

CF₄ガスの電子衝突断面積セット

Electron collision cross section set of CF₄

室蘭工大 ○庄司 大悟, 川口 悟, 高橋 一弘, 佐藤 孝紀

Muroran I. T., ○Daigo Shoji, Satoru Kawaguchi, Kazuhiro Takahashi, and Kohki Satoh

1.はじめに

CF₄ ガスを含む放電プラズマは、反応性の高い F 原子を生成することから SiO₂のエッチングにしばしば用いられ^[1,2], CF₄/Ar/O₂ プラズマを用いると SiO₂ に対して 200 nm/min の高いエッチレートをもつことが報告されている^[1]. また、トレンチ側面のポーイングが問題視され、プラズマシミュレーションを用いた検討も盛んに行われている^[3,4]. 例えば、Takagi *et al.*^[3] は、気相モデル、シースモデルならびに表面反応モデルを組み合わせることで CF₄/Ar プラズマモデルを用いた SiO₂ の形状シミュレーションを行い、CF₂ の生成量とポーイングの関係について検討している。このようなプラズマシミュレーションでは、反応モデルに加え、使用される放電基礎データの精度が結果の妥当性を左右することから、放電基礎データを算出する上で最も基礎的かつ不可欠である CF₄ ガスの電子衝突断面積セットに対しても精度と詳細さが求められている。

本研究の目的は、正確な CF₄ ガスの電子衝突断面積セットを提案することである。ここでは、定量性に最も優れた手法である Monte Carlo simulation を用いた電子スオーム法を用い、実測値が報告されている実効電離係数^[5], 電子ドリフト速度^[6,7]および縦方向拡散係数^[7]を再現できる電子衝突断面積セットを推定する。また、従来の電子衝突断面積セット^[8,9,10]との比較を行う。

2.電子衝突断面積および計算方法

図1は本研究で推定した CF₄ ガスの電子衝突断面積セットを示す。運動量移行 q_m については、Boesten *et al.*^[11]が報告した実測値および Sakae *et al.*^[12]が報告した実測値を通るように形状を決定した。振動励起 q_{vib} については、Boesten *et al.*が報告した電子エネルギー損失スペクトルから3種類の振動励起 $[v_3, v_4, 2v_3]$ を仮定するとともに形状を推定し、 $q_{vib}(v_3)$ については、Marer *et al.*^[13]が報告した実測値を通るように形状を決定した。電離 q_i については、Torres *et al.*^[14]が報告した7種類の実測値を用い、 $\epsilon > 80.0$ eV については、Nishimura *et al.*^[15]の全電離断面積の計算値に、80.0 eV における Torres *et al.*の部分断面積の比率を乗じたものとし

ている。中性解離 q_{nd} については、Ma *et al.*^[16]が報告した実測値に Sugai *et al.*^[17]の3種類の部分断面積の比率を乗じたものとした。電子励起 q_{ex} , 電子付着 q_a およびイオン対生成 q_{ip} については、Sun *et al.*の実測値^[18], Iga *et al.*の実測値^[19]および Bonham *et al.*の推定値^[20]をそれぞれ用いた。

Monte Carlo 法によって一様な直流電界 E が印加された CF₄ ガス中の電子の挙動を正確にシミュレートし、電離係数 α/N , 電子付着係数 η/N , 実効電離係数 $(\alpha-\eta)/N$, 平均到着時間ドリフト速度 W_m および縦方向拡散係数 ND_L を求める。なお、 N は気体の分子数密度であり、 $N = 3.535 \times 10^{16}$ cm⁻³ である。

3.計算結果

図2は CF₄ ガスの電子衝突断面積セットから得られる W_m および ND_L の計算値を、実測値および他の断面積セットから得られた値と併せて示す。本研究で推定した断面積セットから得られた値は、 $E/N = 40 \sim 80$ Td において ND_L が実測値よりもやや低くなったことを除き、従来の断面積セットよりも広範囲で実測値を再現していることがわかる。

参考文献

- [1] J. Son *et al.*: Plasma Chem. Plasma Process, **34**(2014)
- [2] X. Xu *et al.*: J. Vac. Sci. Technol. A, **18**(2000)
- [3] S. Takagi *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **54** (2015)
- [4] T. Kimura and M. Noto: J. Appl. Phys., **100**(2006)
- [5] M. Simozawa *et al.*: J. Phys. D, **16**, 971(1983)
- [6] B. Schmidt *et al.*: Nucl. Instrum. Methods Phys. A **273**(1988)
- [7] 中村義春: 電気学会放電研究資料, **71**(2007)
- [8] M. Kurihara *et al.*: J. Phys. D, **33**, 2146(2000)
- [9] M.-C. Bordage *et al.*: J. Appl. Phys., **86**, 3558(1999)
- [10] 伊藤他: 電気学会論文誌A, **116**, 328(1996)
- [11] L. Boesten *et al.*: J. Phys. B, **25**, 533(1992)
- [12] T. Sakae *et al.*: J. Phys. B, **22**, 1385(1989)
- [13] J. P. Marler and C. M. Surko: Phys. Rev. A, **72**(2005)
- [14] I. Torres *et al.*: J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., **5**(2002)
- [15] N. Nishimura *et al.*: J. Chem. Phys., **110**, 3811(1999)
- [16] C. Ma *et al.*: Phys. Rev. A, (1991)
- [17] H. Sugai *et al.*: Contrib. Plasma Phys. **35**, 415(1995)
- [18] Q. Sun *et al.*: J. Electron Spectros. Relat. Phenomena., **258** (2022)
- [19] I. Iga *et al.*: Z. Phys. D-Atoms, **24**(1992)
- [20] R. A. Bonham *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **33**(1994)

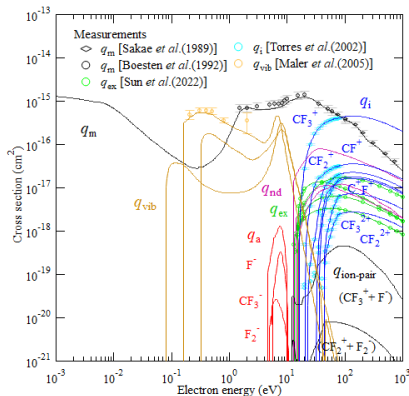
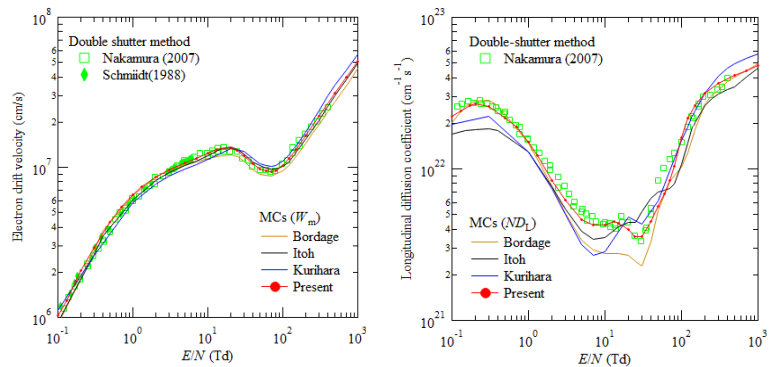


図1 CF₄ ガスの電子衝突断面積セット



(a) 電子ドリフト速度

(b) 縦方向拡散係数

図2 CF₄ ガス中の電子輸送係数