(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5967859号
(P5967859)

(45)発行日　平成28年8月10日(2016.8.10)　(24)登録日　平成28年7月15日(2016.7.15)

(51)Int.Cl.　　F I
H01L 21/26 (2006.01)　　H01L 21/26　Q
H01L 21/683 (2006.01)　　H01L 21/26　E
　　H01L 21/68　N

請求項の数 18　(全 31 頁)

(21)出願番号　特願2009-536574 (P2009-536574)
(86)(22)出願日　平成19年11月15日 (2007.11.15)
(65)公表番号　特表2010-509780 (P2010-509780A)
(43)公表日　平成22年3月25日 (2010.3.25)
(86)国際出願番号　PCT/CA2007/002070
(87)国際公開番号　WO2008/058397
(87)国際公開日　平成20年5月22日 (2008.5.22)
審査請求日　平成22年11月15日 (2010.11.15)
審判番号　不服2014-23352 (P2014-23352/J1)
審判請求日　平成26年11月17日 (2014.11.17)
(31)優先権主張番号　60/858,946
(32)優先日　平成18年11月15日 (2006.11.15)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(73)特許権者　513011661
マトソン　テクノロジー、インコーポレイテッド
アメリカ合衆国　９４５３８　カリフォルニア、フレモント、ベイサイド　パークウェイ　４７１３１
(74)代理人　110000855
特許業務法人浅村特許事務所
(72)発明者　カム、デーヴィッド、マルコム
カナダ国、ブリティッシュ　コロンビア、バンクーバー、　ウエスト　フォーティーンス　アベニュー　３７５５

最終頁に続く

(54)【発明の名称】熱処理中の被加工物を支持するシステムおよび方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
半導体ウェーハの熱処理の間、前記半導体ウェーハを支持するための装置であって、
非平面上面を有する支持板と、
前記半導体ウェーハの熱処理中、前記半導体ウェーハの初期形状の下面が前記支持板の非平面上面の上に不均一な間隔を置いて支持されるように、前記支持板の上に前記半導体ウェーハを支持し、前記不均一な間隔が、前記半導体ウェーハの外周の下にある縁部隙間と、前記半導体ウェーハの中心軸にある中央部隙間とを含むように構成されている支持システムとを備え、
前記支持板の前記上面の内側領域が全体的に凹状になっており、前記支持板の上面の外側領域が全体的に凸状になっており、かつ前記縁部隙間が前記中央部隙間よりも大きくなっており、それによって、前記支持板の前記非平面上面が、前記半導体ウェーハの外周が前記半導体ウェーハの初期形状に対して急激に下方に動くという前記半導体ウェーハの予想される熱変形形状を補足する形状を有する、装置。
【請求項２】
前記中央部隙間が、１ミリメートル以下であり、前記縁部隙間が、２ミリメートルより大きい、請求項１に記載の装置。
【請求項３】
前記支持システムが、複数の可撓性支持部材を備え、前記複数の可撓性支持部材が、複数の石英ファイバを備える、請求項１又は２に記載の装置。

【請求項４】
前記支持システムが、複数の支持ピンを備える、請求項１又は２に記載の装置。
【請求項５】
前記不均一な間隔が、全体的に凹状の領域の外側の最小値から前記半導体ウェーハの外周で最大値となる半径距離の非減少関数として変化する、請求項１に記載の装置。
【請求項６】
前記支持板の前記上面が、前記半導体ウェーハの熱処理中に前記半導体ウェーハの外周がぶつかるように構成されている接触部を備え、該接触部は、半導体ウェーハの外周が接触部にぶつかった反作用で、半径方向に沿って内側へ向かう成分を有する反応力を半導体ウェーハの外周に加えるように構成されている、請求項１から請求項５のいずれか１項に記載の装置。
【請求項７】
前記接触部が、前記上面の隣接する内側部分に対して角度がついている、請求項６に記載の装置。
【請求項８】
前記半導体ウェーハが前記支持板の上に支持されている場合、前記支持板が、前記上面と前記半導体ウェーハとの間にできる隙間のガス流に抵抗するように構成されているガス流障壁を備える、請求項１から請求項７のいずれか１項に記載の装置。
【請求項９】
前記支持板が、前記支持板の前記上面の少なくとも一部を含む着脱可能部分を備える、請求項１から請求項８のいずれか１項に記載の装置。
【請求項１０】
前記支持板が、下部および上部を備え、前記着脱可能部分が前記上部を備え、前記装置が、異なる形状の上面を有する第２の上部をさらに備え、前記支持板の前記上面の形状を変えるために前記第２の上部を前記上部と交換可能である、請求項９に記載の装置。
【請求項１１】
前記着脱可能部分が、着脱可能端部と、着脱可能中央部とを備える、請求項９に記載の装置。
【請求項１２】
前記縁部隙間と前記中央部隙間が、調整可能である、請求項１から請求項１１のいずれか１項に記載の装置。
【請求項１３】
前記支持板が、前記支持板を通って前記半導体ウェーハに伝達される電磁放射に対して、所望のレンズ効果を提供するように構成されているレンズ部を備える、請求項１から請求項１２のいずれか１項に記載の装置。
【請求項１４】
前記縁部隙間が、前記中央部隙間の少なくとも２倍である、請求項１から請求項１３のいずれか１項に記載の装置。
【請求項１５】
前記縁部隙間が、３ミリメートルである、請求項１４に記載の装置。
【請求項１６】
前記中央部隙間が、１．２×１０$^{-3}$ｍから２．５×１０$^{-3}$ｍの範囲である、請求項１に記載の装置。
【請求項１７】
前記中央部隙間が、１．５ミリメートルである、請求項１６に記載の装置。
【請求項１８】
半導体ウェーハの熱処理中、前記半導体ウェーハを支持する方法であって、
半導体ウェーハの熱処理中、前記半導体ウェーハの初期形状の下面が支持板の非平面上面の上に不均一な間隔を置いて支持されるように、前記支持板の前記非平面上面の上に前記半導体ウェーハを支持することを含み、前記不均一な間隔が、前記半導体ウェーハの外

周の下にある縁部隙間と、前記半導体ウェーハの中心軸にある中央部隙間とを含む方法であって、
前記支持板の前記上面の内側領域が全体的に凹状になっており、前記支持板の上面の外側領域が全体的に凸状になっており、かつ前記縁部隙間が前記中央部隙間よりも大きくなっており、それによって、前記支持板の前記非平面上面が、前記半導体ウェーハの外周が前記半導体ウェーハの初期形状に対して急激に下方に動くという前記半導体ウェーハの予想される熱変形形状を補足する形状を有する、
方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、熱処理に関し、特に、熱処理中の被加工物を支持するためのシステムおよび方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
多くの用途で被加工物の熱処理を行う。例えば、マイクロプロセッサなどの半導体チップの製造において、被加工物は、通常、焼きなまし又は他の熱処理を目的として熱処理チャンバ内で支持される半導体ウェーハを含む。共通所有の米国特許出願第１１／０１８，３８８号（公開ＵＳ２００５／０１３３１６７号。参照により本明細書に組み込むものとする）では、このような半導体ウェーハの焼きなましのための熱処理技術の例が説明されている。その中で、ウェーハはまず中間温度まで予熱され、その後、上面すなわちデバイス面が急速に焼きなまし温度まで加熱される。初期予熱段階は、ウェーハを通じての熱伝導時間よりも大幅にゆっくりした速度で行われ、アーク灯または他の照射装置でウェーハの裏面すなわち基板面を照射して、例えば、毎秒４００℃未満の温度変化速度でウェーハを加熱することによりこれを達成することができる。次の表面加熱段階はウェーハを通じての熱伝導時間よりも短時間に行われ、デバイス面だけが最終焼きなまし温度にまで加熱されて、ウェーハの大部分はこれより低い、中間温度に近い温度のままとなる。このような表面加熱は、デバイス面をフラッシュランプまたはフラッシュランプの列からの高出力照射フラッシュに露光することにより達成される。フラッシュは、例えば、１ミリ秒など、比較的短い時間だけ継続する。次に、ウェーハの低温部分がヒートシンクとして働き、デバイス面の急速な冷却が容易になる。
【０００３】
この焼きなまし法は、ウェーハのデバイス面を急速に加熱してウェーハの大部分よりも相当に高い温度にするというもので、デバイス面を、ウェーハの他の部分よりも高い率で熱的に膨張させる傾向がある。デバイス面温度とウェーハの大部分の温度との温度差の大きさにより、これは、「熱湾曲」をひき起こす傾向がある。これにより通常は平面のウェーハそれ自身が、熱で変形した形状になってしまう。デバイス面の加熱段階の強度と速度により、熱で変形した形状は、ウェーハの中央がその端部領域に比べて急速に上昇する傾向があることから、ドーム状の特質を有することがある。熱湾曲により、被加工物の外周部分または縁（例えば、直径３０ｃｍのウェーハの外側の２ｃｍか４ｃｍ）が下方向に鋭く巻くこともあり、そうして、熱で変形した形状も、フリスビー（商標）飛行円盤に似たソーサー型の特質を有することがある。実際には、当該熱サイクルの物理的パラメータによって異なるものの、一部の用途では後者の被加工物外周での巻き込み効果は、前者の被加工物全体のドーム状の湾曲よりも顕著となる傾向があることがわかった。熱による変形形状は、ウェーハの応力構成が低減されたことを示しており、デバイス側とウェーハの大部分との間での温度勾配の結果としての熱応力を低下させるため、このような熱に誘発される動きを厳密に防止することは望ましくない。
【０００４】
ウェーハのデバイス面の加熱速度が急速である（例えば、１ミリ秒のフラッシュが光る

間など、ウェーハ内の典型的な熱伝導時間よりずっと急速に）ため、ウェーハの変形が急速に生じ、その縁部が急に下がる傾向がみられるほどである。ウェーハが縁近くで従来の支持ピンに支えられている場合、ウェーハの熱湾曲により、支持ピンには大きな下方向の力がかかり、ピンとウェーハの両方を損傷または破壊する潜在的可能性がある。このような力により、ウェーハが支持ピンより上方向に垂直に飛び出すこともあり、ウェーハが落ちてきてピンにぶつかる際にウェーハにさらに損傷を与える結果となることがある。ウェーハがもっと半径方向に沿って内側にある支持ピンに支えられていた場合、ウェーハの縁部は急速に下方向へ曲がり、ウェーハがその上に支持されている支持板にぶつかって、ウェーハを損傷または破損する潜在的可能性がある。さらに、このような熱湾曲が急に生じるために、ウェーハの様々な領域に伝わる初期速度により、ウェーハが平衡を保つ最小応力形状を超えてしまい、急に発振または振動することで応力が高まり、ウェーハを損傷または破損する潜在的可能性が生じることになる傾向がある。

【０００５】

上記米国特許出願公開第ＵＳ２００５／０１３３１６７号には、とりわけ、熱に誘発された被加工物の動きを抑えるための方法及び装置が開示されている。上記方法の１つでは、減衰部材が、被加工物から離れた位置に配置され、被加工物の動きの勢いをそぐための減衰力をかける構成になっている。特に例示的実施形態では、減衰部材は石英板を含み、被加工物は半導体ウェーハを含み、石英板は、ウェーハの初期位置または休止位置から、石英板とウェーハとの間のガス圧力が熱に誘発された被加工物の動きに対抗できる程度に短い距離だけ離れた位置にある。例えば、石英板とウェーハは約１ミリメートルの距離しか離れていない位置にあってもよい。このような場合、照射フラッシュによりウェーハの中央領域が急速に石英板から浮き、これによりウェーハと板との間の隙間にガス圧力の低い領域を作り出す。それ故、ウェーハの上の高い周囲圧力とウェーハの下の隙間の低い圧力との間に圧力の差が作り出され、これが、ウェーハの浮きを抑えようとする傾向がある。逆に、ウェーハの中央領域が下へ戻り、平衡位置を越えてしまう場合、これによりウェーハと板との間の隙間の圧力がウェーハの上の周囲圧力よりも高くなり、ウェーハが発振または振動するとき、その圧力差が継続的にウェーハの動きに対抗する。それ故、ウェーハと減衰部材との間の損傷をひき起こす潜在的可能性のある物理的な接触を必要とすることなく、ウェーハの動きおよび振動を減衰させる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００６】

【特許文献１】米国特許出願第１１／０１８，３８８号

【特許文献２】米国特許出願公開第ＵＳ２００５／０１３３１６７号

【特許文献３】同時係属米国特許出願第１０／７４２５７５号

【特許文献４】米国特許出願第ＵＳ２００４／０１７８５５３号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

本発明者は、ウェーハの損傷または破損の尤度をさらに低減するには、ウェーハを熱で変形させてその内部の熱応力を低減させながら、熱に誘発される動きおよび振動の緩和をさらに改善することが望ましいと認識した。

【０００８】

さらに、本発明者は、また、特定の熱処理装置で行われる連続的な熱サイクルの反復性または一貫性に対する「第１のウェーハ」効果およびその衝撃の重要性も認めた。この点について、制振板とウェーハとの間隔が狭いこと（例：１ｍｍ）により、制振板とウェーハとの間の圧力を利用して熱に誘発されるウェーハの動きおよび振動を抑える、ＵＳ２００５／０１３３１６７号に開示するものに類似の熱処理システムでは、板とウェーハとの間の熱伝導が、間隔をもっと広くしているシステムの場合よりも、相当に重要である。このような装置で第１のウェーハの熱処理を開始する前には、石英板は当初、低温であり、

その周囲と熱平衡状態にある。熱処理が開始されると、石英板は熱くなるが、通常、均一には熱くならない。むしろ、１つには板とウェーハの両方の縁部効果により、板に熱勾配が生じ、板の中央領域が最も高温となり、その外側縁部に向けて半径方向に沿って外向きに移動するに従って、徐々に温度が低くなる。板は最初のサイクル全体を通じてウェーハよりも温度が低く、板がサイクルを何度も繰返して熱くなっても、ウェーハの熱サイクルの開始を除いて、すべてを通じてウェーハよりも低温となる。ウェーハと板との間の熱伝導は両者間の温度差に比例し、両者間の距離または間隙に逆比例する。それ故、板とウェーハとの間の間隔が均一であっても、熱いウェーハと低温の板との間の温度差が中央よりも外側領域で大きければ、板は、ウェーハの中心部からよりも、ウェーハの外側領域から、さらに熱エネルギーを伝導的に奪う。これはウェーハ自身の望ましくない熱勾配の一因となり、ウェーハに熱応力および潜在的な応力による損傷をひき起こすことがある。この効果は、ウェーハが支持板から遠く離される従来のシステムでは重要性が低い（この場合、板とウェーハの間では放射伝達よりも伝導の方が重要性が低くなる）かもしれないが、板とウェーハとの間隔を近くして（例：１ｍｍ）両者の間の圧力を使って熱により誘発されるウェーハの動きおよび振動を抑えようとするシステムでは非常に重要になる場合がある。後者の種類のシステムでは、ウェーハと板との間の間隔が狭いことから、ウェーハと板との間の総熱伝達に関して、熱伝導が、放射伝達と同等か、または放射伝達よりも大きくなる場合がある。従って、このような間隔の狭いシステムでは、板の不均一な温度分布に由来するウェーハからの不均一な伝導熱損失は、非常に大きな熱勾配を生じる傾向があり、これに対応して熱応力も大きくなる。こうした望ましくない効果は、通常、多数の熱サイクルに渡って繰返される傾向があり、それにより、板が最終的に熱平衡に至るまで、多数の連続するウェーハをこのような熱応力および潜在的な損傷にさらすことになる。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

本発明の例示的実施形態によれば、被加工物の熱処理中に被加工物を支持するための装置が提供される。この装置は、非平面上面を有する支持板と、支持システムとを含む。支持システムは、被加工物の熱処理中に、被加工物の初期形状の下面が支持板の非平面上面の上に不均一な間隔を置いて支持されるように、被加工物を支持板の上に支持するように構成され、上記不均一な間隔は、被加工物の外周の下にある縁部隙間と、被加工物の中心軸にある中央部隙間とを含む。

【００１０】

都合のよいことに、支持板の非平面上面と被加工物との間にこのように不均一な間隔を置くと、被加工物の初期形状から均一の間隔を置いた平面支持板を用いる従来のシステムに比べて、多数の利点を得ることができる。例えば、被加工物が半導体ウェーハである実施形態では、非平面形状と、これに対応する被加工物の初期形状からの不均一な間隔とは、支持板に不均一な温度分布が存在すると予想されるとき、被加工物全体にわたって熱損失率の場所によるばらつきを最小限にし、それにより「第１のウェーハ」効果に取り組むように構成することができる。代替的にまたは追加的に、非平面形状は、被加工物が予想される熱変形形状に変形する際の被加工物と支持板との間の接触を制御し、それにより被加工物の物理的な損傷または破損を防止するように構成することができる。代替的にまたは追加的に、上面を、被加工物の予想される熱変形形状との間に、被加工物と板との間の圧力が熱に誘発される被加工物の動きに対抗できるくらいに小さな距離を置き、それにより、被加工物を熱で変形させて内部応力を低減させながら、熱に誘発される被加工物の振動を減衰させ、それ故、さらに被加工物の損傷の尤度を低減するように構成することができる。

【００１１】

同様に、このような実施形態は、非平面支持体を使用する従来のシステムに比べて重要な利点をもたらすことができる。例えば、最近発表された方法では、ウェーハの外周端部を環状の段に載せ、ウェーハの中央領域は環状の段に囲まれた凹状のくぼみの上に支持することにより、半導体ウェーハを支持するという意味である。しかし、フラッシュ加熱中

にウェーハを直接、剛性の環状段の上に載せておくと、破損または損傷をひき起こす可能性がある。何故なら、初期熱湾曲により、ウェーハが非常に大きな下向きの力を、剛性の環状段に支えられている外周部分にかけることになるためである。結果として、ウェーハは、特にフラッシュの開始後の最初の数百マイクロ秒の間、過度の熱応力にさらされることになる。ウェーハは、熱的に変形することができるようにして内部応力を低減させるため、垂直に飛び上がることすらあり、ウェーハが自ら飛び上がって改めて着地する時に、破損または損傷のリスクが高まる。

【００１２】

都合のよいことに、縁部隙間の存在により、被加工物の外周と支持板との間の接触を制御して、ウェーハがまず熱的に湾曲することにより応力を削減するが、空中には飛び上がらないようにすることができる。本明細書にさらに詳しく説明されるように、このような縁部隙間の存在により、破損または損傷の尤度をさらに低減するために、衝撃に由来する衝撃波の大きさとタイミングを制御することもできる。

【００１３】

縁部隙間は、約3×10^{-4}ｍから約1.2×10^{-3}ｍの範囲とすることができる。例えば、縁部隙間は約０．５ミリメートルとすることができる。

【００１４】

中央部隙間は、約1.2×10^{-3}ｍから2.5×10^{-3}ｍの範囲とすることができる。

【００１５】

支持システムは、複数の可撓性支持部材を含むことができる。例えば、複数の可撓性支持部材は、複数の石英ファイバを含むことができる。

【００１６】

別の方法としては、支持システムは、複数の支持ピンを含むことができる。

【００１７】

縁部隙間と中央部隙間は不均一であってもよい。例えば、縁部隙間は中央部隙間より大きくすることができる。より詳細な例としては、縁部隙間は中央部隙間の少なくとも２倍、または少なくとも３倍の大きさとすることができる。別の方法としては、中央部隙間を縁部隙間よりも大きくすることができる。

【００１８】

不均一な間隔により、不均一な温度分布が支持板に存在すると予想される際に、被加工物全体にわたって熱損失率の場所によるばらつきを最小限にすることができる。

【００１９】

不均一な間隔は、一般に、半径距離の非減少関数として変化することがある。例えば、不均一な間隔は、被加工物の中心軸からの半径距離の閾値未満でほぼ一定とすることができ、また一般に、被加工物の半径距離の閾値から半径までの半径距離の関数として増大させることができる。

【００２０】

例えば、中央部隙間を約１ミリメートル以下とし、縁部隙間を約２ミリメートルより大きくすることができる。

【００２１】

支持板の非平面上面を、被加工物の予想される熱変形形状を補う形状とすることができる。

【００２２】

例えば、支持板の上面の少なくとも一部を、全体的にドーム状とすることができる。さらに別の例として、支持板の上面の少なくとも一部を全体的にソーサー型とすることができる。別の例では、支持板の上面の少なくとも一部を全体的に円錐台形状とすることができる。

【００２３】

支持板の上面の内側領域を全体的に凹状とし、支持板の上面の外側領域を全体的に凸状

とすることができる。
【００２４】
支持板の上面を中心軸から被加工物の外周へ、外向き且つ下向きに延びることができる。
【００２５】
支持板の上面は、被加工物の熱処理中に被加工物外周がぶつかるように構成されている接触部を含むことができる。接触部は、被加工物の外周が接触部にぶつかった反作用で、半径方向に沿って内側へ向かう構成要素を有する反応力を被加工物の外周に加えるように構成することができる。接触部は上面の隣接する内側部分に対して角度をつけることができる。
【００２６】
支持板の上面は、被加工物の予想される熱変形形状から、上面と被加工物の予想される熱変形形状との間のガス圧力が熱に誘発された被加工物の動きに対抗できるくらいに短い距離だけ離して配置するように構成することができる。例えば、支持板の上面は、被加工物の予想される熱変形形状から、１ミリメートル程度の間隔を置くように構成することができる。
【００２７】
支持板は、被加工物が支持板の上に支持されている場合、上面と被加工物との間にできる隙間のガス流に抵抗するように構成されているガス流障壁を含むことができる。
【００２８】
ガス流障壁は、乱流発生装置とすることができる。例えば、乱流発生装置は支持板の上面に画定される環状流路を含むことができる。
【００２９】
支持板は、支持板の上面の少なくとも一部を含む着脱可能部分を含むことができる。例えば、支持板が下部および上部を含み、着脱可能部分が上部を含むことができる。
【００３０】
装置はさらに、異なる形状の上面を有する第２の上部を含み、支持板の上面の形状を変えるために第２の上部を上部と交換可能とすることができる。
【００３１】
装置はさらに、それぞれ独自の形状の上面を有する複数の上部を含み、複数の上部のそれぞれを、支持板の上面の形状を変えるために交換可能とすることができる。
【００３２】
着脱可能部分は、着脱可能端部と着脱可能中央部とを含むことができる。
【００３３】
縁部隙間と中央部隙間は調整可能である。
【００３４】
支持板は、支持板を通って被加工物に伝達される電磁放射に対して、所望のレンズ効果を与える構成のレンズ部を含むことができる。
【００３５】
装置は、装置が被加工物の初期形状を支持するように構成されている平面よりも上に配置された第２の板をさらに含むことができる。
【００３６】
装置は、被加工物の動きを熱により誘発するように構成されている熱処理システムをさらに含むことができる。例えば、熱処理システムは、被加工物を中間温度まで予熱する構成とし、被加工物の表面領域のみを中間温度よりも高い所望の温度まで、被加工物の熱伝導時間よりも短時間で加熱するように構成することができる。
【００３７】
本発明を説明する別の実施形態によれば、被加工物の熱処理中、被加工物を支持するための装置が提供される。この装置は、非平面上面を有する支持板を含む。装置はさらに、被加工物の熱処理の間、被加工物の初期形状の下面が支持板の非平面上面の上に不均一な

間隔を置いて支持されるように被加工物を支持板の上に支持する手段を含み、不均一な間隔は、被加工物の外周の下の縁部隙間と、被加工物の中心軸のところの中央部隙間とを含む。

【００３８】

本発明を説明する別の実施形態によれば、被加工物の熱処理中に、被加工物の初期形状の下面が支持板の非平面上面の上に不均一な間隔を置いて支持されるように、支持板の非平面上面の上に被加工物を支持することを含む方法が提供され、不均一な間隔は、被加工物の外周の下にある縁部隙間と、被加工物の中心軸にある中央部隙間とを含む。

【００３９】

例えば、縁部隙間は約３×１０$^{-4}$ｍから約１．２×１０$^{-3}$ｍの範囲とすることができ、中央部隙間は約１．２×１０$^{-3}$ｍから約２．５×１０$^{-3}$ｍの範囲とすることができる。

【００４０】

支持には、複数の石英ファイバによる被加工物の支持を含めることができる。

【００４１】

支持には、熱による被加工物の動きの誘発を含めた被加工物の熱処理の間の被加工物の支持を含めることができる。例えば、熱で誘発される被加工物の動きには、被加工物の表面領域だけを被加工物の熱伝導時間よりも短時間に所望の温度まで加熱し、それにより被加工物を初期形状から熱変形形状に変形することを含めることができる。

【００４２】

不均一な間隔により、予想された不均一な温度分布が支持板に存在する場合、被加工物全体にわたって熱損失率の場所によるばらつきを最小限とすることができる。

【００４３】

支持には、被加工物の熱変形形状を、上面と被加工物の熱変形形状との間のガス圧力が熱で誘発された被加工物の動きに対抗できるだけの短い距離を置いて支持板の上面の上に支持することを含めることができる。

【００４４】

本発明の他の態様および特徴は、添付の図面を参照しながら、本発明の特定の実施形態についての以下の説明を検討すれば、通常の当業者には明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【００４５】

本発明の実施形態を説明する図面は以下の通り。

【００４６】

【図１】本発明の第１の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図２Ａ】被加工物の初期形状の略断面図である。
【図２Ｂ】被加工物の１つの熱変形形状の略断面図である。
【図２Ｃ】被加工物の１つの熱変形形状の略断面図である。
【図２Ｄ】被加工物の１つの熱変形形状の略断面図である。
【図２Ｅ】被加工物の１つの熱変形形状の略断面図である。
【図３】被加工物の破損と熱サイクルの時間とのグラフである。
【図４】本発明の第２の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図５】本発明の第３の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図６】本発明の第４の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図７】本発明の第５の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図８】本発明の第６の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図９】本発明の第７の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図１０】本発明の第８の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図１１】本発明の第９の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図１２】本発明の第１０の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図１３】本発明の第１１の実施形態による被加工物支持装置の正面立面図である。

【図１４】本発明の第１２の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【図１５】本発明の第１３の実施形態による被加工物支持装置の中央断面図である。
【発明を実施するための形態】

【発明を実施するための形態】
【００４７】
図１を参照すると、本発明の第１の実施形態による熱処理中の被加工物を支持するための装置の全体を１０に示す。装置１０は、全体を１４として示す非平面上面を有する支持板１２と、全体を１５として示す支持システムとを含む。この実施形態では、支持システム１５は被加工物の熱処理中、被加工物１０６を支持板１２の上に、被加工物１０６の初期形状１１０の下面２０が支持板１２の非平面上面１４の上に不均一な間隔を置いて支持されるように支持するように構成されている。より詳細には、この実施形態では、不均一な間隔は、被加工物の外周の下の縁部隙間２４と、被加工物の中心軸のところにある中央部隙間２６とを含む。
【００４８】
この実施形態では、被加工物１０６は半導体ウェーハを含み、支持板１２は石英板を含む。より詳細には、この実施形態では、半導体ウェーハを、熱処理中、熱により被加工物の動きを誘発するような形で支持板の上に支持しようとしている。より詳細には、すでに説明したように、支持板１２の上に支持されている間に、被加工物１０６はまず中間温度まで予熱され、その後、被加工物の上面１８だけが、被加工物の熱伝導時間より短時間に、中間温度より高い所望の温度まで加熱される。すでに説明したとおり、このような熱処理により、被加工物１０６は初期形状１１０から熱により変形して予想される熱変形形状となる。
【００４９】
より詳細には、図１および図２Ａから図２Ｅを参照すると、この実施形態では、被加工物１０６の初期形状は、図２Ａにその全体を１１０として示している。本実施形態では、被加工物の初期形状は円板状である。より詳細には、この実施形態では、被加工物１０６は直径３００ｍｍの半導体ウェーハであって、その初期形状１１０は平板状の円板であり、ウェーハの予想される熱変形形状を４例、図２Ｂから図２Ｅにそれぞれ示している。
【００５０】
この実施形態では、図２Ｂから図２Ｅに示す４通りの予想される熱変形形状は、本発明者により予測されていた。より詳細には、そのような予測は、被加工物１０６に類似した直径３００ｍｍの半導体ウェーハを被加工物１０６と同じ熱サイクルにさらし、その変形特性を測定するためのハイスピードカメラおよび較正画像システムを用いて達成した。代替的にまたは追加的に、図２Ｂから図２Ｅに示す様々な予想される熱変形形状を、開発された有限要素モデルを使い、熱シミュレーションを用いて生成することができる。図２Ｂから図２Ｅに示す熱変形形状の詳細な知識は、本特許明細書の公開以前には当業分野において知られていなかったと信ずる。
【００５１】
図２Ａから図２Ｅを参照すると、例示としての熱サイクルは、被加工物１０６を中間温度に予熱し、次に被加工物１０６の上面１８だけを中間温度よりも高い所望の温度まで加熱することを含む。後者の表面加熱ステップは、被加工物を通じての熱伝導時間よりも短い時間で行い、例えば、フラッシュランプまたはフラッシュランプの列を起動することにより達成することができる。当初、被加工物１０６がフラッシュランプからの照射に曝される場合、これは図２Ａに示すような平板状の初期形状１１０である。照射フラッシュは時間ｔ＝０に開始され、継続時間は１ミリ秒程度である。
【００５２】
図２Ａから図２Ｅに示す例示としての熱サイクルは、以下の通りである。
・照射フラッシュの開始後ｔ＝０．８ｍｓまでに、被加工物１０６は熱により「曲がる」。すなわち、図２Ｂに示す第１の熱変形形状３０に変形する。

・照射フラッシュの開始後ｔ＝１．５ｍｓまでに、被加工物は図２Ｃに示す第２の熱変形形状３２に熱により変形する。
・照射フラッシュの開始後ｔ＝２．０ｍｓまでに、被加工物は図２Ｄに示す第３の熱変形形状３４に熱により変形する。
・照射フラッシュの開始後ｔ＝２．５ｍｓまでに、被加工物は、図２Ｅに示す第４の熱変形形状３６に熱により変形する（ｔ＝４．５ｍｓでもおおむねこの形状となる）。

【００５３】

別の方法としては、別の熱サイクルではこれとは異なる熱変形形状も予想することができる。それ故、熱サイクルのパラメータの変化（例えば、照射フラッシュのパルス継続時間および強度など）により、測定され、シミュレーションされ、予想される様々な熱変形形状を得ることができる。

【００５４】

図３は、破損を低減するために本発明の実施形態を利用していない例示としての熱サイクルについての、時間の経過に伴う被加工物の破損を示している。

【００５５】

図２および図３を参照すると、本発明者は、被加工物の破損が大きく２つに分類される傾向があるとわかった。本発明者はこれをタイプＩおよびタイプＩＩの破損として分類した。

【００５６】

例示としての熱サイクルでは、タイプＩの破損が大部分の破損の原因となっており、フラッシュ開始からｔ＝１ミリ秒からｔ＝１．５ミリ秒の間の、被加工物１０６が図２Ｂに示す第１の熱変形形状３０から図２Ｃに示す第２の熱変形形状３２に遷移している時に発生する傾向がある。この点について、第２の熱変形形状３２では上面１８の熱膨張からの応力を和らげるように突出するのではなく、むしろ被加工物の中央領域３３がくぼんで、中央領域３３で上面１８を圧迫している。それ故、被加工物の中央領域３３には、上面１８の急速な熱膨張と、中央領域３３の第２の熱変形形状３２の曲面に由来する圧迫との両方から、相当の応力がかかる。被加工物１０６の外縁でここまでに生じた初期衝撃からの上面１８に対する強い衝撃波が、第２の熱変形形状３２になっているときの中央領域３３を通って広がっていくと、タイプＩの破損が生じる尤度が増す。本発明者は、例えば、引っかき傷などのウェーハの損傷があると、タイプＩの破損の尤度が大幅に増大することも見出した。具体例として、ウェーハ底面の領域に損傷のあるウェーハが凹状の湾曲を経験すると熱膨張の応力が増大する。あるいは、ウェーハ底部に損傷があると、これが石英板に衝撃を与え、破損の尤度が高まる。

【００５７】

タイプＩＩの破損は、被加工物１０６が図２Ｅに示す第４の熱変形形状３６になっているときに発生する傾向があった。この形状では、被加工物１０６は、突出した曲面が上面１８の熱膨張に由来する中央領域３３への応力を緩和している第３の熱変形形状３４（図２Ｄに示す）から、くぼんだ曲面が上面１８を圧迫して熱膨張応力を増大させる第４の熱変形形状３６に変化したところである。被加工物の中央領域３３がこの第４の熱変形形状３６である間に十分な力で支持板１２にぶつかった場合、タイプＩＩの破損が生じる尤度が高まる。

【００５８】

もう一度図１を参照すると、都合のよいことに、本実施形態では、タイプＩ、タイプＩＩの両方の破損の尤度を、縁部隙間２４と中央部隙間２６の選択のおかげで軽減している。こうした隙間は、本実施形態では不均一になっている。

【００５９】

より詳細には、本実施形態ではタイプＩの破損を低減するために、縁部隙間２４は約3×10^{-4}ｍから約1.2×10^{-3}ｍの範囲内にある。さらに詳しく言うと、この実施形態では、縁部隙間２４は、約０．５ミリメートルである。この点について、本発明者は、照射フラッシュに反応してウェーハが最初に熱により曲がったときに、こうした縁部隙

間が被加工物１０６の外周の初期衝撃に由来する支持板１２に対する衝撃波の大きさおよびタイミングを制御するのに役立つことを発見した。縁部隙間２４が大きすぎると、被加工物１０６の外周は支持板１２にまったくぶつからないかもしれない。従来の通念では、熱処理中のシリコンウェーハと他の物体との物理的接触は望ましくないとされていたが、本発明者は、熱サイクルによっては、支持板に対する被加工物の外周のこの初期衝撃を避けることによって、不都合なことに、ウェーハの全体的な変形が大きくなり、タイプＩおよびタイプＩＩの破損の尤度が高まることに気づいた。逆に、縁部隙間が小さすぎるか、縁部隙間がまったくないと、被加工物は非常に大きな機械的応力を最初の数百マイクロ秒の間に受けることになり、被加工物が剛性面または剛性支持体に支えられていた場合、被加工物の初期熱湾曲は、被加工物をまっすぐ上に放り出してしまうほど激しくなることがあり、被加工物が飛び出してまた落ちて戻る時に損傷する有意の尤度を有する。

【００６０】

従って、本実施形態では、約３×１０$^{-4}$ｍから約１．２×１０$^{-3}$ｍの範囲の縁部隙間２４、またはより詳細には、約０．５ミリメートルの縁部隙間２４を選択すると都合がよく、タイプＩの破損の尤度が低くなる。例示としての熱サイクルについては、本発明者は、このような縁部隙間２４により、被加工物１０６の外周が、他の場合であれば照射フラッシュにより誘発された熱湾曲速度の最高点となったはずの速度に達するいくぶん前に支持板の上面１４にぶつかる結果となる傾向があることに気づいた。それ故、被加工物外周が支持板の上面に与える初期衝撃は、都合のよいことに被加工物全体の動きを減衰させ、それによりこのような衝撃がない場合に比べてタイプＩ、タイプＩＩの破損の尤度を低減する。この初期衝撃は被加工物中に衝撃波を発生させるが、この衝撃波は、衝撃発生時点までに外周が最高可能速度に達していた場合に想定されるほどは強くない。また、縁部隙間２４は、結果として生じる衝撃波が、被加工物が図２Ｃに示す第２の熱変形形状３２ではないときに被加工物の中央領域３３を通るようなタイミングで必ず衝撃が生じるように選択する。それ故、タイプＩの破損の尤度は大幅に低減する。別の方法としては、最適な縁部隙間は、特定の熱サイクル、被加工物および当該装置によって決まることが認められる。それ故、他の例または実施形態については、全体的な被加工物の動きを弱めること、衝撃波の苛烈さを減じること、および衝撃波のタイミングを制御することの望ましいバランスを達成するために、本明細書の教示に従って他の最適値が選択される場合がある。

【００６１】

「タイプＩＩ」の破損の尤度を低減するため、本実施形態では、中央部隙間２６は、約１．２×１０$^{-3}$ｍから約２．５×１０$^{-3}$ｍの範囲とする。より詳細には、この実施形態では中央部隙間２６は約１．５ミリメートルとする。この点について、本発明者は、このような中央部隙間２６は、例示としての熱サイクルで有利であることに気づいた。これにより、ガス圧力の減衰と、被加工物１０６の中央領域３３と支持板１２との間の接触の激しさを抑えることとの所望のバランスを達成することができるからである。上記共通所有している米国特許出願公開第２００５／０１３３１６７号に詳細に説明されているように、ガス圧力の抑制には、支持板１２の上面と被加工物１０６の下面２０との間のガス圧力が熱により誘発された被加工物の動きに対抗できるくらいの短い距離だけ、被加工物を支持板から離して配置することが必要である。そして、中央部隙間２６が増大するにつれて、これに関連するガス圧力抑制効果が弱まり、それにより全体的な被加工物の動きが大きくなって、破損（タイプＩまたはＩＩ）の尤度が高まることになる。しかし逆に、中央部隙間２６が大きくなれば、中央領域の衝撃の苛烈さまたは頻度が低くなり、それにより、少なくともそうした衝撃の結果として起こったはずの一部のタイプＩＩの破損は防止できる。従って、本実施形態の例示としての熱サイクルについて、本発明者は、約１．２×１０$^{-3}$ｍから約２．５×１０$^{-3}$ｍの範囲の中央部隙間２６がこうした考慮すべき点のバランスを取り、全体的に破損の尤度を低減する結果となる傾向があることに気づいた。別の方法としては、最適な中央部隙間は特定の熱サイクル、被加工物および当該装置によって決まることが認められる。そこで、他の例または実施形態では、全体的な被加工物の動きをガス圧力で抑制することと、中央領域３３が支持板１２に与える衝撃の強さおよび

頻度を低減することとの所望のバランスを達成するために、本明細書の教示に従って他の最適値が選択されることがある。

【００６２】

改めて図１を参照すると、この実施形態で支持システム１５は、複数の柔軟支持部材を含む。より詳細には、この実施形態では複数の柔軟支持部材は複数の石英ファイバを含む。さらにより詳細には、この実施形態では、複数の石英ファイバは、複数の石英ファイバループを含み、これは、共通所有している同時係属米国特許出願第１０／７４２５７５号（公開ＵＳ２００４／０１７８５５３号。参照により本明細書に組み込むものとする）で、その図２３および図２４に関連して記載しているものに類似する。別の方法としては、支持システムは、以下の他の実施形態に関連して説明するように、複数の支持ピンを含むことができる。

【００６３】

図１および図４を参照すると、本発明の第２の実施形態による熱処理中に被加工物を支持する装置は、その全体を４０として図４に示している。装置４０は、図１に示す装置１０に類似し、全体を４４として示す、非平面上面を有する支持板４２を含む。装置４０は、さらに、支持システム１５を含み、これは、この実施形態では被加工物の初期形状の下面２０が支持板４２の非平面上面４４の上に不均一な間隔を置いて支持されるように、被加工物の熱処理中、被加工物１０６を支持板４２の上に支持するように構成されている。より詳細には、この実施形態では、不均一な間隔として、被加工物の外周の下に縁部隙間５４があり、被加工物の中心軸のところには中央部隙間５６がある。

【００６４】

本実施形態では、縁部隙間５４と中央部隙間５６とは調整可能である。より詳細には、本実施形態で、支持板４２には着脱可能な部分があり、この部分は、支持板４４の上面の少なくとも一部分を含む。より詳細には、この実施形態で、着脱可能な部分には着脱可能な縁部５８および着脱可能な中央部６０がある。

【００６５】

この実施形態では、着脱可能な縁部５８には、重力またはその他、熱処理と着脱性にふさわしい手段で支持板４２の上部に取り付けられる環状の石英リングが含まれる。着脱可能な縁部５８は、図４に示す着脱可能な縁部５８とは高さの異なる他の類似の環状石英リング（図示せず）と交換することができ、これにより、縁部隙間５４を調整する。この実施形態では縁部隙間５４は、被加工物の外周の下にある、支持板４２の上面４４と被加工物１０６の下面２０との間の不均一な間隔のうちある一箇所の最小値として計測される。より詳細には、この実施形態では被加工物が半導体ウェーハであり、被加工物の外周は、デバイスを何も形成しない、ウェーハ外縁除外区画を含む。本実施形態では、縁部隙間５４、またはより詳細には、被加工物外周の下にある不均一な間隔のうちのある一箇所での最小値は、被加工物の中心軸からｒ＝１４８ｍｍ（すなわち、半径１５０ｍｍの被加工物の周囲のもっとも外側から半径方向に沿って中心へ向かうと２ｍｍ内側）の位置で得られる。都合のよいことに、局地的な最小間隔ｒ＝１４８ｍｍを置くことで、被加工物の外周と支持板の上面との接触は、何もデバイスを形成しない、被加工物の外縁除外区画の中か、その境界線上で発生する傾向がある。しかし、これに代えて、局地的最小間隔の半径に沿った距離および縁部隙間の測定方法は希望に応じて様々に変更することができる。

【００６６】

それ故、本実施形態では、着脱可能縁部５８を取外し、これをそれぞれ様々な高さの、類似の形状で着脱可能な縁部と交換することにより、縁部隙間５４を調整することができる。より詳細には、この実施形態ではこのような着脱可能な縁部が１０個あり、互いに交換して、縁部隙間５４を3×10^{-4}ｍから1.2×10^{-3}ｍまで、1×10^{-4}ｍきざみで変化させることができる。代替的にまたは追加的に、こうした着脱可能縁部は、接触点（被加工物の外周が支持板に衝撃を与える箇所）を単に上下に動かすのではなく、半径方向に沿って内側方向および外側方向へ動かすのに用いることもできる。

【００６７】

また、この実施形態では、着脱可能な中央部６０は、重力または熱処理および着脱性にふさわしい他の手段で支持板４２の上部に装着されている平面石英円板を含む。着脱可能な中央部６０は、取外して、図４に示す着脱可能な中央部６０とは異なる様々な高さのある、他の交換可能な着脱可能平面石英円板（図示せず）と交換することができ、これにより、中央部隙間５６を調整する。より詳細には、この実施形態ではこのような着脱可能な中央部６０が１４個あり、互いに交換していくと、中央部隙間５６を１．２×１０$^{-3}$ｍから２．５×１０$^{-3}$ｍまで、１×１０$^{-4}$ｍきざみで変化させることができる。

【００６８】

別の方法としては、他の実施形態では、縁部隙間および中央部隙間をもっと大きな範囲または小さな範囲で変化させることができ、変化の段階を粗くしたり細かくしたりすることもできる。あるいは、さらに別の方法として、縁部隙間と中央部隙間を、他の実施形態について以下に説明するように、ほぼすべての支持板４２の上面４４について別々の交換可能な上面に代えることにより変化させることができる。

【００６９】

この実施形態では、着脱可能な中央部６０が円板状であるため、支持板４２の上面４４と被加工物１０６の下面２０との間の間隔は一定であり、円板状の中央部６０全体の上にある中央部隙間６０に等しい。これは、この実施形態では被加工物の中心軸（ｒ＝０）から、被加工物半径の約３分の２（ｒ＝１００ｍｍ）までの部分である。支持板４２の上面４４は、約ｒ＝１００ｍｍから約ｒ＝１２５ｍｍへ、着脱可能な中心部６０の外側の境界線を越えて半径方向に沿って外側へと拡大して、支持板４２の中間部分までに範囲を画定し、着脱可能な中央部６０と着脱可能な縁部５８との間の半径に沿った区域では、支持板の上面４４と被加工物の下面２０との間の中間部隙間６２の範囲を画定する。この実施形態では、中間部隙間６２は調整できないが、必要に応じて他の実施形態では調整可能とすることができる。この中間部を越えて半径方向に沿って外側へ、約ｒ＝１２５ｍｍから約ｒ＝１５５ｍｍに拡大する（被加工物の外縁をわずかに超える程度）と、支持板の上面４４は着脱可能な縁部５８により範囲が定まり、これにより縁部隙間５４の範囲が定まる。

【００７０】

都合のよいことに、このような実施形態では縁部隙間５４と中央部隙間５６とを調整できるため、様々な縁部隙間と中央部隙間とを経験的に試験することが容易にでき、本明細書の教示に従って、最適な縁部隙間および中央部隙間の数値を認定し、特定の熱サイクルについての被加工物の破損を最低限にすることができる。

【００７１】

図５を参照すると、本発明の第３の実施形態により熱処理中の被加工物を支持するための装置の全体を１００として示している。この実施形態で、装置１００は、全体を１０４として示す非平面上面を有する支持板１０２と、支持システムとを含む。この実施形態では、支持システムは、被加工物１０６の初期形状１１０の下面２０が支持板の非平面上面１０４の上に不均一な間隔を置いて支持されるように、支持板１０２の上に被加工物１０６を支持するように構成されている。この不均一な間隔には、被加工物の外周の下にある縁部隙間１１４と、被加工物の中心軸にある中央部隙間１１８とが含まれる。

【００７２】

この実施形態では、被加工物１０６は半導体ウェーハを含み、支持板１０２は石英板を含む。より詳細には、この実施形態では半導体ウェーハを、熱処理されている間、被加工物の動きが熱により誘発されるような方法で支持板の上に支持しようとしている。さらにより詳細には、すでに説明したように、支持板１０２の上に支持されている間、被加工物１０６はまず中間温度まで加熱され、その後、被加工物の上面１８だけが中間温度より高い所望の温度まで、被加工物の熱伝導時間より短い時間内に加熱される。すでに説明したように、このような熱処理により、被加工物１０６はその初期形状１１０から、例えば、図５の１１２（または図２Ｂから図２Ｅの３０、３２、３４、３６）に示す形状などの予想される熱変形形状に熱により変形する。しかし、そのほか、様々な種類の被加工物、支持板および熱処理方法を代わりに利用することができる。

【００７３】
本実施形態では、上面１０４は、縁部隙間１１４が中央部隙間１１８より大きくなるように構成されている。より詳細には、この実施形態では、縁部隙間１１４は中央部隙間１１８の少なくとも２倍の大きさである。より詳細には、この実施形態で縁部隙間１１４は中央部隙間１１８の少なくとも３倍の大きさである。
【００７４】
この実施形態では、中央部隙間１１８は約１ミリメートル以下である。より詳細には、この実施形態では中央部隙間１１８は１ミリメートルであり、縁部隙間１１４は３ミリメートルである。別の方法としては、上面１０４と被加工物１０６の初期形状との間の他の不均一な空間関係は、希望があれば他と置き換えることができる。
【００７５】
都合のよいことに、本実施形態で上面１０４は、本明細書ですでに説明した「第１のウェーハ」効果、すなわち、従来のシステムでは被加工物１０６において望ましくないほど大きな温度勾配を生じる傾向を和らげる形状である。これを達成するためには、この実施形態では、被加工物の下面２０と支持板の非平面上面１０４との間の不均一な間隔により、支持板１０２に予想される不均一な温度分布が存在するときに被加工物１０６全体での熱損失率の場所によるばらつきを最小限にする。
【００７６】
この点について記すと、本実施形態では、被加工物１０６が経験する熱損失メカニズムには、放射損失並びに被加工物１０６と上面１０４との間の伝導による熱移動との両方が含まれる。被加工物が支持板から大きく離して置かれる従来システムでは、伝導による熱移動は放射による熱損失よりも大幅に少ないと思われるが、被加工物が支持板の近くに配置されている、本明細書に説明する例示的実施形態では、伝導による熱移転は、放射熱損失と肩を並べるか、場合によってはそれより大きくなる。被加工物１０６と上面１０４との間での伝導による熱移転は、被加工物と上面１０４との間の温度差に直接、比例し、被加工物と上面１０４との間の間隔には逆比例する。これとは対照的に、一次近似値として、放射熱損失の率は被加工物と上面１０４との間の間隔によって変化はしない（ただし、この一次近似は、被加工物の外縁部では確度が低くなる）。
【００７７】
この実施形態では、支持板１０２で予想される不均一な温度分布には、支持板の内部または中央領域についてほぼ一定であり、中央領域から半径方向に沿っての距離が延びるにつれて低くなる温度が含まれている。本明細書にすでに説明したように、支持板１０２は、通常、熱処理中の被加工物１０６よりも温度が低く、支持板１０２での温度分布は、最初の熱処理サイクルでは、後に続くサイクル中よりも低温であり、より不均一であると予想される。それ故、支持板の上面が平面で、被加工物の初期形状１１０からの距離が一定であったなら、支持板でのこの不均一な温度分布は、予熱段階で被加工物の内側領域からよりも被加工物１０６の外側領域から、より大量の熱エネルギーを奪う形で熱伝導する傾向があり、これにより、被加工物１０６に温度勾配を作り出して、これが次に被加工物内の熱応力を生成することになる。
【００７８】
こうした熱勾配および熱応力の大きさを抑えるため、本実施形態では、支持板１０２の上面１０４が、支持板の上面１０４と被加工物１０６の初期形状１１０の下面２０との間の不均一な間隔が被加工物の中心軸からの半径距離の関数として変化するように構成されている。より詳細には、この実施形態で、不均一な間隔はおおむね半径距離の減少しない関数として変化する。より詳細には、この実施形態では、中央部隙間１１８は約１ミリメートル以下であり、縁部隙間１１４は約２ミリメートルを超える。
【００７９】
この実施形態では、支持板１０２の上面１０４と被加工物１０６の初期形状１１０の下面２０との間の不均一な間隔は、被加工物の中心軸からの半径距離の閾値に満たない値でほぼ一定であり、一般に半径距離の閾値から被加工物半径への半径距離の関数として増大

していく。この実施形態では、半径距離の閾値は被加工物半径の約半分である。より詳細には、本実施形態で、被加工物１０６は半径１５０ｍｍの円板状の半導体ウェーハで、上面１０４は円板状の平面中央領域１０７と非平面実質的部分１０８とからなる。この実施形態では、上面１０４の円板状の平面中央領域が、上では被加工物の中心が支持されている上面の中心（半径距離＝０）から半径方向に沿って外へ向かい、半径距離の閾値にまで至る。これは、この実施形態では被加工物半径の半分、ｒ＝７５ｍｍである。やはりこの実施形態で、上面１０４の非平面実質的部分１０８は、ｒ＝７５ｍｍの円板型平面中央領域の円周上の境界線から拡張し、半径距離ｒ＝１５０ｍｍに至るまで半径方向に沿って外へ延びていくにつれ、下向きに曲がる。

【００８０】

本実施形態では、非平面実質的部分１０８と、被加工物１０６の初期形状との間の間隔は、ｒ＝７５ｍｍでの垂直距離１ｍｍからｒ＝１５０ｍｍでの垂直距離３ｍｍまでの範囲にわたる。都合のよいことに、このような間隔の関係は、本明細書にすでに説明した「第１のウェーハ」効果を和らげる傾向がある。この点について、被加工物１０６と支持板１０２との間の熱伝導率が両者間の温度差ΔＴに直接比例し、両者間の間隔Ｓに反比例することが想起される。支持板１０２の予想される不均一な温度分布が予熱段階では被加工物１０６の温度よりも低いと予想され、上面１０４の温度は、円板状の中央領域から半径距離が大きくなるにつれて低くなっていくと予想されるため、上面１０４と被加工物１０６との間の温度差ΔＴ（ｒ）は、半径距離ｒと共に一般に増大していく（ｒは円板状の中央領域の境界上での半径距離ｒ＝７５ｍｍから被加工物の外周での半径距離ｒ＝１５０ｍｍまでの範囲にわたる）。この実施形態では、この空間的に増大していく温度差ΔＴ（ｒ）が空間的に増大する熱伝導に変化するのを防止するため、上面１０４と被加工物１０６との間の垂直間隔Ｓ（ｒ）も、上面１０４の実質的部分１０８について半径距離ｒと共に増大し（すなわち、ｒ＝７５からｒ＝１５０ｍｍまで）、ΔＴ（ｒ）／Ｓ（ｒ）がすべてのｒに対してほぼ一定値を保つようにして、これにより上面１０４と被加工物１０６との間でほぼ一定の熱伝導率を維持する。注記したように、一次近似として、被加工物１０６からの放射熱損失率は、上面１０４と被加工物１０６との間の垂直距離からはおおむね独立している。それ故、本実施形態では、被加工物１０６に熱勾配を誘発するような、支持板１０２での予想される不均一な温度分布の傾向が大いに低減し、これにより被加工物１０６での熱応力が大幅に低減することになる。

【００８１】

別の方法としては、希望があれば、ΔＴ（ｒ）／Ｓ（ｒ）を一定に維持する方法を探してそれにより熱伝導損失率を一定に維持するよりも、むしろ、上面１０４を、被加工物１０６全体にわたって一定の熱損失率をより正確に維持するような形状とすることができる。例えば、間隔Ｓ（ｒ）を制御してＲ（ｒ）＋ΔＴ（ｒ）／Ｓ（ｒ）を一定に維持することができる。ここでＲ（ｒ）は、半径距離ｒの関数としての被加工物１０６が経験する実際の合計熱損失のより正確な予測である。必要に応じて、Ｒ（ｒ）は「縁部効果」を考慮に入れることができる。被加工物はこの効果により外縁部で単位質量当たりの露光表面積が広がるために、輻射、伝導、対流を通じて外縁部でより多くのエネルギーを失う傾向がある。このような実施形態では、上面１０４は上面１０４と被加工物の初期形状１１０との間の間隔Ｓ（ｒ）が、被加工物の内側領域で縁部で生じるよりも大きな対応する伝導熱損失をひき起こし、結果的に伝導率の分布が不均一となって、存在したはずの不均一なエネルギー損失率の分布を補償することになり、これにより被加工物全体についてほぼ均一な合計熱損失率が得られる。

【００８２】

図２および図５を参照すると、本実施形態では中央部隙間１１８が比較的小さい（１ｍｍ）ため、被加工物１０６が図２Ｅに示す第４の熱変形形状３６を取っている場合、被加工物１０６の中央領域３３が支持板１０２の上面１０４に衝撃を与える可能性が高まることになる。しかし、中央部隙間１１８が同様に小さいことから、上記共通所有している米国特許公開ＵＳ２００５／０１３３１６７号に詳細に説明されているように、上述の「第

１のウェーハ」効果に対する補償が強化され、また、被加工物と支持板との間のガス圧力により被加工物の動きのガス圧力による減衰が強化されることになる。従って、後者の利益は本実施形態において衝撃のリスクよりも重要であるとみなされるが、これとは異なる熱サイクルを利用する別の実施形態では、被加工物１０６の中央領域３３と支持板１０２との間での衝撃がより強烈である潜在的可能性があり、両者のバランスは同じではないかもしれない。

【００８３】

本実施形態では、平面ではなく、被加工物の初期形状１１０から不均一な間隔を取るように構成されている実質的部分１０８は、上面のうち、被加工物面積の最も外側の６分の１が上に支持されている部分を含んでいる。より広い範囲で言うと、この実施形態では上面１０４の実質的部分１０８は、上面のうち、被加工物面積の最も外側の５分の１が上に支持されている部分を含んでいる。さらに範囲を広げて言うと、この実施形態では、実質的部分１０８は、上面のうち、被加工物面積の最も外側の４分の１が上に支持されている部分を含んでいる。もっと広げると、この実施形態では、実質的部分１０８は、上面のうち、被加工物面積の最も外側の３分の１が上に支持されている部分を含んでいる。さらに広げると、この実施形態では、実質的部分１０８は、上面のうち、被加工物面積の最も外側の２分の１が上に支持されている部分を含んでいる。もっと広げると、この実施形態では、実質的部分１０８は、上面のうち、被加工物面積の最も外側の３分の２が上に支持されている部分を含んでいる。もっと範囲を広げると、この実施形態では、実質的部分１０８は、上面のうち、被加工物面積の最も外側の４分の３が上に支持されている部分を含んでいる。この点について、本実施形態では、非平面実質的部分１０８が、被加工物の中心軸からの半径距離がｒ＝７５ｍｍの位置から、被加工物の外側半径、すなわち中心軸からｒ＝１５０ｍｍの位置に至っていることが想起されるであろう。それ故、被加工物１０６の半径の外側の２分の１が非平面実質的部分１０８の上に支持されるとき、被加工物１０６の表面積の４分の３が非平面実質的部分１０８の上に支持される。

【００８４】

別の方法としては、非平面実質的部分１０８に含まれる上面１０４はもっと多くても少なくてもよく、別の非平面形状または構成も含むことができる。

【００８５】

都合のよいことに、この実施形態では、支持板１０２の上面１０４は被加工物１０６の予想される熱変形形状１１２を補足する形状である。さらに具体的には、この実施形態では支持板の上面１０４の少なくとも一部はおおむねフリスビー型、すなわちソーサーの形をしている。さらに詳しく言えば、この実施形態では、被加工物の中心軸（ｒ＝０）から被加工物の外周の下（ｒ＝１５０ｍｍ）まで延びる部分の上面１０４は、おおむねソーサーの形である。この点については、被加工物１０６の上面１８が被加工物の熱伝導時間未満の短時間で所望の温度まで加熱されるとき、被加工物の大部分はこれより低い中間温度のままであるが、被加工物の上面１８が被加工物の大部分に比べて大きく熱膨張することから、図５に示す予想熱変形形状１１２に変形することになる。この実施形態では、上面１０４の形状のため、最初に予想熱変形形状１１２に熱で変形する際、被加工物１０６の外周は上面１０４にぶつからない。被加工物がひっかかれたり他の損傷を受けたりした場合、引っかき傷によりタイプＩの破損の尤度が増大する傾向があるため、こうした接触がなければ、被加工物１０６が残っていく尤度が改善されることになるだろう。しかし、逆に、ひっかかれたり他の損傷を受けたりしていない場合、被加工物が最初に湾曲して熱変形形状になっていく際の被加工物１０６と上面１０４との間の衝撃が制御されることが望ましい。こうした接触により、被加工物全体の動きが減り、これにより被加工物１０６のタイプＩとタイプＩＩの破損の尤度が低くなるからである。

【００８６】

この実施形態では、被加工物１０６は、支持システムにより支持板１０２の上に支持されている。この実施形態では、支持システムには複数の支持ピンがあり、そのうち３つが

図４に１２０、１２２および１２４として図示されている。本実施形態では、装置１００の支持システムにはさらに第４のこのような支持ピンがあり（図４の断面図には示されていない）、４つのピンが、上に被加工物１０６が支持されている支持板１０２の中心から等距離の位置に対称に配置されている。この実施形態では、支持ピンは石英支持ピンである。より詳細には、この実施形態では石英ピンそれぞれが火炎研磨した上端部を有し、熱で誘発されて被加工物が動く際に被加工物１０６を引っかく尤度が低くなるようにしている。

【００８７】

この実施形態では、各支持ピンは被加工物半径の約３分の２から４分の３の半径距離に位置している。より詳細には、本実施形態では、被加工物の半径が１５０ｍｍであり、石英支持ピンはそれぞれ被加工物の中心軸からｒ＝１１０ｍｍの半径距離に位置している。この点については、半径１５０ｍｍの半導体ウェーハが関係する一部の特定の熱処理サイクルでは、ほぼ半径距離ｒ＝１１０±５ｍｍで熱に誘発される動きが最も少ない。しかし、他の半径距離の方が、他の熱処理サイクルおよび／または他の被加工物タイプには、より適しているかもしれない。

【００８８】

やはりこの実施形態で、クォータピンそれぞれの直径は１．５ｍｍであり、支持板１０２のそれぞれの孔に自立しており、ピンが支持板と被加工物との間の熱結合に寄与する程度を低減させている。別の方法としては、必要に応じて、ピンは支持板にある環状の溝（この実施形態では図示していない。他の実施形態に関連して後述）に自立することもできる。必要に応じて、石英ピンは、その底部にフランジ（この実施形態では図示しない）を有し、フランジは孔（または後者の実施形態の場合には環状の溝）よりも直径が大きくて、熱に誘発された被加工物の動きの結果としての反動力に対応してピンが孔または溝から飛び出すのを防いでいる。あるいは、さらに別の実施形態として、ピンは支持板１０２に堅固に取り付けるか、これと一体に形成することができる。より一般的には、少なくとも上面の非平面実質的部分が被加工物の初期形状から不均一に間隔をあけて位置するように支持板の上面の上に被加工物を支持する他の適切な手段を、本明細書に記載の支持ピンに代えて利用することができる。

【００８９】

図６を参照すると、本発明の第４の実施形態による装置の全体を２００に示している。上記実施形態と同様、装置２００は、非平面上面２０４を有する支持板２０２と、被加工物の熱処理中、被加工物の初期形状１１０の下面２０が支持板の非平面上面２０４の上に不均一な間隔をあけて支持されるように支持板２０２の上に被加工物１０６を支持するように構成されている支持システムとからなり、不均一な間隔には、被加工物の外周の下にある縁部隙間と、被加工物の中心軸のところの中央部隙間とが含まれる。

【００９０】

この実施形態では、少なくとも上面２０４の実質的部分２０８は平面ではなく、被加工物１０６の初期形状１１０から不均一に間隔を置くように構成されている。しかし、この実施形態では上面２０４の形状、特に実質的部分２０８の形状が、上の実施形態とは異なる。

【００９１】

より詳細には、この実施形態で上面２０４は面取りされている。それ故、この実施形態では、少なくとも支持板２０２の上面２０４の一部は、おおむね円錐台形状である。

【００９２】

本実施形態では、上面２０４は、被加工物１０６の平板状の初期形状１１０から均一な垂直距離を置くように構成されている円板状の平面中央領域２０７を含む。被加工物１０６の中心軸からの半径距離の閾値では、上面２０４が円板状の平面中央領域２０７から実質的部分２０８に推移し、後者は被加工物の中心軸から半径方向に沿って外側へ広がっていくにつれて、一定の傾斜角度で下方向へ傾斜していく。それ故、中央領域２０７と周囲の実質的部分２０８とがほぼ円錐台形状を形成する。

【００９３】
この実施形態では、平面中央領域２０７が、下方向に傾斜していく非平面実質的部分２０８へ推移していく半径距離の閾値はｒ＝７５ｍｍであり、上面２０４と被加工物１０６との間の垂直な間隔は、中央領域２０７での中央部隙間１ｍｍから、実質的部分２０８の外周（ｒ＝１５０ｍｍ）での縁部隙間３ｍｍまで様々である。しかし、平面部分と非平面部分との推移については、様々な垂直間隔および様々な半径距離の閾値をこれらに代えて利用することができる。
【００９４】
図７を参照すると、本発明の第５の実施形態による装置の全体を３００として示している。装置３００は、非平面上面３０４を有する支持板３０２と、被加工物の熱処理中、被加工物の初期形状１１０の下面２０が支持板の非平面上面３０４の上に不均一な間隔で支持されるように、被加工物１０６を支持板３０２の上に支持するように構成されている支持システムとを含み、この不均一な間隔は、被加工物の外周の下の縁部隙間と、被加工物の中心軸の中央部隙間とを含む。
【００９５】
この実施形態では、少なくとも上面３０４の実質的部分は平面でなく、被加工物１０６の初期形状１１０から不均一な間隔を置くように構成されている。
【００９６】
この実施形態では、非平面実質的部分には、上面３０４のほぼ全体が含まれる。さらに詳しく言えば、この実施形態では、少なくとも支持板３０２の上面３０４の一部は、おおむねドーム状である。さらに詳しく言うと、本実施形態では、上面３０４のうち、上に被加工物１０６全体が支持される部分は、ドーム状である。
【００９７】
それ故、この実施形態では、支持板３０２の上面３０４は、中心軸から被加工物の外周に向かって、外側へ、且つ下方向へと延びていく。より詳細には、この実施形態では、上面３０４は、その中央領域から外側領域へと外側へ延びていく際に、下向きに曲がる。
【００９８】
本実施形態では、支持板の上面３０４は、被加工物の初期形状１１０の最も外側の外周が上に支持される上面３０４の周辺領域から半径方向に沿って外側に位置する、ほぼ上方向へ延びる側壁３１０を含んでいる。より詳細には、この実施形態では側壁３１０は上面３０４の周辺領域から、被加工物の初期形状１１０が支持される平面の上方へと延びる制限部分３１２を含む。この実施形態では、制限部分３１２は、被加工物１０６が支持板３０２の上に支持される場合、被加工物の初期形状１１０の最も外側の外周部分を、そのすぐ近くで囲むように構成されている。別の方法としては、制限部分３１２は省略することができ、側壁を、被加工物１０６の初期形状１１０が支持されている平面の下へとほぼ上方向へ延びることができる。別の方法としては、側壁３１０を全面的に省略することができる。例えば、望むのであれば、上面３０４全体をドーム状にすることができる。
【００９９】
この実施形態では、上面３０４と被加工物１０６の初期形状１１０との間の間隔は、被加工物の中心が上に支持される中央領域で、約０．５ミリメートルである。
【０１００】
図５および図８を参照すると、本発明の第６の実施形態に従った装置の全体を４００として図８に示している。この実施形態では、装置４００は、非平面上面４０４、および被加工物１０６の初期形状１１０の下面２０が支持板４０２の非平面上面４０４の上に不均一な間隔を置いて支持されるように支持板４０２の上に被加工物１０６を支持するように構成されている支持システムとから成っており、不均一な間隔には、被加工物の外周の下の縁部隙間と、被加工物の中心軸のところの中央部隙間がある。
【０１０１】
ここまでに記載した実施形態と同様、少なくとも非平面上面４０４の実質的部分は平面ではなく、被加工物が支持板４０２の上に支持されるときに被加工物１０６の初期形状１

１０から不均一な間隔を置くように構成されている。
【０１０２】
有利な点として、本実施形態では、支持板４０２の上面４０４は、被加工物の熱処理中に被加工物１０６の外周がぶつかるように構成されている接触部４０６も含んでいる。
【０１０３】
この点について、本実施形態では、被加工物の外周部と支持板の上面との間の制御された衝撃は、被加工物全体の動きを緩和し、それによりタイプＩ、タイプＩＩの両方のリスクを低減させるためには望ましいとみなされているが、しかし、制御された衝撃で被加工物を破損するかもしれないリスクが、この緩和の結果として得られる残存可能性の増大よりも大きくないことが条件である（この均衡は、タイプＩの破損のリスクの高まっている、引っかき傷のあるウェーハはについては異なるかもしれない）。
【０１０４】
別の方法としては、このような接触部は、被加工物の外周と支持板の上面との間の衝撃が必ずしも望まれないが、工程の変数としてたまたま発生することのある実施形態の場合にも備えることができる。例えば、特定の熱サイクル中に被加工物１０６の熱処理を行うと予想よりも早く熱変形が進行し、予想された熱変形形状１１２よりも過剰な熱変形形状４１２となる場合、被加工物の外周はしばしば支持板の上面にぶつかることがある。
【０１０５】
いずれの場合にも（意図的な衝撃か意図しない衝撃か）、被加工物１０６の外周が下方向に曲がり、図５に示す上面１０４の外側部分にぶつかるのなら、半径方向に沿って外側に行くにつれて下方向に湾曲する実質的部分１０８のどこかの位置でそうなるであろう。従って、下向きおよび半径方向に沿って内側へ向かう構成要素を有する力により、外周が上面１０４にぶつかり、その結果、上面１０４が、被加工物１０６に対して上向きおよび半径方向に沿って外側へ向かう構成要素を有する、同等且つ逆向きの反応力をかけることになる。この反応力の半径方向に沿って外側へ向かう構成要素により、被加工物１０６には張力がかかる。しかし、本発明者は、被加工物１０６が半導体ウェーハである実施形態では、ウェーハの張力が、圧縮よりも損傷または破損をひき起こす可能性の方が高いことに気づいた。
【０１０６】
従って、そうした衝突が被加工物の損傷または破損を招く尤度を低減するために、本実施形態では、接触部４０６が、接触部４０６にぶつかる被加工物の外周に対して、被加工物１０６の外周の半径方向に沿って内側へ向かう構成要素を有する反応力をかける設計となっている。それ故、被加工物１０６の外周が接触部４０６にぶつかった場合、結果的に接触部４０６から被加工物１０６にかかる反応力の半径方向に沿って内側へ向かう構成要素により、被加工物１０６には、張力というよりはむしろ圧縮力がかかり、これにより、衝突により被加工物が損傷または破損する尤度を低減させる。さらに、このような衝突は被加工物の下向きの動きを停止させ、運動量を小さくする結果となって、これが次に、熱で誘発された被加工物の振動を抑える傾向がある。
【０１０７】
より詳細には、この実施形態では、接触部４０６は上面の隣接する内側部分４０８に対して相対的に角度がついている。より詳細に言うと、この実施形態では、上面の隣接する内側部分４０８は外側に行くにつれ下方向に曲がっていき、そして接触部分４０６は実質的に水平であって、おおむね水平に延びていって、隣接する内側部分４０８から半径方向に沿って外側へ行くに従って、わずかに上方向に曲がるだけである。別の方法としては、接触部４０６を正確に水平にしても、他の形で角度をつけてもよい。より一般的には、接触部４０６の他の角度、形状、および／または構成は、接触部４０６から被加工物１０６にかかる反応力が半径方向に沿って外向きの構成要素よりもむしろ半径方向に沿って内向きの構成要素を有することを確保しながら、他の角度等に代えることができ、被加工物の外周が接触部にぶつかる角度に基づいて選択することができる。
【０１０８】

図１および図２に関連してすでに説明したように、接触部４０６の配置は、被加工物の外周が、接触部に衝撃を与える際に熱により誘発される最高可能速度では動かないことを確実にし、結果として生じる衝撃波の強さを抑えるように選択することもできる。同様に、接触部の配置は、そのような衝撃波が被加工物を通じて伝わるタイミングを制御し、被加工物が応力の高い熱変形形状３２または３６となっているときに衝撃波が被加工物の中央領域３３に到達しないように選択することができる。

【０１０９】

さらに図５および図８を参照すると、本実施形態では、支持板４０２の上面４０４は、被加工物１０６の予想される熱変形形状１１２から、上面４０４と被加工物の予想熱変形形状１１２との間のガス圧力が熱により誘発される被加工物の動きに十分対抗できるだけの間隔を置くように構成されている。

【０１１０】

より詳細には、この実施形態では、支持板４０２の上面４０４は、被加工物の予想される熱変形形状１１２からほぼ均一の間隔を置く構成である。この点については、上面４０４と予想熱変形形状１１２との間をこのように近接させたほぼ均一の間隔とすることにより、上面４０４と予想熱変形形状１１２との間の空気の隙間のおかげで、平面板を必要とする従来のシステムに比べて、熱に誘発される被加工物１０６の振動の減衰が大幅に改善されることになる。このように減衰を改善するため、本実施形態では、上面４０４は予想される熱変形形状１１２を補足する形状とし、中央領域をほぼドーム状として、その外側領域では隣接する内側部分４０８の近くでより鋭く下向きに曲げることで、予想される熱変形形状１１２となる際に予想される被加工物１０６の外縁の下向きの湾曲を模倣する。

【０１１１】

この実施形態では、支持板の上面４０４は、被加工物１０６の予想される熱変形形状１１２から、１ミリメートル程度の距離の間隔を置くように構成されている。より詳細には、この実施形態では、上面４０４は予想される熱変形形状１１２から、１ミリメートル未満の距離を置くように構成されている。より詳細には、この実施形態では、上面４０４は、予想される熱変形形状１１２から、０．５ミリメートルの距離を置くように構成されている。

【０１１２】

それ故、この実施形態では、被加工物１０６は上面４０４の上に、上面４０４の非平面実質的部分が被加工物１０６の予想される熱変形形状１１２からほぼ均一の、約０．５ミリメートルの間隔を置くように支持される。被加工物の予想される熱変形形状１１２のこのように大きな面積と、支持板との間のこのように近接した均一な間隔により、被加工物の振動する動きをガス圧力で減衰させる働きが、平面支持板を使用している従来のシステムよりもずっと広い面積にわたって、大幅に強化されるのが有利である。

【０１１３】

図８および図９を参照すると、本発明の第７の実施形態による装置の全体を５００として図９に示している。この実施形態では、装置５００は、非平面上面５０４を有する支持板５０２と、支持システムとを含む。支持板５０２は、支持板４０２とおおむね同様であるが、この実施形態では、全体を５０６として示すガス流障壁も含む。ガス流障壁５０６は、被加工物が支持板５０２の上に支持されているときに、上面５０４と被加工物１０６との間の隙間５０８を通るガス流に抵抗するように構成されている。この点では、被加工物１０６が初期形状から予想される熱変形形状に変形する速度のせいで、被加工物１０６の急激な変形により、隙間５０８に強制的に空気が送り込まれる。この急速な空気の流れは、次に、被加工物１０６を支持ピンから上のほうへ吹き上げる傾向がある。代替的にまたは追加的に、急速な空気の流れは、当該熱サイクルによっては、超音速となる潜在的可能性がある。こうした効果のいずれもが、被加工物に損傷を生じる尤度を高め、望ましくないと考えられる。従って本実施形態では、ガス流障壁５０６が被加工物１０６の急激な熱変形に由来する空気の流れの速度を緩め、それによりこうした望ましくない効果を軽減または防止する傾向があって有利である。

【０１１４】
この実施形態では、ガス流障壁５０６は、乱流発生装置を含む。より詳細には、この実施形態では、乱流発生装置は支持板５０２の上面５０４に定める環状流路５１０を含む。それ故、被加工物１０６の急激な熱変形により空気が隙間５０８の中へ急速に流入させられるとき、急速な空気の流れの一部は還流流路５１０へと逸らされ、環状流路の近くに乱流を発生させて、それにより隙間５０８に流入する空気の流れの全体速度を遅くする。
【０１１５】
本発明では、装置５００の支持システムは、例えば、５１２、５１４、および５１６に示すような複数の支持ピンを含む。少なくとも３つのそのようなピンを使って安定性を支えることが望ましい。そしてこの実施形態では、装置５００はこのようなピンを４つ含む。この実施形態では、支持ピンは環状流路５１０に配置され、その上の被加工物１０６を支持する。より詳細には、この実施形態では、４つの支持ピンが、環状流路５１０に９０°間隔で配置されている。
【０１１６】
この実施形態では、支持ピンは環状流路５１０に自立し、支持板５０２と被加工物１０６との間の熱結合にピンが寄与する程度を減じる。また、この実施形態では、支持ピン５１２はその底部にフランジ５２０を含み、他の支持ピンそれぞれが、そのそれぞれの底部に類似のフランジを含む。この実施形態では、フランジ５２０は平板状の底部よりもむしろ丸くなったか、または湾曲した底面を有していて、熱結合をさらに減じる。少なくとも環状流路５１０の一部分５２２は、フランジ５２０よりも狭く、フランジが流路から飛び出すのを防止している。フランジよりも幅の広い挿入孔（図示せず）を環状流路５１０の１箇所にあけて、支持ピンの挿入および取り外しができるようにする。
【０１１７】
本実施形態では、支持ピンのそれぞれは、直径１．５ｍｍの石英ピンと、被加工物１０６をひっかいてしまう尤度を低減するために火炎研磨した上端部とを備えている。
【０１１８】
この実施形態では、環状流路５１０は、被加工物１０６の中心が上に支持される支持板５０２の中心から、被加工物１０６の半径の約３分の２から約４分の３までの距離を半径に添って取った位置に環状流路５１０を配置する。より詳細には、本実施形態では、被加工物１０６は半径１５０ｍｍの半導体ウェーハであり、環状流路５１０は被加工物１０６の中心軸から半径方向に沿っておよそ１１０±５ｍｍの距離に配置されている。別の方法としては、環状流路５１０は、異なる半径距離に配置することもできる。さらに一般的には、他の種類のガス流障壁を、環状流路５１０の代用とすることができる。
【０１１９】
図９および図１０を参照すると、本発明の第８の実施形態に従った装置の全体を６００として図１０に示している。装置６００は、支持板６０２を含む。この実施形態では、支持板６０２は、環状流路５１０に類似した環状流路６１０を含み、支持板６０２は、他のいくつかの面で支持板５０２に類似している。しかし、この実施形態では、装置６００は追加ガス流障壁、すなわち、支持ピンを囲むリング６２０をさらに含む。この実施形態では、また、支持板の上面６０４が、支持ピンの配置されている環状流路の外側境界の近くで、リング６２０の支持を助けるためにやや異なる形になっている。
【０１２０】
この実施形態では、リング６２０は、光ファイバリングを備える。より詳細には、この実施形態で、リング６２０は、直径１．５ｍｍの光石英ファイバを備える。別の方法としては、もっと直径の小さい光ファイバの束で代用することもできる。あるいは、別の案として、他のふさわしい種類のリングで代用することができる。さらに例となる別の場合には、リングは支持板と一体に形成することもできる。さらに一般的には、他の各種のガス流障壁で代用することもできる。
【０１２１】
図９および図１１を参照すると、本発明の第９の実施形態による装置の全体を７００と

して図１１に示している。装置７００は、支持板７０２を含み、支持板７０２は環状流路５１０に類似する環状流路７１０を含んでいる。支持板７０２は他のいくつかの面でも支持板５０２に類似している。しかし、この実施形態では、装置７００は、さらに、追加ガス流障壁、すなわち支持板７０２の上面７０４の隆起部分７１２を含む。隆起部分７１２は、上面７０４の隣接部分の上に上へ向かって突き出している。より詳細には、この実施形態で隆起部分７１２は、環状流路７１０に隣接する位置で、流路から半径方向に沿って内側方向へ、上向きに突き出している。この実施形態では、隆起部分７１２は、偏向面７１４を含み、これは、流入する空気を下向きに偏向させて環状流路７１０に流す形状となっている。本実施形態では、隆起部分７１２はできるだけ環状流路７１０内の支持ピンの近くに配置され、支持ピンは、熱で誘発されて動く間に被加工物１０６が隆起部分７１２にぶつからないようにしている。やはりこの実施形態で、隆起部分７１２の半径方向の長さはできるだけ短くし、熱に誘発された被加工物の動きにより作り出されるガス流が急速に流れ込んできても破損しないだけの強度を実現する。これは、隆起部分７１２と被加工物１０６の間の、被加工物の予熱中の熱結合を最小限にするためである。別の方法としては、隆起部分の形状はこれと異なっていてもよく、また位置も異なっていてもよい。

【０１２２】

図１１および図１２を参照すると、本発明の第１０の実施形態による装置の全体が８００として図１２に示してある。装置８００は、支持板７０２におおむね類似する支持板８０２を含む。それ故、この実施形態では、支持板８０２は、追加ガス流障壁として全体を８１２に示す、支持板８０２の上面８０４の隣接部分の上に上向きに突き出す隆起部分を含む。しかし、この実施形態では、隆起部分８１２は、内側隆起部分８１４と外側隆起部分８１６とを、支持ピンが配置されている還流流路の両側に備えている。内側と外側の隆起部分８１４および８１６は、環状流路８１０にできるだけ近く位置させ、流路内の支持ピンが、熱に誘発された動きの間に被加工物１０６が隆起部分８１４および８１６にぶつかるのを防止する。被加工物の予熱中の隆起部分と被加工物１０６との間の熱結合を最小限にするために、隆起部分８１４および８１６の半径方向の長さも、強度の制約を条件として最小限にされる。

【０１２３】

図５および図１３を参照すると、本発明の第１１の実施形態による装置の全体を９００として図１３に示してある。この実施形態では、装置９００は、全体を９０２に示す支持板を含む。

【０１２４】

本実施形態では、支持板９０２は、支持板の上面の少なくとも一部を備える着脱可能な部分を含む。より詳細には、この実施形態では、支持板９０２は、下部９０４と、上部９０６とを備え、上部９０６は、下部９０４から取外すことができる。この実施形態では、上部９０６は下部９０４に取り付けることができ、結果として支持板９０２を形成する。これは図５に示す支持板１０２に類似している。

【０１２５】

上部９０６は熱処理および着脱可能性に適した方法で下部９０４に取り付けることができる。例えば、この実施形態では、上部９０６は、平板状の下面を有し、これは、下部９０４の平板状の上面に対して補足的である。従って、上部９０６を下部９０４の上に置いたとき、これら２つの補足的な表面の間のガス圧力、重力および摩擦力は、上部と下部を合わせたままに維持する傾向がある。別の方法としては、適切な光学的接着剤を用いて上部と下部を取り付けることができる。さらに一般的には、上部と下部を取り付ける他の方法で代用することができる。

【０１２６】

この実施形態では、上部９０６は、上部９０６を下部９０４に取り付けることにより形成される支持板９０２の上面の少なくとも一部を含む。しかし、この実施形態では、上部９０６は結果として得られる支持板９０２の上面全体は含んでいない。むしろ、上部９０６が下部９０４に取り付けられて支持板９０２を形成するとき、結果として得られる支持

板９０２の上面が、上部９０６の上面全体、並びに下部９０４の上面のうち、半径距離が上部９０６の半径を超える外側部分を含んでいる。しかし、別の方法としては、上部９０６の半径を下部９０４の半径以上とし、上部９０６の上面が、上部９０６を下部９０４に取り付けることにより形成される支持板９０２の上面全体を形成するようにすることもできる。

【０１２７】

図７および図１３を参照すると、この実施形態では、装置９００は、さらに、上部９０６とは異なる形状の上面を有する第２の上部９０８も含む。第２の上部９０８は、支持板９０２の上面の形状を変えるために、上部９０６と交換可能である。この実施形態では、第２の上部９０８は、図７に示す支持板３０２の上面３０４に類似する形状の上面を有する。

【０１２８】

図９および図１３を参照すると、この実施形態で、装置９００は、さらに、上部９０６とも第２の上部９０８とも異なる形状の上面を有する第３の上部９１０を含む。第３の上部９１０は、支持板９０２の上面の形状を変えるために、上部９０６または第２の上部９０８と交換可能である。この実施形態では、第３の上部９１０は、図９に示す支持板５０２の上面５０４に類似する形状の上面を有する。

【０１２９】

それ故、この実施形態では、装置９００は、それぞれ独自の形状上面を有する複数の上部を含み、複数の上部のそれぞれは、支持板９０２の上面の形状を変えるために他の上部と互いに交換可能である。必要に応じて、装置９００は、また独自形状の上面を有する追加の上部も含むことができる。

【０１３０】

従って、有利なこととして、装置の使用者が複数の様々な熱処理サイクルを複数の類似の被加工物に適用して、結果として被加工物の様々な予想される熱変形形状を得たいと考える場合、使用者は、単純に上部を取外して別の形状の上部を下部９０４に取り付け、これにより結果として得られる支持板９０２の上面の形状を変更して、特定の熱サイクルについての被加工物の予想される熱変形形状に対応することができる。同様に、このような交換可能性は、熱処理中のある被加工物の予想される熱変形形状が別の被加工物とは異なる他の状況でも同等に有利である（例えば、異なる種類の被加工物に類似の熱処理サイクルを適用する、あるいは異なる熱処理サイクルを異なる種類の被加工物に適用するなど）。

【０１３１】

この実施形態では、支持板９０２は、支持板を通じて被加工物に伝達される電磁放射に対して所望のレンズ効果を提供するように構成されているレンズ部９２０を含む。より詳細には、この実施形態では、支持板９０２の下部９０４は、レンズ部９２０を含む。

【０１３２】

本実施形態では、レンズ部９２０の目的は、支持板９０２を通じて伝達され、被加工物を予熱する電磁放射に対する支持板９０２の不均一な上面のレンズ効果を補償することである。

【０１３３】

この実施形態では、レンズ部９２０は下部９０４の下面に環状のレンズ形状を含む。より詳細には、この実施形態では、レンズ部は下部９０４の下面と一体に形成された環状石英レンズである。レンズ部９２０は図１３に下部９０４の下面の残余部分の下の突起として示してあるが、あるいは、レンズ部は、他の方法で形成することもできる。例えば、レンズ部は、下部９０４の下面の凹部または凹部として、または下部９０４の下面の形状を他の方法で修正して形成することができる。

【０１３４】

この実施形態では、レンズ部９２０は９０６、９０８および９１０に示すような様々な取り付け可能な上部の平均的なレンズ効果を補償する形状となっている。別の方法として

は、必要に応じて、レンズ部９２０を着脱可能とし、様々な取り付け可能な上部のそれぞれに対応する、様々なそれぞれのレンズ部（図示せず）を提供することができる。それ故、異なるそれぞれのレンズ部を上部９０６、９０８または９１０それぞれについて下部９０４の下面に取り付けることができる。あるいは、さらに別の方法として、独自形状のそれぞれのレンズ部を有する複数の交換可能な下部を提供することができる。さらに、別の方法として、独自形状の上部それぞれは、各自のそれぞれ独自形状のレンズ部を備えることができる。例えば、各独自レンズ部をそれぞれの上部の下面の凹部として形成し、それぞれの上部にそれ自身の一体型レンズ矯正部分を含むことができる。

【０１３５】

あるいは、さらに別の方法として、図１から図１３を参照すると、支持板１２、４２、１０２、２０２、３０２、４０２、５０２、６０２、７０２、または８０２のいずれかは、レンズ部を、それぞれの支持板と一体に、または支持板から着脱可能に備えることができる。

【０１３６】

より一般的には、ふさわしいレンズ部のその他の種類、構成および位置を代わりに利用することができる。

【０１３７】

図５および図１４を参照すると、本発明の第１２の実施形態による装置の全体を１０００として図１４に示している。この実施形態では、装置１０００は、その上にある被加工物１０６を支持するために、図５に示す支持板１０２を含む。より詳細には、この実施形態では、装置１０００は、支持板１０２を支持するために、下部環状内向き突起支持端部１００４を有する被加工物平面板１００２を含む。本実施形態では、装置１０００は、被加工物の熱処理中に、被加工物１０６の初期形状１１０の下面２０が支持板１０２の非平面上面１０４の上に不均一な間隔をあけて支持されるように支持板１０２の上に被加工物１０６を支持する手段を含み、不均一な間隔は、図５に示す端部隙間１１４と、中央部隙間１１８とを含む。より詳細には、この実施形態では被加工物を支持する手段は、支持ピン１２０、１２２および１２４などの複数の支持ピンを含む。別の方法としては、例えば、図１に示す支持システム１５など、被加工物を支持する他のふさわしい手段で代用することもできる。

【０１３８】

この実施形態では、装置１０００は、さらに、装置１０００が被加工物１０６の初期形状１１０を支持するように構成されている平面の上に配置した第２の板１００６を含む。本実施形態では、第２の板１００６は、被加工物平面板１００２の上部環状内向き突起支持端部１００８により支持される。

【０１３９】

本実施形態では、被加工物１０６の初期形状１１０の上面１８と、第２の板１００６の下面との間の間隔１０２０は、支持板１０２の上面１０４と被加工物１０６の初期形状１１０の下面２０との間の間隔と同等である。より詳細は、この実施形態では、間隔１０２０は１ミリメートル程度とすることができる。しかし、そうではなくて、間隔１０２０を、上面１０４と被加工物１０６との間の間隔より大きく、または小さくすることもできる。しかし、被加工物１０６が半導体ウェーハでありその上面１８がデバイス側である本実施形態などの実施形態では、間隔１０２０は、被加工物が予想される熱変形形状１１２に変形する際に、被加工物の上面（デバイス側）１８と第２の板１００６との物理的な接触を避けるのに十分な大きさとすることが望ましい。例えば、本実施形態に関連して例示として説明する熱サイクルに関しては、より一般的には所望の間隔は特定の当該熱サイクルのパラメータに基づいて変えられるが、間隔１０２０は少なくとも０．５ｍｍであることが望ましい。

【０１４０】

減衰力の強化に加えて、支持板１０２と第２の板１００６の両方がウェーハの近くに存在することで、被加工物の近くでの気体の処理量が低減する傾向があり、これにより対流

および汚染の問題が低減する傾向がある。

【０１４１】

別の方法としては、必要に応じて、第２の板１００６は省略することができる。

【０１４２】

この実施形態では、装置１０００は、被加工物１０６の熱処理のために、全体を１０５２に示す熱処理システムをさらに含む。より詳細には、この実施形態では、熱処理システムは被加工物１０６の動きを熱により誘発するように構成されている。この点で、本実施形態では、熱処理システム１０５２は、被加工物１０６を中間温度まで予熱するように構成され、次に被加工物１０６の表面領域だけを中間温度よりも高い希望の温度まで、被加工物の熱伝導時間よりも短時間で加熱するように構成されている。より詳細には、この実施形態では、熱処理システム１０５２は被加工物を中間温度まで予熱する構成の予熱システムと、被加工物の表面領域だけを所望の温度まで加熱する構成の表面加熱システムとからなる。この実施形態では、予熱システムと表面加熱システムは、それぞれの照射システムを含む。より詳細には、この実施形態では、予熱システムは直流アーク灯１０５８を含み、表面加熱システムは、被加工物１０６を照射フラッシュに暴露する構成の少なくとも１つの照射フラッシュ装置を含む。より詳細には、この実施形態では照射フラッシュ装置はフラッシュランプ１０６０を含み、これは主として可視波長および赤外線波長からなる放射フラッシュを出すように構成されている。別の方法としては、照射フラッシュ装置は、主にマイクロ波の波長からなる照射フラッシュを出すように構成されているマイクロ波パルス発生装置を含むこともできる。この実施形態では、直流アーク灯１０５８は、石英窓１０６６を通じて、および石英支持板１０２を通じて被加工物１０６の下面２０を照射するように構成され、同様に、フラッシュランプ１０６０は、石英窓１０６８を通じて、および第２の板１００６を通じて被加工物１０６の上面１８を照射するように構成されている。一般に、本実施形態では、装置１０００の熱処理システムの、支持板１０２以外の様々な構成部品は、上記の共通所有している米国特許出願公開第ＵＳ２００５／０１３３１６７号に開示されている熱処理システムの対応する構成部品と類似している。しかし、別の方法としては、他の適切な熱処理システムおよび／またはその構成部品で代用することができる。

【０１４３】

さらに図５および図１４を参照すると、図１４に示す実施形態の稼動時、被加工物１０６は支持板１０２の上面１０４の上に、少なくとも支持板の上面１０４の非平面実質的部分１０８が被加工物１０６の初期形状１１０から不均一な間隔を置くように支持される。この実施形態では、被加工物１０６は、被加工物の熱処理中、この方法で支持される。より詳細には、この実施形態では、熱処理には、予熱段階と、熱に誘発された被加工物の動きを含む表面加熱段階との両方がある。

【０１４４】

予熱段階で、直流アーク灯１０５８を起動して、石英窓１０６６および支持板１０２を通じて被加工物を照射することにより、被加工物１０６を所望の中間温度まで予熱する。この予熱段階で、図５に関連して前述の通り、被加工物の初期形状１１０は支持板１０２の上面１０４の上に、そこに不均一な間隔をあけて支持される。支持板１０２に予想される不均一な温度分布があるとき、この間隔により、被加工物１０６の全体にわたって、熱損失率の場所によるばらつきを最小限にする。従って、この実施形態では前述の「第１のウェーハ」効果がそれにより最小限に抑えられ、有利である。

【０１４５】

被加工物が中間温度に到達したとき、熱処理サイクルの表面加熱段階は、次に被加工物の動きを熱で誘発する。より詳細には、被加工物の熱に誘発される動きとしては、被加工物の表面領域だけを被加工物の熱伝導時間よりも短時間で所望の温度まで加熱し、それにより被加工物を初期形状から熱変形形状に変形させることを含む。これを達成するため、この実施形態では、フラッシュランプ１０６０を起動して、被加工物１０６の上面１８（この実施形態では半導体ウェーハのデバイス側）を、石英窓１０６８と第２の板１００６

を通じて高強度の電磁照射フラッシュに暴露する。高強度の照射フラッシュは、例えば、１ｍｓフラッシュなど、被加工物の熱伝導時間よりも大幅に短い時間しか継続しない。照射フラッシュは、被加工物の上面１８だけを所望の温度に加熱するが、被加工物の大部分は比較的低温の中間温度に留まる。被加工物の加熱された上面１８の急速な熱膨張のために、上面１８は、被加工物の大部分よりも大きく熱膨張し、それにより被加工物を、初期形状１１０から予想される熱変形形状１１２に熱で変形させる。この熱変形が急速に生じることにより、被加工物がその平衡変形形状を飛び越して、発振または振動する。

【０１４６】

この実施形態では、被加工物１０６を支持することは、被加工物１０６が初期形状１１０から予想される熱変形形状１１２に変形するときに、被加工物１０６と、支持板１０２の上面１０４との接触を制御することを含む。このような制御の方法については前述したが、例えば、上面１０４を、被加工物が上面１０４にぶつかった時点での被加工物の外周速度を削減または制限し、図２に示す高応力熱変形形状３２および３６と比較して衝撃により誘発される衝撃波のタイミングを制御するように配置することを含む。別の実施形態では、制御に接触そのものの防止を含むことができるが、外周と支持板の少なくともある程度の接触は多くの実施形態で、全体的な被加工物の動きを抑え、それにより残存可能性を高めるには望ましい。それ故、このような制御により、被加工物と支持板との衝突に由来する被加工物の損傷または破損のリスクを有利に抑制する。

【０１４７】

また、この実施形態で、被加工物１０６を支持することは、被加工物１０６の熱変形形状を支持板１０２の上面１０４の上に、上面１０４と被加工物１０６の熱変形形状との間のガス圧力が熱により誘発される被加工物の動きに対抗するように十分小さい距離を置いて支持することを含む。それ故、支持板１０２と被加工物１０６の間のガス圧力は被加工物の振動する動きを緩和する役目を果たし、それによりさらに被加工物の損傷または破損の尤度を低減する。

【０１４８】

図１から図１４を参照すると、様々な例示的実施形態で、装置１０、４０、１００、２００、３００、４００、５００、６００、７００、８００、９００のそれぞれは、それ自身の熱処理システムを含み、これは図１４に示す例示的熱処理システム１０５２に類似していることもあるし、相当に異なることもある。逆に、別の実施形態では、こうした装置が、それぞれ、既存の熱処理システムに据付けるための支持板構成要素だけを含むこともできる。

【０１４９】

図５および図１５を参照すると、本発明の第１３の実施形態による、熱処理中に被加工物を支持するための装置の全体を１５００に示している。装置１５００は、全体を１５０４に示す非平面上面を有する支持板１５０２と、支持システム（図１５に図示せず）とを含む。一般に、支持板１５０２は図５の１０２に示すものに類似している。しかし、支持板１０２と異なり、この実施形態では支持板１５０２の上面１５０４の内側領域１５１０は全体的に凹状であり、支持板１５０２の上面１５０４の外側領域１５１２は全体的に凸状である。

【０１５０】

より詳細には、この実施形態で、支持板１５０２の上面１５０４は、被加工物の中心軸を中心とするくぼんだ凹部を有し、これが内側領域１５１０の範囲を画定している。この実施形態では、くぼんだ凹部内側領域１５１０は、被加工物の中心軸から外側へ、被加工物の半径の約３分の２（ｒ＝１００ｍｍ程度まで）延びており、ここで、上面１５０４の半径距離が全体的に凹状の内側領域１５１０から全体的に凸状の外側領域１５１２に変化する。

【０１５１】

他の代替物

以上、説明のために支持板の具体的な上面形状を説明してきたが、当業者が本明細書を

見れば、このほかに多数の形状が可能であることは明白であろう。それ故、特定の実施形態または用途での必要に応じて、少なくともその実質的な部分が平面でない他の上面形状で、本明細書に説明したいずれかの上面形状に代えることができる。

【０１５２】

同様に、ガス流障壁、接触部および支持ピンなどの様々な特徴も、説明のための具体的な支持板の上面形状に関連して示したが、代案として、こうした特徴は、これらの上面形状を用いる他の実施形態から省略することもできる。

【０１５３】

本明細書に記載の様々な特徴は別々の実施形態として記載したが、こうした特徴の多くは互いに排他的なものではなく、様々な代案としての実施形態で互いに組み合わせたり置き換えたりすることができる。

【０１５４】

例えば、図８に戻ると、接触部４０６は、本明細書に記載の他の実施形態のいずれか、または図示していない他の実施形態に設けることができる。

【０１５５】

同様に、図５および図９を参照すると、図１に示すものなどの支持ピンは、図９から図１３に示すものと置き換えることができ、逆も同様である。さらに一般的には、図５に示すものなどの支持ピン、または図９に示す別のピンは、本明細書の他の実施形態に示す具体的な支持ピンの代わりに使用することができる。別の方法としては、本明細書には具体的に記載されていない別種の支持ピンを代用することもできる。例えば、図１および図４に示す支持システム１５の石英ファイバループなどの可撓性支持部材、または例えば、共通所有している米国特許出願第ＵＳ２００４／０１７８５５３号に開示されている他の可撓性支持部材のいずれかで、他の実施形態のいずれかの支持ピンに代えることができる。同様に、支持ピンまたは他の支持手段が配置される位置は、特定の実施形態での必要に応じて修正することができる。

【０１５６】

同様に、図９から図１３を参照すると、図９から図１３に示す乱流発生装置などのガス流障壁は、本明細書に示すいずれの実施形態でも備えることができる。

【０１５７】

図１３を参照すると、本明細書の上面のいずれかを有する上部を、単数または複数の下部および単数または複数の上部の所与の組み合わせについて、追加、代用、または削除することができる。さらに一般的には、少なくとも実質的な部分が平面でない上面を有する他の適切な代案としての上部を追加または代用することができる。

【０１５８】

さらに一般的に言うと、本発明の特定の実施形態について記載し、説明してきたが、上記実施形態は本発明を説明するものとしてのみ考えるべきであり、本願またはそこから優先権を主張する出願に添付される特許請求の範囲に従って解釈される本発明を制限するものと考えるべきではない。

【図１】

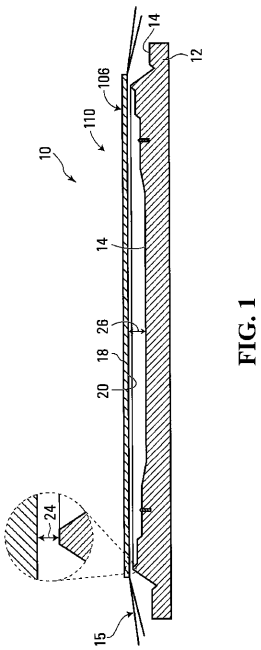


FIG. 1

【図２Ａ】

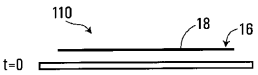


FIG. 2A

【図２Ｂ】



FIG. 2B

【図２Ｃ】

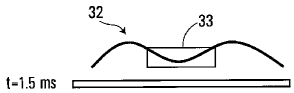


FIG. 2C

【図２Ｄ】

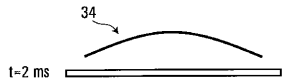


FIG. 2D

【図２Ｅ】

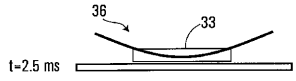
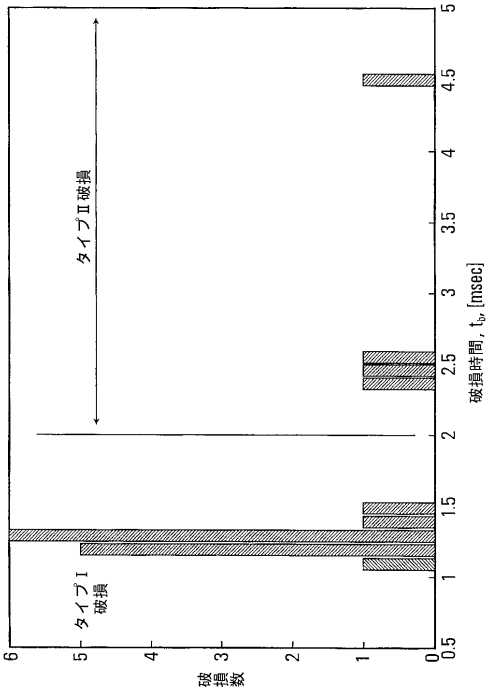


FIG. 2E

【図３】



【図４】

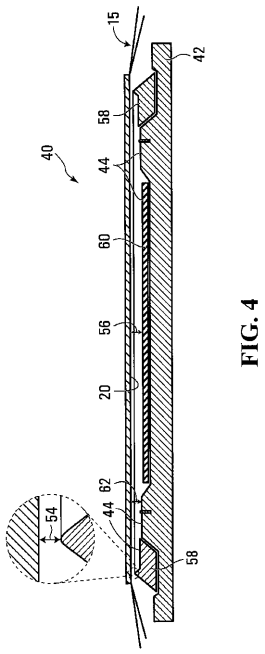


FIG. 4

【図５】

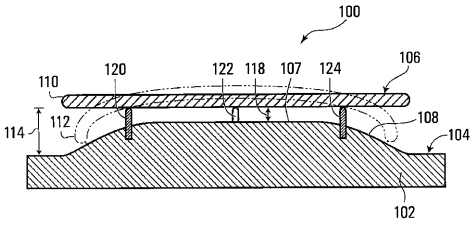


FIG. 5

【図６】

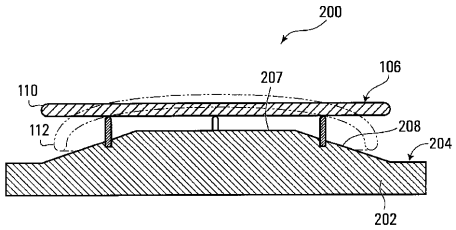


FIG. 6

【図７】

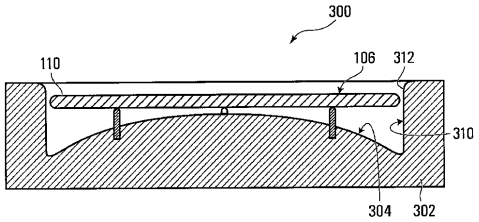


FIG. 7

【図８】

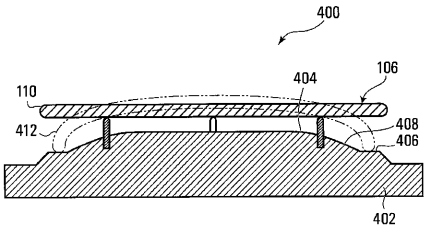


FIG. 8

【図９】

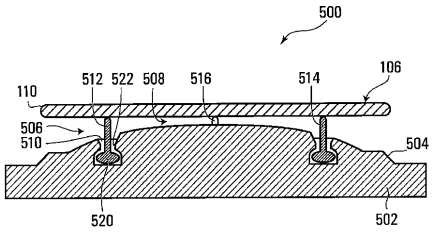


FIG. 9

【図１０】

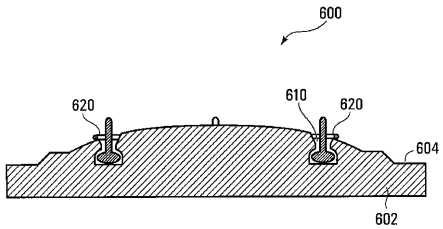


FIG. 10

【図１１】

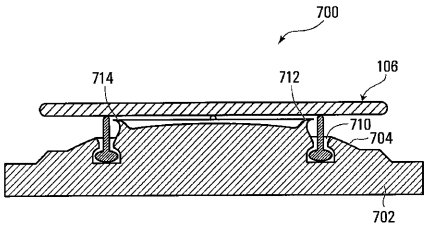


FIG. 11

【図１２】

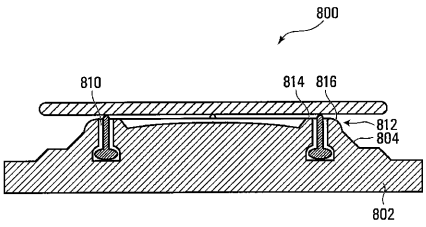


FIG. 12

【図１３】

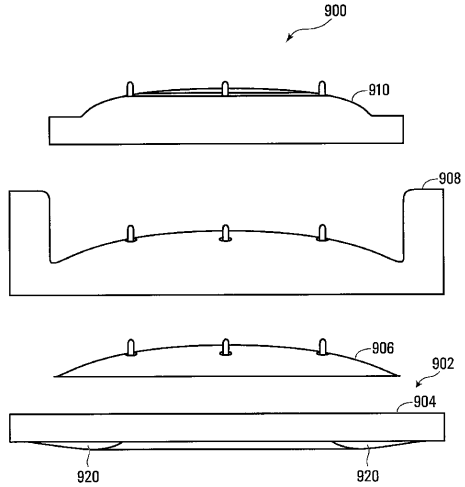


FIG. 13

【図１４】

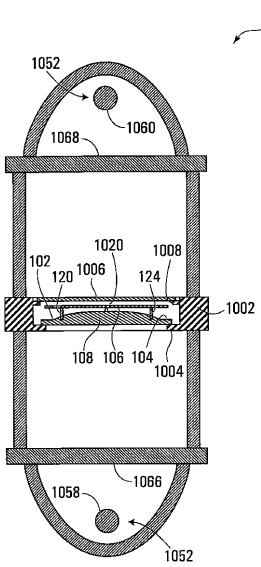


FIG. 14

【図１５】

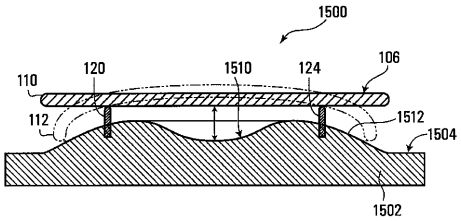


FIG. 15

フロントページの続き

(72)発明者　シベレ、ジョセフ
カナダ国、ブリティッシュ　コロンビア、バーナビー、　リッジローン　ドライブ　４８９０
(72)発明者　バンブロヴィック、ムラデン
カナダ国、ブリティッシュ　コロンビア、バンクーバー、　マリーナサイド　クレセント　７０１－１２８８

合議体
審判長　飯田　清司
審判官　加藤　浩一
審判官　鈴木　匡明

(56)参考文献　特開平０７－０５８０４０（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００４／０５７６５０（WO，Ａ１）
特開２００５－１０１２１５（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－３２３４８７（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２００５／０２８４３７１（ＵＳ，Ａ１）
特開２０００－０５８５３４（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－０５８０４１（ＪＰ，Ａ）
特表２００３－５２５５２４（ＪＰ，Ａ）
特表２００１－５２４７４９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L21/18-21/84