

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2008年5月22日 (22.05.2008)

PCT

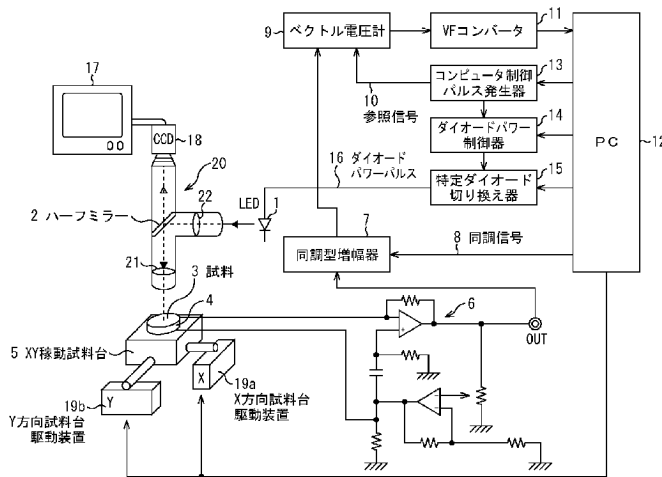
(10) 国際公開番号
WO 2008/059812 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 29/00 (2006.01) G01N 21/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/071961
- (22) 国際出願日: 2007年11月13日 (13.11.2007)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2006-308317
2006年11月14日 (14.11.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人 鹿児島大学 (KAGOSHIMA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目2番24号 Kagoshima (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 立野 洋人
- (74) 代理人: 國分孝悦 (KOKUBUN, Takayoshi); 〒1700013 東京都豊島区東池袋1丁目17番8号 NBF池袋シティビル5階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

[続葉有]

(54) Title: OPTO-ACOUSTIC MEASUREMENT SYSTEM

(54) 発明の名称: 光音響測定システム



- | | |
|---|--|
| 2 HALF MIRROR | 10 REFERENCE SIGNAL |
| 3 SPECIMEN | 13 COMPUTER-CONTROLLED PULSE GENERATOR |
| 5 XY-RUNNING SPECIMEN CARRIER | 14 DIODE POWER CONTROLLER |
| 19a X-DIRECTION SPECIMEN CARRIER DRIVING DEVICE | 16 DIODE POWER PULSE |
| 19b Y-DIRECTION SPECIMEN CARRIER DRIVING DEVICE | 15 SPECIFIC DIODE SWITCH |
| 9 VECTOR VOLTMETER | 7 SYNCHRONOUS TYPE AMPLIFIER |
| 11 VF-CONVERTER | 8 SYNCHRONIZING SIGNAL |

(57) Abstract: A composite resonance frequency (f_r) is determined on the basis of the amplitude of an acoustic signal which is generated from a PZT oscillator (4) by irradiating the surface (or upper face) of an object specimen (3) fixed (or adhered) to the surface (or upper face) of the PZT oscillator (4), with an intermittent light. The light emitting state of a diode array (1) is so controlled that the intermittent light of the composite resonance frequency (f_r) determined may be emitted from the diode array (1). The composite resonance frequency (f_r) is used to determine sound wave properties such as the sound velocity (ν), the Young's modulus (E) and the periodic damping factor (τ) of the specimen (3).

[続葉有]

WO 2008/059812 A1



KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

(57) 要約: P Z T 振動子 (4) の表面 (上面) に固定 (接着) された測定対象の試料 (3) の表面 (上面) に、断続光を照射することによって P Z T 振動子 (4) から発生した音響信号の振幅に基づいて、複合共鳴周波数 f_1 を求め、求めた複合共鳴周波数 f_1 の断続光がダイオードアレイ (1) から断続光が照射されるようにダイオードアレイ (1) の発光状態を制御するようにした。そして、求めた複合共鳴周波数 f_1 を用いて、試料 (3) の音速 v 、ヤング率 E 、及び振動減衰率 τ 等の音波物性を求めるようにした。

明 細 書

光音響測定システム

技術分野

[0001] 本発明は、光音響測定システムに関し、特に、光音響効果を利用して、測定対象の試料の状態を観察可能にするために用いて好適なものである。

背景技術

[0002] 一般に、試料表面に断続する励起光(以下、断続光と称する)が照射されると、試料表面に温度変化が発生し、音波が発生する。このような現象を光音響効果といい、この光音響効果を利用して試料の画像を得るようにした光音響顕微鏡が提案されている。

特許文献1では、マイクロフォンにより光音響波を検出し、検出した光音響波に基づいて、試料の画像(光音響像)をテレビモニタに表示する光音響顕微鏡が開示されている。

[0003] しかしながら、従来の技術では、音波物性のうち、音響減衰係数のみを捉えているので、試料の詳細な情報を得ることが困難であるという問題点があった。

[0004] 特許文献1:特開平4-213053号公報

発明の開示

[0005] 本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、光音響効果を利用して、従来よりも試料の詳細な情報が得られるようにすることを目的とする。

[0006] 本発明の光音響測定システムは、試料に取り付けられ、前記試料の振動を検出する振動検出素子と、前記振動検出素子を取り付けられた試料に対して、断続する励起光を照射する光音響顕微鏡と、前記光音響顕微鏡に対し、前記断続する励起光を与える発光手段と、前記振動検出素子で検出された前記試料の振動を示す音響信号に基づいて、前記試料と前記振動検出素子との全体の複合共鳴周波数を求める周波数導出手段と、前記周波数導出手段により求められた複合共鳴周波数で、前記断続する励起光が前記振動検出素子に取り付けられた試料に対して照射されるように、前記発光手段を制御する制御手段とを有することを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、本発明の実施形態を示し、光音響測定システムの構成の一例を示す図である。

[図2]図2は、本発明の実施形態を示し、PZT振動子に固定された試料の様子の一例を示す図である。

[図3]図3は、本発明の実施形態を示し、図2に示した試料における周波数偏移のトポグラフの一例を示した図である。

[図4]図4は、本発明の実施形態を示し、図2に示した試料3における振動減衰率のトポグラフの一例を示した図である。

発明を実施するための最良の形態

[0008] 以下に、本発明の一実施形態を説明する。

図1は、光音響測定システムの構成の一例を示す図である。

図1において、光音響測定システムは、発光ダイオードアレイ(発光ダイオードアレイを構成する複数の発光ダイオード)1と、光音響共鳴顕微鏡20と、CCDカメラ18と、モニタ17と、PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)振動子4と、XY稼動試料台5と、試料台駆動装置19と、振動検出回路6と、同調型増幅器7と、ベクトル電圧計9と、VFコンバータ11と、コンピュータ制御パルス発生器13と、ダイオードパワー制御器14と、特定ダイオード切り替え器15と、PC(パーソナルコンピュータ)12とを有している。

[0009] XY稼動試料台5の上に、振動検出素子の一例であるPZT振動子4が取り付けられている。このPZT振動子4の表面に試料3が取り付けられ、固定されている。図2は、PZT振動子4に固定された試料3の様子の一例を示す図である。図2に示すように、本実施形態では、略正三角形のアルミニウムプレート(アルミ粘着テープ)を試料3として用いた場合を例示する。尚、試料3の厚さは、0.13mmである。

[0010] 試料台駆動装置19は、X方向試料台駆動装置19aと、Y方向試料台駆動装置19bとを有している。X方向試料台駆動装置19aは、XY稼動試料台5をX軸方向(図1に向かって横方向)に動かすためのものである。Y方向試料台駆動装置19bは、XY稼動試料台5をY軸方向(図1の奥行き方向)に動かすためのものである。これらX方向試料台駆動装置19a及びY方向試料台駆動装置19bは、例えば、パルスモータを

有し、PC12から送信された制御信号を受信し、受信した制御信号に基づいてパルスモータを動作させることにより、XY稼動試料台5を駆動する。

[0011] 光音響共鳴顕微鏡20は、ハーフミラー2を有しており、発光ダイオードアレイ1から、例えば50[μ m]程度のビーム径を有する断続光が発光されると、その断続光を、ハーフミラー2を介して試料3に照射する。そうすると、試料3の表面に励起された光の信号が、試料3の内部を通過してPZT振動子4の表面をたたく。これにより、PZT振動子4やその周囲の気体に周期的な圧力変化が生じ、音波が発生する。

[0012] また、断続光が試料3に照射されると、試料3から反射光が発生する。この反射光は、ハーフミラー2を介してCCDカメラ18に取り込まれる。CCDカメラ18は、取り込んだ反射光に基づいて、試料3の画像データを生成し、生成した画像データをモニタ17に表示する。モニタ17は、例えば、LCD(Liquid Crystal Display)である。尚、光音響共鳴顕微鏡20の内部には、ハーフミラー2の他に、断続光を試料3に照射するためのレンズ21や、断続光をハーフミラー2に導くためのレンズ22等も設けられている。

[0013] PZT振動子4は、圧電素子である。従って、PZT振動子4に固定された試料3の表面に励起された光の信号が、試料3の内部を通過してPZT振動子4の表面をたたくと、PZT振動子4は振動を起こし、その振動に応じた電気信号(すなわち音響信号)を発生(検出)する。

振動検出回路6は、PZT振動子4で発生した音響信号を増幅するための回路である。具体的に振動検出回路6は、正帰還回路を備えた電流増幅回路である。振動検出回路6が、正帰還回路を備えることにより、PZT振動子4の共鳴特性値Qを上げることができる。

[0014] 同調型増幅器7は、振動検出回路6から出力された音響信号を、PC12から出力される同調信号に基づいて増幅する。具体的に、同調型増幅器7は、複合共鳴周波数 f_t を含む周波数帯域を増幅する増幅回路を備えている。

ここで、複合共鳴周波数 f_t について説明する。

厚さがL[m]の振動検出素子(例えばPZT振動子4)が、 f_R [Hz]の基本共鳴周波数を持つとする。この振動検出素子に厚さが ΔL [m]の試料(例えば試料3)を貼り付けた場合(取り付けた場合)、振動検出素子と試料との全体の共鳴周波数は、振動検

出素子の基本共鳴周波数 f_R より若干周波数の低い周波数であって、厚さ $L + \Delta L$ [m]の長さを一波長とする複合共鳴周波数 f_t となる。このように複合共鳴周波数 f_t は、振動検出素子と試料との全体の共鳴周波数である。後述するように、本実施形態では、この複合共鳴周波数 f_t で断続光がダイオードアレイ1から照射されるように、PC12が各部を制御する。

[0015] コンピュータ制御パルス発生器(シンセサイザ)13は、PC12から送信された制御信号に基づいて、複合共鳴周波数 f_t と同じ周波数を有する参照信号10を発生する。この制御信号は、後述するようにしてPC12により決定された複合共鳴周波数 f_t を示す信号である。

ベクトル電圧計9は、複合共鳴周波数 f_t と同じ周波数を有する参照信号10を用いて、同調型増幅器7から出力された音響信号の電圧レベルと位相とを測定する。具体的にベクトル電圧計9は、sin成分用の位相検波回路と、cos成分用の位相検波回路とを有し、これらの位相検波回路により、複合共鳴周波数 f_t と同じ周波数を有する参照信号10を用いて自己相関検波を行う。これにより、同調型増幅器7から出力された音響信号のsin成分と、cos成分とを分離することができる。ベクトル電圧計9は、これら音響信号のsin成分と、cos成分とをVFコンバータ11に送信する。このように本実施形態では、複合共鳴周波数 f_t の信号を参照信号として、測定された音響信号を相関検波することにより、測定される音響信号の感度と信号対雑音比(SN比)とを上げることができる。

[0016] VFコンバータ11は、ベクトル電圧計9から送信された音響信号のsin成分と、cos成分とをデジタル化する。デジタル化された音響信号のsin成分と、cos成分は、PC12に取り込まれる。

[0017] PC12は、プログラムやデータを記憶するROM及びハードディスクと、そのプログラムを実行するCPUと、CPUがプログラムを実行する際のワークエリアやデータの一時的な保存エリアとして機能するRAM等を備えている。また、PC12は、キーボードやマウス等のユーザインターフェースと、CPUで実行された処理結果に基づく画像等を表示するディスプレイも備えている。

[0018] PC12は、前述した同調型増幅器7への同調信号8や、コンピュータ制御パルス発

生器13への制御信号の他に、光強度指示信号及びダイオード選択指示信号を生成する。

具体的にPC12は、発光ダイオードアレイ1の各ダイオードアレイから発光される光の波長毎に、発光強度を予め記憶している。そして、PC12は、デジタル化された音響信号のsin成分と、cos成分とに基づいて、発光ダイオードアレイ1から発光される光の波長(複合共鳴周波数 f_t)に応じた適切な強度を示す光強度指示信号を生成して、ダイオードパワー制御器14に送信する。

[0019] また、PC12は、デジタル化された音響信号のsin成分と、cos成分とに基づいて、ダイオードアレイ1に含まれる複数のダイオードのうち、複合共鳴周波数 f_t の断続光を発光させるために使用するダイオードを選択するためのダイオード選択指示信号を生成して、特定ダイオード切り替え器15に送信する。

[0020] ダイオードパワー制御器14は、PC12から出力された光強度指示信号と、コンピュータ制御パルス発生器13から送信された信号であって、複合共鳴周波数 f_t と同じ周波数を有する参照信号10とに基づいて、ダイオードアレイ1から発光される光の強度を決定し、決定した光の強度を示す光強度信号を特定ダイオード切り替え器15に送信する。

[0021] 特定ダイオード切り替え器15は、ダイオードパワー制御器14から送信された光強度信号と、PC12から送信されたダイオード選択指示信号とに基づいて、ダイオードアレイ1に含まれるダイオードから、複合共鳴周波数 f_t で断続光を発光させるためのパルス信号(ダイオードパワーパルス)をダイオードに出力する。これにより、発光ダイオードアレイ1から、複合共鳴周波数 f_t [Hz]で断続光が発光される。

ここで、複合共鳴周波数 f_t [Hz]の決定方法の一例について説明する。

まず、試料3が貼り付けられたPZT振動子4は、RLC直列共振回路と等価であるから、定常状態の解として以下の(1)式～(3)式のように表すことができる。

[0022] [数1]

$$I_s(t) = A_{ab} \sin \omega t + B_{el} \cos \omega t \quad \dots (1)$$

$$A_{ab} = \frac{V}{L} \frac{R\omega}{[(\omega_0^2 - \omega^2) - R^2\omega^2]} \quad \dots (2)$$

$$B_{el} = \frac{V}{L} \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{[(\omega_0^2 - \omega^2) - R^2\omega^2]} \quad \dots (3)$$

[0023] ここで、 $I_s(t)$ は定常電流[A]、 ω は角周波数[rad/s]、 ω_0 は共鳴角周波数[rad/s]である。Rは、試料3が貼り付けられたPZT振動子4と等価なRLC直列共振回路の抵抗[Ω]、Lは、試料3が貼り付けられたPZT振動子4と等価なRLC直列共振回路のリアクタンス[H]である。

(2)式に示す定数 A_{ab} は、吸収的振幅であり、(3)式に示す定数 B_{el} は、弾性的振幅である。尚、試料3が貼り付けられたPZT振動子4における減衰強度の値は、(1)式の右辺の第1項の $A_{ab} \sin \omega t$ に依存する。

そして、(3)式に示す定数 B_{el} は、複合共鳴周波数 f_t で0(ゼロ)になる。そこで、本実施形態では、PC12は、(3)式に示す定数 B_{el} (前記cos成分)が0(ゼロ)になる周波数を、複合共鳴周波数周波数 f_t [Hz]として求める。そして、PC12は、求めた複合共鳴周波数 f_t に基づいて、コンピュータ制御パルス発生器13に送信する制御信号と、ダイオードパワー制御器14に送信する光強度指示信号と、特定ダイオード切り替え器15に送信するダイオード選択指示信号とを生成する。以上のように、本実施形態では、(3)式に示す定数 B_{el} が0(ゼロ)になる複合共鳴周波数周波数 f_t [Hz]で断続光が発光されるようにしている。

[0024] 次に、PC12が求める音波物性について説明する。本実施形態の光学顕微鏡装置に設けられたPC12では、音波物性として、振動減衰係数 α と、音速 v と、ヤング率Eと、振動減衰率 τ と、試料3中の特定物質の濃度 I_0 と、試料3の表面から特定物質までの深さDとを求める。

[0025] (振動減衰率 τ)

試料3が貼り付けられたPZT振動子4に対して一定の力F[N]が与えられたときに、PZT振動子4に生じる電圧V[V]は、以下の(4)式で与えられる。

$$V=kF \cdots (4)$$

[0026] ここで、kは、機械電気音響変換定数である。尚、この機械電気音響変換定数は、試料3及びPZT振動子4の全体の機械電気音響変換定数(試料3の機械電気音響変換定数と、PZT振動子4の機械電気音響変換定数とを合成したもの)である。

また、試料3が貼り付けられたPZT振動子4と等価なRLC直列共振回路の抵抗をR[Ω]、そのRLC直列共振回路における共振電流をI[A]とすると、PZT振動子4に生じる電圧V[V]は、以下の(5)式で与えられる。

$$V=RI \cdots (5)$$

(4)式及び(5)式より、以下の(6)式が成り立つ。

$$R=kF/I \cdots (6)$$

このように、試料3が貼り付けられたPZT振動子4に対して与えられる力Fは、一定で測定されるため、試料3が貼り付けられたPZT振動子4と等価なRLC直列共振回路の抵抗Rは、そのRLC直列共振回路における共振電流Iの逆数に比例する。

そして、(6)式より、振動減衰率 τ は、以下の(7)式で表される。

[0027] [数2]

$$\tau = \frac{R}{L} = \frac{1}{L} \cdot \frac{KF}{I} \cdots (7)$$

[0028] ここで、Lは、試料3が貼り付けられたPZT振動子4と等価なRLC直列共振回路のリアクタンス[H]である。

[0029] 本実施形態では、試料3が貼り付けられたPZT振動子4と等価なRLC直列共振回路のリアクタンスLと、試料3が貼り付けられたPZT振動子4に対して与えられる力Fと、PZT振動子4の機械電気音響変換定数kとを一定とする。PC12は、リアクタンスLと、力Fと、機械電気音響変換定数kとを、PC12が備えるユーザインターフェースのユーザによる操作に基づいて取得して、ハードディスク等に予め記憶しておく。

[0030] そして、PC12は、音響信号のsin成分と、cos成分とに基づき、cos成分が0(ゼロ)となるときのsin成分の振幅(共振電流I)を求め、求めた振幅(共振電流I)と、予め記憶しておいたリアクタンスL、力F、及び機械電気音響変換定数kとを(7)式に代入して

、振動減衰率 τ (試料3及びPZT振動子4の全体の振動減衰率)を求める。

尚、振動減衰率 τ は、試料3及びPZT振動子4の全体の振動減衰率(試料3の振動減衰率と、PZT振動子4の振動減衰率とを合成したもの)であるが、これらのうち、PZT振動子4の振動減衰率は、一定と見なすことができ、試料3の振動減衰率よりも十分小さい。

[0031] また、本実施形態では、ダイオードアレイ1から、試料3の内部へ侵入する深さが浅い短波長 λ_v の波長を有する光(以下、短波長光と称する)を試料3に照射した場合の試料3における振動減衰率 τ_v を求める。ここで、短波長 λ_v は、例えば、試料3内に含まれる特定物質に到達しないような波長を言う。尚、振動減衰率 τ_s は、例えば、短波長光を試料3に照射した場合にPZT振動子4から得られる音響信号の振幅を測定し、測定した音響信号の振幅を(11)式のIに代入することにより求めることができる。

[0032] (振動減衰係数 α)

PC12は、前述したように(7)式を用いて求めた振動減衰率 τ に基づいて、PZT振動子4に貼り付けられた試料3における振動減衰係数 α を求める。尚、振動減衰係数 α は、音響信号の振幅(共振電流I)の逆数に比例する。

[0033] (音速 v 、ヤング率E)

複合共鳴周波数 f_t で断続光を試料3に照射したときに、試料3が貼り付けられたPZT振動子4を共鳴させるためには、以下の(8)式の条件を満たす必要がある。

$$T_t = T_R + \Delta T \quad \dots (8)$$

ここで、 T_t は、試料3とPZT振動子4とを、音速が伝搬する時間[s]であり、 T_R は、PZT振動子4を音速が伝搬する時間[s]であり、 ΔT は、試料3を音速が伝搬する時間[s]である。このように、 T_t は、試料3の厚さ ΔL と、振動検出素子(例えばPZT振動子4)の厚さ L との加算値(= $L + \Delta L$)を一波長とする振動モードの周期となる。

ここで、試料3中の音速を v とすると、以下の(9)式が成立する。よって、音速 v [m/s]は、以下の(10)式で表される。また、試料3のヤング率 E [Pa]と音速 v との関係は、以下の(11)式で表される。

[0034] [数3]

$$\frac{1}{f_t} = \frac{1}{f_R} + \frac{\Delta L}{\nu} \quad \dots (9)$$

$$\nu = \Delta L \left(\frac{f_R f_t}{f_t - f_R} \right) = \Delta L \frac{f_R f_t}{\Delta f} \doteq \frac{\Delta L f_R^2}{\Delta f} \quad \dots (10)$$

$$\nu = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \dots (11)$$

[0035] ここで、 ΔL は、試料3の厚さ[m]であり、 f_R は、PZT振動子4の共鳴周波数[Hz]であり、 f_t は、複合共鳴周波数[Hz]であり、 $\Delta f (= f_t - f_R)$ は、周波数偏移[Hz]であり、 ρ は、試料3の密度[kg/m³]である。

PC12は、試料3の厚さ ΔL と、PZT振動子4の共鳴周波数 f_R と、試料3の密度 ρ とを、PC12が備えるユーザインターフェースのユーザによる操作に基づいて取得して、ハードディスク等に予め記憶しておく。

PC12は、前述したようにして決定した複合共鳴周波数 f_t と、予め記憶しておいたPZT振動子4の共鳴周波数 f_R とから、周波数偏移 Δf を求める。そして、PC12は、求めた周波数偏移 Δf と、予め記憶しておいた試料3の厚さ ΔL 及びPZT振動子4の共鳴周波数 f_R とを、(10)式に代入して、PZT振動子4に貼り付けられた試料3における音速 ν を求める。その後、PC12は、求めた音速 ν と、予め記憶しておいた試料3の密度 ρ とを、(11)式に代入して、試料3のヤング率 E を求める。

[0036] 尚、本実施形態では、複合共鳴周波数 f_t で断続光を試料3に照射した場合にPZT振動子4に貼り付けられた試料3に生じる音速 ν の他に、ダイオードアレイ1から短波長光を試料3に照射した場合にPZT振動子4に貼り付けられた試料3に生じる音速 ν_v と、試料3中の特定物質の量子力学的吸収波長 λ_s の波長を有する吸収光を試料3に照射した場合にPZT振動子4に貼り付けられた試料3に生じる音速 ν_s も求めるようにしている。

[0037] 尚、試料3の密度 ρ とヤング率 E とが一定ではなく、場所の関数で表される場合には、速度 ν から試料3の密度 ρ とヤング率 E を知ることが可能である。

[0038] (試料3の表面から特定物質までの深さD)

PC12は、前述したようにして求めたダイオードアレイ1から短波長光を試料3に照射した場合にPZT振動子4に貼り付けられた試料3に生じる複合共鳴周波数 f_{tv} と f_R より、 $\Delta f_V (=f_{tv} - f_R)$ を定義する。また、試料3中の特定物質の量子力学的吸収波長 λ_s の波長を有する吸収光を試料3に照射した場合にPZT振動子4に貼り付けられた試料3に生じる複合共鳴周波数 f_{ts} と f_R より、 $\Delta f_s (=f_{ts} - f_R)$ を定義する。予め記憶された試料3の厚さ ΔL とを、以下の(12)式に代入することにより、試料3の表面から特定物質までの深さD[m]を求める。

$$D = \Delta L \{1 - (\Delta f_s / \Delta f_V)\} \dots (12)$$

[0039] (試料3中の特定物質の濃度 I_0)

試料3の表面から深さD[m]の位置にある特定物質の濃度 I_0 は、以下の(13)式で表される。

[0040] [数4]

$$I_0 = I_s e^{+\tau_s(\Delta L - D)} \dots (13)$$

[0041] ここで、 τ_s は、試料3中の特定物質の量子力学的吸収波長 λ_s の波長を有する吸収光を試料3に照射した場合の、PZT振動子4に貼り付けられた試料3における振動減衰率であり、 I_s は、吸収光を試料3に照射することにより得られる音響信号の強度である。

PC12は、吸収光を試料3に照射することにより得られる音響信号の強度 I_s を求める。そして、PC12は、求めた音響信号の強度 I_s と、前述したようにして求めた振動減衰率 τ_s とを(13)式に代入することによって、試料3の表面から深さD[m]の位置にある特定物質の濃度 I_0 を求める、

[0042] (トポグラフの作成)

PC12は、以上のような音波物性を求めるに際し、X-Y平面上の複数箇所です前述した測定を行うことにより、例えば、音速 v 、ヤング率E、振動減衰率 τ 、試料3中の特定物質の濃度 I_0 、試料3の表面から特定物質までの深さD、及び周波数遷移 Δf のトポグラフ(3次元画像データ)を生成してディスプレイに表示する。また、PC12は、こ

これらのトポグラフのデータを、例えばハードディスクに記憶する。

- [0043] 具体的にトポグラフを生成するために、PC12は、超音響共鳴顕微鏡20と正対する試料3の位置が、予めハードディスク等に設定された位置(複数の所定位置)になるように、試料台駆動装置19(X方向試料台駆動装置19a及びY方向試料台駆動装置19b)を順次駆動する。そして、PC12は、複数の位置で前述した測定を行い、それら複数の位置において、音速 v 、ヤング率 E 、振動減衰率 τ 、試料3中の特定物質の濃度 I_0 、試料3の表面から特定物質までの深さ D 、及び周波数遷移 Δf を求め、求めた結果に基づいて、トポグラフ(3次元画像データ)を生成する。そして、PC12に設けられたディスプレイは、生成されたトポグラフを表示する。
- [0044] 尚、PC12は、周波数遷移 Δf のトポグラフの中から、音速 v 、ヤング率 E を求めるのに適した周波数偏移 Δf を、PC12が備えるユーザインターフェースのユーザによる操作に基づいて取得し、取得した周波数偏移 Δf を用いて、試料3の音速 v とヤング率 E とを求めるようにすることができる。
- [0045] 図3は、図2に示した試料3における周波数偏移 Δf のトポグラフの一例を示した図である。また、図4は、図2に示した試料3における振動減衰率 τ のトポグラフの一例を示した図である。図3及び図4では、2[mm]あたり40点求め、 $\pm 50[\mu m]$ の位置分解能が得られている。
- [0046] アルミニウムプレート(アルミ粘着テープ)をはさみで切断して略正三角形としたものを試料3として用いた。このことから、図3及び図4に示すトポグラフ300、400では、試料3の一辺(向かって右側の辺)が上方にめくれ上がっている様子が示されている。試料3の中央部では、周波数偏移 Δf が低く、試料3がPZT振動子4によく接着されている様子が見える。すなわち、試料3がPZT振動子4によく接着されている試料3の中央部では、音響信号が試料3を伝搬する時間が短くなるため、周波数偏移 Δf が低くなる。
- [0047] 本実施形態では、PC12は、周波数偏移 Δf のトポグラフ300において、試料3の中央部における比較的变化がなだらかで且つ低い値の周波数偏移 Δf を、ユーザによるユーザインターフェースの操作に基づいて取得して、試料3の音速 v とヤング率 E とを求める。

[0048] 以上のように本実施形態では、PZT振動子4の表面(上面)に固定(接着)された測定対象の試料3の表面(上面)に、断続光を照射することによってPZT振動子4から発生した音響信号の振幅に基づいて、複合共鳴周波数 f_t を求め、求めた複合共鳴周波数 f_t の断続光がダイオードアレイ1から断続光が照射されるようにダイオードアレイ1の発光状態を制御するようにした。そして、求めた複合共鳴周波数 f_t を用いて、試料3の音速 v 、ヤング率 E 等の音波物性を求めるようにした。従って、振動減衰率だけでなく、様々な音波物性を得ることができ、光音響効果を利用して、従来よりも試料3の詳細な情報を得ることができる。よって、例えば生体検査等を高い精度で行うようにすることが可能になる。

[0049] また、振動減衰率 α 、振動減衰率 τ 、及び試料3の表面から特定物質までの深さ D も求めるようにしたので、試料3のより詳細な情報を得ることができる。

更に、音速 v 、ヤング率 E 、振動減衰率 τ 、試料3中の特定物質の濃度 I_0 、試料3の表面から特定物質までの深さ D 、及び周波数遷移 Δf のトポグラフ(3次元画像データ)を生成してディスプレイに表示するようにしたので、試料3の状態をユーザに視覚的に容易に認識させることができる。従って、例えば、生体検査の試料等において異様繁殖した癌細胞とその周りの通常細胞とを、トポグラフ(例えば、ヤング率 E や(密度を考慮した)音速 v のトポグラフ)によって視覚的に容易に判別することが可能になる。

[0050] 更に、トポグラフ300に基づいて、音速 v 及びヤング率 E を求めるのに使う周波数偏移 Δf を決定するようにしたので、音速 v 及びヤング率 E をより正確に決定することができる。

[0051] 尚、本実施形態では、VFコンバータ11を用いて、PC12で処理できる形に音響信号を加工するようにしたが、VFコンバータ11の代わりにADコンバータを用いて、PC12で処理できる形に音響信号を加工するようにしてもよい。

また、本実施形態では、周波数偏移 Δf のトポグラフ300を参照したユーザによる操作に基づいて取得した周波数偏移 Δf を用いて、試料3の音速 v とヤング率 E とを求めるようにしたが、必ずしもこのようにする必要はない。すなわち、周波数偏移 Δf のトポグラフ300から、PC12自身が、試料3の音速 v とヤング率 E とを求めるための周波

数偏移 Δf を決定し、決定した周波数偏移 Δf を用いて、試料3の音速 v とヤング率 E とを求めるようにしてもよい。周波数偏移 Δf の決定に際しては、例えば、周波数偏移 Δf のトポグラフ300における周波数偏移 Δf の最低値を用いてもよいし、周波数偏移 Δf のトポグラフ300における周波数偏移 Δf の平均値を用いてもよいし、周波数偏移 Δf のトポグラフ300における周波数偏移 Δf の変化が閾値以下の領域における最低値又は平均値を用いてもよい。

- [0052] また、本実施形態では、発光ダイオードを用いて断続光を発光するようにしたが、必ずしも発光ダイオードを用いる必要はない。例えば、レーザダイオードを用いるようにしてもよい。また、発光ダイオードやレーザダイオード等の光源は、複数であっても1つであってもよい。また、ビーム径が50 [μm] の場合を例示したが、ビーム径はこれに限定されず、例えば1 [μm] 以下に設定できる。ビーム径を小さくすれば、位置の分解能を向上させることができる。
- [0053] また、本実施形態では、X方向試料台駆動装置19a及びY方向試料台駆動装置19bを駆動させて、X軸方向及びY軸方向の2方向にXY稼動試料台5を駆動させるようにしたが、X軸方向及びY軸方向の一方向のみXY稼動試料台5を駆動させるようにしてもよい。
- [0054] また、本実施形態では、振動検出素子としてPZT振動子4を用いた場合を例に挙げて説明したが、振動検出素子は、PZT振動子(圧電素子)に限定されず、試料3の振動を検出する素子であればどのような素子であってもよい。例えば、磁歪共鳴振動子、PDF合成共鳴振動子、静電誘導合成共鳴振動子、電磁誘導型合成共鳴振動子、又は光検出合成共鳴振動子等を、振動検出素子として用いることができる。
- [0055] 以上説明した本発明の実施形態は、コンピュータがプログラムを実行することによって実現することができる。また、プログラムをコンピュータに供給するための手段、例えばかかるプログラムを記録したCD-ROM等のコンピュータ読み取り可能な記録媒体、又はかかるプログラムを伝送する伝送媒体も本発明の実施の形態として適用することができる。また、上記プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体などのプログラムプロダクトも本発明の実施の形態として適用することができる。上記のプログラム、コンピュータ読み取り可能な記録媒体、伝送媒体及びプログラム

プロダクトは、本発明の範疇に含まれる。

[0056] また、前述した実施形態は、何れも本発明を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されてはならないものである。すなわち、本発明はその技術思想、またはその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

産業上の利用可能性

[0057] 本発明によれば、試料に取り付けられ、その試料の振動を検出する振動検出素子と、その振動検出素子に取り付けられた試料との全体の複合共鳴周波数を、前記振動検出素子で検出された前記試料の振動を示す音響信号に基づいて求めるようにしたので、複合共鳴周波数を用いて、従来よりも多くの音波物性を求めることができる。

請求の範囲

- [1] 試料に取り付けられ、前記試料の振動を検出する振動検出素子と、
前記振動検出素子に取り付けられた試料に対して、断続する励起光を照射する光音響顕微鏡と、
前記光音響顕微鏡に対し、前記断続する励起光を与える発光手段と、
前記振動検出素子で検出された前記試料の振動を示す音響信号に基づいて、前記試料と前記振動検出素子との全体の複合共鳴周波数を求める周波数導出手段と、
前記周波数導出手段により求められた複合共鳴周波数で、前記断続する励起光が前記振動検出素子に取り付けられた試料に対して照射されるように、前記発光手段を制御する制御手段とを有することを特徴とする光音響測定システム。
- [2] 前記周波数導出手段により求められた複合共鳴周波数を用いて、前記試料における音速、及び前記試料のヤング率の少なくとも何れか一方を求める音波物性導出手段を有することを特徴とする請求の範囲1に記載の光音響測定システム。
- [3] 前記複合共鳴周波数の周波数を有する信号を参照信号として、前記振動検出素子で検出された前記試料の振動を示す音響信号を相関検波する相関検波手段を有し、
前記周波数導出手段は、前記相関検波手段により相関検波された音響信号に基づいて、前記試料と前記振動検出素子との全体の複合共鳴周波数を求めることを特徴とする請求の範囲2に記載の光音響測定システム。
- [4] 前記試料に含まれる物質の量子力学的吸収波長を有する前記断続する励起光が、前記振動検出素子に取り付けられた試料に照射された場合の前記試料における音速を求める第1の音速導出手段と、
前記試料に含まれる前記物質に到達しない波長を有する前記断続する励起光が前記振動検出素子に取り付けられた試料に照射された場合の前記試料における音速を求める第2の音速導出手段と、
前記第1の音速導出手段と、前記第2の音速導出手段とによって求められた音速と、前記試料の厚さとに基づいて、前記試料の表面から前記物質までの深さを求める

第2の音波物性導出手段とを有することを特徴とする請求の範囲3に記載の光音響測定システム。

- [5] 前記試料に含まれる物質の量子力学的吸収波長に基づく周波数で、前記断続する励起光が前記振動検出素子に取り付けられた試料に対して照射されるように、前記発光手段を制御する第2の制御手段と、

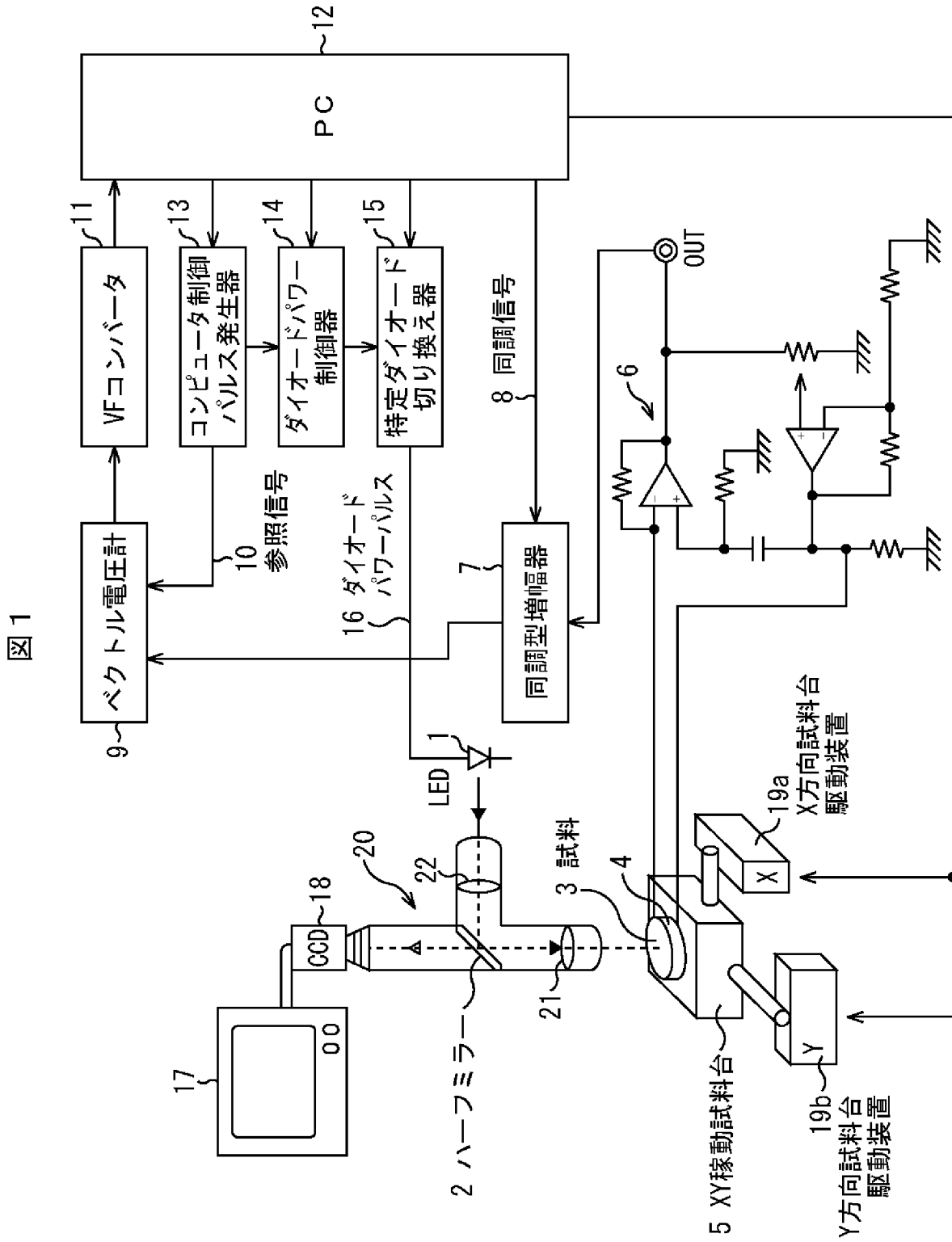
前記第2の制御手段により制御された発光手段から、前記断続する励起光が前記振動検出素子に取り付けられた試料に対して照射されることによって前記振動検出素子で検出された前記試料の振動を示す音響信号を用いて、前記試料における振動減衰率を求める第3の音波物性導出手段とを有することを特徴とする請求の範囲4に記載の光音響測定システム。

- [6] 前記第2の制御手段により制御された発光手段から、前記断続する励起光が前記振動検出素子に取り付けられた試料に対して照射されることによって前記振動検出素子で検出された前記試料の振動を示す音響信号と、その音響信号を用いて前記第3の音波物性導出手段により求められた振動減衰率とを用いて、前記試料に含まれる物質の濃度を求める第4の音波物性導出手段とを有することを特徴とする請求の範囲5に記載の光音響測定システム。

- [7] 前記試料と、前記光音響顕微鏡との相対的な位置を変更する位置変更手段を有し、
前記音波物性導出手段は、前記位置変更手段により変更されたそれぞれの位置で、前記音波物性を求めることを特徴とする請求の範囲6に記載の光音響測定システム。

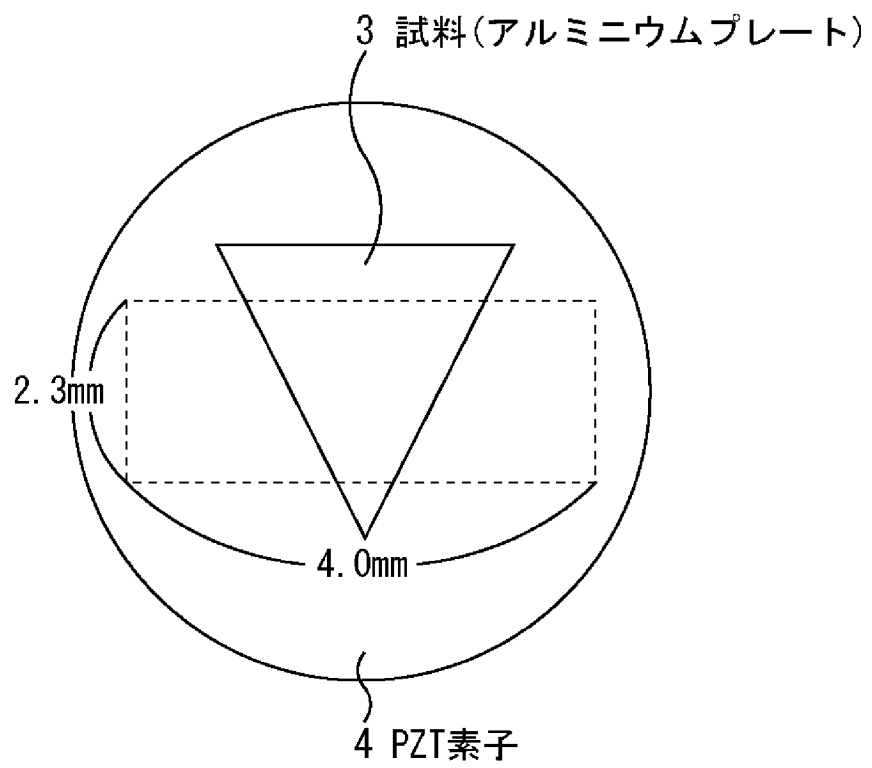
- [8] 前記位置変更手段により変更されたそれぞれの位置で求められた音波物性に基づく3次元画像を表示装置に表示する表示手段を有することを特徴とする請求の範囲7に記載の光音響測定システム。

図1



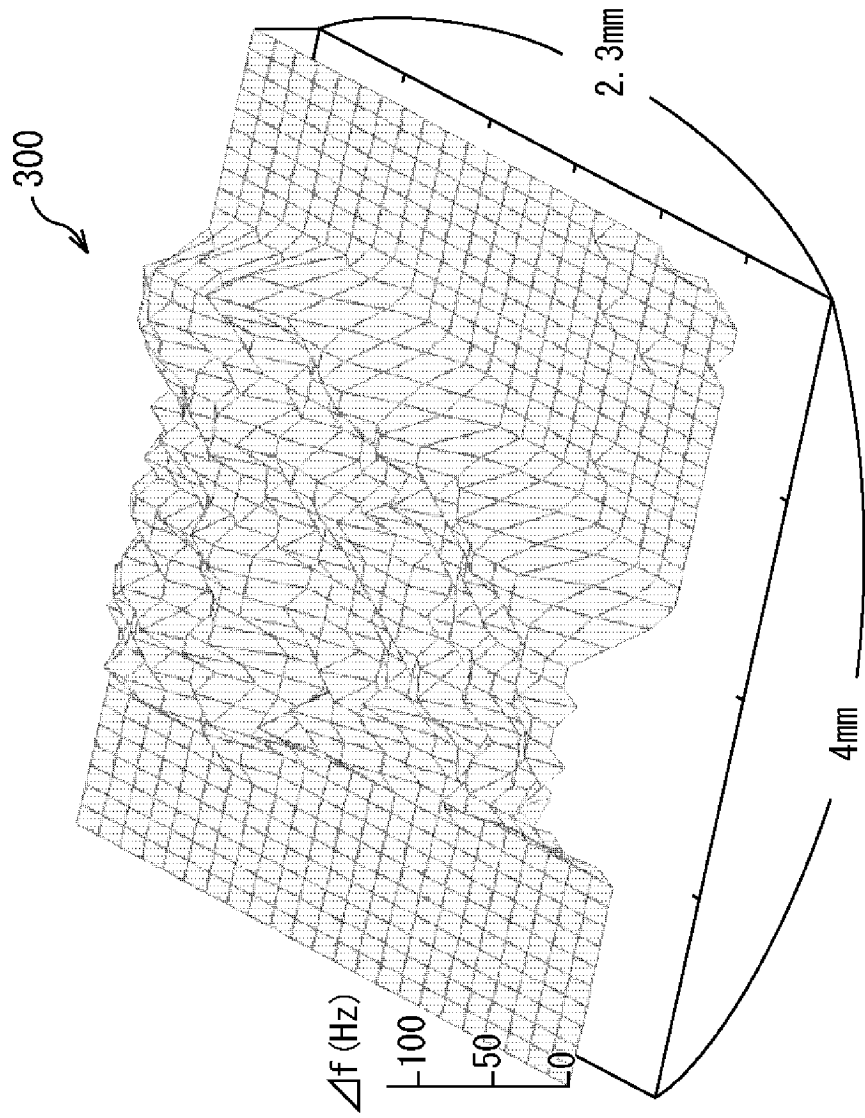
[図2]

図 2



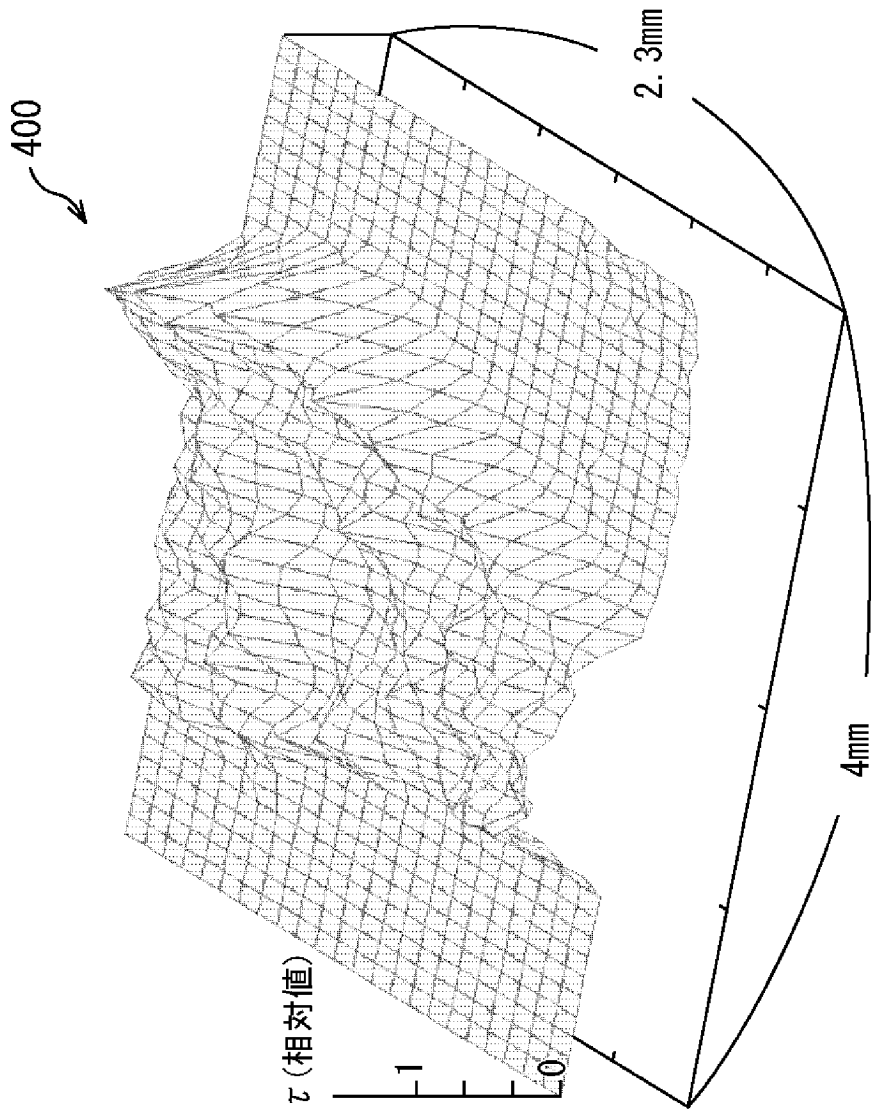
[図3]

図 3



[图4]

图 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2007/071961

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N29/00(2006.01) i, G01N21/00(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N29/00-29/52, G01N21/00-21/61, A61B5/06-5/22

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2008	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2008

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus (JDream2)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 1-203966 A (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd.), 16 August, 1989 (16.08.89), Full text; Figs. 1 to 3 (Family: none)	1 2, 3
Y	JP 2-80951 A (Director-General, Ship Research Institute, Ministry of Transport), 22 March, 1990 (22.03.90), Page 1, right column, line 18 to page 2, lower left column, line 6 (Family: none)	2, 3
A	JP 2004-249025 A (Hiroto TATENO), 09 September, 2004 (09.09.04), Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 15 January, 2008 (15.01.08)	Date of mailing of the international search report 22 January, 2008 (22.01.08)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/071961

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Written by Hiroto TATENO, et al., "Seitai Hikarionkyo Hishinshu Ketsueki Seibun Sokutei-ho no Kenkyu", Symposium on Ultrasonic Electronics Ronbunshu, 16 November, 2005 (16.11.05), Vol.26, pages 161 to 162	1-8
A	JP 4-213053 A (Yokogawa Electric Corp.), 14 August, 1992 (14.08.92), Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-8
A	JP 10-160711 A (Kao Corp.), 19 June, 1998 (19.06.98), Par. No. [0014] (Family: none)	4,6
A	Written by Akiyuki MINAMIDE, et al., "Zairyo Hyoka no Tameno Hikarionkyo Kenbikyo System no Kaihatsu", Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, 30 June, 1998 (30.06.98), Vol.34, No.6, pages 491 to 497	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N29/00(2006.01)i, G01N21/00(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G 0 1 N 2 9 / 0 0 - 2 9 / 5 2 G 0 1 N 2 1 / 0 0 - 2 1 / 6 1 A 6 1 B 5 / 0 6 - 5 / 2 2			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2008年 日本国実用新案登録公報 1996-2008年 日本国登録実用新案公報 1994-2008年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus (JDream2)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
X Y	J P 1 - 2 0 3 9 6 6 A (日立建機株式会社) 1989.08.16, 全文, 第1-3図 (ファミリーなし)	1 2, 3	
Y	J P 2 - 8 0 9 5 1 A (運輸省船舶技術研究所長) 1990.03.22, 第1頁右欄第18行-第2頁左下欄第6行 (ファミリーなし)	2, 3	
A	J P 2 0 0 4 - 2 4 9 0 2 5 A (立野洋人) 2004.09.09, 全文, 図1-4 (ファミリーなし)	1-8	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。	
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 15.01.2008		国際調査報告の発送日 22.01.2008	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 遠藤 孝徳	2W 4005 電話番号 03-3581-1101 内線 3292

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	立野洋人, 外3名著, 生体光音響非侵襲血液成分測定法の研究, 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム論文集, 2005. 11. 16, 第26巻, p. 161-162	1-8
A	JP 4-213053 A (横河電機株式会社) 1992. 08. 14, 全文, 図1-4 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 10-160711 A (花王株式会社) 1998. 06. 19, 段落【0014】 (ファミリーなし)	4, 6
A	南出章幸, 外1名著, 材料評価のための光音響顕微鏡システムの開発, 計測自動制御学会論文集, 1998. 06. 30, vol. 34, No. 6, p. 491-497	1-8