

C₂F₄ ガスを含む混合ガス中の電子輸送特性

Electron transport properties in gas mixtures containing C₂F₄ gas

室蘭工大, °川口 悟, 高橋 一弘, 佐藤 孝紀, 伊藤 秀範

Muroran I. T., °Satoru Kawaguchi, Kazuhiro Takahashi, Kohki Satoh, and Hidenori Itoh

E-mail: s2124049@mmm.muroran-it.ac.jp

1. はじめに

新規プロセスガス C₂F₄ は、低環境負荷であるとともに、SiO₂膜や SiOCH 膜のプラズマエッチングにおいて、従来の c-C₄F₈ ガスを用いた場合よりも良好な性能が得られるため^[1]、近年注目されている。これに伴い、C₂F₄ プラズマのシミュレーションへの要望も高まっており、電子輸送係数^[2-4]、反応レート係数^[3]、電子衝突断面積^[3, 5-9]に関する研究も行われている。特に、電子衝突断面積は、上述の係数を定める最も基礎的なデータであり、使用される係数の精度がシミュレーションの精度に影響するため、正確な係数の算出のために、正確な C₂F₄ ガスの電子衝突断面積セットが求められている。

本研究の目的は、詳細かつ正確な C₂F₄ ガスの電子衝突断面積セットを提案することである。このガスに関しては、著者らが知る限りでは、Yoshida *et al.*^[3]が推定した断面積セットのみが報告されている。一方で、この断面積セットには含まれていない C₂F₂⁺、C₂F⁺、CF₃⁺、CF₂⁺、C₂⁺、C⁺、F⁺の生成に関する解離性電離断面積^[5]や F⁺の生成に関する解離性電子付着断面積^[6]の実測値が報告されている。このため、これまでに著者らは Yoshida *et al.*の断面積セットを出発点として、上述の断面積の実測値を取り入れることで断面積セットの詳細さを高めるとともに、C₂F₄ ガス中の電子輸送係数の計算値が実測値と合うように断面積を修正することで、正確さを高めた断面積セットを決定した^[10]。ここでは、決定した断面積セットを用いて C₂F₄/Xe 混合ガス中の電子輸送解析を行い、得られた電子ドリフト速度を実測値と比較した結果について報告する。

2. 電子衝突断面積および計算方法

Fig. 1 は推定した C₂F₄ ガスの電子衝突断面積セットを示す。ここで、Fig. 1 における Σq_{ex} および Σq_i はそれぞれ電子励起断面積 q_{ex} および電離断面積 q_i の総和を表す。また、Fig. 2 は部分電離断面積を示す。弾性衝突断面積 q_{el} については、Panajotovic *et al.*^[7]の実測値を通るように形状を決定した。振動励起断面積 q_{vib} については、Panajotovic *et al.*^[7]が測定した電子エネルギー損失スペクトルより 2 種類の振動励起 (v_1 , v_2) を仮定するとともに、それぞれの断面積の形状を推定した。ただし、 $q_{vib}(v_1)$ の断面積の形状については、Panajotovic *et al.* が報告した振動励起断面積を通るように決定した。電子付着断面積 q_a については、F⁺ および C₂F₄ の生成に関する 2 種類の部分断面積で構成されている。 $q_a(F^+)$ については、Weik and

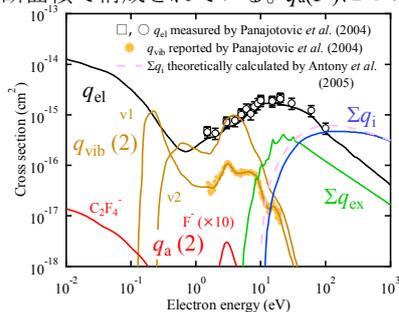


Fig. 1. Electron collision cross sections of C₂F₄ gas.

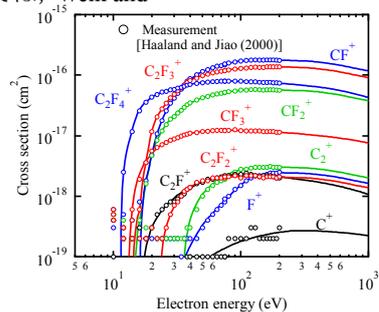


Fig. 2. Partial ionization cross sections.

Illenberger^[6]が測定した $q_a(F^+)$ の相対断面積に 2.0×10^{-22} を乗じて使用し、 $q_a(C_2F_4)$ については、断面積の形状を推定した。 q_{ex} については、Winstead and McKoy^[8]の理論計算値を使用しており、10 種類の q_{ex} で構成されている。ただし、 $q_{ex}[^1B_{1u}(V)]$ およびそれ以外の q_{ex} の理論計算値をそれぞれ 1.7 倍および 0.6 倍している。 q_i については、Haaland and Jiao^[5]の実測値を通るように形状を決定した。ただし、電子エネルギーが 200 eV 以上の範囲においては、 Σq_i の値が Antony *et al.*^[9]の Σq_i の理論計算値と合うように部分電離断面積の形状をそれぞれ推定した。

ガス中の電子の振舞いの計算には Monte Carlo 法を用いることで計算精度を向上させ、サンプリングによって平均到着時間ドリフト速度 W_m 、縦方向拡散係数 ND_L などを求める^[11]。C₂F₄ 分子と弾性衝突後の電子の散乱方向については、微分断面積の実測値^[7]と理論計算値^[12]を基に決定し、それ以外の衝突においては等方散乱を仮定する。C₂F₄/Xe 混合ガス中の電子輸送解析においては、電気学会が推奨する Xe ガスの電子衝突断面積セット^[13]を使用しているが、 $E/N > 30$ Td における Xe ガス中の W_m および ND_L の計算値が実測値^[14, 15]と合うように q_m の形状を修正した。

3. 計算結果および考察

Fig. 3 は、C₂F₄/Xe 混合ガス中の平均到着時間ドリフト速度 W_m の計算値を実測値^[2-4, 14, 15]と併せて示す。計算したすべての混合比ならびに換算電界 E/N において、計算値が実測値に非常によく一致しており、混合ガス中の電子ドリフト速度の一致の観点からも、決定した電子衝突断面積のセットの妥当性が確認できる。

参考文献

- [1] 例えば、S. Samukawa and T. Mukai: J. Vac. Sci. Technol. B **18**, 166 (2000).
- [2] A. N. Goyette *et al.*: J. Chem. Phys. **114**, 8932 (2001).
- [3] K. Yoshida *et al.*: J. Appl. Phys. **91**, 2637 (2002).
- [4] A. Bekstein *et al.*: Eur. Phys. J. D **66**, 77 (2012).
- [5] P. Haaland and C. Jiao: Air Force Research Laboratory Report, AFRL-PR-WP-TR-2001-2061 (2000).
- [6] F. Weik and E. Illenberger: J. Chem. Phys. **103**, 1406 (1995).
- [7] R. Panajotovic *et al.*: J. Chem. Phys. **121**, 4559 (2004).
- [8] C. Winstead and V. McKoy: J. Chem. Phys. **116**, 1380 (2002).
- [9] B. K. Antony *et al.*: J. Phys. B **38**, 189 (2005).
- [10] S. Kawaguchi *et al.*: Proc. of SPP34/SPSM29, 16aB3 (2017).
- [11] S. Kawaguchi *et al.*: Japan. J. Appl. Phys. **55**, 07LD03 (2016).
- [12] Y. Winstead and V. McKoy: J. Chem. Phys. **122**, 234304 (2005).
- [13] Y. Sakai: Appl. Surf. Sci. **192**, 327 (2002).
- [14] 渡邊ら: 電気学会放電研資, ED-01-116 (2001).
- [15] 橋本, 中村: 電気学会プラズマ/放電合同研資, EP-90-42, ED-90-61 (1990).

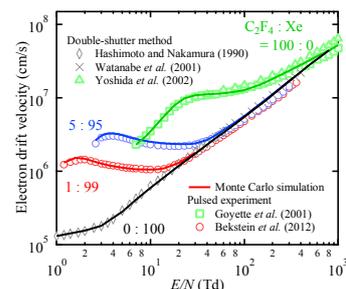


Fig. 3. Electron drift velocity in C₂F₄/Xe mixtures as a function of E/N .