

Special
Thema

| 플라즈마 공정 시 비 접촉식 방법으로 이온에너지 분포 및 상태변수 측정 연구

오세진 공학석사
(한양대 전기공학과)
윤인창 석사과정
(한양대 전기공학과)
정진욱 교수
(한양대 전기제어생체공학부)

1. 서론

일반적으로 플라즈마 장치는 반도체 소자의 제조 공정 시 고주파 전력을 통해 발생된 플라즈마를 이용하여 박막을 형성하거나 또는 제거하는 장치이다. 이러한 플라즈마 처리 장치는 처리 공간 내의 이온 에너지 분포의 균일성이 매우 중요한 요소로 작용한다. 특히 플라즈마를 이용한 식각 장비에 있어서, 플라즈마 내의 라디칼(Radical)에 의한 화학적 반응뿐만 아니라 높은 에너지의 이온 포격으로 인한 물리적 반응을 통해 식각이 이루어진다. 따라서 이온에너지분포가 불균일할 경우 국부적으로 과도한 식각이 진행되어 하부패턴에 손상을 주게 되고(Over Etch), 일부에서는 식각이 이루어지지 않는 문제(Etch Stop)가 초래된다.

최근 연구 결과들에 의하면 PR Damage(Striation, PR Collapse) 정도가 이온 에너지와 상관관계가 있음이 밝혀져 80 nm 식각공정 PR Damage 최소화를 위해서는 공정 조건에 따른 이온에너지 분포를 아는 것이 매우 필수적인 사항이 되었다. 따라서 80 nm 이하 식각 공정 메커니즘 규명과 정밀한 식각 패턴 제어를 위해서는 이온에너지분포와 공정결과를 비교 연구해야 하고 이러한 연구 결과는 장비 개발 방향성 제시와 개발 장비의 성능 개선에 응용되고 식각 장비개발과 공정 최적화에 적용될 수 있다. 그러나 이온에너지분포를 측정하기 위해 상용 분석기를 사용하는 방법은 모두 챔버 내에 분석기를 삽입 장착하여야 하는 단점이 있다. 그리드 분석기인 경우 이온 에너지 분포 측정을 위해서는 챔버 내부의 기판을 제거한 상태에서 분석기를 고정하기 위한 척(Chuck)을 새로 제작하여 챔버에 장착한 다음, 이온 에너지 분포를 측정한다. 따라서 기존의 구조와 조금 다른 챔버에서 사용할 수 없는 호환성 문제가 있고, 공정이 진행되는 중에도 사용할 수 없다는 단점이 있다.

최근 연구에 의하면 실제 공정 시 여러 가지 요인에 의해 실제 공정을 가동하지 않은 상태에서 얻은 이온 에너지 분포 결과가 실제 공정 중의 결

과와 다르게 나타난다. 따라서 실제 공정 시 정확한 실시간 이온 에너지 분포 측정에 어려운 문제가 있다. 또한 질량 분석기를 이용하는 경우에는 정확한 측정을 위해 기관과 인접하도록 질량 분석기를 설치하여야 하고, 챔버 내부에 설치 공간이 확보되어야 하며, 이를 고정시켜야 하는 어려움이 있다. 게다가 질량 분석기는 매우 고가의 장비이므로 이를 상용하는 장비의 단가가 상승하게 되는 요인이 된다. 또한 챔버 내부에 직접 삽입 장착되고, 플라즈마와 직접 접촉함으로써 인해 질량 분석기 자체가 플라즈마에 의해 오염되는 문제가 발생하고, 이러한 오염으로 인해 이차적으로 기관이 오염되는 문제가 발생한다. 그리고 그리드 분석기와 마찬가지로 공정이 진행되는 중에는 사용할 수 없다. 따라서 상기의 문제점을 해결하기 위하여 플라즈마와 직접 접촉하지 않고, 챔버의 외부에서 플라즈마의 이온 에너지 분포를 실시간으로 측정할 수 있고, 이러한 이온 에너지 분포 변화를 통해 공정 시 결함이 발생한 시점을 분석할 수 있는 플라즈마 장치용 비접촉식 이온 에너지 분포 측정 시스템 및 이를 이용한 이온 에너지 분포 측정 방법을 개발하는 것이 필요하다.

2. 본론

2.1 측정 원리 개요

이온에너지분포를 측정하기 위해 챔버 내에 직접적으로 일반적인 상용 분석기를 설치하지 않고 그림 1에서와 같이 챔버 외부에서 전압(Vm)과 전류(Im)를 측정하여 챔버의 구조적인 특성을 고려한 변환 프로그램을 사용한다. 변환 프로그램으로 실제 바이어스 전극에 걸리는 전압(Vpe) 및 전류(Ipe)로 변환한 후 유추한 전극 전압과 공정 시 측정된 플라즈마 상태 변수들(플라즈마 전위, 전자 온도, 플라즈마 밀도 등)과의 관계를 분석하여 실시간 웨이퍼 쉬스의 강하 전압(Vps)을 구한다. 마지막으로 쉬스를 전극의 주파수 변화에 따른 진동 모델로 해석한 프로그램을 사용하여 실시간 이온 전류밀도를 구한다.

2.2 실제 전압, 전류 변환 모델링

챔버 외부에서 측정된 전압, 전류 신호(Vm, Im)는 챔버의 기생 커패시턴스 및 구조로 인한 임피던스 변화의 영향으로 실제 전극에서의 전압 및 전류 신호(Vpe, Ipe)와는 차이가 있다. 그러므로 이를 변환하기 위해 식1과 같이 S-Parameter 변환을 적용한다. 우선 초기 보정을 위해 플라즈마를 발생시키지 않는다. 그리고 식2와 같이 전극의 실제 전압, 전류 신호와 외부에서 측정된 전압, 전류 신호를 전극과 접지 사이의 단락(Short) 및 개방(Open)일 때의 조건에 따라 측정된 변환 행렬의 계수 a, b, c, d를 얻는다. 얻어진 계수를 변환 행렬에 대입하여 플라즈마를 발생시킨 후 공정 진행 시 외부 측정 전압 및 전극 신호 측정을 통하여 실제 전극의 전압, 전류 신호를 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_m \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{pe} \\ I_{pe} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} V_{pe} \\ I_{pe} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \\ I_m \end{bmatrix} \quad (ad - bc = 1)$$

식 1. 외부 전압, 전류 신호 변환 식.

$$a = \left(\frac{V_m}{V_{pe}} \right)_{I_{pe}=0}, \quad c = \left(\frac{I_m}{I_{pe}} \right)_{I_{pe}=0}, \quad b = \left(\frac{V_m}{I_m} \right)_{I_{pe}=0}$$

식 2. 변환 모델링 계수.

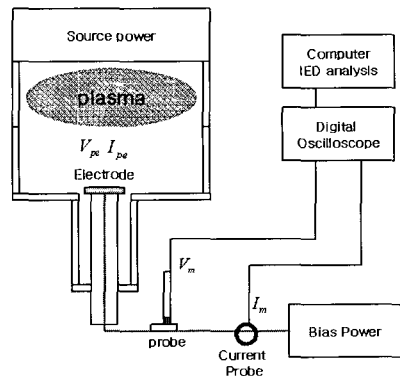


그림 1. 비접촉식 이온에너지분포 측정 개요도(챔버 외부에서 전압, 전류를 측정 후 전극에서의 전압 및 전류를 유추해내어 분석프로그램을 사용하여 이온에너지 분포를 얻을 수 있다).

2.3 쉬스 강하 전위 및 플라즈마 전위 측정

웨이퍼에 입사하는 이온은 바이어스 전극에 형성된 쉬스의 전위차에 의해서 에너지를 얻기 때문에 비 접촉식 방식으로 이온에너지 분포를 구하는 데 가장 필수적인 요소는 플라즈마 전위 측정이다. 식3에서와 같이 쉬스 강하 전위는 플라즈마와 바이어스 전극의 전위차이다.

$$E_{ion} \approx eV_{sheath} (V_{sheath} = V_{plasma} - V_{electrode})$$

식 3. 쉬스 강하 전위와 이온에너지 상관관계.

플라즈마 실시간 전위(Vb(t))를 알 수 있으면 바이어스 전극의 실시간 전압 신호(Vpe(t))를 측정 후 쉬스 강하 전위(Vps(t))를 구할 수 있다. 이 때 플라즈마의 실시간 변하는 전위를 측정하기 위해서 내부 측정 장치를 챔버에 삽입하여 평균 플라즈마 전위를 구한 후 실시간 변함을 바이어스 전압 신호 변화에 따른 플라즈마 전위 변화 특성을 적용하여 예측할 수 있다. 그러나 정전 탐침과 같은 내부 측정 장치를 챔버에 삽입하는 경우 완전한 비접촉식 방법이 될 수 없다. 그러므로 플라즈마 전위를 비 접촉식으로 구할 수 있는 것이 중요하다.

플라즈마 전위를 예측하기 위해서 챔버 각각의 구성 면적 비와 구성 요소를 적용하여 측정한다. 기본 원리는 총 챔버 외벽에 빠져나가는 전자전류와 이온전류는 같다는 식4를 적용하여 전자 온도 및 챔버를 구성하는 각각의 면적 비와 바이어스 전위를 예측하여 계산하면 플라즈마 전위를 구할 수 있다. 이 때 전자 온도 측정은 플라즈마 상태 변수 측정 방법에서 설명한다. 식4 장치 장비가 ICP 소스를 사용하고 챔버 하단의 전극에 RF 바이어스를 인가하는 형태인 경우 구성 요소 면적을 바이어스 전극 면적 A, 챔버 내부 그라운드 면적 B, 챔버 내 ICP 발생 안테나 소스 글래스면적 C, 이렇게 3가지로 나누어서 각각의 면적과 강하 전압을 예측하여 식5와 같이 최종 플라즈마 전위를 계산한다.

A는 바이어스 전극의 면적, B는 챔버 내부 그라운드 면적, C는 ICP 소스 글래스가 차지하는 면적이며

Vb(t)는 실시간 플라즈마 전위이며 Cs는 봄(Bhom) 속도, v는 평균 전자 속도, Va(t)는 바이어스 전극에 걸리는 전위이다. 그러므로 실제 쉬스에서 얻어지는 이온에너지의 핵심 측정 요소인 플라즈마 전위는 플라즈마 상태 변수 측정 방법을 통해 얻은 전자온도, 챔버 구조 및 구성 요소, 플라즈마 발생 장비 방식 등을 사용하여 예측 가능하다.

$$A\Gamma_{Ai} + B\Gamma_{Bi} + C\Gamma_{Ci} = A\Gamma_{Ac} + B\Gamma_{Bc} + C\Gamma_{Cc}$$

식 4. 전류 밀도 보존식.

$$V_b(t) = T_e \left(\frac{Ae^{V_b(t)/T_e} + B}{\frac{2}{v}(A+B+C)c_s - C} \right)$$

식 5. 전극 신호에 따른 플라즈마 전위.

2.4 쉬스 모델 해석

바이어스 전극에 형성된 쉬스 해석 시 사용한 쉬스 모델은 진동 쉬스 모델을 사용하였다. 쉬스 내 전하 분포는 이온 밀도만 존재하며 전자 밀도는 없다고 가정한다. 바이어스 전극에 인가하는 신호의 주파수 변화에 의해서 쉬스와 플라즈마의 경계면이 시간 경과에 따라서 진동하게 된다. 측정된 쉬스 강하 전압을 사용하여 식6에서와 같이 프아송 방정식을 풀어서 쉬스 영역의 이온밀도를 얻는다. W(t)는 쉬스의 시간 변화에 따른 길이를 나타낸다.

$$-\partial^2 V / \partial x^2 = \begin{cases} 0 & , x < W(t) \\ en_i(x,t) / \epsilon_0 & , x \geq W(t) \end{cases}$$

식 6. 프아송 방정식.

그리고 식7에서와 같이 유체 방정식을 사용하여 쉬스 영역의 이온 속도를 얻는다. 마지막으로

$$\begin{aligned} \partial u_i / \partial t + u_i \partial u_i / \partial x &= eE / m_i \\ \partial(n_i u_i) / \partial x &= -\partial n_i / \partial t \end{aligned}$$

식 7. 유체 방정식.

전극에서 유추한 이온밀도와 이온속도를 곱하여 이온 전류를 얻어 해당하는 쉬스 전위의 이온에너지 분포를 구한다. 요약하면 바이어스 전극의 1주기 동안 쉬스 강하 전압을 얻고 1주기 동안 실시간 이온 전류를 얻으며 쉬스 강하 전압 대비 이온 전류를 나타내어 총 강하 전압 영역에 대한 이온에너지분포를 구한다.

2.5 플라즈마 상태 변수 측정

플라즈마 상태 변수는 컴퓨터에서 이온에너지분포 해석 프로그램을 사용할 때 진동 쉬스 모델을 통한 이온에너지분포 계산 시 프아송 방정식과 유체방정식을 풀기 위하여 먼저 알아야 하는 반드시 필요한 값이다. 플라즈마 상태 변수인 플라즈마 밀도, 전자 온도를 구하기 위해서는 기존 방법들의 경우 실험을 통해 얻어진 데이터를 사용하거나 실제 측정 장비인 정전 탐침이나 질량 분석기 등을 챔버 내에 삽입하여 측정하였다. 이러한 방법은 앞서 플라즈마 전위 측정방법과 같이 실제 완전한 비 접촉식 방법이 아니므로 공정 시 실시간으로 측정하는 것은 불가능하다. 따라서 챔버 내부 측정 방식이 아닌 외부 측정 방식이 필요하다.

2.5.1 전자 온도 측정

전자 온도는 플라즈마 상태의 입자 균형식 (Particle Balance)을 사용하여 구한다. 입자 균형식은 전체 표면에서 손실되는 파티클과 전체 생성되는 파티클은 동일하다는 개념이다. 파티클 손실은 식8과 같고, 파티클 생성은 식9와 같다. 식8과 식9가 동일하다고 정의한 파티클 밸런스에 관해서는 식10과 같다. 식10에서와 같이 파티클 밸런스를 사용하여 전자 온도를 구하기 위해서는 K_{iz} , u_B , n_g , d_{eff} 를 알아야 한다. 이때, K_{iz} 는 전자 온도 값의 함수로서 사용 가스에 따른 데이터 값이 정해져 있다. 그리고 n_g 값은 압력 게이지에서 측정한 공정 압력 그리고 공정 가스에 따라 유추 가능하다. d_{eff} 값은 챔버 구조 분석을 통한 모델링 계수를 통해 유추 가능하다. R 은 챔버의 반지름이며 l 은 챔버의 높이를 나타내며 h 는 압력에 관한 값이다. 따라서 공정 변수 측정 수단으로부터 입력된 챔버 모델링 계수 정보와 공정 가

스 정보 및 공정 압력 정보를 통해 전자 온도를 계산할 수 있다.

$$n_0 u_B(T_e)(2\pi R^2 h_i + 2\pi R l h_r)$$

식 8. 파티클 손실식.

$$K_{iz}(T_e) n_g n_0 \pi R^2 l$$

식 9. 파티클 생성식.

$$K_{iz}(T_e)/u_B(T_e) = 1/n_g d_{eff} \leftarrow d_{eff} = \frac{Rl}{2Rh_i + lh_r}$$

식 10. 파티클 밸런스 식.

2.5.2 플라즈마 밀도 측정

전자 온도 측정 방법으로부터 얻어진 전자 온도 값과 공정 변수 측정 수단으로부터 얻어진 공정 변수(공정 가스 정보, 공정 압력 정보, 입력 파워 등)들 및 챔버 모델링 계수 정보를 이용하여 플라즈마 밀도를 계산한다. 여기서 플라즈마 밀도는 파워 균형식(Power Balance)을 이용하여 계산한다. 즉, 흡수된 파워는 손실된 파워와 같다는 원리를 이용하여 플라즈마 밀도를 계산한다. 흡수된 파워는 식11과 같고, 손실된 파워는 하기 식12와 같다. 따라서 식11과 식12가 동일하다고 정의된 파워 밸런스에 의한 플라즈마 밀도는 식13과 같다. 여기서, A 는 챔버 모델링 계수 정보를 통해 얻는 챔버 총 단면적이고, ϵT 와 u_B 는 전자 온도에 관한 함수임으로 전자 온도 측정으로부터 그 값을 얻을 수 있는 변수이다. 즉, 챔버 모델링 계수와 전자 온도를 이용하여 플라즈마 밀도를 유추할 수 있다.

$$P_{abs} = I^2 R_p \left(R_p = \frac{V}{I} \cos \phi - R_c \right)$$

식 11. 플라즈마 흡수 파워식.

$$P_{loss} = en_s u_B A \epsilon_T, \quad \epsilon_T = \epsilon_c + 2T_e + \epsilon_i$$

식 12. 플라즈마 손실 파워 식.

$$P_{abs} = P_{loss} \rightarrow n_s = \frac{P_{abs}}{en_s n_B A \epsilon_T}$$

식 13. 플라즈마 파워 보존 식.

3. 실험 장치 구성

3.1 실험 장치 개요

그림2는 실험 장치도이다. 플라즈마 소스는 유도 결합 플라즈마(ICP)로 발생시켰으며 아르곤 가스를 사용하였다. 전원 공급 장치는 주파수가 13.56 MHz이며 최대 1 kW 까지 공급할 수 있으며 진공 가변 축전기 2개로 이루어진 Alternative 형 매칭 박스에 연결되어 있다. 파워 균형식 및 입자 균형식으로 구한 플라즈마 상태 변수와 비교하기 위해 단일 정전 탐침(SLP 2000)을 사용하였다. 플라즈마 식각 공정 환경은 고주파 신호 발생기, 최대 75 W 파워 증폭기 및 L-type 매칭 박스가 연결 되어 바이어스 판에 파워를 가하여 웨이퍼에 도달하는 이온에너지를 제어하였다. 실제 바이어스 판에 걸리는 전압과 전류 측정 보정을 위한 병렬 회로가 매칭 박스 다음에 연결하였다. 오실로스코프 및 피어슨 코일을 사용하여 외부 신호선 연결 장치 한 점(Node)의 전압 및 전류를 측정하였다.

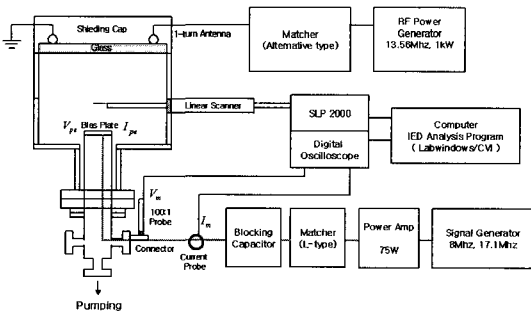


그림 2. 실험 장치도.

3.2 공정 변수 측정 수단

그림3은 Labwindows/CVI 프로그램을 사용하여 만든 메인 분석 프로그램 창으로 그림의 좌측엔 측정한 바이어스 전극 신호값과 예측된 쉬스 강하전압을 나타낸다. 우측 부분은 이온에너지분포를 나타내 준다. 그림4는 실험 환경 변화에 따른 변수값 조절을 위한 변환 창이다.

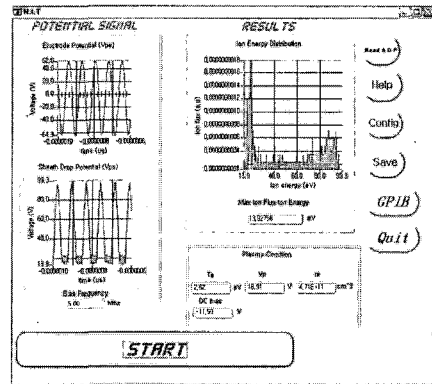


그림 3. 이온에너지 측정 메인 프로그램 창(측정된 전극 전압 신호를 사용하여 이온에너지분포 및 상태 변수를 얻는다).

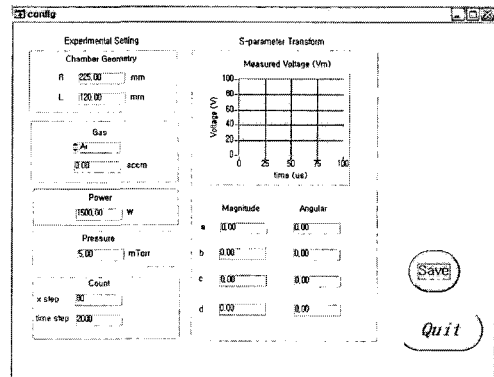


그림 4. 실험 환경 조절 창(실험 조건 및 챔버 구조 및 크기 프로그램 속도 등을 조절할 수 있다).

4. 실험 결과 및 분석

4.1 그리드 이온에너지 분석기와 비접촉식 방법의 이온에너지분포 결과 비교

비접촉식 방법의 적용 가능성을 확인하기 위해서 비접촉식 방법과 기존 이온에너지분석기를 사용하여 결과를 비교하였다. 이온에너지분석기 형태는 그리드 형으로 바이어스 전극대비 분석기의 부유를 위하여 초크필터형으로 제작하였다. 분석기의 완벽한 부유(Floating) 구현상의 어려움에 따른 상용분석기의 실제 정확한 이온에너지분포를 측정하는데는 다소 오차가 발생한다. 그러므로 분석기의 결과와 비접촉식 방법의 완전한 일치함을 얻을 수는 없다. 실제 공정 시에는 이온의 고 에너지 및 저 에너지 값과 두 에너지 차이가 측정 시 중요한 요소로 작용한다. 그

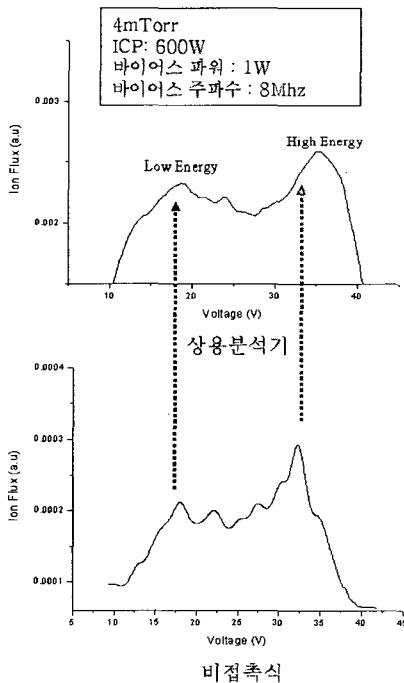


그림 5. 그리드 상용 분석기 및 비접촉식 방법 비교(저 에너지 최대값과 고 에너지 최대값의 측정이 일치한다.)

림5에서 두 방법의 경향성 일치함을 확인할 수 있었고 저 에너지 최대치 부분의 약 8.5% 오차와 고 에너지 최대치의 약 1.4% 오차를 통해서 두 측정값이 거의 일치함을 알 수 있다.

4.2 바이어스 주파수에 따른 이온에너지 분포

그림6은 바이어스 전극에 5W 파워를 고정시키고 주파수 변화에 따른 이온에너지 분포 변화 결과이다. 실제 실험상 바이어스 파워가 제대로 전극에 전달되었는지를 확인하기 위해서 단일 정전 탐침으로 바이어스 파워 유무에 따른 플라즈마 전위를 살펴봤는데 파워가 전달되었을 때 전위가 전달되지 않았을 때 전위보다 약 0.26 V 증가하였다. 전극에 걸리는 전압 신호가 접지 대비 양의 부분일 때 플라즈마 전위가 증가하고 음의 영역 일 때에는 거의 변화가 없는데 실제 실험에서 8 Mhz 정도의 주기로 인해서 실제 단일 정전 탐침에서 측정할 때 플라즈마 전위가 증가함을 보여준다.

실제로 플라즈마 전위가 크게 증가하지 않은 이유는 저지 축전지(4000 pF)로 인한 음의 자기 바이어스(-30 V)로 인해 최대 양 전위가 3 V 정도이므로 플라즈마 전위가 크게 증가하지 않았다. 바이어스 주파수 변화 실험과 마찬가지로 바이어스 파워 변화,

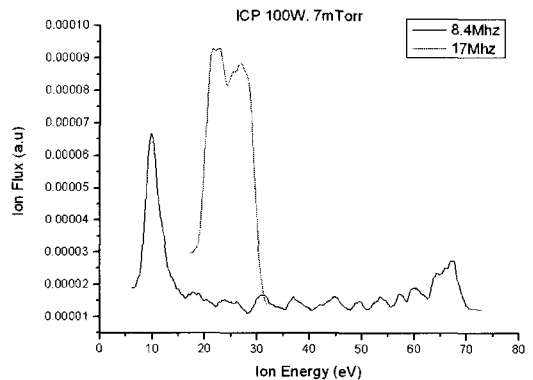


그림 6. 바이어스주파수에 따른 이온에너지분포(바이어스 주파수가 증가함에 따라 이온에너지분포 간격이 줄어들음을 알 수 있다.)

소스 파워 변화, 압력 변화 실험에서도 마찬가지로 약간의 플라즈마 상승이 측정 되었다. 바이어스 주파수가 커지면 바이어스 전압(V)과 시간(t)에 따른 이온 전류는 $\Delta t / \Delta V$ 이므로 바이어스 주파수가 증가하면 최소 에너지 피크와 최대 에너지 피크 사이의 에너지 차가 줄어들는데 실험에서 8.4 Mhz에서 17 Mhz로 증가함에 따라 에너지 차이가 급격히 감소함을 알 수 있다.

4.3 바이어스 파워 변화에 따른 이온에너지분포 측정

그림7은 바이어스 전극 주파수를 8.4 Mhz로 고정시키고 바이어스 파워 변화에 따른 이온에너지 분포 변화 결과이다. 전극의 바이어스 파워가 커짐에 따라 고정된 파워 소스(ICP 75 W)에서 전극으로 흐르는 전류는 일정하기 때문에 바이어스 파워를 증가시키면 바이어스 전극 전압이 커지게 된다. 그러므로 이온에너지 분포는 바이어스 전극 전압이 증가함에 따라 쉬스 강하 전압이 크게 되어 높은 에너지 부분의 값이 커지게 되어 양 피크의 에너지 차이가 바이어스 파워가 증가함에 따라 늘어난다.

4.4 소스 파워 변화에 따른 이온에너지분포 측정

그림8은 ICP 소스 파워 변화에 따른 이온에너지 분포결과이다. 소스 파워를 증가시키게 되면 플라즈마 밀도가 증가하고 전극에 들어오는 이온전류가 증

가하게 된다. 그러나 바이어스 전극의 파워(5 W)는 항상 일정하기 때문에 일정한 파워 대비 이온 전류의 증가는 바이어스 전극의 전압 감소로 이어진다. 그러므로 소스 파워가 증가함에 따라 바이어스 전압이 감소되어 쉬스 강하 전위가 감소하고 양 피크의 에너지 차이가 줄어들게 된다.

4.5 챔버 압력 변화에 따른 이온에너지분포 측정

그림9는 압력 변화에 따른 이온에너지분포 변화 결과이다. 소스 파워 증가 현상과 마찬가지로 챔버 내 압력이 3 mTorr에서 9 mTorr로 증가하게 되면 플라즈마 밀도가 증가하게 되어 바이어스 전극의 전압

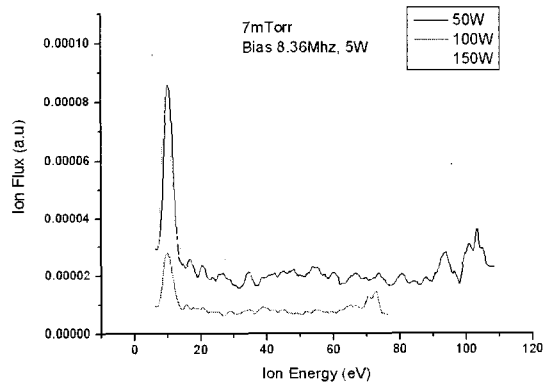


그림 8. 소스 파워 변화에 따른 이온에너지분포(소스 파워가 증가함에 따라서 이온에너지분포 차가 줄어들음을 알 수 있다).

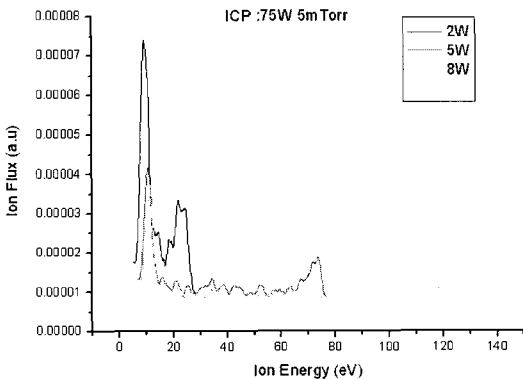


그림 7. 바이어스 파워 변화에 따른 이온에너지분포(바이어스 파워가 증가함에 따라서 이온에너지분포 차가 늘어남을 알 수 있다)

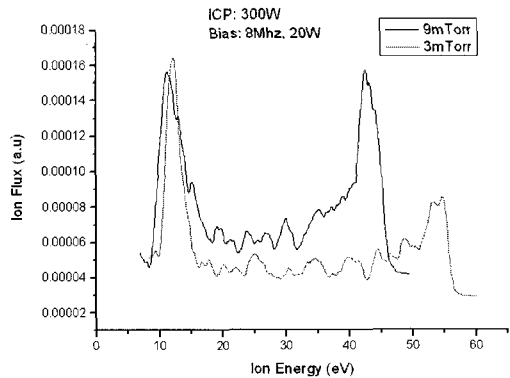


그림 9. 챔버 압력변화에 따른 이온에너지분포(챔버 압력이 증가함에 따라 이온에너지분포 차가 줄어들음을 알 수 있다).

표 1. 비접촉식 방법과 정전탐침에서 측정한 플라즈마 상태변수(괄호 밖의 값은 비접촉식 방법으로 측정된 값이며 괄호안의 값은 단일 탐침으로 측정된 값을 나타낸다).

상태변수	압력	3mTorr	9mTorr
Te		3(2.84)	2.29(2.02)
Ne[cm ⁻³]		1.00E11(2.00e+10)	1.42E11(1.09e+11)
Vp[V]		15.60(15.3)	11.9(12.92)

이 감소한다. 그러므로 챔버내 압력이 증가함에 따라 쉬스 강하 전위가 감소하게 되어 양 피크의 에너지 차이가 줄어들게 된다.

표1은 플라즈마 상태 변수 측정값이며 괄호 안은 SLP2000으로 측정된 값이며 괄호 밖에 값은 비 접촉식 방법으로 구한 상태변수 결과 값이다. 전자 온도 및 플라즈마 전위는 거의 일치함을 알 수 있지만 플라즈마 밀도에선 다소 오차가 발생한다. 그러나 상대적으로 이온에너지분포 변화를 측정하는데에는 문제가 없다.

5. 결론

본 연구를 통해 이온에너지분포 측정을 위한 비 접촉식 방법 개발은 플라즈마와 직접 접촉하지 않고 챔버 외부에서 측정된 공정 변수와, 바이어스 전극 전위를 이용하여 플라즈마 전위를 측정된 후, 플라즈마 이온 에너지 분포를 실시간으로 측정할 수 있었다. 플라즈마 공정 시 이온에너지분포 측정의 가장 중요한 초점은 시간에 따른 이온에너지 분포 변화 감지이기 때문에 절대적인 이온 에너지 분포 값은 큰 의미가 없다. 소스 파워 변화, 바이어스 파워 변화, 바이어스 주파수 변화, 압력 변화에 따른 이온 에너지분포 측정 및 분석을 통해 이온에너지분포 경향성을 파악할 수 있었다.

바이어스 주파수 변화, 바이어스 파워 변화, 소스 파워 변화 실험을 통해 플라즈마 식각 공정 시 이온

표 2. 기존 상용분석기 및 비접촉식 방법 장단점 비교 (기존 분석기에 비해 비 접촉식 방법은 여러 방면에서 많은 장점을 나타낸다).

	상용 분석기 (GIEA, ESA etc..)	비 접촉식 이온에너지 분포 측정법
IED 측정 정확도	보통, 높음	보통
사용 편리도	나쁨	편리함
공정 진행시 IED 측정	불가능	가능
IED 제어	나쁨	우수
Chamber	어려움	우수
비용	고가	저렴
플라즈마 오염 여부	오염 가능	오염 없음
분석기 증착 효과	분석기 증착 가능	증착 효과 없음
플라즈마 상태 변수	내부 진단	외부 진단 가능

에너지 분포 측정을 위한 비 접촉식 방법의 사용 가능성을 확인하였으며 바이어스 전극에 걸리는 전압 신호의 증가와 감소 및 파형 변화가 이온에너지 분포 변화에 영향을 주는 중요한 요인으로 공정 시 항상 일정한 이온 에너지 분포를 유지하기 위해선 일정한 전압 신호 제어의 필요성을 확인할 수 있었다. 결론적으로 공정 챔버에서의 실용화 가능성을 확인하였으며 표2에 요약한 바와 같이 비 접촉식 방법은 상용 에너지 분석기를 장착하여 사용하는 방법에 비해 탁월한 장점을 지니고 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] M. A. Sobolewski, J.Vac.Sci.Technol.A,10, 6, 1992.
- [2] M. A. Sobolewski, IEEE T.P.S, 23, 6, 1995.
- [3] M. A. Sobolewski, Physical,Review E, 59, 1, 1999.
- [4] M. A. Sobolewski, Applied Physics Letters,72, 10, 1998.
- [5] M. A. Sobolewski, J.Appl.Phys., 85, 8, 1999.
- [6] M. A. Sobolewski, J.Appl.Phys., 033301, 2005.
- [7] M. A. Sobolewski, J.Appl.Phys., 95, 9, 2004.
- [8] M. A. Sobolewski, J.Appl.Phys., 91,10, 2002.
- [9] M. A. Sobolewski, Physical Review E, 62, 6, 2000.
- [10] A. Lieberman, A. J. Lichtenberg, Principles of plasma discharges and materials processing, Wiley, New York, p. 304, 1994.

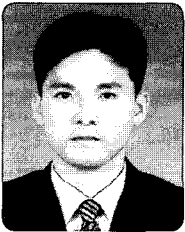
[11] F.F. Chen, Lecture Notes on Principles of plasma processing, Kluwer Academic, New York, p. 33, 2003.

저|자|약|력



성 명 : 오세진

- ◆ 학 력
- 2004년 한양대 전자전기공학부 공학사
- 2006년 한양대 대학원 전기공학과 공학석사



성 명 : 윤인창

- ◆ 학 력
- 2004년 충남대 전기공학교육과 공학사
- 2004년 충남대 물리학과 이학사
- 현 재 한양대 대학원 전기공학과 공학석사과정

- ◆ 경 력
- 2004년 - 2005년 대전공업고등학교 전기과 교사



성 명 : 정진욱

- ◆ 학 력
- 1994년 고려대 물리학과 이학사
- 1997년 한국과학기술원 물리학과 이학석사
- 2001년 한국과학기술원 물리학과 이학박사

- ◆ 경 력
- 2000년 - 2002년 (주)플라즈마트 기술연구소장
- 2002년 - 2005년 한양대 전자전기컴퓨터공학부 전임 강사
- 2005년 - 현 재 한양대 전기제어생체공학부 조교수

