

<연구논문>

RF 용량결합 플라즈마 발생장치에서 입자오염이 플라즈마 물성에 미치는 영향

연충규 · 양일동 · 황기웅

서울대학교 공과대학 전기공학과
(1994년 4월 27일 접수)

The Effect of Particle Contamination on the Plasma Properties in a Capacitively Coupled RF Plasma Reactor

C. K. Yeon, I. D. Yang and K. W. Whang

Department of Electrical Engineering, Seoul National University,
Seoul 151-741, Korea
(Received April 27, 1994)

요 약 - 음극에 DLC(Diamond-like Carbon) 필름이 놓여져 있는 용량결합형의 RF 플라즈마 장치에서 Ar 가스에 의한 방전에서 발생된 입자의 분포를 레이저 산란에 의하여 관측하였다. 발생된 입자들은 플라즈마와 sheath의 경계면에서 높은 밀도의 구름을 이루었으며, 시간에 따라 주기적인 분포의 변화가 반복되었다. 입자 구름의 발생은 플라즈마 물성의 변화를 야기하였으며, 그 결과로 심한 self-bias 전위의 감소현상이 관측되었다. 입자 구름분포의 시간에 따른 변화와 같은 주기의 self-bias, 플라즈마전위의 진동현상이 가열된 fast-scanning Langmuir 탐침에 의하여 관측되었다. 이 결과는 입자 표면에서의 음전하 누적에 따른 전체 음전하의 이동도(mobility) 감소에 의한 것으로 해석된다. 또한 방출 분광법에 의하여 입자오염상태의 Ar 플라즈마와 정상상태의 Ar 플라즈마의 방출 선세기(emission line intensity)의 변화를 관측하였는데, 입자구름 오염시의 2차전자 차폐현상에 의해 높은 문턱 에너지를 가진 Ar II 선의 세기 감소현상이 나타났다.

Abstract - The particle distribution in a capacitively coupled RF plasma reactor with Ar gas is observed by the laser light scattering method. The plasma-generated particles form a cloud around the plasma-sheath boundary and their distribution varies periodically with time. The generation of particle cloud causes the self-bias voltage to decrease and the self-bias and the plasma potential vary all with the same period. This indicates that the mobility of negative charges decreases as a result of the electron accumulation on the particles. The emission spectrum is obtained from the particle-contaminated plasma, and compared with the clean normal Ar plasma. The intensity of Ar II lines which have the higher threshold energies than Ar I lines becomes lower as a result of the screening effect by the particle cloud.

1. 서 론

플라즈마를 이용하는 반도체 공정에서 입자에 의한 표면오염은 고집적회로의 신뢰도에 심각한 문제를 야기시키며, 수율저하에 의한 생산성 문제를 일으킨다. 1986년 Spear[1]에 의하여 RF형의 SiH₄ 플라즈마를

사용한 a-Si:H 박막의 PECVD 공정에서 플라즈마에 의해 발생된 입자에 의한 레이저 산란현상이 보고되면서부터 플라즈마를 이용한 공정자체가 입자의 심각한 근원으로서 고려되어야 함이 인식되기 시작하였고, 이후, 반응성 이온 etching (RIE)[2], MERIE [3], 스퍼터링[4], 마그네트론 스퍼터링[5] 등의 플

라즈마 공정에서 입자의 발생과 특징적인 행동양식이 계속 보고되고 있다. 플라즈마 공정중의 입자 발생의 기구으로는, 표면으로의 전자 flux에 의해 하전된 결합력이 약한 박막의 일부분들이 sheath내의 강전계에 의해 탈착되어 nucleation site를 제공함으로써 입자로 성장해 나간다는 모델이 제안되어 있다[6]. 또한, 입자 성장과정에서 음이온들이 중심적인 역할을 하게 된다는 실험결과가 보고되었는데[7], 이는 sheath 전계에 의한 가둠효과에 의해 음이온들의 플라즈마내에서의 residence time이 상대적으로 길어 homogeneous nucleation 과정에 참여할 확률이 높기 때문이다. 플라즈마내에서의 입자는 독특한 행동양식을 보이게 되는데, 일반적으로 플라즈마내의 유동체(floating body)는 상대적으로 높은 이동도(mobility)를 갖는 전자의 누적에 의해, 음전하를 얻게됨이 알려져 있고[8], 따라서 전계의 분포와 입자의 분포는 밀접한 상관관계를 가지게 된다. 발표된 대부분의 연구결과에서는, 플라즈마와 sheath 경계면에서의 입자의 누적을 보고하고 있으며[2-7], 이는 플라즈마내에서의 입자의 운동을 지배하는 이온 drag force[8], gas viscous force, 정전기력의 평형이 플라즈마-sheath 경계면에서 이루어지기 때문이라고 해석된다. 본 논문에서는, CH₄ 플라즈마에 의하여 Si wafer 위에 생성된 DLC 박막을 Ar 플라즈마에 노출시켰을 때 발생된 입자의 플라즈마내에서의 분포와 이의 변화에 따라 플라즈마 물성에 미치는 영향을 실험에 의하여 관측하였다. 매 실험시, 초기의 반응조가 cleaning된 조건에서 Carbon 막이 없이는, 입자 발생이 관측되지 않았으며, 반복된 실험시 입자의 밀도가 점점 감소하여 결국엔 나타나지 않음이 관측되었는데, 이는 Carbon 막이 입자의 발생원이라는 결론에 도달하게 한다. 일반적으로 RF를 사용한 용량결합형태의 반응성의 플라즈마를 이용한 공정에서 이와 같이 박막이 증착된 표면과 플라즈마가 접촉하는 상황은 피할 수가 없으며, 표면에서 증착(deposition)과 재스퍼터링(re-sputtering)의 과정이 계속되며, 반응성 라디칼에 의한 효과를 고려한다면 상황은 더욱 복잡하여질 것이다. 본 실험에서는 개스 chemistry를 단순화하기 위하여 Ar 플라즈마를 사용하였으며, Carbon이 증착된 표면의 Ar 플라즈마에의 노출에 의한 입자의 발생과 반응기 내에서의 분포, 플라즈마 물성에 미치는 영향을 고찰하였다.

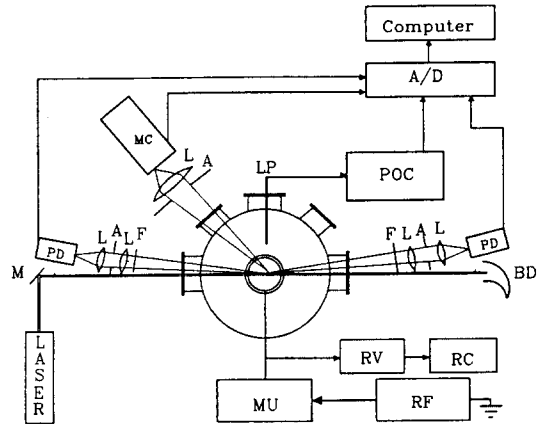


그림 1. RF 플라즈마 장치와 측정장치의 개략도(A/D : 12 bit A/D 변환기; LP : 가열된 fast-scanning Langmuir 탐침; POC : 탐침 operating circuit; PD : photodetector; BD : 탐침 beam dump; MC : monochromator; MU : matching unit; RV : RF filter and voltage divider; RC : recorder; RF : RF power supply; M : mirror; L : 레이저; F : filter; A : aperture).

2. 실험장치 및 실험내용

실험에서 사용된 플라즈마 반응기는 SUS 304로 제작되었고, 광학적 측정을 위해 5개의 시창이 여러 각도로 배치되어 있으며, 통상적인 용량결합형태의 RF(13.56 MHz) 플라즈마 장치이다. 발생된 입자는 레이저 산란 방법에 의하여 검출되었는데, 이를 위한 광원으로는 HeNe 레이저(633 nm, 10 mW, Oriel)와 Ar 이온 레이저(514 nm, Spectra Physics)가 사용되었다. 레이저 산란 방법은, 레이저를 조사하여, 입자로부터 산란되는 Mie 산란의 세기값을 관측함으로써, 입자의 분포를 얻는 방법이며[9], 플라즈마 공정중 저압의 용기속에서 이루어지는 입자의 발생, 분포, 거동을 실제공정중에 관측하기에 적합하고, 현재로서는 유일한 관측수단이다. 플라즈마로부터의 방출광을 제거한 Mie 산란 세기값만의 검출을 위해서는 monochromator(7901, SPEX)가 사용되었다. 반응기내의 전영역에서 레이저 산란 세기값을 관측하기 위하여 연직방향 이동이 가능한 지지대위에 반응조가 설치되었다. Mie 산란 이론[9]에 의하면, 산란된 빛의 세기는 산란각과 크기 parameter(입자 크기/파장)의 함수이다. 또한, Mie 산란된 빛은 빛의 파장보다 충

분히 작은 영역(Rayleigh limit)에서는 전방 산란각과 후방산란각의 대칭성이 유지되며, 입자의 크기가 증가할수록 전방산란각에서의 빛의 세기가 증가하여 전방산란광과 후방산란광의 세기의 비는 입자크기의 함수가 됨이 알려져 있다. 그 함수관계는 단순한 표현식으로 나타내어지지 않는으나, Mie 산란 세기를 계산하기 위한 몇 가지의 알고리즘이 알려져 있고, 본 실험에서는 BHMIE code[9]를 사용하여 입자 크기와 angular dissymetry의 관계를 계산하였다. 전방산란각(10°)과 후방산란각(170°)에 Si 광검출 소자를 배치하여 Mie 산란 세기값의 세기를 측정하였고, 두 값에 의하여 얻어진 angular dissymetry ratio와 계산된 기준 데이터로부터 입자의 평균 크기를 구하였으며, 시간에 따른 크기의 변화를 고찰하였다. 실험중에는 입자 구름의 플라즈마-sheath 경계면에서의 분포가 계속 관측되었는데, 입자 구름의 형성에 따라서 플라즈마의 상태가 같은 주기로 계속 변화하였다. 입자 구름의 형성과 변화가 플라즈마에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 self-bias 전압이 시간에 따라 기록되었고, 플라즈마 전위의 시간에 따른 변화가 측정되었다. 플라즈마 전위의 측정을 위하여서는 Langmuir 탐침이 사용되었는데, 입자의 흡착에 의한 표면오염을 막기 위하여 가열된 탐침[10]을 사용하였다. 또한, 입자구름 발생시 플라즈마 전위의 시변화를 관측하기 위하여 톱니파 pulse(-100 V~+100 V)를 탐침에 인가하였고, 전압-전류 데이터를 12 bit A/D 변환기에 의하여 sampling한 후, personal computer에 저장하여 짧은 시간간격으로(최소 0.01초) 탐침의 전류-전압 관계를 미분하여 구하였고, 이로부터 플라즈마 전위의 시변화가 얻어졌으며, 동시에 측정된 self-bias 전압, 레이저 산란 세기값과 비교되었다. 입자 구름 발생시 플라즈마로부터의 방출스펙트럼도 변화를 보였는데, Carbon막이 없을 때의 정상적인 Ar 플라즈마에 의한 방출스펙트럼과의 비교와 해석이 corona equilibrium model[11]을 적용하여 이루어졌다.

3. 결과 및 토론

입자들은 그림 3과 같이 플라즈마-sheath의 경계면에 주로 분포하였다. 플라즈마 bulk에서는 레이저 산란 세기의 크기가 상대적으로 몹시 낮았으며, 윗

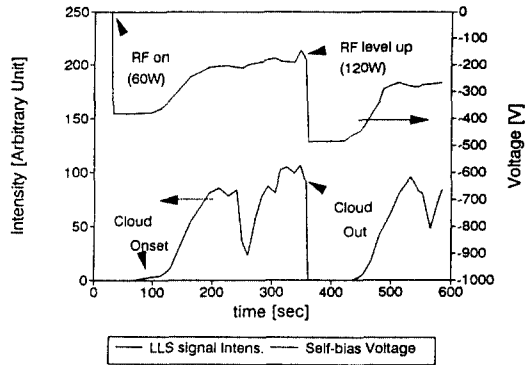


그림 2. 레이저 산란 세기값과 self-bias 전위의 시변화 (gas : Ar; 0.3 mbar).

전극(접지 전극) 부근의 플라즈마-sheath 경계면에서도 입자 구름의 분포가 관측되었으나 아랫전극(powered electrode)에서 보다는 세기가 낮았다. 이와 같은 플라즈마-sheath 경계면에서의 입자 구름 분포는 플라즈마 bulk로부터의 이온 흐름에 의한 momentum 전달에 기인하는 이온 drag force와 sheath내에 존재하는 정전기력의 균형에 의하여 설명된다[8].

입자는 플라즈마내에서 높은 이동도(mobility)의 전자 유입에 의하여 음으로 대전되고, 유동(floating)전위를 유지하여, 표면으로의 이온과 전자 흐름의 균형을 얻게 됨이 알려져 있다[8]. 입자들이 유동전위를 유지하기 위하여 얻게 되는 음전하량은 플라즈마 밀도, 전자온도의 함수로 modeling할 수 있고 입자의 크기에 따라서도 달라진다. 입자는 표면에 누적된 음전하 때문에 sheath내에서의 강전계에 의해 표면으로부터 반발된다. 플라즈마 bulk에서는 sheath에 비하여 전계의 크기가 상당히 낮기 때문에, 이 영역에서의 입자의 운동은 다른 힘에 의하여 지배되는데, 전자에 비하여 질량이 큰 이온의 방향성 있는 운동에 의하여 momentum이 전달되는 것으로 보여지고 이 힘을 이온 drag force라 한다[8].

입자 구름이 나타날 때 플라즈마의 상태는 현저히 바뀌었는데, 특히 self-bias 전위 절대값의 급격한 감소가 관측되었다. 그림 2에서, negative self-bias 전위와 레이저 산란 세기값의 시변화를 나타내었다. 초기의 정상상태에서 Ar 플라즈마의 self-bias 값은 동일조건에서 Carbon막이 없을 때와 일치하였는데, 입자 구름형성에 따른 레이저 산란 세기값의 심한 감소를 보여주고 있다. self-bias의 감소는 여러 번의 반복

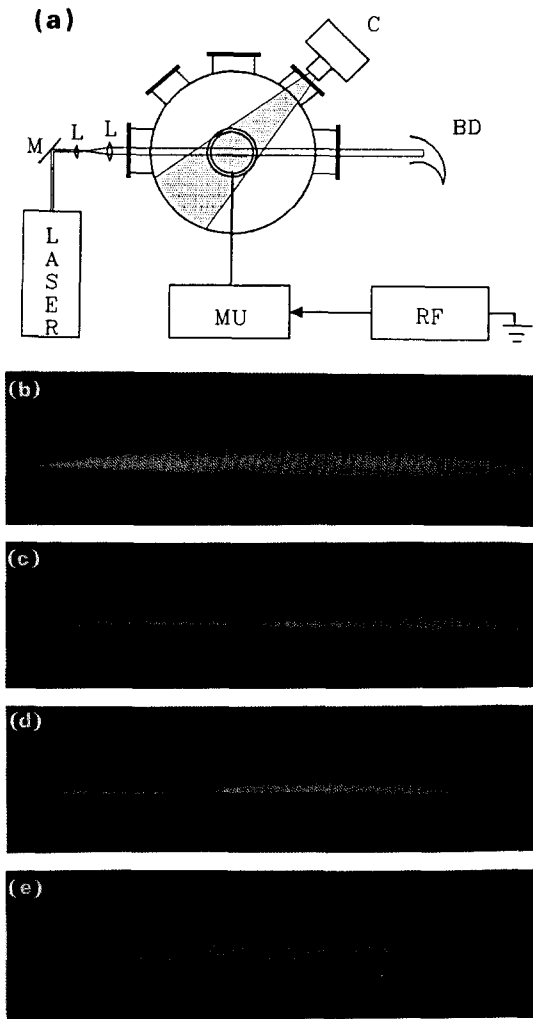


그림 3. Powered 전극위의 플라즈마-sheath 경계면에 형성된 입자 구름 분포의 주기적 시변화. (a) geometry (MU : matching unit; RF : RF generator; BD : Beam dump; C : Camera with zoom lens; M : Mirror; L : lens; Shaded area is viewing angle), (b) 기준 time, (c) 60초 후, (d) 80초 후, (e) 100초 후.

실험에서 계속 나타났는데, 감소량이 항상 정확히 일치하지는 않았으나 거의 비슷하였다. 또한, 입자 구름의 분포는 RF 파워의 변화에 민감하였다. RF 파워를 유지시킨 후 입자 구름이 형성된 상태에서 RF 파워를 올리면, 입자 구름은 반경방향으로 밀려나서 전극위에서 사라졌고, 그림 2와 같이 self-bias는 정상상태의 Ar-플라즈마에서의 값까지 증가하였다가,

다시 어느 정도의 시간이 지나면 레이저 산란 세기의 증가와 함께 감소하였다. RF 파워의 증가에 따른 입자 구름의 반경방향 이동의 원인은 구름내에서의 입자의 누적에 의한 평균 크기의 증가와 관련되어 있으리라 생각된다. 이온 drag force는 입자의 크기에 비례하고 [8], 밀도가 높은 플라즈마 중심부에서 외부로의 ambipolar diffusion에 의하여 반경방향의 성분을 지니게 됨이 자명하다. 낮은 파워에서 입자들은 천천히 성장해 나가며 플라즈마-sheath의 경계면에서 균형을 이루고 있으나, RF 파워가 갑자기 증가하여, 이 힘의 균형은 깨어지고 입자는 이동하게 되는데 이온 drag force에 의하여 플라즈마 bulk의 반대방향으로 이동하려 한다. 그러나 sheath의 반발에 의하여 전극의 표면으로는 이동하지 못하고 반경방향으로 밀려나는 것으로 해석된다. 입자들이 밀려남과 동시에 플라즈마는 다시 정상상태로 돌아가고 negative self-bias값은 증가하나 다시 wafer 표면으로부터의 스퍼터링이 진행되어 새로운 입자 구름의 형성이 관측된다. 반대로 입자 구름형성시 RF 파워를 갑자기 감소시켰을 경우 레이저 산란 세기의 감소는 관측되지 않았고, self-bias의 증가도 나타나지 않았다. 입자 구름은 RF 파워 등의 조건이 변화하지 않는 상황에서, 주기적인 상태의 변화를 보였는데, 그림 3에서 일정한 조건이 계속 유지되고 있을 때의 입자 구름의 주기적 상태 변화를 나타내었다. 이와 같은 입자 구름의 주기적인 상태변화에 수반되어 negative self-bias 전압도 계속 진동하였다. 그림 3에서, 초기에 전극 위를 완전히 덮고 있던 입자 구름은 시간이 지남에 따라 서서히 중심부분이 노출되고, 시간이 지나면 다시 중심부분의 산란 세기가 서서히 증가하여 초기상태로 회복되는 모습을 볼 수가 있다. 이와 같은 변화는 전술한대로 입자들의 누적에 의한 크기의 변화로 설명될 수가 있는데, 입자의 시간에 따른 크기 증가에 의하여 이온 drag force의 반경방향 성분에 더욱 민감해져서 반경방향으로 이동하고 그동안 중심부에 다시 새로운 입자들이 계속 성장하여 다시 초기의 상태와 동일하게 전극 위에 구름이 형성됨이 계속 반복되는 것으로 생각된다. 이와 같은 해석을 뒷받침하여 주는 것은 Mie 산란 세기값의 angular dissymmetry ratio의 측정 에 의한 입자의 평균크기 측정의 결과이다(그림 4). 그림 4에서는 동시에 측정된 angular dissymmetry ratio로부터 얻어진 입자의 평균크기의 시변화와 self-

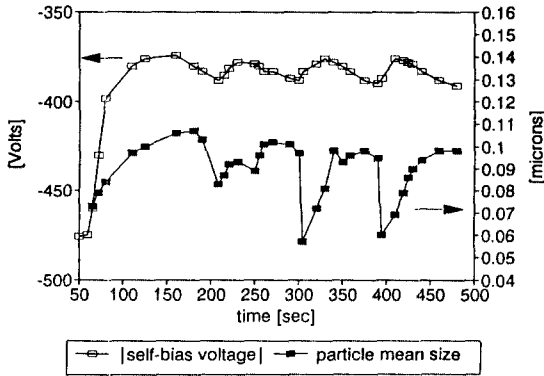


그림 4. 입자구름 형성시, 입자 평균크기와 self-bias 전압의 시변화(압력 : 0.3 mbar; gas : Ar; RF power : 120 W).

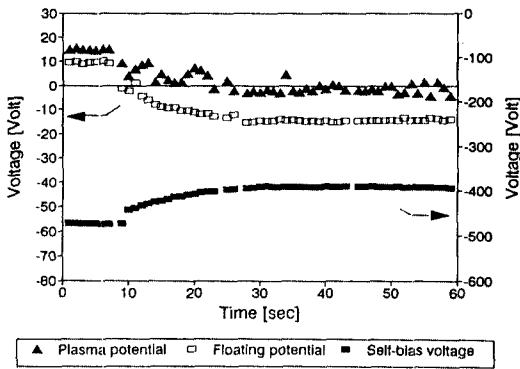


그림 5. 입자구름 형성시, 플라즈마 전위와 운동(floating) 전위, self-bias 전압의 시변화(압력 : 0.3 mbar; gas : Ar; RF power : 120 W).

bias전위의 시변화를 나타내었다. 초기에 입자 구름의 형성에 따라 negative self-bias의 값이 심하게 감소할 때, 입자의 평균 크기는 계속 증가하였으며 그림 3(c)에서와 같이 입자들이 반경방향으로 밀려난 상태에서 negative self-bias의 값은 다소 증가하고, 입자의 평균 크기는 급히 감소하였다. 이후, 다시 입자의 성장이 시작되고 이와 같은 변화는 주기적으로 반복되었는데, 이 결과는 입자 분포의 oscillation이 입자의 평균크기의 시간에 따른 증가와 이에 따른 지배 힘의 변화에 의한 것이라는 결론에 이르게 한다. 또한, 입자 구름 형성시 플라즈마 전위의 변화를 보기 위하여 톱니파 pulse를 인가한 가열된 탐침을 사용하였고, 입자 구름이 형성되기 시작하여 negative self-bias가 줄어드는 동안의 플라즈마 전위의 측정결과를 그림 5에 나

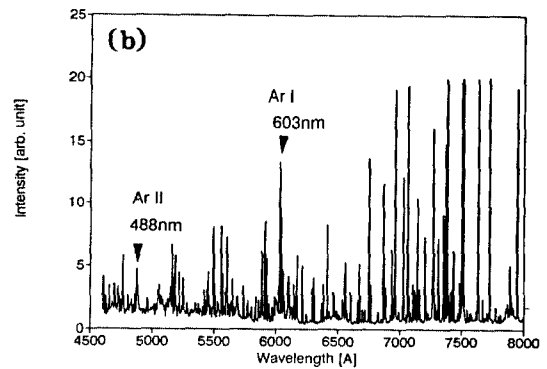
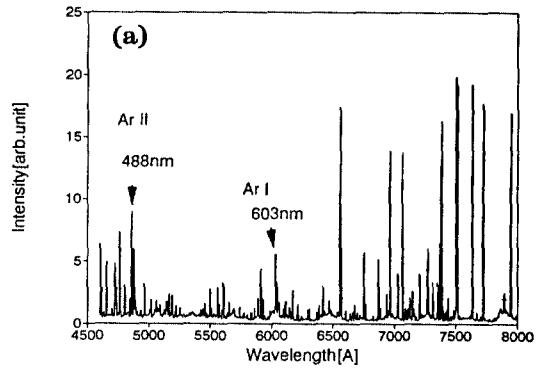
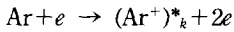
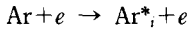


그림 6. (a) 정상상태 Ar 플라즈마의 방출스펙트럼. (b) 입자구름 형성시의 방출스펙트럼(압력 : 0.3 mbar; RF power : 40 W).

타내었다. 그림에 나타난 것처럼 self-bias의 변화와 플라즈마 전위의 변화는 밀접하게 관련되어 있었으며, 입자 구름형성시 플라즈마 전위는 시간에 따라 감소하였다. 플라즈마 전위는 접지된 반응조 벽면으로의 하전 입자(전자, 이온) 흐름의 균형에 의하여 생성되는데, 플라즈마 전위의 감소는 반응조 벽면과 접지 전극 표면으로의 음전하 흐름량의 상대적인 감소를 의미한다. 플라즈마-sheath 경계면 상에 분포하는 입자 구름으로의 음전하 축적에 의해 상대적으로 전극이나 벽면으로의 음전하(전자) 흐름의 양이 줄어들고, 또한 무거운 입자 표면에서의 음전하 누적은 전체 음전하의 이동도를 감소시키는 결과를 가져오게 된다. Self-bias 전위의 감소 현상은, powered 전극에 가하여진 RF 전압의 양의 반주기 동안 전극에 도달하는 음전하량의 감소에 의한 것으로 보여지는데, 이것은 전술한 음전하 이동도 감소의 직접적인 결과이다. 이처럼, 입자 구름의 형성은 그 자체가 오염원으로 작

용할 뿐만이 아니라, 플라즈마의 물성에도 영향을 미쳐 공정의 재현성 및 신뢰도를 저하시키는 효과를 줄 것으로 생각되는데, 본 실험에서 측정된 Mie 산란 세기값의 절대값으로부터 계산된 입자의 밀도는 구름의 중심부에서 $10^4 \sim 10^5/\text{cm}^3$ 사이의 값을 가졌다.

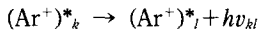
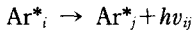
입자 구름의 형성시에는 플라즈마로부터의 방출스펙트럼도 상당히 변화하였는데, 그림 6에 나타나 있는 것처럼 동일조건에서 정상상태의 방출스펙트럼에 비하여 Ar I선들의 세기가 증가하였고 Ar II선들의 세기는 감소하였다. 입자 구름분포의 진동에 의한 오차를 최대한 줄이기 위하여, 입자 구름의 상태가 비교적 안정되어 있는 조건에서 측정하였다(RF: 40 W, 0.3 mbar). 데이터의 이해를 위해서는, 플라즈마에서의 여기와 relaxation 과정에 관한 model이 필요하게 되는데, 구하여진 RF 플라즈마의 밀도는 $10^9 \sim 10^{10}/\text{cm}^3$ 정도의 값으로써 corona equilibrium model[11]의 적용이 가능하다. corona model에서는, 기저상태의 종들에로의 직접적인 전자 충돌에 의해서만 활성종들이 생성된다고 가정하며,



Ar^*_i : Ar atom in the electronic state i

$(\text{Ar}^+)^*_k$: Ar ion in the electronic state k

의 반응들이 주로 여기과정에 관여한다. 이와 같은 활성종들의 radiative de-excitation에 의하여 스펙트럼선의 방출이 일어나게 되는데, 0.25 torr 이하의 압력에서는 기저상태 Ar 원자들과의 충돌에 의한 de-excitation 정도는 무시될 수 있으며,



hv_{ij} : i - j 의 원자내 전자전이에 의한 photon

의 반응들이 주된 스펙트럼선 방출에 기여한다. 측정된 스펙트럼 중 주파수 ν_{ij} 에서의 S종으로부터의 방출선 세기 F_{ij}^S 는

$$F_{ij}^S = GN^S \int (2E/m)^{1/2} f(E) \sigma_{ij}^S(E) dE$$

σ_{ij}^S : 기저상태의 S종에로의 E 의 에너지를 갖는 전자 충격에 의한 ν_{ij} 의 photon이 방출될 cross section

N^S : 기저상태 S종의 밀도

G : geometric constant

$f(E)$: 전자 에너지 분포 함수

로 나타내어진다. 각 선의 cross section은 정해진 값이고 실험중의 geometric constant는 측정 aperture, 렌즈 등의 광학계의 효율에 의하여 결정되나, 항상 일정하게 유지하였기 때문에 데이터는 비교 가능하다. 일정압력이 유지되었고 이온화율이 극히 작기 때문에, 기저상태 Ar의 밀도는 같다고 보면, 스펙트럼 선 세기의 변화는 직접 EEDF(전자 에너지 분포 함수)의 변화를 의미하게 된다. 그림 6에서의 정상상태 플라즈마와 비교하였을 때, Ar I선들의 증가와 Ar II선의 감소를 확실히 볼 수가 있다. 그림에서는, 대표적으로 Ar II(488 nm), Ar I(603 nm)의 두 선을 표시하였다. 글로우 방전에서의 방출에는 고에너지 2차 전자가 주로 기여하는 사실이 알려져 있다. 방출선 세기가 가장 높은 부분과 전자 밀도가 가장 높은 부분이 다른 사실은 이를 뒷받침해 준다. 입자구름 생성시 방출스펙트럼은 Ar I선이 증가하고 Ar II선이 줄어들게 되는데, 이것은 고에너지 2차 전자의 감소를 의미하게 된다. Ar II선의 경우 Ar I선에 비하여 방출 문턱 에너지가 높다[11] (4702 Å: Ar I선: 14.5 eV, 4806 Å: Ar II선: 35 eV). 음극표면의 이온 충격에 의하여 발생되는 2차 전자는 이온화, 여기과정에 기여하게 된다. 전극 표면을 덮고 있는 입자구름에 의한 차폐효과에 의하여 2차 전자의 에너지가 감소한 결과, Ar II선의 감소, Ar I선의 증가현상이 나타난 것으로 보인다.

4. 결 론

플라즈마에 노출된 Diamond-like Carbon 박막으로부터 입자 구름형성이 관측되었다. 입자의 성장은 박막표면의 전자 유입에 의해 대전된 결합력이 약한 부분의 탈착이나, 스퍼터링에 의해 material을 제공 받는 것으로 보여지며, 자체에 화학적 활성종을 가지지 않는 Ar 플라즈마의 경우에도 박막과의 상호작용에 의해 입자가 지속적으로 발생, 성장할 수 있음을 Mie 산란 angular dissymetry의 측정에 의해 알 수 있었으며, 플라즈마-sheath의 경계면에서의 입자 구름형성이 주로 관측되었다. 입자 구름의 형성시 negative self-bias 전압이 심하게 감소하였고, RF 파워의 변

화에 민감한 분포의 변화를 보여주었는데, 특히 RF 파워가 갑자기 증가하였을 때, 입자 구름의 반경방향(r)으로의 이동이 관측되었다. 입자 구름형성시 플라즈마 전위의 감소량이 가열된 fast-scanning Langmuir 탐침에 의하여 측정되었다. 플라즈마전위와 negative self-bias의 감소현상은 입자 표면의 전자누적에 의한 전극과 반응조 벽면으로의 전자 흐름량의 감소와 음전하 이동도의 감소에 의한 효과로 설명된다. 입자 구름의 분포는 입자의 평균 크기, negative self-bias, 플라즈마전위와 모두 동일한 주기로 변화하였는데, 이는 구름내에서의 입자의 지속적인 성장에 의한 크기의 변화에 따른 이온 drag force의 증감에 의한 것으로 보여진다. 입자 구름형성시의 Ar 플라즈마 방출스펙트럼과 정상상태의 방출스펙트럼이 비교되었는데, RF 플라즈마 장치에서 방출 과정에 주된 기여를 하는 고에너지 2차전자들의 입자구름과의 상호작용에 의한 에너지 감소가 Ar II선들의 세기 감소를 초래하였다. 입자 구름의 생성은 오염원으로 작용할 뿐 아니라 플라즈마 물성을 변화시켜, 공정의 재현성과 신뢰도에 영향을 미침이 밝혀졌으며, 입자 생성 정도의 변화에 따른 플라즈마 물성의 변화정도를 체계적으로 관측할 수 있는 실험적 방법의 확립이 앞으로의 과제라 할 수 있다.

참고문헌

1. R. M. Roth, K. G. Spears, G. D. Stein and G. Wong, *Appl. Phys. Lett.* **46**, 253 (1985).
2. W. J. Yoo and Ch. Steinbruchel, *Appl. Phys. Lett.* **60**(9), 1073-1075 (1992).
3. G. S. Selwyn and K. L. Haller, *J. Vac. Sci. Technol.* **A11**(4), 1132 (1993).
4. G. M. Jellum and D. B. Graves, *J. Appl. Phys.* **67**(10), 6410 (1990).
5. G. S. Selwyn, *Jpn. J. Appl. Phys.* **32**, 3068 (1993).
6. J. Goree and T. E. Sheridan, *J. Vac. Sci. Technol.* **A10**(6), 3540 (1992).
7. A. A. Howling, J. L. Dorier and Ch. Hollenstein, *Appl. Phys. Lett.* **62**(12), 1341 (1993).
8. M. D. Kilgore and D. B. Graves, *J. Appl. Phys.* **73**(11), 7195 (1993).
9. C. F. Bohren and D. R. Huffman, *Absorption and Scattering of Light by Small Particles* (John Wiley & Sons, 1983), p. 477.
10. B. C. Bell and D. A. Glocker, *J. Vac. Sci. Technol.* **A6**(3), 2047 (1988).
11. T. I. Cox, V. G. I. Deshmukh, D. A. O. Hope, A. J. Hydes, N. St. J. Braithwaite and N. M. P. Benjamin, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **20**, 820 (1987).