

(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2004-12149
(P2004-12149A)

(43) 公開日 平成16年1月15日(2004.1.15)

(51) Int.Cl.⁷
G01N 11/14

F I
G O I N 11/14

テーマコード (参考)

F

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2002-161993 (P2002-161993) (22) 出願日 平成14年6月3日 (2002.6.3)</p>	<p>(71) 出願人 000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号 (74) 代理人 100095728 弁理士 上柳 雅普 (74) 代理人 100107076 弁理士 藤綱 英吉 (74) 代理人 100107261 弁理士 須澤 修 (72) 発明者 酒井 真理 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内</p>
---	--

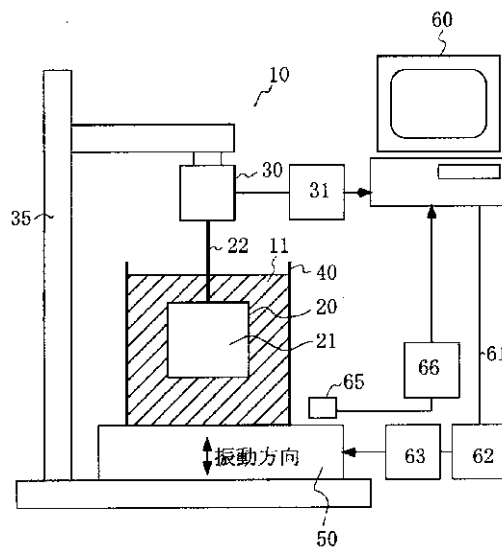
(54) 【発明の名称】 液体物性測定装置

(57) 【要約】

【課題】 高い周波数領域で非ニュートン流体の粘性係数、弾性係数を精度良く測定する。

【解決手段】 液体保持容器40に試料液体11を入れ、この試料液体11に薄い板からなる検出端子20を浸漬する。液体保持容器の下に設置された液体加振手段50は液体保持容器40を上下に加振する。液体保持容器40内の試験液体11は液体保持容器40の上下振動と同じく上下に振動するため、検出端子20の周囲の試料液体11は検出端子20の表面に平行に並進振動し、検出端子20の表面に剪断応力を作用させる。検出端子20に作用するこの流体力を荷重センサ30で計測し、試験液体11の並進振動と比較・解析することで、試験液体11の粘性係数と弾性係数を算出することができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

液体中に浸漬された検出端子と、該検出端子の検出面に平行に前記液体を並進振動させる液体加振手段と、前記検出端子への前記液体の並進方向の作用力を検出する荷重センサとを備える液体物性測定装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の液体物性測定装置であって、前記液体は液体保持容器に収容され、前記液体加振手段は前記液体保持容器を加振させる手段である液体物性測定装置。

【請求項 3】

前記液体の並進振動は液体を伝播する音響波動であることを特徴とする請求項 1 記載の液体物性測定装置。

【請求項 4】

前記液体の並進振動は液体中に形成された音響波動の定在波であることを特徴とする請求項 1 記載の液体物性測定装置。

【請求項 5】

前記検出端子の検出面の前記液体の並進振動の方向に関する長さは、前記音響波動の波長の 2 分の 1 以下であることを特徴とする請求項 3 または請求項 4 記載の液体物性測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、液体の物性値を測定する装置に関し、詳しくは、液体の粘性係数または弾性係数を測定する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

実在する流体は粘性を有しており、これら粘性流体を所定の剪断速度で変形させるためには、通常は剪断速度に比例した剪断応力を加えなければならない。この比例係数は粘性係数と呼ばれている。また、剪断速度と剪断応力との間に常に比例関係が成り立つ流体はニュートン流体と呼ばれている。

【0003】

多くの粘性流体はニュートン流体と見なすことができるので、粘性係数は剪断速度によらず一定値となる。従って、任意の剪断速度で測定した粘性係数を、他の剪断速度にもそのまま適用することができる。

【0004】

ところがインクやミルク等の、高分子物質が溶けた溶液や微粒子が分散している懸濁液では、剪断変形と剪断応力の関係で極めて複雑な挙動を示す。例えば剪断速度が高くなると粘性係数が小さくなることが知られている。また、周期的な変形を加えた時にも、剪断応力の振幅と剪断速度の振幅の比が粘性係数を与えるが、この場合にも周波数が高くなるほど粘性係数が小さくなることが知られている。更に、剪断応力が剪断速度によってのみ発生する純粋な意味での流体と異なり、固体が持つ剪断歪量に応じた剪断応力を示す液体が知られている。このような流体の特徴である粘性と、固体の特徴である弾性とを併せ持つ液体は粘弾性流体と呼ばれている。一般に、剪断速度と剪断応力との比例関係が常には成り立たない流体は、非ニュートン流体と呼ばれている。インク等の非ニュートン流体は、粘性係数が測定周波数によって変化するので、例えば低い周波数で測定した粘性係数の値を、高い周波数の条件での粘性係数として代用することはできない。すなわち、非ニュートン流体の液体物性を知るには、各周波数で剪断変形と剪断応力の関係を測定し、周波数に依存した粘性係数・弾性係数として求める必要がある。従って、測定周波数を変えながら剪断速度と剪断応力を測定可能なレオメータと呼ばれる計測装置が必要になる。

【0005】

10

20

30

40

50

このような各周波数に対する液体物性を測定する方式として、Gap loading法とSurface loading法の2種類が知られている。Gap loading法は2つの面で形成されたギャップ間に試料液体を挟み、これら2つの面で拘束する。片側の面を面内方向に強制的に振動させ、ギャップに挟まれた試料液体に一方の面から剪断変形を与えると、変形に応じた応力が発生し、この応力を測定することで液体物性を算出することができる。通常と同軸円筒型、円錐-平板型、平行平板型がこの方式のレオメータである。図4に示す円錐-平板型レオメータの測定原理は次のようなものである。円錐Aと平板Bとの間に試料液体を充填し、円錐Aを回転振動させて試料液体に振動的な剪断変形を生じさせる。ここで円錐Aの回転振動は、試料液体中をずり波としてギャップを伝播する。試料液体がギャップ間で拘束された状態であるには、ギャップの大きさがずり波の波長に比べると無視できる程度に短いことを要求しており、全てのGap loading法はこの条件の下で測定原理が成立している。この条件によりGap loading法のレオメータでは測定可能な周波数の上限が数十Hz程度とされている。

10

【0006】

Surface loading法は、試料液体に浸漬した平板治具や円筒治具を振動させることにより発生するずり波が、治具の表面から試料液体中に減衰しながら伝播する現象を利用する。治具表面から放射されるずり波は、治具への機械的な負荷として作用する。ずり波の特性と液体の粘弾性特性は一対一に対応しているため、この負荷の大きさを測定することで液体物性を計測することが可能である。共振法あるいは共鳴法と呼ばれるSurface loading法のレオメータの測定原理は、機械的固有共振周波数を持つ振動子を検出端子として液中に浸漬し、外部回路により振動子を共振させる。振動子が空気中にある時に対して、液体に浸漬されている状態ではずり波の放射に伴う付加的な質量が振動子に加わるため、共振周波数は低下する。この周波数の低下量から液体の粘度を算出できる。

20

【0007】

また、ずり波による負荷を機械振動系のインピーダンスとして検出する方法も提案されている。図5に示す構成では、電磁加振装置がインピーダンスヘッドを挟んで接続されたガラス板を上下に振動させる。インピーダンスヘッドは振動時の見かけの質量を検出する素子で、このインピーダンスヘッドでガラス板が液体に浸漬される前後のメカニカルインピーダンスの変化を測定することで、液体物性が測定できる。

30

【0008】**【発明が解決しようとする課題】**

先に説明した通りGap loading法の装置は、周波数測定範囲の上限値が低く多くの工学的応用で必要な周波数領域での測定が不可能である。また、共振法による装置は共振周波数と言う単一の周波数での測定しかできず、ある程度の周波数領域に渡る測定を行うには数多くの装置を用意しなければならない。また、加振の振幅を制御することが困難なため、振幅に対する依存性を調べるのが難しい。インピーダンスヘッドを用いた方式は、これらの欠点を克服した優れた方式であるが、インピーダンスヘッド素子ごと加振しなければならないため、1kHz程度の周波数が上限となってしまう。

40

【0009】

本発明は上述の課題を解決するためになされたものであり、同一の測定原理を用いて極めて低い周波数から極めて高い周波数までの広い周波数領域に渡って、液体物性、具体的には粘性係数と弾性係数を精度良く測定可能な技術を提供することを目的とする。

【0010】**【課題を解決するための手段】**

上述の課題を解決するため、本発明の液体物性測定装置は、次の構成を採用した。すなわち、

液体中に浸漬された検出端子と、該検出端子の検出面に平行に前記液体を並進振動させる液体加振手段と、前記検出端子への前記液体の並進方向の作用力を検出する荷重センサとを備えていることを特徴とする。

50

【0011】

かかる本発明の液体物性測定装置においては、検出端子が動くのではなく周囲の液体側を加振して検出端子の検出面との間に相対的な剪断変形を与えている。作用力を検出する検出端子と加振手段とを分離したことにより、一般的な荷重センサと加振装置を組み合わせることで装置を構成することが可能となった。機能が分離できたことで、高い周波数まで対応した高精度な荷重センサと高い周波数まで高精度に加振できる加振手段の組み合わせにより極めて高い周波数まで幅広い周波数範囲で液体物性の計測が可能となる。

【0012】

また、本発明の液体物性測定装置は、前記液体は液体保持容器に収容され、前記液体加振手段は前記液体保持容器を加振させる手段であることを特徴とする。

10

【0013】

かかる本発明の液体物性測定装置においては、液体を液体保持容器ごとに加振するため、極めて単純な加振手段を用いることが可能で、かつ液体保持容器内の液体全部が均一に加振できる。そのため検出端子の大きさや位置が自由に選べ、安定した計測が可能となる。

【0014】

また、本発明の液体物性測定装置は、前記液体の並進振動は液体を伝播する音響波動とすることを特徴とする。水中音波・超音波技術を利用すれば、極めて高い周波数で液体を並進振動させることが可能であり、従来では測定不可能な高周波領域での物性測定が可能となる。更に、並進振動を液体中に形成された音響波動の定在波を用いることで、液体を保持している容器や液体表面からの反射によるノイズに影響されにくい安定した計測が可能となる。

20

【0015】

このように音響波動を利用する場合には、前記検出端子の検出面の前記液体の並進振動の方向に関する長さは、前記音響波動の波長の2分の1以下とすることで、最も感度が高く小型の装置を構成することが可能となる。音響波動は1波長内で振動の位相が360度回転するため、1波長に渡った応力の積分はゼロになる。しかし、検出面の長さを波長の2分の1より短くすると、最大の出力が得られる位相近傍では、検出面の応力は同じ符号となり相殺することがないので、検出出力が大きく安定した測定が行える。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の第1の実施の形態を詳細に説明する。

30

【0017】

図1は、本発明の液体物性測定装置10の全体構成を示す説明図である。図示するように、液体物性測定装置10は、検出端子20と、検出端子に作用する流体力を測定する荷重センサ30と、液体を保持する液体保持容器40の下に設置され液体保持容器40を上下に加振する液体加振手段50と液体加振手段50を制御するとともに収集データを解析するコンピュータ60とから、大きく構成されている。

【0018】

検出端子20と荷重センサ30とは、一体で上下に高さ調整できるスタンド35に固定されており、検出端子20が液体保持容器40のほぼ中央に位置するよう調整されている。被測定対象である試験液体11は、液体保持容器40内に検出端子20が完全に浸漬するまで、十分に注ぎ込まれている。検出端子20は四角形の極めて薄いガラスの板で、細い連結ロッド22で荷重センサ30に連結している。また本構成では、後述する通り検出端子20の周囲の試験液体11は上下に並進振動するため、検出端子20は正確に垂直に設置されており、試験液体11の並進振動は検出端子20の検出面21に沿うようになっている。ここで検出端子20を十分に薄い板とするのは、誤差として加わる検出端子20の上下端面が受ける流体力を小さくするためである。また、検出端子20のガラスは試験液体に対して良く濡れるように表面処理がされている。これは浸漬した時に表面に微小な気泡が残留するのを防止するためである。荷重センサ30は、低い周波数での測定ではノイズが小さく感度の高い歪ゲージを用いたロードセルが適している。また、高い周波数での

40

50

測定では歪ゲージも利用できるが、堅牢で回路構成が単純な圧電式ロードセルも利用できる。荷重センサ30も、検出端子20が受ける上下方向の流体力を正確に測るため、検出端子20と連結ロッド22の対称軸が正しくセンサ中心に作用するように調節されている。

【0019】

コンピュータ60の持つ役割の一つは、液体加振手段50を加振するための駆動波形を生成することである。コンピュータ60上に作られた駆動波形データは、適切なサンプリングレートでD/A変換され、アナログの駆動波形61として出力される。このアナログの駆動波形は、ローパスフィルタ62で高周波ノイズをカットされた後、広帯域アンプ63で適切な振幅に増幅され、液体加振手段50に供給される。

【0020】

液体物性を算出するには、試験液体の11の並進振動振幅を、更に粘弾性物性値を算出するには、並進振動の位相を知る必要がある。本実施の形態では、試験液体11の並進振動は、液体保持容器40の上下振動に、更には液体加振手段50の振動に等しい。最も簡単な構成では、液体加振手段50の変位は駆動波形電圧に比例する場合で、駆動波形電圧をA/D変換してコンピュータ60に取り込み、適切な係数を掛け合わせることで試験液体11の並進振動振幅が得られる。しかし、より精度の高い測定では液体加振手段50の変位を変位センサで直接測定することが好ましい。変位センサとしては接触式の機械式変位センサや、静電容量式変位センサや、光ファイバー式変位センサ等、種々の物が利用できる。図1の本実施の形態では、変位センサ65の出力をセンサアンプ66で増幅した後、適切なローパスフィルタを経てコンピュータ60に取り込み、コンピュータ60内に組み込まれているA/D変換器でデジタルデータに変換して流体並進振動データを得る。

10

20

【0021】

一方、荷重センサ30からの出力も同じようにセンサアンプ31で増幅した後、ローパスフィルタを経てコンピュータ60内に組み込まれているA/D変換器の別のチャンネルに入力し、デジタルデータに変換して流体力データを得る。

【0022】

このようにして得られた流体並進振動データと流体力データとをコンピュータ60で解析することにより、試料液体11の流体物性値である粘性係数と弾性係数を算出することができる。

【0023】

本実施の形態では、広帯域アンプ63と広帯域の液体加振手段50との組み合わせで、測定周波数範囲に渡って離散的に周波数を走査することで、流体物性値の周波数依存性を計測することができる。

30

【0024】

次に本発明の第2の実施の形態を説明する。

【0025】

図2は、本発明の液体物性測定装置110の全体構成を示す説明図である。図1に示した本発明の第1の実施の形態と異なり、液体加振手段150には音響波を発生する超音波トランスデューサを用いている。超音波トランスデューサは液体保持容器140内に設置され、入力信号に比例した振幅の平面波を試料液体中に下方から上方へ向けて放射する。超音波トランスデューサへの入力信号は、コンピュータ160上に作られた駆動波形データを、適切なサンプリングレートでD/A変換器でアナログ信号に変換し、ローパスフィルタ162で高周波ノイズをカットした後、広帯域アンプ163で適切な振幅に増幅して供給される。超音波トランスデューサの大きさは、検出端子120の周囲の十分な領域に平面波を形成するために、放射音響波の波長に比べ十分大きな放射面をもたせる必要がある。試料液体111が比較的の低濃度の水溶液の例では、試料液体111中を伝播する音響縦波の速度はおよそ毎秒1500mである。音響波の周波数を100kHzとすると、音響波の波長は15mmとなる。この波長の4倍である直径が60mmの超音波トランスデューサで、良好な平面波を形成することが可能である。音響波で試験液体111を並進振動させる場合、波の性質により、ある時刻における並進振動の変位は音響波の進行方沿っ

40

50

て正弦波状に分布する。従って並進振動の変位は検出端子 120 の表面で一様でなく、正弦波状に分布することになる。荷重センサ 130 が検出する流体力は検出端子 120 表面に作用する流体力応力を積分したものであるから、正弦波状に変化する流体応力に対して、検出端子 120 の音響波伝播方向の長さを長くして行くと、流体力も正弦波状に変化する。例えば、検出端子 120 の長さが音響波の波長の整数倍の場合には荷重センサ 130 の出力はゼロに極めて近くなり、測定の精度は極めて低くなる。検出端子 120 の長さが音響波の波長の $(2n + 1 / 2)$ 倍場合には荷重センサの出力は最大になる。検出端子 120 は、音響波の分布に影響を与えるため、成るべく小さい方が好ましい。また、音響波の半波長より長くしても出力は減少するだけなので、検出端子 120 の音響波の伝播の方向の長さは、音響波の半波長がこれより短くする方が好ましい。このように音響波により試料液体 111 に並進振動を与える場合には、流体物性値を解析するのに検出端子 120 の表面に沿った並進振動の分布状態を正確に知る必要がある。そのため解析には音響波の波長と位相が必要になる。音響波の波長は音速を周波数で割ることによって得られるから、音速を音速度計で求めればよい。位相は液体加振手段 150 からの距離で算出することもできるが、液体保持容器 140 内に音響センサ 170 を設けて、その位置での音響波の強度を測定して音響波の位相と振幅を正確に測定することで、更に液体物性値の解析精度を上げることができる。この音響センサ 170 の出力と荷重センサ 130 の出力はそれぞれコンピュータ 160 内に組み込まれた A / D 変換器でデジタルデータに変換され、解析される。音響センサ 170 からの音圧データから検出端子 120 の位置での並進振動の平均値を計算し、この値と荷重センサ 130 の出力を先の第 1 の実施の形態と同様に解析することで、試料液体 111 の液体物性値を求めることができる。

10

20

【0026】

超音波トランスデューサから放射された音響波は、検出端子 120 の領域を過ぎて、液体保持容器 140 の上部の液体表面に達すると反射される。この反射波が検出端子 120 の領域に戻ってくると、誤差として作用するため、反射波が検出端子 120 の出力に影響しないように工夫する必要がある。一つの方法は、検出端子の上部に吸音部材を設置したり吸音構造を設けるものである。また、音響波の入射方向に対して角度を持たせた反射面で、反射波が直接検出端子 120 の方向へ行かないようにする方法も有効である。

【0027】

このように、音響波の反射は誤差として作用するため、適切に処理をする必要がある。しかし、この反射波を有効に利用する方法もある。

30

【0028】

図 3 はこのように反射波を有効に利用した、本発明の第 3 の実施の形態を示す図である。図 3 で、検出端子 120 の上部には音響波の進行方向に直角に反射板 180 が設置されている。超音波トランスデューサ（液体加振手段 150）と反射板 180 との間に、音響波の定在波を生じさせる条件は、音響波の波長を λ 、超音波トランスデューサと反射板の距離を L とすると、 $L = n \lambda / 2$ で表される。ここで n は自然数である。 n が奇数の場合は、超音波トランスデューサと反射板 180 の丁度中央が、定在波の腹となり最も大きな並進振動が得られる。周波数を変えて測定を行うために、音速と測定周波数とから音響波の波長を予め求めておき、この波長の奇数次（例えば $n = 3$ ）の定在波が生じるように反射板 180 と超音波トランスデューサの距離を調整し、更に検出端子 120 が反射板 180 と超音波トランスデューサの中央に来るようにすることで、最も感度の良い測定が行える。定在波の強度を超音波トランスデューサへの入力から正確に求めるのは困難であるため、音響センサ 170 で定在波の振幅を測定する必要がある。

40

【0029】

また、定在波を用いる方式で測定周波数を変化させる方法として以下の方法も有効である。超音波トランスデューサと反射板 180 との距離を一定に固定し、その中央に検出端子 120 を設置する。超音波トランスデューサへの入力信号の周波数を変化させると、測定周波数を f 、音響波の音速を v とし、波長 $\lambda = v / f$ となる。定在波ができる条件を測定周波数 f を用いて表現すると、 $f = n v / (2 L)$ となる。 n を正の奇数として本

50

式で与えられる周波数で測定が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施例の液体物性測定装置の構成を説明する説明図である。

【図2】本実施例の液体物性測定装置の他の構成を例示する説明図である。

【図3】本実施例の液体物性測定装置の他の構成を例示する説明図である。

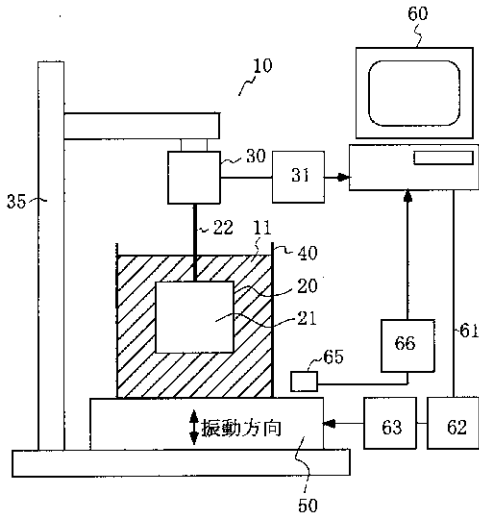
【図4】Gap loading法の円すい-平板回転レオメータを例示する説明図である。

【図5】Surface loading法の従来技術を例示する説明図である。

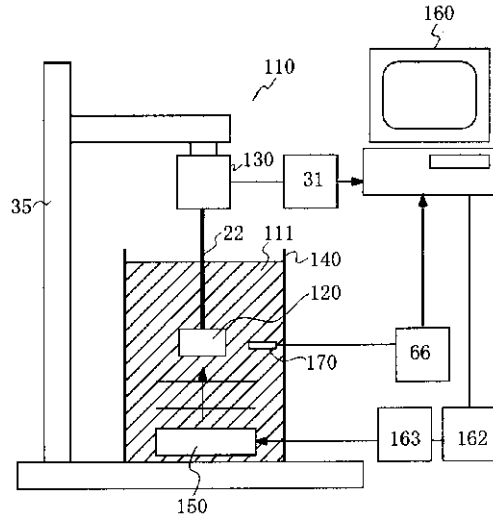
【符号の説明】

10, 110 ... 液体物性測定装置	10
11, 111 ... 試験液体	
20, 120 ... 検出端子	
21 ... 検出面	
22 ... 連結ロッド	
30, 130 ... 荷重センサ	
31 ... センサアンプ	
35 ... スタンド	
40, 140 ... 液体保持容器	
50, 150 ... 液体加振手段	
60, 160 ... コンピュータ	20
61 ... アナログ駆動波形	
62, 162 ... ローパスフィルタ	
63, 163 ... 広帯域アンプ	
65 ... 変位センサ	
66 ... センサアンプ	
170 ... 音響センサ	
180 ... 反射板	

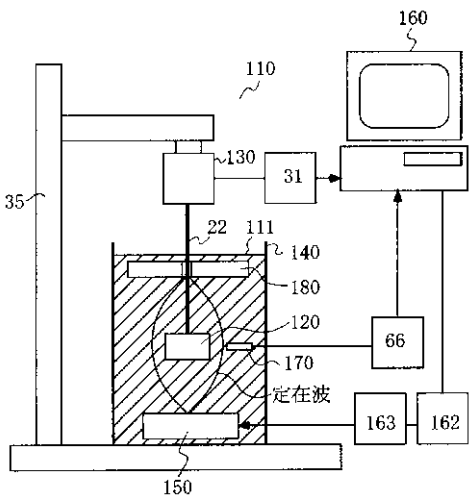
【 図 1 】



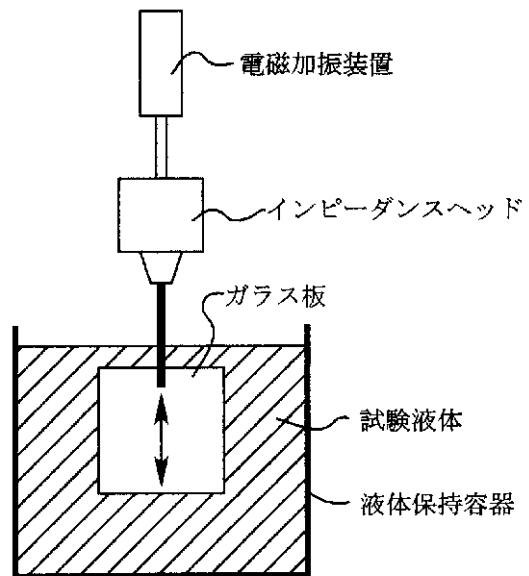
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 5 】



【 図 4 】

