

(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2004-140347
(P2004-140347A)

(43) 公開日 平成16年5月13日(2004.5.13)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H01L 21/205	H01L 21/205	3K092
C23C 16/46	C23C 16/46	4K030
H01L 21/3065	H05B 3/06	B 5F004
H05B 3/06	H05B 3/74	5F045
H05B 3/74	H01L 21/302	1O1G
	審査請求 未請求	請求項の数 23 O L (全 54 頁)

(21) 出願番号	特願2003-332908 (P2003-332908)	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22) 出願日	平成15年9月25日 (2003.9.25)	(74) 代理人	100083910 弁理士 山本 正緒
(31) 優先権主張番号	特願2002-282120 (P2002-282120)	(72) 発明者	夏原 益宏 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内
(32) 優先日	平成14年9月27日 (2002.9.27)	(72) 発明者	仲田 博彦 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	終平 啓 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

最終頁に続く

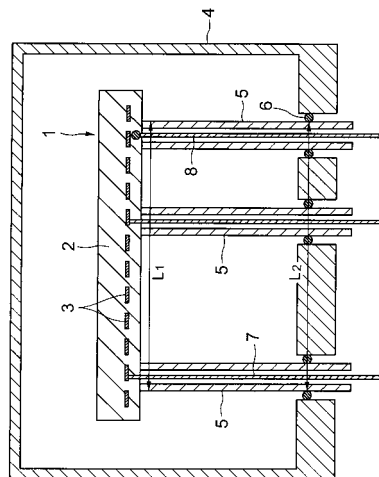
(54) 【発明の名称】 ウエハー保持体及び半導体製造装置

(57) 【要約】

【課題】 加熱処理時の熱応力による固定筒状体及び/又は固定支持体の破損を防止したウエハー保持体、及びこのウエハー保持体を用いた信頼性の高い半導体製造装置を提供する。

【解決手段】 固定筒状体5及び/又は固定支持体の少なくとも2つが、一端をセラミックスヒータ2に及び他端を反応容器4に固定され、セラミックスヒータ2の最高到達温度をT1、セラミックスヒータ2の熱膨張係数を1、反応容器4の最高到達温度をT2、反応容器4の熱膨張係数を2、複数の固定筒状体5及び/又は固定支持体間の常温におけるセラミックスヒータ2上での最長距離をL1、複数の固定筒状体5及び/又は固定支持体間の常温における反応容器4上での最長距離をL2としたとき、関係式 $|(T1 \times 1 \times L1) - (T2 \times 2 \times L2)| \leq 0.7 \text{ mm}$ を満たしている。

【選択図】 図1-1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反応容器内に筒状体によって支持されたセラミックスヒータ上に、半導体ウエハーを保持して処理するためのウエハー保持体であって、前記筒状体の少なくとも 2 つが、一端をセラミックスヒータに及び他端側を反応容器に固定された固定筒状体であり、

セラミックスヒータの最高到達温度を T_1 、

セラミックスヒータの熱膨張係数を α_1 、

反応容器の最高到達温度を T_2 、

反応容器の熱膨張係数を α_2 、

固定筒状体間の常温におけるセラミックスヒータ上での最長距離を L_1 、

固定筒状体間の常温における反応容器上での最長距離を L_2 としたとき、

$$|(T_1 \times \alpha_1 \times L_1) - (T_2 \times \alpha_2 \times L_2)| \leq 0.7 \text{ mm}$$

10

の関係式を満たすことを特徴とするウエハー保持体。

【請求項 2】

反応容器内に筒状体及び / 又は支持体によって支持されたセラミックスヒータ上に、半導体ウエハーを保持して処理するためのウエハー保持体であって、前記筒状体及び / 又は支持体の少なくとも 2 つが、一端をセラミックスヒータに及び他端側を反応容器に固定された固定筒状体及び / 又は固定支持体であり、

セラミックスヒータの最高到達温度を T_1 、

セラミックスヒータの熱膨張係数を α_1 、

反応容器の最高到達温度を T_2 、

反応容器の熱膨張係数を α_2 、

固定筒状体及び / 又は固定支持体間の常温におけるセラミックスヒータ上での最長距離を L_1 、

固定筒状体及び / 又は固定支持体間の常温における反応容器上での最長距離を L_2 としたとき、

$$|(T_1 \times \alpha_1 \times L_1) - (T_2 \times \alpha_2 \times L_2)| \leq 0.7 \text{ mm}$$

20

の関係式を満たすことを特徴とするウエハー保持体。

【請求項 3】

前記関係式が

$$|(T_1 \times \alpha_1 \times L_1) - (T_2 \times \alpha_2 \times L_2)| \leq 0.3 \text{ mm}$$

30

であることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載のウエハー保持体。

【請求項 4】

前記セラミックスヒータの熱膨張係数が $8.0 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以下で、且つ反応容器の熱膨張係数が $15 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以上であることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載のウエハー保持体。

【請求項 5】

前記セラミックスヒータの熱膨張係数が $6.0 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以下で、且つ反応容器の熱膨張係数が $20 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以上であることを特徴とする、請求項 4 に記載のウエハー保持体。

40

【請求項 6】

前記固定筒状体及び / 又は前記固定支持体のセラミックスヒータから反応容器までの長さが 320 mm 以下であることを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のウエハー保持体。

【請求項 7】

前記固定筒状体及び / 又は固定支持体のセラミックスヒータから反応容器までの長さが 150 mm 以下であって、その固定筒状体及び / 又は固定支持体の熱伝導率が $30 \text{ W} / \text{m K}$ 以下であることを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載のウエハー保持体。

【請求項 8】

前記反応容器が水冷されていないことを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のウ

50

エハ－保持体。

【請求項 9】

前記反応容器と前記セラミックスヒータの間に、セラミックスヒータの熱を反射するための反射板を備えることを特徴とする、請求項 1～8 のいずれかに記載のウエハ－保持体。

【請求項 10】

前記反応容器側及び前記セラミックスヒータ側に両端を固定された固定筒状体及び／又は固定支持体のそれぞれの平行度が 1.0 mm 以内であることを特徴とする、請求項 1～9 のいずれかに記載のウエハ－保持体。

【請求項 11】

前記固定筒状体及び／又は前記固定支持体のそれぞれの平行度が 0.3 mm 以内であることを特徴とする、請求項 10 に記載のウエハ－保持体。 10

【請求項 12】

前記反応容器に固定され且つ反応容器外と気密を保つための O - リングを備え、前記筒状体及び／又は支持体の O - リングとの当接面付近の表面粗さが Ra で 5.0 μm 以下であることを特徴とする、請求項 1～11 のいずれかに記載のウエハ－保持体。

【請求項 13】

前記筒状体及び／又は支持体の O - リングとの当接面付近の表面粗さが Ra で 1.0 μm 以下であることを特徴とする、請求項 12 に記載のウエハ－保持体。

【請求項 14】

前記筒状体及び／又は支持体の O - リングとの当接面付近の表面粗さが Ra で 0.3 μm 以下であることを特徴とする、請求項 13 に記載のウエハ－保持体。 20

【請求項 15】

前記反応容器に固定され且つ反応容器外と気密を保つための O - リングを備え、前記筒状体及び／又は支持体の O - リングとの当接面付近に存在する表面欠陥の大きさが直径 1 mm 以下であることを特徴とする、請求項 1～14 のいずれかに記載のウエハ－保持体。

【請求項 16】

前記筒状体及び／又は支持体の O - リングとの当接面付近に存在する表面欠陥の大きさが直径 0.3 mm 以下であることを特徴とする、請求項 15 に記載のウエハ－保持体。

【請求項 17】

前記筒状体及び／又は支持体の O - リングとの当接面付近に存在する表面欠陥の大きさが直径 0.05 mm 以下であることを特徴とする、請求項 16 に記載のウエハ－保持体。 30

【請求項 18】

前記セラミックスヒータと前記反応容器底部との平行度が 1.0 mm 以内であることを特徴とする、請求項 1～17 のいずれかに記載のウエハ－保持体。

【請求項 19】

前記セラミックスヒータと前記反応容器底部との平行度が 0.2 mm 以内であることを特徴とする、請求項 18 に記載のウエハ－保持体。

【請求項 20】

前記セラミックスヒータの主成分が、アルミナ、窒化ケイ素、窒化アルミニウム、炭化ケイ素のいずれかであることを特徴とする、請求項 1～19 のいずれかに記載のウエハ－保持体。 40

【請求項 21】

前記セラミックスヒータの主成分が窒化アルミニウム、前記反応容器の主成分がアルミニウム又はアルミニウム合金、及び前記固定筒状体及び／又は固定支持体の主成分がムライト又はムライト - アルミナ複合体であることを特徴とする、請求項 1～20 のいずれかに記載のウエハ－保持体。

【請求項 22】

請求項 1～21 のいずれかのウエハ－保持体が搭載されていることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項 23】

Low-k膜焼成に使用することを特徴とする、請求項22に記載の半導体製造装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体製造工程において、プラズマCVD、減圧CVD、Low-k膜焼成、プラズマエッチング、絶縁膜CVD等を使用されるウエハー保持体、及びウエハー保持体を備えた半導体製造装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、半導体ウエハーに成膜やエッチング等の処理を施すための半導体製造装置として、種々のものが提案されている。これらの半導体製造装置は、抵抗発熱体を備えたウエハー保持体を反応容器内に備え、このウエハー保持体上にウエハーを保持して加熱しながら各種の処理を行うものである。

【0003】

例えば、特公平6-28258号公報には、抵抗発熱体が埋設され、反応容器内に設置され、ウエハー加熱面が設けられたセラミックス製のヒータ部と、このヒータ部のウエハー加熱面以外の面に設けられ、反応容器との間で気密性シールを形成する凸状支持部と、抵抗発熱体に接続され、反応容器の内部空間に実質的に露出しないように反応容器外へと取り出された電極部材とを有する半導体ウエハー加熱装置が提案されている。

【0004】

また、特許第2525974号公報には、セラミックスヒータ(ウエハー保持体)に複数の筒状体を接合して支持する構造が提案されている。この構造は、上記特公平6-28258号公報記載のセラミックスヒータを改良したものであり、セラミックスヒータに設けた電極部材の少なくとも一つを無機質絶縁材料からなる筒状体によって包囲し、この筒状体の一端をセラミックスヒータに対して気密に接合すると共に、その他端側を反応容器に設けられた貫通孔に挿通して気密にシールしたものである。

【0005】

【特許文献1】特公平6-28258号公報

【特許文献2】特許第2525974号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記特公平6-28258号公報記載のウエハー加熱装置は、セラミックスヒータに凸状支持部を取付けたものであるが、その凸状支持体自体がセラミックスヒータを支えるために比較的熱容量の大きなものになってしまい、このためセラミックスヒータからの熱の逃げ量が大きくなり、ウエハー加熱面の均熱性が損なわれるという欠点があった。

【0007】

また、上記特許第2525974号公報のウエハー加熱装置においては、複数の筒状体がセラミックスヒータに接合固定されているため、加熱処理時に筒状体にかかる応力が大きくなり、最悪の場合には筒状体が破壊される危険があった。即ち、セラミックスヒータが一定温度まで上昇したとき、セラミックスヒータの熱膨張によって、セラミックスヒータに固定された筒状体間の距離は大きくなっていく。一方、筒状体の他端を挿通した反応容器も、セラミックスヒータ及び筒状体から熱が伝えられ膨張する。このとき、セラミックスヒータと反応容器の熱膨張量の差が大きいと、筒状体にかかる応力が大きくなって破損する場合があった。

【0008】

特に近年では、シリコンウエハーの大口径化が進んでおり、12インチのシリコウエハーを均一に加熱することが求められている。これに伴ってウエハーを加熱するセラミックスヒータも大型化が進んでいるため、セラミックスヒータの加熱時に筒状体にかかる熱応力も大きくなり、固定された筒状体の破損が一層起こりやすくなっている。

10

20

30

40

50

【0009】

また、大型化したセラミックスヒータの温度を複数のブロック（区域）に分割して加熱することも行われるようになり、それに伴ってヒータの温度を測定するための温度測定素子、及びヒータに電力を供給するための電極端子やリードの数も多くなっている。そのため、これらを収納する中空の筒状体の数も増え、更に場合によっては中実の柱状体も設置されるため、その筒状体や柱状体の破損の危険もより一層多くなっている。

【0010】

本発明は、このような従来の事情に鑑み、セラミックスヒータに固定された複数の筒状体及び／又は柱状体について、加熱処理時の熱応力による破損を防止することができるウエハー保持体を提供すること、及びこのウエハー保持体を用いた信頼性の高い半導体製造装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的を達成するため、本発明が提供するウエハー保持体は、反応容器内に筒状体によって支持されたセラミックスヒータ上に、半導体ウエハーを保持して処理するためのウエハー保持体であって、前記筒状体の少なくとも2つが、一端をセラミックスヒータに及び他端側を反応容器に固定された固定筒状体であり、

セラミックスヒータの最高到達温度を T_1 、

セラミックスヒータの熱膨張係数を α_1 、

反応容器の最高到達温度を T_2 、

反応容器の熱膨張係数を α_2 、

固定筒状体間の常温におけるセラミックスヒータ上での最長距離を L_1 、

固定筒状体間の常温における反応容器上での最長距離を L_2 としたとき、

$$|(T_1 \times \alpha_1 \times L_1) - (T_2 \times \alpha_2 \times L_2)| \leq 0.7 \text{ mm}$$

20

の関係式を満たすことを特徴とする。

【0012】

本発明が提供する他のウエハー保持体は、反応容器内に筒状体及び／又は支持体によって支持されたセラミックスヒータ上に、半導体ウエハーを保持して処理するためのウエハー保持体であって、前記筒状体及び／又は支持体の少なくとも2つが、一端をセラミックスヒータに及び他端側を反応容器に固定された固定筒状体及び／又は固定支持体であり、

30

セラミックスヒータの最高到達温度を T_1 、

セラミックスヒータの熱膨張係数を α_1 、

反応容器の最高到達温度を T_2 、

反応容器の熱膨張係数を α_2 、

固定筒状体及び／又は固定支持体間の常温におけるセラミックスヒータ上での最長距離を L_1 、

固定筒状体及び／又は固定支持体間の常温における反応容器上での最長距離を L_2 としたとき、

$$|(T_1 \times \alpha_1 \times L_1) - (T_2 \times \alpha_2 \times L_2)| \leq 0.7 \text{ mm}$$

の関係式を満たすことを特徴とする。

40

【0013】

上記した本発明のウエハー保持体においては、前記セラミックスヒータの熱膨張係数が $8.0 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以下で、且つ反応容器の熱膨張係数が $1.5 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以上であることが好ましい。また、前記セラミックスヒータの熱膨張係数が $6.0 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以下で、且つ反応容器の熱膨張係数が $2.0 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以上であることが更に好ましい。

【0014】

また、上記本発明のウエハー保持体においては、前記固定筒状体及び／又は前記固定支持体のセラミックスヒータから反応容器までの長さが 320 mm 以下であることが好ましい。更には、前記固定筒状体及び／又は固定支持体のセラミックスヒータから反応容器までの長さが 150 mm 以下であって、その固定筒状体及び／又は固定支持体の熱伝導率が

50

30 W / m K 以下であることが好ましい。

【0015】

上記した本発明のウエハー保持体においては、前記反応容器が水冷されていないことが好ましい。また、上記した本発明のウエハー保持体においては、前記反応容器と前記セラミックヒータの間に、セラミックヒータの熱を反射するための反射板を備えることが好ましい。

【0016】

上記本発明のウエハー保持体においては、前記反応容器側及び前記セラミックヒータ側に両端を固定された固定筒状体及び／又は固定支持体のそれぞれの平行度が1.0 mm 以内であることが好ましく、前記固定筒状体及び／又は前記固定支持体のそれぞれの平行度が0.2 mm 以内であることが更に好ましい。

10

【0017】

上記本発明のウエハー保持体においては、前記反応容器に固定され且つ反応容器外と気密を保つためのO-リングを備え、前記筒状体及び／又は支持体のO-リングとの当接面付近の表面粗さがRaで5.0 μm 以下であることが好ましい。前記筒状体及び／又は支持体のO-リングとの当接面付近の表面粗さは、Raで1.0 μm 以下であることが更に好ましく、Raで0.3 μm 以下であることが特に好ましい。

【0018】

上記本発明のウエハー保持体においては、前記反応容器に固定され且つ反応容器外と気密を保つためのO-リングを備え、前記筒状体及び／又は支持体のO-リングとの当接面付近に存在する表面欠陥の大きさが直径1 mm 以下であることが好ましい。前記筒状体及び／又は支持体のO-リングとの当接面付近に存在する表面欠陥の大きさは、直径0.3 mm 以下であることが更に好ましく、直径0.05 mm 以下であることが特に好ましい。

20

【0019】

また、上記した本発明のウエハー保持体においては、前記セラミックヒータと前記反応容器底部との平行度が1.0 mm 以内であることが好ましく、更には、前記セラミックヒータと前記反応容器底部との平行度が0.2 mm 以内であることが更に好ましい。

【0020】

また、上記本発明のウエハー保持体においては、前記固定筒状体及び／又は固定支持体の反応容器までの長さが150 mm 以下であって、その固定筒状体及び／又は固定支持体の熱伝導率が30 W / m K 以下であることが好ましい。また、前記反応容器は、水冷されていないことが好ましい。

30

【0021】

上記本発明のウエハー保持体においては、前記セラミックヒータの主成分が、アルミナ、窒化ケイ素、窒化アルミニウム、炭化ケイ素のいずれかであることが好ましい。また、前記セラミックヒータの主成分が窒化アルミニウム、前記反応容器の主成分がアルミニウム又はアルミニウム合金、及び前記固定筒状体及び／又は固定支持体の主成分がムライト又はムライト-アルミナ複合体であることが更に好ましい。

【0022】

本発明は、また、上記したウエハー保持体が搭載されていることを特徴とする半導体製造装置を提供するものである。この半導体製造装置としては、Low-k膜焼成に使用するものであることが好ましい。

40

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、セラミックヒータに給電するための電極端子やリード、更には温度測定素子を収納してなる筒状体や、セラミックヒータを支持する支持体について、セラミックヒータと反応容器に固定された場合でも破損することがなくなり、信頼性を大幅に向上できるウエハー保持体、及びこれを用いた半導体製造装置を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【0024】

本発明に係わるウエハー保持体1は、例えば図1-1に示すように、抵抗発熱体3を有するセラミックヒータ2と、セラミックヒータ2を反応容器4内に支持する複数の筒状体を備えている。これらの筒状体のうち2つ以上は、その一端が接合等によりセラミックヒータ2に固定され、且つ他端側がO-リング6等によって反応容器4に固定された固定筒状体5である。尚、固定筒状体5の内部には、ウエハー保持体1におけるセラミックヒータ2の抵抗発熱体3等に給電するための電極端子やリード7、あるいはウエハー保持体1の温度を測定するための温度測定素子8を収納することができる。

【0025】

また、本発明に係わるウエハー保持体1の他の形態としては、例えば図1-2に示すように、抵抗発熱体3を有するセラミックヒータ2と、セラミックヒータ2を反応容器4内に支持する複数の筒状体及び/又は支持体を備えることもできる。これらの筒状体及び/又は支持体のうち2つ以上は、その一端が接合等によりセラミックヒータ2に固定され、且つ他端側がO-リング6等によって反応容器4に固定された固定筒状体5及び/又は固定支持体5aである。この場合も、固定筒状体5の内部には、ウエハー保持体1におけるセラミックヒータ2の抵抗発熱体3等に給電するための電極端子やリード7、あるいはウエハー保持体1の温度を測定するための温度測定素子8を収納することができる。

10

【0026】

このように、ウエハー保持体1のセラミックヒータ2は、電極端子やリード7、熱電対などの温度測定素子8を内包し得る筒状体によって支持されても良いし、これら筒状体以外の支持部材、例えば中実の支持体を設けても良い。また、セラミックヒータ2及び/又は反応容器4に固定されていない筒状体及び/又は支持体を使用することも可能である。尚、これらの場合においても、本発明の対象となるのは、セラミックヒータと反応容器に固定された固定筒状体や固定支持体に関してである。

20

【0027】

セラミックヒータ2に固定された固定筒状体5及び/又は固定支持体5aは、ウエハー処理時にセラミックヒータ2に加えられた熱によって加熱され、その熱は固定筒状体5及び/又は固定支持体5aを伝わって反応容器4に伝えられる。また、セラミックヒータ2からの熱の放射や輻射、対流によっても、反応容器4に熱が伝わる。このため、セラミックヒータ2と反応容器4は熱膨張する。このとき、固定筒状体5及び/又は固定支持体5aは、セラミックヒータ2と反応容器4の熱膨張量の差に応じた応力を受け、その応力が大きい場合に破損が生じる。

30

【0028】

このセラミックヒータ及び反応容器の熱膨張量と、固定筒状体及び/又は固定支持体の破損との関係を詳しく検討した結果、両者の熱膨張量の差が0.7mmを超えると、固定筒状体及び/又は固定支持体が応力により破損することが分った。このため、本発明のウエハー保持体では、セラミックヒータ上と反応容器上での複数の固定筒状体及び/又は固定支持体間の最長距離の差を、最高到達温度に達したとき0.7mm以下になるように、予め設定するものである。

40

【0029】

即ち、本発明は、例えば図1-1に示すように、抵抗発熱体3を有するセラミックヒータ2が複数の固定筒状体5により反応容器4内に支持され、その固定筒状体5の他端側をO-リング6によって反応容器4に気密封止したウエハー保持体1においては、

セラミックヒータ2の最高到達温度を T_1 、

セラミックヒータ2の熱膨張係数を α_1 、

反応容器4の最高到達温度を T_2 、

反応容器4の熱膨張係数を α_2 、

固定筒状体5間の常温におけるセラミックヒータ2上での最長距離を L_1 、

固定筒状体5間の常温における反応容器4上での最長距離を L_2 としたとき、

50

$$|(T1 \times 1 \times L1) - (T2 \times 2 \times L2)| \leq 0.7 \text{ mm}$$

の関係式を満たすように、上記 L1 と L2 を設定する。

【0030】

また、本発明においては、例えば、図1-2に示すように、反応容器内にセラミックスヒータ2が筒状体及び/又は支持体によって支持されたウエハー保持体1において、ウエハー保持体1に給電するための電極端子、リード、及び/又はウエハー保持体の温度を測定するための測温素子を内包してなる筒状体、ウエハー保持体を支持するための支持体の少なくとも2つが、一端をセラミックスヒータに及び他端側を反応容器に固定された固定筒状体3及び/又は固定支持体3aであるとき、

セラミックスヒータ2の最高到達温度 T1、セラミックスヒータ2の熱膨張係数 α_1 、反応容器4の最高到達温度 T2、反応容器4の熱膨張係数 α_2 、固定筒状体5及び/又は固定支持体5a間の常温におけるセラミックスヒータ2上での最長距離 L1、及び固定筒状体5及び/又は固定支持体5a間の常温における反応容器4上での最長距離 L2が、

$$|(T1 \times \alpha_1 \times L1) - (T2 \times \alpha_2 \times L2)| \leq 0.7 \text{ mm}$$

を満たすように、上記 L1 と L2 を設定する。

【0031】

ここで、固定筒状体及び/又は固定支持体間の距離(図1-1での固定筒状体間の距離を含む、以下同じ)は、それぞれの外寸法とし、接合されたセラミックスヒータ上及び反応容器上での距離を測定する。尚、上記関係式において、 $(T1 \times \alpha_1 \times L1)$ はセラミックスヒータが最高温度に達したときのセラミックスヒータ上における固定筒状体及び/又は固定支持体間の最長距離を表し、 $(T2 \times \alpha_2 \times L2)$ はセラミックスヒータが最高温度に達したときの反応容器上での固定筒状体及び/又は固定支持体間の最長距離を表している。

【0032】

一般的に、筒状体及び/又は柱状体はセラミックスヒータ及び反応容器に対してそれぞれ直交するように固定されるため、セラミックスヒータ側と反応容器側での2つの固定筒状体及び/又は固定支持体間の距離は通常は同じになっている。このような場合でも、セラミックスヒータの加熱時には、セラミックスヒータと反応容器の熱膨張係数の違い等によって、複数の固定筒状体及び/又は固定支持体間の最長距離がセラミックスヒータ側と反応容器側とで当然異なってくる。

【0033】

そこで、本発明によれば、図1-1のようにセラミックスヒータが筒状体のみで支持されているとき、セラミックスヒータの加熱時に、上記関係式から複数の固定筒状体間の最長距離の差 $|(T1 \times \alpha_1 \times L1) - (T2 \times \alpha_2 \times L2)|$ が 0.7 mm より大きくなる場合、例えば反応容器側の最長距離の方が 1.0 mm 長くなる場合には、予め常温でのセラミックスヒータ側の固定筒状体間の距離を、加熱時に反応容器側よりも 0.3 mm 以上長くするように設定しておくことによって、最高到達温度使用時においても固定筒状体間の最長距離の差を 0.7 mm 以内に抑えることができる。また、逆にセラミックスヒータ側の最長距離の方が大きい場合は、常温における反応容器側の距離をセラミックスヒータ側よりも長くすることによって、上記関係式を満たして固定筒状体の破損を防ぐことができる。

【0034】

また、本発明は、筒状体のみでセラミックスヒータを支持していない場合、例えば図1-2に示すように、セラミックスヒータが支持体によって支持されている場合にも適用できる。このような場合においても、ウエハー保持体に給電するための電極端子、リード、及び/又はウエハー保持体の温度を測定するための測温素子を内包してなる筒状体、ウエハー保持体を支持するための支持体の少なくとも2つが、一端をセラミックスヒータに及び他端側を反応容器に固定された固定筒状体及び/又は固定支持体であるとき、セラミックスヒータの加熱時に、上記関係式から複数の固定筒状体及び/又は固定支持体間の最長距離の差 $|(T1 \times \alpha_1 \times L1) - (T2 \times \alpha_2 \times L2)|$ が 0.7 mm より大きくなる場合

、例えば反応容器側の最長距離の方が1.0mm長くなる場合には、予め常温でのセラミックスヒータ側の固体筒状体間の距離を、加熱時に反応容器側よりも0.3mm以上長くなるように設定しておくことによって、最高到達温度使用時においても固定筒状体及び/又は固定支持体間の最長距離の差を0.7mm以内に抑えることができる。また、逆にセラミックスヒータ側の最長距離の方が大きい場合は、常温における反応容器側の距離をセラミックスヒータ側よりも長くすることによって、上記関係式を満たして固定筒状体及び固定支持体の破損を防ぐことができる。

【0035】

また、セラミックスヒータの加熱時には、セラミックスヒータや反応容器の熱膨張によって、複数の固定筒状体及び/又は固定支持体の相対的な位置が変化する。その結果、一般的には、固定筒状体及び/又は固定支持体と反応容器との間に取付けられているゴム製のO-リングが変形し、反応容器内の気密性が若干低下する恐れがある。

10

【0036】

しかし、この場合においても、上記関係式における固定筒状体及び/又は固定支持体間の最長距離の差を0.3mm以下、即ち $| (T1 \times L1) - (T2 \times L2) | < 0.3 \text{ mm}$ と設定すれば、気密性が低下することが殆どなくなるため更に好ましい。具体的には、上記固定筒状体及び/又は固定支持体間の最長距離の差が0.3mm以下であれば、ヘリウムリークレートとして $10^{-9} \text{ Pa m}^3 / \text{s}$ 以下の値を確保することができる。また、固定筒状体及び/又は固定支持体間の最長距離の差が0.7mm以下であっても、 $10^{-7} \text{ Pa m}^3 / \text{s}$ 以下の値を確保することが可能である。尚、一般的に常温で反応容器内を真空引きする際には、気密性に関しては全く問題がない。

20

【0037】

本発明における筒状体は、温度測定素子や、抵抗発熱体へ給電するためのリードや電極端子を収納することができるものであり、筒状であれば特に形状は問わない。一方、本発明における支持体は、セラミックスヒータを支持できればよく、円柱状や角柱状のもの、筒状のものなど、その形状に特に制限はない。また、この筒状体や支持体は、セラミックスヒータや反応容器に対して固定されていないくてもよく、その場合の筒状体や支持体は本発明の適用を受けない。更に、セラミックスヒータと固定筒状体及び/又は固定支持体との固定方法に関しては、セラミックスヒータの熱膨張に伴って固定筒状体及び/又は固定支持体の距離が変化するような固定方法であれば、全ての固定方法を適用することができる。

30

【0038】

例えば、図2-1及び図2-2に示すように、セラミックスヒータ2のウエハー加熱面と反対側の面(裏面)に固定筒状体5及び/又は固定支持体5aをガラス10で接合したものや、図3-1及び図3-2に示すように、ロウ材11によって接合したものがある。また、図4-1及び図4-2に示すように、セラミックスヒータ2の裏面に雌ネジを形成し、そこに固定筒状体5及び/又は固定支持体5aの雄ネジをねじ込むことにより、ネジ止め12で固定しても良い。更に、図5-1及び図5-2に示すように、セラミックスヒータ2の裏面にザグリ部13を形成し、そこに固定筒状体5及び/又は固定支持体5aの一端をはめ込んで固定することもできる。また、図6-1及び図6-2に示すように、固定筒状体5及び/又は固定支持体5aをセラミックスヒータ2と一体に形成することも可能である。尚、固定筒状体に関しては、固定筒状体のみで直接セラミックスヒータを支持することも可能であるし、また固定筒状体以外に別途支持体を設けることも可能である。

40

【0039】

一方、筒状体及び/又は支持体と反応容器との間は、セラミックスヒータの加熱時(ウエハー処理時)において、反応容器内を真空ないし減圧状態に保つため、O-リングやその他の手法によって、反応容器内を気密に保てるような構造となっている。

【0040】

セラミックスヒータの熱膨張係数としては $8.0 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以下が好ましく、また反応容器の熱膨張係数は $15 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以上であることが好ましい。反応容器の熱膨

50

張係数をセラミックスヒータよりも大きくするのは、セラミックスヒータ加熱時には相対的にセラミックスヒータの方が反応容器よりも温度が高いため、セラミックスヒータの熱膨張量を低く抑え、逆に反応容器の熱膨張量を増やすことで、両者の熱膨張量をマッチングさせるためである。更には、セラミックスヒータの熱膨張率を $6 \times 10^{-6} / K$ 以下で、反応容器の熱膨張係数を $20 \times 10^{-6} / K$ 以上とすれば、セラミックスヒータ温度の使用範囲や固定筒状体及び/又は固定支持体の取付け位置に対する制約が少なくなり、特に好ましい。

【0041】

反応容器に関しては、特に近年小型化の要求が高い。そのため、筒状体や支持体の熱伝導率が $200 W / m K$ 以下であれば、セラミックスヒータから反応容器までの長さを $320 mm$ 以下にすることができるため好適である。逆に筒状体や支持体の熱伝導率が $200 W / m K$ を超えると、セラミックスヒータで発生した熱が筒状体や支持体を伝わって反応容器の温度を上昇させ、O-リングの耐熱温度を超えてしまい、反応容器内を気密に保つことが困難となるため好ましくない。

10

【0042】

更に、反応容器に関しては、当然のことながら水冷装置を取り付けると装置の構造が複雑になるため、水冷でないものが好ましい。また、固定筒状体及び/又は固定支持体のセラミックスヒータから反応容器までの長さ(距離)は、 $150 mm$ 以下であることが好ましい。筒状体及び/又は柱状体の長さが長いほど、反応容器自体が大型化してしまうためである。

20

【0043】

反応容器の水冷をせずに、固定筒状体及び/又は固定支持体の上記長さを $150 mm$ 以下に設定するためには、固定筒状体及び/又は固定支持体から反応容器への熱伝導を抑える必要がある。このため、固定筒状体及び/又は固定支持体の熱伝導率は、 $30 W / m K$ 以下であることが好ましい。更に、固定筒状体及び/又は固定支持体の熱伝導率を $30 W / m K$ 以下にすることで、セラミックスヒータから固定筒状体及び/又は固定支持体に逃げる熱量を小さくすることができ、セラミックスヒータのウエハー加熱面における均熱性を向上させることができる。

【0044】

この均熱性の観点からは、筒状体及び/又は支持体の具体的な材料として、アルミナやムライト、アルミナとムライトの複合体、またステンレス等が使用可能である。このような材料を使用することによって、筒状体及び/又は支持体の反応容器までの長さが $150 mm$ 以内であって、反応容器に水冷を使用せず、構造が簡単であり、小型化が可能で且つウエハー加熱面の均熱性に優れた半導体製造装置を提供することができる。

30

【0045】

尚、筒状体内に収納されるものとしては、セラミックスヒータの抵抗発熱体に給電するためのリードや、プラズマを発生させるためのRF電極、ウエハーを固定させるための静電チャック電極に給電するためのリード等あげられる。また、セラミックスヒータの温度を測定するための温度測定素子もこれに含まれる。

【0046】

また、反応容器とセラミックスヒータとの間に、セラミックスヒータの熱を反射させる反射板を設置することも可能である。反射板を設置することでセラミックスヒータの熱が反射されるため、セラミックスヒータの消費電力を低減することができる。この場合、反射板の設置位置としては特に制約はないが、反応容器の底面とセラミックスヒータの中間地点よりセラミックスヒータに近い側のほうが効率的に熱を反射できるため好ましい。

40

【0047】

反射板の表面粗さは、Raで $1.0 \mu m$ 以下であることが好ましい。反射板がこれ以上の表面粗さである場合、セラミックスヒータから放射された熱の内、反射板に吸収される熱の比率が高くなるため好ましくない。特に、表面が鏡面状態、即ちRaで $0.1 \mu m$ 以下であることが特に好ましい。また、反射板の材質としては、反応容器内で使用されるガ

50

スに対して不活性であり、セラミックスヒータの使用温度に対して変形などが発生しない程度の耐熱性を有していれば、特に制約はない。例えば、アルミニウム、ステンレス、ニッケルなどの金属類や、アルミナ、炭化珪素、窒化珪素、窒化アルミニウムなどのセラミックスなどが挙げられる。

【0048】

また、反応容器側及びセラミックスヒータ側に両端を固定された固定筒状体及び/又は固定支持体の平行度は1.0mm以内であることが好ましい。平行度がこれ以上大きくなると、ウエハー保持体を反応容器に装着する際、セラミックスヒータに固定された固定筒状体及び/又は固定支持体に余計な応力が加わり、破損することがあるため好ましくない。セラミックスヒータに固定された固定筒状体及び/又は固定支持体の反応容器への装着時に平行度が1.0mm以内であれば、反応容器側に取付けられた気密シール用のO-リングの変形能によって、これら固定筒状体及び/又は固定支持体とセラミックスヒータ間に発生する応力を緩和でき、破損を防ぐことができる。特に、平行度が0.3mm以内であれば、O-リングによる気密シールもヘリウムリークレートとして 10^{-9} Pa m³ / s以下にすることができるため、特に好ましい。

10

【0049】

また、反応容器と筒状体及び/又は支持体との間の気密シールにはO-リングを使用する。このときO-リングが筒状体及び/又は支持体に当接する当接面付近の筒状体及び/又は支持体の表面粗さは、Ra 5.0 µmであることが好ましい。これ以上の表面粗さを有する場合、筒状体及び/又は支持体のO-リング当接面付近に真空グリースを使用しても、 10^{-7} Pa m³ / s以下の真空度を達成することは非常に困難であるため好ましくない。Ra 5.0 µmであれば、真空グリースを使用すれば 10^{-7} Pa m³ / s以下の真空度を達成することができる。更に当接面の表面粗さがRa 1.0 µmであれば、真空グリースを使用しなくとも 10^{-7} Pa m³ / s以下の真空度を達成することができる。更には、Ra 0.3 µmであれば、真空グリースを使用しなくとも 10^{-9} Pa m³ / s以下の真空度を達成することができるため特に好適である。

20

【0050】

また、反応容器に固定された筒状体及び/又は支持体との間の気密シールをするときに使用するO-リングが、筒状体及び/又は支持体に当接する当接面付近の筒状体及び/又は支持体の表面欠陥の大きさが直径1.0mm以下であることが好ましい。これ以上の大きな欠陥が当接面付近に存在した場合、真空グリースを使用しても 10^{-7} Pa m³ / s以下の真空度を達成することは非常に困難であるため好ましくない。また、欠陥の大きさが直径1.0mm以下であれば、真空グリースを使用することで 10^{-7} Pa m³ / s以下の真空度を達成することができる。更に当接面付近に存在する欠陥の大きさが直径0.3mm以下であれば、真空グリースを使用しなくとも 10^{-7} Pa m³ / s以下の真空度を達成することができる。更には、欠陥の大きさが直径0.05mm以下であれば、真空グリースを使用しなくとも 10^{-9} Pa m³ / s以下の真空度を達成することができるため特に好適である。

30

【0051】

セラミックスヒータと反応容器底面部との平行度は1.0mm以内であることが好ましい。平行度がこれを超えると、ウエハー保持体上にウエハーを脱着する際にウエハーが落下することがあるため好ましくない。即ち、ウエハーをウエハー保持体に装着するときには、通常3本存在するリフトピンがセラミックスヒータの上部空間でウエハーを支持する。このとき、リフトピンの先端位置で形成される平面は、反応容器に対して平行になるように設定されている。そして3本のリフトピンが降下することで、セラミックスヒータのウエハー搭載面にウエハーが搭載されるようになっている。

40

【0052】

しかし、このときセラミックスヒータと反応容器との平行度が1.0mmを超える場合、リフトピンが降下するまでの間にウエハーがセラミックスヒータに接触してしまう。このため、リフトピン2本とセラミックスヒータのウエハー載置面でウエハーを支持する状

50

態になるが、リフトピンが降下する際に、ウエハーが傾いて落下したり、ウエハーの搭載位置がずれてしまうことがある。セラミックスヒータと反応容器の平行度が1.0 mm以下なら落下の恐れはなく、更に平行度が0.2 mm以下であれば、ウエハー処理に支障をきたすほどの位置ずれが発生しないため特に好ましい。尚、ウエハーの位置ずれとは、例えば、ウエハー搭載面に形成しているウエハーポケットの縁にウエハーが乗り上げてしまったりすることをいう。

【0053】

本発明に使用するセラミックスヒータの材質は特には問わないが、アルミナ、窒化ケイ素、窒化アルミニウム、炭化ケイ素のいずれかを主成分とするものが好ましい。近年のセラミックスヒータに対する温度分布の均一化の要求が強いことから、熱伝導率の高い材料、具体的には熱伝導率が100 W/mKを超える窒化アルミニウムや炭化ケイ素等が好ましく、窒化アルミニウムは耐食性、絶縁性に優れていることから特に好ましい。窒化ケイ素に関しては、高温における強度が他のセラミックスと比較して高いため、特に高温で使用する場合に好適である。更に、窒化ケイ素、窒化アルミニウム、炭化ケイ素は、耐熱衝撃性に優れており、急速な温度の上げ下げが可能である。また、アルミナは、他のセラミックスと比較してコスト面で優れているという特徴がある。これらのセラミックスに関しては、当然のことながらその用途に応じて使い分けることが必要である。

10

【0054】

上記したセラミックスヒータの材質に関しては、近年のウエハー保持体に対する均熱性の要求から、窒化アルミニウムや炭化ケイ素が好ましく、更には使用する各種腐食性ガスに対して耐食性の高い窒化アルミニウムが特に好ましい。この窒化アルミニウムに含有される焼結助剤量に関しては、0.05重量%以上3.0重量%以下が特に好ましい。これよりも少ない焼結助剤量では、窒化アルミニウム焼結体の粒子間に隙間が存在し、その隙間の部分からエッチングが進行するため、パーティクルが発生し好ましくない。また、焼結助剤量が3.0重量%を超えると、窒化アルミニウム粒子の粒界に助剤成分が存在し、この助剤成分からエッチングされ、この場合もパーティクルが発生する。

20

【0055】

反応容器の材質に関しては、特に制約はない。例えば、金属としては、アルミニウムやアルミニウム合金、ニッケルやニッケル合金、更にはステンレスなどが使用できる。また、セラミックスとしては、アルミナやコージェライト等が使用できるが、特に制約はない。

30

【0056】

筒状体の材質は、特に抵抗発熱体、RF電極、静電チャック電極に給電するためのリードが内包されているものに関しては、絶縁体であることが好ましい。筒状体とリードとの間に電気的な導通が形成されると、減圧下及び真空下において、各電極間でスパークが発生したり、反応容器に対して導通してしまう等の問題が発生したりするためである。具体的には、セラミックス等の無機材料が好ましい。

【0057】

また、これらの筒状体のうち、セラミックスヒータに対して固定される固定筒状体については、ガラスやロウ材で接合される場合、固定筒状体とセラミックスヒータとの間での熱膨張係数差が小さい方がよい。具体的には、固定筒状体の常温における熱膨張係数とセラミックスヒータの常温における熱膨張係数との差が、 $5.0 \times 10^{-6} / K$ 以下であることが好ましい。これを超える熱膨張係数差が両者の間に存在すると、接合時にセラミックスヒータ又は固定筒状体が破損したり、クラック等が発生したりするため好ましくない。しかしながら、筒状体がセラミックスヒータに直接接合されておらず、ネジ止め等で固定されている場合には、この限りではない。

40

【0058】

具体的な筒状体の材質に関しては、セラミックスヒータと同じ材質のものを使用することも可能であるが、ムライトやアルミナ、サイアロン、更には窒化ケイ素等の使用も可能である。これらの材質は比較的熱伝導率が低く、セラミックスから反応容器への熱伝達量

50

を小さくできるため好ましい。尚、筒状体であっても、リード等を内包しない場合には、その材質に特に制約はない。

【0059】

一方、支持体の材質に関しては、特に制約はない。各種セラミックスや金属、あるいはセラミックスと金属の複合体など、各種材料の使用が可能である。即ち、ラミックスヒータの使用環境によって、適宜選択すれば良い。

【0060】

これらの支持体のうち、セラミックスヒータに対して固定される固定支持体の材質については、ガラスやロウ材で接合される場合、固定支持体とセラミックスヒータとの間での熱膨張係数が小さい方が良い。具体的には、固定支持体の常温における熱膨張係数とセラミックスヒータの常温における熱膨張係数との差が、 $5.0 \times 10^{-6} / K$ 以下であることが好ましい。これを超える熱膨張係数差が両者の間に存在すると、接合時にセラミックスヒータ又は固定支持体が破損したり、クラック等が発生したりするため好ましくない。しかしながら、支持体がセラミックスヒータに直接接合されておらず、ネジ止め等で固定されている場合には、この限りではない。

10

【0061】

具体的な支持体の材質に関しては、セラミックスヒータと同じ材質のものを使用することも可能ではあるが、ムライトやアルミナ、サイアロン、更には窒化ケイ素等の使用も可能である。これらの材質は比較的熱伝導率が低く、セラミックスから反応容器への熱伝達量を小さくできるため好ましい。

20

【0062】

以上のことから、セラミックスヒータの材質としては窒化アルミニウムが特に好ましく、これに取付けられる固定筒状体及び/又は固定支持体の材質としては、窒化アルミニウムとの熱膨張係数のマッチング、更には熱伝導率の低さから、ムライト又はムライト-アルミナ複合体が特に好ましい。また、この組み合わせに対する反応容器の材質としては、熱膨張係数のマッチングから、アルミニウム又はアルミニウム合金が特に好ましい。実際の装置では、場合によっては腐食性ガスを使用することもあるため、その用途に応じた材質を選択することが重要であるとは言ってもない。

【0063】

また、本発明におけるウエハー保持体を使用することで、セラミックスヒータの電極端子やリード、更には温度測定素子を内包してなる固定筒状体や、セラミックスヒータを単に支持する固定筒状体及び/又は固定支持体の破損がなく、信頼性の高い半導体製造装置を提供することができる。特に、種々ある半導体製造装置の中でも、反応容器内に挿入できる材料に対して制約の少ないLow-k膜焼成用装置として特に好適である。

30

【実施例】

【0064】

実施例 1

下記表 1 に示すセラミックス粉末に対し所定量の焼結助剤を添加し、更に溶剤等を加えてボールミル混合し、スラリーを作製した。このスラリーをスプレードライして顆粒を作製し、得られた顆粒を所定の金型を用いてプレス成形した。得られた成形体を脱脂した後、それぞれ所定の温度で焼結し、セラミックス焼結体とした。得られた各セラミックス焼結体について、熱膨張係数と熱伝導率を測定して表 1 に合わせて示した。

40

【0065】

【表 1】

試料	セラミックヒータ 主成分	焼結助剤 (添加量)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/K$)	熱伝導率 (W/mK)
1	窒化アルミニウム	—	4.5	110
2	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (0.05%)	4.5	150
3	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (0.5%)	4.5	180
4	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (1.0%)	4.5	180
5	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (5.0%)	4.5	170
6	窒化アルミニウム	Eu_2O_3 (0.5%)	4.5	180
7	窒化アルミニウム	Nd_2O_3 (0.5%)	4.5	180
8	炭化ケイ素	—	3.8	220
9	アルミナ	MgO(0.5%)	7.8	28
10	窒化ケイ素	Y_2O_3 (0.5%)	3.8	25
11	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (3.0%)	4.5	180

10

【0066】

上記のセラミック焼結体からなる各基板に、スクリーン印刷等の手法によって抵抗発熱体回路を形成し、必要に応じてRF電極、静電チャック電極を形成した。これを所定の条件で焼成し、必要に応じて抵抗発熱体、RF電極、静電チャック電極を保護するため、その上にセラミック基板を接合した。得られたセラミックヒータについて、ウエハーを搭載するためのウエハーポケットを機械加工により形成し、更に各電気回路に接続するための電極端子及びリードを取付けた。

20

【0067】

各セラミックヒータのウエハー加熱面と反対側の面(裏面)に、下記表2に示す材質からなる固定筒状体及び/又は固定支持体を取付けて固定した。固定方法としては、図2-1及び図2-2に示すガラスによる接合、図3-1及び図3-2に示す活性金属ろうを用いたろう材による接合、図4-1及び図4-2に示すネジによる固定、図5-1及び図5-1に示すセラミックヒータ裏面のザグリ部への嵌め込み、あるいは図6-1及び図6-2に示すセラミックヒータと筒状体の一体型のいずれかを用いた。尚、全ての筒状体は、外径10mm、内径6mmのものを使用した。また、全ての支持体は、外径10mmの中実の柱状体を用いた。図5-

30

1及び図5-2の嵌め込みの場合、ザグリ部の深さは3mm、直径は10.1mmとした。筒状体内には電極端子及びリードを収納したが、金属製の筒状体には熱電対のみを収納した。

【0068】

【表 2】

筒状体材質/ 柱状体材質	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/K$)	熱伝導率 (W/mK)
窒化アルミニウム	4.5	180
窒化ケイ素	3.2	25
アルミナ	7.8	28
炭化ケイ素	3.8	220
ムライト	4.5	1
ニッケル	13	80
ステンレス	7.9	17
タングステン	4.5	170
モリブデン	5	150

10

【0069】

このとき、セラミックスヒータに取付けられた筒状体及び/又は支持体のそれぞれの平行度を測定したところ、いずれも0.1mm以内であった。また、取付けた筒状体及び/又は支持体のO-リング当接面付近の表面粗さは、いずれもRa 0.3 μ mであり、表面を光学顕微鏡で観察した結果、0.05mmを超える欠陥がないことを確認した。

20

【0070】

このように作製したウエハー保持体に対して、下記表3に示す材質からなる所定形状の反応容器を用意した。その反応容器内にウエハー保持体を取付け、ゴム製のO-リングによって筒状体及び/又は柱状体と反応容器の間を気密封止した。このとき、セラミックスヒータのウエハー搭載面と反応容器との平行度は、いずれも0.15mm以下であった。その後、セラミックスヒータに給電することで所定温度に昇温させ、セラミックスヒータと反応容器の温度を熱電対によって測定し、更にセラミックスヒータの均熱性を求めた。その後常温まで降温させ、固定筒状体及び/又は固定支持体の破損状況を確認した。

30

【0071】

【表 3】

反応容器材質	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/K$)	熱伝導率 (W/mK)
ニッケル	13	80
ステンレス	7.9	17
アルミナ	7.8	28
アルミニウム	23	200

40

【0072】

得られた結果を、セラミックスヒータと固定筒状体及び/又は固定支持体の材質ごとに、試験条件と試験結果に分けて、下記の表4~45に示した。尚、セラミックスヒータ加熱時の反応容器内の雰囲気は真空とした。セラミックスヒータの均熱性は、ウエハー温度計を使用して測定した。また、筒状体及び/又は柱状体と反応容器と間の気密性に関しては、リークレートが高温時において 10^{-9} Pa m³/s以下のものは、 10^{-7} Pa m³/s以下のものは○として表示した。

50

【 0 0 7 3 】

【 表 4 】

試験条件

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
3-1	ムラト	ガラス	100	Al	300	300
3-2	ムラト	ガラス	100	Al	300	300
3-3	ムラト	樹脂	100	Al	300	300
3-4	ムラト	嵌め込み	100	Al	300	300
3-5	AlN	ガラス	100	Al	300	300
3-6	AlN	嵌め込み	150	Al	300	300
3-7	AlN	ガラス	150	Al	300	300
3-8	AlN	樹脂	150	Al	300	300
3-9	AlN	樹脂	150	Al	299.5	300
3-10	AlN	樹脂	150	Al	300	300.5
3-11	AlN	一体型	150	Al	300	300.5
3-12	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Al	300	300
3-13	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al	300	300
3-14	Al ₂ O ₃	嵌め込み	150	Al	300	300
3-15	SiC	ガラス	150	Al	300	300
3-16	Ni	叩材	150	Al	300	300
3-17	W	叩材	150	Al	300	300
3-18	W	嵌め込み	150	Al	300	300
3-19	Mo	叩材	150	Al	300	300
3-20	ステンレス	樹脂	150	Al	300	300

10

20

30

【 0 0 7 4 】

【表 5】

試験結果

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
3-1	500	95	0.02mm	◎	±0.2	良好
3-2	850	150	0.11mm	◎	±0.2	
3-3	850	145	0.15mm	◎	±0.2	
3-4	850	145	0.15mm	◎	±0.2	
3-5	850	—				Oリング破損
3-6	800	50	0.73mm	○	±0.4	強制水冷
3-7	500	180	0.57mm	○	±0.4	
3-8	800	50	0.73mm			強制水冷、筒状体破損
3-9	850	50	0.30mm	◎	±0.4	
3-10	850	50	0.30mm	◎	±0.4	
3-11	850	50	0.30mm	◎	±0.4	
3-12	850	110	0.39mm	○	±0.3	
3-13	850	120	0.32mm	○	±0.3	
3-14	850	118	0.33mm	○	±0.3	
3-15	850	200	0.23mm	◎	±0.4	
3-16	850					筒状体取付時破損
3-17	500	170	0.50mm	○	±0.4	
3-18	500	167	0.48mm	○	±0.4	
3-19	500	170	0.50mm	○	±0.4	
3-20	500	105	0.05mm	◎	±0.3	

10

20

30

【 0 0 7 5 】

【表 6】

試験条件

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
3-21	ムラト	ガラス	100	Ni	300	300
3-22	ムラト	ガラス	100	Ni	300	300
3-23	ムラト	樹脂	100	Ni	300	300
3-24	ムラト	嵌め込み	100	Ni	300	300
3-25	AlN	ガラス	100	Ni	300	300
3-26	AlN	ガラス	150	Ni	300	300
3-27	AlN	樹脂	150	Ni	300	300
3-28	AlN	樹脂	150	Ni	299.5	300
3-29	AlN	樹脂	150	Ni	300	300.5
3-30	AlN	一体型	150	Ni	300	300.5
3-31	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Ni	300	300
3-32	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Ni	299.7	300
3-33	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Ni	300	300.3
3-34	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Ni	300	300
3-35	SiC	ガラス	150	Ni	300	300
3-36	W	叩材	150	Ni	300	300
3-37	Mo	叩材	150	Ni	300	300
3-38	ステンレス	樹脂	150	Ni	300	300
3-39	ステンレス	嵌め込み	150	Ni	300	300

10

20

【 0 0 7 6 】

30

【表 7】

試験結果

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	使用温度(℃)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
3-21	500	95	0.30mm	◎	±0.2	
3-22	850	150	0.56mm	○	±0.2	
3-23	850	145	0.58mm	○	±0.2	
3-24	850	145	0.58mm	○	±0.2	
3-25	850	—				○ーリング破損
3-26	500	180	0.03mm	◎	±0.4	
3-27	800	50	0.88mm			強制水冷、筒状体破損
3-28	850	50	0.45mm	○	±0.4	強制水冷
3-29	850	50	0.45mm	○	±0.4	強制水冷
3-30	850	50	0.45mm	○	±0.4	強制水冷
3-31	850	110	0.72mm			筒状体破損
3-32	850	110	0.42mm	○	±0.4	
3-33	850	110	0.42mm	○	±0.4	
3-34	850	120	0.68mm	○	±0.3	
3-35	850	200	0.37mm	○	±0.4	
3-36	500	170	0.01mm	◎	±0.4	
3-37	500	170	0.01mm	◎	±0.4	
3-38	500	105	0.27mm	◎	±0.3	
3-39	500	105	0.27mm	◎	±0.3	

10

20

30

【 0 0 7 7 】

【表 8】

試験条件

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離 (mm)	
	材質	固定法	長さ (mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
3-40	ムライト	ガラス	100	ステンレス	300	300
3-41	ムライト	ガラス	100	ステンレス	300	300
3-42	ムライト	ガラス	100	ステンレス	299.5	300
3-43	ムライト	ガラス	100	ステンレス	300	300.3
3-44	AlN	ガラス	100	ステンレス	300	300
3-45	AlN	ガラス	150	ステンレス	300	300
3-46	AlN	ネジ	150	ステンレス	300	300
3-47	AlN	ネジ	150	ステンレス	299.5	300
3-48	AlN	一体型	150	ステンレス	300	300
3-49	AlN	ネジ	150	ステンレス	300	300.5
3-50	Si ₃ N ₄	ガラス	150	ステンレス	300	300
3-51	Al ₂ O ₃	ガラス	150	ステンレス	300	300
3-52	Al ₂ O ₃	ガラス	150	ステンレス	299.5	300
3-53	Al ₂ O ₃	ガラス	150	ステンレス	300	300.5
3-54	Al ₂ O ₃	嵌め込み	150	ステンレス	300	300.5
3-55	SiC	ガラス	150	ステンレス	300	300
3-56	Ni	ロウ材	150	ステンレス	300	300
3-57	W	ロウ材	150	ステンレス	300	300
3-58	Mo	ロウ材	150	ステンレス	300	300
3-59	ステンレス	ネジ	150	ステンレス	300	300

10

20

30

【 0 0 7 8 】

【表 9】

試験結果

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
3-40	500	95	0.45mm	○	±0.2	
3-41	850	150	0.79mm			筒状体破損
3-42	850	150	0.29mm	◎	±0.2	
3-43	850	150	0.49mm	○	±0.2	
3-44	850	—				Oリング破損
3-45	500	180	0.25mm	◎	±0.4	
3-46	800	50	0.96mm			強制水冷、筒状体破損
3-47	850	50	0.53mm	○	±0.4	強制水冷
3-48	850	50	1.03mm			強制水冷、筒状体破損
3-49	850	50	0.53mm	○	±0.4	強制水冷
3-50	850	110	0.89mm			筒状体破損
3-51	850	120	0.86mm			筒状体破損
3-52	850	120	0.36mm	○	±0.4	
3-53	850	120	0.36mm	○	±0.4	
3-54	850	118	0.37mm	○	±0.4	
3-55	850	200	0.67mm	○	±0.4	
3-56	850					筒状体取付時破損
3-57	500	170	0.27mm	◎	±0.4	
3-58	500	170	0.27mm	◎	±0.4	
3-59	500	105	0.43mm	○	±0.3	

10

20

30

【 0 0 7 9 】

【表 10】

試験条件

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
3-60	ムラト	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
3-61	ムラト	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
3-62	ムラト	ガラス	100	Al ₂ O ₃	299.5	300
3-63	ムラト	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300.3
3-64	ムラト	嵌め込み	100	Al ₂ O ₃	300	300.3
3-65	AlN	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
3-66	AlN	一体型	150	Al ₂ O ₃	300	300
3-67	AlN	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
3-68	AlN	ネジ	150	Al ₂ O ₃	300	300
3-69	AlN	ネジ	150	Al ₂ O ₃	299.5	300
3-70	AlN	ネジ	150	Al ₂ O ₃	300	300.5
3-71	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
3-72	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
3-73	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al ₂ O ₃	299.5	300
3-74	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300.5
3-75	SiC	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
3-76	Ni	叩材	150	Al ₂ O ₃	300	300
3-77	W	叩材	150	Al ₂ O ₃	300	300
3-78	Mo	叩材	150	Al ₂ O ₃	300	300
3-79	ステンレス	ネジ	150	Al ₂ O ₃	300	300

10

20

30

【 0 0 8 0 】

【表 1 1】

試験結果

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
3-60	500	100	0.44mm	○	±0.2	
3-61	850	155	0.78mm			筒状体破損
3-62	850	155	0.28mm	◎	±0.2	
3-63	850	155	0.48mm	○	±0.2	
3-64	850	152	0.49mm	○	±0.2	
3-65	850	—				Oーリング破損
3-66	800	195	0.62mm	○	±0.4	
3-67	500	190	0.23mm	◎	±0.4	
3-68	800	50	0.96mm			強制水冷、筒状体破損
3-69	850	50	0.53mm	○	±0.4	強制水冷
3-70	850	50	0.53mm	○	±0.4	強制水冷
3-71	850	115	0.88mm			筒状体破損
3-72	850	125	0.85mm			筒状体破損
3-73	850	125	0.35mm	○	±0.4	
3-74	850	125	0.35mm	○	±0.4	
3-75	850	210	0.66mm	○	±0.4	
3-76	850					筒状体取付時破損
3-77	500	180	0.25mm	◎	±0.4	
3-78	500	180	0.25mm	◎	±0.4	
3-79	500	110	0.42mm	○	±0.3	

10

20

30

【 0 0 8 1 】

【表 1 2】

試験条件

ヒータ材質：8（炭化ケイ素）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
8-1	ムライト	ガラス	100	Al	300	300
8-2	ムライト	ガラス	100	Al	300	300
8-3	ムライト	ネジ	100	Al	300	300
8-4	ムライト	嵌め込み	100	Al	300	300
8-5	AlN	ガラス	100	Al	300	300
8-6	AlN	ガラス	150	Al	300	300
8-7	AlN	ネジ	150	Al	300	300
8-8	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Al	300	300
8-9	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al	300	300
8-10	SiC	ガラス	150	Al	300	300
8-11	SiC	一体型	150	Al	300	300
8-12	Ni	叩材	150	Al	300	300
8-13	W	叩材	150	Al	300	300
8-14	Mo	叩材	150	Al	300	300
8-15	ステンレス	ネジ	150	Al	300	300

10

20

【 0 0 8 2 】

【表 1 3】

試験結果

ヒータ材質：8（炭化ケイ素）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
8-1	500	95	0.09mm	◎	±0.2	
8-2	850	148	0.05mm	◎	±0.2	
8-3	850	145	0.03mm	◎	±0.2	
8-4	850	142	0.01mm	◎	±0.2	
8-5	850	—				Oリング破損
8-6	500	182	0.69mm	○	±0.4	
8-7	850	50	0.62mm	○		強制水冷
8-8	850	111	0.20mm	◎	±0.3	
8-9	850	120	0.14mm	◎	±0.3	
8-10	850	200	0.41mm	○	±0.4	
8-11	850	205	0.45mm	○	±0.4	
8-12	850					筒状体取付時破損
8-13	500	170	0.60mm	○	±0.4	
8-14	500	170	0.60mm	○	±0.4	
8-15	500	105	0.15mm	◎	±0.3	

10

20

【0083】

【表 1 4】

試験条件

ヒータ材質：8（炭化ケイ素）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
8-16	ムライト	ガラス	100	Ni	300	300
8-17	ムライト	ガラス	100	Ni	300	300
8-18	ムライト	セラ	100	Ni	300	300
8-19	AlN	ガラス	100	Ni	300	300
8-20	AlN	ガラス	150	Ni	300	300
8-21	AlN	セラ	150	Ni	300	300
8-22	AlN	セラ	150	Ni	299.5	300
8-23	AlN	セラ	150	Ni	300	300.4
8-24	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Ni	300	300
8-25	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Ni	300	300
8-26	SiC	ガラス	150	Ni	300	300
8-27	SiC	一体型	150	Ni	300	300
8-28	W	吹材	150	Ni	300	300
8-29	Mo	吹材	150	Ni	300	300
8-30	ステンレス	セラ	150	Ni	300	300

30

40

50

【 0 0 8 4 】

【 表 1 5 】

試験結果

ヒータ材質：8（炭化ケイ素）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
8-16	500	95	0.20mm	◎	±0.2	
8-17	850	152	0.38mm	○	±0.2	
8-18	850	145	0.40mm	○	±0.2	
8-19	850	—				○ーリング破損
8-20	500	180	0.13mm	◎	±0.4	
8-21	800	50	0.72mm			強制水冷、筒状体破損
8-22	850	50	0.27mm	◎	±0.4	
8-23	850	50	0.37mm	○	±0.4	
8-24	850	111	0.54mm	○	±0.4	
8-25	850	120	0.50mm	○	±0.3	
8-26	850	203	0.18mm	◎	±0.4	
8-27	850	208	0.16mm	◎	±0.4	
8-28	500	170	0.09mm	◎	±0.4	
8-29	500	170	0.09mm	◎	±0.4	
8-30	500	105	0.16mm	◎	±0.3	

10

20

【 0 0 8 5 】

【表 16】

試験条件

ヒータ材質：8（炭化ケイ素）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
8-31	ムライト	ガラス	100	ステンレス	300	300
8-32	ムライト	ガラス	100	ステンレス	300	300
8-33	ムライト	ネジ	100	ステンレス	300	300
8-34	ムライト	嵌め込み	100	ステンレス	300	300
8-35	AlN	ガラス	100	ステンレス	300	300
8-36	AlN	ガラス	150	ステンレス	300	300
8-37	AlN	ネジ	150	ステンレス	300	300
8-38	AlN	ネジ	150	ステンレス	299.5	300
8-39	AlN	ネジ	150	ステンレス	300	300.4
8-40	Si ₃ N ₄	ガラス	150	ステンレス	300	300
8-41	Al ₂ O ₃	ガラス	150	ステンレス	300	300
8-42	SiC	ガラス	150	ステンレス	300	300
8-43	Ni	ロウ材	150	ステンレス	300	300
8-44	W	ロウ材	150	ステンレス	300	300
8-45	Mo	ロウ材	150	ステンレス	300	300
8-46	ステンレス	ネジ	150	ステンレス	300	300

10

20

【0086】

【表 17】
試験結果

ヒータ材質：8（炭化ケイ素）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
8-31	500	95	0.34mm	○	±0.2	
8-32	850	153	0.61mm	○	±0.2	
8-33	850	153	0.61mm	○	±0.2	
8-34	850	152	0.61mm	○	±0.2	
8-35	850	—				○ーリング破損
8-36	500	180	0.14mm	◎	±0.4	
8-37	800	50	0.79mm			強制水冷、筒状体破損
8-38	850	50	0.35mm	○	±0.4	
8-39	850	50	0.45mm	○	±0.4	
8-40	850	110	0.71mm			筒状体破損
8-41	850	123	0.68mm	○	±0.4	
8-42	850	202	0.49mm	○	±0.4	
8-43	850					筒状体取付時破損
8-44	500	171	0.16mm	◎	±0.4	
8-45	500	171	0.16mm	◎	±0.4	
8-46	500	107	0.32mm	○	±0.3	

10

20

【0087】

【表 18】

試験条件

ヒータ材質：8（炭化ケイ素）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
8-47	AlN	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
8-48	AlN	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
8-49	AlN	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
8-50	AlN	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
8-51	AlN	ネジ	150	Al ₂ O ₃	300	300
8-52	AlN	ネジ	150	Al ₂ O ₃	299.5	300
8-53	AlN	ネジ	150	Al ₂ O ₃	300	300.4
8-54	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
8-55	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
8-56	SiC	一体型	150	Al ₂ O ₃	300	300
8-57	SiC	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
8-58	Ni	叩材	150	Al ₂ O ₃	300	300
8-59	W	叩材	150	Al ₂ O ₃	300	300
8-60	Mo	叩材	150	Al ₂ O ₃	300	300
8-61	ステンレス	ネジ	150	Al ₂ O ₃	300	300

30

40

50

【 0 0 8 8 】

【 表 1 9 】

試験結果

ヒータ材質：8（炭化ケイ素）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
8-47	500	98	0.34mm	○	±0.2	
8-48	850	158	0.60mm	○	±0.2	
8-49	850	—				○ーリング破損
8-50	500	189	0.13mm	◎	±0.4	
8-51	800	50	0.79mm			強制水冷、筒状体破損
8-52	850	50	0.35mm	○	±0.4	
8-53	850	50	0.45mm	○	±0.4	
8-54	850	111	0.71mm			筒状体破損
8-55	850	128	0.67mm	○	±0.4	
8-56	850	215	0.47mm	○	±0.4	
8-57	850	213	0.47mm	○	±0.4	
8-58	850					筒状体取付時破損
8-59	500	179	0.15mm	◎	±0.4	
8-60	500	180	0.15mm	◎	±0.4	
8-61	500	111	0.31mm	○	±0.3	

【 0 0 8 9 】

【 表 2 0 】

試験条件

ヒータ材質：9（アルミナ）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
9-1	ムライト	ガラス	100	Al	300	300
9-2	ムライト	ガラス	100	Al	300	300
9-3	ムライト	嵌め込み	100	Al	300	300
9-4	ムライト	ネジ	100	Al	300	300
9-5	AlN	ガラス	100	Al	300	300
9-6	AlN	ガラス	150	Al	300	300
9-7	AlN	ネジ	150	Al	300	300
9-8	AlN	ネジ	150	Al	299.5	300
9-9	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Al	300	300
9-10	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al	300	300
9-11	SiC	ガラス	150	Al	300	300
9-12	Ni	叩材	150	Al	300	300
9-13	W	叩材	150	Al	300	300
9-14	Mo	叩材	150	Al	300	300
9-15	ステンレス	ネジ	150	Al	300	300

10

20

30

40

50

【 0 0 9 0 】

【 表 2 1 】

試験結果

ヒータ材質：9 (アルミナ)

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
9-1	500	93	0.53mm	○	±0.6	
9-2	850	148	0.97mm			筒状体破損
9-3	500	92	0.54mm	○	±0.6	
9-4	850	142	1.01mm			筒状体破損
9-5	850	—				○ーリング破損
9-6	500	181	0.08mm	◎	±1.0	
9-7	800	49	1.53mm			強制水冷、筒状体破損
9-8	850	51	1.13mm			筒状体破損
9-9	850	111	1.22mm			筒状体破損
9-10	850	118	1.17mm			筒状体破損
9-11	850	202	0.60mm	○	±1.0	
9-12	850					筒状体取付時破損
9-13	500	175	0.04mm	◎	±1.0	
9-14	500	174	0.03mm	◎	±1.0	
9-15	500	102	0.47mm	○	±0.8	

10

20

【 0 0 9 1 】

【 表 2 2 】

試験条件

ヒータ材質：9 (アルミナ)

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
9-16	ムライト	ガラス	100	Ni	300	300
9-17	ムライト	ガラス	100	Ni	300	300
9-18	ムライト	セグ	100	Ni	300	300
9-19	AlN	ガラス	100	Ni	300	300
9-20	AlN	ガラス	150	Ni	300	300
9-21	AlN	セグ	150	Ni	300	300
9-22	AlN	セグ	150	Ni	299.5	300
9-23	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Ni	300	300
9-24	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Ni	299.7	300
9-25	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Ni	300	300
9-26	SiC	ガラス	150	Ni	300	300
9-27	W	吋材	150	Ni	300	300
9-28	Mo	吋材	150	Ni	300	300
9-29	ステンレス	セグ	150	Ni	300	300

30

40

【 0 0 9 2 】

50

【表 2 3】

試験結果

ヒータ材質：9（アルミナ）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
9-16	500	96	0.80mm			筒状体破損
9-17	850	152	1.40mm			筒状体破損
9-18	850	144	1.43mm			筒状体破損
9-19	850	—				Oーリング破損
9-20	500	179	0.47mm	○	±1.0	
9-21	800	50	1.68mm			強制水冷、筒状体破損
9-22	850	51	1.29mm			強制水冷
9-23	850	109	1.56mm			筒状体破損
9-24	850	109	1.26mm			筒状体破損
9-25	850	121	1.52mm			筒状体破損
9-26	850	202	1.20mm			筒状体破損
9-27	500	170	0.51mm	○	±1.0	
9-28	500	170	0.51mm	○	±1.0	
9-29	500	105	0.76mm			筒状体破損

10

20

【0093】

【表 2 4】

試験条件

ヒータ材質：9（アルミナ）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
9-30	ムライト	ガラス	100	ステンレス	300	300
9-31	ムライト	ガラス	100	ステンレス	300	300
9-32	ムライト	ガラス	100	ステンレス	299.5	300
9-33	AlN	ガラス	100	ステンレス	300	300
9-34	AlN	ガラス	150	ステンレス	299.7	300
9-35	AlN	ネジ	150	ステンレス	300	300
9-36	AlN	ネジ	150	ステンレス	299.5	300
9-37	Si ₃ N ₄	ガラス	150	ステンレス	300	300
9-38	Al ₂ O ₃	ガラス	150	ステンレス	300	300
9-39	Al ₂ O ₃	ガラス	150	ステンレス	299.5	300
9-40	Al ₂ O ₃	嵌め込み	150	ステンレス	299.5	300
9-41	SiC	ガラス	150	ステンレス	300	300
9-42	Ni	叩材	150	ステンレス	300	300
9-43	W	叩材	150	ステンレス	300	300
9-44	Mo	叩材	150	ステンレス	300	300
9-45	ステンレス	ネジ	150	ステンレス	300	300

30

40

【0094】

50

【表 2 5】

試験結果

ヒータ材質：9（アルミナ）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
9-30	500	95	0.94mm			筒状体破損
9-31	850	150	1.63mm			筒状体破損
9-32	850	150	1.13mm			筒状体破損
9-33	850	—				Oリング破損
9-34	500	180	0.44mm	○	±1.0	
9-35	800	50	1.75mm			強制水冷、筒状体破損
9-36	850	50	1.37mm			強制水冷
9-37	850	110	1.73mm			筒状体破損
9-38	850	120	1.70mm			筒状体破損
9-39	850	120	1.20mm			筒状体破損
9-40	850	118	1.21mm			筒状体破損
9-41	850	200	1.51mm			筒状体破損
9-42	850					筒状体取付時破損
9-43	500	170	0.77mm			筒状体破損
9-44	500	170	0.77mm			筒状体破損
9-45	500	105	0.92mm			筒状体破損

10

20

【 0 0 9 5 】

【表 2 6】

試験条件

ヒータ材質：9 (アルミナ)

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
9-46	ムライト	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
9-47	ムライト	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
9-48	ムライト	ガラス	100	Al ₂ O ₃	299.5	300
9-49	AlN	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
9-50	AlN	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
9-51	AlN	ガラス	150	Al ₂ O ₃	299.7	300
9-52	AlN	セグ	150	Al ₂ O ₃	300	300
9-53	AlN	セグ	150	Al ₂ O ₃	299.5	300
9-54	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
9-55	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
9-56	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al ₂ O ₃	299.5	300
9-57	Al ₂ O ₃	一体型	150	Al ₂ O ₃	299.5	300
9-58	SiC	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
9-59	Ni	ロウ材	150	Al ₂ O ₃	300	300
9-60	W	ロウ材	150	Al ₂ O ₃	300	300
9-61	Mo	ロウ材	150	Al ₂ O ₃	300	300
9-62	ステンレス	セグ	150	Al ₂ O ₃	300	300

10

20

【 0 0 9 6 】

【表 2 7】

試験結果

ヒータ材質：9 (アルミナ)

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
9-46	500	98	0.94mm			筒状体破損
9-47	850	153	1.63mm			筒状体破損
9-48	850	153	1.13mm			筒状体破損
9-49	850	—				○ーリング破損
9-50	500	191	0.72mm			筒状体破損
9-51	500	191	0.42mm	○	±1.0	
9-52	800	50	1.76mm			強制水冷、筒状体破損
9-53	850	50	1.37mm			強制水冷
9-54	850	115	1.72mm			筒状体破損
9-55	850	124	1.70mm			筒状体破損
9-56	850	124	1.20mm			筒状体破損
9-57	500	98	0.44mm	○	±0.9	
9-58	850	211	1.50mm			筒状体破損
9-59	850					筒状体取付時破損
9-60	500	179	0.75mm			筒状体破損
9-61	500	178	0.75mm			筒状体破損
9-62	500	109	0.91mm			筒状体破損

10

20

【 0 0 9 7 】

【表 2 8】

試験条件

ヒータ材質：10（窒化ケイ素）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
10-1	ムライト	ガラス	100	Al	300	300
10-2	ムライト	ガラス	100	Al	300	300
10-3	ムライト	セグ	100	Al	300	300
10-4	ムライト	セグ	120	Al	300	300
10-5	ムライト	嵌め込み	120	Al	300	300
10-6	AlN	ガラス	100	Al	300	300
10-7	AlN	ガラス	150	Al	300	300
10-8	AlN	セグ	150	Al	300	300
10-9	AlN	セグ	150	Al	300	300
10-10	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Al	300	300
10-11	Si ₃ N ₄	一体型	150	Al	300	300
10-12	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al	300	300
10-13	SiC	ガラス	150	Al	300	300
10-14	Ni	叩材	150	Al	300	300
10-15	W	叩材	150	Al	300	300
10-16	Mo	叩材	150	Al	300	300
10-17	ステンレス	セグ	150	Al	300	300

10

20

【0098】

【表 2 9】

試験結果

ヒータ材質：10（窒化ケイ素）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
10-1	500	95	0.09mm	◎	±0.6	
10-2	850	148	0.05mm	◎	±0.6	
10-3	850	145	0.03mm	◎	±0.6	
10-4	1100	185	0.02mm	◎	±0.6	
10-5	1100	184	0.02mm	◎	±0.6	
10-6	850	—				オーリング破損
10-7	500	182	0.69mm	○	±1.0	
10-8	850	50	0.62mm	○	±1.0	強制水冷
10-9	1100	50	0.91mm			強制水冷、筒状体破損
10-10	850	111	0.20mm	◎	±0.8	
10-11	850	113	0.19mm	◎	±0.8	
10-12	850	120	0.14mm	◎	±0.8	
10-13	850	200	0.41mm	○	±1.0	
10-14	850					筒状体取付時破損
10-15	500	170	0.60mm	○	±1.0	
10-16	500	170	0.60mm	○	±1.0	
10-17	500	105	0.15mm	◎	±0.8	

10

20

【 0 0 9 9 】

【表 3 0】

試験条件

ヒータ材質：10（窒化ケイ素）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
10-18	ムラト	ガラス	100	Ni	300	300
10-19	ムラト	ガラス	100	Ni	300	300
10-20	ムラト	嵌め込み	100	Ni	300	300
10-21	ムラト	ネジ	100	Ni	300	300
10-22	AlN	ガラス	100	Ni	300	300
10-23	AlN	ガラス	150	Ni	300	300
10-24	AlN	ネジ	150	Ni	300	300
10-25	AlN	ネジ	150	Ni	300	300.4
10-26	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Ni	300	300
10-27	Si ₃ N ₄	一体型	150	Ni	300	300
10-28	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Ni	300	300
10-29	SiC	ガラス	150	Ni	300	300
10-30	W	叩材	150	Ni	300	300
10-31	Mo	叩材	150	Ni	300	300
10-32	ステンレス	ネジ	150	Ni	300	300

10

20

【0100】

【表 3 1】

試験結果

ヒータ材質：10（窒化ケイ素）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
10-18	500	95	0.20mm	◎	±0.6	
10-19	850	152	0.38mm	○	±0.6	
10-20	850	151	0.38mm	○	±0.6	
10-21	850	145	0.40mm	○	±0.6	
10-22	850	—				O-リング破損
10-23	500	180	0.13mm	◎	±1.0	
10-24	850	50	0.77mm			強制水冷、筒状体破損
10-25	850	50	0.37mm	○	±1.0	
10-26	850	111	0.54mm	○	±1.0	
10-27	850	114	0.52mm	○	±1.0	
10-28	850	120	0.50mm	○	±0.8	
10-29	850	203	0.18mm	◎	±1.0	
10-30	500	170	0.09mm	◎	±1.0	
10-31	500	170	0.09mm	◎	±1.0	
10-32	500	105	0.16mm	◎	±0.8	

30

40

【0101】

50

【表 3 2】

試験条件

ヒータ材質：10（窒化ケイ素）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
10-33	ムライト	ガラス	100	ステンレス	300	300
10-34	ムライト	ガラス	100	ステンレス	300	300
10-35	AlN	ガラス	100	ステンレス	300	300
10-36	AlN	ガラス	150	ステンレス	300	300
10-37	AlN	ネジ	150	ステンレス	300	300
10-38	AlN	ネジ	150	ステンレス	299.5	300
10-39	Si ₃ N ₄	ガラス	150	ステンレス	300	300
10-40	Al ₂ O ₃	ガラス	150	ステンレス	300	300
10-41	SiC	ガラス	150	ステンレス	300	300
10-42	Ni	叩材	150	ステンレス	300	300
10-43	W	叩材	150	ステンレス	300	300
10-44	Mo	叩材	150	ステンレス	300	300
10-45	ステンレス	ネジ	150	ステンレス	300	300

10

20

【0102】

【表 3 3】

試験結果

ヒータ材質：10（窒化ケイ素）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
10-33	500	95	0.34mm	○	±0.6	
10-34	850	153	0.61mm	○	±0.6	
10-35	850	—				オーリング破損
10-36	500	180	0.14mm	◎	±1.0	
10-37	800	50	0.79mm			強制水冷、筒状体破損
10-38	850	50	0.35mm	○	±1.0	
10-39	850	110	0.71mm			筒状体破損
10-40	850	123	0.68mm	○	±1.0	
10-41	850	202	0.49mm	○	±1.0	
10-42	850					筒状体取付時破損
10-43	500	171	0.16mm	◎	±1.0	
10-44	500	171	0.16mm	◎	±1.0	
10-45	500	107	0.32mm	○	±0.8	

30

40

【0103】

【表 3 4】

試験条件

ヒータ材質：10（窒化ケイ素）

試料	筒状体			容器 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
10-46	ムラト	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
10-47	ムラト	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
10-48	AlN	ガラス	100	Al ₂ O ₃	300	300
10-49	AlN	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
10-50	AlN	ネジ	150	Al ₂ O ₃	300	300
10-51	AlN	ネジ	150	Al ₂ O ₃	299.5	300
10-52	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
10-53	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
10-54	SiC	ガラス	150	Al ₂ O ₃	300	300
10-55	Ni	叩材	150	Al ₂ O ₃	300	300
10-56	W	叩材	150	Al ₂ O ₃	300	300
10-57	Mo	叩材	150	Al ₂ O ₃	300	300
10-58	ステンレス	ネジ	150	Al ₂ O ₃	300	300

10

20

【0104】

【表 3 5】

試験結果

ヒータ材質：10（窒化ケイ素）

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
10-46	500	99	0.34mm	○	±0.6	
10-47	850	161	0.59mm	○	±0.6	
10-48	850	—				オーリング破損
10-49	500	189	0.13mm	◎	±1.0	
10-50	800	50	0.79mm			強制水冷、筒状体破損
10-51	850	50	0.35mm	○	±1.0	
10-52	850	113	0.70mm	○	±1.0	
10-53	850	126	0.67mm	○	±1.0	
10-54	850	208	0.48mm	○	±1.0	
10-55	850					筒状体取付時破損
10-56	500	174	0.16mm	◎	±1.0	
10-57	500	175	0.16mm	◎	±1.0	
10-58	500	110	0.31mm	○	±0.8	

30

40

【0105】

【表 3 6】

試験条件

容器材質：アルミニウム

試料	筒状体			ヒータ 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
A1-1	ムラト	ガラス	100	1	300	300
A1-2	ムラト	ネジ	100	1	300	300
A1-3	ムラト	ガラス	100	2	300	300
A1-4	ムラト	ネジ	100	2	300	300
A1-5	ムラト	ガラス	100	4	300	300
A1-6	ムラト	ネジ	100	4	300	300
A1-7	ムラト	ガラス	100	5	300	300
A1-8	ムラト	ネジ	100	5	300	300
A1-9	ムラト	ガラス	100	6	300	300
A1-10	ムラト	ネジ	100	6	300	300
A1-11	ムラト	ガラス	100	7	300	300
A1-12	ムラト	ネジ	100	7	300	300

10

20

【0106】

【表 3 7】

試験結果

容器材質：アルミニウム

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
A1-1	850	150	0.11mm	◎	±0.3	
A1-2	850	145	0.15mm	◎	±0.3	
A1-3	850	150	0.11mm	◎	±0.2	
A1-4	850	145	0.15mm	◎	±0.2	
A1-5	850	150	0.11mm	◎	±0.2	
A1-6	850	145	0.15mm	◎	±0.2	
A1-7	850	150	0.11mm	◎	±0.2	
A1-8	850	145	0.15mm	◎	±0.2	
A1-9	850	150	0.11mm	◎	±0.2	
A1-10	850	145	0.15mm	◎	±0.2	
A1-11	850	150	0.11mm	◎	±0.2	
A1-12	850	145	0.15mm	◎	±0.2	

30

40

【0107】

【表 3 8】

試験条件

容器材質：ニッケル

試料	筒状体			ヒータ 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
Ni-1	ムラト	ガラス	100	1	300	300
Ni-2	ムラト	ネジ	100	1	300	300
Ni-3	ムラト	ガラス	100	2	300	300
Ni-4	ムラト	ネジ	100	2	300	300
Ni-5	ムラト	ガラス	100	4	300	300
Ni-6	ムラト	ネジ	100	4	300	300
Ni-7	ムラト	ガラス	100	5	300	300
Ni-8	ムラト	ネジ	100	5	300	300
Ni-9	ムラト	ガラス	100	6	300	300
Ni-10	ムラト	ネジ	100	6	300	300
Ni-11	ムラト	ガラス	100	7	300	300
Ni-12	ムラト	ネジ	100	7	300	300

10

20

【0108】

【表 3 9】

試験結果

容器材質：ニッケル

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
Ni-1	850	150	0.56mm	○	±0.3	
Ni-2	850	145	0.58mm	○	±0.3	
Ni-3	850	150	0.56mm	○	±0.2	
Ni-4	850	145	0.58mm	○	±0.2	
Ni-5	850	150	0.56mm	○	±0.2	
Ni-6	850	145	0.58mm	○	±0.2	
Ni-7	850	150	0.56mm	○	±0.2	
Ni-8	850	145	0.58mm	○	±0.2	
Ni-9	850	150	0.56mm	○	±0.2	
Ni-10	850	145	0.58mm	○	±0.2	
Ni-11	850	150	0.56mm	○	±0.2	
Ni-12	850	145	0.58mm	○	±0.2	

30

40

【0109】

【表 4 0】
試験条件

容器材質：ステンレス

試料	筒状体			ヒータ 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
SUS-1	ムライト	ガラス	100	1	300	300
SUS-2	ムライト	ネジ	100	1	300	300
SUS-3	ムライト	ガラス	100	1	299.7	300
SUS-4	ムライト	ガラス	100	2	300	300
SUS-5	ムライト	ネジ	100	2	300	300
SUS-6	ムライト	ガラス	100	2	299.7	300
SUS-7	ムライト	ガラス	100	4	300	300
SUS-8	ムライト	ネジ	100	4	300	300
SUS-9	ムライト	ガラス	100	4	299.7	300
SUS-10	ムライト	ガラス	100	5	300	300
SUS-11	ムライト	ネジ	100	5	300	300
SUS-12	ムライト	ガラス	100	5	299.7	300
SUS-13	ムライト	ガラス	100	6	300	300
SUS-14	ムライト	ネジ	100	6	300	300
SUS-15	ムライト	ガラス	100	6	299.7	300
SUS-16	ムライト	ガラス	100	7	300	300
SUS-17	ムライト	ネジ	100	7	300	300
SUS-18	ムライト	ガラス	100	7	299.7	300
SUS-19	ムライト	ガラス	100	1	300	300
SUS-20	ムライト	ネジ	100	1	300	300
SUS-21	ムライト	ガラス	100	2	300	300
SUS-22	ムライト	ネジ	100	2	300	300
SUS-23	ムライト	ガラス	100	4	300	300
SUS-24	ムライト	ネジ	100	4	300	300
SUS-25	ムライト	ガラス	100	5	300	300
SUS-26	ムライト	ネジ	100	5	300	300
SUS-27	ムライト	ガラス	100	6	300	300
SUS-28	ムライト	ネジ	100	6	300	300
SUS-29	ムライト	ガラス	100	7	300	300
SUS-30	ムライト	ネジ	100	7	300	300

10

20

30

40

【 0 1 1 0 】

【表 4 1】

試験結果

容器材質：ステンレス

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
SUS-1	850	150	0.79mm			筒状体破損
SUS-2	850	145	0.80mm			筒状体破損
SUS-3	850	150	0.49mm	○	±0.2	
SUS-4	850	150	0.79mm			筒状体破損
SUS-5	850	145	0.80mm			筒状体破損
SUS-6	850	150	0.49mm	○	±0.2	
SUS-7	850	150	0.79mm			筒状体破損
SUS-8	850	145	0.80mm			筒状体破損
SUS-9	850	150	0.49mm	○	±0.2	
SUS-10	850	150	0.79mm			筒状体破損
SUS-11	850	145	0.80mm			筒状体破損
SUS-12	850	150	0.49mm	○	±0.2	
SUS-13	850	150	0.79mm			筒状体破損
SUS-14	850	145	0.80mm			筒状体破損
SUS-15	850	150	0.49mm	○	±0.2	
SUS-16	850	150	0.79mm			筒状体破損
SUS-17	850	145	0.80mm			筒状体破損
SUS-18	850	150	0.49mm	○	±0.2	
SUS-19	500	95	0.45mm	○	±0.2	
SUS-20	500	93	0.45mm	○	±0.2	
SUS-21	500	95	0.45mm	○	±0.2	
SUS-22	500	93	0.45mm	○	±0.2	
SUS-23	500	95	0.45mm	○	±0.2	
SUS-24	500	93	0.45mm	○	±0.2	
SUS-25	500	95	0.45mm	○	±0.2	
SUS-26	500	93	0.45mm	○	±0.2	
SUS-27	500	95	0.45mm	○	±0.2	
SUS-28	500	93	0.45mm	○	±0.2	
SUS-29	500	95	0.45mm	○	±0.2	
SUS-30	500	93	0.45mm	○	±0.2	

10

20

30

40

【 0 1 1 1 】

【表 4 2】

試験条件

容器材質：アルミナ

試料	筒状体			ヒータ 材質	常温時筒状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
Al ₂ O ₃ -1	ムライト	ガラス	100	1	300	300
Al ₂ O ₃ -2	ムライト	樹脂	100	1	300	300
Al ₂ O ₃ -3	ムライト	ガラス	100	2	300	300
Al ₂ O ₃ -4	ムライト	樹脂	100	2	300	300
Al ₂ O ₃ -5	ムライト	ガラス	100	4	300	300
Al ₂ O ₃ -6	ムライト	樹脂	100	4	300	300
Al ₂ O ₃ -7	ムライト	ガラス	100	5	300	300
Al ₂ O ₃ -8	ムライト	樹脂	100	5	300	300
Al ₂ O ₃ -9	ムライト	ガラス	100	6	300	300
Al ₂ O ₃ -10	ムライト	樹脂	100	6	300	300
Al ₂ O ₃ -11	ムライト	ガラス	100	7	300	300
Al ₂ O ₃ -12	ムライト	樹脂	100	7	300	300

10

20

【 0 1 1 2 】

【表 4 3】

試験結果

容器材質：アルミナ

試料	使用温度(°C)		加熱時筒状 体間距離差	気密性	均熱性 (%)	備 考
	ヒータ	容器				
Al ₂ O ₃ -1	500	96	0.45mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -2	500	94	0.46mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -3	500	96	0.45mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -4	500	94	0.46mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -5	500	96	0.45mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -6	500	94	0.46mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -7	500	96	0.45mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -8	500	94	0.46mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -9	500	96	0.45mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -10	500	94	0.46mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -11	500	96	0.45mm	○	±0.2	
Al ₂ O ₃ -12	500	94	0.46mm	○	±0.2	

30

40

【 0 1 1 3 】

【表 4 4】

試験条件

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	柱状体			容器 材質	常温時柱状体間距離(mm)	
	材質	固定法	長さ(mm)		ヒータ側 (L1)	容器側 (L2)
3-80	ムライト	ガラス	100	Al	300	300
3-81	ムライト	ガラス	100	Al	300	300
3-82	ムライト	ネジ	100	Al	300	300
3-83	ムライト	嵌め込み	100	Al	300	300
3-84	AlN	ガラス	100	Al	300	300
3-85	AlN	嵌め込み	150	Al	300	300
3-86	AlN	ガラス	150	Al	300	300
3-87	AlN	ネジ	150	Al	300	300
3-88	AlN	ネジ	150	Al	299.5	300
3-89	AlN	ネジ	150	Al	300	300.5
3-90	AlN	一体型	150	Al	300	300.5
3-91	Si ₃ N ₄	ガラス	150	Al	300	300
3-92	Al ₂ O ₃	ガラス	150	Al	300	300
3-93	Al ₂ O ₃	嵌め込み	150	Al	300	300
3-94	SiC	ガラス	150	Al	300	300
3-95	Ni	叩材	150	Al	300	300
3-96	W	叩材	150	Al	300	300
3-97	W	嵌め込み	150	Al	300	300
3-98	Mo	叩材	150	Al	300	300
3-99	ステンレス	ネジ	150	Al	300	300

10

20

30

【 0 1 1 4 】

【表 4 5】

試験結果

ヒータ材質：3（窒化アルミニウム）

試料	使用温度(°C)		加熱時柱状体間距離差	気密性	均熱性(%)	備 考
	ヒータ	容器				
3-80	500	95	0.02mm	◎	±0.2	良好
3-81	850	150	0.11mm	◎	±0.2	
3-82	850	145	0.15mm	◎	±0.2	
3-83	850	145	0.15mm	◎	±0.2	
3-84	850	—				Oリング破損
3-85	800	50	0.73mm	○	±0.4	強制水冷
3-86	500	180	0.57mm	○	±0.4	
3-87	800	50	0.73mm			強制水冷、柱状体破損
3-88	850	50	0.30mm	◎	±0.4	
3-89	850	50	0.30mm	◎	±0.4	
3-90	850	50	0.30mm	◎	±0.4	
3-91	850	110	0.39mm	○	±0.3	
3-92	850	120	0.32mm	○	±0.3	
3-93	850	118	0.33mm	○	±0.3	
3-94	850	200	0.23mm	◎	±0.4	
3-95	850	—				柱状体取付時破損
3-96	500	170	0.50mm	○	±0.4	
3-97	500	167	0.48mm	○	±0.4	
3-98	500	170	0.50mm	○	±0.4	
3-99	500	105	0.05mm	◎	±0.3	

10

20

30

【0 1 1 5】

実施例 2

実施例 1 で使用した試料 3 - 1 のウエハー保持体を準備した。これにステンレス製の反射板を取付け、セラミックスヒータを 5 0 0 まで昇温し、その消費電力を測定した。反射板には、筒状体及び / 又は支持体が貫通できるように、直径 1 2 m m の穴が開けられている。また、反射板とセラミックスヒータの間の取付け距離を変えて、消費電力の測定を行った。このときのステンレス板は、厚み 0 . 5 m m 、直径 3 3 0 m m 、表面粗さ R a = 0 . 0 5 μ m であった。その結果を下記表 4 6 に示す。

【0 1 1 6】

【表 4 6】

ヒータ / 反射板間距離(mm)	消費電力(W)
なし	1200
15	850
30	900
50	1050
70	1150
90	1200

40

【0 1 1 7】

50

また、反射板の位置をセラミックスヒータから 15 mm に固定し、反射板の表面粗さを変えたものについて、同じく消費電力を測定した。得られた結果を表 47 に示す。これらの結果から、表面粗さが Ra で 1.0 μm 以下、更には 0.1 μm 以下の反射板を使用し、セラミックスヒータに近い位置に設置することで、消費電力を低減できることが分る。

【0118】

【表 47】

反射板表面粗さ Ra(μm)	消費電力(W)
0.05	850
0.10	900
0.5	950
1.0	1050
3.0	1200

10

【0119】

実施例 3

実施例 1 で使用した窒化アルミニウムヒータに、実施例 1 と同様にムライト製の筒状体と支持体の一端をガラス付けにより取付けた。このとき、筒状体及び支持体のセラミックスヒータ接合面の端面を研磨加工して、セラミックスヒータへの取付角度を変化させることで平行度を変えた。この筒状体と支持体の他端側を、更にアルミニウム製の反応容器に取付け、反応容器内を真空引きし、ヘリウムリークレートを測定した。その結果を下記表 48 に示す。尚、このとき使用したムライト製の筒状体と支持体の O - リング当接面付近における表面粗さは、いずれも Ra 0.3 μm であり、その表面を光学顕微鏡で観察した結果、0.05 mm を超える欠陥がないことを確認した。

20

【0120】

【表 48】

筒状体／支持体平行度(mm)	ヘリウムリークレート(Pam ³ /s)
1.5	容器挿着時破損
1.0	1.0×10^{-7}
0.5	7.0×10^{-9}
0.3	1.0×10^{-9}

30

【0121】

実施例 4

次に、複数のムライト製筒状体について、反応容器へ装着する際の O - リング当接面付近の表面粗さを変え、実施例 1 と同様の手法で一端をセラミックスヒータにガラス付けにより取付け、他端側を反応容器に取付けた後、反応容器内を真空引きし、シール部分のヘリウムリークレートを測定した。その結果を下記表 49 に示す。

【0122】

40

【表 4 9】

表面粗さ Ra(μm)	真空グリース塗布	ヘリウムリークレート(Pam^3/s)
6.0	有り	測定不可
5.0	有り	1.0×10^{-7}
5.0	なし	測定不可
3.0	有り	2.5×10^{-8}
1.0	有り	1.0×10^{-9}
1.0	なし	1.0×10^{-7}
0.5	なし	5.0×10^{-9}
0.3	なし	1.0×10^{-9}
0.2	なし	0.7×10^{-9}

10

【0 1 2 3】

実施例 5

実施例 1 で使用した窒化アルミニウムヒータに対して、実施例 1 と同じムライト製の筒状体を準備した。これらムライト製筒状体の中から、O - リング当接面付近に大きさの異なる欠陥のあるものを選別し、欠陥のないもの共に、これらをそれぞれ窒化アルミニウムヒータにガラス付けした。その後、筒状体の他端側を反応容器に取付け、真空引きした後、O - リング当接面のヘリウムリークレートを測定した。その結果を下記表 5 0 に示す。

20

【0 1 2 4】

【表 5 0】

欠陥直径(mm)	真空グリース塗布	ヘリウムリークレート(Pam^3/s)
1.3	有り	測定不可
1.0	有り	1.0×10^{-7}
1.0	なし	測定不可
0.5	有り	2.0×10^{-8}
0.3	なし	1.0×10^{-7}
0.05	なし	1.0×10^{-9}
なし	なし	1.0×10^{-9}

30

【0 1 2 5】

実施例 6

実施例 1 で使用した窒化アルミニウムヒータに、実施例 1 と同様にムライト製の筒状体と支持体をガラス付けにより取付けた。このとき、筒状体及び支持体のセラミックスヒータ接合面の端面を、研磨加工してセラミックスヒータへの取付角度を変化させることで、セラミックスヒータと反応容器との平行度を変えた。これらのセラミックスヒータをアルミニウム製反応容器に取付け、反応容器内を真空引きし、ウエハーの脱着試験を行った。その結果を下記表 5 1 に示す。

40

【0 1 2 6】

【表 5 1】

ヒータ／容器平行度(mm)	ウエハー装着結果
1.5	装着時落下
1.0	落下なし、ウエハー端面がウエハーポケット端部に乗り上げ
0.5	落下なし、ウエハー端面がウエハーポケット端部に乗り上げ
0.2	落下、乗り上げ共になし
0.1	落下、乗り上げ共になし

【0127】

10

実施例 7

セラミックスヒータの耐食性を比較するため、上記表 1 に示した各セラミックス焼結体に対して表面を研磨した。加工後の各焼結体試料について、以下の要領で実用性を確認した。

【0128】

まず、別途用意した窒化アルミニウム系セラミックスをマトリックスとし、それに W フィラメントを埋設したディスク状ヒータを準備した。次に、このヒータ上に表 1 の各焼結体試料を載せ、13.56 MHz の高周波を用いたプラズマ発生装置の真空チャンバー内に配置した。これらの各焼結体試料を、加熱温度 1000℃、 CF_4 ガスのプラズマ密度 $1.4 W/cm^2$ の環境下で 5 時間処理した。その後、プラズマ照射面のエッチングクレータの密度（走査型電子顕微鏡を用いて観察したとき、表面任意の $1000 \mu m^2$ の視野内に存在する最大口径が $1 \mu m$ 以上のクレータ数）を確認し、その結果を下記表 5 2 に示した。

20

【0129】

【表 5 2】

試料	セラミックヒータ主成分	焼結助剤（添加量）	クレータ数
1	窒化アルミニウム	—	18
2	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (0.05%)	9
3	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (0.5%)	4
4	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (1.0%)	6
5	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (5.0%)	17
6	窒化アルミニウム	Eu_2O_3 (0.5%)	11
7	窒化アルミニウム	Nd_2O_3 (0.5%)	10
8	炭化ケイ素	—	22
9	アルミナ	MgO (0.5%)	25
10	窒化ケイ素	Y_2O_3 (0.5%)	32
11	窒化アルミニウム	Y_2O_3 (3.0%)	13

30

40

【0130】

以上の結果から、耐食性に関しては窒化アルミニウムが優れており、特にその焼結助剤量が 0.05 重量% 以上 1.0 重量% 以下のものが好ましいことが分る。

【0131】

実施例 8

実施例 1 で良好な結果が得られた各ウエハー保持体に関して、それぞれ半導体製造装置に組み込み、プラズマ CVD、減圧 CVD、Low-k 膜焼成、プラズマエッチング、絶縁膜 CVD の各処理を行った。その結果、いずれもウエハーの処理中に、固定筒状体や固定支持体の破損は発生しなかった。中でも Low-k 膜焼成用においては、特に均質な膜質が得られた。

50

【 0 1 3 2 】

実施例 9

次に、本発明における各種構造例について記載する。これらの構造は、各用途や、反応容器の形状などに応じて各種選択できる。例えば図 7 - 1 に示すように、支持体 5 b を反応容器 4 の中央部付近に設置する。このとき支持体 5 b を反応容器 4 に固定しない場合、支持体 5 b をセラミックスヒータ 2 に対して接合しても良いし、接合しなくても良い。また逆に、支持体 5 b を反応容器 4 側に口ウ付けなどの手法で固定し、セラミックスヒータ 2 側では固定しない構造をとることもできる。また、図 7 - 1 や図 7 - 2 に示すように、複数の筒状体 5 c や支持体 5 b を設置し、これによりセラミックスヒータを支持することができる。このとき、筒状体 5 c や支持体 5 b を反応容器 4 に固定しない場合、セラミックスヒータ 2 に対して筒状体 5 c や支持体 5 b を接合しても良いし、接合しなくても良い。また逆に、筒状体 5 c や支持体 5 b を反応容器 4 側に口ウ付けなどの手法で固定し、セラミックスヒータ 2 側とは固定しない構造をとることもできる。尚、このような筒状体 5 c や支持体 5 b をセラミックスヒータに固定しない構造の場合、その筒状体 5 c や支持体 5 b は本発明による関係式を満たす必要はないため、自由な位置に設置することができる。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 3 3 】

【 図 1 - 1 】本発明に係わるウエハー保持体の一具体例であって、反応容器内に設置した状態を示す概略の断面図である。

20

【 図 1 - 2 】本発明に係わるウエハー保持体の別の具体例であって、反応容器内に設置した状態を示す概略の断面図である。

【 図 2 - 1 】本発明に係わるセラミックスヒータと筒状体のガラスによる固定方法を示す概略の断面図である。

【 図 2 - 2 】本発明に係わるセラミックスヒータと支持体のガラスによる固定方法を示す概略の断面図である。

【 図 3 - 1 】本発明に係わるセラミックスヒータと筒状体の口ウ材による固定方法を示す概略の断面図である。

【 図 3 - 2 】本発明に係わるセラミックスヒータと支持体の口ウ材による固定方法を示す概略の断面図である。

30

【 図 4 - 1 】本発明に係わるセラミックスヒータと筒状体のネジ止めによる固定方法を示す概略の断面図である。

【 図 4 - 2 】本発明に係わるセラミックスヒータと支持体のネジ止めによる固定方法を示す概略の断面図である。

【 図 5 - 1 】本発明に係わるセラミックスヒータと筒状体の嵌め込みによる固定方法を示す概略の断面図である。

【 図 5 - 2 】本発明に係わるセラミックスヒータと支持体の嵌め込みによる固定方法を示す概略の断面図である。

【 図 6 - 1 】本発明に係わるセラミックスヒータと筒状体の一体化による固定方法を示す概略の断面図である。

40

【 図 6 - 2 】本発明に係わるセラミックスヒータと支持体の一体化による固定方法を示す概略の断面図である。

【 図 7 - 1 】複数の筒状体や支持体を備えたウエハー保持体の例であって、反応容器内に設置した状態を示す概略の断面図である。

【 図 7 - 2 】複数の筒状体や支持体を備えたウエハー保持体の別の例であって、反応容器内に設置した状態を示す概略の断面図である。

【 符号の説明 】

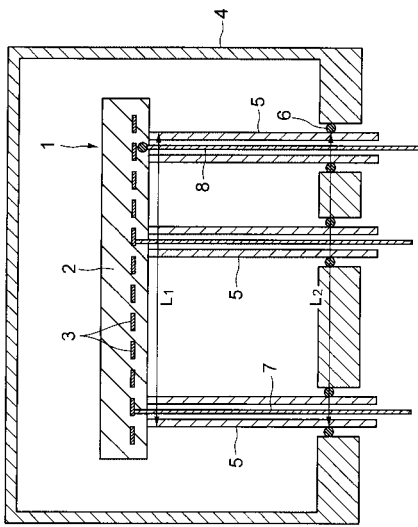
【 0 1 3 4 】

- | | |
|---|-----------|
| 1 | ウエハー保持体 |
| 2 | セラミックスヒータ |

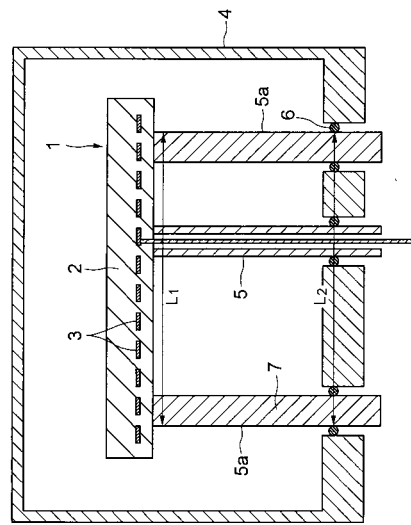
50

- 3 抵抗発熱体
- 4 反応容器
- 5 固定筒状体
- 5 a 固定支持体
- 5 b 支持体
- 5 c 筒状体
- 6 O - リング
- 7 リード
- 8 温度測定素子
- 1 0 ガラス
- 1 1 口ウ材
- 1 2 ネジ止め
- 1 3 ザグリ部

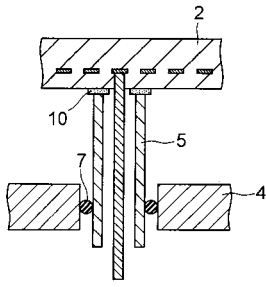
【 図 1 - 1 】



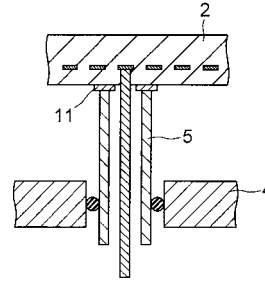
【 図 1 - 2 】



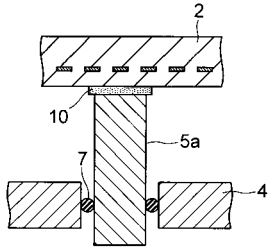
【図 2 - 1】



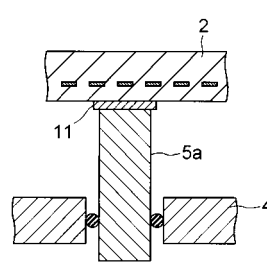
【図 3 - 1】



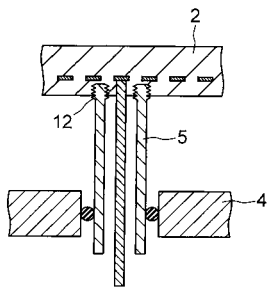
【図 2 - 2】



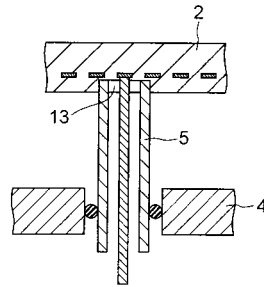
【図 3 - 2】



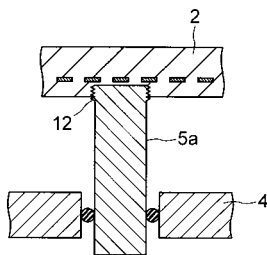
【図 4 - 1】



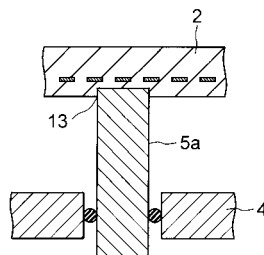
【図 5 - 1】



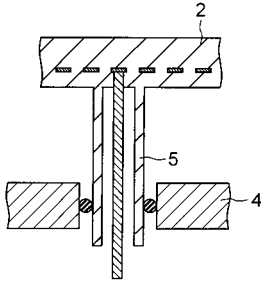
【図 4 - 2】



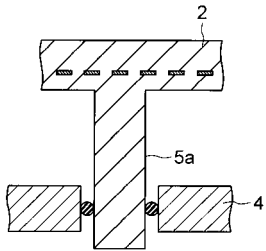
【図 5 - 2】



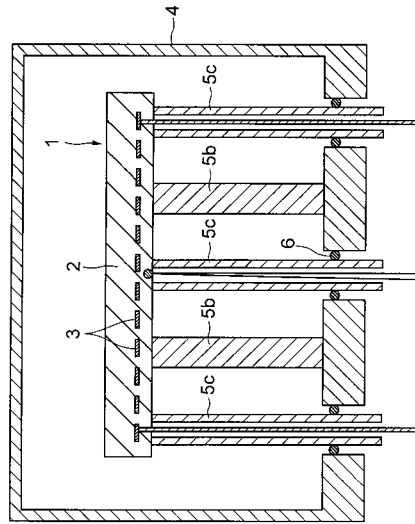
【図 6 - 1】



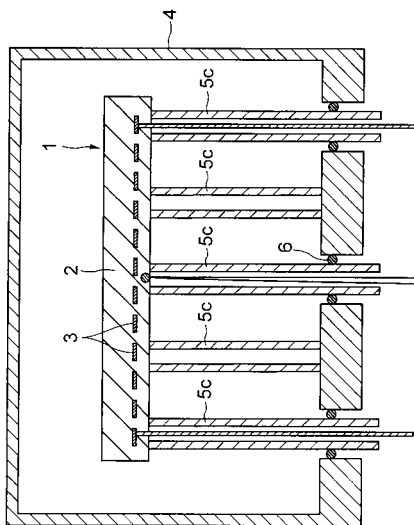
【図 6 - 2】



【図 7 - 1】



【図 7 - 2】



フロントページの続き

(72)発明者 橋倉 学

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

Fターム(参考) 3K092 PP09 QA05 RF03 RF11 VV26 VV31

4K030 CA04 CA12 KA24 KA46 LA12 LA15

5F004 AA01 BA04 BB18 BB26 DA01

5F045 AA06 AA08 BB01 DP02 DQ10 EM01