

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6702127号
(P6702127)

(45) 発行日 令和2年5月27日(2020.5.27)

(24) 登録日 令和2年5月11日(2020.5.11)

(51) Int. Cl.			F I		
HO 1 L	21/027	(2006.01)	HO 1 L	21/30	5 4 1 N
HO 1 J	37/04	(2006.01)	HO 1 J	37/04	A
HO 1 J	37/305	(2006.01)	HO 1 J	37/305	B
HO 1 J	37/244	(2006.01)	HO 1 J	37/244	
GO 1 B	15/00	(2006.01)	GO 1 B	15/00	B

請求項の数 10 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2016-201835 (P2016-201835)
 (22) 出願日 平成28年10月13日(2016.10.13)
 (65) 公開番号 特開2018-26515 (P2018-26515A)
 (43) 公開日 平成30年2月15日(2018.2.15)
 審査請求日 平成31年4月8日(2019.4.8)
 (31) 優先権主張番号 特願2016-152946 (P2016-152946)
 (32) 優先日 平成28年8月3日(2016.8.3)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(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 100086911
 弁理士 重野 剛
 (74) 代理人 100144967
 弁理士 重野 隆之
 (72) 発明者 清水 幸毅
 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
 (72) 発明者 大蔵 研司
 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 右▲高▼ 孝幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子ビームの分解能測定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】

荷電粒子ビームのフォーカス位置を高さ方向に変え、前記フォーカス位置毎に、基板上に形成されたドットマークを前記荷電粒子ビームで走査する工程と、

前記フォーカス位置毎に、前記ドットマークから反射した反射荷電粒子を検出する工程と、

前記反射荷電粒子の検出結果から、散乱荷電粒子分布を前記フォーカス位置に対応する高さ毎に演算する工程と、

前記荷電粒子ビームの開き角及び分解能をパラメータとして含む前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式と前記ドットマークのマーク形状との畳み込み演算を行う工程と、

前記高さ毎の散乱荷電粒子分布と前記畳み込み演算の演算結果とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出する工程と、

を備え、

前記マーク形状は、高さ、幅、劣化度合い、及び位置をパラメータとして含む近似式で表されることを特徴とする荷電粒子ビームの分解能測定方法。

【請求項2】

荷電粒子ビームのフォーカス位置を高さ方向に変え、前記フォーカス位置毎に、基板上に形成されたドットマークを前記荷電粒子ビームで走査する工程と、

前記フォーカス位置毎に、前記ドットマークから反射した反射荷電粒子を検出する工程と、

10

20

前記反射荷電粒子の検出結果から、散乱荷電粒子分布を前記フォーカス位置に対応する高さ毎に演算する工程と、

前記荷電粒子ビームの開き角及び分解能をパラメータとして含む前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式と前記ドットマークのマーク形状との畳み込み演算を行う工程と、

前記高さ毎の散乱荷電粒子分布と前記畳み込み演算の演算結果とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出する工程と、

を備え、

前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式は、高さ方向における前記荷電粒子ビームの大きさの変化をパラメータとして含むことを特徴とする荷電粒子ビームの分解能測定方法

。

10

【請求項 3】

荷電粒子ビームのフォーカス位置を高さ方向に変え、前記フォーカス位置毎に、基板上に形成されたドットマークを前記荷電粒子ビームで走査する工程と、

前記フォーカス位置毎に、前記ドットマークから反射した反射荷電粒子を検出する工程と、

前記反射荷電粒子の検出結果から、散乱荷電粒子分布を前記フォーカス位置に対応する高さ毎に演算する工程と、

前記荷電粒子ビームの開き角及び分解能をパラメータとして含む前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式と前記ドットマークのマーク形状との畳み込み演算を行う工程と、

前記高さ毎の散乱荷電粒子分布と前記畳み込み演算の演算結果とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出する工程と、

20

を備え、

前記散乱荷電粒子分布の微分と前記畳み込み演算の演算結果の微分とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出することを特徴とする荷電粒子ビームの分解能測定方法

。

【請求項 4】

荷電粒子ビームのフォーカス位置を高さ方向に変え、前記フォーカス位置毎に、基板上に形成されたドットマークを前記荷電粒子ビームで走査する工程と、

前記フォーカス位置毎に、前記ドットマークから反射した反射荷電粒子を検出する工程と、

前記反射荷電粒子の検出結果から、散乱荷電粒子分布を前記フォーカス位置に対応する高さ毎に演算する工程と、

前記荷電粒子ビームの開き角及び分解能をパラメータとして含む前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式と前記ドットマークのマーク形状との畳み込み演算を行う工程と、

前記高さ毎の散乱荷電粒子分布と前記畳み込み演算の演算結果とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出する工程と、

30

を備え、

前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式は、高さ方向における前記荷電粒子ビームの大きさの変化をパラメータとして含み、

前記散乱荷電粒子分布の微分と前記畳み込み演算の演算結果の微分とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出することを特徴とする荷電粒子ビームの分解能測定方法

。

40

【請求項 5】

前記マーク形状は、高さ、幅、劣化度合い、及び位置をパラメータとして含む近似式で表されることを特徴とする請求項 2 乃至 4 のいずれかに記載の荷電粒子ビームの分解能測定方法。

【請求項 6】

前記劣化度合いは前記ドットマークのエッジの曲率半径であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の荷電粒子ビームの分解能測定方法。

【請求項 7】

50

前記基板には複数のドットマークが形成されており、前記フォーカス位置毎に各ドットマークを荷電粒子ビームで走査し、反射荷電粒子の検出結果から散乱荷電粒子分布を演算することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の荷電粒子ビームの分解能測定方法。

【請求項 8】

荷電粒子ビームのフォーカス位置を高さ方向に変え、前記フォーカス位置毎に、基板上に形成されたドットマークを前記荷電粒子ビームで走査する描画部と、

前記フォーカス位置に対応する高さ毎に、前記ドットマークから反射した荷電粒子の検出結果から散乱荷電粒子分布を演算し、前記荷電粒子ビームの開き角及び分解能をパラメータとして含む前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式と前記ドットマークのマーク形状との畳み込み演算を行い、前記高さ毎の散乱荷電粒子分布と前記畳み込み演算の演算結果とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出する制御計算機と、

を備え、

前記マーク形状は、高さ、幅、劣化度合い、及び位置をパラメータとして含む近似式で表されることを特徴とする荷電粒子ビーム描画装置。

【請求項 9】

荷電粒子ビームのフォーカス位置を高さ方向に変え、前記フォーカス位置毎に、基板上に形成されたドットマークを前記荷電粒子ビームで走査する描画部と、

前記フォーカス位置に対応する高さ毎に、前記ドットマークから反射した荷電粒子の検出結果から散乱荷電粒子分布を演算し、前記荷電粒子ビームの開き角及び分解能をパラメータとして含む前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式と前記ドットマークのマーク形状との畳み込み演算を行い、前記高さ毎の散乱荷電粒子分布と前記畳み込み演算の演算結果とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出する制御計算機と、

を備え、

前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式は、高さ方向における前記荷電粒子ビームの大きさの変化をパラメータとして含むことを特徴とする荷電粒子ビーム描画装置。

【請求項 10】

前記基板には複数のドットマークが形成されており、前記描画部は、前記フォーカス位置毎に各ドットマークを荷電粒子ビームで走査することを特徴とする請求項 8 又は 9 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、荷電粒子ビームの分解能測定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、半導体デバイスの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、或いは特にステッパやスキャ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。

【0003】

電子ビーム描画装置では、ビームの分解能及び開き角に基づいて焦点合わせ等の各種設定が行われる。例えば、電子ビームを走査して、基板上的ドットパターン（金属パターン）に電子ビームを照射し、反射電子を計測し、その計測結果からビーム強度分布を演算し、ビーム強度分布から所定の式に基づいてビーム分解能を演算していた（例えば特許文献 2, 3 参照）。

【0004】

電子ビーム描画装置の描画精度を向上させるためには、ビームの分解能及び開き角を精

10

20

30

40

50

度良く計算することが求められる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2005-147671号公報

【特許文献2】特開2007-188671号公報

【特許文献3】特開2007-234263号公報

【特許文献4】特許第5668356号公報

【特許文献5】特許第5083315号公報

【特許文献6】特許第5153492号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、荷電粒子ビームの分解能及び開き角を精度良く求めることができる荷電粒子ビームの分解能測定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の分解能測定方法は、荷電粒子ビームのフォーカス位置を高さ方向に変え、前記フォーカス位置毎に、基板上に形成されたドットマークを前記荷電粒子ビームで走査する工程と、前記フォーカス位置毎に、前記ドットマークから反射した反射荷電粒子を検出する工程と、前記反射荷電粒子の検出結果から、散乱荷電粒子分布を前記フォーカス位置に対応する高さ毎に演算する工程と、前記荷電粒子ビームの開き角及び分解能をパラメータとして含む前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式と前記ドットマークのマーク形状との畳み込み演算を行う工程と、前記高さ毎の散乱荷電粒子分布と前記畳み込み演算の演算結果とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出する工程と、を備えるものである。

20

【0008】

本発明の一態様による荷電粒子ビームの分解能測定方法において、前記マーク形状は、高さ、幅、劣化度合い、及び位置をパラメータとして含む近似式で表される。

【0009】

本発明の一態様による荷電粒子ビームの分解能測定方法において、前記劣化度合いは前記ドットマークのエッジの曲率半径である。

30

【0010】

本発明の一態様による荷電粒子ビームの分解能測定方法において、前記基板上には複数のドットマークが形成されており、前記フォーカス位置毎に各ドットマークを荷電粒子ビームで走査し、反射荷電粒子の検出結果から散乱荷電粒子分布を演算する。

【0011】

本発明の一態様による荷電粒子ビームの分解能測定方法において、前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式は、高さ方向における前記荷電粒子ビームの大きさの変化をパラメータとして含む。

40

【0012】

本発明の一態様による荷電粒子ビームの分解能測定方法において、前記散乱荷電粒子分布の微分と前記畳み込み演算の演算結果の微分とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出する。

【0013】

本発明の一態様による荷電粒子ビーム描画装置は、荷電粒子ビームのフォーカス位置を高さ方向に変え、前記フォーカス位置毎に、基板上に形成されたドットマークを前記荷電粒子ビームで走査する描画部と、前記フォーカス位置に対応する高さ毎に、前記ドットマークから反射した荷電粒子の検出結果から散乱荷電粒子分布を演算し、前記荷電粒子ビームの開き角及び分解能をパラメータとして含む前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式

50

と前記ドットマークのマーク形状との畳み込み演算を行い、前記高さ毎の散乱荷電粒子分布と前記畳み込み演算の演算結果とをフィッティングし、前記開き角及び分解能を算出する制御計算機と、を備えるものである。

【0014】

本発明の一態様による荷電粒子ビーム描画装置において、前記マーク形状は、高さ、幅、劣化度合い、及び位置をパラメータとして含む近似式で表される。

【0015】

本発明の一態様による荷電粒子ビーム描画装置において、前記基板には複数のドットマークが形成されており、前記描画部は、前記フォーカス位置毎に各ドットマークを荷電粒子ビームで走査する。

10

【0016】

本発明の一態様による荷電粒子ビーム描画装置において、前記荷電粒子ビームのビーム波形の近似式は、高さ方向における前記荷電粒子ビームの大きさの変化をパラメータとして含む。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、荷電粒子ビームの分解能及び開き角を精度良く求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の実施形態に係る電子ビーム描画装置の概略図である。

20

【図2】電子ビームの可変成形を説明する図である。

【図3】同実施形態に係るビーム分解能及び開き角の測定方法を説明するフローチャートである。

【図4】散乱電子分布の例を示すグラフである。

【図5】散乱電子分布の微分波形の例を示すグラフである。

【図6】散乱電子分布の測定結果と演算結果とのフィッティング処理を説明するフローチャートである。

【図7】マーク形状の近似例を示す図である。

【図8】マーク形状の近似例を示す図である。

【図9】別の実施形態に係るビーム分解能及び開き角の測定方法を説明するフローチャートである。

30

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

【0020】

図1は本発明の実施形態に係る電子ビーム描画装置の概略図である。図1に示す描画装置1は、描画部30と、描画部30の動作を制御する制御部10とを備えた可変成形型の描画装置である。

【0021】

描画部30は、電子鏡筒40及び描画室50を有している。電子鏡筒40内には、電子銃41、ブランキングアパーチャ42、第1成形アパーチャ43、第2成形アパーチャ44、ブランキング偏向器45、成形偏向器46、対物偏向器47、及びレンズ48（照明レンズCL、投影レンズPL、対物レンズOL）が配置されている。

40

【0022】

描画室50内には、移動可能に配置されたXYステージ52、及び検出器54が配置される。XYステージ52上には、基板60が載置されている。基板60は、例えば、表面に金属マークとなるドットマーク62が形成されたシリコン基板である。ドットマーク62は、直方体（平面視四角形）形状であり、シリコンよりも反射率の大きいタンゲステンやタンタル等の金属材料で作製されている。検出器54は、電子ビームの照射によりドットマーク62から反射した反射電子を検出する。

50

【 0 0 2 3 】

電子鏡筒 4 0 内に設けられた電子銃 4 1 から放出された電子ビーム 4 9 は、ブランキング偏向器 4 5 内を通過する際に、ブランキング偏向器 4 5 によって、ビームオンの状態ではブランキングアパーチャ 4 2 を通過するように制御され、ビームオフの状態では、ビーム全体がブランキングアパーチャ 4 2 で遮蔽されるように偏向される。ビームオフの状態からビームオンとなり、その後ビームオフになるまでにブランキングアパーチャ 4 2 を通過した電子ビーム 4 9 が 1 回の電子ビームのショットとなる。

【 0 0 2 4 】

ブランキング偏向器 4 5 とブランキングアパーチャ 4 2 を通過することによって生成された各ショットの電子ビーム 4 9 は、照明レンズ 4 8 により、矩形の開口 4 3 a (図 2 参照) を有する第 1 成形アパーチャ 4 3 に照射される。第 1 成形アパーチャ 4 3 の開口 4 3 a を通過することで、電子ビーム 4 9 は矩形に成形される。

10

【 0 0 2 5 】

第 1 成形アパーチャ 4 3 を通過した第 1 成形アパーチャ像の電子ビームは、投影レンズ 4 8 (P L) により第 2 成形アパーチャ 4 4 上に投影される。第 2 成形アパーチャ 4 4 上での第 1 アパーチャ像の位置は、成形偏向器 4 6 によって制御される。これにより、第 2 成形アパーチャ 4 4 の開口 4 4 a を通過する電子ビームの形状と寸法を変化させる (可変成形を行う) ことができる。

【 0 0 2 6 】

第 2 成形アパーチャ 4 4 を通過した電子ビームは、対物レンズ 4 8 (O L) により焦点が合わされ、対物偏向器 4 7 により偏向されて、X Y ステージ 5 2 上の基板 6 0 のドットマーク 6 2 を走査するように照射される。

20

【 0 0 2 7 】

制御部 1 0 は、制御計算機 1 2、制御回路 1 4、増幅器 1 6、及び A / D 変換器 1 8 を有している。検出器 5 4 で検出された信号が増幅器 1 6 で増幅され、A / D 変換器 1 8 でデジタル信号に変換され、制御計算機 1 2 に送信される。

【 0 0 2 8 】

制御計算機 1 2 の入出力データや演算中のデータはメモリ (図示略) に適宜格納される。制御計算機 1 2 は、描画装置 1 の各部の動作を制御する。例えば、制御計算機 1 2 は、制御回路 1 4 を介して、ブランキング偏向器 4 5、成形偏向器 4 6、対物偏向器 4 7 の偏向量を制御する。また、制御計算機 1 2 は、描画部 3 0 で照射される電子ビームの分解能及び開き角の計算を行う。

30

【 0 0 2 9 】

電子ビームの分解能及び開き角の測定方法を図 3 に示すフローチャートを用いて説明する。

【 0 0 3 0 】

電子ビームを走査して、基板 6 0 上に形成されたドットマーク 6 2 の手前からドットマーク 6 2 上へと移動するように電子ビームを照射する (ステップ S 1)。電子ビームのビームサイズは、ドットマーク 6 2 の幅寸法より小さい。

【 0 0 3 1 】

電子ビームの照射によりドットマーク 6 2 から反射 (散乱) した電子を検出器 5 4 で検出する (ステップ S 2)。検出器 5 4 で検出された信号は、増幅器 1 6 及び A / D 変換器 1 8 を介して制御計算機 1 2 へ送信される。

40

【 0 0 3 2 】

制御計算機 1 2 は、反射電子の検出結果から散乱電子分布を測定する (ステップ S 3)。例えば、電子ビームの走査に伴い、ドットマーク 6 2 に重なる (照射される) 電子ビームの面積は徐々に増加 (第 1 区間) した後、一定になり (第 2 区間)、その後、徐々に減少 (第 3 区間) する。そのため、散乱電子分布は、縦軸を散乱電子量、横軸をビーム位置とした場合、図 4 に示すように、第 1 区間で立ち上がり、第 2 区間で一定となり、第 3 区間で立ち下がるような波形となる。図 4 は、横軸方向に 1 0 2 4 点とした測定結果の例を

50

示している。

【 0 0 3 3 】

この波形を微分すると、図 5 に示すような 1 個の山部と 1 個の谷部とが連続したような波形となる。

【 0 0 3 4 】

高さ方向 (z 方向) に電子ビームのフォーカス位置をずらし、 n 箇所 (n は 2 以上の整数) の z 座標の散乱電子分布を取得する (ステップ S 1 ~ S 5)。例えば、 z 座標毎に図 5 に示すような微分波形が得られる。

【 0 0 3 5 】

なお、フォーカス位置をずらした際に、ビームの大きさが変わらないように、光学系の調整を行っておくことが好ましい。また、ビームの強度もフィッティング対象となっているので、フォーカス位置をずらす毎に、検出器 5 4 の感度を変更しないことが好ましい。

【 0 0 3 6 】

次に、フィッティング処理 (ステップ S 6) について図 6 に示すフローチャートを用いて説明する。

【 0 0 3 7 】

電子ビームの開き角を α 、測定時の焦点ずれを b とした場合、 z 座標毎の電子ビームの分解能 $\sigma(z)$ は以下の数式で表される。

【 0 0 3 8 】

【数 1】

$$\sigma(z) = \sqrt{\alpha^2(z - b)^2 + \sigma(b)^2}$$

【 0 0 3 9 】

ビーム位置を x、ビームサイズの半分を h とした場合、ビーム波形は以下の近似式で表すことができる。

【 0 0 4 0 】

【数 2】

$$\operatorname{erf}\left(\frac{x+h}{\sigma(z)}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x-h}{\sigma(z)}\right)$$

【 0 0 4 1 】

このような近似式から、ビーム分解能 $\sigma(z)$ 及びビーム開き角 α を用いて z 座標毎のビーム波形を求める (ステップ S 6 1)。また、ドットマーク 6 2 を直方体と仮定し、マーク高さ、マーク位置、マーク幅をフィッティングパラメータとしてマーク形状を求める (ステップ S 6 2)。ステップ S 6 1 で求めるビーム波形及びステップ S 6 2 で求めるマーク形状は、ステップ S 1 ~ S 5 の測定結果に合わせて、例えば横軸方向 1 0 2 4 点で形状を近似する。

【 0 0 4 2 】

制御計算機 1 2 が、ステップ S 6 1 で求めたビーム波形と、ステップ S 6 2 で求めたマーク波形との畳み込み演算を行い、 z 座標毎の散乱電子分布を計算する (ステップ S 6 3)。畳み込み演算は例えば以下のようにして実行できる。まず、ビーム波形とマーク形状 (例えば 1 0 2 4 点で形状を近似) の周波数成分を F F T で求める。次に、ビーム波形の周波数成分とマーク形状の周波数成分の複素共役を周波数成分ごとに掛け合わせる。そして、その結果を逆 F F T する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 3 】

畳み込み演算の演算結果に、ステップ S 1 ~ S 5 で得られた n 個の散乱電子分布の測定結果をフィッティングし、誤差（横軸方向の測定点毎の散乱電子強度の差の自乗の総和）を求める（ステップ S 6 5）。誤差が小さくなる間は（ステップ S 6 6 __ Y e s）、フィッティングパラメータを更新（変更）し（ステップ S 6 7）、ステップ S 6 1 ~ S 6 5 を繰り返す。誤差が小さくならなくなったときの（誤差が最小となる）及び（b）を求める。これにより、電子ビームの開き角と分解能とが同時に算出できる。

【 0 0 4 4 】

このように、本実施形態によれば、z 方向にフォーカス位置をずらした z 座標毎の散乱電子分布を測定し、z 座標毎の測定結果に対し、ビーム開き角及び分解能を一度にフィッティングするため、開き角及び分解能を精度良く求めることができる。

10

【 0 0 4 5 】

制御計算機 1 2 は、分解能が最小となる b が焦点位置となるように描画部 3 0 を制御する。

【 0 0 4 6 】

上記実施形態では、ドットマーク 6 2 のマーク形状を直方体と仮定したが、ドットマーク 6 2 の加工精度や、ドットマーク 6 2 に対する電子ビームの照射による劣化等により、マーク形状は必ずしも直方体にはならない。そのため、マーク形状に関するパラメータもフィッティングパラメータとして考慮することが好ましい。

【 0 0 4 7 】

例えば、図 7 に示すように、マーク高さの半分を A、マーク位置を、マーク幅を w、マーク劣化度合い（例えばビーム走査方向におけるドットマーク上面の両エッジの曲率半径）を 1、2 とすると、マーク形状は以下の数式 3 で近似できる。なお、数式 3 の値が負の範囲はゼロとする。

20

【 0 0 4 8 】

【数 3】

$$A \left\{ 2 - \exp \left(-\frac{x+o}{\delta_1} \right) - \exp \left(-\frac{w-(x+o)}{\delta_2} \right) \right\}$$

30

【 0 0 4 9 】

制御計算機 1 2 は、上述の数式 2 のビーム波形と数式 3 のマーク形状の畳み込み演算を行い、演算結果に対し、n 個の散乱電子分布の測定結果をフィッティングする。フィッティングパラメータは、ビーム波形における（b）、h、及び b と、マーク形状における A、w、1、2 との計 9 個である。

【 0 0 5 0 】

例えば、最小自乗法としてガウス・ニュートン法を用いることができる。この場合、数値演算誤差の影響も含めて、必ずしも漸化式の実行毎に自乗誤差が小さくなっていくとは限らないので、漸化式でフィッティングパラメータを更新した際には、更新前のフィッティングパラメータと更新後のフィッティングパラメータの間を等分（例えば 1 0 0 等分）し、その中で自乗誤差が最小となる点を次のフィッティングパラメータとして採用することが好ましい。自乗誤差の計算及びフィッティングパラメータの更新を繰り返し、誤差が最小となる場合の及び（b）を求める。これにより、電子ビームの開き角と分解能とが同時に算出できる。ドットマーク形状もフィッティングパラメータとして考慮しているため、開き角及び分解能をさらに精度良く求めることができる。

40

【 0 0 5 1 】

ガウス・ニュートン法でなく、最急降下法（最速降下法）を使用し、各パラメータを少し変化させた時に自乗誤差が減る量に比例させて、各パラメータを変化させてもよい。ま

50

たは、その他の最小自乗法で誤差が最小となるようにフィッティングパラメータを求めてもよい。

【0052】

フィッティング対象は、散乱波形そのものを用いてもよく、散乱波形の微分波形や二次微分波形を用いてもよい(図6のステップS64)。微分波形を用いる場合は、自乗誤差(横軸方向の測定点毎の散乱電子強度の微分と、畳み込み演算結果の微分との差の自乗の総和)が最小になるようにフィッティングパラメータを求める。二次微分波形を用いる場合も同様である。

【0053】

マーク形状を直方体に仮定しなくてもよく、例えば、断面形状が矩形の凸凹型を仮定してもよいし、図8に示すように、断面形状が矩形以外の任意の形状のものを仮定してもよい。

10

【0054】

上記実施形態では、散乱電子分布の測定にあたり、フォーカス位置をずらした際にビームの大きさが変わらないように光学系の調整を行っているが、ビームの大きさの変化がゼロとなるように調整することは困難である。そのため、ビームの大きさ変化もフィッティングパラメータとして考慮することが好ましい。

【0055】

また、上記実施形態では、基板60上に形成された1個のドットマーク62を用いて散乱電子分布を測定していたが、複数個のドットマーク62を用いて散乱電子分布を測定することで、フィッティング精度を向上させることができる。

20

【0056】

このように、複数個のドットマーク62で散乱電子分布を測定し、ビームの大きさ変化もフィッティングして、電子ビームの分解能及び開き角を測定する方法を、図9に示すフローチャートを用いて説明する。

【0057】

電子ビームを走査して、基板60上に形成された m 個(m は2以上の整数)のドットマーク62のうち1個に対し電子ビームを照射し、反射電子を検出し、散乱電子分布を取得する(ステップS11~S13)。続いて、高さ方向(z 方向)に電子ビームのフォーカス位置をずらし、 n 箇所(n は2以上の整数)の z 座標の散乱電子分布を取得する(ステップS14、S15)。ステップS11~S15の処理は、図3のステップS1~S5の処理と同様である。このような n 箇所の z 座標の散乱電子分布の取得を、 m 個のドットマーク62に対し順に行う(ステップS16、S17)。

30

【0058】

後述するように、ビームの大きさ変化もフィッティングパラメータとして考慮するが、散乱電子分布の測定にあたり、フォーカス位置をずらした際にビームの大きさが変わらないように、光学系の調整を行う。また、検出器54の感度は変更しない。

【0059】

フィッティング処理(ステップS18)は、図6に示す処理と同様である。但し、ビームの大きさ変化もフィッティングパラメータとするため、上述の数式2の h を $h(z) = k(z) * h(0)$ とする。ビーム強度がビームの大きさの自乗に反比例する、すなわち座標 z におけるビーム強度は $z = 0$ でのビーム強度の $1 / (k(z))^2$ 倍になるとする。

40

【0060】

また、数式1の測定時の焦点ずれ b をドットマーク62の個数分(m 個)とすると共に、数式3に示すマーク形状の近似式をドットマーク62の個数分(m 個)準備する。

【0061】

測定時の焦点ずれ(b)精度向上を目的として、 $z = 0$ の近傍におけるフォーカス位置のずらし間隔を、他の領域よりも小さくしてもよい。

【0062】

50

数式 1 の焦点ずれ b を m 個、ビームの大きさ $h(z)$ を $z = 0$ を基準に複数個としたビーム波形と、 m 個のマーク形状の近似式との畳み込み演算を行い、 z 座標毎の散乱電子分布を計算する。そして、畳み込み演算の演算結果にステップ S 1 1 ~ S 1 7 で得られた散乱電子分布の測定結果をフィッティングし、誤差を求める。フィッティングパラメータを更新し、誤差が最小となる開き角 及び分解能 (b) を求める。

【 0 0 6 3 】

ビームの大きさ変化もフィッティングパラメータとするため、フィッティング対象が散乱電子分布の微分波形でなく、散乱電子分布そのものであっても精度良くフィッティングすることができる。また、 z が大きい箇所でも散乱電子分布に対して精度良くフィッティングすることができる。

10

【 0 0 6 4 】

また、マーク劣化度合い 1、2 をフィッティングパラメータとしているため、基板 6 0 上のドットマーク 6 2 が劣化している場合でも、散乱電子分布の測定に使用することができる。

【 0 0 6 5 】

上記実施形態では、ビームサイズがドットマーク 6 2 の幅寸法より小さい電子ビームをドットマーク 6 2 に照射する例について説明したが、ドットマーク及びビーム形状から散乱電子分布を計算しているため、ビームサイズに制限はなく、ドットマーク 6 2 の幅寸法よりビームサイズの大きい電子ビームを照射してもよい。

20

【 0 0 6 6 】

制御計算機 1 2 の機能は、ハードウェアで構成してもよく、ソフトウェアで構成してもよい。ソフトウェアで構成する場合には、少なくとも一部の機能を実現するプログラムを CD-ROM 等の記録媒体に収納し、電気回路を有するコンピュータに読み込ませて実行させてもよい。

【 0 0 6 7 】

上記実施形態では、電子ビームを照射する描画装置について説明したが、イオンビーム等の他の荷電粒子ビームを照射するものであってもよい。描画装置は可変成形型に限定されず、複数のビームを一度に照射するマルチビーム描画装置であってもよい。

【 0 0 6 8 】

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。

30

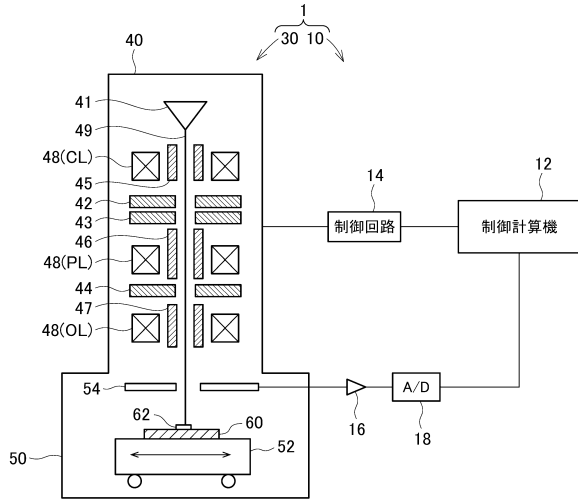
【 符号の説明 】

【 0 0 6 9 】

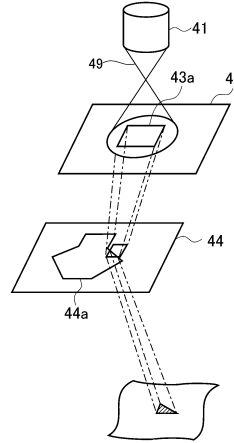
- 1 描画装置
- 1 0 制御部
- 1 2 制御計算機
- 1 4 制御回路
- 3 0 描画部
- 4 0 電子鏡筒
- 5 0 描画室
- 5 4 検出器
- 6 0 基板
- 6 2 ドットマーク

40

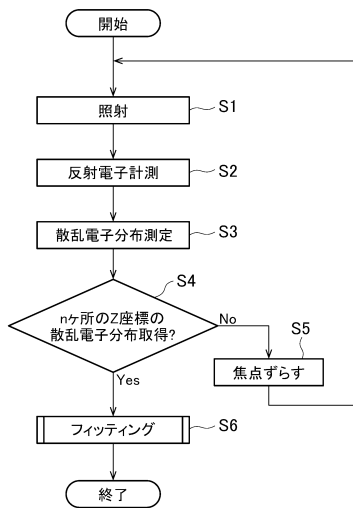
【図1】



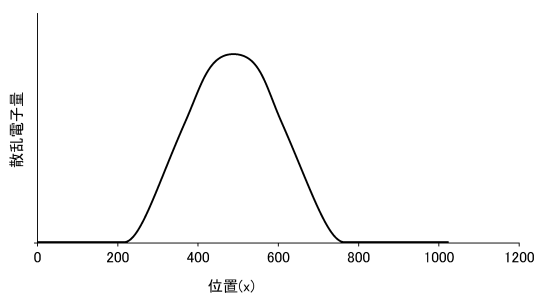
【図2】



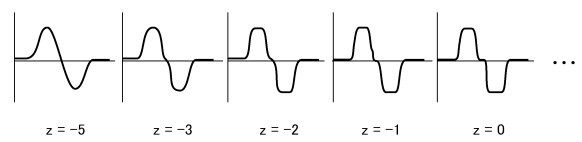
【図3】



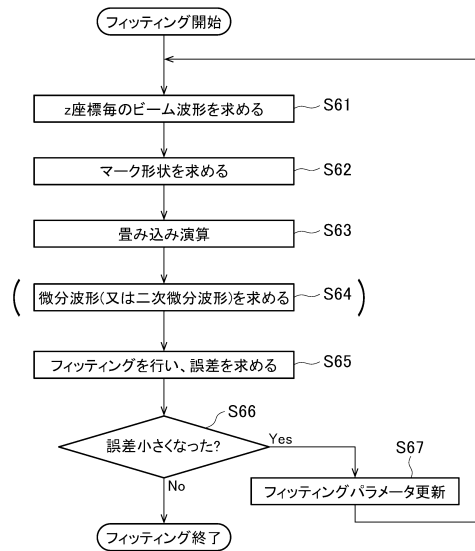
【図4】



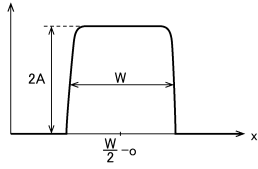
【図5】



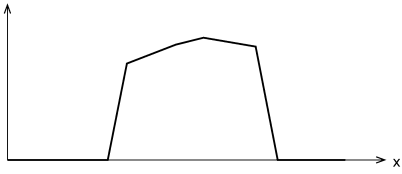
【図6】



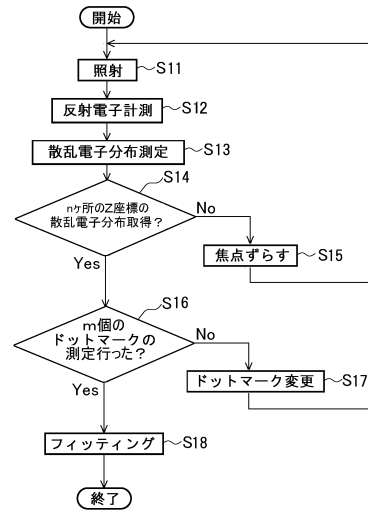
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2011-086876(JP,A)
特開2002-329659(JP,A)
米国特許出願公開第2009/0121131(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G01B 15/00
H01J 37/04
H01J 37/244
H01J 37/305