

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06466

研究課題名(和文) レーザスペckル法を用いた超小型水晶鏡面振動子における絶対変位量の計測

研究課題名(英文) Measurement of absolute displacement in an ultra-compact crystal mirror surface oscillator using the laser speckle method

研究代表者

渡部 泰明 (Watanabe, Yasuaki)

東京都立大学・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：60175130

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：これまで申請者らが開発してきた圧電振動デバイス振動モード可視化システムをベースとし、より高度で未踏の超小型鏡面圧電振動デバイスの2次元振動変位測定システムの改良を行うものである。レーザスペckル法および同期レーザ法という技術を用い、近紫外光であるレーザ波長を用い、且つピコ秒パルスレーザ光源を用いることで、鏡面圧電振動デバイスを正確にそして絶対振動変位量をナノメートル(nm)分解能オーダーで制御し究極の2次元振動変位分布を求めていくものである。近紫外レーザを用い鏡面の反射率を求め、従来のレーザスペckル法に加え、絶対振動量を測定するシステムを構築し装置の改良を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

精度良く高感度の部分を見つけるために新たに製作したレーザドップラ干渉計とレーザスペckル法を結合したシステムを構成するためのスキームを統合する。まずイメージ転送では1度ではCCDカメラの感度が不足するので平均20回程度に分けて転送する。比測定対象である水晶振動子であるがここでは当初100MHzであったが10MHzまで測ることとした。従って任意波形ジェネレータには正弦波での規格値20 MHzを使用し、同様に近紫外レーザには50ピコ秒(同10 MHz)を有しているものを使用する。周波数標準はセシウム原子発振器(10-13の絶対精度)を用い、周波数のずれを抑える。

研究成果の概要(英文)：It is higher and, based on the piezoelectric vibration device oscillation mode visualization system which applicants developed, improves on the two dimensions vibration displacement measuring system of the untrod den micro-miniature polished surface piezoelectric vibration device so far.

In accuracy and absolute vibration displacement quantity are controlled with nano meter (nm) resolution order with a polished surface piezoelectric vibration device by using using the laser wavelength that is a near ultra violet light and a pico-second pulse laser light source, and, using the technique called the laser speckle method and the synchronization laser method, ultimate two dimensions vibration displacement distribution is demanded. Reflectance ratio of the polished surface was found using a close ultraviolet laser, and the system which measured absolute vibration quantity was built, and, in addition to the conventional laser speckle method, it improved on the device.

研究分野：電子回路

キーワード：Laser Speckle 鏡面 紫外線レーザ

## 1. 研究開始当初の背景

圧電または静電現象を利用した振動子やフィルタは携帯通信機器をはじめ多くの電子機器に利用されている。特に厚み滑り振動(AT カット振動)を利用した高周波水晶振動子(主振動)は、温度に対する周波数安定度が優れているために、電子機器へ応用され小型化および高性能化が急速に進行している。一般に小型(1.2 x 1.0 mm ~ 0.8 x 0.5 mm)高周波水晶振動子は、いわゆるスプリアス振動(Spurious modes)と呼ばれる急峻な温度特性を持つ多数の近傍振動を持っている。このスプリアス振動と主振動が機械的に結合することで、主振動の特性を劣化させる。どのようなスプリアス振動であっても、主振動近傍に存在すれば、主振動の温度特性や損失特性を劣化させる要因となる。これらの性質は、振動子設計上不可避の問題であり、広く研究が行われている。

これに対し、我々は比較的シンプルな機器構成で高周波デバイスの絶対振動変位を短時間で可視化するレーザ干渉計測システム(レーザスペckル法)を既に開発している。このシステムを基盤として、平成20年度~25年度の科学研究費による支援でデバイス表面の3次元振動変位の実時間測定システムに関する研究を行った。これまでの研究成果で振動子表面上の絶対面内変位(滑り変位)を短時間に可視化することに特化したシステムを構築したが鏡面に対する取り組みは、ほぼ行われていなかった。

小型水晶振動子の一般的な指標の1つとして、まず表面形状を鏡面にしなければならぬ。これは水晶振動子が小型になればなるほど表面形状が重要になり、上記スプリアス振動を逃れるために鏡面に仕上げる必要があるためである。この様なレーザスペckル法による実測例は我々の知る限り筆者を除いて皆無に等しい。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、これまで申請者らが開発してきた圧電振動デバイス振動モード可視化システムをベースとし、より高度で未踏の超小型鏡面圧電振動デバイスの2次元振動変位測定システムの改良を行うものである。本研究の推進においては、レーザスペckル法および同期レーザ法という技術を用い、近紫外光であるレーザ波長を用い、且つピコ秒パルスレーザ光源を用いることで、鏡面圧電振動デバイスを正確にそして絶対振動変位量をナノメートル(nm)分解能オーダーで制御し究極の2次元振動変位分布を求めていくものである。

まず近紫外レーザを用いた複数の波長に対する鏡面測定を行い、そしてレーザドップラ干渉計とレーザスペckル法を組み合わせた振動子のシステムを組むものである。また近紫外レーザを用い鏡面の反射率を求め、従来のレーザスペckル法に加え、絶対振動量を測定するシステムを構築し装置の改良を行った。

## 3. 研究の方法

精度良く高感度の部分を見つけるために新たに製作した図およびレーザドップラ干渉計とレーザスペckル法を結合したシステムを構成するための図面を統合する。従って、新たなレーザドップラ+レーザスペckルシステムを構築する。まずイメージ転送では1度ではCCDカメラの感度が不足するので平均20回程度に分けて転送する。比測定対象である水晶振動子であるがここでは当初100MHzであったが10MHzまで測ることとした。従って任意波形ジェネレータには正弦波での規格値20MHzを使用し、同様に近紫外レーザには50ピコ秒(同10MHz)を有しているものを使用する。周波数標準はセシウム原子発振器( $10^{-13}$ の絶対精度)を用い、周波数のずれを抑える。予想される問題点としては、任意波形ジェネレータの正弦波とパルス波が水晶振動子の位相により変化し、同期が不調となり正確な同期レーザ法による構成が困難になることである。基本的には装置に導入したA/D変換器(任意波形ジェネレータ内蔵)の制御周期で調整が可能と考える。然るにレーザドップラ干渉計とレーザスペckル法を組み合わせた振動子絶対変位を構築させた。

#### 4. 研究成果

この期間の研究実績は次の通りであり、コロナウィルスの影響で当初より研究期間が1年間伸びたが、リモート等で対応した。

1. Polished Surface Measurements at Ultraviolet Wavelengths for Laser-speckle Methods, USE2017(International)
2. Polished surfaces measurements at Ultraviolet (377nm) Wavelengths, 2017 IEEE TOWERS(International)
3. Polished surfaces measurements for Laser Speckle Methods with Ultraviolet-rays, 2018 JSAP Spring session.
4. Polished Surface Measurements at Ultraviolet Wavelengths (377 nm) for Laser-speckle Methods, 2018 JSPS
5. Experiment and Simulation of Polished Surface Reflections using Ultraviolet Laser Diodes for Laser Speckle Interferometers, USE2018(International)
6. Laser Speckle干渉計による655nmおよび377nmに対する応答について, 第66回(2019)応用物理学会春季学術講演会
7. Effect on phase-noise characteristics of Butler oscillator circuits having quartz crystal resonators on Base terminals, Japanese Journal of Applied Physics, SGGC01-1(2019)
8. 鏡面のLaser Speckle干渉を目指した圧電振動変位計測, 第48回EMシンポジウム(2019)
9. Laser Speckle干渉を目指した鏡面圧電振動変位の計測, 学術振興会 弾性波素子技術第150委員会(2019)
10. Phase-noise characteristics of Butler oscillator circuits having quartz crystal resonators on Base terminals, 2019 Taiwan and Japan conference on circuit and systems (International)
11. Detection of vibrational displacement of Laser Speckle interference by measurement of polished surface on piezoelectric device, IEEJ Technical Meeting on 2019 (International)
12. Laser SpeckleのためのUV光を用いた鏡面測定, 電気学会論文誌C(2020)
13. Measurement of polished surface vibration displacement of piezoelectric resonators in laser speckle interferometers, USE2020(International)
14. Measurement of polished surface vibration displacement of piezoelectric resonators in laser speckle interferometers, 2020 IEEE TOWERS(International)
15. レーザスペckル干渉計における水晶の鏡面振動変位レーザスペckル干渉計における水晶の鏡面振動変位特性, 圧電材料・デバイスシンポジウム2021
16. Absolute Vibration Displacement of Piezoelectric Resonators on Polished Surfaces by Laser Speckle Interferometer, European Frequency and Time Forum and IFCS 2021 (International)
17. Improvement of laser-pulse methods in piezoelectric device analyses using laser speckle interferences Laser Speckle, USE2021(International)
18. QCM method using 100MHz SC-cut crystal units - examination of viscoelastic loads -, USE2021(International)
19. Oscillation frequencies and Q value of QCM generator, USE2021(International)
20. レーザスペckル干渉法による鏡面振動変位分布絶対値測定およびレーザパルス法について, 2021年秋季日本音響学会講演論文集
21. レーザスペckルを用いた振動変位分布絶対値の評価とレーザパルス法の検討, 第82回応用物理学会秋季学術講演会(2021)
22. 圧電振動子測定におけるレーザパルス法を用いたデューティ比および位相角について, 2022圧電デバイスシンポジウム

以上

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 馬インコウ, 王景, 渡部泰明, 佐藤隆幸	4. 巻 141
2. 論文標題 Laser SpeckleのためのUV光を用いた鏡面測定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 59-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.141.59	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yasuaki Watanabe	4. 巻 58
2. 論文標題 FOREWORD Ultrasonic Electronics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG0001-1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab2113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yasuaki WATANABE, Yufeng XIN, and Katsuaki SAKAMOTO	4. 巻 58
2. 論文標題 Effect on phase-noise characteristics of Butler oscillator circuits having quartz crystal resonators on Base terminals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SGGC01-1, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0ba3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 坂元克明, 渡部泰明	4. 巻 139
2. 論文標題 非線形モデルを用いた狭帯域コルピッツ発振回路におけるキャリア近傍位相雑音の評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 83-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Jing Wang, Yuxuan Zhong, Yasuaki Watanabe, Takayuki Sato
2. 発表標題 Measurement of polished surface vibration displacement of piezoelectric resonators in laser speckle interferometers
3. 学会等名 2020 Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuxuan Zhong, Jing Wang, Yasuaki Watanabe and Katsuaki Sakamoto
2. 発表標題 Effects of Corrector Filter on Phase Noise Characteristics of Butler Crystal Oscillators
3. 学会等名 2020 Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jing Wang, Yasuaki Watanabe
2. 発表標題 Measurement of polished surface vibration displacement of piezoelectric resonators in laser speckle interferometers
3. 学会等名 The 17th IEEE Transdisciplinary-Oriented Workshop for Emerging Researchers
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王景, 原健悟, 鐘雨軒, 渡部泰明
2. 発表標題 レーザスペckル干渉計における水晶の鏡面振動変位レーザスペckル干渉計における水晶の鏡面振動変位特性
3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 王 景, マ イニコウ, 渡部泰明
2. 発表標題 鏡面のLaser Speckle 干渉を目指した圧電振動変位計測
3. 学会等名 第48回 EMシンポジウム プログラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 王 景, マ イニコウ, 渡部泰明
2. 発表標題 Laser Speckle干渉を目指した鏡面圧電振動変位の計測
3. 学会等名 学術振興会 弾性波素子技術 第150委員会 第157回研究会資料
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡部泰明
2. 発表標題 BJTのベースとエミッタに水晶振動子を用いたバトラー発振器キャリア位相雑音の実測
3. 学会等名 学術振興会 弾性波素子技術 第150委員会 第157回研究会資料
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuaki WATANABE
2. 発表標題 Phase-noise characteristics of Butler oscillator circuits having quartz crystal resonators on Base terminals
3. 学会等名 2019 Taiwan and Japan Conference on Circuits and Systems (TJCAS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jing Wang, Yasuaki Watanabe, Takayuki Sato
2. 発表標題 Detection of vibrational displacement of Laser Speckle interference by measurement of polished surface on piezoelectric device
3. 学会等名 IEEJ Technical Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yunhao Ma, Yasuaki Watanabe
2. 発表標題 Polished Surface Measurements at Ultraviolet Wavelengths (377 nm) for Laser-speckle Methods
3. 学会等名 日本学術振興会 弾性波素子技術第150委員会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuaki Watanabe, Yufeng Xin, Yunhao Ma, Jing Wang and Katsuaki Sakamoto
2. 発表標題 Effect of Base Filters on Phase-Noise Characteristics of Butler Crystal Oscillators
3. 学会等名 UltraSonic Electronics (USE) symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yunhao MA, Yasuaki WATANABE, Yufeng Xin, Jing Wang and Takayuki SATO
2. 発表標題 Experiment and Simulation of Polished Surface Reflections using Ultraviolet Laser Diodes for Laser Speckle Interferometers
3. 学会等名 UltraSonic Electronics (USE) symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王 景, 渡部泰明, マ インコウ, 辛 宇風, 佐藤隆幸
2. 発表標題 Laser Speckle干涉計による655nmおよび377nmに対する応答について
3. 学会等名 第66回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 マインコウ, 渡部泰明, 佐藤隆幸
2. 発表標題 Polished Surface Measurements at Ultraviolet Wavelengths for Laser-speckle Methods
3. 学会等名 USE2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 マインコウ, 渡部泰明
2. 発表標題 Polished surfaces measurements at Ultraviolet ( 377nm ) Wavelengths
3. 学会等名 IEEE TOWERS (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 マインコウ, 辛宇風, 渡部泰明, 佐藤隆幸
2. 発表標題 Polished surfaces measurements for Laser Speckle Methods with Ultraviolet-rays
3. 学会等名 応用物理学会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------