

C₂F₆ ガスの電子衝突断面積

Electron collision cross sections of C₂F₆ gas

室蘭工大¹, 学振特別研究員², °嶋山 直史¹, 川口 悟^{1,2}, 高橋 一弘¹, 佐藤 孝紀¹

Muroran I. T¹., JSPS Research Fellow², °Naofumi Hatakeyama¹, Satoru Kawaguchi^{1,2},

Kazuhiro Takahashi¹, Kohki Satoh¹

E-mail: 16043048@mmm.muroran-it.ac.jp

1. はじめに

SiO₂膜のプラズマエッチングなどに用いられるC₂F₆ガスの電子衝突断面積セットに関しては, Hayashi and Niwa^[1], 大雲ら^[2], 藤野ら^[3]および Hien *et al.*^[4]が推定を行っている。しかし, これらの断面積セットを用いて得られる電子輸送係数の計算値は必ずしも実測値と一致するとは限らない。また, これらの断面積セットは, 解離に関する情報も含んでいない。Weik and Illenberger^[5]および Iga *et al.*^[6]は, 電子とC₂F₆分子の衝突によって3種類の負イオン(F⁻, CF₃⁻, C₂F₅⁻)および6種類の正イオン(C₂F₅⁺, CF₃⁺, CF₂⁺, CF⁺, F⁺, C⁺)が生成されることをそれぞれ報告しており, これらの情報を考慮することで, 断面積セットの詳細さを高めることができる。

本研究の目的は, 正確かつ詳細なC₂F₆ガスの電子衝突断面積セットを提案することである。上述の解離性電離および解離性電子付着断面積を含む断面積セットを推定するとともに, この断面積セットを用いて得られるC₂F₆ガス中の電子ドリフト速度, 縦方向拡散係数, 電離係数, 電子付着係数および実効電離係数の計算値が広範囲の換算電界において実測値と一致することで断面積セットの妥当性を示す。また, C₂F₆/Ar混合ガス中の電子ドリフト速度, 縦方向拡散係数および電子付着係数が測定されているので, この混合ガス中の電子輸送係数における計算値と実測値の一致も指標として, C₂F₆ガスの電子衝突断面積セットを推定し, 断面積の妥当性を高める。

2. 電子衝突断面積および計算方法

Fig. 1は推定したC₂F₆ガスの電子衝突断面積セットを示す。運動量移行断面積 q_m については, Iga *et al.*^[6]および Takagi *et al.*^[7]が報告した実測値を通るように形状を推定した。振動励起断面積 q_{vib} については, Takagi *et al.*^[7]が測定した電子エネルギー損失スペクトルより3種類の振動励起(q_{v5} , q_{v6} , q_{v7})を考慮するとともに, そのしきい値を決定し, 形状については推定を行った。電子付着断面積 q_a については, Weik and Illenberger^[5]が測定した2種類の負イオン(F⁻, C₂F₅⁻)のyield curveを使用し, その大きさを調整した。また, CF₃の生成に関する q_a については Weik and Illenbergerが報告した3種類の負イオンの生成量の比(F⁻/CF₃⁻/C₂F₅⁻ = 100/20/0.1)に基づいて形状を推定した。電離断面積 q_i については, Iga *et al.*^[6]が報告した6種類の正イオン(C₂F₅⁺, CF₃⁺, CF₂⁺, CF⁺, F⁺, C⁺)の生成に関する解離性電離断面積の実測値を通るようにそれぞれの形状を推定した。中性解離断面積 q_{diss} については, q_{diss} と q_i の和が Flaherty *et al.*^[8]が測定した全解離断面積と一致するように推定した。

Monte Carlo法によって一様な直流電界 E が印加された自由空間中の電子の運動をシミュレートし, サンプリングによって電子輸送係数を求める。シミュレーションでは電子と中性気体分子間の衝突のみを考慮し, 気体分子数密度 N を $3.535 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (0°C, 1 Torr)とする。C₂F₆/Ar混合ガス中の電子輸送解析においては,

Arガスの電子衝突断面積セットとして電気学会が推奨するセットを用いた^[9]。

3. 計算結果

Fig. 2は本研究で提案する電子衝突断面積セットを用いて得られるC₂F₆ガス中およびC₂F₆/Ar混合ガス中の電子ドリフト速度の計算値を実測値^[2,4,10,11]と併せて示す。計算した全ての換算電界および混合割合において, 計算値と実測値がよく一致しており, 提案する断面積セットの妥当性が確認できる。

参考文献

- [1] M. Hayashi and A. Niwa: Gaseous dielectrics V, **4**, 27 (1985)
- [2] 大雲, 中村: 電気学会研資, ED-98-76, 43 (1998)
- [3] 藤野, 中村: 放電研資, 159, 79 (1998)
- [4] P. X. Hien *et al.*: J. Korean Phys. Soc. **69**, 1755 (2016)
- [5] F. Weik and E. Illenberger: J. Chem. Phys. **103**, 1406 (1995)
- [6] I. Iga *et al.*: J. Phys. B **38**, 3477 (2005)
- [7] T. Takagi *et al.*: J. Phys B **27**, 5389 (1994)
- [8] D. W. Flaherty *et al.*: McKoy: J. Phys. D **39**, 4393 (2006)
- [9] 倉知ら: 電気学会放電研資, ED-89-72 (1989)
- [10] J. de Urquijo *et al.*: J. Phys. D **37**, 1774 (2004)
- [11] 中村: 電気学会研資, PST-07-55, 71 (2007)

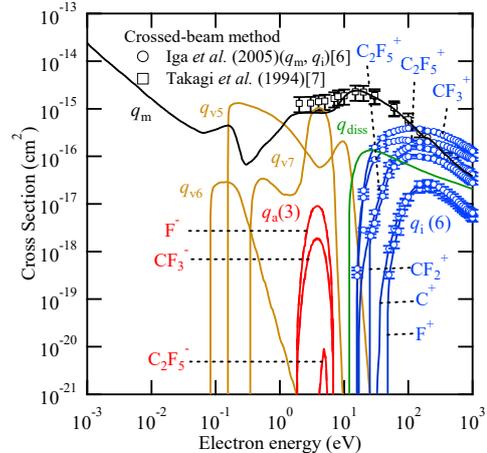


Fig. 1 Electron collision cross sections of C₂F₆.

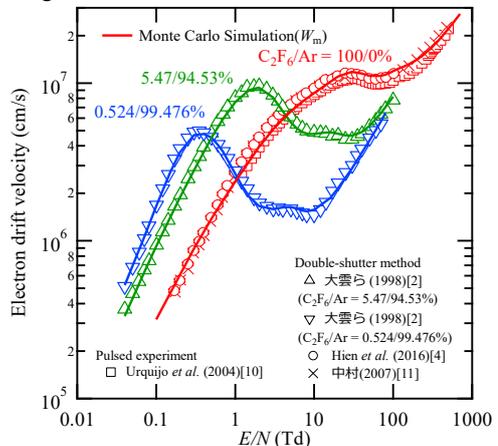


Fig. 2 Electron drift velocity in C₂F₆ and C₂F₆/Ar mixture as a function of reduced electric field E/N .