

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01267

研究課題名(和文)自動運転およびディスプレイ用の広角度走査マイクロミラーの研究

研究課題名(英文)Study of wide-angle scanning micro mirror for self-driving and display

研究代表者

羽根 一博 (Hane, Kazuhiro)

東北大学・未来科学技術共同研究センター・教授(特任)

研究者番号：50164893

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,100,000円

研究成果の概要(和文)：自動運転用の距離センサや仮想空間網膜ディスプレイに利用が期待されるレーザ走査用MEMSマイクロミラーの高角度化と耐久性の向上を目指し、広角度走査時の非線形性を抑え、破壊応力限界を上昇させる方法を研究した。静電櫛ばねの付加により、回転ばねの非線形性を部分的に打ち消す方法を見出した。二次元走査におけるコリオリ様の運動非線形性を解析し、低減のための設計法を見出した。回転ばねの破壊寿命に関しては、ナノメートル厚さの原子層堆積アルミナ膜をばね表面に堆積することで、実用応力領域において、寿命を二桁程度延ばせることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動運転用の距離センサ(ライダー)や仮想空間表示用の網膜ディスプレイなどに利用が期待されるマイクロミラー走査器(走査器)について研究した。非線形効果による角度制限を取り除き、広い角度の走査を実現する方法を見出した。また広い走査角度で問題となる回転ばねの破壊を防ぐため、原子層堆積法により極薄い一様なアルミナ薄膜を回転ばね表面に堆積した。これにより破壊寿命を従来より二桁程度延ばせることを示した。これらの成果により走査角度の広いライダー距離センサを実現でき、自動運転の普及に貢献できる。また仮想空間の表示において、高い解像度を実現できるので、現実感が向上できる。

研究成果の概要(英文)：Laser scanning MEMS micromirrors are promising for the ranging of self-driving car and the retinal display of virtual reality. For widening the scan angle and improving the durability, we studied the methods of suppressing the nonlinearities at wide angles and increasing the fracture limit of springs. Adding the electrostatic springs, the nonlinearity of the torsional springs was partially cancelled. Studying the nonlinearity of Coriolis-like motion in 2D scanning, a mirror design method for suppressing the nonlinearity was found. About the extension of the lifetime of torsion springs, it was shown that the lifetime was extended by approximately two orders of magnitude in the practical stress region by coating an atomic layer deposited alumina film of a few nanometers in thickness on the torsion springs.

研究分野：光学応用微小電気機械システム(Optical MEMS)

キーワード：走査ミラー 微小電気機械システム シリコン 破壊寿命 MEMS

1. 研究開始当初の背景

レーザを走査するマイクロミラー走査器(スキャナ)は自動運転用レーザ距離センサ、自動車ナビのフロントガラスへの表示、手のひらサイズのディスプレイなど広い応用が期待されている。自動運転のグーグルカーでは、天井に全周(360度)走査のレーザ距離センサが搭載されている(図1)。しかし、その大きさは、縦横10cm以上である。自動運転は主に画像処理によって行われるが、人や障害物の確認には、レーザ距離センサが欠かせない。レーザの走査角は360度必要であるが、マイクロマシン(MEMS)ミラーのスキャナでは、このような広角度は十分実現されていない。一方、ディスプレイ応用で高解像度化も重要な課題である。GaN系半導体レーザの発明により、コンパクトな3原色光源を構成できるようになった。しかし、レーザ走査ディスプレイ(図2)においては、低解像度に留まっている。これらの問題の根本原因は、マイクロミラー走査器の性能限界による。最も重要な問題点は、大回転角で発生する大きな応力による材料(Si)の破壊と非線形ばねによる不安定である。スキャナはシリコンのマイクロマシニングにより制作されるが、回転角および走査周波数の増大に伴って、シリコンのねじればねには大きな応力が発生し、破壊限界に達する($\sim 1.6\text{GPa}$)。また高角度では、ばねに引張り応力が発生し固くなる(ハードスプリング効果)。このため、回転角が小さい場合と大きい場合でばね定数が異なり、スキャナを運転するとき共振周波数が回転角度に依存する。従ってヒステリシスが発生し、動作が不安定になる。これらの問題により、高解像度(HD)に達しているマイクロミラー走査器はほとんどない。

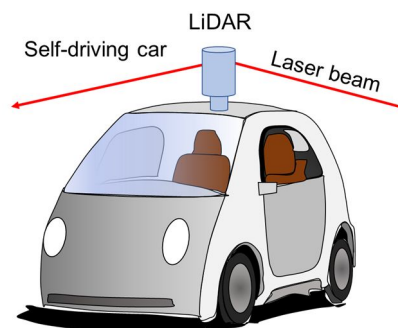


図1 自動運転用レーザ距離センサ

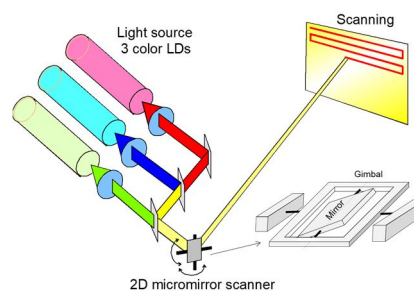


図2 レーザ走査ディスプレイ

2. 研究の目的

自動車の自動運転には、小型のレーザ走査型距離センサは不可欠である。グーグルカーの屋根にも搭載されているが大型である。MEMS技術による小型化が期待されているが、全周(360度)を走査できるMEMSスキャナは開発されていない。一方青色半導体レーザの発明で、3原色の小型レーザによるレーザディスプレイの実用化も注目されている。しかしその解像度は液晶ディスプレイに比べてかなり低い。これらの問題は、広い走査角度のMEMSスキャナの開発が困難であることによる。本研究ではスキャナの広角度時の破壊応力限界を上昇させ、スキャナの非線形性を抑えることで、これまでの限界を超えるMEMSマイクロミラー走査器を研究する。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため、主に次の2方法について研究を進めた。

(1) 非線形補償

大回転で発生する非線形ばねによる不安定を解決するため、非線形補償できる静くし歯の能動ばねを設計、製作した。静電引力により発生するばねを理論解析した。微細加工により静電ばねを製作し、特性を明らかにした。また2次元の大回転走査で発生する運動非線形についても理論解析した。微細加工によるスキャナの試作により、運動非線形の補償方法を研究した。

(2) 破壊限界改善

シリコン材料の破壊限界を超えるためシリコンより破壊強度の大きい材料を用いた複合構造で補強する方法を研究した。シリコン構造上に高強度のGaN薄膜を堆積することを検討した。さらに近年注目される原子層堆積法(ALD)を用いたコンフォーマルコーティングに注目した。高強度のアルミナ(Al_2O_3)のALD-コーティング特性を研究した。破壊の亀裂進展を防止するためシリコンスキャナ上にALD-アルミナのコーティングを試みた。アルミナ膜は数ナノメートルからサブミクロンの厚さで原子層堆積法により堆積した。原子層堆積法によるアルミナでコーティングしたシリコンスキャナを製作し、破壊強度および破壊寿命を測定した。

4. 研究成果

(1) 非線形補償

まず、非線形補償できる静くし歯を理論解析し、構造設計した。スキャナに用いられるねじればねは、広い角度を走査するとき、引張応力によるハードスプリング非線形が発生し、周波数走査に対してヒステリシス等の不安定が生じる。本研究では、静くし歯アクチュエータを静電ば

ねとして用い、シリコンねじればねのハードスプリング非線形を、静電ばねのソフトスプリング非線形で打ち消す方法を提案し、理論式に基づいて解析した。その結果、静電ばねの非線形性はねじればねの非線形性より角度依存性が大きいが、正負逆の特性があり、ねじればねのハードスプリング非線形を打ち消せることを、解析解から示した。この結果に基づき、シリコンのスキヤナを製作した(図 3a)。製作したスキヤナを用いて、真空中で数 V、大気中で十数 V の直流電圧を静電くしばねに印加することで、非線形性をゼロにできることを示した(図 3b)。

また、直流電圧だけでなく、交流電圧の印加により、走査角の低下を抑えて非線形を補償できることを見出した。

さらに、スキヤナのばね非線形性の研究を進展させて、自動運転用の全方位スキヤナの運動非線形について研究した。ジンバル型の全方位スキヤナにおいて、以下に示す運動方程式を導出し、理論解析した。

$$I_{\eta} \ddot{\theta}_1 - \frac{1}{2}(I_{\xi} - I_{\zeta})(\dot{\theta}_2)^2 \sin 2\theta_1 + \gamma_1 \dot{\theta}_1 + k_1 \theta_1 = N_1 \quad (1)$$

$$(I_{\zeta} + J_z + (I_{\xi} - I_{\zeta})\sin^2 \theta_1) \ddot{\theta}_2 + (I_{\xi} - I_{\zeta}) \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin 2\theta_1 + \gamma_2 \dot{\theta}_2 + k_2 \theta_2 = N_2 \quad (2)$$

ここで、 I_{η} 、 I_{ξ} 、 I_{ζ} 、 J_z は、ミラー面に固定された座標(,)におけるミラー回転軸()、ミラー法線軸()、ジンバル回転軸()に関するミラーの各慣性モーメントおよびジンバルフレームの回転軸(z)における慣性モーメントである。また、 θ_1 はミラーのジンバル面に関する回転角、 θ_2 はジンバルの回転角、 γ_1 、 γ_2 はミラーおよびジンバルの減衰係数、 k_1 、 k_2 はそれぞれのばね定数、 N_1 、 N_2 はそれぞれの外部印加トルクである。

式(1)の第 2 項および式(2)の第 1 項と第 2 項により運動の非線形が発生する。すなわち、2 軸の運動方程式がコリオリ力のような非線形相互作用力により連成していることが分かり、強い(ソフトスプリング状態の)非線形を示すことを明らかにした。図 4a,4b,4c には、それぞれ、全方位走査の光学系、2 軸の共振曲線および回転角度の印加トルク依存性を示す。

全方位走査するには、2 軸を同じ周波数で位相差 $\pi/2$ でミラーとジンバルを振動させる。このとき、どちらも機械共振周波数と近接させて、振動振幅を増大させる。試作した一般的なスキヤナ構造で、共振曲線を計算すると、図 4b に示すように、複雑な曲線となった。このとき、走査軌跡を円形に近づけられるが、非線形性により、振幅が印加トルクに比例せず、図 4c に示すように、小さい値に飽和することが示された。また、一般的には、走査軌跡は楕円となり、円形への調節は制御できない場合も多く見られた。これらの非線形を回避する条件として、2 軸の慣性モーメント条件($I_{\xi} - I_{\zeta} = 0$)が存在することを見出した。この場合、式(1)と(2)は分離でき、独立となる。この条件を実現するように 2 軸の慣性モーメントを調整したマイクロ走査ミラーを設計できることを示した。この条件で試作も試みたが、微細加工に高い精度が必要で、完成には至らなかった。

非線形性がどの程度現れ、走査できる角度領域がどの程度あるかを調べるため、一般的な薄いミラーの構造を用いて試作した。図 5a に試作したジンバル型 2 軸スキヤナを示す。2 軸の共振周波数を揃えるため、切り離せる

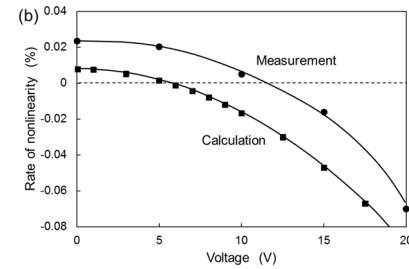
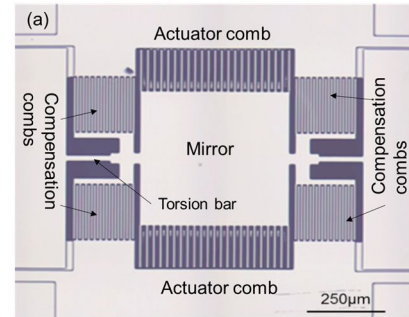


図 3 (a)試作した非線形補償用静電くしを持つスキヤナと(b)非線形率の電圧依存性

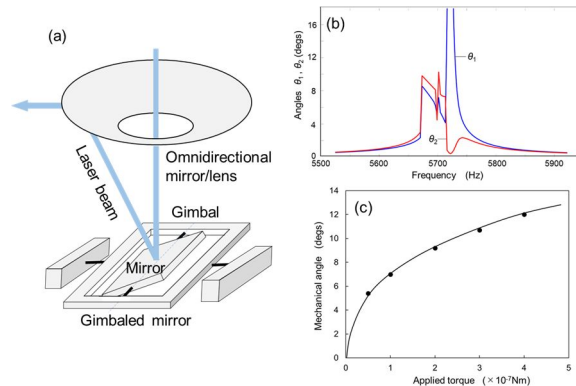


図 4 (a)全方位走査の光学系、(b) 2 軸の共振曲線、(c) 回転角度の印加トルク依存性

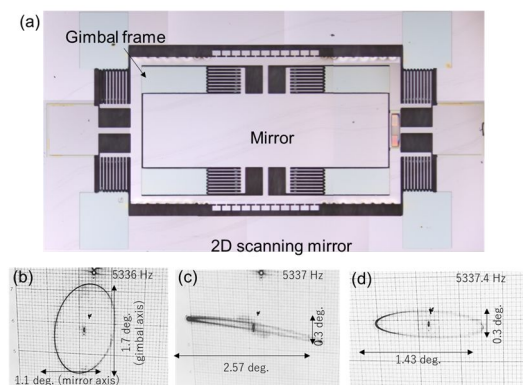


図 5 (a) 試作したジンバル型 2 軸スキヤナ、(b),(c),(d) 走査軌道の例

チップをジンバルフレームに設けている。図 5b,5c,5d は真空中で観測した走査軌道の例である。周波数の変化と共に、異なる軌道が現れるが、その形は楕円となり扁平度が異なっている。図 4b に示したように駆動周波数に応じて非線形度合いが異なり、2 軸の振幅が異なる楕円が生じている。スキャナの周囲の気体圧力を大気圧に増加して、式(1),(2)の減衰項を増加させると、振幅は小さくなるが、非線形性は低減され、円形に近い軌跡が得られた。実験において、理論で予測されるような非線形性が観測でき、狭い角度範囲であるが、円状の全方位操作を実現した。

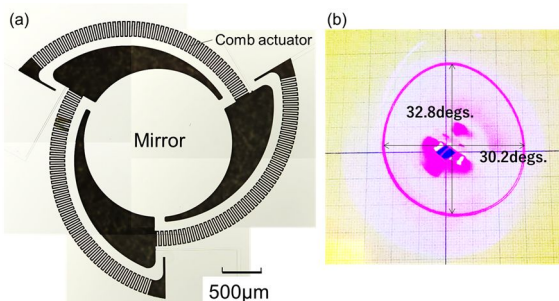


図 6 (a)試作したジンバルレス型 2 軸スキャナ、(b)走査軌道の例

運動の非線形性は残るものの、比較的安定な円形に近い走査が行えるよう、対称性の高いジンバルレス型スキャナを設計し、試作した。図 6a に試作したスキャナの写真を示し、図 6b に走査軌跡の例を示す。非線形性は一部残るものの、光学全角で 30 度以上の円状走査を実現でき、これまでに報告のない大きな走査角を実証した。これらの成果により、本研究の第 1 の目的の大部分を達成できたと考えられる。

(2) 破壊限界改善

破壊応力限界を上昇させるための、高強度材料を組み合わせる方法を研究した。まず GaN 半導体薄膜とシリコン構造の組み合わせによる補強について、予備実験と検討を行ったが、均一膜の堆積が困難であった。そこで、コンフォーマルな薄膜堆積法として近年注目される原子層堆積法について調査し、アルミナ (Al₂O₃) の原子層堆積法の有効性に注目した。予備実験として原子層堆積法 (ALD) によりアルミナをシリコン基板上に堆積し、特性を測定した。シリコン側に圧縮応力が働くこと、ピンホールが極めて少ないことを見出した。加えて、アニールの効果、透過電子顕微鏡観察による堆積膜の断面均一性の評価など基礎データを収集した。化学的にも安定であることなどから ALD-アルミナ膜が高強度材料を組み合わせる方法として有望であると考えた。

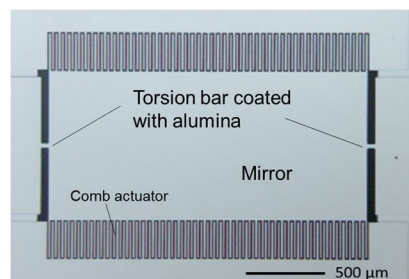


図 7 破壊試験用スキャナ

マイクロミラースキャナの破壊強度および破壊寿命を測定するため、破壊試験用スキャナを試作した。試作には、多数の同じ性能のスキャナが必要となるので、4 インチウエ八を用いてファウンダリーにて多数のデバイスを製作した。図 7 に製作したスキャナの一例を示す。駆動には静電くしアクチュエータの共振動作を用いた。ALD-アルミナを堆積したスキャナと堆積していないスキャナで、静的応力印加に対する破壊強度および繰り返し応力印加に対する破壊寿命を測定した。測定ではレーザ反射角を常に測定し、角度を維持するフィードバック制御を行った。

ALD-アルミナ成膜により、ねじればねに発生する内部応力、ばね定数の変化を調べた。ALD-アルミナ膜厚は主に 2.64nm と 10.6nm で実験を行った。ねじればねの残留応力は、わずかに圧縮状態であり、ばね定数への影響は、膜厚が薄いので、極めて少なかった。静的なねじれ応力印加による破壊強度の測定では、わずかの膜厚であるが破壊強度に違いが生じることが示された。

静的応力印加による破壊強度は ALD-アルミナ成膜によりむしろ低下していることが示された。しかし、通常の走査で印加する繰り返し応力印加における寿命測定においては、比較的長い寿命において、破壊の応力振幅強度は顕著に増加していることが明らかにできた。図 8 に測定した応力振幅の破壊寿命依存性を示す。数か月の長期間破壊寿命測定の結果、印加応力振幅が 2GPa 以下において、ALD-アルミナをコーティングしない場合に比較して、2 桁以上寿命が延びることが示された。実用的な応力領域で破壊寿命が延びることは、産業上も重要と考えられ、特許を取得した。これらの結果から、本研究の第 2 の目的の主要部分を達成できたと考えられる。

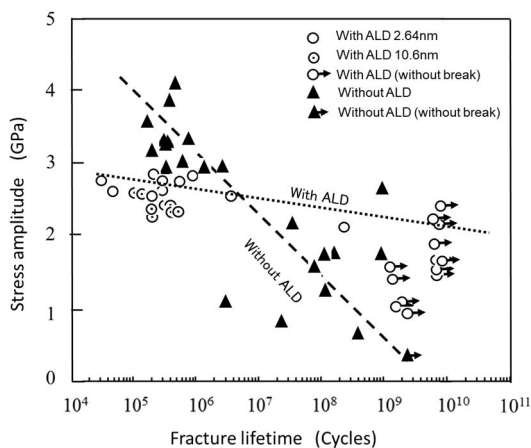


図 8 応力振幅の破壊寿命依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hoang Manh Chu, Takashi Sasaki, Kazuhiro Hane	4. 巻 24
2. 論文標題 Wafer-level vacuum package of two-dimensional micro-scanner	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microsystem Technologies	6. 最初と最後の頁 2159 ~ 2168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00542-017-3668-2	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 該当する
1. 著者名 Thubthimthong B., Sasaki T., Hane K.	4. 巻 112
2. 論文標題 Electro-optic guided-mode resonance tuning suppressible by optically induced screening in a vertically coupled hybrid GaN/Si microring resonator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 071102 ~ 071102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5013227	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 Hashida Ryohei, Sasaki Takashi, Hane Kazuhiro	4. 巻 57
2. 論文標題 GaN microring waveguide resonators bonded to silicon substrate by a two-step polymer process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 2073 ~ 2073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.57.002073	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 Neelam Kaushik, Takashi Sasaki, Toru Nakazawa, Kazuhiro Hane	4. 巻 57
2. 論文標題 Simple retinal imaging system using a MEMS scanning mirror	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 095101 ~ 095101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.0E.57.9.095101.	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 Takashi Izawa, Takashi Sasaki, Kazuhiro Hane	4. 巻 8
2. 論文標題 Scanning Micro-Mirror with an Electrostatic Spring for Compensation of Hard-Spring Nonlinearity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 240 ~ 240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi8080240	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 Tomohiro Suzuki, Chernroj Sawasdivorn, Takashi Sasaki, Hiroshi Matsuura, and Kazuhiro Hane	4. 巻 1
2. 論文標題 Multileveled tunable silicon grating array bonded on large scale integration substrate by polymers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Optical Microsystems	6. 最初と最後の頁 13501 ~ 13501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JOM.1.1.013501	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 -

1. 著者名 Neelam Kaushik, Takashi Sasaki, Hiroyuki Kamijo, Toru Nakazawa, Kazuhiro Hane	4. 巻 61
2. 論文標題 Infrared slit light-based scanning type portable device for monitoring of cataract	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 35103 ~ 35103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.O.E.61.3.035103	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 Yuuki Fujita, Takashi Sasaki, Koichi Fukuda, Nguyen Thanh Tung, Fumio Ogawa, Toshiyuki Hashida, and Kazuhiro Hane	4. 巻 1
2. 論文標題 EXTENSION OF FRACTURE LIFETIME OF SILICON SCANNING MICROMIRROR BY COATING WITH ATOMIC LAYER DEPOSITED ALUMINA THIN FILM	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transducers 2021 Technical Digest	6. 最初と最後の頁 549 ~ 552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/Transducers50396.2021.9495545	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14件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 Takeaki Kobayashi, Takashi Sasaki, Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Cycloidal scanning with MEMS micro mirror for an omnidirectional long range LiDAR
3. 学会等名 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsuya Suzuki, Takashi Sasaki, Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Motion nonlinearity of gimbaled micromirror in omnidirectional scanning for LiDAR application
3. 学会等名 IEEE International Conference on Nano/Micro Engineering and Molecular Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田裕樹、佐々木敬、羽根一博
2. 発表標題 平行平板レバレッジ型走査ミラーの設計
3. 学会等名 精密工学会東北支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木克也 佐々木敬 羽根一博
2. 発表標題 全方位走査のためのジンバル型二軸共振MEMSスキャナ
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽根一博
2. 発表標題 光応用技術のためのMEMS
3. 学会等名 精密工学会春季大会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木敬、鈴木克也、羽根一博
2. 発表標題 全方位走査用ジンバル型スキャナの振動特性解析
3. 学会等名 センサシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuhiro Hane
2. 発表標題 MEMS photonic devices on hybrid Gan/Si platform
3. 学会等名 IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered & Molecular Systems（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiro Hane, Takashi Izawa, Takashi, Sasaki
2. 発表標題 Nonlinear Spring Tuning by Electrostatic Combs in Micro Mirror Scanner
3. 学会等名 Symposium on Design, Test, Integration & Packaging of MEMS and MOEMS（国際学会）
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Kaushik, T. Sasaki, Y. Takahashi, T. Nishizawa, K. Hane
2 . 発表標題 Smart Glass Type Retinal Imaging System Using MEMS Scanner
3 . 学会等名 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Takashi Sasaki, Takuya Kanesawa, Kazuhiro Hane
2 . 発表標題 Evaluation of scanning micromirror with acoustic cavity
3 . 学会等名 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Takashi Izawa, Takashi Sasaki, and Kazuhiro Hane
2 . 発表標題 Nonlinearity compensation of micro-mirror hard-spring by electrostatic combs
3 . 学会等名 International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 R. Hashida, T. Sasaki, K. Hane
2 . 発表標題 GaN Microring Waveguide Bonded to Si substrate by Polymer
3 . 学会等名 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenta Nakazawa, Takashi Sasaki, Hiromasa Furuta, Jiro Kamiya, Hideki Sasaki, Toshikazu Kamiya, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Fabrication of varifocal scanner integrated with piezoresistive focal length and angle sensors
3. 学会等名 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuuki Fujita, Takashi Sasaki, Koichi Fukuda, Nguyen Thanh Tung, Fumio Ogawa, Toshiyuki Hashida, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 EXTENSION OF FRACTURE LIFETIME OF SILICON SCANNING MICROMIRROR BY COATING WITH ATOMIC LAYER DEPOSITED ALUMINA THIN FILM
3. 学会等名 International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 羽根一博 (分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 157-164/278
3. 書名 自動運転・運転支援の実現に向けたセンサ開発: MEMSミラーの原理、構造とLiDARへの応用	

1. 著者名 羽根一博 (分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 S&T出版	5. 総ページ数 80-87/230
3. 書名 距離画像センサの基礎と最先端: LiDARのためのMEMSミラー	

1. 著者名 羽根一博（分担執筆）	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 分担部分11ページ/全ページ数未定
3. 書名 自動運転車に向けた電子機器・部品の開発と制御技術：LiDAR用MEMSミラーの設計技術	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 走査ミラーおよび走査ミラーの製造方法	発明者 羽根一博、佐々木敬、藤田裕樹	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6795165	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 全方位走査ミラー	発明者 羽根一博、佐々木敬	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6890856	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔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	佐々木 敬 (Sasaki Takashi) (60633394)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	令和3年4月より国外企業に移動

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
---------	---------