走査電子顕微鏡を利用した微小機械振動子の動特性プロファイリング

Dynamic characteristic profiling of nano- and micromechanical resonator

using scanning electron microscope

東大工 〇米谷 玲皇, 中野 和洋, 石原 直, 割澤 伸一

The Univ. of Tokyo, [°]Reo Kometani, Kazuhiro Nakano, Shin'ichi Warisawa E-mail: kometani@mech.t.u-tokyo.ac.jp

近年、変位,機械的・電磁気的力,量子的効果などの様々な微小物理量を計測可能なことから、 超高感度センサのキーコンポーネントとしてナノメカニカル振動子の研究開発が活発に行われて いる。メカニカル振動子の動特性評価には、これまで光学的手法が用いられてきたが、素子構造 の微細化に伴い一層高い空間分解能での動特性評価が要求されるようになってきた。本研究では、 ナノスケールにおける高精度な振動特性評価を達成することを目的として、走査電子顕微鏡,及 びその応用技術を活用した微小メカニカル振動子の動特性評価法に関する研究を行った。

共振周波数,振幅の計測には、振動中の振動子へ電子ビームを照射した際に振動に同調する二 次電子放出と照射角度等に依存するその放出強度を用いた。なお、本研究では、共振検出特性評 価用の試料としてシリコン製の AFM カンチレバーを用いた。図1(a)に示すように、カンチレバ ー先端近傍に電子ビームを1点照射し、加振中に放出される二次電子の信号をネットワークアナ ライザにより周波数解析した。図1(b)は、これにより得られた2次電子強度の周波数応答特性で ある。その後、放出強度の角度依存性を定式化することにより、二次電子信号強度を振動の情報 に変換し、図1(c)に示す振幅の周波数応答特性を得た。光へテロダイン振動計により測定した共 振周波数との誤差は、およそ0.0013%,振動中のカンチレバーの電子顕微鏡写真から直接計測し た振動振幅との誤差はおよそ8.3%であり、振動計測法として、十分な精度を有していることを確 認した。加えて、振動モード観察へ走査電子顕微鏡応用技術であるストロボ法の応用を試みた。 本研究では、二次電子検出器と撮像回路の間にゲート積分器を組み込むことにより、振動の共振 周波数に同期させ、二次電子信号を間欠的に撮像回路に通し、機械振動の時間分解観察を行った。 その結果を、図2(b)に示す。このように各位相における機械振動変位の可視化を達成した。本提 案の手法は、走査電子顕微鏡の高空間分解能という特性を活かした手法であり、微細化が進む NEMS素子の強力な研究開発ツールとなることが期待される。





Time-resolved SEM images

図1 走査電子顕微鏡を利用した Si AFM カ ンチレバーの共振特性計測(共振周波数, 及びQ値):(a) Si AFM カンチレバーの電子 顕微鏡写真,(b)二次電子強度の周波数応 答曲線,(c)二次電子強度から変換した振幅 の周波数応答曲線

図2 ストロボ法の活用による Si AFM カン チレバーの振動モード観察: (a) 通常の SEM 観察により観察した振動中の Si AFM カンチレバー, (b) ストロボ法を活用し観 察した位相 0°, 60°, 120°における Si AFM カンチレバーの時間分解 SEM 写真