HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on the analytical and experimental method to evaluate Casimir force excluding the effect of roughness and electrostatic force [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	吉田, 尚樹
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14134号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78378
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Naoki_Yoshida_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　吉田　尚樹

審査担当者　主　査　教　授　富田　章久
副　査　教　授　植村 哲也
副　査　教　授　髙橋 庸夫
副　査　教　授　末岡 和久

学位論文題名

Study on the analytical and experimental method to evaluate Casimir force excluding the effect of roughness and electrostatic force
（静電気力と表面粗さの影響を低減したカシミール力の解析及び測定法に関する研究）

近年の微細加工技術の発展に伴い、ナノ電気機械システム (Nano Electro Mechanical Systems: NEMS) への応用としてナノスケール以下の領域で働く力の研究の重要性が増している。特に真空中の電磁界の揺らぎに起因して物体間に働く相互作用力であるカシミール力が注目されている。この力の存在は,1948 年に H. B. G. Casimir によって理論的に予測されていた。量子論の発展により、この力は、真空中の電磁場が基底状態においてもゼロ点エネルギーと呼ばれる有限のエネルギーを有することと関連していることが明らかとなり、Casimir はこの真空における電磁場の揺らぎに着目し、電磁場の持つゼロ点エネルギーを計算し, 理想金属の平行平板間では, 平板間の領域に電磁場が制限され、平板間とその外部の領域で電磁場のモード数と零点エネルギーの密度に差が生じることから平行平板間に力が働き、これがカシミール力のひとつの表れであると考えられいる。本論文では,50nm 以下の近距離領域におけるカシミール力の相互間距離依存性について, 表面粗さの影響を排除した測定を構築することで, 実験的に明らかにし, 理論計算結果との比較を行うことで, カシミール力の NEMS 応用への指針を示すことを目指したものである。

本論文は以下の 5 章から構成されている。第 1 章では、量子論で扱われる調和振動子における零点エネルギーの概要と導出、場の量子化を経て空間の零点エネルギー密度を計算し、金属平行平板を置いた場合の密度差からカシミール力の距離依存性が導出されている。また、これまでのカシミール力測定の背景を述べつつ、カシミール力測定における課題として表面粗さと接触電位差による静電気力が挙げられることを示し、本論文で測定・解析手法を提案する必要性が論じられている。

第 2 章では、以降の第 3、4 章で行った測定の基本原理の説明と実験系が解説されている。探針振動の周波数シフトの距離依存性及び電圧依存性について、探針振動を強制振動系としてモデル化した視点からの解析した結果がまとめられている。

第 3 章では、カシミール力測定における表面粗さの問題を解決するため超高真空中で作製した単原子層レベルで平坦かつ清浄な試料を用いたカシミール力測定についてのべられている。超高真空中における加熱処理により作製した Si(111) 基板の (7×7) 再構成表面を利用することで、Au-Si 間に働くカシミール力を 50 nm 以下の近距離で測定した結果をまとめ, 測定結果と理論計算を比較した結果、50 nm 以下の近距離において金属-半導体間のカシミール力の理論が適用可能であることを明らかにしている。

第 4 章では、接触電位差に距離依存性がある場合においても、正しい接触電位差の値を得ることができる手法が提案されている。この手法を用いてカシミール力と静電気力の距離依存性をそれぞれ得ることができ, 得られたカシミール力と静電気力の距離依存性を理論と比較した結果、カシミール力と静電気力それぞれが良い一致を示しており、提案手法が正しくそれぞれの力を評価できていることを確認したとしている。提案手法はカシミール力測定だけでなく、静電気力など他の相互作用力の測定においても活用できるものであると主張している。

第 5 章では、学位論文全体の本研究を総括し本研究における提案手法の有用性およびそれにより得られたカシミール力の測定結果についてまとめ、今後の展望とともに結論が述べられている。

これを要するに, 本論文は, 数十 nm 離れた微小金属球と半導体平板表面に働くカシミール力について, 表面粗さの影響を排した実験系を構築するとともに, ギャップ間距離依存性を示す接触電位差による静電気力を補償するための新たな解析方法を提案し, 測定・解析結果と理論的計算による予測との比較をもって, 提案手法が精度の高いカシミール力の距離依存性についての計測を可能とするものであることを示しており, カシミール力の NEMS 応用などにおける評価手法を与えるものである。この成果は, 表面微小力計測を応用する表面科学・表面工学分野ならびに NEMS などのマイクロマシン工学の発展に寄与するもの大であり, よって博士 (工学) の学位を授与するに値するものと認める。