

明 細 書

発明の名称：微細気泡発生装置および微細気泡発生装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、微細気泡を液体中に発生させる微細気泡発生装置および微細気泡発生装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 気泡径が50 μm よりも小さい微細気泡は、いわゆる「マイクロバブル」または「ナノバブル」と呼ばれており、一般的な炭酸水中に含まれている気泡（気泡径は1 mm以上）のような径が大きい気泡とは異なる特性を有している。この微細気泡の特性とは、例えば、液体中への気体溶解量が大きいため、溶存酸素等の溶存気体濃度を高くすることができる、気泡表面が負に帯電している、空気や酸素等の気体溶解量が大きい、および、種々の生理活性効果を有する等が挙げられる。そのため、さまざまな分野でこの種の微細気泡関連技術が用いられている。

[0003] 例えば、農業の分野では、土耕栽培や水耕栽培において、微細気泡化した空気を含む水を培地に散布することによって、酸素不足になりがちな根に好適に酸素を供給することができる。空気を微細気泡とすることにより気体溶解量が多くなり、気泡径がより小さいほど気泡が弾けにくく水中に安定的に保持される。その結果、溶存酸素濃度が高い水を植物に与えることができるため、生育が早く、良質な作物を得ることができる。また、水中の溶存酸素濃度が高められたことによる嫌気性菌の抑制効果や害虫駆除効果も報告されている。

[0004] また、美容・健康の分野では、微細気泡化した空気を含む水を毛髪や頭皮等の肌の洗浄に用いると、毛髪等に付着している油分や汚れに微細気泡が選択的に吸着するため、洗浄効果が高いことが知られている。このとき、微細気泡の気泡径がより小さいほど、毛根や毛髪組織等の隙間に微細気泡が入り

込むことができるため、洗浄効果が高いといわれている。また、微細気泡による知覚神経刺激によって血流が増大し、血行が促進される等の効果も認められている。

[0005] このような微細気泡を発生させる装置として、特許文献1には管状体の内部で微細気泡を発生させる装置が開示されている。特許文献1に記載の微細気泡発生装置は、液体中の微細気泡濃度が高く、気泡径が数十マイクロメートル以下の小さい気泡径の微細気泡を発生させることを実現する画期的な装置である。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：国際公開第2019／212028号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献1に記載の従来の微細気泡発生装置（図19参照）は、液体供給源から連続して供給される液体Lと、気体供給手段から供給される気体Gとを混合して微細気泡を発生させ、微細気泡と液体とが混合した気液混合液Mを排出する。このように連続的に供給される液体Lへ加圧した気体Gを導入するためには、液体の流路70となる管状体130において、気体Gが流れる貫通孔56の周辺で、高い気圧に対応すると共に、管状体130の内部でも高い水圧に対応する必要がある。

[0008] このような要請に対応するために、特許文献1では、管状体130は、流路70の軸が直線的になるように一体的に形成され、貫通孔56の周辺をナット120で締め付けることでケーシング110に密着させて固定されている。しかしながら、このような構造では、多くの部品を有し、製造工程が煩雑である。

[0009] 本発明は、このような観点からなされ、その目的は、製品強度を高めつつ、製造コストが低い微細気泡発生装置および微細気泡発生装置の製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明者は、鋭意研究を重ねた結果、別々に形成した管状体をそれぞれ組み合わせることで、製造コストの低減を実現するに至った。特許文献1では、管状体を一体的に形成することで、耐圧性を確保していたが、本発明の管状体（内部部品）およびケーシング（合流管）の構成によれば、管状体が分割されていても十分な耐圧性を確保することができることを見出した。

[0011] 本発明によれば、液体供給源から連続して供給される液体と、気体供給手段から供給される気体とを混合し、微細気泡を発生させ、微細気泡と液体とが混合した気液混合液を排出する気泡生成器を有する微細気泡発生装置が提供される。気泡生成器は、内部に液体を供給する液体導入部と、内部に気体を供給する気体導入部と、微細気泡を生成して微細気泡を含む気液混合液を導出する導出部とを有し、独立した部品として形成された合流管と、合流管の内部に組み立て収容され、液体導入部から供給された液体を導出部に流す流路を内部に有する管状の内部部品とを有している。内部部品は、液体が流れる方向の下流側に配置され、独立した部品として形成された下流側内管と、上流側に配置され、独立した部品として形成された上流側内管とから構成されており、上流側内管には、気体導入部から供給された気体を流路に導入する貫通孔が穿設されている。下流側内管は、合流管の内部において上流側内管と連結しており、流路は、液体導入部から導出部までの間で、上流側内管と下流側内管とを略同軸線状に連通している。

[0012] 本発明によれば、気泡生成器の内部の流路を流れる液体に対して気体を混合して、ナノオーダーレベルの気泡径を有する微細気泡を含む気液混合液を良好に排出することができる。この気泡生成器は、独立した部品として形成された合流管をケーシングとして、内部に、内部部品を配置した構成になっている。内部部品は、独立した部品として形成された上流側内管と独立し

た部品として形成された下流側内管とが合流管の内部に収容されて連結されるように組み立てられている。長尺の管状部材を他の管状部材の内部に導入するような組み立て作業は、非常に煩雑であるが、内部部品が分割されていることで組み立てを容易にすることができる。また、上流側内管および下流側内管を合流管の内部において連結することで、耐圧性も確保される。さらに、気泡生成器は、合流管の内部に内部部品が収容して構成されているため、製品強度も向上すると共に、配管との接続が容易である。そのため、微細気泡発生装置は、製造コストが低いばかりか、メンテナンスコストの低減も実現できる。

[0013] 好ましくは、下流側内管は、上流側内管と連結する下流連結部と、導出部の内部に繋がる下流端部と、下流連結部から下流端部に向かって内径を縮小させた下流側縮径部とを有し、上流側内管は、下流側に向かって内径を縮小させた上流側縮径部と、上流側縮径部から下流側に向かって内径を拡大させた拡径部と、下流連結部と連結する上流連結部とを有し、貫通孔は、拡径部に配置されている。

[0014] このように構成することで、気泡生成器の内部において、液体供給源から連続して供給される液体が流れる流路は、上流側内管で径を縮小したあとで拡大し、下流側内管で再び縮小し、導出部で拡大するようになる。流路の径が小さい部分では、ベンチュリ効果により圧力が低下した減圧状態となっているため、大気圧以上に加圧された気体との圧力差が大きくなり、貫通孔から多量の気体が流路内に吸引される。本発明において、流路内に導入される気体の流速は高められ、貫通孔から勢いよく流路内に導入された気体は、拡径部と下流側縮径部との間（気液混合部）で、強い旋回流を生じさせる。それゆえ、多量の気体が流路内部に導入されるとともに、この流路内部で気体と液体とが確実に混合され、気泡を多量に有する気液混合液が得られる。また、貫通孔から流路内に導入された気体の流速が高いために、流路内を流れる液体（気液混合液）の流速が加速される。また、本発明においては、上流において内径が小さい部分と気液混合部を経た気液混合液は、引き続いて下

流側において内径が小さい部分を通過することとなる。このとき、下流側の内径が小さい部分では、ベンチュリ効果によって減圧状態となるために気液混合液中の気泡が膨張するが、導出部では内径が大きいため流速が低下して圧力が高くなる。そのため、導出部では、膨張していた気泡が圧壊収縮し、さらに気泡径が小さくなった微細気泡が得られる。

[0015] 好ましくは、下流側内管の最小の内径は、上流側内管の最小の内径よりも小さく、導出部は、少なくとも下流側内管の最小の内径よりも大きい部分を有する。これにより、気泡径をより小さくすることができ、ナノオーダーレベルの気泡径の微細気泡を有する気液混合液を得ることができる。なお、本明細書において、ナノオーダーレベルの気泡径の微細気泡とは、気泡径が1 μm 未満の微細気泡のことをいう。

[0016] 好ましくは、下流端部は、導出部と嵌合して連結している。このように構成することで、導出部と下流側内管とが強く連結し、気泡生成器の耐圧性を高めることができる。また、嵌合によって、内部部品の位置決めを行うことができ、部品の組み立てが容易になる。

[0017] 好ましくは、下流側縮径部での流路の中心軸は、上流側縮径部での流路の中心軸と同軸上に配置されている。これにより、流路内を流れる気液混合液の流速は高いまま維持され、それゆえ、導出部を経て放出される気液混合液も好適な液圧を有することができる。

[0018] 好ましくは、下流連結部は、内面が上流連結部の内面と略同一面となるように上流連結部と連結している。下流連結部および上流連結部での流路を流れる液体には高い圧力が生じているが、これらの内面を同一面にすることで、微細気泡発生装置の耐圧性が向上する。

[0019] 好ましくは、下流連結部と上流連結部は、上流側縮径部での流路の中心軸に対して略垂直な端面で連結されている。このように構成することで、内部部品の組み立てが容易になると共に、耐圧性にも優れるようになる。

[0020] 好ましくは、貫通孔は、上流側縮径部での流路の中心軸に対して傾斜して、拡径部の管壁を貫通している。このように構成することで、気体が、貫

通孔からより勢いよく気液混合部に導入され、気液混合部で、強い旋回流を生じさせるため、気泡を多量に有する気液混合液が得られる。そのため、本発明によって排出する気液混合液に、より高濃度で微細気泡を含ませることができる。

[0021] 好ましくは、貫通孔は、複數で拡径部の周方向に均等に配置されている。これにより、加圧気体はより気液混合部に勢いよく導入されて強い旋回流を生じさせるため、流路で加圧気体と液体とが確実に混合され、気泡を多量に有する気液混合液が得られる。

[0022] 好ましくは、上流側縮径部および拡径部の外面と、合流管の内面との間に間隙が形成され、それぞれの貫通孔は、間隙から、流路まで延在している。このように構成することで、加圧気体の気液混合部への導入がより効率的に行われる。

[0023] 好ましくは、液体導入部、気体導入部および導出部には、それぞれ他の配管を螺合するネジ山が形成されている。このように構成することで、気泡生成器に対して、配管を効率よく、より強固に接続できると共に、気泡生成器の耐圧性がより向上する。

[0024] さらに、本発明によれば、液体供給源から連続して供給される液体と、気体供給手段から供給される気体とを混合し、微細気泡を発生させて微細気泡と液体とが混合した気液混合液を排出する微細気泡発生装置の製造方法が提供される。この製造方法は、内部に液体を供給する液体導入部と、内部に気体を供給する気体導入部と、微細気泡を生成して微細気泡を含む気液混合液を導出する導出部とを有する合流管を独立した部品として形成する工程と、液体が流れる方向の下流側に配置される下流側内管を独立した部品として形成する工程と、液体が流れる方向の上流側に配置され、気体導入部から供給された気体を導入するための貫通孔が穿設されている上流側内管を独立した部品として形成する工程と、形成した上流側内管と形成した下流側内管とが同軸に配置され、液体導入部から供給された液体を導出部に流すための流路

を形成するように、下流側内管およびこの下流側内管に連通する上流側内管を、形成した合流管の内部に組み立て収容する工程とを備えている。

[0025] 本発明によれば、気泡生成器の内部の流路を流れる液体に対して気体を混合して、ナノオーダーレベルの気泡径を有する微細気泡を含む気液混合液を良好に排出することができる。この気泡生成器は、独立した部品として形成された合流管をケーシングとして、内部に、内部部品を配置した構成になっている。内部部品は、独立した部品として形成された上流側内管と独立した部品として形成された下流側内管とが合流管の内部に収容されて連結されるように組み立てられている。長尺の管状部材を他の管状部材の内部に導入するような組み立て作業は、非常に煩雑であるが、内部部品が分割されていることで組み立てを容易にすることができる。また、上流側内管および下流側内管を合流管の内部において連結することで、耐圧性も確保される。さらに、気泡生成器は、合流管の内部に内部部品が収容して構成されているため、製品強度も向上すると共に、配管との接続が容易である。そのため、微細気泡発生装置は、製造コストが低いばかりか、メンテナンスコストの低減も実現できる。

[0026] 好ましくは、下流側内管形成工程は、上流側内管と連結する下流連結部と、導出部の内部に繋がる下流端部と、下流連結部から下流端部に向かって内径を縮小させた下流側縮径部とを有する下流側内管を形成する工程を含んでおり、上流側内管形成工程は、下流側に向かって内径を縮小させた上流側縮径部と、上流側縮径部から下流側に向かって内径を拡大させた拡径部と、下流連結部と連結する上流連結部とを有する上流側内管を形成すると共に、貫通孔を拡径部に配置させる工程を含んでいる。

[0027] 好ましくは、下流側内管形成工程または上流側内管形成工程は、下流側内管の最小の内径が上流側内管の最小の内径よりも小さくなるように形成する工程を含んでおり、合流管形成工程は、導出部が少なくとも下流側内管の最小の内径よりも大きい部分を有するように形成する工程を含んでいる。

- [0028] 好ましくは、組み立て工程は、下流側内管の下流端部が前記合流管の導出部と嵌合して連結する工程を含んでいる。
- [0029] 好ましくは、組み立て工程は、下流側内管の下流側縮径部における流路の中心軸が、上流側内管の上流側縮径部における流路の中心軸と同軸上に配置する工程を含んでいる。
- [0030] 好ましくは、組み立て工程は、下流側内管の下流連結部の内面が上流側内管の上流連結部の内面と略同一面となるように上流連結部を連結する工程を含んでいる。
- [0031] 好ましくは、組み立て工程は、下流側内管の下流連結部と上流側内管の上流連結部とが、上流側内管の上流側縮径部における流路の中心軸に対して略垂直な端面同士で連結する工程を含んでいる。
- [0032] 好ましくは、上流側内管形成工程は、貫通孔が、上流側縮径部における流路の中心軸に対して傾斜して拡径部の管壁を貫通するように上流側内管を形成する工程を含んでいる。
- [0033] 好ましくは、上流側内管形成工程は、拡径部の周方向に均等に配置された複数の貫通孔を形成する工程を含んでいる。
- [0034] 好ましくは、組み立て工程は、上流側内管の上流側縮径部および拡径部の外面と、合流管の内面との間に間隙が形成され、複数の貫通孔が間隙から流路まで延在するように組み立てる工程を含んでいる。
- [0035] 好ましくは、合流管形成工程は、液体導入部、気体導入部および導出部に他の配管を螺合するネジ山をそれぞれ形成する工程を含んでいる。

発明の効果

- [0036] 本発明によれば、以下のような優れた効果を有する微細気泡発生装置および微細気泡発生装置の製造方法を提供することができる。すなわち、微細気泡発生装置では、気泡生成器は、独立した部品として形成された合流管の内部に独立した部品として形成された上流側内管および独立した部品として形成された下流側内管を収容し、上流側内管と下流側内管とが合流管の内部で連結するように組み立てられており、組み立てが容易かつ耐圧性が非常に優

れる。また、ナノオーダーレベルの気泡径を有する微細気泡を含む気液混合液を良好に排出することができる。

図面の簡単な説明

[図1]図1は、本発明の一実施形態に係る微細気泡発生装置の構成を示す図である。

[図2]図2は、図1に示す微細気泡発生装置を構成する気泡生成器の概略を示す斜視図である。

[図3]図3は、図2に示す気泡生成器の分解斜視図である。

[図4]図4は、図3に示す合流管の部分の概略を示す斜視図である。

[図5]図5は、図4に示す合流管の構成を示す正面図である。

[図6]図6は、図4に示すV I - V I 線での断面図である。

[図7]図7は、図4に示すV I I - V I I 線での断面図である。

[図8]図8は、図3に示す下流側内管の部分の概略を示す斜視図である。

[図9]図9は、図8に示す下流側内管の構成を示す正面図である。

[図10]図10は、図8に示す下流側内管の構成を示す底面図である。

[図11]図11は、図3に示す上流側内管の部分の概略を示す斜視図である。

[図12]図12は、図11に示す上流側内管の構成を示す正面図である。

[図13]図13は、図11に示す上流側内管の構成を示す底面図である。

[図14]図14は、図2に示す気泡生成器の構成を示す正面図である。

[図15]図15は、図2に示す気泡生成器の構成を示す底面図である。

[図16]図16は、図2に示すX V I - X V I 線での断面図である。

[図17]図17は、図2に示すX V I I - X V I I 線での断面図である。

[図18]図18は、図1に示す微細気泡発生装置の作用を示す部分拡大断面図である。

[図19]図19は、従来の微細気泡発生装置の概略を示す部分拡大断面図である。

発明を実施するための形態

[0038] 以下、本発明の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。必要に応じて図面を参照して説明を行うものの、図示する内容は、本発明の理解のために模式的かつ例示的に示したにすぎず、外観や寸法比などは実物と異なり得る。また、以下、実施形態により具体的に説明するが、これらの実施形態に限定されるものではない。

[0039] (微細気泡発生装置の全体構成)

まず、本実施形態の微細気泡発生装置の全体構成について説明する。図1は、美容室等で用いられる本発明の一実施形態に係る微細気泡発生装置1の使用状態を示す図である。図1に示すように、微細気泡発生装置1は、微細気泡を発生させ、微細気泡を含む気液混合液Mを導出する気泡生成器2を有する。気泡生成器2は、液体Lと気体Gとを混合し、内部で微細気泡を発生させる。図1に示すように、気泡生成器2は、液体供給源の一例として上水道等の水栓7と配管4で繋がっており、連続的に液体Lが供給されるようになっている。また、気泡生成器2は、気体供給手段の一例として圧縮機8と配管5で繋がっており、加圧された気体Gが供給されるようになっている。また、気泡生成器2は、配管6でシャワーヘッド3などの放出具と繋がっており、微細気泡を含む気液混合液Mを連続的にシャワーヘッド3から放出することができる。

[0040] 図18は、本実施形態の微細気泡発生装置1の作用を示す部分拡大断面図である。図18に示すように、気泡生成器2は、独立した部品として形成された筒状の合流管10の内部に、液体Lまたは気体Gが流れる流路70を形成する内部部品として独立した部品として形成された下流側内管30および独立した部品として形成された上流側内管50が収容されるように組み立てられている。合流管10の上流側の一端には液体導入部20があり、配管4を介して水栓に接続される液体供給口21が設けられている。他方、合流管10の下流側の一端には導出部26があり、気泡生成器2の内部で生成した気液混合液Mを排出する排出口27が設けられている。また、液体導入部20と導出部26とを繋ぐ本体部12には、気体供給口15を持つ気体導入部

14があり、圧縮機8と配管5を介して接続される気体供給口15から気体Lが合流管10の内部に供給される。

[0041] 図18に示すように、内部部品（下流側内管30および上流側内管50）の内部の空間が流路70を構成している。流路70は、上流側内管50の上流側から下流側内管30の下流側に至るまで、Z軸方向に沿う軸C_zを中心軸として連通している。すなわち、流路70におけるZ軸に垂直な断面の中心が略直線となるように構成されている。それゆえ、流路70を流れ方向Fに向かって流れる液体Lまたは気液混合液Mの逆流や流速低下が抑制され、流路70内部での液体L等の円滑な流れが維持される。流路70は、流速を速める第1流路部分71と、その下流に位置し液体Gと気体Gとを混合する第2流路部分72（気液混合部）と、を有する。なお、本明細書において、下流とは、液体Lおよび気液混合液Mが流れる方向の先のことであり、気泡生成器2においては、Z軸方向の排出口27がある側を指す。また、上流とは、液体Lおよび気液混合液Mが流れてくる元のことであり、気泡生成器2においては、Z軸方向の液体供給口21がある側を指す。

[0042] 図18に示すように、第1流路部分71は、下流側が縮径して第2流路部分72と繋がっている。そのため、第1流路部分71を流れる液体Lは、流速を速めながら第2流路部分に連続的に供給される。また、第2流路部分72は、第1流路部分71の最小径φ7の部分から下流に向かって拡径している。貫通孔56が、第1流路部分71での最小の内径φ7の部分の下流側の近傍に設けられており、上流側内管50の外側から第2流路部分72に繋がっている。気体導入部14から供給された気体Gは、貫通孔56を通過して、上流側内管50の外部から第2流路部分72に供給されるようになっている。ベンチュリ効果により、最小の内径φ7の近傍部分において液体Lは減圧状態になっている。これにより、気体Gは、貫通孔56から第2流路部分72に勢いよく導入され、引き続いて第1の気液混合部24に強い旋回流を生じさせる。そのため、第2流路部分72において、気体Gと液体Lとが確実に混合され、気泡を多量に有する気液混合液Mが得られる。

[0043] 第2流路部分72は、さらに下流側において下流に向かって縮径しており、気液混合液Mは、ベンチュリ効果によって減圧状態となる。第2流路部分72の最も下流側は、最小内径 $\phi 5$ を有し、生成部29に繋がっている。なお、第2流路部分72での最小径 $\phi 5$ は、特に限定されないが、第1流路部分71での最小径 $\phi 7$ よりも小さいことが好ましい。このように構成すると、気液混合液Mを、勢いよく生成部29に供給することができる。また、生成部29での内径 $\phi 2$ は、第2流路部分72の最小径 $\phi 5$ より急激に大きくなっている。これにより、第2流路部分72と生成部29との圧力差が大きくなるため、生成部29で気液混合液Mの気泡の圧壊収縮が促進され、微細気泡が生成される。

[0044] (気泡生成器の全体構成)

次に、気泡生成器2の構成について詳細に説明する。図2は、気泡生成器2の構成を概略的に示す斜視図である。図2に示すように、気泡生成器2は、内部に液体を供給する液体導入部20と、気液混合液を外部に導出する導出部26と、を有する。また、気泡生成器2は、Z軸方向に沿って延在し液体導入部20および導出部26を繋ぐ本体部12と、を有する。気泡生成器2は、液体導入部20に液体供給口21と、導出部26に排出口27とを有し、Z軸方向に沿う軸C_zを中心軸としてそれぞれを連通した筒状構造を有する。また、気泡生成器2は、内部に気体を供給する気体導入部14を有する。気体導入部14は、本体部12の外周面11bのうち第1面11b1に、Y軸方向に沿う軸C_yを中心軸として内部に繋がる気体供給口15を有する。なお、図面において、X軸、Y軸およびZ軸は、互いに垂直である。

[0045] 図3は、気泡生成器2の構成を示す分解斜視図である。図3に示すように、気泡生成器2は、筒状の本体部12を持つ合流管10と、軸C_zを中心軸として本体部12の内部に収容される下流側内管30および上流側内管50と、を有する。下流側内管30は、本体部12の内部で下流端部35が導出部26と嵌合して連結される。また、上流側内管50は、本体部12の内部で下流側内管30の上流側に配置され、上流連結部57の連結端面58

が、下流側内管 30 の下流連結部 32 の連結端面 33 と連結される。本実施形態では、合流管 10 は、内部に下流側内管 30 および上流側内管 50 を完全に収容するケーシングとして機能している。

[0046] 合流管 10、下流側内管 30 および上流側内管 50 の材質は特に限定されないが、水道水による腐食が生じにくい材質であることが好ましい。また、合流管 10、下流側内管 30 および上流側内管 50 は、内部に流れる液体に対して加圧した気体を導入しても破損しないように、十分な強度を有する材質で形成されることが好ましい。たとえば、合流管 10、下流側内管 30 および上流側内管 50 は、材質として硬質 PVC（塩化ビニル樹脂）、アルミニウム、ステンレス（SUS）などが例示されるが、ステンレスであることが特に好ましい。合流管 10、下流側内管 30 および上流側内管 50 は、それぞれ、一体成型されていることが好ましい。

[0047] 図 4 は、合流管 10 の構成を示す斜視図である。合流管 10 は、液体供給口 21 を持つ液体導入部 20 と、排出口 27 を持つ導出部 26 と、を有する。また、合流管 10 は、液体導入部 20 および導出部 26 を繋ぐ本体部 12 と、を有する。合流管 10 は、液体供給口 21 から排出口 27 までそれぞれを連通しており、内面 11a を有する筒状構造になっている。本体部 12 では、内部に気体を供給する気体導入部 14 の気体供給口 15 が管壁 10b を貫通している（図 7 参照）。

[0048] 図 4 に示すように、合流管 10 は、本体部 12 および液体導入部 20 の外面 11b が、第 1 面 11b1、第 2 面 11b2、第 3 面 11b3、第 4 面 11b4、第 5 面 11b5 および第 6 面 11b6 を有し、概略的に Z 軸方向に第 1 端面 11b1 から第 2 端面 11b2 までの長い略正六角柱状の外形を有する（図 7 参照）。そのため、合流管 10 は、スパナや六角レンチなどで容易に保持できる。

[0049] 図 4 に示すように、液体導入部 20 の内周面には、ネジ山 22 が形成されており、図 1 に示す配管 4 と螺合可能になっている。また、合流管 10 は、導出部 26 が外周面にネジ山 28 を有し、形成正六角柱形状部分の第 2 端面

1 1 b 2 から先端面 1 1 c 3 まで突出しており、図 1 に示す配管 6 と螺合可能になっている。気体導入部 1 2 の内周面には、ネジ山 1 6 が形成されており、図 1 に示す配管 5 と螺合可能になっている。そのため、図 1 に示す配管 4, 5, 6 などとの接続作業を容易に行えるようになっている。なお、本実施形態では、六角レンチで保持し易いように、Z 軸方向の端部において面取りがなされている（図 5 参照）。

[0050] 合流管 1 0 は、Y 軸方向の奥行 D 0（図 7 参照）、X 軸方向の幅 W 0（図 5 参照）および Z 軸方向の長さ H 0（図 5 参照）を有する。奥行 D 0、幅 W 0 および長さ H 0 は、特に限定されない。たとえば奥行 D 0 は 2 0 mm ～ 5 0 mm であってもよく、製造コストの低減、製品のコンパクト化および製品強度の観点から、2 2 mm ～ 3 0 mm であることが好ましい。奥行 D 0 は、既存のレンチサイズに対応していることが好ましい。幅 W 0 は、平面視で外形が正六角形となるように奥行 D 0 に対応していることが好ましく、2 3 mm ～ 5 8 mm であってもよい。長さ H 0 は 4 0 mm ～ 1 7 0 mm であってもよく、製造コストの低減、製品のコンパクト化および製品強度の観点から、長さ H 0 は 4 5 mm ～ 6 5 mm であることが好ましい。また、内部に供給される液体の圧力および加圧気体の圧力が高いなどの場合には、奥行 D 0、幅 W 0 および長さ H 0 は、その圧力に応じてさらに大きくしてもよい。

[0051] 図 5 および図 6 に示す第 1 端面 1 1 b 1 からストッパ面 1 1 a 0 までの液体導入部 2 0 の長さ H 1 は、特に限定されず、7 mm ～ 2 5 mm であってもよい。製造コストの低減、製品のコンパクト化および製品強度の観点から、長さ H 1 は、8 mm ～ 1 2 mm であることが好ましい。また、ストッパ面 1 1 a 0 から第 2 端面 1 1 b 2 までの本体部 1 2 の長さ H 2 は、特に限定されず、2 0 mm ～ 1 2 0 mm であってもよい。製造コストの低減、製品のコンパクト化および製品強度の観点から、長さ H 2 は、3 0 mm ～ 4 0 mm であることが好ましい。

[0052] 図 5 に示すように、本実施形態では、導出部 2 6 の先端面 1 1 c 3 が、略六角柱形状部分の第 2 端面 1 1 c 2 から Z 軸方向に長さ H 3 で突出した位置

にある。導出部26の突出長さH3は、特に限定されず、7mm～25mmであってもよい。長さH3は、製造コストの低減、製品のコンパクト化、製品強度および微細気泡を良好に発生させる観点から、8mm～12mmであることが好ましい。なお、内部に供給される液体の圧力および加圧気体の圧力が高いなどの場合には、長さH1、H2、H3も奥行D0、幅W0および長さH0に応じてさらに大きくしてもよい。

[0053] 図6に示すように、合流管10は、Z軸方向に沿って延在する円筒状の内部10aを形成する本体部内面11a1と、導出部内面11a3と、を有する(図7参照)。図6および図7に示すように、本実施形態では、導出部26の内径φ2は、本体部12での内部10aの内径φ1よりも小さくなっているが、内径φ1および内径φ2は、特に限定されない。ただし、本体部12での内径φ1は、合流管10の内部10aに内部部品(下流側内管30および上流側内管50)を収容して、下流側内管30および上流側内管50が嵌まり込む大きさであることが好ましい。たとえば、内径φ1は、10mm～25mmであってもよく、内径φ1は、15mm～20mmであることが好ましい。また、導出部26での内径φ2は、下流側内管30の下流端部35が嵌まり込む大きさであることが好ましい。たとえば、内径φ2は、8mm～20mmであってもよく、内径φ2は、12mm～18mmであることが好ましい。また、図7に示す合流管10の管壁10bの壁厚D1は特に限定されない。たとえば、管壁10bの壁厚D1は、2mm～12mmであってもよい。製造コストの低減、製品のコンパクト化および製品強度の観点から、管壁10bの壁厚D1は、3mm以上であることが好ましい。なお、内部に供給される液体の圧力および加圧気体の圧力が高いなどの場合には、内径φ1、φ2および壁厚D1も、奥行D0、幅W0および長さH0に応じてさらに大きくしてもよい。

[0054] 図6に示すように、本体部内面11a1は、これに略垂直なストッパ面11a0に繋がっている。本体部内面11a1および導出部内面11a3は、それぞれに対して垂直な位置決め面11a2で繋がっている。ストッパ面1

1 a 0 は、上述の配管 4 の挿入可能な下流側位置を規定する。位置決め面 1 a 2 は、後述する下流側内管 3 0 の段差面 3 8（図 9 参照）が当接して、下流側内管 3 0 の位置決めを可能にしている。

[0055] 図 8 に示すように、下流側内管 3 0 は、概略的に Z 軸に沿って延在する外面 3 1 b と、内面 3 1 a を持つ管壁 3 1 を有し、軸 C z を中心軸とする略円管状の外形を有する。また、図 9 に示すように、下流側内管 3 0 は、概略的に、下流側に位置する下流端部 3 5 と、上流側に位置する下流連結部 3 2 と、下流端部 3 5 と下流連結部 3 2 との間に位置する下流側縮径部 3 4 と、を有する。

[0056] 図 9 に示すように、下流連結部 3 2 での内面 3 1 a である第 1 部分 3 1 a 1 は、Z 軸方向に長さ H 4 で延在している。また、下流端部 3 5 での内面 3 1 a である第 3 部分 3 1 a 3 は、Z 軸方向に長さ H 6 で延在している。下流側内管 3 0 の下流端部 3 5 での内径 $\phi 5$ は、下流側内管 3 0 の下流連結部 3 2 での内径 $\phi 6$ よりも小さくなっている。また、下流側縮径部 3 4 は、Z 軸方向の長さ H 5 を有し、下流側縮径部 3 4 での内面 3 1 a である第 2 部分 3 1 a 2 は、第 1 部分 3 1 a から第 3 部分 3 1 a 3 に向かって弧を描いて連続して繋がっている。下流側内管 3 0 の下流側縮径部 3 4 での内径は、下流連結部 3 2 から下流端部 3 5 に向かって縮径している。

[0057] 図 9 に示す下流連結部 3 2 での管壁 3 1 の厚み D 2 は特に限定されないが、組み立て易さおよび製品強度の観点から 2 mm 以上であることが好ましい。図 9 および図 10 に示す下流側内管 3 0 の直径 $\phi 3$ は、下流側内管 3 0 が合流管 1 0（図 7 参照）に嵌まり込むように、合流管 1 0 での内部 1 0 a の内径 $\phi 1$ と同径あるいはそれ以下に設計されることが好ましい。

[0058] 図 9 に示すように、下流側内管 3 0 は、下流連結部 3 2 の連結端面 3 3 が Z 軸方向に対して垂直になっており、下流端部 3 5 の先端部 3 6 が導出部 2 6（図 6 参照）の内部に配置されて接続するように突出している。先端部 3 6 は、導出部内面 1 1 a 3 に沿うように形成された先端外面 3 7 と、先端外面 3 7 に垂直な端面 3 9 と、を有する。外面 3 1 b および先端外面 3 7 は、

それぞれに垂直な段差面 38 で繋がっている。下流端部 35 の段差面 38 は、合流管 10 の位置決め面 11a2 に当接される。また、下流側内管 30 を合流管 10 の液体供給口 21 から内部 10a に挿入し易いように、段差面 38 と外面 31b とが交差する角部は面取りされていることが好ましい。

[0059] 図 9 および図 10 に示す下流端部 35 の先端部 36 が、導出部 26 に嵌合するように、先端部 36 での直径 $\phi 4$ は、導出部 26 の内部 10a の内径 $\phi 2$ と同径あるいはそれ以下に設計されることが好ましい（図 4 参照）。先端部 36 の突出長さ H12 は、特に限定されないが、先端部 36 を導出部 26 に嵌合させて固定する観点から 0.5 mm 以上であることが好ましい。また、下流端部 35 の先端部 36 は、導出部 26 に嵌合し易いように、先端外面 37 と端面 39 とが交差する角部は面取りされていることが好ましい。

[0060] 図 9 に示す下流連結部 32 での内径 $\phi 6$ 、下流側内管 30 の下流端部 35 での内径 $\phi 5$ 、内面 31a の第 2 部分 31a2 が描く弧の半径は、特に限定されない。内径 $\phi 6$ は、製造の容易さ、製品の小型化および気体を良好に液体と混合する観点から、たとえば、8 mm ~ 20 mm であることが好ましく、10 mm ~ 15 mm であることがより好ましい。内径 $\phi 5$ は、製造の容易さ、製品の小型化および気体を良好に液体と混合する観点から、たとえば、3 mm ~ 15 mm であることが好ましく、5 mm ~ 8 mm であることがより好ましい。図 9 に示す第 2 部分 31a2 が描く弧の半径は、製造の容易さ、製品の小型化および気体を良好に液体と混合する観点から、15 mm ~ 20 mm であってもよく、好ましくは 16 mm ~ 18 mm である。なお、内面 31a の第 2 部分 31a2 は、第 1 部分 31a から第 3 部分 31a3 まで、弧を描かず直線的につながっていてもよい。また、内部に供給される液体の圧力および加圧気体の圧力が高いなどの場合には、内径 $\phi 6$ 、 $\phi 5$ および第 2 部分 31a2 が描く弧の半径も、奥行 D0、幅 W0 および長さ H0 に応じてさらに大きくしてもよい。

[0061] 図 9 に示す下流連結部 32 の長さ H4、下流側縮径部 34 の長さ H5 および下流端部 35 の長さ H6 は、特に限定されない。ただし、下流側内管 30

の全体がZ軸方向に長くなると、合流管10に下流側内管30を挿入して組み立てることが困難になる。また、下流側内管30の全体が短い場合には、気液混合が行われる気液混合部（第2流路部分72）が十分に確保されない。そのため、長さH4、H5、H6は、これらの観点から適宜設計され得るが、たとえば、長さH4は1mm～15mm、長さH5は7mm～20mm、長さH6は2mm～15mmであってもよい。なお、長さH4は1mm～5mm、長さH5は5mm～12mm、長さH6は2mm～5mmであることが好ましい。なお、内部に供給される液体の圧力および加圧気体の圧力が高いなどの場合には、長さH4、H5、H6、H12、D2も、奥行D0、幅W0および長さH0に応じてさらに大きくしてもよい。

[0062] 図11に示すように、上流側内管50は、概略的に、軸Czを中心軸とする略円管状の外形を有する。図12に示すように、上流側内管50は、管壁51の外表面51bから内表面51aまでの厚みD3が略一定であり、括れ部60での内径φ7は、Z軸方向の両端での内径φ8よりも小さく、上流側内管50における最小内径となるように括れた外形を有する。管壁51の厚みD3は、特に限定されないが、下流側内管30の下流連結部32での管壁31の厚みD2（図9参照）と等しいことが好ましい。また、上流側内管50のZ軸方向の両端での直径は、下流側内管30の直径φ3と等しいことが好ましく、合流管10（図7参照）に嵌まり込むように、合流管10での内部10aの内径φ1と同径あるいはそれ以下に設計されることが好ましい。また、上流側内管50は、概略的に、上流端部52、上流側縮径部54、拡径部55および上流連結部57を有する。

[0063] 図12に示すように、上流端部52での内表面51aである第1部分51a1は、Z軸に沿うように長さH7で延在している。また、上流連結部57での内表面51aである第4部分51a4は、Z軸方向に長さH10で延在している。また、上流側縮径部54は、Z軸方向の長さH8を有し、上流側縮径部54での内表面51aである第2部分51a2は、第1部分51a1から最小内径φ7となる括れ部60に向けて連続して繋がっている。上流側内管50の

上流側縮径部 5 4 での内径は、上流端部 5 2 から括れ部 6 0 に向けて縮径している。また、拡径部 5 5 は、Z 軸方向の長さ H 9 を有し、拡径部 5 5 での内面 5 1 a である第 3 部分 5 1 a 3 は、括れ部 6 0 から上流連結部 5 7 に向けて連続して繋がっている。上流側内管 5 0 の拡径部 5 5 での内径は、括れ部 6 0 から上流連結部 5 7 に向けて拡径している。

[0064] 図 1 3 に示すように、上流側内管 5 0 には、複数の貫通孔 5 6 が穿設されている。それぞれの貫通孔 5 6 は、軸 C z を中心とする回転対称になっており、それぞれ 90° ずつ回転して拡径部 5 5 に均等に配置されている。図 1 2 に示すように、貫通孔 5 6 は、その中心軸 C g が軸 C z に対して角度 $\theta 1$ だけ傾くように、拡径部 5 5 の外面 5 1 b から内面の第 3 部分 5 1 a 3 に向けて管壁 5 1 を貫通している。また、貫通孔 5 6 は、外面 5 1 b における中心 O 1 が、括れ部 6 0 の Z 軸上の位置 C 0 から Z 軸方向に H 1 1 だけ下流側に配置されるように形成されている。長さ H 1 1 は、たとえば 5 mm 以下であってもよい。また、貫通孔 5 6 の内径 $\phi 9$ は特に限定されないが、上流側内管 5 0 の最小内径 $\phi 7$ よりも小さいことが好ましく、たとえば、2 mm ~ 7 mm であってもよい。角度 $\theta 1$ は、限定されないが、 $20^\circ \sim 50^\circ$ であることが好ましい。

[0065] 図 1 2 に示すように、上流側内管 5 0 は、上流連結部 5 7 の連結端面 5 8 および上流端部 5 2 の端面 5 3 が、Z 軸方向に対して垂直になっている。上流連結部 5 7 の連結端面 5 8 は、下流連結部 3 2 の連結端面 3 3 に当接される。上流端部 5 2 の端面 5 3 と外面 5 1 b とは、略垂直に交差している。他方、上流側内管 5 0 を合流管 1 0 の液体供給口 2 1 から内部 1 0 a に挿入し易いように、上流連結部 5 7 の連結端面 5 8 と外面 5 1 b とが交差する角部が面取りされていることが好ましい。

[0066] 図 1 2 に示す上流側内管 5 0 の上流連結部 5 7 および上流側内管 5 0 の上流端部 5 2 での内径 $\phi 8$ は、特に限定されない。上流端部 5 2 での内径 $\phi 8$ は、下流連結部 3 2 での内径 $\phi 6$ と同様の値に設計可能であるが、下流連結部 3 2 での内径 $\phi 6$ と等しいことが好ましい（図 9 参照）。このように構成

することで、上流連結部 5 7 が合流管 1 0 の内部で下流連結部 3 2 と連結した状態で、上流連結部 5 7 の内面である第 4 部分 5 1 a 4 と、下流連結部 3 2 の内面である第 1 部分 3 1 a 1 とが略同一面となる。略同一面とは、内部部品の内部を流れる液体の流速を低下させない程度に平滑である面であれば、多少の段差があってもよい。本明細書では、略同一面には、上流連結部 5 7 の内面である第 4 部分 5 1 a 4 と、下流連結部 3 2 の内面である第 1 部分 3 1 a 1 とが、0.5 mm 以下の段差がある場合も含む。

[0067] 図 1 2 に示す括れ部 6 0 での内径 $\phi 7$ は、下流側内管 3 0 の下流端部 3 5 での内径 $\phi 5$ (図 9 参照) よりも大きいことが好ましい。たとえば、製造の容易さ、製品の小型化および気体を良好に液体と混合する観点から、たとえば、内径 $\phi 7$ は、5 mm ~ 20 mm であることが好ましく、6 mm ~ 10 mm であることがより好ましい。

[0068] 図 1 2 に示す上流端部 5 2 の長さ H 7、上流側縮径部 5 4 の長さ H 8、拡径部 5 5 の長さ H 9 および上流端部 3 7 の長さ H 1 0 は、特に限定されない。ただし、上流側内管 5 0 の全体が Z 軸方向に長くなると、合流管 1 0 に上流側内管 5 0 を挿入して組み立てることが困難になる。また、括れ部 6 0 の外径に比して上流側内管 5 0 が長くなると、括れ部 6 0 の周辺の強度が低下する。これらの観点から、長さ H 7、H 8、H 9、H 1 0 は、適宜設計され得る。たとえば、長さ H 7 は 1 mm ~ 15 mm、長さ H 8 は 4 mm ~ 20 mm、長さ H 9 は 4 mm ~ 20 mm、長さ H 1 0 は 1 mm ~ 15 mm であってもよい。なお、長さ H 7 は 1 mm ~ 5 mm、長さ H 8 は 7 mm ~ 12 mm、長さ H 9 は 7 mm ~ 12 mm、長さ H 1 0 は 1 mm ~ 5 mm であることが好ましい。なお、内部に供給される液体の圧力および加圧気体の圧力が高いなどの場合には、長さ H 7、H 8、H 9、H 1 0、H 1 1、D 3 も、奥行 D 0、幅 W 0 および長さ H 0 に応じてさらに大きくしてもよい。

[0069] 図 1 4 は、合流管 1 0 と内部部品（下流側内管 3 0 および上流側内管 5 0）とを組み立てた状態の気泡生成器 2 の構成を示す正面図である。図 1 4 に示すように、液体導入部 2 0 での最小内径 $\phi 0$ は、内部部品の直径 $\phi 3$ よ

りも大きい。そのため、液体導入部20の液体供給口21から内部部品を挿入できるようになっている。気泡生成器2を組み立てる際には、まず、液体供給口21から下流側内管30を挿入し、その後に、上流側内管50を挿入することで、下流側内管30および上流側内管50が、合流管10の内部に収容された気泡生成器2を組み立てることができる。

[0070] 図17は、合流管10と内部部品（下流側内管30および上流側内管50）とを組み立てた状態の気泡生成器2の断面図である。液体導入部20、気体導入部14および導出部26には、ネジ山が形成されており、液体導入部20と水栓7を配管4でつなぎ、気体導入部14と圧縮機8とを配管5でつなぎ、導出部26をシャワーヘッド7とつなぐだけで、微細気泡発生装置1を組み立てられる。このような微細気泡発生装置1は、製造コストが低いばかりか、メンテナンスコストの低減も実現できる。

[0071] 図17に示すように、導出部26での内径 $\phi 2$ は、下流側内管30で最小内径 $\phi 5$ よりも大きい。さらに、先端部36の端面39は、流路70の軸Czに対して垂直になっている。すなわち、流路70の下流側の径 $\phi 5$ が、生成部29において、径 $\phi 2$ に急激に広がっている。また、下流側内管30では最小内径 $\phi 5$ となる箇所が、最も下流側の先端部36にあり、最小内径 $\phi 5$ は、上流側内管50の最小内径 $\phi 7$ よりも小さい。そのため、気液混合液は、流路70の中で、下流側内管30の先端部36を通過するとき最も流速が速く、減圧状態になる。そのため、流路70を連続的に流れる気液混合液は、導出部26の生成部29において、急激に加圧されるようになるため、液体に含まれる気泡がより良好に圧壊され、ナノオーダーレベル（ $1\mu\text{m}$ 未満）の気泡径の微細気泡を有する気液混合液を得ることができる。

[0072] 図17に示すように、内部部品は、上流側縮径部54を有しており、流路70の最上流側で径 $\phi 8$ である第1流路部分71は、最小径 $\phi 7$ に縮径している。また、内部部品は、拡径部55を有しており、流路70の第2流路部分72は、径 $\phi 6$ に拡径している。そのため、括れ部60の周辺の流路70

では、液体が加速し、減圧状態になるため、液体の流路70の第2流路部分72に気体を効率よく導入することが可能になる。

[0073] 図14に示すように、下流側内管30および上流側内管50は、合流管10の内部で、同一の軸Czを中心軸として、Z軸方向に並んで配置されている。図15に示すように、内部部品内の流路70は、導出部26の排出口27まで同一の軸Czを中心軸として貫通している。これにより流路70内を流れる気液混合液の流速は高いまま維持され、導出部26を経て放出される気液混合液も好適な液圧を有することができる。なお、図17に示すように、合流管10および内部部品は、上流側内管50の括れ部60が、気体供給口15の中心軸Cyを有するXY平面に配置されるように設計してあることが好ましい。このように構成することで、気体を効率よく液体の流路に導入することが可能になる。

[0074] 図16は、気体供給口15の中心軸Cyを有するXY平面での断面図である。図16に示すように、上流側内管50の括れ部60での外面51bを周方向から囲むように、外面51bと合流管10の本体部内面11a1との間には、間隙80が形成されている。また、すべての貫通孔56が間隙80から流路70まで延在している。そのため、気体供給口15から合流管10の内部に供給された気体は、間隙80を介してすべての貫通孔56に供給され、すべての貫通孔56を介して流路70に供給されるようになっている。貫通孔56は、それぞれ均等に配置されており、貫通孔56の中心軸Cgが流路の中心軸Czに対して傾斜して、拡径部55の管壁51を貫通している（図12参照）。このように構成することで、流路70内に導入される気体は、貫通孔56からより勢いよく導入される。すべての貫通孔56から気体がこのように供給されることで、第2流路部分72で、強い旋回流を良好に生じさせるため、気泡を多量に有する気液混合液が得られる。そのため、本実施形態では、微細気泡発生装置によって排出する気液混合液に、より高濃度で微細気泡を含ませることができる。

[0075] また、図 17 に示すように、下流側内管 30 が、段差面 38 を合流管 10 の位置決め面 11a2 に当接されるように配置されている。また、上流側内管 50 が、上流端部 52 の端面 53 と合流管 10 のストッパ面 11a0 とが面一になるように配置されている。このように構成することで、内部部品（上流側内管 50 および下流側内管 30）は、合流管 10 をケーシングとして完全に収納される。そのため、気泡生成器 2 を配管 4、5、6 と接続すると、内部部品が合流管 10 の外部に露出することがなくなり、気泡生成器 2 の製品強度が格段に向上する（図 18 参照）。

[0076] さらに、図 17 に示すように、上流端部 52 の端面 53 が、合流管 10 のストッパ面 11a0 と略面一になっているため、合流管 10 と上流端部 52 との間に液体が入り込みにくく、製品強度が向上する。図 18 に示すように、配管 4 の端部が端面 53 とストッパ面 11a0 のそれぞれに当接するように配管 4 と合流管 10 とを螺合すれば、配管 4 と合流管 10 との螺合による強固な接続によって、内部部品の合流管 10 への収納をより強固なものにすることができる。また、図 17 に示すように、上流側内管 50 の連結端面 58 は、下流側内管 30 の連結端面 33 と合流管 10 の気体供給口 15 よりも下流側の内部で連結されている。このような位置で、上流側内管 50 と下流側内管 30 とを連結することで、組み立てを容易にすると共に、製品強度を確保することができる。なお、上流側内管 50 と下流側内管 30 との連結は、連結端面同士を直接的に接触させなくても、流路から気液混合液が漏出するような隙間を生じないように連結されていればよい。たとえば、接着剤やパッキンなどを介して連結させて気密性を高めてもよい。また、他の管状部材を間に配置して、上流側内管 50 と下流側内管 30 とを間接的に連結させてもよい。

[0077] 図 17 は、流路 70 の中心軸 Cz を有する YZ 平面での断面図である。図 17 に示すように、下流側内管 30 は、下流端部 35 の先端部 36 が合流管 10 の導出部 26 と嵌合して連結されている。このように構成することで、導出部 26 と下流側内管 30 とが強く連結し、気泡生成器 2 の耐圧性を高め

ることができる。また、嵌合によって、内部部品の位置決めを行うことができ、部品の組み立てが容易になる。また、先端部36の先端外面37は、導出部内面11a3と当接している。また、下流側内管30の段差面38は、位置決め面11a2と当接している。さらに、下流側内管30の外面31bは、本体部内面11a1と当接している。したがって、下流側内管30は、面取り部分を除き実質的に隙間がなく合流管10に嵌まり込んでおり、合流管10と下流側内管30との接続が強く、製品強度が向上されている。

[0078] 図17に示すように、下流連結部32の連結端面33および上流連結部57の連結端面58は、流路70の軸Czに対して略垂直になっている。このように構成することで、内部部品の組み立てが容易になると共に、面取り部分を除き連結端面同士を実質的に隙間なく連結でき、耐圧性にも優れるようになる。また、下流連結部32は、内面の第1部分31a1が上流連結部57の内面の第4部分51a4と略同一面となるように上流連結部と連結しているため、微細気泡発生装置の耐圧性を向上させることができる。また、上流側内管50の上流連結部57の外面51bおよび上流端部52の外面51bは、本体部内面11a1と当接している。したがって、下流側内管50は、面取り部分と間隙80を除き実質的に隙間がなく合流管10に嵌まり込んでおり、合流管10と上流側内管50との連結が強く、製品強度が向上されている。

[0079] なお、本実施形態では、合流管10と内部部品（下流側内管30および上流側内管50）とは、嵌まり込んで連結しているが、接着剤等を用いて固定してもよい。ただし、接着剤等の破片が、気液混合液に混入する可能性を排除するという観点から、接着剤等を用いずに、合流管10に内部部品が嵌まり込んで十分な固定強度が得られる適当なサイズにこれらを設計していることが好ましい。

[0080] 以上のように、微細気泡発生装置1は、気泡生成器2の内部の流路70を流れる液体に対して加圧した気体を混合して、ナノオーダーレベルの気泡径を有する微細気泡を含む気液混合液を良好に排出することができる。すなわ

ち、流路70から流れてきた気液混合液は、生成部29で微細気泡を発生させる。流路70は、合流管10をケーシングとして、下流側内管30および上流側内管50を液体供給口21から挿入することで容易に形成できる。そのため、気泡生成器2は、組み立てが容易である。また、下流側内管30と上流側内管50とは、合流管10の内部で強く連結することができるため、外部からの衝撃に強いだけでなく、流路を流れる流体への耐圧性にも優れる。

[0081] 本発明は、上記の実施形態に限定されるものでなく、特許請求の範囲に記載された発明の要旨を逸脱しない範囲内での種々、設計変更した形態も技術的範囲に含むものである。

[0082] 微細気泡発生装置は、液体の流速、流路の径、混合する気体の圧力などによって気泡発生装置の大きさや、貫通孔の数が適宜変更される。たとえば、微細気泡発生装置を大量の微細気泡を含む気液混合液を放出する必要がある農業の分野などに使用する場合には、長さH0が30cm、幅W0が15cmを超えるような気泡生成器であってもよい。なお、十分な製品強度が確保できる場合には、幅W0に比して長さH0を長くして気液混合部72をより長く確保してもよい。

[0083] また、上述の実施形態では内部部品は、上流側内管と下流側内管の2つに分割されているが、3つ以上に分割して、合流管の内部に収容するようにしてもよい。

[0084] 次に、本発明の実施形態における微細気泡発生装置1の製造方法について説明する。

[0085] この製造方法では、合流管10、下流側内管30および上流側内管50を、それぞれ独立した部品として別個に形成し、その後、組み立て工程において、合流管10内に下流側内管30および上流側内管50を収容させて組み立てている。すなわち、この製造方法は、内部に液体を供給する液体導入部20と、内部に気体を供給する気体導入部14と、微細気泡を生成して微細気泡を含む気液混合液を導出する導出部26とを有する合流管10を独立

した部品として形成する工程と、液体が流れる方向の下流側に配置される下流側内管 30 を独立した部品として形成する工程と、液体が流れる方向の上流側に配置され、気体導入部 14 から供給された気体を導入するための貫通孔 56 が穿設されている上流側内管 50 を独立した部品として形成する工程と、形成した上流側内管 50 と形成した下流側内管 30 とが同軸に配置され、液体導入部 20 から供給された液体を導出部 26 に流すための流路を形成するように、下流側内管 30 およびこの下流側内管 30 に連通する上流側内管 50 を、形成した合流管 10 の内部に組み立て収容する工程とを備えている。

[0086] この製造方法によって製造した微細気泡発生装置 1 によれば、気泡生成器 2 の内部の流路を流れる液体に対して気体を混合して、ナノオーダーレベルの気泡径を有する微細気泡を含む気液混合液を良好に排出することができる。この気泡生成器 2 は、独立した部品として形成された合流管 10 をケーシングとして、内部に、内部部品を配置した構成になっている。内部部品は、独立した部品として形成された上流側内管 50 と独立した部品として形成された下流側内管 30 とが合流管 10 の内部に収容されて連結されるように組み立てられている。長尺の管状部材を他の管状部材の内部に導入するような組み立て作業は、非常に煩雑であるが、内部部品が分割されていることで組み立てを容易にすることができる。また、上流側内管 50 および下流側内管 30 を合流管 10 の内部において連結することで、耐圧性も確保される。さらに、気泡生成器 2 は、合流管 10 の内部に内部部品が収容して構成されているため、製品強度も向上すると共に、配管との接続が容易である。そのため、微細気泡発生装置 1 は、製造コストが低いばかりか、メンテナンスコストの低減も実現できる。

[0087] 下流側内管形成工程は、上流側内管 50 と連結する下流連結部 32 と、導出部 26 の内部に繋がる下流端部 35 と、下流連結部 32 から下流端部 35 に向かって内径を縮小させた下流側縮径部 34 とを有する下流側内管 30 を形成する工程を含んでおり、上流側内管形成工程は、下流側に向かって内径

を縮小させた上流側縮径部 5 4 と、上流側縮径部 5 4 から下流側に向かって内径を拡大させた拡径部 5 5 と、下流連結部 3 2 と連結する上流連結部 5 7 とを有する上流側内管 5 0 を形成すると共に、貫通孔 5 6 を拡径部 5 5 に配置させる工程を含んでいることが望ましい。

[0088] 下流側内管形成工程または上流側内管形成工程は、下流側内管 3 0 の最小の内径が上流側内管 5 0 の最小の内径よりも小さくなるように形成する工程を含んでおり、合流管形成工程は、導出部 2 6 が少なくとも下流側内管 3 0 の最小の内径よりも大きい部分を有するように形成する工程を含んでいることが望ましい。

[0089] 組み立て工程は、下流側内管 3 0 の下流端部 3 5 が合流管 1 0 の導出部 2 6 と嵌合して連結する工程を含んでいることが望ましい。

[0090] 組み立て工程は、下流側内管 3 0 の下流側縮径部 3 4 における流路 7 0 の中心軸が、上流側内管 5 0 の上流側縮径部 5 4 における流路 7 0 の中心軸と同軸上に配置する工程を含んでいることが望ましい。

[0091] 組み立て工程は、下流側内管 3 0 の下流連結部 3 2 の内面が上流側内管 5 0 の上流連結部 5 7 の内面と略同一面となるように上流連結部 5 7 を連結する工程を含んでいることが望ましい。

[0092] 組み立て工程は、下流側内管 3 0 の下流連結部 3 2 と上流側内管 5 0 の上流連結部 5 7 とが、上流側内管 5 0 の上流側縮径部 5 4 における流路 7 0 の中心軸に対して略垂直な端面 3 3 および 5 3 同士で連結する工程を含んでいることが望ましい。

[0093] 上流側内管形成工程は、貫通孔 5 6 が、上流側縮径部 5 4 における流路 7 0 の中心軸に対して傾斜して拡径部 5 5 の管壁を貫通するように上流側内管 5 0 を形成する工程を含んでいることが望ましい。

[0094] 上流側内管形成工程は、拡径部 5 5 の周方向に均等に配置された複数の貫通孔 5 6 を形成する工程を含んでいることが望ましい。

[0095] 組み立て工程は、上流側内管 5 0 の上流側縮径部 5 4 および拡径部 5 5 の外面と、合流管 1 0 の内面との間に間隙 8 0 が形成され、複数の貫通孔 5 6

が間隙から流路 70 まで延在するように組み立てる工程を含んでいることが望ましい。

[0096] 合流管形成工程は、液体導入部 20、気体導入部 14 および導出部 26 に他の配管を螺合するネジ山 22、16 および 28 をそれぞれ形成する工程を含んでいることが望ましい。

実施例

[0097] 以下、本発明を実施例によりさらに詳細に説明するが、本発明は、これらの実施例によってなんら限定されるものではない。

[0098] [実施例]

1. 気液混合液に含まれる微細気泡の粒子径等の測定 (1)

本発明に係る微細気泡発生装置 1 を用いて気液混合液 M を生成させ、気液混合液 M 中に含まれる微細気泡の粒子径分布を測定した。なお、微細気泡の粒子径分布の測定には、ナノ粒子解析システム (型番: NanoSight NS300、英国 Malvern 社) を用いた。微細気泡発生装置 1 としては、図 1 に示す実施形態に係る装置を用い、気泡生成器 2 と気体供給手段として圧縮機 8 とシャワーヘッド 3 とを接続して測定を行った。

[0099] 具体的には、図 2 に示す合流管 10、下流側内管 30 および上流側内管 50 を組み立てて気泡生成器 2 として使用した。気泡生成器 2 の合流管 10 は、図 4 ~ 図 7 に示す略六角柱の外形を有し、長さ H0 (全長) が 55 mm、奥行 D0 が 25 mm、液体導入部 20 の長さ H1 が 10 mm、本体部 12 の長さ H2 が 35 mm、導出部 26 の突出長さ H3 が 10 mm、本体部 12 での内部 10a の内径 $\phi 1$ が 18 mm、導出部 26 の内部 10a の内径 $\phi 2$ が 14 mm、液体導入部 20 のネジ山 22 が G1/2 (JIS 規格) の雌ネジ、導出部 26 のネジ山 28 が G1/2 (JIS 規格) の雄ネジであるステンレス製の管を使用した。このステンレス製の管の本体部 12 に、ネジ山 16 が Rc1/8 (JIS 規格) の雌ネジを有する気体導入部 14 を形成することで合流管 10 とした。

[0100] また、下流側内管30としては、図8～図10に示す円管状の外形を有し、直径 $\phi 3$ が18mm、下流連結部32の長さH4が2mm、下流側縮径部34の長さH5が10mm、下流端部35の長さH6が3mm、先端部36での直径 $\phi 4$ が14mm、下流連結部32での内径 $\phi 6$ が13mm、下流端部35での内径 $\phi 5$ が6.5mm、内面31aの第2部分31aが描く弧の半径が17.01となるように加工したステンレス製の管を使用した。

[0101] また、上流側内管50としては、図11～図13に示す円管状の外形を有し、直径 $\phi 3$ が18mm、壁厚D3が2.5mmのステンレス製の管を用い、上流端部52の長さH7が2mm、上流側縮径部54の長さH8が8mm、拡径部55の長さH9が8mm、上流連結部57の長さH10が2mm、上流端部52および上流連結部57の内径 $\phi 8$ が13mm、最小内径 $\phi 7$ が8mm、4つの貫通孔56の内径 $\phi 9$ がそれぞれ3mm、それぞれの貫通孔56の傾斜角度 $\theta 1$ が 30° 、貫通孔56の外面51bにおける中心O1と最小内径 $\phi 7$ の位置C0との距離H11が2mmとなるように加工して使用した。

[0102] また、圧縮機8としてはエアコンプレッサーSR-045（藤原産業株式会社製品、型番：SRL04SPT-01）を用い、配管5を介して気泡生成器2に接続した。水栓7は上水道の蛇口を用い、蛇口に直接ホースをつなぎ、配管4を介して気泡生成器2に接続した。シャワーヘッド3としては、散水板の吐水穴径が直径0.3mmと小さいもの（株式会社アラミック製品、品名：プロシャワークリア ProC-48N）を用いた。

[0103] 実験条件としては、加圧気体Gは空気であり、コンプレッサーによる加圧気体圧力は0.19MPaとした。また、水栓6から気泡生成器2に供給される液体L、すなわち、水の水压は0.15MPaとし、水の流量は20L/minとした。

[0104] [比較例]

2. 気液混合液に含まれる微細気泡の粒子径等の測定（2）

比較例として、従来技術である特許文献 1 に記載の微細気泡発生装置を用いて、実施例と同様の実験条件で、気液混合液 M を生成させ、気液混合液 M 中に含まれる微細気泡の粒子径分布を測定した。比較例では、従来技術である特許文献 1 に記載の微細気泡発生装置として、図 19 に示す微細気泡発生装置 101 を用いた。

[0105] 具体的には、微細気泡発生装置 101 の気泡生成器 102 として、第 1 の管状体 130 は、直径 $\phi 103$ が 18 mm、内径 $\phi 108$ が 13 mm、壁厚が 2.5 mm の硬質 PVC 管を用い、第 2 の管状体 150 として外径が 24 mm、内径 $\phi 102$ が 18 mm、壁厚が 3 mm の硬質 PVC 管を用いた。気泡生成器 102 の全長 H100 は 20.6 cm であった。第 1 の管状体 130 は、上流側で縮径している部分の最小内径 $\phi 107$ が 8 mm になるまで外周を絞り加工することにより形成し、下流側の PVC 管の外周を絞り加工した後、6.4 mm の最小内径 $\phi 105$ を有する端部が現れるように管を切断することにより形成した。また、第 1 の管状体 130 の外壁の周方向に、径 2.5 mm の貫通孔 156 を約 90 度の角度間隔で 4 つ形成した。筒体状のケーシング 110 に、第 1 の管状体 130 を挿入し、その筒体の両端部分はナット 120 およびスペーサで締め付けることで第 1 の管状体 130 をケーシング 110 に気密に固定した。水栓に繋がった配管 4 は、アダプターである液体導入部 20 を介して第 1 の管状体 130 と接続した。また、圧縮機 8 に繋がった配管 5 は、ケーシング 110 に形成した気体導入部にと接続した。シャワーヘッドに繋がった配管 6 は、第 2 の管状体 150 と接続した。

[0106] 実施例および比較例は、それぞれの気液混合水について 5 回の測定を行った。その結果を表 1 に示す。

[0107] [表1]

Table1

測定項目	実施例	比較例
気泡の平均粒径 (nm)	114.2 (± 3.3)	120.9 (± 4.9)
標準偏差(SD) (nm)	39.0 (± 2.3)	47.1 (± 2.4)
D90 (nm)	167.0 (± 10.1)	185.1 (± 17.6)
粒子濃度 (particles/mL)	7.14×10^7 ($\pm 2.15 \times 10^6$)	3.22×10^7 ($\pm 1.98 \times 10^6$)

[0108] 表1に示すように、実施例に係る微細気泡発生装置1を用いることで、ナノオーダーレベル（気泡径が1 μm 未満）の微細気泡を多く含む気液混合水が得られることがわかった。具体的には、実施例の微細気泡発生装置1で得られた気液混合水では、気泡の平均粒径が114.2 nm、測定における気泡の粒子径の標準偏差（SD）が39.0であり、これらの微細な気泡が1 mL当たり平均で 7.14×10^7 個の粒子濃度で含まれていた。また、実施例では、気液混合水に含まれる90%の気泡が167.0 nm以下であった。これに対して、比較例で得られた気液混合液では、気泡の平均粒径が120.9 nm、測定における気泡の粒子径の標準偏差（SD）が47.1であり、これらの微細な気泡が1 mL当たり平均で 3.22×10^7 個の粒子濃度で含まれていた。また、比較例では、気液混合水に含まれる90%の気泡が185.1 nm以下であった。

[0109] このことから、実施例に係る微細気泡発生装置1では、得られる気液混合液に含まれる微細気泡が比較例より微細で、より高濃度となることがわかった。また、比較例に係る微細気泡発生装置101では全長H100が20.6 cmであるのに対して、実施例に係る微細気泡発生装置1では全長H0が5.5 mmと、従来よりも30%以下に小型化されているにもかかわらず、同様の条件での空気Gおよび水Mの圧力に耐えられることが確認できた。なお、実施例に係る微細気泡発生装置1では、比較例に係る微細気泡発生装置101よりも部品が少なく、製造工程が少なく済むことが確認できた。

産業上の利用可能性

[0110] 本発明に係る微細気泡発生装置は、微細気泡を含有する気液混合液を製造するために用いられるものであり、美容・健康の分野、農業分野などにおいて好適に使用され得る。

符号の説明

- [0111] 1 微細気泡発生装置
- 2 気泡生成器
- 10 合流管
- 10a 内部
- 10b 管壁
- 11a 内面
- 11a0 ストッパ面
- 11a1 本体部内面
- 11a2 位置決め面
- 11a3 導出部内面
- 11b 外面
- 11b1 第1面
- 11b2 第2面
- 11b3 第3面
- 11b4 第4面
- 11b5 第5面
- 11b6 第6面
- 11c1 第1端面
- 11c2 第2端面
- 11c3 先端面
- 12 本体部
- 14 気体導入部
- 15 気体供給口

- 1 6 ネジ山
- 2 0 液体導入部
- 2 1 液体供給口
- 2 2 ネジ山
- 2 6 導出部
- 2 7 排出口
- 2 8 ネジ山
- 2 9 生成部
- 3 0 下流側内管
- 3 1 管壁
 - 3 1 a 内面
 - 3 1 a 1 第1部分
 - 3 1 a 2 第2部分
 - 3 1 a 3 第3部分
 - 3 1 b 外面
- 3 2 下流連結部
- 3 3 端面
- 3 4 下流側縮径部
- 3 5 下流端部
- 3 6 先端部
- 3 7 先端外面
- 3 8 段差面
- 3 9 端面
- 5 0 上流側内管
- 5 1 管壁
 - 5 1 a 内面
 - 5 1 a 1 第1部分
 - 5 1 a 2 第2部分

- 5 1 a 3 第3部分
- 5 1 a 4 第4部分
- 5 1 b 外面
- 5 2 上流端部
- 5 3 端面
- 5 4 上流側縮径部
- 5 5 拡径部
- 5 6 貫通孔
- 5 7 上流連結部
- 5 8 端面
- 6 0 括れ部
- 7 0 流路
- 7 1 第1流路部分
- 7 2 第2流路部分（気液混合部）
- 8 0 間隙
- 3 シャワーヘッド
- 4, 5, 6 配管
- 7 液体供給源
- 8 気体供給手段
- L 液体
- G 加圧気体
- M 気液混合液
- 1 0 1 微細気泡発生装置
- 1 0 2 気泡生成器
- 1 1 0 ケーシング
- 1 2 0 ナット
- 1 3 0 第1の管状体
- 1 5 0 第2の管状体

請求の範囲

[請求項1]

液体供給源から連続して供給される液体と、気体供給手段から供給される気体とを混合し、微細気泡を発生させ、前記微細気泡と前記液体とが混合した気液混合液を排出する気泡生成器を有する微細気泡発生装置であって、

前記気泡生成器は、

内部に前記液体を供給する液体導入部と、内部に前記気体を供給する気体導入部と、前記微細気泡を生成して前記微細気泡を含む前記気液混合液を導出する導出部とを有し、独立した部品として形成された合流管と、

前記合流管の内部に組み立て収容され、前記液体導入部から供給された前記液体を前記導出部に流す流路を内部に有する管状の内部部品とを有し、

前記内部部品は、

前記液体が流れる方向の下流側に配置され、独立した部品として形成された下流側内管と、上流側に配置され、独立した部品として形成された上流側内管とから構成されており、

前記上流側内管には、前記気体導入部から供給された前記気体を前記流路に導入する貫通孔が穿設されており、

前記下流側内管は、前記合流管の内部において前記上流側内管と連結しており、

前記流路は、前記液体導入部から前記導出部までの間で、前記上流側内管と前記下流側内管とを略同軸線状に連通していることを特徴とする微細気泡発生装置。

[請求項2]

前記下流側内管は、前記上流側内管と連結する下流連結部と、前記導出部の内部に繋がる下流端部と、前記下流連結部から前記下流端部に向かって内径を縮小させた下流側縮径部とを有し、

前記上流側内管は、前記下流側に向かって内径を縮小させた上流側縮径部と、前記上流側縮径部から前記下流側に向かって内径を拡大させた拡径部と、前記下流連結部と連結する上流連結部とを有し、

前記貫通孔は、前記拡径部に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の微細気泡発生装置。

[請求項3] 前記下流側内管の最小の内径は、前記上流側内管の最小の内径よりも小さく、

前記導出部は、少なくとも前記下流側内管の最小の内径よりも大きい部分を有することを特徴とする請求項 1 に記載の微細気泡発生装置。

[請求項4] 前記下流端部は、前記導出部と嵌合して連結していることを特徴とする請求項 2 に記載の微細気泡発生装置。

[請求項5] 前記下流側縮径部での前記流路の中心軸は、前記上流側縮径部での前記流路の中心軸と同軸上に配置されていることを特徴とする請求項 2 に記載の微細気泡発生装置。

[請求項6] 前記下流連結部は、内面が前記上流連結部の内面と略同一面となるように前記上流連結部と連結していることを特徴とする請求項 2 に記載の微細気泡発生装置。

[請求項7] 前記下流連結部と前記上流連結部は、前記上流側縮径部での前記流路の中心軸に対して略垂直な端面で連結されていることを特徴とする請求項 2 に記載の微細気泡発生装置。

[請求項8] 前記貫通孔は、前記上流側縮径部での前記流路の中心軸に対して傾斜して、前記拡径部の管壁を貫通していることを特徴とする請求項 2 に記載の微細気泡発生装置。

[請求項9] 前記貫通孔は、複数で前記拡径部の周方向に均等に配置されていることを特徴とする請求項 2 に記載の微細気泡発生装置。

- [請求項10] 前記上流側縮径部および前記拡径部の外面と、前記合流管の内面との間に間隙が形成され、
それぞれの前記貫通孔は、前記間隙から、前記流路まで延在していることを特徴とする請求項2に記載の微細気泡発生装置。
- [請求項11] 前記液体導入部、前記気体導入部および前記導出部には、それぞれの配管を螺合するネジ山が形成されていることを特徴とする請求項1に記載の微細気泡発生装置。
- [請求項12] 液体供給源から連続して供給される液体と、気体供給手段から供給される気体とを混合し、微細気泡を発生させて前記微細気泡と前記液体とが混合した気液混合液を排出する微細気泡発生装置の製造方法であって、
内部に前記液体を供給する液体導入部と、内部に前記気体を供給する気体導入部と、前記微細気泡を生成して前記微細気泡を含む前記気液混合液を導出する導出部とを有する合流管を独立した部品として形成する合流管形成工程と、
前記液体が流れる方向の下流側に配置される下流側内管を独立した部品として形成する下流側内管形成工程と、
前記液体が流れる方向の上流側に配置され、前記気体導入部から供給された前記気体を導入するための貫通孔が穿設されている上流側内管を独立した部品として形成する上流側内管形成工程と、
前記形成した上流側内管と前記形成した下流側内管とが同軸に配置され、前記液体導入部から供給された液体を前記導出部に流すための流路を形成するように、前記下流側内管および該下流側内管に連通する前記上流側内管を、前記形成した合流管の内部に組み立て収容する組み立て工程と、
を備えていることを特徴とする微細気泡発生装置の製造方法。
- [請求項13] 前記下流側内管形成工程は、前記上流側内管と連結する下流連結部と、前記導出部の内部に繋がる下流端部と、前記下流連結部から

前記下流端部に向かって内径を縮小させた下流側縮径部とを有する下流側内管を形成する工程を含んでおり、

前記上流側内管形成工程は、前記下流側に向かって内径を縮小させた上流側縮径部と、前記上流側縮径部から前記下流側に向かって内径を拡大させた拡径部と、前記下流連結部と連結する上流連結部とを有する上流側内管を形成すると共に、前記貫通孔を前記拡径部に配置させる工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 2 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。

[請求項14] 前記下流側内管形成工程または前記上流側内管形成工程は、前記下流側内管の最小の内径が前記上流側内管の最小の内径よりも小さくなるように形成する工程を含んでおり、

前記合流管形成工程は、前記導出部が少なくとも前記下流側内管の最小の内径よりも大きい部分を有するように形成する工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 2 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。

[請求項15] 前記組み立て工程は、前記下流側内管の前記下流端部が前記合流管の前記導出部と嵌合して連結する工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 3 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。

[請求項16] 前記組み立て工程は、前記下流側内管の前記下流側縮径部における前記流路の中心軸が、前記上流側内管の前記上流側縮径部における前記流路の中心軸と同軸上に配置する工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 3 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。

[請求項17] 前記組み立て工程は、前記下流側内管の前記下流連結部の内面が前記上流側内管の前記上流連結部の内面と略同一面となるように前記上流連結部を連結する工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 3 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。

[請求項18] 前記組み立て工程は、前記下流側内管の前記下流連結部と前記上流側内管の前記上流連結部とが、前記上流側内管の前記上流側縮径

部における前記流路の中心軸に対して略垂直な端面同士で連結する工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 3 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。

[請求項19] 前記上流側内管形成工程は、前記貫通孔が、前記上流側縮径部における前記流路の中心軸に対して傾斜して前記拡径部の管壁を貫通するように前記上流側内管を形成する工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 3 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。

[請求項20] 前記上流側内管形成工程は、前記拡径部の周方向に均等に配置された複数の前記貫通孔を形成する工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 3 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。

[請求項21] 前記組み立て工程は、前記上流側内管の前記上流側縮径部および前記拡径部の外面と、前記合流管の内面との間に間隙が形成され、複数の前記貫通孔が前記間隙から前記流路まで延在するように組み立てる工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 3 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。

[請求項22] 前記合流管形成工程は、前記液体導入部、前記気体導入部および前記導出部に他の配管を螺合するネジ山をそれぞれ形成する工程を含んでいることを特徴とする請求項 1 2 に記載の微細気泡発生装置の製造方法。