

# 高周波 MEMS 素子用超高速 2 次元走査光プローブの開発

## 1. はじめに

近年、高い周波数での弾性振動を利用した、微小電子機械素子 (MEMS) が注目されており、通信機器用フィルタとしてすでに実用化されている。

極限に近い性能が要求される現在、さらなる性能向上のために、素子の動作と直結した弾性振動の様子を直接観測する手段の実現が渴望されていた。

これまで世界中で、同様の目的のために光プローブ観測装置が開発されている。それらの多くはマイケルソン干渉計を利用しており、床等の振動に敏感で、試料の高速二次元走査が困難という問題があった。

筆者らの研究グループは、ネオアーク社とともに、数 GHz に及ぶ弾性振動の二次元分布を、高速に、しかも高感度に測定可能な光プローブシステムを開発したので、ここに紹介する。なお、高周波振動の観測には、低周波振動の影響を受け難いサニャック干渉計を適用している。

## 2. 装置の構成

図 1 に本システムの光学系を示す。上部から入射するレーザー光は、二つの偏光ビームスプリッタ (PBS) と二枚の鏡、さらに  $\lambda/4$  板の組み合わせにより構成されたサニャック干渉計を通過し、対物レンズで集光されて測定対象表面に到達する。その反射光は、再びサニャック干渉計を通過し、光検出器に到達する。

このとき、サニャック干渉計内を時計回りと反時計回りに周回する二つの成分が同時に発生する。前者は鏡での 2 回の反射を経る分だけ経路が長いことから、後者よりも時間  $\tau$  だけ遅れて表面に到達する。いっぽう、戻る際には逆に後者が時間  $\tau$  だけ遅れるため、表面が静止している場合、両者は同時に光検出器に到達することになる。

表面が振動している場合、時間差  $\tau$  のために、両者に振動振幅に比例した光路差が発生し、干渉出力が時間的に変動する。したがって、弾性振動を駆動する電気信号と、この干渉出力を同期検波すれば、弾性振動の振幅と位相を高感度に検出できる。

これから明らかのように、干渉計の検出感度は高域通過特性を持つ。今回

の装置は、3 GHz で最大感度となるように光路差を設定している。このため、測定結果は床などの低周波振動に影響されず、試料の高速二次元走査が可能となった。

これに合わせて光検出器や受信電子回路も吟味し、現在では 2.5 GHz 程度までの弾性振動を高感度に観測できるまで性能が向上している。

なお、低周波になるほど同一パワーでも振動振幅が大きくなるので、10 MHz 程度の振動も高感度に観測できる。

一方、面内方向の分解能はレーザーのスポット径で決定され、100 倍の長焦点対物レンズを使用した場合で、 $1 \mu\text{m}$  程度と見積もられる。

今回開発した装置では、すべての光学系を微小光学素子で構成しており、小型化・高周波動作とともに経年変化の少ない安定動作が実現されている。ちなみに、防振台も含めて、光学系と駆動系を占有面積  $66 \times 56 \text{cm}^2$  の中に収めている。

また、対物レンズが取り付けられている顕微鏡筒上部には CCD カメラが取り付けられ、レーザー光を照射しながら、その照射位置を同時に確認できる。

## 3. 高周波振動の観測例

この装置を利用して観測した高周波 MEMS 共振子の振動振幅分布を図 2 に示す。駆動周波数は 1 816 MHz、観測点数は 500-750 (X-Y)、 $0.4 \mu\text{m}$  ステップで、観測時間は約 10 分である。

だ円状の部分は圧電膜を電極で挟んだ部分で、そこに振動が集中している。また、面内で分割振動している様子がわかる。このときの最大振幅は約 50 pm である。

測定周波数を変えると、振動振幅分布がさまざまに変化する様子が確認できる。

本装置の空間分解能と位置精度が優れているため、得られた実空間データを二次元 FFT (高速フーリエ変換) により波数空間データに変換できる。さらに二次元逆 FFT と組み合わせると、特定の振動のみを抽出したり、除去したりできる。これにより、たとえば、図 2 では見えづらい振動の散乱や上部への漏れが明瞭に観察できる。また、

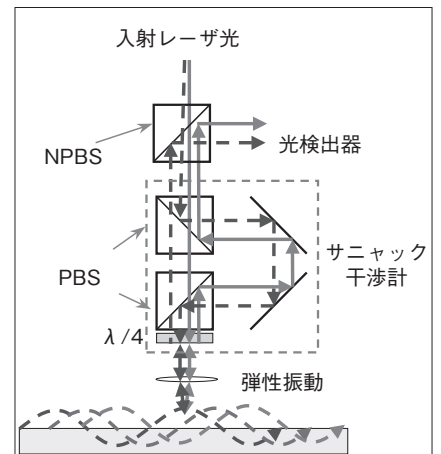


図1 光学系の構成

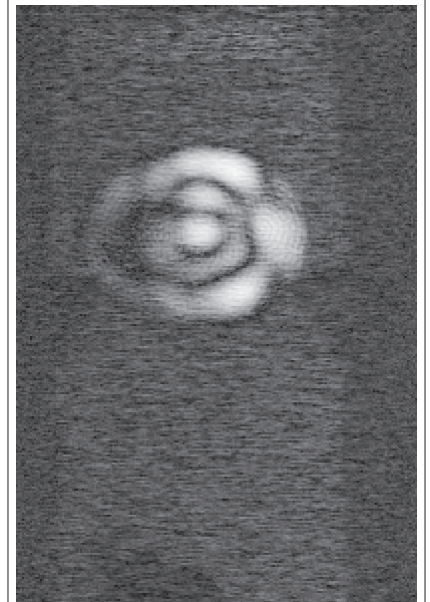


図2 本装置による観測結果

振動モード分布の動画像を構成することもできる。

これらの手法は、すでに高周波弾性振動を用いたさまざまな電子素子の動作特性評価に適用され、極めて有効であることが実証されている。

最後に、システム構成に協力頂いた研究室の教員、学生諸氏ならびにネオアーク(株)の皆様に感謝する。本研究の一部は(独)日本学術振興会科学研究費補助金、(独)科学技術振興機構産学共同シーズイノベーション化事業顕在化ステージ、ならびに三菱財団自然科学研究助成の補助を受けた。

(原稿受付 2008年9月8日)

[橋本研也 千葉大学]