

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5115927号  
(P5115927)

(45) 発行日 平成25年1月9日(2013.1.9)

(24) 登録日 平成24年10月26日(2012.10.26)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>GO 1 N</b>	<b>21/17</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 1 N</b>	<b>21/17</b>	<b>B</b>
<b>GO 2 B</b>	<b>6/02</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 2 B</b>	<b>6/10</b>	<b>D</b>
<b>GO 1 N</b>	<b>15/14</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 1 N</b>	<b>15/14</b>	<b>D</b>
<b>GO 1 B</b>	<b>11/08</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 1 B</b>	<b>11/08</b>	<b>Z</b>

請求項の数 5 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2008-58885 (P2008-58885)	(73) 特許権者	304023318
(22) 出願日	平成20年3月10日 (2008.3.10)		国立大学法人静岡大学
(65) 公開番号	特開2009-216476 (P2009-216476A)		静岡県静岡市駿河区大谷836
(43) 公開日	平成21年9月24日 (2009.9.24)	(72) 発明者	齋藤 隆之
審査請求日	平成23年3月7日 (2011.3.7)		静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立 大学法人静岡大学創造科学技術大学院内
		(72) 発明者	真田 俊之
			静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立 大学法人静岡大学工学部内
		(72) 発明者	松下 尚記
			静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立 大学法人静岡大学工学部内
		審査官	樋口 宗彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバープローブ気泡計測装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ファイバー軸に垂直な方向に対して少なくとも一部が傾斜している第1端面を有する光ファイバーからなり、前記第1端面が液体中に配置されている光ファイバープローブと、前記光ファイバーの第1端面とは反対側の第2端面から光を供給する光供給手段と、前記光供給手段により供給された光が前記第1端面で反射して前記第2端面に戻ってくる、反射光量を計測する反射光量計測手段と、

前記反射光量の計測結果に基づいて前記液体中の気泡を計測する信号処理手段と、を有する気泡計測装置であって、

前記信号処理手段は、前記第1端面が前記気泡に接触する前に発生する前記反射光量のプレシグナルに基づいて、前記第1端面と前記気泡との接触状態を判定する手段をさらに有する、

気泡計測装置。

【請求項2】

前記光ファイバープローブは、近接配置された複数の光ファイバーからなり、前記信号処理手段は、前記複数の光ファイバーからの反射光量の計測結果に基づき、前記第1端面と前記気泡との接触状態を判定し、前記液体中の気泡を計測する、請求項1記載の気泡計測装置。

【請求項3】

前記光ファイバープローブは、近接配置された2本の光ファイバーからなり、

10

20

前記 2 本の光ファイバーは、それぞれの第 1 端面の傾斜している方向が互いに反対方向になるように背中合わせに配置されており、

前記信号処理手段は、前記 2 本の光ファイバーからの反射光量の両方でプレシグナルが検出された場合に、前記液体中の気泡を計測する、

請求項 2 記載の気泡計測装置。

【請求項 4】

前記信号処理手段は、前記液体中の気泡の気泡弦長、気泡径、界面速度、気泡体積率のうち少なくとも 2 つを同時計測する、

請求項 1 乃至 3 いずれか記載の気泡計測装置。

【請求項 5】

ファイバー軸に垂直な方向に対して少なくとも一部が傾斜している第 1 端面を有する光ファイバーからなり、前記第 1 端面が液体中に配置されている光ファイバープローブを用い、

前記光ファイバーの第 1 端面とは反対側の第 2 端面から光を供給する光供給工程と、

前記光供給工程により供給された光が前記第 1 端面で反射して前記第 2 端面に戻ってくる、反射光量を計測する反射光量計測工程と、

前記第 1 端面が前記気泡に接触する前に発生する前記反射光量のプレシグナルに基づいて、前記第 1 端面と前記気泡との接触状態を判定する接触状態判定工程と、

前記接触状態判定工程の判定結果と、前記反射光量の計測結果とに基づいて前記液体中の気泡を計測する気泡計測工程と、を有する

気泡計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子炉、バイオリアクター、熱交換器、気液反応装置等の気体と液体が混在する流動現象を有する全ての産業機器に対して、その装置内における気泡速度、気泡弦長、気泡体積率等を同時かつ高精度に計測できる装置及び方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、光ファイバープローブを液体中で気液二相流の主流方向に向けて配置し、該光ファイバープローブ内の反射光量の変化を検出することで、気泡を計測する技術が知られている。しかしながら、従来の気泡計測技術においては、気泡界面速度及び気泡弦長の同時計測するためには複数本のプローブを所定間隔離して配置して使用しなければならなかった。しかし、そのような多点プローブでは幾何学的形状の制約により、計測可能な最小気泡径に限界があった。そこで、そのような課題を解決すべく、本発明者は特許文献 1 に開示されているような単一プローブによる気泡計測方法及び装置を開発した。この気泡計測技術は、ファイバー軸に垂直な方向に対して傾斜している端面を有する光ファイバーを気泡検出用プローブとして用い、測定対象物である気泡が該端面を通過する際の該端面で反射される光量の変化を計測し、その計測結果に基づいて該気泡の並進速度、界面速度、気泡弦長及び / 又は気泡体積率を同時に求めるものであるが、プローブと気泡との接触位置の判別ができず、高精度な気泡計測は困難であった。

【0003】

特許文献 1 のほか、従来技術として特許文献 2 がある。特許文献 2 も特許文献 1 と同様に、本発明者らによる従来技術である。この文献には先端面が傾斜したファイバーを用いて気泡の並進速度、界面速度、気泡弦長及び気泡体積率を測定する気泡検出用プローブが記載されている。

【特許文献 1】特開 2000 - 136962 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 226703 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 4 】

気泡はプローブに対して任意の場所から接近するので、必ずしも気泡中心がプローブの先端を通るとは限らない。しかしながら、特許文献1及び2のような従来の気泡計測技術では、気泡検出用の光ファイバプローブの先端と気泡との接触位置を把握することは困難であった。プローブが気泡の端部と接触した場合、気泡弦長、気泡径、界面速度、気泡体積率等を正確に求めることはできない。したがって、これらを正確に求めるためには、プローブ先端と気泡との接触状態を検出した上で、気泡中心がプローブ先端を通過した場合の反射光量の変化を計測する必要がある。

## 【 0 0 0 5 】

本発明は上記問題点に鑑み、光ファイバプローブを用いた気泡計測において、気泡弦長、気泡径、界面速度、気泡体積率等を正確に求めるために、プローブ先端と気泡との接触状態も併せて検出することができる、光ファイバプローブ気泡計測装置及び方法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】

## 【 0 0 0 6 】

上記目的を達成するため、本発明は以下の構成を有する。

ファイバー軸に垂直な方向に対して少なくとも一部が傾斜している第1端面を有する光ファイバーからなり、前記第1端面が液体中に配置されている光ファイバプローブと、前記光ファイバーの第1端面とは反対側の第2端面から光を供給する光供給手段と、前記光供給手段により供給された光が前記第1端面で反射して前記第2端面に戻ってくる、反射光量を計測する反射光量計測手段と、前記反射光量の計測結果に基づいて前記液体中の気泡を計測する信号処理手段と、を有する気泡計測装置であって、

前記信号処理手段は、前記第1端面が前記気泡に接触する前に発生する前記反射光量のプレシグナルに基づいて、前記第1端面と前記気泡との接触状態を判定する手段をさらに有する、

気泡計測装置。

ファイバー軸に垂直な方向に対して少なくとも一部が傾斜している第1端面を有する光ファイバーからなり、前記第1端面が液体中に配置されている光ファイバプローブを用い、

前記光ファイバーの第1端面とは反対側の第2端面から光を供給する光供給工程と、前記光供給工程により供給された光が前記第1端面で反射して前記第2端面に戻ってくる、反射光量を計測する反射光量計測工程と、

前記第1端面が前記気泡に接触する前に発生する前記反射光量のプレシグナルに基づいて、前記第1端面と前記気泡との接触状態を判定する接触状態判定工程と、

前記接触状態判定工程の判定結果と、前記反射光量の計測結果とに基づいて前記液体中の気泡を計測する気泡計測工程と、を有する

気泡計測方法。

## 【 0 0 0 7 】

また、好ましい実施形態として、以下のものが有り得る。

前記光ファイバプローブは、近接配置された複数の光ファイバーからなり、前記信号処理手段は、前記複数の光ファイバーからの反射光量の計測結果に基づき、前記第1端面と前記気泡との接触状態を判定し、前記液体中の気泡を計測する。

前記光ファイバプローブは、近接配置された2本の光ファイバーからなり、前記2本の光ファイバーは、それぞれの第1端面の傾斜している方向が互いに反対方向になるように背中合わせに配置されており、前記信号処理手段は、前記2本の光ファイバーからの反射光量の両方でプレシグナルが検出された場合に、前記液体中の気泡を計測する。

前記信号処理手段は、前記液体中の気泡の気泡弦長、気泡径、界面速度、気泡体積率のうち少なくとも2つを同時計測する。

## 【発明の効果】

10

20

30

40

50

## 【0008】

本発明は上記構成を採用したことにより、光ファイバプローブを用いた気泡計測において、気泡弦長、気泡径、界面速度、気泡体積率等を正確に求めるために、プローブ先端と気泡との接触状態も併せて検出することができる。光ファイバプローブの先端（第1端面）は液体中にあるため、プローブ先端面と液体との屈折率の差が小さく、プローブ先端から液体中へ光が漏れ出す。気泡が接近すると、この漏れ出した光が気泡表面で反射して、プローブ先端と気泡との接触前の「プレシグナル」として観測される。このプレシグナルは、プローブ先端と気泡との接触状態（接触位置、接触角度）によって異なるので、このプレシグナルを観測することにより、プローブ先端と気泡との接触状態がわかる。プローブ先端と気泡との接触状態がわかれば、気泡中心がプローブ先端を通るように接触したかが判定可能であり、このときの反射光量の計測結果を用いれば、気泡弦長、気泡径、界面速度、気泡体積率等を正確に計測することができる。

10

さらに、光ファイバプローブとして近接配置された複数の光ファイバーを用いれば、各光ファイバーの先端面の傾斜方向は一方向のみでも、複数の光ファイバーの傾斜方向を異ならせることができ、複数の方向からの「プレシグナル」を検出することができる。これにより、より簡単に正確にプローブ先端と気泡との接触状態を検出することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0009】

以下、本発明の好ましい実施形態について説明する。

本実施形態で用いられる気泡検出用光ファイバプローブの気泡検出部（第1端面）は、図1に示すようにファイバー軸に垂直な方向に対して傾斜した端面を有する光ファイバーを背合わせに組み合わせて形成されている。また、該先端部の検出部間の距離は測定対象物である気泡径により変化させることが望ましい。同光ファイバーの後端、即ち光入出力部における端面（第2端面）は、ファイバー軸に対して垂直に形成されることが望ましい。気泡検出用光ファイバプローブの気泡検出部に光を供給する光源としてはレーザ光源を用いることが出来る。また、該検出部から反射される光量変化を計測する光量計測手段としては、反射光量を計測しうるものであれば適宜使用することができ、例えば、光電子増倍管、フォトリジスタ等が使用される。

20

## 【0010】

図1は、ファイバー軸に対して傾斜している端面を有する光ファイバーを、背合わせに組み合わせた二点光ファイバプローブであり、該光ファイバーのそれぞれの先端部を検出部とする気泡検出用光ファイバーの構造を示すものである。図1において上側がその上面図、下側がその側面図である。気泡検出用光ファイバー1の先端（第1端面）は、第1気泡検出用光ファイバー先端（気泡検出部）2と、200 $\mu$ m程度離れた位置の第2気泡検出用光ファイバー先端（気泡検出部）3とを組み合わせている。一方、気泡検出用光ファイバー1の後端（第2端面）、すなわち光入出力端面6は、二本の気泡検出用光ファイバーの両方とも光入出力端面6とファイバー軸の成す角度が90度となるように形成されている。本実施形態の気泡検出用光ファイバー1の径は230 $\mu$ m程度である。

30

## 【0011】

図6で、本実施形態の光学系を説明する。第1気泡検出用光ファイバーでは、光源8から発せられた光はビームスプリッター9を経て、レンズ10で集光され、気泡検出用光ファイバー1の後端6からその中に入射し、気泡検出部2に達する。気泡検出部2に達した光は端面で反射し、前記光ファイバー内を戻り、レンズ10を経て、ビームスプリッター9でその進行方向を変え、散乱光除去用の偏光子11を経て、光電子増倍管12に入り、その光量が計測される。第2気泡検出用光ファイバーでは気泡検出部3で気泡検出する以外は同様で、それぞれの出力信号を測定する。

40

## 【0012】

計測した光量の信号処理系の一例を概略ブロック図で図7に示す。光電子増倍管12、出力アンプ及び高圧直流印加回路13、アンプ電源14、直流電圧15、光電子増倍管シールドケース16で構成される光量計測装置17と、A/D変換器18、パーソナルコンピ

50

ュータ 19 で構成される演算装置 20 とで信号処理系は構成される。

【 0 0 1 3 】

本実施形態の光ファイバプローブは、気液二相流の主流方向に対して平行に設置して使用される。光ファイバプローブ内に入射された光は光ファイバプローブの気泡検出部に達し、該気泡検出部において反射し、本光ファイバ内を戻っていく。該気泡検出部が液体中にある場合、ファイバ内の光は液体中に放射されている。したがって、該気泡検出部において反射される光はほとんど無く、光電子増倍管で検出される光量はほとんど無い。光ファイバプローブ上流から進んできた気泡が第 1 気泡検出用光ファイバプローブの気泡検出部 2 である先端に接触すると、気体と液体の屈折率の差により該気泡検出部で反射される光量が増加し、第 1 気泡検出用光ファイバプローブ内を戻る光量が増加し、光電子増倍管で検出される光量が増加する。さらに、該気泡が第 2 気泡検出光ファイバプローブの気泡検出部 3 に接触すると、該気泡検出部で反射される光量が増加し、同光ファイバ内の反射光量が増加する。この後、該気泡界面が第 1 気泡検出用光ファイバ及び第 2 気泡検出用光ファイバを通過し離脱することで液体に接触し、反射光量は減少し、同光ファイバ内を戻る光量が減少し、光電子増倍管で検出される光量は減少する。また、光電子増倍管で計測される反射光量変化パターンは、第 1 気泡検出用光ファイバと第 2 気泡検出用光ファイバの距離と測定対象物である気泡径に依存する。第 1 気泡検出用光ファイバの気泡検出部 2 の先端と第 2 気泡検出用光ファイバの気泡検出部 3 の先端との距離を  $L_p$ 、測定対象物である気泡径を  $D_B$  とすると、 $L_p > D_B$  の場合の光量変化パターンを図 2 に、 $L_p < D_B$  の場合のそれを図 3 に示す。図から、気泡接触に伴う反射光量の変化に先立って、気泡表面からの反射光であるプレシグナルが観測されることがわかる。

【 0 0 1 4 】

プレシグナルの発生原理を図 4 に示す。光ファイバの気泡検出部が液体中にある場合、反射光は液体中に放射されており、光ファイバプローブ上流から気泡が進んでくる際に、気泡検出部と気泡の接触位置の関係により、液体中に放出した光が気泡検出部に戻ってくる場合が存在する。この場合、気泡検出部と気泡とが接触する前にプレシグナルが発生する。従来の単一光ファイバプローブでは図 4 に示すように気泡の中心に接触しない場合でもプレシグナルが見られるが、本実施形態による二点光ファイバプローブでは、両方の出力信号にプレシグナルが見られる条件は、気泡の中心に接触した場合のみであり、接触位置の判別ができ、従来に比べより高精度な気泡計測が可能となる。該二点光ファイバと気泡接触位置の関係を図 5 に示す。

【 0 0 1 5 】

上記反射光量変化及び第 1 気泡検出光ファイバと第 2 気泡検出光ファイバの接触開始時間差より気泡界面速度を算出することが出来る。したがって、第 1 気泡検出光ファイバと第 2 気泡検出光ファイバの距離の差を  $L_p$ 、第 1 気泡検出光ファイバ接触開始時間を  $t_1$ 、第 2 気泡検出光ファイバ接触開始時間を  $t_2$  とすると、気泡界面速度  $U_B$  は、

【 数 1 】

$$U_B = \frac{L_p}{(t_2 - t_1)}$$

となる。さらに、第 1 気泡検出光ファイバ接触終了時間を  $t_3$  とすると、 $(t_3 - t_1)$  間の気泡移動距離は気泡弦長  $L_B$  に等しい。よって、

10

20

30

40

【数 2】

$$L_B = U_B(t_3 - t_1)$$

となる。即ち、本光ファイバークローブで気泡の中心に接触した気泡のみの気泡界面速度、気泡並進速度及び気泡弦長を計測することができる。また、気泡体積率は光ファイバークローブ検出端面が気泡に覆われていた時間と全計測時間の比により求めることができる。上記の演算は、パーソナルコンピュータ等公知の演算手段を用いて演算させることができる。

10

【0016】

以上、本発明の実施形態の一例を説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇において各種の変更が可能であることは言うまでもない。例えば、上記実施形態ではプローブとして2本の光ファイバーを用いる例を示したが、1本の光ファイバーでも気泡検出部（第1端面）の形状を工夫すればプレシグナルにより気泡と気泡検出部との接触状態を検知することは可能である。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】軸に垂直な方向に対して傾斜している端面を有する光ファイバーを背合わせに組み合わせた気泡検出用光ファイバーの構造を示す図である。

20

【図2】 $L_p > D_B$ の場合、気泡検出用光ファイバーで検出した反射光量変化の一例である。

【図3】 $L_p < D_B$ の場合、気泡検出用光ファイバーで検出した反射光量変化の一例である。

【図4】プレシグナルの発生条件の一例である。

【図5】二点光ファイバークローブによる気泡の接触位置と出力信号の関係の一例である。

【図6】気泡計測用光ファイバーに光源からの光を導入し、同光ファイバーで検出した光量を計測する実施例の概略図である。

【図7】気泡検出用光ファイバーで検出した光量の信号処理系の概略ブロック図である。

【符号の説明】

30

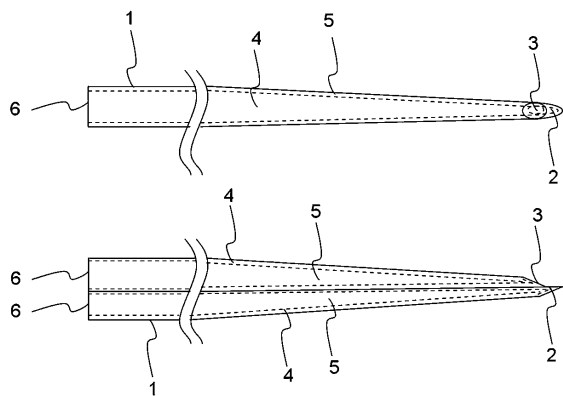
【0018】

- 1：気泡検出用光ファイバークローブ
- 2：第1気泡検出用光ファイバーの気泡検出部（第1端面）
- 3：第2気泡検出用光ファイバーの気泡検出部（第1端面）
- 4：気泡検出用光ファイバーにおけるクラッド部
- 5：気泡検出用光ファイバーにおけるコア部
- 6：光入出力端面（第2端面）
- 8：光源
- 9：ビームスプリッター
- 10：レンズ
- 11：偏光子
- 12：光電子増倍管
- 13：出力アンプ及び高圧直流印加回路
- 14：アンプ電源
- 15：直流電圧
- 16：光電子増倍管シールドケース
- 17：光量計測装置
- 18：A/D変換器
- 19：パーソナルコンピュータ
- 20：演算装置

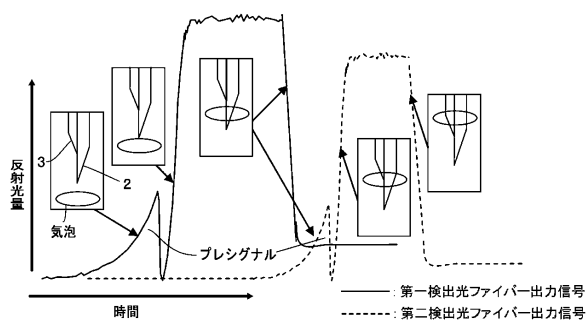
40

50

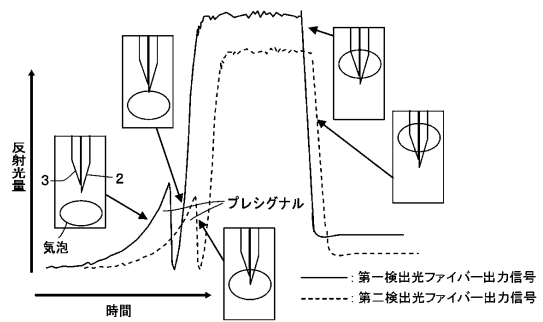
【図1】



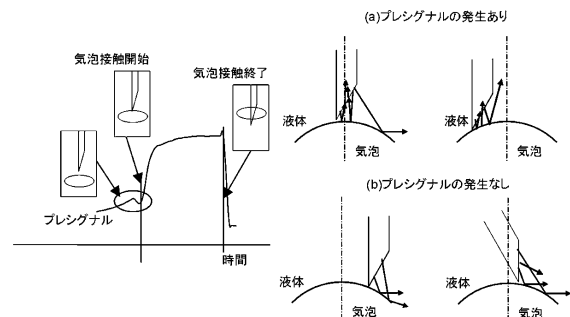
【図2】



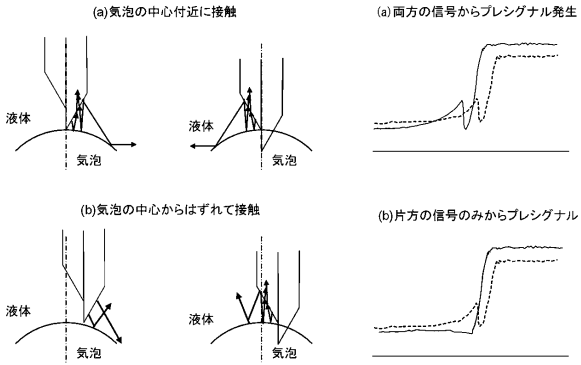
【図3】



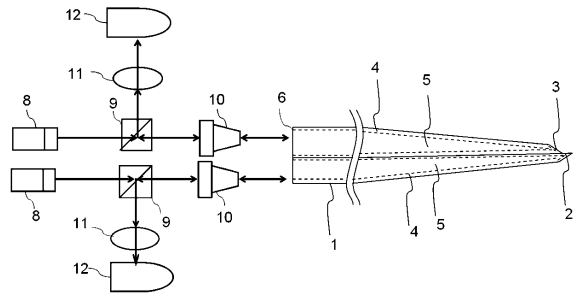
【図4】



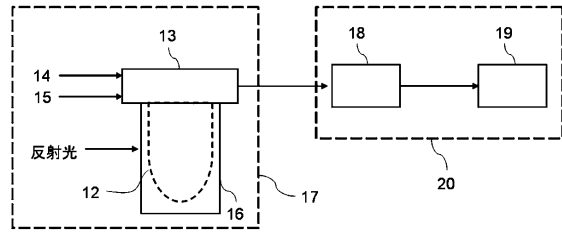
【図5】



【図6】



【図7】





## フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-136962(JP,A)  
特開2006-226703(JP,A)  
特開平5-18981(JP,A)  
特開2009-14564(JP,A)  
小澤佑輔, 真田俊之(静岡大 工), 大石真吾, 青島紳一郎, 齋藤隆之(浜松ホトニクス 中研), 光ファイバプローブによる微小気・微小液滴計測, 応用物理学会学術講演会講演予稿集, 2007年 9月 4日, Vol.68th, No.3, Page.1018  
齋藤隆之, 小澤祐輔(静岡大 大学院), 真田俊之(静岡大 工), 青島紳一郎(浜松ホトニクス), フェムト秒レーザー加工した光ファイバプローブによる微小気泡・液滴の径と速度の同時計測, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, 2007年, Vol.85th, Page.ROMBUNNO.WS1-2  
浦川智, 水野泰宏(静大 大学院), 齋藤隆之(静岡大 工), 単一光ファイバプローブによる微小気泡計測, 日本機械学会年次大会講演論文集, 2005年 9月18日, Vol.2005, No.Vol.2, Page.79-80  
水野泰宏, 齋藤隆之(静岡大 工), 光ファイバプローブによる気泡計測, 応用物理学会学術講演会講演予稿集, 2005年 9月 7日, Vol.66th, No.3, Page.872  
水野泰宏, 浦川智(静大 院), 青島紳一郎(浜松ホトニクス), 齋藤隆之(静岡大 工), 4点光ファイバプローブの構造フォーミュレーション, 日本混相流学会年会講演会講演論文集, 2005年 8月, Vol.2005, Page.259-260

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N21/00-21/01, 21/17-21/61  
G01B11/00-11/30  
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)