

令和元年6月6日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K17593

研究課題名(和文) 機械音波相互作用を利用した低電圧駆動型マイクロミラーの研究

研究課題名(英文) Study of low-voltage micromirror using interaction between acoustic wave and mechanical structure

研究代表者

佐々木 敬 (Takashi, Sasaki)

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：60633394

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)：マイクロミラーには一般に小さな駆動電圧で大きな変位や回転角度が求められる。そのため、レーザー走査が必要な機器においては、マイクロミラーは小さな駆動電圧で大きな動作が達成可能な、共振を主に利用し駆動される。音響空洞構造は、共振状態のデバイスから放射される音波エネルギーを構造内に閉じ込め、更なる変位や回転角度の増大を目的として考案された。製作したマイクロスキャナ構造において、単純な平面基板上へ設置したものより、適切な空洞長を持つ基板構造に置いたものにおいて振幅の増加が見られ、スキャナ構造においても音響空洞の効果が実験的に確認された。また、任意形状の音響空洞解析のための数値計算環境の基盤が整った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

微小電気機械システムの特にマイクロミラーの低消費電力化のため、大気中に放出される音波エネルギー放射低減構造について研究を行った。マイクロミラー周囲に設置した音響空洞構造の解析及び実験を行った。単純な構造のみでなく、任意形状の音響空洞構造やデバイス形状に対する解析環境の基盤が整った。また、実験的にも音響空洞構造の効果が観測され、デバイスの低電圧化の一つの手法として期待される。

研究成果の概要(英文)：Generally, micromirrors are required to be large displacement or rotational angle with lower voltage. Therefore, the micromirrors have been operated near the resonant frequency for achievement the large motion with lower voltage in laser scanning instruments, basically. An acoustic cavity which confines acoustic energy is for increasement of the displacement or rotational angle of the resonant devices which radiate acoustic energy to atmosphere. In the experiment, comparing with placement on flat plate, the amplitude increasement of the fabricated micro scanner structure placed on the acoustic cavity with appropriate acoustic cavity length was observed. The effectiveness of the acoustic cavity for micro scanner structure was confirmed in experiment. And calculation environment of the acoustic cavity of an arbitral shape using numerical method has been also constructed.

研究分野：光MEMS

キーワード：光MEMS マイクロミラー 焦点可変ミラー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マイクロミラーは回転振動もしくは屈曲振動する小さな光学鏡のことを指す。光を偏向や集光する際に用いられる。近年、ウェアラブルグラスなどへ応用が進んでいる。これらの機器の解像度や消費電力はミラーの振動振幅と駆動電圧に直接関連するため、低駆動電圧で大振幅振動可能なマイクロミラーが望まれている。

2. 研究の目的

我々は、原理検証デバイスを用いて音波と機械の相互作用を利用した低電圧化の手法を提案しているが、最適な音響構造の実験的、理論的な研究が十分でなかった。本研究では、これらの現象を追求し低電圧駆動型のマイクロミラーを実現することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 音響空洞の実験

空洞構造の実験的な検証をマイクロスカナ構造を用いて行った。検証に用いたマイクロスカナ構造はマイクロマシニングプロセスを用いて製作した。図 1 にマイクロスカナ構造の概略図を示す。マイクロスカナ構造は電気的に絶縁された二層の半導体板構造から製作される。マイクロスカナには低電圧で大きな回転角が得られることが望ましい。マイクロスカナはトーションバーで支持されたミラー構造にアクチュエータによるトルクが加えられ、回転振動する構造となる。一般に、低電圧で大きな振動振幅を達成するために、共振周波数による駆動が行われる。大気中で振動するミラー構造により、その周囲の気体が圧縮膨張されるので一般に音波が放射される。放射される音波は回転振動するミラーからのエネルギーを奪うため回転振動振幅が低下する。ミラーに設置された音響空洞構造は、この放射音波を構造内に閉じ込める目的で設置される。音響空洞構造は構造が大きく高い周波数で効果が高いことが解析的な計算により予測されたため、効果を検証するために大きく高い周波数のマイクロミラーを製作した。図 2 にマイクロスカナの製作プロセスを示す。製作には上層シリコン/絶縁層/基板シリコンの厚さが $220\mu\text{m} / 1\mu\text{m} / 40\mu\text{m}$ の Silicon-on-insulator (SOI) ウエハを用いる。まずデバイスシリコン層を反応性イオンエッチング装置で加工する。次に基板シリコン層を反応性イオンエッチング層で加工する。最後に弗酸溶液を使用して酸化シリコンを除去する。図 3 に製作されたマイクロミラーを示す。使用した製作プロセスによりうまくマイクロスカナ構造を製作することができた。図 4 にマイクロスカナ構造と音響空洞の概略図を示す。マイクロスカナにおいてはミラーによってレーザーを反射する必要があるため、ミラーの片面に基板を模擬した空洞構造を設置した。空洞の長さは空洞構造に挿入される角柱の高さを変えることで調整され、この時のミラーの振動振幅を計測する。実際の実験に用いた実験装置の外観を図 5 に示す。音響空洞構造はアルミニウム板を機械加工して製作した。また角柱もアルミニウムを使用した。この音響空洞構造上に製作したマイクロスカナが設置されている。音響空洞長は位置の微調整が可能ナステージを利用し調整した。ミラーの振動振幅は

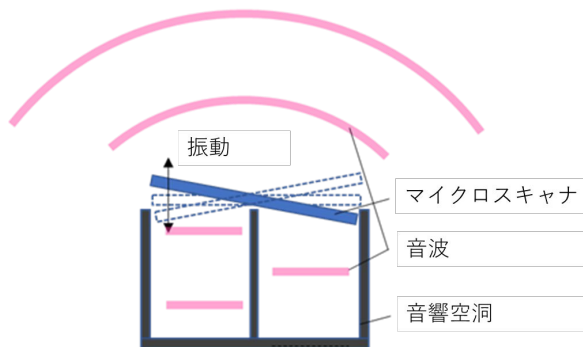


図 1 音響空洞構造を備えたマイクロスカナ構造の概略図

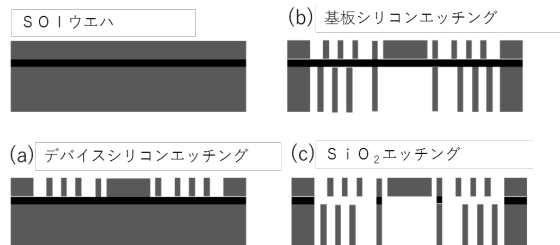


図 2 製作プロセス

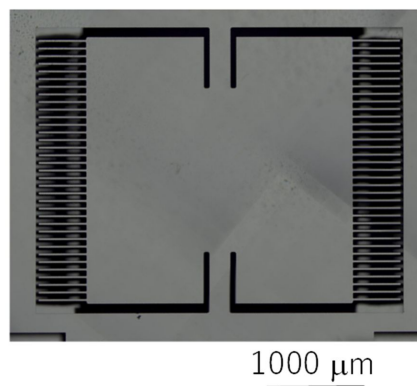


図 3 製作したデバイスの光学顕微鏡写真

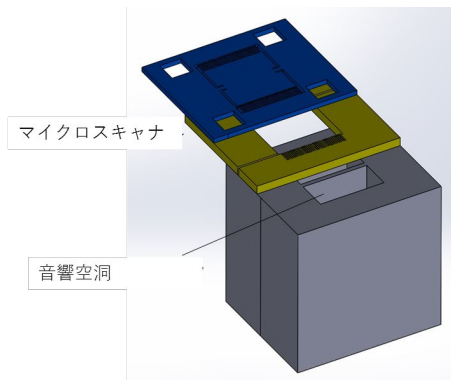


図4 マイクロスキャナと音響空洞の概略図

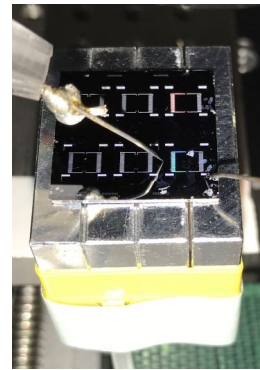


図5 実験装置の写真

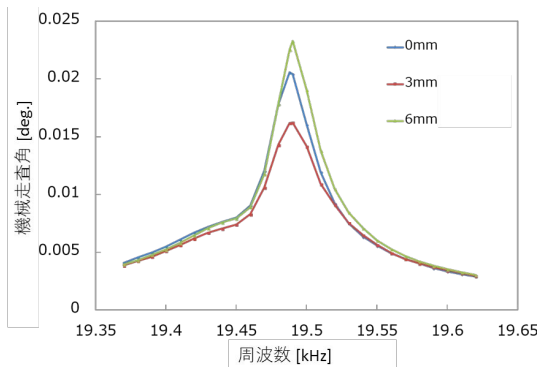


図6 音響空洞を備えたマイクロスキャナの各空洞長における周波数特性

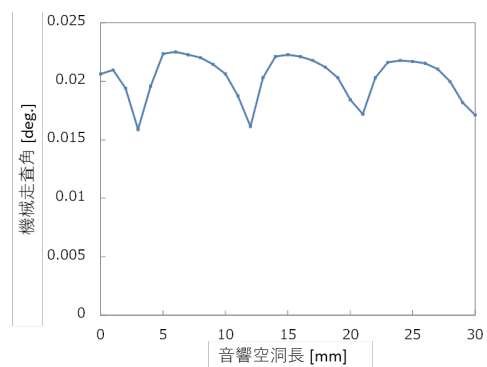


図7 音響空洞長に対するスキャナの回転角度振幅

レーザードップラー振動計を用いて計測した。図6に音響空洞長に対するミラーの振動振幅を示す。音波の二分の一の長さに対応する周期で振動振幅が変化した。このため、マイクロミラー構造においても音波による効果が存在することが検証された。図6に音響空洞構造を設置したミラーの周波数特性を示す。平板上へのミラーの設置に対応する、音響空洞長が0mmと比較し、空洞長が3mmの時の振動振幅は2.1%減少した。また、6mm時には振動振幅が1.3%増加した。実験的に音響空洞の長さによりミラーの回転振動角度が変化することが明らかとなった。単純な平板上の基板にマイクロミラー構造を設置した場合と比べ、振動振幅が増大することが分かった。

(2) 音響空洞の数値解析

空洞の解析には手計算で解析可能な単純なモデルを用いていたが、実際のデバイス形状は任意形状であるため、数値解析の導入が望ましい。機械振動と音波放射を同時に解析できるモデルを用い、数値計算的な解析を試みた。周辺支持された弾性円板振動構造の両側に音響空洞構造を設置した構造、片側に設置した構造の二種類を解析した結果を図8、9に示す。両側に設置した構造の端は音波が反射する境界条件、片側に設置したものについては片方は音波が反射する条件、もう片側は音波が吸収される境界条件を用いた。

図8のモデルにおいて、音響空洞長を変化させ、計算を行うと、ミラーの振動振幅は音波波長の二分の一の周期で変化した。また、最適な音響空洞構造においては振動振幅が発散する結果が得られた、これらの結果は手計算で求めた、解析的な計算により予測されたものと同様の結果である。

また、図9の構造の計算も音響空洞長を変化させて行った。この片側に音響空洞構造が設置された構造は、実験を行った共振型焦点可変ミラーのデバイスの構造に近い。図9に示すモデルにおいては振動振幅が発散は見られず、ある振動振幅に定まる結果が得られた。実験結果と今回行った解析を比較すると、振動振幅の音響空洞に対する変化周期は数値計算と実験ではほぼ一致した。しかしながら、振動振幅が最大となる空洞長については若干の差が見られた。今回の解析モデルでは空気粘性の効果は考慮されていないため、より高い精度の設計を行うためには粘性の効果の考慮が必要であると考えられる。また、音響空洞の直径を増加させると、振動振幅が最大化する空洞長が短くなる傾向が計算により得られた。手計算では難しかった最適な空洞構造の探索に有用な手法であると考えられる。

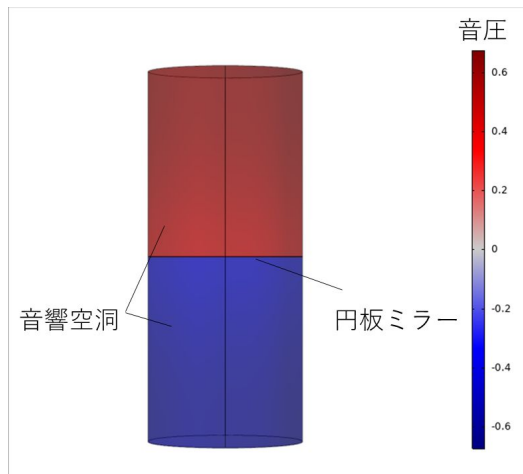


図8 両端に空洞構造が設置された
振動円板ミラー

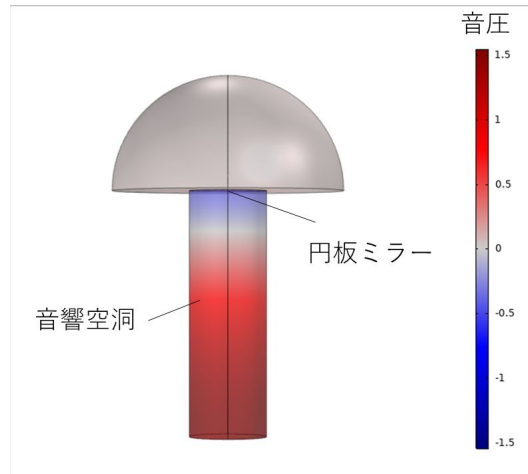


図9 片側に空洞構造が設置された
振動円板ミラー

4．研究成果

回転振動するマイクロキャナ構造に対する音響空洞の効果の検証を行った。製作したスキャナ構造において音響空洞長を変化させると、振動振幅が空洞長の変化に伴い周期的に変化した。マイクロキャナ構造においても空洞の効果が見られた。また、最適な長さの空洞構造において、平板上に設置したマイクロキャナよりも大きな回転角度が得られた。最適な空洞長があることが実験的に示された。また、音響空洞構造の数値計算も行い手計算による解析計算および実験結果と比較した。手計算による計算と数値計算で得られた結果はほぼ一致した。任意形状の計算が可能となる、解析基盤が構築された。

5．主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

(1) Takashi Sasaki, Takuya Kanesawa, Kazuhiro Hane

Evaluation of Scanning Micromirror with Acoustic Cavity

2018 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (OMN) (国際学会)

2018年

(2) 鎌田 拓郎, 佐々木 敬, 羽根 一博

節点支持を用いた共振型焦点可変ミラーの製作および特性評価

2017年度精密工学会東北支部学術講演会

2017年

(3) 金澤 卓哉, 佐々木 敬, 羽根 一博

音響空洞を備えたマイクロキャナの特性解析

日本機械学会 東北支部 第53期

2017年

6．研究組織

(1)研究分担者 無し

(2)研究協力者 無し

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。