

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4898419号
(P4898419)

(45) 発行日 平成24年3月14日 (2012.3.14)

(24) 登録日 平成24年1月6日 (2012.1.6)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 2 6

H O 1 L 21/30 5 1 6 D

請求項の数 8 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2006-353324 (P2006-353324)
 (22) 出願日 平成18年12月27日 (2006.12.27)
 (65) 公開番号 特開2007-208245 (P2007-208245A)
 (43) 公開日 平成19年8月16日 (2007.8.16)
 審査請求日 平成21年12月17日 (2009.12.17)
 (31) 優先権主張番号 特願2006-950 (P2006-950)
 (32) 優先日 平成18年1月5日 (2006.1.5)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (72) 発明者 千徳 孝一
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 (72) 発明者 稲 秀樹
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 (72) 発明者 宮下 朋之
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光量のおよびフォーカス位置のオフセット量を求める方法、プログラムおよびデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原版を介して基板を露光する露光装置における露光量のオフセット量およびフォーカス位置のオフセット量を求める方法において、

前記露光装置を用いて形成された前記基板上のパターンの形状の情報を取得する第1のステップと、

前記パターンの形状の情報のうちの線幅と前記線幅の基準値とのずれ量を求める第2のステップと、

前記パターンの形状の情報に基づいて前記フォーカス位置のオフセット量を求め、前記露光量のオフセット量を前記ずれ量及び前記フォーカス位置のオフセット量に基づいて求める第3のステップと

を備えることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記第3のステップにおいて、前記露光量と前記線幅との関係を表す第1のライブラリー、前記線幅と前記フォーカス位置との関係を表す第2のライブラリー及び前記フォーカス位置と前記パターンの形状の情報との関係を表す第3のライブラリーを求めておき、前記フォーカス位置のオフセット量を前記第3のライブラリーを用いて求め、前記露光量のオフセット量を前記第1のライブラリー、第2のライブラリー及び第3のライブラリーを用いて求めることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

前記第 1 のステップにおいて、前記基板上の複数の領域の各々について、前記パターンの形状の情報を取得することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 3 のステップにおいて、前記基板上の複数の領域の各々について、前記露光量のオフセット量及び前記フォーカス位置のオフセット量を求めることを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法を用いて求められた露光量のオフセット量及びフォーカス位置のオフセット量に基づいて、基板を露光することを特徴とする露光方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の露光方法を用いて基板を露光する露光ステップと、前記露光ステップで露光された基板を現像するステップとを備えることを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項 7】

原版を介して基板を露光する露光装置における露光量のオフセット量およびフォーカス位置のオフセット量をコンピュータに実行させるプログラムにおいて、

前記露光装置を用いて形成された前記基板上の

パターンの形状の情報を取得する第 1 のステップと、

前記パターンの形状の情報のうちの線幅と前記線幅の基準値とのずれ量を求める第 2 のステップと、

前記パターンの形状の情報に基づいて前記フォーカス位置のオフセット量を求め、前記露光量のオフセット量を前記ずれ量及び前記フォーカス位置のオフセット量に基づいて求める第 3 のステップと

を備えることを特徴とするプログラム。

【請求項 8】

前記第 3 のステップにおいて、前記露光量と前記線幅との関係を表す第 1 のライブラリー、前記線幅と前記フォーカス位置との関係を表す第 2 のライブラリー及び前記フォーカス位置と前記パターンの形状の情報との関係を表す第 3 のライブラリーを求めておき、前記フォーカス位置のオフセット量を前記第 3 のライブラリーを用いて求め、前記露光量のオフセット量を前記第 1 のライブラリー、第 2 のライブラリー及び第 3 のライブラリーを用いて求めることを特徴とする請求項 7 に記載のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光量のおよびフォーカス位置のオフセット量を求める方法、プログラムおよびデバイス製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

レチクル上のパターンをウェハ上に転写する露光技術では、転写できるパターンの微細化だけでなく、高い生産性が要求されている。そして、露光装置における露光工程において、プロセス毎、あるいは、レイヤー毎に、フォーカス位置又は露光量などの露光条件の最適な値を決定し、ウェハを露光する。

【0003】

最適な露光条件（フォーカス位置及び露光量）は、例えば、走査電子顕微鏡（CD-SEM）といった形状測定装置で所定のレジストパターン形状を測定して決定される。この場合、レジストパターン形状だけでなく、エッチング後のパターン形状の測定も行い、両者とを比較する。しかしながら、レジストの屈折率と膜厚、露光装置の露光制御、フォーカス制御、現像時間、現像液の特性、ホットプレートの不均一性、PEB 温度、時間及びレチクルの製作誤差（平坦度）等の誤差により、両者の測定値に差が生まれる。そして、CD エラーや製造の歩留まりの低下などが発生する場合がある。

【0004】

そこで、レジストの屈折率と膜厚を設定する手段と、それに基づいて露光量を演算及び制御する方法が提案されている（特許文献1参照）。また、レチクル誤差に対して、露光量を調節することでウェハのCD誤差を改善する提案がされている（特許文献2参照）。そして、CD変動がウェハに対して概ね同心円状で発生している場合の、ウェハ中心からの距離と露光量との関数を作成し、ショットごとに露光量を調整する提案が行われている（特許文献3参照）。さらに、露光結果のウェハ全面、ショット全面のCD計測値から、各ショットの露光量マップを作成し、そのマップに従って露光量を制御する方法が提案されている（特許文献4参照）。

【0005】

しかしながら、転写するパターンの微細化につれ、露光装置の投影光学系の開口数NAは、徐々に高い値となる。そして、それに伴う焦点深度DOF（Depth of Focus）は、徐々に狭くなっている。例えば、90nmの線幅のパターンのDOFは、線幅変化の10%を許容するとしても200nm程度となっている。

【0006】

この狭いDOF化のためにも露光条件は、これまでの露光量だけを変化させてCD値だけの制御でなく、フォーカス位置も変化させてEDウインドウの中心とする設定方法が求められている。

【0007】

しかしながら、特許文献1～4には、露光量の様々な誤差について対応したものが提案されているが、フォーカスに対する効果的な方法の提案は、行われていなかった。これは、FEM（Focus Exposure Matrix）パターンの様にフォーカスを微小量ずつ変更して露光を行うことをせず、一つの露光条件から、フォーカス位置のずれ量を求める手法が確立していなかったためである。その理由の一つは、CD計測にCD-SEMが使用されている点にある。一つのマークからのCD計測は、CD値という一つの計測結果だけしか求まらないので、一つの変数だけしか変えることが出来ないためである。従って、特許文献1～4は、転写できるパターンの微細化には限界があった。そこで、露光装置での露光量のオフセット量及びフォーカス位置（基板位置）のオフセット量を求める方法が提案されている（特許文献5参照）。特許文献5に記載の方法は、露光量のオフセット量及びフォーカス位置（基板位置）のオフセット量とパターンの光強度信号波形との関係をライブラリー化する。そして、ある露光量及びフォーカス位置で得られたパターンの光強度信号波形を計測する。その後、計測された光強度信号波形からライブラリーに基づいて、露光量のオフセット量およびフォーカス位置のオフセット量を求めている。

【特許文献1】特開昭62-132318号公報

【特許文献2】特開平10-032160号公報

【特許文献3】特開平10-064801号公報

【特許文献4】特開2005-094015号公報

【特許文献5】特開2003-142397号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、特許文献5に記載の方法では、CDに影響する外的要因の変動があった場合、予め用意したライブラリーが現状に適合しなくなる。外的要因としては、例えば、レジストの屈折率と膜厚、露光装置の露光制御、フォーカス制御、現像時間、現像液の特性、ホットプレートの不均一性、PEB温度、時間及びレチクルの製作誤差（平坦度）等が挙げられる。したがって、露光量のオフセット量およびフォーカス位置のオフセット量を求めるためには、ライブラリーを適宜更新する必要がある。つまり、基板の生産性が低下してしまう。

【0009】

そこで、本発明は、上記の外的要因に影響されにくい、露光量のオフセット量およびフ

10

20

30

40

50

フォーカス位置のオフセット量を求める方法及びプログラムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一側面としての方法は、原版を介して基板を露光する露光装置における露光量のオフセット量およびフォーカス位置のオフセット量を求める方法において、前記露光装置を用いて形成された前記基板上のパターンの形状の情報を取得する第1のステップと、前記パターンの形状の情報のうちの線幅と前記線幅の基準値とのずれ量を求める第2のステップと、前記パターンの形状の情報に基づいて前記フォーカス位置のオフセット量を求め、前記露光量のオフセット量を前記ずれ量及び前記フォーカス位置のオフセット量に基づいて求める第3のステップとを備えることを特徴とする。

10

【0011】

本発明の別の側面としてのプログラムは、原版を介して基板を露光する露光装置における露光量のオフセット量およびフォーカス位置のオフセット量をコンピュータに実行させるプログラムにおいて、前記露光装置を用いて形成された前記基板上のパターンの形状の情報を取得する第1のステップと、前記パターンの形状の情報のうちの線幅と前記線幅の基準値とのずれ量を求める第2のステップと、前記パターンの形状の情報に基づいて前記フォーカス位置のオフセット量を求め、前記露光量のオフセット量を前記ずれ量及び前記フォーカス位置のオフセット量に基づいて求める第3のステップとを備えることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、上記の外的要因に影響されずに、露光量のオフセット量およびフォーカス位置のオフセット量を求めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、図1を参照して、半導体製造システムを説明する。半導体製造システムは、複数の露光装置（図1では露光装置1及び2）と形状測定装置3、中央処理装置4、データベース5を含み、これらがLAN6（例えば社内LAN）により接続された構成を有する。

【0014】

30

露光装置1及び2は、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクル20上に形成されたパターンをウェハ40に露光する走査型露光装置である。

【0015】

形状測定装置3は、走査電子顕微鏡（CD-SEM）であり、原版（レチクル）を介して基板（ウェハ）を露光する露光装置を用いて基板上に形成されたパターンの立体形状の情報を取得する。

【0016】

コンピュータである中央処理装置4は、パターンの立体形状の情報に基づき、その形状の情報のうちの線幅と前記線幅の基準値とのずれ量を算出し、露光量及びフォーカス位置のオフセット量を算出する。ここで、露光量およびフォーカス位置のオフセットとは、ウェハ上に目標とするパターンが形成されときの露光量およびフォーカス位置からのずれのことをいう。また、フォーカス位置とは、具体的には露光領域における被露光体の位置のことである。その位置は投影光学系の光軸方向の位置で表される。被露光体はウェハ上のレジストなどである。

40

【0017】

データベース5に露光装置1、2及び形状測定装置3からの各種計測値等のデータをデータベース化して保存する。そして、中央処理装置4は、露光量及びフォーカス位置の最適化を行い、露光装置1及び2に通知する。

【0018】

以下、図2を参照して、露光装置1を説明する。

50

【0019】

露光装置1は、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクル20に形成されたパターンをウェハ40に露光する走査型露光装置である。露光装置1は、図2に示すように、照明装置10と、レチクル20を載置するレチクルステージ25と、投影光学系30と、ウェハ40を載置するウェハステージ45と、フォーカスチルト検出系50と、制御部60とを有する。制御部60は、CPUやメモリを有し、照明装置10、レチクルステージ25、ウェハステージ45、フォーカスチルト検出系50と電氣的に接続され、露光装置1の動作を制御する。本実施形態では、制御部60は、フォーカスチルト検出系50がウェハ40の表面位置を検出する際に用いる光の波長を最適に設定するための演算及び制御も行う。なお、本実施形態の露光装置1は、ステップ・アンド・スキャン方式であるが、本発明はステップ・アンド・リピート方式の露光装置にも適用できる。

10

【0020】

照明装置10は、光源12と、照明光学系14とを有し、転写用のパターンが形成されたレチクル20を照明する。

【0021】

光源12としては、波長約193nmのArFエキシマレーザーを使用することができる。しかしながら、光源としては、波長約248nmのKrFエキシマレーザー、波長約157nmのF2レーザー、波長20nm以下のEUV光源、さらには365nmの光を発光する水銀ランプを使用してもよい。

【0022】

照明光学系14は、光源12から射出した光束を用いて被照明面に配置した、原版であるレチクル(マスク)20を照明する光学系である。照明光学系14は、レンズ、ミラー、オブティカルインテグレーター、絞り等から構成される。照明光学系14は、軸上光、軸外光を問わずに使用することができる。オブティカルインテグレーターは、ハエの目レンズである。しかし、オブティカルインテグレーターとして、2組のシリンドリカルレンズアレイ、光学ロッド、回折光学素子を使用することもできる。

20

【0023】

レチクル20には転写されるべきパターンが形成されている。なお、露光装置1には、光斜入射系のレチクル検出手段70が設けられており、レチクル20は、レチクル検出手段70によって位置が検出され、所定の位置に配置される。

30

【0024】

レチクルステージ25は、図示しないレチクルチャックを介してレチクル20を支持し、図示しない移動機構に接続されている。

【0025】

投影光学系30は、レチクル20に形成されたパターンをウェハ40上に投影する。投影光学系30としては、屈折系、反射屈折系、または反射系を使用することができる。

【0026】

基板であるウェハ40の表面には、フォトリジストが塗布されている。なお、ウェハ40の代わりに、液晶基板やガラスプレート、その他の基板を使用することもできる。

【0027】

ウェハステージ45は、図示しないウェハチャックによってウェハ40を支持する。

40

【0028】

フォーカスチルト検出系50は、図2に示すように、ウェハ40の表面に対して高入射角度で光束を入射させる照明部52と、ウェハ40の表面で反射した反射光の像ずれを検出する検出部54と、演算部とを有する。照明部52は、光源と、光合成手段と、パターン板と、結像レンズと、ミラーとを有する。検出部54は、ミラーと、レンズと、光分波手段と、受光器とを有する。

【0029】

尚、露光装置1は、図1に示す半導体製造システムの形状測定装置3、中央処理装置4及びデータベース5の機能を有しても良い。この場合でも、上述した半導体製造システム

50

と同じ作用及び効果を得ることができる。

【0030】

以下、図3を参照して、本実施例の露光方法500を説明する。ここで、図3は、露光方法500を示すフローチャートである。

【0031】

露光方法500は、原版を介して基板を露光する露光装置における露光量のオフセット量及び露光装置におけるフォーカス位置のオフセット量のうち少なくともフォーカス位置のオフセット量を求めて基板を露光する。

【0032】

露光方法500を示すフローチャートは、大きく分けると3つのステップに分けることができる。ステップ501からステップ504までは、フォーカス位置及び露光量とFEMパターンを構成する各ショットから得られる複数の立体形状情報との関連付けをおこない、事前にライブラリーを作製するステップである。これらのステップにおいて、FEMパターンが露光されたFEMウェハの作製及びそのFEMウェハを用いた最適露光条件（露光量及びフォーカス位置）の設定を行い、多変量解析手法によりライブラリーを作製する。ここで、FEMパターンとは、フォーカス位置および露光量をパラメータとして、複数ショットが1枚のウェハ上にマトリックス状に露光されているパターンをさす。

【0033】

このとき、量産段階において実際に使用するレチクルのパターンの線幅（CD：Critical Dimension）の検査結果にもとづき、CD誤差が大きなパターンに関しては、その線幅を使用したFEMパターンを前述と同じく作製する。そして、複数の立体形状情報との関連付けをおこない、その線幅に対応したライブラリーを作製する。

【0034】

次に、ステップ505乃至ステップ507までがフォーカス位置及び露光量のオフセット量を算出するステップである。これらのステップにおいては量産段階で使用するレチクル、ウェハを使用して露光をおこない、ウェハ上に露光されたレジストパターンの形状を測定する。そして、そのレチクル上の線幅に対応した前記ライブラリーと照合し、フォーカス位置及び露光量の最適露光条件からのオフセット量を求める。

【0035】

最後に、求められたオフセットのデータを露光装置1に送り、最適な露光量及びフォーカス位置の設定を修正する（ステップ508）。そして、量産段階において、前述のように設定し直された最適な露光条件でウェハが露光される（ステップ509）。

【0036】

以下、各ステップに関して更に詳細な説明を行う。

【0037】

まず、量産段階で使用するレチクルのCD検査データを入手する（ステップ501）。ここでは、レチクルを製造した後、レチクル内の複数の点にある実際の素子パターンの線幅を計測する。しかしながら、そのCD計測値が製造許容値の範囲内であっても、ウェハにパターンを転写し、現像し、エッチングした後に、最適な露光量、フォーカス位置が異なる場合には、CD値の差を考慮すべきパターンであると判断する。この差を考慮するパターンがレチクル内のどこにあり、どの程度のCD値で分類するかを、ステップ501で入手したレチクルのCD検査データから判断する。

【0038】

次に、ステップ501でCD値の差を考慮するとしたパターンに対してFEMウェハ（FEMパターンが形成されるウェハ）を作製する（ステップ502）。この場合、ウェハは実際に量産段階で使用されるウェハを使用しても良いし、そのウェハの構造と同じような構成としたテストウェハを使用しても良い。パターンを形成する範囲は、CD値の差を考慮するパターンの部分のみの微小範囲とし、このことで使用するウェハ、レチクルの平坦度誤差の影響を軽減することができる。

【0039】

10

20

30

40

50

F E Mパターンの露光から現像までの流れを図4に示す。ここで、図4は、ステップ502でのF E Mパターンの製造方法を示すフローチャートである。

【0040】

まず、ウェハ上にレジスト、必要に応じてB A R C、T A R Cが塗布される(ステップ601)。レジストを塗布されたウェハは、レジストの特性を安定化させるためにP r e - B a k eが施される(ステップ602)。続いて、ウェハは露光装置に運ばれ、F E Mパターンの像がウェハ上に露光される(ステップ603)。次に、ウェハは、P E B(ステップ604)、現像(ステップ605)と工程が進み、F E Mウェハ上にF E Mパターンが形成される。

【0041】

次に、ステレオS E MやC D - A F Mを使用して、ウェハ上に形成されたF E Mパターンの形状情報を計測する(ステップ503)。図5、6及び7にステレオS E Mを使用した実際の計測結果を示す。ここで、図5は、形成されたパターンを高さ方向(ウェハの上面)から観察したときの画像である。図6は、F E Mパターンが形成されたウェハを15度傾けて観察したときの画像である。図7は、図6の画像に基づいて、パターンの形状をグラフに表したものである。

【0042】

図5からは、パターンのある線幅しか求まらないが、図7のデータからは、線幅のほかに高さや側壁角と言う、パターンの形状の情報となる複数の計測値を入手することが可能となる。それにより、パターンの立体形状を測定することができる。

【0043】

図8に示すF E Mパターンは、フォーカス位置と露光量を変化させて、各ショットの露光をおこなったものである。縦軸をフォーカス位置、横軸を露光量とした。ここで、図8は、ウェハ上に形成されたF E Mパターンの各ショット内におけるパターンの断面の一部を拡大した図である。図8に示すF E Mパターンの各ショット内におけるパターンの形状の情報である線幅(t c d、m c d、b c d)、高さ(h e i g h t)、側壁角度(s w a)を測定した結果例を図9に示す。図9には、F E Mパターンの各ショット内におけるパターンの形状の情報(t c d、m c d、b c d、h e i g h t、s w a)と、F E Mウェハを露光した時のフォーカス位置(f o c u s)及び露光量(d o s e)と対応させて示した。ここで、t c dは、パターンの上辺付近の線幅、b c dは、パターンの下辺付近の線幅、m c dは、パターンの上辺と下辺の中間付近の線幅を表す。高さや側壁角度は図8に示す通りである。フォーカス位置については、基準となる位置(目標とするパターンが形成されるとき的位置)を0として、その位置からの距離で示した。

【0044】

これらの形状の情報と露光条件(フォーカス位置及び露光量)の関係から最適なフォーカス位置及び露光量を決定する。例えば、図8の太枠内のパターンが目標とするパターンに最も近く、このパターンが形成されるときにフォーカス位置、露光量が最適となり、オフセットの基準値となる。さらに、この最適なフォーカス位置及び露光量は、所望の線幅に許容値を足した領域の所謂E Dウインドウの中心の値となる。この場合、許容値は、実際には線幅の $\pm 10\%$ が多い。また、図8の太枠内のパターンの線幅(例えば、m c d)が、線幅の基準値となる。

【0045】

次に、ステップ503で計測した複数の形状の情報を使用して、露光量やフォーカス位置に対応したライブラリーを多変量解析手法を用いて作製する(ステップ504)。以下、ステップ504のライブラリーの作製について、詳述する。

【0046】

まず、露光量のオフセット量を求める際に用いるライブラリーの作製方法について述べる。F E Mウェハ上に作製したF E Mパターンの形状の情報(図9参照)から、露光量と線幅(例えばm c d)の関係を示す関係式を作製する。図10に示すF E Mパターンの太枠で囲った複数パターンの線幅の変化と、露光量の関係を数式化する。ここで、図10は

10

20

30

40

50

、図 8 と同様に、ウェハ上に形成された F E M パターンの各ショット内におけるパターンの断面の一部を拡大した図である。図 1 1 は、図 1 0 の太枠内にある複数のパターンから求めた線幅と露光量との関係をグラフ化したものであり、露光量と線幅の関係を多項式近似により求める。その近似式を、以下、数式 1 として示す。f 1 は関数を表す。

【 0 0 4 7 】

【 数 1 】

$$(\text{露光量}) = f_1(\text{線幅}) \quad \text{式 1}$$

【 0 0 4 8 】

この近似式を、露光量の最適値からのオフセット量を求めるための第 1 のライブラリーを構成する関係式として、中央処理装置 4 の記憶装置または図 1 のデータベース 5 に記憶する。

10

【 0 0 4 9 】

なお、この数式 1 で表される線幅の変化量と露光量の変化量との関係は、外的要因によって変化しない。外的要因としては、レジストの屈折率と膜厚、露光装置の露光制御、フォーカス制御、現像時間、現像液の特性、ホットプレートの不均一性、P E B 温度、時間及びレチクルの製作誤差（平坦度）等が挙げられる。

【 0 0 5 0 】

続いて、図 1 2 に示す F E M パターンの太枠内にある複数のパターンから求めた線幅とフォーカス位置との関係を数式化する。図 1 3 は、図 1 2 の太枠内にある複数のパターンから求めた線幅とフォーカス位置との関係をグラフ化したものであり、線幅とフォーカス位置との関係を多項式近似により求める。その近似式を、以下、数式 2 として示す。f 2 は関数を表す。

20

【 0 0 5 1 】

【 数 2 】

$$(\text{線幅}) = f_2(\text{フォーカス})$$

【 0 0 5 2 】

この近似式を、露光量の最適値からのオフセット量を求めるための第 2 のライブラリーを構成する関係式として、中央処理装置 4 の記憶装置またはデータベース 5 に記憶する。

30

【 0 0 5 3 】

数式 1 と同様に、数式 2 で表されるフォーカス位置の変化量と線幅の変化量との関係も、前述の外的要因によっても変化しない。

【 0 0 5 4 】

最後に、F E M パターンの線幅（X）、高さ（Y）、及び側壁角度（Z）とフォーカス位置との関係式で構成される第 3 のライブラリーを作製する。この式を N 次の多項近似で表現すると、一般的に以下、数式 3 として示される。N は整数であり、F E M パターンの線幅、高さ、側壁角度の次数を決めるものである。ただし、f 3 は関数を表し、a 1 ~ a N、b 1 ~ b N、c 1 ~ c N、d 0 は定数である。

【 0 0 5 5 】

【 数 3 】

$$\begin{aligned} (\text{フォーカス}) &= f_3(\text{線幅、高さ、側壁角度}) \\ &= a_1X + a_2X^2 + \dots + a_NX^N + b_1Y + b_2Y^2 + \dots + b_NY^N + c_1Z + c_2Z^2 + \dots + c_NZ^N + d_0 \end{aligned}$$

40

【 0 0 5 6 】

この近似式を、第 3 のライブラリーとして中央処理装置 4 の記憶装置またはデータベース 5 に記憶する。

【 0 0 5 7 】

（数 3）においては、フォーカス位置を求める為の変数として F E M パターンの線幅、高さ、側壁角度を用いる数式を示したが、用いる変数はこの限りではなく、（数 1）で求

50

めた露光量を変数の一つとして加えても良い。

【0058】

なお、数式1、2と同様に、数式3で表される関係も前述の外的要因によって変化しない。

【0059】

以上の3つの式で表される関係は、いずれも外的要因による変化はないため、これらの式で構成されるライブラリーについては、外的要因による更新は必要ない。なお、特許文献5に記載された発明では、これらの式を用いないため、外的要因が変化することによって、逐一、FEMパターンを求めて、ライブラリーを更新する必要がある。

【0060】

ライブラリーを作成するときは、量産段階で実際に使用するレチクルのパターンのCD検査結果にもとづき、CD誤差が大きなパターンに関して、FEMパターンを前述と同じく作成する。そして、パターンの複数の形状情報との関連付けをおこない、そのCDに対応したライブラリーを別に作成する。ここまでが、図1に示したステップ501乃至ステップ504における、ライブラリーを事前に作成する工程である。

【0061】

次に、ステップ505乃至ステップ508までの、フォーカス位置及び露光量オフセット量を求めるシーケンスについて説明を行う。

【0062】

まず、実際に量産段階で使用されるレチクル、ウェハ、露光装置プロセスを用いて、ウェハのショット全面を量産段階と同じ様に露光、現像を行う(ステップ505)。この時の露光条件は、ステップ503で求めたEDウインドウの中心のものとしても良い。

【0063】

次に、露光装置を用いてウェハ上に形成されたパターンの形状の情報を取得する(ステップ506)。ここでは、ステップ503と同じく、ステレオSEMやCD-AFMにより、線幅、高さ、側壁角度(sidewall angle)等の複数の形状情報を計測する。

【0064】

次に、ステップ506で測定した複数の形状情報を用いて、露光量のオフセット及びフォーカス位置のオフセットを求める(ステップ507)。

【0065】

まず露光量に関して第1のライブラリーを使用して最適な露光量からのオフセットを求め、仮露光量のオフセット量とする。次にフォーカス位置に関して第3のライブラリーを使用して最適なフォーカス位置からのオフセットを求める。そして、第2のライブラリーを使用して、最適なフォーカス位置からのオフセットに基づいて、複数の形状情報のうちの一つの値について基準値とのずれ量を求める。この値から第1のライブラリーを使用して補正すべき露光量を求め、既に求めてある仮露光量のオフセット量にこの補正すべき露光量を合わせて、露光量のオフセット量とする。

【0066】

具体的に図14、15及び18を用いて説明する。ここで、図14は、図8で求められた最適なフォーカス位置及び最適な露光量からのオフセット量を示すグラフである。図15は、計測されたFEMパターンの形状の情報をを用いてフォーカス位置のオフセット量及び露光量のオフセット量を算出するフローチャートである。図18は、focusとmcdとの関係を、doseごとにプロットした図である。

【0067】

図14のFEMパターンにおいて、断面形状1が最適な露光条件(露光量及びオフセット)で露光したときの形状で、断面形状2がステップ505で露光したときの形状であり、図14に示すように最適な露光条件から露光量及びフォーカス位置がシフトしている。パターンの形状が断面形状1となると図18のP4で表される。そして、断面形状2となると図18のP1で表されるとする。

【0068】

10

20

30

40

50

図15において、最初にステップ504で記憶装置に記憶した第1のライブラリーを用いて、パターン複数の形状情報のうち一つとその基準値との差を入力値として、第1の露光量のオフセット量 $dose_1$ を求める(ステップ701)。

【0069】

具体的には、図14の断面形状2を表す複数の形状情報のうちの一つである値(例えば、 mcd)と、最適露光条件の断面形状1で示されている複数の形状情報の計測値のうちの一つである値(mcd の基準値)との差分から $dose_1$ を求める。 $dose_1$ は、図18に示すように、 $dose_4$ と $dose_2$ との差に対応する。 P_1 から $dose_1$ だけずらすと P_2 の位置になる。

【0070】

次に、前述した第3のライブラリーにより、複数の形状情報の計測値を入力値として、フォーカス位置を求める。そして、このフォーカス位置と最適なフォーカス位置の差分を、フォーカス位置のオフセット量 $focus$ として求める(ステップ702)。図18に $focus$ を図示した。

【0071】

続いて、図15における第2の露光量のオフセット量 $dose_2$ を求める(ステップ703)。この $dose_2$ とは、先に求めた $focus$ の量だけフォーカス位置を修正することにより新たに発生するレジストパターンの線幅のずれを修正するために必要な露光量の補正量のことである。図18に示すように、 $Dose_2$ のまま P_2 から $focus$ だけずらすと P_3 の位置となり、線幅のずれが生じることが分かる。

【0072】

この $dose_2$ は、ステップ504で求めた露光量に関する第2のライブラリーに、 $focus$ を代入し、線幅ずれ量 CD を求め、更にその CD を第1のライブラリーに代入することにより求めることができる。図18に示すように、 P_3 から $dose_2$ だけずらすと P_4 の位置になり、 $dose_2$ は $dose_2$ と $dose_1$ との差となる。最終的にレジストパターンの露光量のオフセット量 $dose$ を、 $dose = dose_1 + dose_2$ として求める(ステップ704)。

【0073】

ステップ501で入手したレチクル検査データ情報(CD 寸法の差)から実際のレチクルのどの部分を区別して、ライブラリーを作成すべきかが判る。したがって、レチクル検査データ情報に従って作成されたライブラリーを使用し、フォーカス位置及び露光量のオフセット量を求める。ここまでで、図3に示すステップ505乃至ステップ507を経て、フォーカス位置及び露光量のオフセット量を求めた。

【0074】

最後に、ここまでの手順で求めた、露光量のオフセット量 $dose$ 、フォーカス位置のオフセット量 $focus$ を露光装置にフィードバック、あるいはフィードフォワードをかける(ステップ508)。そして、量産段階において最適な露光条件で露光する(ステップ509)。そうすることで、最適な露光条件で露光されて形成されるレジストパターンは目標とする形状となる。

【0075】

本実施例では、ここまで露光量を補正するために必要なライブラリーに複数の形状計測値のうちの一つの値(例えば、 mcd)のみを用いたが、これに限らず、その他の立体形状情報を用いても構わない。また、本実施例では、露光量を求める近似式は1次、及び2次の近似式を用いたが、近似式の次数はこの場合に限らず、3次以上の近似式を用いてもよい。

【0076】

また露光装置として、走査型露光装置を使用する場合には、露光領域はスリット状となる。図3のステップ506でこのスリット内の多点に対応する複数の領域で形状計測した場合には、そのフォーカス位置のオフセット量は、複数の領域のフォーカス位置のオフセット量の最小二乗近似平面を制御する平面とする。そして、フォーカス位置並びにチルト

10

20

30

40

50

量を変えて露光を行えば良い。

【0077】

例えば、半導体露光装置の投影レンズの収差が可変であり、この多点のフォーカスずれ量の形状と合っていれば、最小二乗近似平面とせず、例えば像面湾曲となる偶関数の平面と投影レンズの収差を変えて露光することでも良い。

【0078】

露光量に関しても、ウェハ内のショット毎で最適値が異なっても良いし、ショット内の異なった位置で最適な露光量となっても対応可能である。またスリット状の露光領域内の各位置における露光量のオフセット量を設定してもよいし、レチクルまたはウェハの走査方向において露光量のオフセット量を設定した場合でも、照明系のスリット幅等を可変とすれば対応することが可能となる。

10

【0079】

このように、ウェハ上の複数の領域の各々について、パターンの形状の情報を取得することにより、デバイス全体について最適なフォーカス位置及び露光量のオフセット量を求めることができる。

【0080】

以上のように、露光方法500によれば、量産段階において、FEMの様にフォーカス位置を微小量ずつ変更して露光を行うことは必要がない。そして、ホットプレートの不均一性やレチクルの作製誤差（平坦度）等の外的要因による誤差を考慮して、一つの露光条件から最適な露光量とフォーカス位置を設定することが可能となる。したがって、CDに影響する外的要因の変動があった場合でも、ライブラリーを適宜更新する必要がない。そのため、ウェハを高いスループットで処理することができ、低コストでデバイス（半導体デバイスや液晶デバイス）を提供することができる。

20

【0081】

なお、上記の方法では、露光量およびフォーカス位置のオフセット量を演算処理により求める。したがって、中央処理装置4を用いて上記の演算処理をコンピュータプログラムとして実行し、露光量およびフォーカス位置のオフセット量を求めることができる。

【0082】

次に、上記説明した露光方法を利用したデバイスの製造プロセスを説明する。図16に半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す。ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（レチクル製作）では設計した回路パターンを形成したレチクルを製作する。一方、ステップ3（ウェハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したレチクルとウェハを用いて、リソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組立て）は後工程と呼ばれ、作製されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の組立て工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これを出荷（ステップ7）する。

30

【0083】

図17は、上記ウェハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウェハ表面に絶縁膜を成膜する。ステップ13（電極形成）ではウェハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打込み）ではウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では上記説明した露光方法、露光装置によってレチクルの回路パターンをウェハに焼付露光する。ステップ17（現像）では露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことにより、ウェハ上に多重に回路パターンを形成する。

40

50

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 4 】

【図 1】本発明の半導体製造システムを示す概略構成図である。

【図 2】図 1 に示す露光装置の構成を示す概略ブロック図である。

【図 3】図 2 に示す露光装置の露光方法を示すフローチャートである。

【図 4】図 3 に示すフローチャートの F E M パターンの製造方法を示すフローチャートである。

【図 5】通常の C D - S E M を使用した計測結果を示す画像データである。

【図 6】図 5 のウェハを 1 5 度傾けて観察した計測結果を示す画像データである。

【図 7】図 5 及び図 6 に示す画像データを形状情報に変換したグラフである。

【図 8】ウェハ上に形成された F E M パターンの各ショット内のレジストパターンの一部を拡大した図である。

【図 9】図 8 に示すレジストパターンの立体形状である線幅、高さ、側壁角度を測定したグラフである。

【図 1 0】ウェハ上に形成された F E M パターンの各ショット内のレジストパターンの一部を拡大した図である。

【図 1 1】図 1 0 に示すレジストパターンの太枠内にあるパターンから求めた線幅と露光量の関係を示すグラフである。

【図 1 2】ウェハ上に形成された F E M パターンの各ショット内のレジストパターンの一部を拡大した図である。

【図 1 3】図 1 2 に示すレジストパターンの太枠内にあるパターンから求めたフォーカス位置とレジストパターンの線幅の関係を示すグラフである。

【図 1 4】ウェハ上に形成された F E M パターンの各ショット内の最適なフォーカス位置及び最適な露光量からのオフセット量を示すグラフである。

【図 1 5】形状情報計測値を用いてフォーカス位置のオフセット量及び露光量のオフセット量を算出するフローチャートである。

【図 1 6】図 2 に示す露光装置を利用するデバイスの製造方法のフローチャートである。

【図 1 7】図 1 6 に示すステップ 4 の詳細なフローチャートである。

【図 1 8】フォーカス位置と線幅との関係を露光量ごとにプロットした図である。

【符号の説明】

【 0 0 8 5 】

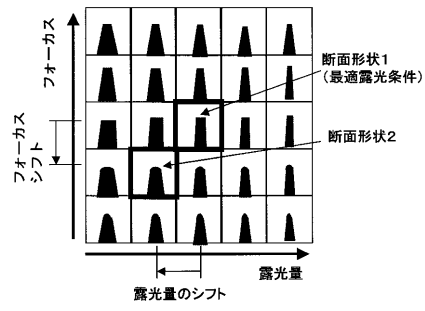
- 1 露光装置
- 2 露光装置
- 3 形状測定装置
- 4 中央処理装置
- 5 データベース

10

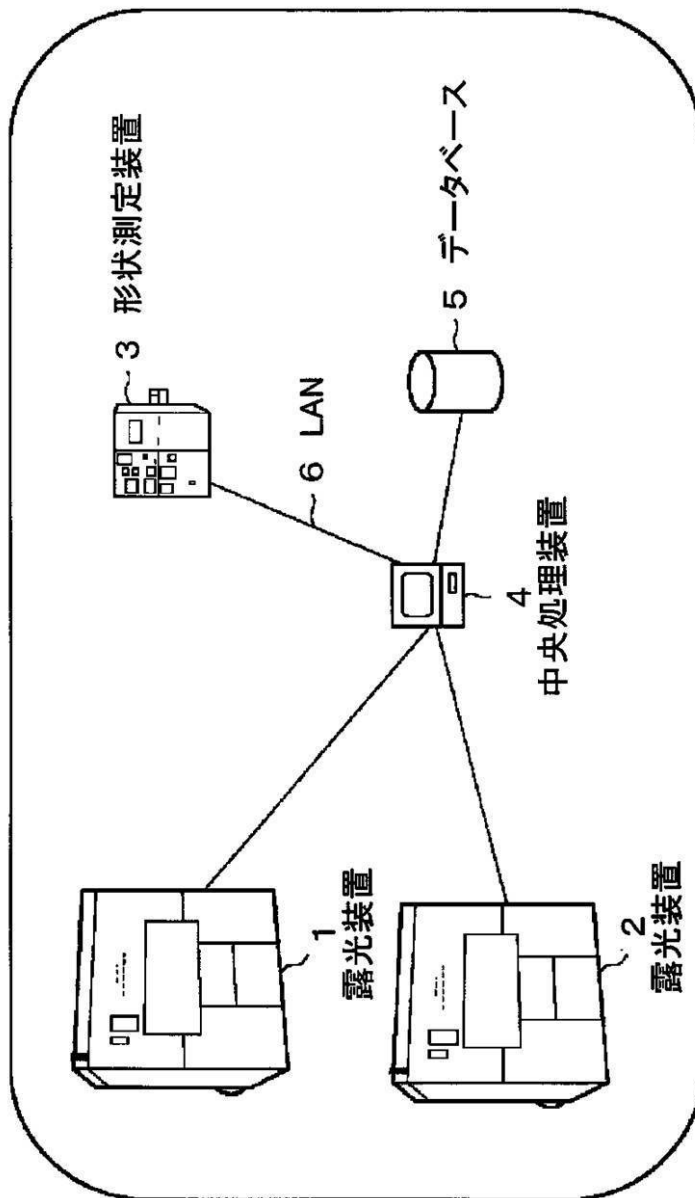
20

30

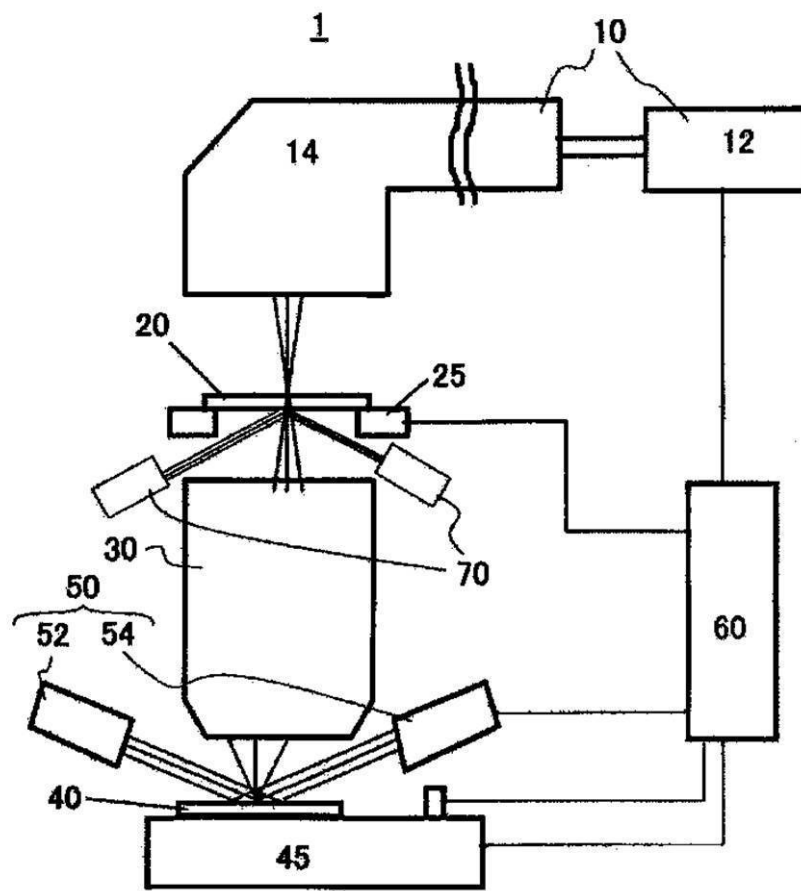
【図 14】



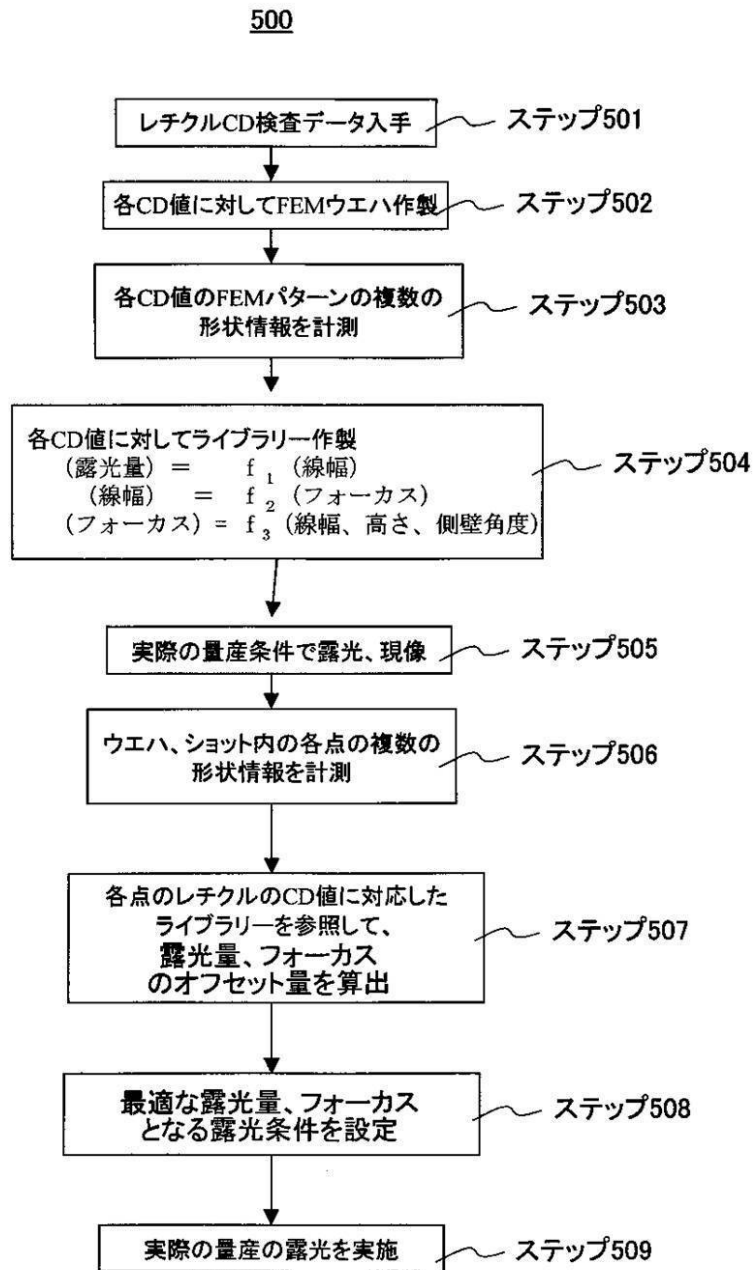
【図 1】



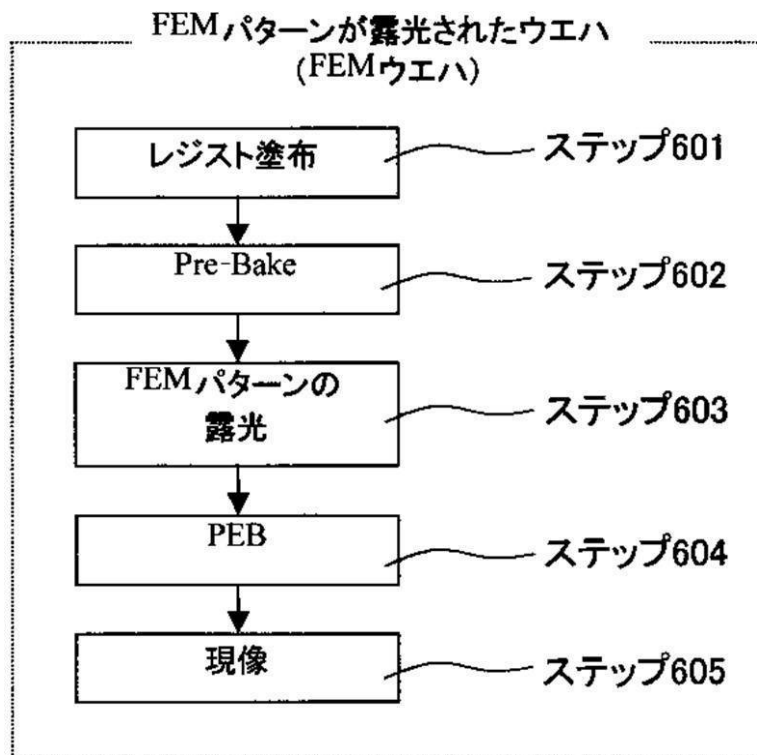
【図2】



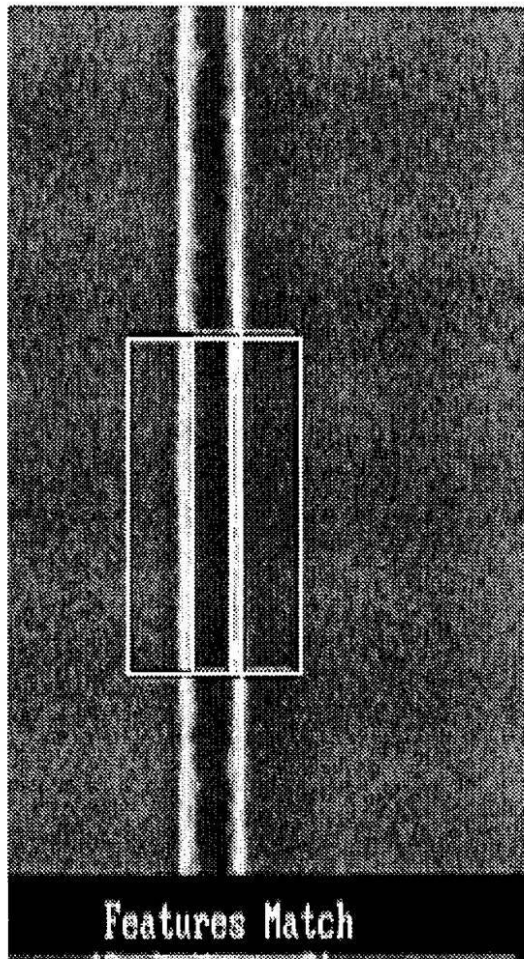
【図 3】



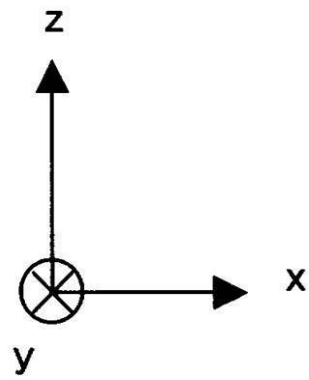
【図4】

600

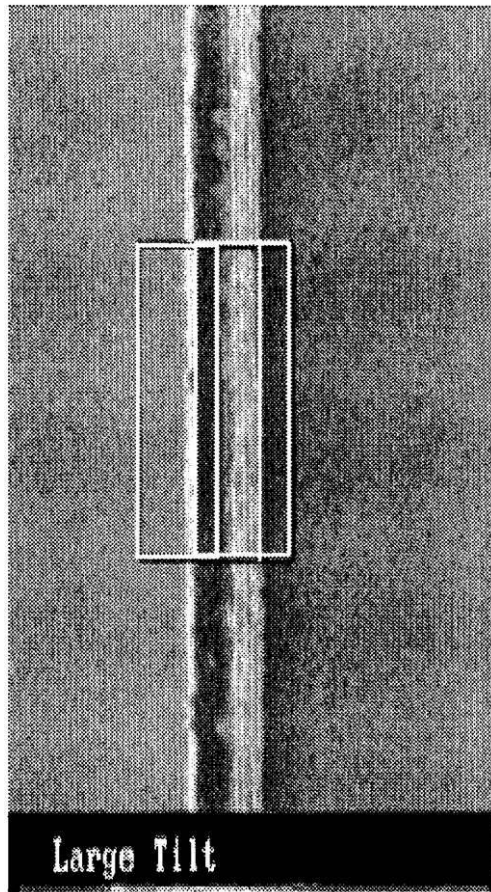
【図 5】



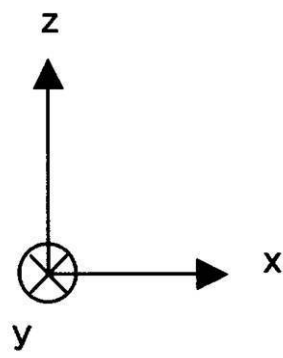
tilt0 度



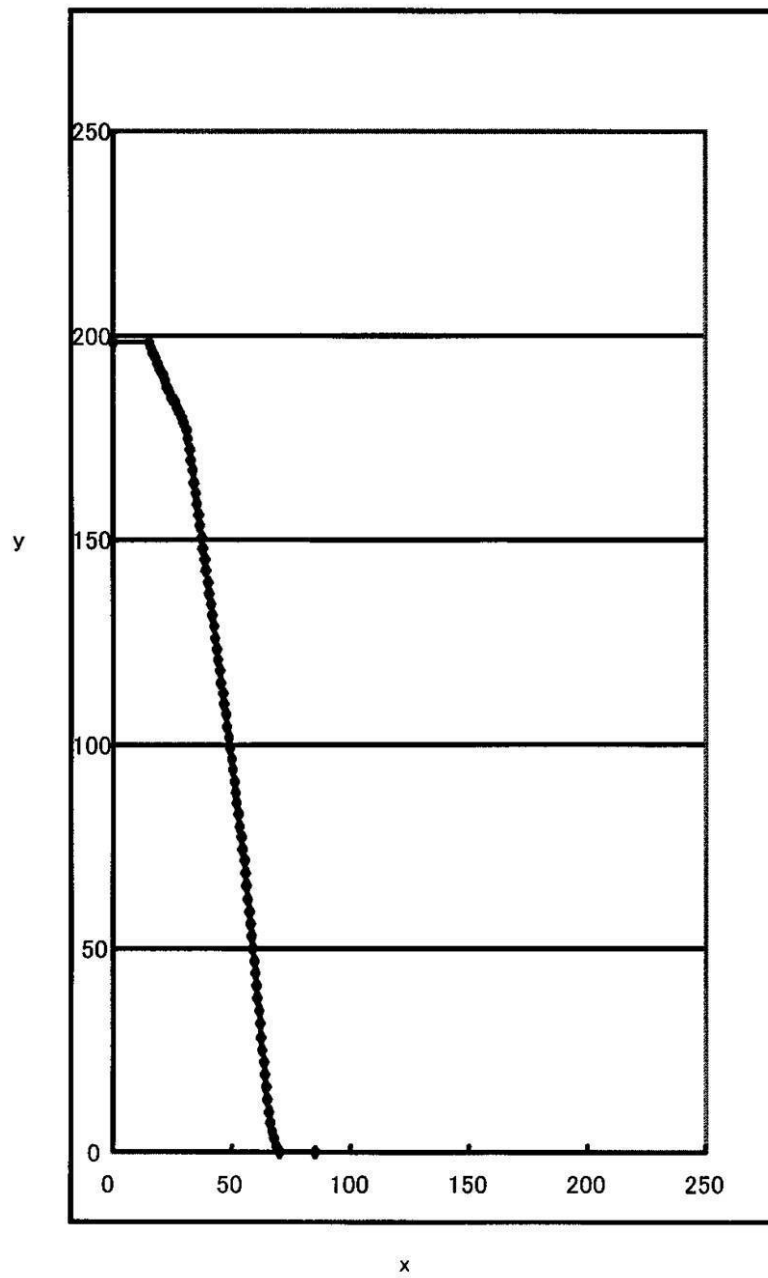
【図 6】



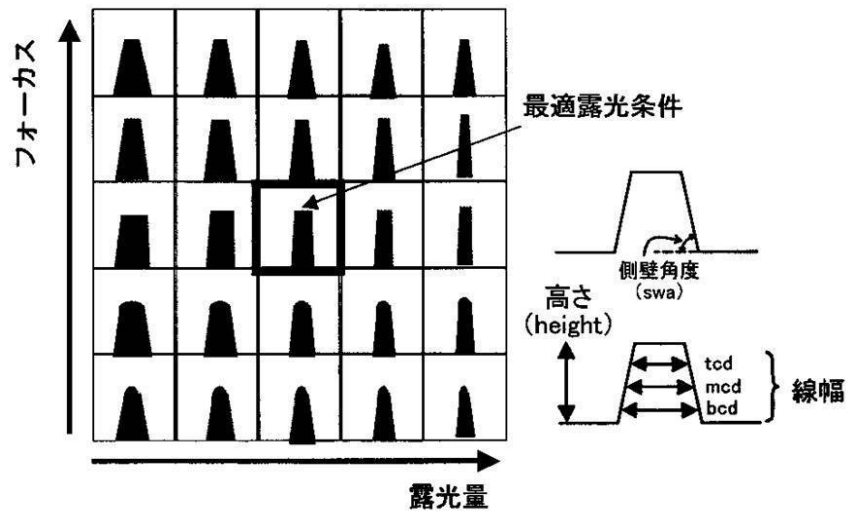
tilt右 15 度



【図 7】



【図 8】



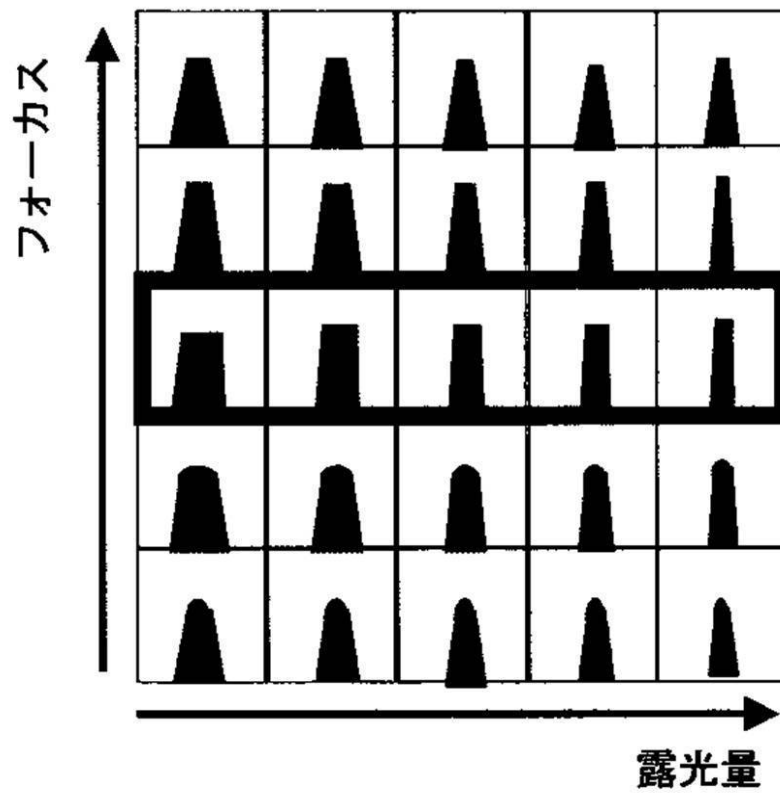
【図 9】

focus	dose	tcd(nm)	mcd(nm)	bcd(nm)	height(nm)	swa(deg.)
-0.12	5.904	61.50	92.08	117.98	207.91	77.48
-0.09	5.904	70.25	96.89	120.67	207.91	78.82
-0.06	5.904	76.51	100.16	122.32	207.91	79.73
-0.03	5.904	80.92	102.22	122.97	207.91	80.62
0	5.904	83.62	103.10	122.66	207.91	81.26
0.03	5.904	84.77	102.77	121.30	207.91	81.71
0.06	5.904	84.59	101.33	118.83	207.91	82.08
0.09	5.904	82.84	98.51	115.34	207.91	82.74
0.12	5.904	79.74	94.45	110.61	207.91	82.95
-0.12	6.068	57.01	88.22	113.97	207.91	77.31
-0.09	6.068	66.49	93.05	116.78	207.91	78.72

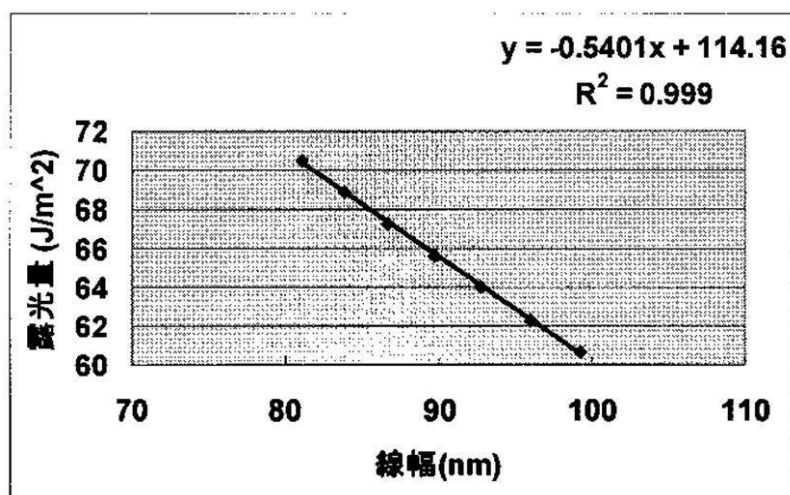
}

0.03	7.216	60.82	78.31	94.45	207.91	82.37
0.06	7.216	60.53	76.33	91.49	207.91	82.94
0.09	7.216	58.23	72.77	86.93	207.91	83.47
0.12	7.216	53.76	67.12	80.63	207.91	83.74

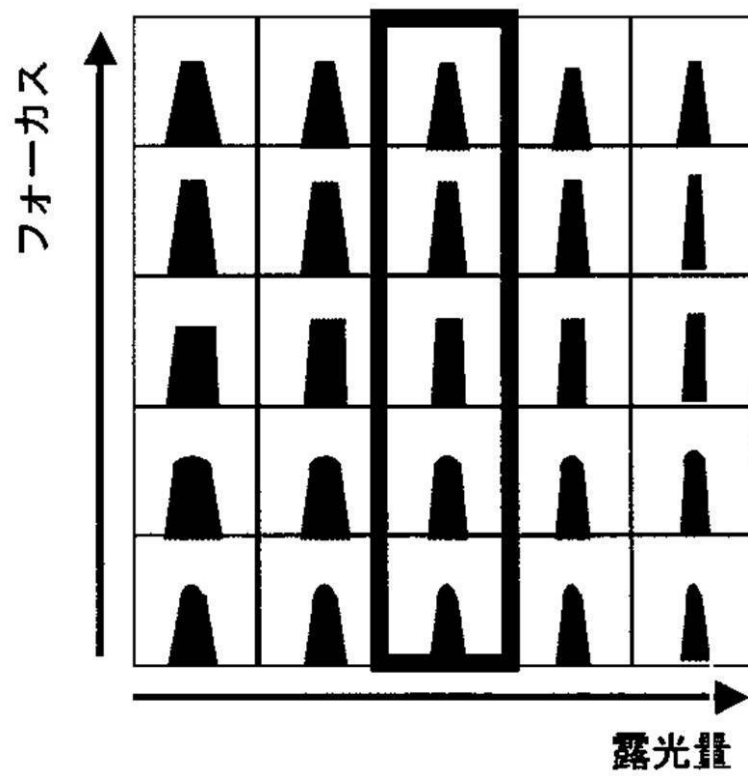
【図10】



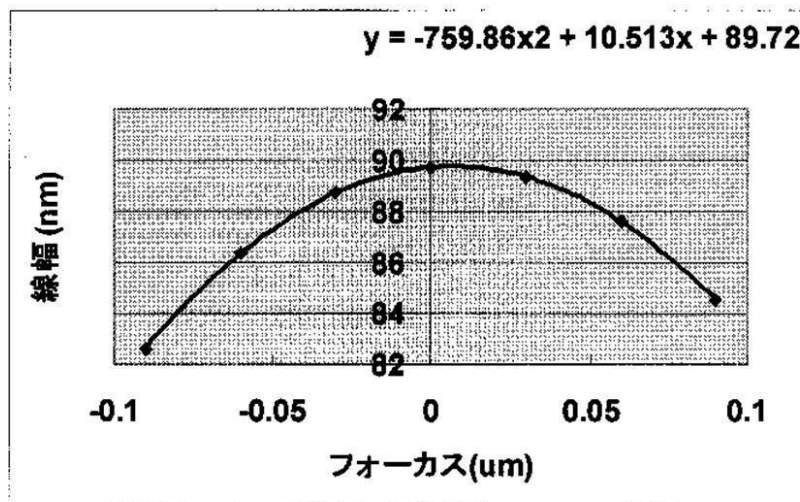
【図11】



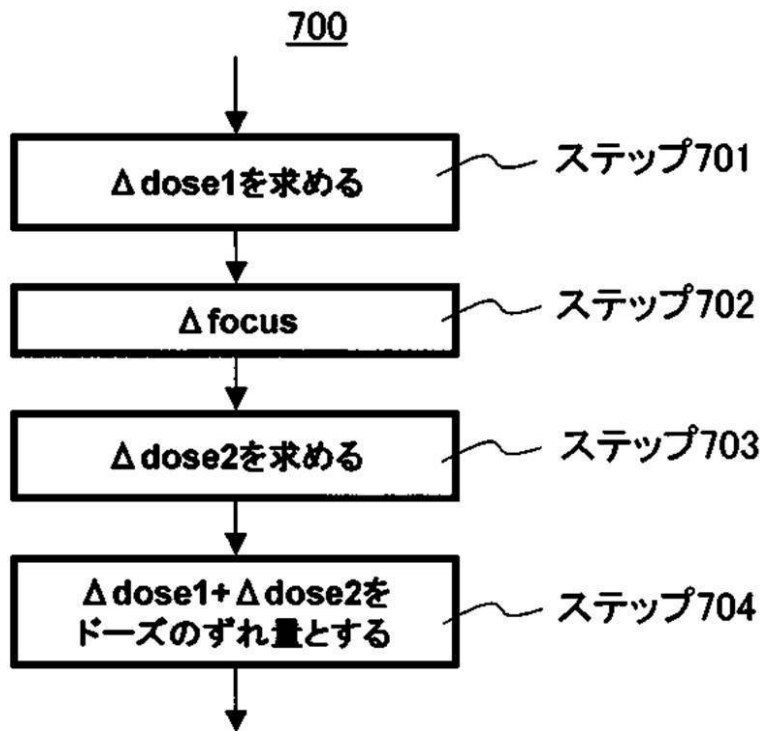
【図 12】



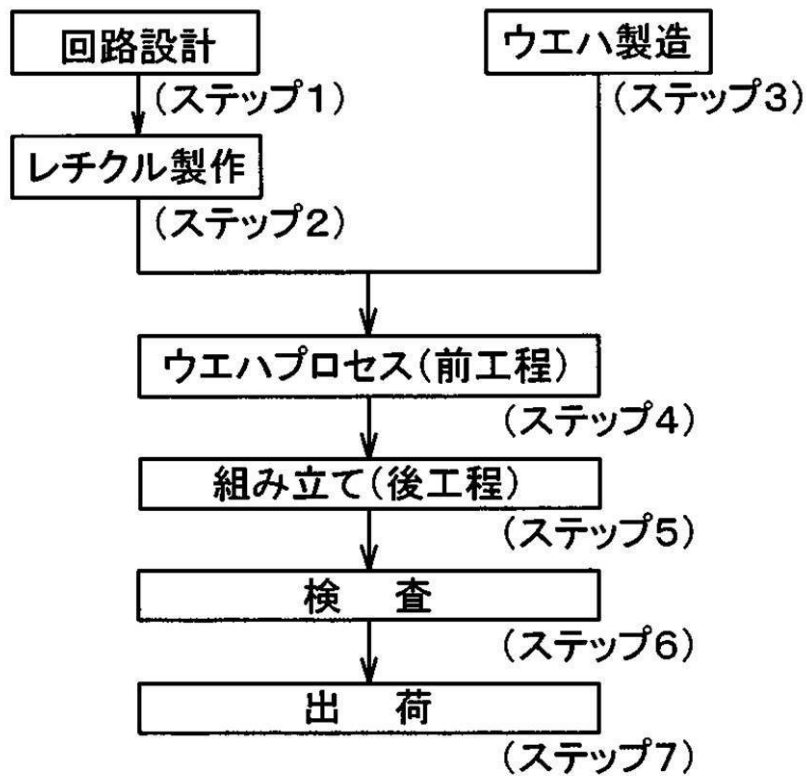
【図 13】



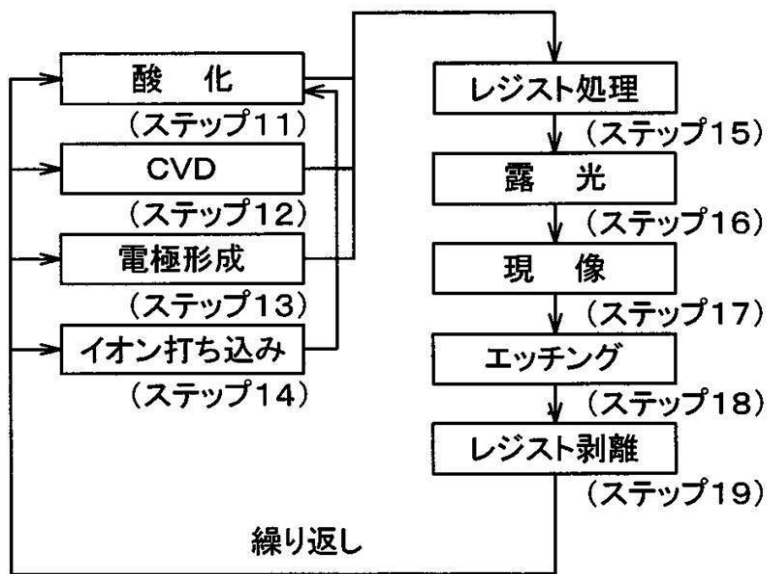
【図15】



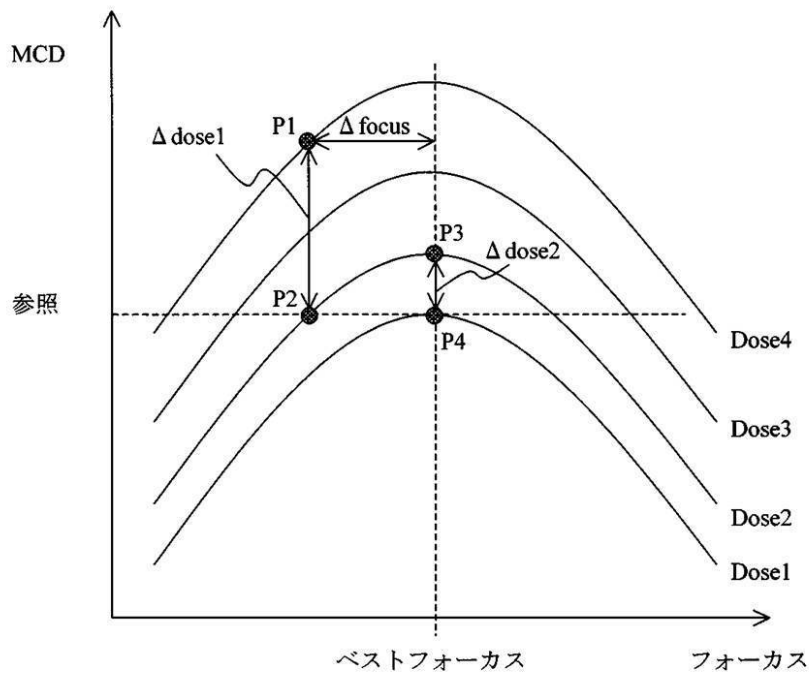
【図16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

- (72)発明者 三上 晃司
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 杉村 義昭
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 吉井 啓人
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 佐野 浩樹

- (56)参考文献 特開2004-079681(JP,A)
特開2005-101511(JP,A)
特開2007-184378(JP,A)
特開2005-064023(JP,A)
特開2003-142397(JP,A)
特開2005-094015(JP,A)
特開2003-243291(JP,A)
特開平10-064801(JP,A)
特開平10-032160(JP,A)
特開昭62-132318(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027、21/30