

## Capacitively Coupled, RF Excited CH<sub>4</sub> Plasma 에서의 Particle 발생 및 그 특성에 관한 연구

연충규, 황기웅  
서울대학교 전기공학과

Plasma 공정중의 Particle 의 발생은 Microelectronic Device 의 신뢰도나 특정한 용도의 Thin Film 의 질에 심각한 영향을 미친다. 최근, Plasma 자체를 발생의 기원으로 하는 Particle 이 Device Yield 의 저하에 주된 역할을 하고 있다는 사실이 밝혀지면서 부터[1], Particle Source 로서의 Plasma 공정에 대한 검토가 PECVD[2], Etching[3], Sputtering[4] 등의 전반에 대하여 활발히 이루어지고 있고, Plasma 안에서의 Particle 의 특징적인 행동양식과 Plasma 특성에 미치는 영향이 검토되고 있다. Laser Scattering 에 의한 Mie Scattering Signal의 관측이 Plasma 내에 발생된 Particle 의 생성정도와 분포, 크기를 알수있는 관측수단으로써 많은 Group에 의하여 사용되고 있으며[1][2][3][4], 또한, Plasma 를 Ultrafine Powder의 제조원으로 응용하기 위한 연구도 시도되고 있다. 본 연구에서는 DLC (Diamond Like Carbon)의 박막제조에 응용되고 있는 Capacitively Coupled RF Excited CH<sub>4</sub> Plasma 에서의 Particle 발생 현상과 그 성질 및 Plasma Property에 미치는 영향을 관찰하였다. 사용된 장비는 일반적인 Parallel Plate형태의 Plasma Reactor 로서, RF(13.56MHz)를 Power 공급원으로 사용하고 있고, 광학적인 관측을 위한 5개의 시창이 다양한 위치에 배치되어 있다. 공정 중의 Particle 발생이 Laser Scattering 을 이용하여 관측되었고, 이를 위한 광원으로써 Ar Ion Laser(Spectrophysics, 2020, 514nm)와 HeNe Laser(Uniphase, 1125,633nm)가 사용되었다. Mie Scattering Signal 의 검출을 위해서는 Monochromator(SPEX, 1704PL)와 Si Photodetector가 사용되었다. Laser Scattering Signal의 관측을 통하여 전극간 Plasma영역에서의 Particle 발생과 시간에 따른 분포변화를 관측하였으며, Mie Scattering Signal 의 Angular Dissymetry[5] 의 측정을 Forward Scattering, Backward Scattering Angle에서 관측함으로써, Particle cloud 내에서의 Particle 크기를 시간에 따라 측정하였다. Laser Scattering 에 의하여 관측된 Particle은 시간에 따라 크게 다른 분포를 보여주었으며, 입자크기에 따라 서로다른 행동양식을 나타내었는데, 크게 성질과 행동양식이 다른 두개의 Group의 존재가 관측되었다. 그 하나는 주로 아랫전극으로의 방향성있는 운동을 보이는 비교적 큰 크기의 Particle 들이며, Negative Charge를 띠므로, 아랫전극의 Sheath에 의해 반발되어 Chamber의 바닥에 주로 Dispersive Sedimentation 한다. 다른하나의 Group은 개개의 독립적인 운동보다는 Collective Behavior를 보이며 Reactor전체에 Plasma Bulk를 감싸고 분포하였다. 공정후 수집된 Particle 을 SEM, TEM 에 의하여 Morphology 와 크기분포를 조사한 결과, 판상,막상의 Morphology를 갖는 비교적 큰 크기의(수십 ~수백

Micron ) Group 과, 거의 완전한 구형의 비교적 작은 크기의 Group( Submicron size)이 존재하였고 이는 Laser Scattering 에 의한 in-situ 관측과 부합된다. 두 개의 상이한 Group으로부터의 Laser Scattering Signal은 항상 큰 Group의 것이 먼저 관측되었으며 이는 작은것들의 연속적인 Agglomeration 의 결과로 큰 Particle이 발생할 수 있으리라는 가능성보다는 두 Group의 발생기원이 애초에 다름을 이야기 해준다. 즉,표면상에서의 Heterogeneous nucleation 과 탈착 Mechanism,기상에서의 Homogeneous nucleation 이라는 두개의 기구가 동시에 존재하는 것으로 여겨지며, 두 Group의 행동양식의 차이는 입자크기에 따르는 지배 Force의 변화로 설명된다. EPMA(Electron Probe Micro Analysis)에 의한 EDS의 측정에서는 Carbon 의 Signal 만이 얻어졌으며, TEM에의한 Electron Diffraction Pattern 의 조사결과 Crystallinity 의 증거는 찾을 수 없었다. Particle 발생용이정도를 공정조건에 따라 Monitoring 하기 위하여 Laser Scattering Signal의 Onset time 을 조건에 따라 측정하였다. 그 결과 압력이 높을 수록 RF Power 가 클수록 Onset time 이 짧아졌으며 이는 Particle 생성이 용이함을 의미한다. 잔류 Particle 제거 후, O<sub>2</sub> Plasma Ashing Process에 의하여 Chamber 내부의 Carbon 막을 제거한 후 Ar Plasma 를 발생시켰을 때, Particle 은 나타나지 않았다. 그러나, DLC 박막이 증착된 Wafer 를 Loading 한 후,Ar plasma 를 발생시키자 Collective behavior를 보이는 Particle 의 구름이 관측되었으며, 이는, Ion 에 의한 Sputtering 이 기상에서의 Particle Growth를 위한 Seed 를 공급하기 때문으로 생각된다. Ar Plasma 에서는 Particle 분포가 CH<sub>4</sub> 의 경우와는 차이를 보였으며, Particle Cloud 발생시 심한 Plasma 상태의 변화가 수반되었다. Self-bias 의 변화에 따라 Particle Cloud 의 분포도 변화하였으며 같은 주기로 Oscillation 하였다. Plasma 특성의 변화를 관측하기 위하여 Heated Fast Scanning Langmuir Probe에 의한 Plasma Potential 의 변화와 Emission Spectrum 의 관측이 이루어졌다. Particle cloud 의 차단효과에 의하여 Emission Process 에 주된 역할을 하는 고 에너지 2차전자의 에너지가, 전극위에 Particle cloud의 형성시 변화하는 것으로 생각되며, Particle 에의 Negative Charge 누적 현상이 전체 음전하의 평균 Mobility 를 감소시켜 Self-bias 와 Plasma Potential 등의 변화를 수반하는 것으로 보여진다.

#### 참고 문헌

- [1] R.M.Roth, K. G. Spears, G. D. Stein, and G. Wang, Appl. Phys. Lett. 46, 253(1985)
- [2] Y. Watanabe, M. Shiratani, and M. Yamashita, Appl. Phys. Lett. 61(13), 1510(1992)
- [3] W. J. Yoo, and Ch. Steinbrucel, J. Vac. Sci. Technol. A10(4), 1041(1992)
- [4] G. M. Jellum, and D. B. Graves, J. Appl. Phys. 67(10), 6490(1990)
- [5] C. F. Bohren and D. R. Hoffman, *Absorption and Scattering of Light by Small Particles* (John Wiley & Sons, 1983)