

실란 PCVD 반응기에서의 입자 동력학식

김동주, 김교선
강원대학교 공과대학 화학공학과

The General Dynamic Equation of Particles in Silane PCVD Reactor

Dong-Joo Kim, Kyo-Seon Kim
Department of Chemical Engineering, Kangwon National University
Chuncheon, Kangwon-Do, Korea

서론

박막 제조를 위한 PCVD(plasma chemical vapor deposition) 공정에서 생성되는 입자들은 균질상 입자 형성과 다균질상 입자 형성 등 크게 두 가지 경로로 형성되며 submicron에서 micron 크기까지 성장한다. 성장한 입자들은 플라즈마 반응기를 오염시켜 반도체 소자의 생산성 저하 원인의 70% 이상을 차지하고 있다[1]. 반도체 산업에서 입자 오염 문제의 중요성 때문에 플라즈마 반응기 내 입자 오염에 대한 많은 연구가 행해져 왔으나 플라즈마 화학, 에어로졸 동력학식, 및 반응기 전달 현상 등을 고려한 체계적인 연구는 행하여지고 있지 않다.

본 연구에서는 실란 PCVD 반응기 내부에 생성되는 화학종들 중 음이온을 입자 생성의 전구체로 하는 균질상 입자 생성만을 고려한 수치 모사를 통해 실란 PCVD 반응기 내에서의 화학종들과 입자들의 특성과 전달 현상 등을 고찰하였다. 수치 모사를 위한 모델식으로써 물질수지식과 에어로졸 동력학식을 고려하였으며 반응기 내 압력과 전체 기체 유량 및 전기장의 세기 등의 공정 변수를 변화시켜가며 입자 특성과 전달현상 등을 고찰하였다.

이론

실란 플라즈마 CVD에서는 50 여 개 이상의 화학종들과 200 여 개 이상의 화학 반응이 존재하고 성장 반응 통해 형성된 음이온이 입자 생성의 전구체로 작용함이 실험적으로 관찰된 바 있다[2,3]. 본 연구에서는 플라즈마 화학 반응에 의해 생성되는 화학종들 중 음이온이 입자 생성의 전구체로 작용함을 가정하였으며 음이온 생성과 성장, 거동에 관련된 18 개의 화학종들과 23 개의 화학 반응식들을 고려하였다[2-4].

고려된 23개의 화학 반응식과 18개의 화학종들을 플라즈마 화학반응에 사용하였고 반응기 내 유체의 흐름은 일정한다고 가정하여 화학종에 대한 물질수지식을 식을 세웠으며 화학 반응에 의한 생성 속도, 대류, 전기장에 의한 화학종들의 electric migration, 확산 등의 영향을 고려하였다.

입자의 생성과 성장 및 거동 등을 고찰하기 위한 에어로졸 동력학식은 플라즈마 화학 반응, 충돌에 의한 입자의 생성과 소멸, 입자 응집, 대류, 입자의 확산, 외부힘 등의 영향을 고려하였다. 입자의 크기, 크기 분포, 농도 및 부피 등에 대한 정보를 얻기 위하여 입자 입도 분포식으로서 효율적 계산을 위해 실험적으로 많이 입증된 log-normal 분포식을 가정한 후 에어로졸에 대한 0차, 1차, 2차 모멘트 식으로 나타냈다[5~7].

화학종에 대한 물질수지식을 정상 상태에서 유한 차분법을 x 방향으로 적용하여 tridiagonal matrix로 전개한 후 TRIDAG subroutine을 이용하여 18개의 화학종에 대하여 농도를 구하였으며 에어로졸 동력학식을 풀기 위한 값으로 이용하였다. 입자에 대한 동력학식을 x 방향으로는 유한차분법을 적용하였고 t 에 대하여는 미분항을 그대로 유지시키는 'method of lines'에 의해 3개의 편미분 방정식을 $3 \times P$ 개의 상미분 방정식으로 변환시켜 풀었다.

결과 및 고찰

실란 플라즈마 반응기 내 화학종들과 입자의 생성, 성장 및 거동에 영향을 살펴보기 위해 사용한 기준조건은 유속이 50 cm/min, 반응기 내 압력은 0.2 torr, 전기장의 세기(E_{pos} , E_{neg})는 ± 100 volt/cm로 하여 각 공정변수의 영향을 분석하였다.

Fig.1과 2에서는 전체 기체 유량 변화에 따른 입자들의 농도 분포를 두 전극간의 거리에 따라 나타내었다. Fig.1은 전체 기체 유량이 10 cm/min일 때 시간 변화에 따른 입자 농도 분포를 두 전극간의 거리에 따라 나타낸 것이다. 두 전극에서의 전기적 반발력에 의해 두 sheath 영역에서의 입자들은 벌크 플라즈마 영역으로 이동하게 되어 두 sheath 영역에서 입자 농도는 0에 접근하고 있으며 두 전극 방향으로의 ion drag force와 electrostatic force가 균형을 이루고 있는 두 sheath boundary에서 입자 농도 분포가 피크를 가지는 것을 보이고 있다. 유체 대류의 영향으로 유체가 흐르는 방향으로 입자들이 밀리기 때문에 상류 sheath boundary에서 입자 농도보다 하류 sheath boundary에서 입자 농도보다 높게 나타나고 있다. 시간이 지남에 따라 입자간의 충돌에 의한 응집의 영향은 증가하게 되어 반응기 내에서 입자 농도가 감소하고 있는 것을 보여주고 있다. Fig.2는 전체 기체 유량을 50 cm/min으로 하였을 때 시간 변화에 따른 입자 농도 분포를 두 전극간의 거리에 따라 나타낸 것이다. 두 전극에서의 전기적인 반발력과 두 전극 방향으로의 ion drag force가 균형을 이루고 있는 두 sheath 영역에서 입자 농도 분포가 피크를 가지며 두 sheath 영역에서 입자 농도는 zero에 접근하고 있는 것을 보여주고 있다. 전체 기체 유량이 10 cm/min일 때보다 반응기 내 유체대

류 영향은 증가함에 따라 유체가 흐르는 방향으로 밀리는 입자들의 양이 더 증가하게 되므로 상류 sheath boundary에 있었던 입자들이 하류 sheath boundary로 이동하게 되어 하류 sheath boundary에서의 입자들의 양이 증가하고 입자의 농도가 증가하고 있는 것을 보여주고 있다.

결론

본 연구에서는 실란 플라즈마 반응기 내에서 입자의 특성과 전달현상 등을 모델식을 사용하여 비정상 상태에서 고찰하였다. 대부분의 입자들이 electrostatic force와 ion drag force가 균형을 이루고 있는 두 sheath boundary에 존재하였으며 두 sheath 영역에서 입자들의 농도는 zero에 접근하였다. 유체 대류의 영향으로 유체가 흐르는 방향으로 입자들이 이동하게 되어 하류 sheath boundary에서 입자 농도가 상류 sheath boundary에서보다 높게 나타났다. 전체 기체 유량이 증가함에 따라 반응기 내에 유체대류 영향이 증가하게 되어 상류 sheath boundary에 있었던 입자들이 유체의 흐르는 방향으로 밀리는 양이 증가하게 되므로 하류 sheath boundary에서의 많은 입자들이 위치하였다.

참고 문헌

1. Watanabe Y and Shiratani M. *Plasma Sources Science and Technology*, **3**, 286 (1994)
2. Howling A. A., Sansonnens L., Dorier J.-L., and Hollenstein Ch. : *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **26**, 1003 (1993).
3. Hollenstein Ch., Dorier J.-L., Dutta J., Sansonnens L. and Howling A. A. : *Plasma Sources Sci. Technol.* **3**, 278 (1994).
4. Kim K. S. and Ikegawa M. : *Plasma Sources Sci. Technol.* **5**, 311 (1996).
5. Friedlander S. K. : "Smoke, Dust and Haze Fundamentals of Aerosol Behavior", John Wiley & Sons, New York (1977).
6. Kim K. S. : "Fabrication of Optical Fiber Fabrication by Modified Chemical Vapor Deposition", Ph. D. thesis, University of Cincinnati (1989).
7. Kim K. S. and Pratsinis S. E. : *AIChE J.*, **34**, 912 (1988).

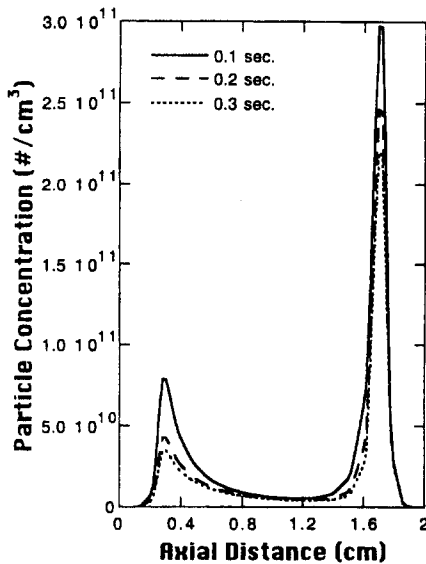


Fig. 1. The evolution of particle concentration profiles along the axial distance for various times ($Q = 10 \text{ cm}^3/\text{min}$, $P = 0.2 \text{ torr}$, E_{max} & $-E_{min} = 100 \text{ volt/cm}$).

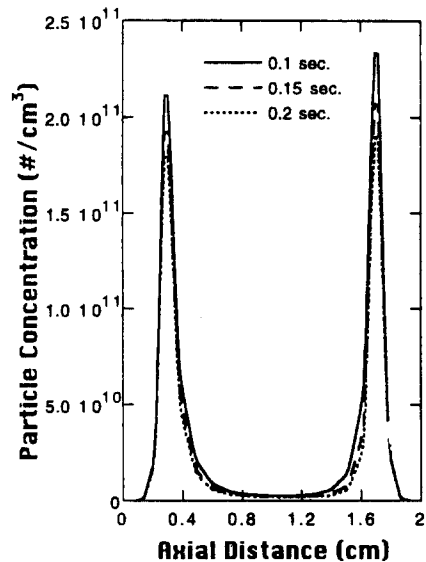


Fig. 2. The evolution of particle concentration profiles along the axial distance for various times ($Q = 50 \text{ cm}^3/\text{min}$, $P = 0.2 \text{ torr}$, E_{max} & $-E_{min} = 100 \text{ volt/cm}$).