

비접촉식 이온에너지 분석장치와 반도체 장치에의 응용 Noninvasive monitoring of ion energy distribution function and its application to semiconductor processing

이상원¹, 홍보한¹, 허승희², 정진욱³
(1) 플라즈마트
(2) 주성엔지니어링
(3) 한양대학교, 전자전기공학부

초 록 : 본 논문에서는 비접촉식 이온에너지 해석 방법 (Noninvasive Ion Energy Analysis, NIEA)을 이용하여 이온에너지 분포함수를 계산하고, 이 분포의 정보를 몇 가지 양으로써 특성을 나타낼 수 있는 모니터링 인자를 제안 하였다. 이온 에너지 분포에 영향을 미치는 외부 조건들인 rf 전력, 압력, 전극 간격을 변화시키며 해당 에너지 분포함수의 형태 변화 및 모니터링 인자들의 변화 양상을 관찰 하였다. NIEA 방법으로 측정된 이온 에너지와 공정과의 연관성을 알아보기 위해 poly silicon etching을 수행하며 이온 에너지 분포를 측정하였으며, 이온 에너지와 etch rate이 같은 경향을 나타내는 것을 확인 하였다.

1. 서 론

300mm wafer공정이 일반화 되고 추후 450mm wafer공정에 대한 선행 연구들이 진행되는 상황에서 공정 실패시의 손실 비용이 크게 증가하고 있다. 공정 안정화에 소요되는 시간을 최소화하고 문제 발생시 원인 파악과 대처시간을 최소화하는 방법론이 매우 중요한 요소로 대두되고 있다. 이와 같은 공정 모니터링 기법 중에서 비접촉식 이온 에너지 분석방법을 이용하여 측정된 이온에너지분포를 바탕으로, 해당 분포의 특성을 규정할 수 있는 몇가지 파라미터를 추출하고 이의 변화 특성을 알아본다. 또한, poly silocon etch 공정의 결과와 비교한다.

2. 본 론

2.1 원리

Sobilewski등은 전극에 인가되는 전압과 전류를 관찰하여 이온에너지 분포를 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 충분히 낮은 압력에서는 collisionless sheath를 가정할 수 있고 이 경우, 이온 모멘텀 보존 식, 그리고 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial z}(n_i u_i) = -\frac{\partial n_i}{\partial t}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial z} = e \frac{E}{m_i}$$

여기서 $n_i(z, t)$ 는 이온밀도, $u_i(z, t)$ 는 이온의 속도, 그리고 $E(z, t)$ 는 전기장의 세기이다.

전기장과 electric potential은 Poisson's equation에 의해 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$-\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{\partial E}{\partial x} = \frac{e}{\epsilon_0}(n_i - n_e) \approx \begin{cases} 0 & , z > W(t) \\ en_i / \epsilon_0, & z < W(t) \end{cases}$$

위 식에서 시간에 대한 sheath의 변화는 oscillating step approximation을 사용하며, 시간에 대한 위치 $W(t)$ 를 기준으로 플라즈마 쪽은 $n_e = n_i$, 전극 쪽은 $n_e \ll n_i$ 라 가정한

다.

위의 식을 이용하여 전극에 인가된 신호를 측정된 IEDF를 계산하고, 해당 IEDF로부터 표1과 같은 파라미터를 추출한다.

표1. IEDF로부터 추출되는 파라미터

파라미터	설명
E _{mean}	Mean ion energy
E _{std}	Standard deviation of IEDF
E _{low}	Energy at low energy peak
E _{high}	Energy at high energy peak
N _{low}	Count number at E _{low}
N _{high}	Count number at E _{high}
E _{std} /E _{mean}	Normalized standard deviation of IEDF
Skewness	Measure of asymmetry of IEDF

2.2 공정변수에 따른 IEDF 변화

NIEA를 측정하기 위해 사용한 챔버 구조는 그림1과 같다. RF 전력은 기판에 입사되는 RIE구조이며, 표2와같은 조건에서 NIEA를 측정하여 각각의 경우에 대한 파라미터를 추출하였다.

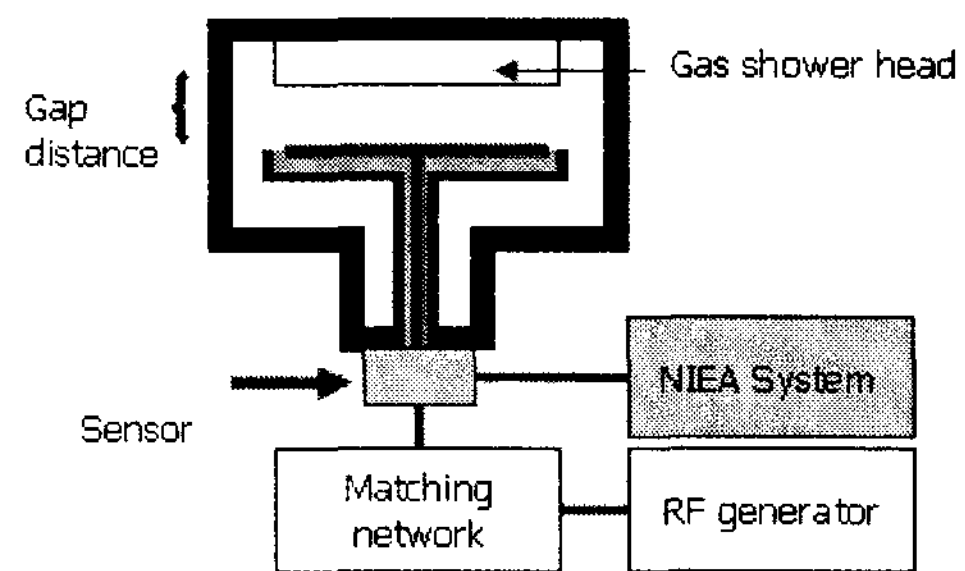


그림 1. IEDF를 측정하기 위한 실험장치

표2. 공정변수와 실험범위

공정변수	실험범위	단위
RF 전력	100 ~ 300	W
압력	50 ~ 250	mTorr
Gap distance	35 ~ 45	mm
Gas	Ar	
Flow rate	20	sccm
RF Frequency	13.56	MHz

2.2.1 전력변화

전력변화에 대한 IEDF 측정결과는 그림2와 같다.

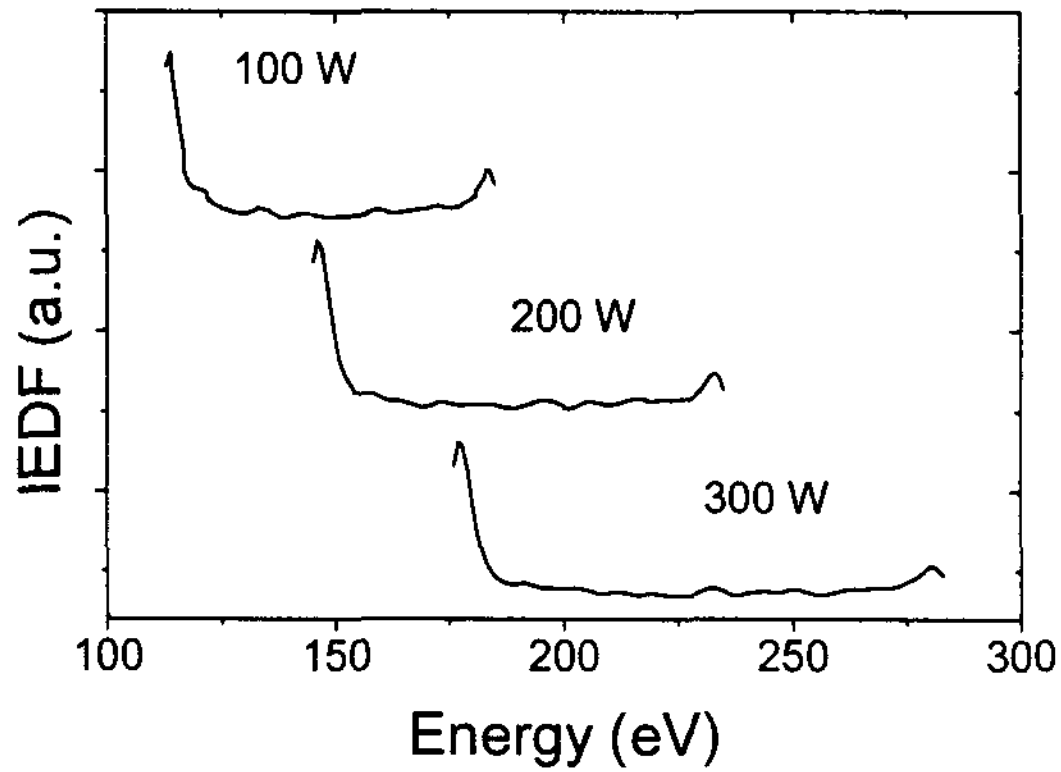


그림 2. 전력증가에 따른 IEDF변화

전력이 증가함에 따라 평균이온 에너지는 증가하고 정규화된 표준편차는 감소한다. 대칭성의 지표인 skewness는 증가하여, 이는 IEDF형태가 점점 더 비대칭 형태로 변화하는 것을 의미한다.

2.2.2 압력변화

압력이 증가함에 따라 측정된 IEDF는 그림3과 같다.

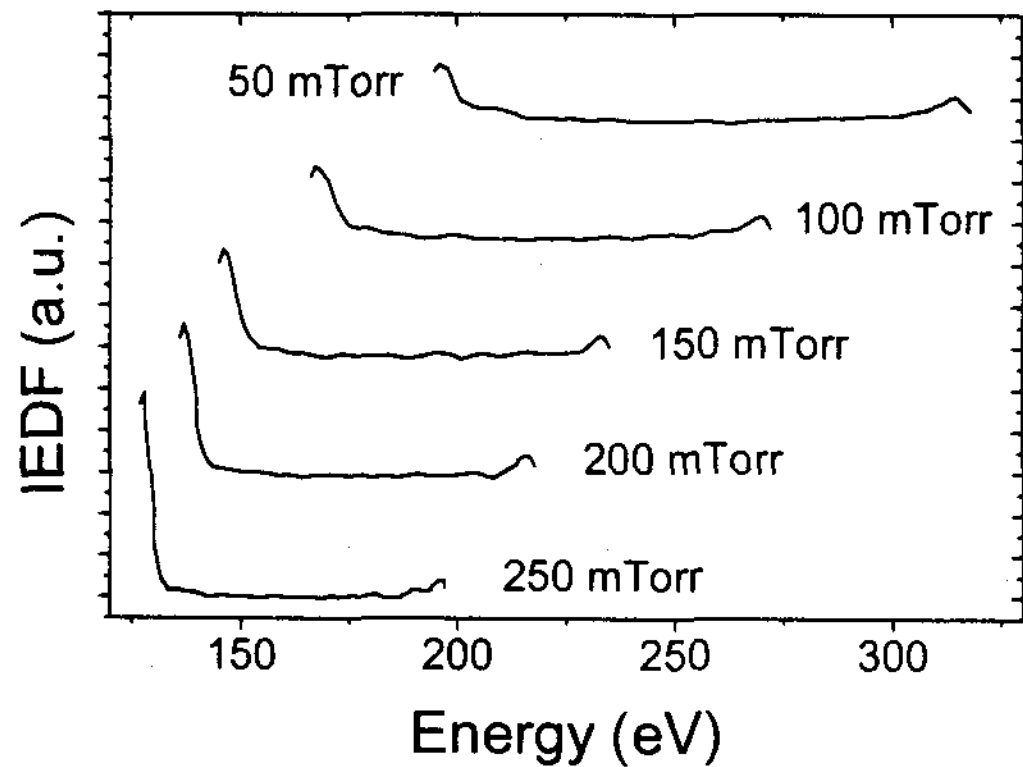


그림 3. 압력변화에 따른 IEDF변화

압력이 증가함에 따라, 평균에너지는 감소하고 skewness는 증가한다. 이는 압력이 증가함에 따라, low energy ion 쪽으로 분포가 기우는 것을 의미한다.

2.3 Poly silicon etching 결과와 IEDF

NIEA방법으로 측정된 IEDF와 poly silicon etch rate을 비교하기 위해 ICP 형태의 상부 플라즈마 발생장치를 탑재하고 wafer에 RF 전력이 인가되는 공정장비를 이용하였다. 그림4는 9종류의 조건에서 측정된 결과로서 etch rate과 ion energy가 밀접한 연관성을 갖는 것을 확인할 수 있다.

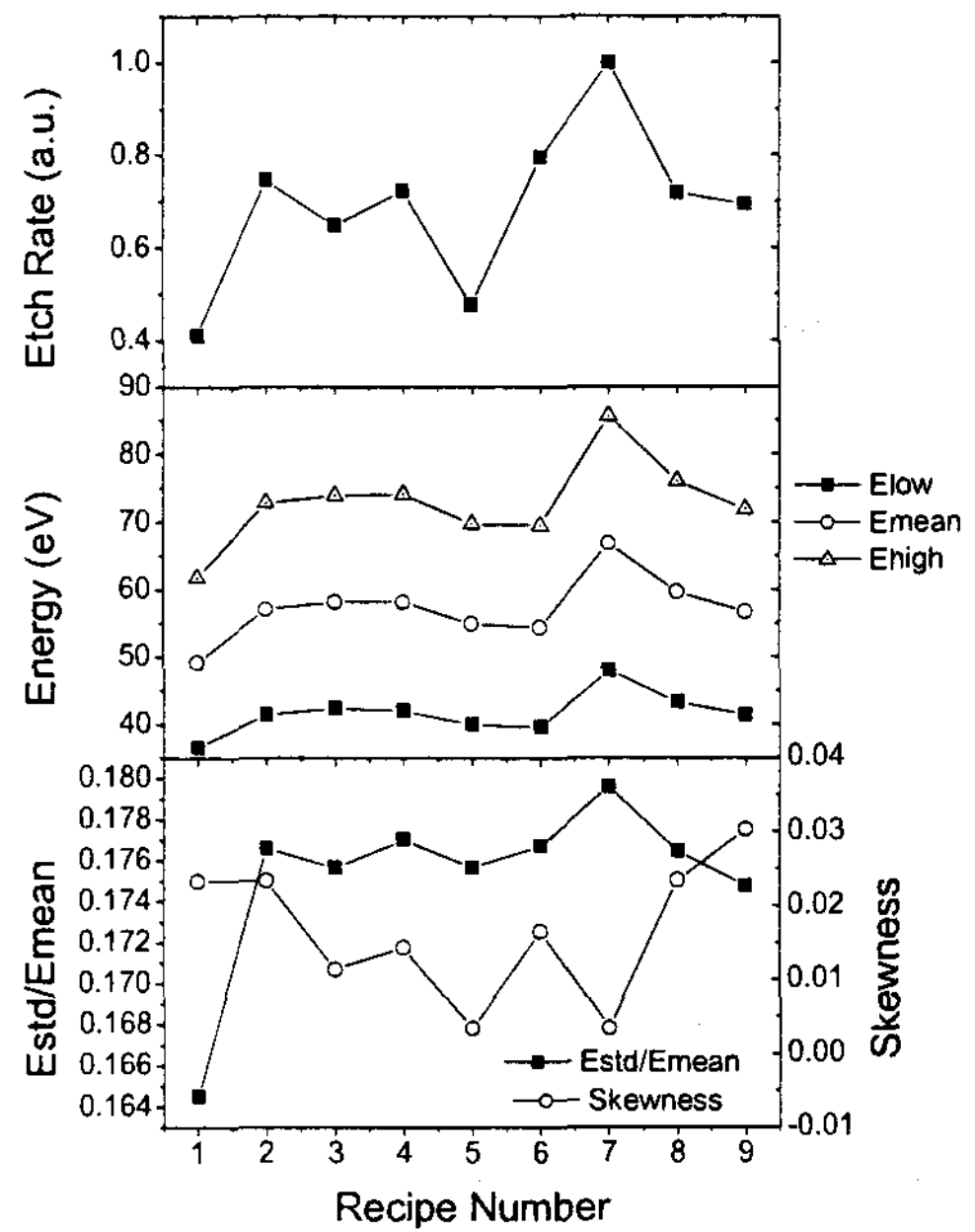


그림 4. Poly silicon etch rate과 IEDF로부터 추출된 파라미터

3. 결 론

이온에너지분포함수는 이온의 kinetic 특성을 보여주는 양으로서 플라즈마를 이용한 반도체 공정과 매우 밀접한 연관성을 갖는다.

이온에너지분포함수의 특성을 규정짓기 위해 기존에 사용되던 파라미터 외에 정규화된 표준편차와 대칭성의 지표인 skewness를 도입하여 RF전력, 압력 및 gap 간격에 따른 변화 추이를 관찰하였다.

또한, poly silicon etch rate과 이온에너지 변화를 비교하여 이온에너지와 etch rate사이에 밀접한 연관성이 있는 것을 관찰하였다.

감 사 의 글

본 연구는 산업자원부 시스템IC2010 사업의 지원을 받아 이루어졌음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- [1] S. W. Burtler, K. J. McLaughlin, T. F. Edgar, and I. Trachtenberg, J. Electrochem. Soc., 138, 2727(1991)
- [2] M. D. Baker, Frances R. Williams, and G. S. May, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 11, 254 (1998).
- [3] R. M. Castro, P. Verdonck, M. B. Pisani, R. D. Mansano, G. A. Cirino, H. S. Maciel, and M. Massi, IEEE Transactions on Plasma Science, 28, 1043(2000).
- [4] M. A. Sobolewski, J. Applied Phys., 97, 033301 (2005).
- [5] M. A. Sobolewski, Y. Wang, and A. Goyette, J. Applied Phys., 91, 6303 (2002).
- [6] E. Kawamura, V. Vahedi, M. A. Lieberman, and C. K. Birdsall, Plasma Sources Sci. Technol. 8, 45 (1999).