

SiON 박막 증착에 사용된 플라즈마에 대한 진단

Diagnosis on Plasma Utilized for the Deposition of SiON Thin Films

김기현, 김현석, 성만영, 김상식

(Ki Hyun Keem, Hyun Suk Kim, Man Young Sung, and Sang Sig Kim)

Abstract

In this study we attempted to diagnose the states and properties of plasma generated while depositing SiON thin films using PECVD (plasma-enhanced chemical vapor deposition). The temperature and density of electron gases formed in a PECVD chamber were measured by Langmuir probe method. Their values were also estimated under some assumptions we made in this work. Comparison between experimental and theoretical values of the temperature and density of electron gases was made. The experimental and estimated results revealed that, as RF power gets higher, the electron density linearly increases, but that the electron temperature does not vary.

Key Words : Plasma, SiON, Diagnosis, PECVD, Langmuir

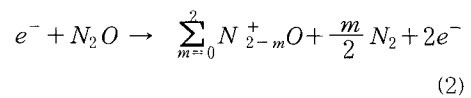
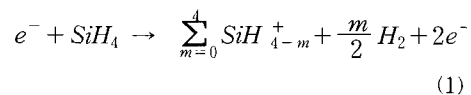
1. 서론

SiON 박막은 게이트 물질로 이용되고 열광학적 인 (thermo-optical) 능동 소자의 구현을 위하여 쓰이며, 또한 가시광선과 적외선 파장영역에서 낮은 흡수 손실을 가져 집적광소자에 응용되고 있다. SiON 박막이 광소자에 널리 응용되는 또 다른 이유는 이 박막의 굴절률이 1.46(SiO₂) ~ 2.02(Si₃N₄) 사이의 큰 범위에서 [O]/[N]의 비율에 의해 쉽게 조절될 수 있다는 점이다[1].

PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition)는 낮은 온도에서 박막을 형성할 수 있으므로 SiO₂나 Si₃N₄ 박막과 함께 SiON 박막 증착에 주로 사용된다.[2] PECVD를 이용하여 SiON 박막 증착에 사용되는 플라즈마 상태는 박막 증착에 많은 영향을 미치는 데, 이런 플라즈마

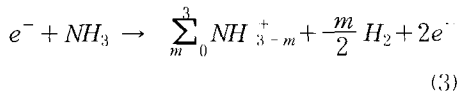
상태의 이해를 위한 진단은 보다 양질의 박막을 얻는 데 중요하다. 플라즈마 진단에 대한 연구에선 Ar, O₂ 등의 단일 원자 플라즈마에 대한 연구가 주로 이루어져 왔으나, PECVD를 이용한 SiO₂나 Si₃N₄ 합성이 일반화 된 뒤부터 SiH₄와 NH₃ 등의 분자 플라즈마들에 대한 연구 역시 진행되기 시작했다. 이러한 현황에서 본 그룹은 PECVD를 이용한 SiON 박막 증착시에 발생하는 플라즈마에 대한 연구를 하였다.

PECVD으로 SiON을 증착할 때, 주입되는 SiH₄, N₂O, NH₃ 가스는 아래 식으로 표현되는 과정을 통해 이온화 (ionization)하여 전자가스와 양이온 가스를 형성한다.



고려대학교 전기공학과
(서울시 성북구 안암동 5가)
Fax : 02-3290-3894

Corresponding Author : blast79@korea.ac.kr
2002년 8월 13일 접수, 2002년 9월 30일 1차 심사완료,
2002년 10월 22일 2차 심사완료, 2002년 11월 11일 3차 심사완료



이들 음 전하와 양 전하 가스들이 플라즈마 가스를 형성한다. PECVD으로 SiON을 증착할 때 형성되는 열평형 상태의 플라즈마는 일정한 전자 온도와 일정한 전자 밀도(밀도)를 갖는다. 이들 전자 온도와 전자 밀도는 랑뮤어 탐침 (Langmuir probe)으로 측정할 수 있다. 또한, 중성이온의 이온화에 의한 플라즈마의 생성율과 플라즈마 경계 밖으로의 손실율이 같다는 사실을 이용하여 전자의 온도와 밀도를 이론적으로도 구할 수 있었다[3].

SiH₄, N₂O, NH₃ 가스의 플라즈마는 반응의 복잡성으로 인해 플라즈마 진단이 쉽지 않다. 특히, SiH₄의 경우, 전자 온도와 전자 밀도를 실험적으로 측정하는 데 있어서 랑뮤어 탐침의 팁 (tip)에 대한 증착 때문에 측정에 어려움이 있다[3]. 이러한 상황에서 본 연구는 SiON 박막 증착에 이용되는 SiH₄, N₂O, NH₃ 플라즈마의 이온화 현상에 대하여 진단하고자 하였다. 따라서 본 논문은 N₂O와 NH₃에서의 전자 온도와 전자 밀도를 랑뮤어 탐침으로 측정하고 전자 온도와 전자 밀도의 이론값을 구하여 측정치와 비교하였다. SiON 박막 증착시에 이용되는 SiH₄, N₂O, NH₃ 혼합 플라즈마의 전자온도와 전자밀도를 측정하고 이론적으로 그 값을 유도하였다. RF (radio frequency) 파워 변화에 대한 전자 온도와 전자 밀도의 의존성도 조사하였다.

2. 본 론

2.1 실험

본 SiON 박막을 증착하는 데 사용된 PECVD는 RF glow 방전 (glow discharge) 방식으로 플라즈마를 형성한다. 본 연구에 적용된 RF 주파수는 13.56 MHz 이고, 반응로 내의 전극 간격은 4.5 cm이다. SiH₄, N₂O 및 NH₃ 가스를 각각 10 sccm, 25.2 sccm, 12.8 sccm으로 주입하여 15분 동안 SiON 박막을 증착하였다. RF 파워를 50, 80, 100, 120 W로 다르게 해서 SiON 박막들을 합성하였다.

플라즈마에 대한 I-V 곡선을 얻기 위해서, 랑뮤어 탐침과 함께 오실로스코프 (Tektronix TDS 3032)와 전력공급 (PS280)이 사용되었다. 탐침에 인가된 전압과 주파수는 150 ~ 150 V와 40 Hz 의 톱니파이다. 부하저항은 148.9 kΩ을

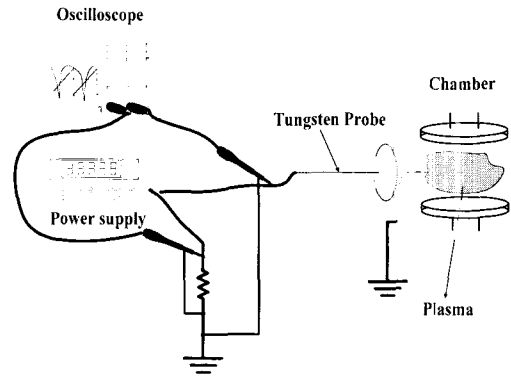


그림 1. 랑뮤어 탐침 실험의 장치 구성.

Fig. 1. Langmuir probe circuit for electron temperature and density measurements.

사용하였다.

탐침 선 (probe wire)은 플라즈마에 의해 발생하는 스퍼터링 현상을 최소화하기 위해 텅스텐 (W)으로 제작하였고, 선의 직경은 120 μm이다. 선은 유리봉으로 밀봉하여 반응로 내부로 삽입시켰으며, 탐침 선의 앞부분 0.5 cm만 플라즈마에 노출되게 하였다. 이와 같은 방법으로, N₂O 와 NH₃ 가스의 단일가스와 SiON 박막 합성시의 혼합가스에 대하여 전자 온도와 전자 밀도를 측정하였다. RF 파워를 변화시키면서 전자온도와 전자 밀도를 10회씩 측정한 후 평균화하였다. 실험 장치의 구성은 아래 그림과 같다[4,5].

2.2 결과

그림 2는 랑뮤어 탐침을 이용하여 측정된 I-V 특성곡선을 보여주고 있다. I-V 특성곡선은 탐침에 인가된 전압에 대하여 전자나 이온에 의해 흐르는 전류의 곡선이다. 탐침에 인가된 전압이 플라즈마의 공간전위(plasma potential) 보다 아주 작은 경우 양이온만 수집되고, 인가전압이 플라즈마의 공간전위 값에 가까워지면 전자도 함께 탐침에 수집된다. 인가전압이 플라즈마의 공간전위보다 크게 되면 전자의 전류는 포화 상태에 이르게 된다.

그림 2의 I-V 특성곡선에서 이러한 포화상태를 볼 수 있다. 탐침에 의해 검출되는 전자의 전류량의 인가전압에 따른 변화가 볼츠만 관계식 (Boltzmann Relation) 을 따른다면 I-V 특성곡선으로부터 전자의 온도를 구할 수 있다.

또한, 전자 밀도는 측정된 전자 온도와 전자에 의한 포화 전류를 이용해서 구할 수 있다. 따라서 전자 온도와 전자 밀도는 그림 2의 I-V 특성 곡선과 다음의 두 식으로 구할 수 있다.

$$\frac{kT_e}{e} = \frac{\Delta V}{\Delta \ln|I|} \quad (4)$$

$$n_e = \frac{4I_e}{eA \left(\frac{8kT_e}{\pi m_e} \right)} \quad (5)$$

위 식에서 T_e 는 전자 온도, k 는 볼츠만 상수, n_e 는 전자 밀도, I_e 는 전자에 의한 포화 전류, A 는 탐침의 표면적, m_e 는 전자의 질량이다[3].

그림 3은 랑뮤어 탐침을 이용하여 RF 파워변화에 따라서 N_2O 와 NH_3 의 전자 온도를 측정된 결과이다. RF 파워의 변화에 각각의 가스의 전자 온도는 큰 차이를 나타내지 않는 것을 알 수 있다. 이는 RF 파워 변화에 상관없이 전자온도는 일정함을 나타낸다.

SiH_4 , N_2O , NH_3 의 혼합 가스를 사용해서 $SiON$ 박막 증착시 발생하는 플라즈마 상태의 전자 온도와 전자 밀도값을 유추하고자 하였다. SiH_4 를 이용한 플라즈마 생성시, 탐침 팁에 증착이 일어나므로 랑뮤어 탐침에 의해서 전자 온도와 전자 밀도를 측정하기가 힘들다. 하지만, 증착이 진행되더라도 짧은 측정시간으로 몇 번 측정하고 측정된 값들의

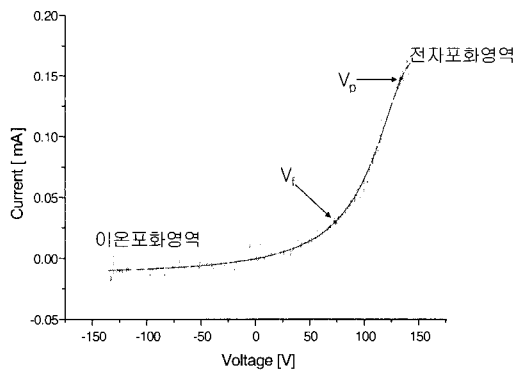


그림 2. 랑뮤어 탐침으로 측정된 전류-전압특성곡선(측정된 결과는 tool을 사용하여 smoothing 되었다.)

Fig. 2. I-V characteristic curve obtained by langmuir probe measurements.

경향을 분석해서 혼합가스의 전자 온도와 전자밀도를 유추할 수 있다. 여기서 사용한 측정시간은 플라즈마를 on하고 off한 5초이다. 이 혼합가스의 경우, RF 파워 100 W에 대해서만 실험을 하였다. 랑뮤어 탐침을 이용하여 3회 측정을 해본 결과 전자 온도는 1.76, 2.33, 4.48 eV로 증가하는 경향을 보였고, 전자 밀도는 6.867×10^{10} , 5.214×10^{10} , $4.361 \times$

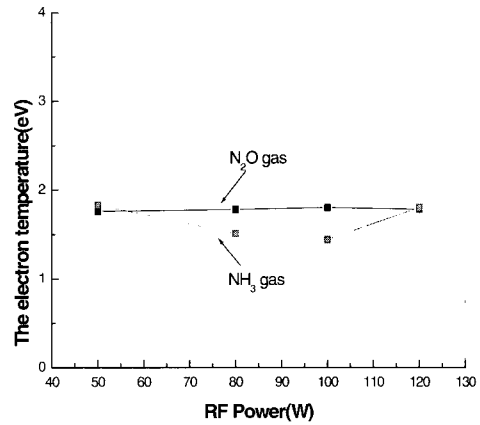


그림 3. RF 파워 변화에 따른 가스의 전자온도.
Fig. 3. The electron temperature of gases at varied RF power.

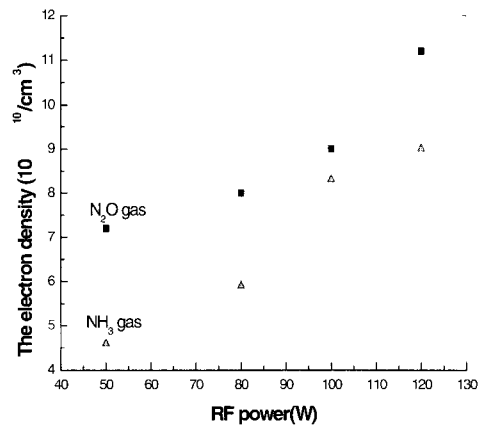


그림 4. RF 파워 변화에 따른 N_2O 와 NH_3 의 전자 밀도.
Fig. 4. The electron density of gases at various RF power.

10^{10} cm^{-3} 으로 감소하는 경향을 보였다. 랑뮤어 탐침의 측정 시간 동안 탐침이 증착됨으로 첫 회 측정값이 실제의 값에 보다 가깝다. 첫 회 값이 어느 정도 신뢰 할 수 있는 값인지 토의 부분에서 이론치와 비교함으로 논의하겠다.

2.3 이론

N_2O 가스, NH_3 가스, 그리고 혼합가스 (SiH_4 , N_2O , NH_3)로부터 전자가 이온화하여 반응로에 형성된 전자가스의 온도와 밀도는 실험적으로 랑뮤어 탐침을 사용해서 측정할 수 있었다. 얻어진 측정치의 신뢰성을 알아보기 위하여 적절한 가정을 세워서 전자 온도와 전자 밀도를 이론적으로 구하였고 측정치와 비교하였다.

PECVD로 SiON을 증착할 때 형성되는 열평형 상태의 플라즈마는 일정한 전자 온도와 일정한 전자 밀도를 갖는다. 열평형 상태에서 중성 이온의 이온화에 의한 전자 생성율과 플라즈마 공간 가장자리에서의 전자 소멸율은 같다는 사실을 이용하여 전자 온도와 전자 밀도를 이론적으로 구할 수 있다. 본 계산에서 커패시터 (capacitor)에 형성된 플라즈마의 기하학적 형태는 평행 평판 선극에 커패시터를 직렬 연결한 capacitively coupled plasma (CCP)이다. 실험 조건은 각각의 가스의 경우 압력은 1.2 torr이고, 세 가스를 혼합하였을 때 압력은 1.6 torr로써 가스의 비율은 $\text{SiH}_4:\text{N}_2\text{O}:\text{NH}_3 = 2:3:5$ 로서, 이 조건으로 계산을 수행하였다. 중성 가스와 양이온의 에너지는 0.05 eV로 설정하였다. 이온화 충돌에 의한 하전입자의 생성율은 플라즈마 경계 밖으로 소멸되는 양이온 전류값과 같다는 플라즈마 평형상태를 식으로 표현하면 식(6)과 같고, 이 식으로부터 전자 온도를 계산할 수 있다 [3].

$$n_0 u_B (2\pi R^2 h_l + 2\pi R d h_R) = K_i n_g n_0 \pi R^2 d \quad (6)$$

여기서 h_l , h_R 은 각각 축과 지름방향으로의 쉬스 (sheath)에서의 이온 밀도와 플라즈마 내에서의 전자(또는 이온) 밀도의 비율 나타낸다. 그리고 K_i 는 ionization rate constant, u_B 는 Bohm 속도, n_g 는 중성가스의 밀도, n_0 는 플라즈마의 밀도, R 은 커패시터 전극의 반지름, d 는 플라즈마의 길이 (커패시터 사이의 거리와 쉬스의 길이의 차)이다. 본 연구에 사용된 커패시터가 실린더 형태이므로, 지름방향의 쉬스에 존재하는 이온의 수를 무시할 수

있다. 따라서 $h_R \approx 0$ 이라 가정할 수 있고, 식(6)은 다음과 같은 형태로 간단히 정리할 수 있다.

$$\frac{K_i}{u_B} = \frac{2}{n_g d} \left(\frac{n_s}{n_0} \right) \quad (7)$$

본 실험조건에서 압력은 단일 가스의 경우 1.2 torr, 세 가스를 혼합하였을 경우 1.6 torr로써, 이 압력에서 전자의 평균자유행로는 커패시터 사이의 거리보다 매우 짧다. n_s 는 쉬스에서의 양이온의 밀도이고, 이러한 경우 n_s/n_0 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{n_s}{n_0} = \left(1 + \left(\frac{d}{\pi} \frac{u_B}{D_A} \right)^2 \right)^{-1/2} \approx \frac{\pi D_A}{d u_B} \quad (8)$$

여기서 D_A 는 ambipolar 확산계수로써 다음과 같다.

$$D_A = D_i (1 + T_e / T_{gas}) \quad (9)$$

$$D_i = \left(\frac{\pi k T_i}{8 n_g^2} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{M_i \sigma_{m,i}} \right)^{1/2} \quad (10)$$

식 (10)에서 D_i 는 양이온의 확산계수, k 는 볼츠만 상수, T_i 는 이온의 온도, M_i 는 이온의 질량, $\sigma_{m,i}$ 는 양이온의 충돌 단면적(collision cross section)이다.[3] T_i 를 0.05 eV로 가정하여 SiH_4 , N_2O , NH_3 가스의 D_i 를 계산하였다. 그 결과값 D_i 와 M_i 와 $\sigma_{m,i}$ 값을 표1에 기술하였다.

표 1. 가스의 종류에 따른 확산계수 ($p = 1.2$ torr).

Table 1. Diffusion coefficient for gases.

가스	$M_i (10^{-26} \text{ kg})$	$\sigma_{m,i} (10^{-19} \text{ m}^2)$	$D_i (m^2/s)$
SiH_4	5.32	1.15	0.11
N_2O	7.31	0.65	0.17
NH_3	2.82	1.33	0.13

플라즈마의 형성에서 SiH₄, N₂O, NH₃ 가스의 이온화 과정은 이미 서론에서 보여주었다. 본 연구에서는 각 가스가 이온화하는 과정 중에서 가장 확률이 높은 과정만 고려하여 계산하였다. 서론에서 식 (1-3)에 기술한 이온화 반응식에서 SiH₄의 경우에는 m=1,2, NH₃의 경우에는 m=0,1의 반응이 잘 일어나는 것으로 알려져 있다[6,7].

N₂O의 경우에는 플라즈마 발생에 대한 이온화 반응이 거의 알려져 있지 않다. 따라서 m=0,1,2인 경우를 고려하여 계산하였다. 식 (8)를 식 (7)에 대입하여 정리하고, 이온화되는 화학반응의 합으로써 표현하면,

$$\sum_i K_i(T_e) n_i = \frac{2\pi D_A(T_e)}{d^2} \quad (11)$$

여기서 ionization rate constant K_i는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$K_i(T_e) = \sigma_0 v_e \left(1 + \frac{2T_e}{E_{iz}}\right) e^{-E_{iz}/T_e} \quad (12)$$

이 식에서 E_{iz}는 이온화 에너지, σ₀는 ionization cross section이고, v_e는 전자의 속도이다. σ₀와 v_e는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_0 = \pi \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 E_{iz}} \right)^2, \quad v_e = \left(\frac{8kT_e}{\pi m_e} \right)^{1/2} \quad (13)$$

표 2. 가스의 종류에 따른 σ₀(10⁻²⁰m²), E_{iz}(eV), K_i

Table 2. σ₀, E_{iz}, K_i for gases.

가스	σ ₀	E _{iz}	K _i (m ³ /s)
SiH ₄	4.8	11.65	3.2 × 10 ⁻¹⁴ (T _e ^{1/2} + $\frac{2T_e^{3/2}}{11.65}$) e ^{-11.65/T_e}
N ₂ O	3.9	12.89	2.6 × 10 ⁻¹⁴ (T _e ^{1/2} + $\frac{2T_e^{3/2}}{12.89}$) e ^{-12.89/T_e}
NH ₃	5.5	10.85	3.7 × 10 ⁻¹⁴ (T _e ^{1/2} + $\frac{2T_e^{3/2}}{10.85}$) e ^{-10.85/T_e}

SiH₄, N₂O, NH₃ 가스의 이온화 에너지 E_{iz}는 알려져 있으므로, 이들 세 가스의 ionization cross section σ₀를 계산할 수 있다. E_{iz}와 σ₀의 값을 식 (12)에 대입해서, SiH₄, N₂O, NH₃ 가스의 ionization rate constant K_i를 전자 온도(T_e)만의 함수로 구할 수 있다. 이 결과 식들을 E_{iz}, σ₀와 함께 표2에 정리하였다.

표 1의 D_i값과 표2의 K_i값을 식 (9)에 대입하여, SiH₄, N₂O, NH₃ 가스의 전자 온도를 계산하였다. SiH₄, N₂O, NH₃ 가스가 혼합되어 있는 경우의 확산계수를 이들 상호간의 확산을 고려하지 않는다고 가정한다면 아래 식 (14), (15)와 같이 가스의 부분압에 대한 평균값을 계산할 수 있고, 이를 통하여 전자 온도를 계산하였다.

$$D_I = \frac{1}{5} D_{i, SiH_4} + \frac{3}{10} D_{i, N_2O} + \frac{1}{2} D_{i, NH_3} \approx 0.14 m^2/s \quad (14)$$

$$D_A = D_I (1 + T_e/T_{gas}) = 0.14 (1 + T_e/T_{gas}) \quad (15)$$

식 (11)로부터 구한 전자 온도를 각각의 가스에 대해서 표3에 정리를 하였다(비교하기 위하여 실험치도 표3에 넣었다). 표3이 보여 주듯이, 전자 온도는 주입 가스의 종류에 따라서 값이 크게 다르지 않다[8].

식 (11)을 보면, RF 파워에 대한 항이 없다. 따라서 전자 온도는 RF 파워에 의존하지 않음을 알 수 있다.

다음은 플라즈마 내의 전자 밀도를 계산하였다. 외부에서 가해진 단위부피당 파워를 P_w, 전극 사

표 3. 가스의 종류에 따른 T_e의 계산치와 실험치.

Table 3. Calculated and experimental values of T_e for gases.

	계산값(eV)	랑뮤어 탐침(eV)
SiH ₄	0.94	-
N ₂ O	1.1	1.8
NH ₃	0.87	1.44
SiON	0.89	1.76

이의 전압을 V_d , RF 진동수를 ω 라 했을 때, 전자 밀도의 평균값 $\langle n_e \rangle$ 는 식 (16)으로부터 계산될 수 있다.

$$\langle n_e \rangle = \frac{2P_{in}L_z M_e \sqrt{\omega^2 + \nu_{ea}^2}}{V_d \cdot e^2 E_f} \quad (16)$$

E_f 는 플라즈마 내의 전기장이고, ν_{ea} 는 충돌 진동수로써 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{2e^2 E_f}{3m_e \nu_{ea}} = \chi_{ea} \nu_{ea} (T_e - T_{gas}) \nu_{ea} = n_g \sigma_{m,i} \nu_e \quad (17)$$

이 관계식에서, χ_{ea} 는 전자-분자 충돌시 에너지 전달 파라미터이고, y_i 는 i 종의 mass fraction이다. 다음과 같이 표현된다.

$$\chi_{ea} = 2m_e \sum_i y_i / M_i \quad (i = SiH_4, NH_3, N_2O) \quad (18)$$

표 4. 각각의 가스에 대한 전자 밀도 계산을 위한 파라미터.

Table 4. Parameters for electron density calculation for gases.

가스	$n_g (m^{-3})$	$\chi_{ea} (10^{-5})$	$T_e (eV)$
SiH_4	3.86×10^{22}	3.4	0.94
N_2O		2.6	1.1
NH_3		6.5	0.87
$SiON$	5.79×10^{22}	4.7	0.89

표 5. 각각의 가스에 대한 전자 밀도 계산을 위한 파라미터.

Table 5. Parameters for electron density calculation for gases.

가스	$\nu_e (10^5 m/s)$	$\nu_{ea} (10^9 s^{-1})$	$E_f (V/m)$
SiH_4	6.5	2.9	46.6
N_2O	7.0	1.8	27.8
NH_3	6.2	3.2	70.0
$SiON$	6.3	4.2	79.0

표4와 표5는 전자 밀도를 계산할 때 사용된 χ_{ea} , T_e , ν_{ea} , ν_e , E_f 의 값을 보여준다.

2.4 검토

각각의 가스에 따른 플라즈마 전자의 밀도 n_e 을 RF 파워 100 W에서 계산해서, 표6에 정리하였다 (비교하기 위하여 측정치도 표6에 실었다). 전자 밀도도 주입 가스의 종류에 따라서 값이 크게 다르지 않다.

그림 5에 RF 파워 변화에 따른 N_2O , NH_3 의 전자 밀도 계산값과 측정값을 나타내었다.

표 6. 가스의 종류에 따른 전자 밀도 n_e 의 계산치와 실험치 (P=100W).

Table 6. Calculated and experimental values of electron density for gases.

	계산값 (cm^{-3})	측정값 (cm^{-3})
SiH_4	1.7×10^{10}	
N_2O	2.3×10^{10}	9.0×10^{10}
NH_3	1.6×10^{10}	8.3×10^{10}
$SiON$	1.8×10^{10}	6.9×10^{10}

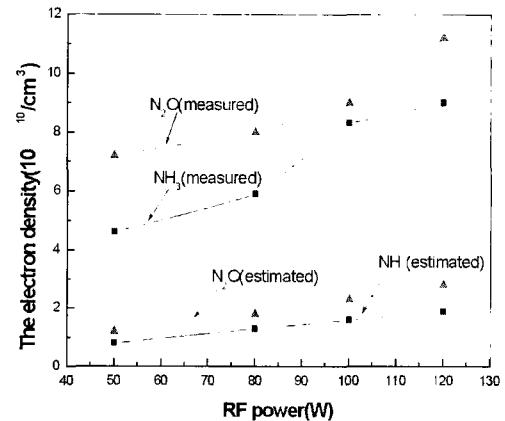


그림 5. RF 파워 변화에 따른 N_2O 와 NH_3 의 전자 밀도.

Fig. 5. Calculated and experimental values for N_2O , NH_3 gases as a function of RF power.

N_2O , NH_3 의 가스 경우에서, 전자 밀도의 이론치 경향을 보면, 전자 밀도가 RF 파워에 따라 선형적으로 증가하였다. RF 파워가 증가됨에 따라서 중성 가스의 이온화가 강해지고, 이온화에 의해 전자가 중성 가스로부터 이탈하는 전자의 수가 증가하게 되므로 전자 밀도는 증가하게 된다. 이와 같은 이론치의 경향은 실험치와 같다. 이론치의 절대값을 보면, 실험치의 절대값보다 약간 작은 수치이나 1 order내에서 일치되는 값이다. 램뷰어 탐침을 이용하여 전자 밀도와 온도를 측정하는 중에 반응로 내의 양이온에 의하여 스퍼터링 및 식각됨으로써 탐침 팁의 표면적이 변화하게 되어 실제값과 다소의 차이를 갖게 된다. 그림5에서 전자 밀도의 이론치와 측정치가 유사한 경향을 갖는 것을 통하여 모델링이 적합함을 알 수 있다.

N_2O , NH_3 가스에서 전자 온도의 이론치를 보면, RF 파워에 대한 항이 명시적으로 의존하지 않고 있음을 알 수 있다. 측정치의 경우도 오차의 폭이 있지만 RF 파워의 변화에 특별한 관련을 보이고 있지 않다. RF 파워를 증가시키면 전극사이에 전기장이 형성되는데, 이러한 전기장의 대부분이 쉬스(sheath)에 형성되므로 실질적으로 전자들이 존재하는 영역에는 큰 전기장이 형성되지 않는다. 즉, RF 파워가 증가하여도 각각의 전자에 주어지는 에너지의 증가량은 미소하므로 전자 온도는 거의 변화가 없다.

SiON 박막 증착시 발생하는 플라즈마에서의 전자 온도와 전자 밀도를 RF 파워 100 W에서 계산할 때 0.89 eV와 $1.8 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 을 얻었다. 이들 이론치들은 탐침에 증착이 일어나는 상황에서 측정된 값들의 초기 수렴값에 접근한다. (측정 전자 온도는 1회 1.76 eV, 2회 2.33 eV, 3회 4.48 eV이고, 전자 밀도는 1회 $6.867 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 2회 $5.214 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, 3회 $4.361 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$) 측정치의 경향과 이론치를 비교해서, SiON 박막 증착시의 전자 온도는 0.89 eV와 1.76 eV 사이의 값이고 전자 밀도는 $1.8 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 과 $6.867 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 사이의 값이라고 유추할 수 있다.

3. 결론

본 연구는 N_2O 및 NH_3 플라즈마와 SiON 박막 증착시 발생하는 플라즈마에서의 전자 밀도와 전자 온도를 실험적으로 측정하고 이론적으로 값들을 유도하였다. 전자 밀도와 전자 온도를 결정하여

플라즈마의 상태를 유추하고, 이를 통해 플라즈마와 박막 형성과의 관계를 알 수 있다. 전자 밀도가 증가하면 중성가스와 전자의 충돌횟수가 증가하므로 박막 형성에 기여하는 라디칼들의 농도가 증가하게 된다. N_2O 및 NH_3 플라즈마에 대한 실험과 이론의 결과를 보면, RF 파워가 증가함에 따라서 플라즈마 내에 전자 밀도는 선형적으로 증가하였고, 전자 온도는 변화가 없었다. 그리고 RF 파워 100W일 때, SiON 박막 증착시의 전자 온도는 0.89 eV와 1.76 eV 사이의 값이고, 전자 밀도는 $1.8 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 와 $6.867 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 사이의 값이라고 유추할 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. Viard, "Composition-density and refractive index relations in PECVD silicon oxynitrides thin films", J. of the European Ceramic Society, Vol. 17, No. 15, p. 2001, 1997.
- [2] 최현식, 이철인, 장의구, " N_2O 가스를 사용하여 PECVD로 성장된 Oxynitride 막의 특성", 전기전자재료학회논문지, 9권, 1호, p. 9, 1996.
- [3] M. A. Lieberman, "Principles of Plasma Discharges and Material Processing", John Wiley & Sons, 1994.
- [4] Y. Choi, "Measurement of electron characteristics in RF plasma", 석사학위논문, Nuclear Engineering, Hanyang Univ., Seoul, 1997.
- [5] T. Kang, "Measurement of charge on dust particles in a DC glow discharge plasma", 석사 학위논문, Mechanical Engineering, Hanyang Univ., Seoul, 1998.
- [6] M. J. Kushner, "A model for the discharge kinetics and plasma chemistry during plasma enhanced chemical vapor deposition of amorphous silicon", J. Appl. Phys., Vol. 63, No. 8, p. 2532, 1988.
- [7] M. J. Kushner, "Simulation of the gas-phase processes in remote-plasma-activated chemical-vapor deposition of silicon dielectrics using rare gas-silane-ammonia mixtures" J. Appl. Phys., Vol. 71, No. 9, p. 4173, 1992.
- [8] M. Masi, G. Besana, "Modeling of silicon

- nitride deposition by RF plasma-enhanced chemical vapor deposition", Chem. Eng. Sci., Vol. 49, No.5, p. 669, 1994.
- [9] 최연식, 신용섭, 곽동주, 하양진, "글로우 방전 플라즈마에 의한 탄산가스 전환특성", 전기전자재료학회논문지, 11권, 3호, p. 248, 1998.
- [10] 이상희, 이덕출, "RF 플라즈마 CVD 법에 의한 다이아몬드 박막의 합성", 전기전자재료학회 논문지, 11권, 7호, p. 669, 1998.
- [11] 백승권, 이형운, 하성철, "전자 Swarm 법에 의한 SiH₄ 플라즈마의 전자이동속도 및 특성 에너지 해석", 전기전자재료학회논문지, 12권, 1호, p. 88, 1999.