

反応性プラズマ中のナノ粒子成長とプラズマ揺らぎ

Nanoparticle growth in reactive plasmas and plasma fluctuation

九大シス情¹, 大阪大² ○白谷 正治¹, 古閑 一憲¹

内田 儀一郎², 鎌滝 晋礼¹, 徐 鉉雄¹, 板垣 奈穂¹,

Kyushu Univ.¹, Osaka Univ.², °Masaharu Shiratani¹, Kazunori Koga¹,

Giichiro Uchida², Kunihiro Kamataki¹, Hyunwoong Seo¹, Naho Itagaki¹,

E-mail: siratani@ed.kyushu-u.ac.jp

プラズマナノプロセスにおいては、プラズマ揺らぎが有意なプロセス揺らぎをもたらす。この 2 つの揺らぎの間の関係を明確にするために、反応性プラズマ中のナノ粒子成長をモデルとして、モデルを構築した。モデルではラジカル密度とナノ粒子の CVD 成長に関するレート方程式を用いた。2 つのレート方程式をカップリングさせるとともに、各パラメータに揺らぎが存在するとして、揺らぎ間の関係を定式化した。得られた式を図 1 に示す。プラズマ中にナノ粒子が小数存在する場合は、図 1 の下の式になる。この場合は、ナノ粒子のサイズ揺らぎ（サイズ分布）は、ナノ粒子表面に入射するラジカルフラックスの揺らぎとナノ粒子の核発生時刻の揺らぎにより決まっている。この場合、サイズ分布の単分散化には、ラジカルフラックスもしくはナノ粒子の核発生時刻の揺らぎを抑制

することになる。このために核発生制御を行うことが多い。一方、ナノ粒子が多数存在する場合は、図 1 の上の式となりナノ粒子のサイズと密度のカップリングが生じ、別の方法でサイズ分布の制御が可能となる。非常に高密度の場合には、ナノ粒子のサイズ成長が途中で自動的に停止し、

単分散性の高い分布が得られる。本研究は、新学術領域研究の援助により行われた。

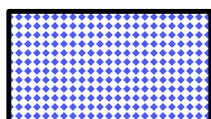
[1] K. Kamataki, et al., APEX **4** (2012) 105001.

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

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

High nucleation density

d_p and n_p are coupled.

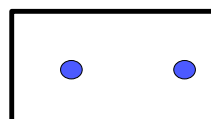


Density fluctuation

AM

$$\frac{\delta d_p}{d_p} \cdot 3 \left(1 - \frac{2}{3} \frac{d_p}{n_{\text{radical}} t} \right) + \frac{\delta n_p}{n_p} \cdot \frac{5}{3} \left(1 - \frac{d_p}{n_{\text{radical}} t} \right) = \frac{\delta n_{\text{radical}}}{n_{\text{radical}}} + \frac{\delta t}{t}$$

Low nucleation density



$$\frac{\delta d_p}{d_p} = \frac{\delta n_{\text{radical}}}{n_{\text{radical}}} + \frac{\delta t}{t}$$

Size fluctuation

Radical flux fluctuation

Nucleation timing fluctuation

図 1. 反応性プラズマ中のナノ粒子サイズの分布とプラズマ揺らぎに起因するラジカル密度揺らぎとナノ粒子の核発生時間の揺らぎの間の関係。