

光ヘテロダイン変位計 (HV-400)

極めて微小な変位量を、レーザー光を用いて非接触で計測する装置です。

<< 特徴 >>

その1 1nmの分解能

0.001ミクロンが縦分解能です

計測の基準は周波数安定化HeNeレーザの波長です。その波長は極めて安定化しています。

その2 最短1μsごとに過渡現象を記録

短時間に変動する事象を計測・記録・表示します。

PCのLCD画面上で変動の様子が一目瞭然になります。

その2 最大100万点を記録、データ処理

記録時間を大幅に増加しました。

膨大な記録点数は、すべてPCで処理し、フィルタ処理、エクセル変換等が行えます。

その3 相対計測でベース振動等に基づく誤差要因を排除

測定点を2か所として、その2地点での変位量の相対値を計測します。

相対変動量のみを明確にし、ベース振動成分などの誤差要因を取り除けます。

<< 応用 >>

- ◎PZT、制動鋼板、トランス、磁性材料などの振動解析・応答特性評価 — :m以下の応答・変動を計測
- ◎高分子材料、薄膜、半導体、セラミックスなどのヤング率測定 — 微小圧力・負荷に対する応答を計測
- ◎MD、FD、HD、光ディスク、ブランクスなどの回転動特性評価 — うねりや歪みの回転速度依存性を評価
- ◎LN、合金、鋼材、有機材などでの表面波、超音波伝搬速度測定 — 異方性、内部欠陥検出評価用に
- ◎レーザー露光での空間揺らぎや膜材の音波、超音波での振動成分解析 — サブミクロン世界での変動要因解析
- ◎光ピックアップ、磁気ヘッド(スライダ)の立ち上がり動特性評価 — ベースの取り方により種々の量を計測
- ◎金属、高分子、セラミックの動的熱応答特性 — パルス加熱に対する変動を記録・熱分析
- ◎その他の物理量;圧電係数、熱膨張係数、浸透圧、重力波、物性強度、硬度、衝撃波の過渡現象も計測の対象
- ◎表面粗さ、傷検出、蒸着膜厚、精密加工もリアルタイムで測定
- ◎レーザー測長としても被測定物までの距離が2m程度可(但し分解能を保持するためには50cmまでにしてください)

*** その他の用途は研究者・開発者のアイデア次第です。以下に例を示します。***

《 例1. ヤング率測定装置 》

被測定物に応力を加え、その力による伸張度合いを計測します。応力の加え方として真空装置による方式、ねじによる方式、油圧による方式、天秤による方式などがあります。いずれにせよ、被測定物の真の伸びを計測します。

《 例2 回転体動特性評価装置 》

回転体本体(硝子でも蒸着後でも可)とヘッド、支持物などとの間で計測、回転体が3600rpmでも0.1μsサンプリング時間で計測すれば、0.002度回転ごとにデータを検出します。また、回転体は回転物の中心のピスの締めつけ度合いやその数に強く依存して歪んでいることを当社の実験で確認しています。

《例3 超音波波動特性・材料均一性測定装置》

YAGレーザ（パルス駆動）により発生した超音波の挙動を計測することで材料の特性を評価する。超音波を発生する手段として外部圧力・熱応力・PZT・振動子などがある。これらの発生源との時間的遅れなども観測でき、超音波速度を検出できる。

《例4 熱源振動源の特性評価用素子（被測定物）評価装置》

検出器の特性を評価する装置。熱源振動源のほか化学液噴霧器・流体などがある。2か所の測定で特性の時間遅れをも検出。

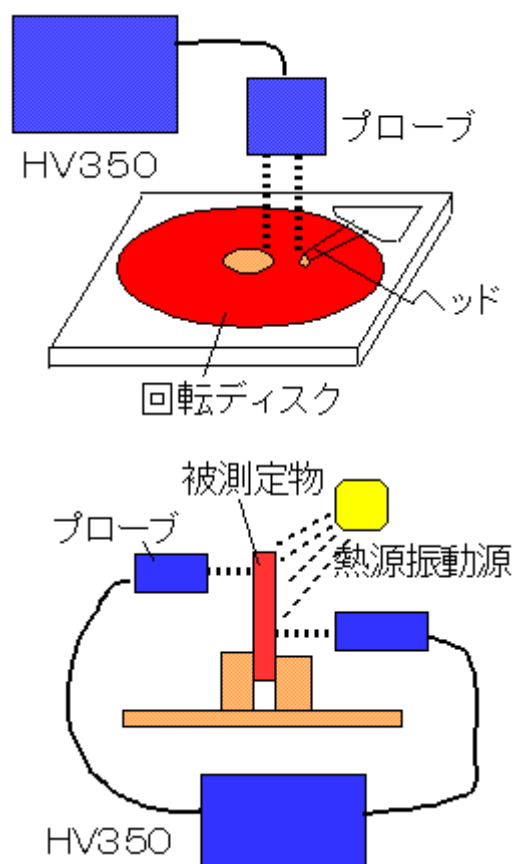
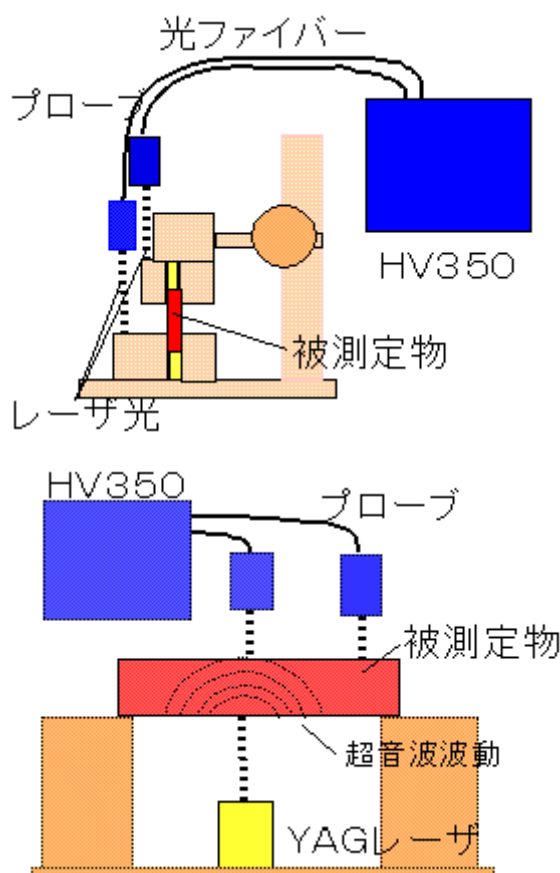
☆ 次の文献もご覧下さい

「薄膜特性評価装置」、95光計測シンポジウム、1995（於横浜パシフィコ）

「光ヘテロダイン方式による相対変位計測」、96光計測シンポジウム、1996（於横浜パシフィコ）

「光ヘテロダイン方式による相対変位計測」、光アライアンス、Vol17, No12, 1996

「Handbook of Optical Metrology」、CRC press, 2009, ISBN;978-0-8493-3760-4,
第10章“Optical Heterodyne Measurement Method”



相対計測とは？

2本のレーザービームが2つの異なる場所の変位を独立に測定しそれらの差（または和）を求める測定方法です。

つまり、ヘテロダイン変位計（HV-350）本体のプローブ先からは2本の測定用レーザー光が出射され、独立な2か所の変位を独立に求めます。HV350では3種類のプローブを用意しています。①2プローブ型、②1プローブ2射出型、③1プローブ1射出型です。用途に応じたプローブを選択してください。

①①① 2プローブ型 ①①①

図1で2プローブ型の基本的概念図を模式的に説明します。2つのプローブ各々から出射された2本のレーザービームが別々の被測定物（1と2）にそれぞれ当てられ、その各々の変動量を独立に求めます。その差（または和）を求め表示出力しています。その差（ま

たは和)の算出は光回路で行っており、ソフト処理によるものではありません。したがって、同時刻性が高い測定になります。この差(または和)の測定は被測定物の見かけの変位がベースの変位に強く依存する場合などに必要不可欠です。(いずれのタイプを選ぶかは当初に決定していただき、方式固定となります)。

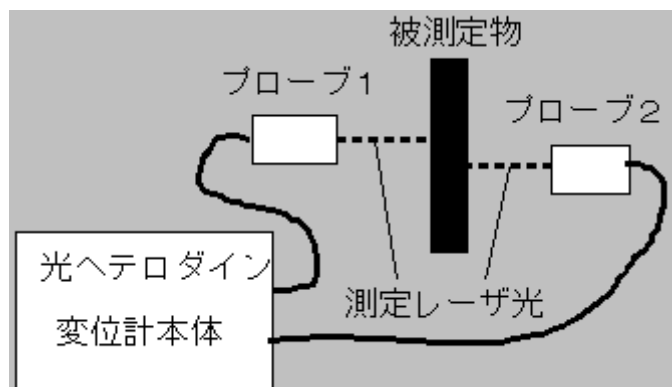


図1 2プローブ型による相対変位測定(和の場合)

図は被測定物の両側より測定している例を示しています。この場合、被測定物が左右に平行振動しただけでは、プローブ1の増加とプローブ2の減少が同じ値になり、変位量の和は一定です。被測定物が歪んだ場合のみ、変位量に変動が現れます。

2プローブ型は本体から2つのプローブが光ファイバーにより接続されています。そして、測定値は各プローブが測定する変位量の差又は和、つまり、

$$\text{測定値} = \text{プローブ1の変位量} - \text{プローブ2の変位量}$$

又は

$$\text{測定値} = \text{プローブ1の変位量} + \text{プローブ2の変位量}$$

の何れかで表示されます。

2プローブ型は2つの測定点を任意に変更できる利点があります。

◎◎◎ 1プローブ2出射型 ◎◎◎

2地点が近接している場合には、1プローブ2出射型が便利です。1プローブ2出射型は1プローブから2本のレーザービームが出射されます。図2に1プローブ2出射型による相対変位測定の概念図を示します。通常、被測定物はベースの上に固定されています。しかし、このベースが必ず、固定されているとは限りません。外部振動要因(空調、騒音、他装置から等)により、ベースは変位しているのです。しかし、被測定物はベースに対して変位しています。これから、被測定物の変位を直接測定しますと、ベースの振動込みの値が得られてしまいます。ベースの振動が無視できない場合には1プローブ2出射型をお使いください。(但し、近接しているとはいえ、同一光軸上の2地点での

計測は被測定物が透明体でない限り無理があります。従って、2地点間距離が半波長に相当する振動周波数成分をベースが有する場合には、2地点間距離を変更するなどの配慮が必要です)。

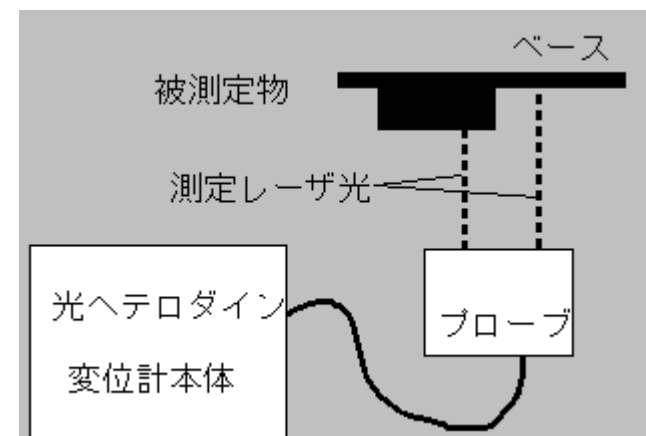


図2 1プローブ2出射型による相対変位測定(差の場合)

図は被測定物がベースの上に載り、上部よりベースと被測定物を別々に測定している例を示しています。この場合、ベースの振動は被測定物を振動させますが、その振動の影響は、プローブ1の増加とプローブ2の増加が同じ値になり、変位量の差は一定となり消すことができます。被測定物が歪んだ場合のみ、変位量に変動が現れます。

測定量は2つのレーザービームが独立に測定する変位量の差、

測定値＝ ビーム1の変位量 － ビーム2の変位量
＝ 被測定物のみかけの変位量 － ベースの変位量

で表されます。

1プローブ1出射型

プローブ内部に基準面を作り、この基準面の変位に対する被測定物の変位量を求める方式が1プローブ1出射型です。この方式はベースの振動が無視できる場合や、2地点の計測を必要としない場合、などでお使いいただけます。図3に概念図を示します。基準面がプローブ内部にありますので、本体とプローブを接続しているファイバーを長くする場合などにおいて、ファイバーにより発生する誤差要因を打ち消すことができます。(本体内に基準面があると、ファイバー内で発生した誤差要因を消すことができず、計測値として認識します)。この利点は上記の1プローブ2出射型でも適用されます。ただ、2プローブ型では2組のプローブ・ファイバーに与える影響が異なる場合、その差異が発生します。これを防ぐためには、できるだけ、プローブを近接させ、2組のファイバーを密接させます。

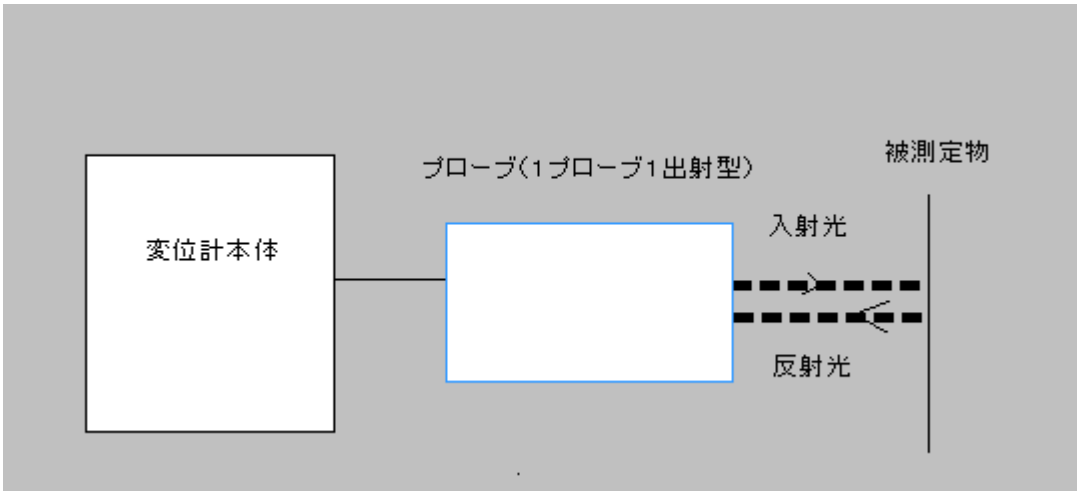


図3 1プローブ1出射型測定概念図

相対計測により、光ヘテロダイン変位計 (HV-400) では真の被測定物の変位を直接に、非接触、高精度で短時間変動を記録して表示・出力します。また、外部にミラーを設置することで2つのビーム出射方向、間隔も設計により変えられます。尚、変位計本体とプローブは金属管で保護された光ファイバーで結合されています。

仕様

優れた特徴を持つ基本的仕様です。

測定方式	光ヘテロダイン計測法
測定モード	リアルモード (実時間計測) ストレージモード (サンプリング時間間隔でデータ記録)
測定量	相対的変位量 (1プローブ2出射、2プローブタイプの場合) 絶対的変位量 (1プローブ1出射タイプの場合)
測定分解能	1 nm
応答周波数	サンプリング時間で異なります。 DC～1 MHz
応答速度	サンプリング時間で異なります。

	0～310mm/s
サンプリング時間	1μs (ストレージモード) 50ms、100ms、200ms、500ms、1sより選択 (リアルモード)
サンプリング点数	ストレージモード; 次の8種より選択 1000k点、750k点、500k点、200k点、100k点、50k点、30k点、20k点、10k点、5k点 リアルモード; 任意点数
計測時間	平均化処理点数とサンプリング時間とサンプリング点数より決まる 計測時間＝サンプリング時間×サンプリング点数×平均化処理点数
平均化処理点数	ストレージモード; 次の13種より選択 平均化なし、2点、4点、8点、16点、32点、64点、128点、256点、512点、1024点、2048点、4096点 リアルモード; サンプリング時間の約4割時間で平均化
使用レーザ	周波数安定化HeNeレーザ (FS1M)
出射光量	100μW以上
出射ビーム数	1 (1出射タイプ) 2 (2出射タイプ)
出射ビーム径	出射口にて約0.5mm
出射ビーム拡がり	1.5mrad以下
光周波数制御	周波数シフター (FS1S)
測定対象物反射率	0.5%以上 (条件; プローブ被測定物間距離20cm、被測定物鏡面)。集光系により、距離が短くなれば測定可能な反射率は下がります。
測定開始方法	次のいずれかにより測定が開始されます。 ①PC画面上の測定開始ボタンを押す ②フロントパネル上の“MEAS”BNC端子に信号を送る
記録開始方法	次のいずれかにより記録が開始されます。終了は自動的です。 ①PC画面上の記録開始ボタンを押す ②フロントパネル上の“MEM”BNC端子に信号を送る
デジタル出力、記録出力	ストレージモード; 指定ファイル名に記録、PC画面上に表示 リアルモード; 指定ファイル名に記録、PC画面上に表示 記録データはPC上に C:\測定者名\日付\指定ファイル名 で記録されます。“測定者名”、“指定ファイル名”、は操作途上で指定要求があります。 記録されたデータは、別のプログラムにより再度見ることができます。また、エクセル変換により、エクセル表示することができます。
操作およびデータ表示	PC画面上に、すべての操作およびデータが表示されます。 PC測定画面上には以下の操作を選択もしくは数字入力して作業を進めます。 繰り返し測定の有無、繰り返し測定時の再スタート選択 (自動スタート、手動スタート)、自動再スタート時の休憩時間、データ記録時の作業名・保存ファイル名、エクセル変換時のメモ・保存ファイル名、平均化操作の選択 (平均しない、単純平均)、平均の対象個数

	リアルモード時の変位量がリアルタイムで、別途のLEDボード上でLED表示されます。
データ操作および解析 (オプション)	平均化操作、フィルター操作、FFT解析、過渡現象変化解析、エクセルデータへの変換。 データ保存量はPCのHDDの容量で決まる。(1データは4バイト必要。1000k点求めた場合、4Mバイト容量が必要。)
プローブ	次の3つの型から一つ選択 1プローブ2射出型 1プローブ1射出型 2プローブ2射出型 丸型標準品40×100L、角型標準品38W×38H×95D *** プローブ形状・寸法は打ち合わせによる ***
集光系	オプションとして以下の集光系があります ①市販のCCTVレンズ (ユーザの手配部品) とアタッチメントの組み合わせ ②弊社製集光系 *** 詳細は打ち合わせによる ***
金属保護管	標準2m (～4m程度まで変更可)
弊社製光部品組込部品	周波数安定化HeNeレーザー式 (FS1M)・周波数シフトドライバース式 (FS1S)・ファイバコリメータ (HV-FC、LFC) (定偏波、シングルモード、マルチモード各ファイバー)・大口径集光系・変位計用小型ステージ (HV-OS)
外形	430mm (W) × 460mm (D) × 230mm (H) ; 本体、重量15kg
ウォームアップ	45分
使用環境温度	20±5℃
消費電力	AC100V・50/60Hz, 400W (本体)

< 保守交換部品 >

周波数安定化HeNeレーザー — 3000h経過時

光ファイバー — 破損時

< プローブの設計 >

測定対象や測定手段などはプローブの形状やその測定方法を変えることで、より正確に測定できます。

測定環境など諸条件により、プローブを選択し、設計いたします。使用環境にマッチしたプローブにします。設計内容に関しては、打ち合わせの際検討させていただきます。

< オプション >

プローブに取り付ける集光系及びそのアタッチメントはオプションです。また、特定用途向けの計測方式、多点計測、光学回路、集光系、処理方式、プログラムも開発します。ご相談下さい。

<< 変位計外観 >>

HV400は本体のほか、PC (2LCD型) から構成されます。

PC画面上で様々な操作を行います。2つのLCDを用いて、解析・表示をします。

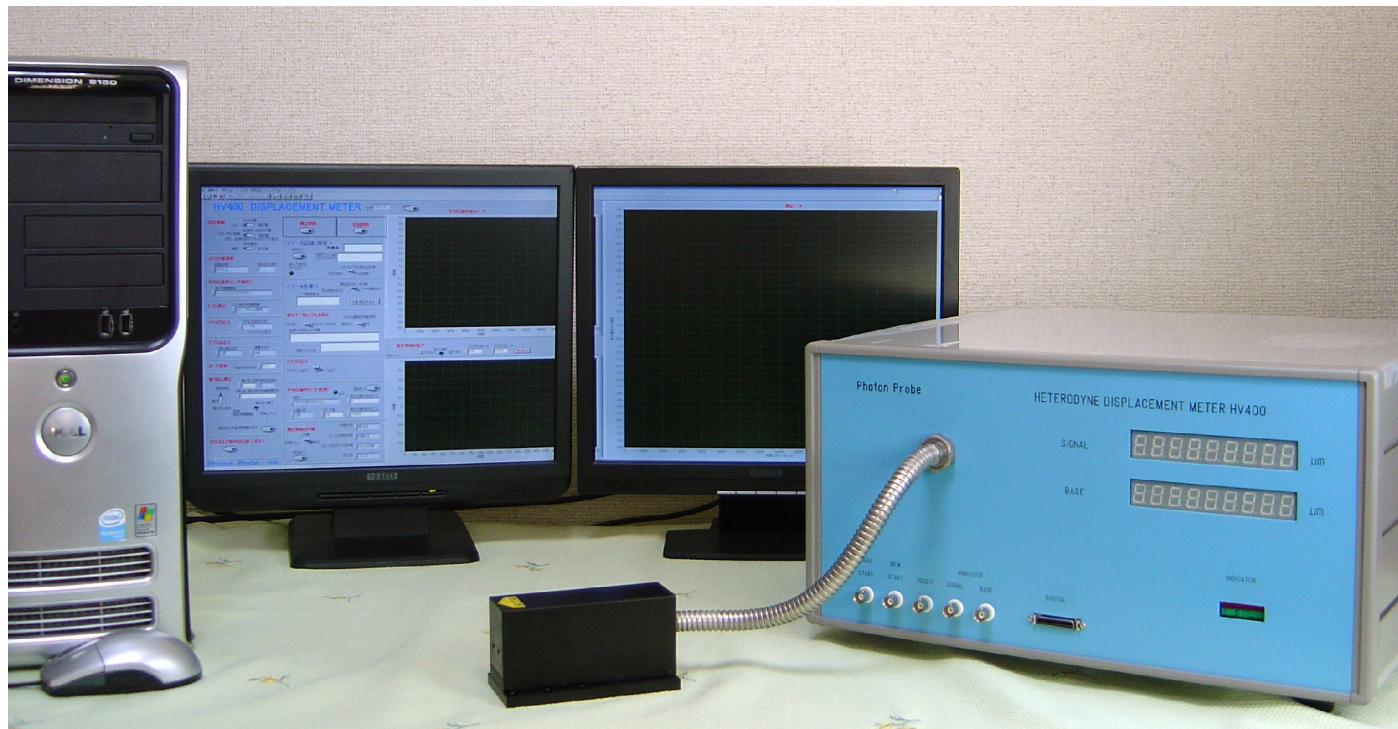


写真1 HV400外観写真

金属管が非常に短い場合の例ですが、通常は2m長さです。フロントパネルの5つのBNCは、測定開始入力端子・記録開始入力端子・リセット入力端子・“SIGNAL”アナログ出力端子・“BASE”アナログ出力端子、です。

デジタル出力 (パラレル) 端子もあります。(特性向上のため、断りなく、構成を変更する場合があります)

<< プローブ外観 (例) >>

★★ 1プローブ2出射型 (丸型) ★★

小型化した丸型タイプです。大きさは30×90Lです。平行ビーム間距離は7mmです。このタイプでは集光系を直接取り付けられませんが、外部に光学系を取り入れることで可能になります。プローブにシャッターはありません。

(1プローブ1出射型も同一外観で作成できます。)



—写真2 1プローブ2出射プローブ (丸型) の例

★★ 1プローブ1出射型 (角型) ★★

写真3の例は1プローブから1本のレーザー光を出射するタイプです。大きさは115×30×30 (集光系部分を除く) の例です。集光系は市販のCCTVレンズ (アタッチメントが必要です) を利用しています。プローブとCCTVレンズのアタッチメントはオプションです。



写真3 1プローブ1出射型プローブ(角型)の例

☆☆

プローブに関しては、測定環境等を考慮して打合せの後、決定させていただきます。

*** 打合せにおいて、決定される事項 ***

出射数、出射方向、外観形状(角型、丸形)、外観寸法、集光系の種類・アタッチメント、ベース取り付けネジ穴数・位置、ベース・カバー材質、等、1プローブ2出射型の場合; 2ビーム間隔、2ビーム出射方向(平行光又は角度光)

<< 機能概要 >>

1. PCによるデータ収集、変位量表示

<リアルモードの場合>

デジタル出力。データはリアルタイムでPC上に記録されます。またLEDボード上でLEDにより表示されます。

<ストレージモードの場合>

最大1000k点のデータがPCで収集されます。収集されたデータを様々な解析し、表示し、変換します。

計測データはリアルモードとストレージモードの2種の方法により取得できます。PCのLCD上に変位量の時間関数の形で表示し、そのデータをデジタル出力します。表示及び転送されるデータは変位量です。オプションとして、出力データを変位量及び速度とすることもできます。

<リアルモードの場合>

被測定物の変位量の測定データ値を、2種の方法で表示します。

- ① 測定終了後に一括して、PC画面上に、変位量を時間の関数として(nm単位)で表示します。
- ② 計測の際の変動は、LEDボード上のLEDにより時々刻々示されます。

<ストレージモードの場合>

一定の時間間隔(サンプリング時間)でサンプリング点数のデータを取り込んだ後、変位量の時間変動をPC画面上にグラフ表示します。(サンプリング時間でサンプリング点数が異なりますのでご注意ください)。ファイル名を付けてのデータ記録の際などには画面上に設定手順が示されますのでその手順に従ってください。

2. サンプリング時間、出力時間間隔、測定時間

<リアルモードの場合>

次の出力時間間隔から選択します。50ms、100ms、200ms、500ms、1s。1秒以上はオプションとして設定することができます。測定時間は、出力時間間隔に測定点数をかけた値となります。サンプリング時間は、ストレージモードと同様に1μsです。出力時間間隔に対応して、平均化点数を自動的に選んでいます。平均化点数は選択できません。

<ストレージモードの場合>

本装置のサンプリング時間は1μsで固定です。指定された平均化点数だけの点数の平均値を、出力時間間隔でのデータとします。(1μsごとにデータを得ますが、平均化点数を16点とすれば、16μs(=出力時間間隔)毎に、測定値として出力します。測

定点数をNとして指定すれば、計測時間は、 $16N\mu s$ となります)

平均化処理を行い、測定点数だけ連続計測しますので、全測定時間は

$$\text{測定時間} = 1\mu s \times \text{測定点数} \times \text{平均化点数}$$

で与えられます。例として、測定点数=5k点の場合で平均なしの場合、出力時間間隔=1 μs 、測定時間=5ms、です。また測定点数=1000k点で平均化点数=4096点の場合、出力時間間隔=4096 μs 、測定時間=4096s>1hとなります。被測定対象物の運動に合わせて選択してください。このサンプリング時間によって、測定可能な最大周波数・最大速度、すなわち応答周波数、応答速度が変わりますのでご注意ください。<<応答速度について>>もご参照ください。

3. データ平均化

測定データ値はノイズを含みます。ローパスフィルタの挿入や、データ平滑化はその高周波成分を排除して滑らかなデータ変化にする機能です。本装置でのデータ値の平滑化は複数サンプル点の移動平均値によりデータ表示します(単純移動平均化法)。データ特性により13種類の平均化点数より選択してください。平均化されたデータがFFT解析やデータ記録の対象となります。

詳細は<<平均化処理について>>をご覧ください。

4. アナログ出力(オプション)

計測データ値をアナログ電圧に変換してプロッタやオシロスコープに出力します。フロントパネル上のBNC端子を用います。変位量と速度のいずれかの出力を選択できます。出力電圧も4種のAMP率(1nmを1mV出力、10nmを1mV出力、100nmを1mV出力、1 μm を1mV出力)で切り替えられます。但し、-2.5V~+2.5Vの電圧範囲です。選択切り替えはPC測定画面上の選択によります。

5. デジタル出力

リアルモードでの計測データ値をフロントパネルのコネクタより、24ビットデータとして出力されます。AMPは、nm以下の数字の表現ビット数で選択します。出力に対して同期信号は、同じコネクタから出力されます。

1 μs に1データですので、高速の信号処理ボードをご利用ください。

6. データ記録

リアルモード及びストレージモードにより得られたデータをPC上に表示します。ユーザによる測定者名、ファイル名指定により記録されます。記録ファイル名は次のようになります。

C:\測定者名\日付\指定ファイル名

この記録されたデータ(LabViewソフトによる記録)を用いて解析等を行ってください。このファイルをエクセルデータに変換できます。他の記録媒体へデータをコピーすることも可能です。

7. 測定開始と記録開始

ストレージモードの場合、計測のスタート時刻と記録のスタート時刻は等しくありません。どちらもユーザにより開始します。

特に記録開始信号を付加した後の計測時間が記録対象です。

計測の開始は、①PC画面上の“測定開始”ボタンを押す、②フロントパネル上の“MEAS”BNC端子に信号を加える、のいずれかによります。記録の開始は、①PC画面上の“記録開始”ボタンを押す、②フロントパネル上の“MEM”BNC端子に信号を加える、のいずれかによります。

8. プローブ

プローブは本体と光ファイバーで結ばれ、被測定対象物へ測定光を出射します。

プローブはプローブ数により、次のタイプに別れます。

(1) 1プローブタイプ

(2) 2プローブタイプ

また1プローブタイプはレーザ出射本数により、次のタイプに別れます。

(1) 1出射型

(2) 2出射型

2プローブタイプは各プローブから各1本出射されます。プローブのタイプの選択は相対計測する際の基本ですから、タイプの選択には注意下さい。プローブは用途により設計から始めます。

プローブと本体間は光ファイバーで結ばれています。金属管で保護していますが、無理な力を加えないでください。光ファイバーの破損につながります。外部からは破損状態は認識できません。

光ファイバーの長さは標準では2mです。オプションとして、光ファイバーの長さを変えることができます。しかし、光ファイバーの性能(12dB/kmの損失)上、プローブ本体間は100m以内に抑えてください。

9. 周波数安定HeNeレーザ

精密な測定を継続して行うためには、“ものさし”が正確でなくてはなりません。本測定器ではその“ものさし”として周波数安定化HeNeレーザを使用しています。このレーザも当社の製品(型格FS1M)です。本装置のレーザの周波数(f)の安定度(3F)はおおむね

$$\Delta f/f \sim 5 \times 10^{-9}$$

です。

また、光ヘテロダイン計測においては、この揺らぎの最大値と最小値で伝搬する場合を考えていただくと、分解能を保つためのレーザ出射口と被測定物間距離Lに制約があることが知れると思います。最大波長は、 $c/(f - \Delta f/2)$ 、最小波長を、 $c/(f + \Delta f/2)$ 、とすると、Lの距離ではN回振動します。このN回後に長さのずれがどの程度あるかが問題となります。

$$\text{長さのずれ} = cN/(f - \Delta f/2) - cN/(f + \Delta f/2) \cdot \lambda N \times \Delta f/f = L \times \Delta f/f$$

これより、長さのずれを1nmとする(1nm分解能を保つ)ためには

$$\sim 0.2 \text{ m}$$

以下の距離にプローブ被測定物間距離を設定してください。

周波数安定化レーザと同様に光周波数を制御する装置として、周波数シフタがあります。この周波数シフタも弊社の製品(型格FS1S)です。

光回路を検討される際は、光周波数の安定性に注意を払ってください。

尚、周波数安定化HeNeレーザは消耗品であり、約3000時間で安定動作しなくなります。その際は交換して下さい。安定動作しなくなる症状は、①光量が減少(ゆっくりと減少しますので気づきにくい)、②測定値のノイズが増加する、③測定値が安定せず、長周期の繰り返し成分が現れる。などです。

但し、スイッチを入れた後、レーザが安定するまで光量が変動しますが、これは正常動作です。安定するまで、約40分間計測を始めてください。(リアパネルにレーザが安定したことを示すLED(LOCK)があります。このランプの点灯後お使いください)。この時間経過前に、画面上に数字が示されますが、ノイズが大きいため、測定値は保証の限りではありません。周波数安定化レーザが正常動作した後お使いください。波長の絶対値よりも波長のふらつきの方が光測定では問題になることを、HeNeヘテロダイン光源の項<光周波数の絶対値よりもふらつきの小さいことが必要な理由>で説明しました。そちらもお読みください。

10. PC制御

計測の際のすべての選択はPC上で行います。また記録保存・解析等のデータ処理もPCで行います。

1台のLCDでは画面の大きさ上、処理し切れませんので、2台のLCDを用いて、選択・処理を行います。

11. オプション

集光系、アタッチメント、干渉系、顕微鏡、ステージ、取り付け治具などプローブの性能を高める光学部材・装置や、データ処理のための記録装置、ソフトなど広範囲にわたります。

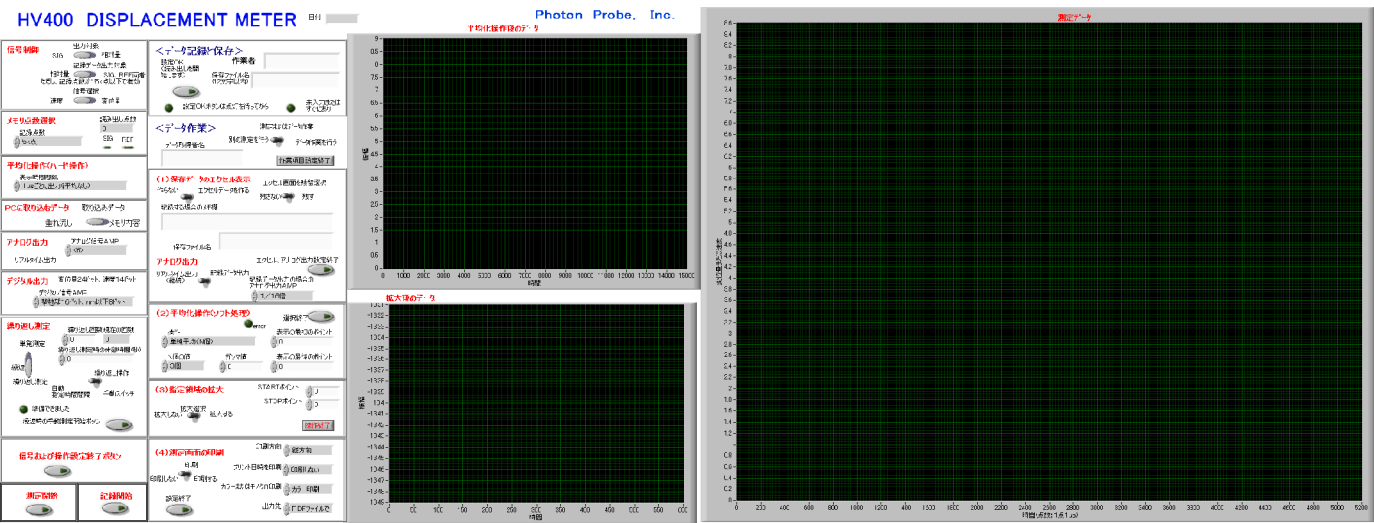
<< PC測定画面 >>

<条件の選択・入力>入力可能な項目のみ示します。

測定時間間隔	《リアルモード》 50ms、100ms、200ms、500ms、1s、より選択 《ストレージモード》 直接選択ではなく、以下の計算による。測定時間間隔＝1μs×平均化処理点数
記録点数	《リアルモード》 制限なし。記録点数を直接数字入力。 《ストレージモード》 5k、10k、20k、30k、50k、100k、200k、500k、750k、1000k点より選択
平均化処理点数	《ストレージモード》 平均せず(1点)、2点、4点、8点、16点、32点、64点、128点、256点、512点、1024点、2048点、4096点から選択
相対量の出力・記録	《ストレージモード》 記録点数が5k、10k点の場合、相対量を記録するか、SIGNALデータとREFERENCEデータの両者を記録するか選択できる。 上記以外の記録点数では相対量のみ記録対象となる。
記録点数	5k、10k、20k、30k、100k、200k、600k、1000k点より選択
アナログAMP率 (オプション)	×10、×1、×1/10、×1/100、より選択
デジタルAMP率	nm以下の表現ビット数で選択。2ビット、4ビット、6ビット、8ビット、から選択。
データ記録	作業者名、ファイル名、を入力してフォルダ名、ファイル名を確定します。

<表示・解析・変換>

エクセル変換	行う/行わない、の選択。
エクセル変換を行う場合	メモ、保存ファイル名の入力。



PC測定画面 (LCD2台で表示) 例 (特性向上のため、選択画面は、断りなく、修正させていただくことがあります)

<< FFT解析について(オプション) >>

FFT (高速フーリエ) 解析とはデータ列に対し、そのスペクトル成分を高速に求めることです。

本装置では、一定時間間隔 (サンプリング時間) J毎に変位量を求めています。この変位量がどの様な周波数で変動しているかを求める解析を行います。つまり、横軸に周波数、縦軸に振動強度としてグラフで表現されます。

サンプリング時間以上に高速に変動する事象は測定できません。従って、FFT解析のグラフ (パワースペクトルのグラフ) の周波数の上限はサンプリング時間の逆数 ($1\mu\text{s}$ のサンプリング時間では 1MHz) となります。また、その値まで連続的に周波数は値をとることも出来ません。なぜなら、通常の測定は有限時間だからです。そしてサンプリング定理は周波数帯域 (たとえば $1\mu\text{s}$ のサンプリング時間では 0.5MHz) がサンプリング時間で決まることを与えます。

また、この測定時間 (測定点数がN点の場合、 $N \times J$ となります) の逆数が、一般に、周波数の分解能 (不連続な解析点の周波数差) になります。本装置での特性を一覧します。

サンプリング時間	周波数帯域	周波数分解能
$1\mu\text{s}$	500kHz	83Hz

周波数帯域はサンプリング定理に基づきます。周波数分解能はサンプリング時間×サンプリング点数の逆数です。

本装置のFFT解析では、有限時間測定での弊害を防ぐため、ハニング窓等を利用しました。この方法により、真の振動が鋭い周波数を有していても、その周波数近傍にみかけのパワースペクトルが分布発生します。ピークの裾の部分を除く方法として最大エントロピー法もありますが、この方法も欠点があり、現在としては、ハニング窓を用いるのが最適と思われる本装置では採用しています。

<< 平均化処理について >>

本装置で得られるデータは様々な雑音を有しています。本装置で得られる雑音の種類は次のように推測できます。

1. 被測定物からの反射光の周波数揺らぎ (ドップラー効果) に基づく雑音
2. 被測定物表面が凹凸を有するがゆえに反射光の光路長に分布が生じることに基づく雑音
3. 電気信号処理系において発生する雑音

このいずれも、隣り合うデータ間の相関は弱くホワイトノイズと考えられます。この特性に基づき、雑音部分を除く方法、平滑化方法として、移動平均法の内、単純移動平均法、他、重み付け平均法を本装置は採用しています。(ちなみに、雑音除去法として種々な方法 (移動平均法、周波数領域法、積算平均化法) が知られています。積算平均化法は本装置の短時間計測の過渡応答計測と高精度より、本装置では採用しておりません。周波数領域法は別に述べますFFT解析において雑音を含んだ解析として表示できます。)

<リアルモード>

デジタル出力では平均化をせず、 $1\mu\text{s}$ に1データを出力しています。

<ストレージモード>

ストレージモードでは3種の方法から選択できます。①平均せず、②単純平均、③重み付け平均、です。単純平均法は最も単純な方法で、ある時刻のデータをその前後の合計Nデータの平均で置き換える方法です。前後の平滑化に使われる点数により平滑化度合いが異なってきます。また平滑化に伴い高周波成分は失われます。重み付け平均は、ある時刻のデータを平均で置き換える際、その時刻より遠い時刻でのデータは小さな因子をかけ、近い時刻のデータは大きな因子を掛けて、和を求める方法です。

単純移動平均法では雑音の性質で大きくその特性が異なります。「隣り合うデータ間で相関がない」場合に近いほど、平滑化の効果が明確にでます。この方法の採用はあくまでも本装置で得られるデータの特質に基づきます。測定条件・環境では、重み付け平均法が有効になる場合もあります。

<< 応答速度について >>

ヘテロダイン変位計では次の欠点があります。

”隣り合う測定時間間隔内に波長の半分以上の変位量変動があった場合、その変位量は半波長の整数倍だけ不定になる”

これはサンプリング時間間隔内にある程度以上の速度で移動する物体の変位量を正確には計測出来ないことを意味します。

この方式により、サンプリング時間に対する計測可能な最大速度が決まります。サンプリング時間間隔計測可能な最大速度は次のとおりです。

$$\text{サンプリング時間} = 1 \text{ } \mu\text{s} \quad \rightarrow \quad \text{測定可能な最大速度} = 316 \text{ mm/s}$$

<< 変位計プローブ用集光系について >>

プローブ先端部に集光系を取り付けることで、被測定物からの反射光をより多く集光することが出来ます。

集光系として、次の2タイプから選択できます。(注意:必ずしも集光系は必要ではありません。)

1. 市販のCCTVレンズ(Cマウント)使用
2. 弊社製集光系(非球面レンズを用いた集光系)

CCTVレンズをご使用になる場合、プローブからの出射光が平行光のため、プローブとCCTVレンズの間にアタッチメントが必要です。プローブ形状・用途に合わせてお選びください。

また弊社にて、アタッチメントを含めユーザーの希望の形状等を設計いたします。

<< 操作・表示について >>

プローブより出射した光を被測定面に入射させ、被測定面からの反射光を、再び、プローブで検出することが測定のための必須条件です。従って、被測定面からの反射光がプローブに戻るよう光学系・被測定物を調整しなければなりません。この調整は以下の要件により変動します。被測定物種類、その反射率、被測定物の動き、被測定物までの距離、被測定物の支持方法、等です。これらの条件がどの様に影響を与えるかを説明します。

★被測定物種類；

測定用レーザ光が入射する面の状態は、凹凸性、粗さ、うねり、透明性、コートの有無、等で表現できます。表面状態を把握してください。表面散乱が大きい粗面では、プローブに再び戻る光量が減少し、測定できないことがあります。しかし、表面が荒れていても、プローブに戻り得るキャットアイ等の構造を有していれば測定には向いています。この条件に適したものとして、反射テープ等が販売されています。

参考 反射テープ ； 3M社製 反射テープ、反射材

透明性は次の反射率とも絡んできます。コートがある場合において、コートの上面と下面で同程度に反射する場合、誤差を発生するかもしれません。つまり、コート厚が薄く、被測定物の動きが激しい場合には、測定値に誤りが発生するかもしれません。

★被測定物の反射率；

通常反射率は表面からの反射光量の全量を基準にする場合が多く、本装置のように戻り光量を扱う際には、反射率の一言では表現できません。被測定物からの反射光の指向性を考慮して反射率を検討しなければなりません。研磨されたコートなしガラス(通常、反射率4%)では測定できますが、これは、反射光の指向性が高いからに他なりません。(この程度の指向性を有すれば、レーザパワーを上げることで、0.2%の反射率でも測定できます)。当然、反射面形状、曲率半径も影響します。

★被測定物の動き；

プローブへの反射光量が被測定物の動きに合わせて変動しますが、この光量変動は本装置の光検出回路においてカバーできます。しかしながら、被測定物の大きな動きにより、反射光量がほとんど得られなければ、測定はエラーとなります。反射光量が、被測定物の動きによって、どの程度確保できるかを検討しなければなりません。

★被測定物までの距離；

プローブからの光はコリメート光(集光系を取り付ける場合は特定距離で焦点を結びます)ですので、基本的には遠方でも十分計測出来ます。しかしながら、遠方ですと光が往復する時間(3mで0.01 μ s)内のレーザ光の周波数の揺らぎが問題となります。本装置では)8/8~0.00000

0.01以下ですが、1nmの精度を得るためには、プローブ先端から被測定物までを50cm程度を限界としてください。ちなみに実力的には7m先でも測ることは出来ます(結果の精度は保証できませんが)。

★被測定物の支持方法;

プローブと被測定物の上下左右の関係は自由です。プローブはしっかりと台の上に固定してください。定盤のように外部の振動を除去できる台が最も好ましいです。出射方向に合わせて、被測定物を設置するわけですが、被測定物の測定面を任意に変えられるように、種々のステージを使ってください。X、Y、Z軸ステージ、回転ステージ、アオリ2軸ステージ等の上に被測定物を固定してください。被測定物にステージ等が取り付けられない場合は、プローブ側にアオリステージ等を取り付けてください。本装置のプローブは剛性を高めるため、厚い基板の上に干渉系が構成されています。

”光で物理量を高精度に計測”

??? 一回休憩 (徒然に) ???

Q: nmは原子のオーダー。変位計は原子を見ているのか?

A: 光が試料に入射した際の応答はミクロスケールで議論する場合とマクロで議論する場合では少し異なります。マクロでの議論の場合、幾何光学で示される屈折率や光線が中心になります。この場合、白色光線でもコヒーレント光線でも大差はありません。ミクロでの議論の場合、物理光学(波動光学)で示される電磁波としての扱いが取り入れられ、干渉・回折などが説明されます。しかしここまでだと、nmオーダーでの原子と電磁波である光がどのように関与するのかわかりません。物質の性質(物性)を考慮して初めて光と物質との関わりが理解できます。物質は数多くの分子から構成されています。そして分子は様々な種類の数多くの原子が複雑に絡み合っている。電子はもともと原子に束縛されていたのですが、分子構造や、結晶構造、物質全体での分子配置により、ほかの原子から影響を受け、分子内をうろついたり、場合によっては物質全体をうろつくことになります。しかし、電子の行動を決めているのはそのエネルギーです。逆に分子や結晶などは電子の運動を決めてしまうエネルギー順位を独自に作っています。あるエネルギー順位を持っている物質にある波長の光が入射された場合、光のエネルギーをもらって、電子はその運動を速めるか、もういちだん高いエネルギーを持つ運動に切り替えます。後者の場合は特定の波長のみ許されます。外部からは、光が吸収されると観測されます。前者の場合も後者の場合も、その電子が不安定ならば、安定になろうとして、余分なエネルギーを放出します。エネルギーの放出方法は様々ありますが、一つとして、光の形で放出します。後者の場合、入射波長と出射波長は異なる場合がありますが、前者の場合同じになります。試料の中では、たくさんの電子が同じように反応します。その電子の位置はバラバラです。バラバラに位置から放出された光のトータルは干渉の効果があって、特定方向のみが強められます。これが、透過や反射につながります。(もちろん吸収もありますが、ここでは簡便にしました)

変位計はこの反射を観測します。通常使われる”表面”と、光が反射する”面”は異なっている事がおわかりかと思います。後者の面は、多くの電子からの反射が作り出す結果としてのトータルの仮想の面なのです。しかし、この仮想の面は、物質の温度や応力など物質そのものが変化しない限り変わるものではありません。(また、応力でこの仮想の面を変化させるためには、何百トンもの力がなくてはなりません)。したがって、この仮想の面はミクロを考察して想定できるものですが、マクロからは通常の”表面”と認識してなんら問題はありません。これがマクロ的に移動する試料がnmで変位することを議論できる理由です。

お問い合わせは

株式会社フotonプローブ