

## c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> ガスの電子衝突断面積

### The set of electron collision cross sections for c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>

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

c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> ガスを含む放電プラズマは, CF<sub>4</sub>, CHF<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> ガスを用いた場合と比べて, 下地(Si)に対して高い選択比が得られるため, SiO<sub>2</sub>膜のエッチングによるコンタクトホール形成にしばしば用いられている<sup>(1)</sup>。また, Bosch法による高アスペクト比の Si トレンチの形成における側壁保護膜の堆積<sup>(2)</sup>などにも応用されている。同時に, ボーイングなどのエッチング形状の異常が問題となっており,<sup>(3)</sup> 装置構造ならびに装置パラメータの最適化が要求されている。このため, 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。<sup>(4,5)</sup> 例えば, Haidar *et al.*<sup>(4)</sup>は, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> プラズマ中の化学反応のモデルを構築するとともに, グローバルモデルによる c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> プラズマのシミュレーションを行い, ガス圧および入力電力に対する CF, CF<sub>2</sub>, F および正イオンのフラックスを求めている。このようなプラズマシミュレーションでは, 使用される反応モデルの妥当性はもとより, 使用される反応レート係数の精度が結果の妥当性を左右する。特に, 高エネルギー電子と原料ガスの衝突による化学反応が, 放電プラズマ中における反応過程の起点となるため, 電子と c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> ガスの衝突に関する正確な反応レート係数が求められている。このため, 反応レート係数を算出する上で最も基本的かつ不可欠なデータである, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> ガスの電子衝突断面積セットに対しても妥当性が求められている。

本研究の目的は, 正確な c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> ガスの電子衝突断面積セットを提案することであり, ここでは, Monte Carlo simulation を用いた電子スオーム法によって推定した c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> ガスの電子衝突断面積セットを提案する。

#### 2. 電子衝突断面積および計算方法

Fig. 1 は, 本研究で推定した c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 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, Jelisavcic *et al.*<sup>(7)</sup>の実測値を通るように形状を推定している。振動励起断面積  $q_{vib}$  については, 2種類の断面積 ( $q_{v1}$  および  $q_{v2}$ ) で構成し, それらのしきい値を Jelisavcic *et al.*<sup>(6)</sup>が測定した Electron Energy Loss Spectrum (EELS) から導出するとともに, それぞれの形状を推定している。ただし,  $q_{v1}$  の形状については, Jelisavcic *et al.*<sup>(6)</sup>が測定した振動励起に関する Excitation function を用いて独自に算出した Integral Cross Section (ICS) を通るように推定している。電子励起断面積  $q_{ex}$  については, 2種類の断面積で構成し, それらのしきい値を Limão-Vieira *et al.*<sup>(7)</sup>が測定した EELS から導出するとともに, それぞれの形状を推定している。電離断面積  $q_i$  については, 13種類の解離性電離断面積で構成し, Jiao *et al.*<sup>(8)</sup>の実測値を内挿および外挿して用いている。電子付着断面積  $q_a$  については, Kurepa<sup>(9)</sup>の実測値を通る形状としている。

ガス中の電子の振舞いを Monte Carlo 法によってシミュレートするとともに, Time-of-Flight 実験ならびに Steady-State Townsend 実験に対応したサンプリングによ

って平均到着時間ドリフト速度  $W_m$ , 縦方向拡散係数  $ND_L$ , 電離係数  $\alpha/N$ , 電子付着係数  $\eta/N$  および実効電離係数  $(\alpha-\eta)/N$  を求める。ここで,  $N$  は気体分子数密度であり,  $3.535 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  (0 °C, 1 Torr)としている。c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/Ar ガス中の電子輸送解析においては, 電気学会が推奨する Ar ガスの電子衝突断面積のセット<sup>(10)</sup>を使用している。

#### 3. 計算結果および考察

Fig. 2 は, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/Ar 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<sup>(11-13)</sup>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において, 計算値と実測値が非常によく一致していることが確認でき, 電子ドリフト速度の点において, 推定した電子衝突断面積のセットが妥当であることが確認された。

#### 参考文献

- (1) S.-X. Zhao *et al.*: J. Appl. Phys. **117**, 243303 (2015).
- (2) 関根: J. Plasma Fusion Res. **83**, 319 (2007).
- (3) 根岸, 伊澤: J. Plasma Fusion Res. **83**, 330 (2007).
- (4) Y. Haidar *et al.*: Plasma Sources Sci. Technol. **23**, 065037 (2014).
- (5) S. Takagi *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 036501 (2015).
- (6) M. Jelisavcic *et al.*: J. Chem. Phys. **121**, 5272 (2004).
- (7) P. Limão-Vieira *et al.*: Phys. Rev. A **76**, 032509 (2007).
- (8) C. Q. Jiao *et al.*: Chem. Phys. Lett. **297**, 121 (1998).
- (9) M. V. Kurepa: 3rd Cz. Conference on Electronics and Vacuum Physics Transactions, pp.107-115 (1967).
- (10) 倉知, 中村: 電気学会放電研資 ED-89-72 (1989).
- (11) M. Yamaji and Y. Nakamura: J. Phys. D **36**, 640 (2003) [Erratum **37**, 644 (2004)].
- (12) J. de Urquijo and E. Basurto: J. Phys. D **34**, 1352 (2001).
- (13) Y. Nakamura and M. Kurachi: J. Phys D **21**, 718 (1988).

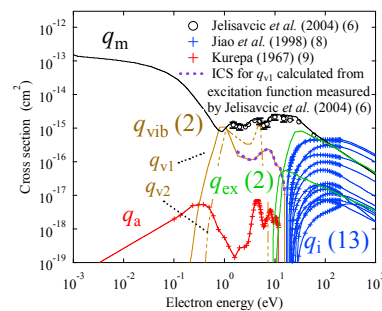


Fig. 1. Electron collision cross sections of c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>.

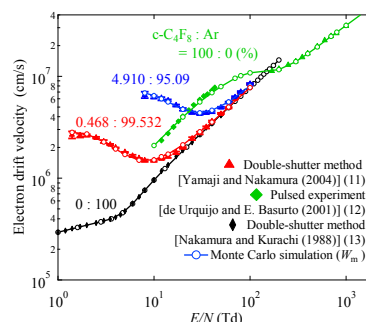


Fig. 2. Electron drift velocity in c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/Ar as a function of reduced electric fields  $E/N$ .