

放電基礎過程 — 電子衝突断面積と電子輸送係数 —

Fundamental process of gas discharge

-Electron collision cross sections and electron transport coefficients-

室蘭工大¹ ○佐藤 孝紀¹Muroran I.T.¹, ○Kohki Satoh¹

E-mail: ksatoh@mmm.muroran-it.ac.jp

電子は気体放電プラズマを構成する種の中で最軽量の荷電種であり、電界中で素早く加速されて高エネルギーになるとともに、非弾性衝突を介してそのエネルギーを気体分子に与え、放電プラズマの発生・維持および放電プラズマの応用において必要な種を生成する主役を担っている。そのふるまいは、電子輸送係数によって記述され、これを知ることで放電プラズマを応用するプロセスや機器の性能を連続の式を用いたシミュレーションにより検討することが可能となる。放電プラズマのシミュレーションの信頼性は、モデリングとシミュレーションの技術およびシミュレーションで使用される係数、特に、放電プラズマの生成と維持に強く関係する電子輸送係数の精度に依存する。

電子輸送係数は測定により得られるとともに、電子-気体分子間の衝突確率を表す電子衝突断面積から Boltzmann 方程式解析(BEq.) や Monte Carlo simulation (MCS) によって算出される。特に、電子輸送係数が測定されていない気体に対しては、BEq. や MCS による算出が電子輸送係数を得る唯一の方法であるので、正確な電子衝突断面積を用い、高精度な手法で電子輸送係数を算出する必要がある。

電子衝突断面積については測定および理論計算が行われているが、衝突断面積に関する全ての情報が得られている訳ではない。BEq.や MCS による電子輸送係数計算には全種類の電子衝突断面積(以後、断面積セットと記す)が必要であり、不足の電子衝突断面積については、電子輸送係数が実測値と一致するように推定されている。なお、この断面積推定法は電子スオーム法と呼ばれている。従来、電子スオーム法による断面積セットの推定においては電子輸送係数の計算に二項近似 BEq. がしばしば用いられてきたが、この方

法では電子エネルギー分布の非等方性が顕著な場合、計算結果の妥当性が保証されないおそれがある。そのため、これまでに報告されている多くの断面積セットに対して吟味が必要であると考えられる。

筆者らはこれまで、既に報告されている CF_3I , CHF_3 , SiF_4 , Tetramethylsilane 蒸気, H_2O 蒸気の断面積セットの妥当性を電子輸送係数の実測値にもとづいて評価するとともに、電子スオーム法で断面積セットを推定してきた。また、推定精度を向上させるため、電子輸送係数の計算には、現段階で定量的に最も優れた MCS を用いている。

Fig.1(a) および (b) に Kochetov *et al.* [1] および Kawaguchi *et al.* [2] (当研究室) が推定した CF_3I の断面積セットをそれぞれ示す。いずれの断面積セットも運動量移行 q_m , 振動励起 q_{vib} , 電子励起 q_{ex} , 電子付着 q_a および電離 q_i 衝突断面積で構成されている。Fig.2 は各断面積セットから計算した電子ドリフト速度の値を実測値と併せて示したものであり、Kawaguchi *et al.* の断面積セットを用いることで実測値と一致する結果が得られている。これより、断面積セットを評価し、必要に応じて修正を行うことが正確な電子輸送係数を得るうえできわめて重要であることがわかる。

プラズマ応用技術のシミュレーションでは、化学反応に係る種の生成レートなどの情報が必要とされる。Fig.1(b)では6種類のイオンの解離性電離衝突断面積が示されており、今後、このような断面積に関する詳細な情報の提供がますます重要になると考えられる。

参考文献

- [1] I. V. Kochetov *et al.* : J. Phys. D **42**, 055201 (2009)
 [2] S. Kawaguchi *et al.* : Eur. Phys. J. D **68**, 100 (2014)
 [3] H. Hasegawa *et al.* : Appl. Phys. Lett. **95**, 101504 (2009)

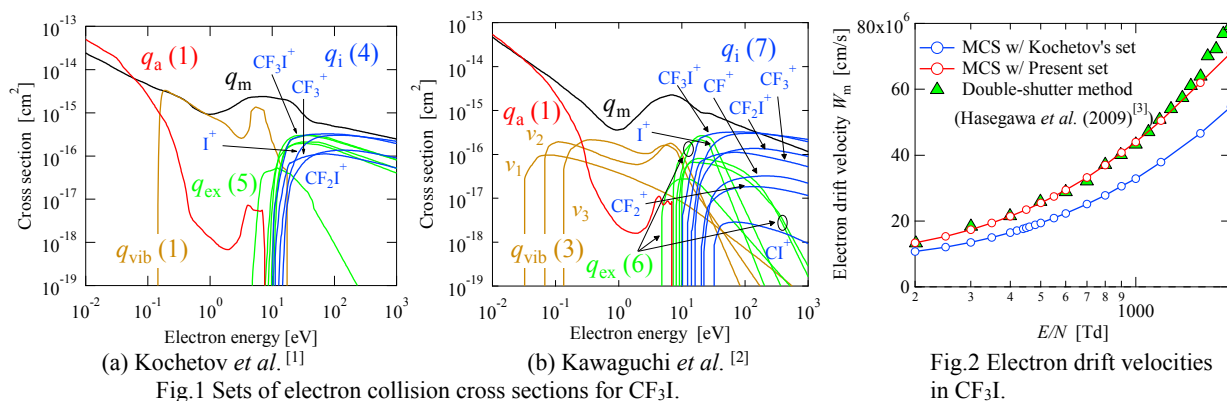


Fig.2 Electron drift velocities in CF_3I .