

明 細 書

発明の名称：

ポリシリコンにおける微粉発生のしやすさの推定方法、推定装置、ポリシリコンの製造方法、学習済モデルの生成装置および生成方法

技術分野

[0001] 本発明は、ポリシリコンにおける微粉発生のしやすさの推定方法、推定装置、ポリシリコンの製造方法、学習済モデルの生成装置および生成方法に関する。

背景技術

[0002] ポリシリコンにおいて、例えば輸送中における振動により、微粉が発生する場合がある。このような微粉は、ポリシリコンの取り扱いを困難にするほか、ポリシリコンの汚染原因となる場合もある。

[0003] このような微粉の発生は、ポリシリコンの析出状態によって表面に生じる凹凸が一つの要因となると考えられる。従来、表面状態に基づいてポリシリコンを分類する方法が提案されている（例えば、特許文献1～3）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特表2022-537014号公報

特許文献2：日本国特表2016-516666号公報

特許文献3：日本国特表2009-532319号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1～3に開示された技術は、ポリシリコンから発生する微粉に着目したものではない。そのため、微粉が発生しやすいポリシリコンの分別に適した方法と言えるものではない。

[0006] 本発明の一態様は、ポリシリコンにおける微粉の発生のしやすさを推定可

能な方法等を実現することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0007] 前記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るポリシリコンにおける微粉発生のしやすさの推定方法は、所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データと、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして生成された第1学習済モデルを用いて、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生のしやすさを推定する推定工程を含む。
- [0008] 前記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るポリシリコンの製造方法は、所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データと、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして生成された第1学習済モデルを用いて、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生のしやすさを推定する推定工程と、前記推定工程で推定された微粉の発生のしやすさに基づいて、前記第2ポリシリコンを分別する第1分別工程と、を含む。
- [0009] 前記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るポリシリコンにおける微粉発生のしやすさの推定装置は、所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データと、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして生成された第1学習済モデルを用いて、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生のしやすさを推定する推定部を含む。
- [0010] 前記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る学習済モデルの生成

装置は、所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データと、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして取得する取得部と、入力された、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生しやすいさの推定結果を出力する第1学習済モデルを生成する生成部と、を含む。

- [0011] 前記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る学習済モデルの生成方法は、所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データと、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして取得する取得工程と、入力された、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生しやすいさの推定結果を出力する第1学習済モデルを生成する生成工程と、を含む。

発明の効果

- [0012] 本発明の一態様によれば、ポリシリコンにおける微粉の発生しやすいさを推定可能な方法等を実現できる。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]ポリシリコンの製造方法の一部について、概要を示す模式図である。
- [図2]本発明の一実施形態に係る生成装置、推定装置および分別制御装置の機能構成を示すブロック図である。
- [図3]本発明の一実施形態に係るポリシリコンの製造方法を示すフローチャートである。
- [図4]ポリシリコンを表面状態によって分類した例を示す図である。
- [図5]PE袋に詰めたポリシリコンの破砕物の大きさについて、分布を示す図である。
- [図6]ポリシリコンの破砕物に与えられた振動の方向および強度を示す図であ

る。

[図7]試験輸送前後における、ポリシリコンの破砕物を詰めたPE袋内の微粉量を示す図である。

[図8]図3に示す第1取得工程から推定工程までの概要を示す模式図である。

[図9]図3に示す第3取得工程から凹凸領域の面積率算出工程までの概要を示す模式図である。

[図10]図3に示す第3取得工程から窪み数算出工程までの概要を示す模式図である。

[図11]ポリシリコンの総面積および凹凸領域の面積率に基づいた分別における、閾値設定の一例を示す図である。

[図12]ポリシリコンの総面積窪み数に基づいた分別における、閾値設定の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 〔本発明の概要〕

本発明の一実施形態は、ポリシリコンの製造方法に関するものである。ポリシリコンは、例えばベルジャー等を用いて、トリクロロシランを原料として析出させることで製造できる。析出されたロッド状のポリシリコンは、析出位置等によって表面状態にバラつきが生じる場合がある。

[0015] 具体的には、析出後のポリシリコンの表面には凹凸が生じる場合があるが、当該凹凸の程度が、ポリシリコン表面の位置によって異なる。このような凹凸は、ポップコーンに類似した形状であることから、ポップコーンまたはコーンと称される場合がある。

[0016] ポリシリコン表面の凹凸が大きい部分は、品質上劣る。例えば、ポリシリコンにおいて表面の凹凸が大きい部分はもろい場合が多く、輸送中に割れる恐れが大きい。また、凹凸が大きい部分は、ポリシリコン同士またはポリシリコンと包装体との摩擦により、微粉が発生しやすい。このような微粉は、ポリシリコンの取り扱いを困難にする他、ポリシリコンの汚染の原因ともなり得る。

- [0017] 微粉とは、所定の大きさよりも小さいポリシリコンの欠片または粉であってよい。例えば、製品となるポリシリコンの大きさが5 mm超120 mm以下程度である場合には、微粉は、5 mm以下の大きさのポリシリコンであってよい。
- [0018] このように微粉の大きさは、ポリシリコンの大きさに応じて適宜決められてよい。ポリシリコンおよび微粉の大きさは、それぞれ長径を示す。長径とは、ポリシリコンまたは微粉において、距離が最大となる2点間の距離を示す。また、長径が5 mm以下等の微粉の大きさは正確な測定が困難な場合があるため、例えば、微粉を5 mm以下の大きさと定義する場合、5 mm篩を通過したものを微粉とみなしてもよい。
- [0019] ロッド状のポリシリコンは、保管または輸送等のために、破碎または切り出し等の分割加工により分割体とされてもよい。このような分割体は、分割前のロッド状のポリシリコンにおける位置によって、表面状態が異なる。そのため、微粉の発生しやすさ等の物性についても、分割体ごとに異なる。なお、本明細書で単に「ポリシリコン」と称する場合、その形状は特に限定されず、例えばロッドまたは分割体の何れの状態であってよい。
- [0020] 図1には、本発明の一実施形態に係るポリシリコンの製造方法を適用可能な、ポリシリコンの破碎方法の一例を示している。ロッド状のポリシリコンPは、所定の粗さ以上の凹凸が存在する凹凸領域P1を表面の一部に有している。微粉の発生しにくいポリシリコンの破碎物を得るためには、破碎物群から凹凸領域P1を含む破碎物を取り除くことが好ましい。図1では、凹凸領域P1を含む破碎物を「コーン有り」、凹凸領域P1を含まない破碎物を「コーン無し」、凹凸領域P1を含む破碎物と凹凸領域P1を含まない破碎物が混合した破碎物群を「コーンMIX」として示している。
- [0021] 凹凸領域P1を含む破碎物を取り除くため、上述の破碎方法は、粗破碎工程S1と、破碎工程S2と、ハツリ工程S3と、を含んでいる。
- [0022] 粗破碎工程S1は、凹凸領域P1を取り除くため、ポリシリコンPを、表面に凹凸領域P1を含む部分と、凹凸領域P1を含まない部分とに分けた

めの工程である。破碎工程S 2は、粗破碎工程S 1で得られた、表面に凹凸領域P 1を含む部分と、凹凸領域P 1を含まない部分とをそれぞれ破碎して、破碎物を得る工程である。ポリシリコンPにおける、凹凸領域P 1を含まない部分をさらに破碎すると、凹凸領域P 1を含まない破碎物群が得られる。

[0023] 一方で、ポリシリコンPにおける凹凸領域P 1を含む部分を破碎すると、凹凸領域P 1を含む破碎物と、凹凸領域P 1を含まない破碎物とが混合した破碎物群が得られる。凹凸領域P 1を含む破碎物については、さらに破碎して凹凸領域P 1のみを削り落とす、いわゆるハツリを行うハツリ工程S 3を行うことで、凹凸領域P 1を含まない破碎物と、凹凸領域P 1が大部分を占める破碎物とに分別できる。

[0024] このようなハツリ工程S 3による破碎物の分別は、人間が破碎物の表面状態を目視して行うことも可能である。しかしながら、図4に示すような様々な表面状態の中で、どの程度までが振動における微粉発生に寄与するのかについては、明確ではなかった。また、目視等による判断基準の統一も困難であるという問題があった。

[0025] 本発明の一実施形態によれば、任意の振動条件による微粉の発生のしやすさに基づいて学習された、凹凸領域P 1と微粉の発生のしやすさとの相関についての基準に基づいて、ポリシリコンを分別することが可能となる。

[0026] このような破碎方法を実現するために、後述の本発明の実施形態1に例示されるポリシリコンの製造方法は、微粉が発生しやすいポリシリコンの画像を教師データとして生成した学習済モデルを用いて、ポリシリコンにおける微粉の発生のしやすさを推定する。そして、当該推定の結果に基づいて、ポリシリコンを分別できる。このような構成によれば、表面に凹凸領域P 1を含まず、微粉が発生しにくいポリシリコンを高い精度で選別できる。

[0027] また、後述の本発明の実施形態2に例示されるポリシリコンの製造方法は、微粉が発生しやすいポリシリコンの表面状態を教師データとして生成した学習済モデルを用いて、ポリシリコンの表面における凹凸領域P 1の面積率

を推定する。当該面積率等に基づいてポリシリコンを分別することで、ハツリ工程S3の対象として好適なポリシリコンを選別できる。このような構成によれば、凹凸領域P1を効率的に取り除くことができ、ポリシリコンの製造効率を大きく向上できる。

[0028] ここで、ポリシリコン製品には非常に高い純度が求められる。そのため、ポリシリコンは製品化の最終段階で、清浄化のためのエッチングが施される。エッチング後のポリシリコンは、表面における清浄度を保つため、ポリシリコン以外の接触物に触れないように梱包することが望ましい。

[0029] 凹凸領域P1を取り除くために、エッチング前において、表面状態を破碎前に検査するのは多大な労力を要する作業である。そのため、従来の表面状態の検査方法はいずれも、エッチング後のポリシリコンを対象とし、製品の最終検査を兼ね、表面状態の検査と共に、異物などの混入防止についても目的とする検査であった。

[0030] そのため、エッチング後の検査作業において検査作業員の手袋などに接触する機会も多くエッチング後の検査工程において表面の清浄度を損ねる虞があった。

[0031] 一例として、粗破碎工程S1前のポリシリコンPの重量割合を100%とする。このとき、粗破碎工程S1、破碎工程S2およびハツリ工程S3を経た後において、製品として不適な凹凸領域P1を含む破碎物の重量割合は、ポリシリコンPの析出条件にもよるが、例えば25%程度である。エッチング前に凹凸領域P1を含む破碎物を検出できれば、エッチング後の表面状態の検査が不要となり表面清浄度を損ねないため、従来の方法よりもポリシリコンの表面清浄度は良化する。また、ポリシリコンの表面状態の検査作業について、負担を軽減できる。

[0032] 本発明の一実施形態に係るポリシリコンの製造方法によれば、ポリシリコンのエッチング前に微粉発生のしやすさを推定し、当該推定の結果に基づいてポリシリコンを分別できる。エッチングの前後で、ポリシリコンの表面における凹凸の形状は大きく変化しないため、エッチング前の検査によって、

エッチング後のポリシリコン製品における微粉の発生のしやすさを精度よく推定可能なためである。

[0033] これにより、微粉が発生しやすいポリシリコンはエッチングの対象から除外できる。より価値の高い半導体用ポリシリコンを得るためには、微粉が発生しにくいポリシリコンのみエッチングを施せばよい。そのため、従来と比較してポリシリコンの製造効率を大きく向上できる。このような効果は、例えば、国連が提唱する持続可能な開発目標（SDGs）の目標12「持続可能な生産消費形態を確保する」等の達成にも貢献するものである。

[0034] 〔実施形態1〕

図3に示すように、本実施形態に係るポリシリコンの製造方法は、少なくとも推定工程S14と、第1分別工程S15と、を含み、さらに第1取得工程S11と、第1生成工程S12と、第2取得工程S13と、を含んでもよい。推定工程S14では、例えば、第1生成工程S12により得られる第1学習済モデルを用いて推定を行う。まず、第1学習済モデルを取得するための、本実施形態に係る学習済モデルの生成方法について説明する。

[0035] <第1学習済モデルの生成>

本実施形態に係る学習済モデルの生成方法は、例えば、図2に示す学習済モデルの生成装置10により実行されてもよい。以下、学習済モデルの生成方法について、生成装置10により実行される場合を例として説明する。

[0036] 図2に示すように、生成装置10は、第1取得部（取得部）11と、第1生成部（生成部）12とを有している。生成装置10は、第1取得部11および第1生成部12の処理を実行可能な制御装置であってよく、例えば、CPU（Central Processing Unit）であってよい。また、生成装置10は、このような制御装置を備えると共に、さらに記憶装置および通信装置等を備える装置であってもよい。

[0037] （第1取得工程および第1教師データ）

図3に示すように、第1取得部11は、第1学習済モデルを生成するために用いられる第1教師データを取得する第1取得工程（取得工程）S11を

実行する。第1教師データは、判定データと、第1撮像データとを含むデータである。判定データは、所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かを示すデータである。また、第1撮像データは、第1ポリシリコンの画像を含むデータである。

[0038] 第1ポリシリコンとは、振動による微粉の発生しやすさが既知のポリシリコンである。例えば、第1ポリシリコンには、所定条件の振動が与えられることで、どの程度の量の微粉が発生したかの情報が存在していることが好ましい。

[0039] 第1ポリシリコンは、例えば、ポリシリコンの最終製品であって、輸送前後の微粉の発生量が既知のポリシリコンであってよい。また、第1ポリシリコンは、ポリシリコンのサンプル等であって、製品の輸送に近い条件で振動が与えられ、その前後での微粉の発生量が既知のポリシリコンであってもよい。なお、第1ポリシリコンに与えられる振動は、製品の輸送に近い条件でなくてもよく、例えば加速試験のような、製品の輸送とは異なる条件の振動であってもよい。

[0040] 判定データにおける第1閾値は、例えば、所定条件の振動に対する、微粉の発生量の許容値であってよい。この場合、微粉の発生量が第1閾値以下であれば、当該第1ポリシリコンは微粉が発生しにくいポリシリコンであると言える。第1閾値の設定方法は特に限定されず、微粉の発生しにくいポリシリコンを分別するために好適な値が、適宜設定されてよい。

[0041] 第1ポリシリコンにおける微粉の発生量が第1閾値以下であるか否かの判定は、第1ポリシリコンごとに、実際の微粉発生量の測定値に基づいて行われてもよい。また、当該判定は、第1ポリシリコンの表面状態に基づいて行われてもよい。これは、ポリシリコンは表面の凹凸が粗いほど微粉が発生しやすいという、本発明者らが実験的に明らかにした知見に基づく。

[0042] 図4に示すように、本発明者らは、ポリシリコンの破砕物を表面状態によって群分けした。具体的には、表面が最も滑らかな群をレベル1、最も粗い

群をレベル8として、ポリシリコンの破砕物を相対的に8つの群に分類した。図4は、各群のポリシリコンの破砕物について、表面を同一倍率で撮像した例である。このとき、レベル1～4に分類されるポリシリコンの破砕物と比較して、レベル5～8に分類されるポリシリコンの破砕物は、微粉の発生量が多いことを、本発明者らは見出した。言い換えれば、ポリシリコンは、レベル4以下に分類される表面状態であれば、微粉の発生量が製品化において許容範囲内である可能性が高いことを、本発明者らは見出した。

[0043] 具体的には、図5に示す通りの、ポリシリコンの破砕物（ナゲット）の大きさ（長径、横軸）に対する重量分布（重量％、左縦軸）および累計重量分布（重量％、右縦軸）となるように作成したナゲット5kgを、PE（ポリエチレン）袋に詰めた。ナゲットの大きさは、ナゲットの最大辺長である長径をノギスにより測定することで得た。ナゲットの大きさは10～110mmであり、中央値は約70mmであった。当該PE袋を段ボール箱に梱包して、往復約400km（片道約200km）の輸送テストを行った。このような条件は、ポリシリコン製品の輸送条件に準ずる条件である。段ボール箱は輸送トラックの積荷スペース後部に積載し、段ボール箱の上に3軸の加速度センサを有する振動計を設置した。

[0044] 図6には、輸送トラックの進行方向をX軸、進行方向に対して左右方向をY軸、上下方向をZ軸とし、振動計におけるそれぞれの方向への加速度（G）を経時的に測定した結果を示している。X軸は、例えば走行中の輸送トラックが停止すると進行方向に加速度が発生するためプラスの値となり、例えば発進の際はマイナスの値となる。Y軸は、進行方向に向かって輸送トラックが左にカーブすると右側に加速度が働くためプラスの値となり、右側にカーブするとマイナスの値となる。Z軸は、重力の影響により静止状態が約-1Gとなる。Z軸は、段ボール箱が上側に跳ねると-1Gよりマイナス側の値になり、段ボール箱が上から押されると-1Gよりプラス側の値になる。

[0045] 図6に示すように、ナゲットが格納された段ボール箱は、上下方向の移動が大きく、前後よりも左右方向の傾きが大きいことが分かった。ナゲットが

らの微粉の発生は、輸送中にこのような振動を受け、互いに衝突またはこすれ合うことで発生すると考えられる。このとき、ナゲットの表面の凹凸が大きいほど、衝突またはこすれ合いによって微粉が発生しやすいと考えられる。

[0046] また、ナゲットの表面に穴またはクラック等の窪みがあると、当該窪み内にエッチングでも除去できない微粉が残存してしまう場合がある。このような窪み内の微粉も、振動によって窪みから排出されるため、微粉の発生原因となる。

[0047] 図 7 には、製品輸送に準じた条件で実施した 2 回の試験の結果を示している。試験 1 では、表面状態がレベル 1 ～ 4 に分類されるナゲットを P E 袋に詰めた条件と、表面状態がレベル 1 ～ 8 に分類されるナゲットを P E 袋に詰めた条件との比較を行った。試験 1 では、輸送前（出荷前）は 25 個（N = 25）の P E 袋を、試験後は 14 個（N = 14）の P E 袋をそれぞれ無作為にサンプリングして、微粉の量を測定した。

[0048] 試験 2 は、試験 1 とは別日に同じ輸送条件で行ったものであり、表面状態がレベル 1 ～ 6 に分類されるナゲットを P E 袋に詰めた条件と、表面状態がレベル 5 または 6 に分類されるナゲットを P E 袋に詰めた条件との比較を行った。試験 2 では、輸送前（出荷前）および試験後のいずれも、10 個（N = 10）の P E 袋をそれぞれ無作為にサンプリングし、微粉の量を測定した。

[0049] P E 袋内のナゲットについて、大きさに基づいて分別した。まず、P E 袋内のナゲットを、5 mm 篩を用いて分別した。5 mm 篩を通過した微粉は、さらに 1 mm 篩を用いて分別した。これにより、大きさが 1 mm 以下の微粉、1 ～ 5 mm の微粉、および 5 mm 超のナゲットの 3 群を得た。微粉の群について、重量（g）を測定した。

[0050] 図 7 に示すように、試験 1 では、レベル 1 ～ 4 群と比較して、レベル 1 ～ 8 群では、試験後に増加した微粉量が多いことが示された。これは、レベル 1 ～ 8 群には表面状態が粗いナゲットが多く含まれていることで、レベル 1

～4群と比較して微粉の発生量が増加したことが原因と考えられる。

[0051] また、試験2では、レベル1～6群と比較して、レベル5・6群では、試験後に増加した微粉量が多いことが示された。これは、レベル1～6群よりも、レベル5・6群で、表面状態が粗いナゲットの割合が多いことで、微粉の発生量が増加したことが原因と考えられる。

[0052] 以上の通り、ポリシリコンは、表面状態が粗いほど、振動によって微粉が発生しやすいことが試験的に示された。当該知見に基づき、第1ポリシリコンにおいて、振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かは、第1ポリシリコンの表面状態が所定の粗さ以下であるか否かに基づいて擬似的に判定してもよい。

[0053] 第1撮像データは、第1ポリシリコンを撮像した少なくとも1つの画像を含んでいればよい。また、第1撮像データは、第1ポリシリコンをそれぞれ異なる方向から撮像した複数の画像であることが好ましい。より具体的には、第1撮像データは、第1ポリシリコンの1つの面である第1面の画像と、第1面の裏側を含む面である第2面の画像と、を含むことが好ましい。

[0054] このような構成によれば、第1撮像データは、第1ポリシリコンの表裏の面の画像を含むため、第1ポリシリコンの表面状態と、第1ポリシリコンの微粉発生の一やすさとの相関を示す指標として好適なデータとなる。したがって、このような第1撮像データによれば、推定対象となる第2ポリシリコンの微粉発生の一やすさを、高い精度で推定可能な第1学習済モデルの生成が可能となる。

[0055] 第1撮像データは、好ましくは、第1ポリシリコンの第1面を複数の方向からそれぞれ撮像した複数の画像と、第2面を複数の方向から撮像した複数の画像と、を含んでいることが好ましい。また、第1撮像データに含まれる第1ポリシリコンの画像は、影となる部分が少ない程好ましい。例えば、第1ポリシリコンの撮像では、光源を複数設ける、ドーム内で光を乱反射させる、等の方法により、複数の方向から第1ポリシリコンに光が当たった状態で行われることが好ましい。

[0056] 第1撮像データが複数の画像を含む場合、第1撮像データは、当該複数の画像が合成された合成画像であってもよい。第1撮像データがこのような合成画像であれば、第1生成部12は、第1教師データとして比較的少ない枚数の画像を処理すればよく、処理負荷を低減できる。なお、第1撮像データは、複数の画像を個別に含むアーカイブ形式のデータであってもよい。

[0057] (第1生成工程)

次に、第1生成部12は、第1取得部11が取得した判定データおよび第1撮像データを教師データ(第1教師データ)として用い、第1学習済モデルを生成する第1生成工程(生成工程)S12を実行する。第1学習済モデルは、入力された、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の微粉の発生のしやすさの推定結果を出力するアルゴリズムとして機能する。

[0058] 第2ポリシリコンは、第1学習済モデルを用いて微粉の発生しやすさを推定する対象となるポリシリコンである。第2ポリシリコンは、微粉の発生しやすさが未知のポリシリコンであることが好ましいが、これに限られず、例えば何らかの方法で微粉の発生しやすさを推定済みのポリシリコンであってもよい。

[0059] 第2撮像データは、第2ポリシリコンの画像を含むデータである。第2撮像データは、第2ポリシリコンを撮像した少なくとも1つの画像を含んでいればよい。また、第2撮像データは、第2ポリシリコンをそれぞれ異なる方向から撮像した複数の画像であることが好ましい。より具体的には、第2撮像データは、第2ポリシリコンの1つの面である第3面の画像と、第3面の裏側を含む面である第4面の画像と、を含むことが好ましい。

[0060] このような構成によれば、第2撮像データは、第2ポリシリコンの表裏の面の画像を含むため、第2ポリシリコンの表面状態と、第2ポリシリコンの微粉発生しやすさとの相関を示す指標として好適なデータとなる。したがって、このような第2撮像データは、第2ポリシリコンの微粉発生しやすさを高い精度で推定するための入力データとして好ましい。

- [0061] 第2撮像データは、好ましくは、第2ポリシリコンの第3面を複数の方向からそれぞれ撮像した複数の画像と、第4面を複数の方向から撮像した複数の画像と、を含んでいることが好ましい。また、第2撮像データに含まれる第2ポリシリコンの画像は、第1撮像データに含まれる第1ポリシリコンの画像と同様に、影となる部分が少ない程好ましい。例えば、第2ポリシリコンの撮像では、光源を複数設ける、ドーム内で光を乱反射させる、等の方法により、複数の方向から第2ポリシリコンに光が当たった状態で行われることが好ましい。
- [0062] 第2撮像データにおける画像形式は、第1撮像データにおける画像形式と同様であることが好ましい。例えば、第1撮像データが複数の画像の合成画像である場合、第2撮像データもまた、複数の画像の合成画像であることが好ましい。このとき、第2撮像データに含まれる画像の枚数は、第1撮像データに含まれる画像の枚数と同一であることが好ましい。このような構成によれば、第1学習済モデルを用いて、第2撮像データから容易に推定を行うことができる。
- [0063] 第1生成部12が実行する第1生成工程S12は、第1教師データを機械学習アルゴリズムに入力することで、機械学習アルゴリズムを最適化する工程であると言える。第1学習済モデルは、第1教師データの入力により、第2ポリシリコンの微粉の発生しやすいさの推定に最適化された機械学習アルゴリズムであると言える。このような機械学習アルゴリズムは特に限定されないが、例えばニューラルネットワークであってよい。機械学習アルゴリズムは、例えばCNN（畳み込みニューラルネットワーク）であってもよい。
- [0064] <第1学習済モデルを用いた推定>
- 本実施形態に係るポリシリコンにおける微粉発生のしやすいさの推定方法は、第1学習済モデルを用いて行われる。当該推定方法は、図2に示す、ポリシリコンにおける微粉発生のしやすいさの推定装置20により行われてもよい。以下、ポリシリコンにおける微粉発生のしやすいさの推定方法について、推定装置20により実行される場合を例として説明する。

- [0065] 図2に示すように、推定装置20は、第2取得部21と、推定部22とを有している。推定装置20は、第2取得部21および推定部22の処理を実行可能な制御装置であってよく、例えば、CPU (Central Processing Unit) であってよい。また、推定装置20は、このような制御装置を備えると共に、さらに記憶装置および通信装置等を備える装置であってもよい。
- [0066] 図3に示すように、第2取得部21は、第2撮像データを取得する第2取得工程S13を実行する。第2撮像データについては説明済みであるため、ここでは説明を省略する。
- [0067] 次に、推定部22は、第1学習済モデルを用いて、第2取得部21が取得した第2撮像データから、第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の微粉の発生のしやすさを推定する推定工程S14を実行する。推定部22が用いる第1学習済モデルは、推定装置20が予め記憶していてもよく、第2取得部21が生成装置10から適時取得してもよい。
- [0068] 第2ポリシリコンにおける微粉の発生のしやすさの推定結果は、例えば、第2ポリシリコンに所定条件の振動が与えられた際に、微粉の発生量が、当該条件の振動に対応する第1閾値以下であるか否かの推定結果であってよい。第2ポリシリコンから発生する微粉の量は、与えられる振動の強度と正の相関関係があると考えられる。そのため、このような推定結果は、実際の振動の強さに関わらず、第2ポリシリコンの微粉の発生しやすさの指標として有用である。
- [0069] 言い換えれば、第1学習済モデルは、特定の条件の振動と、当該条件に対応する微粉の発生量の第1閾値とにより生成されるものである。しかしながら、推定部22は、このような第1学習済モデルを用いて、第2ポリシリコンにおける相対的な微粉の発生しやすさを、第2ポリシリコンに与えられる振動の条件を問わず、精度よく推定できる。
- [0070] 図8には、第1取得工程S11から推定工程S14までの工程の概要を示している。図8に示す例では、第1撮像データは、第1ポリシリコンの画像を複数含む合成画像である。また、判定データは、微粉の発生量について、

当該第1ポリシリコンの表面状態がレベル1～4である場合を第1閾値以下であると判定し、表面状態がレベル5～8である場合は第1閾値を超えると判定した結果を示すデータである。

[0071] 第1生成部12は、このような対応関係の第1撮像データおよび判定データから、第1学習済モデルを生成する。推定部22は、第2ポリシリコンの画像を複数含む合成画像を第2撮像データとして第1学習済モデルに入力し、当該第2ポリシリコンの微粉発生のしやすさを推定する。具体的には、推定部22は、第2ポリシリコンの表面状態がレベル4以下か否かの結果を、第2ポリシリコンの微粉発生のしやすさの推定結果として示してもよい。

[0072] <第2ポリシリコンの分別>

第1分別工程S15は、推定工程S14で推定された微粉の発生のしやすさに基づいて、第2ポリシリコンを分別する工程である。第1分別工程S15は、図2に示す分別制御装置30により実行されてもよい。第1分別工程S15は、図1に示す破碎工程S2により得られたポリシリコンの破碎物を対象として実施される工程であってよい。

[0073] 図2に示すように、分別制御装置30は、第1分別部31を有している。分別制御装置30は、第1分別部31の処理を実行可能な制御装置であってよく、例えば、CPU (Central Processing Unit) であってよい。また、分別制御装置30は、このような制御装置を備えると共に、さらに記憶装置および通信装置等を備える装置であってよい。

[0074] 第1分別部31は、例えば、推定工程S14で微粉の発生のしやすさが所定の第2閾値を超えると推定された第2ポリシリコンである第3ポリシリコンと、その他の第2ポリシリコンとを分別するための制御を行ってもよい。第2閾値は、例えば、第2ポリシリコンにおいて、微粉の発生のしやすさが第2閾値を超えた場合、製品化に不適であることの指標となる値であってよい。

[0075] 例えば、第1分別部31は、推定工程S14による推定結果が、第2ポリシリコンの表面状態が所定の粗さ以下である場合に、当該第2ポリシリコン

の微粉の発生しやすいさが第2閾値以下であると判定してもよい。

[0076] 第1分別部31は、第2ポリシリコンを分別するための制御について、第2ポリシリコンを分別するための物理的な機構に対して制御信号を送信してもよい。このような物理的な機構は、分別制御装置30が備えていてもよいし、分別制御装置30とは異なる、第2ポリシリコンの分別装置（不図示）が備えていてもよい。

[0077] 以上に例示する構成を有する本実施形態に係るポリシリコンの製造方法によれば、第2ポリシリコンについて、微粉の発生しやすいさを精度よく推定できる。また、微粉が発生しにくい第2ポリシリコンを予め推定することで、当該第2ポリシリコンに対してのみエッチングを施すことができるため、ポリシリコンの製造効率を大きく向上できる。

[0078] なお、図2に示す生成装置10、推定装置20および分別制御装置30が備える各制御ブロックは、単一の制御装置により実現されてもよい。また、生成装置10および推定装置20が備える各制御ブロックが単一の制御装置により実現されていてもよいし、推定装置20および分別制御装置30が備える各制御ブロックが単一の制御装置により実現されていてもよい。

[0079] 〔実施形態2〕

本発明の実施形態2について、以下に説明する。なお、説明の便宜上、前記実施形態1にて説明した部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記し、その説明を繰り返さない。

[0080] 本実施形態に係るポリシリコンの製造方法は、実施形態1に係るポリシリコンの製造方法において微粉が発生しやすいと推定された第3ポリシリコンについて、効率的にハツリ工程S3を実施するための方法を含む。

[0081] 本実施形態に係るポリシリコンの製造方法は、図3に示すように、実施形態1に係るポリシリコンの製造方法の各工程に加え、第3取得工程S16と、第2生成工程S17と、面積率算出工程S18と、窪み数算出工程S19と、第2分別工程S20とを含む。面積率算出工程S18および窪み数算出工程S19は、例えば第2生成工程S17により生成される第2学習済モデ

ルを用いて、それぞれ算出処理を実行する。まず、第2学習済モデルの生成方法について説明する。

[0082] <第2学習済モデルの生成>

(第2取得工程および第2教師データ)

第2学習済モデルは、第3ポリシリコンがハツリ工程S3の対象として好適か否かを推定するためのアルゴリズムとして機能する。第2学習済モデルの生成は、生成装置10により実行されてもよい。図2に示すように、生成装置10は、第2学習済モデルを生成するための第2生成部13を有していてもよい。

[0083] 図3に示すように、本実施形態において第1取得部11は、第2学習済モデルを生成するために用いられる第2教師データを取得する、第3取得工程S16を実行してもよい。第2教師データは、微粉の発生量が第1閾値を超える第1ポリシリコンの表面状態を示す表面状態データを含む。このような第1ポリシリコンの表面状態は、例えば、図4におけるレベル5～8として示されるような、凹凸または窪みを有する表面状態であってよい。

[0084] 表面状態データは、例えば、図9に示すように、微粉の発生量が第1閾値を超える第1ポリシリコンの第1撮像データにおいて、表面の凹凸がレベル5～8に相当する領域を凹凸領域として特定（アノテーション）した情報を含むデータであってよい。当該アノテーションは、目視による特定結果をユーザが入力することで行われてもよく、画像処理により機械的に行われてもよい。

[0085] また、表面状態データは、図10に示すように、凹凸領域を特定する情報に加え、第1ポリシリコンの表面に形成された穴またはクラック等の窪みを特定する情報を含んでいてもよい。第1撮像データに含まれる画像には、影となる部分が含まれないことが好ましい。しかし、撮像時の光の当たり方または表面状態によっては、第1撮像データに含まれる画像から影となる部分を完全に排除することは困難である。そのため、第1撮像データに含まれる画像中の暗い部分が、窪みであるか影であるかが判別困難となる場合がある

。

[0086] そこで、表面状態データは、微粉の発生量が第1閾値を超える第1ポリシリコンの第1撮像データにおいて、窪み部分を特定（アノテーション）した情報を含むデータであってもよい。当該アノテーションは、目視による特定結果をユーザが入力することで行われてもよく、画像処理により機械的に行われてもよい。

[0087] このような表面状態データは、図9および図10に示すように、第3ポリシリコンについて、微粉の発生原因となり得る表面状態を有する部分を特定可能な第2学習済モデルを作成するための第2教師データとして好適である。

。

[0088] なお、表面状態データは、第1取得工程S11における判定データおよび第1撮像データの取得時に、第1取得部11が併せて取得してもよい。この場合、第3取得工程S16は省略してよい。

[0089] （第2生成工程）

次に、第2生成部13は、第1取得部11が取得した表面状態データを教師データ（第2教師データ）として用い、第2学習済モデルを生成する第2生成工程S17を実行する。第2学習済モデルは、具体的には、微粉の発生量が第1閾値を超える第1ポリシリコンの表面状態と類似すると推定される第3ポリシリコンの表面の少なくとも一部の、第3ポリシリコンの表面の総面積に対する面積率を算出するアルゴリズムとして機能する。面積率の算出については、面積率算出工程S18の説明として後述する。

[0090] 第2生成部13が実行する第2生成工程S17は、第2教師データを機械学習アルゴリズムに入力することで、機械学習アルゴリズムを最適化する工程であると言える。第2学習済モデルは、第2教師データの入力により、第3ポリシリコンにおいて微粉の発生原因となる部分の推定に最適化された機械学習アルゴリズムであると言える。

[0091] このような機械学習アルゴリズムは特に限定されないが、例えばニューラルネットワークであってよく、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）

であってもよい。第2学習済モデルの生成に用いられる機械学習アルゴリズムは、第1学習済モデルの生成に用いられる機械学習アルゴリズムと同じであってもよく、異なるものであってもよい。

[0092] <第2学習済モデルを用いた推定>

第2学習済モデルは、面積率算出工程S18および窪み数算出工程S19において、第3ポリシリコンの第2撮像データを入力とした推定処理に用いられる。面積率算出工程S18および窪み数算出工程S19は、推定装置20により実行されてもよい。図2に示すように、推定装置20は、面積率算出工程S18を実行する面積率算出部23と、窪み数算出工程S19を実行する窪み数算出部24と、を有していてもよい。

[0093] (面積率算出工程)

面積率算出部23は、第3ポリシリコンの第2撮像データから、微粉の発生量が第1閾値を超える第1ポリシリコンの表面状態と類似すると推定される第3ポリシリコンの表面の少なくとも一部の、第3ポリシリコンの表面の総面積に対する面積率を算出する。

[0094] 第3ポリシリコンの第2撮像データは、第2取得工程S13において第2取得部21が取得したデータであってよい。この場合、面積率算出部23は、推定工程S14が推定した推定結果が存在する第2ポリシリコンの第2撮像データの中から、微粉の発生のしやすさが所定の第2閾値を超えると推定された第3ポリシリコンの第2撮像データのみ選別してもよい。また、第2取得部21は、面積率算出工程S18の前に、改めて第3ポリシリコンの第2撮像データを取得してもよい。

[0095] 面積率算出部23は、例えば、倍率1倍、好ましくは倍率1～3倍で撮像した第3ポリシリコンの第2撮像データに基づいて、第3ポリシリコンの投影部分の総面積を算出する。第3ポリシリコンの投影部分の総面積は、第2撮像データに含まれている画像から算出できる。このとき、面積率算出部23は、第2撮像データに含まれている画像から、2次元的に凡その総面積を算出してもよいし、第3ポリシリコンの3次元形状を推定して、より正確な

総面積を算出してもよい。

[0096] 例えば、面積率算出部23は、複数方向から撮像された第3ポリシリコンの投影部分の面積の総和を、第3ポリシリコン投影部分のピクセル数を代数として求める。そして、得られた総和を撮像方向の数で除した値を、第3ポリシリコンの表面における総面積の指数としてよい。ただし、面積率算出部23による、第3ポリシリコンの表面の総面積を算出する方法は、これに限定されるものではない。

[0097] なお、面積率算出部23は、第2撮像データに含まれる画像が、第3ポリシリコンの表面の一部を含んでいない場合、第2撮像データに含まれる画像中に表れている表面の総面積を、第3ポリシリコンの表面の総面積とみなしてもよい。

[0098] 次に、面積率算出部23は、第2学習済モデルに第3ポリシリコンの第2撮像データを入力し、微粉の発生量が第1閾値を超える第1ポリシリコンの表面状態と類似する表面領域である凹凸領域の位置を推定する。第3ポリシリコンにおける凹凸領域は、第3ポリシリコンの少なくとも一部であって、微粉の発生量が多いと推定される部分の表面領域であると言える。

[0099] 面積率算出部23は、推定した凹凸領域の面積を算出する。面積率算出部23は、総面積の算出と同じ方法を用いて、凹凸領域の面積を算出する。面積率算出部23は、第3ポリシリコンに複数の独立した凹凸領域が存在すると推定した場合、それぞれの凹凸領域の面積とその合計面積とを個別に算出してもよいし、全ての凹凸領域の合計面積のみ算出してもよい。

[0100] 例えば、面積率算出部23は、表面積と同様に、凹凸領域とみなした部分の面積の総和について、凹凸領域とみなした部分のピクセル数を代数とし、その総和を撮像方向の数で除した値を、凹凸領域の面積の指数としてよい。ただし、面積率算出部23による、第3ポリシリコンの表面における凹凸領域の面積を算出する方法は、これに限定されるものではない。

[0101] 第2学習済モデルは、微粉の発生量が第1閾値を超える第1ポリシリコンの表面状態データを教師データとして学習している。そのため、面積率算出

部23は、第2学習済モデルを用いることで、第3ポリシリコンの表面においてどの部分が凹凸領域であるかを、精度良く推定できる。

[0102] そして、面積率算出部23は、第3ポリシリコンの総面積に対する、凹凸領域の面積率を算出する。凹凸領域の面積率は、後述する第2分別工程S20において、第3ポリシリコンの分別に用いられる。

[0103] (窪み数算出工程)

窪み数算出部24は、第2学習済モデルを用い、第3ポリシリコンの第2撮像データから、第3ポリシリコンの表面に形成された窪みであると推定される部分の数である窪み数を算出する窪み数算出工程S19を実行する。なお、本実施形態に係るポリシリコンの製造方法において、窪み数算出工程S19は省略されてもよい。

[0104] 第2学習済モデルは、第1ポリシリコンの表面に形成された穴またはクラック等の窪み（たとえば、倍率1倍で撮像した画像で、 1 mm^2 以上の総面積を有する穴またはクラック等）を特定する情報を含む表面状態データを教師データとして生成されてもよい。この場合、窪み数算出部24は、第2学習済モデルを用いることで、第3ポリシリコンの表面に形成された窪みと影とを区別できるため、当該窪みを高精度に推定できる。第3ポリシリコンの表面に形成された窪みは、上述の通りエッチング後の微粉の発生原因となるため、窪みの数が多いほど、微粉が発生しやすい第3ポリシリコンであると考えられる。

[0105] 窪み数算出部24が算出する窪み数は、後述する第2分別工程S20において、第3ポリシリコンの分別に用いられてよい。

[0106] <第3ポリシリコンの分別>

第2分別工程S20は、面積率算出工程S18において算出された総面積および面積率に基づいて、第3ポリシリコンを分別する工程である。また、第2分別工程S20は、総面積および面積率に加え、さらに、窪み数算出工程S19において算出された窪み数に基づいて、第3ポリシリコンを分別する工程であってもよい。第2分別工程S20による分別は、図1に示すハツ

リ工程 S 3 の対象となる第 3 ポリシリコンの分別を目的とするものであってよい。

[0107] 第 2 分別工程 S 2 0 は、図 2 に示す分別制御装置 3 0 により実行されてもよい。図 2 に示すように、分別制御装置 3 0 は、第 2 分別工程 S 2 0 を実行する第 2 分別部 3 2 を有していてもよい。

[0108] ハツリ工程 S 3 の対象となる第 3 ポリシリコンは、総面積が所定の第 3 閾値以上であることが好ましい。第 3 ポリシリコンから、凹凸領域を含む部分を破砕等により削り落とす場合、第 3 ポリシリコンが小さすぎると作業困難となるためである。そのため、第 2 分別部 3 2 は、第 3 ポリシリコンの総面積を、第 3 ポリシリコンの分別基準として用いることが好ましい。

[0109] 第 3 閾値は、ハツリ工程 S 3 の方法により適宜設定されてよい。例えば、ハツリ工程 S 3 をハンマー等により手作業で行う場合と、破砕用の装置を用いて機械的に行う場合とで、第 3 閾値はそれぞれ異なる値に設定されてもよい。

[0110] また、ハツリ工程 S 3 の対象となる第 3 ポリシリコンは、凹凸領域の面積率が所定の第 4 閾値以下であることが好ましい。凹凸領域の面積率が大きすぎると、第 3 ポリシリコンの表面の大部分が凹凸領域となるため、ハツリ工程 S 3 を行っても、凹凸領域を含まない第 3 ポリシリコンはほとんど得られない。製造効率の観点から、第 2 分別部 3 2 は、第 3 ポリシリコンにおける凹凸領域の面積率を、第 3 ポリシリコンの分別基準として用いることが好ましい。

[0111] 第 4 閾値は、目標とする第 3 ポリシリコンの製品サイズに応じて、適宜設定されてよい。また、第 4 閾値は、第 3 ポリシリコンの総面積によっても適宜調整されてよい。第 3 ポリシリコンの総面積が十分に大きい場合、第 4 閾値を大きめに設定しても、ハツリ工程 S 3 後に、凹凸領域を含まない第 3 ポリシリコンを所定量以上得られる。

[0112] また、ハツリ工程 S 3 の対象となる第 3 ポリシリコンは、窪み数が所定の第 5 閾値以下であることが好ましい。また、ハツリ工程 S 3 の対象となる第

3 ポリシリコンは、窪み数が所定の第6 閾値以上であることが好ましい。言い換えれば、ハツリ工程 S 3 の対象となる第3 ポリシリコンは、窪み数が第6 閾値以上第5 閾値以下であることが好ましい。

[0113] 窪み数が多い第3 ポリシリコンは、窪み内にエッチングで除去できない微粉が存在し得るため、凹凸領域の面積率に関わらず微粉の発生量が多くなりやすい。また、窪み数が極端に少ない場合、当該第3 ポリシリコンに対して推定工程 S 1 4 が推定した、微粉の発生のしやすさが第2 閾値を超えたとの推定結果は、第2 撮像データに含まれる影等の誤検知によるものであったと考えられる。これらの理由から、第2 分別部 3 2 は、第3 ポリシリコンにおける窪み数を、第3 ポリシリコンの分別基準として用いることが好ましい。

[0114] 第5 閾値および第6 閾値はそれぞれ、例えば経験的に適宜設定されてよい。また、第5 閾値および第6 閾値はそれぞれ、第3 ポリシリコンの総面積によっても適宜調整されてよい。窪み数が同じであれば、第3 ポリシリコンの総面積が大きいほど、単位面積当たりの窪み数は減少する。そして、第3 ポリシリコンにおける微粉の発生のしやすさは、単位面積当たりで考慮することが好ましい。

[0115] 図 1 1 および図 1 2 に、目視によりポリシリコンを分別した結果と、面積率算出部 2 3 および窪み数算出部 2 4 が算出した総面積、面積率および窪み数との関係を示す。ここでは、図 1 に示す破碎工程 S 2 にて得られる「コーン M I X」であって、第3 ポリシリコンを含むポリシリコンの破碎物について、分別を行った結果を示す。図 1 1 に示す各グラフは、分別した各群の、総面積と凹凸領域の面積率との相関を示し、図 1 2 に示す各グラフは、分別した各群の、総面積と窪み数との相関を示す。ポリシリコンの総面積は、第2 撮像データに含まれる画像から算出したポリシリコン投影部分のピクセル数を、総面積の指数として示している。

[0116] 図 1 1 において、グラフ 1 1 1 は、全破碎物の分布を示す。グラフ 1 1 2 は、ハツリ工程 S 3 が不要と判定した群の分布を示し、グラフ 1 1 3 は、ハツリ工程 S 3 の対象として好適と判定した群の分布を示し、グラフ 1 1 4 は

、微粉が発生しやすい部分が含まれているが、ハツリ工程S3の対象としては不適と判定した群の分布を示す。

[0117] 図12において、グラフ121は、全破碎物から、総面積の指数が10以下の第3ポリシリコンを除外した群の分布を示す。グラフ122からグラフ124についても、総面積の指数が10以下の第3ポリシリコンを除外した点は同様である。グラフ122は、ハツリ工程S3が不要と判定した群の分布を示し、グラフ123は、ハツリ工程S3の対象として好適と判定した群の分布を示し、グラフ124は、微粉が発生しやすい部分が含まれているが、ハツリ工程S3の対象としては不適と判定した群の分布を示す。

[0118] 図11において「閾値範囲」として示される領域は、総面積の指数が10より大きく、凹凸領域の面積率が65%以下となる領域である。このような領域内に分類されるポリシリコンは、総面積が小さすぎず、凹凸領域の面積率が過剰でもないことから、ハツリ工程S3の対象として好適である可能性が高いことが示された。このような閾値範囲は、第3閾値および第4閾値の設定例であってよい。

[0119] また、図12において、総面積の指数が10より大きく、かつ「閾値範囲（上限）」および「閾値範囲（下限）」により挟まれる領域は、経験的に設定された、微粉が発生しにくい破碎物がプロットされやすい領域である。このような領域内に分類されるポリシリコンは、総面積に対する窪み数が過少または過剰ではないことから、ハツリ工程S3の対象として好適である可能性が高いことが示された。このような領域は、第3閾値、第5閾値および第6閾値の設定例であってよい。

[0120] 第3閾値から第6閾値までの各閾値は、上述のような実測結果に基づいて設定されてもよく、経験的に設定されてもよく、その他の方法により設定されてもよい。

[0121] 第2分別部32は、例えば、図11に示すように総面積および面積率に基づいて、第3ポリシリコンの分別を行ってもよい。また、第2分別部32は、当該総面積および面積率に基づいて分類した第3ポリシリコンについて、

さらに、図 1 2 に示すように総面積および窪み数に基づいて分類することで、第 3 ポリシリコンの分別を行ってもよい。

[0122] 第 2 分別部 3 2 は、第 3 ポリシリコンを分別するための物理的な機構に対して、制御信号を送信してもよい。このような物理的な機構は、分別制御装置 3 0 が備えていてもよいし、分別制御装置 3 0 とは異なる、第 3 ポリシリコンの分別装置（不図示）が備えていてもよい。

[0123] 以上に例示する構成を有する本実施形態に係るポリシリコンの製造方法によれば、ハツリ工程 S 3 に好適な第 3 ポリシリコンを効率よく分別できる。そのため、微粉が発生しにくいポリシリコンを得るために要する、労力コストおよび製造ロスの両方を低減できる。

[0124] 一例として、粗破碎工程 S 1 前のポリシリコンの重量割合を 1 0 0 % とする。このとき、ハツリ工程 S 3 の対象となるポリシリコンは、ポリシリコンの析出条件にもよるが、例えば 1 5 % 程度であり、比較的大きな割合を占める。そのため、ハツリ工程 S 3 によってポリシリコンのロス割合を低減することは、製造効率の向上において重要である。したがって、当該ハツリ工程 S 3 の効率が向上可能な本実施形態に係るポリシリコンの製造方法は、製造効率の向上に大きく寄与するものである。

[0125] [ソフトウェアによる実現例]

生成装置 1 0、推定装置 2 0 または分別制御装置 3 0（以下、「装置」と呼ぶ）の機能は、当該装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムであって、当該装置の各制御ブロックとしてコンピュータを機能させるためのプログラムにより実現することができる。

[0126] この場合、上記装置は、上記プログラムを実行するためのハードウェアとして、少なくとも 1 つの制御装置（例えばプロセッサ）と少なくとも 1 つの記憶装置（例えばメモリ）を有するコンピュータを備えている。この制御装置と記憶装置により上記プログラムを実行することにより、上記各実施形態で説明した各機能が実現される。

[0127] 上記プログラムは、一時的ではなく、コンピュータ読み取り可能な、1 ま

たは複数の記録媒体に記録されていてもよい。この記録媒体は、上記装置が備えていてもよいし、備えていなくてもよい。後者の場合、上記プログラムは、有線または無線の任意の伝送媒体を介して上記装置に供給されてもよい。

[0128] また、上記各制御ブロックの機能の一部または全部は、論理回路により実現することも可能である。例えば、上記各制御ブロックとして機能する論理回路が形成された集積回路も本発明の範疇に含まれる。この他にも、例えば量子コンピュータにより上記各制御ブロックの機能を実現することも可能である。

[0129] 【付記事項】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

符号の説明

- [0130] 10 生成装置
- 11 第1取得部（取得部）
- 12 第1生成部（生成部）
- 20 推定装置
- 22 推定部
- 23 面積率算出部
- 24 窪み数算出部

請求の範囲

- [請求項1] 所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データと、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして生成された第1学習済モデルを用いて、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生のしやすさを推定する推定工程を含む、ポリシリコンにおける微粉発生のしやすさの推定方法。
- [請求項2] 前記第1撮像データが、前記第1ポリシリコンをそれぞれ異なる方向から撮像した複数の画像を含み、
前記第2撮像データが、前記第2ポリシリコンをそれぞれ異なる方向から撮像した複数の画像を含む、請求項1に記載の推定方法。
- [請求項3] 前記第1撮像データが、前記第1ポリシリコンの第1面の画像と、前記第1面の裏側を含む第2面の画像と、を含み、
前記第2撮像データが、前記第2ポリシリコンの第3面の画像と、前記第3面の裏側を含む第4面の画像と、を含む、請求項1または2に記載の推定方法。
- [請求項4] 所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データと、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして生成された第1学習済モデルを用いて、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生のしやすさを推定する推定工程と、
前記推定工程で推定された微粉の発生のしやすさに基づいて、前記第2ポリシリコンを分別する第1分別工程と、を含む、ポリシリコンの製造方法。

- [請求項5] 前記微粉の発生量が前記第1閾値を超える前記第1ポリシリコンの表面状態を教師データとして生成された第2学習済モデルを用い、前記推定工程によって、前記微粉の発生しやすいさが所定の第2閾値を超えると推定された前記第2ポリシリコンである第3ポリシリコンの前記第2撮像データから、前記微粉の発生量が前記第1閾値を超える前記第1ポリシリコンの表面状態と類似すると推定される前記第3ポリシリコンの表面の少なくとも一部の、前記第3ポリシリコンの表面の総面積に対する面積率を算出する面積率算出工程と、
- 前記総面積および前記面積率に基づいて、前記第3ポリシリコンを分別する第2分別工程と、をさらに含む、請求項4に記載のポリシリコンの製造方法。
- [請求項6] 前記第2学習済モデルを用い、前記第3ポリシリコンの前記第2撮像データから、前記第3ポリシリコンの表面に形成された窪みであると推定される部分の数である窪み数を算出する窪み数算出工程をさらに含み、
- 前記第2分別工程は、前記総面積および前記面積率に加え、さらに前記窪み数に基づいて前記第3ポリシリコンを分別する、請求項5に記載のポリシリコンの製造方法。
- [請求項7] 所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データと、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして生成された第1学習済モデルを用いて、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生しやすいさを推定する推定部を含む、ポリシリコンにおける微粉発生のしやすいさの推定装置。
- [請求項8] 所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データ

と、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして取得する取得部と、

入力された、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生しやすいさの推定結果を出力する第1学習済モデルを生成する生成部と、を含む、学習済モデルの生成装置。

[請求項9]

所定条件の振動が与えられた第1ポリシリコンにおいて、前記振動による微粉の発生量が所定の第1閾値以下であるか否かの判定データと、前記第1ポリシリコンの画像を含む第1撮像データと、を教師データとして取得する取得工程と、

入力された、推定対象である第2ポリシリコンの画像を含む第2撮像データから、前記第2ポリシリコンにおける、振動が与えられた際の前記微粉の発生しやすいさの推定結果を出力する第1学習済モデルを生成する生成工程と、を含む、学習済モデルの生成方法。