

FM-AFM を用いたカシミール力測定の研究

Study for measurement of the Casimir force by means of FM-AFM

○吉田尚樹, 花園耕介, 横山大輔, 末岡和久

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

°Naoki Yoshida, Kosuke Hanazono, Daisuke Yokoyama, and Kazuhisa Sueoka

E-mail: n-yoshida@nano.ist.hokudai.ac.jp

カシミール力は帯電していない金属板間に働く微小な力であり、金属板間距離の変化により電磁場のモードとゼロ点エネルギーが変わることに由来する^[1]。特に、微視的領域では無視できず、一方で Nanoelectromechanical systems (NEMS) への応用も期待されている。カシミール力などの微小な力を検出可能な装置として原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope : AFM) が挙げられる。周波数変調 AFM (Frequency Modulation AFM : FM-AFM) を用いて、探針-試料間にバイアス電圧を印加した時の位相変化の過渡特性を解析することによりカシミール力を検出する手法が提案されている^[2]。この測定手法は大気中の実験で検証されており、超高真空中で測定することにより測定精度の向上が見込まれている。またこの他に、複数の研究グループによりカシミール力の測定が試みられているが、探針-試料間距離が 100 nm 以上であり、30 nm 以下の近距離での挙動は明らかになっていない^{[3][4]}。本報告では、FM-AFM を用いて探針-試料間に働くカシミール力を含む相互作用力を探針-試料間距離 30 nm 以下で測定し、相互作用力の近距離での距離依存性について議論する。

本実験には FM-AFM を用いた。実験は超高真空中(4.0×10^{-8} Pa)で行い、探針-試料間距離を変化させた時の周波数シフトから探針-試料間に働く相互作用力の距離依存性を求めた^[5]。試料は Si(111)基板であり、探針は四角錐型探針 (Fig. 1(a)) と球形探針 (Fig. 2(a)) の 2 種類を用いた。四角錐型探針では電磁場の閉じ込めを無視でき、カシミール力は十分小さいと考えられる。一方、球形探針では電磁場の閉じ込めが生じ、カシミール力が十分大きいと考えられる。この 2 種類の探針を用いて探針-試料間に働く相互作用力を比較することでカシミール力の解析をおこなった。2 種類の探針それぞれの場合について、測定した周波数シフトから求めた探針-試料間に働く相互作用力と理論的に予測される相互作用力を比較した結果を Fig. 1(b) と Fig. 2(b)に示す。測定した力の距離依存性から 2 種類の探針に異なる相互作用力が働いていることがわかる。探針-試料間距離 30 nm 以下の近距離でのカシミール力を含む相互作用力の詳細については当日議論する。

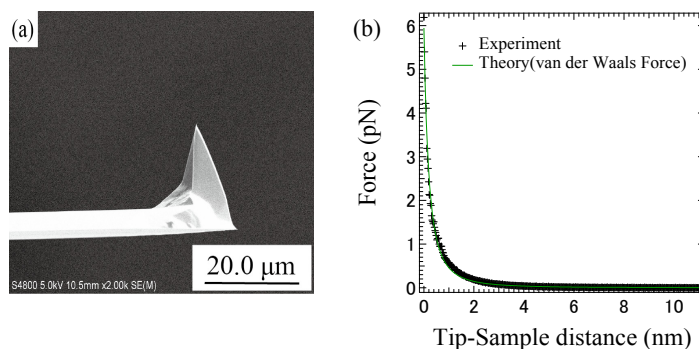


Fig. 1. (a) SEM image of the pyramidal tip on AFM cantilever. (b) Force curves as a function of the Tip-Sample distance.

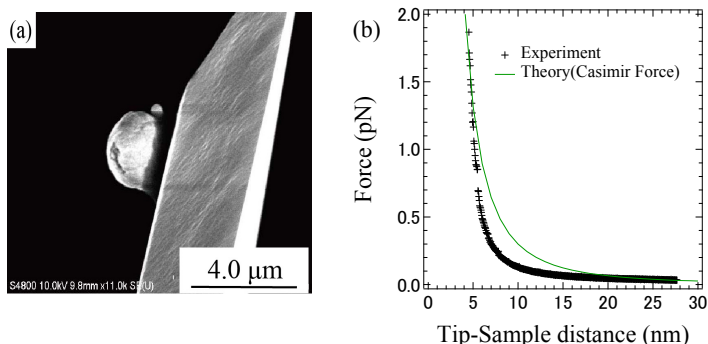


Fig. 2. (a) SEM image of the spherical tip on AFM cantilever. (b) Force curves as a function of the Tip-Sample distance.

- [1] H. B. G. Casimir, Proc. K. Ned. Akad. Wet. **51**, 793 (1948). [2] J. Kohoutek, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **96**, 063106 (2010). [3] S. K. Lamoreaux, Phys. Rev. Lett. **78**, 5 (1997). [4] U. Mohideen, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **83**, 4549 (1999). [5] J. E. Sader, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **84**, 1801 (2004).