



国立大学法人

東京農工大学

Tokyo University of Agriculture and Technology

MEMSデバイスの振動特性を 簡単に計ることができる解析装置

大学院工学研究院

先端電気電子部門

准教授 張 亜

2022年9月20日

発表内容

- 本技術の開発背景と目的
- 従来 of 技術とその問題点
- 本技術の特徴とメリット
- 実用化に向けた課題
- 企業への期待

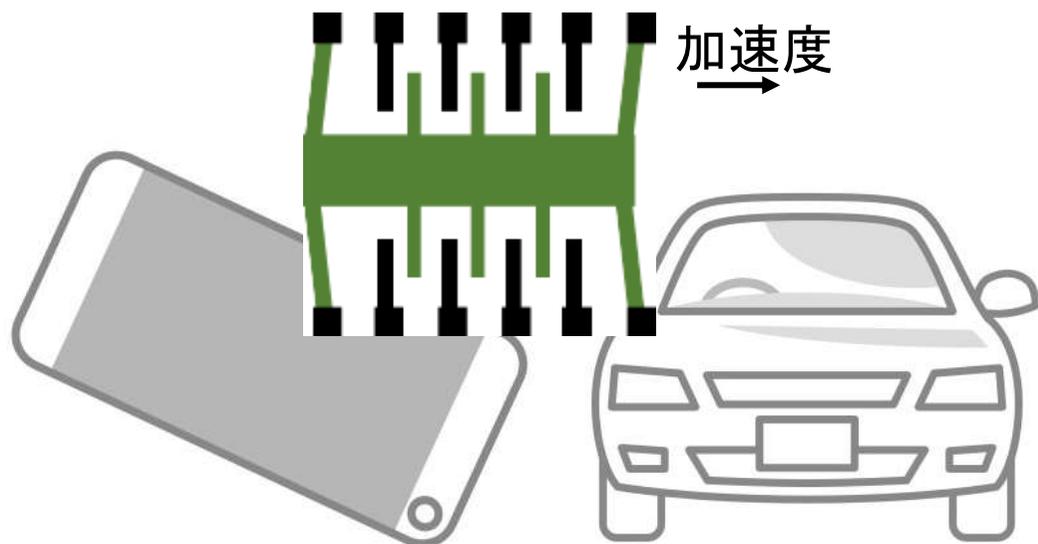
MEMSデバイスとは

MEMS：微小な電気機械システム **M**icro **E**lectro **M**echanical **S**ystems

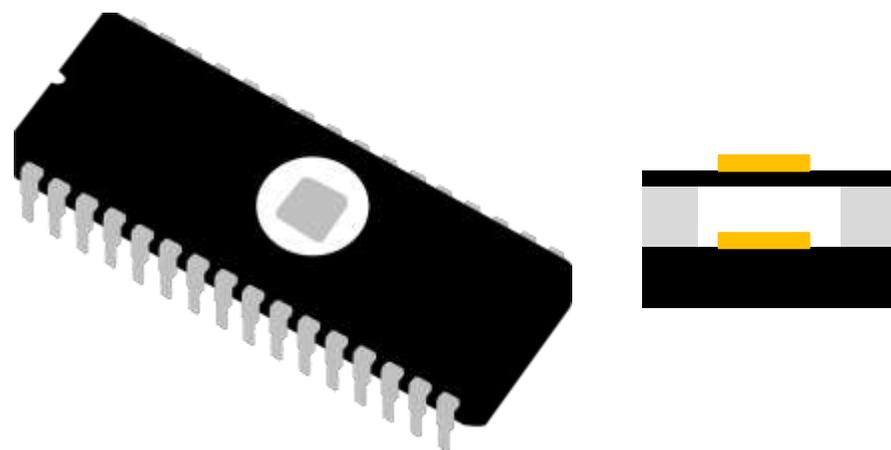
半導体微細加工技術を用いて作製される機械的な自由度を持ったマイクロ構造である。

機械要素と電気要素と組み込んで、高付加価値化のセンサ、アクチュエータや、RFデバイスを実現する。

MEMS加速度センサ



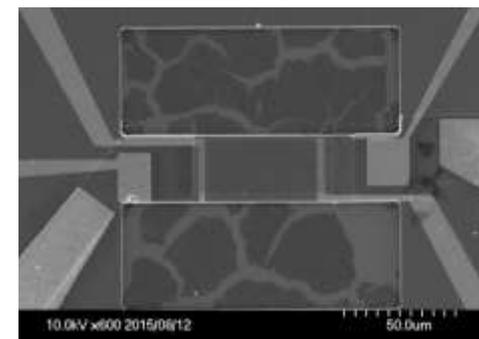
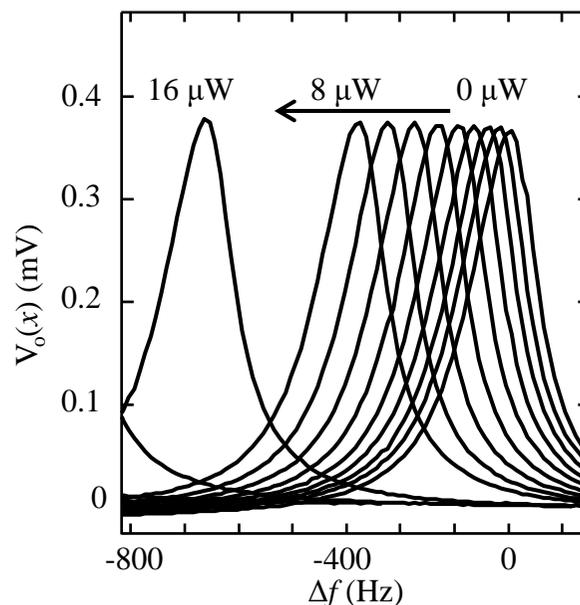
MEMS RFスイッチ



共振型MEMSデバイス

MEMS共振器

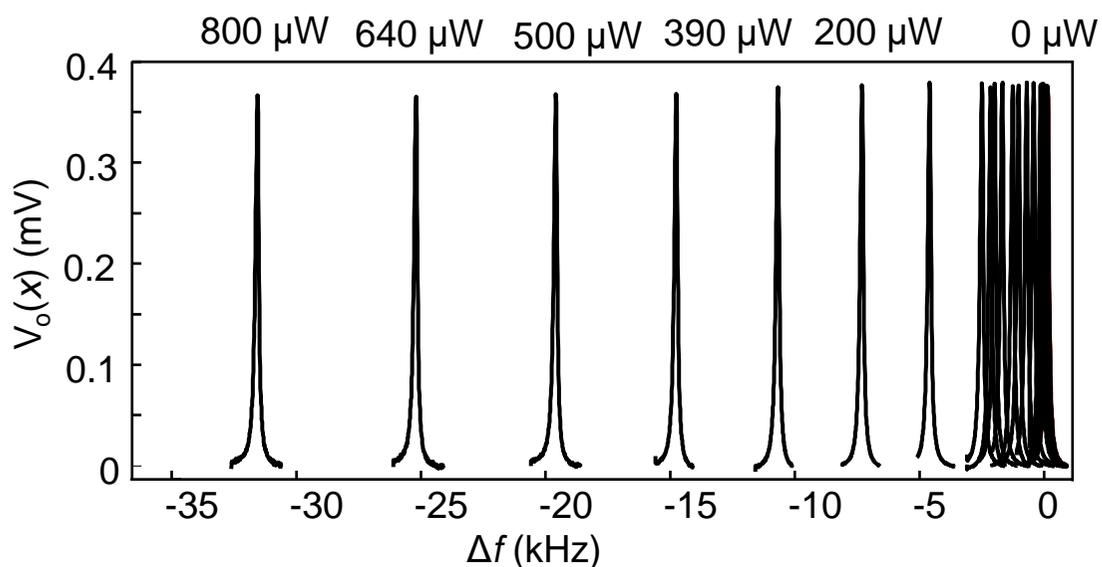
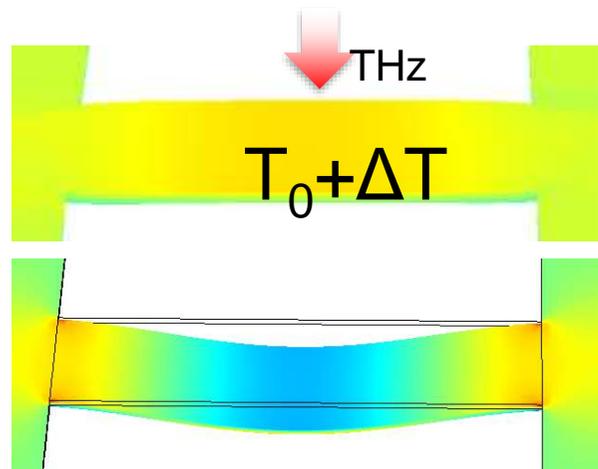
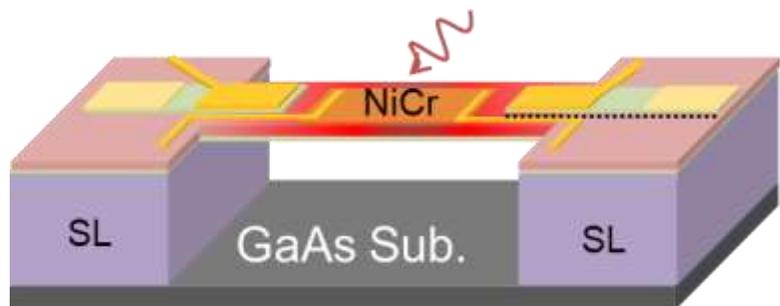
- 室温でも高いQ値の機械振動
- 共振周波数のわずかな変化を検出することができる
- 他の様々な物理量と容易に結合させることができる



超高感度のセンシングに広く応用されている

- 単一の電子の電荷量、スピン
- 微小な力（例：原子力顕微鏡）
- 微量の分子の質量
- 微小な光、熱のパワーなど

我々が開発したMEMS光センサ



MEMSデバイスの共振特性の測定
→デバイスの開発において必要不可欠

従来の振動解析技術

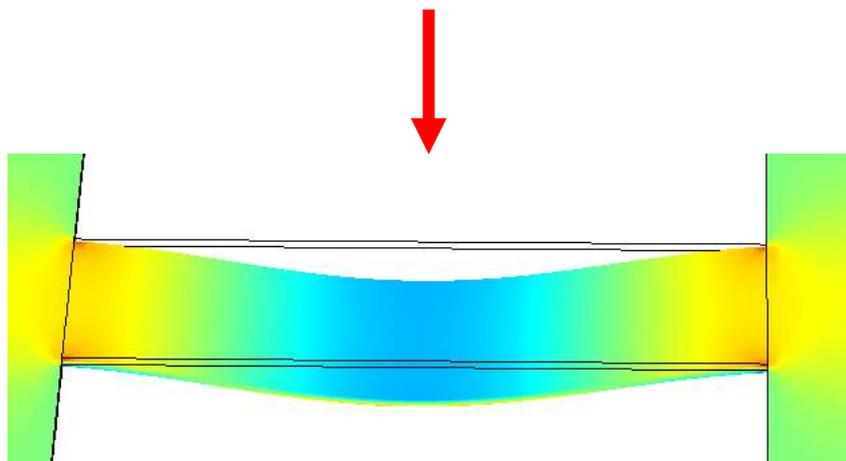
レーザードップラー振動計

原理：ドップラー効果に基づいた周波数検出

特徴：機械的共振を高感度に検出

デメリット：2次元の振動解析が困難

レーザー

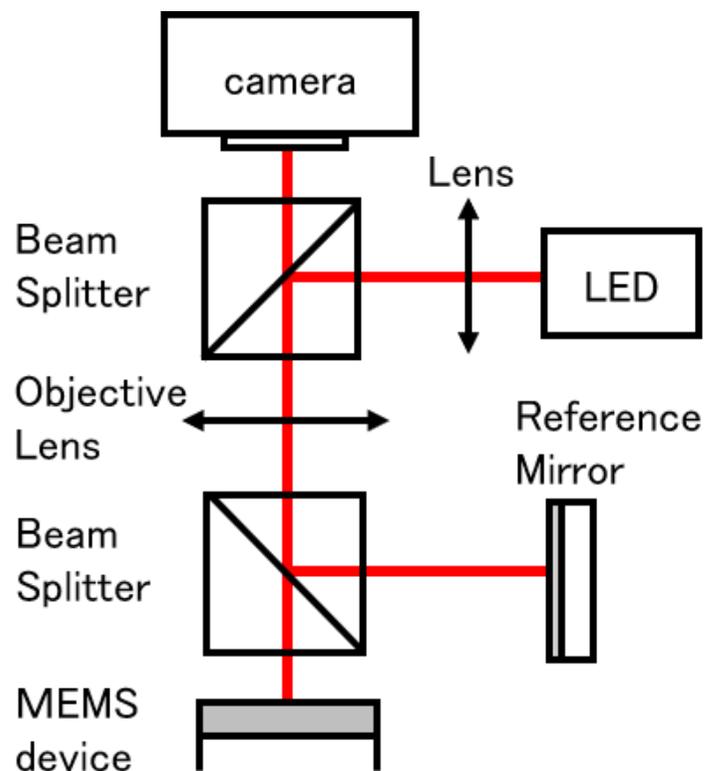


従来の振動解析技術

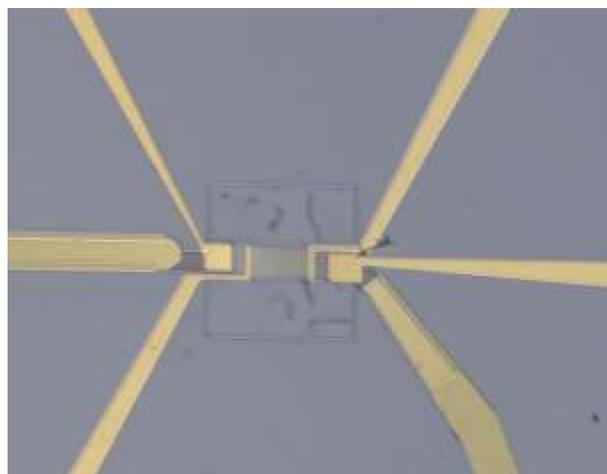
ストロボ干渉顕微鏡法

原理：機械的共振による表面形状の変化を検出

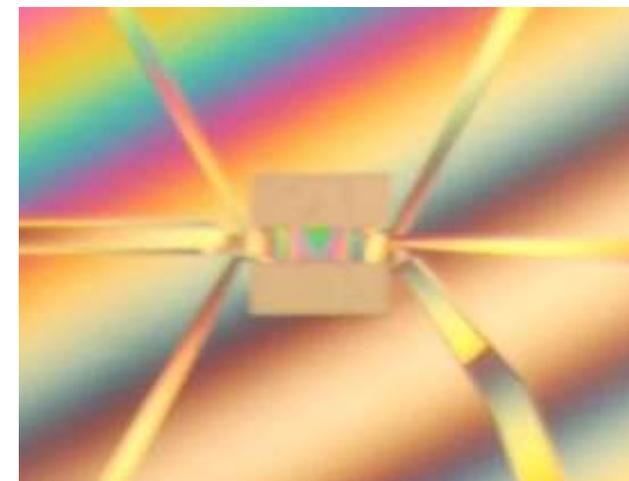
特徴：素子全体を解析可能



通常の顕微鏡画像



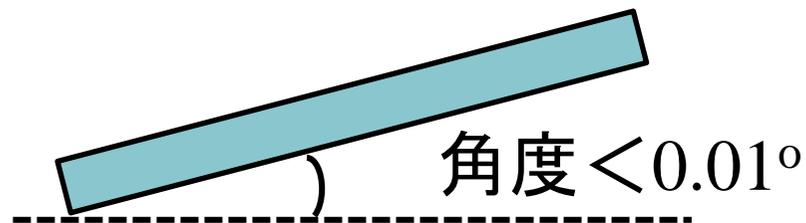
干渉顕微鏡画像



従来の振動解析技術の問題点

- 測定範囲が小さい $< \lambda/4$ (100~200 nm)
- 光学系の調整が困難
- 振動解析システムを構築するための高精度な光学機械部品が必要となり、コストが高くなってしまふ

干渉顕微鏡画像

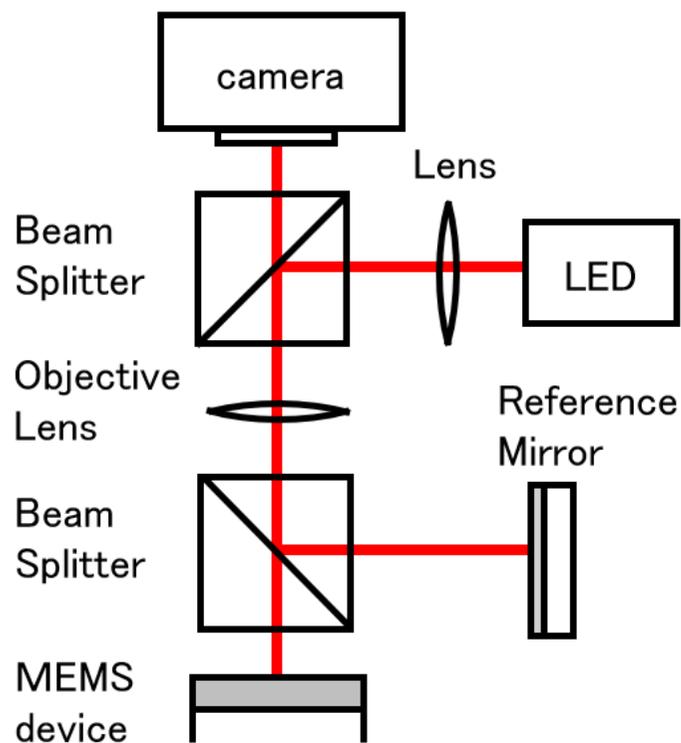


DIC顕微鏡を用いたMEMS振動解析装置

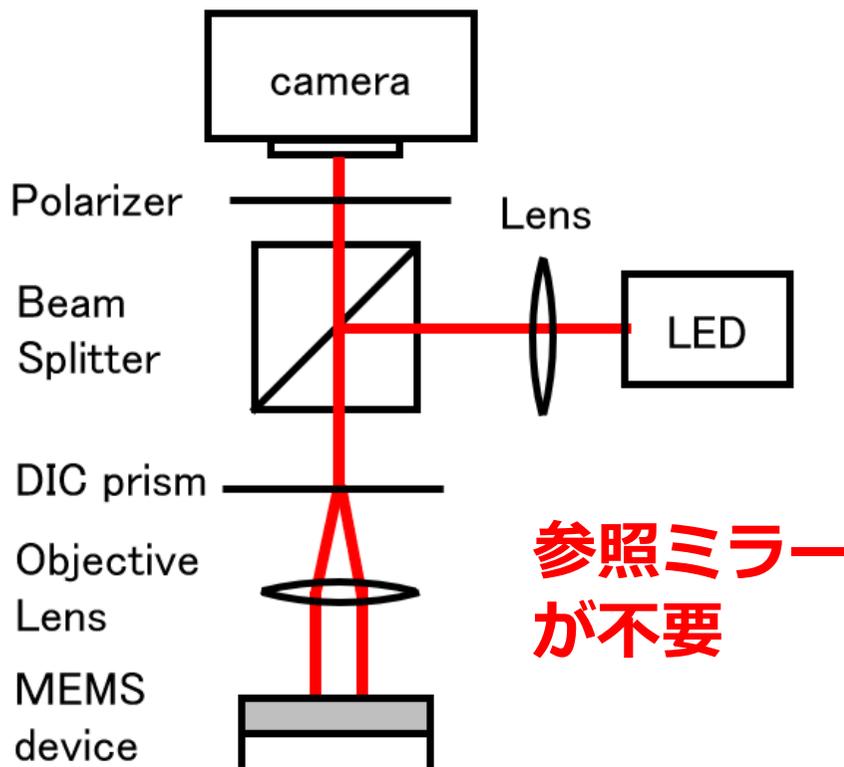
Differential Interference Contrast 微分干渉顕微鏡

- 特徴：①DIC prismによる分光
②参考面は不要、試料表面からの光のみで干渉

従来技術



新技術



DIC顕微鏡を用いたMEMS振動解析装置

従来の技術

レーザードップラー振動計
2次元の振動解析が困難

ストロボ干渉顕微鏡法

- 測定範囲が小さい
- 光学系の調整が困難
- 環境振動の影響を受けやすい
- 高価

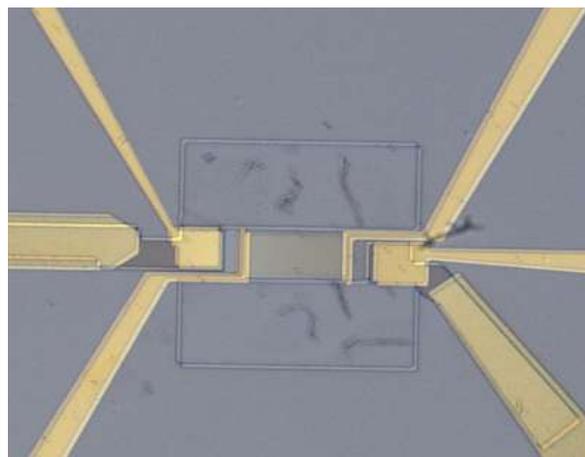
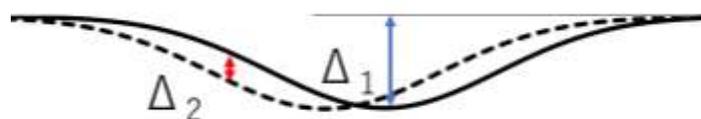
新技術

- **便利**：複雑な光干渉調整が不要 
- **安定**：振動にも従来より不敏感、防振台も不要 
- **安価**：市販の微分干渉顕微鏡も使える 
- **高性能**：測定変位範囲が従来より10倍以上大きい 

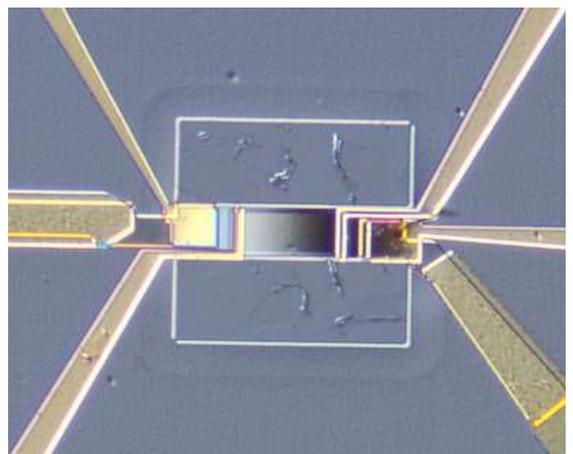
微分干涉(DIC)顕微鏡による干渉像

試料表面からの2本の光が干渉
光路差をコントラストとして表現

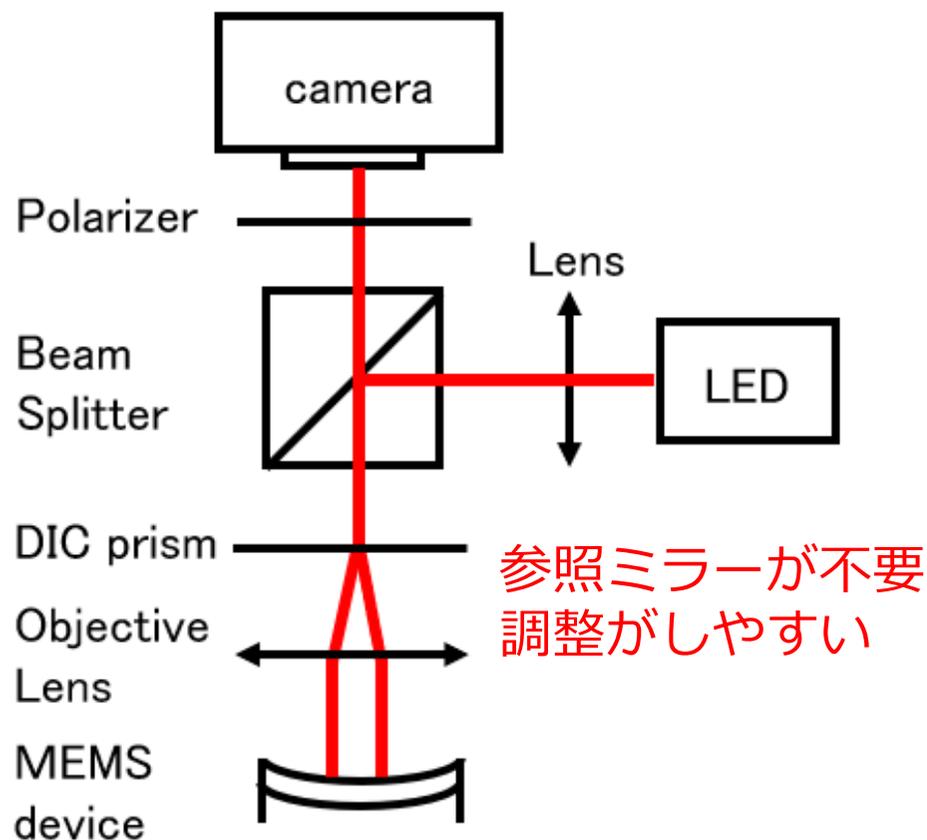
→ 複雑な調整が不要
試料の傾きや振動による影響が少ない



通常の光学顕微鏡



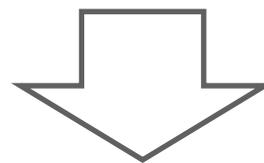
微分干涉顕微鏡



ストロボ法による振動検出システム



- デバイスの振動と同じ周波数のパルス光を照射
→ 静止の状態
- デバイスの振動から少しずらした周波数のパルス光を照射
→ 見せかけ周波数の回転



MEMSデバイス的高速振動の可視化に利用

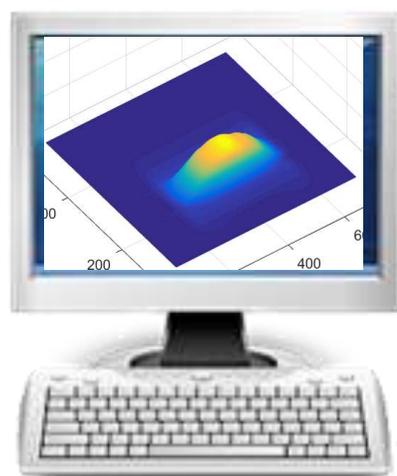
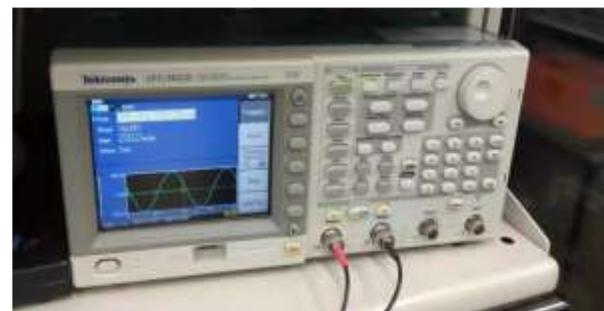
装置のセットアップ



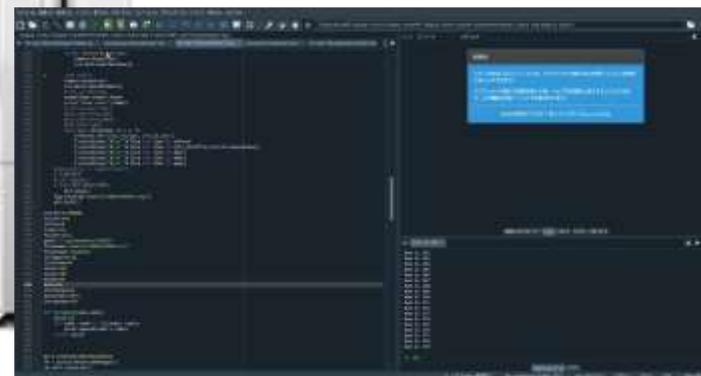
LED パルス光
(自作)



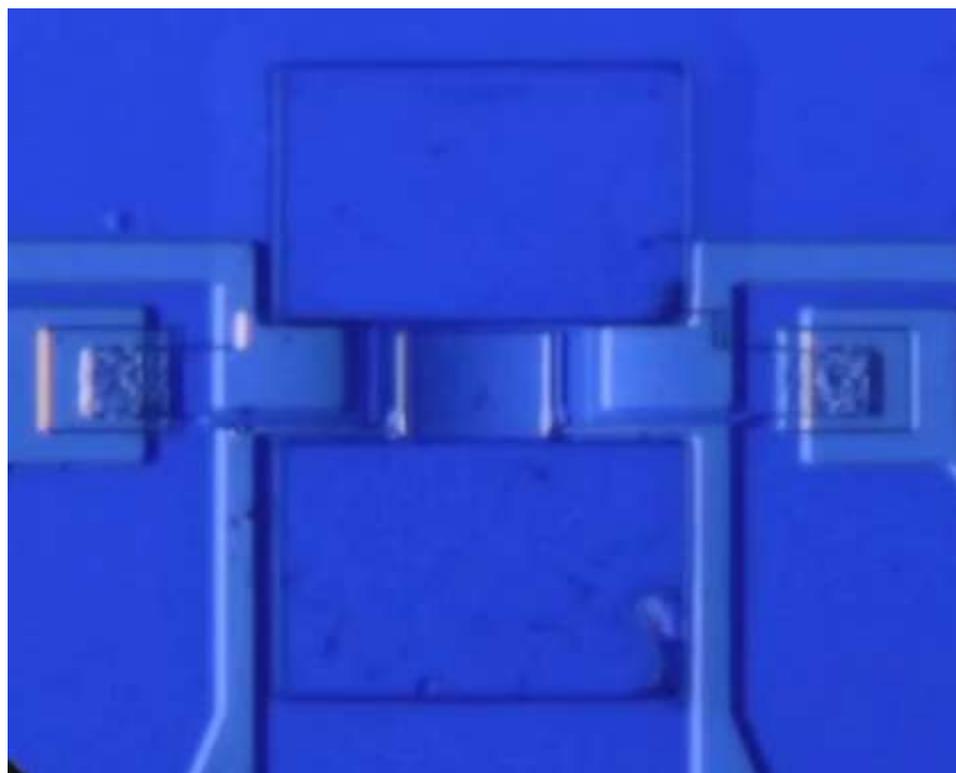
ファンクションジェネレータ



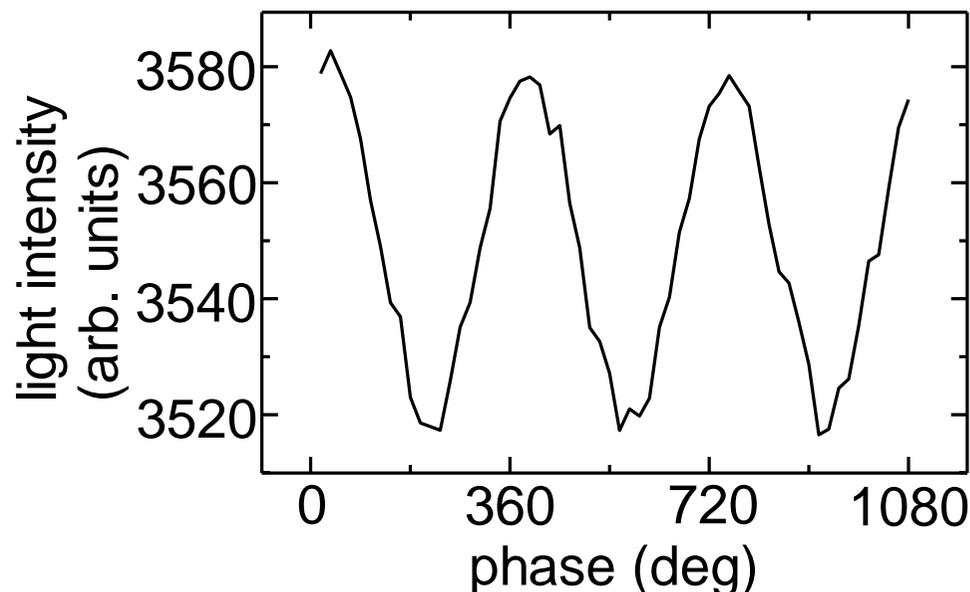
制御系



2次元振動検出の様子



(VIDEO)



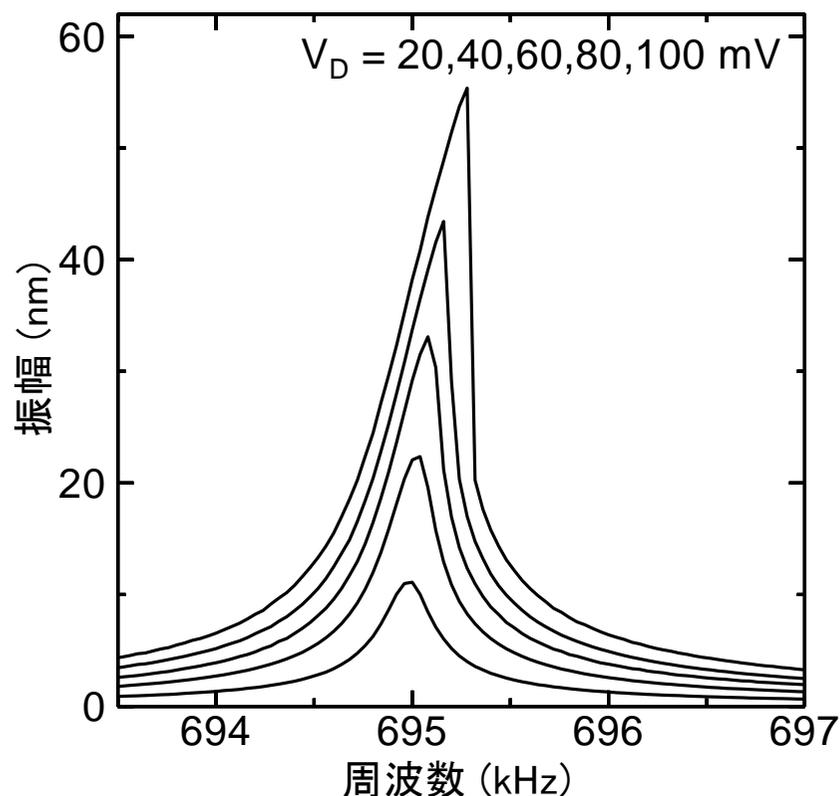
振動による周期的な光強度の変化

デバイスが共振動作をしているとき、微分干渉顕微鏡画像を撮影光強度を2次元の振動形状解析に利用

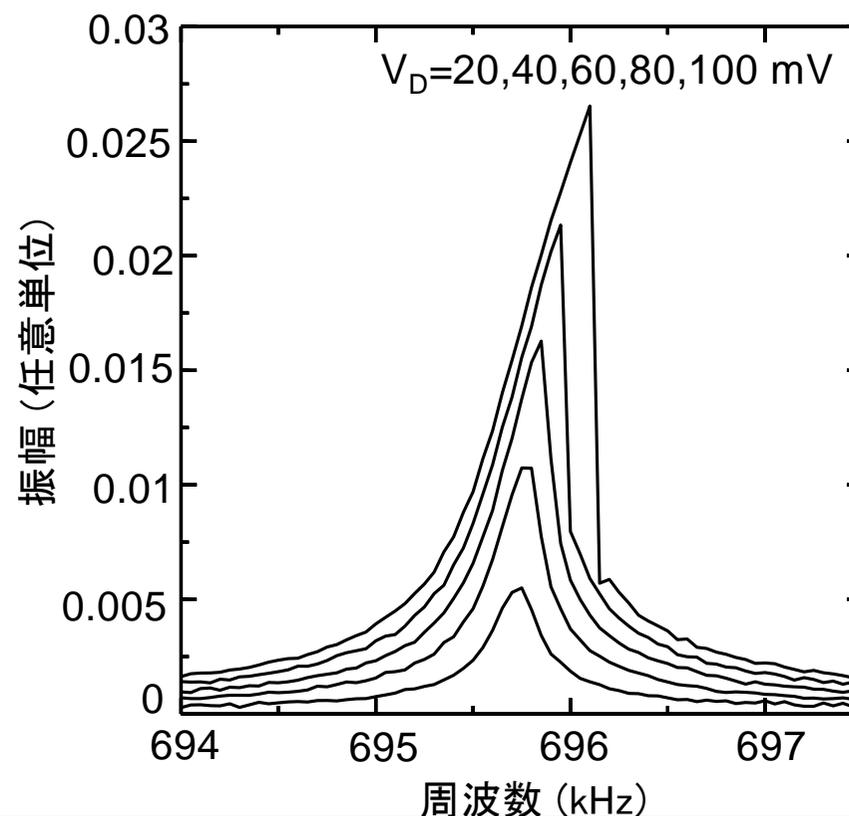
共振スペクトルの測定

レーザドップラー振動計と同程度の高感度測定を実現

レーザドップラー振動計

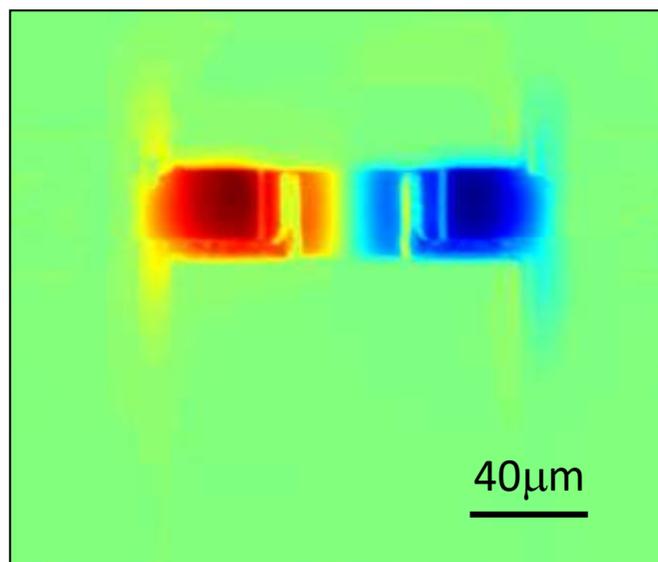


本MEMS 振動解析装置

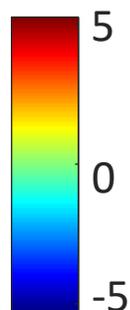


共振モード形状の測定

微分干渉顕微鏡による差分像



差分変位 (nm)



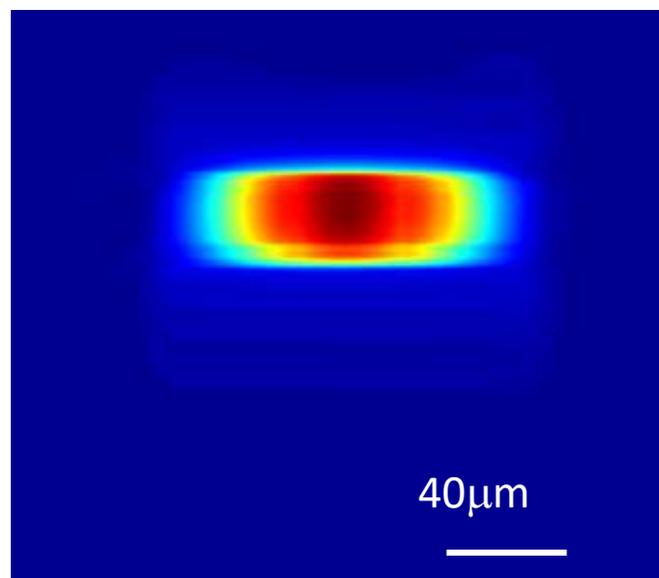
シミュレーションによる差分像



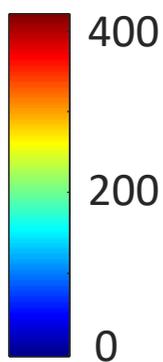
検出した共振モードの差分像は理論結果と一致

共振モード形状の測定

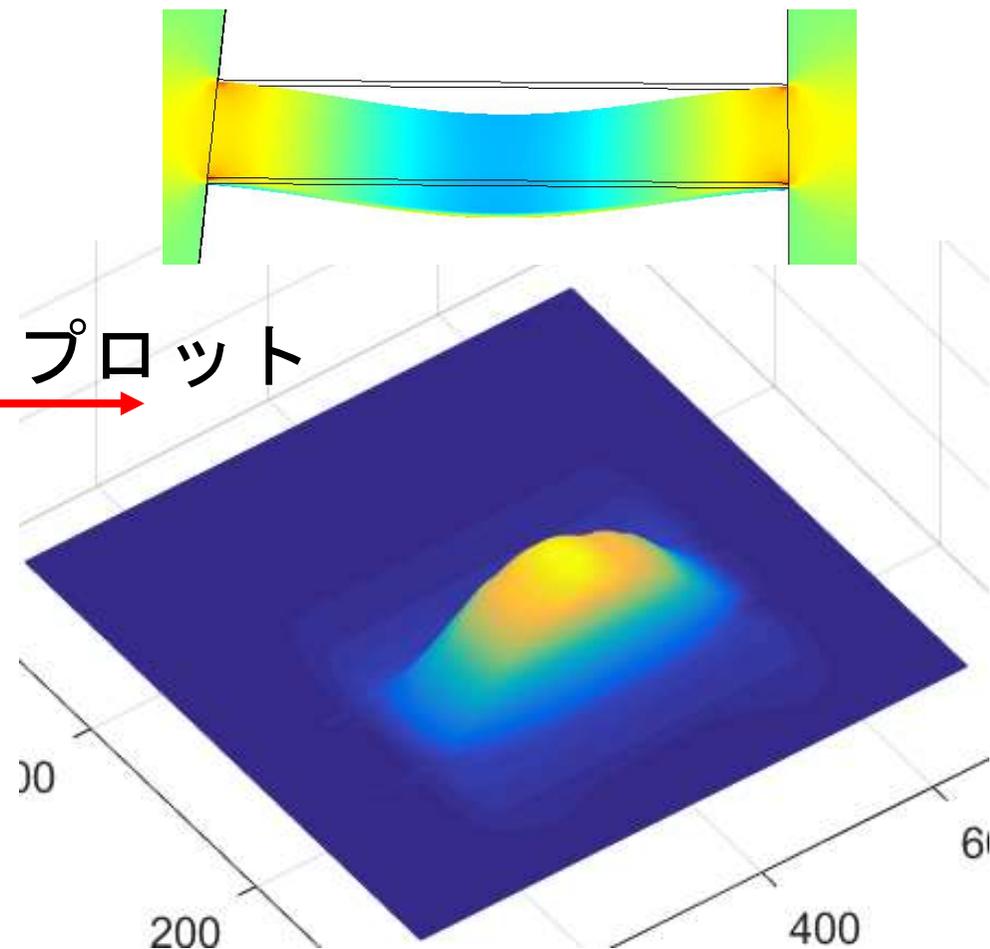
差分像の積分による実際のモード形状



積分変位 (nm)



3D プロット



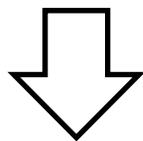
シミュレーションによるモード形状



従来の方法より10倍以上大きい測定範囲を実現

新技術の特徴・従来技術との比較

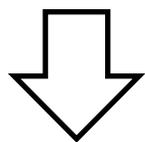
従来技術の問題点であった、小さな測定変位レンジを10倍以上改善することに成功した。



- 従来の技術は測定レンジの点で、MEMSの線形振動解析に限られていたが、新技術はMEMSの非線形振動を解析することが可能となった。
- 学術に注目されている非線形MEMSの研究に寄与する。

新技術の特徴・従来技術との比較

従来技術の問題点であった、複雑な光学調整を大幅に簡素化したため、複雑な光干渉の調整が不要で、且つ解析装置自体の防振対策等も不要である。



- 短時間で簡単に解析でき、大幅な工数削減に寄与する。
- 実験室のみではなく、MEMSの製造過程や、使用現場にも使用可能となった。
- 干渉顕微鏡より安価な市販の微分干渉顕微鏡を利用し、高価で精密な機械的調整機構が不要で、コストが従来技術の～1/5程度まで削減されることが期待される。

想定される用途

- MEMSデバイスの振動解析
 - 実験室でMEMSデバイスの研究、開発
 - MEMS製造ラインの品質管理
 - MEMS使用現場の故障解析
- 上記以外に、他の微小な振動を生じる試料（例えば、細胞等）の振動解析にも応用することも期待される。

実用化に向けた課題

- 振動形状の定性的観測が可能なところまで開発済み。しかし、振動変位の厳密な定量的解析の点が未解決である。
- 今後、振動変位の定量的解析について実験データを取得し、特に複雑な表面形状を持つ試料の解析を実現する。
- 実用化に向けて、振動測定の高周波数をMEMS RF デバイスの百MHzまで拡張できるように技術を確認する必要もあり。

企業への期待

- 未解決の定量解析については、光源の変調技術により克服できると考えている。
- 顕微鏡の技術や、高周波数パルス光源(LEDやレーザー)技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、MEMSデバイスを開発中の企業、MEMS分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：振動解析システム、振動解析装置、
及び振動解析方法
- 出願番号：出願済み、未公開
- 出願人：国立大学法人東京農工大学
- 発明者：張 亞、飯森 未来

お問い合わせ先

東京農工大学
先端産学連携研究推進センター

Tel 042-388-7550

Fax 042-388-7553

e-mail suishin@ml.tuat.ac.jp



SHRINKS
MORE
SENSE

Tokyo University of
Agriculture and Technology

