

(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
2025年1月16日(16.01.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/013151 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/025382

(22) 国際出願日: 2023年7月10日(10.07.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社日立ハイテク
(HITACHI HIGH-TECH CORPORATION) [JP/
JP]; 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目
17番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 田窪 千咲紀 (TAKUBO Chisaki);
〒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). 佐竹 真

(SATAKE Makoto); 〒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). 奥村 忠嗣(OKUMURA Tadashi);
〒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).

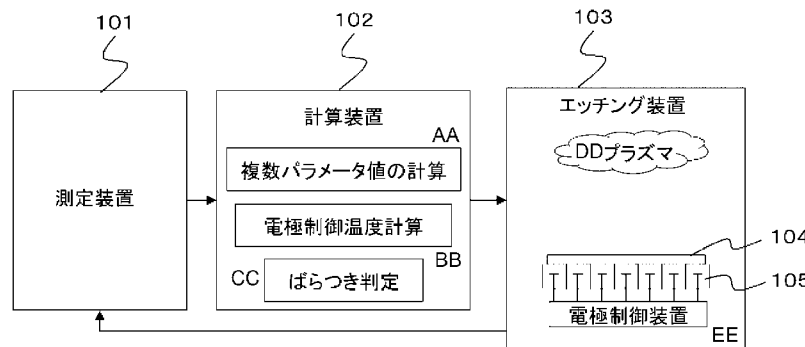
(74) 代理人: ポレール弁理士法人(POLAIRE I.P.C.);
〒1030021 東京都中央区日本橋本石町三
丁目3番5号 Tokyo (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,

(54) Title: ETCHING SYSTEM AND ETCHING METHOD

(54) 発明の名称: エッチングシステム及びエッチング方法

図1



- 101 Measurement device
102 Calculation device
103 Etching device
AA Calculation of plurality of parameter values
BB Calculation of electrode control temperature
CC Variation determination
DD Plasma
EE Electrode control device

(57) Abstract: This etching system comprises: an etching device 103 for etching a wafer 104; a measurement device 101 for measuring a pattern formed on a surface of the wafer 104 etched by the etching device 103; and a calculation device 102 for providing etching conditions to the etching device 103. On the basis of a measurement result of the pattern from the measurement device 101, the calculation device 102: calculates a first parameter having a high correlation with a temperature condition among the etching conditions, and a second parameter having a low correlation therewith;

KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, 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, ME, 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：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

calculates a temperature condition in which the first parameter is within an allowable range on the basis of the calculated first parameter; determines whether the calculated second parameter is within an allowable range; provides the etching conditions in which the conditions other than the temperature condition are changed if the calculated second parameter is outside the allowable range; and provides the etching conditions in which the temperature condition is changed to the calculated temperature condition if the calculated second parameter is within the allowable range.

(57) 要約：本発明によるエッチングシステムは、ウエハ104をエッチングするエッチング装置103と、エッチング装置103によりエッチングされたウエハ104の表面上に形成されたパターンを測定する測定装置101と、エッチング装置103にエッチング条件を提供する計算装置102とを備え、計算装置102が、測定装置101からのパターンの測定結果に基づいてエッチング条件のうちの温度条件と相関の高い第1のパラメータと相関の低い第2のパラメータを算出し、算出した第1のパラメータに基づいて第1のパラメータが許容範囲内となる温度条件を算出し、算出した第2のパラメータが許容範囲内かどうかを判定し、算出した第2のパラメータが許容範囲外の場合に、温度条件以外の条件を変更したエッチング条件を提供し、算出した第2のパラメータが許容範囲内の場合に、温度条件を算出した温度条件に変更したエッチング条件を提供することを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：エッチングシステム及びエッチング方法

技術分野

[0001] 本発明は、ウエハ面内形状均一性を向上するエッチングシステム、エッチング方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの構造の三次元化に伴い、複雑な構造をウエハ面内に均一に作成する製造方法に対する要望が年々高まっている。半導体デバイスの製造では、露光装置でパターンマスクを形成後にエッチング装置で加工を行うことで、ウエハ前面に目的のパターンが形成される。また、作成したパターンが所望のサイズであることを確認するために、C D - S E M (Critical Dimension Scanning Electron Microscope) や O C D (Optical Critical Dimension) などの半導体検査装置で測定を行うのが一般的である。

[0003] エッチングの従来技術として、複数の発熱体によるウエハ面内温度を制御してエッチングすることでパターンの T o p - V i e w の幅に対応する C D (Critical Dimension) 値のウエハ面内均一性を向上させるエッチングシステムが知られている。例えば、特許文献 1 には、エッチングシステム及びエッチング方法として、事前に計測した各温度の C D シフト量と温度の関係とウエハの処理前 C D 値とから決定された複数発熱体の温度プロファイルを実現してエッチングすることで、C D 値の面内均一性を向上させる技術が記載されている。ここで、C D シフト量とは、エッチング前後での C D 値の変化量を表す。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開 2 0 1 3 - 7 7 8 5 9 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記の従来技術では、次の点について考慮が不十分であったため、問題が生じていた。すなわち、上記従来技術では、複数の発熱体からなる電極温度を制御することでCD値のウエハ面内均一性を向上させている。しかし、近年の半導体デバイスではデバイス構造の3次元化が進んでおり、CD値という1つのパラメータだけではなく、断面形状を含む複数のパラメータの均一性が求められている。

[0006] 一方、複数のパラメータの均一性を考慮する場合、それらに対して従来技術と同様に各パラメータの電極温度を制御して均一性を向上すれば良いことは容易に考えつく。しかしながら、実際はすべてのパラメータに温度感度があるわけではない。特許文献1に示すようにCD値は温度感度が高く、ウエハ温度を設定する複数の発熱体からなる電極の温度を各々調整することで、ウエハ面内のCD値の均一性を向上させることができる。ところが、温度による変動が小さく温度感度が低いパラメータがあることがわかった。このパラメータに関しては、従来技術のように温度感度から算出する電極の温度制御だけでエッチング加工を行っても面内均一性の向上は困難で、所望の形状が得られないおそれがあることが判明した。

[0007] このように、従来の技術では、温度感度の低いパラメータを含む複数のパラメータのウエハ面内均一性を実現することを考慮していなかった。本発明の目的は、温度感度の低いパラメータを含む複数のパラメータのウエハ面内均一性向上を考慮して、処理の歩留まりを向上させたエッチングシステム、エッチング方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一実施の形態であるエッチングシステムは、ウエハをエッチングするエッチング装置と、エッチング装置によりエッチングされたウエハの表面上に形成されたパターンを測定する測定装置と、エッチング装置にエッチング条件を提供する計算装置とを備え、計算装置が、測定装置からのパターンの測定結果に基づいてエッチング条件のうちの温度条件と相関の高い第1のパラメータと相関の低い第2のパラメータを算出し、算出した第1のパラ

メータに基づいて第1のパラメータが許容範囲内となる温度条件を算出し、算出した第2のパラメータが許容範囲内かどうかを判定し、算出した第2のパラメータが許容範囲外の場合に、温度条件以外の条件を変更したエッチング条件を提供し、算出した第2のパラメータが許容範囲内の場合に、温度条件を算出した温度条件に変更したエッチング条件を提供することを特徴とする。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、測定装置で計測されたデータを用いて、温度感度のある第1パラメータの面内分布だけでなく、温度感度の低い第2パラメータのばらつきに対して温度以外の条件を再検討し、第1及び第2パラメータの分布が許容範囲内になるまで繰り返して、当初の目標CD値に対応する温度分布に修正を加え、得られた温度分布となるようヒーターを調節してウエハ処理することにより、処理の歩留まりが向上する。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の実施例に係る半導体エッチングシステムの装置構成を示す模式図である。

[図2]実施例に係る半導体エッチングシステムの装置が備えるウエハステージの構成を模式的に示す縦断面図である。

[図3]実施例に係るウエハステージ上面のヒータゾーンの配置の例を模式的に示す平面図である。

[図4]実施例に係る計算装置内の動作の流れを示すフローチャートである。

[図5]ウエハ面内の測定箇所を模式的に表す図である。

[図6]断面におけるCDとスロープの左右差を説明する模式図である。

[図7]半導体デバイスのラインパターンを対象としたSEM画像とそれに対応する断面模式図とSEMの2次電子信号波形の例である。

[図8]3次元形状指標である特徴量を算出する2次電子信号波形とその1次微分波形と、それに対応する3次元形状の一例である。

[図9]SEM画像から算出した第1のパラメータであるCDと第2のパラメー

タであるスロープの左右差の値である。

[図10]第1のパラメータであるCDと第2のパラメータであるスロープの左右差を温度の温度感度のグラフに変換したものである。

[図11]温度感度のグラフから面内均一なパラメータ値にするための各電極の温度の算出方法について説明する図である。

[図12]温度感度が低い状態を説明するグラフである。

[図13]温度制御によるCD値のばらつきの低減と、スロープの左右差のばらつきを表す図である

[図14]ガス種変更によるスロープの左右差のばらつきの低減を表す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。なお、この実施形態により本発明が限定されるものではないまた、図面の記載において、同一部分には同一の符号を付して示している。同一あるいは同様の機能を有する構成要素が複数ある場合には、同一の符号に異なる添字を付して説明する場合がある。また、これらの複数の構成要素を区別する必要がない場合には、添字を省略して説明する場合がある。図面において示す各構成要素の位置、大きさ、形状、範囲などは、発明の理解を容易にするため、実際の位置、大きさ、形状、範囲などを表していない場合がある。このため、本発明は、必ずしも、図面に開示された位置、大きさ、形状、範囲などに限定されない。

実施例 1

[0012] 本発明の実施例について、まず図1を用いて説明する。図1は、本発明の実施例に係る半導体エッチングシステムの構成を示す模式図である。本図では、半導体エッチングシステムの全体の構成が模式的に示されており、エッチング処理装置等の半導体ウエハの処理装置であって、半導体ウエハを処理してウエハの面内方向における特定の物理量（例えば、ウエハ表面に形成される回路用のパターンの形状あるいは寸法）の分布を実現するための装置が

示されている。

[0013] 本実施例の半導体エッチングシステムは、エッチング装置１０３の容器の中に、ウエハ１０４が設置されて当該ウエハ１０４の面内方向における温度の分布を可変に調整する機能を有するウエハステージ１０５を備えたエッチング装置１０３とともに、ウエハ面内についての特定の物理量の分布を計測できる測定装置１０１と、測定装置１０１により予め設定された複数の位置のウエハの表面上に形成されたパターンが測定された結果から得られたＣＤ値を含む複数のパラメータ値の計算、および当該パラメータ値を用いたウエハまたはこれを支持するステージの複数箇所の温度の計算を行う計算機と、パラメータのばらつきが許容範囲内かどうかを判定する機構を有する計算装置１０２とを備えている。

[0014] 図２は、実施例に係るエッチング装置のウエハステージと温度調節の構成を模式的に示す断面図である。ウエハステージ１０５は、処理ウエハ２０５を載せる面の下に、加熱を行う複数のヒーター２０１と冷却を行うための冷媒流路２０４を備えている。複数のヒーター２０１の発熱量の調整と冷媒の温度の調節により、ウエハステージ１０５の面内方向における温度分布が調整される。複数のヒーター２０１はウエハステージ１０５のエリアごとに設置されており、エリアの分割は図３の（ａ）のように同心円状に分割する方法や（ｂ）のように矩形に分割する方法などがある。この分割エリアは電極と呼ばれる。分割の数や大きさは例示されるものに限らない。また、２０２はヒーターの電極の温度調節器であり、図示していないが、ヒーターの電極に設置されている複数の温度センサから得られるセンサ値を用いて、ウエハを載せるステージ上面の温度が、計算装置１０２で算出したウエハ温度になるように調節する。この調節の制御は、ヒーター制御部２０３が行っている。

[0015] 冷媒流路２０４は図示しない管路を介して接続された冷媒温度制御器との間で循環して通流し、冷媒温度制御器において予め定められた範囲の温度に調節される。図では冷媒流路２０４がヒーター２０１の下方に設置されてい

るが、上方に設置することもできる。また、ヒーター２０１のみでウエハ温度が所望の値に調節できる場合には冷媒を使用しなくてもよい。

[0016] 計算装置１０２は、本番ウエハをエッチングする前に、ＣＤ値や形状のウエハ面内均一性が可能になるエッチング条件をだし、そのためのステージ温度を算出してエッチング装置１０３に伝える装置である。図４に、計算装置で行うフローチャートを示す。本実施例では、まず算出用のウエハを用いてエッチング処理を行う。算出用ウエハとは、半導体デバイス（装置）を製造するためのウエハ（実ウエハ）をエッチング処理する前に、処理後のウエハ上の膜構造のＣＤ値や形状、寸法の面内方向についての分布を所望の範囲のものにできる処理の条件を取得するため、予め処理されて上記処理の条件を定める上で必要なパラメータが検出される別のウエハであり、少なくとも、実ウエハ上面に配置される処理対象の膜を含む複数の膜層を備えた膜構造やパターンと同一またはこれと見做せる程度の同等のものが予め上面に配置されているウエハである。

[0017] 最初のステップ４００において、図１に示すエッチング装置１０３が算出用ウエハを処理する際の処理ガスの流量、処理室内の圧力、処理中のウエハの温度及びその分布等の処理の条件、いわゆる処理用レシピを含むエッチング装置１０３の動作を示すデータ（処理用レシピデータ）が、通信手段を介して計算装置１０２により取得され内部の記憶装置内に記録される。次に、ステップ４０１で、算出用ウエハを用いて、得られた処理用レシピデータに基づいて、エッチング処理が行われる。本実施例では、複数枚の算出用ウエハの各々について、異なる温度の条件に基づいて処理が行われる。

[0018] 特許文献１にも記載されているように、ＣＤ値は温度感度があり、温度によって異なる値になることが知られている。このことから、ステップ４０１では、複数の算出用ウエハについて温度を変えて、所望のパターンの温度感度を算出するための処理が行われる。本実施例では、処理中のウエハ温度として面内方向について１０℃および５０℃にされた条件、特に処理中にウエハまたはウエハステージの複数の箇所各々で検出される温度が所定の許容

範囲にされた条件で、2枚の算出用ウエハそれぞれのエッチング処理を行い、これらの算出用ウエハからCD値とその分布を検出した。

[0019] 次に、ステップ402において、処理済の複数の算出用ウエハの計測を行う。本実施例においてパターンのCD値は、従来一般的に用いられているCD-SEM装置を使って測定する。非破壊で、高速に測定できるからである。本実施例では、各算出用ウエハ上面501の予め定められた複数の箇所について、当該箇所の所望のパターンをCD-SEM装置によりTop Viewからの画像取得を行う。この際、図5のように算出用ウエハ上面501の複数の箇所について得られた測定値の面内方向の分布が算出できる。最終的にウエハから切り出される各半導体デバイス（チップ）に対応する算出用ウエハ上面501の各デバイスパターンが形成されたダイ502のうちから予め定められた複数個各々の内側の箇所各々に形成された加工後の形状が計測されてSEM画像503a, 503b・・・が取得される。

[0020] CD-SEM画像は、SEMにおいて入射電子が試料内で散乱することによって原子から励起された2次電子を検出し、画像の画素ごとに濃淡（輝度）で表示したものである。検出した2次電子シグナルの強度を表したものであり、パターンの3次元形状の情報が含まれている。本実施例では、ウエハ温度が10℃にされる条件でエッチングした算出用ウエハの面内における複数個所のSEM画像と、50℃の条件でエッチングした算出用ウエハの複数画像が取得される。各算出用ウエハ上面501に形成された110個のダイ502各々の領域内側の定められた箇所でのパターンについて、それぞれ画像取得した。

[0021] なお、本実施例でのウエハまたはウエハステージの温度が検出される箇所は、電極制御装置により窓外温度が所望の値にされるように出力または加熱量が調節される各ヒーター201の領域の下方であってこれらの上方から見た投影面内に配置され、これら箇所の個数はヒーター201の個数と同じかこれより多くされている。ステップ400, 401のようにウエハ温度を面内方向について所定の値にされる場合においても、複数の箇所での検出され

る温度の値の集合について、各値のばらつきが所望の範囲内となるように各ヒーター201の出力や加熱量が調節される。図3(b)に示された矩形領域を有するヒーター201の例では、各ヒーターの寸法は各ダイ502の寸法より小さくされ、この例ではダイ502の個数より多い箇所で検出された温度に基づいて各ヒーター201が調節される。

[0022] 次に、ステップ403において、取得したCD-SEM画像から3次元形状をあらわす形状パラメータを算出する。第1のパラメータとして温度感度の高いパラメータ、例えばCD値を算出し、第2のパラメータとして温度感度の低い、すなわち、ウエハ温度とは相関が低くかつ温度以外の別の処理条件と高い相関を有したパラメータ、たとえば実験的に温度感度が低いことが確認できている断面のスロープの左右差を算出する。なお、本発明において、温度との相関が低いパラメータには温度との相関がないパラメータも含むものとする。

[0023] 図6に示すように、CD値とは断面の幅を表すものであり、スロープの左右差とはパターン断面の斜面の左右の幅の差 $|S1 - S2|$ である。SADP (Self-Aligned Double Patterning) でパターン作成を行うときに、このパラメータのウエハ面内均一性は重要になってくる。

[0024] ここで、SEM画像と、その画像からパラメータを算出する方法について説明する。図7には、半導体デバイスのラインパターンを対象としたSEM画像の例を示す。図7(a)は、ラインパターンのTop View画像である2次元のSEM画像である。このSEM画像では、ウエハ面内に対応した図示のX-Y面内において、Y方向に延びるラインパターンが1本ある。この画像では、画素ごとに濃淡（輝度）を有している。

[0025] 図7(b)は、図7(a)のA-Bに示す位置でのパターンの断面形状の例であり、X-Z断面に相当する。図7(c)は、図7(a)の画像701の濃淡及び(b)の断面形状に対応した、SEMの2次電子信号波形の例である。この波形はラインプロファイルとも呼ばれる。この信号波形は、計測対象であるパターンの断面の傾斜角に対して感度が高く、パターンの側壁部

での信号量は、パターンの平坦部の信号量より大きくなる。図7（b）の断面形状の斜面702部分が（c）の信号波形の704に、平坦部分703が705におおよそ対応している。このように、信号波形は、パターンの断面形状に応じて変化することが知られている。

[0026] 一方、この信号波形から、断面形状を推測するための特徴量と呼ばれるものが算出できる。特徴量とは、2次電子信号波形と、その1次微分波形、2次微分波形のそれぞれの波形から得られるピークや幅などの値を指し、パターンの形状の特徴を表す形状指標である。図8に、特徴量の一例を示す。（a）は2次電子信号波形、（b）はその1次微分波形、（c）はパターンの断面形状を示す。矢印で示す波形の幅の値を特徴量と言い、それら複数の特徴量の関係から、計測対象であるパターン幅（801, 804）、裾引き（802, 805）、側面の径射角（803, 806）などの形状をとらえている。

[0027] 本実施例では、この算出方法でSEM画像から第1のパラメータであるCD値と第2のパラメータであるスロープの左右差の値を求めたものを図9に示す。（a）は第1のパラメータのCD値で、（b）は第2のパラメータのスロープの左右差の値である。白丸が算出用ウエハが処理される際の温度の条件が10℃、黒丸が50℃で、グラフの横軸はエッチングしたそれぞれのウエハで測定した110か所を示す。

[0028] 次に、それらを横軸が温度の温度感度のグラフに変換し、それぞれの初期ばらつき σ_i を計算する（図10）。本実施例では、CD-SEM測定座標からエッチング装置の電極座標へ座標変換した後の第1及び第2のパラメータの値を使用した。第1のパラメータのCD値の10℃ウエハの初期ばらつき（標準偏差）は $\sigma_{CD}(10deg) = 0.91$ 、50℃ウエハのばらつきは $\sigma_{CD}(50deg) = 0.76$ 、第2のパラメータのスロープの左右差のばらつきは、10℃ウエハは $\sigma_S(10deg) = 0.16$ 、50℃ウエハは $\sigma_S(50deg) = 0.08$ であった。

[0029] 次に図4のフローのステップ404において、第1のパラメータ（CD値

）の電極制御温度を計算する。温度感度のグラフから面内均一なパラメータ値にするための各電極の温度の算出方法について図11を用いて説明する。説明のため、（a）では温度 T_1 と T_2 でエッチングした算出用ウエハをCD-SEMで測定して取得したCD値を電極番号 R_1 （○）、 R_2 （△）のみプロットしたもので、破線は電極毎の1次直線近似線である。この1次直線近似線からグラフ内に示すターゲットのCD値にするための各々の電極温度を算出する。すなわち、矢印で示すように電極 R_1 の1次直線近似線とターゲットとの交点から電極 R_1 の温度 T_{R1} 、電極 R_2 の1次直線近似線との交点から電極 R_2 の温度 T_{R2} が求まるわけである。

[0030] また、（b）のように T_1 と T_2 以外にも、 T_3 、 T_4 ・・・と複数の温度で算出用ウエハ加工を行い複数のデータが存在する場合には、1次直線近似線ではなく（b）中の破線のように2次曲線近似線で近似する。

[0031] ここで、温度感度が低いパラメータの説明を行う。電極はエッチング装置の一部であり、制御できる温度に範囲がある。たとえば、最小温度を T_{min} 、最大温度を T_{max} とおくと、通常は算出用ウエハ加工温度 T_1 や T_2 は T_{min} と T_{max} の範囲内にある。また、図11でも、算出した温度 T_{R1} 、 T_{R2} も T_{min} と T_{max} の範囲内にある。一方、図12のように温度による傾きが小さい場合、各電極の近似線とターゲット値との交点から得られる温度、 T_{R1} や T_{R2} は T_{min} と T_{max} の範囲外の温度になる。この場合は、電極温度を実現することはできない。また、このように傾きが小さいということは、 T_{min} と T_{max} の間で温度を変えてもパラメータ値の変化は小さく、温度感度が小さいという。

[0032] 図4の次のフローであるステップ405は、温度感度の低い第2のパラメータ（スロープの左右差）のばらつきが所定の許容範囲内のものであるかを判定する工程である。ばらつきが規定値内のとき（Yes）は、温度の条件を含む当初の処理用レシピデータに基づいたエッチング処理による加工後の形状についてステップ404で算出した第1のパラメータ（CD値）および第2のパラメータの両パラメータのばらつきが半導体デバイスまたはその製

造で求められる所定の許容範囲内の値であると判定され、次のステップ406である半導体デバイス製造するための実ウエハを処理する工程に移行する。

[0033] 一方、第2のパラメータのばらつきが規定値外の場合（No）は、例えば最初の処理用レシピデータに則った温度制御により第1のパラメータ（CD値）のばらつきが許容範囲内であっても、第2のパラメータ（スロープの左右差）の点で半導体デバイス或いはその製造において問題が生じる虞がある。この場合はステップ407以降の工程に移行して、第2のパラメータのばらつきが許容範囲内の値になるようにウエハの処理の条件のうち当該パラメータに相関の高いものが変更された処理用レシピデータに修正する。

[0034] 具体的には、図10のデータを使った場合、初期値としての処理用レシピデータに含まれる温度条件10℃と50℃との各々での算出用ウエハの処理で得られたCD値の初期ばらつき $\sigma_{CD}(10\text{deg})$ 及び $\sigma_{CD}(50\text{deg})$ が算出され、これらの値がCD値のばらつきの許容範囲の上限値と比較される。ばらつきの値が当該上限値を閾値とした許容範囲外であると判定された場合には、CD値のばらつきを許容範囲内の値にするため、計算装置により、温度が検出される上記複数の箇所を設定されるべき温度の値およびその分布が算出される。このような処理の条件としての処理中の上記複数箇所での温度の設定値の集合を温度群として、CD値のばらつきが向上するように修正された温度群温度T3群を用いた処理の条件でこれらの温度になるようにヒーター201を調節して算出用ウエハを処理した結果のばらつき $\sigma_{CD}(T3\text{群})$ は、図13（a）に示すようになる。

[0035] 一方、スロープの左右差のばらつき $\sigma_S(10\text{deg})$ 及び $\sigma_S(50\text{deg})$ をプロットしたものは図13（b）であり、ばらつきの規定値を $\sigma=0.3$ とすると、スロープの左右差のばらつきは、いずれも規定値内（Yes）であることがわかる。このデータの場合では、温度制御後のCD値のばらつきもスロープの左右差のばらつきも規定値内に抑えることができるため、温度群T3を処理の条件とする処理用レシピデータに基づいた実ウエハ処

理に進むことができることが判る。

[0036] 一方、第2のパラメータのばらつきが規定値外の場合（No）は、第1のパラメータ（CD値）のばらつきを温度制御により規定値内にしても、第2のパラメータ（スロープの左右差）は規定値内にできないため、両パラメータのばらつきをスペック内にできないということになる。この場合は、本実施例ではスロープの左右差のばらつきを低減させるために、温度以外のエッチング処理の条件の再検討をして再度条件の設定を行う。このステップが図4のステップ407になる。

[0037] 図14に示した別の実験例の場合、任意の温度群T2，T3を処理の条件として処理された算出用ウエハの加工後のスロープの左右差がばらつきは規定値以上であり、温度を変えてもばらつきを低減できなかった。この例の場合は、ステップ407においてガスの種類が変更され温度の条件が温度群T3に変更されたものとして新たに処理の条件が設定し直されて、ステップ408において修正された処理用レシピデータが作成される。その後、ステップ400に戻り修正後の処理用レシピデータがエッチング装置に送信され、もう一度ステップ401から405を実行する。再度のこれらステップの実行により得られた加工後のパターンデータから第1，第2のパラメータが検出され、これらの値とばらつきとが算出される。

[0038] 図14に示す通り、この結果、CD値だけでなくスロープの左右差のばらつきも規定値0.3より小さい0.09に減少させることができた。ステップ407でエッチング条件を変えるたびにCD値の温度感度も変わってしまうため、その都度ステップ400から行い、CD値の電極制御温度の再計算を行う必要がある。

[0039] また、もし1回エッチング条件を変更し、ステップ401から405を行ったときに、ステップ405でスロープの左右差のばらつきを規定値内にできなかった場合は、再度ステップ407を行ってフローをやり直す。このように、ステップ405の判定でばらつきが規定値内に入るまでステップ400乃至405またはステップ407，408のループを繰り返す。最終的に

ステップ406の実ウエハの処理では、第2パラメータを用いた判定に基づいて第1パラメータに基づいた処理の条件に修正が加えられた処理用レシピを用いて処理が実施されることになる。

[0040] 本実施例の測定装置では3次元形状の情報を得るためにCD-SEMを用いたが、割ったり、FIB等で断面を出すことで、直接パターンの断面形状を観察して測定する方法でもかまわない。また、ステップ404は算出用ウエハの第1、第2のものを含むパラメータの算出するステップ403の後であって第2パラメータを用いた判定の工程であるステップ405との間に実施されているが、ステップ405での判定が規定値外である(N o)と判定された場合に、ステップ400以降の工程において再度パラメータを算出前の処理用レシピデータの修正の前に実施されてもよい。

[0041] また、本実施例では、温度感度の低い第2のパラメータにスロープの左右差を選んだが、実験的にはサブトレンチやMask Erosionも温度感度が低く、温度ではなくウエハバイアスを再検討することで面内均一性を向上させられるということがわかっているため、これらを第2のパラメータとして選択した場合も同様である。

[0042] また、温度感度が判っていない形状パラメータでも本実施例の図11及び図12のようにして、そのパラメータの温度感度を確認することができる。その場合は、SEM画像から算出された特徴量の温度感度を算出することで、その特徴量に強い相関を持つ3次元形状パラメータの温度感度がわかる。SEM画像からは、3次元形状パラメータに対応する複数の特徴量が算出されるので、各々の特徴量の温度感度を確認し、温度感度の高い特徴量を第1のパラメータとし、温度感度の低い特徴量を第2のパラメータとして選択してもよい。

[0043] また、第2のパラメータとして修正後の処理用レシピデータを用いた再度の算出用ウエハの処理後のCD-SEMによる検出を要するスロープの左右差でないものであって、再度のウエハ処理を要しないパラメータを用いる場合には、図4に示したフローチャートのうち、ステップ408から戻る工程

としてステップ400でなくステップ403またはステップ404が選択されてもよい。この場合、修正された処理用レシピデータの処理の条件を用いた処理の結果としてのパラメータの値を、実際のエッチング処理を用いずに所定の精度で検出または算出できる、例えば数値シミュレーションが用いられることが必要となる。

[0044] 本実施例の第1と第2のパラメータはどちらも幅(nm)で同次元であったため、そのままの比較検討が行えたが、3次元形状パラメータに対応する複数の特徴量は、それぞれ次元が異なる。この場合は、同じ次元で比較できるように、基準ダイのデータを用いてデータの標準化処理を行う必要がある。物理量としてCD値と3次元形状を想定したが、電気特性でも可能である。その場合は測定装置としてCD-SEMではなく、電気特性評価装置を使用する。

符号の説明

[0045] 101：測定装置、102：計算装置、103：エッチング装置、104：ウエハ、105：ウエハステージ、201：ヒーター、202：温度調節器、203：ヒーター制御部、204：冷媒流路、205：処理ウエハ、501：算出用ウエハ上面、502：ダイ、503：SEM画像。

請求の範囲

- [請求項1] ウエハをエッチングするエッチング装置と、前記エッチング装置によりエッチングされた前記ウエハの表面上に形成されたパターンを測定する測定装置と、前記エッチング装置にエッチング条件を提供する計算装置とを備え、
- 前記計算装置が、前記測定装置からの前記パターンの測定結果に基づいてエッチング条件のうちの温度条件と相関の高い第1のパラメータと相関の低い第2のパラメータを算出し、算出した前記第1のパラメータに基づいて前記第1のパラメータが許容範囲内となる温度条件を算出し、算出した前記第2のパラメータが許容範囲内かどうかを判定し、
- 算出した前記第2のパラメータが許容範囲外の場合に、温度条件以外の条件を変更したエッチング条件を提供し、算出した前記第2のパラメータが許容範囲内の場合に、温度条件を算出した温度条件に変更したエッチング条件を提供することを特徴とするエッチングシステム。
- [請求項2] 前記第1のパラメータが前記パターンのCD値であり、前記第2のパラメータが前記パターンの断面の斜面の左右の幅の差であることを特徴とする請求項1に記載のエッチングシステム。
- [請求項3] 前記測定装置がCD-SEM測定装置であり、前記パターンのTop ViewからのSEM画像を取得することを特徴とする請求項2に記載のエッチングシステム。
- [請求項4] 前記SEM画像から前記パターンのCD値と断面の斜面の左右の幅の差を算出することを特徴とする請求項3に記載のエッチングシステム。
- [請求項5] 算出した前記パターンの断面の斜面の左右の幅の差が許容範囲外の場合に、ガスを変更したエッチング条件を前記エッチング装置に提供することを特徴とする請求項4に記載のエッチングシステム。

[請求項6]

ウエハをエッチングするエッチング装置と、前記エッチング装置によりエッチングされたウエハの表面上に形成されたパターンを測定する測定装置と、前記エッチング装置にエッチング条件を提供する計算装置とを用いたエッチング方法において、

提供されたエッチング条件でウエハをエッチングする第1のステップと、

前記第1のステップでエッチングされたウエハの表面上に形成されたパターンを測定する第2のステップと、

前記第2のステップの測定結果に基づいてエッチング条件のうちの温度条件と相関の高い第1のパラメータと相関の低い第2のパラメータを算出する第3のステップと、

前記第3のステップで算出した前記第1のパラメータに基づいて前記第1のパラメータが許容範囲内となる温度条件を算出する第4のステップと、

前記第3のステップで算出した前記第2のパラメータが許容範囲内かどうかを判定する第5のステップと、

前記第5のステップの判定が許容範囲外の場合に、温度条件以外の条件を変更したエッチング条件を前記エッチング装置に提供する第6のステップと、

前記第5のステップの判定が許容範囲内の場合に、前記第4のステップで算出した温度条件に変更したエッチング条件を前記エッチング装置に提供する第7のステップを有し、

前記第5のステップの判定が許容範囲外となった場合、前記第5のステップの判定が許容範囲内となるまで前記第1乃至第6のステップを繰り返すことを特徴とするエッチング方法。

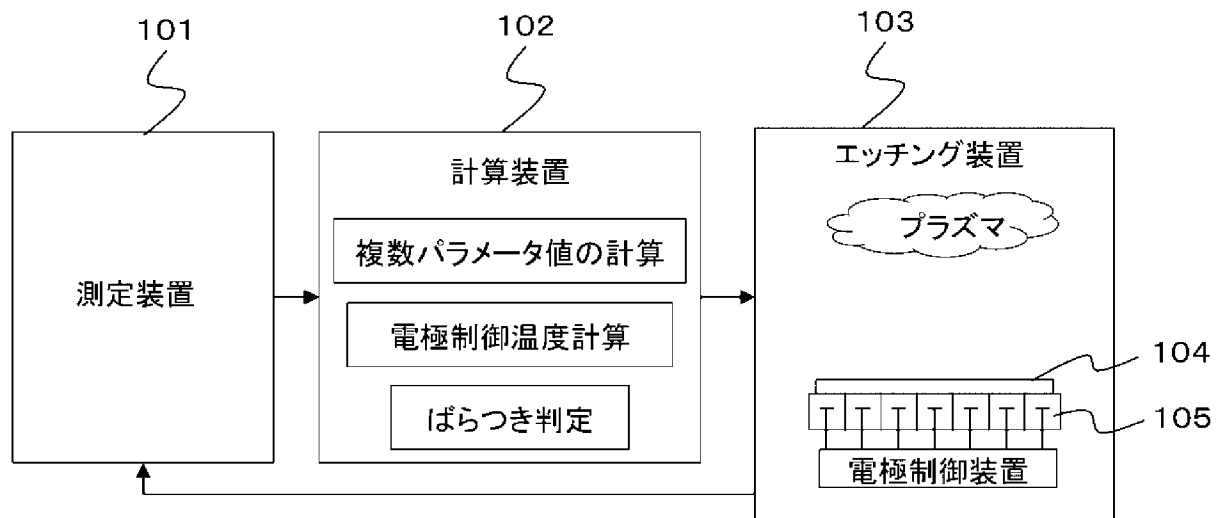
[請求項7]

前記第1のパラメータが前記パターンのCD値であり、前記第2のパラメータが前記パターンの断面の斜面の左右の幅の差であることを特徴とする請求項6に記載のエッチング方法。

- [請求項8] 前記測定装置がC D－S E M測定装置であり、前記第2のステップにおいて前記パターンのT o p V i e wからのS E M画像を取得することを特徴とする請求項7に記載のエッチング方法。
- [請求項9] 前記第3のステップにおいて前記S E M画像から前記パターンのC D値と断面の斜面の左右の幅の差を算出することを特徴とする請求項8に記載のエッチング方法。
- [請求項10] 前記第6のステップにおいてガスを変更したエッチング条件を前記エッチング装置に提供することを特徴とする請求項9に記載のエッチング方法。

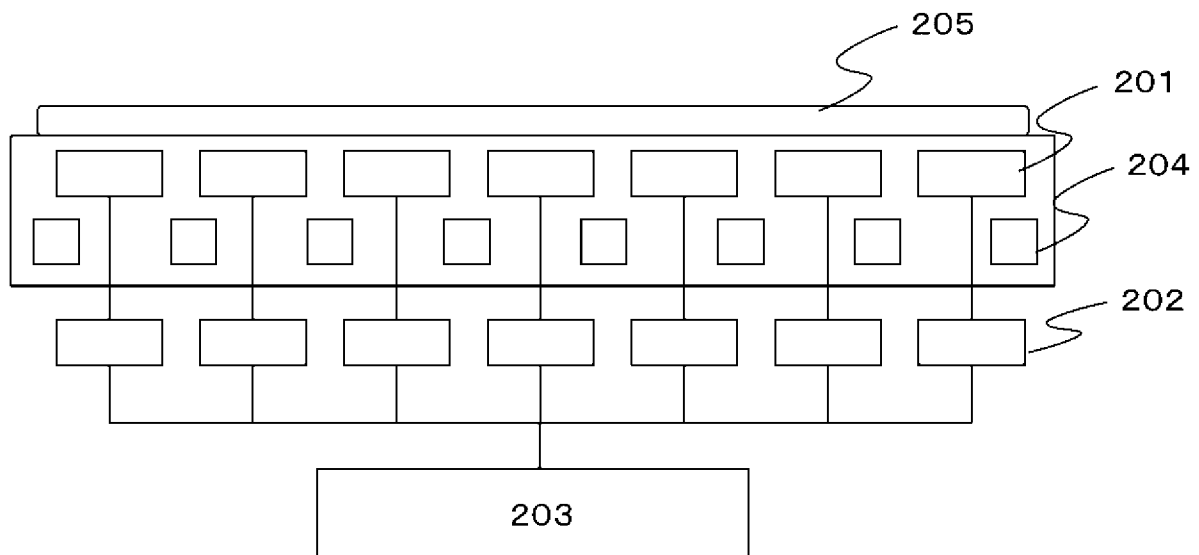
[図1]

図1



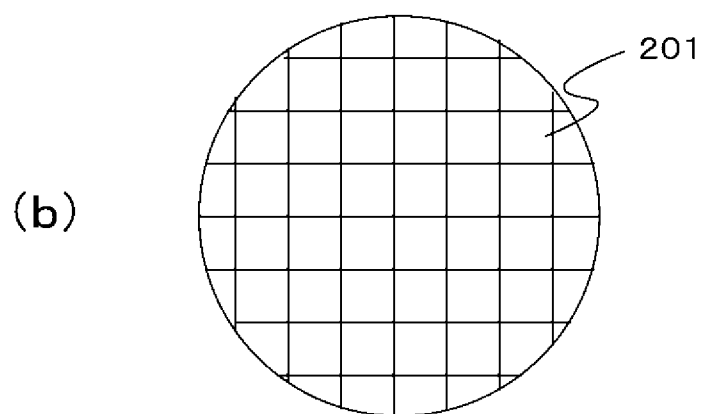
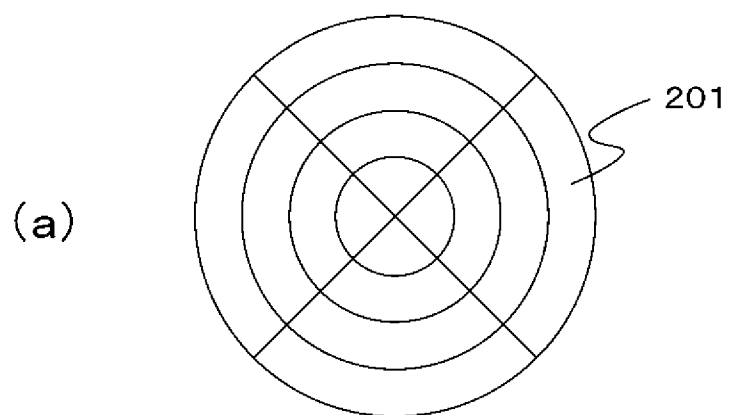
[図2]

図2



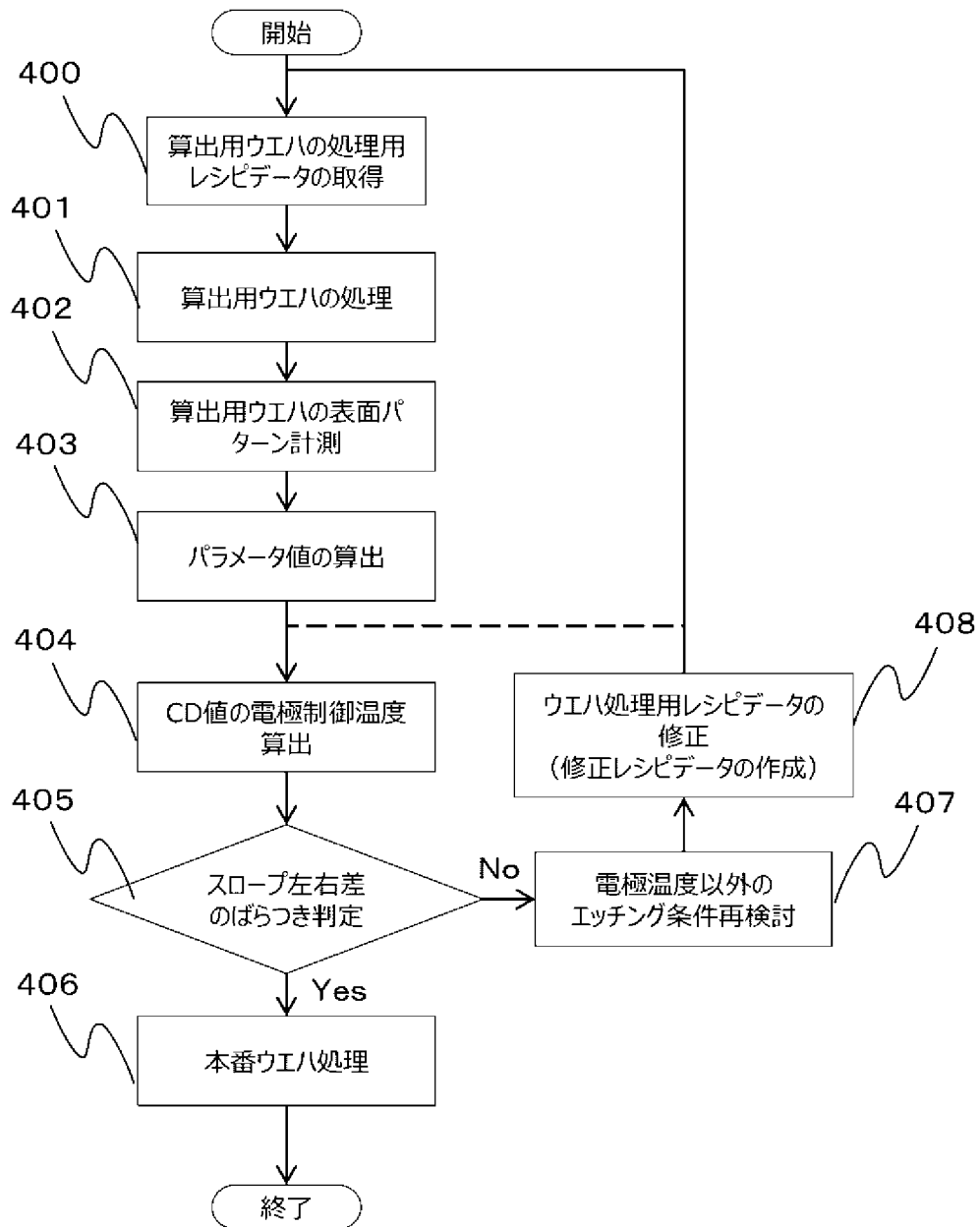
[図3]

図3



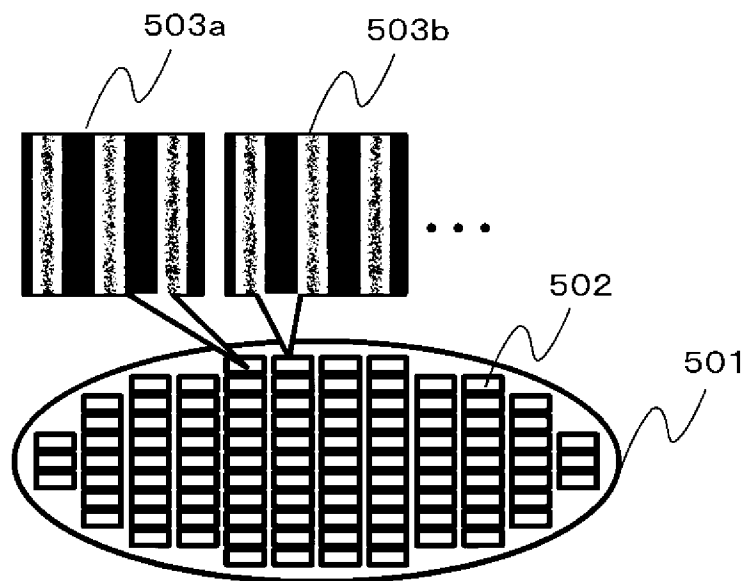
[図4]

図4



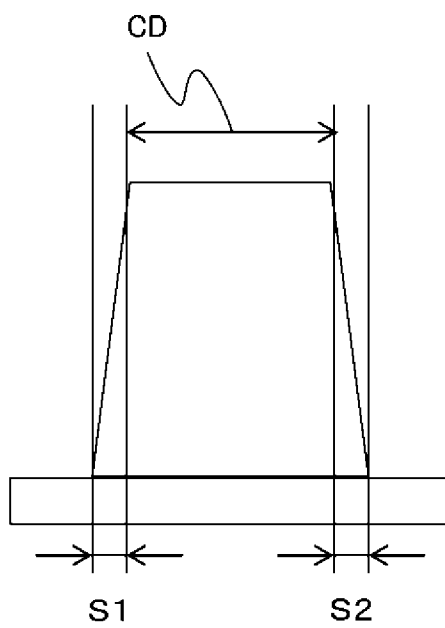
[図5]

図5



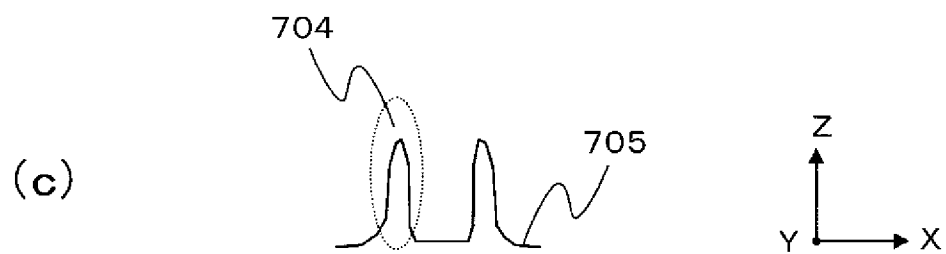
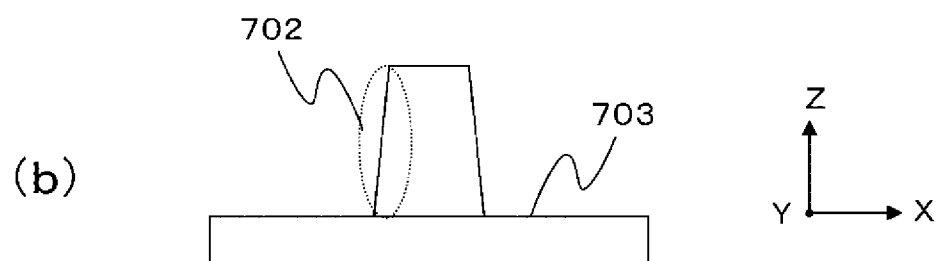
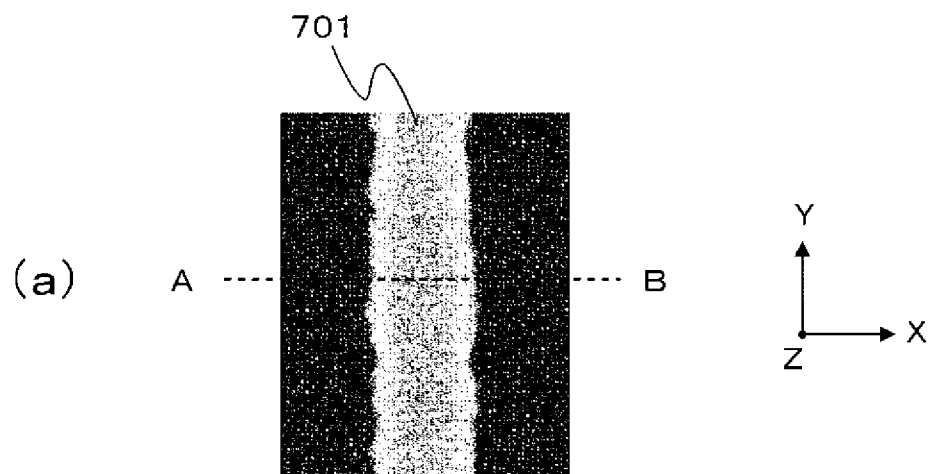
[図6]

図6



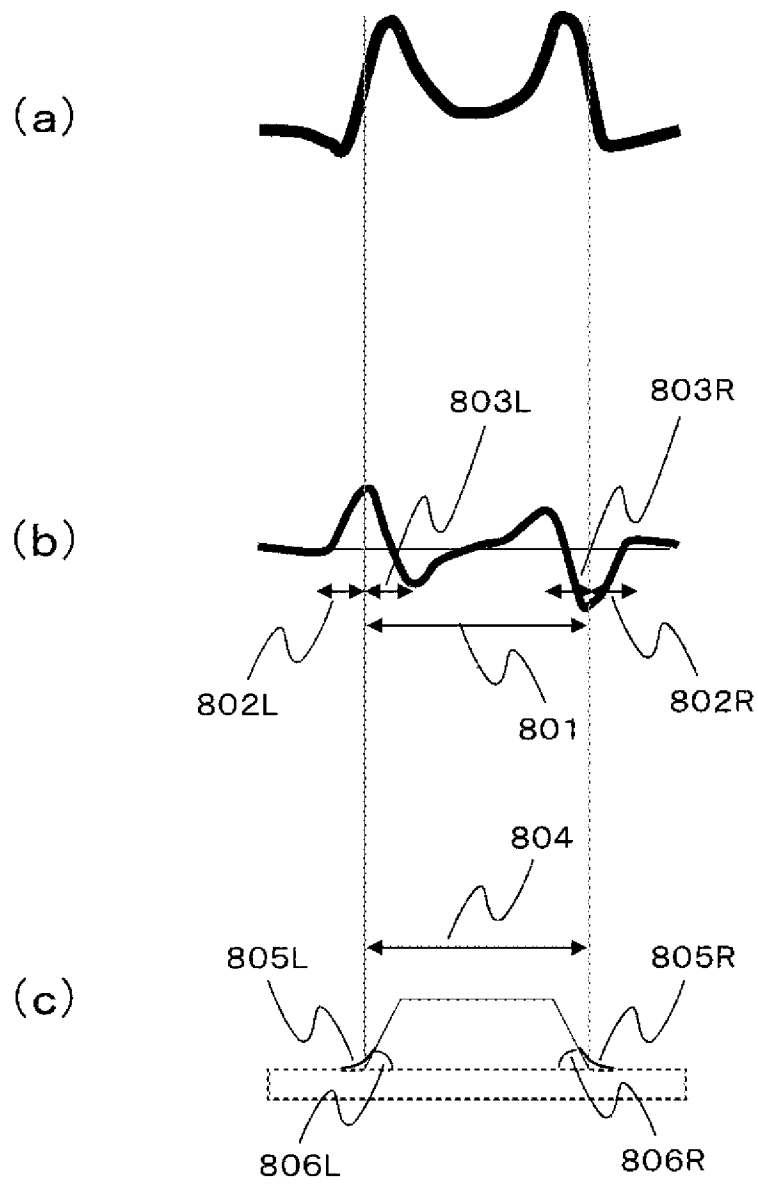
[図7]

図7



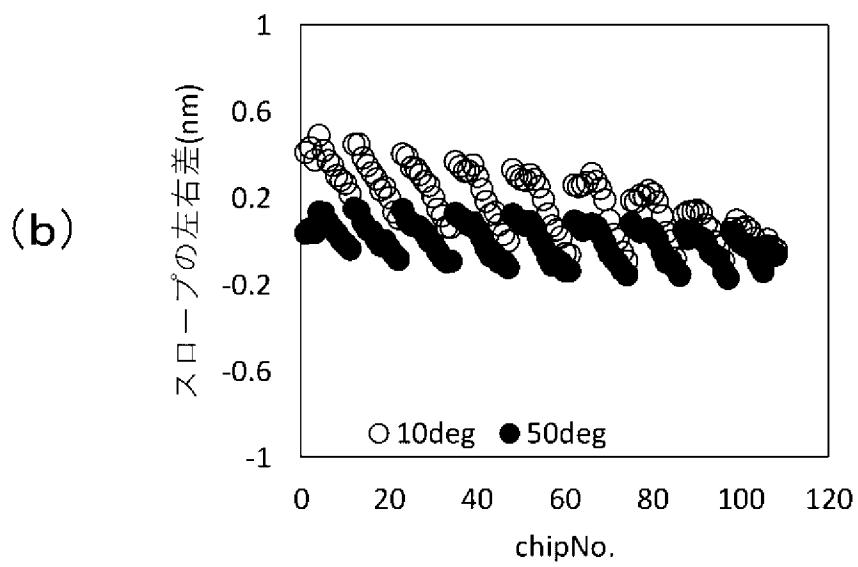
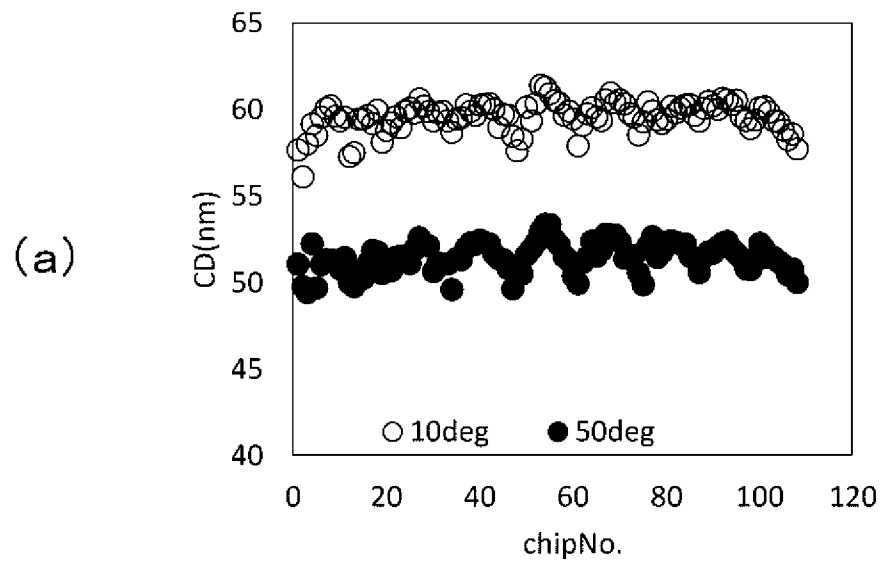
[図8]

図8



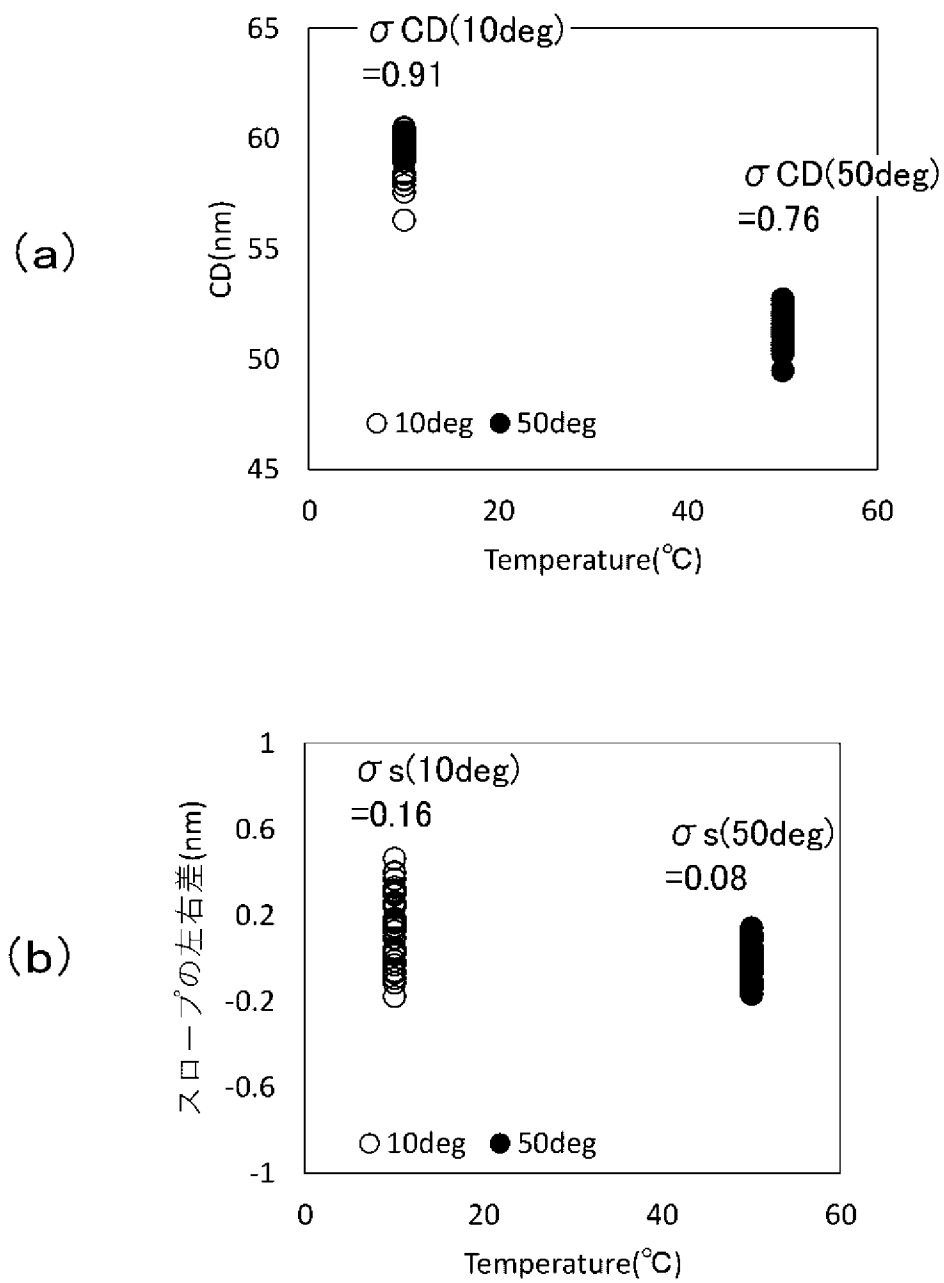
[図9]

図9



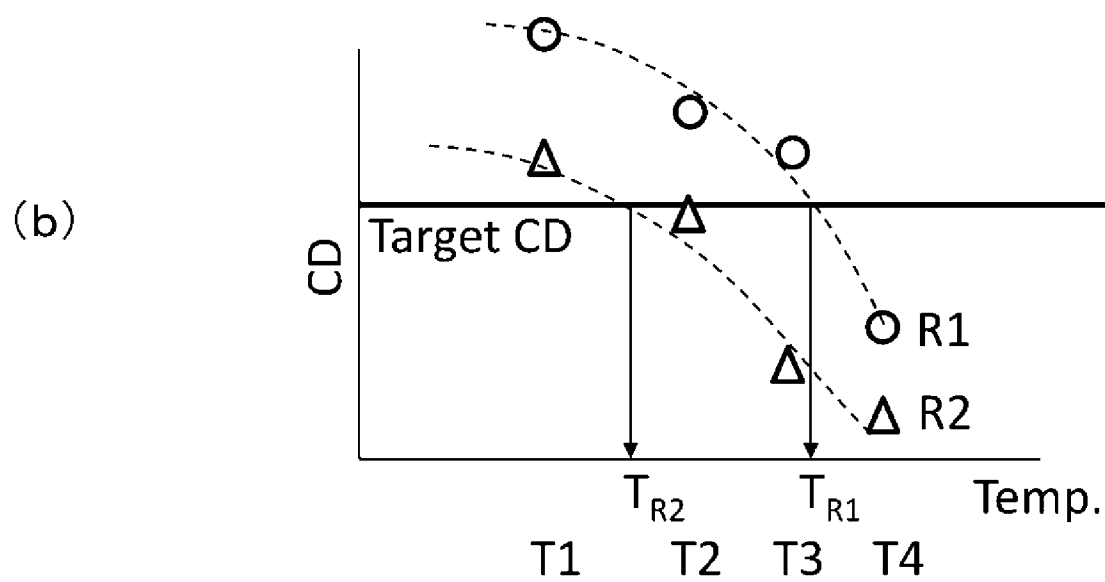
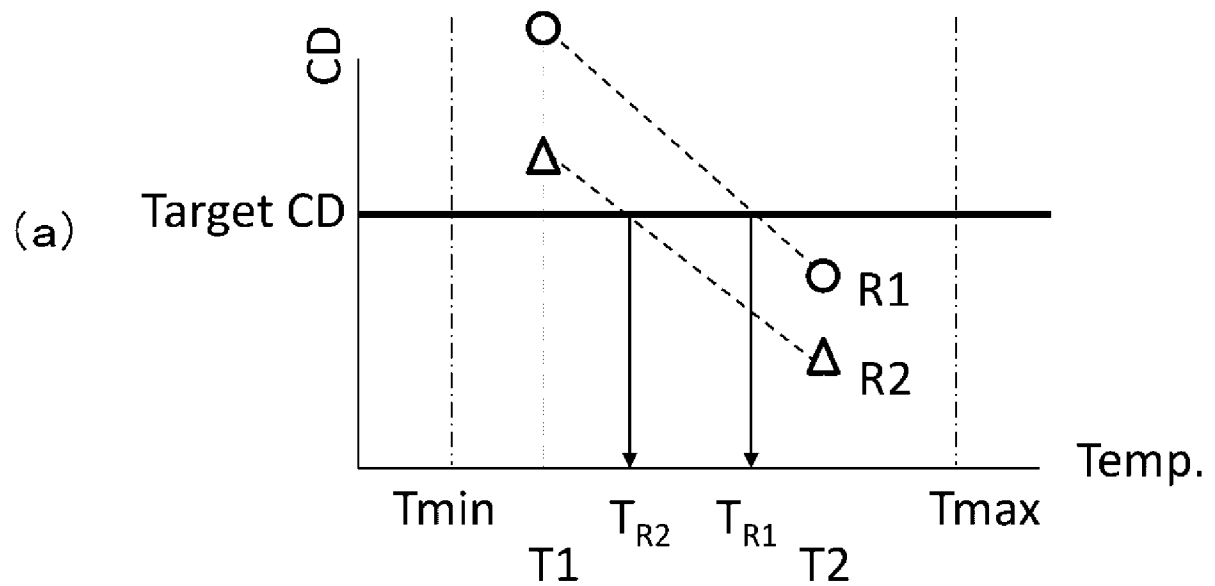
[図10]

図10



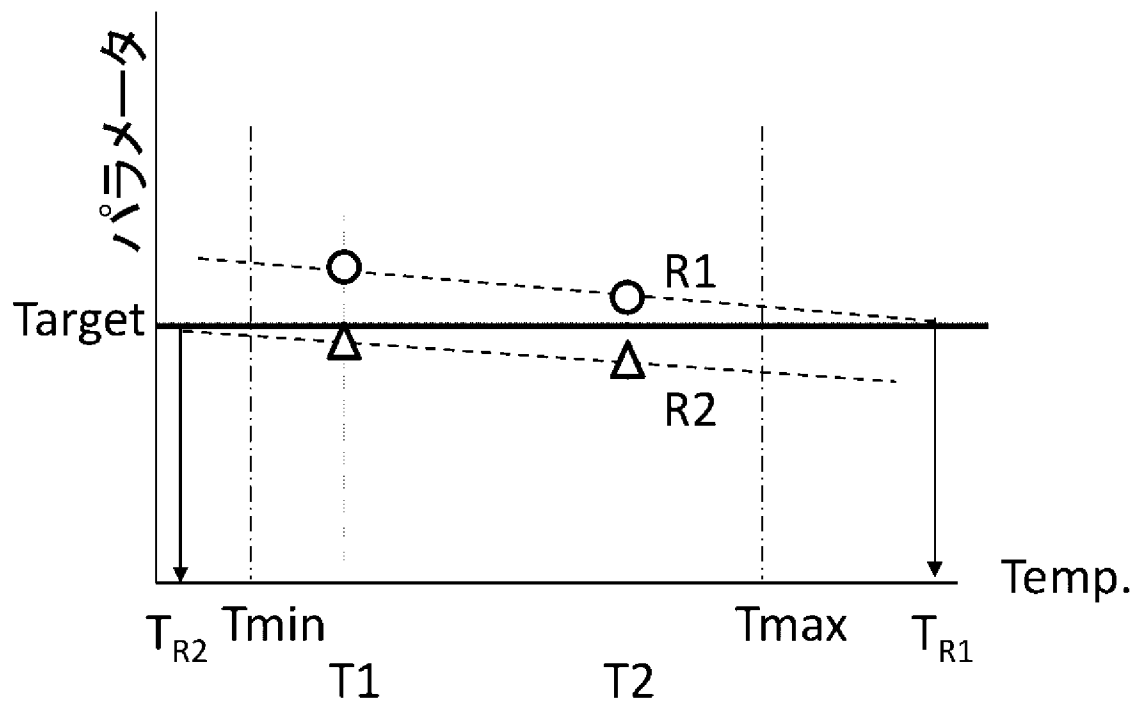
[図11]

図11



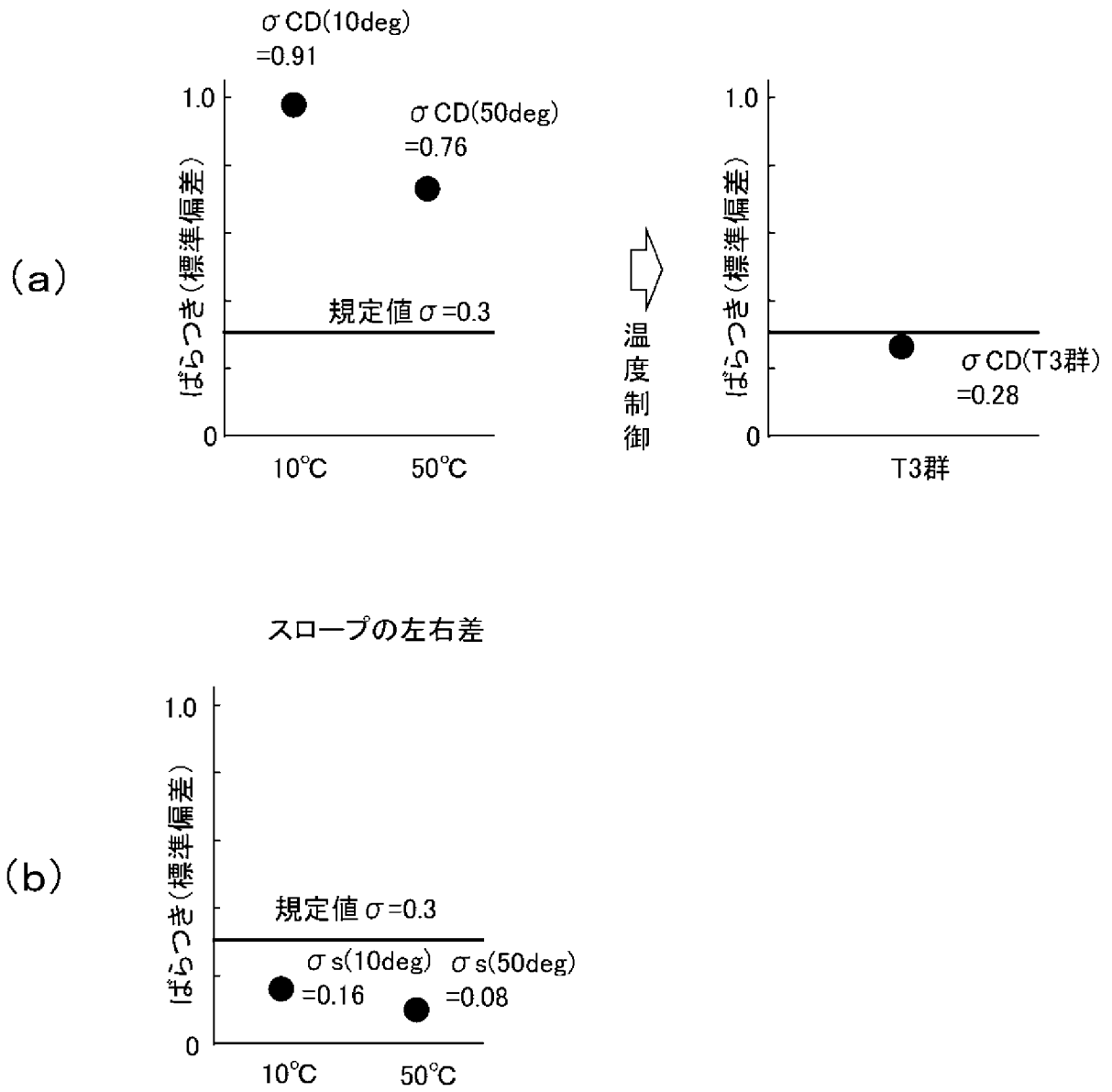
[図12]

図12



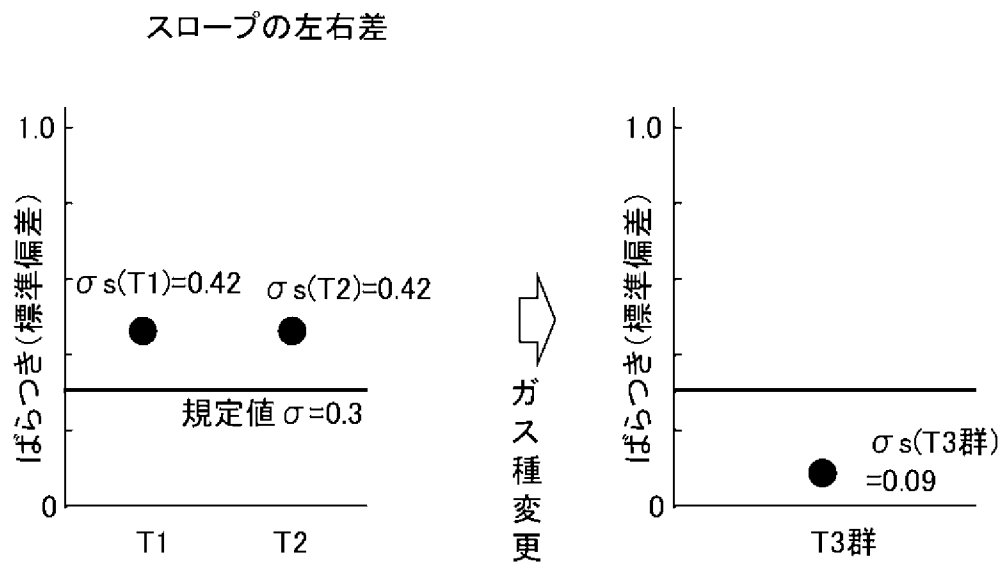
[図13]

図13



[図14]

図14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/025382

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01L 21/3065**(2006.01)i

FI: H01L21/302 101G

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)

H01L21/3065

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
A	US 2019/0172718 A1 (ASM IP HOLDING B.V.) 06 June 2019 (2019-06-06)	1-10
A	JP 2012-204806 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 22 October 2012 (2012-10-22)	1-10
A	JP 2018-117115 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 26 July 2018 (2018-07-26)	1-10



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

16 August 2023

Date of mailing of the international search report

29 August 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/025382

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
US	2019/0172718	A1	06 June 2019	KR	10-2019-0066583	A
				CN	109872947	A
				TW	201935560	A

JP	2012-204806	A	22 October 2012	US	2012/0249986	A1
				CN	102709208	A
				KR	10-2012-0110063	A
				TW	201301386	A

JP	2018-117115	A	26 July 2018	US	2018/0211853	A1
				CN	108335999	A
				KR	10-2018-0085690	A
				TW	201841549	A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 21/3065(2006.01)i FI: H01L21/302 101G		
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（IPC）） H01L21/3065		
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 1922 - 1996年 日本国公開実用新案公報 1971 - 2023年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2023年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2023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
A	US 2019/0172718 A1 (ASM IP HOLDING B.V.) 06.06.2019 (2019 - 06 - 06)	1-10
A	JP 2012-204806 A (東京エレクトロン株式会社) 22.10.2012 (2012 - 10 - 22)	1-10
A	JP 2018-117115 A (東京エレクトロン株式会社) 26.07.2018 (2018 - 07 - 26)	1-10
☐ 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抵触するものではなく、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 16.08.2023	国際調査報告の発送日 29.08.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 小▲高▼ 孔頌 50 1982 電話番号 03-3581-1101 内線 3559	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/025382

引用文献			公表日	パテントファミリー文献		公表日
US	2019/0172718	A1	06.06.2019	KR	10-2019-0066583	A
				CN	109872947	A
				TW	201935560	A
JP	2012-204806	A	22.10.2012	US	2012/0249986	A1
				CN	102709208	A
				KR	10-2012-0110063	A
				TW	201301386	A
JP	2018-117115	A	26.07.2018	US	2018/0211853	A1
				CN	108335999	A
				KR	10-2018-0085690	A
				TW	201841549	A