

プラズマ中のクーロン衝突微粒子間引力

Attraction between fine particles during their Coulomb collision in plasma

古閑 一憲、添島 雅大、伊東 鉄平、山下 大輔、徐 鉉雄、
板垣 奈穂、白谷 正治、野口 将之、内田 誠一

Kazunori KOGA, Masahiro SOEJIMA, Teppei ITO, Hyunwoong SEO,
Daisuke YAMASHITA, Naho ITAGAKI, Masaharu SHIRATANI,
Masayuki NOGUCHI, Seiichi UCHIDA

九州大学
Kyushu University

1 はじめに

近年、デバイスの微細化が進み、プラズマプロセスにおけるプラズマゆらぎがデバイス性能に影響を及ぼす領域に突入している[1-3]。このため、プラズマゆらぎを高い時空間分解能でその場計測することが求められている。この様な計測手法として、プラズマ中に浮遊している微粒子をプローブとした評価法が注目される[4]。今回は、プラズマ中微粒子の二体衝突について解析し、微粒子間の相互作用ポテンシャルを評価した結果を報告する。

2 実験

実験では、上下に石英窓を有する内径35.81mm、高さ38.80mmの円筒形真空容器を使用した。容器底面から10.56mm上に直径41.50mm、厚み0.29mmのSUSメッシュ円盤形接地電極を、容器底面の石英窓上に内径10mm、外径25mm、厚み0.89mmのSUSリング形放電電極を配置した。Arを圧力200Paで容器内に導入した。450Vpp、13.56MHzでプラズマを発生した。プラズマ中に、直径10 μ m、密度1.2g/cm³のアクリル微粒子を導入した。プラズマシース境界に浮遊する微粒子の挙動を、高速度カメラを用いて1000fpsで撮影した。得られた動画から各微粒子の軌跡をトラッキング解析した。

3 結果と考察

クーロン衝突する二体微粒子の運動から求めた、微粒子間の相互作用ポテンシャルの実験値を、下記の式で表される理論値とともに図1に示す。下式は、一般化されたファンデルワールス力の一種ととらえることが出来る。

$$U = \frac{Q_1 Q_2}{r} \exp\left(-\frac{r}{\lambda_d}\right) - \eta_{sh} \frac{Q_1 Q_2}{r} \left(\frac{d}{2\lambda_d}\right)^2 \quad (1)$$

上式の右辺第一項は湯川型のクーロン斥力を、第二項は他方の微粒子の影でイオン流入が減少するシャドウ効果による引力を表している

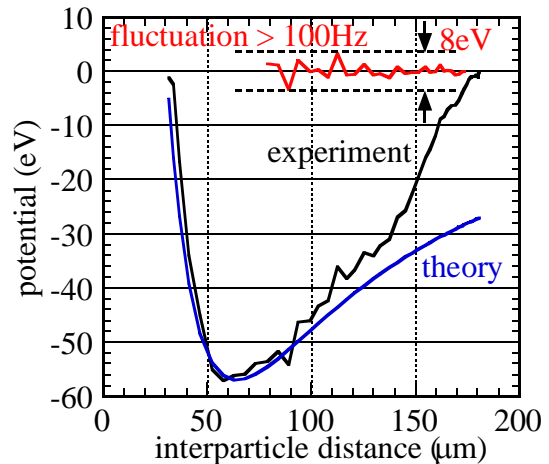


図1. 二体微粒子衝突におけるポテンシャル変化

[5]。実験と理論は良く一致しており、理論的に予測されていたシャドウ効果を今回初めて観測したと考えられる。

また、微粒子間距離50-170 μ mにおいて8 eV程度の相互作用ポテンシャルゆらぎが観測された。この揺らぎ ΔU は次式で表される。

$$\Delta U = Q\Delta V + V\Delta Q \quad (2)$$

ただし、 Q は微粒子の電荷、 V は微粒子位置の電位であり、 ΔQ 、 ΔV はその揺らぎである。今回の実験では、 $V\Delta Q = 0.23$ eV (2.9%)、 $Q\Delta V = 7.76$ eV (97.1%)と見積もられる。従って、後者が支配的であり、微粒子の二体衝突から電位ゆらぎを評価できる。

謝辞

本研究は科研費新学術領域研究26246036、26600126の援助を受けた。

[1]M. Shiratani, et al., J. Phys. D **44**(2011)174038.

[2]T. Kato, et al., Nature Nanotechnol. **7**(2012)651.

[3]K. Ostrikov, et al., Adv. Phys. **62**(2013)113.

[4]M. Wolter, et al., Plasma Processes Polym. **6**(2009) S626.

[5]V. N. Tsytovich, et al., Elementary Physics of Complex Plasmas, Springer, 2007.