

誘電率センシングに向けた 室温大気中におけるカシミール力計測システムの開発

Casimir Force Measurement System for Permittivity Sensing in Air at a Room Temperature

東大生研¹ ○(D)紫垣 政信¹, 田中 嘉人¹, 志村 努¹

IIS, the Univ. of Tokyo¹ ○Masanobu Shigaki¹, Yoshito Tanaka¹, Tsutomu Shimura¹
E-mail: shigaki@iis.u-tokyo.ac.jp

1948年にCasimirが存在を予言したカシミール力は、平行に置かれた2枚の導体板間に引力が働く現象として知られており、これまで主に真空・極低温の極限環境下で計測されてきた。一方、室温大気中に計測環境を移すことで、平板間に液体やガスなど様々な媒質を導入可能になるため、平板間の誘電率によってカシミール力を制御する研究も行われている[1]。我々は、この性質に着目し、平板間の誘電率をメカニカルに計測するセンサ応用に向けたカシミール力計測システムを開発してきた[2]。

カシミール力は、平行平板間距離の-4乗に比例して大きさが増加し、特に100nm以下の近接した距離で顕著に現れる。そのため、平板間の誘電率を高い感度で検出するには、より微小な距離でカシミール力を計測する必要がある。しかし、カシミール力計測は片方の平板がカンチレバーとして行われており、微小な距離ではカシミール力がカンチレバーの復元力を上回り平板同士が接触(JTC: Jump to Contact)してしまう。これによって、平板間が近接できる距離は制限されてきた。そこで今回は、誘電率の高感度計測に向けてより近接した距離でカシミール力計測を実現するため、カンチレバーのばね定数を前回の0.14N/mから7.8N/mへ変更し、JTCが発生する距離(つまり力計測限界となる距離)の低減を図った。

Fig.1に、我々が構築した力計測システムのブロック図を示す。本システムでは、先端に金コート微小球が接着されたカンチレバーと金平板を対向させ、球曲面と平板の間に働く相互作用力を計測する。このカンチレバーの共振周波数シフト量 Δf を計測し、相互作用力の力勾配を導出している。なお、球-平板間に働く静電気力が大きいとカシミール力を計測できないため、金平板には予め実験で求めた静電気力を打ち消す大きさの直流電圧が印加されている。

Fig.2に、測定した相互作用力勾配の距離依存性を示す。Fig.2には比較のため、従来の $k = 0.14\text{N/m}$ のソフトカンチレバーと、今回導入した $k = 7.8\text{N/m}$ のハードカンチレバーの2種類の測定結果を示している。球-平板配置のカシミール力の理論式から、その力勾配の理論式は球-平板間距離 d の-4乗に比例する。まず、ばね定数0.14N/mのソフトカンチレバーを用いた場合、 $d = 60\text{nm}$ から近方の力勾配が d の-3.4乗に比例しており、この領域でカシミール力が計測できているものとする。しかし $d < 40\text{nm}$ の領域については、JTCの発生により力勾配が計測不能であった。そこで今回 $k = 7.8\text{N/m}$ のハードカンチレバーを導入した結果、 $d < 20\text{nm}$ のより近接した領域において d の-3.6乗に比例した力勾配を計測できることを確認した。力勾配の距離依存性の次数から、この変化はカシミール力によるものとする。今後は、カンチレバーのばね定数の最適化を図るとともに、 SiO_2 膜厚で誘電率を制御した金平板サンプルを用いて、誘電率変化の検出限界を明らかにする。

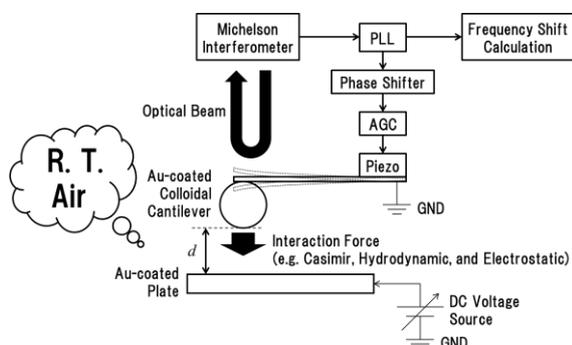


Fig.1 Block diagram of the Casimir force measurement system.

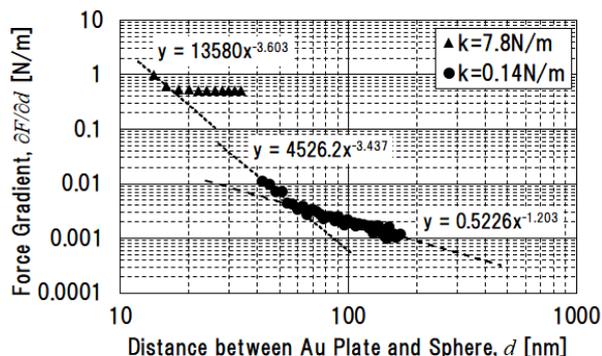


Fig.2 Distance dependence of interaction force gradient between Au plate and Au sphere.

[1] J. N. Munday, F. Capasso, and V. A. Parsegian, Nature **457**, 170-173 (2009).

[2]紫垣 他, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 18a-E204-8.