

10

走査マイクロミラーの破壊を防止し 長寿命化する技術

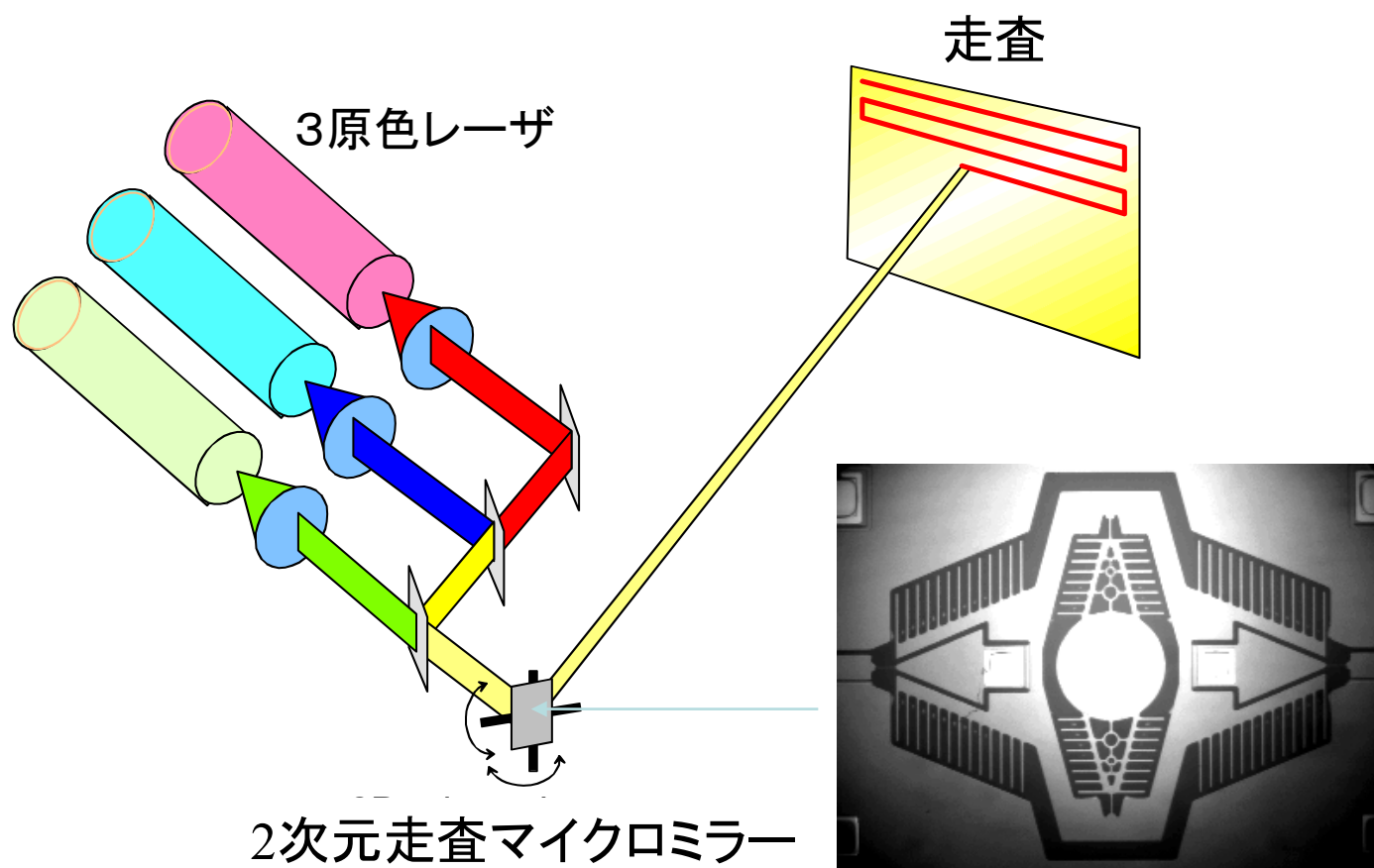
東北大学 未来科学技術共同研究センター
教授 羽根 一博

Mail: kazuhiro.hane.a1@tohoku.ac.jp

2021年7月27日 発表14:30-14:55

相談15:00-15:30

レーザ走査ディスプレイのためのマイクロミラー

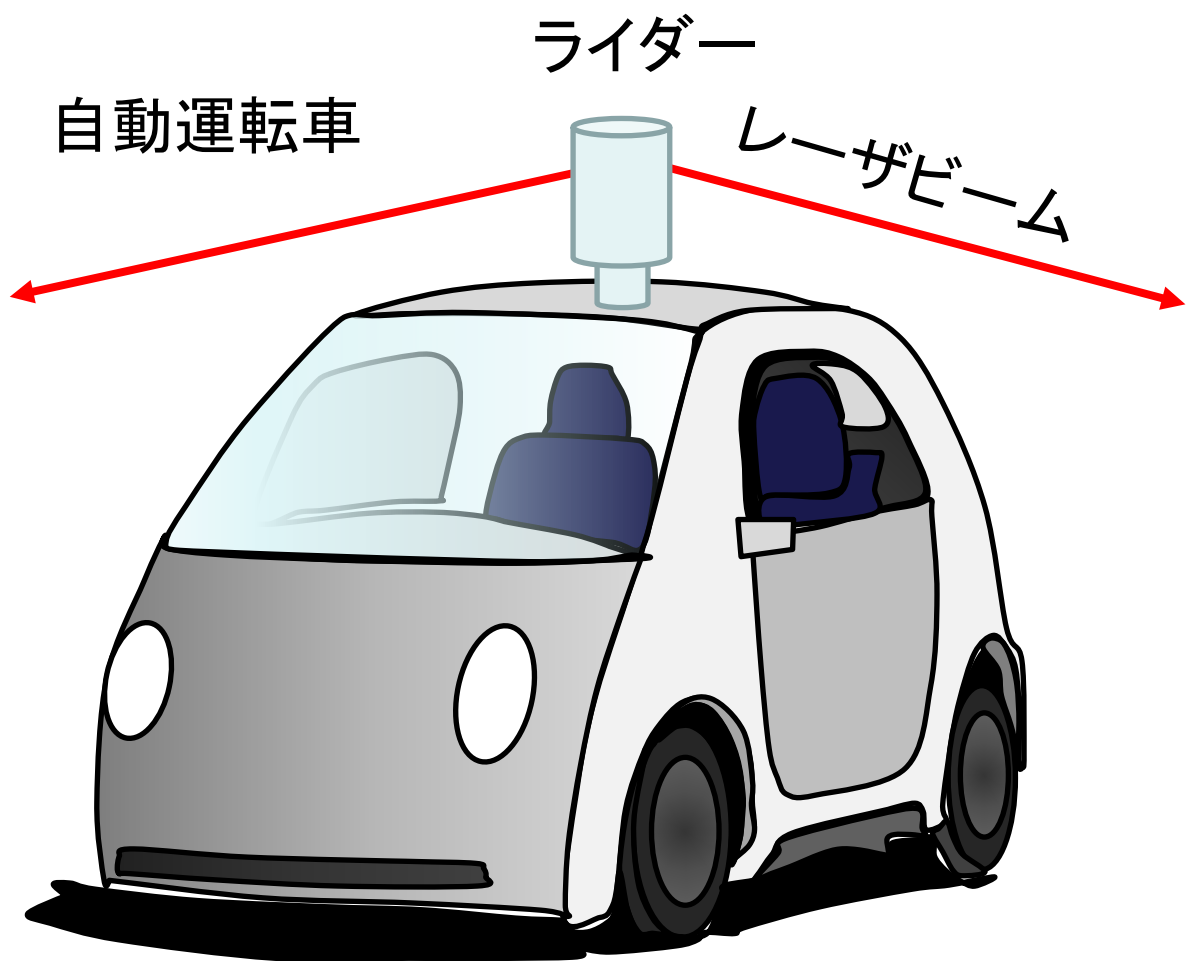


マイクロミラーの例

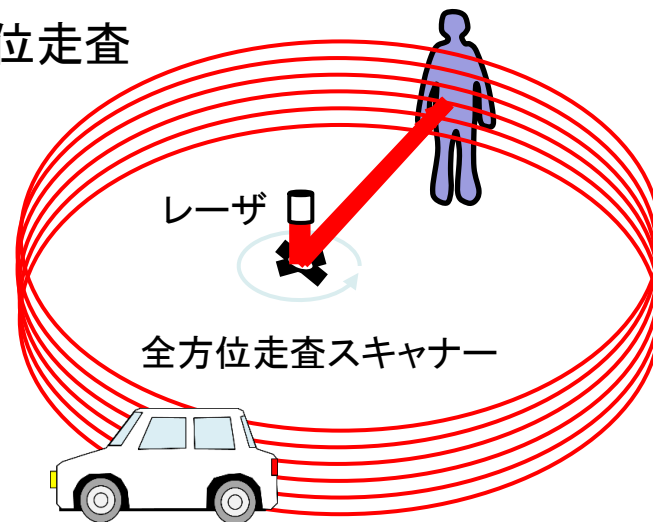


レーザ走査ディスプレイ

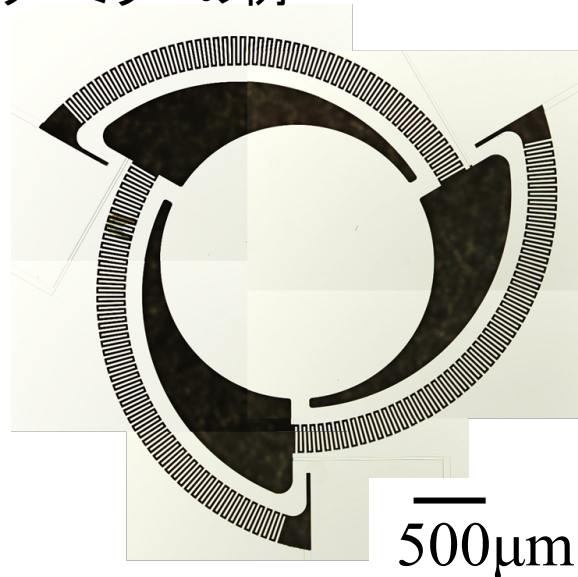
自動運転車のための距離センサ (LiDAR: ライダー)



全方位走査

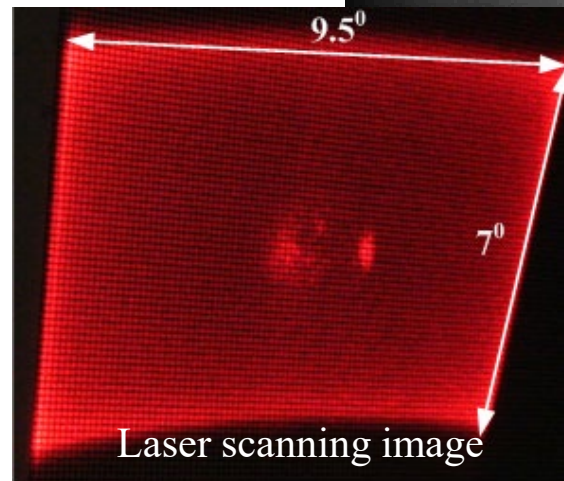
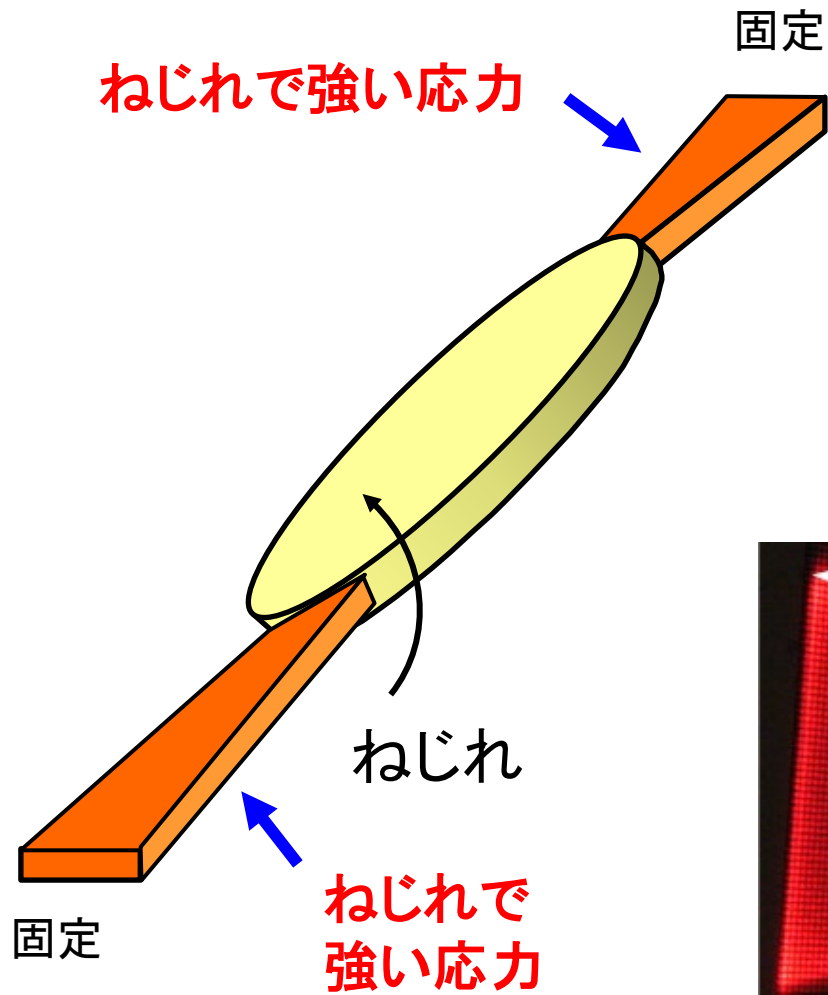
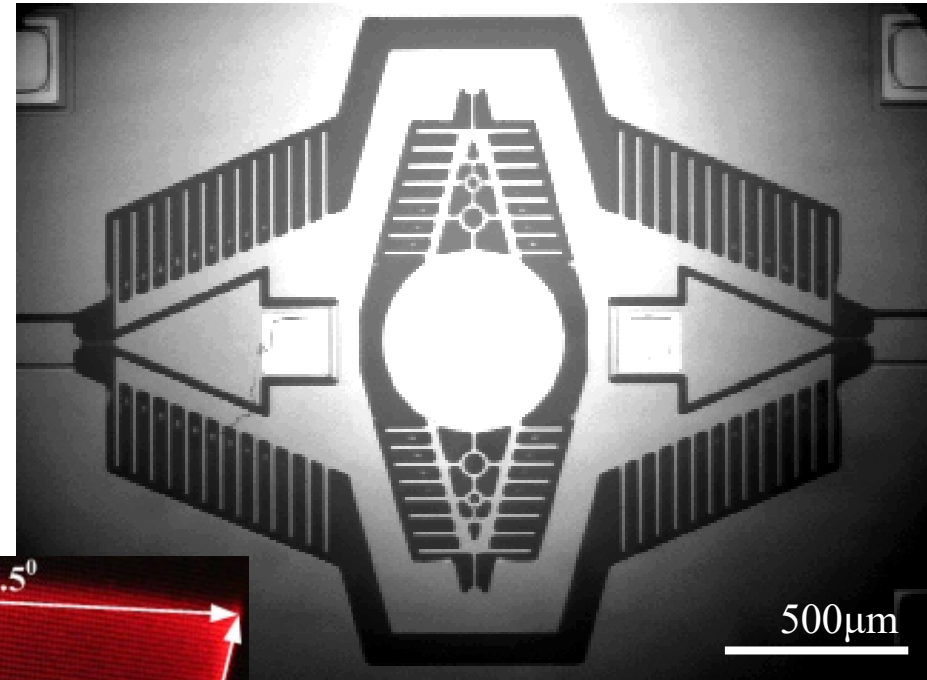


マイクロミラーの例



走査マイクロミラーの構造

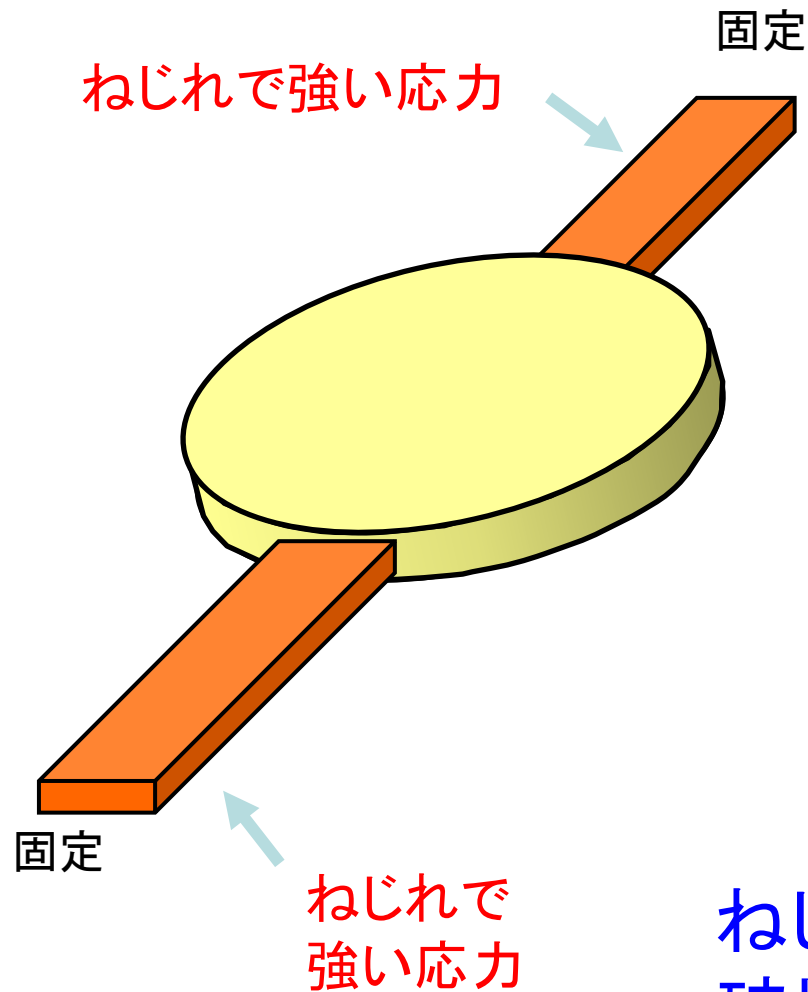
2-axes comb-drive scanner



Mirror scan freq.: 40kHz
Frame scan freq.: 162Hz
Mirror voltage: 12V (11.5deg)
Frame voltage: 10V (14deg))
Pressure: 1Pa vacuum

H.M.Chu, K.Hane, Sens.Actu.A165(2011)422

走査ミラーの破壊



ねじればねの疲労破壊が寿命を決める
破壊を抑える方法が必要

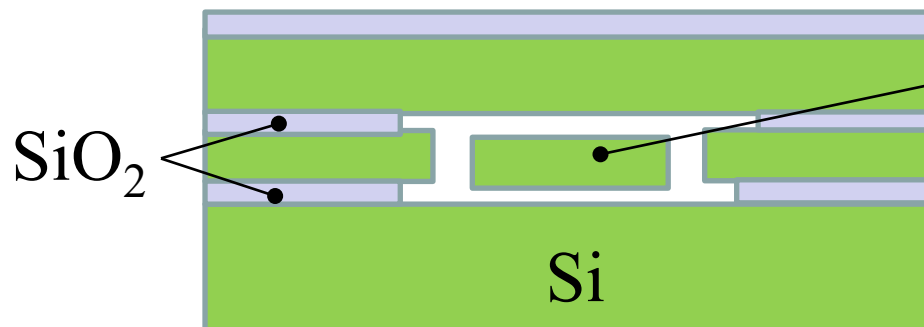
破壊寿命を延ばす従来技術

1. 真空封止(シリコンの酸化を抑える)

シリコンの表面酸化が寿命を縮める

エピ-シール技術

Vu A. Hong, et.al. "Fatigue experiments on single crystal silicon in an oxygen-free environment," J. MEMS. Vol. 24(2), pp351-359, 2015.



可動構造のシリコンが酸化しないように封じ込める

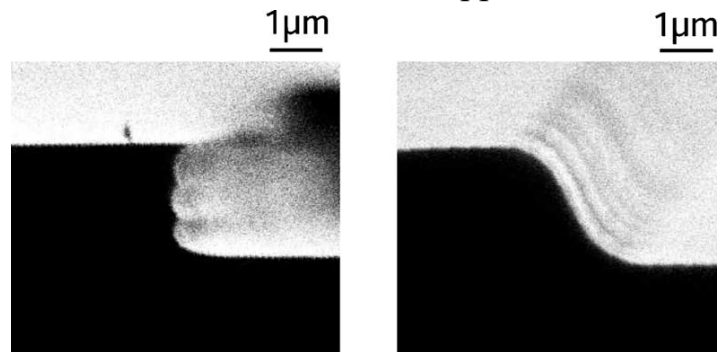
マイクロミラーのように可動範囲が大きいMEMSには適応しにくい

2. 表面平坦化(シリコン表面の亀裂を低減)

シリコンの表面酸化が寿命を縮める

水素アニール技術

Y. Kanamori et.al. Development of a compact vacuum- and hydrogen-annealing machine for surface transformation of silicon and its applications to micro-optical devices," J. Vac. Sci. Technol. A26 (2008) 365



(a)

(b)

表面の凹凸を平坦化し亀裂の発生を低減する

表面酸化を抑える真空封止が必要

従来技術とその問題点

既に対策が試みられている方法は、真空封止（エピシール法）と表面平坦化（水素アニール法）等があるが、

可動範囲が大きいMEMSには適用できず、大気に触れる工程があると効果は低い等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。

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、真空中処理を改良することに成功した。
- 従来は酸化の点で真空の使用に限られていたが、大気中寿命2桁延長まで性能が向上できたため、真空封止不要にすることが可能となった。
- 本技術の適用により、高度の高真空封止が不要であるため、製造と耐久コストが1/3～1/5程度まで削減されることが期待される。

破壊寿命を延ばす新技術

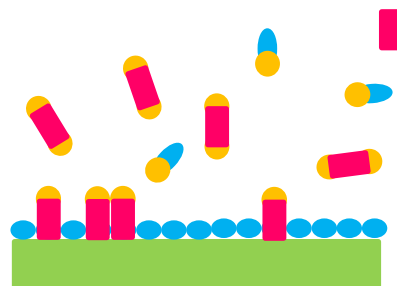
特許の内容: 原子層堆積アルミナ膜をコートしたミラー

原子層堆積(ALD:Atomic Layer Deposition)の原理

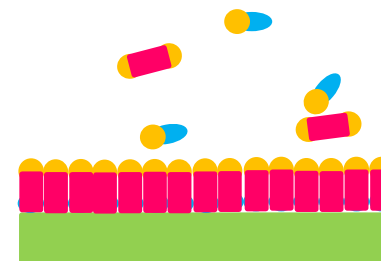
(a) 基板



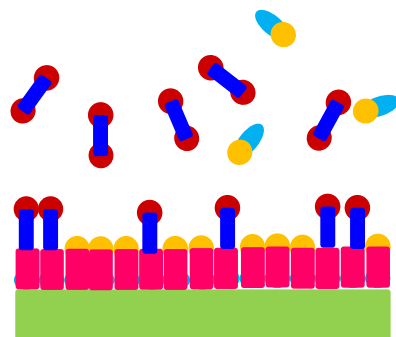
(b) TMAをパルス



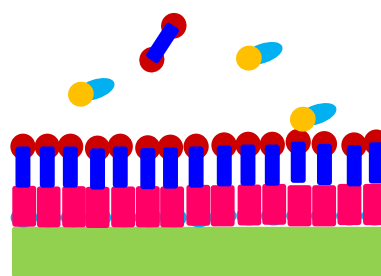
(c) N₂でパージ



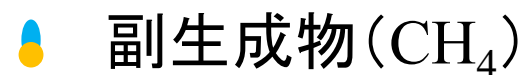
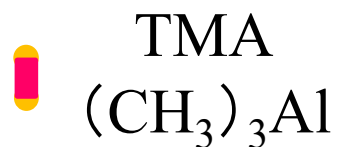
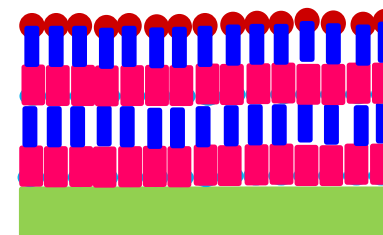
(d) H₂Oをパルス



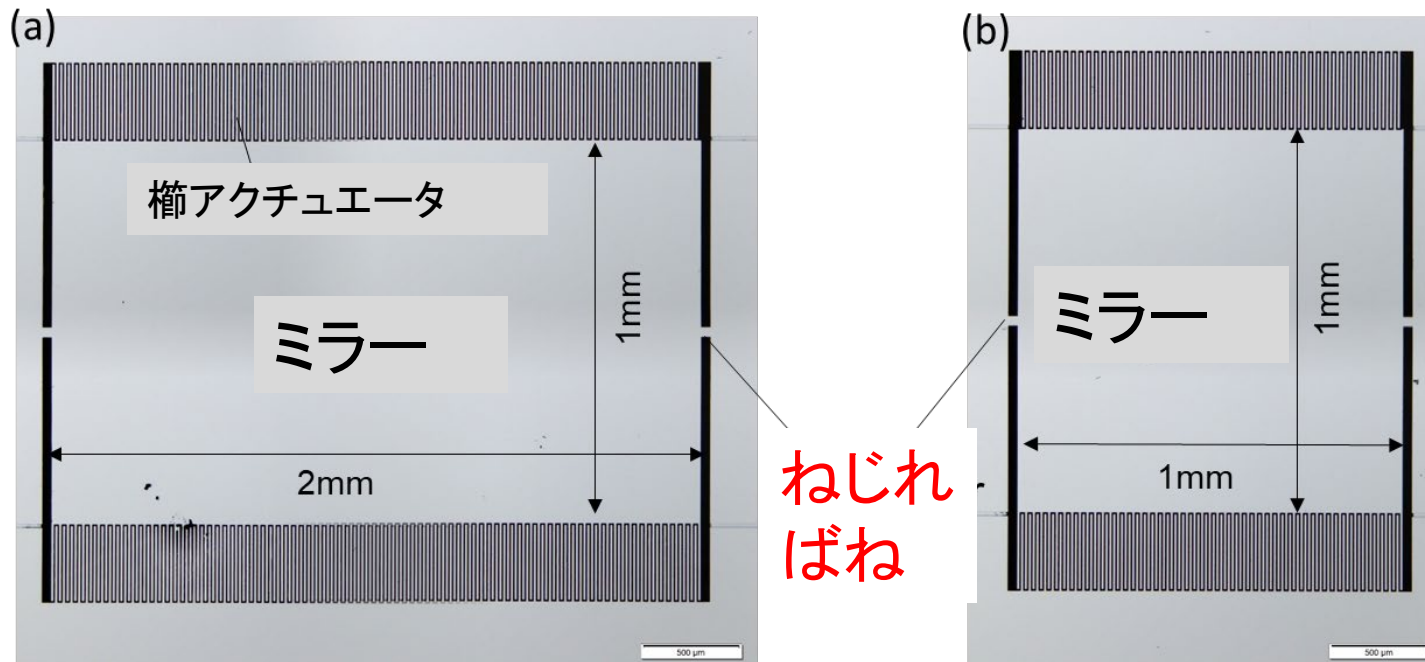
(e) N₂でパージ



(f) (b) ~ (e)を繰り返す



テスト用マイクロミラー



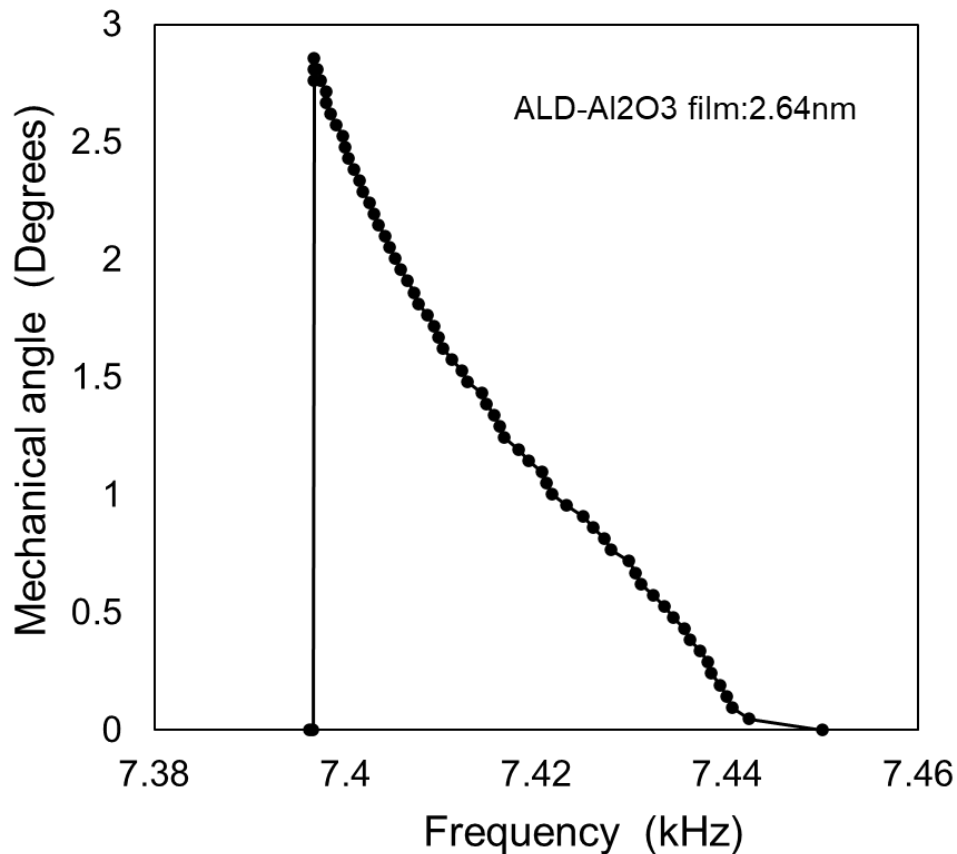
ミラーは厚さ $251\mu\text{m}$ で、同じ厚さのSOIウエハを用いている。ねじればねと楕円アクチュエータは厚さ $50\mu\text{m}$ 。ねじればねは長さ $50\mu\text{m}$ 、幅 $50\mu\text{m}$ で、 $R=10\mu\text{m}$ の角面取りがある。

製作したテスト用ミラー

(a) $2\text{mm} \times 1\text{mm}$ 角, (b) $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 角.

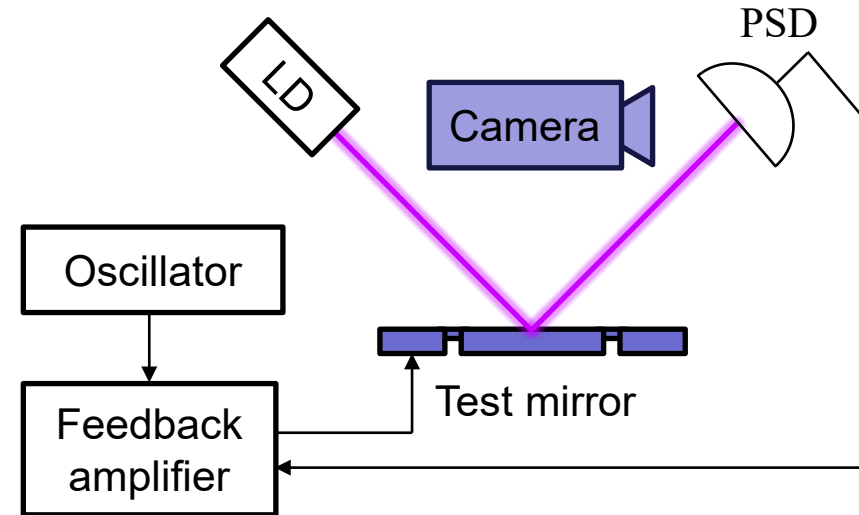
ねじればねはボッシュプロセスの深堀反応性イオンエッチングにより形成されている。従って、加工表面は 350nm 周期の筋状の凹凸表面構造が存在している。ALDアルミナのコートでは、特別な処理なしに、そのまま上にコートしている。

テスト用ミラーの特性と実験方法



マイクロミラーの共振振動曲線

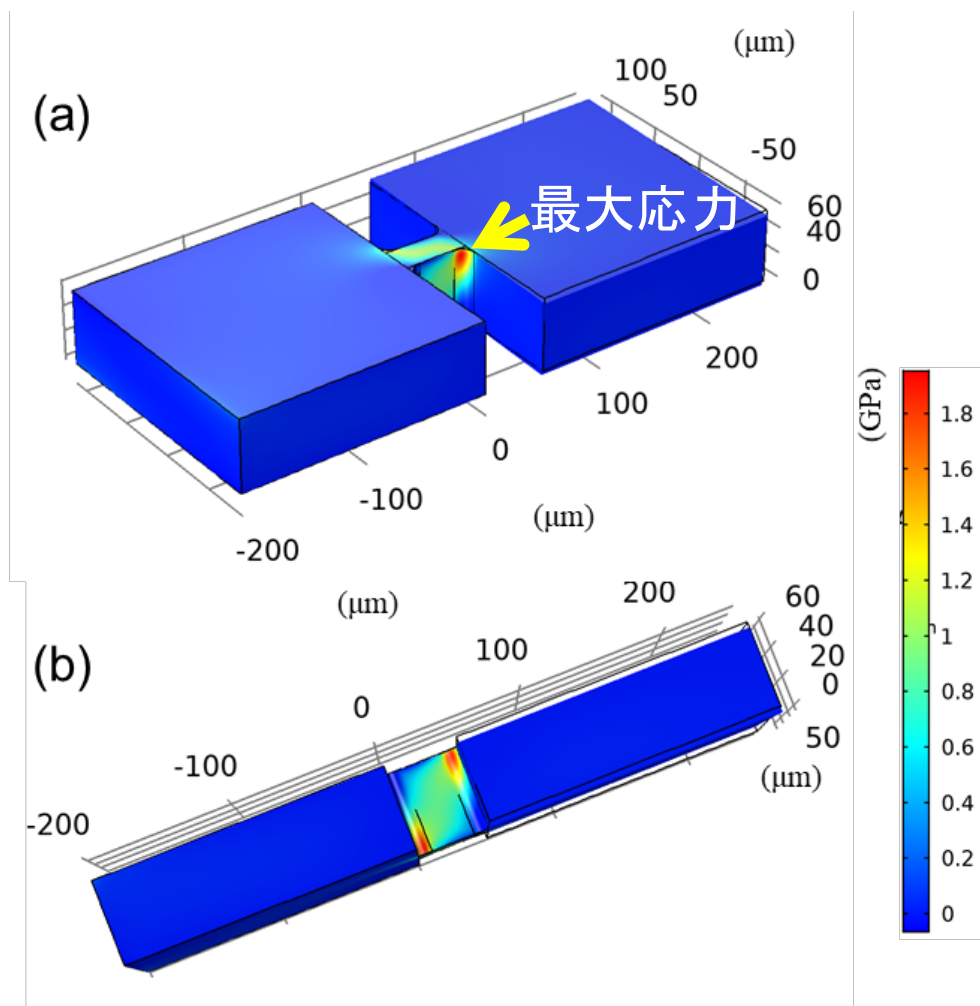
ミラーの共振振動周波数はおよそ7.4 kHzである。振動曲線は低周波数側にシフトしており、ソフトスプリング効果を示している。



実験装置

ミラーの寿命測定では、走査角度はフィードバック回路により、一定に保たれている。

ねじればねに加わる最大印加応力をシミュレーションにより求める



ねじればねの応力分布は有限要素法 (Comsol)により計算した。

回転時の最大応力は、ねじればねの対角端点に発生する。

実験で、ねじればねに印加した応力は、シミュレーションに基づいて、ミラーの回転角から求めた。

マイクロミラーに発生する応力の計算結果

原子層堆積 (ALD: Atomic layer deposition) 結果と残留応力

ALD装置: テクノファイン TF-ALL)

基板温度: 180 °C.

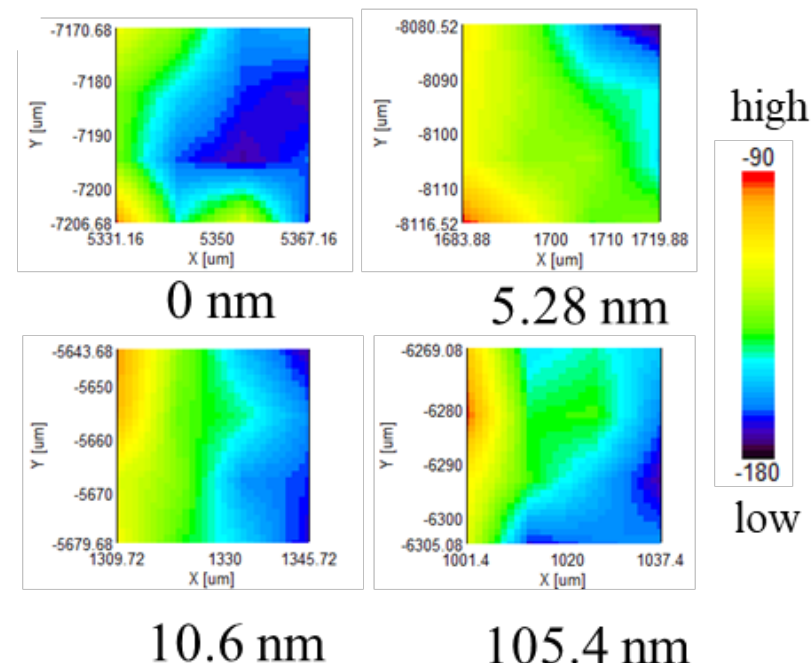
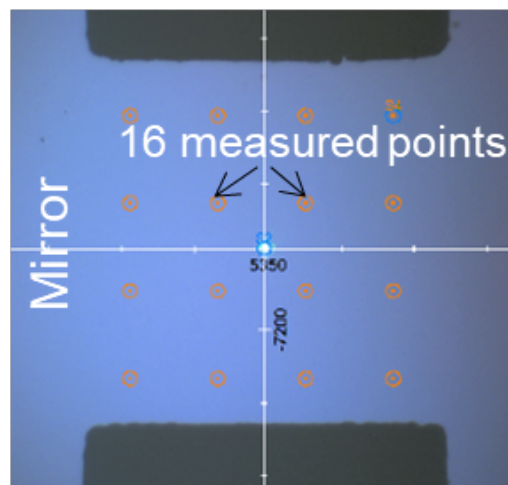
堆積膜厚: Al₂O₃: 2.64nm
(20サイクル)

及び 10.6nm
(80サイクル)

表面粗さ: 0.77 nm (RMS)

ピンホール密度:

0.002 count/μm²



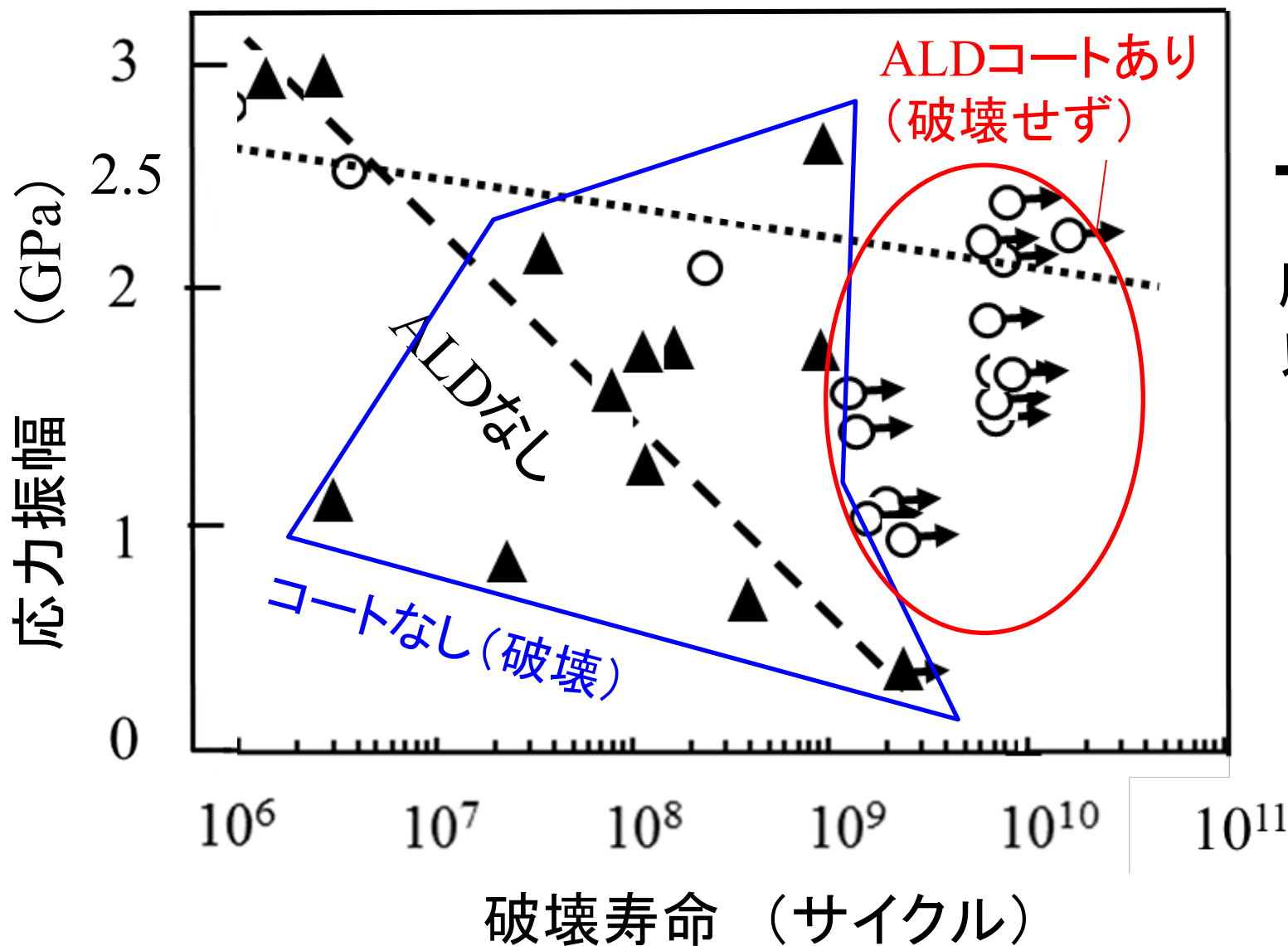
ラマン分光により、ALD アルミナをコートしたねじればねのシリコンの応力を測定した。

(a) 残留応力を測定した16点の位置

(b) 異なる膜厚における応力分布

シリコンの残留応力は、5.28 nm厚の堆積膜に対して、およそ140 MPaの圧縮 and 10.6 nm厚に対して228 MPaの圧縮応力であった。

破壊寿命の測定



- コートあり
- ▲コートなし

→ 矢印付: 破壊せず

応力振幅が2.5GPa以下において、

ALDコートしたもので破壊したものは1/15

ALDコートしたものは1桁~2桁以上寿命が延びる

通常最大の利用応力は1.5GPa程度なので、実用領域で効果あり

想定される用途

- レーザディスプレイ、デジタルサイネージ
- ヘッドマウントディスプレイ (VR/AR/MR)
- レーザプロジェクションマッピング
- 自動運転技術 ライダー (LiDAR)
- ヘッドライト配光装置
- バーコードリーダー
- レーザ眼底検査装置
- レーザ走査表面形状測定装置
- その他

実用化に向けた課題

- 現在、シリコンMEMSミラーについて試験が可能なところまで開発済み。しかし、効果発現の物理化学的理解の解明の点が未解決である。
- 今後、広い環境条件について実験データを取得し、効果を最適にする条件を設定する。
- 実用化に向けて、それぞれのデバイスについて寿命の延長を数値で確認する。

企業への期待

- 未解決の物理化学的理解の解明については、破壊の研究により克服できると考えている。
- MEMS技術に興味を持つ企業との共同研究を希望。
- また、ミラーおよび可動部のあるMEMS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 : 走査ミラーおよび
走査ミラーの製造方法
- 特許番号 : 特許第6795165号
(出願日2020年4月27日)
- 出願人 : 東北大学
- 発明者 : 羽根一博、佐々木敬、
藤田祐樹
- 国外出願 : 米国、欧州、中国準備中

問い合わせ先

東北大学

産学連携機構 総合連携推進部

Website <https://www.rpip.tohoku.ac.jp/jp/>

TEL 022-795-5274

FAX 022-795-5286

E-mail souren@grp.tohoku.ac.jp