



Title	ホログラフィによる水晶振動子の振動状態の測定
Author(s)	菅野, 芳章; Kanno, Yoshiaki; 小川, 吉彦 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 109, 13-20
Issue Date	1982-07-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41728
Type	departmental bulletin paper
File Information	109_13-20.pdf



ホログラフィによる水晶振動子の振動状態の測定

菅野芳章* 小川吉彦** 黒部貞一**
(昭和57年3月31日受理)

Measurement of Quartz Crystal Resonator's Vibration by Laser Holographic Interferometer

Yoshiaki KANNO, Yoshihiko OGAWA and Teiichi KUROBE
(Received March 31, 1982)

Abstract

In the industrial application of laser holographic interferometer for quartz crystal resonators, an inexpensive and compact measuring system is required. For the purpose of developing such a measuring system, we carried out experiments on the fundamental problems using time average method and the stroboscopic method. A random mode laser can be used as the source of the measuring system for the detection of the distribution of interference fringes on the surface of the measured object, but the resulting reconstruction image is somewhat blurred. This indicates at the same time that the system can be constructed inexpensively. In the stroboscopic method, it is possible to extend the exposing light pulsewidth to 1/10 of the vibrational period for the vibrational amplitude corresponding to multiple fringes. The extension of pulsewidth enables the use of a low power laser. This leads to an inexpensive and small size system. Displacement of the resonator surface was measured with respect to the vibrational phase.

1. ま え が き

水晶振動子を生産する側からいえば、振動子の振動状態を可視的に観測できることは、たいへんに望ましいことである。しかも、その装置は安価で、コンパクトで、かつ取扱いの容易なものであることが望ましい。可視観測可能な方法として第一に考えられるのはホログラフィであるが¹⁾、この方法で上述の条件を満足しうるか否かを調べるのが本研究の動機である。本報告では、その基礎となるいくつかの実験結果を述べてあり、主な内容は以下の通りである。

(1) 装置の安価性を考えると He-Ne レーザ光源としてはランダムモードのものを使用することが好ましい。この種の光源の使用可能性を検討している。

(2) 振動状態の測定法としては、時間平均法²⁾よりストロボ法³⁾の方が優れていることを示して

*東洋通信機㈱工学院大学修士課程修了

**電子工学科 電子回路工学講座

ある。

(3) ストロボ法の場合、高速でかつデューティ比を極めて小さくできる光パルス変調器が必要である。この種の変調器として、最近、超音波光変調器(AO変調器)が市販されている。これを使用した場合、レーザ光の波面を乱すことがなく干渉パターンを実現できるか否かを検討した。この変調器は極めて小型なので、装置のコンパクト性からは有利である。

(4) ストロボ法は、光パルスの発生時刻を変えることにより、振動子の一周期にわたる種々の振動状況を検出できる有利性がある。本報告でもこのことを報告してあるが、この複数個の再生像を振幅の大きさに対応する電気信号に変換してマイコン処理で動く画像として表示する方法を考えれば、極めて有用な装置となるであろう。

2. 実 験

2.1 測定系

図1に測定系の構成を示す。光源のHe-Neレーザは波長 $0.633\mu\text{m}$ 、単一モードでは出力26mWのものである。レーザ発振器とビームスプリッタの間に挿入されたAO変調器により、ストロボ法の測定時に水晶振動子の振動に同期したパルスでホログラフィ系への入射ビームを断続し、時間平均法ではAO変調器を直流で連続駆動して用いる。ホログラフィ系はイメージホログラフィであり、ホログラムフィルムへの集光と再生像の拡大を目的としている。結像レンズ L_1 はNIKKOR-S, F:1.4, $f=50\text{mm}$ を用い、ホログラム上に5倍の拡大率で結像している。

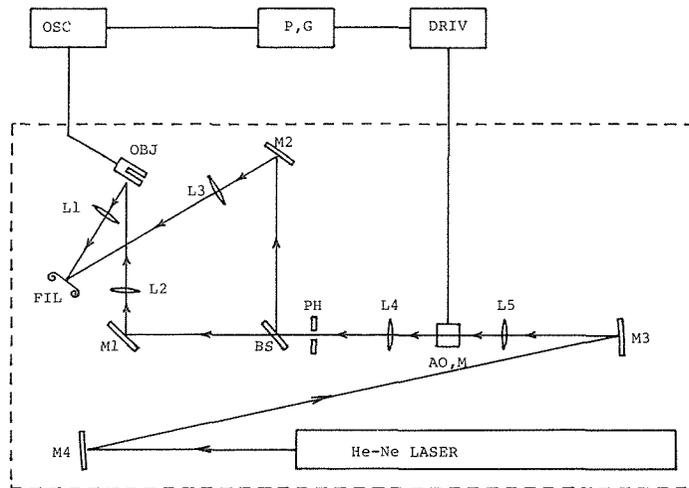


図-1 測定系の構成

水晶振動子の被測定面はホログラムと平行に配置し、ビーム拡大レンズ L_2 を通った照明光の被測定面に対する入射角は30度である。

被測定水晶振動子は水晶発振回路内の発振子として励振され、発振回路の電源電圧を変えることにより水晶振動子への印加電圧を調整する。また、発振回路の出力はAO変調器を駆動するパルス発生器のトリガーとして用いる。

図2に測定した水晶振動子の外形を示す。この振動子は音叉形のXカットXY屈曲振動子であ

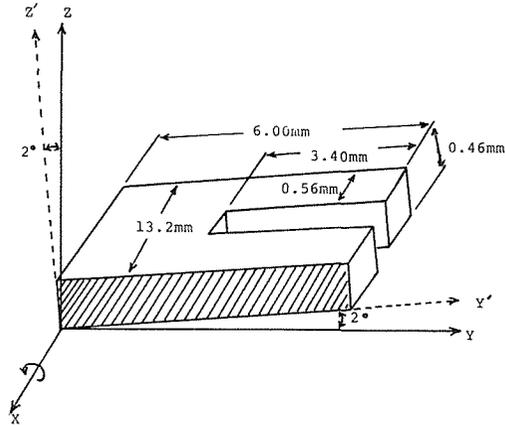


図-2 音叉形水晶振動子の外形

り、変位の方向はXY面内にある⁴⁾。また、共振周波数は32.768 KHzである。

2.2 時間平均法による測定

時間平均法はホログラフィによる振動測定の中で最も簡単な方法であり、振動している物体のホログラムを作成するだけで良い。振動周期が露光時間に比べ十分短く、振動が正弦振動であれば振動物体の任意の位置 x に対応する再生像の光強度 $I(x)$ は次式で表わされる。

$$I(x) = A J_0^2 \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} (\cos\theta_1 + \cos\theta_2) a(x) \right\} \quad (1)$$

ここで λ は波長、 $a(x)$ は物体の位置 x での振動の振幅、 θ_1 は振動方向と照明光のなす角、 θ_2 は振動方向と物体光のなす角、 A は定数である。

測定は水晶振動子への印加電圧を変えながら行った。

なお、ランダムモードレーザ光源を使用できれば測定系は安価になる。このため、この種の光源により作成したホログラムの再生像の画質を調べるため、出力0.5 mWのランダムモード He-Ne レーザを用いて実験を行った。この結果と、露光時間の違いによる測定系の振動等の影響を避けるため2.1で述べた単モードレーザの出力を減衰フィルターで1/40に落して露光したホログラムを比較した。

2.3 ストロボ法による測定

ストロボ法では周期的振動物体を1周期内の2点で、振動周期に同期して露光する。露光する2点の時刻で物体表面に $b(x)$ の位置の差が生じれば再生像の光強度 $I(x)$ は次式で表わされる。

$$I(x) = A \cos^2 \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} (\cos\theta_1 + \cos\theta_2) b(x) \right\} \quad (2)$$

測定は水晶振動子への印加電圧を変えながら行った。このとき、露光を行う2点は振幅が最大、最小になる点とした。露光パルス幅は $0.5 \mu\text{s}$ であり1周期の1/60の時間となる。

また、水晶振動子への印加電圧を一定にして露光を行う位相を変え、位相に対する振動状態を測定した。露光パルス間隔は1/2周期に固定し、パルス列と水晶発振器の出力波形の位相を変えながらホログラム作成を行った。

さらに、露光パルス幅の再成像に対する影響を見るため、印加電圧および位相を一定とし露光パルス幅を1/50周期から1/12周期まで変えて再成像の比較を行った。

3. 実験結果

3.1 時間平均法の再生像

写真1は時間平均法により作成したホログラムの再生像であり、(a)は静止状態、(b)は印加電圧20Vで励振したものである。写真に見られる面は図2の斜線で示した部分であり、静止状態の写真の明るい部分は電極の蒸着膜、また暗い部分は水晶の素地である。印加電圧20Vの写真では干渉縞が見られ、音叉の腕の部分がx軸方向に振動していることがわかる。また、干渉縞の明部が腕の先端に行くに従い暗くなっており、(1)式の関係から先端部で振幅が最大になっていることがわかる。

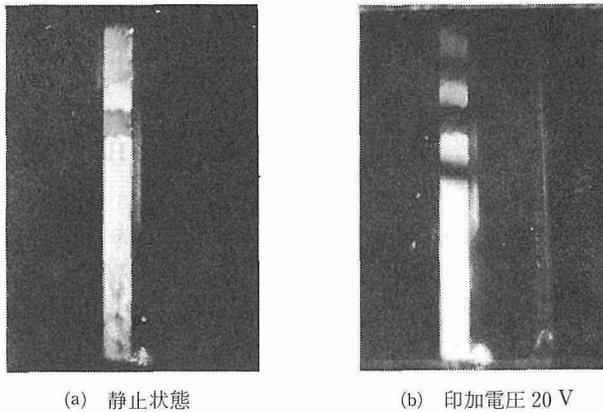
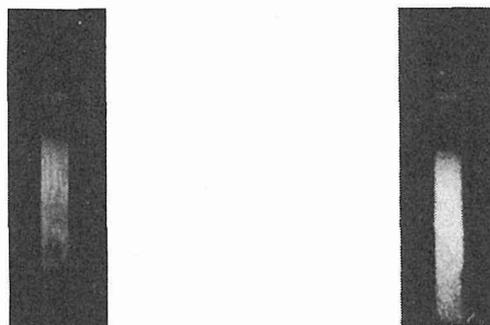


写真-1 時間平均法の再生像

ホログラム作成の露光時間は1/60秒であり、比較的鮮明な再生像が得られた。なお、下部の電極面に見られる薄い干渉縞はビーム拡大レンズ L_2 の表面の反射によるものである。

写真2は光源の比較を行ったものであり、(a)は単一横モードレーザー、(b)は横モードがランダムなレーザーによるものである。露光時間は両者でほとんど等しく、測定系の振動、露光中の空気のゆらぎはほぼ同様と思われる。これより、明らかにランダムモードレーザーでは像が不鮮明になっ



(a) 単一横モードレーザーによる (b) ランダムモードレーザーによる

写真-2 再成像への光源の影響

ているのがわかる。実験はイメージホログラフィで行っており、ホログラム上の振動子の像でも再生像と同様の差が見られた。ただし、再生像上の干渉縞はランダムモードレーザによるものでもはっきりと読み取ることができる。干渉縞の強度を位置に関して読み取ればよい振動測定ではランダムモードレーザでも十分に使用でき、測定装置の低価格化が可能であると言える。

3.2 ストロボ法の再生像

写真3にストロボ法で作成したホログラムの再生像を示す。(a)は静止状態、(b)は印加電圧 20 V で励振したものであり、励振条件は写真1のものと同一である。1周期内で変位が振幅の2倍となる点で露光しているため時間平均法に比べ干渉縞の数が約2倍に増えている。また、時間平均法とストロボ法との振幅の測定値はほぼ等しい。

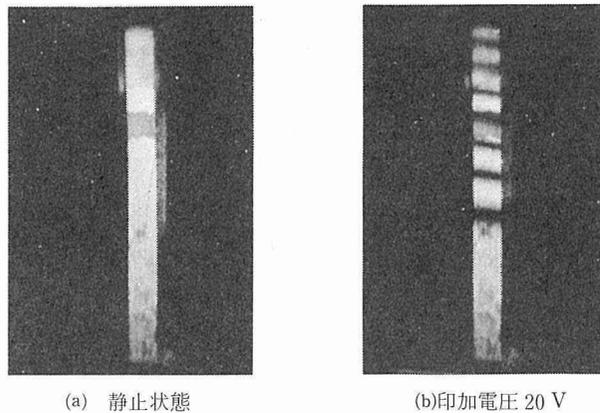


写真-3 ストロボ法の再生像

画質の点では、時間平均法に比べ像の輪郭が若干にじんでおり、ホログラム作成に必要な時間が照明光パルスのデューティ比の逆数倍に延びることによる影響と考えられる。ただし、写真1に比べ電極部と水晶素地とのコントラストが低下しているのは現像処理の不均一が原因と思われる。

写真4は露光パルス幅を変えたものであり(a)はパルス幅が1/50周期、(b)は1/12周期であり、振幅の大きな先端部で(b)がやや暗くなっているのがわかる。一般には1/20周期以下のパルス幅が

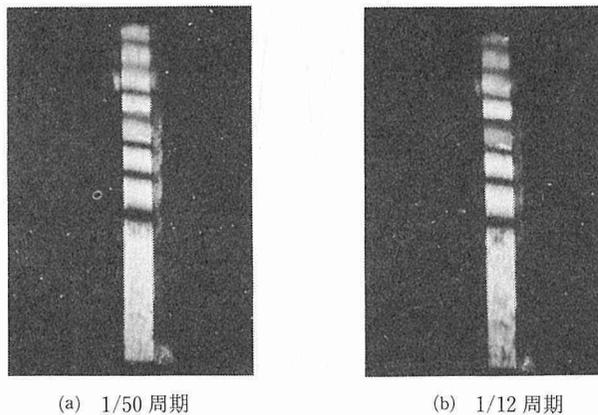
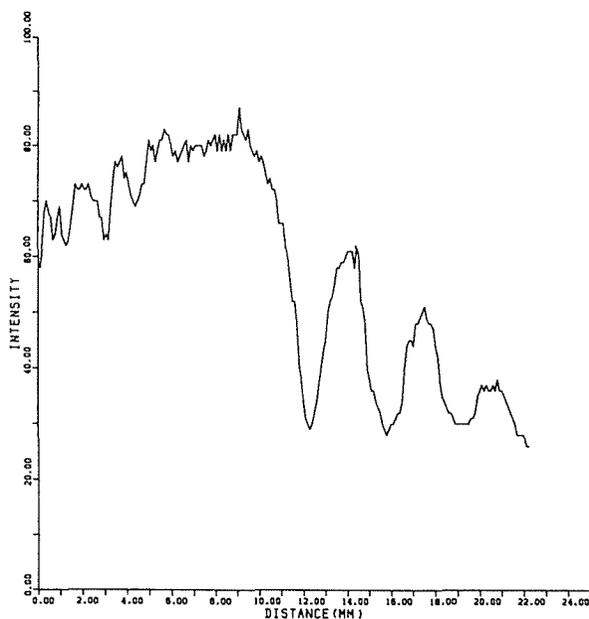


写真-4 露光パルス幅によるストロボ法の再生像の変化

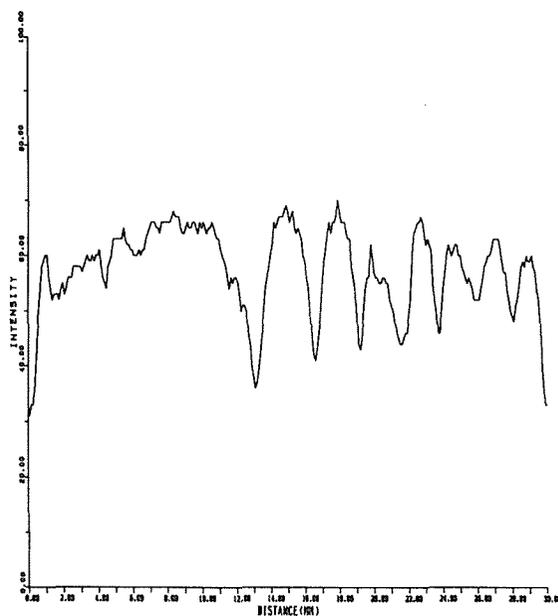
必要とされているが、干渉縞の本数が数本程度であればパルス幅を増して露光時間を短縮できると言える。これは、使用する光源が低出力であっても良いことを意味し、測定装置の低価格化と小型化に有効である。

3.3 再生像強度分布の測定

図3に再生像の光強度分布を間接的に測定したものを示す。横軸は被測定面内で y' 軸に平行な



(a) 時間平均法



(b) ストロボ法

図-3 再成像の強度分布 (印加電圧 20 V)

直線上の距離に対応する。(a), (b)はそれぞれ時間平均法とストロボ法で測定した印加電圧 20 V で励振したものである。これらより、時間平均法での高次の干渉縞の明部の減少する様子がわかり、極小点の測定も容易となる。像の中央部でピークを持つただらかな強度の変化は参照光および照明光の強度分布である。

これらのグラフは再生像を撮影したネガフィルムを回転ドラム式濃度読取装置にかけ、その出力の逆数を縦軸に対し描いたものである。従って撮影時の露出、また現像処理の段階で感光材料の非線形な感光特性による縦軸（強度）の圧伸を受けていると思われ、現段階では再生像強度を直接読み取ることにはできない。

なお、横軸の距離はネガフィルム上のものである。

3. 4 水晶振動子の振幅の分布

図 4 に印加電圧をパラメータとした振動子の振幅分布を示す。これはストロボ法の再生像の干渉縞の極小点を読み取り実線で結んだものである。これらの測定値と比較するため、励振されている水晶振動子の先端 (xz 面) を顕微鏡撮影し、スポット状の傷の振動方向へのふれから振幅を測定した。この結果、印加電圧 15 V, 20 V の場合にそれぞれ $0.31 \mu\text{m}$, $0.51 \mu\text{m}$ が得られ図 4 のホログラフィによる測定結果とほぼ一致した。

図 5 はストロボ法で露光パルスの振動に対する位相をパラメータとした振動子の振幅分布である。(b)の振動子の一点での位相に対する振幅のグラフより、振動は時間に対し正弦的でないことがわかる。これは、被測定水晶振動子を基準励振レベルを越えた範囲で使用しているためである。

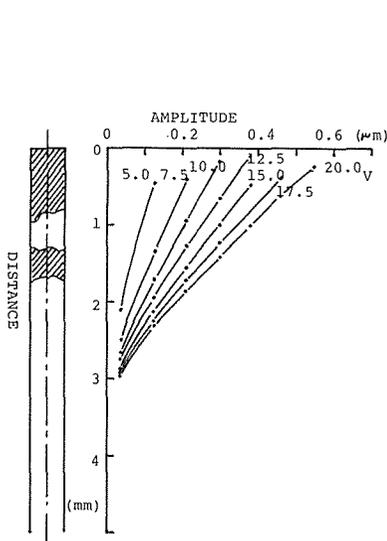


図-4 印加電圧による振幅分布の変化

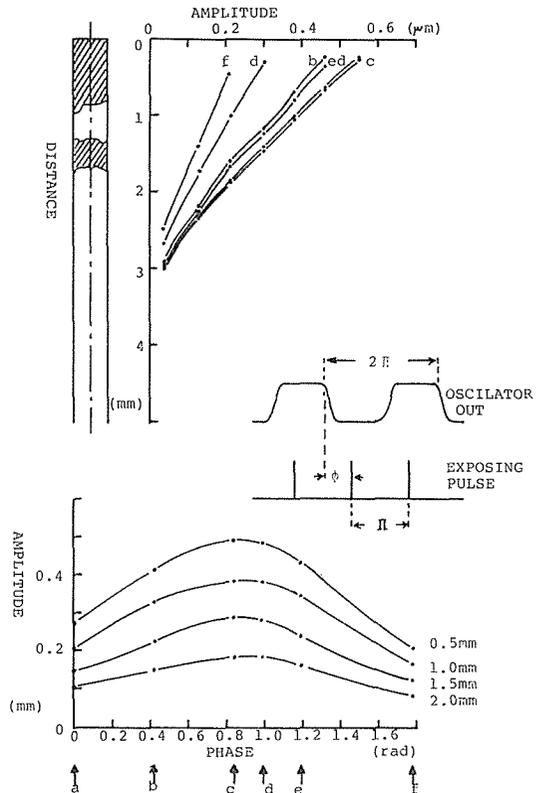


図-5 位相による振幅分布の変化

4. 結 論

生産者側からみて、ホログラフィによる水晶振動子の振動状態の測定装置としては安価性、コンパクト性および取扱いの容易性が要求される。本報告では、その基礎となる事項の実験結果を報告した。以下に本報告の要点を記す。

装置の安価性からいえば、レーザー光源としてはランダムモードのものを使用した方が、はるかに安い。実験の結果によると、この種の光源でもある程度要求を満足することが分った。しかし、測定精度を問題にする場合には単一モード光源を使用せざるを得ない。

振動状態の測定方法として、時間平均法とストロボ法の比較をしたが、後者の方が明らかに有利である。光のパルス変調には装置のコンパクト性に有利な超音波変調器を使用した。この変調器を通過することによる波面の乱れは問題にならないようである。また、露光パルス幅は周期の $1/50 \sim 1/12$ の範囲で測定結果に大きな差はないと結論できる。

ストロボ法は光パルス発生の際の時間的位置を変えることにより、振動子の一周期のうちの任意の位置で振動状態を測定できる。このようにして、複数の状態での振動を測定することにより、一周期にわたる変位状況の変化を観測でき、振動子製作の観点からは有用であると考えられる。

今後の問題としては、ホログラフィ全体をコンパクトに構成し、かつ取扱いの容易なシステムを完成することが第一の問題である。第二の問題としては、ストロボ法によって得られた複数個の再生像を電氣的に処理し、マイコン処理で素子の振動している状況をディスプレイするシステムを考えることである。

参 考 文 献

- 1) 中島俊典：応用物理，41（昭47），6，p. 560-572
- 2) R. L. Powell, K. A. Stetson: J. Opt. Soc. Amer., 45 (1965), p. 1593
- 3) P. Shajenko, C. D. Johnson: Appl. Phys. Letters, 13 (1968), p. 44
- 4) 滝 貞男：人工水晶とその電氣的応用（昭49），p.63，日刊工業新聞社