

まとめ：超臨界クラスター流体の材料科学 —プラズマプロセスのナノスケール揺らぎ— Summary : Materials Science of Supercritical Cluster Fluids

— Nano-scaled Fluctuation in Plasma Process —

東大院新領域 ○寺嶋和夫, 宗岡均, 占部継一、スタウス スベン

Univ. Tokyo Graduate School of Frontier Sciences,

○Kazuo Terashima, Hitoshi Muneoka, Keiichi Urabe, Sven Stauss

E-mail: kazuo@plasma.k.u-tokyo.ac.jp

本シンポジウムでは、“プラズマ分野”を中心として、さまざまな分野における“異相界面の科学と技術”について、とりわけ、それぞれの専門の立場からナノテクノロジーを背景とした“異相ナノ界面科学”を俯瞰した討論が行われます。

その最後の講演として、本講演では、超臨界流体、とりわけ臨界点近傍でのクラスター流体でのプラズマプロセスにおける異相ナノ界面研究について話題提供をし、本シンポジウムのまとめとさせていただきます。

プラズマ分野におけるナノ界面プラズマの研究としては、従来より、ナノ構造物あるいはマクロ構造物のナノ領域とプラズマとの界面科学の研究が精力的に進められて来ました。そして、これらの基礎研究の成果は、薄膜材料・デバイス作製、ナノ粒子合成プロセスの高制御化・機能化に大きく貢献しており、今後さらなる研究展開が期待されています。

一方、近年、マクロ空間にナノ空間での不均一性を持つプラズマ、例えば、液体や超臨界状態といった通常の気体プラズマとは本質的に異なるエキゾチック環境下でのプラズマが、新たなナノ界面プラズマの研究対象として脚光を浴び、その発生に関する研究を中心に多くの研究者の参入が進んでいます。超臨界流体プラズマにおける臨界点近傍での密度揺らぎ、ミストプラズマにおけるプラズマ反応場とナノ界面の不均質性の導入による界面サイズ縮小で顕著となる相互作用のサイズ効果、揺らぎ、など、ナノ界面プラズマ研究の新領域が拓かれています。

超臨界流体とは物質固有の臨界点以上の温度・圧力状態にある物質状態を指します。液相と気相の中間的な状態を示し、その高密度、高拡散性、高溶解度などの優れた輸送特性を利用した、抽出、廃棄物処理、ナノ物質・デバイス作製など、多岐に渡る分野におけるプロセス応用研究・実用化が進められています。

以上の優れた巨視的物性は、超臨界流体中のミクロな流体構造、分子クラスタリングに起因しており、さらに臨界点付近では分子間力と熱運動の拮抗により、分子同士が集合・離散を繰り返し密度揺らぎが生じるため、プロセス反応速度の増大などのプロセス反応の特異性が現れることが知られています。

我々のグループでは世界に先駆けて、①本プラズマの生成に成功するとともに、②プラズマ発生下でもこのクラスタリング構造、密度揺らぎが存在することを示し、また、③密度揺らぎを利用した非平衡物質合成の新プロセス概念の提案および実証研究を進めてきました。このように、微視的には動的・局所的に液相的なクラスター構造と気相的な単分子構造とが共存する、ナノレベルでの“気液混合相（不均一媒質）”、“気液界面集合体”、さらには“ナノ界面プラズマ集合体”といえる超臨界流体（超臨界クラスター流体）中でのプラズマは、近年、精力的に研究が進められている液相プラズマ（ソリューションプラズマ）の空間的な極限量子状態ともとらえられ、“新領域のプラズマとナノ界面との相互作用研究”の対象であると位置づけられます。

本講演では、一般的に異相ナノ界面で顕在化する、“揺らぎ”について、超臨界流体プラズマプロセスでの放電開始電圧の特異的な振る舞い、反応速度の増大、などを中心としてお話させていただきます。

References

- 1) T. Ito & K. Terashima, Appl. Phys. Lett., **80**, 2854-2856 (2002).
- 2) T. Ito, H. Fujiwara & K. Terashima, J. Appl. Phys., **94**, 5411-5415 (2003).
- 3) T. Ito, K. Katahira, Y. Shimizu, T. Sasaki, N. Koshizaki & K. Terashima, J. Mater. Chem., **14**, 1513-1515 (2004).
- 4) M. Sawada, T. Tomai, T. Ito, H. Fujiwara, & K. Terashima, J. Appl. Phys., **100**, 123305 (5) (2006).
- 5) T. Tomai, T. Ito & K. Terashima, Thin Solid Films, **506-507**, 409-414 (2006).
- 6) T. Tomai, K. Katahira, H. Kubo, Y. Shimizu, T. Sasaki, N. Koshizaki & K. Terashima, J. Supercritical Fluids, **41**, 404-411 (2007).
- 7) H. Kikuchi, H. Kubo, T. Tomai & K. Terashima, Thin Solid Films, **51**, 66677-6682 (2008).
- 8) T. Tomai, H. Yui, & K. Terashima, Appl. Phys. Lett. **94**, 151501(3) (2009).
- 9) プラズマ核融合学会誌 2010 年 6 月号「超臨界流体環境下でのプラズマ」の小特集
宮副裕之、シュタウス・スベン、寺嶋和夫. J. Plasma Fusion Res. **86**, 305-311 (2010).
- 10) S. Nakahara, S. Stauss, H. Miyazoe, T. Shizuno, M. Suzuki, H. Katakoka, T. Sasaki, & K. Terashima, Appl. Phys. Express **3**, 096201-1-3 (2010).
- 11) S. Stauss, H. Miyazoe, T. Shizuno, K. Saito, T. Sasaki & K. Terashima, Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 070213-1-3 (2010).
- 12) H. Kikuchi, S. Stauss, S. Nakahara, K. Matsubara, T. Tomai, T. Sasaki, K. Terashima, J. Supercrit. Fluids (refereed) **55**, 325-332 (2010).
- 13) T. Shizuno, H. Miyazoe, K. Saito, S. Stauss, M. Suzuki, T. Sasaki & K. Terashima Jpn. J. Appl. Phys. **50**, 030207-1-3 (2011).
- 14) S. Nakahara, S. Stauss, T. Kato, T. Sasaki, & K. Terashima. J. Appl. Phys., **109**, 123304-1-8 (2011).
- 15) F. Oshima., S. Stauss, C. Ishii, D. Z. Pai & K. Terashima, J. Phys. D **45**, 402003-1-5 (2012).
- 16) D. Lacoste, H. Muneoka, D. Z. Pai, S. Stauss & K. Terashima, Plasma Sources Sci. Technol. , **21**, 052003-1-4 (2012).
- 17) T. Kato, S. Stauss, S. Kato, K. Urabe, M. Baba, T. Suemoto, K. Terashima, Appl. Phys. Lett. **101** 224103-1-4 (2012).