

ケルビンプローブフォース顕微鏡1次元連続体カンチレバーモデルにおける周波数特性に関する研究

坪久田 崇史¹
Takafumi Tsubokuta

清水 邦康²
Kuniyasu Shimizu

千葉工業大学 大学院 工学研究科 情報通信システム工学専攻¹

Dept. of Information and Communication Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Chiba Institute of Technology
千葉工業大学 工学部 情報通信システム工学科²

Dept. of Information and Communication Systems Engineering, Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology

1 まえがき

ケルビンプローブフォース顕微鏡 (KFM; Kelvin Probe Force Microscope) は走査型プローブ顕微鏡の一種で、様々な試料の表面電位をナノスケールで計測することができる顕微鏡である。KFMではダイナミックモードと呼ばれる測定法が用いられる。ダイナミックモードでは、微小なカンチレバーを共振周波数付近で振動させ、カンチレバー先端についた探針試料間に生じる微小な力を検出することで、探針直下の局所的な量を計測することができる。KFMでは探針試料間に交流電圧を印加した状態で、生じる静電気力を検出することで、探針直下の表面電位を計測することができる [1]。

本研究では、KFMにおけるマイクロカンチレバーの振動を1次元連続体モデルを用いて、原子間力と、交流電圧や直流電圧による静電気力が加わった状態での挙動を数値的に検討する。特に、静電気力の周波数を励振外力の分数調波成分となるように設定した場合の影響を調べる。主に、交流電圧の周波数を変化させたときに2次固有モードを含む周波数スペクトル、特に2次固有周波数付近のピークにどのような影響が出るかを報告する。

2 数値計算結果

本研究では、カンチレバー先端に周期外力、原子間力、静電気力の三つの力が加えられているとして、連続体カンチレバーモデルを使用してその振動を数値計算する。静電気力 $F_E(v)$ として次のモデルを採用する [2]。

$$F_E(\epsilon) = -\psi \frac{V^2}{\epsilon} \quad (1)$$

1.0 ここで、 ψ は正規化定数、 ϵ は正規化探針試料間距離、 V は探針試料間電位差であり、

$$V = V_{DC} + V_{AC} \cos(2\pi f_E) \quad (2)$$

とし、直流成分 V_{DC} と交流信号で構成される。以降の結果では、式 (1) および式 (2) のパラメータは $\psi = 17.9476$ 、 $\epsilon = 10$ 、 $V_{DC} = 0[V]$ 、 $V_{AC} = 1.0[V]$ と固定する。また、交流電圧の周波数を変化させた場合のカンチレバー振動への影響を調査する。まずはじめに、 f_E の値をカンチレバーの1次固有周波数 (42690[Hz]) の1/8の値に設定した場合の周波数スペクトルを図1に示す。2次固有周波数 (266720[Hz]) 付近のピークが強まっていることが見てとれる。

図2は f_E の値を変化させていった場合の2次固有周波数付近のピーク値をまとめたものである。特定の周波数に設定した際にピークが強まっている。このときの f_E は1次固有周波数の1/8と1/16である。

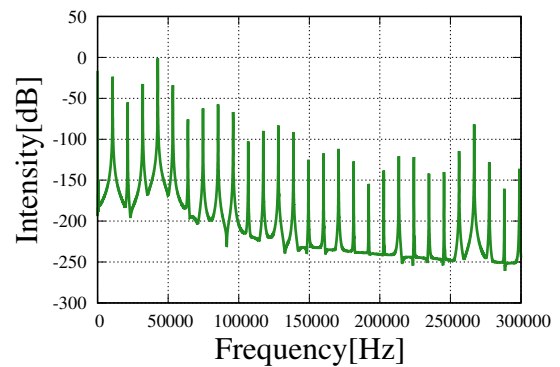


図1 交流電圧 (1/8 分数調波) を印加した KFM カンチレバー振動の周波数スペクトル。

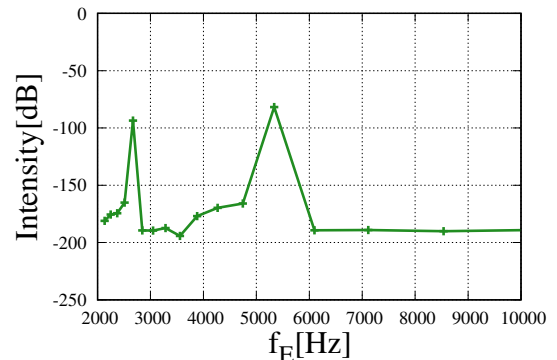


図2 交流電圧の周波数を変化した場合の2次固有周波数付近のピーク値。

参考文献

- [1] S. Sadewasser and T. Glatzel, Eds., Kelvin Probe Force Microscopy, Springer, 2012
- [2] A. Sewaki, N. Satoh and K. Shimizu, 2019 International Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications, 2019.