

시뮬레이션에 의한 CF₄ 기체의 전자수송특성

김상남*, 황청호
 시립인천전문대학

A Study of the Insulation Characteristic in CF₄ Gas

Sang-Nam Kim*, Cheong-Ho Hwang
 Incheon city collage

Abstract : In this paper, the electron transport characteristics in CF₄ has been analysed over the E/N range 1~300[Td] by a two-term approximation Boltzmann equation method and by a Monte Carlo simulation. The motion has been calculated to give swarm parameters for the electron drift velocity, longitudinal diffusion coefficient, the ratio of the diffusion coefficient to the mobility, electron ionization and attachment coefficients, effective ionization coefficient, mean energy, collision frequency and the electron energy distribution function.

The swarm parameter from the swarm study are expected to serve as a critical test of current theories of low energy electron scattering by atoms and molecules, in particular, as well as crucial information for quantitative simulations of weakly ionized plasmas.

1. 서론

전리기체는 대단히 많은 하전입자와 중성원자, 분자로 구성되며 전자, 이온 등의 하전입자와 중성기체원자 또는 분자가 공존할 때에는 이들 하전입자 상호간의 충돌작용에 의하여 이동, 확산 등의 거시적 현상이 나타난다. 이들의 현상들을 정량적으로 해석하기 위해서는 충돌현상과 전자에너지 분포함수가 기초가 되며 이에 대한 이론적, 실험적 연구가 활발히 이루어져 왔다. 그러나 이들 응용분야의 확충과 효율개선 및 물성적 현상의 명확한 규명을 위하여 면밀한 연구가 요구되고 있다.[1,2, 3,4]

CF₄(Carbon Tetrafluoride)가스는 할로젠 원소를 함유하며 전극등 고체표면에 흡착하기 쉬운 성질과 전자부착성 때문에 대체로 높은 절연내력을 가지고 있으며 방전공간에서 전계로 인하여 해리된 하전입자가 활성화(Radical)한 분자로 존재한다. 또한 비탄성충돌 때문에 전자에너지를 저하시켜 절연내력이 향상되고 냉각효과도 크다.[3] 이와 같은 전자부착특성으로 가스방전 스위치에 이용되고 있는 중요한 기체이며 최근에는 반도체 디바이스 제조 프로세싱의 플라즈마 에칭(Plasma etching)에 많이 이용되고 있다.[1,2,4]

2. MCS-BEq법

본 논문의 이론적인 해석은 몬테칼로법(MCS)과 볼츠만법(BEq)을 이용하여 전자에너지 분포함수와 전자수송계수(전자군 파라미터)를 구하는 것으로 이것은 [0~1]사이의 일정한 분포를 갖는 난수(Random number)를 이용하여 충돌의 종류, 산란후의 방향 및 비행시간 등을 결정하면서 전자의 운동을 반복 추적한다.

난수를 이용하여 충돌현상을 확률적으로 취급하고 사용한 난수를 계산기에 발생시켜 [0,1] 사이에 대응할때 독립한 난수열을 다수회 시행하여 평균치를 계산기로 구하는 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전자이동속도.

그림3.1의 전자이동속도(W)는 E/N:1~300[Td]범위에서 Y. Nakamura(1988)[8], M. Hayashi (1986) [9]의 실험값과 MCS, BEq를 비교하였다.

여기서 NDC의 특성은 아직 정확히 파악되지는 않았지

만 Petrovic은 여러 종류의 단면적을 해석하여 NDC의 특성을 연구하던 중에 Q_v의 높이가 높은 경우 Q_v의 높은 에너지측의 threshold가 낮고 급하게 떨어지는 경우 Q_m의 구배가 큰 경우 NDC는 현저하다고 발표하였다.[14]

본 연구에서 MCS와 BEq로 계산된 이동속도는 거의 일치하였고 E/N : 20~100[Td] 범위에서의 실험치는 큰 차이가 나타났다. 이것은 Y. Nakamura와 M. Hayashi의 단면적중 Q_m의 차이 때문이며 M Hayashi의 Q_m이 더 깊은 Ramsauer minimum을 가지고 있기 때문이다. 또한 CF₄가스가 갖는 큰 진동 여기단면적과 운동량 변환단면적의 작용으로 나타나는 에너지분포의 비등방성에 의한 2항 근사해석의 오차와 전자부착특성이 현저한 영역에서 drift 속도의 측정방법과 해석의 문제로 인하여 오차가 발생된다고 생각된다.

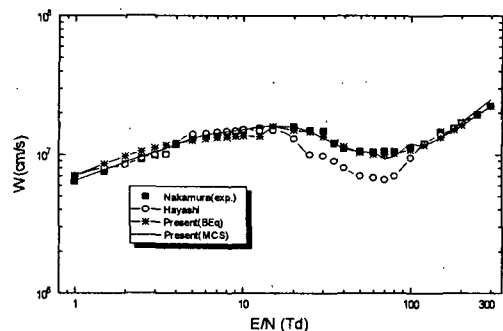


그림 3.1 CF₄가스중에서 전자이동속도
 Fig. 3.1 Drift velocity of electrons in CF₄ gas

3.2 특성에너지

그림3.2는 특성에너지(D_L/μ)를 E/N : 1~300[Td]변화에 따라 볼츠만방정식의 2항근사식을 이용한 모의실험 값을 나타낸 것이다. 여기서 μ=W/E로서 이동도를 나타낸다.

그림에 나타난 바와 같이 E/N : 1~10.5[Td]영역에서는 Curtis et al의 측정값[16]과 거의 일치하였고 E/N : 10.5~300[Td]에서는 D_L/μ[V]값이 증가하였다. 이것은 여기충돌에 의한 drift 속도의 상승과 전리충돌에 의한 전자수 보 존상태의 영향을 받는 것으로 생각된다.

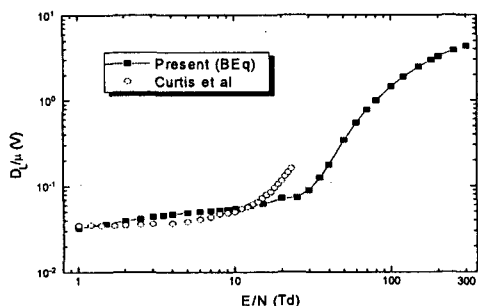


그림 3.2 CF₄가스중에서 특성에너지
Fig. 3.2 Characteristic energy in CF₄ gas

3.3 전리계수

그림 3.3에 나타난 바와 같이 볼츠만법으로 계산한 전리계수를 각각 E/N[Td]의 함수로 나타내었다. 전자가 전계중에서 가속되어 전자의 운동에너지가 기체의 전리에너지를 넘으면 어떤 전리확률을 가지고 기체분자를 전리한다.

본 연구에서의 계산된 값은 Y. Nakamura, M. Hayashi의 계산값과 Shimozuma, Naidu 및 Dutton의 실험값으로 비교 검토하였다.[16] 낮은 E/N[Td]에서는 전리계수의 값은 급격히 증가하였으나 높은 E/N [Td]영역에서는 거의 일정한 경향을 나타내었다.

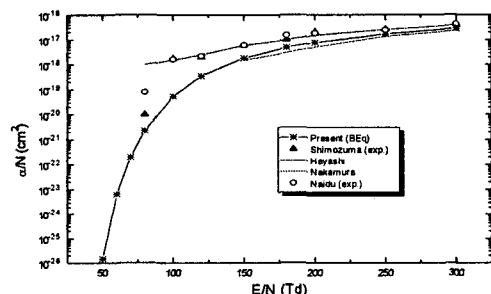


그림 3.3 CF₄가스중에서 전리계수
Fig. 3.3 Ionization coefficients in CF₄ gas

3.4 평균에너지

전자의 평균에너지($\bar{\epsilon}$)는 E/N[Td] 및 초기전자수(수천개)를 parameter로하여 BEq법으로 전자를 추적한 값을 그림 3.4에 나타내었다. 전자의 평균에너지는 전극간거리 및 시간의 함수로써 계산되는 전자에너지분포, 전자이동속도 등에 관계되는 물리량이다.

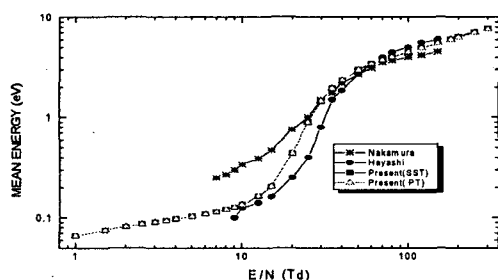


그림 3.4 CF₄가스중에서 전자의 평균에너지
Fig. 3.4 Mean energy of electrons in CF₄ gas

따라서 음극면에서의 전자의 평균에너지는 비탄성충돌이 일어날 때까지는 거의 일정한 에너지상태를 나타냈으

며 E/N =10 [Td]범위에서부터 수직으로 증가하여 비평형상태로 나타났다. 이것은 음극에서 2차전자가 방출하므로 양극에서 전자를 모두 흡수하기 때문이라고 생각된다.

4. 결론

본 논문에서는 E/N:1~300[Td]범위에서 MCS와 BEq를 이용하여 CF₄가스의 전자군 수송계수를 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CF₄가스중에서 전자이동속도(W)의 전체적인 변화는 상대 전계의 세기 E/N:1~10[Td]와 100~300 [Td]영역에서는 일치치와 일치하였으나 E/N:20~100[Td]영역에서는 감소되는 부구배[負勾配](NDC : Negative Differential Conductivity)로 인한 전자부성특성이 나타났다.

2. 전자의 평균에너지($\bar{\epsilon}$)를 구하였고 E/N : 10.5~300 [Td]영역에서는 급격한 증가를 나타내었다. 따라서 E/N이 10.5[Td]이상 영역에서는 여기와 전리충돌의 반응으로 비탄성 충돌작용이 일어나고 있음을 예측할 수 있다.

3. 전자에너지 분포함수의 값은 낮은 E/N영역 즉 낮은 에너지 영역에서는 진동여기 충돌단면적(Q_{v1}, Q_{v2})의 확률이 운동량 변환단면적(Q_m)의 확률보다 크게 작용하므로 그 의존성이 크게 나타났다. 또한 전자에너지분포의 차이는 E/N[Td]과 전자의 평균에너지의 값에 따라 큰 영향이 나타남을 확인하였다.

Reference

- [1] Stephen M. Rossnagel, Jerpome J. Cuomo, William D Westwood, "Handbook of Plasma Processing Technology", Noyes Publications, 1990.
- [2] L. G. Christophorou, S. R. Hunter, J. G. Carter and R. A. Mathis, "Gases for possible use in diffuse-discharge switches", Appl. Phys. Lett. 4, pp.147-149, 1982.
- [3] H. Itoh, M. Inomata, T. Matsumura, K. Satoh, Y. Suzuki, Y. Nakao, H.Tagashira, "Electron Swarm Characteristics in Gas Mixtures Containing CF₄", T. IEE Japan, Vol.116-A, No. 4, pp.328-333, 1996.
- [4] 菅野卓雄 編著, "半導体プラズマプロセス技術", 産業圖書, pp.38-50, 1993.
- [5] 山本, 生田, "モンテカルロシミュレーションによるCF₄カスの電子衝突 断面積", 電気學會放電研究會資料. ED-92-101, pp.71-80, 1992.
- [6] "モンテカルロ法とシミュレーション", 培風館, 1989.
- [7] 電気學會技術報告, "氣體放電 シミュレーション技法", 第140号, 1974.
- [8] 中村, 富澤, 電気學會放電研究會資料, "CF₄氣體における電子輸送係數", ED-88-58, pp.29-37, 1988.
- [9] M. Hayashi, "Swarm Studies and Inelastic Electron-Molecule Collisions", L. C.Pitchford, Springer-Verlag, 1986.
- [10] C. Jacoboni and P. Lugli, "The Monte Carlo Method for Semiconductor Device Simulation", Springer-Verlag Wien, pp.1-4, 1989.
- [11] 倉知 正, "SiH₄-希ガス混合氣體中における電子輸送係數に関する研究", 慶応義塾大學大學院理工學研究室 修士學位 論文, 1986.
- [12] Philip. E. Luft, "Description of a Backward prolongation program for computing transport coefficients", JILA. information center report, No.19, 1975.
- [13] Brian Chapman, "Glow Discharge Processes", John Wiley & Sons, 1980.
- [14] 山本, 生田, "CF₄カスの電子衝突断面積と輸送係數" 電気, 學會放電研究會資料, ED-91-70, pp.11-20, 1991.
- [15] M. G. Curtis, Isobel C. Walker and K. J. Mathieson, "Electron Swarm Characteristic Energies(Dr/μ) in Tetrafluoromethane(CF₄) at Low E/N", IOP Publishing Ltd, pp.1271-1274, 1988.
- [16] 松村, 伊達, 田頭, 電気學會放電研究會資料 ED-92-97, pp.31-39, 1992.