

反応性プラズマにおけるナノ粒子成長のバイスペクトル解析

Bispectrum analysis of nanoparticle growth in reactive plasmas

九大シス情¹, 大阪大² 森田 康彦¹, ○伊東 鉄平¹, 山下 大輔¹,内田 儀一郎², 鎌滝 晋礼¹, 徐 鉉雄¹, 板垣 奈穂¹, 古閑 一憲¹, 白谷 正治¹Kyushu Univ.¹, Osaka Univ.², Yasuhiko Morita¹, ○Teppei Ito¹, Daisuke Yamashita¹,Giichiro Uchida², Kunihiro Kamataki¹, Hyunwoong Seo¹, Naho Itagaki¹,Kazunori Koga¹, and Masaharu Shiratani¹

E-mail: y.morita@ed.kyushu-u.ac.jp

プラズマプロセスにおいて、加工寸法が nm オーダーになると、プラズマと界面の相互作用の揺らぎの影響が大きくなる。筆者等は反応性プラズマ中のナノ粒子をモデルとして、振幅変調を行うとナノ粒子の成長が抑制されることを見いだした [1]。今回は、プラズマとナノ界面の相互作用ゆらぎを定量的に解明するため、気相中ナノ粒子量の時間変化をバイコヒーレンス解析した。

実験は容量結合型プラズマ CVD 装置を用いて行った [2]。材料ガスとして Ar 40 sccm で希釈した $\text{Si}(\text{CH}_3)_2(\text{OCH}_3)_2$ 0.2sccm を用い、圧力 1.25Torr で容器内に導入した。60MHz, 120Vpp の放電電圧を放電電極に印加してプラズマを生成した。プラズマに摂動を加えるため、正弦波の振幅変調を放電電圧に印加した。変調周波数は 100Hz, 振幅変調度は 30%とした。気相中ナノ粒子量は 2 次元レーザー散乱法を用いて計測した。散乱光強度の時間変化は、干渉フィルタを装着した高速カメラを用いて 1000fps の撮影速度で観測した。信号の時系列解析では、放電開始後 4 秒から 8 秒における散乱光強度の時間変化を用いて解析した。

図 1 に放電電極中心の電極上 2 mm と 4 mm における LLS 強度信号のトータルバイコヒーレンスを示す。バイコヒーレンスは異なるモードの揺動の位相の保存状態を示すもので、変調周波数 100Hz では、40Hz から 60Hz 付近に非線形結合が現れている。本実験条件では、ナノ粒子は、ラジカル堆積により成長する。ナノ粒子へのラジカル損失の影響が大きくなると、ナノ粒子の成長がラジカルとカップリングすることにより、ナノ粒子成長の揺動がナノ粒子密度の 3/5 倍の周波数で結合することが理論的に予測されている [3]。気相中ナノ粒子量のバイスペクトル解析の結果は、理論で予測されたナノ粒子成長とラジカルのカップリングが現れていることを示唆しており、バイスペクトル解析がナノ粒子とプラズマの相互作用を解明するための有効な手段であることが分かった。

本研究は、新学術領域研究の援助により行われた。

[1] K. Kamataki, et al., APEX **4** (2012) 105001.

[2] K. Kamataki, et al., J. Jinst. **7** (2012) C04017.

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

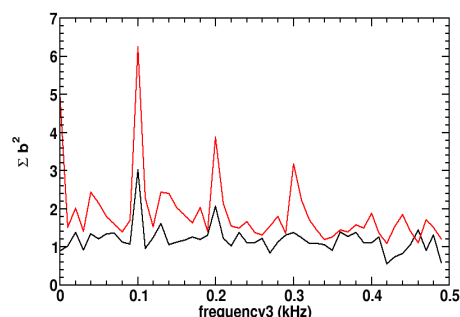


図 1. 100Hz30%の LLS の
トータルバイコヒーレンス