

(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2006-300565

(P2006-300565A)

(43) 公開日 平成18年11月2日(2006.11.2)

(51) Int. Cl.

GO1P 5/20 (2006.01)

F I

GO1P 5/20

E

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2005-118819 (P2005-118819)  
 (22) 出願日 平成17年4月15日 (2005. 4. 15)

(71) 出願人 000002130  
 住友電気工業株式会社  
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
 (74) 代理人 100088155  
 弁理士 長谷川 芳樹  
 (74) 代理人 100092657  
 弁理士 寺崎 史朗  
 (74) 代理人 100110582  
 弁理士 柴田 昌聰  
 (72) 発明者 福田 智恵  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内  
 (72) 発明者 服部 哲也  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内

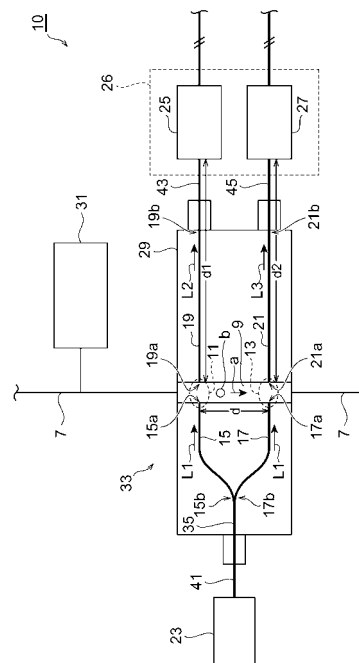
(54) 【発明の名称】 流速計測素子及びマイクロ流路デバイス

(57) 【要約】

【課題】 機械的強度に優れた構造を有する流速計測素子及びマイクロ流路デバイスを提供する。

【解決手段】 流速計測素子10は、流体a及び流体a中に含まれるトレーサbが流れるマイクロ流路9と、マイクロ流路9の第1部分11に光学的に結合された光導波路15と、第1部分11より下流に位置する第2部分13に光学的に結合された光導波路17と、第1部分11を介して光導波路15に光学的に結合された光導波路19と、第2部分13を介して光導波路17に光学的に結合された光導波路21と、光導波路15及び光導波路17に光学的に結合された光源23と、光導波路19及び光導波路21に光学的に結合された光検出部26とを備える。マイクロ流路9、光導波路15、光導波路17、光導波路19及び光導波路21は、基板29に設けられている。

【選択図】 図2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

流体及び前記流体中に含まれるトレーサが流れるマイクロ流路と、  
前記マイクロ流路の第 1 部分に光学的に結合された一端を有する第 1 の光導波路と、  
前記第 1 部分より下流に位置する前記マイクロ流路の第 2 部分に光学的に結合された一端を有する第 2 の光導波路と、  
前記第 1 部分を介して前記第 1 の光導波路の前記一端に光学的に結合された一端を有する第 3 の光導波路と、  
前記第 2 部分を介して前記第 2 の光導波路の前記一端に光学的に結合された一端を有する第 4 の光導波路と、  
前記第 1 の光導波路の他端及び前記第 2 の光導波路の他端に光学的に結合された光源と、  
前記第 3 の光導波路の他端及び前記第 4 の光導波路の他端に光学的に結合された光検出部と、  
を備え、  
前記マイクロ流路、前記第 1 の光導波路、前記第 2 の光導波路、前記第 3 の光導波路及び前記第 4 の光導波路が、基板に設けられている、流速計測素子。

10

**【請求項 2】**

前記光検出部は、前記第 3 の光導波路の前記他端に光学的に結合された第 1 の光検出器と、前記第 4 の光導波路の前記他端に光学的に結合された第 2 の光検出器と、を備える、  
請求項 1 に記載の流速計測素子。

20

**【請求項 3】**

前記第 1 の光導波路の前記他端と前記第 2 の光導波路の前記他端とは光学的に結合している、請求項 1 又は 2 に記載の流速計測素子。

**【請求項 4】**

前記第 1 部分と前記光検出部との間の光路長と、前記第 2 部分と前記光検出部との間の光路長とが略同じである、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の流速計測素子。

**【請求項 5】**

前記基板が石英ガラスから構成される、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の流速計測素子。

30

**【請求項 6】**

前記トレーサが、石英ガラスから構成される粒子である、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の流速計測素子。

**【請求項 7】**

前記光源及び前記光検出部が、前記基板に設けられている、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の流速計測素子。

**【請求項 8】**

流体の速度を計測する流速計測素子に用いられるマイクロ流路デバイスであって、  
前記流体及び前記流体中に含まれるトレーサが流れるマイクロ流路と、  
前記マイクロ流路の第 1 部分に光学的に結合された一端を有する第 1 の光導波路と、  
前記第 1 部分より下流に位置する前記マイクロ流路の第 2 部分に光学的に結合された一端を有する第 2 の光導波路と、  
前記第 1 部分を介して前記第 1 の光導波路の前記一端に光学的に結合された一端を有する第 3 の光導波路と、  
前記第 2 部分を介して前記第 2 の光導波路の前記一端に光学的に結合された一端を有する第 4 の光導波路と、  
を有する基板を備える、マイクロ流路デバイス。

40

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

50

本発明は、流速計測素子及びマイクロ流路デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1に記載されているように、マイクロ流路中に棒状又は板状の歪曲部材が設置された流速計測素子が知られている。この流速計測素子では、歪曲部材が流体からの作用力を受けて歪曲する。マイクロ流路を流れる流体の速度は、歪曲部材の歪曲度を検出することによって計測される。

【特許文献1】特開2002-156254号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0003】

しかしながら、上記流速計測素子を用いて例えば粒子状の異物が混入した流体の速度を計測する場合には、当該異物が歪曲部材に接触することによって歪曲部材が破壊されるおそれがある。特に、マイクロ流路の幅は非常に狭いので、異物が歪曲部材を破壊してしまう可能性は極めて高い。歪曲部材が破壊されてしまうと、もはや流体の速度を計測することができない。

【0004】

そこで本発明は、機械的強度に優れた構造を有する流速計測素子及びマイクロ流路デバイスを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0005】

上述の課題を解決するため、本発明の流速計測素子は、流体及び前記流体中に含まれるトレーサが流れるマイクロ流路と、前記マイクロ流路の第1部分に光学的に結合された一端を有する第1の光導波路と、前記第1部分より下流に位置する前記マイクロ流路の第2部分に光学的に結合された一端を有する第2の光導波路と、前記第1部分を介して前記第1の光導波路の前記一端に光学的に結合された一端を有する第3の光導波路と、前記第2部分を介して前記第2の光導波路の前記一端に光学的に結合された一端を有する第4の光導波路と、前記第1の光導波路の他端及び前記第2の光導波路の他端に光学的に結合された光源と、前記第3の光導波路の他端及び前記第4の光導波路の他端に光学的に結合された光検出部とを備え、前記マイクロ流路、前記第1の光導波路、前記第2の光導波路、前記第3の光導波路及び前記第4の光導波路が、基板に設けられている。

30

【0006】

本発明の流速計測素子によれば、光源から第1の光導波路の他端に入射される光は、第1の光導波路を通過して第1の光導波路の一端からマイクロ流路の第1部分に供給される。また、光源から第2の光導波路の他端に入射される光は、第2の光導波路を通過して第2の光導波路の一端からマイクロ流路の第2部分に供給される。第1部分を通過した光は第3の光導波路の一端に入射され、第3の光導波路を通過する。第3の光導波路の他端から出射される光は、光検出部に到達する。また、第2部分を通過した光は第4の光導波路の一端に入射され、第4の光導波路を通過する。第4の光導波路の他端から出射される光は、光検出部に到達する。トレーサは、流体と共に、第1部分を通過した後に第2部分を通過する。

40

【0007】

ここで、第3の光導波路の他端から出射され光検出部に到達する光の光量は、トレーサが第1部分を通過することにより変化する。また、第4の光導波路の他端から出射され光検出部に到達する光の光量は、トレーサが第2部分を通過することにより変化する。よって、光検出部に到達する光の光量が変化する時刻の差と、第1部分と第2部分との間の距離とを用いて、流体の流速を算出することができる。

【0008】

本発明の流速計測素子では上述のように流体の流速を計測できるので、マイクロ流路内に流速を計測するための構造物を設ける必要がない。したがって、本発明の流速計測素子は、機械的強度に優れた構造を有する。

50

## 【0009】

前記光検出部は、前記第3の光導波路の前記他端に光学的に結合された第1の光検出器と、前記第4の光導波路の前記他端に光学的に結合された第2の光検出器とを備えることが好ましい。この場合、第3の光導波路の他端から出射される光と第4の光導波路の他端から出射される光とを別々に検出できる。したがって、第1部分と第2部分との間の距離が短い場合であっても流体の流速を高精度に算出することができる。

## 【0010】

前記第1の光導波路の前記他端と前記第2の光導波路の前記他端とは光学的に結合していることが好ましい。この場合、第1の光導波路及び第2の光導波路に一つの光源から光を供給することができるので、流体計測素子の部品点数を削減することができる。

10

## 【0011】

また、前記第1部分と前記光検出部との間の光路長と、前記第2部分と前記光検出部との間の光路長とが略同じであることが好ましい。これにより、流体の流速を容易に算出することができる。

## 【0012】

また、前記基板が石英ガラスから構成されることが好ましい。この場合、基板の耐薬品性が向上するので、比較的幅広い種類の流体の流速を計測することができる。

## 【0013】

また、前記トレーサが、石英ガラスから構成される粒子であることが好ましい。この場合、トレーサの耐薬品性が向上するので、比較的幅広い種類の流体の流速を計測することができる。

20

## 【0014】

また、前記光源及び前記光検出部が、前記基板に設けられていることが好ましい。この場合、光源と第1の光導波路の他端及び第2の光導波路の他端との光軸合わせが容易になると共に、光検出部と第3の光導波路の他端及び第4の光導波路の他端との光軸合わせが容易になる。

## 【0015】

本発明のマイクロ流路デバイスは、流体の速度を計測する流速計測素子に用いられるマイクロ流路デバイスであって、前記流体及び前記流体中に含まれるトレーサが流れるマイクロ流路と、前記マイクロ流路の第1部分に光学的に結合された一端を有する第1の光導波路と、前記第1部分より下流に位置する前記マイクロ流路の第2部分に光学的に結合された一端を有する第2の光導波路と、前記第1部分を介して前記第1の光導波路の前記一端に光学的に結合された一端を有する第3の光導波路と、前記第2部分を介して前記第2の光導波路の前記一端に光学的に結合された一端を有する第4の光導波路とを有する基板を備える。

30

## 【0016】

本発明のマイクロ流路デバイスでは、光を第1の光導波路に供給すると、当該光は第1の光導波路を通過して第1の光導波路の一端から出射され、マイクロ流路の第1部分に供給される。第1部分を通過した光は第3の光導波路の一端に入射され、第3の光導波路を通過する。また、光を第2の光導波路に供給すると、当該光は第2の光導波路を通過して第2の光導波路の一端から出射され、マイクロ流路の第2部分に供給される。第2部分を通過した光は第4の光導波路の一端に入射され、第4の光導波路を通過する。トレーサは、流体と共に、第1部分を通過した後第2部分を通過する。

40

## 【0017】

ここで、第3の光導波路から出射される光を検出すると、検出される光の光量は、トレーサが第1部分を通過することにより変化する。また、第4の光導波路から出射される光を検出すると、検出される光の光量は、トレーサが第2部分を通過することにより変化する。よって、検出される光の光量が変化する時刻の差と、第1部分と第2部分との間の距離とを用いて、流体の流速を算出することができる。

## 【0018】

50

本発明のマイクロ流路デバイスでは、マイクロ流路内に流速を計測するための構造物を設ける必要がない。したがって、本発明のマイクロ流路デバイスは、機械的強度に優れた構造を有する。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、機械的強度に優れた構造を有する流速計測素子及びマイクロ流路デバイスが提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一又は同等の要素には同一符号を用い、重複する説明を省略する。 10

【0021】

(第1実施形態)

図1は、第1実施形態に係るマイクロ流路デバイスを有する流速計測素子を備えた流速計測システムの概略を示す概念図である。図2は、第1実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。

【0022】

図1に示される流速計測システム1は、流体aが流れる主配管3と、主配管3に取り付けられた分岐5、5と、分岐5、5間を接続する配管7と、配管7に接続された流速計測素子10とを備える。配管7には微量の流体aが流れる。流速計測素子10を用いると、配管7を流れる流体aの流速を計測することができる。 20

【0023】

流体aとしては、例えば水溶液、有機溶媒、酸性溶液、アルカリ性溶液等の液体、酸性ガス、アルカリ性ガス等の気体、気液混合物、又は、粉末が混入した気体若しくは液体等が挙げられる。一実施例において、流体aはエタノールである。

【0024】

流速計測素子10は、流体a及び流体a中に含まれるトレーサ(又はマーカ)bが流れるマイクロ流路9を含む基板29を有するマイクロ流路デバイス33と、マイクロ流路デバイス33に光学的に結合された光源23と、マイクロ流路デバイス33に光学的に結合された光検出部26とを備える。流速計測素子10は、流体a中にトレーサbを供給するトレーサ供給源31を更に備えることが好ましい。配管7とマイクロ流路9とは、例えばエポキシ系の紫外線硬化型接着剤で両者を接着固定することによって接続される。ここで、配管7は端面が研磨された石英ガラス管であることが好ましく、マイクロ流路9の端面も研磨されていることが好ましい。 30

【0025】

配管7には、流速計測素子10より下流に配置されたバルブ37が接続されていることが好ましい。また、配管7には、バルブ37より下流に配置されトレーサbを除去するトレーサ除去器39が接続されることが好ましい。トレーサ除去器39を用いることにより、流体aを主配管3に還流させることができる。トレーサ除去器39としては、例えば、ろ過フィルタ又は磁石等が挙げられる。なお、バルブ37を閉めることにより、流体aを回収しないとしてもよい。この場合、配管7を流れる流体a及びトレーサbは廃棄される。 40

【0026】

基板29には、第1の光導波路15、第2の光導波路17、第3の光導波路19及び第4の光導波路21が設けられている。光導波路15の一端15aは、マイクロ流路9の第1部分11に光学的に結合されている。光導波路17の一端17aは、第1部分11より下流に位置するマイクロ流路9の第2部分13に光学的に結合されている。光導波路19の一端19aは、第1部分11を介して光導波路15の一端15aに光学的に結合されている。光導波路21の一端21aは、第2部分13を介して光導波路17の一端17aに光学的に結合されている。

## 【0027】

光導波路15の他端15b及び光導波路17の他端17bには、光源23が光学的に結合されている。本実施形態において、光導波路15の他端15bと光導波路17の他端17bとは光学的に結合されている。また、本実施形態では、光導波路15の他端15b及び光導波路17の他端17bと光源23との間に、基板29に設けられた光導波路35が配置されている。したがって、光導波路15、光導波路17及び光導波路35によって、例えばY分岐光導波路といった分岐光導波路が構成される。本実施形態では、光源23は、例えば光ファイバ41を介して光導波路35に光学的に結合される。光源23は、例えば波長 $1.55\mu\text{m}$ の半導体レーザ(LD)である。

## 【0028】

本実施形態において、光検出部26は、光導波路19の他端19bに光学的に結合された第1の光検出器25と、光導波路21の他端21bに光学的に結合された第2の光検出器27とを備える。光検出器25は、例えば光ファイバ43を介して光導波路19の他端19bに光学的に結合される。光検出器27は、例えば光ファイバ45を介して光導波路21の他端21bに光学的に結合される。光検出器25、27は、例えばフォトダイオード(PD)である。光検出器25、27には、光検出器25、27からの信号を受けるコンピュータ等の制御装置47が接続されることが好ましい。

## 【0029】

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス33を備えた流速計測素子10によれば、光源23から光導波路15の他端15bに出射された光L1は、光導波路15を通過して光導波路15の一端15aからマイクロ流路9の第1部分11に供給される。また、光源23から光導波路17の他端17bに出射された光L1は、光導波路17を通過して光導波路17の一端17aからマイクロ流路9の第2部分13に供給される。第1部分11に供給された光L1は、第1部分11を通過する。第1部分11を通過した光L2は、光導波路19の一端19aに入射する。光導波路19の他端19bから出射された光L2は光検出器25に到達する。第2部分13に供給された光L1は、第2部分13を通過する。第2部分13を通過した光L3は、光導波路21の一端21aに入射する。光導波路21の他端21bから出射された光L3は光検出器27に到達する。一方、トレーサbは、流体aと共に、第1部分11を通過した後第2部分13を通過する。

## 【0030】

光検出器25に到達する光L2の光量(強度)は、トレーサbが第1部分11を通過することにより変化する。また、光検出器27に到達する光L3の光量(強度)は、トレーサbが第2部分13を通過することにより変化する。

## 【0031】

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス33を備えた流速計測素子10では、光検出器25に到達する光L2の光量が変化する時刻 $t_1$ と光検出器27に到達する光L3の光量が変化する時刻 $t_2$ との差 $t(=t_2-t_1)$ と、第1部分11と第2部分13との間の距離 $d$ とを用いて、トレーサbの移動速度を算出することができる。トレーサbの移動速度とマイクロ流路9を流れる流体aの流速との関係、及び、マイクロ流路9を流れる流体aの流速と配管7を流れる流体aの流速との関係を予め導出しておくことにより、トレーサbの移動速度から配管7を流れる流体aの流速を算出することができる。さらに、配管7を流れる流体aの流速と主配管3を流れる流体aの流速との関係を予め導出しておくことにより、主配管3を流れる流体aの流速を算出することができる。

## 【0032】

第1部分11と光検出器25との間の光路長 $d_1$ と、第2部分13と光検出器27との間の光路長 $d_2$ とが略同じである場合には、トレーサbの移動速度は $d/t$ となる。したがって、流体aの流速を容易に算出することができる。

## 【0033】

なお、「略同じ」とは、例えば、 $d_1$ と $d_2$ との差が4mm以下の範囲内であることを意味する。

10

20

30

40

50

## 【0034】

また、本実施形態では、光検出部26が光検出器25及び光検出器27を備えるので、光導波路19の他端19bから出射される光L2と光導波路21の他端21bから出射される光L3とを別々に検出できる。したがって、第1部分11と第2部分13との間の距離dが短い場合であっても、光L2と光L3とが互いに干渉しないので、流体aの流速を高精度に算出することができる。

## 【0035】

また、本実施形態では、光導波路15の他端15bと光導波路17の他端17bとが光学的に結合しているので、光導波路15及び光導波路17に一つの光源23から光L1を供給できる。したがって、流速計測素子10の部品点数を削減することができる。

10

## 【0036】

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス33を備えた流速計測素子10では上述のように流体aの流速を計測できるので、マイクロ流路9内に流速を計測するための構造物を設ける必要がない。したがって、マイクロ流路デバイス33及び流速計測素子10は、機械的強度に優れた構造を有する。さらに、例えば流体aの純度が低いことにより流体aに粒子状の異物が混入していても、本実施形態に係るマイクロ流路デバイス33を備えた流速計測素子10は破壊されない。

## 【0037】

トレーサbは石英ガラスから構成される粒子であることが好ましい。トレーサbは、平均粒径が5~10 $\mu$ mの粒子であることが好ましい。トレーサbが石英ガラスから構成される粒子である場合、トレーサbの耐薬品性が向上するので、比較的幅広い種類の流体aの流速を計測することができる。また、トレーサbが第1部分11を通過する時、第1部分11に供給される光L1はトレーサbによって散乱される。このため、光導波路19の他端19bから出射され光検出器25に到達する光L2の光量は低下する。同様に、トレーサbが第2部分13を通過する時、第2部分13に供給される光L1はトレーサbによって散乱される。このため、光導波路21の他端21bから出射され光検出器27に到達する光L3の光量は低下する。

20

## 【0038】

また、トレーサbは色素が添加された石英ガラス球であってもよい。色素としては、例えば、Er<sup>3+</sup>、Nd<sup>3+</sup>等が挙げられる。Er<sup>3+</sup>は、波長0.5 $\mu$ m、0.65 $\mu$ m、1.55 $\mu$ mの光を吸収するので、波長0.5 $\mu$ m、0.65 $\mu$ m、1.55 $\mu$ mの光源23を使用する場合に好適に用いられる。Nd<sup>3+</sup>は、波長0.8 $\mu$ mの光源23を使用する場合に好適に用いられる。トレーサbに色素が添加されている場合には、トレーサbによって光L1が散乱及び吸収されるので、光検出器25、27に到達する光L2、L3の光量は更に低下する。よって、色素が添加されていない石英ガラス球に比べて高感度で計測できる。

30

## 【0039】

また、トレーサbは鉄粉等の金属粒子であってもよい。この場合、トレーサbによって光L1が散乱されるので、光検出器25、27に到達する光L2、L3の光量は低下する。トレーサbが例えば磁性材料からなる粒子である場合、トレーサ除去器39として磁石を用いることが好ましい。

40

## 【0040】

また、トレーサbは例えばポリスチレン等の樹脂から構成される粒子であってもよい。この場合、トレーサbによって光L1が散乱されるので、光検出器25、27に到達する光L2、L3の光量は低下する。トレーサbが例えばポリスチレン等の樹脂から構成される粒子である場合、粒径が揃ったトレーサbを準備することができる。

## 【0041】

また、トレーサbは蛍光体であってもよい。この場合、光L1がトレーサbに照射されると、トレーサbから蛍光が放出され、当該蛍光が光L2、L3として光導波路19の一端19a及び光導波路21の一端21aに入射される。このため、光検出器25、27に

50

到達する光  $L_2$  ,  $L_3$  の光量は増加する。

【0042】

基板 29 は石英ガラスから構成されることが好ましい。この場合、基板 29 の耐薬品性が向上するので、比較的幅広い種類の流体 a の流速を計測することができる。なお、基板 29 は、例えばソーダライムガラス等のガラスから構成されるときもよい。

【0043】

図 3 は、第 1 実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子のマイクロ流路及び光導波路を模式的に示す斜視図である。図 3 に示されるように、マイクロ流路 9 は、例えば断面が  $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$  の正方形となる空洞である。マイクロ流路 9 の径は、 $5 \mu\text{m}$  以上  $120 \mu\text{m}$  以下であることが好ましい。なお、「マイクロ流路の径」とは、マイクロ流路の断面積と同じ断面積を有する円の直径を意味する。流体 a は例えば層流となってマイクロ流路 9 を流れる。マイクロ流路 9 は、溝が形成された基板上にカバー板を張り合わせるにより好適に形成される。

10

【0044】

また、図 3 に示されるように、光導波路 15、17、19、21、35 は、例えばコアの断面が  $7.5 \mu\text{m} \times 7.5 \mu\text{m}$  の正方形となる形状を有する。光導波路 15、17、19、21、35 において、コアとクラッドとの比屈折率差は例えば 0.45% である。光導波路 15、17、19、21 の一端 15a、17a、19a、21a は、いずれもマイクロ流路 9 の深さ方向において略中間に配置されることが好ましい。この場合、高感度にトレーサ b を検知することができる。これは、流体 a の流れが層流であると、トレーサ b はマイクロ流路 9 の深さ方向において中間に位置する確率が高いからである。具体的には、例えば、光導波路 15、17、19、21 の端面の重心位置が、マイクロ流路 9 の下面からの距離及び上面からの距離がいずれも  $z_1$  となるように配置されることが好ましい。一実施例において、 $z_1$  は  $15 \mu\text{m}$  である。

20

【0045】

以下、図 4 を参照して、流速計測素子 10 を用いた流体 a の流速計測方法の具体例について詳細に説明するが、流体 a の流速計測方法はこれらに限定されない。図 4 (a) 及び図 4 (b) は、光源 23 が半導体レーザである場合におけるレーザ光の出力値 P、及び、光検出器 25、27 にそれぞれ到達する光  $L_2$ 、 $L_3$  の光量 I と、時刻 t との関係を示すグラフである。縦軸は出力値 P 及び光量 I を示す。横軸は時刻 t を示す。

30

【0046】

図 4 (a) に示される波形 S1 は、出力値 P の経時変化を示す。波形 S1 では、出力値 P が時刻 t にかかわらず一定値  $P_0$  である。これは、レーザ光を連続発振 (CW 発振) させているからである。

【0047】

波形 U1 は、光検出器 25 に到達する光  $L_2$  の光量 I の経時変化を示す。波形 U2 は、光検出器 27 に到達する光  $L_3$  の光量 I の経時変化を示す。トレーサ b を流体 a 中に供給しない時には、光検出器 25、27 にそれぞれ到達する光  $L_2$ 、 $L_3$  の光量 I は、いずれも一定値  $I_0$  である。

【0048】

また、波形 U1 に示されるように、トレーサ b がマイクロ流路 9 の第 1 部分 11 に到達する時刻  $t_3$  から所定時間  $t_1$  経過した後の時刻  $t_1$  において、光検出器 25 に到達する光  $L_2$  の光量 I は一定値  $I_0$  から低下する。この所定時間  $t_1$  は、光  $L_2$  が光路長  $d_1$  を通過するのに要する時間である。時刻  $t_1$  としては、例えば波形 U1 のピーク等を用いることができる。

40

【0049】

同様に、波形 U2 に示されるように、トレーサ b がマイクロ流路 9 の第 2 部分 13 に到達する時刻  $t_4$  から所定時間  $t_2$  経過した後の時刻  $t_2$  において、光検出器 27 に到達する光  $L_3$  の光量 I は一定値  $I_0$  から低下する。この所定時間  $t_2$  は、光  $L_3$  が光路長  $d_2$  を通過するのに要する時間である。時刻  $t_2$  としては、例えば波形 U2 のピーク等を

50

用いることができる。

【0050】

波形  $U_1$  ,  $U_2$  は、例えば別々の画像として制御装置 47 の記憶部に記録される。制御装置 47 のディスプレイ上では波形  $U_1$  ,  $U_2$  が例えば同時に表示される。制御装置 47 では、時刻  $t_1$  と時刻  $t_2$  と差  $t (= t_2 - t_1)$  と、第 1 部分 11 と第 2 部分 13 との間の距離  $d$  とを用いて、流体  $a$  の流速が算出される。流体  $a$  の流速を計測する前にキャリブレーションを実施すると、計測精度が向上する。

【0051】

時刻  $t_1$  ,  $t_2$  は、波形  $U_1$  ,  $U_2$  から、例えば相互相関法を用いて算出されることが好ましい。これにより、流体  $a$  中にノイズ源又は多数の粒子が存在することによって波形  $U_1$  ,  $U_2$  にノイズが混在している場合においても、時刻  $t_1$  ,  $t_2$  が算出される。その結果、流体  $a$  の流速は高精度に算出される。

10

【0052】

図 4 (b) に示される波形  $S_2$  は、出力値  $P$  の経時変化を示す。波形  $S_2$  は、パルス幅  $t_p$  の連続パルス波形である。波形  $S_2$  では、出力値  $P$  の最大値が  $P_1$ 、最小値が  $P_2$  である。これは、レーザ光をパルス発振させているからである。

【0053】

パルス幅  $t_p$  は、時刻  $t_1$  ,  $t_2$  がパルス幅  $t_p$  内に位置するように設定されることが好ましい。これにより、波形  $U_1$  ,  $U_2$  に常に混在してしまうノイズを除去することができるので、レーザ光を連続発振させる場合に比べて流体  $a$  の速度を高精度に計測することができる。

20

【0054】

(第 2 実施形態)

図 5 は、第 2 実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。図 5 に示される流速計測素子 10 a は、マイクロ流路 9、光導波路 15、光導波路 17、光導波路 19 及び光導波路 21 を含む基板 29 を有するマイクロ流路デバイス 33 a とを備える。流速計測素子 10 a は、トレーサ供給源 31 を更に備えることが好ましい。

【0055】

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス 33 a を備えた流速計測素子 10 a では、光源 23 及び光検出部 26 が、基板 29 に設けられている。このため、光導波路 35 と光源 23 とを光学的に結合する光ファイバ 41、光導波路 19 と光検出器 25 とを光学的に結合する光ファイバ 43、及び、光導波路 21 と光検出器 27 とを光学的に結合する光ファイバ 45 が不要になる。よって、光源 23 と光導波路 35 との光軸合わせ、光検出器 25 と光導波路 19 との光軸合わせ、及び、光検出器 27 と光導波路 21 との光軸合わせがいずれも容易になる。したがって、流速計測素子 10 a の機械的強度は更に向上するので壊れ難くなる。また、流速計測素子 10 a を小型化できる。

30

【0056】

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス 33 a を備えた流速計測素子 10 a を用いると、第 1 実施形態と同様に流体  $a$  の流速を計測できる。したがって、マイクロ流路デバイス 33 a 及び流速計測素子 10 a は、機械的強度に優れた構造を有する。

40

【0057】

(第 3 実施形態)

図 6 は、第 3 実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。図 6 に示される流速計測素子 10 b は、マイクロ流路 9、光導波路 14 (第 1 の光導波路)、光導波路 16 (第 2 の光導波路)、光導波路 19 及び光導波路 21 を含む基板 29 を有するマイクロ流路デバイス 33 b とを備える。流速計測素子 10 b は、トレーサ供給源 31 を更に備えることが好ましい。

【0058】

光導波路 14 の一端 14 a は、第 1 部分 11 に光学的に結合されている。光導波路 14

50

の他端 14 b は、光源素子 22 に光学的に結合されている。光導波路 16 の一端 16 a は、第 2 部分 13 に光学的に結合されている。光導波路 16 の他端 16 b は、光源素子 24 に光学的に結合されている。光源素子 22 及び光源素子 24 は光源 23 b を構成する。光源素子 22, 24 としては、光源 23 と同様のものが挙げられる。光導波路 14 及び光導波路 16 の作製は、光導波路 15 及び光導波路 17 の作製に比べて容易である。

**【0059】**

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス 33 b を備えた流速計測素子 10 b では、光源 23 b 及び光検出部 26 が、基板 29 に設けられている。よって、光源素子 22 と光導波路 14 の他端 14 b との光軸合わせ、光源素子 24 と光導波路 16 の他端 16 b との光軸合わせ、光検出器 25 と光導波路 19 との光軸合わせ、及び、光検出器 27 と光導波路 21 との光軸合わせがいずれも容易になる。

10

**【0060】**

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス 33 b を備えた流速計測素子 10 b を用いると、第 1 実施形態と同様に流体 a の流速を計測できる。したがって、マイクロ流路デバイス 33 b 及び流速計測素子 10 b は、機械的強度に優れた構造を有する。

**【0061】**

(第 4 実施形態)

図 7 は、第 4 実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。図 7 に示される流速計測素子 10 c は、マイクロ流路 9、光導波路 14、光導波路 16、光導波路 18 (第 3 の光導波路)、光導波路 20 (第 4 の光導波路) 及び光導波路 36 を含む基板 29 を有するマイクロ流路デバイス 33 c とを備える。流速計測素子 10 c は、トレーサ供給源 31 を更に備えることが好ましい。

20

**【0062】**

光導波路 18 の一端 18 a は、第 1 部分 11 を介して光導波路 14 の一端 14 a に光学的に結合されている。光導波路 20 の一端 20 a は、第 2 部分 13 を介して光導波路 16 の一端 16 a に光学的に結合されている。光導波路 18 の他端 18 b と光導波路 20 の他端 20 b とは光学的に結合されているので、光導波路 18 の他端 18 b 及び光導波路 20 の他端 20 b から出射された光は一つの光検出部 26 c に到達する。したがって、流速計測素子 10 c の部品点数を削減することができる。

**【0063】**

光導波路 18 の他端 18 b 及び光導波路 20 の他端 20 b は、光導波路 36 を介して光検出部 26 c に光学的に結合されている。したがって、光導波路 18、光導波路 20 及び光導波路 36 は分岐光導波路を構成している。光検出部 26 c としては、光検出器 25 又は光検出器 27 と同様のものが好適に用いられる。

30

**【0064】**

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス 33 c を備えた流速計測素子 10 c では、光源 23 b 及び光検出部 26 c が、基板 29 に設けられている。よって、光源素子 22 と光導波路 14 の他端 14 b との光軸合わせ、光源素子 24 と光導波路 16 の他端 16 b との光軸合わせ、及び、光検出部 26 c と光導波路 36 との光軸合わせがいずれも容易になる。

**【0065】**

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス 33 c を備えた流速計測素子 10 c を用いると、第 1 実施形態と同様に流体 a の流速を計測できる。したがって、マイクロ流路デバイス 33 c 及び流速計測素子 10 c は、機械的強度に優れた構造を有する。

40

**【0066】**

(第 5 実施形態)

図 8 は、第 5 実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。図 8 に示される流速計測素子 10 c は、マイクロ流路 9、光導波路 15、光導波路 17、光導波路 18、光導波路 20 及び光導波路 36 を含む基板 29 を有するマイクロ流路デバイス 33 d とを備える。流速計測素子 10 c は、トレーサ供給源 31 を更に備えることが好ましい。

50

## 【0067】

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス33dを備えた流速計測素子10dでは、光源23及び光検出部26cが、基板29に設けられている。よって、光源23と光導波路35との光軸合わせ、及び、光検出部26cと光導波路36との光軸合わせがいずれも容易になる。

## 【0068】

本実施形態に係るマイクロ流路デバイス33dを備えた流速計測素子10dを用いると、第1実施形態と同様に流体aの流速を計測できる。したがって、マイクロ流路デバイス33d及び流速計測素子10dは、機械的強度に優れた構造を有する。

## 【0069】

以上、本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明は上記各実施形態に限定されない。

## 【0070】

例えば、第2実施形態において、光源23及び光検出部26のうち少なくとも一方が基板29に設けられていないとしてもよい。また、第3実施形態において、光源23b及び光検出部26のうち少なくとも一方が基板29に設けられていないとしてもよい。また、第4実施形態において、光源23b及び光検出部26cのうち少なくとも一方が基板29に設けられていないとしてもよい。また、第5実施形態において、光源23及び光検出部26cのうち少なくとも一方が基板29に設けられていないとしてもよい。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0071】

【図1】第1実施形態に係るマイクロ流路デバイスを有する流速計測素子を備えた流速計測システムの概略を示す概念図である。

【図2】第1実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。

【図3】第1実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子のマイクロ流路及び光導波路を模式的に示す斜視図である。

【図4】図4(a)及び図4(b)は、光源が半導体レーザである場合におけるレーザ光の出力値P、及び、光検出器に到達する光の光量Iと、時刻tとの関係を模式的に示すグラフである。

【図5】第2実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。

【図6】第3実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。

【図7】第4実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。

【図8】第5実施形態に係るマイクロ流路デバイスを備えた流速計測素子を模式的に示す平面図である。

## 【符号の説明】

## 【0072】

9...マイクロ流路、10, 10a, 10b, 10c, 10d...流速計測素子、11...マイクロ流路の第1部分、13...マイクロ流路の第2部分、14, 15...第1の光導波路、14a, 15a...第1の光導波路の一端、14b, 15b...第1の光導波路の他端、16, 17...第2の光導波路、16a, 17a...第2の光導波路の一端、16b, 17b...第2の光導波路の他端、18, 19...第3の光導波路、18a, 19a...第3の光導波路の一端、18b, 19b...第3の光導波路の他端、20, 21...第4の光導波路、20a, 21a...第4の光導波路の一端、20b, 21b...第4の光導波路の他端、23, 23b...光源、25...第1の光検出器、26, 26c...光検出部、27...第2の光検出器、29...基板、31...トレーサ供給源、33, 33a, 33b, 33c, 33d...マイクロ流路デバイス、a...流体、b...トレーサ。

10

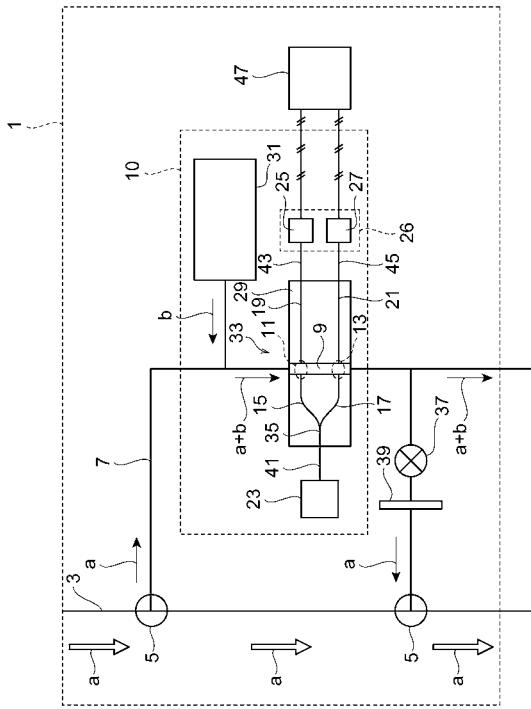
20

30

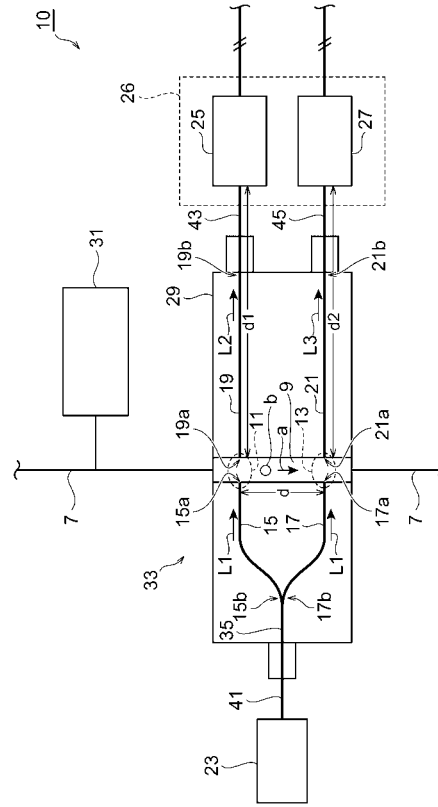
40

50

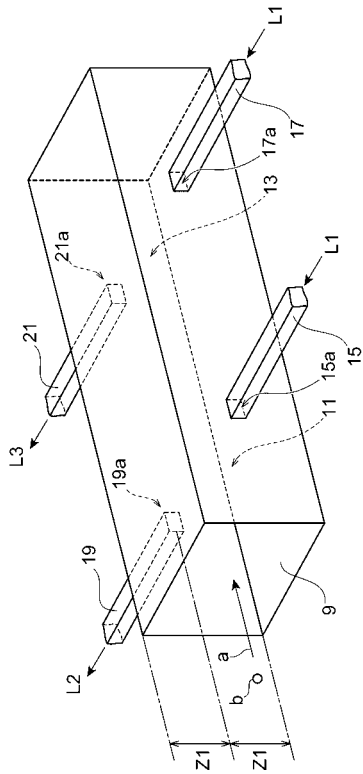
【 図 1 】



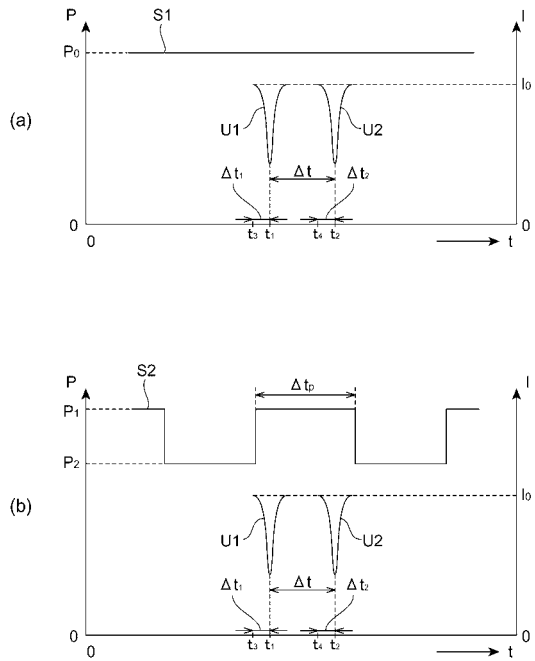
【 図 2 】



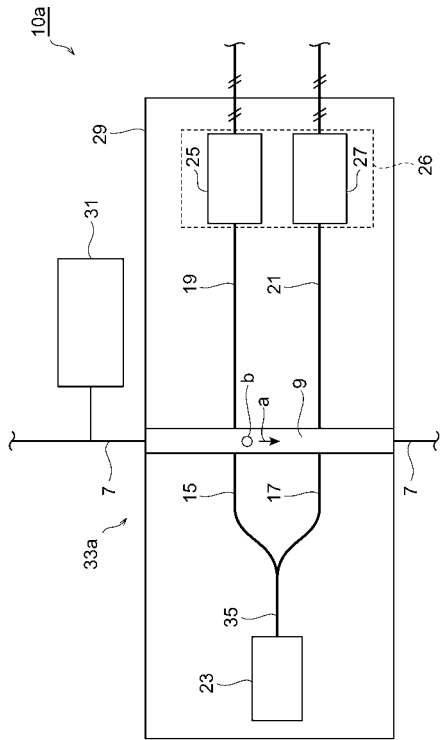
【 図 3 】



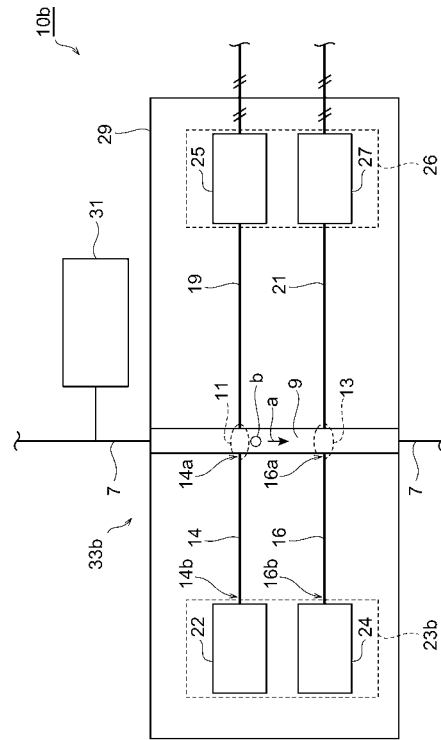
【 図 4 】



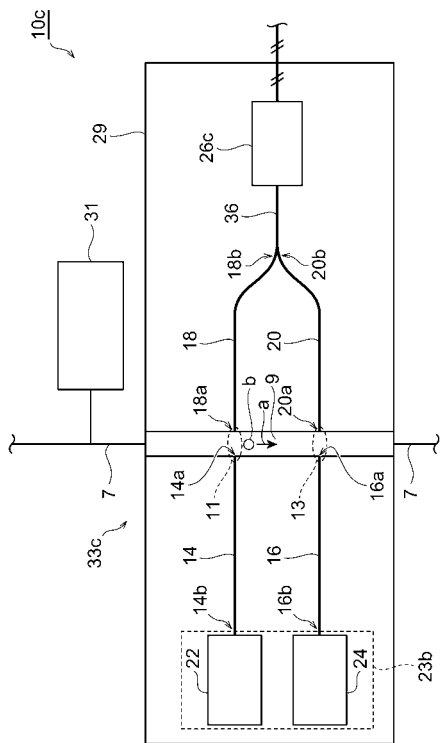
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

