

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7524352号
(P7524352)

(45)発行日 令和6年7月29日(2024.7.29)

(24)登録日 令和6年7月19日(2024.7.19)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 N 27/22 (2006.01)

G 0 1 N 27/22

B

G 0 1 F 1/86 (2006.01)

G 0 1 F 1/86

請求項の数 15 (全11頁)

(21)出願番号	特願2022-568335(P2022-568335)	(73)特許権者	000006633
(86)(22)出願日	令和3年12月9日(2021.12.9)		京セラ株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/045381		京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地
(87)国際公開番号	WO2022/124375	(74)代理人	110003029
(87)国際公開日	令和4年6月16日(2022.6.16)		弁理士法人ブナ国際特許事務所
審査請求日	令和5年6月1日(2023.6.1)	(72)発明者	中村 勝美
(31)優先権主張番号	特願2020-204565(P2020-204565)		京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地
(32)優先日	令和2年12月9日(2020.12.9)		京セラ株式会社内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	審査官	村田 顕一郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 気泡率センサおよびこれを用いた流量計ならびに極低温液体移送管

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

極低温液体の気泡率を測定する気泡率センサであって、
前記極低温液体が流れる流路を有する配管と、
前記流路を挟んで前記流路の外部に配置される第 1 電極および第 2 電極と、
前記流路内で、かつ前記第 1 電極と第 2 電極の間に配置され、前記第 1 電極および / または第 2 電極との間で静電容量を測定するための少なくとも 1 つの中間電極を備え、
前記流路は、前記第 1 電極と前記第 2 電極の間に少なくとも 2 つに分割されており、
前記第 1 電極は、前記分割された流路の 1 つを介して前記中間電極と対向し、前記第 2 電極は、前記分割された流路の他の 1 つを介して前記中間電極と対向している、気泡率センサ。

10

【請求項 2】

前記中間電極は、前記流路の軸方向に沿って前記第 1 電極と第 2 電極に対向して設けられている、請求項 1 に記載の気泡率センサ。

【請求項 3】

前記中間電極は、前記流路内の径方向に互いに対向する、内周面の 2 点を接続する、請求項 1 または 2 に記載の気泡率センサ。

【請求項 4】

前記第 1 電極と前記中間電極との距離は、前記第 2 電極と前記中間電極との距離と電氣的に等しい、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の気泡率センサ。

20

【請求項 5】

前記中間電極は複数あり、各中間電極間の距離は電氣的に等しい、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の気泡率センサ。

【請求項 6】

前記第 1 電極と最も前記第 1 電極に近い中間電極の距離と、前記第 2 電極と最も前記第 2 電極に近い中間電極の距離とが電氣的に等しい、請求項 5 に記載の気泡率センサ。

【請求項 7】

各中間電極間の距離と、前記第 1 電極と最も前記第 1 電極に近い中間電極の距離および前記第 2 電極と最も前記第 2 電極に近い中間電極の距離の少なくともいずれかとが電氣的に等しい、請求項 5 または 6 に記載の気泡率センサ。

10

【請求項 8】

前記配管は、前記中間電極を支持する支持部を備え、前記中間電極は、前記支持部に内蔵されている、請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の気泡率センサ。

【請求項 9】

前記配管は、前記中間電極を支持する支持部を備え、前記中間電極は、前記第 1 電極および第 2 電極のいずれか、または両方に対向するように前記支持部の片面または両面に装着され、絶縁膜によって被覆されている、請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の気泡率センサ。

【請求項 10】

前記支持部は前記配管と一体形成品である、請求項 8 または 9 に記載の気泡率センサ。

【請求項 11】

前記流路の内径が 50 mm 以上である、請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載の気泡率センサ。

20

【請求項 12】

極低温液体の気泡率を測定する気泡率センサであって、
前記極低温液体が流れる流路を有する配管と、
静電容量を測定するための少なくとも一対の電極と、を備え、
前記流路は、複数の分割された流路を含み、
前記少なくとも一対の電極は、前記分割された流路全体の外部に配置される電極と、前記分割された流路の間に配置される電極とを備えた気泡率センサ。

【請求項 13】

極低温液体の気泡率を測定する気泡率センサであって、
前記極低温液体が流れる流路を有する配管と、
静電容量を測定するための少なくとも一対の電極と、を備え、
前記流路は、複数の分割された流路を含み、
前記少なくとも一対の電極のそれぞれの電極のそれぞれの面が、前記複数の分割された流路のいずれかに対向して配置されている気泡率センサ。

30

【請求項 14】

配管の流路内を流れる極低温液体の流量を測定する流量計であって、請求項 1 ~ 13 のいずれかに記載の気泡率センサと、前記流路内を流れる前記極低温液体の流速を測定する流速計とを備えた流量計。

40

【請求項 15】

請求項 14 に記載の流量計を備えた極低温液体移送管。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、液体水素等の極低温液体の気泡率を測定するための気泡率センサ (void fraction sensor) およびこれを用いた流量計ならびに極低温液体移送管に関する。

【背景技術】

【0002】

近時、温室効果ガスの排出削減に伴い、有力なエネルギー貯蔵媒体として水素の利用が

50

注目されている。特に、液体水素は、体積効率が高く長期保存が可能であるため、その利用技術が種々開発されている。しかし、液体水素を大量に取り扱う場合に必要となる流量の正確な計測方法が工業的に確立されていなかった。その主な理由は、液体水素が非常に気化しやすく気体と液体の比率の変化が大きな流体である為である。

【 0 0 0 3 】

すなわち、液体水素は、極低温（沸点-253）の液体であり、熱伝導が非常に高く潜熱が小さいため、すぐに気泡（void）が発生するという特徴がある。そのため、液体水素は、移送用の配管内では、気液混合した、いわゆる二相流となっている。

【 0 0 0 4 】

従って、気泡の含有割合の変化が大きいため、配管内を流れる液体水素の流量を測定するには、通常の液体のように流速を測定するだけでは、正確な流量を知ることはできない。

10

【 0 0 0 5 】

そこで、気液二相流の気相体積割合を示す気泡率を計測する気泡率計の開発が進められている。このような気泡率計として、非特許文献1では、一对の電極を用いて静電容量を測定する静電容量型ボイド率計（capacitance type void fraction sensor）が提案されている。非特許文献1は、このボイド率計を使用して、液体窒素のボイド率を測定したことが報告されている。この静電容量型ボイド率計で用いられる配管は、内径が10.2mmと比較的小さいものが用いられている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

20

【 0 0 0 6 】

【文献】Norihide MAENO、他5名、「Void Fraction Measurement of Cryogenic Two Phase Flow Using a Capacitance Sensor」, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, Vol. 12, No. ists29, pp. Pa_101-Pa_107, 2014

【発明の概要】

【 0 0 0 7 】

本開示の気泡率センサは、極低温液体の気泡率を測定するものであって、極低温液体が流れる流路を有する配管と、流路の外部に配置される第1電極および第2電極と、流路内でかつ第1電極と第2電極の間に配置され第1電極および/または第2電極との間で静電容量を測定するための少なくとも1つの中間電極を備える。

30

【 0 0 0 8 】

本開示の他の気泡率センサは、極低温液体が流れる流路を有する配管と、静電容量を測定するための少なくとも一对の電極と、を備え、少なくとも一对の電極が、流路の外部に配置される電極と、流路内に配置される電極とを備える。

【 0 0 0 9 】

本開示のさらに他の気泡率センサは、極低温液体が流れる流路を有する配管と、静電容量を測定するための少なくとも一对の電極と、を備え、少なくとも一对の電極が流路内に配置されている。

【 0 0 1 0 】

本開示の流量計は、配管の流路内を流れる極低温液体の流量を測定するものであって、上記の気泡率センサと、前記流路内を流れる前記極低温液体の流速を測定する流速計とを備える。

40

【 0 0 1 1 】

また、本開示は、上記流量計を備えた極低温液体移送管を提供するものである。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図1】本開示の一実施形態に係る気泡率センサを示す概略断面図である。

【図2】本開示の他の実施形態に係る気泡率センサを示す概略断面図である。

【図3A】および

【図3B】2つの電極間の距離が電氣的に等しいことを説明するための模式図である。

50

【発明を実施するための形態】**【0013】**

以下、本開示の実施形態に係る気泡率センサを説明する。なお、以下の説明では、極低温液体として液体水素を用いた場合の気泡率を測定するための気泡率センサを例に挙げて説明する

図1は本開示の一実施形態に係る気泡率センサ1を示している。同図に示すように、本実施形態の気泡率センサ1は、液体水素を流すための流路5を有する配管2の流路5の外部に第1電極3Aおよび第2電極3Bを配置すると共に、配管2の流路5内に中間電極4を配置したものである。中間電極4は、第1電極3Aと第2電極3Bの間で、かつ配管2の流路5の軸方向（図1の紙面に垂直な方向）に沿って第1電極3Aおよび第2電極3Bと対向するように設けられている。軸方向に垂直な流路5の断面は、中間電極4を介した円状である。

10

【0014】

第1電極3Aおよび第2電極3Bは、流路5の外部に位置している。第1電極3Aおよび第2電極3Bが流路5の外部に位置しているというのは、第1電極3Aおよび第2電極3Bが、図1のように配管2の外周に位置していてもよく、流路5を取り囲んでいる配管2の内部に位置していてもよい。特に、第1電極3Aおよび第2電極3Bは、図1のように、配管2の外周に位置しているとよい。第1電極3Aおよび第2電極3Bが配管2の外周に位置すると、気泡率センサ1の作製が容易となる。

【0015】

20

また、1つの配管2内に複数の流路がある場合、これら複数の流路群を一つの流路とみなし、この流路群の外側で、この流路群を挟むように第1電極3Aおよび第2電極3Bが位置している。また、このように1つの配管2内に複数の流路がある場合、中間電極4は、第1電極3Aおよび第2電極3Bの間で、かつ、隣接する流路同士の間位置している。

【0016】

このように、配管2の流路5内に中間電極4を配置したので、流路5の内径が大きくなっても、第1電極3Aと中間電極4との間および第2電極3Bと中間電極4との間で静電容量を測定するので、電極間の距離が縮まり、静電容量が大きくなる。

また、第1電極3Aおよび第2電極3Bと対向させることにより、中間電極4の面積を大きく設定することが可能となるため、各電極間に蓄積される静電容量が大きくなり、液体水素の気泡率の測定精度を向上させることができる。

30

【0017】

第1電極3A、第2電極3Bおよび中間電極4は、いずれも静電容量測定機8に電氣的に接続されており、測定された静電容量の値は、静電容量測定機8に表示される。

【0018】

配管2は、液体水素を流すための流路5を有する筒状体であって、絶縁性のセラミックスから形成される。このようなセラミックスとしては、例えばジルコニア、アルミナ、サファイア、窒化アルミニウム、窒化珪素、サイアロン、コージライト、ムライト、イットリア、炭化珪素、サーメット、 β -ユークリプタイト等を主成分とするセラミックスが挙げられる。

40

【0019】

絶縁性のセラミックスとは、20における体積固有抵抗値が $10^{10} \Omega \cdot m$ 以上であるセラミックスをいう。

【0020】

セラミックスにおける主成分とは、セラミックスを構成する成分の合計100質量%のうち、60質量%以上を占める成分をいう。特に、主成分は、セラミックスを構成する成分の合計100質量%のうち、95質量%以上を占める成分であるとよい。セラミックスを構成する成分は、X線回折装置（XRD）を用いて求めればよい。各成分の含有量は、成分を同定した後、蛍光X線分析装置（XRF）またはICP発光分光分析装置を用いて、成分を構成する元素の含有量を求め、同定された成分に換算すればよい。

50

【 0 0 2 1 】

セラミックスの相対密度は、例えば、92%以上99.9%以下である。相対密度は、セラミックスの理論密度に対する、JIS R 1634 - 1998に準拠して求められたセラミックスの見掛け密度の百分率（割合）として表される。

【 0 0 2 2 】

セラミックスは、閉気孔を有し、隣り合う閉気孔の重心間距離の平均値から閉気孔の円相当径の平均値を差し引いた値（以下、この値を閉気孔間の間隔という。）が8 μm 以上18 μm であってもよい。閉気孔は互いに独立している。

【 0 0 2 3 】

閉気孔間の間隔が8 μm 以上の場合、閉気孔が比較的分散された状態で存在するため、機械的強度が高くなる。一方、閉気孔間の間隔が18 μm 以下の場合、冷熱衝撃が繰り返し与えられ、閉気孔の輪郭を起点とするマイクロクラックが発生したとしても、周囲の閉気孔により、その伸展が遮られる確率が高くなる。このことから、閉気孔間の間隔が8 μm 以上18 μm 以下であると、このセラミックスからなる配管2を長期間に亘って用いることができる。

10

【 0 0 2 4 】

閉気孔の円相当径の歪度は、閉気孔の重心間距離の歪度よりも大きくてもよい。ここで、歪度とは、分布が正規分布からどれだけ歪んでいるか、即ち、分布の左右対称性を示す指標（統計量）であり、歪度が0より大きい場合、分布の裾は右側に向かい、歪度が0の場合、分布は左右対称となり、歪度が0より小さい場合、分布の裾は左側に向かう。

20

【 0 0 2 5 】

閉気孔の円相当径および閉気孔の重心間距離のそれぞれのヒストグラムを重ね合わせると、閉気孔の円相当径の歪度は、閉気孔の重心間距離の歪度より大きい場合、円相当径の最頻値は、重心間距離の最頻値よりも左側（ゼロ側）に位置する。即ち、円相当径の小さい閉気孔が多く、しかも、これらの閉気孔がより疎らに存在することになり、機械的強度と耐冷熱衝撃性とを兼ね備えた配管2とすることができる。

【 0 0 2 6 】

例えば、閉気孔の円相当径の歪度は1以上であり、閉気孔の重心間距離の歪度は0.6以下である。閉気孔の円相当径の歪度と、閉気孔の重心間距離の歪度との差は、0.4以上である。

30

【 0 0 2 7 】

閉気孔の重心間距離および円相当径を求めるには、まず、セラミックスを形成する配管の一方の端面から軸方向に向かって、平均粒径 D_{50} が3 μm のダイヤモンド砥粒を用いて銅盤にて研磨する。その後、平均粒径 D_{50} が0.5 μm のダイヤモンド砥粒を用いて錫盤にて研磨することにより、粗さ曲線における算術平均粗さ R_a が0.2 μm 以下である研磨面を得る。研磨面の算術平均粗さ R_a は、上述した測定方法と同じである。

【 0 0 2 8 】

研磨面を200倍の倍率で観察し、平均的な範囲を選択して、例えば、面積が $7.2 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ （横方向の長さが310 μm 、縦方向の長さが233 μm ）となる範囲をCCDカメラで撮影して、観察像を得る。

40

【 0 0 2 9 】

この観察像を対象として、例えば、画像解析ソフト「A像くん(ver 2.52)」(登録商標、旭化成エンジニアリング(株)製)を用いて分散度計測の重心間距離法という手法で閉気孔の重心間距離を求めればよい。以下、画像解析ソフト「A像くん」と記載した場合、旭化成エンジニアリング(株)製の画像解析ソフトを示す。

【 0 0 3 0 】

この手法の設定条件としては、例えば、画像の明暗を示す指標であるしきい値を165、明度を暗、小図形除去面積を1 μm^2 、雑音除去フィルタを無とすればよい。なお、観察像の明るさに応じて、しきい値は調整すればよく、明度を暗、2値化の方法を手動とし、小図形除去面積を1 μm^2 および雑音除去フィルタを有とした上で、観察像に現れるマ

50

ーカーが閉気孔の形状と一致するように、しきい値を調整すればよい。閉気孔の円相当径は、上記観察像を対象として、粒子解析という手法で閉気孔の円相当径を求めればよい。設定条件は、閉気孔の重心間距離を求めるのに用いた設定条件と同じにすればよい。

【0031】

閉気孔の円相当径および重心間距離の歪度は、それぞれExcel（登録商標、Microsoft Corporation）に備えられている関数Skewを用いて求めればよい。

【0032】

このようなセラミックスによって形成される配管の製造方法の一例について説明する。配管を形成するセラミックスの主成分が酸化アルミニウムである場合について説明する。

10

【0033】

主成分である酸化アルミニウム粉末（純度が99.9質量%以上）と、水酸化マグネシウム、酸化珪素および炭酸カルシウムの各粉末とを粉碎用ミルに溶媒（例えば、イオン交換水）とともに投入して、粉末の平均粒径（D₅₀）が1.5 μm以下になるまで粉碎した後、有機結合剤と、酸化アルミニウム粉末を分散させる分散剤とを添加、混合してスラリーを得る。

【0034】

ここで、上記粉末の合計100質量%における水酸化マグネシウム粉末の含有量は0.3~0.42質量%、酸化珪素粉末の含有量は0.5~0.8質量%、炭酸カルシウム粉末の含有量は0.06~0.1質量%であり、残部が酸化アルミニウム粉末および不可避不純物である。有機結合剤としては、例えば、アクリルエマルジョン、ポリビニールアルコール、ポリエチレングリコール、ポリエチレンオキサイド等である。

20

【0035】

次に、スラリーを噴霧造粒して顆粒を得た後、1軸プレス成形装置あるいは冷間静水圧プレス成形装置を用いて、成形圧を78MPa以上118MPa以下として加圧することにより柱状の成形体を得る。

【0036】

成形体には、必要に応じて切削加工により、焼成後に凹部となる凹みが形成される。

【0037】

焼成温度を1580 以上1780 以下、保持時間を2時間以上4時間以下として成形体を焼成してセラミックスからなる配管を得る。

30

【0038】

閉気孔の間隔が8 μm以上18 μmであるセラミックスを得るには、例えば、焼成温度を1600 以上1760 以下、保持時間を2時間以上4時間以下として成形体を焼成すればよい。

流路に対向するセラミックスの面を研削して研削面としてもよい。また、電極が設けられる凹部の面を研削して底面としてもよい。

【0039】

また、流路5は、内径が50mm以上であるのがよい。配管の外周面に一对の電極を設けた気泡率センサでは、配管の径を大きくすると、電極間の距離が広がるため、静電容量が小さくなるおそれがあったが、本実施形態のように、中間電極4を設けると、電極間の距離が狭くなるため、静電容量が大きくなり、感度を高めることができる。中間電極4を設けることにより、流路5の内径を大きくすることができ、このようにすると、液体水素の流量を増やすことができる。

40

【0040】

流路5の内径とは、中間電極4に垂直な方向における流路5の最大径である。即ち、流路5の内径は、中間電極4の厚みと中間電極4を支持する支持部7の厚みも含む。

【0041】

配管2は、図1に示すように、流路5の軸心を介して対向する部位にそれぞれ凹部6A、6Bが形成されており、これらの凹部6A、6Bの底面に第1電極3Aおよび第2電極

50

3 B がそれぞれ配置されている。凹部 6 A、6 B および第 1 電極 3 A、第 2 電極 3 B は、配管 2 の軸方向の全長にわたって設けられていてもよく、一部に設けているだけでもよい。凹部 6 A、6 B の底面は、図 1 では平坦面であるが、断面が流路 5 と対応する円弧状であってもよい。

【0042】

第 1 電極 3 A、第 2 電極 3 B および中間電極 4 は、例えば銅箔、アルミニウム箔等で形成することができる。凹部 6 A、6 B の底面に第 1 電極 3 A および第 2 電極 3 B を形成するには、例えば真空蒸着法、メタライズ法、活性金属法等で行うことができる。また、第 1 電極 3 A および第 2 電極 3 B となる金属板をそれぞれ凹部 6 A、6 B の底面に接着してもよい。

10

【0043】

中間電極 4 は、流路 5 内の径方向に互いに対向する、内周面の 2 点を接続するように配置されるのがよい。これにより、液体水素の流路 5 を分割することができるので、電極間の距離が縮まり、静電容量が大きくなる。その結果、気泡率センサ 1 の感度が高くなるので、液体水素の気泡率の測定精度を向上させることができる。

【0044】

配管 2 は、中間電極 4 を支持する板状の支持部 7 を流路 5 内に備え、中間電極 4 は、支持部 7 に内蔵されているのがよい。中間電極 4 を支持部 7 で支持することにより、中間電極 4 を保護することができる。特に、中間電極 4 が流路 5 内で露出しないので、損傷を受けにくくなり、長期間に亘って用いることができる。中間電極 4 は、例えば、第 1 電極 3 A および第 2 電極 3 B の少なくともいずれかに平行に配置される。

20

【0045】

上記支持部 7 としては、配管 2 と同様の絶縁性セラミックスが使用可能である。そのため、支持部 7 と配管 2 とは、例えば、押出成形や CIP（冷間静水圧加圧）成形により一体に形成された一体形成品であってもよい。支持部 7 に中間電極 4 を内蔵させるには、例えば、成形時に中間電極 4 のフィルムを、支持部 7 を形成する部位に挿入すればよい。

【0046】

一体成形に代えて、中間電極 4 を内蔵した支持部 7 をあらかじめ作成して起き、これを流路 5 内に軸方向に直交して挿入してもよい。

【0047】

30

また、中間電極 4 を内蔵させずに、中間電極 4 を第 1 電極 3 A および第 2 電極 3 B のいずれか、または両方に対向するように支持部 7 の片面または両面に装着（積層）してもよい。この場合も、一体成形で作製することができるが、中間電極 4 を一体成形後に貼着してもよい。

【0048】

第 1 電極 3 A、第 2 電極 3 B および中間電極 4 の厚さは、いずれも $10\ \mu\text{m}$ 以上、好ましくは $20\ \mu\text{m}$ 以上で、 $2\ \text{mm}$ 以下、好ましくは $1\ \text{mm}$ 以下であるのがよい。

【0049】

第 1 電極 3 A と中間電極 4 との距離は、第 2 電極 3 B と中間電極 4 との距離と電氣的に等しいのがよい。これら 2 つの電極間の距離を電氣的に等しくすることにより、後述する被測定空間 A の平均厚み t_{22} に応じて生じる電位差と、被測定空間 B の厚み t_2 に応じて生じる電位差とが等しくなり、分割した流路 5 a、5 b に対する気泡率の電氣的評価を等しく扱うことが可能となり、制御を簡素化できる。「2 つの電極間の距離が電氣的に等しい」の意味については後述する。

40

【0050】

図 1 に示すように、第 1 電極 3 A および第 2 電極 3 B は静電容量測定機 8 に電氣的に接続されており、また、静電容量測定機 8 には中間電極 4 も電氣的に接続され、気泡率センサ 1 を構成している。

【0051】

次に、本開示の他の実施形態を図 2 に基づいて説明する。なお、図 1 と同じ構成部材に

50

は同一の符号を付して、詳細な説明は省略する。

【 0 0 5 2 】

図 2 に示すように、本実施形態に係る気泡率センサ 1 1 は、複数の中間電極 4 1、4 2、4 3 を備えており、各中間電極 4 1、4 2、4 3 間の距離は電氣的に等しい。このように、複数の中間電極 4 1、4 2、4 3 を備えることで、各中間電極 4 1、4 2、4 3 間の距離を短くすることができる。そのため、各中間電極 4 1、4 2、4 3 間に蓄積される静電容量が大きくなり、液体水素の気泡率の測定精度を向上させることができる。

【 0 0 5 3 】

このとき、各中間電極 4 1、4 2、4 3 間の距離が電氣的に等しい限りは、該距離を適宜変えて、感度を変化させもよい。

10

【 0 0 5 4 】

中間電極 4 1、4 2、4 3 は、前記した実施形態と同様に、それぞれ支持部 7 1、7 2、7 3 に内蔵され支持されている。中間電極 4 1、4 2、4 3 は、例えば、第 1 電極 3 A および第 2 電極 3 B の少なくともいずれかに平行に配置される。

【 0 0 5 5 】

第 1 電極 3 A、第 2 電極 3 B および中間電極 4 1、4 2、4 3 は、いずれも静電容量測定機 8 に電氣的に接続されており、測定された静電容量の値は、静電容量測定機 8 に表示される。

【 0 0 5 6 】

また、使用される条件によって、気体水素が配管 2 の流路 5 内で鉛直上方に集合した気液二相流となった場合、鉛直上方の感度と、液体が主体の鉛直下方の感度とで評価の重みを変えることで測定系全体の精度を向上させることができる。

20

【 0 0 5 7 】

測定精度を向上させるうえで、第 1 電極 3 A と最も第 1 電極 3 A に近い中間電極 4 1 の距離と、第 2 電極 3 B と最も第 2 電極 3 B に近い中間電極 4 3 の距離とは電氣的に等しいのがよい。

【 0 0 5 8 】

同様に、各中間電極 4 1、4 2、4 3 間の距離と、第 1 電極 3 A と最も第 1 電極 3 A に近い中間電極 4 1 の距離および第 2 電極 3 B と最も第 2 電極 3 B に近い中間電極 4 3 の少なくともいずれが電氣的に等しいのがよい。

30

【 0 0 5 9 】

次に、「2つの電極間の距離が電氣的に等しい」の意味について、図 2 に示す気泡率センサ 1 1 に基づいて説明する。図 3 A、3 B は、「2つの電極間の距離が電氣的に等しい」ことを示す模式図である。図 3 A は、第 1 電極 3 A と中間電極 4 1 との間のように配管 2 を構成する絶縁層が厚い場合を、図 3 B は、中間電極 4 1 と中間電極 4 2 との間のように絶縁層が薄い場合をそれぞれ模式的に示している。

【 0 0 6 0 】

図 3 A に示すように、第 1 電極 3 A と中間電極 4 1 とによって挟まれる配管 2 の平均厚みと支持部 7 1 の厚みの合計 t_{11} に応じて生じる電位差を E_{11} 、第 1 電極 3 A と中間電極 4 1 とによって挟まれる被測定空間 A の平均厚み t_{22} に応じて生じる電位差を E_{22} とする。一方、図 3 B に示すように、中間電極 4 1 と中間電極 4 2 によって挟まれる支持部 7 1、7 2 の厚みの合計 t_1 に応じて生じる電位差を E_1 、第 1 電極 3 A と中間電極 4 1 とによって挟まれる被測定空間 B の厚み t_2 に応じて生じる電位差を E_2 とした場合、 $E_2 = E_{22}$ となるように、 t_{11} 、 t_{22} 、 t_1 および t_2 が調整された状態を、2つの電極間の距離が電氣的に等しいという。

40

【 0 0 6 1 】

図 2 に示す例では、極低温液体よりも誘電率の大きい絶縁性セラミックスの厚みの合計 t_{11} が厚み t_1 よりも大きいため、被測定空間 A の平均厚み t_{22} が被測定空間 B の厚み t_2 よりも短くなる。

【 0 0 6 2 】

50

各電位差 E_1 、 E_{22} 、 E_1 および E_2 は、静電容量測定機 8 で測定すればよい。

【0063】

第 1 電極 3 A と中間電極 4 1 とによって挟まれる配管 2 の平均厚みは、積分の平均値の定理を用いて求めればよい。第 1 電極 3 A と中間電極 4 1 とによって挟まれる被測定空間 A の平均厚み t_{22} は、第 1 電極 3 A と中間電極 4 1 との間隔から第 1 電極 3 A と中間電極 4 1 とによって挟まれる配管 2 の平均厚みと支持部 7 1 の厚みの合計 t_{11} を差し引いた値である。

【0064】

以上の実施形態の気泡率センサ 1、11 の他に、本開示においては、静電容量を測定するための一対の電極が、配管 2 の外周に配置される第 1 電極 3 A または第 2 電極 3 B と、流路 5 内に配置される中間電極 4 とから構成された気泡率センサであってもよい。すなわち、配管 2 の外周に配置される電極は、上記電極 3 A、3 B の一方のみであってもよい。このような一対の電極であっても、電極間の距離が短くなるので、電極間に蓄積される静電容量が大きくなり、気泡率の測定精度を向上させることができる。なお、一対の電極は 2 以上であっても構わない。

10

【0065】

また、本開示の他の気泡率センサとして、流路 5 の外部に配置される第 1 電極 3 A または第 2 電極 3 B を用いずに、流路 5 内に配置された一対の電極で構成された気泡率センサであってもよい。すなわち、図 2 に示す中間電極 4 1、4 2、4 3 のうち、例えば、中間電極 4 1 と 4 3、中間電極 4 1 と 4 2 あるいは中間電極 4 2 と 4 3 で構成された気泡率センサであってもよい。図 2 に示すように、中間電極 4 1、4 2、4 3 のそれぞれ一部は、流路 5 を囲繞する内周面の内側に位置していてもよい。

20

【0066】

次に、本開示の実施形態に係る流量計について説明する。この流量計は、流路 5 内を流れる液体水素の流量を測定するものであり、前記した気泡率センサ 1、11 と、図示しない極低温液体が流路 5 内を流れる流速を測定する流速計とを備える。気泡率センサ 1、11 および流速計は、図示しない液体水素移送管（以下、移送管と略称する場合がある。）に取り付けられている。

【0067】

流路 5 内を流れる液体水素は、気液混合した二相流となっているので、気泡率センサ 1、11 で液体水素の静電容量を測定し、これから液体水素の密度 d (kg/m^3) を求める。

30

【0068】

そして、流速計で求めた液体水素の流速 ($\text{m}/\text{秒}$) を v 、流路 5 の断面積 (m^2) を a としたとき、次式によって流量 F ($\text{kg}/\text{秒}$) が求められる。

【0069】

$$F = d \times v \times a$$

流量計は、上記演算を行うために、気泡率センサ 1、11 および流速計が接続された演算装置をさらに備えている。これにより、液体水素の流量測定を簡単に行うことができるので、工業的に液体水素を大量移送する場合に管理が容易になる。

40

【0070】

以上の説明では、液体水素の気泡率センサ 1、11 およびこれを用いる流量計について述べたが、他の極低温液体、例えば、液体窒素（-196）、液体ヘリウム（-269）、液化天然ガス（-162）、液体アルゴン（-186）等（括弧内は液化温度を示す。）に対しても同様に適用可能である。よって、本開示における極低温液体とは、-162 以下の極低温で液化するものをいう。

【0071】

以上、本開示の実施形態について説明したが、本開示の気泡率センサは、上記実施形態に限定されるものではなく、本開示に記載の範囲内で種々の変更や改善が可能である。

【符号の説明】

50

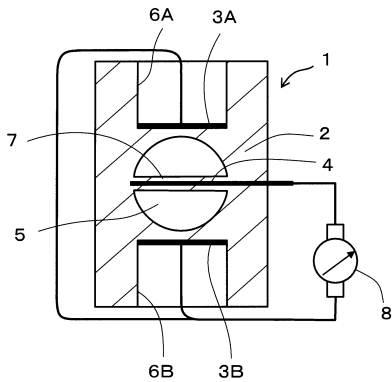
【 0 0 7 2 】

- 1、 1 1 気泡率センサ
- 2 配管
- 3 A 第 1 電極
- 3 B 第 2 電極
- 4、 4 1、 4 2、 4 3 中間電極
- 5 流路
- 6 A、 6 B 凹部
- 7、 7 1、 7 2、 7 3 支持部
- 8 静電容量測定機

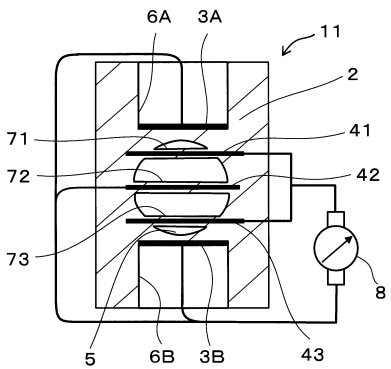
10

【 図 面 】

【 図 1 】

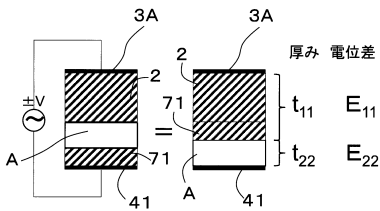


【 図 2 】

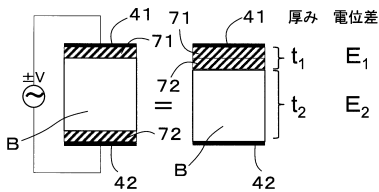


20

【 図 3 A 】



【 図 3 B 】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 0 - 2 8 2 0 3 2 (J P , A)
 特表 2 0 1 4 - 5 2 4 5 6 6 (J P , A)
 特開 2 0 1 4 - 1 1 5 1 6 4 (J P , A)
 特開 2 0 1 4 - 2 3 2 0 0 7 (J P , A)
 実開昭 5 4 - 0 7 2 5 5 6 (J P , U)
 特開平 0 6 - 2 2 2 0 3 0 (J P , A)
 特開平 0 3 - 1 5 2 4 2 1 (J P , A)
 特開平 0 5 - 0 5 2 7 9 6 (J P , A)
 米国特許第 0 5 8 6 1 7 5 5 (U S , A)
 米国特許第 0 5 0 1 7 8 7 9 (U S , A)
 中国特許出願公開第 1 0 3 8 8 4 7 4 7 (C N , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- G 0 1 N 2 7 / 0 0 - 2 7 / 1 0
 G 0 1 N 2 7 / 1 4 - 2 7 / 2 4
 G 0 1 F 1 / 0 0 - 1 / 9 0