

SiH₄-Ar 혼합기체의 전자분포함수 해석

The analysis on the Energy Distribution Function for Electron in SiH₄-Ar Gas Mixtures

金 相 南*
(Sang-Nam Kim)*

Abstract - This paper calculates and gives the analysis of electron swarm transport coefficients as described electric conductive characteristics of pure Ar, pure SiH₄, Ar-SiH₄ mixture gases(SiH₄-0.5%, 2.5%, 5%) over the range of E/N = 0.01~300[Td], P = 0.1, 1, 5.0 [Torr] by Monte Carlo the backward prolongation method of the Boltzmann equation using computer simulation without using expensive equipment. The results have been obtained by using the electron collision cross sections by TOF, PT, SST sampling, compared with the experimental data determined by the other author. It also proved the reliability of the electron collision cross sections and shows the practical values of computer simulation. Electron swarm parameters in argon were drastically changed by adding a small amount of mono-silane. The electron drift velocity in these mixtures showed unusual behaviour against E/N. It had negative slope in the medium range of E/N, yet the slope was not smooth but contained a small hump. The longitudinal diffusion coefficient also showed a corresponding feature in its dependence on E/N. A two-term approximation of the Boltzmann equation analysis and Monte Carlo simulation have been used to study electron transport coefficients.

Key Words :SST(Steady State Townsend Method), TOF(Time Of Flight Method), PT(Pulse Townsend Method)

1. 서 론

최근에 이 저온 플라즈마를 이용한 성막기술이 주목을 끌고 있다. 그러나, 저온 플라즈마를 이용한 성막과정은 아직 해명되지 않았으며 플라즈마 CVD등의 화학반응을 동반한 과정은 거의 알 수 없다해도 과언이 아니다. 본 논문의 SiH₄가스는, 플라즈마 CVD등에 의해 수소화 아몰퍼스 실리콘(a-Si:H)을 생성시 원료가스로서 자주 사용된다[1][2]. 그러나, 분자구조가 복잡하며 기초적인 플라즈마 파라미터(전자수송계수, 헤리계수등)와 전자충돌 단면적에 관한 보고의 예는 많지만, 이 기체중의 플라즈마 과정에 관한 이해는 충분하지 않다고 할 수 있다. 플라즈마 CVD등에 있어서 고주파 혹은 저주파 전계하에서의 전자와 SiH₄분자와의 충돌에 의해 SiH₄의 헤리반응을 거쳐 수소화 아몰퍼스 막의 생성을 한다. 따라서, SiH₄ 가스중의 플라즈마 특성에 관한 이해는 SiH₄분자의 전자충돌 단면적에 관한 지식이 필요하다.

전자Swarm법은, 에너지분포를 넓게 갖는 전자군과 표적 입자군과의 충돌현상의 평균치인 전자기동속도, 확산계수, 전리계수등의 전자수송계수를 관측한다. 본 논문에서는 혼합기체를 이용한 전자 Swarm 연구의 이점을 살려, SiH₄가스 중에 있어서 플라즈마의 기본적 특성인 SiH₄분자와 전자와의 저에너지영역에 있어서 충돌과정을 밝힐 목적으로, SiH₄가스를

Ar가스에 희석해 그 혼합 기체 중에 있어서의 전자 Swarm 특성을 관측한다. SiH₄-희가스 혼합기체(SiH₄-Ar 혼합기체 중에서 SiH₄농도: 0.5%, 2.5%, 5%)중에 있어서 측정된 기초적인 전자 Swarm특성은 전자기동속도, 종방향 확산계수 및 전리 계수 등의 전자수송계수이다.

본 연구에서는 SiH₄-Ar 혼합기체 중에서 몬테칼로 시뮬레이션, 볼츠만 방정식의 Backward prolongation법에 의해 수치해석으로 전자에너지분포함수 f(ε)을 구하고 전기전도 특성을 나타내는 전자기동속도(W)와 전리계수(α/N), 종·횡축방향의 확산계수(NDL, NDT), 전자의 특성에너지(DL/μ), 평균에너지 ($\bar{\epsilon}$)등의 전자수송특성을 SiH₄-Ar혼합기체(SiH₄-Ar 혼합기체 중에 있어서 SiH₄ 농도: 0.5%, 2.5%, 5%)에 대해서 E/N : 0.01~300(Td) [E:전계, N:기체분자 수밀도, 1Td =1×10⁻¹⁷V·cm², N : 3.5353×10¹⁶cm⁻³ 0°C 1 Torr에 해당]와 P0 : 0.5, 1, 5 (Torr)범위에서 비등방성 산란을 고려하여 계산하여 전자수송특성을 고찰하였다. 그리고 전자충돌단면적의 타당성에 대하여 검토하고 평균에너지에 따른 전자에너지분포함수를 볼츠만 방정식에 의한 PT, TOF, SST의 전자 Swarm법과 몬테칼로 시뮬레이션으로 계산한 전자군 파라미터를 해석하였다[3][4].

2. 해석 방법

몬테칼로법은 2차대전기간 동안에 원자탄 개발을 위한 중성자 수송에 관련된 문제를 해결하기 위한 목적으로 많은 과학자들에 의해 연구, 발전되어왔다. 다양한 응용분야에서의

* 正 會 員 : 仁川專門大學 電氣科 教授 · 工博

接受日字 : 2003년 9월 18일

最終完了 : 2004년 5월 25일

몬테칼로법 중에서 기체중의 전자의 거동에 관한 몬테칼로 시뮬레이션(MCS)으로는 H. Itoh, M. Musha 및 R. W. L. Thomas, W. R. L. Thomas 에 의해서 최초의 연구가 시작되었다[3].

전계가 존재하는 공간의 방전 메카니즘에 있어서 전자는 전계에 의해서 높은 에너지를 갖게 되지만 전자에너지가 평형상태에 있지 않으므로 전자에너지분포를 추정하기는 매우 어렵다. 따라서 이러한 상태에서 전자 에너지 분포를 산출해 내는데 몬테칼로 시뮬레이션은 매우 유용하다.

MCS은 난수(Random Number)를 이용하여 충돌의 종류, 산란후의 방향 및 비행시간 등을 결정하면서 전자의 운동을 반복 추적한다. 또한 전자군의 성질을 조사하기 위한 몬테칼로 법은 전자계 내의 전자 운동 상태와 분자의 충돌 산란 확률을 고려하여 전자, 이온의 상태량을 추적하는 것을 기본으로 하여 입자를 확률 현상의 난수로 모의하는 방법을 말한다. 사용하는 난수는 컴퓨터에서 발생하는 [0~1]사이의 의사난수(Pseudo random number)이다[3][4].

MCS은 확률론적인 기법을 이용하기 때문에 얻어진 결과로부터 통계적인 분산이 생기는 단점이 있다. 이 때문에 신뢰되는 파라미터를 구하기 위해서는 충분한 샘플수를 확보할 필요가 있다.

전자군에 대한 관측방법으로는 TOF, PT, SST 등이 있다. 몬테칼로 시뮬레이션에 있어서도 data 샘플링을 이들 관측법에 의해서 행한다. 3종의 관측법 중에 PT, SST에서는 계산을 행한 전자수가 그대로 샘플수로 생성되어 얻어지지만 TOF에서는 위치와 시간을 같이 지정하기 때문에 샘플수는 작게된다. 더욱이 에너지 분포를 구하는 경우 샘플수는 점점 작게되고 통계적 변동이 많이 포함된 결과가 되기 쉽다. 그것을 방지하기 위해 전자수를 많이 계산하는데 그것에 비례하여 계산기 시간도 증가한다.

볼츠만 방정식은 MCS와는 다르게 개개의 전자를 추적하지 않고 처음부터 다수의 입자를 포함하는 전자류를 취급하기 위하여 충돌의 확률적 성질을 기초로 하여, 전자군의 연속적인 예측이 가능하고 계산시간이 비교적 짧아 각종 전자군 파라미터를 산출하는데 일반적으로 사용되어 왔다.

전리 기체중에 존재하는 전자 수송은 입자 성분을 위치와 속도 및 시간으로 나타내며 볼츠만 방정식은 열 평형 상태가 아닌 경우에 전자가 운동중 충돌에 의하여 임의의 속도와 임의의 위치에 존재하는 전자의 수가 시간에 따라 어떻게 변하는가를 추적, 결정하는 것이다.

기체중의 방전현상을 원자론적인 입장에서 보면, 상호충돌을 되풀이하는 하전입자 즉 전자, 원자, 분자, 이온에서 성립되며, 이들 하전입자는 전자군의 속도와 위치 및 시간에 따라 분류할 수 있는데, 하전입자가 열평형 상태에 있는 경우를 제외하고는 전자의 운동중 충돌에 의한 임의의 속도와 임의의 위치에 있는 전자의 수가 시간에 따라 변화한다.

하전입자 각각의 속도는 각각 다른 시간 t 와 더불어 변화하므로 일반적으로는 위치공간과 속도공간을 일치시킨 위상공간과 분포함수 개념을 도입하여 위치벡터 $\vec{r}=(x, y, z)$, 속도벡터 $\vec{v}=(v_x, v_y, v_z)$, 시간을 t 로 놓았을 때, 전자의 위치 $\vec{r}-(\vec{r}+d\vec{r})$, 속도 $\vec{v}-(\vec{v}+d\vec{v})$ 의 범위에 있는 미소 공간에 존재하는 입자수 dn 이라 하면

$$dn=f(\vec{r}, \vec{v}, t) d\vec{r} \cdot d\vec{v} \dots \dots \dots (1)$$

로 나타낼 수 있다.

여기에서 $f(\vec{r}, \vec{v}, t)$ 는 하전입자의 속도분포함수이다.

볼츠만 방정식을 간단히 정리하면 다음과 같이 정리할 수 있다

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla_{\vec{r}} f + \vec{a} \cdot \nabla_{\vec{v}} f = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{coll} \dots \dots \dots (2)$$

위 식에서 보면 전자군의 임의의 위치와 속도 및 시간을 갖는 전자수 밀도는 위치 변화에 따른 밀도와 전계의 속도 변화에 의한 밀도 그리고 충돌로 나타나는 속도 변화에 따른 밀도의 변화로 나타낼 수 있다는 것이다.

볼츠만 방정식은 열평형 상태가 아닌 경우 전자가 운동중 충돌에 의한 임의의 속도와 임의의 위치에 따라 어떻게 변화하는가를 결정하는 것이다. 볼츠만에서는 몬테칼로 시뮬레이션과는 달리 개개의 전자를 추적하지 않고 처음부터 다수의 입자를 포함하는 전자류를 취급하기 위하여 충돌의 확률적 성질을 기초로 하여 전자군의 연속적인 관찰이 가능하다. 따라서 전자군의 운동 과정을 명확히 규명할 수 있으며 이들의 여러 가지 파라미터를 정량적으로 해석하는 경우 비교적 짧은 시간으로 전산 처리하여 구하는 것이 가능하다[5]~[6].

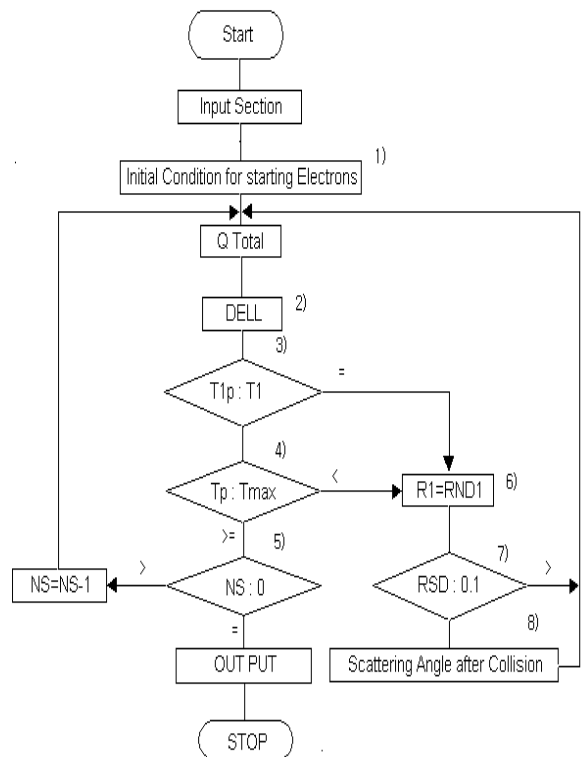


그림 1 계산의 순서도
Fig. 1 Algorithm flow chart

전자군 시뮬레이션 결과는 FORTRAN77을 SPARC WOR- KSTATION을 이용하여 계산하였고 알고리즘의 개략적인 과정은 그림 1에 나타내었다.

3. 전자충돌 단면적

3.1 Ar의 전자 충돌 단면적

Ar가스는 플라즈마 CVD, 가스레이저, 형광등 등에서 이용되며, 공학적 이용도 넓고 중요하다. 이 때문에 Ar가스중의 전자의 운동을 아는 것은 대단히 중요하며, 현재까지 많은 실험적, 이론적 연구가 진행되고 있다. 그중에서도, 전자 스왑 파라미터와 충돌단면적에 관한 조사와 연구는 많이 행해진다.

본 논문에서는 Ar가스의 운동량이행단면적(이하 qm 이라한다.)을 0.01~150(eV)에서 추정한 결과를 보고한다. 이것은 Ar가스의 충돌단면적의 Ramsauer Minimum 및 qm 의 피크값을 포함한 것이다. Ar가스의 qm 에서 현재 관심을 갖는 것은 Ramsauer Minimum이 어느 eV정도에서 존재하고, 또한 그것이 어느 정도의 값을 갖는가 하는 점이다.

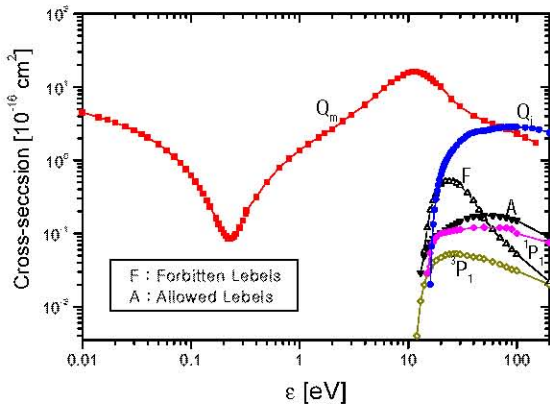


그림 2 Ar기체의 전자 충돌단면적
Fig. 2 Collision cross sections of electrons in Ar gas

해석에 이용한 Ar의 전자충돌단면적은, 운동량 이행단면적 qm , 전자여기단면적 qex , 전리단면적 qi 의 3종류이다. 이들의 충돌단면적을 그림 2에 나타낸다. 단, 전자여기 단면적 qex 에 관해서는, 4종의 단면적을 총화의 형($\sum qex$)으로 볼 수 있다. 또한 부착단면적 qa 도 나타낸다. 해리단면적은 좁은 범위에 작은 값을 가지는 것을 알 수 있다.[7]~[10]

3.2 SiH4 충돌단면적

충돌단면적은 전자의 거시적 특성을 이용하는데 기초적 자료로서 중요하며 전자수송특성에 관한 정보를 알 수 있고 에칭가스에서는 여기단면적(qex)과 해리단면적(qd)이 중요하다 [12]. 충돌입자간의 상호작용으로 기체분자의 여기, 해리, 이온화 등의 반응으로 여기단면적, 해리단면적, 이온화단면적등으로 나타내며 전충돌단면적은 개개의 반응과정의 합으로 나타낸다. 본 연구에 이용한 전자충돌단면적은 Haller, Tossell [11]의 값을 이용하여 계산하였고 그림 3에 나타낸다.

본 해석에는 이항근사에 의한 볼츠만 해석을 이용하여 정리된 충돌단면적을 이용했다. 이것은, 운동량 변환 단면적 Qm , 2개의 진동여기단면적 Qv , 전자부착단면적 Qa , 해리 단면적 Qd , 전리단면적 Qi 의 총 6개의 충돌단면적으로 되어 있지만 [9] 전자부착단면적에 관해서는 고려하고 있지 않다.

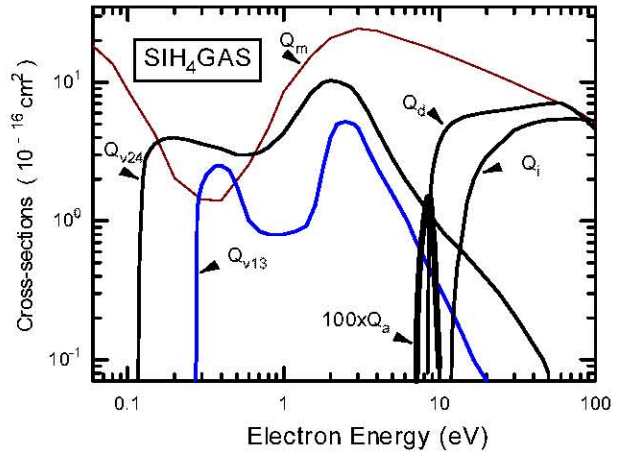


그림 3 SiH4가스의 전자충돌단면적
Fig. 3 Collision cross section of electrons in SiH4 gas

4. 결과 및 고찰

4.1 Ar, SiH4 기체에서의 에너지 분포함수

전계를 인가한 방전 공간에서 약전리 기체가 이동되는 전자군의 에너지 분포[14]~[17]는 어떤 조건에서 전자의 각 에너지에 대한 확률 밀도와 전자와 분자 사이의 각종 충돌 단면적과의 방전현상으로 나타나는 전자수송 특성에 관련된 물리량이다. 그때의 하전입자는 여러 종류의 에너지 성분을 갖는 기체 분자가 열 평형 상태 즉 Maxwell Boltzmann 에너지 분포를 나타낸다[18][19].

본 연구의 SiH4가스에 대해서는, 이제까지는 순수기체 중에서의 전자수송계수의 측정이 이루어졌으며 SiH4가스중의 전자 이동도에 대해 Cottrell and Walker(1965)와 Pollock[8](1968)의 연구가 보고되었다.

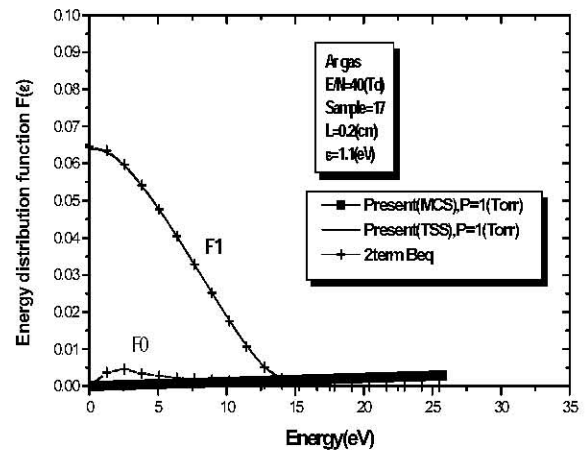


그림 4 Ar가스중에서 전자에너지 분포함수
Fig. 4 Energy distribution function of electron in Ar

본 연구에서는 Ar가스와 SiH₄ 가스에 관한 지식을 얻고, SiH₄가스를 Ar가스와 혼합해, 그 혼합기체 중에 있어 전자수송계수(전자이동속도, 종방향확산 계수 및 전리계수)를 측정한다.

Ar가스는, 저 에너지 영역에 탄성충돌과정이 존재하지 않고, 더구나 어느 특정에너지 (Ar:약 0.23eV)에서 그 단면적이 매우 작게 되는 특징을 갖는다(RamsauerTownsend Minimum). 한편, SiH₄분자는 저 에너지 영역에서 큰 진동여기 단면적을 갖는 것이 알려져 있다.

그림 4는 순수 Ar가스에 대하여, 그림 5는 순수 SiH₄ 전자에너지분포함수 F(e)를 나타내었다.

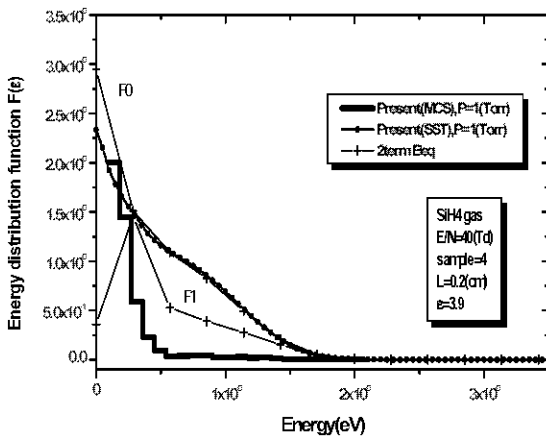


그림 5 SiH₄가스중에서 전자에너지 분포함수
Fig. 5 Energy distribution function of electron in SiH₄

4.2 SF₆-Ar 혼합기체의 에너지 분포함수

그림 6과 그림 7에서는 SiH₄-Ar 혼합가스에 대해 나타낸 것으로 그림 6에서는 SiH₄를 5%, 그림 7에서는 SiH₄를 0.5% 포함한 것에 대해서 나타낸다. 이러한 전자군의 에너지분포함수는 전자, 분자사이의 각종 충돌단면적 및 수송계수와 밀접한 관계가 있으며 전자에너지분포f(e)에서 전자수밀도를 정규화시키고, E/N을 변수로 하여 전체의 세기가 0.01~300(Td)인 범위에서 계산하였다.

전자에너지분포는 전자가 전계로부터 에너지를 받고 원자 또는 분자와의 충돌에 의하여 에너지를 결정하는 중요한 물리량으로 플라즈마 프로세싱에 유용하게 이용되고 있다. 그림 4, 그림 5에 보이는 것처럼 MCS로 추적하여 나타난 전자 에너지분포는 비평형상태로 이 때의 평균에너지 값이 각각 Ar가스에서는 $\bar{\epsilon}=1.1(eV)$, SiH₄가스에서는 $\bar{\epsilon}=3.9(eV)$, Sample(17,4)이며, 그림 4의 Ar가스에서는 MCS와 Beq법에 있어서 서로 차이를 나타낸다. 그림 5에 있어서 F(e)의 값은 초기에너지에서는 증가하고 그 이상의 전자에너지는 감소하는 경향을 나타낸다. 이 같은 현상은 SiH₄가스의 공명효과 때문에 일어난다고 생각한다.

그림 5에서는 Beq법의 2항근사와 SST법[15]~[19]으로 해석하였으며 여기에서 등방성분 F0에 대해서 비등방성분 F1이 낮은 값으로 감소한다. 또한 등방성분 F0의 변화는 SST

에서의 변화와 거의 일치한다. 그림 6은 SiH₄ : 5%에 대해서, 그림 7은 SiH₄ : 0.5%에 대해서 탄성 및 비탄성 산란을 고려하여 E/N=10(Td)에서 전자에너지분포함수를 몬테칼로 시뮬레이션과 볼츠만 방정식을 이용하여 나타낸 것이다. 그림 6에서 F(e)의 값은 초기에너지에서는 증가하고 그 이상의 전자에너지에서는 감소하는 경향이 나타나며 MCS와 SST에서 같은 형태를 보인다. 그림 7에서 F(e)값은 낮은 에너지 영역에 집중되고 있음을 보인다.

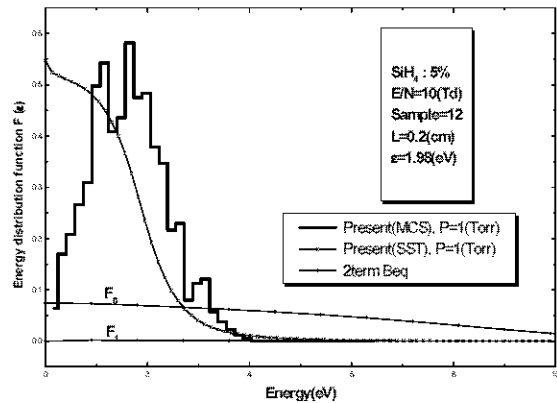


그림 6 SiH₄-Ar가스중에서 전자에너지 분포함수
Fig. 6 Energy distribution function of electron in SiH₄-Ar

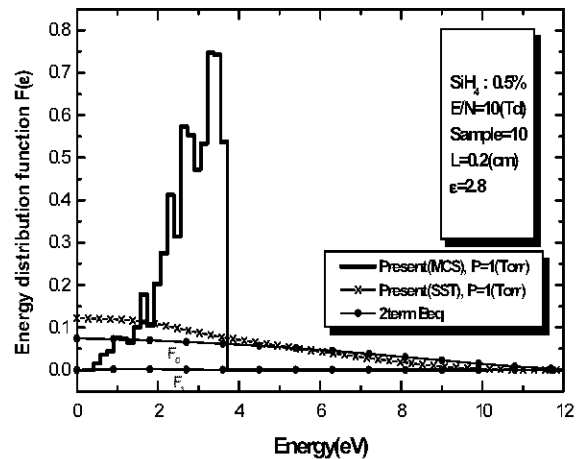


그림 7 SiH₄-Ar가스중에서 전자에너지 분포함수
Fig. 7 Energy distribution function of electron in SiH₄-Ar

5. 결 론

본 연구는 탄성 및 비탄성 충돌 단면적과 전리중식의 전자군을 형성하는 비교적 낮은 E/N[Td] 영역에서 혼합기체의 혼합비에 따른 전리, 부착, 실효전리계수 및 전자 수송계수(Swarm parameter)를 볼츠만 방정식을 이용한 이론 해석과 몬테칼로 시뮬레이션에 의해 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

(1) Ar가스의 운동량 이행단면적(qm)을 0.01~150(eV)에서 추정된 결과는, 운동량 이행 단면적(qm)이 저에너지 영역($\epsilon \leq 0.7\text{eV}$)에서 Ramsauer Minimum인 것을 알 수 있다. 또한 이동속도(W)와 종방향 확산계수(NDL)에 있어서 이동속도(W)는 E/N에 따라 증가하는 것을, 종방향 확산계수(NDL)는 E/N=5(Td)까지는 감소하다 그 이후에는 E/N=10(Td)까지는 급격히 증가하는 부구배(NDC : Negative Differential Conductivity)의 특성을 파악할 수 있다.

(2) SiH4가스의 충돌단면적에 관해 충돌단면적 QV13에서는 $\epsilon V13=0.271(\text{eV})$, 충돌단면적 QV24에서는 $\epsilon V24=0.113(\text{eV})$ 임을 파악할 수 있다.

(3) Ar가스에 미량 SiH4가스를 혼합한 각 SiH4-Ar 혼합 기체중에 있어서의 이동속도(W)와 종방향 확산계수(NDL)는, 순수 Ar가스에서의 이동속도(W)와 종방향 확산계수(NDL)에 비해 큰 변화를 보이며, 이동속도(W)는 부구배(NDC : Negative Differential Conductivity)를 나타낸다.

(4) SiH4농도 0.5%의 혼합기체 중에 있는 전리계수 α/N 는, 순수 Ar중에 있는 전리계수 α/N 의 값보다 크며 SiH4-Ar 혼합기체중에 있는 전리계수 α/N 는 압력에 대한 의존성을 나타낸다.

향후 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 물성적 기초 자료에 활용과 실제 기기의 설계에 적용, 기체 방전 모델을 확장한 정량적 해석도 가능할 것으로 생각한다, 특히 최근 주목되고 있는 펄스 코로나 방전을 이용한 COX, NOX,, SOX, 등의 오염 물질을 제거시키는 배기 가스 처리 문제에도 응용할 수 있다고 본다.

본 연구는 인천전문대학 교내 연구비 지원에 의한 논문임

참 고 문 헌

- [1] “大森義行, 下妻光夫, 田頭博昭, SiH4 가스의電子衝突斷續および スウオームペラメータ” 電氣學會研究會資料, ED-86-114, HV-86-34, 1988.
- [2] 菅野卓雄 編著, “半導体プラズ마プロセス技術”, 産業圖書, pp. 38-50, 1993.
- [3] 小沼光晴著 “プラズ마と成膜の基礎”, 日刊工業新聞社, pp.13-20, 1993
- [4] 氣體放電 シミュレーション技法(제140호), 1974.
- [5] C. Jacoboni and P. Lugli, “The Monte Carlo Method for Semiconductor Device Simulation”, Springer-VerlagWien, pp.1-4, 1989.
- [6] Philip. E. Luft, “Description of a Backward prolongation program for computing transport coefficients”, JILA. information center report, No.19, 1975.
- [7] Pollock WJ, “Momentum Transfer and Vibrational Crosssections in Non-polar Gases” Trans. Faraday Soc., 64, pp. 2919-2926, 1988.

- [6] 하성철, 전병훈, 백승권, “몬테 카를로를 이용한 Ar 기체의 전자수송계수에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회지, Vol. 8, No. 6, pp. 685~692, 1995.
- [9] K. L. Bell, N. S. Scott and M. A. Lennon, “The Scattering of low energy electrons by Argon atoms” J. Phys. B: At. Mol. Phys.17, pp.4757~4765, 1984.
- [10] W. C. Fon, K. A. Berrington, P. G. Burke, “The elastic Scattering of electrons from inert gases: III A rgon” J.Phys. B : At. Mol. Phys. 16, pp.307~321, 1983
- [11] Arati Dasgupta and A. K. Bhatia, Scattering of electrons from Argon atoms” Phys. Rev. A. Vol. 32, No. 6, pp.3335~3341, 1985.
- [12] Tossell J. A. “MS-X α calculation of the elastic electron scattering cross sections and X-ray absorption spectra of CX4 and SiX4 (X=H, F, Cl)” J. chem. Phys, pp.813-21, 1984.
- [13] 下妻, 金子, 種里, “C-C4F8과 SiH4 가스의 電離係數測定”, 電氣學會放電研究會, ED-83-86, 1983.
- [14] 金相南 “SF6-Ar 混合氣體에서의 電離 및 附着係數” 工學博士 學位論文, 東國大學校, 2000
- [15] 金相南, “SF6 + Ar혼합기체의 MCS-BE q 에 의한 전자 분포함수” 대한전기학회논문집, 51P-1-4 pp.28~32, 2002
- [16] 金相南, “시플레이션에 의한 CF4, CH4, Ar混合氣體에서 電子에너지분포함수” 대한전기학회논문집, 52P-1-2 pp.9~13, 2003
- [17] M. S. Dincer and T. Aydin, “Simulation of limiting field behavior in electrons swarms in SF6, N2 gas mixtures“ IEEE, transaction on dielectrics and electrical insulation, Vol. 1, No. 1, pp. 139~14 5, February, 1994.
- [18] A. Gilardini, “Low Energy Electron Collisions in Gases ” John Wiley and Sons. Inc. pp.127~162. 1972
- [19] E. W. McDaniel and E. A. Mason, “The Mobility and Diffusion of Ions in Gases” John Wiley and Sons. Inc. pp. 3~8 2, 1973

저 자 소 개



김 상 남(金 相 南)

1950년 3월 21일생. 1978년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1980년 숭실대학교 대학원 졸업(석사) 2001년 동국대학교 대학원 졸업(공박) 1978년~현재 시립 인천전문대학 전기과 교수, 현재 본학회 전문대학 교육위원회 운영위원

Tel : 032-760-8704, Fax : 032-760-8895
E-mail : sn7332@hanmail.net, sn7332@icc.ac.kr