

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6067705号  
(P6067705)

(45) 発行日 平成29年1月25日(2017.1.25)

(24) 登録日 平成29年1月6日(2017.1.6)

(51) Int.Cl.

F 1

H05B 3/00 (2006.01)

H05B 3/00

310C

H01L 21/3065 (2006.01)

H01L 21/302

101G

H05H 1/46 (2006.01)

H05H 1/46

M

請求項の数 20 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-526191 (P2014-526191)	(73) 特許権者	592010081 ラム・リサーチ コーポレーション LAM RESEARCH CORPORATION アメリカ合衆国、カリフォルニア 945 38, フレモント, クッシング パークウェイ 4650
(86) (22) 出願日	平成24年8月16日 (2012.8.16)	(74) 代理人	110000028 特許業務法人明成国際特許事務所
(65) 公表番号	特表2014-529847 (P2014-529847A)	(74) 代理人	100097146 弁理士 下出 隆史
(43) 公表日	平成26年11月13日 (2014.11.13)	(72) 発明者	ピース・ジョン アメリカ合衆国 カリフォルニア州 944 03 サン・マテオ, ビューリッジ・ドライブ, 925
(86) 國際出願番号	PCT/US2012/051029		
(87) 國際公開番号	W02013/025852		
(87) 國際公開日	平成25年2月21日 (2013.2.21)		
審査請求日	平成27年8月17日 (2015.8.17)		
(31) 優先権主張番号	61/524,546		
(32) 優先日	平成23年8月17日 (2011.8.17)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】多重ヒータ配列の温度監視及び制御のためのシステムと方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

半導体処理装置において半導体基板を支えるために使用される半導体サポートアセンブリのなかのマルチゾーン加熱板の温度測定及び制御を行うように動作可能なシステムであって、前記加熱板は、複数の平面ヒータゾーンと、複数のダイオードと、複数の電力供給ラインと、複数の電力戻りラインとを含み、各平面ヒータゾーンは、電力供給ラインのうちの1本と、電力戻りラインのうちの1本とに接続され、一つの平面ヒータゾーンは、他の平面ヒータゾーンと、電力供給ラインと電力戻りラインとのペアを共有せず、各平面ヒータゾーンと、それに接続された電力供給ラインとの間、又は各平面ヒータゾーンと、それに接続された電力戻りラインとの間には、前記電力戻りラインから前記平面ヒータゾーンを経て前記電力供給ラインに到る方向に電流を流れさせないようにダイオードが直列に接続され、前記システムは、

電流測定装置と、

前記電力戻りラインの各ラインを、その他の電力戻りラインとは独立に、電気的接地に、電圧供給部に、又は電気絶縁端子に選択式に接続するように構成された第1のスイッチ構成と、

前記電力供給ラインの各ラインを、その他の電力供給ラインとは独立に、前記電気的接地に、電力供給部に、前記電流測定装置に、又は電気絶縁端子に選択式に接続するように構成された第2のスイッチ構成と、

を備えるシステム。

10

20

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載のシステムであって、更に、  
オン - オフスイッチと、  
前記オン - オフスイッチを通して前記電流測定装置に接続され、前記電圧供給部に接続  
するように構成された較正機器と、  
を備えるシステム。

**【請求項 3】**

請求項 1 に記載のシステムであって、  
前記電圧供給部は、非負電圧を出力する、システム。

**【請求項 4】**

請求項 1 に記載のシステムであって、  
前記電流測定装置は、アンプメータである、及び / 又は演算増幅器を含む、システム。

**【請求項 5】**

請求項 2 に記載のシステムであって、  
前記較正機器は、較正ヒータ、較正された温度計、及びそのアノードを前記オン - オフ  
スイッチを通して前記電流測定装置に接続され、そのカソードを前記電圧供給部に接続す  
るよう構成された較正ダイオードを含む、システム。

**【請求項 6】**

請求項 5 に記載のシステムであって、  
前記較正機器の前記較正ダイオードは、前記加熱板のなかの前記平面ヒータゾーンに接  
続された前記ダイオードと同一である、システム。 20

**【請求項 7】**

請求項 1 に記載のシステムであって、  
前記平面ヒータゾーンのそれぞれのサイズは、16 ~ 100 cm<sup>2</sup>である。システム。

**【請求項 8】**

請求項 1 に記載のシステムであって、  
前記加熱板は、10 ~ 100、100 ~ 200、200 ~ 300、又はそれよりも多い  
平面ヒータゾーンを含む、システム。

**【請求項 9】**

基板サポートアセンブリと、請求項 1 に記載のシステムとを備えるプラズマ処理装置で  
あって、前記システムは、前記半導体処理装置において半導体基板を支えるために使用さ  
れる前記半導体サポートアセンブリのなかの前記マルチゾーン加熱板の各ヒータゾーンの  
温度測定及び制御を行うように動作可能である、プラズマ処理装置。 30

**【請求項 10】**

請求項 9 に記載のプラズマ処理装置であって、  
プラズマエッキング装置であるプラズマ処理装置。

**【請求項 11】**

請求項 1 のシステムの温度を測定する及び前記システム全体にわたって所望の温度分布  
を維持する方法であって、

温度測定ステップを備え、  
前記温度測定ステップは、  
前記平面ヒータゾーンの 1 つに接続された電力供給ラインを前記電流測定装置に接続  
し、

その他の全ての（1本以上の）電力供給ラインを電気的接地に接続し、  
前記平面ヒータゾーンに接続された電力戻りラインを前記電圧供給部に接続し、  
その他の全ての（1本以上の）電力戻りラインを電気絶縁端子に接続し、  
前記平面ヒータゾーンに直列に接続された前記ダイオードの逆飽和電流の電流読み取  
り値を前記電流測定装置から取得する電流測定ステップを実施し、

前記電流読み取り値から前記平面ヒータゾーンの温度 T を算出し、  
前記加熱板全域についての所望の温度分布から前記平面ヒータゾーンについての設定 50

点温度  $T_0$  を推定し、

前記電力供給部によって前記平面ヒータゾーンを持続時間  $t$  にわたって通電することが前記平面ヒータゾーンの温度を  $T$  から  $T_0$  に変化させるような持続時間  $t$  を算出することを含む方法。

**【請求項 1 2】**

請求項 1 1 に記載の方法であって、更に、

前記温度測定ステップの後に通電ステップを備え、

前記通電ステップは、

前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力供給ラインと、前記電力供給部との間の接続、及び前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力戻りラインと、前記電気的接地との間の接続を、前記持続時間  $t$  にわたって維持することを含む、方法。 10

**【請求項 1 3】**

請求項 1 2 に記載の方法であって、更に、

前記平面ヒータゾーンのそれぞれに対して前記温度測定ステップ及び／又は前記通電ステップを繰り返す、方法。

**【請求項 1 4】**

請求項 1 1 に記載の方法であって、更に、

前記平面ヒータゾーンに対して前記温度測定ステップを行う前に隨意の放電ステップを備え、

前記放電ステップは、

前記平面ヒータゾーンに接続された前記ダイオードの接合キャパシタンスを放電するために、前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力供給ラインを接地することを含む、方法。 20

**【請求項 1 5】**

請求項 1 1 に記載の方法であって、更に、

平面ヒータゾーンに対して前記温度測定ステップを行う前に零点補正ステップを備え、前記零点補正ステップは、

前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力供給ラインを前記電流測定装置に接続し、

その他の全ての（1本以上の）電力供給ラインを前記電気的接地に接続し、 30

前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力戻りラインを前記電気的接地に接続し、

その他の電力戻りラインのそれぞれを電気絶縁端子に接続し、

前記電流測定装置から電流読み取り値（零点電流）を取得する

方法。

**【請求項 1 6】**

請求項 1 5 に記載の方法であって、

前記電流測定ステップは、更に、

前記平面ヒータゾーンの温度  $T$  を算出する前に、前記逆飽和電流の電流読み取り値から前記零点電流を引き算することを含む、方法。

**【請求項 1 7】**

請求項 6 に記載のシステムにおいて前記ダイオードを較正する方法であって、

全ての電力供給ライン及び電力戻りラインを前記電流測定装置から切り離し、

前記オン・オフスイッチを閉じ、

前記較正ヒータによって、前記較正ダイオードを前記ダイオードの動作温度範囲内の温度に加熱し、

前記較正された温度計によって、前記較正ダイオードの温度を測定することと、

前記較正ダイオードの逆飽和電流を測定し、

$A$  が前記ダイオードの接合部の面積、 $T$  がケルビンで表わされた前記ダイオードの温度、 $E$  が定数、 $E_g$  が接合部を構成している材料のエネルギーギャップ（シリコンの場合は  $E_g = 1.12 \text{ eV}$ ）、 $k$  がボルツマン定数であるとしたときに、前記測定された温度及び 50

前記測定された逆飽和電流  $I_r$  に基づいて、各ダイオードについて  
【数2】

$$I_r = A \bullet T^{3+\gamma/2} \bullet e^{-Eg/kT}$$

からパラメータA及びの少なくとも1つを決定する、  
方法。

【請求項18】

請求項10に記載のプラズマエッティング装置において半導体基板を処理する方法であつて、下記各ステップ

- (a) 前記基板サポートアセンブリ上で半導体基板を支え、
- (b) 前記加熱板のなかの前記平面ヒータゾーンを前記システムによって通電することによって、前記加熱板全域にわたって所望の温度分布を形成し、
- (c) プロセスガスを活性化させてプラズマにし、
- (d) 前記プラズマによって前記半導体基板をエッティングし、
- (e) 前記プラズマによって前記半導体基板をエッティングする間、前記システムを使用して前記所望の温度分布を維持する、

を備える方法。

【請求項19】

請求項18に記載の方法であつて、

ステップ(e)において、前記システムは、前記加熱板のなかの各平面ヒータゾーンの温度を測定し、その測定された温度に基づいて各平面ヒータゾーンを通電することによつて、前記所望の温度分布を維持する、方法。

【請求項20】

請求項19に記載の方法であつて、

前記システムは、前記平面ヒータゾーンに直列に接続された前記ダイオードの逆飽和電流の電流読み取り値を得ることによって、各平面ヒータゾーンの温度を測定する、方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本出願は、米国特許法第119条(e)に基づいて、「A SYSTEM AND METHOD FOR MONITORING TEMPERATURES OF AND CONTROLLING MULTIPLEXED HEATER ARRAY(多重ヒータ配列の温度監視及び制御のためのシステムと方法)」と題された2011年8月17日出願の米国仮出願第61/524,546号の優先権を主張する。該出願は、参照によってその全体を本明細書に組み込まれるものとする。

【0002】

半導体技術の世代が進むにつれて、基板直径は増大し、トランジスタサイズは縮小する傾向があり、その結果、基板処理において、更にいっそう高い精度及び再現性が必要になる。シリコン基板などの半導体基板材料は、真空チャンバの使用を含む技術によって処理される。これらの技術は、電子ビーム蒸着などの非プラズマ応用はもちろん、スパッタリング蒸着、プラズマ強化式化学気相蒸着(PECVD)、レジスト剥離、及びプラズマエッティングなどのプラズマ応用も含む。

【0003】

今日入手可能なプラズマ処理システムは、精度及び再現性の向上に対するニーズの高まりに見舞われている半導体製造ツールのうちの1つである。プラズマ処理システムの基準は、1つには、均一性の向上であり、これには、半導体基板表面に対する処理結果の均一性はもちろん、名目上同じ入力パラメータで処理される一連の基板の処理結果の均一性も

10

20

30

40

50

含まれる。基板上における均一性の絶え間ない向上が望まれている。なかでも特に、均一性、一貫性、及び自己診断を向上されたプラズマチャンバが求められている。

#### 【発明の概要】

##### 【0004】

本明細書で説明されるのは、半導体処理装置において半導体基板を支えるために使用される半導体サポートアセンブリのなかのマルチゾーン加熱板の温度測定及び制御を行うように動作可能なシステムであり、加熱板は、複数の平面ヒータゾーンと、複数のダイオードと、複数の電力供給ラインと、複数の電力戻りラインとを含み、各平面ヒータゾーンは、電力供給ラインのうちの1本と、電力戻りラインのうちの1本とに接続され、同じペアの電力供給ラインと電力戻りラインとを共有する平面ヒータゾーンは2つとしてなく、各平面ヒータゾーンと、それに接続された電力供給ラインとの間、又は各平面ヒータゾーンと、それに接続された電力戻りラインとの間には、電力戻りラインから平面ヒータゾーンを経て電力供給ラインに到る方向に電流を流れさせないようにダイオードが直列に接続されており、システムは、電流測定装置と、電流戻りラインの各ラインを、その他の電力戻りラインとは独立に、電気的接地に、電圧供給部に、又は電気絶縁端子に選択式に接続するように構成された第1のスイッチ構成と、電流供給ラインの各ラインを、その他の電力供給ラインとは独立に、電気的接地に、電力供給部に、電流測定機器に、又は電気絶縁端子に選択式に接続するように構成された第2のスイッチ構成とを含む。10

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【0005】

【図1】平面ヒータゾーンの配列を伴う加熱板を組み込まれ、静電チャック(ESC)も含む、基板サポートアセンブリの断面の概略図である。20

##### 【0006】

【図2】基板サポートアセンブリに組み込むことができる加熱板の一実施形態における、電力供給ライン及び電力戻りラインと平面ヒータゾーンの配列との間における接続形態を示した図である。

##### 【0007】

【図3】本明細書で説明される基板サポートアセンブリを含むことができる代表的なプラズマ処理チャンバの概略図である。

##### 【0008】

【図4】加熱板において平面ヒータゾーンに接続されたダイオードの代表的な電流-電圧特性(I-V曲線)を示した図である。30

##### 【0009】

【図5】加熱板を制御するように及びそのなかの各平面ヒータゾーンの温度を監視するように構成された、一実施形態にしたがったシステムの回路図である。

##### 【0010】

【図6】図5のシステムにおける電流測定機器の回路を示す回路図である。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0011】

基板上に所望の微小寸法(CD)均一性を達成するために半導体処理装置において基板温度を半径方向及び方位角方向に制御することが、ますます求められている。温度の僅かなばらつきでさえ、受け入れがたいほどにCDに影響を及ぼすかもしれない、これは、半導体製造プロセスにおいてCDが100nm以下に近づくにつれて、ますます顕著になる。40

##### 【0012】

処理中における、基板を支える、基板温度を調整する、及び無線周波数電力を供給するなどの多岐にわたる機能のために、基板サポートアセンブリが構成されてよい。基板サポートアセンブリは、処理中に基板サポートアセンブリに基板を静電クランプするのに有用な静電チャック(ESC)を含むことができる。ESCは、可調整ESC(T-ESC)であってよい。T-ESCは、参照によって本明細書に組み込まれる同一出願人による米国特許第6,847,014号及び第6,921,724号に記載されている。基板サポ50

ートアセンブリは、セラミック製の基板ホルダと、流体冷却ヒートシンク（以下、冷却板と呼ばれる）と、半径方向における段階的な温度制御を実現するための複数の同心状平面ヒータゾーンとを含んでいてよい。通常、冷却板は、0から30までの間に維持される。ヒータは、断熱材の層を間に挟んだ状態で、冷却板上に位置付けられる。ヒータは、基板サポートアセンブリのサポート表面を、冷却板温度よりも約0～80高い温度に維持することができる。複数の平面ヒータゾーン内におけるヒータ電力を変化させることによって、基板サポート温度分布は、中心が熱い状態と、中心が冷たい状態と、均一な状態との間で変化させることができる。更に、平均の基板サポート温度は、冷却板温度よりも0～80高い動作範囲内で段階的に変化させることができる。半導体技術の進歩に伴ってCDが減少するにつれて、方位角方向における温度の僅かなばらつきが、ますます大きな課題になる。

#### 【0013】

温度の制御は、幾つかの理由で容易な作業ではない。第1に、熱源及びヒートシンクの場所や、媒質の動き、材料、及び形状などの多くの要因が、熱伝達に影響を及ぼす可能性がある。第2に、熱伝達は、動的なプロセスである。問題にされているシステムが熱平衡状態にない限り、熱伝達が発生し、時間とともに温度分布及び熱伝達が変化する。第3に、プラズマ処理中に当然に常時存在するプラズマなどの非平衡現象は、任意の実際上のプラズマ処理装置の熱伝達挙動の理論的予測を、たとえ不可能ではないにしても非常に困難にする。

#### 【0014】

プラズマ処理装置における基板温度分布は、プラズマ密度分布、RF電力分布、並びにチャックのなかの各種の加熱素子及び冷却素子の詳細な構造などの多くの要因によって影響されるので、基板温度分布は、多くの場合、均一ではなく、少数の加熱素子又は冷却素子によって制御することが困難である。この欠陥は、基板全域にわたる処理速度の非均一性及び基板上におけるデバイスダイの微小寸法の非均一性につながる。

#### 【0015】

温度制御の複雑性を踏まえると、独立制御可能な複数の平面ヒータゾーンを基板サポートアセンブリに組み込んで、装置が所望の空間的及び時間的な温度分布を能動的に作成及び維持すること、並びにCDの均一性に影響を及ぼすその他の有害要因を打ち消すことを可能にすることが、有利だと考えられる。

#### 【0016】

半導体処理装置における、独立制御可能な複数の平面ヒータゾーンを伴う基板サポートアセンブリのための加熱板が、参照によってその開示内容を本明細書に組み込まれる共同所有の米国特許公開第2011/0092072号に開示されている。この加熱板は、スケーラブルな多重レイアウト配置の平面ヒータゾーンと、電力供給ラインと、電力戻りラインとを含む。平面ヒータゾーンの電力を調整することによって、処理における温度分布は、半径方向及び方位角方向の両方に形作ることができる。この加熱板は、主に、プラズマ処理装置について記載されているが、プラズマを使用しないその他の半導体処理装置に使用することもできる。

#### 【0017】

この加熱板のなかの平面ヒータゾーンは、例えば、矩形格子、六角形格子、有極配列、同心円、又は任意の望ましいパターンなどの既定のパターンに配置されることが好ましい。各平面ヒータゾーンは、任意の適切なサイズであってよく、1つ以上のヒータ素子を有していてよい。特定の実施形態では、平面ヒータゾーンのなかの全てのヒータ素子が、いっせいにオン又はオフにされる。電気的接続の数を最少に抑えるために、電力供給ライン及び電力戻りラインは、各電力供給ラインがそれぞれ異なるグループの平面ヒータゾーンに接続されるように尚且つ各電力戻りラインがそれぞれ異なるグループの平面ヒータゾーンに接続されるように配置され、このとき、各平面ヒータゾーンは、特定の電力供給ラインに接続されたグループの1つ及び特定の電力戻りラインに接続されたグループの1つに入っている。特定の実施形態では、同じ電力供給ラインと電力戻りラインとのペアに接続

10

20

30

40

50

される平面ヒータゾーンは、2つとしてない。したがって、平面ヒータゾーンは、この平面ヒータゾーンが接続されている電力供給ラインと電力戻りラインとのペアに電流を流れさせることによって、作動させることができる。ヒータ素子の電力は、好ましくは20W未満であり、更に好ましくは5~10Wである。ヒータ素子は、ポリイミドヒータ、シリコーンゴムヒータ、マイカヒータ、金属ヒータ（例えば、W、Ni/Cr合金、Mo、若しくはTa）、セラミックヒータ（例えばWC）、半導体ヒータ、又は炭素ヒータなどの、抵抗ヒータであってよい。ヒータ素子は、スクリーン印刷されたヒータ、ワイヤを巻いたヒータ、又は箔をエッティングしたヒータであってよい。一実施形態では、各平面ヒータゾーンは、半導体基板上に製造されているデバイスダイ4つ分以下、若しくは半導体基板上に製造されているデバイスダイ2つ分以下、若しくは半導体基板上に製造されているデバイスダイ1つ分以下である、又は基板上のデバイスダイに対応するように面積にして16~100cm<sup>2</sup>、1~15cm<sup>2</sup>、又は2~3cm<sup>2</sup>である。ヒータ素子の厚さは、2マイクロメートルから1ミリメートルまでであってよく、好ましくは5~80マイクロメートルである。平面ヒータゾーンどうしの間、並びに／又は平面ヒータゾーンと電力供給ライン及び電力戻りラインとの間にスペースを確保するために、平面ヒータゾーンの総面積は、基板サポートアセンブリの上面の面積の90%以下であってよく、例えば、該面積の50~90%である。電力供給ライン又は電力戻りライン（まとめて電力ラインと呼ばれる）は、平面ヒータゾーンどうしの間の1~10mmの隙間に配置されてよい、又は電気絶縁層によって平面ヒータゾーンの面から隔てられた別の面内に配置されてよい。大電流を運ぶため及びジュール加熱を減らすためには、電力供給ライン及び電力戻りラインは、スペースが許す限り広く作成されることが好ましい。電力ラインが平面ヒータゾーンと同じ面内にある一実施形態では、電力ラインの幅は、0.3mmから2mmまでの間であることが好ましい。電力ラインが平面ヒータゾーンと異なる面上にある別の実施形態では、電力ラインの幅は、平面ヒータゾーンと同程度に大きくてよく、例えば、300mmのチャックに対し、1~2インチ（約2.54~5.08センチ）であってよい。電力ラインの材料は、ヒータ素子の材料と同じでよい、又は異なっていてよい。好ましくは、電力ラインの材料は、銅Cu、アルミAl、タングステンW、インコネル（Inconel：登録商標）、又はモリブデンMoなどの、抵抗性が低い材料である。

#### 【0018】

図1~2は、2枚の電気絶縁層104A及び104Bに組み込まれた平面ヒータゾーン101の配列を有する加熱板の一実施形態を含む基板サポートアセンブリを示している。電気絶縁層は、ポリマ材料、又は無機材料、又は酸化シリコン、アルミナ、イットリア、窒化アルミニウムなどのセラミック、又はその他の適切な材料であってよい。基板サポートアセンブリは、更に、(a)DC電圧によって表面に基板を静電クランプするために電極102（例えば単極又は双極）を埋め込まれたセラミック層103（静電クランプ層）を有するESCと、(b)熱障壁層107と、(c)冷却剤を流すための流路106を内包した冷却板105とを含む。

#### 【0019】

図2に示されるように、各平面ヒータゾーン101は、電力供給ライン201のうちの1本と、電力戻りライン202のうちの1本とに接続される。同じペアの電力供給ライン201と電力戻りライン202とを共有する平面ヒータゾーン101は、2つとしてない。適切な電気スイッチ構成によって、ペアをなす電力供給ライン201と電力戻りライン202とを電力供給部（不図示）に接続し、それによって、このペアの電力ラインに接続された平面ヒータゾーンのみがオンにされる。各平面ヒータゾーンの時間平均加熱電力は、時間領域多重化によって、個々に調整することができる。異なる平面ヒータゾーン間ににおける相互干渉を阻止するために、(図2に示されるように)各ヒータゾーンとそれに接続された電力供給ライン201との間、又は各ヒータゾーンとそれに接続された電力戻りライン202との間（不図示）に、電力戻りライン201から平面ヒータゾーン101を経て電力供給ライン202に到る方向に電流を流れさせないようにダイオード250が直列に接続される。ダイオード250は、平面ヒータゾーン内に又は平面ヒータゾーンに隣

10

20

30

40

50

接するように物理的に位置付けられる。

【0020】

基板サポートアセンブリは、加熱板の一実施形態を含むことができ、加熱板の各平面ヒータゾーンは、基板温度が及びその結果としてプラズマエッチングプロセスが各デバイスダイ位置について制御されて基板からのデバイスの歩留まりを最大にすることができるよう、基板上の1つのデバイスダイ又は一群のデバイスダイと同程度のサイズである、又はそれよりも小さいサイズである。加熱板は、10～100、100～200、200～300、又はそれよりも多くの平面ヒータゾーンを含むことができる。加熱板のスケーラブル構造は、最小数の電力供給ライン、電力戻りライン、及び冷却板内のフィードスルーより、ダイごとの基板温度制御に必要とされる平面ヒータゾーンの数(300mmの基板上に、通常は100を超えるダイがあり、したがって、100以上のヒータゾーンがある)に容易に適応し、それによって、基板温度を乱す障害や、製造のコスト、及び基板サポートアセンブリの複雑性を抑えることができる。図には示されていないが、基板サポートアセンブリは、基板を持ち上げるためのリフトピン、ヘリウム裏面冷却、温度フィードバック信号を提供するための温度センサ、加熱電力フィードバック信号を提供するための電圧・電流センサ、ヒータ及び／若しくはクランプ電極のための電力供給、並びに／又はRFフィルタなどの特徴を含むことができる。

【0021】

プラズマ処理チャンバがどのように動作するかの概観として、図3は、そのなかに上方シャワーヘッド電極703及び基板サポートアセンブリ704を配されたプラズマ処理チャンバの概略を示している。基板712が、取り込み口711を通して取り込まれ、基板サポートアセンブリ704に載せられる。ガスライン709は、上方シャワーヘッド電極703にプロセスガスを供給し、該シャワーヘッド電極703は、そのプロセスガスをチャンバ内へ送り込む。ガスライン709には、ガス源708(例えば、適切なガス混合を供給する質量流コントローラ電力)が接続される。上方シャワーヘッド電極703には、RF電力源702が接続される。動作にあたっては、基板712と上方シャワーヘッド電極703との間のスペースのなかでプロセスガスを活性化させてプラズマにするために、真空ポンプ710によってチャンバが排気され、基板サポートアセンブリ704のなかの上方シャワーヘッド電極703と下方電極との間にRF電力が容量結合される。プラズマは、基板712上の層内へデバイスダイ特徴をエッティングするために使用することができる。基板サポートアセンブリ704は、そのなかにヒータを組み込まれていてよい。なお、プラズマ処理チャンバの詳細な設計は可変であるが、RF電力は基板サポートアセンブリ704を通じてプラズマに結合されることが理解されるべきである。

【0022】

各平面ヒータゾーン101に供給される電力は、所望の基板サポート温度分布を実現するため、そのゾーンの実際の温度に基づいて調節することができる。各平面ヒータゾーン101における実際の温度は、そのゾーンに接続されたダイオード250の逆飽和電流を測定することによって監視することができる。図4は、ダイオード250の代表的な電流-電圧特性(I-V曲線)を示している。ダイオード250がその逆バイアス領域(網掛けされた枠401によって記された領域)にあるときは、ダイオード250を流れる電流は、ダイオード250にかかるバイアス電圧から基本的に独立している。この電流の大きさは、逆飽和電流Irと呼ばれる。Irの温度依存性は、次のように近似することができる。

【0023】

【数1】

$$I_r = A \cdot T^{3+\gamma/2} \cdot e^{-Eg/kT} \quad (\text{Eq.1})$$

【0024】

10

20

30

40

50

ここで、 $A$ は、ダイオード 250 の接合部の面積であり、 $T$ は、ケルビンで表わされたダイオード 250 の温度であり、 $\alpha$ は、定数であり、 $E_g$ は、接合部を構成している材料のエネルギーギャップ（シリコンの場合は  $E_g = 1.12 \text{ eV}$ ）であり、 $k$ は、ボルツマン定数である。

#### 【0025】

図 5 は、各平面ヒータゾーン 101 に接続されたダイオード 250 の逆飽和電流  $I_r$  を測定することによって加熱板を制御するように及びそのなかの各平面ヒータゾーン 101 の温度を監視するように構成されたシステム 500 の回路図を示している。わかりやすくするために、4 つの平面ヒータゾーンのみが示されている。このシステム 500 は、任意の数の平面ヒータゾーンで動作するように構成することができる。

10

#### 【0026】

システム 500 は、電流測定機器 560 と、スイッチ構成 1000 と、スイッチ構成 2000 と、随意のオン - オフスイッチ 575 と、随意の較正機器 570 とを含む。スイッチ構成 1000 は、各電力戻りライン 202 を、その他の電力戻りラインとは独立に、電気的接地に、電圧源 520 に、又は電気絶縁端子に選択式に接続するように構成される。スイッチ構成 2000 は、各電流供給ライン 201 を、その他の電力供給ラインとは独立に、電気的接地に、電力源 510 に、電流測定機器 560 に、又は電気絶縁端子に選択式に接続するように構成される。電圧源 520 は、非負電圧を供給する。随意の較正機器 570 は、各ダイオード 250 の逆飽和電流  $I_r$  とその温度  $T$  との間の関係を較正するためには提供することができる。較正機器 570 は、平面ヒータゾーン 101 及びダイオード 250 から熱的に分離された較正ヒータ 571 と、較正された温度計 572（例えば熱電対）と、ダイオード 250 と同じタイプの（好ましくは同一の）較正ダイオード 573 とを含む。較正機器 570 は、システム 500 のなかに位置付けることができる。較正ヒータ 571 及び温度計 572 は、電圧源 520 によって通電することができる。較正ダイオード 573 のカソードは、電圧源 520 に接続するように構成され、アノードは、オン - オフスイッチ 575 を通して電流測定機器 560 に接続される（すなわち、較正ダイオード 573 は、逆バイアスをかけられる）。較正ヒータ 571 は、較正ダイオード 573 を、平面ヒータゾーン 101 の動作温度に近い温度に維持する（例えば 20 ~ 200）。プロセッサ 5000（例えばマイクロコントローラユニットやコンピュータなど）は、スイッチ構成 1000 及び 2000、較正機器 570、並びにスイッチ 575 を制御し、電流測定機器 560 からの電流読み取り値を受信し、較正機器 570 からの温度読み取り値を受信する。もし必要であれば、プロセッサ 5000 は、システム 500 に含めることができる。

20

#### 【0027】

電流測定機器 560 は、図 6 に示されるように、アンプメータ、又は演算増幅器（オペアンプ）に基づく機器などの、任意の適切な機器であってよい。測定される電流は、入力端子 605 へ流れ、この端子は、随意のコンデンサ 602 を通してオペアンプ 601 の反転入力 601a に接続される。オペアンプ 601 の反転入力 601a は、抵抗 RI の抵抗器 603 を通してオペアンプ 601 の出力 601c にも接続される。オペアンプ 601 の非反転入力 601b は、電気的接地に接続される。オペアンプ 601 の出力に接続された出力端子 606 にかかる電圧 V は、電流 I の読み取り値であり、 $V = I \times R_I$  である。図 6 に示された機器は、入力端子 605 上におけるダイオード（ダイオード 250 のうちの 1 つ又は較正ダイオード 573）の電流信号を、温度読み取り値としてプロセッサ 5000 に送信される出力端子 606 上における電圧信号に変換する。

30

#### 【0028】

加熱板の温度測定及び制御のための方法は、温度測定ステップを含み、該ステップは、平面ヒータゾーン 101 に接続された電力供給ライン 201 を電流測定機器 560 に接続することと、他の全ての（1 本以上の）電力供給ラインを電気的接地に接続することと、平面ヒータゾーン 101 に接続された電力戻りラインを電圧源 520 に接続することと、他の全ての（1 本以上の）電力戻りラインを電気絶縁端子に接続することと、平

40

50

面ヒータゾーン 101 に直列に接続されたダイオード 250 の逆飽和電流の電流読み取り値を電流測定機器 560 から得ることと、式 1 に基づいて電流読み取り値から平面ヒータゾーン 101 の温度  $T$  を算出することと、加熱板全域についての所望の温度分布から平面ヒータゾーン 101 についての設定点温度  $T_0$  を推定することと、電力供給部 510 によって平面ヒータゾーン 101 を持続時間  $t$  にわたって通電することが平面ヒータゾーン 101 の温度を  $T$  から  $T_0$  に変化させるような持続時間  $t$  を算出することとを含む。平面ヒータゾーン 101 に接続されていない全ての電力供給ラインを電気的接地に接続することによって、平面ヒータゾーン 101 に接続されたダイオード 250 からの逆飽和電流のみが電流測定機器 560 に到達することが保証される。

## 【0029】

10

この方法は、更に、温度測定ステップの後に通電ステップを含み、該通電ステップは、平面ヒータゾーン 101 に接続された電力供給ライン 201 と、電力供給部 510 との間の接続、及び平面ヒータゾーン 101 に接続された電力戻りライン 202 と、電気的接地との間の接続を、持続時間  $t$  にわたって維持することを含む。方法は、更に、各平面ヒータゾーン 101 に対して温度測定ステップ及び通電ステップを繰り返すことを含む。

## 【0030】

この方法は、更に、平面ヒータゾーン 101 に対して温度測定ステップを行う前に随意の放電ステップを含むことができ、該放電ステップは、平面ヒータゾーン 101 に接続されたダイオード 250 の接合キャパシタンスを放電するために、平面ヒータゾーン 101 に接続された電力供給ライン 201 を接地することを含む。

20

## 【0031】

この方法は、更に、平面ヒータゾーン 101 に対して温度測定ステップを行う前に随意の零点補正ステップを含むことができ、該零点補正ステップは、平面ヒータゾーン 101 に接続された電力供給ライン 201 を電流測定機器 560 に接続することと、その他の全ての（1本以上の）電力供給ラインを電気的接地に接続することと、平面ヒータゾーン 101 に接続された電力戻りラインを電気的接地に接続することと、その他の電力戻りラインの各ラインを電気絶縁端子に接続することと、電流測定機器 560 から電流読み取り値（零点電流）を得ることとを含む。零点電流は、平面ヒータゾーンの温度  $T$  を算出する前に、温度測定ステップにおける電流読み取り値から引き算することができる。零点補正ステップは、電力供給部 510 からスイッチ構成 2000 を経て生じる漏れ電流に由来する誤差を排除する。測定ステップ、零点化ステップ、及び放電ステップは、全て、コントローラ 5000 又は追加の同期検出エレクトロニクスによって演算增幅器 601 の出力に対して同期検出を使用するのに十分な速度で実施されてよい。測定信号の同期検出は、測定のノイズを減少させるとともに、精度を向上させるだろう。

30

## 【0032】

この方法は、更に、任意のダイオード 250 の逆飽和電流の温度依存性の時間的シフトを補正するために、随意の較正ステップを含むことができる。較正ステップは、全ての電力供給ライン 201 及び電力戻りライン 202 を電流測定機器 560 から切り離すことと、オン - オフスイッチ 575 を閉じることと、較正ヒータ 571 によって較正ダイオード 573 を好ましくはダイオード 250 の動作温度範囲内の温度に加熱することと、較正された温度計 572 によって較正ダイオード 573 の温度を測定することと、較正ダイオード 573 の逆飽和電流を測定することと、測定された温度及び測定された逆飽和電流に基づいて、各ダイオード 250 について式 1 におけるパラメータ A 及び  $\beta$  を調節することとを含む。

40

## 【0033】

基板サポートアセンブリと、本明細書で説明されるシステムとを含むプラズマエッティング装置において半導体を処理する方法は、(a) 基板サポートアセンブリ上で半導体基板を支えることと、(b) 加熱板のなかの平面ヒータゾーンをシステムによって通電することによって、加熱板全域にわたって所望の温度分布を形成することと、(c) プロセスガスを活性化させてプラズマにすることと、(d) プラズマによって半導体をエッティングす

50

ることと、(e) プラズマによって半導体をエッチングする間、システムを使用して所望の温度分布を維持することとを含む。ステップ(e)では、システムは、加熱板のなかの各平面ヒータゾーンの温度を測定し、その測定された温度に基づいて各平面ヒータゾーンを通電することによって、所望の温度分布を維持する。システムは、各平面ヒータゾーンの温度を、その平面ヒータゾーンに直列に接続されたダイオードの逆飽和電流の電流読み取り値を得ることによって測定する。

#### 【0034】

システム500、並びに加熱板の温度測定及び制御を行うための方法は、その特定の実施形態を参照にして詳細に説明されてきたが、当業者にならば、添付の特許請求の範囲から逸脱することなく様々な変更及び修正がなされうること、並びに均等物が採用されうることが明らかである。例えば、本発明は以下の適用例としても実施可能である。10

[適用例1] 半導体処理装置において半導体基板を支えるために使用される半導体サポートアセンブリのなかのマルチゾーン加熱板の温度測定及び制御を行うように動作可能なシステムであって、前記加熱板は、複数の平面ヒータゾーンと、複数のダイオードと、複数の電力供給ラインと、複数の電力戻りラインとを含み、各平面ヒータゾーンは、電力供給ラインのうちの1本と、電力戻りラインのうちの1本とに接続され、一つの平面ヒータゾーンは、他の平面ヒータゾーンと、電力供給ラインと電力戻りラインとのペアを共有せず、各平面ヒータゾーンと、それに接続された電力供給ラインとの間、又は各平面ヒータゾーンと、それに接続された電力戻りラインとの間には、前記電力戻りラインから前記平面ヒータゾーンを経て前記電力供給ラインに到る方向に電流を流れさせないようにダイオードが直列に接続され、前記システムは、20

電流測定装置と、

前記電流戻りラインの各ラインを、その他の電力戻りラインとは独立に、電気的接地に、電圧供給部に、又は電気絶縁端子に選択的に接続するように構成された第1のスイッチ構成と、

前記電流供給ラインの各ラインを、その他の電力供給ラインとは独立に、前記電気的接地に、電力供給部に、前記電流測定機器に、又は電気絶縁端子に選択的に接続するよう構成された第2のスイッチ構成と、

を備えるシステム。

[適用例2] 適用例1に記載のシステムであって、更に、30

オンオフスイッチと、

前記オンオフスイッチを通して前記電流測定機器に接続され、前記電圧供給部に接続するよう構成された較正機器と、

を備えるシステム。

[適用例3] 適用例1に記載のシステムであって、

前記電圧供給部は、非負電圧を出力する、システム。

[適用例4] 適用例1に記載のシステムであって、

前記電流測定機器は、アンプメータである、及び/又は演算増幅器を含む、システム。

[適用例5] 適用例2に記載のシステムであって、

前記較正機器は、較正ヒータ、較正された温度計、及びそのアノードを前記オン-オフスイッチを通して前記電流測定機器に接続され、そのカソードを前記電圧供給部に接続するよう構成された較正ダイオードを含む、システム。40

[適用例6] 適用例5に記載のシステムであって、

前記較正機器の前記較正ダイオードは、前記加熱板のなかの前記平面ヒータゾーンに接続された前記ダイオードと同一である、システム。

[適用例7] 適用例1に記載のシステムであって、

前記平面ヒータゾーンのそれぞれのサイズは、16～100cm<sup>2</sup>である。システム。

[適用例8] 適用例1に記載のシステムであって、

前記加熱板は、10～100、100～200、200～300、又はそれよりも多い平面ヒータゾーンを含む、システム。50

[適用例9] 基板サポートアセンブリと、適用例1に記載のシステムとを備えるプラズマ処理装置であって、前記システムは、前記半導体処理装置において半導体基板を支えるために使用される前記半導体サポートアセンブリのなかの前記マルチゾーン加熱板の各ヒータゾーンの温度測定及び制御を行うように動作可能である、プラズマ処理装置。

[適用例10] 適用例9に記載のプラズマ処理装置であって、  
プラズマエッ칭装置であるプラズマ処理装置。

[適用例11] 適用例1のシステムの温度を測定する及び前記システム全体にわたって所望の温度分布を維持する方法であって、

温度測定ステップを備え、

前記温度測定ステップは、

前記平面ヒータゾーンの1つに接続された電力供給ラインを前記電流測定機器に接続し、

その他の全ての(1本以上の)電力供給ラインを電気的接地に接続し、

前記平面ヒータゾーンに接続された電力戻りラインを前記電圧供給部に接続し、

その他の全ての(1本以上の)電力戻りラインを電気絶縁端子に接続し、

前記平面ヒータゾーンに直列に接続された前記ダイオードの逆飽和電流の電流読み取り値を前記電流測定機器から取得し、

前記電流読み取り値から前記平面ヒータゾーンの温度Tを算出し、

前記加熱板全域についての所望の温度分布から前記平面ヒータゾーンについての設定点温度T0を推定し、

前記電力供給部によって前記平面ヒータゾーンを持続時間tにわたって通電することが前記平面ヒータゾーンの温度をTからT0に変化させるような持続時間tを算出することを含む方法。

[適用例12] 適用例11に記載の方法であって、更に、

前記温度測定ステップの後に通電ステップを備え、

前記通電ステップは、

前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力供給ラインと、前記電力供給部との間の接続、及び前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力戻りラインと、前記電気的接地との間の接続を、前記持続時間tにわたって維持することを含む、方法。

[適用例13] 適用例12に記載の方法であって、更に、

前記平面ヒータゾーンのそれぞれに対して前記温度測定ステップ及び/又は前記通電ステップを繰り返す、方法。

[適用例14] 適用例11に記載の方法であって、更に、

前記平面ヒータゾーンに対して前記温度測定ステップを行う前に隨意の放電ステップを備え、

前記放電ステップは、

前記平面ヒータゾーンに接続された前記ダイオードの接合キャパシタンスを放電するために、前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力供給ラインを接地することを含む、方法。

[適用例15] 適用例11に記載の方法であって、更に、

平面ヒータゾーンに対して前記温度測定ステップを行う前に零点補正ステップを備え、

前記零点補正ステップは、

前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力供給ラインを前記電流測定機器に接続し、

その他の全ての(1本以上の)電力供給ラインを前記電気的接地に接続し、

前記平面ヒータゾーンに接続された前記電力戻りラインを前記電気的接地に接続し、

その他の電力戻りラインのそれぞれを電気絶縁端子に接続し、

前記電流測定機器から電流読み取り値(零点電流)を取得する

方法。

[適用例16] 適用例15に記載の方法であって、

10

20

30

40

50

前記電流測定ステップは、更に、

前記平面ヒータゾーンの温度Tを算出する前に、前記逆飽和電流の電流読み取り値から前記零点電流を引き算することを含む、方法。

[適用例17] 適用例6に記載のシステムにおいて前記ダイオードを較正する方法であつて、

全ての電力供給ライン及び電力戻りラインを前記電流測定機器から切り離し、

前記オン・オフスイッチを閉じ、

前記較正ヒータによって、前記較正ダイオードを前記ダイオードの動作温度範囲内の温度に加熱し、

前記較正された温度計によって、前記較正ダイオードの温度を測定することと、

10

前記較正ダイオードの逆飽和電流を測定し、

Aが前記ダイオードの接合部の面積、Tがケルビンで表わされた前記ダイオードの温度、 $E_g$ が定数、 $E_g$ が接合部を構成している材料のエネルギーギャップ（シリコンの場合は $E_g = 1.12\text{ eV}$ ）、kがボルツマン定数であるとしたときに、前記測定された温度及び前記測定された逆飽和電流に基づいて、各ダイオードについて

【数2】

$$I_r = A \cdot T^{3+\gamma/2} \cdot e^{-Eg/kT}$$

20

からパラメータA及び $\gamma$ の少なくとも1つを決定する、

方法。

[適用例18] 適用例10に記載のプラズマエッチング装置において半導体基板を処理する方法であつて、下記各ステップ

(a) 前記基板サポートアセンブリ上で半導体基板を支え、

(b) 前記加熱板のなかの前記平面ヒータゾーンを前記システムによって通電することによって、前記加熱板全域にわたって所望の温度分布を形成し、

(c) プロセスガスを活性化させてプラズマにし、

(d) 前記プラズマによって前記半導体基板をエッチングし、

30

(e) 前記プラズマによって前記半導体基板をエッチングする間、前記システムを使用して前記所望の温度分布を維持する、

を備える方法。

[適用例19] 適用例18に記載の方法であつて、

ステップ(e)において、前記システムは、前記加熱板のなかの各平面ヒータゾーンの温度を測定し、その測定された温度に基づいて各平面ヒータゾーンを通電することによつて、前記所望の温度分布を維持する、方法。

[適用例20] 適用例19に記載の方法であつて、

前記システムは、前記平面ヒータゾーンに直列に接続された前記ダイオードの逆飽和電流の電流読み取り値を得ることによって、各平面ヒータゾーンの温度を測定する、方法。

40

【図 1】

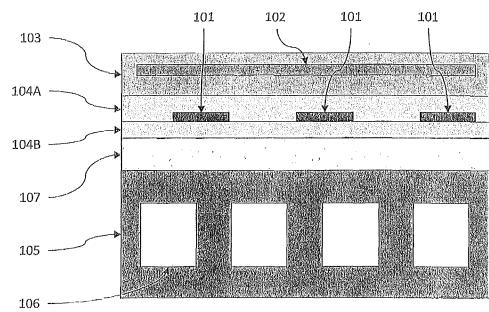


Fig. 1

【図 2】

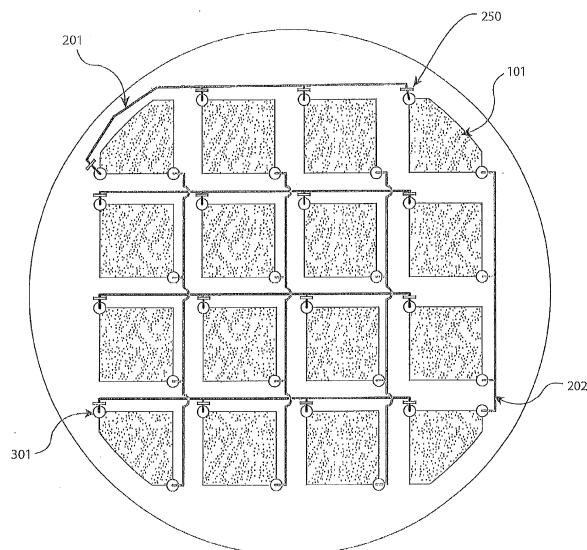


Fig. 2

【図 3】

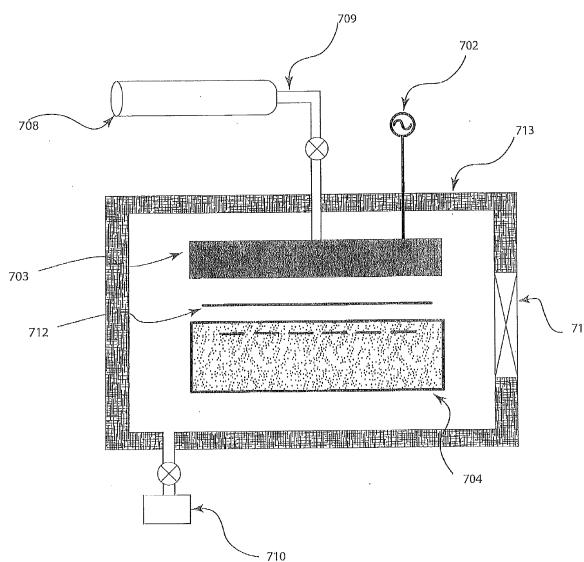


Fig. 3

【図 4】

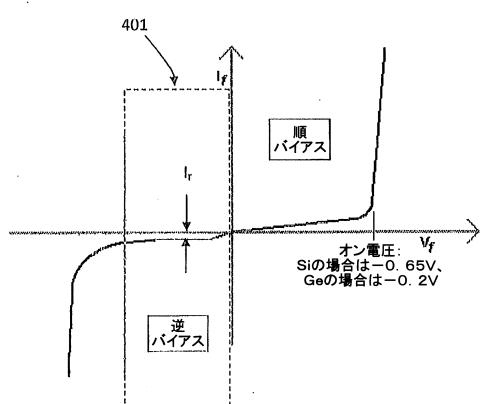


Fig. 4

【図5】

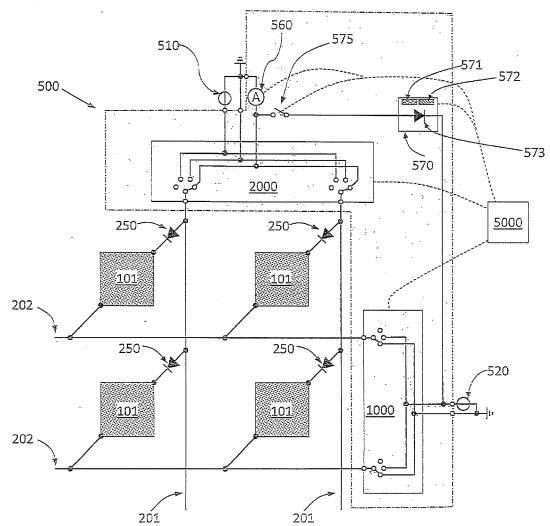


Fig. 5

【図6】

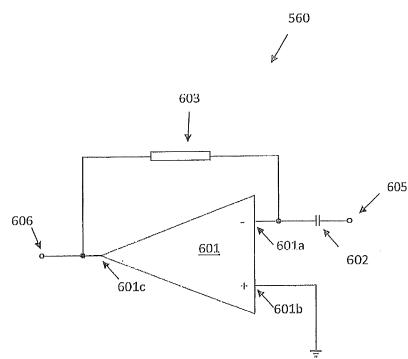


Fig. 6

---

フロントページの続き

審査官 宮崎 光治

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0092072(US,A1)

特開2010-153730(JP,A)

特開2001-045655(JP,A)

米国特許出願公開第2009/0218316(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05B1/00-3/00

H01L21/302

H01L21/461

H05H1/00-1/54