

圧電MEMSミラーアクチュエータを用いた 次世代ヘッドアップディスプレイ用走査型映像モジュール

Scanning Display Module with Piezoelectric MEMS Mirror Actuator for Next-Generation Head-Up Display

中園 晋輔* 平岡 聡一郎*
Shinsuke Nakazono Soichiro Hiraoka

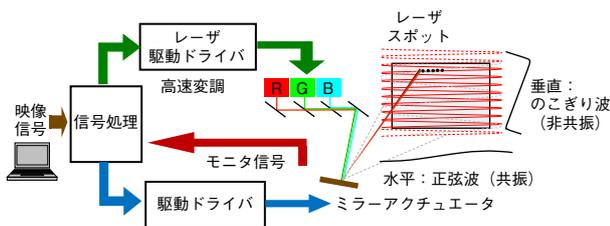
レーザ走査型映像モジュールは、次世代のヘッドアップディスプレイ(Head-Up Display: HUD)に求められる高コントラストな画質で、大幅な小型化が可能な映像モジュールである。このモジュールは、圧電薄膜を用いたMEMS技術と映像処理技術、および光学技術によって実現することができた。

Scanning laser display holds promise as a display module for the next-generation Head-Up Display (HUD) because of its features such as high contrast and compact size. We have realized a scanning imaging module by using piezoelectric Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), video processing, and optical technologies.

1. 走査型映像モジュール

ヘッドアップディスプレイ(Head-Up Display, 以下HUD)は、運転者が運転時に必要な情報をフロントガラスの先に虚像として表示することで、視線移動を低減し、安全・安心を提供できるシステムとして、大きな市場拡大が期待されている。HUD市場を拡大するには、大画面化・高コントラスト・小型化が重要である。

次世代HUD用の映像モジュールとして期待されているのが走査型映像モジュールである。構成は第1図のようになっており、赤緑青の3色のレーザ光をミラーアクチュエータで2次元に走査しながら、映像信号とミラーの動きに合わせてレーザ出力を変調することで映像を表示する。



第1図 走査型映像表示モジュール原理
Fig. 1 Principle of scanning imaging module

現在HUDの主流である液晶パネルでは光源は常時点灯しているのに対し、走査型映像モジュールでは映像を表示するときだけレーザを点灯するため、高コントラスト、低消費電力といった利点がある。投影光学系が不要なた

め、小型化も可能である。また、レーザを光源に用いるため、高い色再現性が実現できるが、レーザの高い干渉性由来して発生するスペックルノイズは画質を劣化させる要因である。

2. 圧電ミラーアクチュエータ

筆者らは、走査型映像モジュールのコアデバイスであるミラーアクチュエータを、角速度センサやインクジェットヘッドで培ってきた圧電MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術によって実現した。圧電方式は、電磁方式と比べ小型・低消費電力に優位である。

2.1 ミラーアクチュエータにおける課題

走査型映像モジュールに用いるミラーアクチュエータには以下の特性が求められる。

- ・ 水平、垂直2軸の走査
- ・ 水平走査は高速 (20 kHz~40 kHz) で広角の実現
- ・ 垂直走査はフレームレートでの直線性の高い駆動

また、高い解像度の映像を表示するには、アクチュエータの走査角を大きくすることが求められる[1]。そこで、水平走査では共振現象を利用することで、高速と広角の両立を実現させている。しかしながら、共振現象を利用する場合は走査が正弦波状に限られるため、のこぎり波状に駆動する必要がある垂直走査では非共振で駆動を行う必要がある。

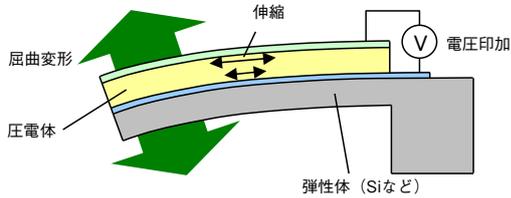
圧電方式では圧電体の伸縮の変位量が小さいため、非共振での大きな走査角の実現が非常に難しく、2軸ミラーアクチュエータ実現の最大のポイントであった。

2.2 開発したアクチュエータ構造の工夫

圧電方式のミラーアクチュエータでは、逆圧電効果を

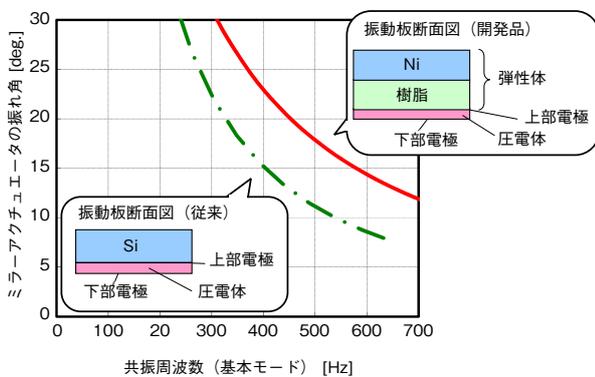
* オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社
デバイスソリューション事業部
Device Solutions Business Div.,
Automotive & Industrial Systems Company

利用し、Siなどの弾性体と圧電体を積層構造にした振動板を屈曲変形させることでミラーを回転させる(第2図)。



第2図 圧電アクチュエータの駆動原理
Fig. 2 Principle of piezoelectric actuator

そこで、大きな変位を実現するために、振動板の弾性体をヤング率の小さい材料と大きい材料の積層構成とした。圧電体に電圧を印加したときの屈曲変形量は、圧電体の発生力の曲げモーメントに比例する。曲げモーメントは「圧電体の発生力」と「屈曲変形の中立面と圧電体との距離」の積であるが、ヤング率の小さい層をヤング率の大きい層と圧電体の間に挿入することで、必要な剛性を確保しつつ、「屈曲変形の中立面と圧電体との距離」を大きくすることで曲げモーメントを大きくしている。本開発品では、ヤング率の小さい材料として樹脂を、ヤング率の大きい材料として金属を採用し、プロセス開発も行った。第3図に示すように、MEMSデバイスの構造体として一般的に用いられているSiを弾性体にしたものと比べ、同一共振周波数において1.6倍の振れ角が得られ、素子の小型化、低消費電力化が可能となった。実際に作製した素子でも解析どおりの特性が得られている。



第3図 開発した振動板での振れ角と共振周波数の関係
Fig. 3 Relationship between deflection angle and resonance frequency

3. 映像モジュール

走査型映像モジュールを実現するには、ミラーの動きと映像信号を高精度に同期させる制御技術、高精度にレーザーの光軸を一致させる光学設計技術、および組み立て技術が必要である。また、走査方式に起因する画質劣化要因に対して、映像信号処理技術などを駆逐することで画質の向上が実現できる。

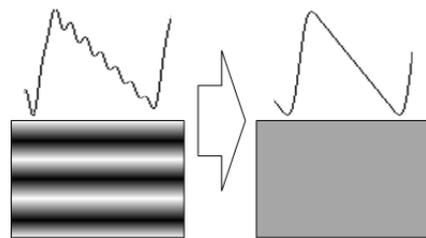
3.1 MEMS制御回路

圧電ミラーアクチュエータでは圧電効果を利用してミラーの動きを検知する“モニタ信号”の取り出しが可能である。このモニタ信号を用いて、ミラーと映像信号を高精度に同期させる制御回路を開発した。

垂直走査では、のこぎり波による駆動のため、駆動信号に含まれる高調波成分によりミラーアクチュエータの基本共振モードの振動が励起され、垂直走査の直線性が悪化する。そこで以下のような対策を行っている。

- ・ 直線部の長さが高調波成分の除去を両立させた駆動信号を生成する回路技術
- ・ 外乱振動やノイズの影響抑制に最適なフィードバック制御回路技術

これらの回路設計により、第4図に示すように垂直走査における直線性が向上し、映像の輝度ムラを抑制できた。



第4図 のこぎり波駆動による直線性改善の模式図
Fig. 4 Linearity improvement on sawtooth wave scanning

水平走査では、より高い解像度を実現するにはデバイスの往復の動作に合わせて片側だけでなく両方向から描画を行うが、デバイスの動きと描画のタイミング(レーザーの変調)を高精度に同期させないと両方向から描く映像が一致せず画質が劣化してしまう。モニタ信号の信号雑音比を向上させるために、直交検波回路を用いてミラーの動きと映像信号の同期精度を向上した。これにより往復走査での描画精度を確保することで高画質を実現した。

3.2 映像信号処理回路

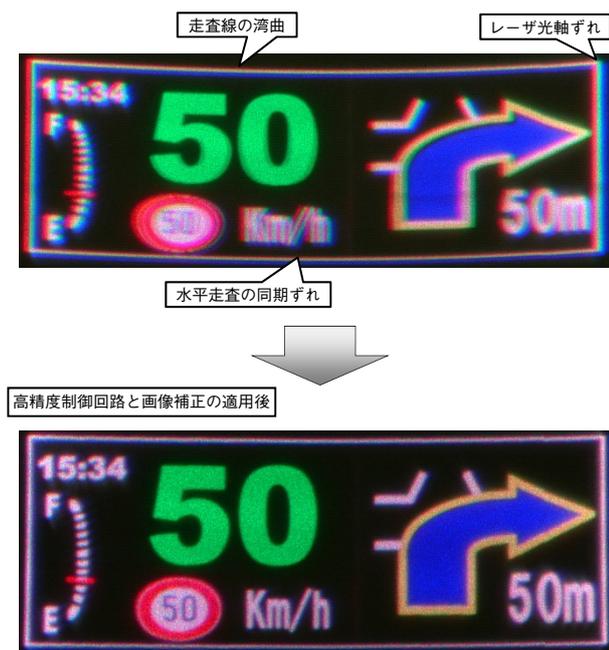
レーザ走査方式では、3色のレーザの光軸ずれ、走査線の湾曲、スペckルノイズが画質劣化を引き起こす。これらの課題に対して、補正処理やレーザ制御回路を導入することで画質改善を図っている。

- ・ 3色レーザの光軸ずれを補正するタイミング制御回路
- ・ 走査線の湾曲を補正する幾何学補正回路
- ・ スペckルノイズを低減するためのレーザの過干渉性除去回路

前節の高精度制御回路と補正処理回路を適用することで、高画質な映像を実現した（第5図）。作製した映像モジュールは液晶パネルを用いた映像モジュールの半分以下のサイズで、10倍以上の高コントラストを実現している。

参考文献

[1] Hakan Urey et al., "Optical performance requirements for MEMS-scanner based microdisplays," Conf. on MOEMS and Miniaturized Systems, SPIE vol. 4178, pp. 176-185, Santa Clara, California, 2000.



第5図 開発した走査型映像モジュールでの表示映像の比較

Fig. 5 Comparison of image produced by developed scanning module

4. 動向と展望

圧電MEMS技術、制御回路技術などにより、小型でシースルー表示に最適な高コントラストな映像の投影が可能な走査型映像モジュールを実現した。今後、レーザなどの周辺部品を含めた車載信頼性の検証を進めることで、次世代HUDへの採用が期待できる。