

AFM カセンサーの動的ばね定数における探針質量効果

○倉橋 輝^{1*}, 杉本 宜昭¹¹東京大学大学院新領域創成科学研究科

Effect of probe's mass on dynamic spring constant of AFM force sensor

○Wataru Kurahashi^{1*} and Yoshiaki Sugimoto¹¹Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

1. はじめに

周波数変調原子間力顕微鏡(FM-AFM)は探針のついた振動子を試料に近づけ、探針-試料間の原子間力による振動子の共振周波数のずれを測定し、試料表面をイメージングする装置である¹⁾。FM-AFMの力センサーには、片持ち梁を曲げ振動させるカンチレバーや、小振幅で伸縮振動させる長辺型水晶振動子(LER)²⁾、曲げ振動と伸縮振動を同時に行うこともできる音叉型水晶振動子(qPlus)³⁾など、多種多様なものが存在している。原子間力の定量的測定はAFMが掲げる目標の一つであり、各力センサーにおいてはばね定数を正確に見積もることは重要である。重りとばねの等価モデルを用いて、振動中のポテンシャルを担う動的ばね定数と静的ばね定数の間に成り立つ関係が求められている。カンチレバーの一次共振における動的ばね定数は静的ばね定数から3%増加する⁴⁾。同様に、LERの一次共振における動的ばね定数は23%増加する²⁾。しかし、それらは独立した理想的な振動子を仮定しており、探針の質量による振動子への影響は考慮されていない。そこで本研究では、曲げ振動、および伸縮振動において、探針の質量が振動に及ぼす影響について考察し、力センサーの動的ばね定数の校正を行うことで、原子間力の定量的測定をより正確なものとするを目的とした。

2. 結果

片側を固定した梁の曲げ振動、伸縮振動(Fig. 1)において探針を先端に付けた際の振動の変化を計算により求めた。本研究では探針を質点として捉え、振動子の先端に集中質量がついている系を探針付きの系として考えた。探針の質量は振動子の質量の0.1%から20%までのものを考慮した。最初に振動子の振動数を求めた。曲げ振動、伸縮振動の両方において、探針の

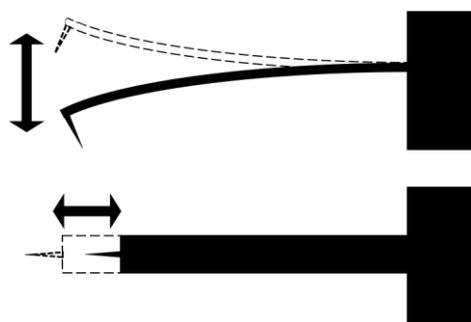


Fig. 1. カセンサーの曲げ振動（上）と伸縮振動（下）

質量が増加すると一次共振の振動数は減少した。次に動的ばね定数を求めた。曲げ振動の場合、探針の質量により動的ばね定数は最大で3%ほど減少した。一方、伸縮振動の場合、動的ばね定数の減少幅は最大で14%ほどであった。カンチレバーやqPlus等の曲げ振動を用いる力センサーの場合、振動が伝わる速さが有限であることによる動的ばね定数の増加割合と質量による動的ばね定数の減少割合がともに小さいため、静的ばね定数から周波数シフトを求めても有効数字2桁の精度では一致することが示唆された。一方で、LER等の伸縮振動を用いる力センサーの場合、動的ばね定数の増減幅が大きく、探針の質量を考慮に入れたモデルを用いて原子間力を求める必要があることが示唆された。

文 献

- 1) F. J. Giessibl: Rev. Mod. Phys. **75**, 949 (2003).
- 2) Y. Sugimoto and J. Onoda: Appl. Phys. Lett. **115**, 173104 (2019).
- 3) D. Kirpal, J. Qiu, K. Pürckhauer, A. J. Weymouth, M. Metz and F. J. Giessibl: Rev. Sci. Instrum. **92**, 043703 (2021).
- 4) J. Melcher, S. Hu, and A. Raman: Appl. Phys. Lett. **91**, 053101 (2007).

*E-mail: kurahashi-wataru900@g.ecc.u-tokyo.ac.jp