

高圧気体・超臨界流体中における密度揺らぎのスケール依存性を考慮した放電モデルの構築

Development of Electrical Discharge Model for High-pressure Gases and Supercritical Fluids Taking into Account Dependence of Density Fluctuation on Considered Volume

○(PC) 宗岡 均^{1,2}、占部 継一郎^{1,2}、シュタウス スヴェン¹、寺嶋 和夫¹

(¹ 東大院新領域, ² 学振特別研究員)



○(PC) Hitoshi Muneoka^{1,2}, Keiichiro Urabe^{1,2}, Sven Stauss¹, Kazuo Terashima¹

(¹ Univ. of Tokyo, ² JSPS Research Fellow)

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

超臨界流体 (SCF) 中のプラズマは、SCF の特徴である高溶解度特性や特異な輸送特性とプラズマの特徴である反応の高速性、低温性、非平衡性とを併せ持ち、ナノカーボン物質の合成 [1] や金属・シリコンなどのナノ粒子合成 [2] などにおいて優れた反応場であることが示されている。特に、気液臨界点近傍における時間的・空間的な局所密度の揺らぎ (密度揺らぎ) をプラズマ中に保持した SCF プラズマは、ナノ粒子合成量の極大 [1,2] や、高次ダイヤモンドドイド [3] などの新規物質の合成が報告されているが、その反応機構の解明が課題である [4]。一方、プラズマ発生プロセスとしての放電現象において、臨界点近傍での放電開始電圧の特異的低下 (臨界異常) が電極間距離 5 μm 以下の極短ギャップでのみ報告されている [5-7]。以上の背景に対し、密度揺らぎを持つ高密度流体中の荷電粒子の運動と電極表面の現象を明らかにし、SCF プラズマの応用に向けてプラズマ生成機構を明らかにすることを目的として、本研究では新たな放電モデルを構築し、ヘリウムにおける準平等電界放電の実験結果との比較により議論を行った。

本研究のモデルでは、(1) 密度揺らぎの体積依存性 (α 効果の修正) と (2) イオン励起電界電子放出 (γ 効果の修正) を組み込むことにより、高圧気体における放電開始電圧の Paschen 則からの逸脱および臨界異常の電極間距離依存性についてフィッティングを行うことが可能となった。その結果、(A) Townsend 放電機構における α と γ の両方の係数が密度揺らぎにより変化すること、(B) 特に局所的に密度が疎の部分に運動する電子の平均自由行程増加による α 係数の変化が特に大きく、それにより放電開始電圧の臨界異常が引き起こされること、(C) 電極間距離が短い方が密度揺らぎの α 係数への影響が大きくなる結果放電開始電圧の臨界異常の電極間距離依存性が発現すること (図 1) が示された。本研究により、密度揺らぎによる実効的な換算電界の局所的な変化とそれに伴う電子エネルギー分布の拡大が示唆され、均一な放電プラズマ場とは異なる反応場の形成が示唆された。さらに、本モデルで提案した、現象のスケールを考慮した密度揺らぎ場の捉え方を放電現象以外にも適用することで、密度揺らぎを持つ SCF プラズマ中での反応機構の解明に向けて研究が展開していくことが期待できる。

[参考文献]

- [1] T. Shizuno *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys. **50**, 030207 (2011).
- [2] K. Saitow and T. Yamamura: J. Phys. Chem. C **113**, 8465 (2009).
- [3] F. Oshima *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 010214 (2014).
- [4] 宗岡均、寺嶋和夫: プラズマ核融合学会誌 **90**, 384 (2014).
- [5] T. Ito and K. Terashima: Appl. Phys. Lett. **80**, 2854 (2002).
- [6] M. Sawada *et al.*: J. Appl. Phys. **100**, 123304 (2006).
- [7] H. Muneoka *et al.*: Appl. Phys. Express **6**, 086201 (2013).

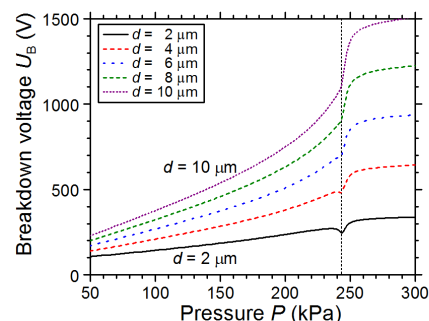


図 1 温度 5.30 K のヘリウムにおける放電開始電圧の圧力依存性と臨界異常の電極間距離(d)依存性の計算結果。垂直な破線は密度揺らぎが最大となる圧力を示す。