

실란 플라즈마에서의 음이온 생성 및 성장

김동주, 김교선*
강원대학교 공과대학 화학공학과

The Generation and Growth of Negative Ions
in Silane Plasma

Dong-Joo Kim, Kyo-Seon Kim*
Department of Chemical Engineering, College of Engineering,
Kangwon National University

서론

증착과 에칭 및 스퍼터링과 같은 반도체 산업 공정 등에 널리 쓰이고 있는 플라즈마 공정에서는 submicron에서 micron 크기를 가지는 입자들이 생성되어 공정 내에 입자 오염 문제를 야기시키고 있으며 입자 오염으로 특히 박막 제조에 악영향을 끼치고 있다. 실란 PCVD에서 반응기 내에 생성된 화학종들 중 음이온들이 기상 성장 반응을 하여 음이온 cluster로 형성되고 형성된 음이온 cluster는 입자 생성을 위한 핵으로 작용할 수 있음이 실험적으로 여러 문헌을 통해 보고되고 있다[1~3]. 하지만 플라즈마 반응기 내 음이온들의 생성과 성장 및 거동을 예측하는 연구는 아직 미흡하다.

본 연구에서는 실란을 반응 기체로 플라즈마 화학 반응에 의해 생성되는 음이온들이 입자 생성의 전구체로 작용하며 homogeneous 입자 생성만을 고려하여 반응기 내에서 음이온들의 생성과 성장 및 거동을 고찰하였다.

이론

본 연구에서는 순수한 silane을 반응물로한 경우 음이온 생성 및 성장에 중요한 23개의 화학 반응식과 18개의 화학종들을 실란 플라즈마 화학반응에 사용하여 반응식과 화학종들을 간략화 하였으며 플라즈마 반응기 모델화를 위해 이들만을 고려하였다[1~2].

플라즈마 반응기를 모델화 하기 위해 계산 시간이 여타 방법들에 비해 비교적 적은 fluid approach 방법을 상용하였다. 모델화를 위해 반응기 내 N_e (electron number concentration)와 electron energy가 균일하고 전기장이 두 전극의 길이의 함수로만 가정하여 시간에 따른 전기장의 변화는 고려하지 않았다.

반응기 내 화학종들의 생성과 성장 및 거동을 여러 공정 변수중 음이온들의 거동에 크게 영향을 미치는 전기장의 세기만을 고려하여 살펴보았다.

반응기 내 유체의 흐름은 일정하다고 가정하여 화학종에 대한 물질수지식은 식 (1)과 같으며 화학반응, 대류, 확산 및 electric migration 등의 영향을 고려하였다.

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = (RXN)_i - \nabla \cdot (uN_i + \delta_i \mu_i EN_i - D_i \nabla N_i) \quad (1)$$

식 (1)에서 RHS 항들은 차례로 플라즈마 화학 반응에 의한 생성을, 대류의 영향, 전기장에 의한 화학종들의 electric migration 영향, 확산 등의 영향을 나타낸다. 화학종 i의 electric migration coefficients (μ_i)는 Einstein relationship으로 표현된다[4].

반응기 내의 전기장은 time average 값을 가지며 평균 전기장 값은 문헌을 참조 하였고[5] 저압 플라즈마에서 적용될 수 있는 Child-Langmuir equation을 사용하여 sheath 영역에서의 전기장을 길이의 함수로 표현하였으며 다음과 같이 표현하였다.

$$\begin{aligned}
 E &= E_{pos} \left[1 - \left(\frac{x}{x_{pos}} \right)^{\frac{1}{3}} \right] && \text{for } 0 \leq x < x_{pos} \\
 E &= 0 && \text{for } x_{pos} \leq x < x_{neg} \\
 E &= E_{neg} \left[1 - \left(\frac{x_{end} - x}{x_{end} - x_{neg}} \right)^{\frac{1}{3}} \right] && \text{for } x_{neg} \leq x \leq x_{end}
 \end{aligned}$$

D_i 는 Chapman-Enskog 식을 이용하여 계산하였다[6].

순수한 실란이 반응기 입구에서 공급되는 것으로 가정하고 두 전극에서의 경계 조건은 양이온의 sticking coefficient는 1, 음이온과 중성 물질의 sticking coefficient는 zero로 가정하였다. 정상 상태에서 각각의 화학종들에 대한 식 (1)을 풀기 위해 식 (1)의 LHS 항을 무시하여 계산 시간을 줄이도록 하였다.

결과 및 고찰

실란 플라즈마 반응기 내 화학종들의 생성, 성장과 이동에 영향을 살펴보기 위해 사용한 기준 조건은 다음과 같다.

- total gas flow rate = 50 cm³/min, rpressure = 02 torr
- $E_{pos} = 3$ volt/cm, $E_{neg} = -3$ volt/cm, reactor length(x_{end}) = 2 cm
- reactor temperature(T) = 800 K, reactor diameter = 8.5 cm

전기장의 세기는 E_{pos} 를 10 volt/cm,, 50 volt/cm,, 100 volt/cm,, 150 volt/cm,, 200 volt/cm (E_{neg} 는 -10 volt/cm,, -50 volt/cm,, -100 volt/cm,, -150 volt/cm,, -200 volt/cm)로 변화시켜 가면서 실란 플라즈마 반응기 내 음이온들의 생성, 성장과 이동에 영향을 살펴보았다.

Fig. 1에서 Fig. 5까지는 전기장의 세기(E_{pos} , E_{neg})를 ± 3 , ± 10 , ± 50 , ± 100 , ± 150 , ± 200 volt/cm로 변화시킬 때 정상 상태에서 화학종들의 농도 분포를 두 전극간의 거리에 따라 나타내었다. Fig. 1을 보면 SiH_x 는 전기장 세기의 변함에 따라 농도 변하지 않고 있다. SiH_x 는 δ 가 zero의 값을 가져 electrical migration의 영향을 받지 않고 있음을 보여준다.

Fig. 2에서 SiH_x^+ 의 농도는 전기장의 세기가 커짐에 따라 작아지며 electrical migration에 의해 양이온인 SiH_x^+ 는 두 전극 방향으로 전기적 이동을 하게 되어 전기장의 세기가 커짐에 따라 SiH_x^+ 농도는 감소하고 있음을 보여 주고 있다.

Fig. 3, Fig 4, Fig. 5에서는 전기장의 세기에 따른 SiH_x^- , $Si_3H_x^-$, $Si_{13}H_x^-$ 의 농도 분포를 보이고 있으며 전기장 세기가 커짐에 따른 각각의 음이온의 농도도 증가하는 것을 볼 수 있다. 전기장의 세기가 커짐에 따라 정전기적 반발력이 증가하여 두 전극에 있는 음이온은 더 많이 플라즈마 반응기쪽으로 밀리게 되어 반응기 중앙에 농도가 증가하는 것을 볼 수가 있다. Fig. 3에서는 SiH_x^- 의 농도가 두 개의 sheath boundary에서 피크를 가져 두 boundary에서의 정전기적 반발력과 반응기 중앙에서의 생성 속도, 소멸 속도, 확산 및 대류와의 균형을 이루고 있다.

Fig. 6에서는 전기장의 세기가 ± 150 volts/cm일 때 음이온들의 농도 분포를 나타내고 있다. SiH_x^- 의 농도가 다른 음이온에 비하여 낮은 이유는 SiH_x^- 이온이 여러 플라즈마 화학 반응에 참여하고 있기 때문이다. Si의 숫자가 증가할 수

록 음이온의 농도가 감소하고 있으나 $x=1.7$ 에서 $\text{Si}_{10}\text{H}_x^-$ 이온의 농도가 $\text{Si}_{13}\text{H}_x^-$ 이온의 농도보다 낮은 것은 Si 숫자가 증가함에 따라 확산 및 electric migration의 영향이 감소하고 대류의 영향이 커졌기 때문이다.

참고문헌

1. Howling, A. A., Sansonnens, L., Drier, J.-L., and Hollenstein, Ch. : J. Phys. D: Appl. Phys. 26, 1003(1993).
2. Howling, A. A., Sansonnens, L., Drier, J.-L., and Hollenstein, Ch. : J. Appl. Phys. 75(3), 1340(1994).
3. Choi, S. J. and M. J. Kushner : J. Appl. Phys. 74(2), 853(1993).
4. Chen, F. F. : "Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion", 2nd ed., Plenum Press, New York(1984).
5. Sato, N. and H. Tagashira : IEEE Trans. Plasma Sci. 19(2), 102(1991)
6. Reid, R. C., J. H. Prausnitz and T. K. Shrewood : "The Properties of Gases and Liquids", 3rd ed, McGraw- Hill, New York(1977).

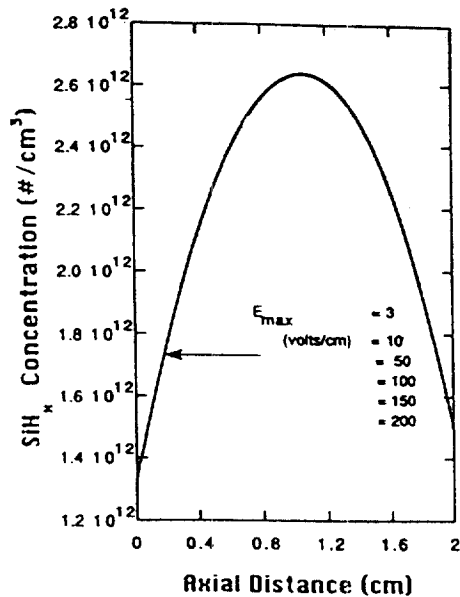


Fig. 1 The evolution of SiH_x concentration profiles along the axial distance for various electric field.

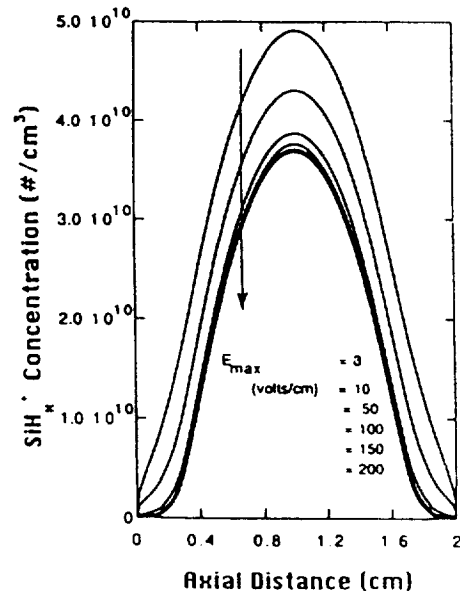


Fig. 2 The evolution of SiH_x^- concentration profiles along the axial distance for various electric field.

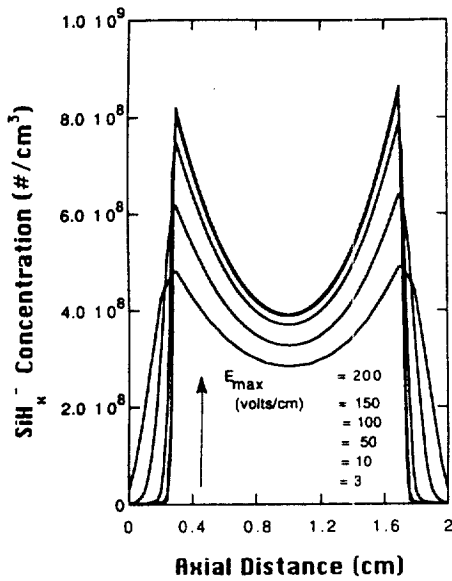


Fig. 3 The evolution of SiH_x^- concentration profiles along the axial distance for various electric field.

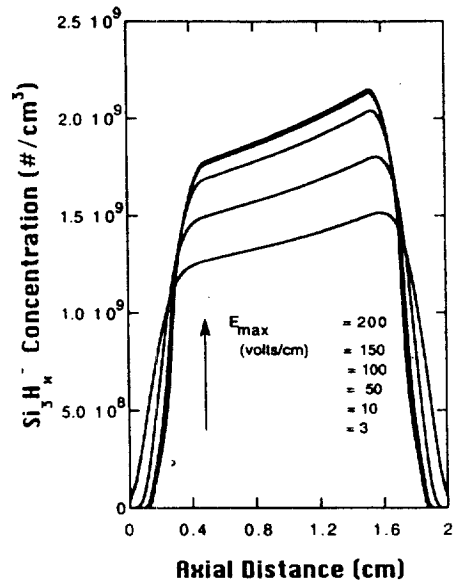


Fig. 4 The evolution of Si_3H_x^- concentration profiles along the axial distance for various electric field

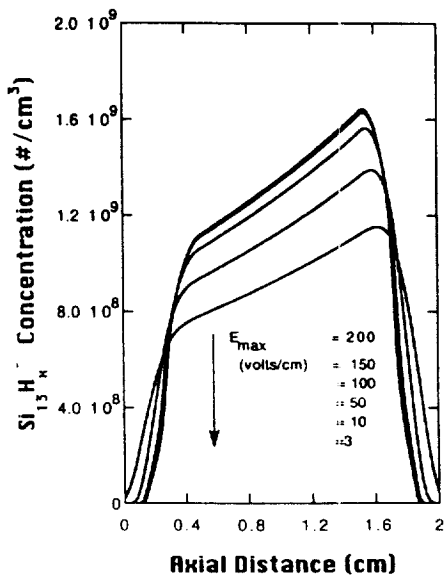


Fig. 5 The evolution of $\text{Si}_{13}\text{H}_x^-$ concentration profiles along the axial distance for various electric field .

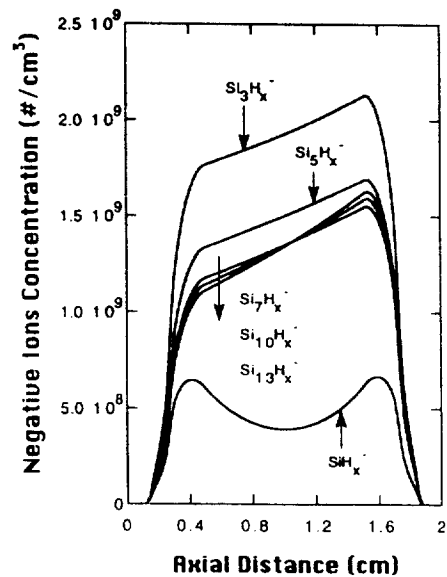


Fig. 6 The evolution of negative Ion concentration profiles along the axial distance for various electric field.