

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 12 月 18 日(18.12.2014)



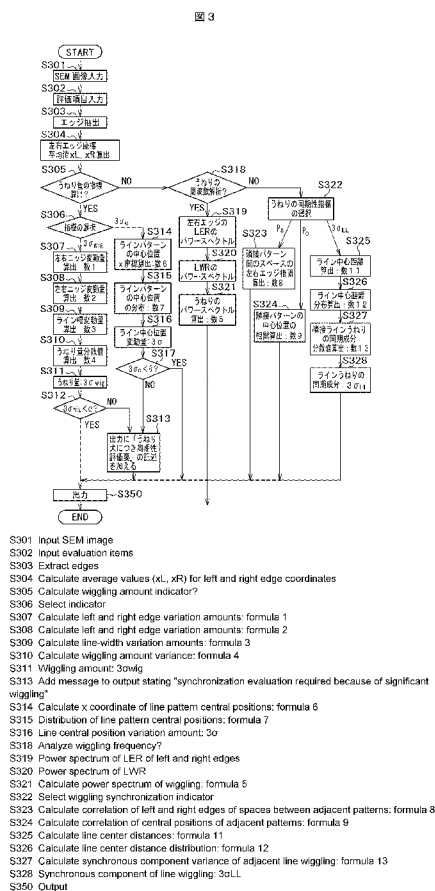
(10) 国際公開番号
WO 2014/199820 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 15/00 (2006.01) H01L 21/66 (2006.01)
G01B 15/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/064006
- (22) 国際出願日: 2014 年 5 月 27 日(27.05.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-122614 2013 年 6 月 11 日(11.06.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ(HITA-CHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目 2 4 番 1 4 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 山口 敦子(YAMAGUCHI Atsuko); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 川田 洋揮(KAWADA Hiroki); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目 2 4 番 1 4 号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: ポレール特許業務法人(POLAIRE I.P.C.); 〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目 7 番 1 号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR LINE PATTERN SHAPE EVALUATION

(54) 発明の名称: ラインパターンの形状評価方法及びその装置



(57) Abstract: The present invention pertains to a method and device for quantitatively evaluating the degree and characteristics of wiggling, which is a phenomenon that occurs in electronic device fabrication processes and consists of the deformation in the same shape of the left and right edges of fine line patterns, and takes advantage of the fact that this wiggling is included in measured values for line edge variation but not line width variation by acquiring the differences between these values. Further, the present invention is configured so as to calculate line center positions and use the distribution of the deviation from the average line center position as an indicator. Additionally, the present invention is configured to quantify wiggling characteristics by outputting a coefficient of wiggling correlation between lines or a wiggling component synchronized between lines as an indicator.

(57) 要約: 本発明は、電子デバイス作成工程で現れる微細なラインパターンの左右のエッジが同じ形で変形する現象、即ちうねりの度合いと特徴とを定量的に評価する手法及びその装置に関する、ラインエッジの変動の計測値は上記のうねりを含んでいるが、ライン幅の変動量は含んでいないことを利用し、これらの差分をとるようにした。また、ラインの中心の位置を算出し、その平均位置からのずれの分布を指標とするようにした。更に、ライン間のうねりの相関係数、あるいはライン間の同期しているうねり成分を指標として出力することで、うねりの特徴を定量化するようにした。

WO 2014/199820 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：ラインパターンの形状評価方法及びその装置

技術分野

[0001] 本発明は、電子デバイスや光学デバイスの製造過程における、微細なラインパターンの形状を評価する方法及びその装置に関するものである。

背景技術

[0002] LSI製造技術に代表される近年の微細加工技術においては、パターンの微細化に伴って歩留まり向上が困難になりつつある。そのため、リソグラフィやエッチングの後に行うパターン寸法及び形状検査が、二つの意味でこれまで以上に重要になってきた。第一に、観察対象自身の合否判定である。生産工程中のできるだけ早い段階で不良品を見つけて加工をやり直すあるいは廃棄することが、最終的な生産性を向上する。第二に、加工装置の状態やプロセスのモニタリングである。検査によって装置の異常やプロセス上の誤りが検知されれば、その結果をフィードバックすることで、それ以上の加工失敗を防ぐことができる。製造工程に見られる基本的なパターンはラインパターンであるため、微細なラインパターンに対する寸法及び形状検査を高い精度で行うことが、製品の生産性向上にとって重要である。

対象パターンの寸法が100nm以下にまで微細化されてきたため、前述の検査は、電子顕微鏡観察によって行われることが多い。微細なパターンに対して有効な検査方法は、走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：SEM）によって得られるパターン上方からの観察画像を解析することである。但しパターンの寸法が数百nm程度あるいはそれ以上であれば、レーザー顕微鏡を用いて上方から、同様に観察・解析してもよい。

SEM、レーザー顕微鏡、いずれを用いる場合であっても、観察するだけではパターンを精確に検知することができず、また、生産管理に応用することもできない。上方からの観察画像に対して解析を行って、パターンの良否判定を可能にする指標を算出することが必要になる。これまでは、デバイスパター

ンの中でも製品性能管理上重要なパターンの寸法をCritical Dimension、即ちCDと呼び、それを指標としてきた。しかしパターンの微細化に伴い、単なる平均的なCDだけではなく、ラインパターンエッジの微小な凹凸（Line-edge roughness、即ちLER）が引き起こすライン幅の局所的な変動（Linewidth roughness、即ちLWR）なども定量化し指標に用いる必要が生じた。CDが設計どおりであっても、LWRが大きければデバイスの性能が不十分になるからである。これについては非特許文献1に詳しく記述されている。

[0003] さらに微細化が進み、ラインパターンのピッチが80nm以下になると、新しい現象が発生した。これはラインの幅はほぼ一定を保ったままライン中心の位置が変動するという現象である。このようなライン形状の劣化（以下、うねりと呼ぶ）があると、例えばLSIの配線の抵抗率が設計値からずれたり、上下層との重ね合わせ誤差が大きくなりショートやオープン不良が発生したりする。そのため、これを検知する必要がある。なお、ここでは、パターンができてからうねりが生じた場合も、初めからライン中心位置が変動した形でラインが形成された場合も区別せず、うねり、と呼ぶことにする。

しかしこのうねりは、これまでのCD計測でもLWR計測でも検知できない。うねりがあってもなくてもCDやLWRは変わらないからである。LER計測で検知することができるが、その場合でもレジスト材料の不均一性や現像工程でランダムに自然発生する、ラインの左右が同期していない通常のLERと区別することができない。この現象を取り扱っている例としては非特許文献1が挙げられる。この文献の中では、ラインパターンの寸法値がある値以下になるとこのうねりが見られることから、パターン形成プロセス条件に対して、うねりが起こる最大パターン寸法を指標とし、その寸法値が小さいほど、よいプロセスだという評価をしている。

ラインパターンのうねりの程度を定量化する試みとして、非特許文献2に示すLER、LWR、SWR（Space width roughness）を組み合わせた指標による評価方法が提案されている。

上記の他に、LERの原因を探索する目的で、ライン左右のエッジ形状の相関を

とる、という手法が提案された。この内容は特許文献1に記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2003-037139号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献1：Y. Someya他「Spin-on-Carbon-Hardmask with high wiggling resistance」Proceedings of SPIE, Vol.8325, 83250U 2012年

非特許文献2：T. Lee他「Application of DBM system to overlay verification and wiggling quantification for advanced process」Proceedings of SPIE, Vol.8324, 83241B 2012年

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 非特許文献1には、ラインパターンの寸法値がある値以下になるとこのうねりが見られることから、パターン形成プロセス条件に対して、うねりが起こる最大パターン寸法を指標とし、その寸法値が小さいほど、よいプロセスだという評価をしている。しかしパターンの画像に対して、うねりがあるのかないのかの判断を、何を用いて行ったのかは明確にされていない。今後、この文献にあるようなプロセスの評価は頻繁に実施されると予測できる。従って、微細パターンの形成工程では、このうねりの程度及び特徴を定量化する手法が強く望まれる。

[0007] また、非特許文献2に開示されているLER、LWR、SWR (Space width roughness) を組み合わせた指標による評価方法では、指標がうねりの何を数値化したものなのかがわからない。また、全てのラインが同期してうねる場合には、LWRもSWRも極めて小さい値になるため、LERを測っていることと同じになってしまう。従って、うねりに対する感度は低くなってしまう。

[0008] 更に特許文献1に開示されているライン左右のエッジ形状の相関をとるという手法では、この指標、相関係数 ρ を用いれば、左右ラインエッジの形状

の類似性を測ることができ、間接的にライン中心の変動を検知することができる。しかしこれだけでは、ラインのうねりの程度はわからない。 ρ は無次元の量であり、0から1の値をとるが、左右のエッジが全く同じ形であれば1となる。しかしそのエッジの凹凸の大きさ自体は判らないからである。

[0009] 本発明は、上記した従来技術の課題を解決して、電子デバイスや光学デバイスの生産性を上げるために、検査工程において、微細なラインパターンのトップビュー観察画像から、うねりを定量化すること、またそのうねりの原因となった工程を推定するためのうねりの特徴を定量化するパターンの形状評価方法及びその装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0010] 上記した課題を解決するために、本発明における評価方法は、試料に荷電粒子線を照射し得られた画像における前記試料のラインパターンの形状を評価する評価方法であって、前記ラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出工程と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記両端のエッジ点の変動量を算出する変動量算出工程と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記両端のエッジ点の幅の変動量を算出する幅変動量算出工程と、前記両端のエッジ点の変動量と前記両端のエッジ点の幅の変動量との差分を算出する差分算出工程と、を有することを特徴とする。

[0011] また、上記した課題を解決するために、本発明における評価方法は、試料に荷電粒子線を照射し得られた画像における前記試料のラインパターンの形状を評価する評価方法であって、前記ラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出工程と、前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出工程と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出工程と前記中心点算出工程とを複数回実行する実行工程と、前記実行工程にて算出された複数の前記ラインパターンの中心点の分散値を算出する分散値算出工程とを有することを特徴とする。

[0012] また、上記した課題を解決するために、本発明における評価方法は、試料に荷電粒子線を照射し得られた画像における前記試料のラインパターンの形

状を評価する評価方法であって、前記ラインパターンの輪郭のエッジ点を抽出する抽出工程と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記ラインパターンの輪郭に沿った方向における前記エッジ点の変動量を算出する変動量算出工程と、前記変動量と前記ラインパターンに隣り合うラインパターンのエッジ点の変動量との類似度を算出する類似度算出工程と、を有することを特徴とする。

[0013] また、上記した課題を解決するために、本発明における評価方法は、試料に荷電粒子線を照射し得られた画像における前記試料のラインパターンの形状を評価する評価方法であって、前記ラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出工程と、前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出工程と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出工程と前記中心点算出工程とを複数回実行し前記ラインパターンの中心点の変動量を算出する実行工程と、前記実行工程を隣接する他のラインパターンにおいても実行する隣接パターン実行工程と、前記ラインパターンの中心点の変動量と前記他のラインパターンの中心点の変動量とに基づき、前記ラインパターンと前記他のラインパターンとにおいて類似している変動量を算出する類似変動量算出工程とを有することを特徴とする。

[0014] また、上記した課題を解決するために、本発明におけるラインパターンの形状評価装置は、試料に荷電粒子線を照射し得られた画像が記憶された画像記憶部と、前記画像記憶部に記憶された前記画像におけるラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出部と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記両端のエッジ点の変動量を算出する変動量算出部と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記両端のエッジ点の幅の変動量を算出する幅変動量算出部と、前記両端のエッジ点の変動量と前記両端のエッジ点の幅の変動量との差分を算出する差分算出部と、を有することを特徴とする。

[0015] また、上記した課題を解決するために、本発明におけるラインパターンの形状評価装置は、試料に荷電粒子線を照射し得られた画像が記憶された画像

記憶部と、前記画像記憶部に記憶された前記画像におけるラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出部と、前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出部と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出部と前記中心点算出部との処理を複数回実行する実行部と、前記実行部にて算出された複数の前記ラインパターンの中心点の分散値を算出する分散値算出部とを有することを特徴とする。

[0016] また、上記した課題を解決するために、本発明におけるラインパターンの形状評価装置は、試料に荷電粒子線を照射し得られた画像が記憶された画像記憶部と、前記画像記憶部に記憶された前記画像におけるラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出部と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記ラインパターンの輪郭に沿った方向における前記エッジ点の変動量を算出する変動量算出部と、前記変動量と前記ラインパターンに隣り合うラインパターンのエッジ点の変動量との類似度を算出する類似度算出部と、を有することを特徴とする。

[0017] また、上記した課題を解決するために、本発明におけるラインパターンの形状評価装置は、試料に荷電粒子線を照射し得られた画像が記憶された画像記憶部と、前記画像記憶部に記憶された前記画像におけるラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出部と、前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出部と、前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出部と前記中心点算出部との処理を複数回実行し前記ラインパターンの中心点の変動量を算出する実行部と、前記実行部の処理を隣接する他のラインパターンにおいても実行する隣接パターン実行部と、前記ラインパターンの中心点の変動量と前記他のラインパターンの中心点の変動量とに基づき、前記ラインパターンと前記他のラインパターンとの類似している箇所における変動量を算出する類似変動量算出部とを有することを特徴とする。

発明の効果

[0018] 本発明のラインパターンのうねり評価方法は、トップビューによるライン

パターン観察画像、特に走査型電子顕微鏡画像から、ライン中心位置変動量、いわゆるうねりの量を数値化する。また、このうねり量の空間周波数分布を可視化する。この結果、うねりの程度やうねりの周期の大きさが、観察者の判断に依存せず簡単に行えるようになる。また、このうねり量の大小を装置が自動で判定し、警告を発することも可能になる。また、本発明のラインパターンの中心位置変動評価方法は、前述のうねり量の空間分布から、その異常が何に起因するかの判断を助ける指標を出力することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1] 1本のラインパターンをSEMで撮像して得られるトップビュー観察画像から抽出したパターンエッジと、このラインパターンの断面の模式図である。

[図2] 複数のラインパターンをSEMで撮像して得られるトップビュー観察画像から抽出したパターンエッジと、このラインパターンの断面の模式図である。

[図3] 本発明の処理の全体の流れを示すフロー図である。

[図4] 本発明を実施するための装置の概略の構成を示すブロック図である。

[図5] 本発明の実施例1における処理の流れを示すフロー図である。

[図6] 本発明の実施例1におけるモニタ上に表示される操作ウインドウの正面図である。

[図7] 本発明の実施例1におけるラインパターンをSEMで撮像して得られるトップビュー画像とこのラインパターンの断面の模式図である。

[図8] 本発明の実施例1におけるラインパターンをSEMで撮像して得られるトップビュー画像から抽出されたエッジの位置データを図示したものとこのラインパターンの断面の模式図である。

[図9] 本発明の実施例2における2層に形成されたラインパターンをSEMで撮像して得られるトップビュー画像とこのラインパターンの断面の模式図である。

[図10A] 本発明の実施例2における処理の流れを示すフロー図である。

[図10B]本発明の実施例2におけるラインパターン中心のうねりを評価する処理の流れを示すフロー図である。

[図11]本発明の実施例2におけるラインパターンをSEMで撮像して得られるトップビュー画像から抽出されたエッジの位置データを図示したものである。

[図12]本発明の実施例3において算出されたうねり指標のヒストグラムである。

発明を実施するための形態

[0020] 本発明は、ラインパターンのエッジの変動の計測値はラインパターンのうねりを含んでいるが、ライン幅の変動量は含んでいないことを利用し、これらの差分をとることを主要な特徴とする。

[0021] すなわち、本発明では、ラインパターンのSEM画像において、ラインパターンのエッジや幅のライン長手方向の変動の情報、又はラインパターンの中心位置のライン長手方向の変動の情報からラインパターンのうねりの指標値を求める方法、及び、ラインパターン間の左右エッジの形の相関又はラインパターンの中心位置の形の相関を求めて、ライン中心位置変動量の特徴を表す指標値を求める方法に関するものである。

[0022] その特徴的な方法は、以下の方法である。

まず、ラインパターンのトップビュー観察画像から、1本のラインの左右のエッジの位置を抽出する。抽出されたエッジのトップビュー観察画像100の例をその断面の模式図103と共に図1に示す。x、y、z軸は、図中に示したように設定する。ラインパターンの左側のエッジをそのx座標の集合 $\{x(L, i) | i=1, 2, \dots, n\}$, 右側のエッジをそのx座標の集合 $\{x(R, i) | i=1, 2, \dots, n\}$ で表す。但し図1中ではエッジ点を直線でつないで折れ線として表示している(101、102)。L,Rはそれぞれ左、右を表しており、nはエッジを表す点の総数である。なお、エッジ点のy方向の間隔を Δy とする。また、左エッジのx座標の平均値を x_L 、右エッジのx座標の平均値を x_R とする。エッジ点の位置を表す変数はx、y座標とも単位をnmとする。

[0023] このとき、左右のエッジの形状はそれぞれ、点の集合 $\{\Delta x(L, i) \mid i=1, 2, \dots, n\}$ $\{\Delta x(R, i) \mid i=1, 2, \dots, n\}$ で表すことができる。ここで $\Delta x(L, i)$ 、 $\Delta x(R, i)$ は以下の（数１）で与えられる。

[0024] [数1]

$$\Delta x(k, i) = x(k, i) - x_k \quad \dots (\text{数1})$$

$$k = L, R$$

[0025] 尚、ラインパターンの長手方向はy方向と並行であるとする。並行でない場合は、計算に先立ってラインエッジの近似直線を求めておき、（数１）の代わりに近似直線からの逸脱量を $\Delta x(L, i)$ 、 $\Delta x(R, i)$ と定義するか、或いは、画像を回転させてy方向とラインの長手方向を並行にすればよい。

[0026] ラインエッジの変動量は左右エッジそれぞれに対して以下の（数２）で示した量で表すことができる。

[0027] [数2]

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta x(k, i)^2 \quad \dots (\text{数2})$$

$$k = L, R$$

[0028] ライン幅の変動量は（数３）のように表すことができる。

[0029] [数3]

$$\sigma_w^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \{x(R, i) - x(L, i) - (x_R - x_L)\}^2 \quad \dots (\text{数3})$$

[0030] なお、ここで左辺の添え字wは幅（width）を表している。

これらの量を使い、ラインの左右のエッジ位置変動のうち、左右に共通している部分の大きさを（数４）のようにして求めることができる。

[0031] [数4]

$$\sigma_{wig}^2 = (\sigma_L^2 + \sigma_R^2 - \sigma_w^2) / 2 \quad \dots (\text{数4})$$

[0032] この（数４）の左辺である σ_{wig}^2 、 σ_{wig} 、或いは σ_{wig} の定数倍（例えば $3\sigma_{wig}$ ）

）を、うねりの量の指標とすればよい。ここで添え字のwigはwigglingを表している。

[0033] また、本発明はこの σ_{wig}^2 を周波数成分にわけて表示することができる。二つの集合 $\{\Delta x(L, i) | i=1, 2, \dots, n\}$ $\{\Delta x(R, i) | i=1, 2, \dots, n\}$ をフーリエ変換し、得られたフーリエ係数から左及び右エッジのLERのパワースペクトルを求めることができる。また、 $\{x(R, i) - x(L, i) - (xR - xL) | i=1, 2, \dots, n\}$ から、LWRのパワースペクトルを求めることができる。これらの周波数 f に対するパワー密度を $PSD_L(f)$, $PSD_R(f)$, $PSD_W(f)$ とすると、うねりのスペクトルはパワー密度 $PSD_{wig}(f)$ は（数5）のように与えられる。

[0034] [数5]

$$PSD_{wig}(f) = (PSD_L(f) + PSD_R(f) - PSD_W(f)) / 2 \quad \dots (数5)$$

[0035] また、本発明は、別のうねりの量の指標として、ライン中心位置をライン左右のエッジ位置の平均と定義しその分布を用いることを特徴とする。この指標はパターン転写におけるライン中心位置精度を直接的に表しているため、うねりという現象の検知よりも、形成されたパターンの質を評価するときや後述するように位置ずれ量を評価するときに用いる。特に以下の方法がよい。

[0036] ラインの中心位置のx座標 $xc(i)$ を（数6）のように求める。

[0037] [数6]

$$xc(i) = (x(L, i) + x(R, i)) / 2 \quad \dots (数6)$$

[0038] ここから、ライン中心位置の分布を（数7）の式で計算する。ここで添え字のcはcenterを意味している。

[0039] [数7]

$$\sigma_c^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \{xc(i) - (xR + xL) / 2\}^2 \quad \dots (数7)$$

[0040] この（数7）の左辺である σ_c^2 、 σ_c 、或いは σ_c の定数倍（例えば $3\sigma_c$ ）を、うねりの量の指標とすればよい。または、 $xc(i)$ の値の中で最も大きいものと

最も小さいものとの差分を指標とする方法もある。

[0041] これらは、ランダムに発生するLERの影響を含むため純粋なうねりの量には一致しない。しかしこのラインの存在する層の上層あるいは下層から配線パターンを接続させる場合に重要である。通常は層間の位置合わせが完全ではないため、この位置ずれ量（オーバーレイないしオーバーレイエラーと呼ばれる）を測定する。しかしラインがうねっていると、ある点で計測した層間の位置ずれ量と別の点で計測した層間の位置ずれ量が異なる値をとる。即ち、位置ずれ量の計測値が σ に対応する分布を持つことになる。従って、ラインがうねっている場合は、計測位置ずれ量のみかけ上の誤差に σ の影響を取り込んでおく必要がある。

[0042] また本発明は、うねりの原因を推定するため、スペースの左右のエッジの形の相関をとること、隣接する2本のラインパターンのライン中心位置の形の相関をとること、両方のラインパターンに共通なライン中心位置変動量を計算すること、を特徴とする。これらの詳細を以下に説明する。

[0043] まず、複数本のラインパターンが含まれる観察画像200を取得する。そこから抽出したエッジをラインパターン211-214の断面の模式図210とともに図2に示す。以下、スペースの左右のエッジの形の相関をとる方法を説明する。以下、ライン1-4及びスペースパターン1-3に図2のように番号をつけ、各ラインの左右のエッジに対して（数1）を適用して得たエッジの形状を集合 $\{\Delta x(m, L, i) \mid i=1, 2, \dots, n\}$ $\{\Delta x(m, R, i) \mid i=1, 2, \dots, n\}$ で表す。ここで m がラインの番号である。

[0044] 番号 m のスペースの左右のエッジの形の相関 $\rho_s(m)$ は（数8）のように計算される。

[0045] [数8]

$$\rho_s(m) = \frac{1}{\sigma_R(m) \cdot \sigma_L(m+1)} \sum_{i=1}^n \Delta x(m, R, i) \cdot \Delta x(m+1, L, i) \quad \dots (\text{数8})$$

[0046] ここで、 $\sigma_R(m)$ 、 $\sigma_L(m+1)$ はそれぞれ、 m 番目のラインの右エッジ及び $m+1$ 番目のラインの左エッジに（数2）を適用して求めた σ_R 、 σ_L である。（数6）

の左辺の添え字sはスペースを表している。 $\rho_s(m)$ が1に近い場合はm番目のラインとm+1番目のラインのうねりの形が似ており、同じ原因で2本のラインがうねっていることが推定できる。

[0047] 次に、隣接する2本のラインのライン中心位置の形の相関について説明する。番号mとm+1のラインの中心位置の形の相関 $\rho_c(m, m+1)$ は（数9）のように計算される。

[0048] [数9]

$$\rho_c(m, m+1) = \frac{1}{\sigma_c(m) \cdot \sigma_c(m+1)} \sum_{i=1}^n \Delta xc(m, i) \cdot \Delta xc(m+1, i) \quad \dots (\text{数9})$$

[0049] ここで $\sigma_c(m)$ はm番目のラインパターンのエッジに対して（数6）を適用して得たライン中心位置変動量である。

[0050] また、

[0051] [数10]

$$\Delta xc(m, i) = xc(m, i) - (xR(m) + xL(m)) / 2 \quad \dots (\text{数10})$$

[0052] であり、 $xc(m, i)$ は（数4）をm番目のラインパターンに適用して得られるi番目のライン中心x座標であり、 $xR(m)$ 、 $xL(m)$ はそれぞれ、m番目のラインパターンの左右のエッジのx座標の平均値である。 $\rho_c(m, m+1)$ の添え字cはcenterを表している。この量も0から1までの値をとり、大きいほど、m番目とm+1番目のラインパターンが同じ形でうねっており、同じ原因でうねっている可能性が高いことを表す。

[0053] m番目、m+1番目の両方のラインパターンに共通なライン中心位置変動量は以下のように定義する。まず、m番目とm+1番目のラインパターンの間隔平均値 $xD(m, m+1)$ を、（数11）のように定義する。

[0054] [数11]

$$xD(m, m+1) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (xc(m+1, i) - xc(m, i)) \quad \dots (\text{数11})$$

[0055] 次に、ラインパターンの間隔分布 $\sigma_{LD}(m, m+1)$ を計算する。

[0056]

[数12]

$$\sigma_{LD}(m, m+1)^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum (xc(m+1, i) - xc(m, i) - xD(m, m+1))^2$$

... (数12)

[0057] 次に、両方のラインパターンに共通なライン中心位置変動量が求められる。

[0058] [数13]

$$\sigma_{LL}(m, m+1)^2 = (\sigma_c(m)^2 + \sigma_c(m+1)^2 - \sigma_{LD}(m, m+1)^2) / 2$$

... (数13)

[0059] この式の左辺である $\sigma_{LL}(m, m+1)^2$ 、 $\sigma_{LL}(m, m+1)$ 、或いは $\sigma_{LL}(m, m+1)$ の定数倍（例えば $3\sigma_{LL}(m, m+1)$ ）を、両方のラインパターンに共通なライン中心位置変動量の指標とすればよい。

[0060] また本発明は、うねりの原因を推定するため、上記の隣接する2本のラインパターンのライン中心位置の形の相関 $\rho_c(m, m+1)$ をラインパターンの並ぶ順に表示させたり、 $\rho_c(m, m+1)$ を複数個所で計測しヒストグラムを表示させたりすることを特徴とする。

[0061] また本発明は、うねりの原因を推定するめ、LERのパワースペクトルからLWRのパワースペクトルの2倍を差し引いたものを表示させることを特徴とする。

[0062] 以上の方法により観察対象の良否判定を行ったり、パターン形成プロセスをモニタリングしたりするには、エッジの検出及び上記の計算を行う計算装置を電子顕微鏡のような観察装置に接続し、画像を選択し、評価を実施する装置システムを構築することができる。

以上に説明した半導体デバイスのラインパターン形成プロセスを経てウェハ上に形成されたラインパターンのうねりをSEM画像を用いて評価する方法について、図3のフロー図を用いて説明する。

[0063] 先ず、表面にラインパターンが形成された試料(半導体ウェハ)をSEMを用いて撮像した画像を入力するとともに解析する対象領域を指定する (S3

01)。この後のフローでは、この領域に含まれるラインあるいはスペースについて解析を行う。次に、評価項目を入力する(S302)。評価項目としては、うねりの有無を判定するためのうねり量の指標(うねり量： $3\sigma_{wig}$ 、ライン中心位置変動量： $3\sigma_c$)、うねりの特徴を解析するためのスペクトル(パワー密度： $PSD_{wig}(f)$)、うねりが空間的にどの程度揃っているかを評価するためのうねりの同期性指標(スペースパターンの左右エッジの相関： ρ_s 、ライン中心位置変動同士の相関： ρ_c 、うねりの同期成分 $3\sigma_{LL}$)である。これら三つの項目のうちの一つ又は複数を評価項目として入力する。

[0064] 次に、入力したSEM画像を処理してラインパターンのエッジを抽出し(S303)、ラインパターンの画像の左右のエッジの座標の平均値 x_L 、 x_R を算出する(S304)。次に、S302で入力した評価項目がうねり量であるかをチェックし(S305)、YESの場合にはS306に進んで、評価に用いる指標を選択する。 $3\sigma_{wig}$ を選択した場合はS307に進む。

[0065] このフローでは、まず、(数1)を用いてラインパターンのSEM画像からラインパターンの左右のエッジ形状を算出し(S307)、(数2)を用いて左右エッジの変動量を算出し(S308)、(数3)を用いてライン幅変動量を算出し(S309)、(数4)を用いてラインパターンの左右の共通部分のエッジ位置の変動量 σ_{wig}^2 を算出し(S310)、この算出した結果からうねり指標値 $3\sigma_{wig}$ を求める(S311)。

[0066] 次に、この求めたうねり指標値 $3\sigma_{wig}$ が予め設定しておいた基準値 α よりも小さいかをチェックする(S312)。うねり指標値 $3\sigma_{wig}$ が基準値 α よりも小さければ(S312でYESの場合)、このラインパターンのうねりは十分小さいとして、うねり指標値 $3\sigma_{wig}$ を出力して(S350)、終了する。

[0067] 一方、うねり指標値 $3\sigma_{wig}$ が予め設定しておいた基準値 α と同じかそれ以上であった場合(S312でNOの場合)には、S313により『この観察対象のうねりが大きく、発生の原因を究明するために同期性の評価をさらに行うべきである』という情報を、出力すべきデータに加えた後、出力する(S350)。

また、S 3 0 6 の工程において、うねり量の指標として $3\sigma_c$ を選択した場合、S 3 1 4 に進み、(数6)を用いてラインパターンの中心位置座標を求め、(数7)に従ってその分布を求め(S 3 1 5)、さらにその値からライン中心位置変動量 $3\sigma_c$ を計算する。

次にこの $3\sigma_c$ の値が予め設定しておいた基準値 β と小さいかをチェックする(S 3 1 7)。小さければ(S 3 1 7 で Y E S の場合)、このラインパターンのうねりは十分小さいとして、うねり指標 $3\sigma_c$ を出力して(S 3 5 0)、終了する。

一方、うねり指標 $3\sigma_c$ が β と同じかそれ以上であった場合(S 3 1 7 で N O の場合)には、S 3 1 3 により『この観察対象のうねりが大きく、発生の原因を究明するために同期性の評価をさらに行うべきである』という情報を、出力すべきデータに加えた後、出力する(S 3 5 0)。

[0068] また、S 3 0 5 の判定において、評価項目がうねり量の指標でない場合には(N O の場合)、S 3 1 8 へ進んでうねりの周波数解析を行うかどうかを判定し、Y E S の場合には、ラインパターンの左右にエッジのL E Rのパワースペクトルを求め(S 3 1 9)、次にL W Rのパワースペクトルを求め(S 3 2 0)、(数5)を用いてうねりのパワースペクトル $PD S_{wig}$ を算出し(S 3 2 1)、その結果を出力する(S 3 5 0)。

[0069] 一方、S 3 1 8 でN Oと判定された場合には、うねりの原因究明に役立つ、うねりの同期性指標値を求めるフローを実行する。うねりの同期性指標にも種類があるため、この処理フローでは先ず指標を選択する(S 3 2 2)。ここで指標として隣接パターン間のスペースの左右エッジの相関 ρ_s が選択された場合、S 3 2 3 に進み、(数8)を用いて ρ_s を算出し、出力する(S 3 5 0)。

[0070] 指標として、隣接ラインパターンの中心位置の相関 ρ_c が選択された場合、S 3 2 4 に進み、(数9)を用いて ρ_c を算出し、出力する(S 3 5 0)。隣接するラインうねりの同期成分 $3\sigma_{LL}$ が選択された場合、S 3 2 5 に進み、先ず(数11)に従ってライン中心距離を算出する。次にS 3 2 6 に進み、(数1

2) に従って、前の工程で計算したライン中心距離の値の分布を算出する。次に S 3 2 7 に進み、(数13) を用いて隣接ラインうねりの同期成分の分散値を算出し、S 3 2 8 に進んでラインうねり同期成分 $3\sigma_{LL}$ を出力する (S 3 5 0)。

[0071] また、S 3 1 2 あるいは S 3 1 7 で指標の値が基準値を超えたためにうねりが大きいという情報が出力された場合には、本図にフローを示したアルゴリズムとは別に、うねりの原因を推定するための情報として、隣接するラインパターン間のライン中心位置の形の相関 ρ 。(m、m+1) を複数次求め (S 3 3 1)、この複数の ρ 。(m、m+1) をラインパターンの並ぶ順に表示させたり、複数の ρ 。(m、m+1) のヒストグラムを画面上に表示する。

[0072] 以下に本発明を適用した実施例を、図を用いて説明する。

実施例 1

[0073] 本発明の第一の実施例を以下、図 4 乃至図 8 を用いて説明する。本実施例では、ラインパターンのエッジのうねりの指標 σ_{wig} を用いてエッチング後のラインパターンの合否判定を行い、うねり指標値が許容限度を超えたラインパターンについては、うねり発生の原因を推定できるようにした。

[0074] 本実施例では、図 4 に示すような測長機能を有する SEM (以下 CD-SEM と記す) を用いて検査対象の試料の画像を取得して、この画像を処理することにより実行する。

[0075] 図 4 に示した CD-SEM は、鏡筒 3 0 1、電子源 3 0 2、この電子源 3 0 2 から発射された電子ビーム 3 0 3 を収束させる集束レンズ 3 0 4、集束された電子ビームを偏向させる偏向電極 3 0 5、偏向された電子ビームを試料であるウェハ 3 0 7 の表面に収束させて照射する対物レンズ 3 0 6、試料 3 0 7 を載置して XY 平面内で移動可能なテーブル 3 0 8、電子ビーム 3 0 3 が照射された試料 3 0 7 から発生した二次電子(反射電子も含む)を検出する検出器 3 1 0、検出器 3 1 0 から出力された信号を処理すると共に、電子源 3 0 2 と集束レンズ 3 0 4、偏向電極 3 0 5、対物レンズ 3 0 6、テーブル 3 0 8 を制御する制御系 3 1 1、この制御系 3 1 1 と接続するコンピュー

タ 3 1 2、コンピュータ 3 1 2 と接続するデータ記憶装置 3 1 3、ディスプレイ 3 1 5 を備えたモニタ 3 1 4 を備えて構成されている。

[0076] 本実施例における処理の手順は、図 5 に示すように、まず、図 4 に示した構成で、コンピュータ 312 から C D - S E M の制御系 311 に命令を送り、エッチング加工によりシリコンのラインパターンが形成されているウエハ 307 を装置内に移動し、ステージ 3 0 8 を移動してラインパターン群が観察視野に入るよう調整し、収束レンズ 304 及び対物レンズ 306 と偏向電極 305 を電氣的に調整してコンピュータ 312 からの信号により試料 3 0 7 に形成されたパターンのトップビュー画像を取得する。(S501) 次に、その取得した画像データを一端コンピュータ 312 内の記憶領域に記録したのち、撮像条件のデータとともにデータ記憶装置 313 にセーブする (S502)。

[0077] その後、コンピュータ 312 からの指令で評価を行うプログラムを起動させる。プログラム中では評価対象とする画像を指定して、データ記憶装置 313 からその画像と撮像条件とのファイルを読み出し (S503 : 図 3 の S 3 0 1 に相当)、モニタ 3 1 4 の画面 3 1 5 上に観察画像を表示させる (S504)。次にモニタ 3 1 4 の画面 3 1 5 上に表示された画像上で、解析したい領域を指定する (S505 : 図 3 の S 3 0 2 に相当)。

[0078] 次に、解析領域を指定したモニタ 3 1 4 の画面 3 1 5 に表示されている複数の解析方法(図 6 参照)の中から今回実行する解析の種類である $3\sigma_{wig}$ を指定し (S506)、モニタ 3 1 4 に表示された実行ボタンをクリックすることにより指定された解析を実行する (S507 : 図 3 の S307 乃至 S311 に相当)。

[0079] 次に、解析により算出した $3\sigma_{wig}$ を予め設定した許容上限値 α と比較し (S508 : 図 3 の S312 に相当)、 $3\sigma_{wig}$ が α よりも小さい場合 (Y E S の場合) には、検査対象であるウエハ 3 0 7 は良品であるとして結果を出力して (S509 : 図 3 の S 3 5 0 に相当)、評価を終了する。

[0080] 一方、S 5 0 8 で $3\sigma_{wig}$ が許容上限値 α よりも大きかった場合 (N O の場合) には、S 5 1 0 に進んで、自動的に原因の究明のための情報として (数 8) に従い $\rho_s(m)$ を算出し、その結果を出力するというフローを実現する。こ

ここでS510のかわりにS313と同様に警告のみを加えて出力し、原因究明の指標計算は操作者に委ねることも、可能である。

[0081] 次に、S504からS510にかけて実施する処理の例を以下に説明する。

図7は本実施例で観察されたラインパターンのトップビュー画像を二値化し白黒表示させた図で、S504でモニタ314の画面315上に表示される画像700である。この700が表す実際の画像は濃淡のあるモノクロ画像であるがここでは簡便のためそれを二値化している。図7の画像700のサイズは、x軸方向が450nm、y軸方向が2560nmである。なお、図7では画像700内の凹凸部分ができるように、断面図710を同じx軸（ラインパターン711-714に垂直な方向）に沿って表示している。白い帯状の領域702はラインパターン711-714のエッジ近傍を示している。図6は、モニタ314の画面315に表示されたウィンドウを示した図で。図中左側にある画像1011は図7内に示されている画像700と同じものである。

[0082] 次にS505において、モニタ314の画面315上のウィンドウ1010内において、画像上で解析したい領域を指定する。この領域は図7の白い破線の枠701の内部であり、図6中の白い破線1012の内部である。図7の破線の枠701のy方向に沿った寸法は2000nmである。次に、S506において、図6のウィンドウ1010に表示された3つの解析指標、即ちうねりの量の指標である $3\sigma_{wig}$ 、うねりの量の指標で特にライン中心のうねりを検知する $3\sigma_c$ の中から、今回使う解析方法を選択する。本実施例では、 $3\sigma_{wig}$ を選択した場合について説明する。

[0083] 解析指標が選択されて、ウィンドウ1010に表示された「実行」ボタン1013をクリックすることにより、S507において、この枠701内のパターンのエッジについてうねりの指標として後述する σ_{wig} の3倍を算出するよう命令を実行する。まず、破線の枠701内の白い帯状領域から画像処理によってラインパターンのエッジを抽出する。これを表示したものが図8である。図8は計算プロセスを説明するための図で、モニタ314の画面315上

には表示されない。ここでエッジ801と802はラインパターン821の（以下トップビューではライン811と記す）の左右のエッジであり、以下803と804はパターン822に対応するライン812、805と806はパターン823に対応するライン813、807と808はパターン824に対応するライン814の左右のエッジを示す。

パターンエッジの抽出とともにコンピュータ312は、これらのエッジの位置データを用いて、うねりの量を計算する。この手順は以下のとおりである。まずライン811の左右のエッジ801と802の位置データに対して、（数1）（数2）（数3）（数4）に示した式を用いて、 σ_{wig}^2 を算出する。これは1番目のラインの計算結果であるから、この量を σ_{1wig}^2 と記す。同様のことをライン812、813、814に対して実施し、 σ_{wig}^2 を求め、 σ_{2wig}^2 、 σ_{3wig}^2 、 σ_{4wig}^2 、とする。これら四つの量の算術平均をとり、その平方根の3倍、即ち平均の $3\sigma_{wig}$ を、モニタ上の画像1011の角に近い領域に表示する。その数字は5.28nmであった。

[0084] 次に、解析の結果を評価するステップS508において、このウエハを使って作成するデバイスでは、 $3\sigma_{wig}$ の許容限度 α を予め4nmと設定していたため、S508においてNOと判定されて、S510へ進んで、うねりの原因となる工程を特定するために、隣接するラインパターン間のスペースの左右のエッジ間の相関 ρ 。(m)を算出し、結果を画面上に表示して（S509）終了する。

なお、この判定は、実測値と予め入力していた許容限度値 α とを比較し前者が後者を超えた場合に警報が鳴るようにすることで、自動で実施することができる。あるいは、複数のウエハに対して行った上述の判定結果をコンピュータ画面に出力することができる。合格判定だったウエハを次工程に送り、不合格だったウエハをリワーク工程にまわすことで、生産性を向上させることができる。各ラインのエッジ位置データから（数5）に従い、うねりのスペクトルを算出することができる。これにより、うねりの特徴的な周期があれば、それを把握することができる。

- [0085] S 5 0 8において σ_{wig} が許容限度 α と同じかまたは大きいと判断されたラインパターンに対して、うねり評価用のプログラムを指定し、S 5 1 0において $\rho_s(m)$ を算出して、うねりの原因となる工程を同定、対策することで歩留まりを向上させる方法について説明する。
- [0086] まず、図8に示した対象パターンの画像上で、ライン8 1 1から8 1 4のエッジ8 0 1から8 0 8までのうち、8 0 2から8 0 7までに対して、(数8)を適用して $\rho_s(m)$ ($m=1, 2, 3$)を算出する評価用プログラムを指定し、この評価用プログラムを実行する。
- [0087] 本実施例で用いたラインパターンに対しては、 m の順に0.67、0.12、0.73という結果が得られた。同じウエハ上の同じパターン領域の他のスポットで撮像したラインパターン画像9枚に対しても処理を実行し、合計30個の結果を得て平均をとったところ、0.56という大きな値が得られた。このことから、各ラインが独立してうねっているのではなく、同期してうねっている傾向が強いと判断された。このことから、うねりの原因が推測される。
- [0088] まず、極端にうねったラインパターンが生じ隣接ラインパターンに接触したためドミノ倒しのように変形が生じた可能性が指摘された。しかし隣接ラインパターンに接触するほどうねっているパターンは観察されていなかったため、この可能性は否定された。次に、下層の膜厚や表面の濡れ性が局所的に変わっており、その境界でいっせいにラインパターンのエッジが曲がっている可能性が指摘された。しかしプロセスをチェックしたところ、下層の状態がうねりと同じくらいの空間周期で変動する要因が見当たらなかった。
- [0089] 最後に、このプロセスは形成したラインパターンの両側に膜をつけ、元のラインパターンを除去し、膜としてつけた部分を新たなラインパターンとみなす、というSelf-aligned double patterning(SADP)を2回繰り返して作成していたため、最初に形成したパターンのLERがうねりの原因となっている可能性が指摘された。
- [0090] そこで、SADPの最初のラインパターン形成時にLERが小さい材料を導入して形成したパターンについてS 4 0 1～S 4 1 2までを再度実行したところ、

$\rho_s(m)$ の平均値が0.20となった。同時にうねり量 σ_{wig} 自体が充分小さくなった。

[0091] 本実施例によれば、最初の表結果に基づいてSADPの最初のラインパターン形成時にLERが小さい材料を導入するように改善したことにより $\rho_s(m)$ の平均値が小さくでき、うねり量 σ_{wig} 自体も充分小さくすることができ、不合格ウエハ数を半減させることができた。

[0092] 〈変形例1〉

実施例1の変形例1として、うねり評価指標を σ_{wig} に替えて σ_c を用いて評価する場合について説明する。上記のうねり評価指標として σ_{wig} を用いた例では、うねりの原因を特定するためにS510において $\rho_s(m)$ を算出したが、観察対象が帯電するなどして常に一方のエッジにノイズが大きい場合などは、 $\rho_s(m)$ の代わりに(数9)(数10)を用いて得られる指標の $\rho_c(m, m+1)$ を用いると、計算時間は長くなるが高い再現性で計測を行うことができる。この場合、うねり発生の原因となる工程を同定することが容易になり、原因となる工程を対策することで歩留まりを向上させることができる。

[0093] 本実施例によれば、基板上に形成されたパターンのSEM画像を処理してパターンのうねりを定量的に評価できるようにしたことにより、その評価結果をパターンを形成するプロセスにフィードバックして、所望の形状のパターンを安定して形成することができるようになった。

[0094] 上記の検査の結果、不合格と判定された場合には、対象ウエハを次の工程に送らず、前の工程をやりなおす。

[0095] 上記の検査により、性能の低いデバイスが作られることを予防し、また、廃棄物を減少させることができる。特にうねりに特徴的な周波数がある場合、それを用いてデバイスの性能劣化を予測することもできる。

実施例 2

[0096] 本発明の第二の実施例を以下、図9乃至図12を用いて説明する。本実施例では、図9に示すように、ラインパターン901とその下層の、上層ラインパターン901と平行に形成されたラインパターン903との層間重ね合わ

せずれを計測する際、図6に示した画面上で 3σ を選択、この値を計算することで実パターンに生じうる重ね合わせずれを正しく予測し、パターンの合否判定を行うようにした。

本実施例における処理の流れは、基本的に実施例1で説明した図5の処理フローと同じである。本実施例における処理の流れを、図10Aを用いて本実施例の処理の流れを説明する。

先ず、層間重ね合わせ誤差を算出する対象領域をSEMで撮像し（S1001）、このSEM像をデータ記憶装置313に記憶する（S1002）。次に、このデータ記憶装置313に記憶させた画像の中から、モニタ上に層間重ね合わせ誤差を算出する対象画像を呼び出して（S1003）、モニタ314上に表示させる（S1004）。この画像の模式図900を図9に示す。この図の水平方向の寸法は300nm、ラインに沿った方向の寸法は2560nmである。第一の実施例と同様に、本実施例においても二値化させて示している。また、理解しやすくするために、対応するパターン断面構造910を上部に示している。本実施例においては、モニタ314の画面315上には、実施例1で説明した図6の画像1011に替って、模式図900が表示される。

[0097] このパターンは、図示していない基板上に第1の導電性材料で形成されたラインパターン903が有り、このラインパターン903を覆うようにして形成された絶縁体を堆積させて作った層902があり、その上に第2の導電性材料によるラインパターン901が形成されている。ラインパターン901のSEM像は、パターンのエッジ近傍だけが白く見え、ラインパターン903のSEM像は全体が白っぽく見える。図9においては、ラインパターン903の下層については表示を省略してある。計測対象はラインパターン901と903との間隔であり、これは図中のDで示されている。このDの設計値が例えば55nmであるとする、実測値と設計値の55nmとの差分が、ラインパターン901が形成されたパターン最上層とラインパターン903が形成された層とのパターン形成時の重ね合わせずれ量となる。

[0098] 次に、解析領域指定ステップS1005で、Dの値を測定するため、モニ

タ 3 1 4 に表示された画像 9 0 0 上で、図 9 に示すような白い破線で示した枠 9 0 4 及び 9 0 5 を設定する。

次に、実行ステップ S 1 0 0 6 において、モニタ 3 1 4 に表示された図 9 に示すような画像 9 0 0 の上で、白い破線で示した枠 9 0 4 及び 9 0 5 でラインパターン 9 0 1 と 9 0 3 の中心同士の距離 D を測定するレシピを実行する。その結果、得られた D の値が 59nm と 51nm とであったとする。さらに同じサンプルの同じ設計スポット 9 箇所について同様のことを行い、得られた合計 2 0 個の値の統計処理を行い、その平均値が 56.2nm、分布の標準偏差が 2.5nm であったとする。ここから、今回の重ね合わせずれ量は +1.2nm、計測誤差（標準偏差の 3 倍）が 7.5nm、と判断される。この例の場合には、誤差が大きいため急遽別途光学装置による計測を実施する必要がある。その結果、ずれ量が +1.2nm と同じでありかつ計測誤差がわずか 0.5nm となった。

[0099] このため図 4 に示す装置自体の計測誤差が大きい可能性が疑われたが、さらに画像を図 1 0 B のフローにて以下のように分析する。

まず、S 1 0 0 0 1 で、上述の図 9 に示す画像 9 0 0 を呼び出し、表示させる（S 1 0 0 0 2）。さらに S 1 0 0 0 3 で、分析する領域を 9 0 6 のように選択し、最上層のラインパターンのエッジを抽出する。抽出されたエッジを図 1 1 に示す。抽出されたラインエッジの y 方向の長さは 2000nm である。次に、S 1 0 0 0 5 によって、図 1 1 に図示されたライン左エッジ 1 1 0 1 の位置データと右エッジ 1 1 0 2 の位置データを用いて、（数 6）（数 7）を適用し、 σ_e^2 を算出し、出力し（S 1 0 0 0 6）終了する。これを同様に他の 9 箇所のスポットの画像に適用し、 σ_e^2 を算出し、合計 10 個の値の平均値を求め、さらに平方根をとって 3 倍したところ（ $3\sigma_e$ ）、7.2nm となった。

この値は、初めに算出された計測誤差 7.5nm と非常に近く、誤差と判断された計測値ばらつきの殆どが、うねりによるパターン自身の局所的な位置ずれであるということが明らかにになった。このことから図 4 に示す装置を用いての重ね合わせずれ測定には問題ないことが判ったため、検査装置の使用は続行した。これにより、検査工程の変更が不要になったため、装置入れ替えに

よる生産の遅延と費用の発生が回避された。

同時に、パターンのうねりが原因で下層との位置ずれが生じているというプロセス上の問題が明らかになり、これに対処することで歩留まりが向上した。

逆に、予め平均的な σ_c^2 を図4に示す装置で計測しておき、その平方根を本来の重ね合わせずれの許容値から差し引いたものを光学重ね合わせずれターゲット値 β とし、その後重ね合わせずれは光学計測装置で評価することが可能である。光学計測装置での評価では、光学重ね合わせずれターゲット値 β よりも大きな値が出た場合に観察対象を不合格とする。

実施例 3

[0100] 本発明の第三の実施例を以下、図4及び図18を用いて説明する。本例では2本の隣り合うラインのセットから計算される $\rho_c(m, m+1)$ を複数のラインセットに対して算出し、その分布からうねりの原因となる工程を同定、対策することで歩留まりを向上させた。

まず、コンピュータ312から入力してCD-SEMの制御系311に命令を送り、ウェハ307を装置内に移動した。ウェハ307には、エッチング加工によりシリコンのラインパターンが形成されている。次に、ステージを移動してラインパターン群が観察視野に入るよう調整した。次にレンズ304及び306と偏向器305を電氣的に調整し、コンピュータ312からの信号によりパターンのトップビュー画像を取得した。本実施例で使用した試料には、画像にはラインが2本以上含まれていた。このラインパターンのエッジ位置データから、(数9)で表される $\rho_c(m, m+1)$ を算出した。ここで m はラインの番号である。ラインが N 本含まれている画像からはこの指標は $N-1$ 個計算することができる。

同じ寸法に形成されるよう設計されているパターン領域内で20箇所の画像を撮り、ライン間の中心位置変動の相関係数 $\rho_c(m, m+1)$ を計算したところ、値は全部で60個得られた。この分布をヒストグラムにしたところ、図12のようになった。このグラフには、前述の相関係数が0.1-0.2程度の位置と、0.7近傍と、二つのピークがある。これは相関の強いラインのセットと、弱いライ

ンのセットがほぼ半分ずつある、という結果を意味している。このパターンの形成工程でSAPDが2回実施されていたことから、最初のパターンのLERが転写されたものと予測することができた。そこでプロセスを見直し、最初のパターン形成後にLER低減プロセスを導入したところ、うねり自体を0.5nm程度に低減され、歩留まりを向上することができた。

なお、 $\rho_c(m, m+1)$ の代わりに $\rho_s(m)$ を用いる方法もある。レジスト材料起因のランダムなLERが小さい場合は $\rho_s(m)$ のほうが高い感度でうねりの同期性を検出できる。

また、 $\rho_c(m, m+1)$ の代わりに $3\sigma_{LL}(m, m+1)$ を用いる方法もある。この場合、同期する成分をライン中心の変動量として距離の単位で表すことができるため、単なる同期の有無ではなくその程度をモニタリングする際に適している。

符号の説明

[0101] 301・・・CD-SEMの筐体 302・・・電子銃 303・・・電子線 304・・・収束レンズ 305・・・偏向器 306・・・対物レンズ 307・・・観察ウエハ 308・・・ステージ
309・・・二次電子 310・・・検出器 311・・・CD-SEMの制御系 312・・・検査を行うコンピュータデータの記憶装置。

請求の範囲

- [請求項1] 試料に荷電粒子線を照射し得られた画像における前記試料のラインパターンの形状を評価する方法であって、
- 前記ラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出工程と、
- 、
- 前記ラインパターンが延在する方向において、前記両端のエッジ点の変動量を算出する変動量算出工程と、
- 前記ラインパターンが延在する方向において、前記両端のエッジ点の幅の変動量を算出する幅変動量算出工程と、
- 前記両端のエッジ点の変動量と前記両端のエッジ点の幅の変動量との差分を算出する差分算出工程と、を有することを特徴とするラインパターンの形状評価方法。
- [請求項2] 請求項1に記載のラインパターンの形状を評価する方法であって、
- 前記両端のエッジ点が含まれた指定領域を設定する領域設定工程をさらに有し、
- 前記差分算出工程は、前記指定領域における複数のエッジ点の平均値もしくは分散値に基づいて実行されることを特徴とするラインパターンの形状評価方法。
- [請求項3] 請求項1に記載のラインパターンの形状を評価する方法であって、
- 前記ラインパターンの輪郭の両端に沿った方向における変動である第1及び第2パワースペクトルを算出するスペクトル算出工程とを有し、
- 前記差分算出工程は、前記第1及び第2パワースペクトルに基づいて実行されることを特徴とするラインパターンの形状評価方法。
- [請求項4] 試料に荷電粒子線を照射し得られた画像における前記試料のラインパターンの形状を評価する方法であって、
- 前記ラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出工程と、
- 、

前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出工程と、

前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出工程と前記中心点算出工程とを複数回実行する実行工程と、

前記実行工程にて算出された複数の前記ラインパターンの中心点の分散値を算出する分散値算出工程とを有することを特徴とするラインパターンの形状評価方法。

[請求項5] 請求項4に記載のラインパターンの形状を評価する方法であって、荷電粒子線装置により得られたパターン重ね合わせずれ量計測のばらつきの分散値と、前記分散値とに基づき、重ね合わせずれ計測における誤差の分散値を算出する重ね合わせずれ算出工程を有することを特徴とするラインパターンの形状評価方法。

[請求項6] 試料に荷電粒子線を照射し得られた画像における前記試料のラインパターンの形状を評価する方法であって、
前記ラインパターンの輪郭のエッジ点を抽出する抽出工程と、
前記ラインパターンが延在する方向において、前記ラインパターンの輪郭に沿った方向における前記エッジ点の変動量を算出する変動量算出工程と、
前記変動量と前記ラインパターンに隣り合うラインパターンのエッジ点の変動量との類似度を算出する類似度算出工程と、を有することを特徴とするラインパターンの形状評価方法。

[請求項7] 請求項6に記載のラインパターンの形状を評価する方法であって、
前記類似度算出工程は、前記ラインパターンの第1の側のエッジ点の変動量と、前記ラインパターンに隣り合うラインパターンの前記第1の側とは異なる第2の側のエッジ点の変動量との類似度を算出することを特徴とするラインパターンの形状評価方法。

[請求項8] 請求項6に記載のラインパターンの形状を評価する方法であって、さらに、

前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出工程と、

前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出工程と前記中心点算出工程とを複数回実行する実行工程と、

前記実行工程を隣接する他のラインパターンにおいても実行する隣接パターン実行工程とを有し、

前記類似度算出工程は、前記実行工程から得られたラインパターンの中心位置の変動と、隣接パターン実行工程から得られた前記隣接する他のラインパターンの中心位置の変動との類似度を算出することを特徴とするラインパターンの形状評価方法。

[請求項9] 試料に荷電粒子線を照射し得られた画像における前記試料のラインパターンの形状を評価する方法であって、

前記ラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出工程と、

前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出工程と、

前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出工程と前記中心点算出工程とを複数回実行し前記ラインパターンの中心点の変動量を算出する実行工程と、

前記実行工程を隣接する他のラインパターンにおいても実行する隣接パターン実行工程と、

前記ラインパターンの中心点の変動量と前記他のラインパターンの中心点の変動量とに基づき、前記ラインパターンと前記他のラインパターンとにおいて類似している変動量を算出する類似変動量算出工程とを有することを特徴とするラインパターンの形状評価方法。

[請求項10] 試料に荷電粒子線を照射し得られた画像が記憶された画像記憶部と、

前記画像記憶部に記憶された前記画像におけるラインパターンの輪

郭の両端のエッジ点を抽出する抽出部と、

前記ラインパターンが延在する方向において、前記両端のエッジ点の変動量を算出する変動量算出部と、

前記ラインパターンが延在する方向において、前記両端のエッジ点の幅の変動量を算出する幅変動量算出部と、

前記両端のエッジ点の変動量と前記両端のエッジ点の幅の変動量との差分を算出する差分算出部と、を有することを特徴とするラインパターンの形状評価装置。

[請求項11] 請求項10に記載のラインパターンの形状を評価する装置であって

、

前記両端のエッジ点が含まれた指定領域を設定する領域設定部をさらに有し、

前記差分算出部は、前記指定領域における複数のエッジ点の平均値もしくは分散値に基づいて実行されることを特徴とするラインパターンの形状評価装置。

[請求項12] 請求項10に記載のラインパターンの形状を評価する装置であって

、

前記ラインパターンの輪郭の両端に沿った方向における変動である第1及び第2パワースペクトルを算出するスペクトル算出部をさらに有し、

前記差分算出部は、前記第1及び第2パワースペクトルに基づいて実行されることを特徴とするラインパターンの形状評価装置。

[請求項13] 試料に荷電粒子線を照射し得られた画像が記憶された画像記憶部と

、

前記画像記憶部に記憶された前記画像におけるラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出部と、

前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出部と、

前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出部と前記中心点算出部との処理を複数回実行する実行部と、

前記実行部にて算出された複数の前記ラインパターンの中心点の分散値を算出する分散値算出部とを有することを特徴とするラインパターンの形状評価装置。

[請求項14] 請求項13に記載のラインパターンの形状を評価する装置であって

、

荷電粒子線装置により得られたパターン重ね合わせずれ量計測のばらつきの分散値と、前記分散値とに基づき、重ね合わせずれ計測における誤差の分散値を算出する重ね合わせずれ算出部を有することを特徴とするラインパターンの形状評価装置。

[請求項15] 試料に荷電粒子線を照射し得られた画像が記憶された画像記憶部と

、

前記画像記憶部に記憶された前記画像におけるラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出部と、

前記ラインパターンが延在する方向において、前記ラインパターンの輪郭に沿った方向における前記エッジ点の変動量を算出する変動量算出部と、

前記変動量と前記ラインパターンに隣り合うラインパターンのエッジ点の変動量との類似度を算出する類似度算出部と、を有することを特徴とするラインパターンの形状評価装置。

[請求項16] 請求項15に記載のラインパターンの形状を評価する装置であって

、

前記類似度算出部は、前記ラインパターンの第1の側のエッジ点の変動量と、前記ラインパターンに隣り合うラインパターンの前記第1の側とは異なる第2の側のエッジ点の変動量との類似度を算出することを特徴とするラインパターンの形状評価装置。

[請求項17] 請求項15に記載のラインパターンの形状を評価する装置であって

、さらに、

前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出部と、

前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出部と前記中心点算出部との処理を複数回実行する実行部と、

前記実行部における処理を隣接する他のラインパターンにおいても実行する隣接パターン実行部とを有し、

前記類似度算出部は、前記実行部から得られたラインパターンの中心位置の変動と、隣接パターン実行部から得られた前記隣接する他のラインパターンの中心位置の変動との類似度を算出することを特徴とするラインパターンの形状評価装置。

[請求項18] 試料に荷電粒子線を照射し得られた画像が記憶された画像記憶部と、

前記画像記憶部に記憶された前記画像におけるラインパターンの輪郭の両端のエッジ点を抽出する抽出部と、

前記両端のエッジ点に基づき前記ラインパターンの中心点を算出する中心点算出部と、

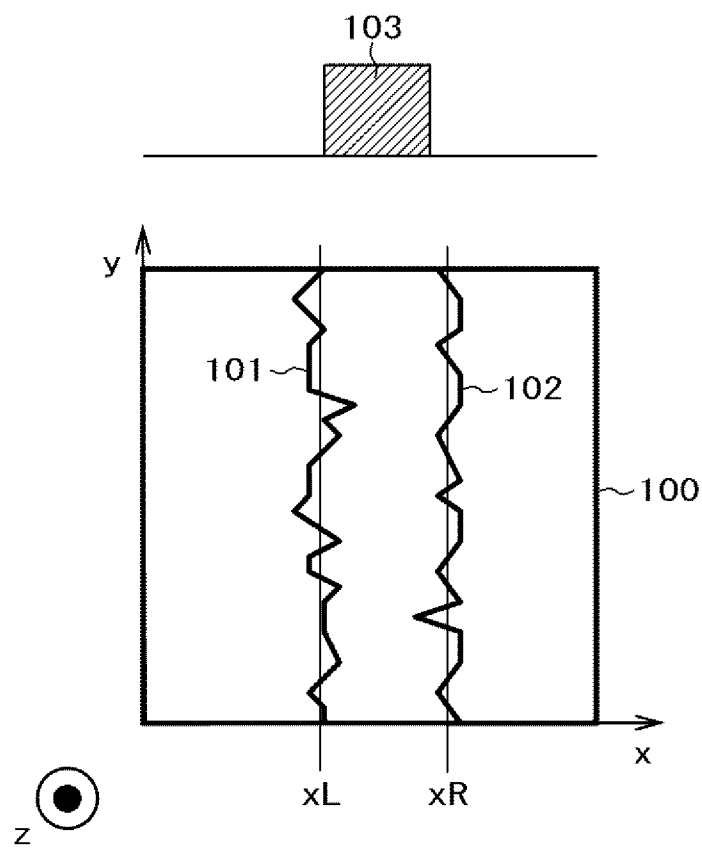
前記ラインパターンが延在する方向において、前記抽出部と前記中心点算出部との処理を複数回実行し前記ラインパターンの中心点の変動量を算出する実行部と、

前記実行部の処理を隣接する他のラインパターンにおいても実行する隣接パターン実行部と、

前記ラインパターンの中心点の変動量と前記他のラインパターンの中心点の変動量とに基づき、前記ラインパターンと前記他のラインパターンとの類似している箇所における変動量を算出する類似変動量算出部とを有することを特徴とするラインパターンの形状評価装置。

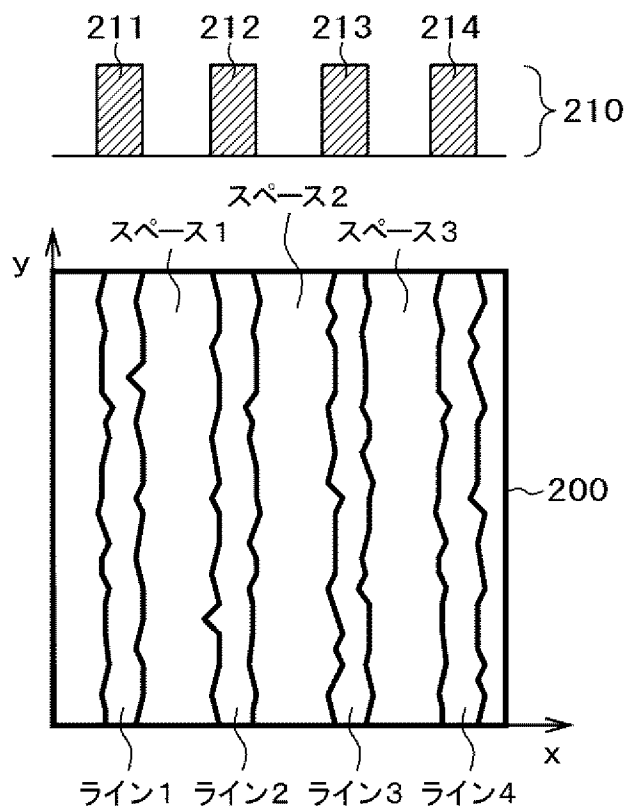
[図1]

図 1



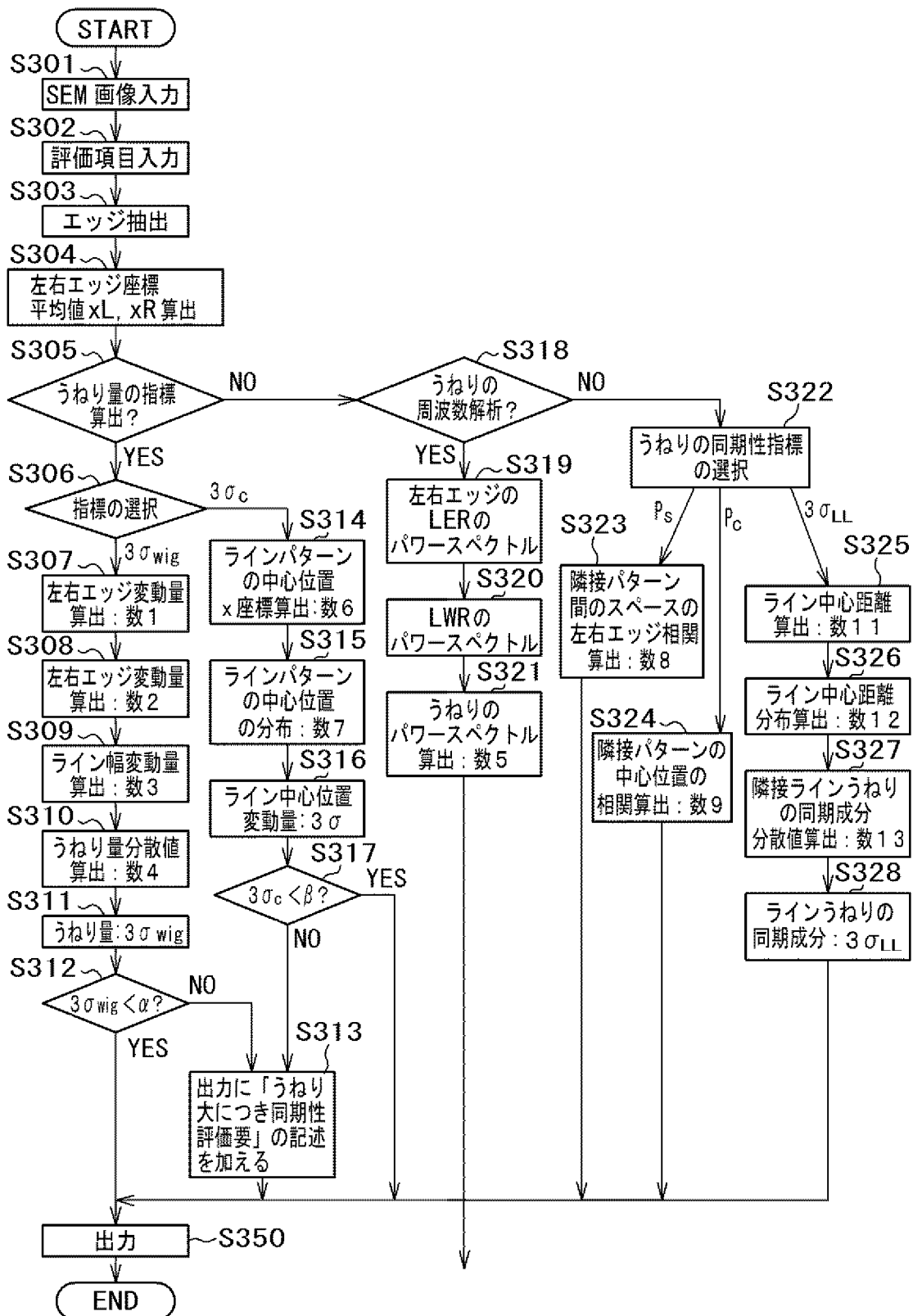
[図2]

図 2



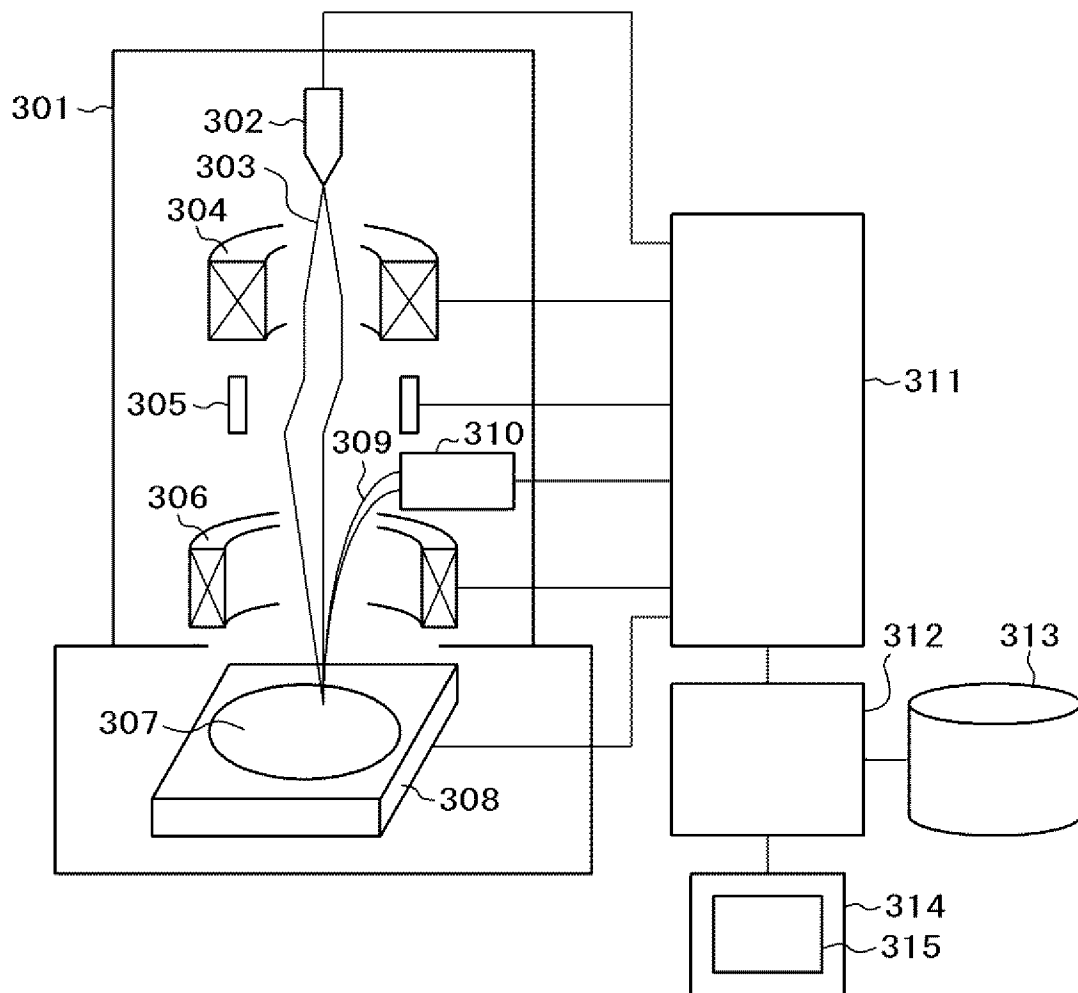
[図3]

図 3



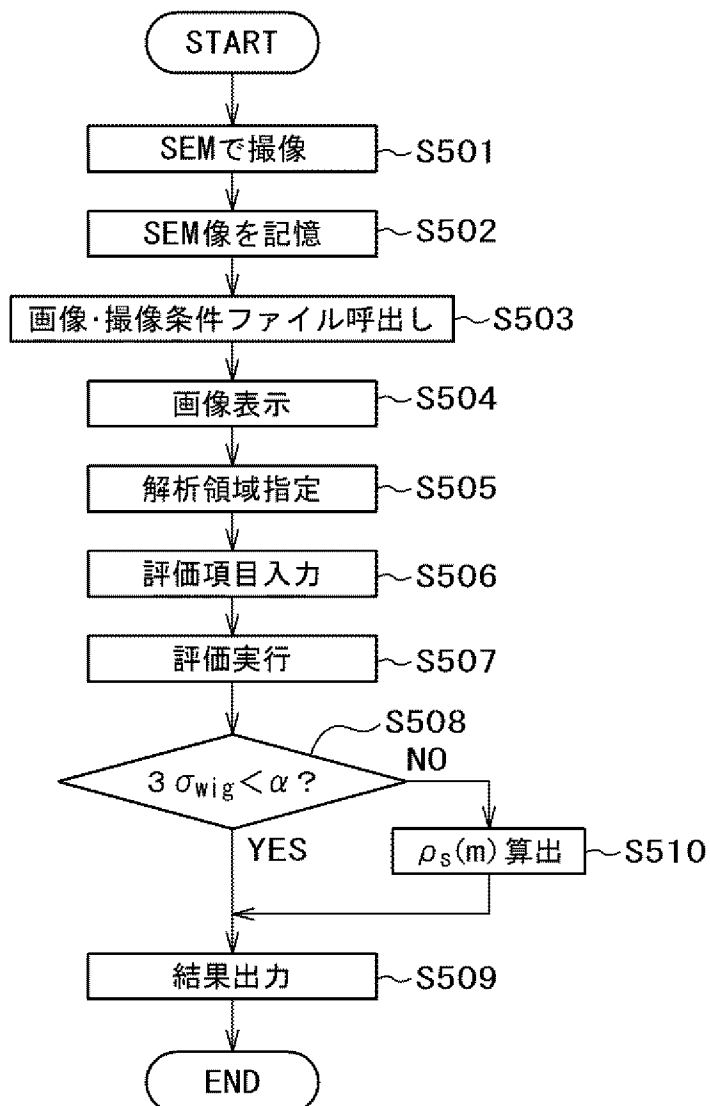
[図4]

図 4



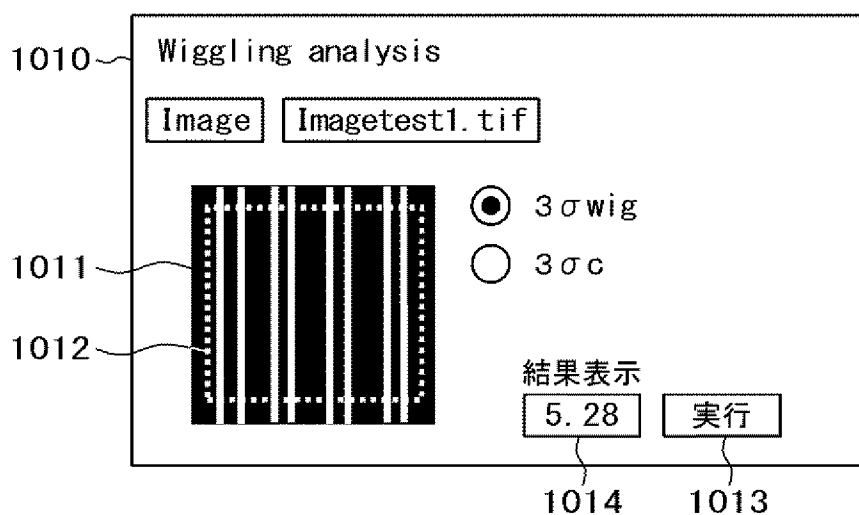
[図5]

図 5



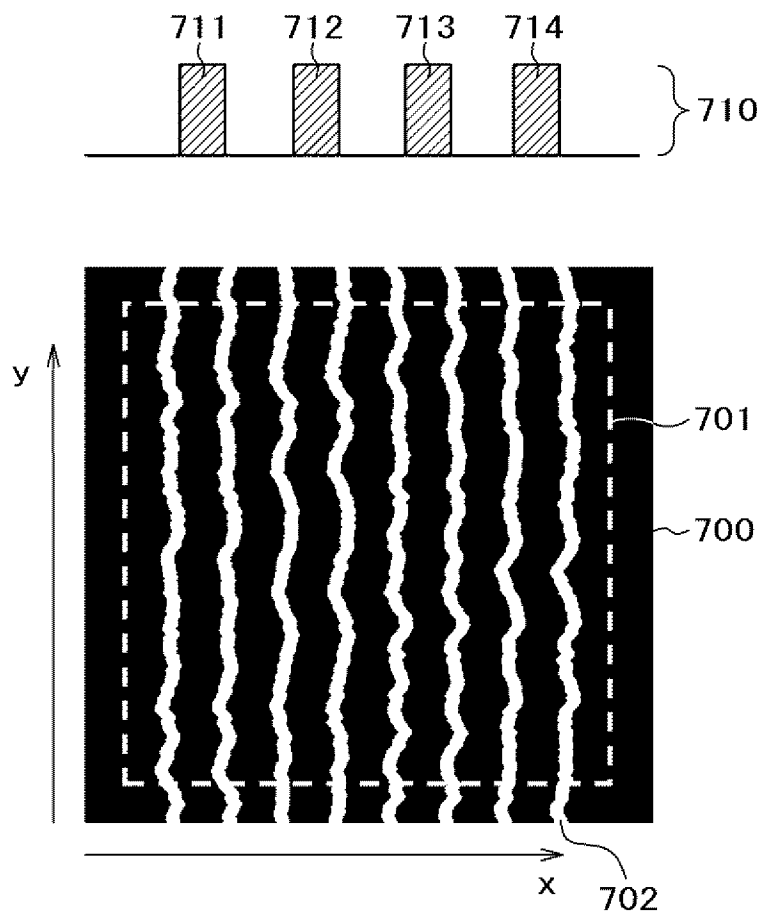
[図6]

図 6



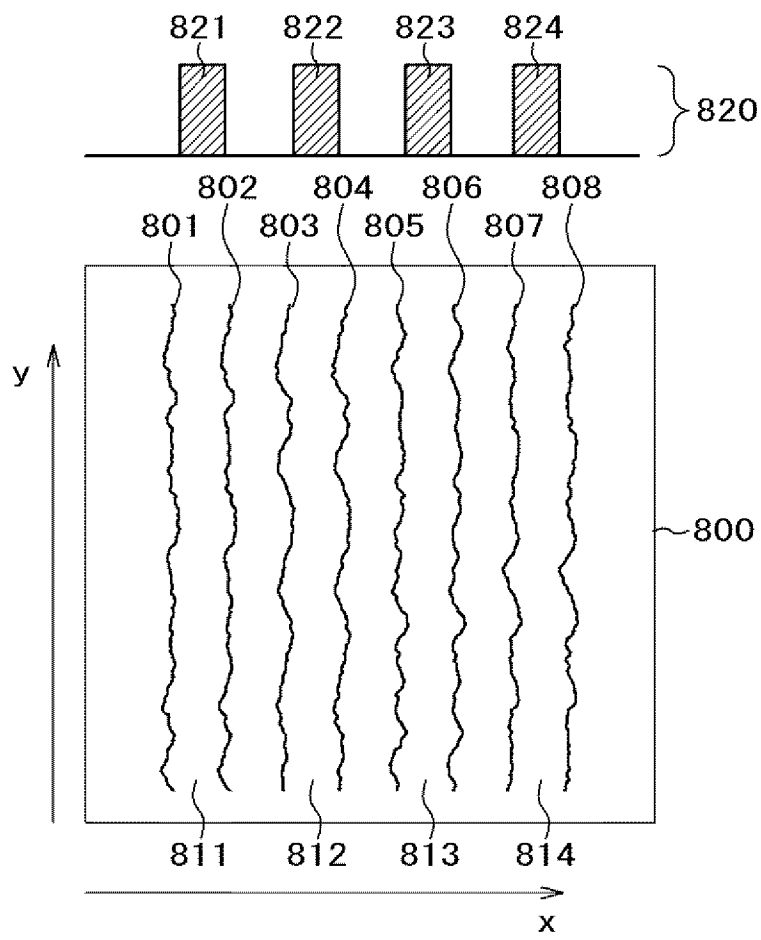
[図7]

図 7



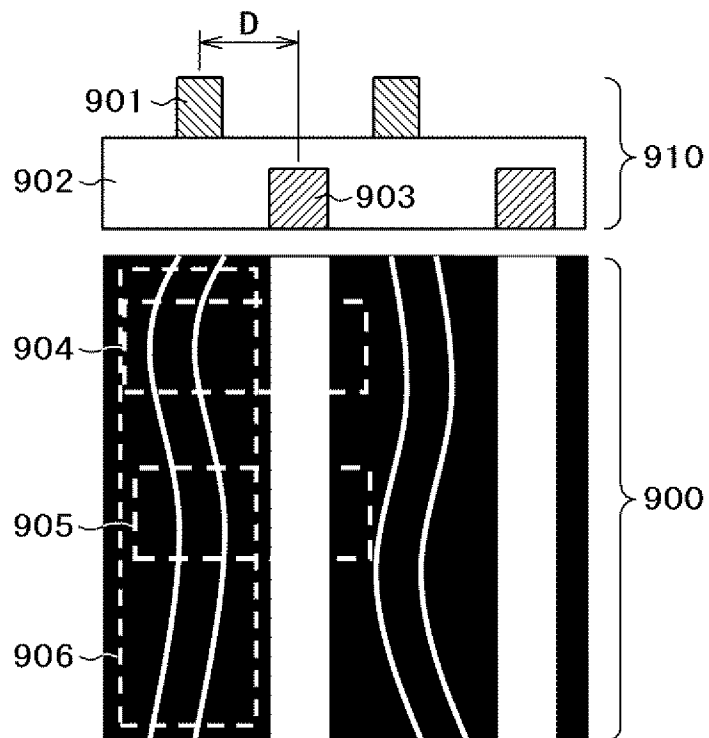
[図8]

図 8



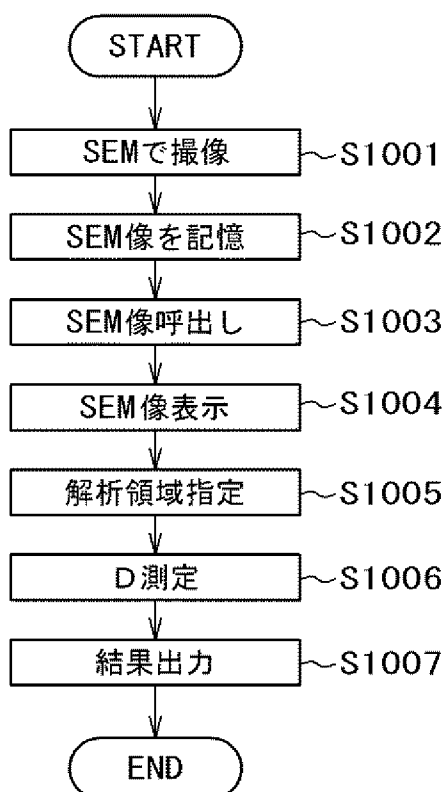
[図9]

図 9



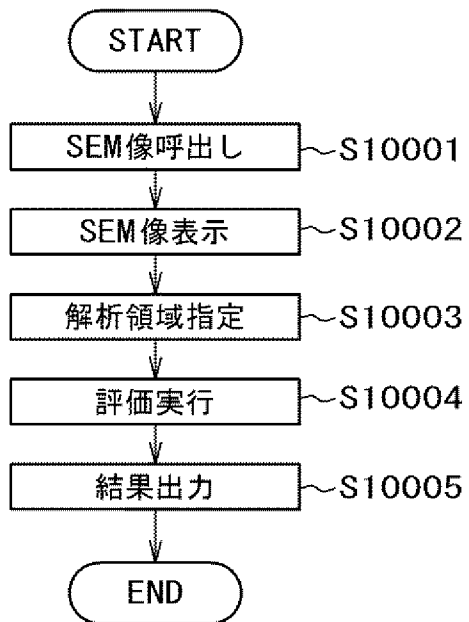
[図10A]

図 10 A



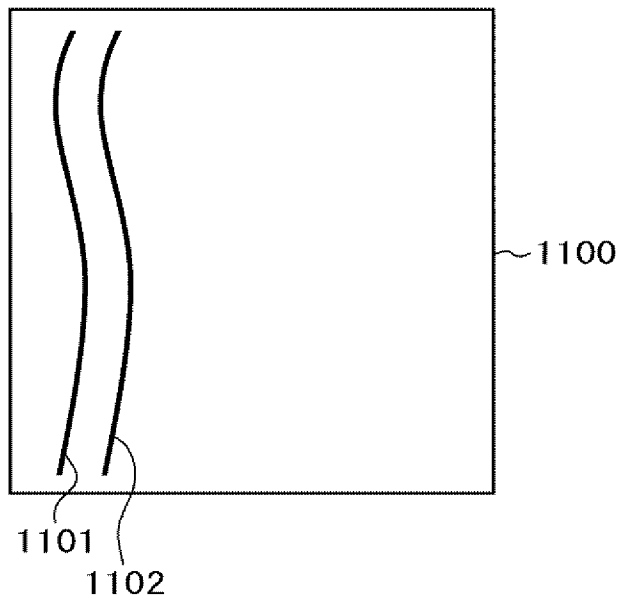
[図10B]

図 1 0 B



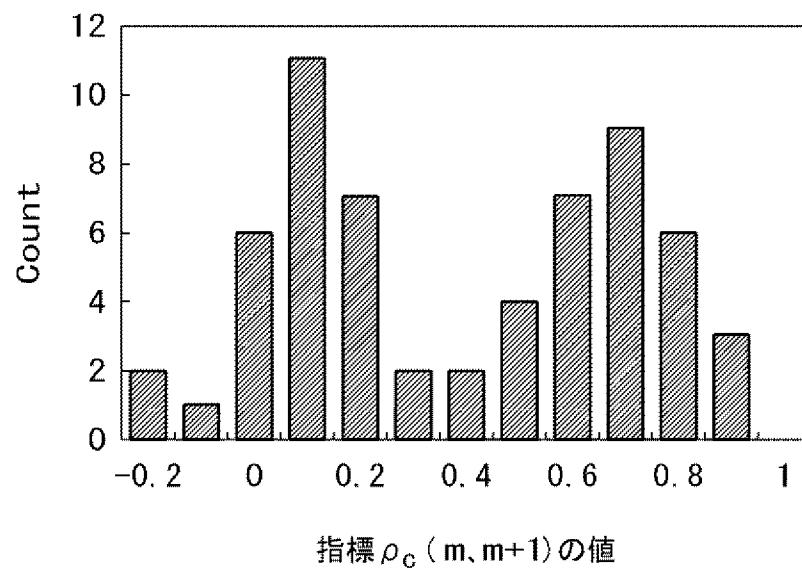
[図11]

図 1 1



[図12]

図 12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/064006

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B15/00(2006.01)i, G01B15/04(2006.01)i, H01L21/66(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B15/00, H01L21/66, G01N23/00, H01J37/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2003-37139 A (Hitachi, Ltd.), 07 February 2003 (07.02.2003), paragraph [0116] & US 2003/0021463 A1 paragraph [0142] & EP 1279923 A2	6-7, 15-16 1-5, 8-14, 17-18
A	JP 2009-257937 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 05 November 2009 (05.11.2009), entire text; all drawings & US 2009/0263024 A1	1-18
A	GLODDE, M., et al., Systematic studies on reactive ion etch-induced deformations of organic underlayers, Proceedings of SPIE, 2011. 04.15, Vol. 7972, pp. 797216-1 - 797216-8	1-18

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 July, 2014 (15.07.14)

Date of mailing of the international search report
29 July, 2014 (29.07.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/064006

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WEIGAND, M., et al., Evaluating spin-on carbon materials at low temperatures for high wiggling resistance, Proceedings of SPIE, 2013.03.29, Vol. 8685, pp. 86850R-1 - 86850R-9	1-18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01B15/00(2006.01)i, G01B15/04(2006.01)i, H01L21/66(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01B15/00, H01L21/66, G01N23/00, H01J37/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2003-37139 A（株式会社日立製作所）2003.02.07, 【0116】 & US 2003/0021463 A1, [0142] & EP 1279923 A2	6-7, 15-16 1-5, 8-14, 17-18
A	JP 2009-257937 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2009.11.05, 全文, 全図 & US 2009/0263024 A1	1-18

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 5 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 9 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

岸 智史

2 S

3 6 0 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	GLODDE, M., et al., Systematic studies on reactive ion etch-induced deformations of organic underlayers, Proceedings of SPIE, 2011.04.15, Vol. 7972, pp. 797216-1 - 797216-8	1-18
A	WEIGAND, M., et al., Evaluating spin-on carbon materials at low temperatures for high wiggling resistance, Proceedings of SPIE, 2013.03.29, Vol. 8685, pp. 86850R-1 - 86850R-9	1-18