## プラズマとナノ粒子の相互作用ゆらぎの2次元空間構造の時間発展 Temporal development of two dimensional structure of fluctuation of interaction between plasmas and nanoparticles

古閑 一憲、森 研人、徐 鉉雄、板垣 奈穂、白谷 正治 Kazunori Koga, Kento Mori, Hyunwoong Seo, Naho Itagaki, and Masaharu Shiratani

## 九州大学システム情報科学研究院 Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

近年の情報爆発に対応するハードウェアの 開発のため、「3次元スケーリング」に対応す る半導体デバイスが検討されている。プラズマ を用いた半導体デバイスプロセスも新しいス ケーリングに対応する新展開が求められてい る。中でもプラズマプロセスゆらぎは、プラズ マナノプロセスの寸法精度を決定する重要な 研究テーマである。現在までに筆者らは、プラ ズマ中ナノ粒子をモデルとして、プラズマとナ ノ粒子の相互作用ゆらぎについて研究し以下 の結果を得ている。(1)振幅変調放電プラズ マ中のナノ粒子をレーザー散乱法で計測し、振 幅変調によるサイズおよびサイズ分散の減少 を明らかにした[1]。(2)振幅変調放電におけ るサイズ分散の減少について、ナノ粒子とラジ カルのカップリングが重要な役割を果たすこ とを明らかにした[2]。また最近、(3)振幅変 調放電におけるナノ粒子量のゆらぎについて プラズマ乱流解析法を適用し、ラジカルとナノ 粒子の非線形結合を示唆する結果を得た。(4) エンベロープ法を用いてプラズマとナノ粒子 の相互作用ゆらぎの抽出に成功した。ここでは、 放電領域内での相互作用ゆらぎの発生・伝搬に ついて調べた結果を報告する。

実験には容量結合型プラズマCVD装置を用 いた[1]。装置中心に直径60mmの2枚の電極を 20mmの間隔で設置した。Arと DM-DMOS(Si(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)を装置内にそれぞ れ40sccmと0.2sccmの流量で導入した。ガス圧力 は1.25Torrとした。上部電極は接地、下部電極 は放電電極とした。放電電極に印加した高周波 電圧の周波数と放電電圧は、それぞれ60MHzと 120Vであった。プラズマゆらぎがナノ粒子成長 に与える影響を調べるために、放電電力に変調 周波数100Hz、変調度30%の正弦波で振幅変調 を与え、プラズマ密度に意図的に摂動を与えた。 気相中ナノ粒子量の時空間変化は、2次元レー ザー散乱光法で計測した。波長532nmのシート 状YAGレーザービームを電極間に照射し、ナノ 粒子からの90度レーリー散乱光を、干渉フィ ルタ付き高速度カメラで計測した。撮影速度は 1000fpsとした。

エンベロープ法を用いて、計測したレーザー 散乱光強度の100Hz成分の振幅ゆらぎを抽出し た。100Hz成分は、プラズマポテンシャル振動 によるナノ粒子密度揺動を示唆しており、プラ ズマポテンシャルとナノ粒子の相互作用ゆら ぎを示している。図1は、放電開始後2.5秒にお けるプラズマポテンシャルとナノ粒子の相互 作用ゆらぎの電極間の空間分布を示す。電極中 心(r=0mm)付近の放電電極近傍(z=3mm)にお いて、強い相互作用ゆらぎが発生するとともに、 電極の周辺部(|r|~25mm)において強いゆらぎ が発生している。

この結果は、プラズマの系全体において相互 作用ゆらぎの構造化を始めて捉えたものであ る。詳細は講演にて。



図1. 放電開始後2.5sにおけるプラズマポテン シャルとナノ粒子の相互作用ゆらぎの構造。

[1] K. Kamataki, et al., J. Instrum. 7 (2012) C04017.

[2] M. Shiratani, et al., Jpn. J. Appl. Phys. **53** (2014) 010201.