

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-178316

(P2016-178316A)

(43) 公開日 平成28年10月6日(2016.10.6)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
**H O 1 L 21/3065 (2006.01)** H O 1 L 21/302 1 O 5 A 5 F 0 0 4

審査請求 有 請求項の数 11 O L 外国語出願 (全 16 頁)

|              |                                     |          |                                  |
|--------------|-------------------------------------|----------|----------------------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2016-84093 (P2016-84093)          | (71) 出願人 | 592010081                        |
| (22) 出願日     | 平成28年4月20日 (2016. 4. 20)            |          | ラム リサーチ コーポレーション                 |
| (62) 分割の表示   | 特願2015-142544 (P2015-142544)<br>の分割 |          | LAM RESEARCH CORPOR<br>ATION     |
| 原出願日         | 平成22年12月13日 (2010.12.13)            |          | アメリカ合衆国, カリフォルニア 945             |
| (31) 優先権主張番号 | 61/286, 653                         |          | 38, フレモント, クッシング パークウ<br>エイ 4650 |
| (32) 優先日     | 平成21年12月15日 (2009.12.15)            | (74) 代理人 | 110000028                        |
| (33) 優先権主張国  | 米国 (US)                             |          | 特許業務法人明成国際特許事務所                  |

(72) 発明者 ギャフ・キース・ウィリアム  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州945  
 36 フレモント, グランビル・コート,  
 5363

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマエッチングシステム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 エッチングの基板内均一性の向上が可能なプラズマ装置を提供する。

【解決手段】 プラズマエッチングシステムは、独立に制御可能な複数のヒーター領域を有する基板支持アセンブリを備え、臨界デバイスパラメータのプレエッチング及び/又はポストエッチングの不均一性を補償可能に、所定位置のエッチング温度を制御する。

【選択図】 なし

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

プラズマエッチングの際に基板を支持する基板支持アセンブリであって、前記基板上のデバイス・ダイ位置下に配置される独立に制御可能な複数のヒーター領域を備える基板支持アセンブリと、各ヒーター領域を制御する制御部と、を備えるプラズマエッチングシステムを用いる方法であって、

前記基板上の複数のデバイス・ダイ位置上で、プレエッチング臨界デバイスパラメータを測定する工程と、

先にエッチングされた基板の前記プレエッチング臨界デバイスパラメータとポストエッチング臨界デバイスパラメータの少なくとも一方を、前記プラズマエッチングシステムに伝達する工程と、

その後、前記基板支持アセンブリ上に前記基板を支持する工程と、

前記プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータを伝達する、及び/又は、記憶装置から前記プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータをロードする工程と

、  
前記処理レシピパラメータ、目標ポストエッチング臨界デバイスパラメータ、前記プレエッチング臨界デバイスパラメータ及び前記ポストエッチング臨界デバイスパラメータの少なくとも1つから、前記基板上の所定位置における目標エッチング温度を予測する工程と、

前記制御可能なヒーター領域を用いて、各デバイス・ダイ位置における温度を目標エッチング温度に調整する工程と、

前記基板をプラズマエッチングする工程と、を備える、方法。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、

エッチング処理レシピの各ステップに関して、前記プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータを伝達する、及び/又は、記憶装置から前記プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータをロードする工程を備える、方法。

**【請求項 3】**

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、

前記基板上の前記所定位置における前記目標エッチング温度に基づいて、各ヒーター領域の目標制御パラメータを伝達する、及び/又は、計算する工程を備える、方法。

**【請求項 4】**

請求項 1 に記載の方法であって、

前記ヒーター領域の数と前記デバイス・ダイ位置の数とが等しい場合に、前記制御可能なヒーター領域を用いて温度を調整する工程は、

前記ヒーター領域の前記目標制御パラメータと前記デバイス・ダイ位置の前記目標エッチング温度との関係を記述する逆行列に、前記デバイス・ダイ位置の前記目標エッチング温度を要素とするベクトルを乗算することにより、前記ヒーター領域に関するヒーター出力の設定値を求める工程を含む、方法。

**【請求項 5】**

請求項 1 に記載の方法であって、

前記プラズマエッチングシステムは、各ヒーター領域位置のエッチング温度を測定するように構成される1つ以上の温度センサを備え、

前記方法は、さらに、

前記温度センサからの出力に基づいて、各ヒーター領域の目標制御パラメータを計算する工程を備える、方法。

**【請求項 6】**

請求項 1 に記載の方法を実行するプラズマエッチングシステムであって、

プラズマエッチングの際に基板を支持する基板支持アセンブリであって、前記基板の下に配置される独立に制御可能な複数のヒーター領域を備える基板支持アセンブリと、

10

20

30

40

50

各ヒーター領域を制御する制御部と、を備える、プラズマエッチングシステム。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の方法を実行するプラズマエッチングシステムであって、

前記プレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータを、基板外の検査ツールからホスト通信ネットワークを介して受信するインターフェースを備える、プラズマエッチングシステム。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記ヒーター領域の数と前記デバイス・ダイス位置の数とが等しくない場合に、前記制御可能なヒーター領域を用いて温度を調整する工程は、

10

前記ヒーター領域の前記目標制御パラメータと前記基板上の前記所定位置の予想エッチング温度との関係を記述する行列に基づいて、前記ヒーター領域に対するヒーター出力設定値を求める工程を含み、

前記デバイス・ダイス位置の前記予測エッチング温度と前記デバイス・ダイス位置の前記目標エッチング温度との間の差を最適化手法により最小限に抑える、方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の方法であって、

前記最適化手法は最小二乗最適化である、方法。

【請求項 10】

プラズマエッチングの際に基板を支持する基板支持アセンブリであって、前記基板上のデバイス・ダイス位置下に配置される独立に制御可能な複数のヒーター領域を備える基板支持アセンブリと、各ヒーター領域を制御する制御部と、を備えるプラズマエッチングシステムを用いる方法であって、

20

前記基板上の第 1 の所定位置群において、プレエッチング臨界デバイスパラメータを測定する工程と、

先にエッチングされた基板の前記プレエッチング臨界デバイスパラメータとポストエッチング臨界デバイスパラメータの少なくとも一方を前記プラズマエッチングシステムに伝達する工程と、

その後、前記基板支持アセンブリ上に前記基板を支持する工程と、

処理レシビパラメータの少なくとも 1 つを伝達し、記憶装置から前記プラズマエッチングシステムに処理レシビパラメータをロードする工程と、

30

前記処理レシビパラメータ、目標ポストエッチング臨界デバイスパラメータ、前記プレエッチング臨界デバイスパラメータ及び前記ポストエッチング臨界デバイスパラメータの少なくとも 1 つに基づいて、前記基板上の第 2 の所定位置群における目標エッチング温度を予測する工程と、

各前記ヒーター領域に関するヒーター出力と前記第 2 の所定位置群における前記予測エッチング温度との間の関係に基づいて、制御可能なヒーター領域に関するヒーター出力の設定値を求める工程であって、最適化手法で前記予測エッチング温度と前記目標エッチング温度との間の差を最小限に抑えるように前記ヒーター出力の設定値を求める工程と、

前記基板をプラズマエッチングする工程と、

40

を備える、方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の方法であって、

前記最適化手法は最小二乗最適化である、方法。

【請求項 12】

請求項 10 に記載の方法であって、

前記目標エッチング温度を予測する工程は、前記第 1 の所定位置群におけるプレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータのデータに基づいて、前記第 2 の所定位置群におけるプレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータのデータを推定する工程を含む、方法。

50

## 【請求項 13】

請求項 12 に記載の方法であって、

前記推定する工程は、前記第 2 の所定位置群における前記プレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータのデータに基づいて、前記第 2 の所定位置群における前記プレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータのデータを補間する工程を含む、方法。

## 【請求項 14】

請求項 10 に記載の方法であって、

各前記ヒーター領域に関するヒーター出力と前記第 2 の所定位置群における前記予測エッチング温度との間の関係は、行列により表わされる、方法。

10

## 【請求項 15】

請求項 13 に記載の方法であって、

前記補間する工程は、線形補間を行なう工程である、方法。

## 【請求項 16】

請求項 13 に記載の方法であって、

前記補間する工程は、非線形補間を行なう工程である、方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【背景技術】

## 【0001】

## [関連出願]

20

本出願は、2009年12月15日に出願された米国仮特許出願No.61/286,653に対して35U.S.C.119条に基づく優先権を主張するものであり、前記出願の内容は、参照することにより、その全体が本明細書に組み込まれる。

## 【0002】

半導体技術世代が進むにつれて、ウエハ等の基板の直径は増大する一方で、トランジスタは小型化する傾向にあるため、基板処理には、より高い精度と信頼性が求められる結果となる。シリコン基板等の半導体基板は、真空チャンバを用いる手法で処理される。このような手法には、電子ビーム蒸着等の非プラズマ手法と、スパッタリング蒸着、プラズマ化学気相成長法(plasma-enhanced chemical vapor deposition: PECVD)、レジスト除去及びプラズマエッチング等のプラズマ手法と、が含まれる。

30

## 【0003】

現在利用できるプラズマエッチングシステムは、精度と再現性との向上がますます求められている半導体製造ツールに含まれる。プラズマエッチングシステムに関する測定基準の1つは、均一性の向上であり、これには、1つの半導体基板表面上の処理結果の均一性と、名目上同じ入力パラメータを用いて処理される一連の基板群の処理結果の均一性と、が含まれる。基板内の均一性の継続的な向上が望まれている。このため、均一性及び整合性が高く自己診断が可能なプラズマチャンバが求められている。

## 【発明の概要】

## 【0004】

プラズマエッチングの際に基板を支持する基板支持アセンブリであって、基板上のデバイス・ダイス位置下に配置される独立に制御可能な複数のヒーター領域を備える基板支持アセンブリと、各ヒーター領域を制御する制御部と、を備えるプラズマエッチングシステムを用いる方法を開示する。この方法は、(a)基板上のデバイス・ダイス位置上で、先にエッチングされた基板のプレエッチング臨界デバイスパラメータ又はポストエッチング臨界デバイスパラメータを測定する工程と、(b)プレエッチング臨界デバイスパラメータ又はポストエッチング臨界デバイスパラメータをプラズマエッチングシステムに伝達する工程と、(c)その後、基板支持アセンブリ上に基板を支持する工程と、(d)プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータを伝達する、及び/又は、記憶装置からプラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータをロードする工程と、(e)システム内に供給された基板の処理レシピパラメータ、目標ポストエッチング臨界デバイスパラ

40

50

メータデータ及びプレエッチング臨界デバイスパラメータから、及び/又は、先にエッチングされた基板のポストエッチング臨界デバイスパラメータから、基板上の所定位置における目標エッチング温度を予測する工程と、(f)制御可能なヒーター領域を用いて、各所定位置における目標エッチング温度に基づいて、所定位置における温度を調整する工程と、(g)基板をプラズマエッチングする工程と、を備える。

【発明を実施するための形態】

【0005】

基板上で目標臨界寸法(CD)を均一にするために、半導体処理装置において半径方向及び方位角方向の基板温度を制御する必要性が高まっている。わずかな温度変化でさえも、許容できない程度の影響をCDに与え、特に、半導体製造工程においてCDが20nm未滿に近くなると、影響が大きい。

10

【0006】

基板支持アセンブリは、基板を支持する、基板温度を調整する、及び、無線出力を供給する等、処理時に様々な機能を果たすように構成されるものでもよい。基板支持アセンブリは、処理の際に基板支持アセンブリ上に基板を静電的に固定するのに役立つ静電チャック(electrostatic chuck:ESC)を備えるものでもよい。ESCは、調節可能なESC(tunable ESC:T-ESC)でもよい。T-ESCに関しては、同一出願人による米国特許第6,847,014号及び第6,921,724号に記載されており、これらの特許は参照することにより本明細書に組み込まれる。基板支持アセンブリは、セラミック製の基板ホルダと、流体冷却されたヒートシンク(以下、冷却板と称する)と、複数の同心ヒーター領域とを備え、段階的な半径方向温度制御を可能にするものでもよい。通常、冷却板は、摂氏0度と摂氏30度の間に維持される。断熱材層を介して、冷却板上にヒーターが配置される。ヒーターは、基板支持アセンブリの支持面を、冷却板温度よりも約摂氏0度~摂氏80度高い温度に維持する。複数のヒーター領域内でヒーター出力を変化させることによって、基板支持部の温度プロファイルを、中央部分の温度が高いプロファイル、中央部分の温度が低いプロファイル、及び、均一な温度プロファイルの間で変えることができる。さらに、基板支持部の平均温度を、冷却板温度よりも約摂氏0度~摂氏80度高い動作温度範囲内で段階的に変化させることができる。半導体技術の進歩とともにCDが減少するにつれて、方位角方向の小さな温度変化がますます難しくなっている。

20

【0007】

温度制御は、いくつかの理由で簡単な作業ではない。第一に、熱源やヒートシンクの位置、伝熱媒体の動き、材料及び形状等、多くの因子が熱伝達に影響を与える。第二に、熱伝達は動的なプロセスである。問題のシステムが熱平衡に達しない限り、熱伝達が生じ、温度プロファイルと熱伝達が時間とともに変動する。第三に、プラズマ処理では必ず存在するプラズマ等の非平衡現象により、実用的な何れのプラズマ処理装置でも熱伝達の挙動を理論的に予測することが不可能とは言わないまでも非常に困難になっている。

30

【0008】

プラズマ密度プロファイル、RFパワープロファイル、及び、静電チャックにおける様々な加熱又は冷却素子の詳細な構造等、多くの因子がプラズマ処理装置における基板温度プロファイルに影響を与える。このため、基板温度プロファイルが均一ではないことも多く、少数の加熱又は冷却素子で制御することが難しい。このような問題が、基板全体にわたる処理速度の不均一性及び基板上のデバイス・ダイスの臨界寸法の不均一性につながる。

40

【0009】

フォトリソグラフィー等の上流側処理によって臨界寸法の不均一性が生じる場合がある。フォトリソグラフィーの並列性(すなわち、基板上のすべてのデバイス・ダイスが一緒に処理される)及び光源の不均一性、フォトマスク上の回折、温度の不均一性、フォトレジストの厚みの不均一性等の制御が困難な因子のために、ポスト・リソグラフィー及びプレエッチング基板におけるデバイスのフィーチャが多くの場合に不均一になる。下流側処理への伝搬を検査せずに許せば、このような不均一性の結果、デバイス歩留まりが減少す

50

る。

【0010】

基板支持アセンブリに複数の独立に制御可能なヒーター領域を設置して、プラズマエッチングシステムが目標となる空間及び時間温度プロファイルを積極的に作成し維持することを可能にし、CDの均一性に悪影響を与える因子を補償することが効果的で望ましい。

【0011】

独立に制御可能なヒーター領域を備える基板支持アセンブリに関しては、参照することにより本明細書に組み込まれる2009年10月21日出願の米国特許出願No. 12/582,991に記載されている。

【0012】

本明細書に記載する方法は、独立に制御可能なヒーター領域を備える基板支持アセンブリを有するプラズマエッチングシステムを用いる方法であり、先にエッチングした基板に関して、基板上の複数のデバイス・ダイス位置におけるプレエッチング臨界デバイスパラメータ又はポストエッチング臨界デバイスパラメータを測定することにより、及び、測定した情報を用いてエッチングの際に基板上の所定位置における温度を調整することにより、基板上の不均一性を補償するものである。

【0013】

たとえば、基板にリソグラフィーを施した後、基板上のレジスト層にパターンを形成する。レジスト層のパターンは、臨界寸法が不均一の場合がある。基板上の各デバイス・ダイス上のレジスト層におけるプレエッチング臨界寸法は、適当な器具で測定可能である。パターン形成されたレジスト層は、その下層である基板のプラズマエッチングの際にマスクとして用いられる。プラズマエッチングの際の温度は、基板のエッチングパターンの臨界寸法（ポストエッチング臨界寸法）に影響を与える。デバイス・ダイス位置におけるプレエッチング臨界寸法が目標値からの許容可能な誤差範囲外である場合には、ヒーター領域を用いて、ポストエッチング臨界寸法が目標値からの許容可能な誤差範囲内になるように、デバイス・ダイス位置におけるエッチング温度を調整することができる。したがって、プレエッチング臨界寸法の測定値を用いて、各デバイス・ダイス位置におけるエッチング温度を調整して、デバイス・ダイス位置におけるプレエッチング臨界寸法の所定の誤差量を補償することができる。

【0014】

プラズマエッチングシステムは、加熱板内に設けられた独立に制御可能なヒーター領域と、各ヒーター領域を制御する制御部と、を備えるものでもよい。制御部の制御のもとで各ヒーター領域の出力を調整することにより、処理時の温度プロファイルを半径方向及び方位角方向の両方に形成することができる。長方形グリッド、六角形グリッドやその他のパターン等、所定パターンにヒーター領域を配列することが望ましい。加熱板の各ヒーター領域は、基板上の単一のデバイス・ダイスと同様の大きさ（たとえば、 $\pm 10\%$ ）であることが望ましい。電気接続の数を最小限に抑えるための構成例では、各電源ラインが異なるヒーター領域群に接続され、各電力戻りラインが異なるヒーター領域群に接続されると共に、各ヒーター領域が、特定の電源ラインに接続されるヒーター領域群の1つに含まれ、かつ、特定の電力戻りラインに接続されるヒーター領域群の1つに含まれるように、電源ラインと電力戻りラインとを配置する。どの2つのヒーター領域をとっても、同一の電源ライン - 電力戻りライン対に接続されることはない。したがって、特定のヒーター領域に接続する電源ライン - 電力戻りライン対を通るように電流を流すことにより、そのヒーター領域を起動することができる。ヒーター素子の出力は20Wよりも小さいことが望ましく、5~10Wであることがより望ましい。ヒーター素子は、ペルティエ素子（Peltier device）、及び/又は、ポリイミドヒーター、シリコンゴムヒーター、マイカヒーター、金属ヒーター（たとえば、W、Ni/Cr合金、Mo又はTa）、セラミックヒーター（たとえば、WC）、半導体ヒーター又はカーボンヒーター等の抵抗ヒーターでもよい。ヒーター素子は、スクリーン印刷ヒーターでもよいし、巻線ヒーターでもよいし、又は、エッチングしたフォイルヒーターでもよい。ヒーター素子の厚みは、2マイクロメートル~1ミリ

10

20

30

40

50

メートルの範囲でよく、5～80マイクロメートルが望ましい。ヒーター領域及び/又は電源ライン及び電力戻りラインの間にスペースを設けるために、ヒーター領域の総面積を、基板支持アセンブリの上面の面積の最大で90%、たとえば、面積の50～90%、にするようにしてもよい。ヒーター領域間に1～10mmの範囲の間隔を設けるように電源ライン又は電力戻りライン(電力ラインと総称する)を配置するようにしてもよいし、又は、電氣的絶縁層によってヒーター領域平面から分離される別の平面内に配置するようにしてもよい。電流を大きくし、ジュール加熱を抑制するために、できるだけ広いスペースが確保できるように電源ライン及び電力戻りラインを形成することが望ましい。電力ラインはヒーター領域と同一平面内に形成されてもよく、ヒーター領域とは異なる平面上に形成されてもよい。電源ラインと電力戻りラインの材料はヒーター素子の材料と同じでもよいし、異なるものでもよい。電源ラインと電力戻りラインの材料は、Cu、Al、W、Inconel(登録商標)又はMo等、低抵抗の材料であることが望ましい。基板支持アセンブリは、基板からのデバイスの歩留まりを最大にするように、基板温度を制御し、その結果、各デバイス・ダイス位置におけるプラズマエッチング処理を制御するように動作可能である。プラズマエッチングシステムは、少なくとも9個のヒーター領域を備えることが望ましい。

10

20

30

40

50

**【0015】**

一つの実施形態において、プラズマエッチングシステムは、システム内で処理される基板上の複数のデバイス・ダイス位置(デバイス・ダイス位置ごとに少なくとも1つの位置が含まれることが望ましい)において測定された臨界デバイスパラメータ(たとえば、プレエッチング臨界寸法)を、ユーザー、基板上の測定機器、ホストネットワーク(処理ラインにおける処理ツール間でデータを共有するネットワーク)等のソースから受信することができる。プラズマエッチングシステムが、処理される基板バッチのプレエッチング臨界デバイスパラメータを、ホスト通信ネットワークを介して、基板外の検査ツールから受信することが望ましい。このような基板外検査ツールは、光学及び/又は電子ビーム検査ツールでもよい。プラズマエッチングシステムは、プレエッチング臨界デバイスパラメータを受信するハードウェア及び/又はソフトウェア・インターフェースを備えるものでもよい。プラズマエッチングシステムは、プレエッチング臨界デバイスパラメータを処理する適当なソフトウェアを備えるものでもよい。

**【0016】**

プラズマエッチングシステムは、また、ハードウェア及び/又はソフトウェアインターフェース及び/又は負荷を介して、記憶装置から、プレエッチング臨界デバイスパラメータとエッチング温度の測定値に対する目標ポストエッチング臨界デバイスパラメータの依存度を規定する処理レシピパラメータを受信して、処理レシピパラメータ、目標ポストエッチング臨界デバイスパラメータ及びプレエッチング臨界デバイスパラメータの測定値から、基板上の所定位置における目標エッチング温度を予測することができる。プラズマエッチングシステムが、このような処理レシピパラメータを各処理レシピ工程に対して受信可能であることが望ましい。

**【0017】**

プラズマエッチングシステムは、さらに、各デバイス・ダイスの目標臨界デバイスパラメータを達成するように、各デバイス・ダイス位置の目標エッチング温度に基づいて、各ヒーター領域に関する目標制御パラメータ(電力、電圧、電流等、直接制御可能なパラメータ)を算出可能であることが望ましい。

**【0018】**

基板支持アセンブリに対して適用した様々な制御パラメータに対する基板支持アセンブリの表面温度の応答を測定することにより、基板支持アセンブリの製造時に目標制御パラメータを取得するようにしてもよい。あるいは、伝熱理論や有限要素解析等の理論モデル又は経験的モデルを用いて、目標制御パラメータを求めるようにしてもよい。

**【0019】**

定常状態ゲイン・マトリックスを用いて、下層のヒーター領域に適用した制御パラメータに対する各デバイス・ダイス位置の直接応答と、他のヒーター領域に適用した制御パラ

メータに対するデバイス・ダイスの間接応答（クロストーク）とから、目標制御パラメータを算出することが望ましい。参照することにより本明細書に組み込まれるG.Golubらによる「Matrix Computation（マトリックス計算）」（The Johns Hopkins 大学出版、ボストン、1996年）に記載される方法を用いて、定常状態ゲイン・マトリックスを算出するようにしてもよい。

【0020】

一つの実施形態において、プラズマエッチングシステムはn個の独立ヒーター領域を備えると仮定する。これらの各制御パラメータを $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) とすると、すべての制御パラメータ $X_i$ は、ベクトルで表わされる。

【0021】

【数1】

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix},$$

10

【0022】

ここで、 $X_i$ は、i番目のヒーター領域に適用される時間平均出力であることが望ましい。

20

【0023】

$T_i$ は、i番目のヒーター領域内のデバイス・ダイス位置における目標エッチング温度を意味し、別のベクトルで表わされる。

【0024】

【数2】

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{pmatrix},$$

30

【0025】

ベクトル $T$ は、ベクトル $X$ の関数である。ベクトル $X$ とベクトル $T$ との間の関係は、 $n \times n$ 行列 $K$ で表わすことができ、 $T = K \cdot X$ である。対角要素 $K_{ij}$ は、基板支持アセンブリ又はプラズマエッチングシステムの製造時に測定されるものでもよい。非対角要素 $K_{ij}$  ( $i \neq j$ )は、基板支持アセンブリ又はプラズマエッチングシステムの製造時に測定されるものでもよいし、有限要素熱モデル、対角要素の値及びi番目とj番目のヒーター領域間の物理的な距離から誘導するようにしてもよい。行列 $K$ は、プラズマエッチングシステムに格納される。プラズマエッチングシステムは、また、 $T$ に基づいて $X$ を推定するアルゴリズムを実行する機能を果たすソフトウェア又はファームウェアを備える。このアルゴリズムは、行列を反転させた後、行列の乗算を行なうもの、すなわち、 $X = K^{-1} \cdot T$ である。

40

【0026】

別の実施形態において、プラズマエッチングシステムはn個の独立ヒーター領域を備えると仮定する。これらの各制御パラメータを $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) とすると、すべての制御パラメータ $X_i$ は、ベクトルで表わされる。

【0027】



【数 3】

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix},$$

【0028】

ここで、 $X_i$  は、 $i$  番目のヒーター領域に適用される時間平均出力であることが望ましい。

10

【0029】

$P = \{ P_j \}$  は、以前のモデリング又はキャリブレーション測定に基づく各ヒーター領域に対する温度応答が既知である基板上の所定位置における予測エッチング温度群を意味し、別のベクトルで表わされる。

【0030】

【数 4】

$$P = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_m \end{pmatrix},$$

20

【0031】

$T = \{ T_j \}$  は、基板上の同じ所定位置における目標エッチング温度群を意味し、別のベクトルで表わされる。

【0032】

【数 5】

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_m \end{pmatrix},$$

30

【0033】

この実施形態において、目標エッチング温度が各々設定される基板上の位置の数  $m$  は、ヒーター領域の数と等しくない。すなわち、 $m < n$  である。ベクトル  $P$  は、ベクトル  $X$  の関数である。ベクトル  $P$  とベクトル  $T$  との関係は、 $m \times n$  行列  $K$  で表わすことができ、 $P = K \cdot X$  である。要素  $K_{ij}$  は、基板支持アセンブリ又はプラズマエッチングシステムの製造時に測定されるものでもよいし、有限要素熱モデルから誘導するようにしてもよい。行列  $K$  は、プラズマエッチングシステムに格納される。プラズマエッチングシステムは、また、行列及び最小二乗最適化等の最適化アルゴリズムを用いて、 $T$  に基づいて  $X$  を推定するアルゴリズムを実行する機能を果たすソフトウェア又はファームウェアを備える。最適化アルゴリズムは、デバイス・ダイス位置における予測温度と基板上の各位置における目標温度との間の差を最小限に抑えることにより、ヒーター出力設定値の決定を容易にする。

40

【0034】

上述の実施形態において、 $CD$  測定値等の基板特性を測定した位置は、ヒーター領域の数と異なっていてもよい。さらに、基板特性を測定した位置は、製造時等、モデリング又は以前の測定に基づく各ヒーター領域に対する温度応答が既知の位置と一致しなくてもよい。すなわち、基板特性測定位置は、行列  $K$  の形成に用いた位置と異なっている。したが

50

って、行列 K の形成に用いた位置と同じ位置で、基板特性を推定する必要がある。好適な実施形態において、線形補間又は非線形補間等の手法を用いて、基板特性に関するデータ、たとえば、CD測定値を、基板特性測定位置から、キャリブレーションの際に個々のヒータ応答がモデル化された / 測定された位置に、すなわち、行列 K の形成に用いた位置に変換するようにしてもよい。

【0035】

別の実施形態において、各ヒータ領域における温度センサ（たとえば、光学センサ、熱電対、ダイオード等）の出力に基づいて、制御回路（たとえば、PID制御器）により、制御パラメータを動的に求めるようにしてもよい。

【0036】

プラズマエッチングシステムを用いる方法を特定の実施形態を参照して詳細に説明してきたが、当業者には自明のように、添付の特許請求の範囲から逸脱することなく、さまざまに変形及び変更が可能であり、その等価物も採用可能である。

【手続補正書】

【提出日】平成28年5月11日(2016.5.11)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマエッチングシステムであって、

プラズマエッチングの際に基板を支持する基板支持アセンブリであって、前記基板の下に配置されて独立に制御可能な複数のヒータ領域を備える基板支持アセンブリと、各ヒータ領域を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記基板上の複数のデバイス・ダイス位置上のレジスト層で測定されたプレエッチング臨界デバイスパラメータ、および、先にエッチングされた基板のポストエッチング臨界デバイスパラメータから前記基板上の所定位置における目標エッチング温度を予測し、前記制御可能な複数のヒータ領域を用いて、各デバイス・ダイス位置における温度をその目標エッチング温度に調整する、プラズマエッチングシステム。

【請求項2】

請求項1に記載のプラズマエッチングシステムであって、更に、

前記プレエッチング臨界デバイスパラメータ又は前記ポストエッチング臨界デバイスパラメータを、外部の検査ツールからホスト通信ネットワークを介して受信するインターフェースを備える、プラズマエッチングシステム。

【請求項3】

請求項1に記載のプラズマエッチングシステムであって、

前記ヒータ領域の数と前記デバイス・ダイス位置の数とが等しくない場合に、前記ヒータ領域の目標制御パラメータと前記基板上の前記所定位置の予想エッチング温度との関係を記述する行列に基づいて、前記ヒータ領域に対するヒータ出力設定値を求める、プラズマエッチングシステム。

【請求項4】

請求項1に記載のプラズマエッチングシステムであって、

前記ヒータ領域の数と前記デバイス・ダイス位置の数とが等しい場合に、前記ヒータ領域の目標制御パラメータと前記デバイス・ダイス位置の前記目標エッチング温度との関係を記述する逆行列に、前記デバイス・ダイス位置の前記目標エッチング温度を要素とするベクトルを乗算することにより、前記ヒータ領域に関するヒータ出力の設定値を求める、プラズマエッチングシステム。

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載のプラズマエッチングシステムであって、  
前記制御部は、前記プレエッチング臨界デバイスパラメータが目標値の範囲外であるかを決定し、前記ポストエッチング臨界デバイスパラメータが前記目標値の範囲内になるように、前記ヒータ領域における加熱を制御する、プラズマエッチングシステム。

## 【請求項 6】

請求項 1 に記載のプラズマエッチングシステムであって、  
前記ヒータ領域は、グリッド状に配列される、プラズマエッチングシステム。

## 【請求項 7】

請求項 1 に記載のプラズマエッチングシステムであって、  
前記ヒータ領域は、前記基板支持アセンブリの基板支持上面の面積の 50 ~ 90 % である、プラズマエッチングシステム。

## 【請求項 8】

請求項 1 に記載のプラズマエッチングシステムであって、  
前記ヒータ領域は、電源ライン及び電力戻りラインに接続され、  
各電源ラインは、各電力戻りラインが接続されるヒータ領域群と異なるヒータ領域群に接続される、プラズマエッチングシステム。

## 【請求項 9】

請求項 1 に記載のプラズマエッチングシステムであって、  
前記ヒータ領域は、同一の電源ラインと電力戻りラインの対に接続されるヒータ領域が存在しないように、電源ライン及び電力戻りラインに接続される、プラズマエッチングシステム。

## 【請求項 10】

請求項 1 に記載のプラズマエッチングシステムであって、  
各ヒータ領域は、少なくとも 1 つの抵抗ヒータを含む、プラズマエッチングシステム。

## 【請求項 11】

請求項 1 に記載のプラズマエッチングシステムであって、  
前記ヒータ領域は、少なくとも 9 個のヒータ領域、複数の電源ライン、及び複数の電力戻りラインを備え、  
各電源ラインは、前記ヒータ領域の少なくとも 2 つに接続され、各電力戻りラインは、前記ヒータ領域の少なくとも 2 つに接続され、  
各ヒータ領域は、異なる電源ラインと電力戻りラインの対に接続される、プラズマエッチングシステム。

## 【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0036】

プラズマエッチングシステムを用いる方法を特定の実施形態を参照して詳細に説明してきたが、当業者には自明のように、添付の特許請求の範囲から逸脱することなく、さまざまに変形及び変更が可能であり、その等価物も採用可能である。

本発明は、以下の適用例としても実現可能である。

[適用例 1]

プラズマエッチングの際に基板を支持する基板支持アセンブリであって、前記基板上のデバイス・ダイス位置下に配置される独立に制御可能な複数のヒータ領域を備える基板支持アセンブリと、各ヒータ領域を制御する制御部と、を備えるプラズマエッチングシステムを用いる方法であって、

前記基板上の複数のデバイス・ダイス位置上で、プレエッチング臨界デバイスパラメータを測定する工程と、

先にエッチングされた基板の前記プレエッチング臨界デバイスパラメータとポストエッチング臨界デバイスパラメータの少なくとも一方を、前記プラズマエッチングシステムに伝達する工程と、

その後、前記基板支持アセンブリ上に前記基板を支持する工程と、

前記プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータを伝達する、及び/又は、記憶装置から前記プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータをロードする工程と

、  
前記処理レシピパラメータ、目標ポストエッチング臨界デバイスパラメータ、前記プレエッチング臨界デバイスパラメータ及び前記ポストエッチング臨界デバイスパラメータの少なくとも1つから、前記基板上の所定位置における目標エッチング温度を予測する工程と、

前記制御可能なヒーター領域を用いて、各デバイス・ダイス位置における温度を目標エッチング温度に調整する工程と、

前記基板をプラズマエッチングする工程と、を備える、方法。

[ 適用例 2 ]

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、

エッチング処理レシピの各ステップに関して、前記プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータを伝達する、及び/又は、記憶装置から前記プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータをロードする工程を備える、方法。

[ 適用例 3 ]

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、

前記基板上の前記所定位置における前記目標エッチング温度に基づいて、各ヒーター領域の目標制御パラメータを伝達する、及び/又は、計算する工程を備える、方法。

[ 適用例 4 ]

請求項 1 に記載の方法であって、

前記ヒーター領域の数と前記デバイス・ダイス位置の数とが等しい場合に、前記制御可能なヒーター領域を用いて温度を調整する工程は、

前記ヒーター領域の前記目標制御パラメータと前記デバイス・ダイス位置の前記目標エッチング温度との関係を記述する逆行列に、前記デバイス・ダイス位置の前記目標エッチング温度を要素とするベクトルを乗算することにより、前記ヒーター領域に関するヒーター出力の設定値を求める工程を含む、方法。

[ 適用例 5 ]

請求項 1 に記載の方法であって、

前記プラズマエッチングシステムは、各ヒーター領域位置のエッチング温度を測定するように構成される1つ以上の温度センサを備え、

前記方法は、さらに、

前記温度センサからの出力に基づいて、各ヒーター領域の目標制御パラメータを計算する工程を備える、方法。

[ 適用例 6 ]

請求項 1 に記載の方法を実行するプラズマエッチングシステムであって、

プラズマエッチングの際に基板を支持する基板支持アセンブリであって、前記基板の下に配置される独立に制御可能な複数のヒーター領域を備える基板支持アセンブリと、

各ヒーター領域を制御する制御部と、を備える、プラズマエッチングシステム。

[ 適用例 7 ]

請求項 6 に記載の方法を実行するプラズマエッチングシステムであって、

前記プレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータを、基板外の検査ツールからホスト通信ネットワークを介して受信するインターフェースを備える、プラズマエッチングシステム。

[ 適用例 8 ]

請求項 1 に記載の方法であって、

前記ヒーター領域の数と前記デバイス・ダイス位置の数とが等しくない場合に、前記制御可能なヒーター領域を用いて温度を調整する工程は、

前記ヒーター領域の前記目標制御パラメータと前記基板上的前記所定位置の予想エッチング温度との関係を記述する行列に基づいて、前記ヒーター領域に対するヒーター出力設定値を求める工程を含み、

前記デバイス・ダイス位置の前記予測エッチング温度と前記デバイス・ダイス位置の前記目標エッチング温度との間の差を最適化手法により最小限に抑える、方法。

[ 適用例 9 ]

請求項 8 に記載の方法であって、

前記最適化手法は最小二乗最適化である、方法。

[ 適用例 10 ]

プラズマエッチングの際に基板を支持する基板支持アセンブリであって、前記基板上的デバイス・ダイス位置下に配置される独立に制御可能な複数のヒーター領域を備える基板支持アセンブリと、各ヒーター領域を制御する制御部と、を備えるプラズマエッチングシステムを用いる方法であって、

前記基板上的第 1 の所定位置群において、プレエッチング臨界デバイスパラメータを測定する工程と、

先にエッチングされた基板の前記プレエッチング臨界デバイスパラメータとポストエッチング臨界デバイスパラメータの少なくとも一方を前記プラズマエッチングシステムに伝達する工程と、

その後、前記基板支持アセンブリ上に前記基板を支持する工程と、

処理レシピパラメータの少なくとも 1 つを伝達し、記憶装置から前記プラズマエッチングシステムに処理レシピパラメータをロードする工程と、

前記処理レシピパラメータ、目標ポストエッチング臨界デバイスパラメータ、前記プレエッチング臨界デバイスパラメータ及び前記ポストエッチング臨界デバイスパラメータの少なくとも 1 つに基づいて、前記基板上的第 2 の所定位置群における目標エッチング温度を予測する工程と、

各前記ヒーター領域に関するヒーター出力と前記第 2 の所定位置群における前記予測エッチング温度との間の関係に基づいて、制御可能なヒーター領域に関するヒーター出力の設定値を求める工程であって、最適化手法で前記予測エッチング温度と前記目標エッチング温度との間の差を最小限に抑えるように前記ヒーター出力の設定値を求める工程と、

前記基板をプラズマエッチングする工程と、

を備える、方法。

[ 適用例 11 ]

請求項 10 に記載の方法であって、

前記最適化手法は最小二乗最適化である、方法。

[ 適用例 12 ]

請求項 10 に記載の方法であって、

前記目標エッチング温度を予測する工程は、前記第 1 の所定位置群におけるプレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータのデータに基づいて、前記第 2 の所定位置群におけるプレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータのデータを推定する工程を含む、方法。

[ 適用例 13 ]

請求項 12 に記載の方法であって、

前記推定する工程は、前記第 2 の所定位置群における前記プレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータのデータに基づいて、前記第 2 の所定位置群における前記プレエッチング又はポストエッチング臨界デバイスパラメータのデータを補間する工程を含む、方法。

[ 適用例 14 ]

請求項 10 に記載の方法であって、

各前記ヒーター領域に関するヒーター出力と前記第2の所定位置群における前記予測エッチング温度との間の関係は、行列により表わされる、方法。

[適用例15]

請求項13に記載の方法であって、

前記補間する工程は、線形補間を行なう工程である、方法。

[適用例16]

請求項13に記載の方法であって、

前記補間する工程は、非線形補間を行なう工程である、方法。

---

フロントページの続き

(72)発明者 シン・ハーミート

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 9 フレモント, プラデリア・サークル, 7 5 9

(72)発明者 コメンダント・キース

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 6 フレモント, グリデン・ウェイ, 4 3 5 0

(72)発明者 バヘディ・バヒド

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 6 1 1 オークランド, マクアンドリュウ・ドライブ, 5  
9 7 0

Fターム(参考) 5F004 AA09 BB22 BB25 BB26 CA03 CA04 CA08 CB12 CB20

【外国語明細書】

2016178316000001.pdf

2016178316000002.pdf

2016178316000003.pdf