

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K04283

研究課題名（和文）圧電MEMSエネルギー変換デバイス高性能化のための強誘電体不揮発応力メカニズム制御

研究課題名（英文）Ferroelectric nonvolatile stress mechanism for improvement of piezoelectric MEMS energy conversion devices

研究代表者

山下 馨（Yamashita, Kaoru）

京都工芸繊維大学・電気電子工学系・教授

研究者番号：40263230

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：振動型MEMSデバイスの飛躍的性能向上を図り、圧電MEMSデバイスにおいて動的に共振周波数可変な機構を導入して共振挙動を理論面と実測面から追究した。共振挙動の評価について走査型レーザドブラ計測によるインパルス応答解析手法を確立して共振挙動を明らかにした。理論解析においては座屈構造における固有振動数の解析法を確立した。この解析手法を円形ダイアフラムの振動に適用し、固有振動数の変化や共振挙動が実測によく一致することを確認した。超音波アレイセンサへの応用として固有振動数を2倍以上変化させる制御手法を確立し、これを利用して従来の理論的限界を超える超高分解能の超音波計測技術に適用できる可能性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MEMSデバイスは社会生活を支える基盤技術に重要な役割を果たすようになってきており、今後更なる高性能化が期待されている。本研究では振動型MEMSデバイスの共振周波数制御において、製造プロセスの精密化に過度に依存せずに詳細に特性を設定制御できる手法を提供するとともに、これまで単一の周波数で用いられてきた振動型デバイスを、動的に周波数を変更するデバイスとして新たな機能を追加することにより、従来にないデバイスを開発する基本技術を提供するものである。

研究成果の概要（英文）：In order to improve the performance of vibrating MEMS devices, a dynamically tunable resonance frequency mechanism was introduced in piezoelectric MEMS devices, and the resonance behavior was investigated from theoretical and experimental perspectives. The impulse response analysis method using scanning laser Doppler vibrometer was established and the resonance behavior of the devices were clarified. A method for analyzing the natural frequency of a buckling structure was established. This analysis method was applied to the vibration of circular diaphragms, and it was confirmed that the change in natural frequency and resonance behavior agreed well with the actual measurement. As an application to ultrasonic array sensors, the control method for changing the natural frequency by a factor of two was established, and the possibility of using this method for ultrasonic measurement technology with ultra-high resolution that exceeds the conventional theoretical limit was confirmed.

研究分野：工学

キーワード：圧電体 MEMS 応力 共振 周波数制御

1. 研究開始当初の背景

MEMS デバイスは社会生活を支える基盤技術として様々な場面で使用されており、今後さらなる高性能化が期待されているが、微細立体構造により機能を発現するデバイスでは、微細加工技術の絶対精度には限界があるためデバイスサイズが微小化されるほど相対的に誤差が拡大されることになる。振動型 MEMS デバイスではマイクロ構造体の共振現象がデバイス動作の要であり、構造寸法誤差に起因して共振周波数が設計値からずれると大きな問題となる。一方、純粋シリコンのみで作製される従来の MEMS デバイスに対して、圧電体を用いたデバイス（圧電 MEMS デバイス）が主に振動型 MEMS デバイスにおいて近年盛んに研究されており、圧電効果を利用した機械系から電気系へのエネルギー変換デバイスが開発されている。研究代表者らはこれ以前より強誘電体薄膜を MEMS 構造体と組み合わせて超音波アレイセンサの研究を進めていた。やはり各素子の共振周波数がばらつくことに悩まされていたが、その中で圧電体の電気系から機械系へのエネルギー変換を用いて共振周波数を制御する方法を開発してきた。圧電体の持つ逆圧電効果を利用し外部からの印加電界により圧電体内部の応力を変化させることで、デバイス構造完成後に等価的に材料力学物性を制御するものである。この結果は周波数ばらつきを抑える調整には十分であり、さらに積極的に共振周波数を変更することで振動型 MEMS デバイスを飛躍的に高性能化できる可能性がある。

2. 研究の目的

振動型 MEMS デバイスにおいて、動的に共振周波数可変な機構を導入し飛躍的な高性能化を図る。構造物の共振特性はその構造寸法によって決まるが、構造内に圧電体を用いることで内部応力を動的に制御し、共振挙動を変化させることができる。特に微細な MEMS 構造体では顕著な共振周波数変化が期待でき、さらに強誘電体薄膜を用いることで、一旦変更した共振特性を不揮発的に維持することができる。本研究の目的は、機械・電気エネルギー変換 MEMS デバイスにおける圧電体を用いた共振制御について、そのメカニズム解明と制御性の最適化を追究し、周波数制御性の高い MEMS 構造体を作製・評価することにより、これまで単一周波数のみで使用されていた振動型 MEMS デバイスの飛躍的な高性能化を図ることである。具体的な応用デバイスとして、超音波アレイセンサによる超高分解能計測への適用可能性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 圧電 MEMS デバイスの設計と作製

図 1 に圧電 MEMS ダイアフラム構造体の模式図を示す。シリコン熱酸化膜(SiO₂)のダイアフラム構造上に Au/PZT/Pt/Ti 構造の圧電キャパシタを形成している。キャパシタの上部電極は内側のセンシング・出力用電極と外側の共振周波数制御用電極に分割している[1]。電極の分割形状はダイアフラムの基本振動モード形状に合わせている。すなわち、振動により圧電的に生じる分極が振動形状の曲率に比例するので、曲率の符号が反転する形状に沿って電極を分割することにより、出力電極上で分極の符号が同符号となるように設計している。また、振動型の圧電ダイアフラム構造では、平坦ではなく圧電層側が凸となる向きに静的に座屈した構造をとることにより変換効率が向上することがわかっている[2]。図 1 の構造では SiO₂ が生ずる伸張の向きの残留応力によりダイアフラム全体が座屈する。図 2 にダイアフラムの上面の光学顕微鏡写真と、静的に座屈している三次元形状の例を示す。ダイアフラム構造中で PZT と SiO₂ が支配的な応力を生じているが、PZT は主に収縮の向きの残留応力を生じ製膜条件により応力を制御できる[3]ので、種々の座屈撓み量を持つダイアフラム構造を作製できる。

(2) 座屈ダイアフラムの共振挙動の定式化

周波数制御用の電極（外側電極）に電圧を印加することでダイアフラム内に面内方向の応力を生じ、無印加時に比べて共振周波数が変化する。しかしその変化の様態は、ダイアフラムの座屈形状による異なることが知られていた[4]。図 3 に平坦および座屈したダイアフラムの断面形状を示し、それぞれのダイアフラムにおける印加電圧に対する共振周波数の変化を図 4 に示す。図 4 の共振周波数は、ダイアフラムにパルス超音波を照射したときに出力電極（内側電極）に生じる圧電出力としての開放電圧を測定し、その波形に含まれる最も支配的な周波数（フーリエ変

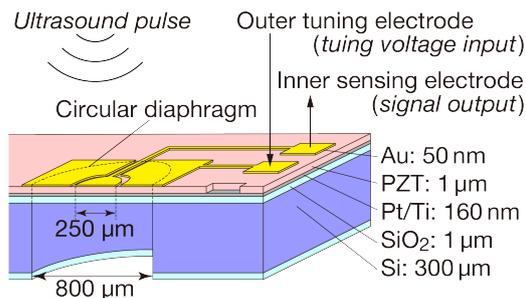


図 1 円形ダイアフラムを持つ圧電 MEMS デバイスの模式図。

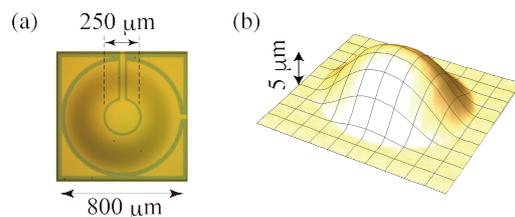


図 2 作製した MEMS デバイスのダイアフラム構造の例。(a) 光学顕微鏡写真。(b) 三次元プロファイル。

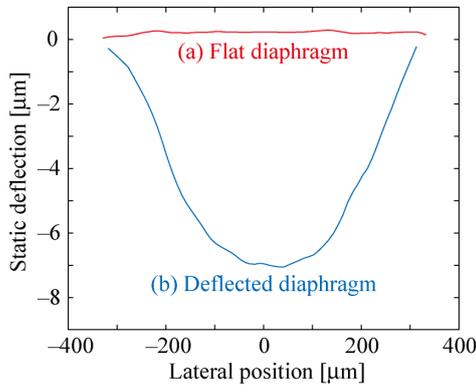


図 3 平坦および座屈形状を持つダイアフラムの断面形状 [4]。

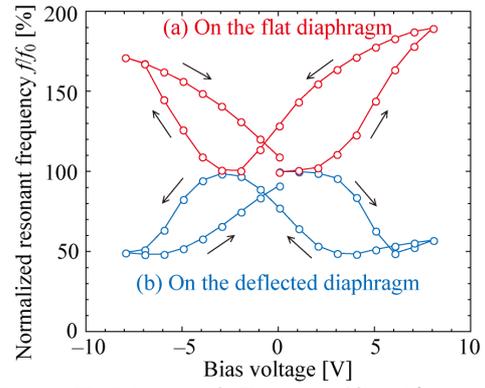


図 4 平坦および座屈形状を持つダイアフラム上超音波センサ出力信号の共振周波数の周波数制御電圧依存性 [4]。

換後の最大ピークを与える周波数)をプロットしたものである。一見して明らかなように、平坦ダイアフラムと座屈ダイアフラムでは印加電圧に対する周波数変化の向きが逆転しており、この事実が本研究の周波数制御性に大きな影響を与えることは明らかである。この原因を解明するために、理論面から座屈撓みと固有振動数の関係を定式化する。

(3) ダイアフラムの振動状態の解析と評価

前項で示した図 4 の周波数は圧電出力から求めたものであり、内側電極における振動が積分された結果である。このため、ここで見られた共振周波数の変化が、特定の振動モードの固有振動数が変化した結果であるか、それとも支配的に現れる振動モードが変化した結果であるか、等の振動様態の詳細が判明しない。そこで本研究では、走査型レーザドプラ振動計を用いて、パルス超音波を照射した際の振動をダイアフラム上で多点計測し、ダイアフラム全体の振動モードを測定する。その際、支配的な振動モードを与える周波数を特定するため、各周波数ごとに最大ピークを与える測定点での振動強度をプロットすることにより、ダイアフラム全体の振動様態を表す合成スペクトルを算出して評価に用いる。応力印加時の共振挙動とダイアフラムの撓み形状の関係を調べるために、光学式非接触プロファイラを用いて電圧印加時のダイアフラム撓み形状を測定し、その状態でのパルス超音波応答を評価する。

4. 研究成果

(1) 座屈ダイアフラムの共振挙動の定式化

構造物の特定の振動モードにおける固有振動数は、そのモード形状に変形した際の曲げによる変形形状において、ポテンシャルエネルギーの最大値と運動エネルギーの最大値が等しいことから算出することができる。座屈ダイアフラムの振動解析においても同様の考え方で進めるが、振動前の形状が平坦ではなく座屈していることを考慮に加える。振動における曲げ変形において、実際には軸方向の伸縮が生じているが、平坦なダイアフラムではこの軸方向伸縮が曲げによる効果に比べて無視できるので、通常理論では考慮されない。この軸方向の伸縮の効果は、座屈による静的撓み量のほぼ 2 乗に比例するので、静的撓み量が大きくなると急激にその効果が大きくなる。そこで、図 5 に示すように、静的座屈形状を持つ円形ダイアフラムが振動する際の振動形状をモデル化した。黒の実線で示した静的座屈形状から各振動モードで微小振動した結果の撓み形状を点線で示している。振動モードとしては、円周方向に等価な振動形状の中で周波数の低い方から中心対称である 1 次、3 次、5 次の振動モードを選ぶ。図 5 の (a), (b), (c) がそれぞれ対応する。

運動エネルギーに関しては、座屈ダイアフラムにおいても静的形状からの変化分だけを取り扱うので、エネルギーの定式化は平坦ダイアフラムの場合と同じである。一方、ポテンシャルエネルギーについては、振動における軸方向

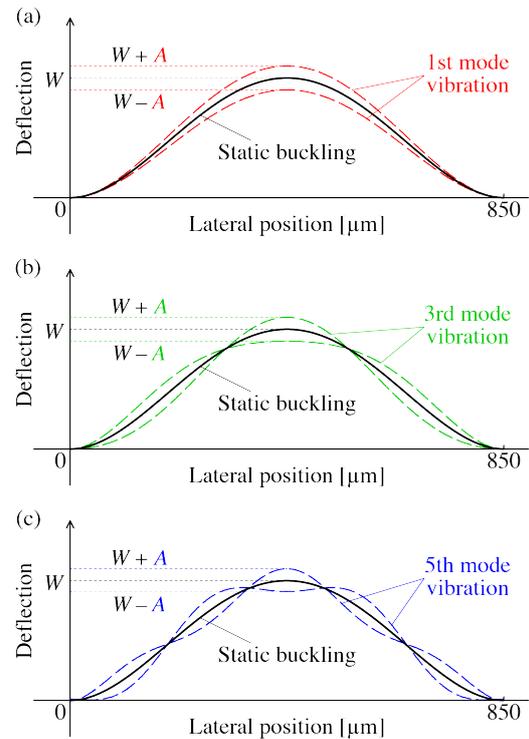


図 5 座屈形状を考慮した振動モードモデルの断面図 [5]。黒の実線が静的撓み形状を示し、その形状から各振動モードで微小振動した結果の形状を点線で示している。

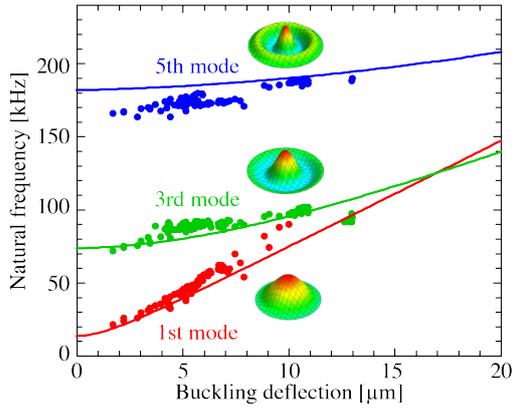


図 6 円形ダイアフラムの各振動モードにおける提案モデルによる解析結果(実線)と実測(測定点各 50)の比較 [5]。

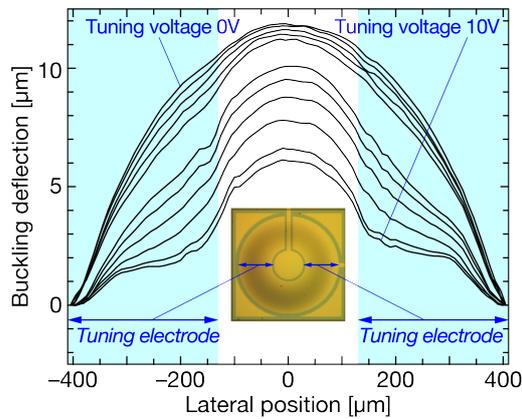


図 7 周波数制御電極への電圧印加による座屈撓み形状の変化。

伸縮の影響を受ける。すなわち、静的撓み形状からの変化分であっても、振動による軸方向の伸縮は元の撓み量の影響を大きく受ける。したがって座屈ダイアフラムにおける振動では、ポテンシャルエネルギーにおいて曲げによる変形に軸方向の伸縮による変形が加算され、平坦な場合に比べてポテンシャルエネルギーが大きくなる。これより運動エネルギーとの間の力学的エネルギー保存則から固有振動数を求めると、座屈撓み量が増大することにより固有振動数が上昇することになる。以上の考察を元に、図 1 に示したデバイス構造と、ダイアフラム各層のヤング率、密度、残留応力の値を用いて、各振動モードにおける固有振動数を座屈撓み量の関数として定式化した。この結果を、実測のデータと併せてプロットしたものを図 6 に示す。実線は今回の定式化に基づいた結果であり、丸印は作製した 50 個のダイアフラムの測定値である。これらのダイアフラムは作製条件を変えて PZT の応力を制御しており、電圧印加を行っていない状態での初期撓み量として $2\ \mu\text{m}$ から $13\ \mu\text{m}$ の間でバリエーションを持たせてある。図 6 を見ると、今回の定式化が概ね実測を反映していることがわかる。5 次モードでは全体的に固有振動数の解析値が高く出ているが、これは実際の振動モード形状が理論的な形状とずれていることが主な原因と考えている。デバイスを利用する際には通常 1 次の振動モードを利用するので、この実測データの範囲内では、今回の定式化が座屈撓み量に対する振動挙動の大枠をよく説明できている。

(2) ダイアフラムの振動状態の解析と評価

初期撓み量 $12\ \mu\text{m}$ のダイアフラムの外側電極に 0 V から 10 V の範囲の直流電圧を印加して、その撓み形状と振動状態を評価した。まず撓み形状の変化を図 7 に示す。グラフの水色で示した領域が周波数制御用の外側電極に対応する領域である。電圧を印加すると外側電極下の圧電層に面内方向の収縮力が生じる。このため外側電極領域は、印加電圧の上昇に伴い平坦な形状に近づいていく。一方、圧電出力を得る内側電極の領域は、高い変換効率を実現するための上に凸

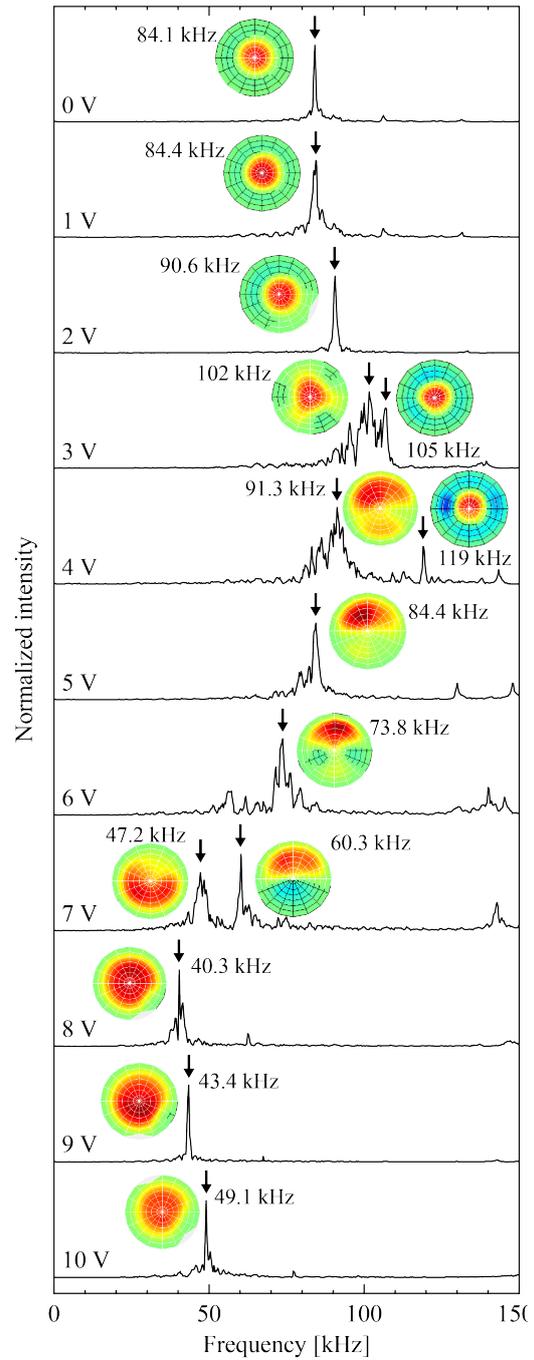


図 8 周波数制御電極への電圧印加による振動スペクトルと支配的振動モードの変化 [6]。

の形状を保ったままである。中心の撓み量は 10 V の印加で約 6 μm まで減少している。この各電圧印加状態における振動様態を図 8 に示す。各電圧における曲線は前節 3. (3) で述べたパルス超音波応答での合成スペクトルであり、最大ピークとその 50% 以上の高さを持つピークについて矢印で示すとともにその振動モードを図示している。印加電圧に対して振動様態は特徴的に変化しており、0 V~2 V の低電圧領域、3 V~7 V の中間領域、8 V~10 V の高電圧領域に分けられる。低電圧領域と高電圧領域では、支配的なピークは印加電圧の上昇とともに固有振動数が上昇しており、振動モードは基本モードに近い中心対称形状を示している。一方中間領域では、印加電圧の上昇に対して最大ピークの固有振動数が低下しており、振動モードは中心対象でない複雑な形状を示すとともに、最大ピークの周辺に多数のピークが生じている。

電圧印加により圧電体に生じた面内方向の収縮力は撓み形状を平坦化させるだけでなく、固有振動数を上昇させる。これは通常の平坦なダイアフラムで見られる現象と同様であり、図 4(a) の平坦ダイアフラムの共振挙動はこれに基づくものである。図 8 の低電圧領域と高電圧領域の共振挙動も同様のメカニズムによるものと考えられる。一方、座屈撓み量に対する固有振動数の変化の観点では、前節の解析結果で示したように、撓み量の増加に対して固有振動数が上昇する。電圧を印加することにより撓み量が減少すれば、この観点からは固有振動数が低下する。図 4(b) の座屈ダイアフラムの共振挙動はこれに基づくものと考えられる。すなわち、座屈して静的撓みを呈した圧電ダイアフラムに電圧を印加すると、面内収縮力が固有振動数を上昇させる効果と、撓み量の減少が固有振動数を低下させる効果の両方が生じることになる。両者の優劣がどのように現れるかは、初期撓み量の大小により異なると考えられる。図 3(b) で示したダイアフラムの初期撓みは 7 μm 程度であり、この場合は図 4(b) のように撓み量の減少による固有振動数の低下が大きく現れたように見える。しかし図 4(b) で印加電圧が 6 V を超える領域では固有振動数が若干の上昇傾向を見せており、これが面内引張力による効果と考えられる。今回詳細に評価した初期撓み量 12 μm のダイアフラムでは、これに加えて低電圧領域でも面内収縮力優勢の領域が生じたものと考えられる。

(3) 超音波アレイセンサ超高分解能計測への適用可能性

超音波アレイセンサの角度分解能は、使用する超音波の波長とアレイの直径の比によって決まる。すなわち、分解能はアレイの直径に比例して向上する。一方で、アレイ中の隣接する素子間隔を半波長より大きくすると、測定結果にゴーストが生じ正しく測定できなくなる。そのため、アレイの設計においては素子間隔を半波長以下とするのが常識であった。しかし、同一のアレイにおいて高い周波数と低周波数の両方に対応可能なアレイを構成できれば、素子間隔が半波長を超えるような疎なアレイでもゴーストを生じずに超高分解能計測が可能となる（複数周波数計測法）[7]。本研究の共振周波数可変センサを用いて、同一のセンサで周波数 f と $f/2$ の両方の計測が可能となれば、従来のアレイ比べて約 1/4 の素子数で 2 次元アレイを構成することができる。これは同一のアレイで比較すると、従来の常識とされた分解能に対して立体角で 4 倍の超高分解能が実現できることになる。図 8 に示した本デバイスの制御性を見ると、2 V 印加時の 90.6 kHz と 8 V 印加時の 40.3 kHz を利用することでこの複数周波数計測が可能である。このとき、振動スペクトルは単一のピークを示しており、対応する振動モードは中心対称の形状で測定に適している。またこのときの出力電極領域のダイアフラム形状は高感度化に適した上に凸の形状を維持している。この制御性をもつデバイスをセンサとして利用することにより、複数周波数計測による超高分解能計測が可能になると考えられる。

<引用文献>

- [1] K. Yamashita, et al., “Ultrasonic micro array sensors using piezoelectric thin films and resonant frequency tuning”, *Sensors and Actuators A: Physical*, 124, 2004, 124–128.
- [2] K. Yamashita, et al. “Diaphragm deflection control of piezoelectric ultrasonic microsensors for sensitivity improvement”, *Sensors and Actuators A: Physical*, 139, 2007, 118–123.
- [3] K. Yamashita, et al., “Vibrating piezoelectric energy conversion efficiency of sol-gel PZT films with various crystal orientations on MEMS buckled diaphragm structures”, *IEEE ISAF 2019, Lausanne, Switzerland, July 14–19, 2019*, 1–4.
- [4] K. Yamashita, et al., “Resonant frequency tuning of piezoelectric ultrasonic microsensors by bias voltage application to extra top-electrodes on PZT diaphragms”, *Ferroelectrics*, 408, 2010, 48–54.
- [5] K. Yamashita, et al., “Pulse-induced vibration modes and natural frequencies of piezoelectric ultrasonic microsensors on buckled diaphragm structures”, *IEEE ISAF 2021, Online, May 16–19, 2021*, 1–4.
- [6] K. Yamashita, et al. “Vibration mode and resonance frequency control for high-resolution ultrasonic measurement using piezoelectric MEMS sensors on buckled diaphragm structures for high sensitivity”, *APCOT 2024, Singapore, June 23–26, 2024*, 1–2.
- [7] K. Yamashita, et al., “Ghost suppressive ultrasonic measurement with a sparse phased array by using multiple frequencies”, *IFMIP 2010, Kobe, Japan, Sep. 19–23, 2010*, 1–6.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Pulse induced vibration modes on piezoelectric MEMS buckled diaphragms for ultrasonic sensors
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 未高知弥
2. 発表標題 Piezoelectric Retention and Sensitivity of Ultrasonic Sensors on Buckled MEMS Diaphragm Structures
3. 学会等名 2022 ISAF-PFM-ECAPD Joint Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤里穂
2. 発表標題 Buckling deflection and piezoelectric polarization retention of MEMS diaphragm structures for ultrasonic sensors
3. 学会等名 Sensor Symposium on Sensors, Micromachines and Applied Systems
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本純平
2. 発表標題 共振周波数可変圧電センサを用いた高分解能・低ゴースト超音波計測法の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会第27回学生会研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Buckling Control and Design of Multilayered MEMS Diaphragms for Highly Sensitive Piezoelectric Ultrasonic Microsensors
3. 学会等名 8th International Workshop on Piezoelectric MEMS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Buckling Control of Multilayered Diaphragm Structures for Highly Sensitive Piezoelectric Ultrasonic Microsensors
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Integrated Ferroelectrics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Pulse-Induced Vibration Modes and Natural Frequencies of Piezoelectric Ultrasonic Microsensors on Buckled Diaphragm Structures
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Integrated Ferroelectrics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西川顕史
2. 発表標題 Buckling of Piezoelectric MEMS Diaphragm Structures and Its Analysis for Highly Sensitive Ultrasonic Sensors
3. 学会等名 The 38th Sensor Symposium on Sensors, Actuators and Micromachines
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Vibration Mode Analysis of MEMS Bucked Diaphragm Structures for Highly Sensitive Piezoelectric Ultrasonic Sensors
3. 学会等名 The 38th Sensor Symposium on Sensors, Actuators and Micromachines
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清田元一郎
2. 発表標題 Analysis and Design of Buckling Deflection of Piezoelectric Diaphragm Type MEMS Ultrasonic Sensor for High Sensitivity
3. 学会等名 The Technical Meetings on Sensors and Micromachines, IEE, Japan
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤里穂
2. 発表標題 Buckling deflection and ferroelectric retention of piezoelectric MEMS ultrasonic sensors on buckled structures for high sensitivity
3. 学会等名 2021 Annual Meeting, IEE, Japan
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井翔太
2. 発表標題 圧電MEMS超音波センサ用座屈ダイアフラムのパルス応答モード
3. 学会等名 第37回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 出井航
2. 発表標題 座屈ダイアフラム上圧電MEMS超音波センサの振動モード解析
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田琢真
2. 発表標題 ダイアフラム型MEMS超音波センサ高感度化のための座屈撓みの解析と設計
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Yamashita, S. Nakajima, M. Noda, P. Muralt
2. 発表標題 Vibrating Piezoelectric Energy Conversion Efficiency of Sol-Gel PZT Films with Various Crystal Orientations on MEMS Buckled Diaphragm Structures
3. 学会等名 2019 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Yamashita, H. Hibino, T. Nishioka, M. Noda, P. Muralt
2. 発表標題 Vibration Mode of MEMS Ultrasonic Sensors on Buckled Diaphragms with Piezoelectric Resonance Frequency Modification
3. 学会等名 2019 IEEE Sensors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Yamashita, T. Nishioka, M. Noda, P. Muralt
2. 発表標題 Vibration Mode Study of Buckled Diaphragm Structures for Piezoelectric Ultrasonic Microsensors
3. 学会等名 The 36th Sensor Symposium on Sensors, Actuators and Micromachines
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西川顕史, 清田元一郎, 山下馨
2. 発表標題 圧電ダイアフラム型マイクロ超音波センサの下部電極引張力による高感度化座屈撓み制御
3. 学会等名 令和2年電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Piezoelectric Ultrasonic Microsensors on Buckled Diaphragms Using Sol-Gel Derived PZT Films
3. 学会等名 IFAAP 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Vibration Mode and Piezoelectric Response of MEMS Ultrasonic Sensors on Buckled Diaphragms
3. 学会等名 APCOT 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Crystal Orientation of Sol-Gel Piezoelectric PZT Films and Vibrating Energy Conversion Efficiency on MEMS Buckled Diaphragm Structures
3. 学会等名 The 35th Sensor Symposium on Sensors, Actuators and Micromachines
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Vibration Mode Investigation of Piezoelectric Ultrasonic Microsensors on Buckled Diaphragms
3. 学会等名 Eurosensors 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中島将太
2. 発表標題 ゾル・ゲルPZT薄膜の製膜熱処理工程が圧電MEMS超音波センサの感度に与える影響
3. 学会等名 平成30年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下馨
2. 発表標題 Vibration mode and resonance frequency control for high-resolution ultrasonic measurement using piezoelectric MEMS sensors on buckled diaphragm structures for high sensitivity
3. 学会等名 APCOT 2024 Conference (国際学会)
4. 発表年 2024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
研究分担者	野田 実 (Noda Minoru) (20294168)	京都工芸繊維大学・電気電子工学系・教授 (14303)	

	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
研究協力者	藤井 翔太 (Fujii Shota)	京都工芸繊維大学・大学院電子システム工学専攻・博士前期課程大学院生	
研究協力者	清田 元一郎 (Kiyota Genichiro)	京都工芸繊維大学・大学院電子システム工学専攻・博士前期課程大学院生	
研究協力者	西川 顕史 (Nishikawa Akifumi)	京都工芸繊維大学・大学院電子システム工学専攻・博士前期課程大学院生	
研究協力者	末高 知弥 (Suetaka Tomoya)	京都工芸繊維大学・大学院電子システム工学専攻・博士前期課程大学院生	
研究協力者	出井 航 (Dei Wataru)	京都工芸繊維大学・大学院電子システム工学専攻・博士前期課程大学院生	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	吉田 琢真 (Yoshida Takuma)	京都工芸繊維大学・大学院電子システム工学専攻・博士前期課程大学院生	
研究協力者	近藤 里穂 (Kondo Riho)	京都工芸繊維大学・大学院電子システム工学専攻・博士前期課程大学院生	
研究協力者	山本 純平 (Yamamoto Junpei)	京都工芸繊維大学・大学院電子システム工学専攻・博士前期課程大学院生	

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		
スイス	スイス連邦工科大学ローザンヌ校		