

[IV~9]

Effects of Bias Frequency on RIE Rag in Electron Cyclotron Resonance Plasma Etching System

도 현호, *연 충규, 황 기웅

서울시 151-742, 서울 대학교 전기 공학부 플라즈마 연구실
*청주시 361-480, LG 반도체 선행 공정 2팀

1. 서론

고밀도 집적회로의 공정에 있어 콘택트 홀의 산화막 식각은 식각시 하지막인 실리콘이나 실리콘 질화막에 대한 선택도 등과 더불어 개구의 크기에 따른 식각 속도의 차이에서 생기는 RIE rag 현상과 유기 폴리머의 증착에 따른 오염 및 격자 구조의 손상 등이 주요한 문제점으로 나타나고 있다. [1][2]

본 연구에서는 전자 회전 공명 플라즈마 식각 장치에서 $C_4F_8+H_2$ 가스로 0.3~1.2 μm 의 크기를 가진 콘택트 홀을 수소 첨가율, 압력(3~7.5 mTorr), 마이크로웨이브 전력(300~800 W), 바이어스 전압(100~300 V) 그리고 바이어스 주파수(100 kHz~1 MHz)를 주요 변수로 식각하여 그에 따른 RIE rag 정도를 조사하였다. 이 변수들 중 바이어스 주파수를 제외한 나머지 변수에 대해서는 이온 에너지와 이온 전류 밀도의 변화로써 각 변수에 따른 RIE rag 현상의 변화가 설명 가능하였으나 바이어스 주파수에 따른 RIE rag의 변화를 설명하기 위해 Monte-Carlo Particle-in-Cell 방법으로 기판에 입사 되는 이온의 에너지 분포와 각 분포 (Angular Distribution)를 전산 수치 모사하여 그 메커니즘을 밝히려 했다.

2. 실험 방법 및 전산 수치 모사

실험에 사용한 전자 회전 공명 플라즈마 식각 시스템은 터보 분자 펌프 (1300 l/sec) 와 로터리 펌프 (865 l/min) 으로 진공 배기 시스템을 구성하고, 주요 전원은 2.45 GHz의 최대 출력 1 kW의 마이크로웨이브 전력 장치이다. 기판에 입사 되는 이온 특성을 독립적으로 가변하기 위해 주파수 100 kHz~1 MHz의 바이어스 출력을 기판에 인가하였다. 식각 가스로는 C_4F_8 (OctafluoroCycloButane) 과 수소의 혼합 가스를 사용하였으며 RIE rag 현상을 관찰하기 위한 시료로는 실리콘<100>에 PSG (Phospho-Silicate Glass)를 1 μm 증착시킨 후 0.3~1.2 μm 의 크기를 가진 개구를 형성한 웨이퍼를 사용하였다. 식각시의 기판의 온도는 Fluoroptic Thermometer로 감지 하였으며, 이 때 온도는 $40 \pm 5^\circ C$ 로 유지하였다.

기판에 입사 되는 이온의 에너지 분포와 각 분포를 알기 위해 Monte-Carlo Particle-in-Cell을 통해 각각의 분포를 계산하였다. 이온의 충돌은 탄성 충돌과 ion-neutral charge exchange collision을 고려하였으며, Particle-in-Cell은 1-dimension, 3 velocity로 해석하였다.

3. 결과 및 고찰

서론에서 언급한 실험 변수들로 RIE rag 현상을 조사한 결과 압력이 낮을수록, 마이크로웨이브 전력이 높을수록 RIE rag 현상이 개선됨을 알 수 있었다. 이는 압력이 낮거나 마이트로

웨이브 전력이 높을수록 이온 전류 밀도가 높아지는 것에 기인하며 이는 Langmuir probe 나 ion energy analyzer 등을 통해 알 수 있었다. 또한, C_4F_8 가스에 수소를 첨가할수록 RIE rag 현상이 심해짐을 알 수 있었는데 플루오로카본 가스를 이용하여 식각하는 경우에는 식각현상이 식각과 polymerization 간의 경합으로 이루어짐은 널리 알려진 사실이다.[3] 결국, 수소를 첨가하는 경우는 여타의 조건이 변하지 않는 한 polymerization 을 유발하는 쪽으로 운용함을 의미한다. 따라서, RIE rag 현상이 심해짐을 유추할 수 있다. 이런 경우에는 바이어스의 전압을 높이거나 압력을 낮춤으로써 해결할 수 있었다.

한편으로는 같은 바이어스 전압과 압력 등을 유지하면서도 바이어스의 주파수를 100 kHz 에서 1 MHz 로 시킬 때 RIE rag 현상이 현저히 향상됨을 확인하였는데, 특히 압력 7.5 mTorr, 마이크로웨이브 전력 500W, 수소 함유율 30% 그리고, 바이어스 전압 200 V 인 경우에는 바이어스 주파수가 500 kHz 이상에서 RIE rag 현상이 5% 이내로 향상됨을 알 수 있었다. 이런 현상을 규명하기 위해 앞서 언급한 대로 Monte-Carlo PIC 1D-3v 를 이용하여 기판에 입사되는 이온의 에너지와 각 분포를 계산하였다. 수치 해석 결과 바이어스 주파수에 따른 각 분포는 거의 변화가 없었으며 이온 에너지 분포의 경우 바이어스 주파수 30 MHz 이하에서는 두개의 에너지 peak 을 가진 "bimode" 형태를 띄었으며 500 kHz 이상에서 높은 에너지 쪽의 이온의 갯수가 낮은 쪽 보다 상대적으로 많아짐을 확인하였다. 따라서, 주파수에 따라 기판에 입사되는 이온 에너지 분포의 변화가 RIE rag 의 개선에 영향이 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

전자 회전 공명 플라즈마 식각 장치에서 $C_4F_8+H_2$ 가스를 이용하여 산화막 콘택트 홀의 RIE rag 현상을 살펴보았다. 마이크로웨이브 전력이 높고 압력이 낮을수록 RIE rag 현상은 개선되었으며, 이는 이온 전류 밀도의 증가로 설명할 수 있었다. 또한, 바이어스 전압이나 바이어스 주파수 등의 변화로 해결할 수 있었는데, 바이어스 전압을 높이면 이온 에너지의 증가로 인해 RIE rag 가 향상됨을 알 수 있었고, Monte-Carlo PIC 1-dimension 수치 해석 결과 바이어스 주파수에 따라서 기판에 입사 되는 이온 에너지 분포의 변화가 RIE rag 현상에 주요하게 작용함을 알 수 있었다.

<참고 문헌>

- [1] D.M.Manos and D.L.Flamm, *Plasma Etching* (Academic Press, San Diego, 1989)
- [2] Shin-ichi Kato etal, *J. Vac. Sci. Technol. A* 12, p1204 (1994)
- [3] K.Miyata, K.Takahashi, S.Kishimoto, M.Hori and T.Goto, *Jpn. J. Appl. Phys.* 34, L444 (1995)