(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2017-3384
(P2017-3384A)
(43)公開日　平成29年1月5日(2017.1.5)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01N 15/14	(2006.01)	G01N	15/14	A
G01N 15/06	(2006.01)	G01N	15/06	D
G01N 15/00	(2006.01)	G01N	15/00	C

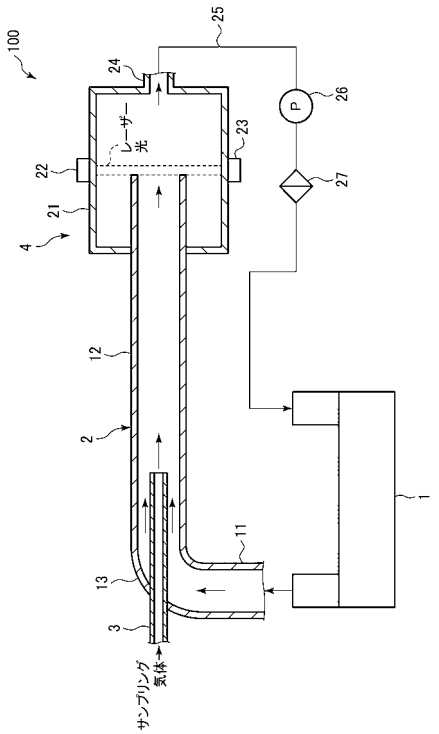
審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　（全 12 頁）

(21)出願番号　特願2015-116587 (P2015-116587)
(22)出願日　平成27年6月9日 (2015.6.9)

(71)出願人　000219967
東京エレクトロン株式会社
東京都港区赤坂五丁目３番１号
(74)代理人　100099944
弁理士　高山　宏志
(72)発明者　辻本　和也
東京都港区赤坂五丁目３番１号　赤坂Ｂｉｚタワー　東京エレクトロン株式会社内
(72)発明者　池田　恭子
東京都港区赤坂五丁目３番１号　赤坂Ｂｉｚタワー　東京エレクトロン株式会社内
(72)発明者　藤原　馨
東京都港区赤坂五丁目３番１号　赤坂Ｂｉｚタワー　東京エレクトロン株式会社内

(54)【発明の名称】パーティクル計測装置およびパーティクル計測方法

(57)【要約】
【課題】サンプリング気体を大流量化しても、高い検出率でサンプリング気体中の微細パーティクルを検出することができる凝縮核法によるパーティクル計測装置およびパーティクル計測方法を提供する。
【解決手段】高温の飽和蒸気を発生させる飽和蒸気発生器１と、飽和蒸気発生器１で発生した飽和蒸気が導入されるとともに、微小パーティクルを含むサンプリング気体が導入され、サンプリング気体中の微小パーティクルを核として飽和蒸気中の蒸気分子が凝縮された凝縮粒子が形成される凝縮管２と、凝縮管２で形成された凝縮粒子の個数を計測することにより微小パーティクルの個数を求めるパーティクル計測部４とを有し、飽和蒸気およびサンプリング気体は、いずれも層流状態で凝縮管２内に導入され、かつ凝縮管２内で飽和蒸気およびサンプリング気体の混合流が層流となるようにされる。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
高温の飽和蒸気を発生させる飽和蒸気発生器と、
前記飽和蒸気発生器で発生した前記飽和蒸気が導入されるとともに、微小パーティクルを含むサンプリング気体が導入され、前記サンプリング気体中の微小パーティクルを核として前記飽和蒸気中の蒸気分子が凝縮された凝縮粒子が形成される凝縮管と、
前記凝縮管で形成された凝縮粒子の個数を計測することにより前記微小パーティクルの個数を求めるパーティクル計測部と
を有し、
前記飽和蒸気および前記サンプリング気体は、いずれも層流状態で前記凝縮管内に導入され、かつ前記凝縮管内で前記飽和蒸気および前記サンプリング気体の混合流が層流となるようにされることを特徴とするパーティクル計測装置。
【請求項２】
前記凝縮管に導入された前記飽和蒸気および前記サンプリング気体のレイノルズ数、ならびに前記凝縮管内における前記混合流のレイノルズ数はいずれも４０００より小さいことを特徴とする請求項１に記載のパーティクル計測装置。
【請求項３】
前記飽和蒸気および前記サンプリング気体は、サンプリングノズルにより前記凝縮管の長手方向に平行な平行流となるように前記凝縮管に導入されることを特徴とする請求項１または請求項２に記載のパーティクル計測装置。
【請求項４】
前記凝縮管は、一方向に延びかつ前記飽和蒸気の流れが平行流となる定常部を有し、前記サンプリングノズルは、前記定常部の中心部に前記定常部の軸方向と平行になるように挿入されていることを特徴とする請求項３に記載のパーティクル計測装置。
【請求項５】
前記蒸気発生器は、本体容器と、本体容器に乾燥気体を導入する導入部と、前記本体容器の内壁に設けられ、液体を保持する液体保持部と、前記本体容器を加熱して、前記液体保持部に保持された液体を蒸発させるヒーターとを有し、前記乾燥気体は、旋回流の状態で前記本体容器内を通過し、前記本体容器の壁部で前記ヒーターの熱および前記液体の蒸気により前記乾燥気体が加温、加湿され、前記送出部から高温の飽和蒸気として送出されることを特徴とする請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のパーティクル計測装置。
【請求項６】
高温の飽和蒸気と、微小パーティクルを含むサンプリング気体とを、いずれも層流状態で凝縮管に導入し、かつ前記凝縮管内で前記飽和蒸気および前記サンプリング気体の混合流が層流となるようにし、
前記凝縮管内で前記サンプリング気体中の微小パーティクルを核として前記飽和蒸気中の蒸気分子を凝縮させて凝縮粒子を形成し、
前記凝縮管で形成された凝縮粒子の個数を計測することにより前記微小パーティクルの個数を求めることを特徴とするパーティクル計測方法。
【請求項７】
前記凝縮管に導入された前記飽和蒸気および前記サンプリング気体のレイノルズ数、ならびに前記凝縮管内における前記混合流のレイノルズ数はいずれも４０００より小さいことを特徴とする請求項６に記載のパーティクル計測方法。
【請求項８】
前記飽和蒸気および前記サンプリング気体は、サンプリングノズルにより前記凝縮管の長手方向に平行な平行流となるように前記凝縮管に導入されることを特徴とする請求項６または請求項７に記載のパーティクル計測方法。
【請求項９】
前記凝縮管は、一方向に延びかつ前記飽和蒸気の流れが平行流となる定常部を有し、前

記サンプリングノズルは、前記定常部の中心部に前記定常部の軸方向と平行になるように挿入されていることを特徴とする請求項８に記載のパーティクル計測方法。
【請求項１０】
前記飽和蒸気は、蒸気発生器の本体容器内に、乾燥気体を旋回流の状態で通過させ、前記の本体容器内の壁部で前記乾燥気体を加温、加湿することにより発生されることを特徴とする請求項６から請求項９のいずれか１項に記載のパーティクル計測方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、微小パーティクルを核として蒸気分子を凝縮させることによりパーティクルを成長させてパーティクルの数を計測する凝縮核法によるパーティクル計測装置およびパーティクル計測方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
半導体デバイスを製造する際には、成膜、フォトリソグラフィ、エッチング等の種々の処理が存在するが、これらの処理においては、半導体基板上にパーティクルが付着すると、形成されたデバイスの性能が低下したり不良が発生したりするため、処理装置をクリーンルーム内に設置し、極めてパーティクルの少ない清浄な雰囲気で処理を行う必要がある。
【０００３】
このため、処理装置内やクリーンルーム内のパーティクルの個数を計測器で計測し、発塵を速やかに検出することが求められている。パーティクルはナノサイズの微小なものであってもデバイス性能に影響を与えるため、計測器としてはナノサイズの気中パーティクルを計測することができる凝縮核計数器（ＣＮＣまたはＣＰＣ）が用いられている。
【０００４】
凝縮核計数器は、微小パーティクルをアルコールや水等の過飽和蒸気中に通し、粒子を核として蒸気分子を凝縮させることにより、粒子を成長させ、検出部にて成長した粒子を検出するものである。光散乱による検出器の検出限界の粒径は通常１００ｎｍ程度であるが、凝縮核計数器では粒子を成長させるため、数ｎｍの粒子も検出可能である。
【０００５】
このような凝縮核計数器として、非特許文献１には、飽和部にて過飽和蒸気を形成した後、細管のサンプリングノズルを介してサンプリング気体を凝縮管の中心に導入し、その周りにシースエアーと呼ばれる空気を流すことで、サンプリング気体中の粒子（パーティクル）の壁への付着を抑制するものが記載されている。
【０００６】
さらに、非特許文献２には、サンプリング気体と高温の飽和蒸気を乱流混合させて凝縮を起こし、断熱管を通過させることで粒子（パーティクル）の成長サイズを制御する蒸気混合型凝縮核計数器が記載されている。
【０００７】
さらにまた、非特許文献３には、凝縮核計数器の原理と、非特許文献１、２に記載されたものを含む種々の凝縮核計数器の性能評価を行った結果が記載されている。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【０００８】
【非特許文献１】カタログ　ＴＳＩ社　ｍｏｄｅｌ　３０２５Ａ
【非特許文献２】福島信彦　博士論文（平成７年）　「蒸気混合型凝縮核計数器とその応用に関する研究」　１章～２章、３．２．２（１－１０３ページ）
【非特許文献３】奥山喜久夫ら　エアロゾル研究，８（３），２００－２１１ページ（１９９３）
【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】
【０００９】
ところで、近時、低濃度で１００ｎｍ以下の微小な気中パーティクルを計測することが要求されており、このようなパーティクルを精度よく測定するためにはサンプリング流量を増加させる必要がある。
【００１０】
しかし、非特許文献１に記載された計測器でサンプリング気体の流量を増加させると、細管であるサンプリングノズルからのサンプリング気体の噴出速度が極めて高いものとなる。このためサンプリング気体が乱流となり、パーティクルを核として蒸気分子が凝縮して形成された凝縮粒子が壁部へ付着し、検出率が低いものとなる。サンプリングノズルの径を太くすることで流速が低下し、乱流を抑制することが可能となるが、壁からの伝熱と加湿が不十分なため飽和度が低い領域が生じる。このため、検出され得る大きさに成長しない粒子が少なからず存在し、やはり検出率が低いものとなる。
【００１１】
一方、非特許文献２に記載された蒸気混合型凝縮核計数器は、大流量化の実現可能性を示したものであるが、サンプリング気体と高温飽和蒸気とを乱流混合により混合するため、非特許文献３にも記載されているように、サンプリング気体中のパーティクルを核として蒸気分子が凝縮して形成された凝縮粒子が凝縮管の内壁に付着しやすく、検出率が低いものとなる可能性がある。
【００１２】
したがって、本発明は、サンプリング気体を大流量化しても、高い検出率でサンプリング気体中の微細パーティクルを検出することができる凝縮核法によるパーティクル計測装置およびパーティクル計測方法を提供することを課題とする。
【課題を解決するための手段】
【００１３】
上記課題を解決するため、本発明の第１の観点は、高温の飽和蒸気を発生させる飽和蒸気発生器と、前記飽和蒸気発生器で発生した前記飽和蒸気が導入されるとともに、微小パーティクルを含むサンプリング気体が導入され、前記サンプリング気体中の微小パーティクルを核として前記飽和蒸気中の蒸気分子が凝縮された凝縮粒子が形成される凝縮管と、前記凝縮管で形成された凝縮粒子の個数を計測することにより前記微小パーティクルの個数を求めるパーティクル計測部とを有し、前記飽和蒸気および前記サンプリング気体は、いずれも層流状態で前記凝縮管内に導入され、かつ前記凝縮管内で前記飽和蒸気および前記サンプリング気体の混合流が層流となるようにされることを特徴とするパーティクル計測装置を提供する。
【００１４】
本発明の第２の観点は、高温の飽和蒸気と、微小パーティクルを含むサンプリング気体とを、いずれも層流状態で凝縮管に導入し、かつ前記凝縮管内で前記飽和蒸気および前記サンプリング気体の混合流が層流となるようにし、前記凝縮管内で前記サンプリング気体中の微小パーティクルを核として前記飽和蒸気中の蒸気分子を凝縮させて凝縮粒子を形成し、前記凝縮管で形成された凝縮粒子の個数を計測することにより前記微小パーティクルの個数を求めることを特徴とするパーティクル計測方法を提供する。
【００１５】
前記凝縮管に導入された前記飽和蒸気および前記サンプリング気体のレイノルズ数、ならびに前記凝縮管内における前記混合流のレイノルズ数はいずれも４０００より小さいことが好ましい。
【００１６】
前記飽和蒸気および前記サンプリング気体は、サンプリングノズルにより前記凝縮管の長手方向に平行な平行流となるように前記凝縮管に導入されるように構成することができる。この場合に、前記凝縮管は、一方向に延びかつ前記飽和蒸気の流れが平行流となる定常部を有し、前記サンプリングノズルは、前記定常部の中心部に前記定常部の軸方向と平

行になるように挿入されていることが好ましい。
【００１７】
前記蒸気発生器は、本体容器と、本体容器に乾燥気体を導入する導入部と、前記本体容器の内壁に設けられ、液体を保持する液体保持部と、前記本体容器を加熱して、前記液体保持部に保持された液体を蒸発させるヒーターとを有し、前記乾燥気体は、旋回流の状態で前記本体容器内を通過し、前記本体容器の壁部で前記ヒーターの熱および前記液体の蒸気により前記乾燥気体が加温、加湿され、前記送出部から高温の飽和蒸気として送出される構成とすることが好ましい。
【発明の効果】
【００１８】
本発明によれば、飽和蒸気およびサンプリング気体は、いずれも層流状態で凝縮管内に導入され、かつ凝縮管内で飽和蒸気およびサンプリング気体の混合流が層流となるようにされるので、サンプリング気体を大流量化した場合でも、凝縮管の内壁に凝縮粒子が付着することが抑制され、サンプリング気体中の微細パーティクルを高い検出率で検出することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１９】
【図１】本発明の一実施形態に係るパーティクル計測装置を示す断面図である。
【図２】蒸気発生器の好ましい例を示す図であり、（ａ）は縦断面図、（ｂ）は蒸気出口部分の横断面図、（ｃ）は清浄空気入口部分の横断面図である。
【図３】従来の蒸気混合型の凝縮核計数器に用いられている蒸気発生器を示す断面図である。
【図４】本発明の実施形態に係るパーティクル計測装置の熱流体シミュレーションを行う際の凝縮管およびサンプリングノズルの寸法、および条件を示す概略図である。
【図５】サンプリングノズルの直径を５ｍｍとした場合と２０ｍｍとした場合の凝縮管内部のガスの流れを示す図である。
【図６】凝縮管の壁面が断熱壁の場合、壁面温度が２０℃の場合、および６０℃の場合について、過飽和度の変化を示す図である。
【図７】図３に示す従来の蒸気混合型の凝縮核計数器に用いられている蒸気発生器と、図２に示す好ましい例である蒸気発生器とについて、熱流体シミュレーションにより温度変化を解析した結果を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００２０】
以下、添付図面を参照して本発明の実施形態について説明する。
＜パーティクル計測装置の構成＞
図１は、本発明の一実施形態に係るパーティクル計測装置を示す断面図である。
【００２１】
パーティクル計測装置１００は、蒸気混合型凝縮核計数器として構成されるものであり、蒸気発生器１と、凝縮管２と、サンプリングノズル３と、パーティクル計測部４とを有する。
【００２２】
蒸気発生器１は、高温の飽和蒸気を発生するものであり、その構造は特に限定されない。蒸気発生器１としては、例えば、本体容器と、その内壁に設けられた吸水性を有する多孔質シートであるウィックとを有するものを用いることができる。ウィックには液体タンクから水やアルコール等の液体が供給される。ウィックは液体タンクから供給される液体により湿らされた状態とされ、本体容器に壁部がヒーターにより加熱されることによりウィックに保持された液体が蒸発する。そして、本体容器に乾燥気体、例えば乾燥清浄空気を通過させ、これを液体が蒸発して形成された蒸気により加温および加湿して、高温の飽和蒸気を発生させる。
【００２３】

凝縮管２は、飽和蒸気が導入される導入部１１と、導入部１１と直交する方向に延び、その中に飽和蒸気が平行流として流れる定常部１２とを有しており、導入部１１を介してその中に蒸気発生器１で発生した飽和蒸気が供給される。導入部１１と定常部１２との間は曲管部１３となっている。凝縮管２の壁部は、断熱材料で構成された断熱壁となっている。なお、凝縮管２の壁部を伝熱材料で構成して外側から所望の温度に加熱してもよい。凝縮管２は、大流量化が可能なようにその直径が大きく設定され、例えばパーティクル計測部４の最大検出面積に対応する直径とされる。凝縮管２への飽和蒸気の供給条件は、凝縮管２の中を流れる飽和蒸気流が層流となるように設定される。例えば、凝縮管２の直径に対し、飽和蒸気流が層流となるように、供給される飽和蒸気の流量等が調整されるようになっている。

【００２４】

サンプリングノズル３は、凝縮管２の定常部１２の中心部に定常部１２の軸方向と平行になるように挿入されており、ナノレベルの微小パーティクルを含む気体をクリーンルーム等からサンプリングし、凝縮管２の長手方向に平行な平行流となるように凝縮管２に導入するようになっている。サンプリング気体の温度は１５～３０℃程度であり、サンプリングノズル３の壁部は、断熱材料で構成された断熱壁となっている。

【００２５】

サンプリングノズル３は、凝縮管２の定常部１２において飽和蒸気流が平行流になった部分にサンプリング気体を供給することが可能な長さを有している。

【００２６】

サンプリングノズル３からは、従来よりも大流量のサンプリング気体が供給される。サンプリング気体の流量は、１～１００Ｌ／ｍｉｎとされる。そして、サンプリングノズル３から凝縮管２内に供給されるサンプリング流が層流になるように条件が設定される。具体的には、供給されるサンプリング気体の流量に対応して、サンプリングノズル３から凝縮管２内に供給されるサンプリング流が層流になるようにサンプリングノズル３の直径が設定される。例えば、サンプリング気体の流量が５０Ｌ／ｍｉｎ程度であれば、サンプリングノズル３の直径は２０ｍｍ程度に設定される。サンプリングノズル３の径を小さくして流量（流速）を大きくした場合は、サンプリング気体の流れ（サンプリング流）が乱流になるおそれがある。

【００２７】

凝縮管２の定常部１２では、飽和蒸気流とサンプリング流が層流状態で混合され、層流状態の混合流が形成される。本例の場合は、層流状態の飽和蒸気流と層流状態のサンプリング流とが平行に流れて混合されるので混合流が必然的に層流状態となるが、例えば、層流状態の飽和蒸気流と層流状態のサンプリング流が直交した状態で混合する場合等は、混合流が層流になるように、流量条件等を調整する必要がある。

【００２８】

流れの状態は、以下の式で示すレイノルズ数Ｒｅで表すことができ、Ｒｅが大きいほど流れの乱れが大きくなる。凝縮管２内で飽和蒸気流、サンプリング流、および混合流が所望の層流状態となるためには、飽和蒸気流、サンプリング流、および混合流のレイノルズ数Ｒｅが４０００より小さいことが好ましい。

$$Re = \rho V d / \mu$$

ただし、ρは密度（大気、飽和蒸気）、Ｖは流速、ｄは管の内径［ｍ］、μは粘度（大気、飽和蒸気）である。

【００２９】

そして、飽和蒸気流とサンプリング流が混合されることにより、サンプリング流中の１００ｎｍ以下程度の微小パーティクルを核として飽和蒸気流中の蒸気分子が凝縮され、パーティクル計測部４で計測可能なサブミクロンサイズ程度以上に成長した粒子となる。

【００３０】

この際のパーティクルの成長の程度は、凝縮管２の壁面温度および飽和蒸気の過飽和度、凝縮管２の定常部１２におけるサンプリングノズル３の先端部に対応する位置からパー

ティクル計測部４側端部までの滞留時間、飽和蒸気およびサンプリング流の流量等によって決定される。滞留時間は、飽和蒸気およびサンプリング流の流量および凝縮管２の定常部１２におけるサンプリングノズル３の先端部に対応する位置からパーティクル計測部４までの長さにより決定される。

【００３１】

凝縮管２の壁面温度は、４０～６０℃が好ましく、飽和蒸気の過飽和度は１～２程度が好ましく、滞留時間は０．１～１ｓｅｃ程度、例えば０．２ｓｅｃ程度が好ましい。また、サンプリング気体の流量が上述した１～１００Ｌ／ｍｉｎの場合には、凝縮管２に供給される飽和蒸気の流量は０．２～２０Ｌ／ｍｉｎが好ましい。

【００３２】

パーティクル計測部４は、凝縮管２で形成された凝縮粒子の個数を計測することにより、気体中のパーティクルの個数を求めるものであり、一般的に用いる光学式のパーティクル計測器を用いることができる。その中でも広範囲のパーティクルを計測することができる光学系が好ましい。パーティクル計測部４は、筐体２１と、筐体２１内にレーザー光を照射するレーザー発振器２２と、凝縮粒子がレーザー光を通過する際にパーティクルにより発生する散乱孔を受光する検出器２３とを有し、受光された散乱光を電気信号に変換してパーティクルの数を計測する。

【００３３】

筐体２１には排気口２４が形成されており、排気口２４には配管２５が接続されている。配管２５は、飽和蒸気発生器１の導入口に接続されている。配管２５にはポンプ２６およびフィルタ２７等が設けられている。そして、フィルタ２７によりパーティクル計測部４から排出された気体の水分や異物が除去されて乾燥気体、例えば清浄空気として飽和蒸気発生器１に供給されるようになっている。

【００３４】

＜パーティクル計測装置の動作＞

以上のように構成されたパーティクル計測装置１００においては、ポンプ２６を作動させ、蒸気発生器１に乾燥気体として乾燥清浄空気を通過させ、その中で水やアルコール等の液体をヒーターで加熱することにより発生した蒸気により高温の飽和蒸気を発生させる。

【００３５】

蒸気発生器１で発生した飽和蒸気は、凝縮管２に層流状態で供給される。このとき、凝縮管２内の飽和蒸気の流れが層流になるように飽和蒸気の流量等の条件が設定される。

【００３６】

一方、凝縮管２内へはサンプリングノズル３からサンプリング気体が層流状態で供給される。このときのサンプリング気体の流量は、１～１００Ｌ／ｍｉｎが好ましい。このとき、サンプリングノズル３から凝縮管２内に供給されるサンプリング流が層流になるように、サンプリング気体の流量に対応してサンプリングノズル３の直径が設定されている。

【００３７】

サンプリングノズル３からは、凝縮管２内で飽和蒸気が平行流になった部分にサンプリング気体が供給され、飽和蒸気流とサンプリング流が層流状態で混合され、層流状態の混合流が形成される。すなわち、凝縮管２内で飽和蒸気流、サンプリング流、および混合流がいずれも層流状態となるようにされる。このとき、飽和蒸気流、サンプリング流、および混合流のいずれも、レイノルズ数Ｒｅが４０００より小さいことが好ましい。

【００３８】

そして、飽和蒸気流とサンプリング流が混合されることにより、サンプリング流中の１００ｎｍ以下程度の微小パーティクルを核として飽和蒸気流中の蒸気分子が凝縮され、パーティクルがサブミクロンサイズ程度以上に成長する。

【００３９】

この際のパーティクルの成長の程度は、凝縮管２の壁面温度および飽和蒸気の過飽和度、凝縮管２の定常部１２におけるサンプリングノズル３の先端部に対応する位置からパー

ティクル計測部４側端部までの滞留時間、飽和蒸気およびサンプリング流の流量等によって決定される。

【００４０】

パーティクル計測部４で確実に計測可能な粒子系に成長させるためには、凝縮管２の壁面温度は、４０～６０℃が好ましく、飽和蒸気の過飽和度は１～２程度が好ましく、滞留時間は０．１～１ｓｅｃ程度、例えば０．２ｓｅｃ程度が好ましい。また、サンプリング気体の流量が上述した１～１００Ｌ／ｍｉｎの場合には、凝縮管２に供給される飽和蒸気の流量は０．２～２０Ｌ／ｍｉｎが好ましい。

【００４１】

凝縮管２内で微小パーティクルを核として蒸気分子が凝縮して形成された凝縮粒子は、パーティクル計測部４に送られ、そこでその個数が計測される。

【００４２】

この場合に、本実施形態では、凝縮管２において、飽和蒸気流が層流状態で流れ、サンプリングノズル３から供給されるサンプリング流も層流状態で供給され、これらが層流状態で混合されて、混合流も層流となる。このため、サンプリング気体を大流量化した場合でも、凝縮管２の内壁に凝縮粒子が付着することが抑制され、サンプリング気体中の微細パーティクルを高い検出率で検出することができる。また、飽和蒸気の温度、飽和度等の条件を最適化することにより、凝縮管２内で微細パーティクルに蒸気分子を確実に凝縮させることができ、微細パーティクルの検出率をより高めることができる。

【００４３】

＜蒸気発生器の好ましい例＞

次に、蒸気発生器１の好ましい例について説明する。

図２は蒸気発生器の好ましい例を示す図であり、（ａ）は縦断面図、（ｂ）は蒸気出口部分の横断面図、（ｃ）は清浄空気入口部分の横断面図である。

【００４４】

本例の蒸気発生器１は、円筒状をなす本体容器３１と、本体容器３１の一方の端部に設けられた清浄空気等の乾燥気体を導入するための導入管３２と、本体容器３１の他方の端部に設けられた飽和蒸気を送出するための送出管３３とを有している。導入管３２および送出管３３は、いずれもその軸方向が本体容器３１における円周側面の接線方向になるように接続されている。

【００４５】

本体容器３１の内部の中心部には、一方の端部から他方の端部に至り、円柱状をなす中心棒３４が設けられている。また、本体容器３１の内壁全面および中心棒３４の表面全面には吸水性を有する多孔質シートであるウィック３５が設けられている。さらに、本体容器３１の周囲にはヒーター３６が設けられている。また、ウィック３５に水やアルコール等の液体を供給するための液体タンク（図示せず）が設けられている。

【００４６】

このように構成される蒸気発生器１においては、導入管３２を介して乾燥清浄空気等の乾燥気体を本体容器３１内に導入する。このとき、導入管３２および送出管３３は本体容器３１の円周側面の接線方向になるように設けられているので、導入管３２から本体容器３１内に導入された乾燥清浄空気等の乾燥気体は、円周方向に沿った流れになり、本体容器３１内には図２（ａ）に示すような旋回流が形成され、旋回流を保ったまま送出管３３に至り、送出管３３から送出される。

【００４７】

一方、液体タンク（図示せず）からウィック３５に水やアルコール等の液体が供給されて保持され、ヒーター３６により加熱されることにより液体が蒸発する。本体容器３１に供給された乾燥気体は、旋回流となることにより、乾燥気体が本体容器３１の壁面側から加熱および加湿される時間が長くなり、大流量の乾燥気体を供給した場合でも十分な温度に加熱することができ、かつ十分な過飽和度を得ることができる。

【００４８】

従来の蒸気混合型の凝縮核計数器に用いられている蒸気発生器は、図３に示すように、円筒状の容器本体４１の一端側および他端側内壁全面にウィック４４が設けられており、容器本体４１の軸方向に乾燥気体が通過するようになっている。また、液体タンク（図示せず）からウィック４４に水やアルコール等の液体が供給されて保持され、ヒーター（図示せず）により加熱されることにより液体が蒸発し、ヒーターによる熱および液体の蒸気により本体容器４１内を通過する乾燥気体が加温、加湿され飽和蒸気として送出管４３から送出される。

【００４９】

しかし、図３に示すような蒸気発生器は、サンプリング気体の大流量化にともなって、飽和蒸気を形成するための乾燥気体の流量が増加すると、供給される乾燥気体の流量に対してウィック４４の面積が狭く、乾燥気体を効率的に加温、加湿することが困難である。

【００５０】

これに対して、図２の蒸気発生器は、本体容器３１内で乾燥気体の旋回流を形成することができるので、乾燥気体が大流量であっても、図３の蒸気発生器よりも効率的に温・昇湿して所望の温度・湿度の飽和蒸気を発生させることができる。

【００５１】

＜シミュレーション結果＞

次に、本実施形態のパーティクル計測装置の熱流体シミュレーション結果について説明する。

【００５２】

（第１のシミュレーション結果）

ここでは、図４に示すような寸法（ｍｍ）の凝縮管およびサンプリングノズルを用い、液体として水を用い、飽和蒸気の温度を９０℃、流量を１０Ｌ／ｍｉｎとし、サンプリング気体として２５℃で大気圧の乾燥空気を用い、混合流の流量を６０Ｌ／ｍｉｎとして、熱流体ソフトウェアであるＡＮＳＹＳ－ＦＬＵＥＮＴを用いて、凝縮管内部におけるガスの流れおよびガス拡散を解析した。

【００５３】

図５は、サンプリングノズルの直径を５ｍｍとした場合と２０ｍｍとした場合の凝縮管内部のガスの流れを示す図である。この図に示すように、サンプリングノズルの直径が５ｍｍでは凝縮管内部に乱流が生じるが、サンプリングノズルの直径を２０ｍｍにすることにより凝縮管内部の流れが層流になることが確認された。なお、サンプリングノズルの直径が５ｍｍの場合のレイノルズ数が１４０００であったのに対し、サンプリングノズルの直径が２０ｍｍの場合のレイノルズ数は３５００であった。

【００５４】

次に、サンプリングノズルから乾燥空気が吐出されてから凝縮管から出るまでの滞留時間およびその間の過飽和度を求めたところ、図５のシミュレーション条件で、滞留時間は約０．２ｓｅｃとなり、過飽和度は１～２となって、市販の凝縮核計数器の凝縮管とほぼ同等であり、十分に蒸気分子が凝縮することが確認された。

【００５５】

次に、凝縮管の壁面が断熱壁の場合、壁面温度が２０℃の場合、および６０℃の場合について、過飽和度の変化を把握した。図６はその際の結果を示す図である。図６に示すように、壁面が断熱壁の場合および壁面温度が６０℃の場合は、過飽和度が１～２であり水の凝縮に適した範囲であるが、壁面温度が２０℃と低い場合は過飽和度が高くなりすぎることが確認された。

【００５６】

（第２のシミュレーション結果）

ここでは、図３に示す従来の従来の蒸気混合型の凝縮核計数器に用いられている蒸気発生器と、図２に示す好ましい例である蒸気発生器とについて、壁面温度９０℃、乾燥空気の流量と温度が１０Ｌ／ｍｉｎおよび２５℃の条件で、熱流体ソフトウェアであるＡＮＳＹＳ－ＦＬＵＥＮＴを用いて温度変化を解析した。その結果を図７に示す。図７に示すよ

うに、図３の蒸気発生器では、送出される蒸気の温度上昇が不十分であるが、図２の好ましい例では、十分に高い温度となっていることが確認された。

【００５７】

また、送出される蒸気の過飽和度については、図３の蒸気発生器では高くなり過ぎる傾向にあったが、図２の好ましい例では適切な過飽和度になることが確認された。

【００５８】

＜他の適用＞

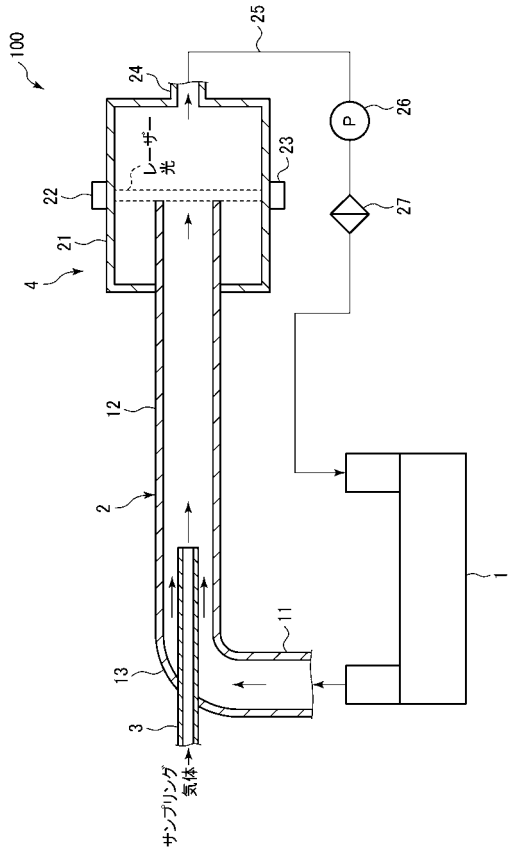
なお、本発明は上記実施形態に限定されることなく種々変形可能である。例えば、上記実施形態では、サンプリングノズルを凝縮管の平行流が形成される部分に凝縮管と平行になるように設けた例を示したが、これに限らず、サンプリング流と飽和蒸気流が層流状態で供給され、これらの混合流が層流になればよく、供給態様は限定されない。

【符号の説明】

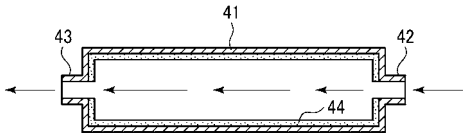
【００５９】

１；蒸気発生器
２；凝縮管
３；サンプリングノズル
４；パーティクル計測部
１１；導入部
１２；定常部
２１；筐体
２２；レーザー発振器
２３；検出器
２４；排気口
２５；配管
２６；ポンプ
２７；フィルタ
３１；本体容器
３２；導入口
３３；送出口
３５；ウィック
３６；ヒーター
１００；パーティクル計測装置

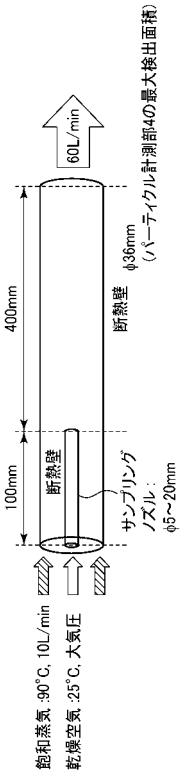
【図１】


100
25
24
26
P
レーザー光
23
22
27
21
4
12
2
1
11
13
3
サンプリング気体

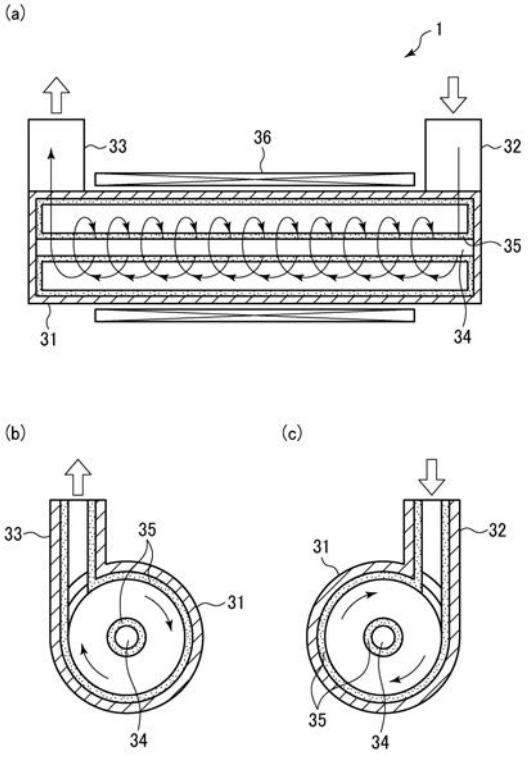
【図３】


41
43
42
44

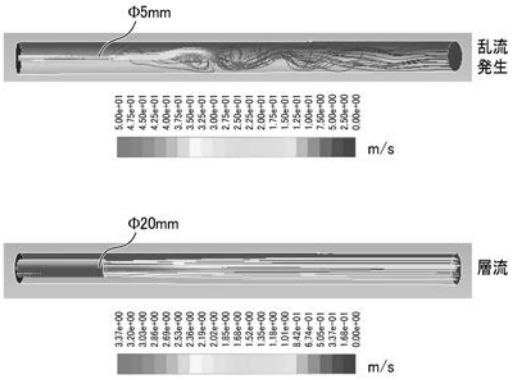
【図４】


60L/min
400mm
断熱壁
φ36mm
(パーティクル計測部4の最大検出面積)
100mm
断熱壁
サンプリング
ノズル:
φ5~20mm
飽和蒸気 :90°C, 10L/min
乾燥空気 :25°C, 大気圧

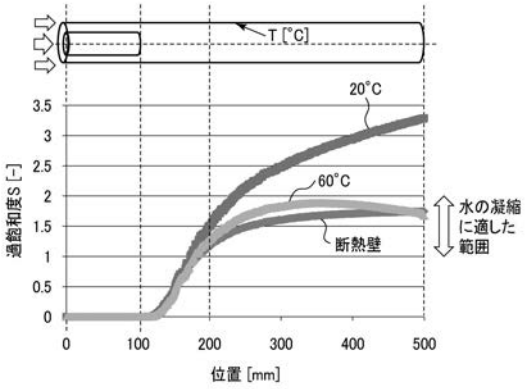
【図２】


(a)
1
33
36
32
35
31
34
(b)
(c)
33
35
31
34
31
32
35
34

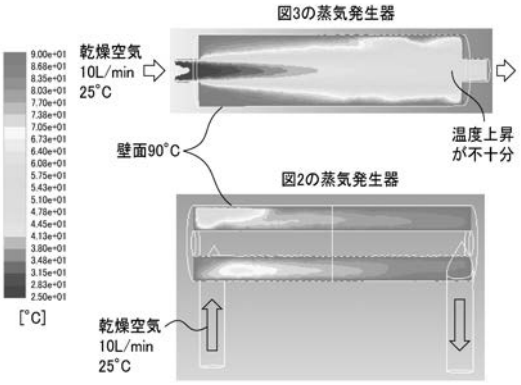
【図５】


Φ5mm
乱流
発生
m/s
Φ20mm
層流
m/s

【図６】


T [°C]
20°C
60°C
断熱壁
水の凝縮
に適した
範囲
過飽和度S [-]
位置 [mm]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
0
100
200
300
400
500

【図７】


図3の蒸気発生器
乾燥空気
10L/min
25°C
壁面90°C
温度上昇
が不十分
図2の蒸気発生器
乾燥空気
10L/min
25°C
[°C]