

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6114762号  
(P6114762)

(45) 発行日 平成29年4月12日(2017.4.12)

(24) 登録日 平成29年3月24日(2017.3.24)

(51) Int.Cl.	F 1
GO 1 J 5/00 (2006.01)	GO 1 J 5/00 1 O 1 C
GO 1 J 5/06 (2006.01)	GO 1 J 5/06
GO 1 J 5/10 (2006.01)	GO 1 J 5/10 B
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66 T

請求項の数 16 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-561330 (P2014-561330)	(73) 特許権者 514311335 セントロターム フォトヴォルテイクス アーゲー ドイツ連邦共和国、89143 ブラウボ イレン、ヨハネスーシュミットーシュトラ ーセ、8
(86) (22) 出願日	平成25年3月15日(2013.3.15)	(73) 特許権者 511033128 ハーカーディエレクトリック ゲーム ペーハー
(65) 公表番号	特表2015-513094 (P2015-513094A)	ドイツ連邦共和国、89156 ドレンシ ュタット、ポストファッハ 49
(43) 公表日	平成27年4月30日(2015.4.30)	(74) 代理人 100091498 弁理士 渡邊 勇
(86) 國際出願番号	PCT/EP2013/000807	(74) 代理人 100118500 弁理士 廣澤 哲也
(87) 國際公開番号	W02013/135394	
(87) 國際公開日	平成25年9月19日(2013.9.19)	
審査請求日	平成28年3月9日(2016.3.9)	
(31) 優先権主張番号	102012005428.9	
(32) 優先日	平成24年3月16日(2012.3.16)	
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】基板の温度を測定する装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板を加熱している間、基板(W)、特に半導体基板の温度を測定する装置であって、  
基板を加熱する少なくとも1つの第一放射源(8)と、

基板(W)から放射された放射線と少なくとも1つの放射源(8)の放射線であって基板(W)で反射した放射線の第一の部分とが第一放射線検出器(20)に入射するよう  
に、少なくとも1つの放射源(8)に面している基板(W)の第一表面領域に向いている第  
一放射線検出器(20)と、

基板(W)から放射された放射線と任意的な少なくとも1つの放射源(8)の放射線であ  
って基板(W)で反射した放射線の第二の部分とが第二放射線検出器(21)に入射す  
るよう、少なくとも1つの放射源(8)に面している基板(W)の第二表面領域に向  
いて第二放射線検出器(21)とを備え、

基板(W)で反射され、各放射線検出器に入射する第一放射源(8)の放射線の第一部  
分と第二部分は互いに異なっており、第一表面領域と第二表面領域は実質的に同一  
温度を有している基板領域であり、

第一及び第二放射線検出器(20, 21)により検出された放射線と、第一放射源(8)  
の駆動電力及び第一放射源(8)の放射線強度のうち少なくとも一つによって、直接的  
に基板(W)の温度を測定するように構成されている温度測定ユニットをさらに備えるこ  
とを特徴とする基板の温度を測定する装置。

## 【請求項 2】

10

20

第一放射源の放射線強度を測定するために、少なくとも1つの第一放射源(8)に向いている第三放射線検出器(25)を備えたことを特徴とする請求項1記載の装置。

**【請求項3】**

第一表面領域及び第二表面領域は、基板の中心に対して共通円上に配置されていることを特徴とする請求項1及び2のいずれか1項に記載の装置。

**【請求項4】**

第一表面領域及び第二表面領域は、直接的に互いに隣接して配置されるか、又は少なくとも部分的に重なり合っていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の装置。

**【請求項5】**

少なくとも1つの放射源の放射線であって基板で反射される放射線の割合に影響を与える少なくとも1つの光学的な要素を備え、少なくとも1つの光学的要素は、好ましくは基板と少なくとも1つの放射線検出器との間に配置されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の装置。

**【請求項6】**

少なくとも1つの光学的要素は、開口及びフィルターの少なくとも1つであることを特徴とする請求項5に記載の装置。

**【請求項7】**

少なくとも1つの光学的要素は各放射線検出器に割り当てられ、基板で反射され、且つ、各放射線検出器に到達する少なくとも1つの放射源の放射線の割合に影響を与えるために、複数の光学的要素は、放射線検出器の視野のための異なった開口角を形成し、及び/又は基板から異なった距離で配置されていることを特徴とする請求項5又は6に記載の装置。

**【請求項8】**

少なくとも1つの放射源の放射線が基板に当たる前に、放射線検出器の測定波長の範囲内である少なくとも1つの放射源の放射線を除去するために、複数の第一放射源のうち少なくとも1つの放射源と基板との間に配置された少なくとも1つのフィルターを備えていることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の装置。

**【請求項9】**

少なくとも1つの第一放射源はランプ、特にロッドランプであることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の装置。

**【請求項10】**

基板、特に半導体ウエハを熱的に処理する方法であって、

少なくとも1つの第一放射源から放射された第一放射線によって基板を加熱し、第一放射源の放射線は基板の第一側に向き、且つ、それによって少なくとも部分的に反射され、

基板の第一側の第一表面領域から来る第一放射線を検出し、検出された第一放射線は第一基板放射線部と第一反射放射線部からなり、第一基板放射線部は基板自身の温度によって基板から放射される放射線からなり、第一反射放射線部は基板で反射される第一放射源の放射線からなり、

基板の第一側の第二表面領域から来る第二放射線を検出し、検出された第二放射線は少なくとも第二基板放射線部と第二反射放射線部からなり、第二基板放射線部は基板自身の温度によって基板から放射される放射線からなり、第二反射放射線部は基板で反射される少なくとも1つの第一放射源の放射線からなり、第一表面領域と第二表面領域は、実質的に基板の同一温度を備えている領域であり、第一反射放射線部と第二反射放射線部は異なっており、

第一及び第二の検出された放射線と、少なくとも1つの第一放射源の駆動電力及び少なくとも1つの放射源の放射線強度の少なくとも1つとに基づいて基板の温度を測定することを特徴とする基板を熱的に処理する方法。

**【請求項11】**

第一放射線及び第二放射線は、異なった放射線検出器によって検出されることを特徴と

10

20

30

40

50

する請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

基板は、第一側に対して実質的に垂直に延びる軸線の周りに回転され、第一表面領域及び第二表面領域は、基板の中心点に対して回転する共通円上に実質的に位置することを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の方法。

【請求項 13】

第一表面領域及び第二表面領域は、互いに直接的に隣接しているか又は少なくとも部分的に重なっていることを特徴とする請求項 10 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 14】

第一反射放射線部と第二反射放射線部の少なくとも一方は、基板と反射放射線を検出する放射線検出器との間に位置する少なくとも 1 つの光学的要素の影響を受けることを特徴とする請求項 10 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の方法。 10

【請求項 15】

各検出された反射放射線部に影響を与えるために、少なくとも 1 つの放射源の放射線が基板に入射する前に、放射線検出器の測定波長の範囲内の放射線は、複数の第一放射源の少なくとも 1 つの放射源と基板との間の放射線経路においてフィルターをかけて除去されることを特徴とする請求項 10 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 16】

少なくとも 1 つの放射源から来る放射線強度は、少なくとも 1 つの第一放射源に向いている放射線検出器を用いて検出され、この検出結果は基板の温度を測定する際に使用されることを特徴とする請求項 10 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の方法。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板、特に半導体基板の温度を測定する装置に関し、また基板、特に半導体基板の熱処理用の装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、基板を熱処理する種々の装置及び方法が知られており、またその熱処理中に基板の温度を測定する装置が知られている。 30

【0003】

半導体基板の熱処理の公知の方法は、例えば、タンゲステンハロゲンランプ等のランプから放射された電磁放射線によって基板を加熱することを含む。熱処理の温度を制御するために基板に向けられた放射線検出器によって、半導体ウエハの温度を測定することが知られている。しかしながら、一般的に、放射線検出器は半導体ウエハから放射された放射線を検出するばかりでなく、半導体ウエハによって反射された放射線又は半導体ウエハを透過した放射線を検出し、この異なる放射線の部分の識別が温度を測定するために必要である。

【0004】

そのような識別用に、米国特許第 5 3 1 8 3 6 2 号は、いわゆるリップル技術を開示しており、この米国特許第 5 3 1 8 3 6 2 号においては周波数がランプの各励起を介してランプ放射線に印加される。最初は、この周波数の印加は、電力の A C 周波数を利用することによりなされ、この技術は何度も改良され、異なる周波数が印加された。半導体ウエハの温度変化は周波数印加に比較してかなりゆっくりと起こる。それゆえ、自身の温度によって半導体ウエハから放射された放射線は、ランプ放射線に印加された周波数を含んでいないため、それとは区別されうる。 40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

基板の温度をこの技術で測定するために、まず基板の放射率を測定し、次に温度を測定 50

しなければならない。対象物の放射の程度、すなわち放射率は、対象物の温度又はプロセスの反応に依存する可能性があり、熱処理中に変化する可能性がある。そのような変化は、緩やかであるか又は不規則である可能性があり、その変化は可逆的であるか又は永久的なもので有る可能性がある。特に、変化が極めてゆっくり検出されるか又は全く検出されない場合には、不規則な変化は温度測定の誤差に繋がる可能性がある。安定した基準がない場合には、放射率の測定の校正が難しいことがよくある。また、対象物の放射率は環境に依存する可能性があり、反応器の外と反応器の中とで異なっている可能性がある。

#### 【0006】

それ故、本発明の目的は、基板の放射率に依存しないで、放射線に基づく温度測定を可能とする基板の熱処理装置及び方法を提供することである。

10

#### 【0007】

本発明によれば、この目的は、請求項1に規定された基板の温度を測定する装置および請求項10に規定された基板の熱処理方法によって達成される。また、本発明の実施形態は、各從属請求項及び次の説明より明確にされる。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本発明によれば、少なくとも1つの第一放射源によって加熱している間、基板、特に半導体基板の温度を測定する装置であって、基板から放射された放射線と、少なくとも1つの放射源であって基板で反射された放射線の第一の部分とが第一放射線検出器に入射するように、少なくとも1つの放射源に面している基板の第一表面領域に向いている第一放射線検出器と、基板から放射された放射線と、任意的な少なくとも1つの放射源の放射線であって基板で反射された放射線の第二の部分とが第二放射線検出器に入射するように、少なくとも1つの放射源に面している基板の第二表面領域に向いている第二放射線検出器とを備え、基板で反射され、各放射線検出器に入射する第一放射源の放射線の第一部と第二部分は互いに異なっており、第一表面領域と第二表面領域は実質的に同一温度を有している基板領域である。更に、第一及び第二放射線検出器により検出された放射線と、第一放射源の駆動電力及び第一放射源の放射線強度のうち少なくとも一つによって、直接的に基板の温度を測定することが可能である温度測定ユニットを備えている。二つの放射線検出器を用いることにより、基板の放射率を知ること無く、検出された放射線によって基板の温度を直接測定することが可能である。

20

第一および第二放射線検出器は単一の検出器によって形成可能であり、この単一の検出器には、基板から来る放射線であって基板で反射された放射線の第一部を有する放射線が供給されるか、または基板から来る放射線であって基板で反射された放射線の第二部分を有する放射線が供給され、第二部分は0または0に近い値であってもよい。

30

#### 【0009】

好ましくは、第一放射源の放射線強度を測定するために、少なくとも1つの第一放射源に向いている第三放射線検出器を備えている。

#### 【0010】

本発明の一実施形態によれば、第一表面領域及び第二表面領域は、基板の中心に対して共通円上に実質的に配置されている。ここで用いられる実質的にという用語は、仮に共通円の領域で少なくとも重なり合っている全ての領域が、円上に中心が無い場合であっても、これら全ての領域を含むことを意味する。これは、表面領域は実質的に同じ温度であるということを反映しているものである。第一表面領域及び第二表面領域を直接的に互いに隣接して配置させるか、又は第一表面領域及び第二表面領域を少なくとも部分的に重なり合わせることによって達成させてもよい。好ましくは、装置は少なくとも1つの放射源の放射線であって、基板で反射される放射線の割合に影響を与える少なくとも1つの光学的要素を備え、少なくとも1つの光学的要素は、例えば、開口及びフィルターの少なくとも1つであってもよい。少なくとも1つの光学的要素は各放射線検出器に割り当てられ、基板で反射され、且つ、各放射線検出器に到達する少なくとも1つの放射源の放射線の割合に影響を与えるために、複数の光学的要素は、放射線検出器の視野のための異なった開口

40

50

角を形成し、及び／又は基板から異なった位置に配置されてもよい。

【0011】

装置は、少なくとも1つの放射源の放射線が基板に当たる前に、放射線検出器の測定波長の範囲内である少なくとも1つの放射源の放射線を除去するために、複数の第一放射源のうち少なくとも1つの放射源と基板との間に配置された少なくとも1つのフィルターを備えていてもよい。

【0012】

一実施形態によれば、少なくとも1つの第一放射源はランプ、特にロッドランプである。

【0013】

基板、特に半導体ウエハを熱的に処理する本発明の方法は、少なくとも1つの第一放射源から放射された第一放射線によって基板を加熱し、第一放射源の放射線は基板の第一側に向き、且つ、それによって少なくとも部分的に反射される。基板の第一側の第一表面領域から来る第一放射線を検出し、検出された第一放射線は第一基板放射線部と第一反射放射線部からなり、第一基板放射線部は基板自身の温度によって基板から放出される放射線からなり、第一反射放射線部は基板で反射された第一放射源の放射線からなる。

10

【0014】

更に、基板の第一側の第二表面領域から来る第二放射線を検出し、検出された第二放射線は少なくとも第二基板放射線部と第二反射放射線部からなり、第二基板放射線部は基板自身の温度によって基板から放出される放射線からなり、第二反射放射線部は基板で反射される少なくとも1つの第一放射源の放射線からなる。第一表面領域と第二表面領域は、実質的に基板の同一温度を備えている領域であり、第一反射放射線部と第二反射放射線部は異なる。検出された第一及び第二放射線及び少なくとも1つの第一放射源の駆動電力及び／又は同一の放射源の放射線強度に基づいて基板の温度を測定する。このように、基板の放射率を測定することなく上述の測定値を直接用いて、温度測定が可能である。

20

【0015】

好ましくは、同時の検出を可能とするために、第一放射線及び第二放射線は、異なった放射線検出器によって検出される。しかしながら、それらは同一の放射線検出器を代わりに使用しても検出できる。

【0016】

30

基板を回転させる方法で基板温度の均質化を図るため、基板は、第一側に対して実質的に垂直に延びる軸線の周りに回転され、第一表面領域及び第二表面領域は、基板の中心点に対して回転する共通円上に実質的に位置する。第一表面領域及び第二表面領域は、基板の回転の有無にかかわらず、互いに直接的に隣接しているか又は少なくとも部分的に重なっていてもよい。

【0017】

一実施形態によれば、第一反射放射線部及び／又は第二反射放射線部は、基板と反射放射線を検出する放射線検出器との間に位置する少なくとも1つの光学的要素の影響を受ける。

【0018】

40

一実施形態によれば、各検出された反射放射線部に影響を与えるために、少なくとも1つの放射源の放射線が基板に入射する前に、放射線検出器の測定波長の範囲内の放射線は、複数の第一放射源の少なくとも1つの放射源と基板との間の放射線経路においてフィルターをかけて除去される。

【0019】

好ましくは、少なくとも1つの放射源から来る放射線強度は、少なくとも1つの第一放射源に向いている放射線検出器を用いて検出され、この検出結果は基板の温度を測定する際に使用される。

【図面の簡単な説明】

【0020】

50

本発明は、以下の図面を参照し、より詳細に説明される。

【図1】図1は、半導体ウエハを熱的に処理する装置の模式的側面図である。

【図2】図2は、半導体ウエハの模式的上面図である。

【図3】図3(a)から図3(c)は、ランプのバンクに対して基板パイロメーターの異なった配置可能性を示す模式的側面図である。

【図4】図4(a)は、ウエハ自身の温度によるパイロメーター信号対ウエハの放射線の予測変化を示す曲線である。図4(b)は、パイロメーター信号対加熱ランプの駆動電力、ウエハにおける反射によってパイロメーターに入射する放出された放射線の予測変化を示している曲線である。

【図5】図5(a)及び図5(b)は、パイロメーター信号対ウエハの温度の予想される変化を示す曲線であり、パイロメーターは、ウエハの温度放射線と、ウエハで反射した加熱用ランプの放射線の両方を検出し、加熱用ランプは一定のランプ電力で稼働され、図5(a)は5%のランプ電力におけるパイロメーター信号の予想される変化を示し、図5(b)は50%のランプ電力におけるパイロメーター信号の予想される変化を示す。

【図6】図6は、ランプ電力の機能としてパイロメーターの予測動作温度の曲線を示す。

【図7】図7は、ランプ電力の機能としてのパイロメーターの予測動作温度の異なった曲線を示し、異なった曲線はパイロメーターにおける加熱用ランプの反射された放射線の異なった部分の検出に基づく。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0021】

以下の説明において使用されている上、下、左及び右等の用語及びこれに類似した表現は、図面について言及しており、それらが好ましい実施形態について言及しているという事実にも拘わらず限定された方法で解釈されるべきものではない。他の表示がされていない場合には、角度及び配置について「実質的に」という用語は、10%まで、好ましくは5%までの偏差を含むと理解すべきである。他の値について言及している場合に「実質的に」という用語は、他の表示がなされない限り、10%まで、好ましくは5%までの偏差を含むと理解すべきである。

##### 【0022】

図1は半導体ウエハWの熱処理用装置1の模式的側面図である。装置1は、特にプロセスチャンバー3を形成する内部空間を有したハウジング2を備えている。プロセスチャンバー3は上側及び下側が壁要素5及び6で各々区画されており、側面をハウジング2によって区画されている。壁要素5の上方に、ランプチャンバー7がハウジング2内に設けられている。このランプチャンバー7は鏡面を備えていても良く、ランプチャンバー7には種々のランプ8による熱源が設けられても良い。壁要素6の下方には、ランプチャンバー7に類似した別のランプチャンバー9が設けられており、このランプチャンバー9内に種々のランプ10による熱源が設けられている。

##### 【0023】

プロセスチャンバー3の側壁は、さらに、プロセスチャンバー3内で発生する電磁放射線の少なくとも一部のためのある種の鏡面効果を有していても良い。また、プロセスチャンバー3の側壁の少なくとも1つは半導体ウエハWをローディング及びアンローディングするためのプロセスチャンバードア(図示せず)を備えている。さらに、プロセスチャンバー3用のガス入口及びガス出口(図示せず)を設けても良い。

##### 【0024】

プロセスチャンバー3内には、サポート13を有した基板ホルダー12が設けられており、基板ホルダー12上に半導体ウエハWが載置される。半導体ウエハの上面に対して実質的に垂直な軸線回りに、基板ホルダー12上に受け取った半導体ウエハを回転させるために、基板ホルダー12は回転機構に接続されている。これによって、当該技術分野で公知であるように、半導体ウエハにおける温度差はバランスがとれる。プロセスチャンバー3内には、 RTPシステムの技術分野において公知であるように、半導体ウエハを半径方向に取り囲む補償リングが設けられている。

10

20

30

40

50

## 【0025】

上側及び下側でプロセスチャンバー3を区画する壁要素5及び6は、各々、水晶から構成され、ランプ8，10の放射線を実質的に透過可能である。

## 【0026】

ランプ8，10は所謂閃光灯であり、閃光灯は典型的にはフラッシュモードで動作し、またランプ8，10はタンクステンハロゲンランプであり、タンクステンハロゲンランプは典型的には連続モードで動作される。ランプは異なった形態でも配置可能であり、上述のタイプのランプを組み合わせることも可能であり、或いは上述のランプと他のタイプのランプとを組み合わせることも可能である。特に、ランプ10を省略することも可能であり、そして、ランプ8を備えた上部ランプチャンバー7のみを設けることも可能である。また、上部ランプチャンバー7及びランプ8を省略することも可能であり、ランプ10を備えた下部ランプチャンバー9のみを設けることも可能である。10

## 【0027】

装置1は、以下において第一基板パイロメーター20と称する半導体ウエハWの上側に向いている第一パイロメーターを更に備え、また、以下において第2基板パイロメーター21と称する半導体ウエハWの上側に向いている第二パイロメーターも更に備えている。更に、以下においてランプパイロメーター25と称するランプ8の少なくとも1つに向いている第3パイロメーターが設けられている。半導体ウエハWを放射線が透過することを考慮に入れるために、任意的に、半導体ウエハWの背面に向いているパイロメーター、即ちランプ8と反対側の半導体ウエハの側に向いているパイロメーターを設けることも可能である。20

## 【0028】

第一基板パイロメーター20と第二基板パイロメーター21は、これら第一基板パイロメーター20と第二基板パイロメーター21が同一温度を有した表面領域20a，21aに向くように、半導体ウエハWの上側に向いている。半導体ウエハWを回転させるとき、第一及び第二表面領域20a，21aは、半導体ウエハの中心点に対して回転する共通円上に実質的に位置することが可能である。ここで、「実質的」の用語は回転の方向において表面領域20a，21aの少なくとも部分的な重なりを包含すると考えられる。その様な配置は、例えば図2に示される。半導体ウエハWが表面領域20a，21aにおいて同一温度を有することを確保するために、表面領域20a，21aは互いに直接的に隣接して配置することも可能であり又は互いに重なり合った形で配置することも可能である。30

## 【0029】

図1によると、第一基板パイロメーター20と第二基板パイロメーター21は、それらが上部ランプチャンバー内に延びており、上方から垂直に半導体ウエハW上に向いている、というようなことが示されている。第一及び第二基板パイロメーターをハウジング2の側部に設け、側部から半導体ウエハWに向くようにすることも可能である。例えば、第一及び第二基板パイロメーター20，21は、シールドされた方法でランプチャンバー7及び上部壁5の対応する開口に延びるか又はこれらランプチャンバー及び開口を通って延びる導光部を介して半導体ウエハWの上側に向いていてもよい。

## 【0030】

それ故、第一及び第二基板パイロメーター20，21は半導体ウエハWから来る放射線を検出することが可能である。基板から来るこの放射線は、以下において基板放射線と呼ばれる基板から放射された放射線と、典型的にはランプ8から来る放射線であって、以下において反射放射線と呼ばれる半導体ウエハWで反射される放射線とを含む。各第一及び第二基板パイロメーター20，21で検出された放射線は、基板放射線の部分と反射放射線の部分の組成に関して異なっている。このことは、図3に関して以下で説明される異なった方法で達成されうる。これによって、基板パイロメーター20，21の一方で測定される反射放射線の割合がゼロ又は殆どゼロであることが可能である。40

## 【0031】

図1には、上部ランプチャンバーに延び、且つ、上方から垂直にランプの上部バンクの50

ランプ8の一つに向かっているランプパイロメーター25が示されている。ハウジングの側部にランプパイロメーター25を設け、ランプパイロメーター25を側部からランプ8の一つに向けることも可能である。

#### 【0032】

図3(a)から図3(c)は、半導体ウエハW及びランプの上部バンクのランプ8に対して基板パイロメーター20, 21及びランプパイロメーター25を配置する異なった実施形態の模式的側面図である。

#### 【0033】

全ての別の実施形態において、基板パイロメーター20, 21は、ランプの上部バンクの隣接するランプ8間のすき間を通して半導体ウエハWの上側に向いている。ここで、基板パイロメーター20, 21は、それぞれ、ランプ8の直接的な放射線が実質的に検出できないように配置されており、このことは、例えば、基板パイロメーター20, 21の開口部(アパーチャー)に対応する開口によって達成されうる。異なった実施形態では、基板パイロメーター20, 21の視野は点線によって表示される。

10

#### 【0034】

各別実施形態において、さらに、ランプパイロメーター25は、ランプパイロメーター25がランプ8の放射線を検出できるように基板パイロメーター20に隣接したランプ8に向いており、ランプ8の放射線は反射によって基板パイロメーター20によっても検出可能である。このことは以下において更に詳細に説明する。

#### 【0035】

20

図3(a)による実施形態において、基板パイロメーター20は半導体ウエハW上に視野を有しており、この視野は開口角 $\theta$ 及び基板パイロメーター20から半導体ウエハWまでの距離によって定義される。開口角 $\theta$ は、基板パイロメーターに隣接して配置されたランプ8の1回反射された放射線が基板パイロメーター20に入射してここで検出されるように、基板パイロメーター20の位置に対して選択される。

#### 【0036】

基板パイロメーター21は半導体ウエハW上に視野を有しており、この視野は開口角 $\theta$ 及び基板パイロメーター21から半導体ウエハWまでの距離によって定義される。開口角 $\theta$ は、ランプ8の放射線が一反射によって基板パイロメーター21に入射しないように、基板パイロメーター21の位置に対して選択される。上記別実施形態を説明する際に、ランプ放射線の1回の反射のみが考慮に入れられる。当然のことながら、多重反射を介して(更に)ランプの放射線は各基板パイロメーター20, 21に入射することが可能である。しかしながら、多重反射を介して基板パイロメーター20又は21に入射する放射線に對応する割合は比較的小さいので、以下において、この放射線は無視することが可能である。

30

#### 【0037】

上記説明及び図3(a)から明らかなように、基板パイロメーター20, 21は実質的に同一の基板放射線を測定するが、反射放射線の異なった部分を測定する。基板パイロメーター21では、実質的に反射放射線が測定されないか、又は反射放射線のごく少量のみが測定される。一方、基板パイロメーター20では、ランプ8の強度によるが、実質的な量が測定可能である。

40

#### 【0038】

図3(b)による実施形態では、基板パイロメーター20, 21は、それぞれ、半導体ウエハW上に視野を有し、この視野は同一の開口角 $\theta$ と、基板パイロメーター20, 21から半導体ウエハWまでの異なる距離によって定義される。基板パイロメーター20は、半導体ウエハWの上面に対して基板パイロメーター21よりもより大きな距離で離れて配置されている。これによって、図3(b)に示すように、ランプ8の放射線が1回の反射を介して基板パイロメーター20に入射することが可能であるが、基板パイロメーター21に関しては、これは可能ではない。これ故、基板パイロメーター20, 21が同一の基板放射線を測定するが、反射放射線の異なった部分を測定するということが、ここでも可

50

能である。

**【0039】**

図3(c)は基板パイロメーター20, 21を配置する別の実施形態を示す。この別の実施形態では、基板パイロメーター20, 21は、それぞれ、同一の開口角 及び各基板パイロメーター20, 21から半導体ウエハまでの同一の距離によって定義される半導体ウエハWの視野を有している。これ故、反射放射線の同一の量が各基板パイロメーター20, 21に入射する。しかしながら、基板パイロメーター21の近くにおいては、ランプ8は、基板パイロメーター21の測定波長範囲におけるランプ放射線にフィルターをかけて取り除くフィルターエレメントによって囲まれている。これ故、ランプ8の反射放射線は概ね基板パイロメーター21に入射するが、この放射線は、基板パイロメーター21の測定波長の範囲外であり、基板パイロメーター21は基板パイロメーター20に比較して反射放射線の異なった量を検出する。  
10

**【0040】**

操作中、評価回路(図示せず)は、検出された放射線から半導体ウエハWの温度を直接測定をすることができる基板パイロメーター20、21とランプパイロメーターとに接続してもよく、この点は以下、更に詳細に述べられる。更に、半導体ウエハWの放射率も検出された放射線に基づいて求めることができる。

**【0041】**

操作中、半導体ウエハWはランプ8によって及び任意的にランプ10によって加熱される。基板パイロメーター20, 21は半導体ウエハWから来る放射線を検出し、この放射線は、上述したように、基板放射線と適用可能な場合には反射放射線とを含んでいる。更に、検出された放射線は、透過成分を含んでいる可能性があるが、以下の説明においては考慮に入れていない。ランプパイロメーター25は少なくとも1つのランプ8のランプ放射線を検出する。ランプ放射線は、基板放射線とは識別可能とするために従来公知のモジュレーションから構成されていても良い。そのようなモジュレーションは温度測定のためには必要で無いが、付加的な情報を提供することができる。  
20

**【0042】**

典型的な高温測定は、所定の波長で対象物の熱放射の強度の測定に基づいている。温度Tを有した黒体放射体の、半空間全体における  $\lambda + d\lambda$  間の波長範囲内の領域dAから放出された熱放射電力  $P_{bb}$  は下記のプランク式によって与えられる。  
30

**【数1】**

$$\frac{dP_{bb}(T, \lambda)}{dAd\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T}) - 1}$$

ここで

$$C_1 = 2\pi h c^2 = 3,742 * 10^8 \frac{\text{W}\mu\text{m}^4}{\text{m}^2}$$

及び  
40

$$C_2 = \frac{hc}{k} = 14388 \mu\text{mK}$$

実物体では、放射線は黒体放射体の放射線より少ない。

## 【数2】

$$\frac{dP(T, \lambda)}{d\lambda} = \varepsilon(T, \lambda) \frac{dP_{bb}(T, \lambda)}{dA d\lambda}$$

ここで、 $\varepsilon$ は対象物の放射率を表し、 $0 < \varepsilon < 1$ である。この式は波長及び画角に依存し、対象物の温度によって変化することが多い。更に、この式は、反射室内の対象物の放射率が、例えば、自由空間における同一の対象物に比較してより高いというように、環境に依存することがある。

## 【0043】

10

所定の波長における放射線に基づいて対象物の温度測定をするために、典型的には、その波長での対象物の放射率及び対象物への画角を知る必要がある。ある波長での直接の放射率は、 $\rho = 1 - \varepsilon$ というキルヒホップの法則に従って、その波長での直接的な吸収と同一である。ここで、 $\rho$ は反射率であり、 $\varepsilon$ は透過率である。

## 【0044】

上記参照型の装置においては、基板パイロメーター20は基板放射線及び反射放射線を測定する。ランプ放射線が基板パイロメーターに向かって入射することなく、多重反射は考慮に入れず、基板パイロメーター20の測定波長において透過は起こることはない仮定すると、基板パイロメーター20の信号 $S_{20}$ は次のように表すことができる。

## 【数3】

20

$$S_{20} = a\varepsilon P_{bb}(T) + b\rho L(P)$$

ここで、 $P_{bb}(T)$ はプランクの式に従って、ウエハ温度 $T$ に対応する黒体放射であり、 $\varepsilon$ はウエハ表面の放射率であり、 $L(P)$ は、ランプが所定の電力 $P$ で動作するときの、測定波長におけるランプ放射線である。 $\rho$ はウエハ表面の反射率であり、 $a$ 及び $b$ は定数であり、これら定数はパイロメーターの視野、チャンバーの幾何的要素及び他のパラメーターに依存する。

## 【0045】

透過率がないと、反射率は $\rho = 1 - \varepsilon$ であり、パイロメーターの信号は、以下のように表せる。

30

## 【数4】

$$S_{20} = a\varepsilon P_{bb}(T) + b(1 - \varepsilon)L(P) = (aP_{bb}(T) - bL(P))\varepsilon + bL(P)$$

上記参照装置において、ランプ8がタンクステンハロゲンランプであり、基板パイロメーターが $2.3 \mu m$ の測定波長を持っていると仮定すると、基板パイロメーターの信号中の基板放射線及び反射放射線の影響は、図4(a)及び図4(b)で示すように表すことができる。ここで、図4(a)は基板放射線のみ(ランプオフ)の場合のパイロメーター信号対ウエハの温度の変化を示し、図4(b)は純粋な反射放射線(ウエハ温度=0)の場合のパイロメーターの信号対ランプ電力(%)の変化を示す。図4(a)及び図4(b)はともに、半導体ウエハWの異なった放射率 $\varepsilon$ における変化を示している。

40

## 【0046】

図5(a)及び図5(b)は、基板放射線及び反射放射線の両方を検出して、パイロメーター信号対ウエハの温度の予想される変化を示す。ここで、図5(a)は5%のランプ電力におけるパイロメーター信号の予想される変化を示し、図5(b)は50%のランプ電力におけるパイロメーター信号の予想される変化を示し、図5(a), 図5(b)それぞれ半導体ウエハWのそれぞれ異なった放射率 $\varepsilon$ に対してのものを示している。

## 【0047】

図5(a)及び図5(b)の曲線の交点から分かるように、各ランプ電力にとって、パイロメーターの信号が半導体ウエハWの放射率 $\varepsilon$ とは独立であるウエハ温度が存在する。

50

これらの交点は、パイロメーターの動作温度を定義し、温度は以下のように表すことができる。

【数 5】

$$aP_{bb}(T_p(P)) = bL(P)$$

この温度で、パイロメーター信号は、

【数 6】

$$S = bL(P) = aP_{bb}(T_p(P))$$

10

である。

【0048】

図6はランプ電力の関数としてパイロメーターの動作温度の曲線を示す。ウエハ温度がこのカーブ及び対応するランプ電力Pと交差する場合には、半導体ウエハの放射率を知らなくても、温度を直接知ることができる。

【0049】

この分野では、一般的に、ランプ電力Pは半導体ウエハWを一定温度T<sub>p</sub>に保つ電力ではない。これ故、一方はプロセス操作用のランプ電力、他方は測定用のランプ電力といった異なったランプ電力であるほうが都合がよい。例えば、迅速に、しかし連続的にランプ電力を変化させる測定が可能である。これによって、ランプ電力とパイロメーターの信号が図6による線と一致する点を求めることができ、これによって直接的な温度測定が可能となる。その後、ランプ電力は通常のプロセス操作として再び制御される。そのようなランプ電力の変化が充分な速さで可能である場合には、半導体ウエハの温度に影響を与えることなく、単一の基板パイロメーターのみを用いて直接的な温度測定が可能となる。

20

【0050】

好ましくは、上述した基板パイロメーター20, 21の両方が温度測定のために使用され、測定された反射放射線の異なった量が、以下に説明するように直接的な温度測定を可能とする。

【0051】

図7は、一定の基板放射線で異なる量の反射放射線のためのパイロメーターの動作温度の異なった曲線（図6に対応）を示す。上側の曲線は通常予想される反射放射線用の動作温度を示す。下側の曲線は係数2、5及び10による予想される反射放射線の減少に対応している。

30

【0052】

基板放射線は一定で反射放射線の異なる量を検出する2つの基板パイロメーターは、各動作温度の異なった曲線上で直接的な温度測定を可能とする。更に、反射放射線の異なる量を公知の方法で含んでいる2つのパイロメーターの信号の加重和は、現在のウエハ温度で作用点を有する仮想のパイロメーターと同じ機能を果たすために使用することができる。

40

【0053】

数学的に、基板パイロメーター20, 21のパイロメーター信号は次のように表すことができる。

【数 7】

$$S_{20} = a_{20}\varepsilon P_{bb}(T) + b_{20}(1 - \varepsilon)L(P)$$

及び

$$S_{21} = a_{21}\varepsilon P_{bb}(T) + b_{21}(1 - \varepsilon)L(P)$$

ここで、S<sub>20</sub>は基板パイロメーター20のパイロメーター信号であり、a<sub>20</sub>はパイロメーター20においてウエハ放射線の増幅定数を考慮に入れた定数であり、b<sub>20</sub>は基

50

板パイロメーター 20において反射放射線の影響を考慮に入れた定数である。これに対応して、 $S_{21}$ は基板パイロメーター 21 のパイロメーター信号であり、 $a_{21}$ は基板パイロメーター 21 においてウエハ放射線の增幅定数を考慮に入れた定数であり、 $b_{21}$ は基板パイロメーター 21 において反射放射線の影響を考慮に入れた定数である。反射放射線の影響は、公知であるように、基板パイロメーターによって異なる基板放射線および反射放射線の量によって決定される。

#### 【0054】

上記式を再整理すると、以下の様になる。

#### 【数8】

$$P_{bb}(T) = \frac{(b_{21}S_{20} - b_{20}S_{21})L(P)}{a_{21}S_{20} - a_{20}S_{21} + (a_{20}b_{21} - a_{21}b_{20})L(P)}$$

10

及び

$$\varepsilon = 1 - \frac{a_{21}S_{20} - a_{20}S_{21}}{(a_{21}b_{20} - a_{20}b_{21})L(P)}$$

これらの式には、両基板パイロメーターが、ゼロではなく反射放射線の異なった量を含んでいる信号を検出する限りにおいて、常に一つの解答がある。ここで、計算された放射率は、チャンバー内で、且つ、線形モデル内でのみ有効であり、インサイチュ放射率である。

20

#### 【0055】

現実には、パイロメーター信号  $S_{20}$  及び  $S_{21}$  は、上記式において示されていないその他の因子によっても影響される。更に、パイロメーターに入射する可能性があるランプ放射線の多重反射は上記式に影響を与えることもできる。更に、ランプ電力と予想されるランプ放射線との間の単純な関係は、ランプ電力が急速に変化するときには必ずしも正確ではない。それ故、ランプ放射線を直接的に測定することが有利であり、ランプパイロメーター 25 によって達成可能である。ランプ電力の代わりに、ランプパイロメーターの測定値を上記式に組み入れることも可能である。この測定値は、更に遠い処にあるランプの影響を考慮に入れるためにランプ電力に基づいているモデルによってもサポートされうる。

30

#### 【0056】

図 6 による動作温度の曲線は単純なモデルに基づいており、実際の曲線は図示のものとは異なっている。モデルを拡張するよりも、校正ルーチンによって曲線を求めることが有利である。ここで、異なった放射率を持つ少なくとも二つのウエハによって異なった校正を行うことが必要とされる。校正動作は、一連の異なった一定のランプ電力、又は好みくはランプパイロメーターによって測定される一定のランプ放射線から成り立つ。

#### 【0057】

一定のランプ電力又はランプ放射線は、漸近的に平衡温度に近づいてゆくウエハに繋がる。この平衡温度は、高いランプ電力又はランプ放射線用のパイロメーターの動作温度よりも高く、低いランプ電力又はランプ放射線用のパイロメーターの動作温度よりも低い。平衡温度を低いウエハ温度及び高いランプ電力又は強いランプ放射線でスタートした場合、ウエハ温度は図 6 による曲線と交差する。ランプ電力又はランプ放射線を減少させることによって、ウエハ温度が図 6 による曲線を下回ることになる。完全な曲線を得るために、温度が異なった位置で何度も曲線と交差するシーケンスを設定することが可能である。このシーケンスが両ウエハ（異なった放射率を有した）によって運用される場合には、動作温度の曲線の実際の位置を決定することが可能である。

40

#### 【0058】

両基板パイロメーターが異なった動作温度を有している場合には、この校正是両基板バ

50

イロメーターのために行うことが可能である。先に説明したように、ウエハの実際の温度は、動作温度の校正された曲線の一つに殆ど重なることはない。しかしながら、仮想のパイロメーター  $S_v$  は二つのパイロメーターの信号の加重和によって以下のように同じ機能を果たすことができる。

【数9】

$$S_v = \alpha S_{20} + (1 - \alpha) S_{21}$$

の値によって決定される各仮想的なパイロメーターにとっては、動作温度の曲線のそれぞれの校正は、実際のパイロメーターによってなされるように対応する方法で行うことが可能である。このことは、限られた数の仮想的なパイロメーターにとっては有利であると考えられる。実際の温度測定のためには、曲線によってカバーされない温度値は動作温度の曲線の補間によって得ることができる。

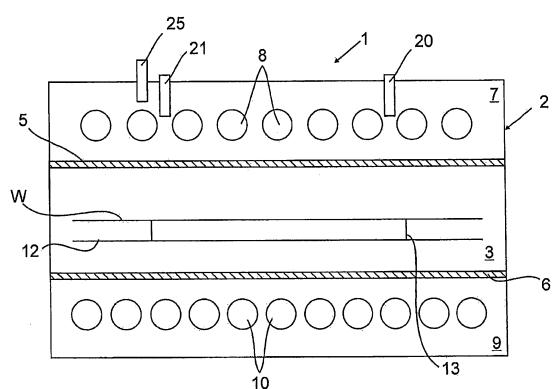
【0059】

本発明は、本発明の好ましい実施形態に関して説明したが、これらの実施形態に本発明を制限することはない。例えば、二個以上の基板パイロメーターを使用することが可能であり、又、例えば、可動の開口部によって、半導体ウエハ上の視野、そして、基板パイロメーターに入射する反射放射線の部分を公知の方法で常に変化させることができるように单一の基板パイロメーターを使用することが可能である。これによって、反射放射線の異なった部分を有した二つのパイロメーターがシミュレーションされる。また、一方のパイロメーターが基板表面上のランプの反射イメージを観察し、他方のパイロメーターがそれを観察しないように、異なった位置から基板の同一領域に向いている二つのパイロメーターを設けることが可能である。このことは、3次元においても基板表面への同一の開口角及び同一の入射角で達成することができる。この場合、基板の二つの表面領域は、回転しなくとも、表面領域の両方が同一の温度を有し且つ同一の放射率を有するということを確保するように、正確に同一とすることができます。パイロメーターを配置する更に別の実施形態では、パイロメーターの一つはチューブを介して基板に向けることも可能であり、このチューブは少なくとも部分的に反射可能にしてもよく、チューブは基板表面の近くの位置まで延びている。パイロメーターの適切な（小さな）開口角で、パイロメーターを光学的に基板のより近くに移動させる。例えば、放射線の共通円上に配置されたチューブを有した一つのパイロメーターとチューブを有さない一つのパイロメーターは、反射放射線の異なった部分の所要の組み合わせを形成する。これらの実施形態は以下のクレームによって明確にカバーされる。

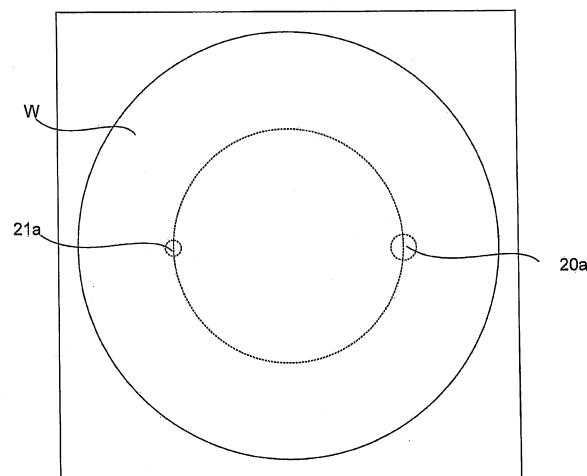
【0060】

個々の実施形態の特徴は、特徴が両立できる限りにおいて、他の実施形態の特徴と自由に組み合わせることが可能であり、また他の実施形態の特徴と交換することも可能である。特に、異なった開口角を持ち、ウエハ及び／又はフィルターに対して異なった距離を持った複数の基板パイロメーターを配置する別の実施形態を組み合わせるよう装置を形成することも可能である。

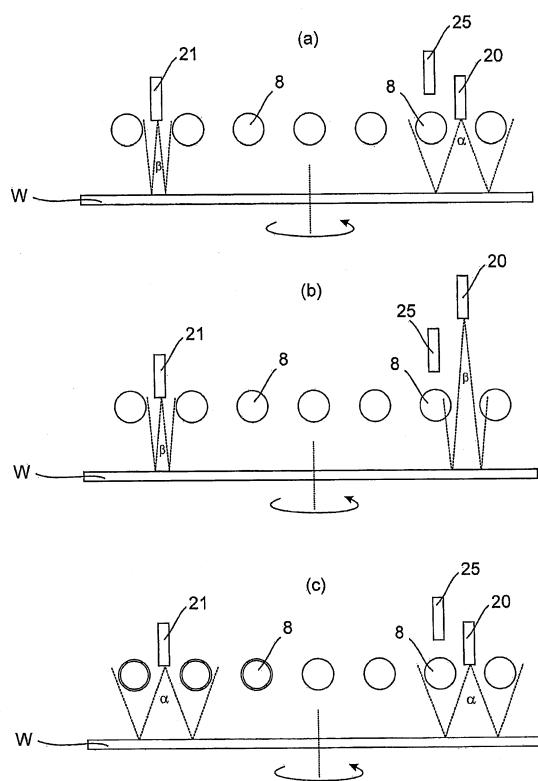
【図1】



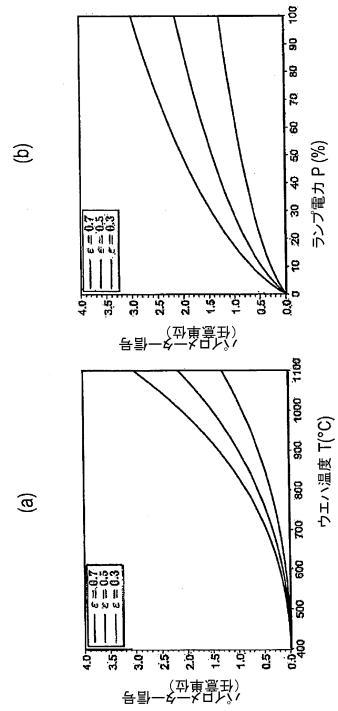
【図2】



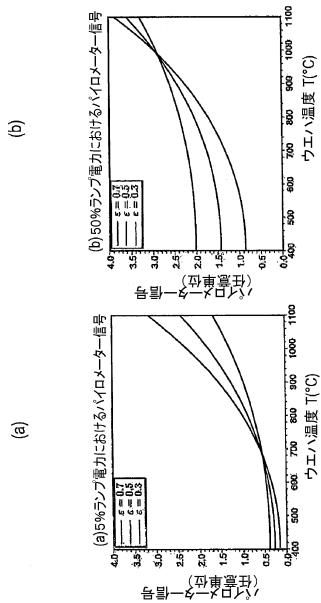
【図3】



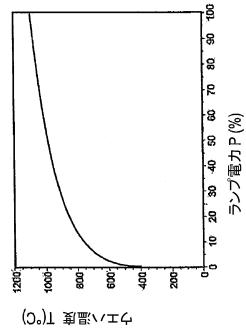
【図4】



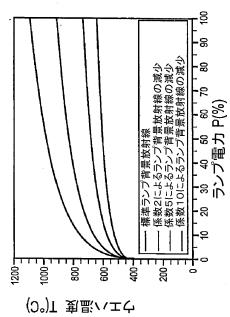
【図5】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

(72)発明者 リック、ハルトムート

ドイツ連邦共和国、89160 ドルンシュタット、ハイデヴェーク 16

(72)発明者 レアヒ、ヴィルフリート

ドイツ連邦共和国、89160 ドルンシュタット、ドルンシュタッター ヴェーク 9/1

(72)発明者 ニース、ユルゲン

ドイツ連邦共和国、89567 ゾントハイム、ホッヘンヴェーク 13

審査官 塚本 丈二

(56)参考文献 特表2009-543358(JP,A)

特開2000-105152(JP,A)

特表2005-527972(JP,A)

特開2002-15982(JP,A)

特表2005-530997(JP,A)

特開2007-81062(JP,A)

特表2002-506988(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01J 5/00-5/62

H01L 21/26

H01L 21/66