

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7516846号
(P7516846)

(45)発行日 令和6年7月17日(2024.7.17)

(24)登録日 令和6年7月8日(2024.7.8)

(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	
H 0 1 J 37/305 (2006.01)	H 0 1 L	21/30	5 4 1 E	
H 0 1 J 37/20 (2006.01)	H 0 1 L	21/30	5 4 1 F	
H 0 1 J 37/09 (2006.01)	H 0 1 J	37/305	B	
請求項の数 8 (全16頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号	特願2020-83979(P2020-83979)	(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
(22)出願日	令和2年5月12日(2020.5.12)	(74)代理人	100086911 弁理士 重野 剛
(65)公開番号	特開2021-180224(P2021-180224 A)	(72)発明者	野村 春之 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
(43)公開日	令和3年11月18日(2021.11.18)	(72)発明者	中山 貴仁 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
審査請求日	令和5年4月5日(2023.4.5)	審査官	後藤 大思
前置審査			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 荷電粒子ビーム描画方法及び荷電粒子ビーム描画装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

荷電粒子ビームを偏向器により偏向させ、対物レンズにより焦点を合わせて、ステージ上の基板にパターンを描画する荷電粒子ビーム描画方法であって、

前記基板の描画領域を所定のメッシュサイズに仮想分割し、メッシュ領域毎の前記パターンの配置割合を示すパターン密度分布を算出する工程と、

前記パターン密度分布を用いてメッシュ領域毎のドーズ量を示すドーズ量分布を算出する工程と、

前記パターン密度分布及び前記ドーズ量分布を用いて、前記基板に照射される前記荷電粒子ビームの照射量分布を算出する工程と、

かぶり荷電粒子の分布関数と、前記照射量分布とを畳み込み積分することで、かぶり荷電粒子量分布を算出する工程と、

前記パターン密度分布、前記ドーズ量分布及び前記照射量分布を用いて、直接帯電による帯電量分布を算出し、前記かぶり荷電粒子量分布を用いてかぶり帯電による帯電量分布を算出する工程と、

前記直接帯電による帯電量分布及び前記かぶり帯電による帯電量分布に基づく描画位置の位置ずれ量を算出する工程と、

前記位置ずれ量を用いて、照射位置を補正する工程と、

前記基板の表面の電位が、前記基板に対向する位置に配置された電位規定部材の下面の電位より高くなるように、前記基板及び前記電位規定部材の少なくともいずれか一方に、

電圧と描画パターンの設計位置からの位置ずれ量との関係に基づいて予め求められた所定の電圧を印加して電界を形成し、前記補正された照射位置に前記荷電粒子ビームを照射する工程と、

を備える荷電粒子ビーム描画方法。

【請求項 2】

前記電界は、予め電界の大きさと前記かぶり荷電粒子量分布の分布中心の位置ずれ量との関係より求められた、前記分布中心の位置ずれ量が前記所定のメッシュサイズより小さくなる大きさであることを特徴とする請求項 1 に記載の荷電粒子ビーム描画方法。

【請求項 3】

前記基板を正電位とすることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の荷電粒子ビーム描画方法。 10

【請求項 4】

前記ステージ上に設けられたキャリブレーション用のマークを前記基板と同電位にすることを特徴とする請求項 3 に記載の荷電粒子ビーム描画方法。

【請求項 5】

前記電位規定部材の下面を負電位とすることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の荷電粒子ビーム描画方法。

【請求項 6】

荷電粒子ビームを偏向器により偏向させ、対物レンズにより焦点を合わせて、ステージ上の基板にパターンを描画する荷電粒子ビーム描画装置であって、 20

前記荷電粒子ビームを放出する放出部と、

前記基板の描画領域をメッシュ状に仮想分割し、メッシュ領域毎の前記パターンの配置割合を示すパターン密度分布を算出するパターン密度分布算出部と、

前記パターン密度分布を用いてメッシュ領域毎のドーズ量を示すドーズ量分布を算出するドーズ量分布算出部と、

前記パターン密度分布及び前記ドーズ量分布を用いて、前記放出部から放出され、前記基板に照射される前記荷電粒子ビームの照射量分布を算出する照射量分布算出部と、

かぶり荷電粒子の分布関数と、前記照射量分布とを畳み込み積分することで、かぶり荷電粒子量分布を算出するかぶり荷電粒子量分布算出部と、

前記パターン密度分布、前記ドーズ量分布及び前記照射量分布を用いて、直接帯電による帯電量分布を算出し、前記かぶり荷電粒子量分布を用いてかぶり帯電による帯電量分布を算出する帯電量分布算出部と、 30

前記直接帯電による帯電量分布及び前記かぶり帯電による帯電量分布に基づく各描画位置の位置ずれ量を算出する位置ずれ量分布算出部と、

前記位置ずれ量を用いて、照射位置を補正する補正部と、

前記基板に対向する位置に配置され、所定の電位に制御される電位規定部材と、

前記基板の表面の電位が、前記電位規定部材の下面の電位より高くなるように、前記基板及び前記電位規定部材の少なくともいずれか一方に、電圧と描画パターンの設計位置からの位置ずれ量との関係に基づいて予め求められた所定の電圧を印加して、前記基板から前記対物レンズに向かう方向の電界を形成する電圧制御回路と、 40

前記電界が形成された状態で、前記補正された照射位置に前記荷電粒子ビームを照射する描画部と、

を備える荷電粒子ビーム描画装置。

【請求項 7】

前記電圧制御回路は前記基板に正電位を印加し、

前記ステージ上に設けられたキャリブレーション用のマークは、前記基板と同電位に設定されることを特徴とする請求項 6 に記載の荷電粒子ビーム描画装置。

【請求項 8】

予め電界の大きさと前記かぶり荷電粒子量分布の分布中心の位置ずれ量との関係より求められた位置ずれ量 x が、所定値以下となる印加電圧を、印加電圧情報として記憶する 50

記憶装置を有することを特徴とする請求項7に記載の荷電粒子ビーム描画装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子ビーム描画方法及び荷電粒子ビーム描画装置に関する。

【背景技術】

【0002】

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。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、縮小投影型露光装置を用いて、石英上に形成された高精度の原画パターン（マスク、或いは特にステップやスキナで用いられるものはレチクルともいう。）をウェーハ上に縮小転写する手法が採用されている。高精度の原画パターンは、電子ビーム描画装置によって描画され、所謂、電子ビームリソグラフィ技術が用いられている。

10

【0003】

マスク等の基板に電子ビームを照射する場合、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、照射位置がずれる。従来、このビーム照射位置ずれを無くす方法の1つとして、基板の上に帯電防止膜（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、基板の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、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。

20

【0004】

基板表面の帯電には、照射される電子ビームによる直接帯電と、描画室内で散乱した電子が基板に降り注ぐかぶり帯電と、基板へのビーム照射によって発生する低エネルギーの2次電子が基板に降り注ぐ低エネルギーかぶり帯電とがある。ダイナミックフォーカスを行う電極を正電位とし、基板表面に2次電子を戻さないようにして、かぶり帯電の影響を低減する方法が検討されている。しかし、ダイナミックフォーカスを行う電極を正電位にすると、コラム内に侵入する2次電子が増え、コンタミネーションの原因となったり、磁場レンズの磁界中に電子が閉じ込められて強い負の空間電位が形成されたりして、電子ビーム軌道に影響を与え、結果として、描画精度を劣化させるという問題があった。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開平6-232032号公報

【文献】特開2000-200579号公報

【文献】特開2000-182942号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0006】

本発明は、帯電現象によるビーム照射位置ずれを高精度に補正する荷電粒子ビーム描画方法及び荷電粒子ビーム描画装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様による荷電粒子ビーム描画方法は、荷電粒子ビームを偏向器により偏向させ、対物レンズにより焦点を合わせて、ステージ上の基板にパターンを描画する荷電粒子ビーム描画方法であって、前記基板の描画領域を所定のメッシュサイズに仮想分割し、メッシュ領域毎の前記パターンの配置割合を示すパターン密度分布を算出する工程と、前記パターン密度分布を用いてメッシュ領域毎のドーズ量を示すドーズ量分布を算出する工

50

程と、前記パターン密度分布及び前記ドーズ量分布を用いて、前記基板に照射される前記荷電粒子ビームの照射量分布を算出する工程と、かぶり荷電粒子の分布関数と、前記照射量分布とを畳み込み積分することで、かぶり荷電粒子量分布を算出する工程と、前記パターン密度分布、前記ドーズ量分布及び前記照射量分布を用いて、直接帯電による帯電量分布を算出し、前記かぶり荷電粒子量分布を用いてかぶり帯電による帯電量分布を算出する工程と、前記直接帯電による帯電量分布及び前記かぶり帯電による帯電量分布に基づく描画位置の位置ずれ量を算出する工程と、前記位置ずれ量を用いて、照射位置を補正する工程と、前記基板の表面の電位が、前記基板に対向する位置に配置された電位規定部材の下面の電位より高くなるように、前記基板及び前記電位規定部材の少なくともいずれか一方に予め求められた所定の電圧を印加して電界を形成し、前記補正された照射位置に前記荷電粒子ビームを照射する工程と、を備えるものである。

10

【0008】

本発明の一態様による荷電粒子ビーム描画装置は、荷電粒子ビームを偏向器により偏向させ、対物レンズにより焦点を合わせて、ステージ上の基板にパターンを描画する荷電粒子ビーム描画装置であって、前記荷電粒子ビームを放出する放出部と、前記基板の描画領域をメッシュ状に仮想分割し、メッシュ領域毎の前記パターンの配置割合を示すパターン密度分布を算出するパターン密度分布算出部と、前記パターン密度分布を用いてメッシュ領域毎のドーズ量を算出するドーズ量分布算出部と、前記パターン密度分布及び前記ドーズ量分布を用いて、前記放出部から放出され、前記基板に照射される前記荷電粒子ビームの照射量分布を算出する照射量分布算出部と、かぶり荷電粒子の分布関数と、前記照射量分布とを畳み込み積分することで、かぶり荷電粒子量分布を算出するかぶり荷電粒子量分布算出部と、前記パターン密度分布、前記ドーズ量分布及び前記照射量分布を用いて、直接帯電による帯電量分布を算出し、前記かぶり荷電粒子量分布を用いてかぶり帯電による帯電量分布を算出する帯電量分布算出部と、前記直接帯電による帯電量分布及び前記かぶり帯電による帯電量分布に基づく各描画位置の位置ずれ量を算出する位置ずれ量分布算出部と、前記位置ずれ量を用いて、照射位置を補正する補正部と、前記基板に対向する位置に配置され、所定の電位に制御される電位規定部材と、前記基板の表面の電位が、前記電位規定部材の下面の電位より高くなるように、前記基板及び前記電位規定部材の少なくともいずれか一方に予め求められた所定の電圧を印加して、前記基板から前記対物レンズに向かう方向の電界を形成する電圧制御回路と、前記電界が形成された状態で、前記補正された照射位置に前記荷電粒子ビームを照射する描画部と、を備えるものである。

20

30

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、帯電現象によるビーム照射位置ずれを高精度に補正できる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施形態に係る描画装置の概略図である。

【図2】基板周縁を覆うカバーを示す図である。

【図3】ステージ移動の様子を説明する図である。

40

【図4】(a)は2次電子のドリフトを示す図であり、(b)は2次電子が電界により押し返される状態の模式図である。

【図5】同実施形態に係る印加電圧決定方法を説明するフローチャートである。

【図6】帯電量分布を一般化して記述した数式を示す図である。

【図7】(a)(b)は評価パターンの例を示す図である。

【図8】(a)～(c)は位置ずれ量分布を示す図である。

【図9】印加電圧と描画位置ずれ量との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。実施の形態では、荷電粒子ビー

50

ムの一例として、電子ビームを用いた構成について説明する。但し、荷電粒子ビームは電子ビームに限るものでなく、イオンビーム等でもよい。

【 0 0 1 2 】

図 1 は、実施形態に係る描画装置の概略構成図である。図 1 に示す描画装置 1 0 0 は、描画部 W 及び制御部 C を備えている。描画装置 1 0 0 は、電子ビーム描画装置の一例である。描画部 W は、電子鏡筒 1 と描画室 1 4 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 アパーチャ 8、投影レンズ 9、成形偏向器 1 0、第 2 アパーチャ 1 1、対物レンズ 1 2、対物偏向器 1 3、静電レンズ 1 5、及び電位規定部材 1 6 が配置される。

【 0 0 1 3 】

描画室 1 4 内には、X Y ステージ 3 が配置される。X Y ステージ 3 上には、描画対象となる基板 2 が配置される。基板 2 には、半導体製造の露光に用いるフォトマスクや半導体装置を形成する半導体ウェーハ等が含まれる。また、描画されるフォトマスクには、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、基板上に、電子ビームにより感光するレジスト層が形成されている。X Y ステージ 3 上には、基板 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。

【 0 0 1 4 】

また、X Y ステージ 3 上には、基板 2 が配置される位置とは異なる位置に、キャリブレーション用のマーク M が設けられている。例えば、マーク M は金属製の十字形状であり、マーク M を電子ビームでスキャンし、マーク M からの反射電子を検出器 (図示略) で検出して、フォーカス調整、位置調整、偏向形状補正係数の調整などを行う。

【 0 0 1 5 】

制御部 C は、制御計算機 1 1 0、1 2 0、ステージ位置検出部 4 5、ステージ制御部 4 6、偏向制御回路 1 3 0、メモリ 1 4 2、磁気ディスク装置等の記憶装置 2 1、1 4 0、電圧制御回路 1 5 0 等を有している。偏向制御回路 1 3 0 は、成形偏向器 1 0、対物偏向器 1 3 に接続される。

【 0 0 1 6 】

電圧制御回路 1 5 0 は、ステージ 3、及び基板に対向するように配置された電位規定部材 1 6 の少なくともいずれか一方に接続されている。電圧制御回路 1 5 0 は、ステージ 3 上に載置された基板 2 に印加する電圧を制御できる。

【 0 0 1 7 】

例えば、図 2 に示すように、ステージ 3 上において、基板 2 を所定の電位とするための、導電性を持つ枠状のカバー H が設けられている。カバー H は、基板 2 の周縁部を覆い、基板側面が帯電することにより発生する電界を照射電子ビームから遮蔽する役割を持つ。カバー H の下面からはピンが延出しており、このピンが基板 2 に接触している。電圧制御回路 1 5 0 は、このカバー H を介して基板 2 に所望の電圧を印加することができる。

【 0 0 1 8 】

また、電圧制御回路 1 5 0 は、基板に対向するように配置された電位規定部材 1 6 に所望の電圧を印加することができる。電位規定部材 1 6 は、導電性の部材であり、所定の間隙を介して基板 2 直上に設けられる。例えば、電位規定部材 1 6 は、描画室天板からの反射電子が基板に再入射することを低減するために設けられた、反射電子防止板でもよい。また、電位規定部材 1 6 は、対物レンズの励磁による熱が輻射により基板に伝わるのを防ぐための熱シールドでもよい。あるいは、電位規定部材 1 6 は、電子光学系の最下段の静電レンズを構成する電極や、電極を保持するための構造材でもよい。

【 0 0 1 9 】

制御計算機 1 1 0 は、描画制御部 3 0、パターン密度分布算出部 3 1、ドーズ量分布算出部 3 2、照射量分布算出部 3 3、かぶり電子量分布算出部 3 4、帯電量分布算出部 3 5、描画経過時間演算部 3 6、累積時間演算部 3 7、位置ずれ量分布算出部 3 8 及び印加電圧設定部 3 9 の機能を有する。制御計算機 1 1 0 の各部分は、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、半導体装置等を含むハードウェアで構成されて

10

20

30

40

50

いてもよいし、ソフトウェアで構成されていてもよい。制御計算機 110 の各部の入力データや演算結果は、メモリ 142 に格納される。

【0020】

制御計算機 120 は、ショットデータ生成部 41 及び位置ずれ補正部 42 の機能を有する。ショットデータ生成部 41 及び位置ずれ補正部 42 は、ソフトウェアで構成されてもよいし、ハードウェアで構成されてもよい。

【0021】

偏向制御回路 130 は、成形偏向器制御部 43 及び対物偏向器制御部 44 の機能を有する。成形偏向器制御部 43 及び対物偏向器制御部 44 は、ソフトウェアで構成されてもよいし、ハードウェアで構成されてもよい。

10

【0022】

記憶装置 140 には、描画される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）が格納される。

【0023】

電子銃 5（放出部）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 アパーチャ 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。第 1 アパーチャ 8 を通過した第 1 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 アパーチャ 11 上に投影される。第 2 アパーチャ 11 上での第 1 アパーチャ像の位置は、成形偏向器制御部 43 により制御された成形偏向器 10 によって偏向され、ビーム形状と寸法を変化させることができる（可変成形）。

20

【0024】

第 2 アパーチャ 11 を通過した第 2 アパーチャ像の電子ビーム 6 は、対物レンズ 12 により焦点を合わせ、対物偏向器制御部 44 により制御された例えば静電型の偏向器（対物偏向器 13）により偏向され、移動可能に配置された X Y ステージ 3 上の基板 2 の所望する位置に照射される。X Y ステージ 3 はステージ制御部 46 によって駆動制御される。X Y ステージ 3 の位置は、ステージ位置検出部 45 によって検出される。ステージ位置検出部 45 には、例えば、ミラー 4 にレーザを照射して、入射光と反射光と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 15 は、基板 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）。

【0025】

30

図 3 は、ステージ移動の様子を説明するための図である。基板 2 に描画する場合、X Y ステージ 3 を例えば X 方向に連続移動させる。描画領域が電子ビーム 6 の偏向可能幅で複数の短冊状のストライプ領域（SR）に仮想分割される。描画処理は、ストライプ領域単位で行われる。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。

【0026】

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（逆向き）に次のストライプ領域の描画動作を行う。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。

40

【0027】

描画装置 100 では、レイアウトデータ（描画データ）を処理するにあたり、描画領域を短冊状の複数のフレーム領域に仮想分割し、フレーム領域毎にデータ処理が行われる。多重露光を行わない場合、通常、フレーム領域とストライプ領域とが同じ領域となる。多重露光を行う場合は、多重度に応じてフレーム領域とストライプ領域とがずれることになる。このように、基板 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、描画部 W は、フレーム領域（ストライプ領域）毎に描画する。

【0028】

基板 2 のレジスト層に電子ビームが照射されると、レジスト帯電効果によりビーム照射位置がずれることが知られている。本実施形態では、帯電効果補正において、基板 2 に照

50

射される電子ビームの照射量分布と、電子ビームが照射される照射域から非照射域に広がるかぶり電子の広がり分布に基づいてかぶり電子量分布を算出し、照射量分布及びかぶり電子量分布を用いて照射域の帯電量分布（直接帯電）と非照射域の帯電量分布（かぶり帯電）を算出する。そして、照射域の帯電量分布と非照射域の帯電量分布から、基板 2 上での電子ビームの位置ずれ量分布を算出し、ビーム照射位置を補正する。

【0029】

本発明者らは、図 4 (a) に示すように、帯電に寄与するかぶり電子のうち、低エネルギーの 2 次電子は、電子光学系からの描画室への漏れ磁場や漏れ電場などの影響でビーム照射位置からずれた場所へドリフトしてから帯電するため、広がり分布が電子ビームの照射域 R から外れ、ビーム照射位置の補正効果を低下させることを見出した。さらに、本発明者らは、図 4 (b) に示すように、基板 2 から電位規定部材 1 6 に向かう方向の電界によって、低エネルギーの 2 次電子を照射域 R に積極的に押し返すようにすることで、照射域 R と同じ位置に帯電する「直接帯電」と同じ扱いができるようになり、ビームの照射位置のずれを高精度に補正できることを見出した。

10

【0030】

本実施形態では、基板 2 から電位規定部材 1 6 に向かう方向の電界を形成するために、電位規定部材 1 6 の下面の電位よりも、基板電位が高くなるように、電位規定部材 1 6、及び / 又は基板に電圧を印加する。例えば、電圧制御回路 1 5 0 により、基板 2 が正電位となるように、或いは電位規定部材 1 6 の下面が負電位となるように、電圧を印加する。

【0031】

図 5 は、本実施形態に係る電位規定部材 1 6、及び / 又は基板への印加電圧の決定方法を説明するフローチャートである。この方法は、パターン面積密度分布演算工程（ステップ S 1 0 0）と、ドーズ量分布算出工程（ステップ S 1 0 2）と、照射量分布算出工程（ステップ S 1 0 4）と、かぶり電子量分布算出工程（ステップ S 1 0 6）と、帯電量分布算出工程（ステップ S 1 0 8）と、位置ずれ量分布算出工程（ステップ S 1 1 0）と、偏向位置補正工程（ステップ S 1 1 2）と、描画工程（ステップ S 1 1 4）と、解析工程（ステップ S 1 1 6）とを有する。

20

【0032】

パターン面積密度分布演算工程（ステップ S 1 0 0）では、パターン密度分布算出部 3 1 が、記憶装置 1 4 0 から評価パターンの描画データを読み出し、描画領域（或いはフレーム領域）を所定のメッシュサイズ（グリッド寸法）で仮想分割し、メッシュ（帯電効果補正メッシュ）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（ x, y ）を作成する。

30

【0033】

ドーズ量分布算出工程（ステップ S 1 0 2）では、ドーズ量分布算出部 3 2 が、パターン密度分布（ 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（1）で定義できる。

【0034】

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

式（1）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。

40

【0035】

基準ドーズ量 D_0 及び後方散乱率 \quad は、描画装置 1 0 0 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、基板 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。

【0036】

照射量分布算出工程（ステップ S 1 0 4）では、照射量分布算出部 3 3 が、パターン密度分布（ 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

50

もいう)を算出する。

【0037】

かぶり電子量分布算出工程(ステップS106)では、かぶり電子量分布算出部34(かぶり荷電粒子量分布算出部)が、かぶり電子の分布関数 g と、ステップS104で算出された照射量分布 $E = D$ 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 (かぶり荷電粒子量分布)を算出する。かぶり電子の分布関数 g は例えばガウス分布を用いることができる。

【0038】

分布関数 $g(x, y)$ 及びかぶり電子量分布 $F(x, y)$ はそれぞれ以下の式で定義できる。

$$(2) g(x, y) = (1 / \pi^2) \times \exp[-\{x^2 + y^2\} / \lambda^2]$$

$$(3) F(x, y) = \int g(x', y') E(x', y') dx' dy'$$

式(2)において、 λ はかぶり電子の影響半径を表す定数である。

【0039】

帯電量分布算出工程(ステップS108)では、帯電量分布算出部35が、照射量分布 E と、かぶり電子量分布 F と、時間の経過に伴う帯電減衰量とを用いて、帯電量分布 $C(x, y)$ を算出する。

【0040】

まず、帯電部分を描画(照射)した後の経過時間 t を算出する。描画経過時間演算部36が、基板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 $T1(x, y)$ 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 $T1(x, y)$ として演算する。

【0041】

続いて、累積時間演算部37が、既に描画が終了した描画単位領域(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 $T2$ 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 $T2(1)$ 、第2フレーム領域を描画するための時間 $T2(2)$ 、 \dots 第 i フレーム領域を描画するための時間 $T2(i)$ 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 $T2$ を得ることができる。

【0042】

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 $T2$ 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 $T1(x, y)$ を差し引いた差分値 $(T2 - T1)$ が帯電部分を描画した後の経過時間 t となる。

【0043】

帯電量分布 $C(x, y)$ を求めるための関数は、照射電子が寄与する直接帯電項と、かぶり電子が寄与するかぶり帯電項とを含む。直接帯電項及びかぶり帯電項は、それぞれ、経過時間が寄与する減衰項と、経過時間が寄与しない静的項を含む。それぞれの減衰項には、描画後十分に時間が経過した後の帯電量を基準とする描画直後の帯電量である帯電減衰量と、帯電減衰時定数と、が用いられる。

【0044】

まず、帯電量分布 $C(x, y)$ を求めるための関数 $C(E, F, t)$ を仮定した。具体的には、照射電子が寄与する変数 $C_E(E, t)$ と、かぶり電子が寄与する変数 $C_F(F, t)$ に分離した。さらにそれぞれの変数を、経過時間が寄与する減衰項 $C_{ET}(t)$ 、 C

10

20

30

40

50

$F_T(t)$ 、及び経過時間が寄与しない静的項 $C_{ES}(E)$ 、 $C_{FS}(F)$ に分離した。関数 $C(x, y, t)$ は以下の式 (4) で定義する。

$$(4) \quad C(x, y, t) = C(E, F, t) \\ = C_E(E, t) + C_F(F, t) \\ = C_{ES}(E) + C_{ET}(t) + C_{FS}(F) + C_{FT}(t)$$

【0045】

また、変数 $C_{ES}(E)$ 、 $C_{ET}(t)$ 、 $C_{FS}(F)$ 、 $C_{FT}(t)$ は以下の式 (5) (6) (7) (8) で定義する。

$$(5) \quad C_{ES}(E) = d_0 + d_1 \times E + d_2 \times E^2 + d_3 \times E^3$$

$$(6) \quad C_{ET}(t) = E(t) \cdot \exp\{-t / \tau_E(t)\}$$

$$(7) \quad C_{FS}(F) = f_1 \times F + f_2 \times F^2 + f_3 \times F^3$$

$$(8) \quad C_{FT}(t) = F(t) \cdot \exp\{-t / \tau_F(t)\}$$

ここで、 d_0 、 d_1 、 d_2 、 d_3 、 f_1 、 f_2 、 f_3 、定数である。

【0046】

また、式 (6)、(8) に用いられる、パターン面積密度 D に依存した帯電減衰量 $E(t)$ 、 $F(t)$ は、例えば、以下の式 (9)、(10) で近似できる。ここでは、式 (9)、(10) 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。

$$(9) \quad E(t) = E_0 + E_1 \times t + E_2 \times t^2$$

$$(10) \quad F(t) = F_0 + F_1 \times t + F_2 \times t^2$$

ここで、 E_0 、 E_1 、 E_2 、 F_0 、 F_1 、 F_2 は定数である。

【0047】

そして、式 (4) に用いられる、パターン面積密度 D に依存した帯電減衰時定数 $\tau_E(t)$ 、 $\tau_F(t)$ は、例えば、次の式 (11)、(12) で近似できる。ここでは、式 (11)、(12) 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。

$$(11) \quad \tau_E(t) = \tau_{E0} + \tau_{E1} \times t + \tau_{E2} \times t^2$$

$$(12) \quad \tau_F(t) = \tau_{F0} + \tau_{F1} \times t + \tau_{F2} \times t^2$$

ここで、 τ_{E0} 、 τ_{E1} 、 τ_{E2} 、 τ_{F0} 、 τ_{F1} 、 τ_{F2} は定数である。すなわち、帯電量分布 $C(x, y, t)$ は図6に示すような式で定義できる。

【0048】

式 (2)、(3)、(5)、(7)、(9) ~ (12) の各係数は、実験結果及び/又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。これらの係数に関するデータは記憶装置 21 に格納されている。

【0049】

位置ずれ量分布算出工程(ステップ S110)では、位置ずれ量分布算出部 38(位置ずれ量算出部)が、帯電量分布に基づく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 38が、ステップ S108で算出した帯電量分布に応答関数 $r(x, y)$ を畳み込み積分することにより、帯電量分布 $C(x, y, t)$ 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。

【0050】

この帯電量分布 $C(x, y, t)$ 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 $C(x, y, t)$ の各位置で示される帯電位置を (x', y') で表し、現在、データ処理を行な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くか、数値計算によって予め求めておけばよい。以下、 (x, y) は、現在、データ処理を行な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。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

そして、位置ずれ量分布算出部 3 8 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、記憶装置 2 1 に格納されると共に、制御計算機 1 2 0 に出力される

【 0 0 5 2 】

一方、制御計算機 1 2 0 内では、ショットデータ生成部 4 1 が、記憶装置 1 4 0 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 1 0 0 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 1 0 0 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 1 0 0 内では、描画装置 1 0 0 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。

10

【 0 0 5 3 】

偏向位置補正工程(ステップ S 1 1 2)(位置ずれ補正工程)では、位置ずれ補正部 4 2 が、ステップ S 1 1 0 で算出した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。ショットデータはショット順に並ぶようにデータファイルに定義される。

20

【 0 0 5 4 】

描画工程(ステップ S 1 1 4)において、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。また、対物偏向器制御部 4 4 が、当該ショット図形を照射する基板 2 上の位置に偏向するための対物偏向器 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 内に配置された対物偏向器 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、描画部 W は、基板 2 の帯電補正された位置に評価パターンを描画する。

30

【 0 0 5 5 】

図 7 (a) (b) は評価パターンの例を示す図である。尚、図 7 (a) と図 7 (b) においては、より分かりやすくするために、それぞれ縮尺を変えて示している。図 7 (a) に示すテストレイアウトは、ピッチ L_1 が $200 \mu\text{m}$ であり、1 辺の長さ L_2 が 20m であるグリッド(81×81 グリッド)上に第 1 ボックスアレイを描画した後、当該テストレイアウトの中央に、1 辺の長さ L_3 が 10m であるパターン密度 100% の照射パッドを描画し、さらに、第 1 ボックスアレイと同じグリッド上に第 2 ボックスアレイを描画することにより得られる。

40

【 0 0 5 6 】

図 7 (b) に拡大して示すように、第 1 ボックスアレイは、例えば、1 辺の長さ L_4 が $4 \mu\text{m}$ である正方形のパターンである。また、第 2 ボックスアレイは、例えば 1 辺の長さ L_5 が $14 \mu\text{m}$ であり、第 1 ボックスアレイよりも大きいサイズで中央がくり抜かれている枠状のパターンである。上記描画した第 1 及び第 2 ボックスアレイの位置をそれぞれ測定し、第 2 ボックスアレイの位置から第 1 ボックスアレイの位置を差し引くことにより、照射パッドの帯電効果による位置ずれを測定することができる。

【 0 0 5 7 】

評価パターンの描画は、電位規定部材 1 6、及び/又は基板に印加する電圧を振って複

50

数回行う。これにより、基板 2 には、帯電効果補正を伴い、描画時の基板 2 から対物レンズ 1 2 (電位規定部材 1 6) に向かう方向の電界の強さが異なる複数の評価パターンが描画される。

【 0 0 5 8 】

図 8 (a) は上記評価パターンで得られる位置ずれ量分布を示す。ここで前述したように、低エネルギーの 2 次電子は、電子光学系からの描画室への漏れ磁場や漏れ電場などの影響でビーム照射位置からずれた場所へドリフトしてから帯電するため、広がり分布が電子ビームの照射域 R から外れ (低エネルギーかぶり帯電)、ビーム照射位置の補正効果を低下させる。

【 0 0 5 9 】

図 8 (b) は印加電圧 V における評価パターン帯電効果補正後の位置ずれ量分布を示す。低エネルギーかぶり帯電の影響で、破線で囲ったように、照射領域の端で補正残差が発生していることが分かる。ここで、解析工程 (ステップ S 1 1 6) において、低エネルギーかぶり電子帯電分布 C L (L) を考慮する。L は低エネルギーかぶり電子量分布を表す。帯電量分布 C (x , y) は式 (4) に C L (L) が加わる形で、

$$(1 3) C (x , y) = C (E , F , t) + C L (L)$$

とあらわすことができる。

【 0 0 6 0 】

また、低エネルギーかぶり電子量分布 L (x , y) 及び低エネルギーかぶり電子分布関数 g L (x , y) はそれぞれ以下の式で定義できる。

$$(1 4) g L (x , y)$$

$$= (1 / L 2) \times \exp [- \{ (x - x) ^ 2 + (y - y) ^ 2 \} / L 2]$$

$$(1 5) L (x , y) = \int \int g (x , y) E (x , y) d x d y$$

【 0 0 6 1 】

ここで、 x 、 y は、低エネルギーかぶり電子が、電子光学系からの描画室への漏れ磁場や漏れ電場などの影響でビーム照射位置からずれる、ずれ量を表す定数である。

【 0 0 6 2 】

また、変数 C L (L) は以下の式で定義する。

$$(1 6) C L (L) = l 1 \times L + l 2 \times L 2 + l 3 \times L 3$$

ここで、 l 1 、 l 2 、 l 3 は定数である。

【 0 0 6 3 】

帯電効果補正後の位置ずれ量マップ (図 8 (b) 参照) に対して、さらに式 (1 3) ~ (1 6) であらわされる帯電分布から算出される追加補正量分布を適用し、補正残差が最小となるような l 1 、 l 2 、 l 3 、 x 、 y を決定することができる。

【 0 0 6 4 】

図 8 (c) は、中心分布がずれた低エネルギーかぶり帯電分布を仮定して、図 8 (b) に対して補正残差が最小となるように l 1 、 l 2 、 l 3 、 x 、 y を最適化し、追加補正した後の位置ずれ量分布である。この結果、図 9 の印加電圧と x の関係に示すように、中心分布ずれ量が x = 2 0 0 μ m 、 y = 0 μ m と求まる。

【 0 0 6 5 】

ところで、上記結果によって求まる x は、低エネルギーかぶり電子の照射位置からのずれ量を表しているが、上記評価パターンに対して最適化された値であり、実際の任意の描画パターン (製品パターン) に対して必ず x だけずれて帯電するとは限らない。具体的には、すでに描画により帯電した領域が作る電界の影響を受けることで、描画パターンによって大きくなったり、小さくなったりする。そのため、式 (1 3) を考慮に入れた帯電効果補正を行うだけでは、任意の描画パターンでは補正残差が発生する。

【 0 0 6 6 】

本実施形態では、解析工程 (ステップ S 1 1 6) において、評価パターンの描画結果を解析し、印加電圧と、描画パターンの設計位置からの位置ずれ量との関係を求める。例えば、図 9 に示すような、基板に印加する電圧と、位置ずれ量 x との関係が求まる。印加

10

20

30

40

50

電圧が小さい場合、2次電子が漏れ磁場等の影響でドリフトし、直接帯電領域から外れた位置で帯電するため、例えば、 x は1mm~数百 μ mの値となる。

【0067】

印加電圧を十分に大きくしていくと、2次電子の帯電位置が直接帯電領域に近付き、補正残差は徐々に小さくなる。位置ずれ量 x が十分小さくなる(例えば、帯電効果補正メッシュサイズの10分の1以下)、例えば $x = 0$ 、印加電圧： V_{set} を求め、印加電圧情報として記憶装置21に記憶する。

【0068】

製品パターンの描画(実描画)では、記憶装置140から製品パターンの描画データを読み出し、図5のステップS100~S112と同様の処理を行う。

【0069】

このとき、低エネルギーかぶり帯電分布の分布中心の照射位置からのずれ量はいつも帯電効果補正メッシュより小さく、実質的に直接帯電分布と同じ扱いができるため、任意の描画パターン(製品パターン)に対して、低エネルギーかぶり電子による補正残差をなくすることができる。

【0070】

上記実施形態において、基板2に電圧を印加する場合、マークMも同じ電位となるように電圧を印加することが好ましい。これにより、基板2上とマークM上とで、フォーカスや偏向形状の差分を少なくすることができる。

【0071】

なお、マークMと基板2との電位差が一定に保たれており、キャリアレーション差(フォーカス差、偏向形状差など)が安定している場合は、マークMを基板2と同電位にしなくても、描画結果からその差分を一度求めておき、以降は、差分をフィードバックして描画すればよい。

【0072】

描画中、電位規定部材16、及び/又は基板に印加する電圧を可変とし、これをダイナミックフォーカス機能として用いて、フォーカス調整を行ってもよい。印加電圧の調整範囲は、帯電傾向が変わらない範囲であり、例えば、図9に示すグラフにおける位置ずれ量 x が、所定値(帯電効果補正メッシュサイズ)以下となる、例えば $x = 0$ となる範囲である。

【0073】

帯電現象に起因した照射位置のずれは、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適用できる。

【0074】

なお、本発明は上記実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

【符号の説明】

【0075】

- 1 電子鏡筒
- 2 基板
- 3 XYステージ
- 4 ミラー
- 5 電子銃
- 6 電子ビーム
- 7 照明レンズ

10

20

30

40

50

8	第1アパーチャ	
9	投影レンズ	
10	偏向器	
11	第2アパーチャ	
12	対物レンズ	
13	偏向器	
14	描画室	
15	静電レンズ	
16	電位規定部材	
21	, 140 記憶装置	10
30	描画制御部	
31	パターン密度分布算出部	
32	ドーズ量分布算出部	
33	照射量分布算出部	
34	かぶり電子量分布算出部	
35	帯電量分布算出部	
36	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	
39	印加電圧設定部	20
41	ショットデータ生成部	
42	位置ずれ補正部	
43	成形偏向器制御部	
44	対物偏向器制御部	
45	ステージ位置検出部	
46	ステージ制御部	
100	描画装置	
150	電圧制御回路	

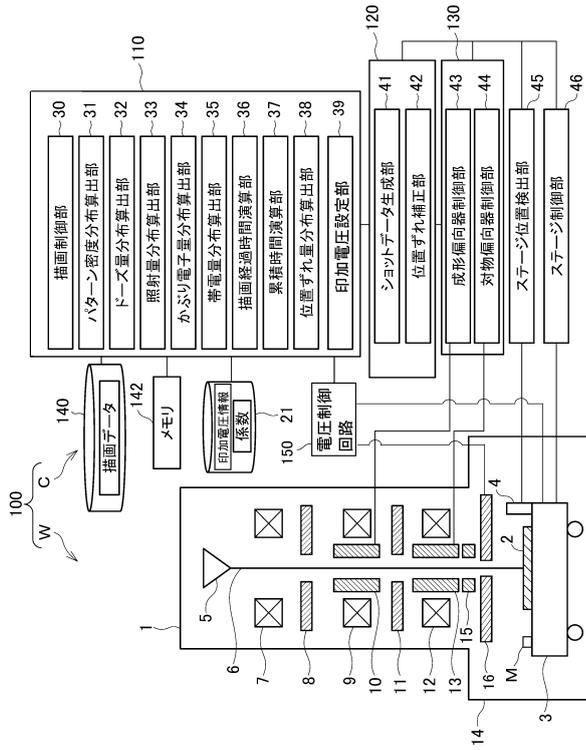
30

40

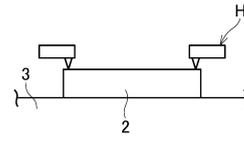
50

【図面】

【図 1】



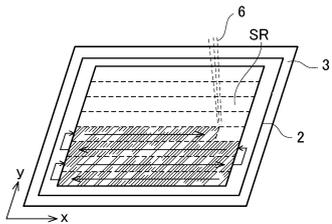
【図 2】



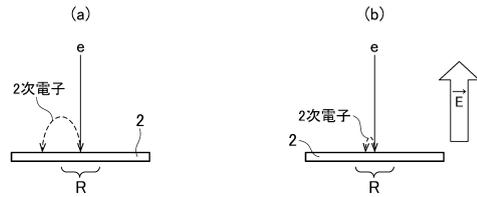
10

20

【図 3】



【図 4】

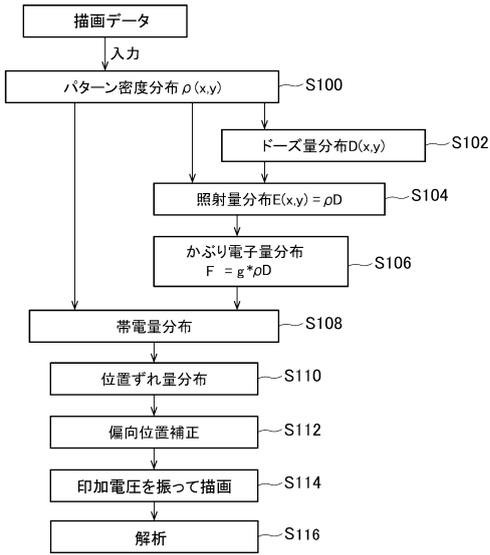


30

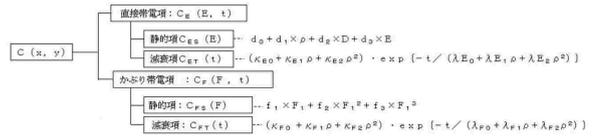
40

50

【 図 5 】

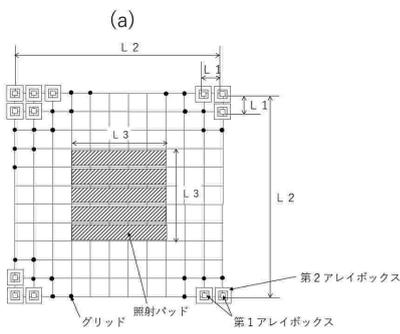


【 図 6 】

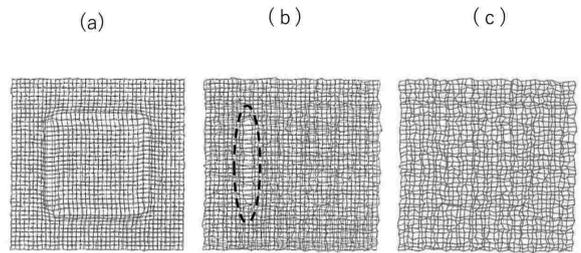


10

【 図 7 】

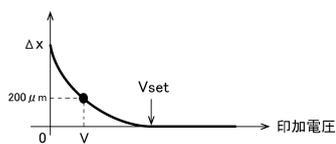


【 図 8 】



20

【 図 9 】



30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 J 37/20

A

H 0 1 J 37/09

Z

(56)参考文献

特開 2 0 1 8 - 1 3 3 5 5 2 (J P , A)

特開 2 0 1 4 - 0 3 8 9 4 5 (J P , A)

特開 2 0 1 5 - 1 7 9 7 3 5 (J P , A)

特開平 0 6 - 2 3 2 0 3 2 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 2 1 / 0 2 7

H 0 1 J 3 7 / 0 9

3 7 / 2 0

3 7 / 3 0 5

G 0 3 F 7 / 2 0