

40

50

y) を差し引いた差分値 (t - T) が帯電部分を描画した後の経過時間となる。

【0051】

帯電量分布 C (x, y) 算出工程 (S109) として、帯電量分布算出部 35 は、照射量分布 E (x, y) と、かぶり電子量分布 F (x, y) と、時間の経過に伴う帯電減衰量と、上述したパターンの複雑度が寄与する帯電量とを用いて、帯電量分布 C (x, y) を算出する。

【0052】

まず、内部工程となる外周距離取得工程として、外周距離取得部 39 は、記憶装置 144 から単位面積あたりのパターンの外周距離 W を取得する。記憶装置 140 に格納される描画データに定義される複数の図形パターンについて、所定の単位面積毎に、単位面積あたりのパターンの外周距離 W をオフラインで演算しておき、かかる単位面積あたりのパターンの外周距離 W データを記憶装置 144 に格納しておく。或いは、外周距離取得部 39 が、記憶装置 140 に格納される描画データを読み出し、所定の単位面積毎に、単位面積あたりのパターンの外周距離 W を演算しても構わない。描画装置 100 内部で演算する場合には、パターン面積密度分布 U (x, y) 演算工程 (S100) と並列に演算処理を行うと好適である。これにより、単位面積あたりのパターンの外周距離 W を演算するための処理時間によって、帯電量分布 C (x, y) の算出処理が待機させられることを回避できる。また、単位面積あたりのパターンの外周距離 W を演算するための単位面積の領域として、パターン密度 U を演算する場合に用いたメッシュ領域を用いると好適である。

【0053】

ここで、帯電量分布 C (x, y) を求めるための関数 C (E, F, T, t, U, W) を仮定した。具体的には、照射電子が寄与する変数 C_E (E) と、かぶり電子が寄与する変数 C_F (F) と、経過時間が寄与する帯電減衰分 C_T (T, t, U, W) と、上述したパターンの複雑度が寄与する帯電量成分 C_w (U, W) に分離した。また、帯電減衰分 C_T (T, t, U, W) についても、パターン密度 U、及び単位面積あたりのパターンの外周距離 W に依存することからもわかるように、上述したパターンの複雑度が寄与する成分を考慮する。関数 C (E, F, T, t, U, W) は、以下の式 (5) で定義する。

$$\begin{aligned}
 (5) \quad C(x, y) &= C(E, F, T, t, U, W) \\
 &= C_E(E) + C_F(F) + C_T(T, t, U, W) \\
 &\quad + C_w(U, W) \\
 &= (d_0 + d_1 \times U + d_2 \times D \\
 &\quad + d_3 \times (UD) + d_4 \times (1 - \exp(d_5 \times (UD))) \\
 &\quad + d_6 \times (UD) \cdot \exp(d_7 \times (UD)) \\
 &\quad + (e_1 \times F + e_2 \times F^2 + e_3 \times F^3) \\
 &\quad + (U) \cdot \exp\{- (t - T) / (U)\} \\
 &\quad + k_w(U, W) \cdot \exp\{- (t - T) / (U)\} \\
 &\quad + a(U) \cdot W / U + b(U) \{1 - \exp(-c \cdot W / U)\} \\
 &= (d_0 + d_1 \times U + d_2 \times D \\
 &\quad + d_3 \times (UD) + d_4 \times (1 - \exp(d_5 \times (UD))) \\
 &\quad + d_6 \times (UD) \cdot \exp(d_7 \times (UD)) \\
 &\quad + (e_1 \times F + e_2 \times F^2 + e_3 \times F^3) \\
 &\quad + (U) \cdot \exp\{- (t - T) / (U)\} \\
 &\quad + \{k_{w1}(U) \cdot W / U + k_{w2}(U) \\
 &\quad \cdot \{1 - \exp(-k_{w3} \cdot W / U)\}\} \\
 &\quad \cdot \exp\{- (t - T) / (U)\} \\
 &\quad + a(U) \cdot W / U + b(U) \{1 - \exp(-c \cdot W / U)\}
 \end{aligned}$$

【0054】

上述したように、実施の形態 1 において、帯電量分布算出部 35 は、基板 2 上に電子ビームが照射された場合の照射域の帯電量分布 C_E (E) を、パターンの複雑度を示す指標を用いて演算する。言い換えれば、帯電量分布 C_E (E) を、パターンの面積密度 U と、単

位面積当たりのパターンの外周距離 W と、パターンの面積密度 U に依存する関数と、を用いて演算する。これにより、パターンの複雑度に起因して位置ずれが生じ得る個所の近似精度を高めることができる。

【0055】

また、式(5)に用いられる、パターン面積密度 U に依存した帯電減衰量 (U) は、例えば、以下の式(6)で近似できる。ここでは、式(6)が2次関数となっているが、これに限るものではなく、さらに高次の関数でもよいし、低次の関数でもよい。

$$(6) \quad (U) = d_0 + d_1 U + d_2 U^2$$

【0056】

そして、式(5)に用いられる、パターン面積密度 U に依存した帯電減衰時定数 (U) は、例えば、次の式(7)で近似できる。ここでは、式(7)が2次関数となっているが、これに限るものではなく、さらに高次の関数でもよいし、低次の関数でもよい。

$$(7) \quad (U) = d_0 + d_1 U + d_2 U^2$$

【0057】

なお、式(5)～式(7)の各係数 d_0 、 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 、 d_5 、 d_6 、 d_7 、 e_1 、 e_2 、 e_3 、 d_0 、 d_1 、 d_2 、 k_{w3} 、 c 、及び関数 $k_{w1}(U)$ 、 $k_{w2}(U)$ 、 $a(U)$ 、 $b(U)$ については、上述した特許文献1、2と同様に、実験結果及び/或いはシミュレーション結果をフィッティング(近似)して求めればよい。

【0058】

実施の形態1では、従来の照射電子が寄与する変数 $C_E(E)$ と、かぶり電子が寄与する変数 $C_F(F)$ と、経過時間が寄与する帯電減衰分 $C_T(T, t)$ に、さらに上述したパターンの複雑度が寄与する帯電成分 $C_w(U, W)$ を追加することで補正した。また、帯電減衰分 $C_T(T, t)$ に、上述したパターンの複雑度が寄与する成分を追加することで補正した。よって、従来の照射電子が寄与する変数 $C_E(E)$ と、かぶり電子が寄与する変数 $C_F(F)$ と、経過時間が寄与する帯電減衰分 $C_T(T, t)$ とについては、従来と同様に求めればよい。例えば、以下のようにして求めることができる。

【0059】

まず、帯電減衰量と帯電減衰時定数と描画経過時間 t を用いて、各パターン面積密度 U の帯電量 C の減衰曲線は、指数関数で表した次の式(8)で近似できる。

$$(8) \quad C = C_0 \cdot \exp(-t / \tau(U))$$

【0060】

また、パターン面積密度 U (パターン面積率 U)が、25%、50%、75%及び100%の各場合について、所定の帯電用パターンの描画直後の測定位置と描画から50分後の測定位置との差をフィッティングすることで、式(5)で近似したパターン面積密度 U に依存した帯電減衰量 (U) を得ることができる。帯電用パターンは、上述したようにシンプルパターンを用いればよい。

【0061】

また、パターン面積密度 U (パターン面積率 U)が、25%、50%、75%及び100%の各場合について、所定の帯電用パターンの描画直後から50分後までの複数のタイミングでの測定位置と描画から50分後の測定位置との各差をフィッティングすることで、式(7)で近似したパターン面積密度 U に依存した帯電減衰時定数 (U) を得ることができる。

【0062】

以上の結果から、かかる所定の帯電用パターンが描画された照射部の各位置(座標 (x, y))における帯電量 $C(x, y)$ は、次の式(9)で近似できる。

$$(9) \quad C(x, y) = C_0 \cdot \exp(-t / \tau(U))$$

【0063】

そして、上述したように、差分値 $(t - T)$ が帯電部分を描画した後の経過時間になるので、式(9)を用いた $C_T(T, t)$ は、次の式(10)に変形できる。

10

20

30

40

50

$$(10) \quad C_T(T, t) = (U) \cdot \exp\{-(t - T) / (U)\}$$

【0064】

なお、式(10)では、帯電用の評価パターン20内の帯電減衰量 (U) がすべての位置で一様であるという仮定のもとに見積もられている。パターン面積密度Uが25%から75%に増加するにつれて負の電荷減衰 (U) の大きさは増加するが、100%のパターン面積密度Uで負の電荷減衰 (U) は再び減少する。実際には、複数のフレーム領域に跨るような所定のサイズの帯電用パターンを描画する場合に、最初に描画された箇所と最後に描画される箇所では相当の時間が経過している。観測される位置ずれ量Yから一様分布を仮定して求めた帯電減衰量 (U) に対して、帯電が減衰する帯電減衰時定数 を適用して設定された補正後の帯電減衰量 " (U) から位置ずれ量Y " を求めると、Y " の方がYより小さくなる。そこで、位置ずれ量Y " がもとの位置ずれ量Yと等しくなるような補正式 " = L () ・ を用いて、帯電減衰量 (U) を補正してもよい。

【0065】

例えば、複数の帯電減衰時定数 を用いて、各帯電減衰時定数 での " / をプロットした結果をフィッティングすることで、補正式 " = L () ・ を得ることができる。例えば、 " = (1 + 3.1082 ・ - 1.0312) ・ を得ることができる。

【0066】

例えば、パターン面積密度Uが、75%の場合と100%の場合とで帯電減衰量が逆転する場合があるが、かかる補正により、かかる逆転現象は解消し、補正後の帯電減衰量 " (U) は、パターン面積密度Uが25%、50%、75%、100%と順に小さくなっていく。

【0067】

また、実施の形態1におけるモデルでは、まずは、帯電減衰分 $C_T(T, t)$ を無視して、照射域の関数は、変数 $C_F(F) = 0$ 、すなわち $C(E, F, T, t) = C_E(E)$ と仮定した。一方、非照射域の関数は、変数 $C_E(E) = 0$ 、すなわち、 $C(E, F) = C_F(F)$ と仮定した。また、照射域内は均一に帯電することと仮定した。すなわち、 $C_E(E) = c_0$ と仮定した。この c_0 は、定数であり、例えば、1である。

【0068】

そこで、先ず、非照射域の帯電量分布 $C_F(F)$ とかぶり電子量強度Fとの関係を、次式(11)のような多項式関数によって表した。次式(11)において、 f_1, f_2, f_3 は、定数である。

$$(11) \quad C_F(F) = f_1 \times F + f_2 \times F^2 + f_3 \times F^3$$

【0069】

次に、各パターン密度について $y = 0$ における帯電量分布 $C(x, 0)$ を算出する。なお、 $y = 0$ に限定せず、2次元で帯電量分布 $C(x, y)$ を算出することにより、以下を行うフィッティングの精度を向上させることができる。

【0070】

そして、非照射域の帯電量分布 $C(x, 0)$ と、上式(11)の $C_F(F)$ とが最も適合するような最適なかぶり半径 を求める。かぶり半径 が過小である場合や、かぶり半径 が過大である場合には、良好なフィッティング結果が得られない。つまり、かぶり半径 が過小もしくは過大となると、各パターン密度のデータが相互に離れてしまうため、上記パラメータ f_1, f_2, f_3 を求めることができない。これに対して、最適なかぶり半径 が求められると、良好なフィッティング結果が得られ、上記パラメータ f_1, f_2, f_3 を求めることができる。

【0071】

次に、上記求めた最適なかぶり半径 を用いて、照射域のかぶり電子量分布Fを求める。そして、照射域の帯電量分布 $C(E, F)$ を照射量分布Eと、かぶり電子量分布Fとを用いて、次式(12)のような多項式関数によって表した。次式(12)では、かぶり電子が寄与する帯電量分布 $C_{Fe}(F)$ が考慮されている。

$$(12) \quad C(E, F) = C_E(E) + C_{Fe}(F)$$

$$\begin{aligned}
&= (d_0 + d_1 \times U + d_2 \times D + d_3 \times E) \\
&+ d_4 \times (1 - \exp(d_5 \times E)) \\
&+ d_6 \times E \cdot \exp(d_7 \times E) \\
&+ (e_1 \times F + e_2 \times F^2 + e_3 \times F^3) \\
&\text{【0072】}
\end{aligned}$$

そして、照射域の帯電量分布 $C(x, 0)$ と、上式 (12) の帯電量分布 $C(E, F)$ とが最も適合するようなパラメータ $d_0, d_1, d_2, d_3, e_1, e_2, e_3$ を求める。

【0073】

次に、上式 (12) で示した照射域の帯電量分布 $C(E, F)$ に、さらに、帯電減衰に起因した帯電量分布を加算した帯電量分布 $C(x, y)$ を使って、上述したパターンの複雑度に応じた評価を行う。そして、得られた測定結果をフィッティングして、パターンの複雑度が寄与する帯電量成分 $C_w(U, W)$ のパラメータを求める。また、帯電減衰分についても、上述したパターンの複雑度に応じた評価を行う。そして、パターンの複雑度を考慮しない場合とのずれをフィッティングして、パターンの複雑度が寄与する帯電減衰強度 $k_w(U, W)$ のパラメータを求める。そして、照射域の帯電量分布 $C(E, F)$ に、さらに、帯電減衰に起因した帯電量分布を加算した帯電量分布 $C(x, y)$ に、さらに、得られた帯電量成分 $C_w(U, W)$ と、帯電減衰強度 $k_w(U, W)$ に $\exp\{-(t - T)/(U)\}$ を乗じた成分とを加算することで、上述した式 (5) が得られる。これにより、帯電減衰分を補正できる。

【0074】

これらの係数、関数、及び後述する応答関数 $r(x, y)$ は、予め、記憶装置 143 に格納しておく。

【0075】

位置ずれ量分布 $p(x, y)$ 演算工程 (S110) として、位置ずれ量分布算出部 36 (位置ずれ量演算部) は、得られた帯電量分布 $C(x, y)$ を用いて、電子ビーム 6 の照射に起因して形成される照射パターンの位置ずれ量を演算する。具体的には、位置ずれ量分布算出部 36 は、帯電量分布 $C(x, y)$ の各帯電量 C に応答関数 $r(x, y)$ を畳み込み積分することにより、帯電量分布 $C(x, y)$ の各位置 (x, y) の帯電量に起因した描画位置 (x, y) の位置ずれ量 P を演算する。この帯電量分布 $C(x, y)$ を位置ずれ量分布 $P(x, y)$ に変換する応答関数 $r(x, y)$ を仮定する。ここでは、帯電量分布 $C(x, y)$ の各位置で示される帯電位置を (x', y') で表し、現在、データ処理を行っている該当するフレーム領域 (例えば、第 i フレーム領域) のビーム照射位置を (x, y) で表す。ここで、ビームの位置ずれは、ビーム照射位置 (x, y) から帯電位置 (x', y') までの距離の関数として表すことができるため、応答関数を $r(x - x', y - y')$ のように記述することができる。応答関数 $r(x - x', y - y')$ は、予め実験を行い、実験結果と適合するように予め求めておけばよい。以下、実施の形態 1 において (x, y) は、現在、データ処理を行っている該当するフレーム領域のビーム照射位置を示す。

【0076】

そして、位置ずれ量分布算出部 36 は、該当するフレーム領域の描画しようとする各位置 (x, y) の位置ずれ量 P から位置ずれ量分布 $P_i(x, y)$ (或いは、位置ずれ量マップ $P_i(x, y)$ ともいう) を作成する。演算された位置ずれ量マップ $P_i(x, y)$ は、例えば記憶装置 143 に格納されると共に、制御計算機 120 に出力される。

【0077】

一方、制御計算機 120 内では、ショットデータ生成部 41 が、記憶装置 140 から描画データを読み出し、複数段のデータ変換処理を行って、描画装置 100 固有のフォーマットのショットデータを生成する。描画データに定義される図形パターンのサイズは、通常、描画装置 100 が 1 回のショットで形成できるショットサイズよりも大きい。そのため、描画装置 100 内では、描画装置 100 が 1 回のショットで形成可能なサイズになるように、各図形パターンを複数のショット図形に分割する (ショット分割)。そして、ショ

10

20

30

40

50

ット図形毎に、図形種を示す図形コード、座標、及びサイズといったデータをショットデータとして定義する。

【 0 0 7 8 】

偏向位置補正工程 (S 1 1 2) (位置ずれ補正工程) として、位置ずれ補正部 4 2 (補正部) は、位置ずれ量を用いて、照射位置を補正する。ここでは、各位置のショットデータを補正する。具体的には、ショットデータの各位置 (x, y) に位置ずれ量マップ $P_i (x, y)$ が示す位置ずれ量を補正する補正值を加算する。補正值は、例えば、位置ずれ量マップ $P_i (x, y)$ が示す位置ずれ量の正負の符号を逆にした値を用いると好適である。これにより、電子ビーム 6 が照射される場合に、その照射先の座標が補正されるので、対物偏向器 1 3 によって偏向される偏向位置が補正されることになる。ショットデータは

10

【 0 0 7 9 】

描画工程 (S 1 1 4) として、偏向制御回路 1 3 0 内では、ショット順に、成形偏向器制御部 4 3 が、ショット図形毎に、ショットデータに定義された図形種及びサイズから電子ビーム 6 を可変成形するための成形偏向器 1 0 の偏向量を演算する。同時期に、対物偏向器制御部 4 4 が、当該ショット図形を照射する試料 2 上の位置に偏向するための偏向器 1 3 の偏向量を演算する。言い換えれば、対物偏向器制御部 4 4 (偏向量演算部) が、補正された照射位置に電子ビームを偏向する偏向量を演算する。そして、電子鏡筒 1 (カラム) は、補正された照射位置に電子ビームを照射する。具体的には、電子鏡筒 1 (カラム) 内に配置された偏向器 1 3 が、演算された偏向量に応じて電子ビームを偏向することで、補正された照射位置に電子ビームを照射する。これにより、描画機構 1 5 0 は、試料 2 の帯電補正された位置にパターンを描画する。

20

【 0 0 8 0 】

図 1 0 は、実施の形態 1 における描画方法の要部工程の他の一例を示すフローチャート図である。図 1 0 において、図 9 のドーズ量分布 $D (x, y)$ 算出工程 (S 1 0 2) の代わりに、パターン密度分布 $U (x, y)$ に関係なく固定のドーズ量分布 $D (x, y)$ を用いる点以外は、図 9 と同様である。

【 0 0 8 1 】

図 1 1 は、実施の形態 1 の比較例における帯電効果補正を行った結果の位置ずれ量の一例を示す図である。

30

図 1 2 は、実施の形態 1 における帯電効果補正を行った結果の位置ずれ量の一例を示す図である。

図 1 1 において、比較例では、帯電量分布 $C (x, y)$ の演算に、上述したパターンの複雑度が寄与する帯電量成分 $C_w (U, W)$ を考慮してしない結果を示す。また、同時に帯電減衰分 $C_T (T, t)$ に、上述したパターンの複雑度が寄与する成分を考慮してしない結果を示す。図 1 1 の例では、図 6 に示した評価パターンのうちパターン密度 U が 5 %、15 % のパターンの測定結果を示している。図 1 1 に示すように、 x 方向の位置ずれ量 ($X_{residual}$) と y 方向の位置ずれ量 ($Y_{residual}$) が、単位面積あたりの外周距離 W が大きくなるのに沿って大きくなるのがわかる。これに対して、実施の形態 1 における帯電効果補正のように、上述したパターンの複雑度が寄与する帯電量成分 $C_w (U, W)$ を考慮すると共に、同時に帯電減衰分 $C_T (T, t)$ に、上述したパターンの複雑度が寄与する成分を考慮した結果、図 1 2 に示すように、 x 方向の位置ずれ量 ($X_{residual}$) と y 方向の位置ずれ量 ($Y_{residual}$) が、単位面積あたりの外周距離 W に関わらず同程度に補正できる。よって、パターンの複雑度によって生じる補正精度の違いを無くす、若しくは低減できる。

40

【 0 0 8 2 】

以上のように、実施の形態 1 によれば、電子ビームを照射する場合に、従来よりも帯電効果補正の精度を向上できる。その結果、高精度な照射位置にビームを照射できる。

【 0 0 8 3 】

以上、具体例を参照しつつ実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具

50

体例に限定されるものではない。帯電現象に起因した照射位置の位置ずれは、電子ビーム描画装置に限るものではない。本発明は、電子ビームでパターンを検査する検査装置等、狙った位置に電子ビームを照射することで得られる結果を用いる電子ビーム装置に適應できる。

【 0 0 8 4 】

また、装置構成や制御手法等、本発明の説明に直接必要しない部分等については記載を省略したが、必要とされる装置構成や制御手法を適宜選択して用いることができる。例えば、描画装置 1 0 0 を制御する制御部構成については、記載を省略したが、必要とされる制御部構成を適宜選択して用いることは言うまでもない。例えば、図 1 等における制御計算機 1 1 0 , 1 2 0 は、さらに、図示していないバスを介して、記憶装置の一例となる R A M (ランダムアクセスメモリ)、R O M、磁気ディスク (H D) 装置、入力手段の一例となるキーボード (K / B)、マウス、出力手段の一例となるモニタ、プリンタ、或いは、入力出力手段の一例となる F D、D V D、C D 等に接続されていても構わない。

10

【 0 0 8 5 】

その他、本発明の要素を具備し、当業者が適宜設計変更しうる全ての電子ビーム照射方法及び電子ビーム照射装置は、本発明の範囲に包含される。

【符号の説明】

【 0 0 8 6 】

- 1 電子銃筒
- 2 試料
- 3 X Y ステージ
- 4 ミラー
- 5 電子銃
- 6 電子ビーム
- 7 照明レンズ
- 8 第 1 の成形アパーチャ基板
- 9 投影レンズ
- 1 0 偏向器
- 1 1 第 2 の成形アパーチャ基板
- 1 2 対物レンズ
- 1 3 偏向器
- 1 4 描画室
- 1 5 静電レンズ
- 3 0 描画制御部
- 3 1 パターン面積密度分布算出部
- 3 2 ドーズ量分布算出部
- 3 3 照射量分布算出部
- 3 4 かぶり電子量分布算出部
- 3 5 帯電量分布算出部
- 3 6 位置ずれ量分布算出部
- 3 7 描画経過時間演算部
- 3 8 累積時間演算部
- 3 9 外周距離取得部
- 4 1 ショットデータ生成部
- 4 2 位置ずれ補正部
- 4 3 成形偏向器制御部
- 4 4 対物偏向器制御部
- 4 5 ステージ位置検出機構
- 4 6 ステージ制御機構
- 1 0 0 描画装置

20

30

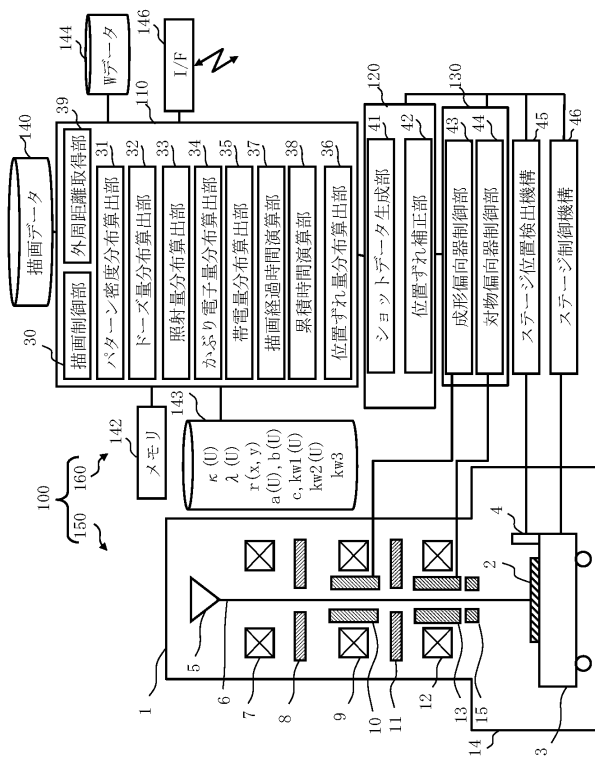
40

50

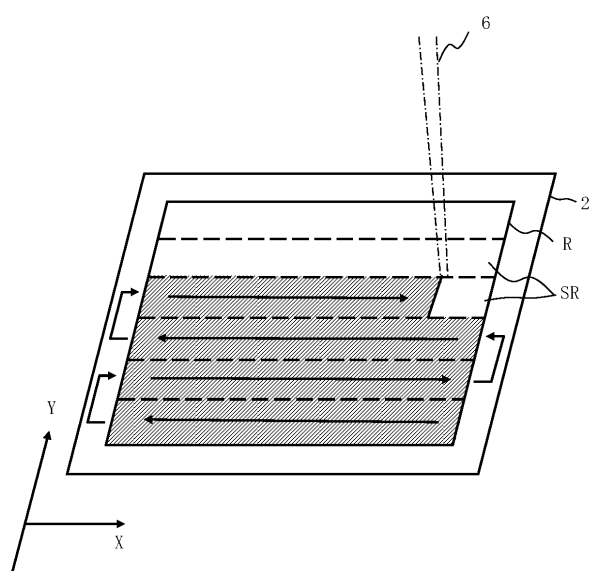
- 1 0 2 電子鏡筒
- 1 1 0 , 1 2 0 制御計算機
- 1 3 0 偏向制御回路
- 1 4 0 , 1 4 3 , 1 4 4 記憶装置
- 1 4 2 メモリ
- 1 4 6 外部 I / F 回路
- 1 5 0 描画機構
- 1 6 0 制御系回路
- 3 4 0 試料
- 4 1 0 第 1 のアパーチャ
- 4 1 1 開口
- 4 2 0 第 2 のアパーチャ
- 4 2 1 可変成形開口
- 4 3 0 荷電粒子ソース

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

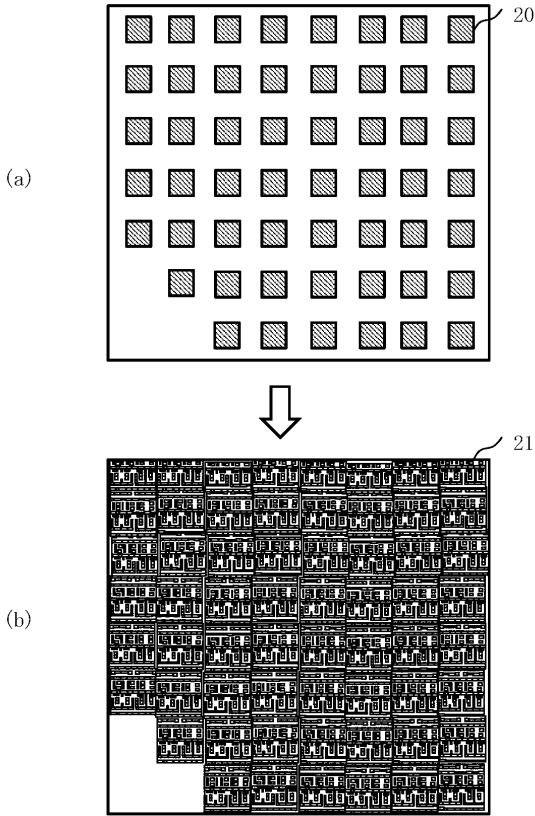
20

30

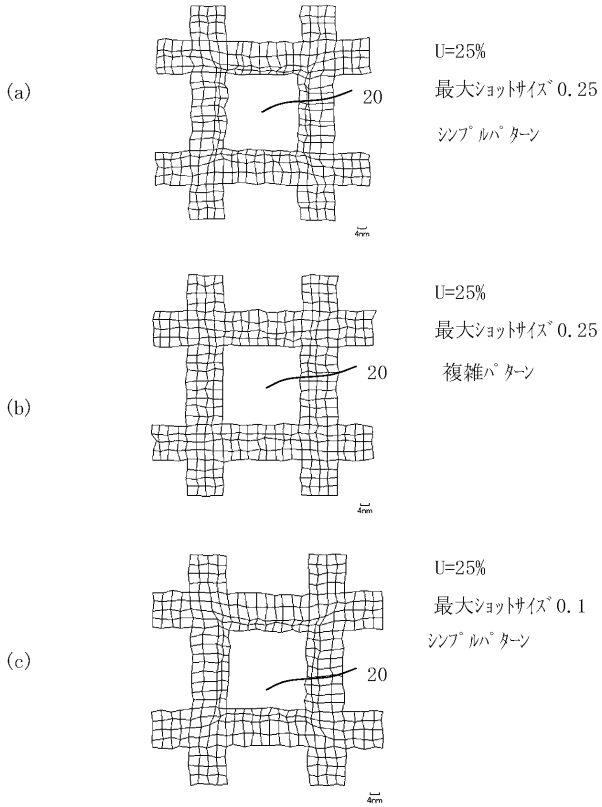
40

50

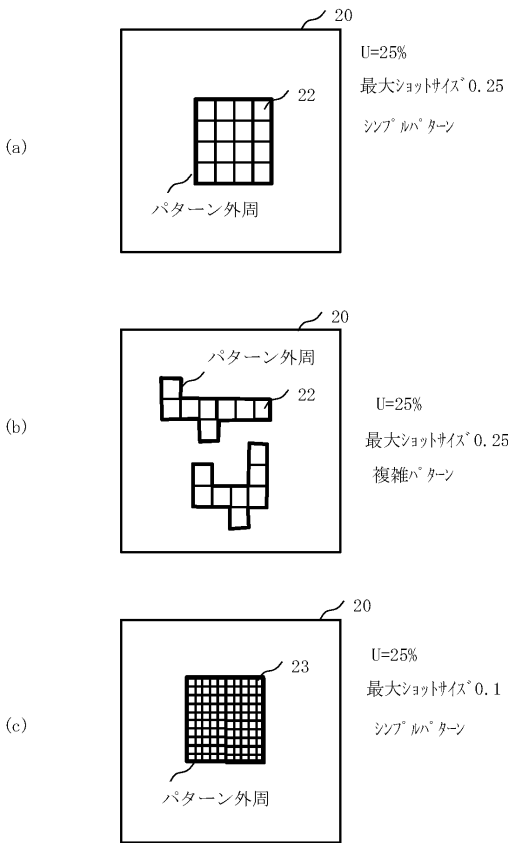
【図 3】



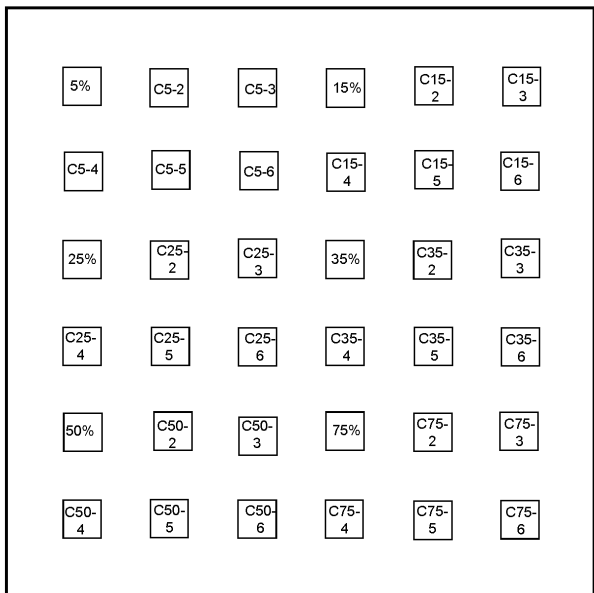
【図 4】



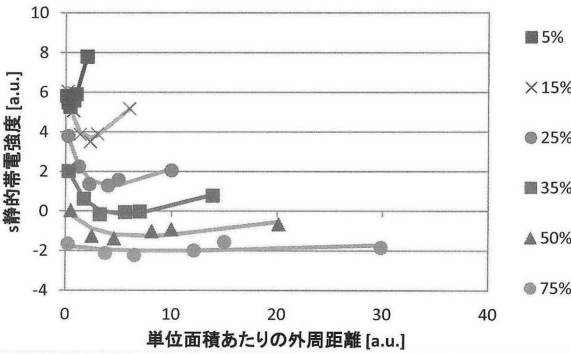
【図 5】



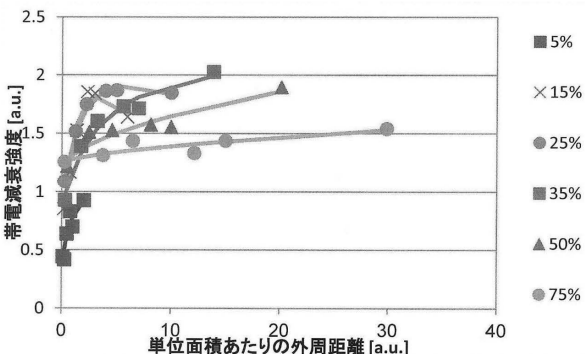
【図 6】



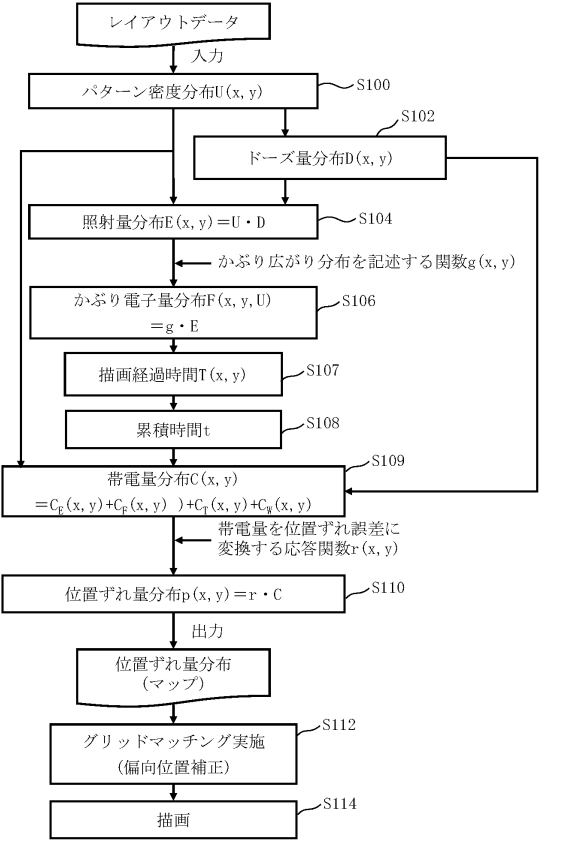
【図 7】



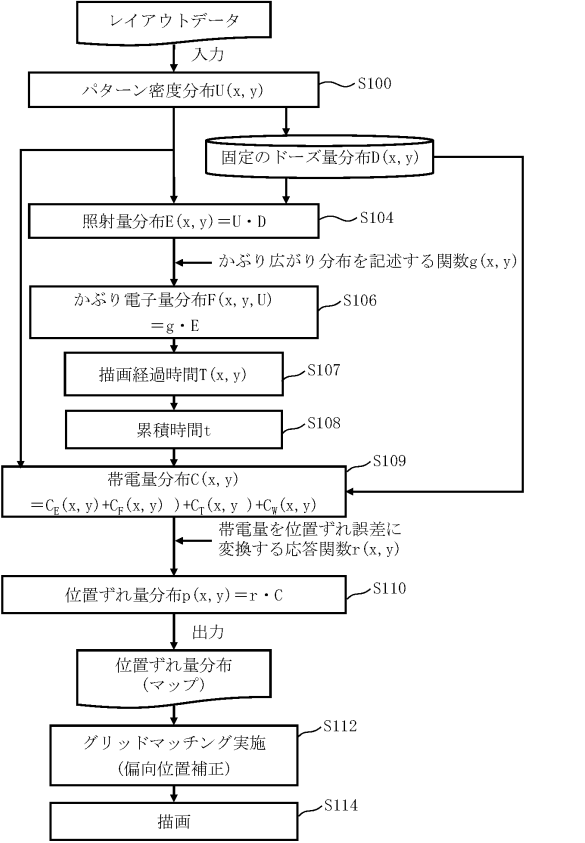
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

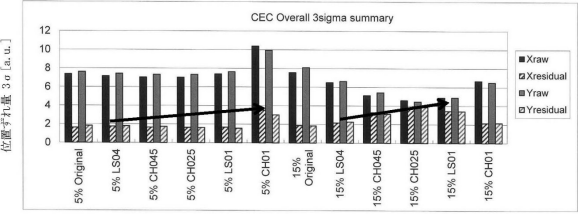
20

30

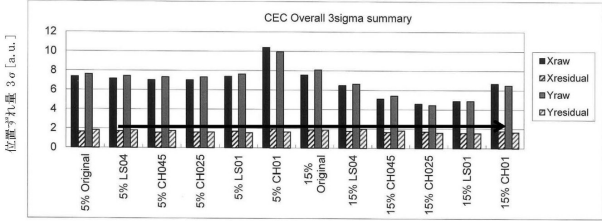
40

50

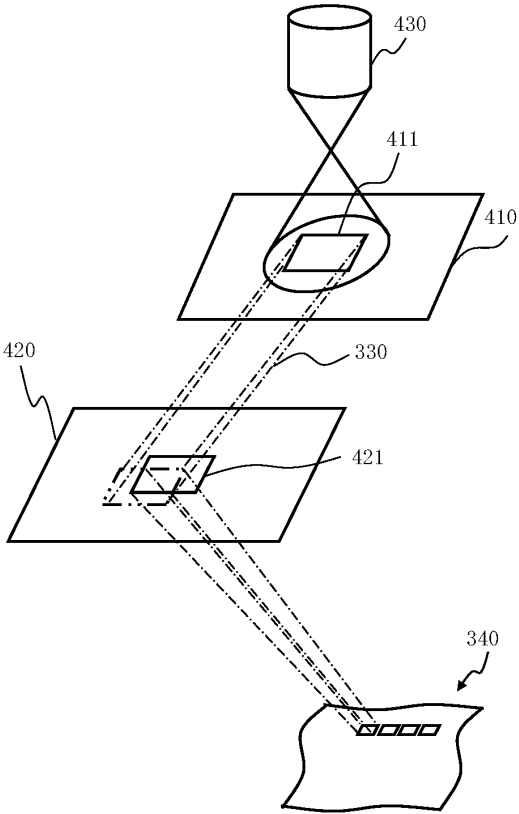
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 0 4 0 4 5 0 (J P , A)
 特開 2 0 1 0 - 2 5 0 2 8 6 (J P , A)
 特開 2 0 1 4 - 1 8 3 0 9 8 (J P , A)
 特開 2 0 1 1 - 1 0 8 9 6 8 (J P , A)
 特開 2 0 0 2 - 1 5 8 1 6 7 (J P , A)
 特開 2 0 0 1 - 0 0 6 9 9 2 (J P , A)
 特開 2 0 1 4 - 2 2 5 4 2 8 (J P , A)
 国際公開第 2 0 1 5 / 0 4 5 4 9 8 (W O , A 1)
 米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 2 2 2 3 8 6 (U S , A 1)
- (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 - 3 7 / 3 6