

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4059694号  
(P4059694)

(45) 発行日 平成20年3月12日(2008.3.12)

(24) 登録日 平成19年12月28日(2007.12.28)

(51) Int. Cl. F I  
 HO 1 L 21/205 (2006.01) HO 1 L 21/205  
 HO 1 L 21/027 (2006.01) HO 1 L 21/30 5 6 7  
 HO 5 B 3/00 (2006.01) HO 5 B 3/00 3 1 0 E

請求項の数 12 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2002-89028 (P2002-89028)</p> <p>(22) 出願日 平成14年3月27日(2002.3.27)</p> <p>(65) 公開番号 特開2003-282461 (P2003-282461A)</p> <p>(43) 公開日 平成15年10月3日(2003.10.3)</p> <p>審査請求日 平成17年3月15日(2005.3.15)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000001122 株式会社日立国際電気 東京都千代田区外神田四丁目14番1号</p> <p>(74) 代理人 100090136 弁理士 油井 透</p> <p>(74) 代理人 100091362 弁理士 阿仁屋 節雄</p> <p>(74) 代理人 100105256 弁理士 清野 仁</p> <p>(72) 発明者 高野 智 東京都中野区東中野三丁目14番20号 株式会社日立国際電気内</p> <p>審査官 池淵 立</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板処理装置及び半導体装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱する基板処理装置において

前記基板の反りが発生する臨界基板面内温度偏差を前記基板の加熱状態に応じて求め、  
 前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差  $t$  を前記臨界基板面内温度偏差  
 以内に維持させ、かつ前記  $t$  を基板温度に応じて変化させるように、前記加熱部材を制  
 御するようにした制御部を有した基板処理装置。

【請求項2】

基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱する基板処理装置において

前記基板の反りが発生する臨界基板面内温度偏差を加熱時の基板の温度、又は前記基板  
 保持部材の温度に応じて求め、

前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差  $t$  を、前記基板の温度又は前記  
 基板保持部材の温度に対応する前記臨界基板面内温度偏差以内に維持させるように、前記  
 加熱部材を制御するようにした制御部を有した基板処理装置。

【請求項3】

請求項2に記載の基板処理装置において、

加熱時の基板の温度、又は前記基板保持部材の温度に応じて求められた前記臨界基板面  
 内温度偏差  $Y$  が、次式で示される基板処理装置。

10

20

$$Y = 350 \times \text{EXP}(-0.004 \times T)$$

但し、Tは基板の温度

【請求項4】

請求項3に記載の基板処理装置において、

前記基板のサイズは12インチであり、前記 t は、前記基板の中心と基板中心から145mmとの間での前記基板の面内温度偏差である基板処理装置。

【請求項5】

請求項2に記載の基板処理装置において、

前記臨界基板面内温度偏差が前記基板を保持する基板保持部材の温度に応じて求められる基板処理装置。

10

【請求項6】

請求項5に記載の基板処理装置において、

前記基板保持部材の温度は、前記基板を保持する表面と反対側の基板保持部材の背面の温度を測定する基板処理装置。

【請求項7】

請求項1又は請求項2に記載の基板処理装置において、

前記加熱部材の制御は前記基板の昇温過程での制御である基板処理装置。

【請求項8】

基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱する半導体装置の製造方法において、

20

前記基板の反りが発生する臨界基板面内温度偏差を前記基板の加熱状態に応じて求め、

前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差 t を前記臨界基板面内温度偏差以内に維持させ、かつ前記 t を基板温度に応じて変化させるように、前記加熱部材を制御して前記基板を加熱制御するようにした半導体装置の製造方法。

【請求項9】

基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱する半導体装置の製造方法において、

前記基板の反りが発生する臨界基板面内温度偏差を加熱時の基板の温度、又は前記基板を保持する基板保持部材の温度に応じて求め、

前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差 t を、前記基板の温度又は基板保持部材の温度に基づく前記臨界基板面内温度偏差以内に維持させるように、前記加熱部材を制御するようにした半導体装置の製造方法。

30

【請求項10】

基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱し、少なくとも第1の基板温度と第1の基板温度とは異なる第2の基板温度とを含む温度領域において、該温度領域を第1の基板温度と第2の基板温度との間で分割し、分割した温度領域の間で前記基板を加熱制御する基板処理装置であって、

前記第1の基板温度と前記第2の基板温度において、前記基板の反りが発生する臨界基板面内温度偏差を求め、

前記加熱部材にて加熱される前記基板の温度が、前記第1の基板温度を含む分割温度領域内にあるときは、前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差 t を、前記第1の基板温度において求めた臨界基板面内温度偏差以内に維持させ、

40

前記加熱部材にて加熱される前記基板の温度が、前記第2の基板温度を含む分割温度領域内にあるときは、前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差 t を、前記第2の基板温度において求めた臨界基板面内温度偏差以内に維持させ、

かつ前記第1の基板温度での前記基板の面内温度偏差と、前記第2の基板温度での前記基板の面内温度偏差とを異ならせるように前記加熱部材を制御するようにした制御部を有した基板処理装置。

【請求項11】

請求項10に記載の基板処理装置において、

50

前記第2の基板温度は前記第1の基板温度よりも高い温度であって、第1の基板温度での基板の面内温度偏差は、第2の基板温度での基板の面内温度偏差よりも大きな値で基板を加熱制御する基板処理装置。

【請求項12】

基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱し、少なくとも第1の基板温度と第1の基板温度とは異なる第2の基板温度とを含む温度領域であって、該温度領域を第1の基板温度と第2の基板温度との間で分割し、分割した温度領域の間で前記基板を加熱制御する半導体装置の製造方法であって、

前記第1の基板温度と前記第2の基板温度において、前記基板の反りが発生する臨界基板面内温度偏差を求め、

前記加熱部材にて加熱される前記基板の温度が、前記第1の基板温度を含む分割温度領域内にあるときは、前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差  $t$  を、前記第1の基板温度において求めた臨界基板面内温度偏差以内に維持させ、

前記加熱部材にて加熱される前記基板の温度が、前記第2の基板温度を含む分割温度領域内にあるときは、前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差  $t$  を、前記第2の基板温度において求めた臨界基板面内温度偏差以内に維持させ、

かつ前記第1の基板温度での前記基板の面内温度偏差と、前記第2の基板温度での前記基板の面内温度偏差とを異ならせるように前記加熱部材を制御して前記基板を加熱制御するようにした半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、基板処理装置及び半導体装置の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

一般に、枚葉型の基板処理装置においては、サセプタに基板を強制吸着した状態で基板を処理している。この場合、サセプタに対する基板の密着度が未管理のままだと、後の成膜工程へ移行した場合、密着度の悪い基板は基板特性が著しく劣化するという問題がある。

【0003】

枚葉型の基板処理装置では、図3に示すように、抵抗加熱ヒータ3で加熱したサセプタ2上に基板1を吸着保持した状態で、基板1の上方に配置したガス分散板5からガスをシャワー状に吹きつけて、その結果として基板1に成膜等の処理を行うようになっている。抵抗加熱ヒータ3の表面はサセプタの温度を常に一定の温度に保つように加熱している。

【0004】

ここで、密着度を示すサセプタ2に対する基板1の空間距離である反り量  $d_1$ 、 $d_2$  が変化すると、抵抗加熱ヒータ3によって常に同じ状態で均一加熱されたサセプタ2の熱が基板1に均等に伝わらなくなり、前記基板反り量  $d$  ( $d_1$ 、 $d_2$  の総称) に依存した温度分布不均一に起因する下記に述べるような不具合が基板面内に発生する。

【0005】

ここで基板の反り量とは、サセプタ2の表面上に基板1を保持した状態で、基板1が変形して、その結果として基板1にサセプタ2と密着しない部分が生ずることによって、サセプタ2表面と基板1裏面との間にできる隙間の最大値をいう。

【0006】

基板1とサセプタ2との距離  $d$  が大きいほどサセプタ2からの熱伝達率が悪くなり、基板面内温度は距離  $d$  に依存した温度バラツキが発生する。したがって、 $d_1 > d_2$  の場合、 $d_2$  付近の基板温度が  $d_1$  付近の基板温度に比較して高くなる。

【0007】

従来、このような基板の反りに関する技術には、次のような公知例がある。

【0008】

(a) 特開平7-316811号公報

10

20

30

40

50

ウェハの温度分布に大きな差が生じると、ウェハに反りが発生し、スリップ等の発生原因となるので、ウェハの各ゾーンの温度を熱電対にて測定し、各ゾーン間の温度差に基づき、分割型ヒータの加熱状態を可変することで、定常時、過渡的な状態（昇温時）でのウェハ面内温度の均一性を図っている。

【0009】

なお、ここでのウェハ面内温度差は、処理温度300 時での反りが発生しない最大温度差10 をもとにし、10 以下となる様に加熱制御している。即ち一つの固定した面内温度差値にて制御している。

【0010】

(b) 特開平6-260426号公報

昇温中、ウェハが変形し、ウェハとサセプタとの接触面積が変化するので、ウェハの最外周温度に影響してしまい、面内温度差がついてスリップが発生してしまう。

【0011】

そこで、スリップの発生を抑制するために、測温位置及び加熱方法を明らかにしたものである。即ち、ウェハの中心から半径の70%以上離れた外周部分の複数点を測温し、該測温点間の温度差が5 以内（この値は800 以上でのスリップが発生しない値）になるようにヒータを加熱制御することで、ヒータの発熱密度の均一性、ウェハとサセプタとの接触面積に依存せずにスリップ発生のない加熱処理を行なっている。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述した従来技術には次のような問題があった。

(1) 公知例(a)では、一つの面内温度差  $t$  の値（処理温度（昇温目標温度）で反りが発生しない値）にて昇温制御している。これにより、 $t$  のマージンが大きいウェハ低温時に、高温時の  $t$  値を用いて（ウェハ温度が低温時の  $t$  は、高温時の  $t$  よりもマージン有り）シビアに加熱制御する必要が生じるため、制御応答性を抑える必要があり、昇温スピードが犠牲になる。従って、低温時の  $t$  マージンも小さいので、反りを抑えることはできても、昇温スピードの向上が図れない。

【0013】

(2) 公知例(b)も公知例(a)と同じく、一つの値（面内温度差）にて加熱制御しているので、公知例(a)と同様な欠点がある。

【0014】

本発明の課題は、上述した従来技術の問題点を解消して、基板の反りの発生を有効に防止することが可能な基板処理方法及び半導体装置の製造方法を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】

第1の発明は、基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱する基板処理装置において、前記基板の加熱状態に応じて異なる前記基板の反りが発生しない基板面内温度偏差  $t$  を基板の加熱状態に応じて求め、前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差が前記  $t$  以内に維持されるように、前記加熱部材を制御するようにした制御部を有した基板処理装置である。基板面内温度偏差  $t$  に基づいて基板を加熱制御できるので、基板の反りの発生を有効に防止できる。また、基板面内温度偏差  $t$  を固定ではなく可変にするので、 $t$  のマージンが大きい基板の低温時に、高温時の  $t$  値を用いてシビアに加熱制御する必要性がなくなる。したがって、低温時の  $t$  マージンを大きくして制御しているので、反りを抑えつつ昇温スピードの向上が図れる。上述した基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材としては、例えば複数ゾーンに分割された分割型ヒータがある。

【0016】

第2の発明は、基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱する基板処理装置において、加熱時の基板の温度、又は前記基板を保持する基板保持部材の温度に応じて異なる前記基板の反りが発生しない基板面内温度偏差  $t$  を複数の温度毎に求め、前記

10

20

30

40

50

加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差がその時の基板温度又は基板保持部材の温度に基づく前記  $t$  以内に維持されるように、前記加熱部材を制御するようにした制御部を有した基板処理装置である。基板温度と基板保持部材温度とは相関があるので、どちらからでも基板面内温度偏差  $t$  を求めてもよい。いずれにしても測定の容易な加熱時の基板又は基板保持部材の温度に応じて変化する基板面内温度偏差  $t$  で制御するので、基板の反りを防止しつつ昇温スピードの向上が図れる。

【0017】

第3の発明は、第2の発明において、加熱時の基板の温度に応じて求められた前記基板面内温度偏差  $t$  が、次式で示される基板処理装置である。

$$t = 350 \times \text{EXP}(-0.004 \times T)$$

但し、 $T$ は基板の温度

上式で示された基板面内温度偏差  $t$  で基板を加熱制御するので、基板の全温度にわたって基板の反りを有効に防止することができる。

【0018】

第4の発明は、第3の発明において、前記基板のサイズは12インチであり、前記  $t$  は、前記基板の中心と基板中心から145mmとの間での面内温度偏差である基板処理装置である。基板サイズが12インチの場合、基板の中心と基板中心から145mmとの間での面内温度偏差を求めれば、加熱部材の制御を行ううえで、基板の加熱制御の最適化が図れる。

【0019】

第5の発明は、第2の発明において、前記基板面内温度偏差  $t$  が前記基板を保持する基板保持部材の温度に応じて求められる基板処理装置である。基板面内温度偏差  $t$  を、基板温度ではなく、基板保持部材温度を測定して求めるので、基板処理の影響を受けやすい基板温度を測定する場合に比べて、温度測定手段を基板処理の影響を受け難くすることが可能となり、制御の信頼性が向上する。

【0020】

第6の発明は、第5の発明において、前記基板保持部材の温度は、前記基板を保持する表面と反対側の基板保持部材の背面の温度を測定する基板処理装置である。基板保持部材の背面温度を測定することで、温度測定手段を処理空間に晒さなくて済むので、温度測定手段への不要な膜等の堆積が防止でき、より信頼性が向上する。

【0021】

第7の発明は、第1の発明又は第2の発明において、前記加熱部材の制御は前記基板の昇温過程での制御である基板処理装置である。基板処理時にも解消されない昇温過程で発生のおそれのある基板面内温度のバラツキによる基板の反りを確実に解消できるので、基板の反りによる温度不均一に起因する基板の処理不良を低減できる。

【0022】

第8の発明は、基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱する半導体装置の製造方法において、前記基板の加熱状態に応じて異なる前記基板の反りが発生しない基板面内温度偏差  $t$  を基板の加熱状態に応じて求め、前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差が前記  $t$  以内に維持されるように、前記加熱部材を制御した前記基板を加熱制御するようにした半導体装置の製造方法である。基板面内温度偏差  $t$  に基づいて基板を加熱制御するので、基板の反りの発生を有効に防止できる。また、基板面内温度偏差  $t$  を固定ではなく可変にするので、 $t$  のマージンが大きい基板低温時に、高温時の  $t$  値を用いてシビアに加熱制御する必要がない。したがって、低温時の  $t$  マージンが大きいので、反りを抑えつつ昇温スピードの向上が図れる。

【0023】

第9の発明は、基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱する半導体装置の製造方法において、加熱時の基板の温度、又は前記基板を保持する基板保持部材の温度に応じて異なる前記基板の反りが発生しない基板面内温度偏差  $t$  を複数の温度毎に求め、前記加熱部材にて加熱される前記基板の面内温度偏差がその時の基板温度又は基板保

10

20

30

40

50

持部材の温度に基づき前記  $t$  以内に維持されるように、前記加熱部材を制御するようにした半導体装置の製造方法である。基板温度と基板保持部材温度とは相関があるので、いずれにより基板面内温度偏差  $t$  を求めてもよい。いずれにしても測定の容易な加熱時の基板又は基板保持部材の温度に応じて変化する基板面内温度偏差  $t$  以内に制御するので、基板の反りを抑えつつ昇温スピードの向上が図れる。

#### 【0024】

第10の発明は、基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱し、少なくとも第1の温度と第2の温度とは異なる第2の温度との間で前記基板を加熱制御する基板処理装置であって、前記基板の面内温度偏差が、前記基板の反りが発生しない基板面内の温度偏差の範囲内に維持されるように前記基板を加熱する制御部を有し、前記第1の温度での基板面内の温度偏差値と、前記第2の温度での基板面内の温度偏差値とを異ならせて前記基板を加熱制御する基板処理装置である。少なくとも2つの異なる基板面内温度偏差に基づいて基板を加熱制御するので、1つの固定した基板面内温度偏差に基づいて基板を加熱制御するものと比べて、余裕をもった制御マージンで、基板の反りの発生を防止できる。

10

#### 【0025】

第11の発明は、第10の発明において、前記第2の温度は前記第1の温度よりも高い温度であって、第1の温度での基板面内の温度偏差値は、第2の温度での基板面内の温度偏差値よりも大きな値で基板を加熱制御する基板処理装置である。第1の温度での基板面内の温度偏差値は、第2の温度での基板面内の温度偏差値よりも大きな値としているので、基板温度が第1の温度になる昇温過程で、一層余裕をもった制御マージンを確保できる。

20

#### 【0026】

第12の発明は、基板面内で一様でない加熱が可能な加熱部材にて基板を加熱し、少なくとも第1の温度と第2の温度とは異なる第2の温度との間で前記基板を加熱制御する半導体装置の製造方法であって、前記基板の面内温度偏差が、前記基板の反りが発生しない基板面内の温度偏差の範囲内に維持されるように前記基板を加熱制御し、前記第1の温度での基板面内の温度偏差値と、前記第2の温度での基板面内の温度偏差値とを異ならせて前記基板を加熱制御する半導体装置の製造方法である。少なくとも2つの異なる基板面内温度偏差に基づいて基板を加熱制御するので、1つの固定した基板面内温度偏差に基づいて基板を加熱制御するものと比べて、余裕をもった制御マージンで、基板の反りの発生を防止できる。

30

#### 【0027】

##### 【発明の実施の形態】

以下に本発明に係る基板処理装置及び半導体装置の製造方法の実施形態を、枚葉式基板処理装置に適用した場合について説明する。なお、枚葉式はここでは単一基板毎の処理を行う単葉式について説明するが、単葉式に限らず、2～5枚程度、もしくはそれ以上の枚数の基板が基板保持部材上に水平に載置される形態の装置にも適用可能である。

#### 【0028】

図1、図2は、半導体装置の製造方法を実施するための薄膜形成及び熱処理を行う枚葉式基板処理装置の概略断面図である。

40

#### 【0029】

装置は、密閉構造の処理容器40を有する。処理容器40は、シリコンウェハなどの半導体基板1を搬送室(図示せず)から処理容器40内の処理室31に搬入するための基板挿入口8と、搬送室と処理室31の雰囲気隔離を行う開閉弁9とを有する。また、処理室31に所望のガス種、ガス流量、ガス比率を供給可能なガス供給口6と、供給ガスを排気するための排気口7とが設けられる。ガス供給口6が設けられる処理室31の上部には、基板処理面に供給量の偏りを押さえるためのガス分散板5が設けられる。

#### 【0030】

処理室31内に、基板1を保持する基板保持部材としてのサセプタ2と、サセプタ2を介して基板1を加熱するヒータユニット20とが設けられる。サセプタ2は、その表面に基

50

板 1 を吸着保持するとともに、吸着保持した状態で加熱部材としての抵抗加熱ヒータ 3 からの熱を均一化する。

【 0 0 3 1 】

ヒータユニット 2 0 は、中空体から構成され、上部に基板保持体 2 を装着する基板保持板用装着部を有し、下部に真空容器 4 0 の底部中央に設けた開口から進退する筒状の支持軸 2 1 を有する。ヒータユニット 2 0 は、その基板保持板用装着部にサセプタ 2 が装着されることにより密閉構造となる。中空体の内部にサセプタ 2 を介して基板 1 を所望の温度に加熱可能な抵抗加熱ヒータ 3 が設けられる。また、密閉構造となる中空体に真空排気ライン 1 1 が設けられ、ヒータユニット 2 0 を真空排気することで、基板 1 をサセプタ 2 の表面に強制吸着するようになっている。サセプタ 2 には、真空吸着のために複数の孔または溝が設けられている。

10

【 0 0 3 2 】

ヒータユニット 2 0 は、その支持軸 2 1 を昇降機構 1 0 に連結することにより、処理室 3 1 内に昇降自在に設けられる。支持軸 2 1 はベローズ 1 4 でシールされる。昇降機構 1 0 は、基板搬送時、基板処理時などの各ステップで、ヒータユニット 2 0 を処理室 3 1 内の上下方向の異なる位置に多段階調整可能となっている。サセプタ 2 には、搬入された基板 1 を一旦支持するための基板支持具としての基板支持ピン 4 が、ヒータユニット 2 0 の昇降に応じて出没自在に設けられる。

【 0 0 3 3 】

上述したような構成においては、サセプタ 2 上に基板 1 を吸着保持しているが、吸着保持しても基板全面を均等にサセプタ 2 に吸着できるとは限らず、また基板の反り量を管理することはできない。そこで、未然に基板の反りを抑制できるように、ヒータユニット 2 0 を次のように構成している。

20

【 0 0 3 4 】

ヒータユニット 2 0 を回転可能にし、かつサセプタ 2 の温度を測定可能にしている。すなわち、前述した筒状の支持軸 2 1 を回転自在として、支持軸 2 1 を中心にヒータユニット 2 0 を回転自在に設け、基板 1 を保持した状態でサセプタ 2 を任意の速度で回転できるようになっている。一方、ヒータユニット 2 0 内に設ける抵抗加熱ヒータ 3 は固定とし、筒状の支持軸 2 1 内に挿通した固定 2 2 で支持する。このようにサセプタ 2 を回転自在とし、抵抗加熱ヒータ 3 を固定とすることによって、抵抗加熱ヒータ 3 に対してサセプタ 2 を相対回転させるようになっている。また、ヒータユニット 2 0 を回転自在にすることで、ヒータユニット 2 0 は昇降可能かつ回転自在となるが、そのような昇降及び回転機能を有する複合機構には、図示しないが、公知の手段を採用することができる。また、図 1、図 2 には示していないが、抵抗加熱ヒータ 3 にはサセプタ 2 の温度を測定する温度測定手段を設ける。また、ガス分散板 5 には基板 1 の温度を測定する温度測定手段を設ける。

30

【 0 0 3 5 】

以下、上述した枚葉式基板処理装置を用いた半導体装置の製造方法について述べる。

【 0 0 3 6 】

( 1 ) まず、搬送室 ( 図示せず ) と処理室 3 1 の圧力をそれぞれ所定の圧力に調整する。圧力の調整については  $N_2$  ,  $A r$  等、基板表面と反応性のない希ガスをそれぞれの室に所定流量供給し、排気口 7 のコンダクタンスを調整することで行う。例えばここでは各室の圧力を 1 3 , 3 0 0 P a ( 1 0 0 T o r r ) 程度とするが、好ましくは基板の薄膜形成及び熱処理圧力等に依存して決定されるべきであり、基板処理条件毎の最適値とするとよい。

40

【 0 0 3 7 】

( 2 ) 次に開閉弁 9 を開けて、基板 1 を基板挿入口 8 を介して搬送室から処理室 3 1 に挿入後、基板 1 を基板支持具 4 にて一旦支持する ( 図 1 ) 。なお、開閉弁 9 を開ける際の搬送室と処理室 3 1 の圧力差は、圧力変動によってパーティクル発生の要因とならないように任意の範囲内に監視、制御することが望ましい。基板 1 を挿入後は開閉弁 9 を閉め、処理室 3 1 と搬送室の雰囲気隔離を行う。次に昇降機構 1 0 によりヒータユニット 2 0 を上

50

昇させることで基板 1 をサセプタ 2 で保持し、基板 1 をサセプタ 2 で保持しつつ、更にヒータユニット 20 を上昇させ、基板 1 を薄膜形成位置に配置する(図 2)。なお、薄膜形成装置を調整することにより、ガス分散板 5 と基板 1 の間のギャップを制御することが可能であり、このギャップは薄膜形成条件によって最適化される。

【0038】

(3) その後、真空排気ライン 11 に接続されたバルブ(図示せず)を開きヒータユニット 20 の内部を基板雰囲気より減圧にし、サセプタ 2 に設けられた複数の孔または溝より基板裏面を吸引することで基板 1 をサセプタ 2 に強制吸着を行う。そして、ヒータユニット 20 を回転して、基板 1 を保持した状態でサセプタ 2 を回転する。

【0039】

(4) 基板 1 を加熱するための抵抗加熱ヒータ 3 は、図 2 の状態で基板 1 が目標の処理温度になるように予め基板搬送前から設定されており、この状態で基板は目標の処理温度になるまで安定化が図られる。基板温度が安定になったら、所望の膜形成を行うための反応ガスをガス供給口 6 より導入し、基板 1 の表面に薄膜を形成する。

【0040】

(5) 薄膜形成に必要な時間が経過したらただちに反応ガスの供給を停止し、反応ガスの残ガス成分を排気する。その後、前記(1)~(3)項の逆の手順で基板 1 を処理室から搬送室に払い出し、以降所定の基板枚数の処理を終えるまで本操作を繰り返し実行する。

【0041】

しかしながら、前記(2)~(4)の処理中において、基板 1 は処理室 31 に搬入された直後から抵抗加熱ヒータ 3 の熱源により加熱され、従来においては、この加熱は事実上基板温度に対しては未制御状態であることから、昇温時に基板面内に一定以上の温度偏差を持つ場合がある。一般的に処理基板 1 は加熱により熱膨張が発生し、前記温度偏差が一定以上に達した場合、熱膨張量の差異から基板に馬蹄形或いは円錐形を有した弾性変形が発生する。この弾性変形は温度安定化後の薄膜形成過程においても維持し続け、さらに基板面内温度不均一を引き起こし、薄膜形成処理時の膜厚不均一等の基板特性の劣化要因となる。前述した図 3 に示すように、基板 1 とサセプタ 2 の密着度(空間距離)が変化すると抵抗加熱ヒータ 3 によって常に同じ状態で均一加熱されたサセプタ 2 の熱が基板 1 に均等に伝わらなくなり、基板面内に空間距離に依存した温度分布不均一に起因する障害が発生する。

【0042】

前記基板の温度不均一による基板特性の不良はデバイスの性能、歩留まりを低下させ、また、過度の基板の弾性変形は変形量が 300 mm(12 インチ) Si 基板では  $d = 10$  mm 以上にも及ぶことから、基板の位置ずれに起因する搬送トラブル等の予期せぬ装置トラブルをも発生させることから改善が望まれている。そこで、本実施の形態では、過度の基板の弾性変形による変形量を抑制して、予期せぬ装置トラブルが発生するのを次のように予防している。

【0043】

図 11 は、実施の形態に係る制御系を示す説明図である。図 11 に示すように、サセプタ 2 の温度測定手段として、例えば放射温度計 S1、S2 が抵抗加熱ヒータ 3 に設置される。放射温度計 S1、S2 は、それらのセンサ部がサセプタ 2 の背面を臨むように設けられ、サセプタ 2 の温度を背面側から測定し、その測定値からサセプタ 2 の温度を監視することができるようになっている。設置箇所は少なくとも基板中心部と基板端部付近との 2 点とする。更に前記 2 点の中間部にさらに 1 点配置すると、後述する基板反り量をより厳密に管理する上で好ましい形態となる。

【0044】

また、基板 1 の温度測定手段として、例えば放射温度計 S11、S12 がガス分散板 5 (図 1、図 2 参照)に設置される。放射温度計 S11、S12 は、それらのセンサ部が基板 1 の表面を臨むように設けられ、基板 1 の温度を表面側から測定し、その測定値から基板 1 の温度を監視することができるようになっている。設置箇所は少なくとも基板中心部と

10

20

30

40

50

基板端部付近との2点とする。更に前記2点の中間部に1点配置すると、後述する基板反り量をより厳密に管理する上で好ましい形態となる。

【0045】

なお、上記温度計S1、S2、S11、S12は放射温度計に限定されない。例えば熱電対などでもよい。

【0046】

放射温度計S1、S2、及びS11、S12は、前述したようにサセプタ2及び基板1のほぼ中心部、端部の各温度をサセプタ2の裏面側及び基板1の表面側から測定する。それらの各測定値は演算手段25に加えられ、演算により求めた指令値を制御手段26に与える。制御手段26によって抵抗加熱ヒータ3及び昇降機構10を制御して、基板の反り状態を制御する。

10

【0047】

ここで、放射温度計S1、S2の測定値に基づいて、サセプタ2の温度を、その温度と相関のある基板1の反り量として単に監視するだけでも良い。監視データは経験的手法のためのデータとなる。また、上述したように監視から更に一步進めて、反り量を制御するところまで行ってもよい。前者の場合、演算手段25が監視手段を構成し、その出力が反り量となる。後者の場合、制御手段26が反り制御手段を構成する。

【0048】

抵抗加熱ヒータ3は一体型でもよいが、図11及び図12に示すように、同心円状に配設した複数のゾーンヒータ3a、3b、3cから構成される分割型加熱ヒータとすることが好ましい。中央のゾーンヒータ3a、中間のゾーンヒータ3b、周辺のゾーンヒータ3cは、それぞれ中央加熱手段、中間加熱手段、周辺加熱手段を構成する。分割型ヒータとした場合には、複数のゾーンヒータに対応させた指令値に応じて、複数のゾーンヒータを個別に制御する。実施の形態では、中央ゾーンヒータ3aのみ(図12の180の部分)が、基板の反りが発生しない基板面内温度偏差tの条件に収めるように制御されるが、他のゾーンヒータをも用いて制御しても良い。また、サセプタは分割されていないが、ヒータ分割位置に対応する箇所でも分割させても良い。分割に際しては、少なくとも180と294のヒータの間に対応した位置で分割されていれば良い。

20

【0049】

さて、図4は300mmSi基板において、前記手順(4)の温度安定化後の状態から意図的に基板中心部付近に相当するインナサセプタ温度を変化させたときの基板面内温度の経時変化を示したものである。図4のデータを取得する狙いは本発明の課題である過度の基板弾性変形がどの程度の基板面内温度偏差にて生じることで発生するかを明らかにすることである。

30

【0050】

インナサセプタ温度の変化は、上述したような任意の領域に分割させた抵抗加熱ヒータ3をそれぞれ独立に温度制御することにより実現される。なお、基板温度の測定点に関しては図5に示すように基板1の中心を0mmとして半径方向に75mm、145mmの複数のポイントに熱電対(放射温度計S11、S12は使用しない)を配し、同一半径上の点を平均化して図4にグラフ化した。また、インナサセプタ温度は、基板中心0mmの地点、アウトサセプタ温度は147mm地点の温度を測定している。また、サセプタは一体型(すなわちアウトとインナとの分割なし)であるので、インナサセプタ温度は、正しくはインナ部分のサセプタ温度という表現が正しい。なお、300mm(12インチ)Si基板の厚さは、品質によっても異なるが、 $0.775\text{mm} \pm 0.025\mu\text{m} \sim 0.775\text{mm} \pm 0.050\mu\text{m}$ である。

40

【0051】

図4において、インナサセプタ温度を変化させる前の経過時間0~20secの状態ではサセプタ温度の均一化によって基板温度はほぼ700の状態に保たれている。その後の経過時間20~26secまではインナサセプタの温度上昇に伴って基板温度全体が上昇傾向を示す。但し、測定点毎の温度上昇量はインナサセプタの温度上昇領域に対応した

50

上昇量となり、具体的には温度上昇域から最も遠い145mm地点の基板温度上昇量は基板中心部より低く、経過時間に伴い基板面内温度偏差が徐々に大きくなる傾向を示す。さらに経過時間24sec以降の基板温度推移については0mm地点に関しては、サセプタ温度の上昇量に相当する温度推移を示すが、75mm、145mm地点に関しては温度が次第に低下し、145mm地点に関しては最終安定状態では初期過度状態よりも温度が低下する傾向を示す。

【0052】

なお、図6に基板の弾性変形イメージ(円錐形、馬蹄形)図を示すが、基板の弾性変形状態に関しては実験的に目視による確認を行っており、弾性変形量： $d = 5 \sim 10$ mm程度であることが分かっている。

10

【0053】

図4の基板温度変化の推移と、図6の基板弾性変形イメージ図とから考察すると、基板の弾性変形が発生するタイミングは、図4における経過時間25sec付近の地点であることが予測される。これは経過時間25sec以降の75mm、145mm地点の温度低下傾向は過度の基板弾性変形によって基板1とサセプタ2間に距離が生じ、サセプタ2からの熱伝達効果が低下することによる説明から判断できる。したがって、経過時間25sec付近における基板面内温度差が過度の基板の弾性変形を引き起こす臨界状態であることを示すものであり、基板面内温度偏差が未制御状態に陥りやすい昇温過程においては、昇温時の基板温度に依存した臨界温度偏差以上の温度差が発生することによる基板弾性変形が発生しやすいと言える。

20

【0054】

本実施の形態は、前述の趣旨のもとに、昇温過程においても基板の反りが発生しない基板温度偏差以内に基板温度を制御することにより、基板の弾性変形を抑制することにある。

【0055】

図7は、昇温過程にある基板の各温度帯域における臨界基板面内温度差を図4のデータと同様に、350、500、700、900、1100の点で取得し、グラフ化したものである。図7の取得データにより基板温度： $X$ と、臨界基板面内温度差： $Y$ とは相関があり、以下の近似式により表記できる。

【0056】

$$Y = 350 \times \text{EXP}(-0.004 \times X)$$

30

故に、昇温過程における基板弾性変形を抑制するには昇温中の基板面内温度偏差： $t$  ( ) は昇温中の基板温度  $T$  ( ) に対して下記関係を満たせば良い。

【0057】

$$t \leq 350 \times \text{EXP}(-0.004 \times T) \quad (a)$$

但し、 $t$  : 昇温中の基板面内温度偏差 ( )

$T$  : 昇温中の基板温度 ( )

したがって処理中の基板温度をモニタリングし、任意の基板部位を加熱するために最適に分割された抵抗加熱ヒータ3を前述の実験により求められた関係式(a)を満たすように制御することにより、基板の過度の弾性変形を抑制することができ、基板の均熱加熱が可能となる。

40

【0058】

基板1の弾性変形を防止するための温度制御方法に関する温度情報を取得する方法としては、(A) 予め基板情報などが既知の場合は実験的に加熱シーケンスを最適化する経験的手法や、(B) 放射温度計などによる既知の光学的手法により、基板表面の温度情報を直接取得する手法などが考えられる。いずれの場合においても得られた基板の温度情報、具体的には基板の中心部と少なくとも外周から10mm程度の部分の温度情報に対しての基板面内温度差と基板温度帯を前述の関係式を満たすよう抵抗加熱ヒータなどの加熱体にフィードバック制御を行うことで、基板反りを抑えつつ、昇温スピードの向上が図れる。

【0059】

なお、基板挿入直後における前記  $t$  を超えた基板面内温度偏差による基板反りを防止

50

するための2つの手法を以下述べる。まず長期的なモニタ精度に信頼性のある実験手法に基づいた基板処理法(A)について述べ、次に、長期的には課題は残すものの、短期的にはモニタ精度に信頼性のあるフィードバック制御による基板処理方法(B)について述べる。

#### 【0060】

##### (A) 実験手法による基板処理法

図8は従来シーケンスにおける処理中の基板温度の経時変化を示したグラフである。ここの手順は前述した手順(1)~(3)と同じである。基板温度(中心及び周辺モニタ温度)の測定は図1、図2のガス分散板5に基板処理面を観測するための放射温度計S11、S12を設置し、基板挿入時からの温度計測を可能にしている。また、サセプタ温度(インナ及びアウト温度)はサセプタ背面温度を観測するための放射温度計S1、S2を抵抗加熱ヒータ3に設置し、基板挿入時からの温度計測を可能にしている。また、S11、S12による温度計測は、基板中心部と、中心部より約140mm地点の周辺部との2点で行なっている。なお、基板温度の測定を主目的とした本実験シーケンスにおいては、放射温度計の信頼性を維持するため、成膜時の反応ガスの処理室内への供給は行わず、成膜シーケンスと同等流量のN<sub>2</sub>ガスを反応ガスの代わりに供給した。中央、周辺に分割された抵抗加熱ヒータ3はサセプタ背面温度が700℃になるように基板挿入前よりそれぞれ制御されており、処理中も基板挿入前の温度を維持する。

#### 【0061】

グラフの左縦軸は、S11、S12により測定した基板中心温度(中心モニタ温度)、基板周辺温度(周辺モニタ温度)であり、右縦軸は、S1、S2により測定したインナサセプタ及びアウトサセプタのサセプタ背面温度をそれぞれ示す。基板1及びサセプタ2が回転すると、基板中心部にある放射温度計S1はサセプタ2のインナ(中心部)の温度を背面側から定点観測する。基板端部付近にある放射温度計S2は、円形の測定軌跡を描くことによって、サセプタ2のアウト(周端部)の温度を背面側から観測する。基板回転速度=10rpmの場合、放射温度計S2は、6sec周期で、円形の測定軌跡上の同一地点の温度を繰り返し測定する。

#### 【0062】

グラフの横軸の時間は処理室への基板挿入後のシーケンス開始時間を0secとしており、約10sec後に昇降機構10を上昇させ基板を処理位置へと移動させている。

#### 【0063】

図8において、基板挿入前のモニタ温度は基板搬送位置のサセプタ表面温度をモニタリングしており、サセプタ背面直下の制御温度より若干高めの温度を示す。室温の基板挿入後のモニタ温度は急激に下降し、その後、昇降機構10の上昇に伴い高温のサセプタ2と接触することで上昇し始め、やがて一定温度を保つようになる。しかしながら、定常状態にあるモニタ温度においても基板中心部と周辺部との温度差 $\Delta t$ は約40℃の温度差が生じており、この基板面内温度差は成膜イベントに移行しても解消されない。この現象は基板挿入直後の基板中心部と周辺部の昇温速度の違いで発生する基板面内温度差により、基板1の弾性変形が生じ、サセプタ2で基板1を保持する際、図3で述べた密着度の基板面内不均一により発生するものと推定される。また、もう一つの考察としては、挿入後の基板1が十分加熱されない状態で高温のサセプタ2と接触することで急激な温度上昇の際に瞬間的な加熱ムラが基板面内に発生し、これが基板1の弾性変形を生じさせるものと推定する。なお、図8のグラフでは中心部のモニタ温度が周辺部より低いことから、発生している基板の弾性変形は表面側が凸に湾曲する円錐分布である。

#### 【0064】

図9は本実施の形態のシーケンスによる基板温度の経時変化を示したものであり、図8の従来シーケンスとの違いは次の通りである。

#### 【0065】

(1) 基板挿入直後の基板面内の昇温速度を均一にする手段として、インナサセプタの温度を基板処理時の設計温度よりも一時的に高く設定し、昇温速度が遅い基板中心部の加熱

を促進する。設定温度の増加量、設定温度の変更時期は実験により最適化され、図9のグラフにおいては基板挿入の約20sec前からインナサセプタの温度を1/secの変化量で上昇させ、処理シーケンス開始までの約30secで初期の設定温度から30度上昇させている。上昇後は、-1/secの変化量で下降させ、成膜イベントの手前までの約50secで初期の設定温度に戻して、基板周辺部付近に相当するアウトサセプタと同一温度にしている。

#### 【0066】

(2) 基板1と高温のサセプタ2との接触の際、基板面内の急激な温度変化を抑制する手段として、基板挿入後、基板温度がサセプタ2の温度約700度に対応したある温度以上に上昇後、サセプタ2と接触させる。本実験例ではサセプタ2の温度約700度に対して基板温度(モニタ温度)が約450~500度で接触させている。すなわちインナサセプタのオーバ設定温度により急上昇する基板中心温度の温度カーブが、アウトサセプタの設定温度加熱により上昇する基板周辺温度の温度カーブに追いついて重なる付近で接触させるとよい。また、処理シーケンス開始から昇降機構10の上昇により基板1とサセプタ2を接触させるまでの間はサセプタ2と基板1との距離を可能な限り接近させて、基板1の温度上昇を促進させることが望ましい。本実験においては前記処理時の基板1とサセプタ2の距離を約2mmで行なっている。

#### 【0067】

このように(1)及び(2)による加熱及び昇降シーケンスの最適化経験的手法により、室温の基板を挿入した後に急激に下降して、基板中心部と基板周辺部とで生じていた40度のモニタ温度差は、昇降機構上昇時には解消されてゼロとなり、この温度差ゼロは、成膜イベントに移行しても維持される。

#### 【0068】

図10のグラフは、上記(A)の実施の形態のシーケンスで行なった基板モニタ温度の中心部と周辺部の面内温度偏差の経時変化を示したものである。また、グラフには本実施の形態で求めた式(a)の臨界基板面内温度偏差(基板面内温度偏差)  $t$  もあわせて表記した。本実施の形態シーケンスで行なった時の測定基板面内温度偏差はいずれの時間においても臨界基板面内温度偏差以下の温度差を保っており、昇温中の基板の弾性変形、すなわち反りを抑制でき、図9で示す成膜イベント時の基板の均熱加熱が可能となる。

#### 【0069】

##### (B) フィードバック制御による基板処理方法

$t$  の条件式(a)に基づいた制御法である。図10に示すように、測定基板面内温度偏差が臨界基板面内温度偏差  $t$  を超えないように、中央加熱手段としてのゾーンヒータ3a及び昇降機構10を制御する。制御パラメータは、上述した(A)の(1)及び(2)の実験結果に基づいて、次のように決定する。演算手段25に加えるゾーンヒータ3aの制御パラメータは、基板挿入前後の基板温度( $S_{11}$ 、 $S_{12}$ )、インナサセプタの設定温度の増加量、インナサセプタの設定温度の変更時期等である。また、演算手段25に加える昇降機構10の制御パラメータは、サセプタ2を基板1に接触させる前のサセプタ2と基板1との距離、サセプタ2を基板1に接触させる時の基板温度等である。

#### 【0070】

演算手段25は、放射温度計 $S_1$ 、 $S_2$ の測定値に基づいて反り量を演算し、そのあとで反り量を是正する指令値を演算により求めて、その指令値を制御手段26に与える。制御手段26は演算手段25から与えられた指令値に基づいてゾーンヒータ3aを制御して、その結果として基板の反り状態を制御する。また、放射温度計 $S_{11}$ 、 $S_{12}$ の測定値に基づいて反り量を演算し、そのあとで反り量を是正する指令値を演算により求めて、その指令値を制御手段26に与える。制御手段26は演算手段25から与えられた指令値に基づいて昇降機構10の駆動源10aを制御して、その結果として基板の反り状態を制御する。このフィードバック制御によって、フィードバック制御で行なった時の基板面内温度偏差はいずれの時間においても臨界基板面内温度偏差以下の温度差を保つことが可能となり、昇温中の基板の弾性変形を抑制でき、図9で示す成膜イベント時の基板の均熱加熱が

可能となる。なお、上記演算に変えてルックアップテーブルで求めてもよい。その都度、演算する必要がなくなるので、制御の高速化が可能となる。

【0071】

以上述べたように、実施の形態によれば、公知例と比べて次のような優れた効果がある。  
 (1) 基板昇温途中の基板温度での反りが発生しない基板面内温度偏差をもとに、 $t$ を目標温度まで可変させて加熱制御している。これにより、 $t$ のマージンが大きい基板低温時に、高温時の $t$ 値を用いてシビアに加熱制御する必要がなく、又、低温時の $t$ マージンが大きいので、反りを抑えつつ昇温スピードの向上が図れる。

【0072】

(2) 基板昇温途中の基板の反りが有効に防止できるので、処理後、反りに起因する、膜剥れの虞が大幅に低減する。

10

【0073】

(3) 基板昇温途中に、基板の反りが発生しないように、基板を加熱制御するので、基板面内温度差に起因した基板の弾性変形を抑制し、基板面内温度均一状態で成膜等の基板処理を行うことができる。したがって、膜厚均一性等の基板特性不良を防止でき、半導体素子の歩留まりの向上に寄与できる。

【0074】

なお、実施の形態においては300mmのSi基板を例にとって、加熱処理における基板弾性変形の抑制条件について具体的な温度の関数で示したが、多種多様な材質においても、本発明の主旨に基づいた実験手順により依存度を明かすることにより、基板弾性変形の抑制条件の最適化は可能である。なお、本発明の範囲は請求項の範囲によってのみ限定されるべきであり、発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の改良がなされることは言うまでもない。例えば、Si基板の他に、GaAs基板などにも適用することは可能である。

20

【0075】

また、上記実施の形態では、昇温中の基板の反りを防止することが主であるが、定常時、降温時の反りを防止する場合にも適用可能である。

【0076】

また昇温中、リアルタイムに基板温度(又はサセプタ温度)を測定し、 $t$ を可変させて制御しても良いが、事前にテスト用基板等でデータを取得しておいて、そのデータに基づいて $t$ を可変させて制御しても良い。このばあい、基板温度に応じて連続的に $t$ が変化 30  
 する直線状の近似式(a)に基づいて基板を加熱制御するのではなく、不連続的に $t$ が変化 30  
 する階段折れ線グラフに基づいて制御するようにしてもよい。すなわち、温度領域を少なくとも2つに分割し、各温度領域間では、基板面内の温度偏差値は異なるが、各温度領域内では基板面内の温度偏差値を一定にするようにして、基板の加熱制御をより簡略化するようにしてもよい。

【0077】

また、実施の形態では、基板温度に基づく $t$ の式を示しているが、実際にはサセプタ背面温度を測定しているので、基板温度 - サセプタ温度との関係を取れば、基板温度を直接測定する必要がなく、サセプタ背面温度だけの制御も可能となる。サセプタ背面温度を測定することで、温度計を反応空間に露出させなくて済むので、温度計への不要な膜の堆積が防止でき、長期的なモニタ精度の信頼性を確保できる。

40

【0078】

また式(a)の条件式は、300mmのSi基板についてのものであるが、100又は111結晶面のいずれにおいても成立することが、実験によって確認されている。また、実施の形態では、Si基板の中心(0mm)と、中心から145mmでの測定箇所に基づいて、 $t$ 条件式を算出しているが、例え、他の測定箇所にて算出した異なる $t$ 条件式を用いたとしても、0mmと145mmで測ると、結果的に上記 $t$ の条件式を満たすことになる。

【0079】

【発明の効果】

50

本発明によれば、基板面内温度偏差  $t$  に基づいて基板を加熱制御できるので、基板の反りの発生を有効に防止できる。

【図面の簡単な説明】

- 【図 1】実施の形態の枚葉式基板処理装置の概略断面図である。
- 【図 2】実施の形態の枚葉式基板処理装置の概略断面図である。
- 【図 3】基板面内温度の不均一発生モデルを示す説明図である。
- 【図 4】実施の形態に係るサセプタ温度と基板温度の相関特性図である。
- 【図 5】実施の形態に係る基板温度測定点の説明図である。
- 【図 6】実施の形態に係る基板の弾性変形イメージ図である。
- 【図 7】実施の形態に係る基板温度と臨界基板面内温度偏差を示す説明図である。
- 【図 8】従来例のシーケンスによる基板温度リカバリを示す説明図である。
- 【図 9】実施の形態に係るシーケンスによる基板温度リカバリを示す説明図である。
- 【図 10】実施の形態に係るシーケンスによる基板面内温度偏差の経時変化を示す説明図である。
- 【図 11】実施の形態に係る制御系を示す説明図である。
- 【図 12】実施の形態に係るヒータ構造を示す説明図である。

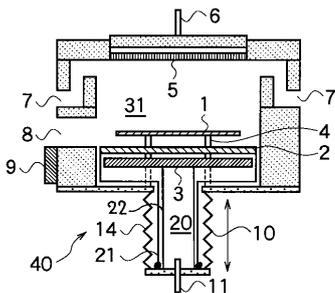
10

【符号の説明】

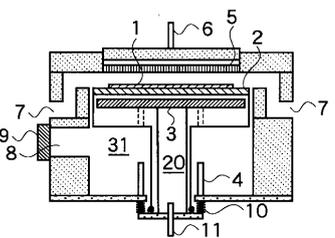
- 1 基板
- 2 サセプタ（基板保持部材）
- 3 抵抗加熱ヒータ（加熱部材）
- 2 5 演算手段
- 2 6 制御手段

20

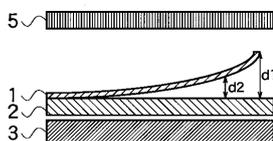
【図 1】



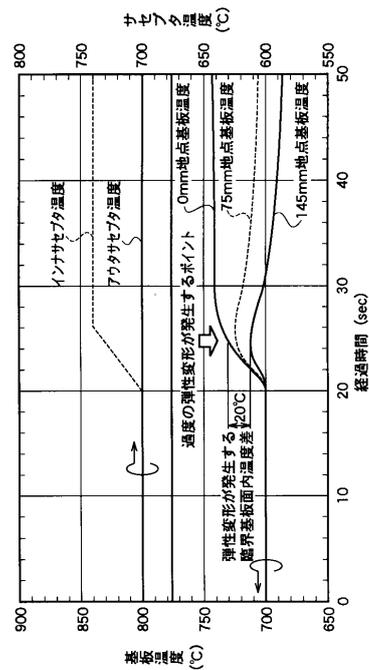
【図 2】



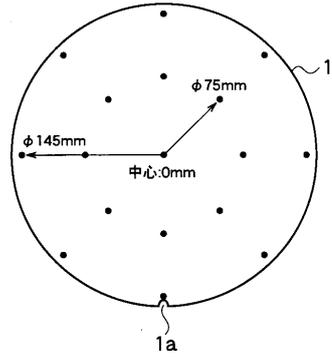
【図 3】



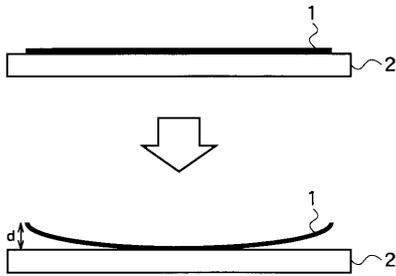
【図 4】



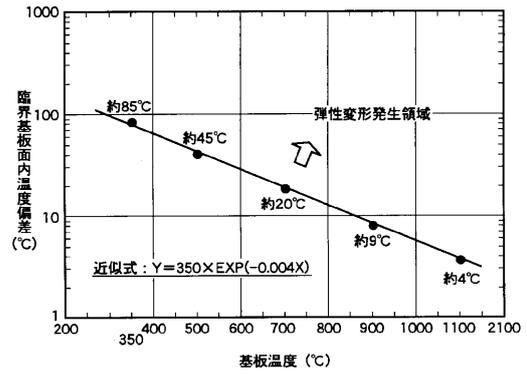
【 図 5 】



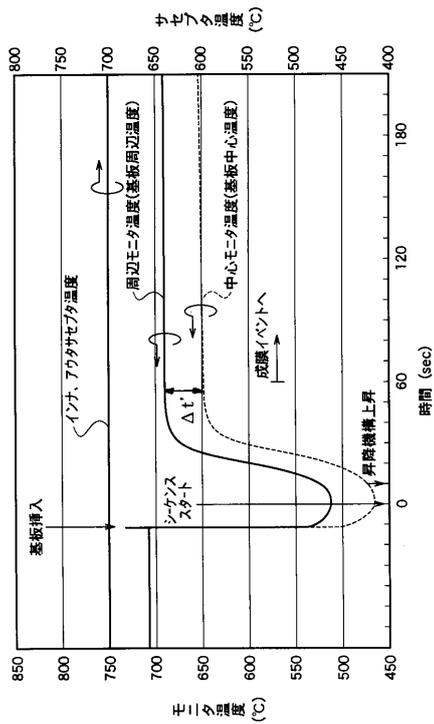
【 図 6 】



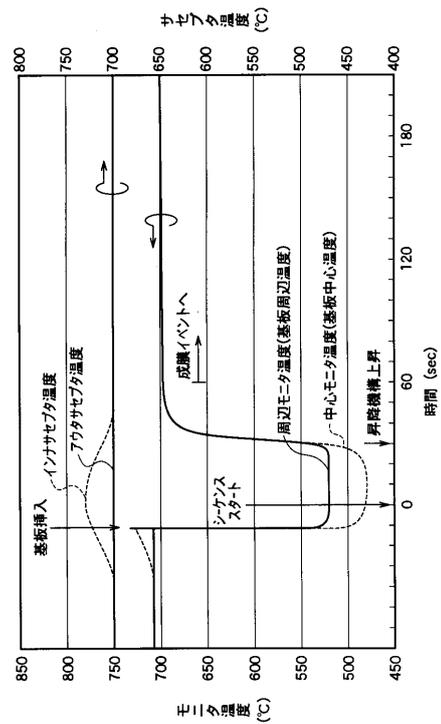
【 図 7 】



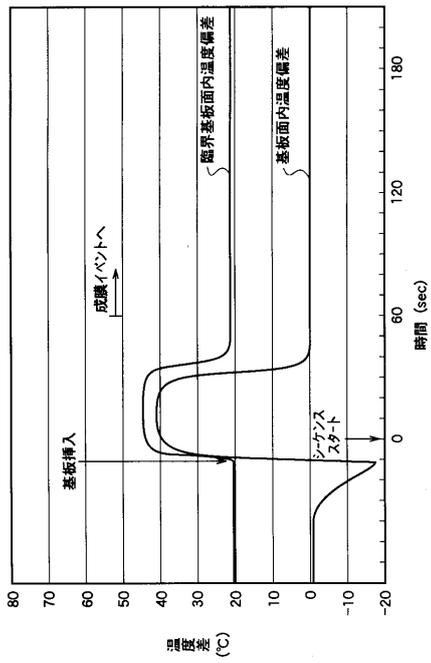
【 図 8 】



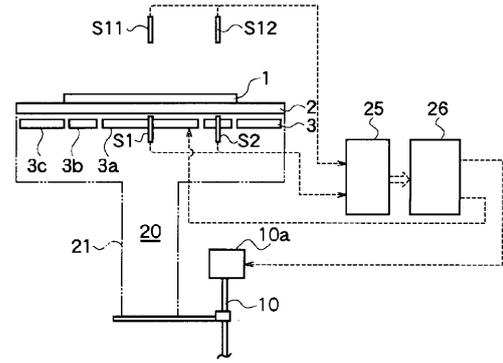
【 図 9 】



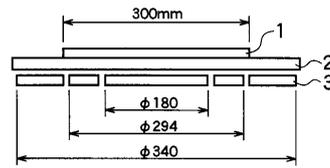
【図10】



【図11】



【図12】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-367914(JP,A)  
特開平07-066126(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205

H01L 21/027

H05B 3/00