

静電駆動型MEMS光スキャナの振動特性の温度依存性と走査角制御に関する研究

石河, 範明

<https://hdl.handle.net/2324/1789430>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏名	石河 範明			
論文名	静電駆動型MEMS光スキャナの振動特性の温度依存性と走査角制御に関する研究			
論文調査委員	主査	九州大学	教授	澤田 廉士
	副査	九州大学	教授	澤江 義則 (工学府)
	副査	九州大学	准教授	池田 哲夫 (九州大学病院 先端医工学診療部)

論文審査の結果の要旨

静電駆動型MEMS光スキャナは回転振動する反射面でレーザーを反射することで、レーザーを1次元、もしくは、2次元に走査するMEMSデバイスである。レーザープロジェクタ、工業計測機器、共焦点内視鏡などへ適用することが可能であり、一部は実用化されている。静電駆動型MEMS光スキャナを適用する場合、レーザーを一定の周波数と角度で走査することが求められる。しかし、プロジェクタに使用されているように多くのミラーのアレイを2つの回転角(デジタル)で駆動する応用は普及しているものの、ミラーの走査角を静電気で高精度に広範囲の角度で変化させた応用は温度変動によるミラーの不安定が原因で応用が限られている。しながら、静電駆動型MEMS光スキャナの振動特性の温度依存性について、今まで詳細に検討されていない。本研究では、楕形のアクチュエータの静電駆動型1軸MEMSスキャナ(以下、評価デバイス)の振動特性の温度依存性を実験と理論の両面から検討した。

評価デバイスの構造、製造方法および反射面の固有振動数の理論計算を行い最適な設計を行った。評価デバイスは単結晶シリコンで作製されており、反射面は一对の梁で支持されている。反射面と駆動電極が $10\mu\text{m}$ の空隙を介して対向して配置されており、反射面と駆動電極の間に電位差を与えると、反射面を駆動電極に引き付ける方向に静電引力が作用する。この静電引力を駆動力として回転振動する。反射面の固有振動数を理論的に解析し 1989Hz という結果を得た。

さらに、室温における評価デバイスの振動特性(周波数応答特性、固有振動数およびQ値)の測定を行い、スキャナの振動特性を追究した。静電駆動型MEMS光スキャナの周波数応答特性は、ばね定数の非線形性のため一般的な振動体とは異なる振動特性を示す。そのため、周波数応答特性より固有振動数とQ値を求めることができないことから、反射面の減衰振動より固有振動数を求め、 2045.7Hz という結果を得た。

以上の特性を得た上で、本研究の主要な評価デバイスの振動特性の温度依存性の実験を行なった結果、温度が 30°C から 80°C になると、固有振動数は低下し、それに伴い、周波数応答特性も低周波数側にシフトした。また、一定の周波数で駆動すると、反射面の走査角が小さくなることが分かった。

マイクロミラー振動特性の温度依存性の理論検討結果、実験結果と概ね一致する結果を得、固有振動数が低くなった原因は、剛性率の温度依存性が主要因であることを明らかにした。この結果、評価デバイスの反射面の走査角を楕形アクチュエータの一部をコンデンサと機能させ、そのコンデンサの変化を電氣的に測定し、温度に関わらずレーザーの走査角が一定となるように制御する制御回路を設計、作製し、その機能を確認した。その結果、温度による走査角の変動を $1/10$ 以下に

低減することを可能にできた。

以上のように本論文では、これまでミラーの走査角を静電気で高精度に変化させた応用は温度変動によるミラーの不安定が原因で応用が限られていたが、静電気駆動の温度依存性の要因を深く掘り下げるとともに、実験に一致した理論を構築することにより、マイクロミラー駆動用の楕形電極の一部をミラーの走査角のセンシングとして使用し、フィードバック制御をすることにより世界で最も安定した走査型マイクロミラーを実現し、実際に内視鏡に適用し、鮮明な画像が得られており、MEMS デバイスを考案しその有効性を実証している。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値すると認める。

