

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4405673号
(P4405673)

(45) 発行日 平成22年1月27日(2010.1.27)

(24) 登録日 平成21年11月13日(2009.11.13)

(51) Int.Cl.

G O 1 H 9/00 (2006.01)

F 1

G O 1 H 9/00

A

請求項の数 11 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-558368 (P2000-558368)
 (86) (22) 出願日 平成11年7月6日 (1999.7.6)
 (65) 公表番号 特表2002-519690 (P2002-519690A)
 (43) 公表日 平成14年7月2日 (2002.7.2)
 (86) 國際出願番号 PCT/FR1999/001631
 (87) 國際公開番号 WO2000/002023
 (87) 國際公開日 平成12年1月13日 (2000.1.13)
 審査請求日 平成18年6月21日 (2006.6.21)
 (31) 優先権主張番号 98/08630
 (32) 優先日 平成10年7月6日 (1998.7.6)
 (33) 優先権主張国 フランス (FR)

(73) 特許権者 501008819
 センター ナショナル デ ラ レシェル
 シエ サイエンティフィック (シーエヌア
 ールエス)
 CENTRE NATIONAL DE
 LA RECHERCHE SCIENT
 I F I Q U E (CNRS)
 フランス国 パリ セダー 16 エフー
 75794 ルー ミッシェル アンジュ
 3
 3 rue Michel Ange F
 -75794 Paris Cedex
 16 France
 (74) 代理人 100092897
 弁理士 大西 正悟

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】振動測定のための動的ホログラフィー速度計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ある周波数で振動する標的の平均位置の周りの速度を計測する方法であって、
 参照光であるレーザービームと標的(6)から拡散される物体光ビームとをホログラフ
 イー材料の中で干渉させるステップと、
 光電検出器により前記ホログラフィー材料から放出される光強度の変動を測定するステ
 ップとからなり、

前記標的は、前記周波数において前記レーザービームの波長より大きい振幅で前記振動
 の平均位置の周りを振動する標的であって、

前記ホログラフィー材料は、動的ホログラフィー材料であって、前記参照光と前記拡散
 された物体光が前記標的の振動状態を動的ホログラムとして記録するように、その応答時間
 が前記標的の振動の前記周波数の逆数より小さいものであり、かつ、この応答時間を
 、前記周波数をF、前記レーザービームの波長をλ、前記振動の振幅をAとしたときに、
 $F < 4 / (1000)$

の条件を満たすものであることを特徴とする前記標的の速度を計測する方法。

【請求項 2】

10 KHz以下の前記標的(6)の振動の周波数について検出が決定されることを特徴
 とする、請求項1に記載の標的(6)の速度計測方法。

【請求項 3】

0.1 μmを越える前記標的(6)の振動の振幅について検出が決定されることを特徴

10

20

とする、請求項 1 または 2 に記載の標的(6)の速度計測方法。

【請求項 4】

は前記レーザービームの波長であり、は前記ホログラフィー材料(4)の応答時間であり、Fは前記振動の周波数であるときの、前記標的(6)の振動の振幅が / 10 ~ 4 / 1000 F の間に含まれることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のうちいずれか 1 項に記載の標的(6)の速度計測方法。

【請求項 5】

参照光であるレーザービーム(3)と、10 KHz を下回る周波数において平均位置の周りに 0.1 μm を越える振幅で振動する標的(6)に向けられたビーム(5)とに分けられるビームを生成するレーザー(1)と、これら 2 本のビームがその中で干渉を生じる動的ホログラフィー材料(4)と、前記ホログラフィー材料から放出される光強度の変動を測定する光電検出器とを備え、
10

前記標的は、前記周波数において前記レーザービームの波長より大きい振幅で前記振動の平均位置の周りを振動する標的であり、

前記ホログラフィー材料は、動的ホログラフィー材料であって、前記参照光と前記拡散された物体光が前記標的の振動状態を動的ホログラムとして形成するように、その応答時間が前記標的の振動の前記周波数の逆数より小さいものであり、かつ、この応答時間を、前記周波数を F、前記レーザービームの波長を 、前記振動の振幅をとしたときに、
F < 4 / (1000)

の条件を満たすものであることを特徴とする標的の速度を計測する速度計。
20

【請求項 6】

ビームの搬送が大径コアのマルチモードファイバーで実現されることを特徴とする、請求項 5 に記載の速度計。

【請求項 7】

前記動的ホログラフィー材料(4)が、電圧をかけたフォトリラクティブ材料の場合と同様に、がほぼ / 2 に等しくなるよう照明格子に対して前記ホログラムが調和する材料であることを特徴とする、請求項 5 または 6 に記載の速度計。

【請求項 8】

前記動的ホログラフィー材料(4)が、前記ホログラムが、電界を適用しないフォトリラクティブ材料の場合と同様に、照明格子に対して / 2 位相がずれている材料であり、 = / 2 を得るために外的に補助位相ずれを実現する手段が含まれることを特徴とする、請求項 5 または 6 に記載の速度計。
30

【請求項 9】

前記動的ホログラフィー材料(4)が、異方性回折構成で利用されるフォトリラクティブ材料であることを特徴とする、請求項 8 に記載の速度計。

【請求項 10】

入射ビーム(3, 5 もしくは 14)の経路上に入射ビーム(3, 5 もしくは 14)を、ポンプ光は X 軸に従い、信号光(14)はこの方向の 45° の角度に従って偏光させるための 1 / 2 波板(12)とポラライザー(16)を含むことを特徴とする、請求項 8 に記載の速度計。
40

【請求項 11】

動的ホログラフィー材料(4)の後に、X および Y 方向に従う軸をもち、X 軸の成分と Y 軸の成分を有する発せられた前記信号光(7)の Y 軸の成分を X 軸に従って偏光された回折光(7)に対して位相を / 2 ずらす位相板(13)を有し、前記の 2 つの成分は X および Y 方向の 45° の角度に向けられた立方体偏光セパレータの中で干渉し、前記立方体偏光セパレータから出る 2 つのビームが 2 つの検出器(8)に向けられることを特徴とする、請求項 10 に記載の速度計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

10

20

30

40

50

本発明は計量学の分野に関し、特に振動する物体の変位速度の測定に関する。

【0002】

【従来の技術】

物体の速い動きを測定するには、ホログラフィー材料内で干渉する、直接固定ビームと振動する標的を照らす間接2次ビームとに分けられるレーザービームを利用した装置の使用が知られている。

【0003】

例として、米国特許第3,899,921号は、静止ホログラムを利用し、平均時間でホログラフィーの原理を利用する装置について記述している。測定可能な振動の振幅を増幅するには（原則的に平均時間の技法により制限される）、先行技術のこの特許に記載された発明は、標的の変位の多少とも重要な部分を補償することを可能にする付属の装置を利用する装置に関する。この参照される装置は、この物体の変位のマッピングは可能であるものの、この振動の過渡的变化に追従できない。この参照される装置は、たとえば、過渡的に移動する物体上では機能しない。10

【0004】

R. K. IngとJ. P. Monchalinの論文「フォトリフラクティブ結晶内の2波混合による超音波の広帯域光検出」(Appl. Phys. Lett. 59 (1991) 3233)とA. BlouinとJ. P. Monchalinの「フォトリフラクティブGaAs結晶内の2波混合による散乱表面の超音波動の検出」(Appl. Phys. Lett. 65 (1994) 932)は、超音波の振動を検出するために2波混合の装置の利用を示している。20

【0005】

我々の装置が、振動する標的の瞬間速度を測定するのに対して、先行技術の文書に記載の組立ては変位の測定において機能する。さらに、この論文で示されたシステムは、波長（約0.5 μm）を越える大きな変位を測定できないが、本発明は大きな変位（数μmより大きい変位）の分析を行うために考案されたものである。

【0006】

もうひとつの論文、A. A.

Kamshilin, E. V. Mokrushina著の「ホログラフィー振動計測におけるフォトリフラクティブ結晶の使用」(Sov. Tech. Phys. Lett. 12 (1986) 149)は、高周波数で大振幅の振動の検出を行うことを目的とした、2波混合装置内のフォトリフラクティブ結晶の利用について述べている。この原理は、実は、平均時間でのホログラフィーの原理に非常に近いものである。ホログラムがほど変化するところでは、そのホログラムは消え、回折が生じないことから、位相ずれがあるラインのマッピングが得られる。30

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

S. Breugnot, M. Defour, J.-P. Huignardの論文「フォトリフラクティブ2波混合：弱信号光の場合の複雑な振幅ソリューション」(Optics Commun. 134 (1997) 599)では、2波混合に基づくヘテロダインまたはホモダイン検出の装置による振動検出方法について述べている。最初の仮定のひとつは、振動が応答時間に比べて速くなること、そして記録されるホログラムが振幅の大きい振動によって消されることである。ドップラーシフト（ヘテロダイン検出）の測定による速度測定の場合、これらの著者たちは、常に同じ方向に連続している格子の変位を検討し、本発明の場合のように、物体の振動の速度の測定の場合と同様に平均位置の周りを検討していない。40

【0008】

同様に、T. J. Hall, M. A. Fiddy, M. S. Nerの論文「動的ホログラフィー干渉計を使用した光ファイバー音響センサー用検出器」(Opt. Lett. 5 (1980) 485)は、音響振動を測定するためのホログラフィー装置の利用を示して50

いる。記述された装置は、格子の消失を避けるための弱振幅の振動によって高周波数以外では機能しない。

【0009】

技術明細書に記載のこれらの装置は、小振幅で高周波数の振動変位に適用される。しかし、この技術明細書に記載のこれらの装置は、場合により大きな振幅の動きをもつ、低周波数で振動する標的の速度の測定には適用されない。

【0010】

本発明の目的は、平均位置の周りに振動変位をもつ物体の速度を、無接触で、また事前の準備なしに、またこの物体の振動の速度のスペクトルをそれらの間に確立することができるよう測定することである。この装置は、利用する光の波長にほぼ等しいかそれより大きい振幅をもち、対象周波数が低周波数（一般的に0～10kHz）の領域に属する振動の測定を可能にしている。10

【0011】

本発明のもうひとつの目的は、物体の表面の状態に敏感でない測定を可能にすることであり、これにより、物体の表面を事前に準備する（磨く）ことなく作業を進めることができる。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明は、第1の意味において、超音波振動のセンサーの開発に既に利用されている動的ホログラフィー材料内の2波混合から成る方法に関する。この物体の測定点は、レーザー光源からのビームで照射される。測定点で反射および拡散された波は、同じレーザー光源からのポンプ波と同時に動的ホログラフィー材料内に送られる。これらの波は、動的ホログラフィー材料内に、その物体からの信号波の波面の構造のホログラムを記録する。このホログラムは、動的ホログラフィー材料から出た信号光と同時にセンサー上に送り出される局部発振光を与えるために、ポンプ光によって再び読まれる。ホログラフィーの特性によって、これらの2波（局部発振光と発信された信号波）は、同じであり、装置および利用する材料に依存して、位相がずれている。この位相ずれは、本発明の機能を最適にするよう選択される。20

【0013】

物体が振動しはじめると（自然に、もしくは外部の励起に応答して）、測定点の振動が物体から送り出される信号波を位相変調する。このシステムの目的は、この位相変調を、輝度変調に変換することであり、この輝度変調は振動に固有の電気信号に変換される。この変換は、振動の周波数と振幅の両方に依存する。振幅が非常に小さく（利用する光の波長と比べて）、周波数が非常に高い（動的ホログラフィー材料の応答時間の逆数と比べて）振動については、先行技術による解決法が知られている。30

これは、たとえば、動的ホログラフィー材料内に記録されるホログラムを妨害するのに、位相変調が過剰に速く、また振幅が過剰に小さい超音波振動の場合である。これは、振動の観点からは静的であり、この静的ホログラム上の静的なポンプ光の回折から生じた局部発振光は、それ自体静的である。これは、超音波振動によって位相変調され、発信信号光と同時に検出器上に送り出される。検出器上に送られたこれら2つのビーム間の位相ずれ____が /2（4分の1周期だけ位相のずれた波）に等しい場合、この2つの信号光と局部発振光との干渉は、位相変調を輝度変調に変換し、次に超音波振動の振幅に直接比例する電気信号に変換する。2波混合の装置は、それゆえ、超音波振動の測定にうまく適用される。40

【0014】

しかしながら、（高周波数のままで）測定対象の振動の振幅を増幅しようとすると、技術明細書に記載の装置は直ちに機能しなくなる。実際、振動の振幅が（光の波長に比べて）大きいと、まず第一に、装置の応答が線形でなくなり、次にホログラムは位相変調によって消される。これは、局部発振光を消し、測定電気信号を除去する。故に、この装置では、振幅が大きく周波数の高い振動を測定することはできない。50

【0015】

この問題は、（動的ホログラフィー材料の応答時間の逆数に比べて）低い周波数の振動の場合、本発明によって解決され、また振幅の大きな振動を測定することができる。低い周波数では、記録されるホログラムは静的でなくなり、位相変調に関わる法則にしたがつて移動する。しかしながら、これは、この位相変調の変化の頻度に依存する一定の遅延を以ってこの変調に従う（緩慢である分余計にこれに従う）。ホログラムの移動によって遅れた位相変調は局部発振器に送られ、送られた信号波と4分の1周期だけ位相のずれた状態で干渉する。この電気信号は、次に位相変調の導関数に比例し、またそのため振動体の瞬間速度に比例する。変位の振幅が大きい場合の飽和は常に存在するが、これはかなり緩和されており、またこれは動的ホログラフィー材料の応答時間によって制御できる。所与の周波数では、この飽和に相当するこの値は、ホログラフィー材料の応答時間が短くなるためいっそう大きくなる。

【0016】

本発明は、（動的ホログラフィー材料の応答時間に比較して）低い周波数で（利用する光の波長に比較して）大きい振幅の振動の測定への機能状態の拡張を可能にする動的ホログラフィー材料内での2波混合の装置の独創的な適用である。効果的に利用されてきたどの装置でも、このホログラムは、常に振動の時間スケールに固定されたものとみなされてきた。どの装置も、振動の検出に動的ホログラムを利用していない（ドップラーシフトの測定に一時的な光起電力を用いた、非常に異なる装置は除く）。

【0017】

本発明には、同様に、一時的な開発期間全体を通じて、過渡的な信号の調査が可能であるという利点がある。

【0018】

実際に、商業的に処分可能な振動センサーが存在する。これらはコヒーレント検出装置に基づいている（ホモダインまたはヘテロダイン）。非常に高性能であるが、これらのセンサーは、拡散面に使用されると能率がすぐに著しく低下し、これは、試験対象の物体の表面を磨くのないかぎり、測定の妨げになる場合が多い。しかし、調査対象の物体を磨くことが不可能な一定数の領域が存在する。

【0019】

【発明の実施の形態】

本発明は、非限定的な実現例との関連において、以下に詳細に説明される。

【0020】

図1は、本発明に従った2波混合速度計の実現例の概略図である。発信されるビームを使って（λ = λ / 2）、4分の1周期だけ位相のずれた回折光を得るために、また利用可能な材料のタイプによって、様々な構造が可能である。レーザー（1）からの光は、ビーム・セパレータ（2）によって2つに分けられる。2つのビームのうちのひとつである参考ビーム（3）は、動的ホログラフィー材料（4）の中に送られてポンプ光を形成する。もう一方のビームである測定ビーム（5）は、振動測定対象の標的（6）上に送り出される。標的（6）から送り返される光は、集光されて動的ホログラフィー材（4）上に集光および送出され、信号光（14）を形成する。

【0021】

これらのビームの搬送（信号光もポンプ光も）は、コアの太いマルチモードファイバーで行うことができ、進路のそれを測定が可能である。ホログラフィー材料（4）を横切った後の信号光（7）は検出器（8）上に送られ、電気信号を与える。この電気信号は、その後に電子システムで処理される。この基本的な装置は、送信信号（7）と4分の1周期だけ位相のずれた回折光（7）が得られるよう、光学的手段により実行される。λ = λ / 2を得るには、いろいろな可能性も存在する。それらの導入は、主として、動的ホログラフィー材料（4）の性格に依存する。

【0022】

第1の可能性は、記録するホログラムが局部となる、つまり、電圧をかけたフォトリフ

10

20

30

40

50

ラクティブ材料などのように照明像と適合した、動的ホログラフィー材料(4)を利用する事である。この場合には、直接、 $\phi = \pi/2$ が得られる。検出器(8)を置くだけで十分である。

【0023】

第2の可能性は、電界を加えないフォトリフラクティブ材の場合と同様に、照明格子に対してホログラムの位相ずれが $\pi/2$ の材料を利用することである。この場合には、自動的に $\phi = 0$ となる。これは、装置の効率がゼロであることを意味する。したがって、 $\phi = \pi/2$ を得るには、外的方法で補助位相ずれを追加する必要がある。複数の可能性が存在する。

【0024】

10

第一の解決法は、入射光(3、5、または14)を偏光させ、ポンプ光は方向Xに従い、そして信号光(14)はそれと45°の角度にすることである。

【0025】

信号光(14)は、XとYという2つの偏光方向に従う、同じ振幅の2つの成分からなり、YはXに直交する方向を示す。信号光(14)のXに従う偏光成分は、ポンプ光(3)でホログラムを書き、このようにして、Xに従う偏光した回折ビームを生成する。

【0026】

発せられたビーム(7)は、XとYに従う2つの成分をもつ。結晶(4)の後に、XおよびY方向に従う軸をもち、そしてXに従って偏光した回折光(7)との関連で発せられた信号光(7)のYに従う成分の位相を $\pi/2$ ずらす位相板(13)を配置する。次に、XおよびY方向の45°の角度に向けられた立方体偏光セパレータ(18)を配置することによって、これらの2つの成分を干渉させ、この立方体から発するこれら2つのビームを2つの検出器(8)上に送る。この2台の検出器(8)では、それぞれ $+\pi/2$ および $-\pi/2$ に等しい位相ずれに対応する2つの信号がある。次に、測定の最終信号を得るために2つの電気信号を区別する。

20

【0027】

このタイプのホログラムでは、回折ビームが書込光に直交して偏光される異方性回折構成と呼ばれる特定の構成の中でフォトリフラクティブ結晶を利用する事もできる。したがって、前の装置には、Xに従って偏光された2本の入射光を利用でき、回折光Yに従って偏光される。以前のもの(位相板がXとYに従い、また位相が $\pi/2$ ずれた向きに配置され、次に立方体偏光セパレータが45°の角度に配置され、2台の検出器(8)上にビームを送る)と同一の光学系を配置することによって、差動信号がもう一度得られる。

30

【0028】

これら2つの装置は、ホログラムが照明格子(電界下のフォトリフラクティブ結晶の場合)に対して何がしかの位相ずれを有するホログラフィー材(4)に一般化できる。このような場合には、装置は前例と同じであり、位相板は、単に回折光と発信信号との間の総位相差 ϕ をその最適値 $\pi/2$ にする役割を果たす位相ずれ変数を持つだけである。

【0029】

利用される材料は、大抵は、動的ホログラフィー材料(4)、つまり2本のビームの干渉によって成立する照明構造によってこれらのビームのひとつのホログラムが生成される材料であり、このホログラムは動的である。つまり、課せられた仕様に応答するシステムを得るのに十分はやく、照明の構造の変化に追従する。動的ホログラフィー材料の中では、フォトリフラクティブ材料の使用が有利である。フォトリフラクティブ結晶の中でも、GaAs、InPなどのIII-V半導体、CdTeやZnTeなどのII-VI半導体、あるいは量子井戸をもつ構造体と同様、シリケートも利用できる。この装置は、ホログラフィー技法に基づくすべての装置と同様、多チャンネル処理またはイメージの範囲内で、複数の点上でのパラレル測定を可能にする。

40

【0030】

本発明に基づく方法は、ホログラムを記録する動的ホログラフィー材料(4)の利用に

50

基づいている。これは、位相または振幅のホログラムであってもよい。一連の説明は、位相または指数格子のホログラムを検討することによって行われる。これは、振幅または吸収格子のホログラムの場合の検討に簡単に適用可能である。このホログラムは、動的ホログラフィー材料(4)の上で、標的(6)から出る信号光(14)(振幅 E_s および強度 I_s)と同じレーザーから出るポンプ光(3)(振幅 E_p と強度 I_p)とを干渉させることによって得られる。静的な状態では、ホログラムは指数の変化であり、その振幅 n は、これら2本のビーム(積 $2 E_s E_p * / (I_s + I_p)$ によって与えられる)の間の干渉の項 m に比例する。ホログラムは動的で、これは、一定時間後にその静止状態に到達することを意味する。このダイナミックスは、リアルタイムの定数をもつすぐれた運動法則によって(一般性を失うことなく)与えられる。ホログラムは数量 n によって特徴付けられ、そのためこの数量は次の変化の規則に従う(G は、指標格子の力を与える比例定数である)。

【0031】

【数1】

$$\frac{\partial \Delta n}{\partial t} + \frac{\Delta n}{\tau} = \frac{G}{\tau^2} m \quad (1)$$

【0032】

標的(6)が振動すると、これは、信号光(14)上での(標的(6)の変位 (t) に比例した)過渡的な位相変調 (t) の導入によって、また規則 $(E_s(t) = E_{s0} e^{i \phi(t)})$ に従う干渉像の変位によって表現される。そのため、式の中で干渉する干渉縞(m の別名)の変調は、時間 $(m(t) = m_0 e^{i \phi(t)})$ の中で変化する数量である。

【0033】

動的ホログラフィー材料(4)の中で干渉する信号光(14)とポンプ光(3)は、動的ホログラムを形成し、これは、標的(6)の振動によって生成される位相変調にある程度簡単に追従する。また、これら2本のビームは、それらが記録するホログラム上で回折する。特に、ポンプ光(3)は、ホログラム上で回折して、発信される信号光(7)の方向に伝播する光を与える。

【0034】

速度計の利用条件は、動的ホログラフィー材料の応答時間 τ に依存する。たとえば、振幅 f と周波数 f の正弦波振動の場合における f と τ の間の関係は、次の条件によって固定される。

【0035】

【数2】

$$f \delta < \frac{\lambda}{24\pi^2 \tau} \approx \frac{4}{1000} \frac{\lambda}{\tau}$$

【0036】

振幅が大きく周波数が非常に低い振動を、高周波数で小さい振幅の振動として検出できるが、高周波数で大きい振幅の振動は測定できない。

【0037】

この装置(図1)は、CdTeのフォトリフレクティブ結晶内の2波混合の装置である。この結晶は、異方性回折構成で、出口では、 $= / 2$ の位相ずれを生成する役割を果たす $1/4$ 波板(13)と、その後には $1/2$ 波板(17)、そして 45° の角度に置かれた立方体偏光セパレータをシミュレートする立方体偏光セパレータ(18)と一緒に使用される。異方性回折の実際の組立てに対して、出口の差動特性だけが保持されない。ポンプ光(3)の上で遅延ラインが取り付けられ、これは簡単に除去することも、また取

10

20

30

40

50

り替えることもできる。これを除去する場合は、ポンプ光(3)が鏡(15)上に送られ、これがマッハツエンダー干渉計の2番目のセパレータ板を構成するガラス板上にビームを送り返す。(一番目は、2波混合組立てのポンプ光(3)と信号光(14)を生成するガラス板(2)である。そのため、2波混合の組立てから、位相ずれの直接測定が可能な普通の干渉計へ簡単に移ることができる。レーザーの出口で、1/2波板(11)とポラライザー(10)は、フォトリフラクティブ結晶(4)上の入射力とフォトリフラクティブ効果の時間定数を変化させることができる。利用する周波数を考慮に入れると、この周波数がフォトリフラクティブ結晶の応答時間の逆数に対して低くなる構成(強い照明)から、この周波数がフォトリフラクティブ結晶の応答時間の逆数に対して高くなる構成へ移る。我々が関心をもつ機能の状態は強照明のそれであるのに対して、弱い照明の状態は、超音波の検出器(8)として機能する2波混合の装置に相当する。

【0038】

実行された最初の測定の中に、大きい振幅とフォトリフラクティブ結晶の応答時間の逆数に比べて低い周波数の正弦波位相差(約2°)が送り出される(短い応答時間は強い入射照明に帰せられる)。図2は、2波混合の装置で得られた応答(太い線の曲線)とマッハツエンダー干渉計で得られた装置で得られた応答(細い線の曲線)との比較を示している。これら2つの場合に圧電ゲージに送られる信号は点線で示されている。

【0039】

この測定は、マッハツエンダー干渉計を使って行われ(ほとんど4分の1周期位相をずらした状態に調整)、2波混合の速度計から与えられる応答と比較される。を越える位相ずれが、およそ $(3\pi/2)\sin(2\pi f t)$ と予想される圧電鏡を原因とする位相ずれに対応する重畠した複数の応答によって、マッハツエンダーの複雑な応答を発生させることができ、曲線上で確認できる。2波混合の速度計の場合には、応答は、ほぼ正弦波であり(第2高調波のひとつの成分が見え始める)、初期位相ずれに比べて $\pi/2$ 位相がずれている。この $\pi/2$ の位相ずれは正弦波の導関数に対応しているため、理論通り、標的(6)の瞬間速度に比例し、さらに大きな変位の測定を可能にする応答が得られる。

【0040】

図3は、大きな値の照明(点線の曲線)と弱い照明(実線の曲線)について、振幅の大きな正弦波位相変調への応答信号を表している。太線の曲線は、弱照明で、位相差を10°割ったときの測定値である。

【0041】

図1に示す装置では、速度計の周波数での応答の指示を2波混合により得ることができる。位相変調の周波数がフォトリフラクティブ結晶の応答時間の逆数に対して大きくなるよう、照明を下げる。2波混合の機能では、大きな位相ずれは測定できない。複数の縞の上の照明図の振動は、図3の細い線の曲線に見るとおり、格子の消失を起こし、応答内に上位の高調波が出現すると同時に位相の測定の効率の低下をもたらす。この位相ずれで線形拳動を認めるには、この条件で、正弦波位相ずれの振幅を下げなければならない。因数10の位相ずれの振幅を下げた図3の太線の曲線はこれを示している。

【0042】

図4は、弱照明(太線)および強照明(灰色の線)での弱い正弦波位相差に対する応答を示している。細い線で示しているのは、圧電ゲージに送られる信号である。

【0043】

この信号は、位相ずれが大きく照明力が大きい(低周波数の状態)ときに得られた点線の曲線とは反対に、位相ずれと調和している(この図ではこの2つの曲線は、トリガーレベルの変更という完全に偶発的な理由によって調和している)。この点は、次の図(図4)上でさらに詳細に確認できる。この曲線では、小さい位相ずれ(<π/2)を測定し、すべてを一定に保ちながら入射照度を変化させ、低周波数状態(強照度)から高周波数状態(弱照度)に移る。低周波数では、2波混合は導関数として働き、これは、初期位相差(細い線で示した曲線)に対して2波混合(薄い色の線で示した曲線)応答との間で $\pi/2$ の位相ずれを起こす。高周波数である間は、これは初期位相ずれに直接比例する(太い線で

10

20

30

40

50

示した曲線）。これはこれら 2 つの曲線が調和しているという事実を表している。

【0044】

図 5 は、弱い照度（太い線）と強照度（灰色の線）での三角形の位相ずれに対する応答を示している。細い線で示しているのは、圧電ゲージに送られた信号である。導関数の挙動は、圧電鏡上に弱振幅の三角形の信号（図 5）を見るとき、さらに自明となる。低周波数では、この信号の変動（薄い色の線）を測定する。これは、四角形の信号であるが、高周波数ではまた、検出器（8）上で得られた三角形の信号（太い線の曲線）が示す通り、位相差に比例している。

【0045】

最後に、最終の一連の測定（図 6）の中で、我々は一定の照度と弱振幅の三角形の位相ずれを保持し、そして我々は、位相ずれの周波数に 100 を乗じて、低周波数領域から直接高周波数領域に移った。ここにおいても、測定された信号は、信号の導関数に対応する四角形（薄い色の曲線）から、高周波数（超音波センサー）で得られた位相ずれ（太い線の曲線）に比例する応答に相当する三角形に移行する。

10

【図面の簡単な説明】

【図 1】 2 波混合の速度計の機能を有効にするために利用される実験的な装置図である。

【図 2】 2 波混合の装置で得られた応答（太線の曲線）とマッハ・ツエンダー干渉計で得られた応答（細い曲線）との比較である。これらの 2 つの場合に圧電ゲージに送られる信号は点線で示されている。

20

【図 3】 照度が強い値の場合（点線の曲線）と弱い値の場合（細い曲線）における、大きい振幅の正弦波位相変調への応答信号である。太線の曲線は、弱い照度で、位相ずれを 10 で割ったときの測定を示している。

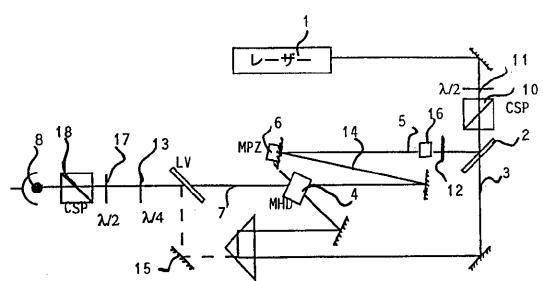
【図 4】 弱い照度（太線）と強い照度（薄い色の線）での弱い正弦波位相ずれへの応答である。細線で示されているのは、圧電ゲージに送られる信号である。

【図 5】 弱い照度（太線）と強い照度（薄い色の線）での弱い三角形の位相ずれへの応答である。細線で示されているのは、圧電ゲージに送られる信号である。

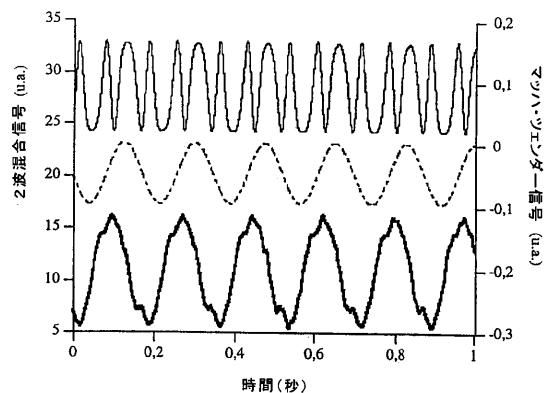
【図 6】 弱い照度（薄い色の線）での弱い三角形の位相ずれへの応答である。100 を乗じた周波数で同じ条件で得られる信号である。細線で示されているのは、圧電ゲージに送られる信号である。

30

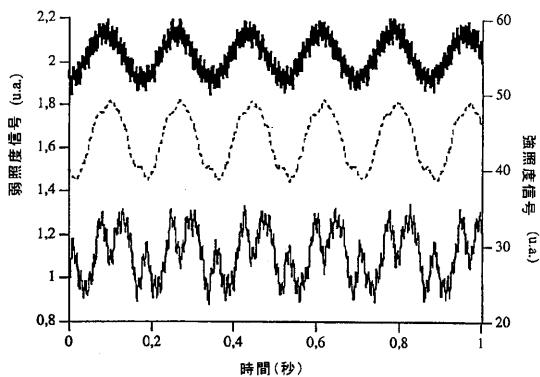
【図1】



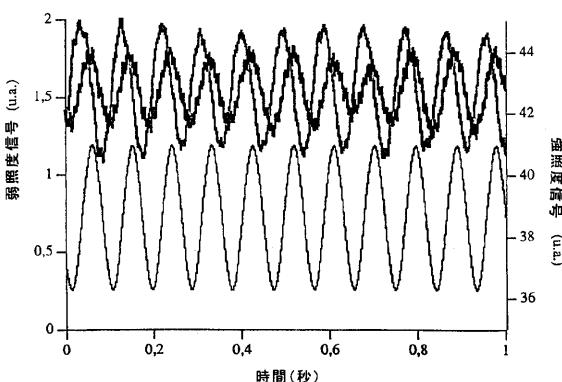
【図2】



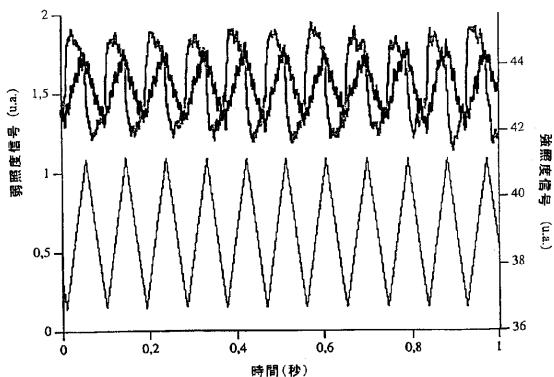
【図3】



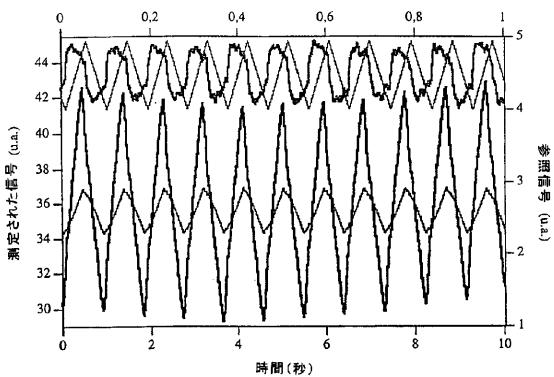
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 ディレイ フィリップ

フランス国、パリ エフ - 75010、ルー ドゥ フォバーグ サン マルチン、257

(72)発明者 ルーゼン ジェラルド

フランス国、ラ セル レス ボルド、エフ - 78720、ルー ドゥ ガイロワール、3

審査官 高 見 重雄

(56)参考文献 国際公開第 97 / 039305 (WO , A1)

特開昭 49 - 135669 (JP , A)

特開昭 57 - 114825 (JP , A)

特開平 04 - 221721 (JP , A)

GEORGES M P ET AL , Real-time stroboscopic holographic interferometry using sillenite crystals for the quantitative analysis of vibrations , OPTICS COMMUNICATIONS , 1998年

1月 1日 , vol. 145, no. 1-6 , page 249-257

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G01H 9/00