

플라즈마 이온 식각공정에서의 미세 식각 형상에 관한 이론적 연구

박상규, 이창덕

포항공과대학 화학공학과 재료공정연구실, 산업과학기술연구소

Theoretical Study of Microscopic Etching Shape Evolution in Plasma-Assisted Etching Processes

Sang-Kyu Park and Chang-Deog Lee

Lab. for Advanced Materials Processing, Dept. of Chem. Eng., POSTECH, RIST

I 서 론

플라즈마를 이용한 건식식각 공정은 초고집적 회로 시대를 맞이하여 이방성이 큰 도랑 (trench)의 식각, 미세한 선폭의 정밀한 제어, 3 차원 구조를 갖는 소자의 제조 등에 있어 그 필요성이 더욱 더 증대되고 있다. 그러나 1 μ m 이하의 미세한 선폭이나 도랑의 가공시 식각 형태가 원하는 수직적인 벽면형태가 아니라 bowing, dovetailing 등의 패턴을 나타내거나, 도랑 입구의 넓이에 따라 식각율의 차이가 발생하는 RIE Lag 현상 등의 문제점이 발생한다. 이러한 현상은 기판 근처에서의 복잡한 물리/화학적 요소들이 관련되어 식각 반응에 영향을 주기 때문으로 알려져 있으며 아직까지 그 구체적인 정확한 메카니즘은 밝혀져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 이론적인 연구를 통하여 미세한 식각 형상 가공시 식각반응에 영향을 주는 것으로 알려진 몇 가지 요소들에 대하여 전산 모사를 수행한 후 식각 패턴의 변화를 통하여 이러한 요소들이 식각 반응에 미치는 영향을 고찰하여 플라즈마를 이용한 식각반응에 대한 근본적인 이해를 도모하고자 하였다.

II. 전 산 모 사

본 연구에서는 반응성 라디칼의 Knudsen 확산, 마스크의 하전에 따른 도랑 입구 부근에서의 극부전압 분포의 변화에 의한 이온의 회절, 쉬스 부근에서의 이온의 충돌에 의한 이온의 분산 등이 반응에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 크게 두 종류로 구분되는 미세형상 진전 모델을 제시하고 이를 이용하여 전산 모사를 수행하였다. 두 모델 모두 라디칼에 의한 화학적 식각에 대해서는 확산 방정식의 해를 이용하여 표면 농도를 구하는 동일한 방법을 사용하였다. 그러나 이온에 의한 식각은 모델 1에서는 마스크 하전에 의한 이온의 회절 현상을 고려하기 위하여 전압에 대한 Poisson 식의 해로부터 전압과 전장의 분포를 구한 후 이로부터 Monte Carlo 법을 이용하여 이온의 궤적을 운동 방정식으로부터 구함으로써 표면에 도달하는 이온의 플럭스와 에너지를 구하였다. 모델 2에서는 이온이 쉬스 지역을 통과하면서 중성자와의 충돌에 의해 발생하는 Gaussian 분포를 갖는 분산 효과를 표면에서의 가시각 (view angle)을 이용하여 고려하였다.

그림 1에 모델 1의 전산 모사 영역과 지배 방정식 그리고 경계 조건을 나타내었다. 보다 원활한 분석을 위해서 모든 변수를 1 차원 이온 운동 영역의 쉬스 두께를 기준으로 무차원화하였으며 경계 적분법을 이용하여 라디칼과 전압에 대한 지배 방정식의 해를 구하였다. 총 식각율은 화학적 식각율과 이온에 의한 식각율의 합으로 가정하여 산출하였으며 string 알고리즘을 이용하여 식각선의 이동을 나타냄으로써 시간에 따른 식각 형상의 변화를 고찰할 수 있었다.

III. 결 과 및 고 찰

그림 2에 라디칼에 의한 화학적 식각이 식각 형상에 미치는 영향을 살펴본 것으로 완전한 등방적 식각이 아닌 수직 방향으로의 식각율이 더 큰 식각 형태를 나타내었는데 이는 마스크 아래 부분에서의 기하학적 음영 효과에 기인한 것으로 보여진다. 시간에 따른 식각속도의 감소는 식각 깊이가 커질수록 확산저항의 증가와 라디칼의 고갈에 의한 loading 효과에 의한 것으로 해석된다. 그림 3에 여러 Thiele 계수(Φ)에서 종횡비(AR)에 따른 식각 깊이와 이방성을 나타내었다. Φ 는 $(k_p C_s H/D)^{1/2}$ 로 정의되는데 Φ 가 클수록 표면식각 반응이 확산보다 빨리 일어남을 의미한다. Φ 가 작은 경우에는 종횡비가 증가함에 따라 식각 깊이의 변화가 거의 없지만 Φ 가 클 경우에는 종횡비가 증가할 수록 식각깊이는 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 Φ 가 작은 경우에는 표면 반응단계가 율속단계가 되므로 Φ 가 증가할 수록 식각 깊이가 증가하게 되나 어느 정도 이상의 Φ 에서는 확산단계가 율속단계가 되어 식각 깊이는 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다. 또한 Φ 가 증가할 수록 식각 표면적의 증가로 인한 라디칼의 고갈(depletion) 현상 또한 커지게 된다. Φ 에 따른 이방성의 차이는 마스크 아래 부분에서의 지형적 차이에 따른 확산 정도 차이가 식각에 반영되어 나타나는 것으로 보여진다.

그림 4는 모델 1에서의 이온에 의한 식각 패턴을 보여주고 있다. (a)와 (b)는 이온 식각만이 관여한 경우의 식각 패턴이고 (c)와 (d)는 이온에 의한 식각과 화학적 식각이 동시에 일어나는 경우의 식각 패턴이다. 마스크의 하전에 따른 이온의 회절이 없는 (a)의 경우에는 이방성이 1에 가까운 이상적인 식각 패턴을 보여주고 있으

나 마스크 하전에 의한 이온의 회절을 고려한 경우인 (b)는 dovetailing 형태의 식각 형상을 보여주고 있다. 이온식각과 화학적 식각이 동시에 일어나는 경우의 식각 형상으로부터 화학적 식각의 기여도가 클수록 이방성과 형상 전달 신뢰도가 크게 저하되는 것으로 나타났다.

모델 2에 의한 이온에 의한 식각 패턴을 그림 5에 나타내었다. 이온분산 매개변수, σ 의 값이 클수록 bowing 형태의 식각 형상이 더욱 뚜렷하게 나타나며 수직 방향의 식각 깊이는 감소하였다. 종횡비에 따른 RIE Lag를 그림 5 (b)에 나타내었다. 종횡비가 커질수록, σ 가 증가할수록 RIE Lag 현상이 심화되는 것으로 나타났다. 이는 가시각의 감소와 분산효과가 도랑 바닥에 도달하는 이온의 플럭스를 감소시키기 때문이다. 또한 σ 의 값이 아주 작은 경우에도 종횡비가 커지게 되면 RIE Lag 현상이 나타나는 것을 보여주고 있다.

이 밖에도 마스크 두께의 변화, 마스크의 식각 등을 고려하여 식각 패턴의 변화를 살펴 보았다.

IV. 결 론

반응성 이온식각공정에서의 미세 식각 패턴 연구를 위한 두 종류의 미세식각 진전모델을 제시하였다. 모델 1에서는 Thiele 계수의 변화와 마스크의 하전 현상에 의한 이온의 회절 현상이 식각 패턴 형성에 미치는 영향을 살펴보았으며 모델 2에서는 이온의 분산이 식각 특성에 미치는 영향을 살펴보았다. 모델 1로부터 마스크의 하전에 의한 이온의 회절이 dovetailing 형태의 식각 패턴의 원인이 됨을 알 수 있었으며 이는 라디칼의 확산 저항과 더불어 RIE Lag를 일으키는 것으로 밝혀졌다. 모델 2로부터는 쉬스 영역에서의 이온의 분산이 클수록 bowing 형태의 식각 형태가 두드러졌으며 수직 방향으로의 식각 속도가 감소하는 것으로 나타났다.

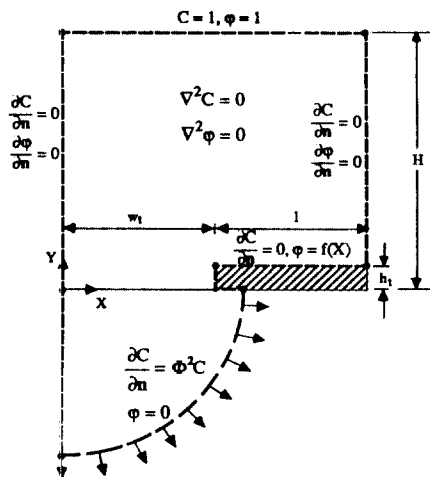


Fig. 1. Schematic diagram of computational domain.

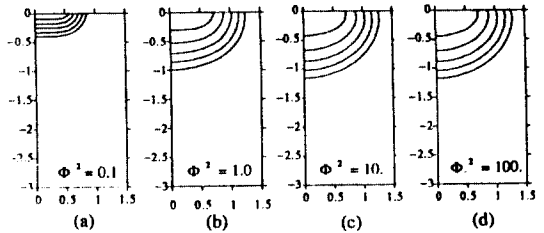


Fig. 2. Etched profiles with chemical etching at AR = 1 for various Thiele Moduli.

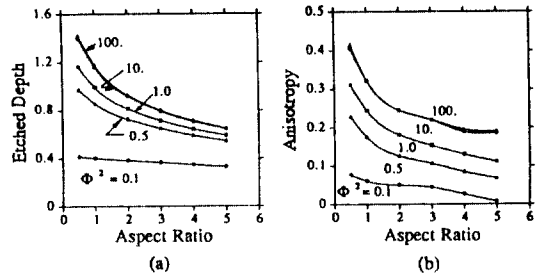


Fig. 3. Effect of AR on etched depth and anisotropy for various Thiele Moduli.

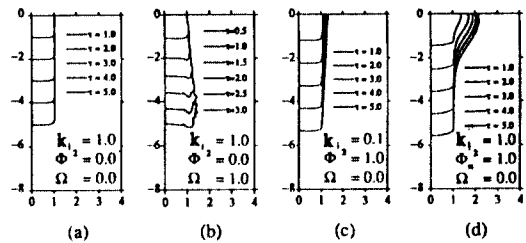


Fig. 4. Etched patterns for various cases with and without mask charging (model 1).

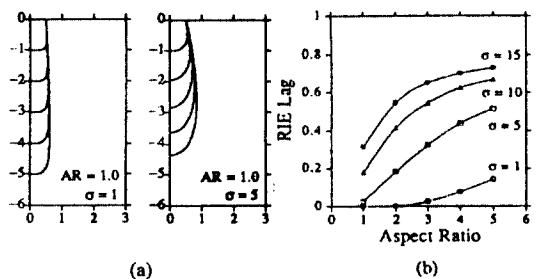


Fig. 5. (a) Etched profiles for various values of σ and (b) effect of AR on RIE Lag for various σ (model 2).