

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5576332号
(P5576332)

(45) 発行日 平成26年8月20日(2014.8.20)

(24) 登録日 平成26年7月11日(2014.7.11)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L	21/027	(2006.01)	HO 1 L	21/30 5 4 1 M
GO 3 F	7/20	(2006.01)	HO 1 L	21/30 5 4 1 W
			GO 3 F	7/20 5 0 4

請求項の数 12 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2011-84406 (P2011-84406)	(73) 特許権者	390005175 株式会社アドバンテスト 東京都練馬区旭町1丁目32番1号
(22) 出願日	平成23年4月6日(2011.4.6)	(74) 代理人	100091672 弁理士 岡本 啓三
(65) 公開番号	特開2012-222068 (P2012-222068A)	(72) 発明者	黒川 正樹 東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式 会社アドバンテスト内
(43) 公開日	平成24年11月12日(2012.11.12)	(72) 発明者	大川 達朗 東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式 会社アドバンテスト内
審査請求日	平成24年9月10日(2012.9.10)	(72) 発明者	山田 章夫 東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式 会社アドバンテスト内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子ビーム露光装置及び電子ビーム露光方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料の上方に配置され、それぞれが並列して前記試料の表面に電子ビームを照射する複数のコラムセルと、

前記複数のコラムセルの各ショットの露光位置、露光パターン及び露光時間を含む露光データを生成する統合制御部と、

前記コラムセルの各々に設けられ、前記露光データに基づいてコラムセルを制御するコラムセル制御部と、

前記統合制御部に設けられ、前記複数のコラムセルのいずれかから選ばれる基準コラムセルの露光量と線幅の関係式に補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係を一致させるべく、基準コラムセル以外の各コラムセルにそれぞれ設定された補正パラメータを記憶する補正パラメータ記憶部と、

前記統合制御部に設けられ、前記基準コラムセルで所定の基準パターンを設計値通りの線幅に形成するための基準露光時間を記憶する基準露光時間記憶部と、

前記統合制御部に設けられ、前記補正パラメータに基づいて前記基準露光時間を補正して前記補正対象コラムセルの露光時間を求める露光時間演算部と、を有し、

前記補正パラメータは、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の傾きを補正する第1の補正パラメータと、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の切片を補正する第2の補正パラメータとを含み、

第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータは、露光対象パターンで設計値どおり

の線幅を得るのに必要な露光量と前記基準パターンで設計値通りの線幅を得るのに必要な露光量との比を表す近接効果補正係数の関数として規定されており、

前記露光時間演算部は、前記露光データに含まれる前記近接効果補正係数の値を前記第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータを規定する関数に代入することで、近接効果補正係数に応じた前記第1及び第2の補正パラメータの値を算出すること

を特徴とする電子ビーム露光装置。

【請求項2】

前記露光時間演算部は、前記補正対象コラムセルの露光時間を前記基準露光時間に前記第1の補正パラメータを乗じた値と前記第2の補正パラメータとを加算して求めることを特徴とする請求項1に記載の電子ビーム露光装置。

10

【請求項3】

前記基準パターンは、対向するエッジ間の距離が、電子ビームの散乱によるぼやけの範囲よりも大きいパターンであることを特徴とする請求項1又は2に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項4】

前記露光時間演算部は、露光対象パターンの近接効果補正係数に、前記基準露光時間を乗じることにより、前記基準コラムセルで前記露光対象パターンの露光に必要な露光時間を求めることを特徴とする請求項3に記載の電子ビーム露光装置。

【請求項5】

孤立パターンと密集パターンとにおいてそれぞれ前記第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータを求め、線形補完により前記第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータの前記近接効果補正係数に対する依存性を前記近接効果補正係数の関数として求め、前記露光対象パターンの近接効果補正係数に基づいて第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータの値を求めることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の電子ビーム露光装置。

20

【請求項6】

試料の上方に配置され、それぞれが並列して前記試料の表面に電子ビームを照射する複数のコラムセルと、

前記複数のコラムセルの各ショットの露光位置、露光パターン、露光時間及び近接効果を補正するための補助露光の時間を含む露光データを生成する統合制御部と、

30

前記コラムセルの各々に設けられ、前記露光データに基づいてコラムセルを制御するコラムセル制御部と、

前記統合制御部に設けられ、前記基準コラムセルで所定の基準パターンを設計値通りの線幅に形成するための基準露光時間を記憶する基準露光時間記憶部と、

前記統合制御部に設けられ、前記複数のコラムセルのいずれかから選ばれる基準コラムセルの補助露光における露光量と所定の露光及び前記補助露光により形成されるパターンの線幅との関係式に、補正対象コラムセルの補助露光における露光量と最終的な線幅の仕上がり寸法との関係を一致させるべく、基準コラムセル以外の各コラムセルにそれぞれ設定された補助露光量補正パラメータを記憶する補正パラメータ記憶部と、

前記統合制御部に設けられ、前記補助露光量補正パラメータに基づいて前記基準コラムセルの補助露光時間を補正して前記補正対象コラムセルの補助露光時間を求める露光時間演算部と、

40

を有することを特徴とする電子ビーム露光装置。

【請求項7】

電子ビームを照射するコラムセルを複数使用して一枚のウェハ上に並列して複数のパターンを露光する電子ビーム露光方法であって、

各コラムセルで露光時間を変えながら露光を行って前記パターンの線幅を測定して、各コラムセルの露光量と線幅の関係を求めるステップと、

前記コラムセルのいずれかから選ばれた基準コラムセルの線幅と露光量の関係式に補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式を一致させる補正パラメータを求めるステップと

50

前記基準コラムセルで所定の基準パターンを設計値通りの線幅に形成するのに必要な基準露光時間を求めるステップと、

前記補正パラメータと前記基準露光時間とに基づいて、前記補正対象コラムセルの露光時間を算出するステップと、

前記補正対象コラムセルの露光時間に基づいて、前記補正対象コラムセルで露光を行うステップと、を有し

前記補正パラメータは、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の傾きを補正する第1の補正パラメータと、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の切片を補正する第2の補正パラメータとを含み、

第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータは、露光対象パターンで設計値どおりの線幅を得るのに必要な露光量と前記基準パターンで設計値通りの線幅を得るのに必要な露光量との比を表す近接効果補正係数の関数として規定されており、

前記補正パラメータを求めるステップでは、前記露光データに含まれる前記近接効果補正係数の値を前記第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータを規定する関数に代入することで、近接効果補正係数に応じた前記第1及び第2の補正パラメータの値を算出すること

を特徴とする電子ビーム露光方法。

【請求項8】

前記補正対象コラムセルの露光時間は、前記基準露光時間に前記第1の補正パラメータを乗じた値と前記第2の補正パラメータとを加算して求めることを特徴とする請求項7に記載の電子ビーム露光方法。

【請求項9】

前記基準パターンは、対向するエッジ間の距離が、電子ビームの散乱によるぼやけの範囲よりも大きいパターンであることを特徴とする請求項7又は8に記載の電子ビーム露光方法。

【請求項10】

露光対象パターンの近接効果補正係数に、前記基準露光時間に乗じることにより、前記基準コラムセルで前記露光対象パターンの露光に必要な露光時間を求めることを特徴とする請求項9に記載の電子ビーム露光方法。

【請求項11】

孤立パターンと密集パターンについて、それぞれ前記第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータを求め、線形補完により前記第1の補正パラメータ及び前記第2の補正パラメータの前記近接効果補正係数に対する依存性を前記近接効果補正係数の関数として求め、

前記露光対象パターンの近接効果補正係数に基づいて前記第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータの値を決定することを特徴とする請求項9に記載の電子ビーム露光方法。

【請求項12】

電子ビームを照射するコラムセルを複数使用して一枚のウェハ上に並列して複数のパターンを露光した後、補助露光を行って前記露光の際の近接効果の影響を補正する電子ビーム露光方法であって、

前記各コラムセルの各々で露光されたパターンに補助露光時間を変えながら補助露光を行って前記パターンの線幅を測定して、前記各コラムセルの補助露光における露光量と所定の露光及び前記補助露光を行って形成されるパターンの線幅との関係を求め、

前記各コラムセルのいずれかから選ばれた基準コラムセルの補助露光における露光量と所定の露光及び前記補助露光を行って形成されるパターンの線幅との関係式に、補正対象コラムセルの補助露光における露光量と所定の露光及び前記補助露光を行って形成されるパターンの線幅との関係式を一致させるための補正パラメータを求め、

前記補正パラメータに基づいて前記基準コラムセルの補助露光時間を補正して前記補正

10

20

30

40

50

対象コラムセルの補助露光時間を算出し、

前記補正対象コラムセルの補助露光時間に基づいて、前記補正対象コラムセルで補助露光を行うことを特徴とする電子ビーム露光方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のコラムセルで露光処理を並列して行うマルチコラム型の電子ビーム露光装置及び電子ビーム露光方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体装置の微細化が進み、フォトマスク上の微細なパターンを電子ビーム露光装置を用いた露光により描画することが行われている。

【0003】

このような電子ビーム露光装置の一つとして、電子ビームを照射するコラムセルを複数並べて配置したマルチコラム型の電子ビーム露光装置が提案されている。

【0004】

マルチコラム型の電子ビーム露光装置では、複数のコラムセルで露光を並列して行うため、シングルコラム型の電子ビーム露光装置に比べて処理速度が向上する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2006-278492号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、マルチコラム型の電子ビーム露光装置では、機械的工作精度の制約等により、各コラムセル間で電子光学系の収差、電子ビームの実効電流密度、及び露光マスク（又は矩形アパーチャ）の開口サイズ等が異なる。そのため、同じパターンを同じ露光時間で露光しても、各コラムセルで仕上がり線幅がばらついてしまう。

【0007】

そこで、各コラムセルの仕上がり線幅を測定し、その仕上がり線幅が一致するように各コラムセルの露光時間を補正することが考えられる。

【0008】

ところが、電子ビームを用いた露光では、パターンの粗密に応じて電子ビームの後方散乱量が変わってパターンの線幅が変化する、いわゆる近接効果が生じる。このため、電子ビーム露光装置では、近接効果の補正を行うべくパターンの粗密に応じて露光時間を変えている。

【0009】

しかし、上記のように特定の仕上がり線幅に対して各コラムセルの露光時間を合わせ込むだけでは、近接効果の補正等で露光時間を変えたときに各コラムセルの線幅のばらつきを防ぐことができない。

【0010】

また別の補正方法として、近接効果の補正計算を利用して各コラムセルの線幅のばらつきを補正することが考えられる。この場合には、各コラムセルの線幅が等しくなるようにコラムセルに固有の前方散乱長、後方散乱長及び散乱強度を実験的に定め、これらのパラメータに基づいて近接効果の補正計算を行って各コラムセルの露光時間を算出する。

【0011】

しかし、各コラムセル毎に固有の条件で近接効果補正計算を行うと、計算量が増加して露光データの生成時間が長くなってしまう。また、各コラムセルに固有の露光データを多数管理する必要がある現実的ではない。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

さらに、近接効果補正計算のための3つのパラメータでは、近接効果、電子光学系の収差、電子ビームの実効電流密度、及び露光マスクの開口サイズといった線幅のばらつきの発生原因の補正には自由度が足りず、精度の良い補正を行うことができない。

【 0 0 1 3 】

そこで、近接効果補正を行う場合であっても、コラムセル間の線幅のばらつきを補正できるマルチコラム型の電子ビーム露光装置及び電子ビーム露光方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

上記した課題は、試料の上方に配置され、それぞれが並列して前記試料の表面に電子ビームを照射する複数のコラムセルと、前記複数のコラムセルの各ショットの露光位置、露光パターン及び露光時間を含む露光データを生成する統合制御部と、前記コラムセルの各々に設けられ、前記露光データに基づいてコラムセルを制御するコラムセル制御部と、前記統合制御部に設けられ、前記複数のコラムセルのいずれかから選ばれる基準コラムセルの露光量と線幅の関係式に補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係を一致させるべく、基準コラムセル以外の各コラムセルにそれぞれ設定された補正パラメータを記憶する補正パラメータ記憶部と、前記統合制御部に設けられ、前記基準コラムセルで所定の基準パターンを設計値通りの線幅に形成するための基準露光時間を記憶する基準露光時間記憶部と、前記統合制御部に設けられ、前記補正パラメータに基づいて前記基準露光時間を補正して前記補正対象コラムセルの露光時間を求める露光時間演算部と、を有し、前記補正パラメータは、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の傾きを補正する第1の補正パラメータと、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の切片を補正する第2の補正パラメータとを含み、第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータは、露光対象パターンで設計値どおりの線幅を得るのに必要な露光量と前記基準パターンで設計値通りの線幅を得るのに必要な露光量との比を表す近接効果補正係数の関数として規定されており、前記露光時間演算部は、前記露光データに含まれる前記近接効果補正係数の値を前記第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータを規定する関数に代入することで、近接効果補正係数に応じた前記第1及び第2の補正パラメータの値を算出する電子ビーム露光装置により解決する。

【 0 0 1 5 】

上記電子ビーム露光装置において、前記補正パラメータは、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の傾きを補正する第1の補正パラメータと、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の切片を補正する第2の補正パラメータとを含んでもよい。また、前記露光時間演算部は、前記基準コラムセルの露光時間に前記第1の補正パラメータを乗じるとともに、前記第2の補正パラメータを加算して前記補正対象コラムセルの露光時間を求めてもよい。

【 0 0 1 6 】

さらに、上記した課題は、電子ビームを照射するコラムセルを複数使用して一枚のウェハ上に並列して複数のパターンを露光する電子ビーム露光方法であって、各コラムセルで露光時間を変えながら露光を行って前記パターンの線幅を測定して、各コラムセルの露光量と線幅の関係を求めるステップと、前記コラムセルのいずれかから選ばれた基準コラムセルの線幅と露光量の関係式に補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式を一致させる補正パラメータを求めるステップと、前記基準コラムセルで所定の基準パターンを設計値通りの線幅に形成するのに必要な基準露光時間を求めるステップと、前記補正パラメータと前記基準露光時間とに基づいて、前記補正対象コラムセルの露光時間を算出するステップと、前記補正対象コラムセルの露光時間に基づいて、前記補正対象コラムセルで露光を行うステップと、を有し前記補正パラメータは、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の傾きを補正する第1の補正パラメータと、前記補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係式の切片を補正する第2の補正パラメータとを含み、第1の補正パラメータ及び第

10

20

30

40

50

2の補正パラメータは、露光対象パターンで設計値どおりの線幅を得るのに必要な露光量と前記基準パターンで設計値通りの線幅を得るのに必要な露光量との比を表す近接効果補正係数の関数として規定されており、前記補正パラメータを求めるステップでは、前記露光データに含まれる前記近接効果補正係数の値を前記第1の補正パラメータ及び第2の補正パラメータを規定する関数に代入することで、近接効果補正係数に応じた前記第1及び第2の補正パラメータの値を算出する電子ビーム露光方法により解決する。

【発明の効果】

【0017】

上記の電子ビーム露光装置では、基準コラムセルの露光量と線幅の関係式に補正対象コラムセルの露光量と線幅の関係を一致させる補正パラメータに基づいて、基準コラムセルの露光時間を補正して各コラムセルの露光時間を求める。これにより、露光量（露光時間）が近接効果の補正等により変わった場合であっても、コラムセル間の線幅のばらつきを補正できる。

10

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】図1は、実施形態に係る電子ビーム露光装置のブロック図である。

【図2】図2は、ウェハ上で各コラムセルが描画を行う領域の一例を示す平面図である。

【図3】図3は、図1の電子ビーム露光装置のコラムセルのブロック図である。

【図4】図4は、図1の電子ビーム露光装置の統合制御系のブロック図である。

【図5】図5は、図4の統合制御系による各コラムセルの露光データの生成方法を示すフローチャートである。

20

【図6】図6は、全体露光データの一例を示す表である。

【図7】図7は、露光対象パターンの露光量の分布の一例を表す図である。

【図8】図8は、基準パターンの露光量の分布の一例を表す図である。

【図9】図9は補正パラメータの求め方を示すフローチャートである。

【図10】図10は、各コラムセルの線幅と照射量との関係の測定結果の一例を示す図である。

【図11】図11は、孤立パターンにおける、基準コラムセル及び補正対象コラムセルの線幅と照射量の関係を示す図である。

【図12】図12は、密集パターンにおける、基準コラムセル及び補正対象コラムセルの線幅と照射量の関係を示す図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、実施形態について、添付の図面を参照して説明する。

【0020】

図1は、実施形態に係る電子ビーム露光装置のブロック図である。

【0021】

図1のように、電子ビーム露光装置1は、複数のコラムセル11を備えた電子ビームコラム10と、電子ビームコラム10を制御する制御部20とを備える。このうち、制御部20は、電子銃高圧電源21、レンズ電源22、バッファメモリ23、ステージ駆動コントローラ24及びステージ位置センサ25を有する。

40

【0022】

電子銃高圧電源21は、電子ビームコラム10内の各コラムセル11の電子銃を駆動させるための高電圧を発生させる。レンズ電源22は、電子ビームコラム10内の各コラムセル11の電磁レンズに駆動電流を供給する。バッファメモリ23は、コラムセル11の数に対応する分だけ用意されており、統合制御系26から送出された露光データを格納し、露光データに含まれる各ショットの露光条件を順次読みだしてコラムセル11に転送する。ステージ駆動コントローラ24は、ステージ位置センサ25からの位置情報に基づいて、ウェハ12の位置を移動させる。

【0023】

50

上記の制御部 20 の各部 21 ~ 24 は、ワークステーション等よりなる統合制御系 26 によって制御される。

【0024】

電子ビームコラム 10 は、同等なコラムセル 11 を複数、例えば 4 本備えている。そして、各コラムセル 11 の下には、ウェハ 12 を搭載するウェハステージ 13 が配置されている。

【0025】

図 2 は、ウェハ上で各コラムが描画を行う領域の一例を示す平面図である。なお、図 2 は電子ビームコラム 10 が 4 本のコラムセル 11 を備えている場合を示している。

【0026】

図 2 に示すように、1 回のショット（露光ステップ）において、各コラムセル 11 はそれぞれウェハ 12 上の異なる領域 a1、b1、c1、d1 に同時に電子ビームを照射して露光を行う。各コラムセル 11 は、このようなショットを電子ビームの照射位置及びウェハの位置を変えながら複数回繰り返すことで、ウェハ 12 の上の各領域 a ~ d の露光を行う。

【0027】

図 3 は、図 1 の電子ビーム露光装置 1 のコラムセル 11 のブロック図である。

【0028】

図 3 に示すように、コラムセル 11 は、露光部 100 と、露光部 100 を制御するコラムセル制御部 31 とに大別される。このうち、露光部 100 は、電子ビーム生成部 130、マスク偏向部 140 及び基板偏向部 150 を備えている。

【0029】

電子ビーム生成部 130 では、電子銃 101 から電子ビーム EB を発生させ、この電子ビーム EB を第 1 電子レンズ 102 で収束させて、所定の電流密度の電子ビーム EB を生成する。さらに、収束された電子ビーム EB は、ビーム整形用マスク 103 の矩形アパーチャ 103a を通過することにより、矩形状の断面に整形される。

【0030】

このようにして電子ビーム生成部 130 で生成された電子ビーム EB は、マスク偏向部 140 の第 2 電子レンズ 105 によって露光マスク 110 上に結像される。そして、電子ビーム EB は、第 1 静電偏向器 104 及び第 2 静電偏向器 106 により、露光マスク 110 に形成された特定のパターン S_i に偏向される。露光マスク 110 を通過することにより、電子ビーム EB の断面の形状がパターン S_i の形状に整形される。

【0031】

なお、露光マスク 110 はマスクステージ 123 に固定されるが、そのマスクステージ 123 は水平面内で移動することができる。第 1 静電偏向器 104 及び第 2 静電偏向器 106 の偏向範囲（ビーム偏向領域）を超える部分にあるパターン S_i を使用する場合には、マスクステージ 123 を移動させて、そのパターン S_i をビーム偏向領域内に移動させる。

【0032】

露光マスク 110 の上下に配置された第 3 電磁レンズ 108 及び第 4 電磁レンズ 111 は、電子ビーム EB をウェハ 12 上で結像させる。

【0033】

露光マスク 110 を通った電子ビーム EB は、第 3 静電偏向器 112 及び第 4 静電偏向器 113 によって光軸 C に振り戻された後、第 5 電磁レンズ 114 によってそのサイズが縮小される。

【0034】

マスク偏向部 140 の静電偏向器 104、106、112、113 で発生する電子ビーム EB の偏向収差は、第 1 補正コイル 107 及び第 2 補正コイル 109 により補正される。

【0035】

10

20

30

40

50

その後、電子ビームEBは、基板偏向部150に設けられた遮蔽板115のアパーチャ105aを通過して、第5静電偏向器119及び電磁偏向器120によってウェハ12上の所定の位置に偏向される。そして、電子ビームEBは、第1投影用電磁レンズ116及び第2投影用電磁レンズ121を通じてウェハ12の表面に投影される。

【0036】

なお、基板偏向部150の偏向器119、120で生じた電子ビームEBの偏向収差は、第3補正コイル117及び第4補正コイル118によって補正される。

【0037】

以上の電子光学系により、露光マスク110のパターン S_i の像が、所定の縮小率、例えば1/20の縮小率でウェハ12上に転写される。

10

【0038】

一方、コラムセル制御部31は、電子銃制御部202、電子光学系制御部203、マスク偏向制御部204、マスクステージ制御部205、ブランキング制御部206及び基板偏向制御部207を有する。これらのうち、電子銃制御部202は電子銃101を制御して、電子ビームEBの加速電圧やビーム放射条件などを制御する。また、電子光学系制御部203は、電磁レンズ102、105、108、111、114、116及び121へ供給する電流量を制御して、電子光学系の倍率や焦点位置を調整する。

【0039】

ブランキング制御部206は、ブランキング電極127へ印加する電圧を制御して、電子ビームEBを所定の露光時間の間だけ遮蔽板115のアパーチャ115aを通過させてウェハ12の表面に照射させる。基板偏向制御部207は、第5静電偏向器119に印加する電圧と、電磁偏向器120に供給する電流量を制御して、ウェハ12の所望の位置に電子ビームEBを偏向させる。

20

【0040】

上記のコラムセル制御部31の各部202~207は、統合制御系26からバッファメモリ23を介して送出された露光データに基づいて動作する。

【0041】

以上の電子ビーム露光装置1の各コラムセル11間には、電子光学系の収差、実効電流密度、及び露光マスクのパターンサイズ等に差があり、同一のパターンを同じ露光時間で露光しても各コラムセル11で形成されるパターンの仕上がり線幅が異なる。

30

【0042】

そこで、本実施形態の電子ビーム露光装置1では、統合制御系26により各コラムセル11の露光時間の補正計算を行い、各コラムセル11間の線幅の誤差を補正する。

【0043】

図4は、図1の統合制御系26のブロック図である。

【0044】

図4に示すように、統合制御系26は、露光データ分割部27、露光時間演算部28、基準露光時間演算部29、及び補正パラメータ記憶部30を有する。このうち、露光データ分割部27は、電子ビーム露光装置1に入力された全体露光データ80を各コラムセル11用の露光データ81に分割する。

40

【0045】

基準露光時間記憶部29には、各コラムセル11のいずれか一つから選ばれる基準コラムセルにおいて、露光されたパターンの仕上がり線幅が設計値又は入射電子ビームの線幅と等しくなる露光時間(以下、基準露光時間 T_0 と呼ぶ)が記憶されている。また、補正パラメータ記憶部30には、基準コラムセルの露光量と線幅の関係に、他のコラムセルの露光量と線幅の関係を一致させるための補正パラメータが記憶される。

【0046】

露光時間演算部28は、基準露光時間 T_0 、露光データに含まれる近接効果補正係数P、及び補正パラメータに基づいて、基準コラムセル及びその他のコラムセルの露光時間を算出して各コラムセル11の露光データ81を生成する。

50

【 0 0 4 7 】

以下、統合制御系 2 6 による各コラムセル 1 1 の露光データ 8 1 の生成方法について説明する。ここに、図 5 は、統合制御系 2 6 による各コラムセル 1 1 の露光データ 8 1 の生成方法を示すフローチャートである。

【 0 0 4 8 】

まず、図 5 のステップ S 1 0 において、統合制御系 2 6 は、全体露光データ 8 0 を読み込む。ここで、図 6 は、可変矩形ビームの場合の全体露光データ 8 0 の一例を示す表である。図 6 に示すように、全体露光データ 8 0 には、各ショットの露光位置座標 (x , y) と、ビームサイズ (X , Y) と、近接効果補正係数 P とを含む。このうち、露光位置座標 (x , y) は、ウェハ 1 2 上で電子ビーム E B の照射位置をウェハ 1 2 上の座標系で指定する。ビームサイズは可変矩形ビームを用いる際の X 方向及び Y 方向のビームサイズを指定する。なお、部分一括露光法による露光を行う場合には、ビームサイズの代わりに露光マスク上のパターンを指定するデータとしてもよい。

10

【 0 0 4 9 】

また、近接効果補正係数 P は、露光対象パターンで設計通りの線幅を得るのに必要な露光量と、基準パターンで設計通りの線幅を得るのに必要な露光量との比を表している。

【 0 0 5 0 】

以下、近接効果補正係数 P について更に説明する。

【 0 0 5 1 】

近接効果の補正では、無限小のサイズの電子ビーム E B をレジストに照射したときに、前方散乱及び後方散乱による電子ビームの広がりを、下記の露光量分布 (Exposure Intensity Distribution; EID) 関数で表す。

20

【 0 0 5 2 】

【 数 1 】

$$EID(x,y) = \frac{1}{1+\eta} \left\{ \frac{1}{\pi a^2} \exp\left(-\frac{(x^2+y^2)}{a^2}\right) + \frac{\eta}{\pi \beta^2} \exp\left(-\frac{(x^2+y^2)}{\beta^2}\right) \right\} \dots (1)$$

【 0 0 5 3 】

上記の (1) 式の第 1 項は電子ビームの前方散乱をガウス分布で近似し、第 2 項は電子ビームの後方散乱をガウス分布で近似している。なお、(1) 式において はレジスト材料及び下地材料等によって決まる電子ビームの散乱強度であり、 a は前方散乱長さ、 は後方散乱長である。 は電子ビーム E B の加速電圧等によって変わるが、例えば加速電圧が 5 0 k e v の場合には約 6 μ m 程度の長さである。

30

【 0 0 5 4 】

レジストの堆積エネルギーの分布は、照射する電子ビーム E B のエネルギー分布と上記の E I D 関数との畳み込み積分で求められる。例えば、エネルギー密度が E で、 x 方向のサイズが x = x 1 - x 2、 y 方向のサイズが y = y 1 - y 2 の矩形の電子ビーム E B を照射したときの堆積エネルギーの分布 E (x , y) は、下記の式で表される。

【 0 0 5 5 】

【 数 2 】

$$E(x,y) = \int_{x1}^{x2} \int_{y1}^{y2} E \cdot EID(x-x',y-y') dx' dy' \dots (2)$$

40

【 0 0 5 6 】

上記の堆積エネルギー分布 E (x , y) の中心の露光量のうち、 E I D 関数の第 1 項の寄与分を 2 とし、第 2 項の寄与分を とすると、 は露光対象パターンの面積、幅、形状によって近似される。また、 は後方散乱長さ の 3 倍程度の範囲内の重みつきパターン密度で近似できる。

50

【 0 0 5 7 】

図 7 は、(2) 式のエネルギー密度 E を、照射する電子ビーム EB の電流密度 J に置き換えて求めた露光対象パターンの露光量の分布 $Q(x)$ の一例を示すグラフである。なお、図 7 において Q_A は、電子ビーム EB の電流密度 J と、電子ビーム EB の露光時間 t との積による露光量の設定値を示している。

【 0 0 5 8 】

図 7 に示すように、露光対象パターンの露光量の分布 Q の最大値は、 EID 関数の第 1 項の寄与分の $2 Q_A$ と、 EID 関数の第 2 項の寄与分による Q_A との和で表される。この露光対象パターンにおいて、 Q_A 及び Q_A の和とレジストの最小解像露光量 RT とが一致するように露光量 Q_A を設定すると、露光対象パターンの線幅が設計値の線幅と等しくなる。この $RT = Q_A + Q_A$ を満たす露光量 Q_A が、露光対象パターンで設計通りの線幅を得るのに必要な露光量である。なお、図 7 に示す例では、 Q_A 及び Q_A の和が RT よりも小さいため、 Q_A を増加させる必要がある。

10

【 0 0 5 9 】

図 8 は基準パターンにおける露光量の分布を示している。ここで、基準パターンは電子ビームの左右、上下のエッジのぼけ ($blur$) が互いに干渉せず、中央部に平坦な部分が生じるような十分な大きさのパターンである。この基準パターンでは、 $\alpha = 1/2$ であり、 $\eta = 1$ となる。基準パターンにおいて、設計値と同じサイズとなる露光量 (基準露光量) を Q_0 とすると、この基準露光量 Q_0 とレジストの最小解像露光量 RT とは、 $RT = Q_0/2 + Q_0$ の関係を満たす。

20

【 0 0 6 0 】

従って、露光対象パターンに必要な露光量 Q_A は、基準露光量 Q_0 に基づいて、下記の式から求められる。

【 0 0 6 1 】

【 数 3 】

$$RT = Q_0/2 + \eta Q_0 = \varepsilon Q_A + \alpha \eta Q_A \quad \dots (3)$$

【 0 0 6 2 】

そして、各ショットの近接効果補正係数 P は、下記の式のように露光対象パターンの露光量 Q_A を基準露光量 Q_0 で除算して求める。

30

【 0 0 6 3 】

【 数 4 】

$$P \equiv Q_A / Q_0 \quad \dots (4)$$

【 0 0 6 4 】

近接効果補正係数 P は、パターン自身の形状や周辺のパターン密度等を反映したパラメータ、 ε 及びレジスト材料を反映した基準露光量 Q_0 等によって決まり、電子ビーム露光装置に固有の条件からは独立している。そのため、露光位置、電子ビームサイズ及び近接効果補正係数 P を含む全体露光データ 80 は、異なる電子ビーム露光装置間で共有できる。このように、全体露光データ 80 を異なる電子ビーム露光装置 1 間で共有化しておけば、近接効果補正の計算を個々の電子ビーム露光装置 1 で行う必要がなく、露光データの作成時間を短縮でき、露光データの管理も容易となる。

40

【 0 0 6 5 】

次に、図 5 のステップ $S20$ において、統合制御系 26 の露光データ分割部 27 が全体露光データ 80 を分割する。ここでは、露光データ分割部 27 は、全体露光データ 80 (図 6 参照) の露光位置座標に基づいて、全体露光データ 80 の各ショットを各コラムセル 11 に割り振る。そして、露光データ分割部 27 は露光位置座標を、各コラムセル 11 の座標系に変換する。以上により、全体露光データ 80 の分割が完了する。

【 0 0 6 6 】

次に、ステップ $S30$ に移行し、露光時間演算部 28 が基準露光時間記憶部 29 に記憶

50

された基準露光時間 T_0 と、分割された露光データに含まれる近接効果補正係数 P とに基づいて、基準コラムセルの露光時間 T_1 を算出する。

【0067】

なお、基準露光時間 T_0 は、基準露光量 Q_0 を、予め測定して求めた基準コラムセルの電子ビーム EB の電流密度 d で除算して求めた値であり、基準コラムセルで基準パターンを設計値どおりに形成するのに必要な露光時間を与える。

【0068】

露光時間演算部 28 は、上記の基準露光時間 T_0 に近接効果補正係数 P を乗ずることにより、近接効果を考慮した基準コラムセルの露光時間 T_1 を求める。

【0069】

次に、ステップ $S40$ に移行し、統合制御系 26 の露光時間演算部 29 が補正パラメータ記憶部 30 の補正パラメータと、基準露光時間記憶部 28 の基準露光時間 T_0 及び近接効果補正係数 P とに基づいて、基準コラムセル以外の各コラムセル 11 の露光時間 T_n を算出する。なお、 n はコラムセルの番号を示している。

【0070】

ここでは、露光時間演算部 29 は、 n 番目のコラムセルの露光時間 T_n を、基準露光時間 T_0 に第 1 の補正パラメータ A_n を乗じた値に、第 2 の補正パラメータ B_n を加算して求める。

【0071】

【数 5】

$$T_n = A_n \times T_0 + B_n \quad \dots (5)$$

【0072】

ここで、補正パラメータ A_n 、 B_n は、 n 番目のコラムセルの露光量と線幅の関係 $Q_n(w)$ を、基準コラムセルの露光量と線幅の関係式 $Q(w)$ に一致させるための補正パラメータである。第 1 の補正パラメータ A_n は、 n 番目のコラムセルの露光量と線幅の関係 $Q_n(w)$ の傾きを補正し、第 2 の補正パラメータ B_n は n 番目のコラムセルの露光量と線幅の関係 $Q_n(w)$ の切片を補正する。

【0073】

図 9 は、第 1 の補正パラメータ A 及び第 2 の補正パラメータ B の求め方を示すフローチャートである。

【0074】

まず、図 9 のステップ $S41$ において、孤立したラインパターンを露光する場合の露光量と線幅の関係を各コラムセル 11 について求める。

【0075】

図 10 は、線幅の設定値が 80 nm の孤立したラインパターンを露光する場合の、各コラムセル 11 の露光量と線幅との関係の一例を示している。

【0076】

図 10 に示すように、露光量 $Q(\text{dose})$ と線幅 $w(\text{width})$ との関係が各コラムセル 11 で、切片及び傾きがそれぞれ異なっている。そのため、各コラムセル 11 間の露光量と線幅の関係を切片及び傾きのいずれか一方のみで補正するだけでは、全ての露光量の範囲で線幅を一致させることができない。基準コラムセルの露光量と線幅の係数に他の各コラムセル 11 の露光量と線幅の係数を一致させるためには、切片及び傾きを補正する 2 つの補正パラメータが必要となる。

【0077】

次に、ステップ $S42$ において、基準コラムセルの露光量 Q と線幅 w の関係を下記の式でフィッティングした近似関数 $Q_{1i}(w)$ を求める。

【0078】

10

20

30

40

【数6】

$$Q_{1i}(w) = 2 \times RT / \left\{ \operatorname{erf} \left(\frac{x+w}{2 \times \text{blur}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-w}{2 \times \text{blur}} \right) - 2BS \right\} \quad \dots (6)$$

【0079】

ここで、 erf は誤差関数であり、 RT はレジストの最小解像露光量 ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$) であり、 D (A/cm^2) は電子ビームのエネルギー密度である。また、 w (nm) はビーム幅であり、 blur (nm) はビームのぼけ量であり、 BS は方散乱寄与量である。

【0080】

$Q_{1i}(w)$ が基準コラムセルの露光量 Q と線幅 w の測定結果と一致するように、(6) 式の BS 、 Blur 及び RT を定めることにより基準コラムセルの近似関数 $Q_{1i}(w)$ が求まる。なお、図10の場合には、 BS が 0.097 、 RT が 42.32 ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)、 blur が 14.61 (nm) となる。

【0081】

次に、ステップ $S43$ において、 n 番目のコラムセルの露光量 Q と線幅 w との関係 $Q_{ni}(w)$ と、基準コラムセルの関数 $Q_{1i}(w)$ とに基づいて、下記の式を満たす n 番目のコラムセルの第1の補正パラメータ A_{ni} 及び第2の補正パラメータ B_{ni} を最小二乗法で求める。

【0082】

【数7】

$$Q_{ni}(w) = A_{ni} \times Q_{1i}(w) + B_{ni} \quad \dots (7)$$

【0083】

ここでは、基準コラムセル以外の全てのコラムセルについて第1の補正パラメータ A_{ni} 及び第2の補正パラメータ B_{ni} を求める。

【0084】

図11は、孤立パターンにおいて、基準コラムセルの露光量と線幅の関係に他のコラムセルの露光量と線幅の関係を一致させた例を示している。図11の場合には、第1の補正パラメータ A_{3i} を 0.797 、第2の補正パラメータ B_{3i} を 11.62 (μC) とすることで、露光量と線幅の関係が一致する。

【0085】

ところで、各コラムセル11の露光量と線幅の関係はパターンの粗密（近接効果補正係数 P ）によって変化し、これに伴い第1の補正係数 A_{ni} 、第2の補正係数 B_{ni} は近接効果補正係数 P に応じて変化する。

【0086】

そこで、本実施形態では下記のステップ $S44 \sim S47$ に示すように密集パターンについても補正パラメータ A_{nd} 、 B_{nd} を求め、線形補完により、補正パラメータ A_n 、 B_n の近接効果補正係数 P に対する依存性を求める。

【0087】

すなわち、ステップ $S44$ において、密集パターンを露光した場合の、各コラムセル11の露光量と線幅の関係を求める。なお、本実施形態では、密集パターンとしてラインパターン及びスペースの幅がそれぞれ $1:1$ のラインアンドスペースパターンを用いるものとする。密集パターンのパターン密度は 50% あれば十分である。パターン密度が 50% 以上のパターンは、ネガとポジの関係を反転すれば実質的にパターン密度が 50% 以下のパターンとして露光できる。

【0088】

次いで、ステップ $S45$ において、密集パターンでの基準コラムセルの露光量と線幅の関係を(6)式でフィッティングした近似関数 $Q_{1d}(w)$ を求める。

【0089】

10

20

30

40

50

その後、ステップ S 4 6 において、n 番目のコラムセルの露光量 Q と線幅 w との関係 $Q_{nd}(w)$ を、基準コラムセルの関数 $Q_{1d}(w)$ に一致させる第 1 の補正パラメータ A_{nd} 及び第 2 の補正パラメータ B_{nd} を最小二乗法で求める。

【 0 0 9 0 】

図 1 2 は、ラインパターン及びスペースの幅がそれぞれ 8 0 n m のラインアンドスペースパターンにおいて、基準コラムセルの露光量と線幅の関係式に他のコラムセルの露光量と線幅の関係を一致させた例を示している。図 1 2 の場合には、第 1 の補正パラメータ A_{3d} を 0 . 9 8 5 、第 2 の補正パラメータ B_{3d} を - 1 . 1 2 6 とすることで、露光量と線幅の関係が一致する。

【 0 0 9 1 】

次に、ステップ S 4 7 において、孤立パターン及び密集パターンの補正パラメータ A、B を線形補完して、第 1 の補正パラメータ A_n 及び第 2 の補正パラメータ B_n の近接効果補正係数 P に対する依存性を求める。

【 0 0 9 2 】

ここで、孤立パターン及び密集パターンの近接効果補正係数をそれぞれ P_i 、 P_d とすると、n 番目のコラムセルの第 1 の補正パラメータ $A_n(P)$ は下記の式により求まる。

【 0 0 9 3 】

【 数 8 】

$$A_n(P) = \frac{\{A_{ni} \times (P - P_d) + A_{nd} \times (P_i - P)\}}{(P_i - P_d)} \quad \dots (8)$$

【 0 0 9 4 】

また、第 2 の補正パラメータ $B_n(P)$ は下記の式で求まる。

【 0 0 9 5 】

【 数 9 】

$$B_n(P) = \frac{\{B_{ni} \times (P - P_d) + B_{nd} \times (P_i - P)\}}{(P_i - P_d)} \quad \dots (9)$$

【 0 0 9 6 】

以上により、近接効果補正係数 P の関数として、第 1 の補正パラメータ $A_n(P)$ 及び第 2 の補正パラメータ $B_n(P)$ が求まる。

【 0 0 9 7 】

統合制御系 2 6 の補正パラメータ記憶部 3 0 (図 4 参照) には、各コラムセル 1 1 の第 1 の補正パラメータ $A_n(P)$ 及び第 2 の補正パラメータ $B_n(P)$ が、上記 (8) 式及び (9) として記憶される。

【 0 0 9 8 】

そして、露光時間演算部 2 8 が、(8) 式及び (9) 式に露光対象パターンの近接効果補正強度 P を代入することにより、第 1 の補正パラメータ A_n の値及び第 2 の補正パラメータ B_n の値を決定する。

【 0 0 9 9 】

以上により、各コラムセル 1 1 の第 1 の補正パラメータ A 及び第 2 の補正パラメータ B が求まる。そして、露光時間演算部 2 8 が (5) 式により各コラムセル 1 1 の露光時間 T_n を算出して各コラムセル 1 1 の露光データ 8 1 が完成する。

【 0 1 0 0 】

本実施形態に係る電子ビーム露光装置 1 において、統合制御系 2 6 で生成された各コラムセル 1 1 の露光データ 8 1 はバッファメモリ 2 3 に格納される。そして、各コラムセル 1 1 のコラムセル制御部 3 1 は、バッファメモリ 2 3 から露光データ 8 1 に含まれる各ショットの露光条件を順次読み込んで、各コラムセル 1 1 で露光を行う。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 1 】

以上のように、本実施形態では、基準コラムセルの露光量と線幅の関係式に補正対象となるコラムセルの露光量と線幅の関係式を一致させる補正パラメータに基づいて、基本コラムセルの露光時間を補正することで補正対象となるコラムセルの露光時間を求める。

【 0 1 0 2 】

これにより、全ての露光量の範囲で基準コラムセルと補正対象コラムセルとの線幅を一致させることができる。

【 0 1 0 3 】

また、コラムセル間の露光時間の補正に用いる補正パラメータ A、B を、孤立パターン及び密集パターンのそれぞれの露光量と線幅の関係から求めた補正パラメータ A_i 、 B_i 、 A_d 、 B_d と、近接効果補正係数 P といった 5 つのパラメータに基づいて決定する。そのため、(1) 各コラム間の収差の差、(2) 露光マスクの開口サイズの差、(3) 各コラム間の実効電流密度の差、及び(4) パターンの形状(密度)による電子ビームの後方散乱による線幅の差、といった 4 つの誤差要因の補正に対して十分な自由度を有している。

【 0 1 0 4 】

さらに、各コラムセル 1 1 の露光時間は、基準コラムセルの基準露光時間 T_0 の一次関数として簡単に求めることができる。これにより、各コラムセル 1 1 毎に固有の近接効果補正係数 P を求める場合に比べて迅速に各コラムセル 1 1 の露光データ 8 1 を生成できる。また、各コラムセル 1 1 に固有の露光データを保存する必要もないので露光データの管理も容易となる。

【 0 1 0 5 】

(その他の実施形態)

上記の実施形態では、近接効果の補正を露光時間で行う場合の各コラムセル 1 1 間の線幅を補正する方法について説明したが、上記実施形態の補正方法は近接効果の補正を補助露光で行う場合にも適用できる。

【 0 1 0 6 】

以下、補助露光を行う場合の各コラムセル 1 1 間の線幅の補正方法について説明する。

【 0 1 0 7 】

まず、各コラムセル 1 1 で、所定のパターンを露光及び補助露光を行って形成し、補助露光時間と線幅との関係を求める。次に、基準コラムセルの補助露光時間と線幅の関係式に補正対象となるコラムセルの補助露光時間と線幅の関係を一致させる補正パラメータを求める。

【 0 1 0 8 】

ここでは、補正パラメータとして、補正対象となるコラムセルの補助露光時間と線幅の関係式の傾きを補正する第 3 の補正パラメータと、同じく切片を補正する第 4 の補正パラメータとを求める。

【 0 1 0 9 】

以上のようにして求めた、第 3 の補正パラメータ及び第 4 の補正パラメータは、図 4 の統合制御系 2 6 の補正パラメータ記憶部 3 0 に記憶される。

【 0 1 1 0 】

そして、統合制御系 2 6 の露光時間演算部 2 8 が基準コラムセルの補助露光時間に第 3 の補正パラメータを乗じた値と第 4 の補正パラメータとを加算して、補正対象のコラムセルの補助露光時間を求める。

【 0 1 1 1 】

上記の方法で求めた補助露光時間に基づいて各コラムセル 1 1 で補助露光を行うことにより、近接効果補正を補助露光で行う場合にも各コラムセル 1 1 の線幅のばらつきを補正できる。

【符号の説明】

【 0 1 1 2 】

1 ... 電子ビーム露光装置、 1 0 ... 電子ビームコラム、 1 1 ... コラムセル、 1 2 ... ウェハ

10

20

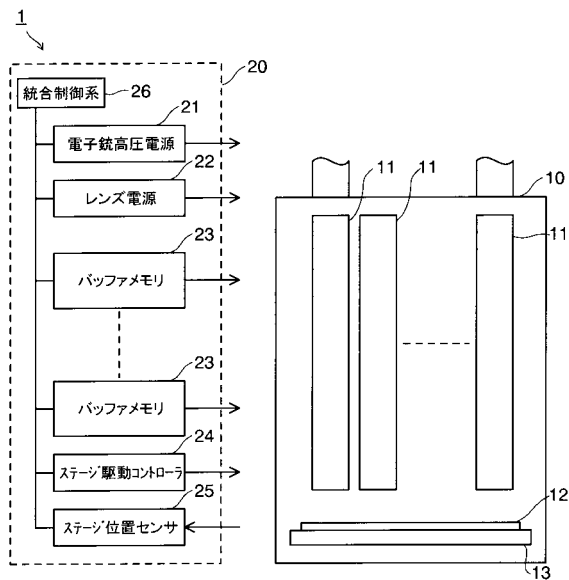
30

40

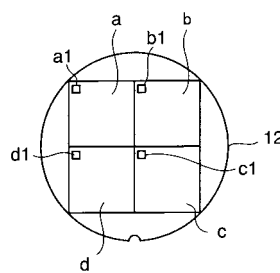
50

、 1 3 ... ウェハステージ、 2 0 ... 制御部、 2 1 ... 電子銃高圧電源、 2 2 ... レンズ電源、 2 3 ... バッファメモリ、 2 4 ... ステージ駆動コントローラ、 2 5 ... ステージ位置センサ、 2 6 ... 統合制御系、 2 7 ... 露光データ分割部、 2 8 ... 露光時間演算部、 2 9 ... 基準露光時間記憶部、 3 0 ... 補正パラメータ記憶部、 3 1 ... コラムセル制御部、 8 0 ... 全体露光データ、 8 1 ... 各コラムセルの露光データ、 1 0 0 ... 露光部、 1 0 1 ... 電子銃、 1 0 2 ... 第 1 電子レンズ、 1 0 3 ... ビーム整形用マスク、 1 0 3 a ... 矩形アパーチャ、 1 0 4 ... 第 1 静電偏向器、 1 0 5 ... 第 2 電子レンズ、 1 0 6 ... 第 2 静電偏向器、 1 0 7 ... 第 1 補正コイル、 1 0 8 ... 第 3 電磁レンズ、 1 0 9 ... 第 2 補正コイル、 1 1 0 ... 露光マスク、 1 1 1 ... 第 4 電磁レンズ、 1 1 2 ... 第 3 静電偏向器、 1 1 3 ... 第 4 静電偏向器、 1 1 4 ... 第 5 電磁レンズ、 1 1 5 ... 遮蔽板、 1 1 5 a ... アパーチャ、 1 1 6 ... 第 1 投影用電磁レンズ、 1 1 7 ... 第 3 補正コイル、 1 1 8 ... 第 4 補正コイル、 1 1 9 ... 第 5 静電偏向器、 1 2 0 ... 電磁偏向器、 1 2 3 ... マスクステージ、 1 3 0 ... 電子ビーム生成部、 1 4 0 ... マスク偏向部、 1 5 0 ... 基板偏向部、 2 0 2 ... 電子銃制御部、 2 0 3 ... 電子光学系制御部、 2 0 4 ... マスク偏向制御部、 2 0 5 ... マスクステージ制御部、 2 0 6 ... プランキング制御部、 2 0 7 ... 基板偏向制御部。

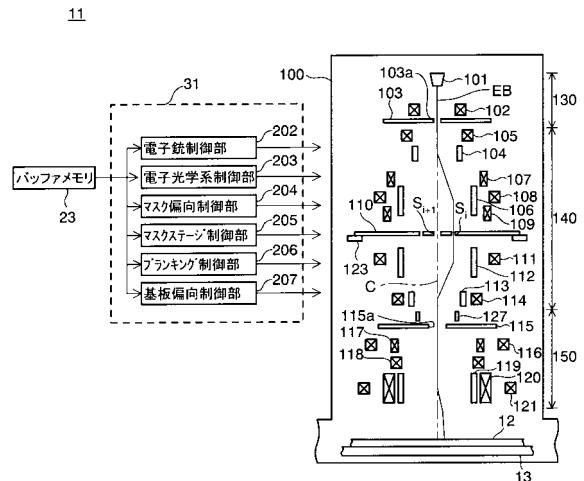
【図 1】



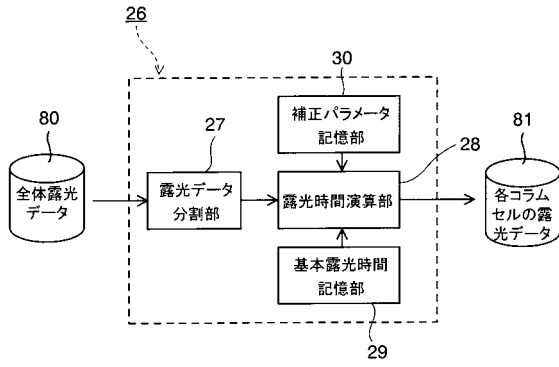
【図 2】



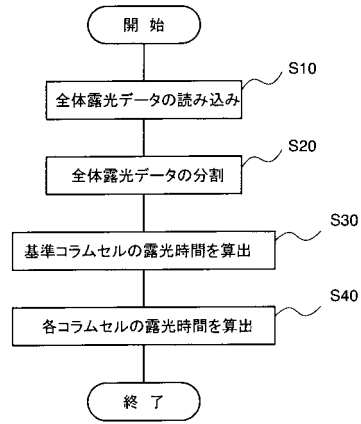
【図 3】



【図4】



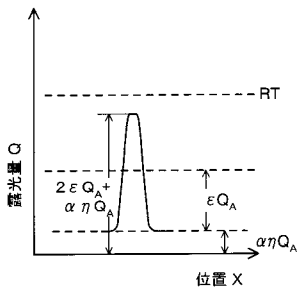
【図5】



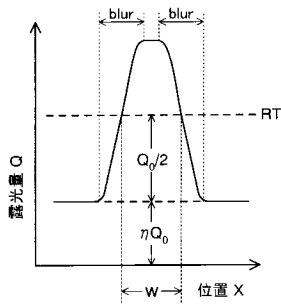
【図6】

	位置 x	位置 y	サイズ X	サイズ Y	近接効果補正係数 P
ショット1	110	0	1	1	0.8
ショット2	210	20	5	5	1.1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

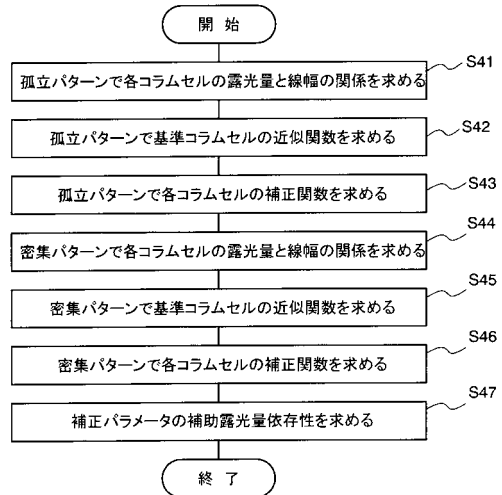
【図7】



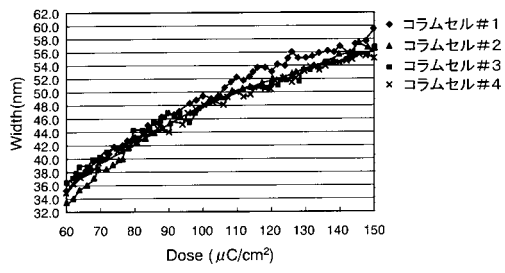
【図8】



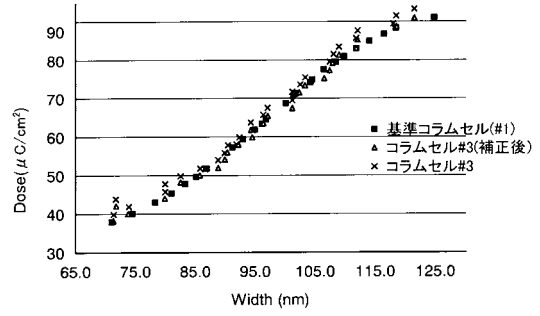
【図9】



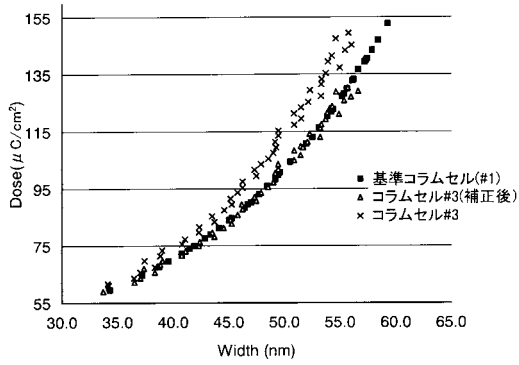
【図 10】



【図 12】



【図 11】



フロントページの続き

審査官 植木 隆和

- (56)参考文献 特開2005-340345(JP,A)
特開2005-317810(JP,A)
特開2005-056923(JP,A)
特開2008-041890(JP,A)
特開2006-278492(JP,A)
国際公開第2008/117398(WO,A1)
特開平11-219679(JP,A)
特開平08-191042(JP,A)
特開2006-186125(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027