

Ionization and Attachment Coefficients in CF₄

김 상 남[†]
(Sang-Nam Kim)

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 electron energy distribution function has been analysed in CF₄ at E/N=5, 10, 100, 200 and 300[Td] for a case of the equilibrium region in the mean electron energy and respective set of electron collision cross sections. The results of Boltzmann equation and Monte Carlo simulation have been compared with experimental data by Y. Nakamura and M. Hayashi.

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.

Key Words : Attachment Coefficients, Boltzmann Equation(BEq), Drift Velocities, Distribution Function, Ionization Coefficients, Monte Carlo Simulation(MCS)

1. 서 론

최근 Plasma CVD(Chemical Vapor Deposition) 기술에서는 SiH₄, SF₆, CF₄, CF₄+O₂, SiH₄+Ar, CF₄+N₂ 같은 분자들이 자주 사용되며 더 나은 프로세싱을 위해 플라즈마를 이해하고 디자인하기 위해 이러한 분자들에 대한 전자 충돌단면적의 정확한 지식이 필요하게 되었다.[1]

원자, 분자와 전자의 충돌에 관한 연속적인 반응에 있어서 약전리 플라즈마의 특성을 이해하는 것은 플라즈마의 상세한 모델을 설정하는데 중요하다. 따라서 이들에 관한 연구는 고속컴퓨터의 성능향상과 수치적 해석방법의 정교함으로 인하여 혁신적으로 전자군 파라미터 연구의 정확성과 신뢰성이 높은 영역까지 향상되고 있다.

전리기체는 대단히 많은 하전입자와 중성원자, 분자로 구성되어 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.[2-4]

그러나 이들 응용분야의 확충과 효율개선 및 물성적 현상의 명확한 규명을 위하여 면밀한 연구가 요구되고 있다.

[†] 교신저자, 시니어회원 : 인천대학교 전기공학과 교수 · 공박
E-mail : sn7332@incheon.ac.kr

접수일자 : 2011년 1월 11일

최종완료 : 2011년 2월 22일

본 연구에서는 CF₄가스의 전기전도특성을 나타내는 전자이동속도(W), 전자의 종방향 확산계수(ND_L), 전자의 특성에너지(D_L/μ), 전리(α/N), 부착(η/N), 등의 전자군 수송파라미터를 E/N[Td] : 1~300[Td] (E : 전계, N : 기체분자수밀도, 1Td=1×10⁻¹⁷V·cm², N : 3.5353×10¹⁶cm⁻³ 0°C 1Torr에 해당)의 범위에서 비등방성 산란을 고려한 몬테카를로 시뮬레이션과 볼츠만 방정식의 Backward prolongation법에 의해서 계산, 해석하고 그 결과를 Y. Nakamura, M. Hayashi의 실험값 및 계산 값과 비교 검토하여 이용한 충돌단면적의 타당성을 입증한다. 또한 실효전리계수α-η/N < 0의 영역으로부터 임계절연 파괴전계(E/N)_{lim}를 산출한다. 그리고 전자이동속도의 변화에 따른 부구배와 전기전도특성의 영향을 고찰한다. 본 연구에 의해 산출된 전자군 파라미터는 시뮬레이션에 있어서 약전리 플라즈마의 많은 정보 뿐 만 아니라 특히 전자와 원자, 분자들 사이의 상호작용에 의한 저에너지 영역의 전자산란은 중요한 데이터로 활용이 기대되어진다.

2. MCS-BEq법

본 논문의 이론적인 해석은 몬테카를로법(MCS)과 볼츠만법(BEq)을 이용하여 전자에너지 분포함수와 전자수송계수(전자군 파라미터)를 구하는 것으로 이것은 [0~1]사이에 일정한 분포를 갖는 난수(Random number)를 이용하여 충돌의 종류, 산란후의 방향 및 비행시간 등을 결정하면서 전자의 운동을 반복 추적한다. 또한 전자군의 성질을 조사하기위한 몬테카를로법은 전자계내의 전자운동상태와 분자의 충돌산란확률

고려하여 전자, 이온의 상태량을 추적하는 것을 기본으로 하여 입자를 확률현상의 난수로 모의하는 방법을 말한다. 또한 난수를 이용하여 충돌현상을 확률적으로 취급하고 사용한 난수를 계산기에 발생시켜 [0,1] 사이에 대응할 때 독립한 난수열을 다수회 시행하여 평균치를 계산기로 구하는 것이다. 난수를 변수 θ 와 $d\theta$ 의 미소 범위에서 발생하는 확률을 $f(\theta)d\theta$ 로 나타내면 다음과 같이 식(1)으로 나타낸다.[5-7]

$$\int_0^{\theta_{\max}} f(\theta)d\theta = r \quad (1)$$

여기서 r 은 0~1사이에 균일하게 분포되어 있는 난수이다. 본 연구에서는 산술난수인 승적합동법으로 의사난수(擬似亂數)를 구하여 사용하고 승적합동법은 다음과 같은 난수발생법으로 나타낸다.

$$Y_{k+1} = ar_k + c \pmod{m} \quad (2)$$

식(1)에 의해서 순차적으로 $r_1, r_2, r_3, \dots, r_k$ 를 발생시켜가는 방법이다. 여기서 a, c, m 은 정수의 정수이며 본 논문의 프로그램에서는 다음의 값을 이용하였다.

$$a : 1229, c : 351750, m : 1664501$$

이 경우에 $ar_k + c$ 를 m 으로 나누어서 남은 나머지를 의미한다.

또한 r_k 에 대해서는

$$S_k = \frac{r_k}{m} \quad (3)$$

으로 계산하면 S_k 는 구간 [0, 1] 사이의 일정한 분포의 난수가 된다. 이 방법으로 발생한 난수 r_k 는 $0 \leq r_k \leq m-1$ 를 찾아내어 m 개를 생성하고 계속 반복된다.

TOF 에서는 전자의 위치와 시간을 지정하기 때문에 샘플 수가 적으며 에너지 분포를 구할 때에도 샘플 수는 적게 되어 통계적 변동이 많이 포함하는 결과를 나타낸다. TOF 샘플링법으로 방전공간의 전자수송계수를 구하기 위해서는 시간 t_k, t_{k+1} 에서 전자의 샘플수를 M_k, M_{k+1} 위치 영역을 $Z_i(t_k)$ 로하면 시간 t_k 에서의 전자군 중심의 평균위치 $\langle Z_i(t_k) \rangle$ 는 다음과 같이 식(4)으로 나타낸다.[6]

$$\langle Z(t_k) \rangle = \frac{1}{M_k} \sum_{j=1}^{M_k} Z_j(t_k) \quad (4)$$

전자군의 중심 이동속도 W 는 다음과 같다.

$$W = \frac{\langle Z(t_{k+1}) \rangle - \langle Z(t_k) \rangle}{t_{k+1} - t_k} \quad (5)$$

한편 전자의 확산계수는 시간 t_k 일때 전자의 전계방향의 중심위치를 $Z_m(t_k)$ 라하면 종방향 확산계수 D_L 은

$$D_L = \frac{1}{2!M_k} \sum_{j=1}^{M_k} \{Z_j - Z_m(t_k)\}^2 \quad (6)$$

식(5)의 시간에 대한 기울기로 나타낸다.

그리고 횡방향 확산계수 D_T 는 전계에 직각방향으로 위치가 분산되어 다음과 같이 시간에 대한 기울기로 나타낸다.

$$D_T = \frac{1}{2} \frac{1}{2!M_k} \sum_{j=1}^{M_k} (r_j)^2 \quad (7)$$

여기서 r_j 는 Z_j 의 직각방향의 성분이다.

평균에너지 $\langle \varepsilon \rangle$ 는 i 번째의 에너지를 ε_i 라고 하면

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{1}{M_k} \sum_{j=1}^{M_k} \varepsilon_i \quad (8)$$

로 나타낸다.

그리고 전자사태의 공간성장과정에서 정상상태 일 때 전자군 파라미터를 이용하여 전리계수, 부착계수 및 실효전리계수는 2항 근사에 의한 볼츠만 방정식의 해석에서 아래 식 (9), (10)으로 나타낸다.[5-7]

$$\alpha = \frac{v_{is}}{\frac{\overline{W_s}}{2} + \left\{ \left(\frac{\overline{W_s}}{2} \right)^2 - (v_i - v_a)D_s \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{v_{as}}{\frac{\overline{W_s}}{2} + \left\{ \left(\frac{\overline{W_s}}{2} \right)^2 - (v_i - v_a)D_s \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (10)$$

여기서 v_i 는 전리주파수, v_a 는 부착주파수이다.

그림 1은 본 시뮬레이션의 개략적인 흐름을 나타내었다.

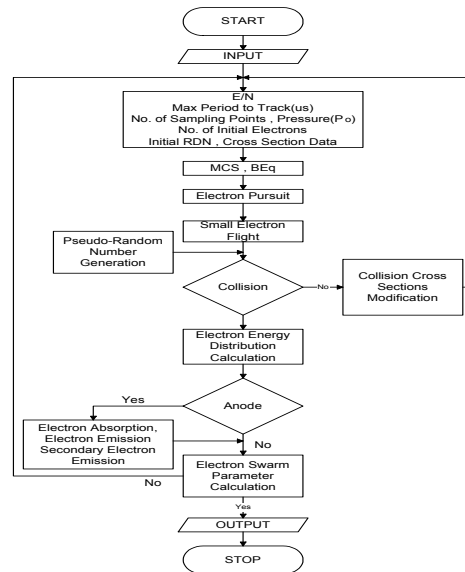


그림 1 시뮬레이션 흐름도
Fig. 1 Flowchart of the simulation

3. 전자 충돌 단면적

충돌단면적은 전자의 거시적 특성을 이해하는데 기초적 자료로서 중요하다. 가스절연에서 비평형 플라즈마 응용기술(광원, 레이저, 박막에칭, 방전화학, 환경보전, 정전기, 방사선검출기 등)에 이르기까지 각각의 경우에 필요한 가스의 종류, 상태조건(E/N, 가스밀도, 여기조건 등)을 파악할 수 있으며 필요한 전자특성에 관한 정보를 알 수 있다. 절연가스로는 여러 단면적 중에 전리단면적(Q_i)과 부착단면적(Q_a)이 중요하며 에칭가스로는 여기단면적(Q_{ex})과 해리단면적(Q_d)이 중요하다.[1, 15]

또한 기체분자에 대한 전자의 충돌단면적은 전자의 에너지에 의해서 변화한다. 따라서 충돌 입자간의 상호작용으로 기체분자의 여기, 해리, 이온화 등의 반응으로 여기단면적, 해리단면적, 이온화단면적 등으로 나타내며 전충돌단면적은 개개의 반응과정의 합으로 나타낸다. 본 연구에 이용한 CF_4 의 전자충돌단면적은 운동량 변환단면적(Q_m), 진동 여기단면적(Q_{v1} , Q_{v2}), 전자 부착단면적(Q_a), 전자 여기단면적(Q_{ex}), 해리단면적(Q_d) 및 전리단면적(Q_i)등으로 구성되어 있다.

이 CF_4 의 전자 충돌단면적은 운동량 변환단면적(Q_m)의 0.1~0.8[eV] 범위에서 Ramsauer minimum을 가지며 이 지점에 큰 진동 여기단면적(Q_{v1} , Q_{v2})이 존재하기 때문에 단면적 결정에 어려움이 있다. 또한 전자여기(Q_{ex})의 threshold 에너지 부근에 비교적 큰 부착단면적을 가지고 이것이 전자부성 특성을 나타내는 원인이 된다. 그리고 해리단면적(Q_d), 전리단면적(Q_i)등으로 구성되어 있는 비탄성 충돌단면적의 값은 Y. Nakamura[9]의 값을 이용하여 계산하였고 그림2에 나타내었다.

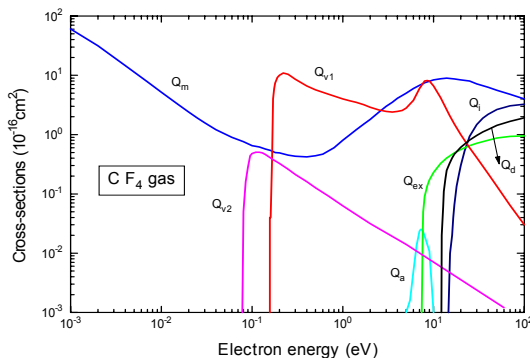


그림 2 CF_4 가스의 전자충돌단면적
Fig. 2 Collision cross sections of electrons in CF_4 gas

4. 결과 및 고찰

4.1 전자이동속도

순수 CF_4 가스의 전자수송 Parameter의 결과를 몬테칼로 시뮬레이션과 볼츠만 수치해석을 통하여 고찰하였다.

그림3의 전자이동속도(W)는 E/N:1~300[Td]범위에서 Y. Nakamura(1988)[9], M. Hayashi(1986)[10]의 실험값과 MCS, BEq를 비교하였다.

CF_4 가스의 운동량변환단면적은 0.1~0.8[eV] 부근에 넓은 Ramsauer minimum과 여기에 커다란 진동 여기단면적이 존

재하므로 진동여기충돌에 의해서 낮은 에너지대의 전자가 많기 때문에 전자에너지의 커다란 순환이 발생하고 완화시간의 감소효과로 E/N : 70~300[Td]영역에서 drift속도는 상승되며 이동도에 부구배(NDC : Negative Differential Conductivity)의 특성을 나타내었다.

여기서 NDC의 특성은 아직 정확히 파악되지는 않았지만 Petrovic은 여러 종류의 단면적을 해석하여 NDC의 특성을 연구하던 중에 (a) Q_v 의 높이가 높은 경우 (b) Q_v 의 높은 에너지측의 threshold가 낮고 급하게 떨어지는 경우 (c) Q_m 의 구배가 큰 경우 NDC는 현저하다고 발표하였다.[16]

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_m 의 차이 때문이며 M. Hayashi의 Q_m 이 더 깊은 Ramsauer minimum을 가지고 있기 때문이다. 또한 CF_4 가스가 갖는 큰 진동 여기단면적과 운동량 변환단면적의 작용으로 나타나는 에너지분포의 비등방성에 의한 2항근사해석의 오차와 전자부성특성이 현저한 영역에서 drift 속도의 측정방법과 해석의 문제로 인하여 오차가 발생된다고 생각된다.[11-16]

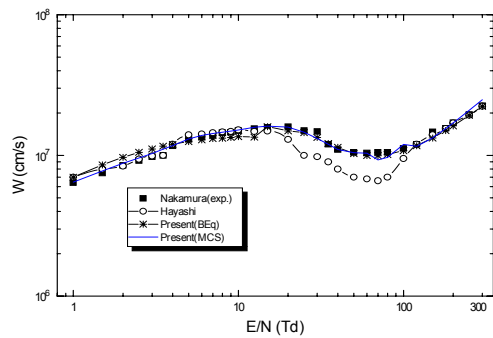


그림 3 CF_4 가스 중에서 전자이동속도
Fig. 3 Drift velocity of electrons in CF_4 gas

4.2 종, 횡방향 확산계수

그림4의 종방향 확산계수는 가스 분자수 밀도(N)와의 곱 ND_L 을 E/N[Td]의 함수로 나타내었다.

본 연구에서는 Y. Nakamura의 전자 충돌단면적을 이용하여 MCS와 BEq로 계산한 ND_L 의 결과와 비교하고 Y. Nakamura의 계산값 및 실험값과 M. Hayashi의 계산값을 나타내었다. 여기에서 MCS로 계산된 결과는 넓은 E/N[Td]범위에서 실험값과 상당한 차이가 나타나고 있다. Y. Nakamura의 단면적을 이용하여 MCS에 의해 계산된 값은 약 E/N=35[Td]에서 실험값보다도 $1.4 \times 10^{23} [cm^{-1}s^{-1}]$ 정도 차이가 나며 이는 진동 여기단면적(Q_{v1})의 공명 peak가 작기 때문으로 생각된다. 또한 ND_L 은 E/N[Td]의 증가에 따른 의존성이 크게 작용하고 있음을 알 수 있다.

CF_4 가스중의 전자확산계수는 이동속도, 전리 및 부착계수의 영향으로 하전입자 밀도의 공간적 구배와 전계가 공전하는 공간 내에서 하전입자의 거시적운동이 일어나고 비평형 상태의 전자에너지분포의 비등방성이 나타난 것으로 생각된다. 또한 E/N에 따른 ND_L 의 변화가 E/N중간에서 급하게 가라앉는 특징을 보인다. 비슷한 특징이 Ar에서도 발견되며 이러한 특징은 Q_m 에 Ramsauer minimum을 가지고 있는 가스

들의 독특한 특징으로 여겨진다.

본 연구에서 횡방향 확산계수의 데이터는 정확히 산출할 수 없었으므로 기술적인 보완이 필요하다고 생각된다.

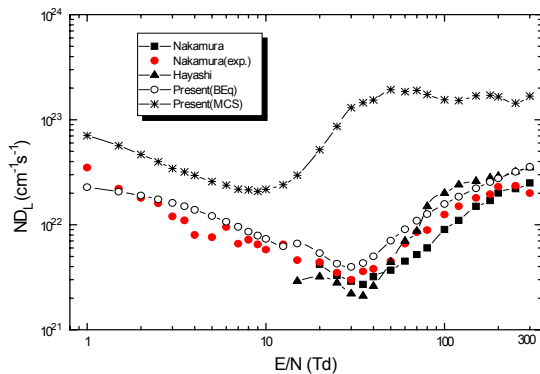


그림 4 CF₄ 가스 중에서 종방향 확산계수
Fig. 4 Longitudinal diffusion coefficients in CF₄ gas

4.3 특성에너지

그림 5는 확산계수와 이동도의 비 즉 특성에너지(D_L/μ)를 $E/N : 1 \sim 300$ [Td]변화에 따라 볼츠만 방정식의 2항 근사식을 이용한 모의실험 값을 나타낸 것이다. 여기서 $\mu=W/E$ 로서 이동도를 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 $E/N : 1 \sim 10.5$ [Td]영역에서는 Curtis et al의 측정값[16]과 거의 일치하였고 $E/N : 10.5 \sim 300$ [Td]에서는 D_L/μ [V]값이 증가하였다. 이것은 여기충돌에 의한 drift 속도의 상승과 전리충돌에 의한 전자 수 보존상태의 영향을 받는 것으로 생각된다.

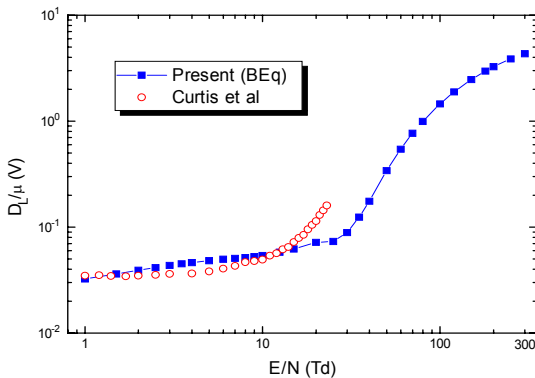


그림 5 CF₄ 가스 중에서 특성에너지
Fig. 5 Characteristic energy in CF₄ gas

4.4 전리계수

그림 6과 그림 7에 나타난 바와 같이 볼츠만법으로 계산한 전리계수 및 부착계수를 각각 E/N [Td]의 함수로 나타내었다. 전자가 전계 중에서 가속되어 전자의 운동에너지가 기체의 전리에너지를 넘으면 어떤 전리확률을 가지고 기체분자를 전리한다.

본 연구에서 계산된 값은 Y. Nakamura, M. Hayashi의 계산값과 Shimozuma, Naidu 및 Dutton의 실험값으로 비교 검토하였다.[17-19]

낮은 E/N [Td]에서는 전리계수의 값은 급격히 증가하였으

나 높은 E/N [Td]영역에서는 거의 일정한 경향을 나타내었다. 이와 같은 현상은 전자의 에너지가 증가하면 충돌할 때 상호작용한 시간이 너무 짧기 때문에 전리하기가 어렵기 때문이다. 또한 본 연구에서는 $E/N : 50$ [Td]이하에서는 전리가 발생하지 않았다. 한편 전리에 의하여 발생한 전자는 중성분자에 부착하여 부이온을 형성시켜 전리 능력을 감소시킨다

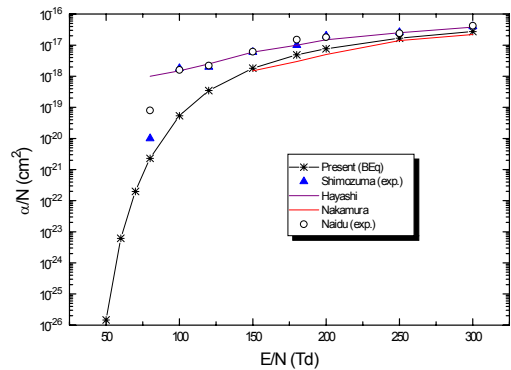


그림 6 CF₄ 가스 중에서 전리계수
Fig. 6 Ionization coefficients in CF₄ gas

4.5 부착계수

그림 7에서 부착계수는 $E/N : 100$ [Td]에서 최대값을 나타냈다. 그리고 본 연구에서의 실효전리계수는 $E/N : 50 \sim 200$ [Td]영역에서 $\alpha < n_1$ 되므로 전자의 증배가 일어나지 않고 강한 부착특성을 나타내었다. 또한 임계절연 파괴전계(E/N)_{lim} : 200[Td] 이상에서 $\alpha - n_1/N$ 은 +값을 얻으므로 충돌전리가 효과적으로 이루어지며 전자수가 급격히 증가하였다.

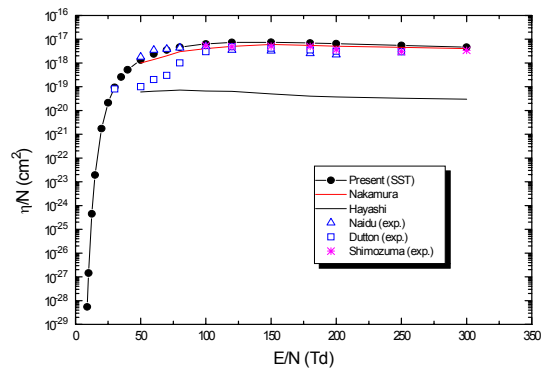


그림 7 CF₄ 가스 중에서 부착계수
Fig. 7 Attachment coefficients in CF₄ gas

5. 결 론

본 논문에서는 $E/N:1 \sim 300$ [Td]범위에서 MCS와 BEq를 이용하여 CF₄ 가스의 전자군 수송계수를 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CF₄ 가스 중에서 전라이동속도(W)의 전체적인 변화는 상대 전계의 세기 $E/N:1 \sim 10$ [Td]와 $100 \sim 300$ [Td]영역에서는 실측치와 일치하였으나 $E/N:20 \sim 100$ [Td]영역에서는 감소되는 부구배(NDC : Negative Differential Conductivity)로 인한 전

자부성특성이 나타났다. 그리고 E/N:100~300[Td]영역에서는 전자이동속도가 증가함에 따라 급격히 전기전도특성이 향상된다는 결론을 얻을 수 있었다.

2. 종방향 확산계수는 E/N[Td]의 증가에 따른 의존성이 크게 작용하고 있음을 알 수 있었고 Q_m에 Ramsauer minimum을 가지고 있는 가스들의 독특한 특징을 나타내었다.

3. 높은 E/N영역에서는 하전입자가 적고 전계강도가 높으므로 급격한 전리충돌의 발생이 어려우며 이 때문에 음극에서 방출된 전자의 전리증배만으로는 정상적인 방전상태가 유지되기 어려움이 확인되었다.

4. 충돌단면적을 사용하여 전자에너지 분포함수를 계산하였고 그 값으로부터 전자군 파라미터를 계산하였다. 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.

본 연구의 결과를 토대로 다양한 다른 기체에 대해서도 같은 과정을 통하여 전자의 수송 계수를 얻을 수 있을 것으로 확신한다. 이렇게 얻은 계수의 데이터를 바탕으로 새로운 고전압 전기재료의 물질적 기초 자료에 활용과 실제 기기의 설계에 적용, 기체 방전 모델을 확장한 정량적 해석도 가능할 것으로 생각한다.

감사의 글

본 논문은 인천대학교 2010년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 대학당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[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마프로세스技術", 産業圖書, pp.38-50, 1993.

[5] 山本, 生田, "몬테칼로시뮬레이션에 의한 CF₄ 가스의 전자충돌 斷面積", 電氣學會放電研究會資料, ED-92-101, pp.71-80, 1992.

[6] "몬테칼로법 と 시뮬레이션", 培風館, 1989.

[7] 電氣學會技術報告, "氣體放電 시뮬레이션技法", 第140号, 1974.

[8] 中村, 富澤, 電氣學會放電研究會資料, "CF₄氣體における電子輸送係數の測定", ED-88-58, pp.29-37, 1988.

[9] Y. Nakamura and M. Kurachi, "Electron Transport Parameters in Argon and its momentum transfer cross

section" J. Phys. 21, pp.718~723, 1988.

[10] M. Hayashi, "Swarm Studies and Inelastic Electron-Molecule Collisions", L. C. Pitchford, Springer-Verlag, 1986.

[11] C. Jacoboni and P. Lugli, "The Monte Carlo Method for Semiconductor Device Simulation", Springer-Verlag Wien, pp.1-4, 1989.

[12] 倉知 正, "SiH₄-希가스混合氣體中における電子輸送係數に関する研究", 慶應義塾大學大學院 理工學研究室修士學位 論文, 1986.

[13] Philip. E. Luft, "Description of a Backward prolongation program for computing transport coefficients", JILA. information center report, No.19, 1975.

[14] Brian Chapman, "Glow Discharge Processes", John Wiley & Sons, 1980.

[15] 山本, 生田, "CF₄가스의 전자충돌斷面積と輸送係數", 電氣學會放電研究會資料, ED-91-70, pp.11-20, 1991.

[16] 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.

[17] 松村, 伊達, 田頭, 電氣學會放電研究會資料 ED-92-97, pp.31-39, 1992.

[18] 金相南, "시뮬레이션에 의한 CF₄, CH₄, Ar 混合氣體에서 전자 에너지分布函數" 大韓電氣學會 論文集, 52P-1-2 pp.9~13, 2003

[19] 金相南, "SiH₄-Ar 混合氣體의 電子分布函數 解析" 大韓電氣學會 論文集 53P-1-2. pp 65~69, 2004

저 자 소 개



김 상 남 (金 相 南)

1951년 3월 21일생. 1978년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1980년 숭실대학교 대학원 졸업(석사), 2001년 동국대학교 대학원 졸업(공학박), 1978년~2009년 시립 인천전문대학 전기과 교수, 2010년~인 천대학교 전기공학과 교수, 본학회 이사
 본학회 산업전기위원회 회장
 Tel : 032-835-8439
 Fax : 032-835-4922
 E-mail : sn7332@incheon.ac.kr
 sn7332@hanmail.net