

유도 결합형 플라즈마를 이용한 감광제 제거 반응로의 설계

김 철식, 김 철호, 이 현중, 이 용규, 배 경진, 이 종근, 박 세근
인하대학교 전자재료공학과
인천광역시 남구 용현동 253
sgpark@inha.ac.kr

Design of Inductively Coupled Plasma Ashing Chamber

C. S. Kim, C. H. Kim, H. J. Lee, Y. K. Lee, K. J. Bae, J. G. Lee, S.-G. Park
Dept. of Electronic Materials and Devices Engineering, Inha University
253 Yonghyun-Dong, Nam-Gu, Incheon 402-751
sgpark@inha.ac.kr

Abstract

Plasma etching of photoresist needs high etch rate, good uniformity and low damage in low cost. ICP asher is expected to satisfy these requirement for next generation semiconductor devices. ICP simulator has been used to design the ashing chamber to reduce the development time and cost, and its results have been verified by QMS, OES and Langmuir probe measurements. Plasma characteristics are monitored in terms of RF power and chamber pressure.

서론

감광제 제거는 산소 래디칼을 이용하여 높고 균일한 식각율과 낮은 결합생성을 요구하므로¹⁾ 일반적으로 높은 압력(>1Torr)에서 행하게 된다. 현재의 down stream 방식의 asher에서는 높은 이온 에너지 때문에 웨이퍼의 결합 생성이 문제시 되고 있다. RIE 형태에서 자장의 효과를 이용하거나²⁾ dielectric barrier 전극을 채용함으로써 플라즈마의 고에너지화를 효과적으로 막는 경우도 있으나³⁾ 균일한 제거율을 얻기에 어려움이 있다.

유도결합형 플라즈마 (Inductively Coupled Plasma) 는 대면적화 되고 있는 웨이퍼를 식각함에 있어 낮은 압력에서 고식각율(high etch rate), 고이방성(high anisotropy), 저결함(low damage)의 특성을 얻을수 있

기 때문에⁴⁾ 고밀도이며 저에너지인 유도결합형 플라즈마가 감광제 제거공정에⁵⁾ 유력화 되고 있다.

새로운 장비를 개발함에 있어서 과거의 경험적인 요소를 주로 하는 개발환경은 웨이퍼의 대면적화에 따라 소요되는 시간과 막대하게 늘어나는 비용에 효과적으로 대처할 수 없게 되었다. 컴퓨터 시뮬레이션을 도입함으로써 이러한 문제를 효율적으로 풀이하며 반응로 개발에 대한 직관적인 이해력을 얻을 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 CFD-Research사에서 제작한 CFD (computational fluid dynamics)-PLASMA(ICP)를 사용하여 ICP asher의 설계 및 공정의 최적화에 이용하도록 하였고 QMS(Quadrupole Mass Spectrometer)와 Langmuir probe, OES(Optical Emission Spectrometer)로서 측정결과를 비교 및 분석하여 시뮬레이션의 효용성을 고찰하였다.

본론

본 논문에서 사용한 유도결합형 플라즈마 식각장비의 구조는 그림 1과 같다. 플라즈마의 분석에는 질량을 이용해 입자의 상대적인 분포와 에너지를 분석하는 QMS와 이온의 밀도와 전자의 온도를 측정하는 Langmuir probe가 반응로의 바닥면으로부터 17cm의 높이에, 플라즈마로부터 발산되는 이온과 래디칼의 방출스펙트럼을 분석하는 광학적 다중 채널 분석계인 OES가 view port에 장착될 수 있도록 되어 있고 웨이퍼 스테이지의 높이는 13cm로 고정시켰다.

시뮬레이션을 수행하는 CFD-PLASMA에서는 기본적

으로 연속성 이론, 플라즈마 이론, 에너지 보존 법칙 그리고 RF 전기장 방정식을 이용한 것이며, 초기조건 및 경계조건을 가지고 수치해석적으로 풀어 이온의 밀도, 전자의 온도, 이온화율, 플라즈마의 전위를 계산하게 된다.^{6),7)}

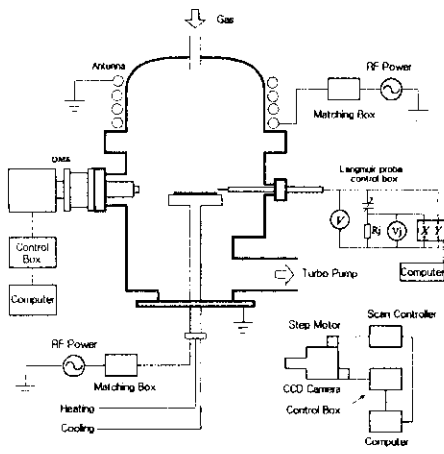


그림 1. 헬리컬 유도결합형 플라즈마 장비의 구조와 진단 장비

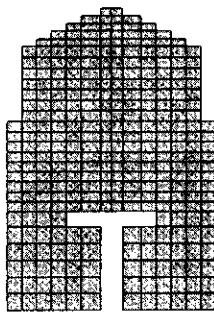


그림 2. 시뮬레이션에 사용된 chamber 구조 및 mesh

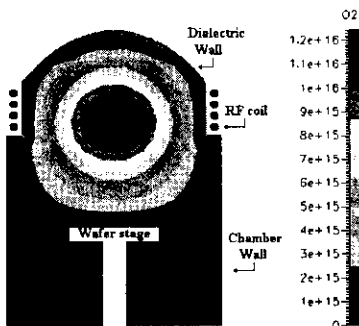


그림 3. 산소이온의 분포 [# / m³]

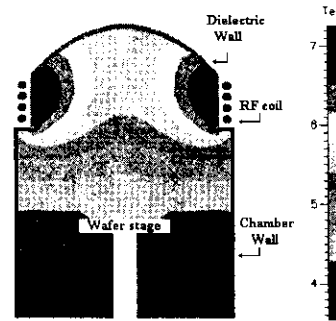


그림 4. 전자 에너지의 온도 [eV]

시뮬레이션을 하기 위한 반응로의 구조와 mesh 구조는 그림 2와 같다. 이 구조로 시뮬레이션을 행한 전형적인 결과는 다음의 그림 3, 4와 같다. RF power는 400watt, 산소 5 mtorr, 안테나는 4회를 감았다.

RF Power와 압력의 변화에 따른 산소 플라즈마의 특성을 분석하기 위하여 두 인자를 변화시켜가면서 시뮬레이션을 하였고, 그림 5, 6, 7과 같이 분석되었다. 이 결과에 의하면 이온의 밀도는 RF power가 크고 중심에 가까울수록, 압력이 높을수록 크게 된다. 전자의 온도는 RF power의 변화에 따라서 거의 영향을 받지 않고 압력에 따라서 크게 변하게 된다. 낮은 압력일수록 전자의 온도가 크게 되는 것이다. 이러한 결과를 확인하기 위하여 실제의 반응로에서 시뮬레이션과 동일한 조건으로 산소 플라즈마를 생성하여 QMS와 Langmuir probe, OES로 플라즈마의 상태를 진단하였다. QMS와 Langmuir probe의 측정결과는 control unit과 연결된 컴퓨터를 통하여 출력된다.

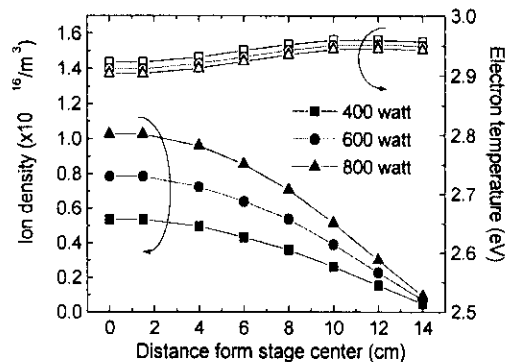


그림 5. Power 변화에 따른 이온밀도와 전자온도의 계산

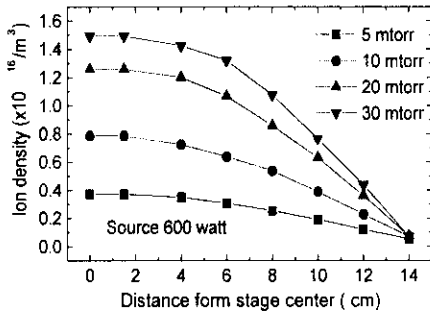


그림 6. 압력 변화에 따른 이온밀도의 계산

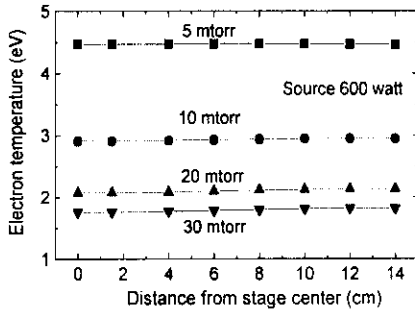


그림 7. 압력 변화에 따른 전자온도의 계산

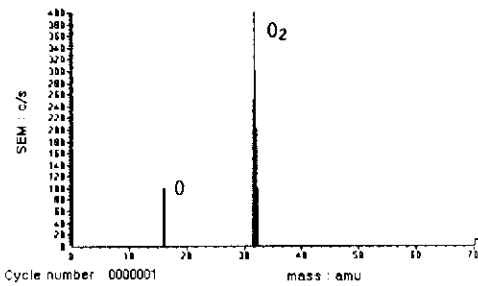


그림 8. QMS에 의한 플라즈마 입자의 측정

그림 8은 QMS의 운용 소프트웨어에서 출력된 산소 플라즈마 상태에서 반응로내의 중성입자를 질량에 대하여 분석한 것으로 입자의 상대적인 농도비를 나타낸다. 질량 32amu에서의 높은 피크에 비하여 다른 피크가 검출되지 않는 것으로 보아 순수한 산소 플라즈마라고 할 수 있다. 16amu에서의 피크는 분석과정 중에 QMS내에서 산소분자의 전자 두 개가 해리 되어 질량값이 반으로 계산된 것인데, 이것은 중성입자의 분석을 하는 경우 열전자를 이용해 이온화 시킨 후 분석을

하게 되는데 이 과정에서 발생하는 것이다.

RF power와 압력에 따라서 Langmuir probe를 통하여 측정된 플라즈마의 진단결과는 그림 9, 10과 같다. 측정은 반응로의 중앙으로부터 2cm씩 10cm까지 반응로의 벽쪽으로 옮겨가면서 측정하였다. 수치적으로는 차이가 있으나 이온의 밀도는 power와 밀도에 비례하고 전자의 온도는 power에 거의 무관한 반면 밀도에 절대적으로 의존하는 경향이 시뮬레이션 결과와 일치하고 있다.

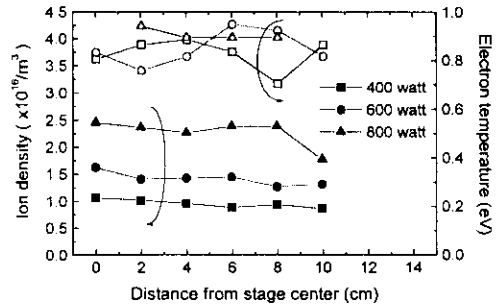


그림 9. Langmuir probe를 이용한 power 변화에 따른 이온밀도와 전자온도의 측정

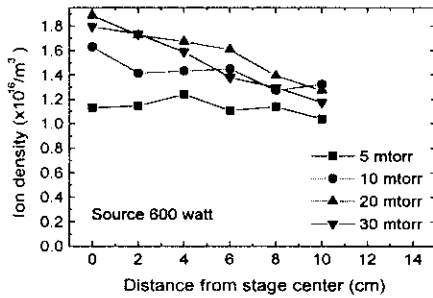


그림 10. Langmuir probe를 이용한 통한 압력 변화에 따른 이온밀도의 측정

OES를 통해서 산소 플라즈마에서의 광학적 특성을 관찰할 수 있었다. 그림 11에서와 같이 라디칼인 $\text{O}^*(777.5\text{nm})$, 이온인 $\text{O}^+(844.5\text{nm})$ 와 $\text{O}_2^+(450, 550\text{nm})$ 의 피크를 얻을 수 있었다. 이 그림에서 CO 피크가 나오는 것은 감광제를 식각하는 동안 산소와 폴리머의 탄소가 결합하여 휘발성인 CO가 나오기 때문이다. 사용된 공정조건이 다른 것은 이온의 밀도를 높여서 발산하는 빛의 세기를 증가시킴으로서 스펙트럼 피크를 잘 관찰하기 위한 고려이다.

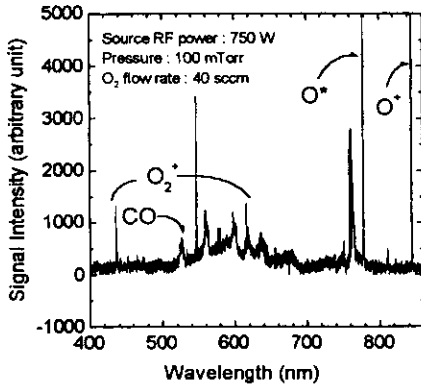


그림 11. 감광제 제거 공정중의 산소 플라즈마의 광학적 방출 스펙트럼

결론

차세대 감광제 제거 장비로서 유망한 고밀도, 저에너지의 유도결합형 플라즈마 반응로에서의 플라즈마 상태를 시뮬레이션을 이용해 예측하고, QMS와 Langmuir probe 측정을 통하여 비교, 분석하였다. 실제로 측정된 결과와 시뮬레이션에 의한 계산과 비교할 때에 크기에서 차이가 나는 것은 시뮬레이션에서 채택한 물질 상수값에서의 차이와 반응식에서의 가정 조건의 차이에서 기인하는 것으로 여겨진다. 그러나 그 경향은 두 경우가 일치하는 것으로 볼 수 있다.

이온의 밀도는 RF power가 높고 압력이 낮을수록 커지며, 전자의 온도는 주로 압력의 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 전자의 온도가 가해진 Power보다는 평균자유행로(mean free path)에 크게 의존하게 되는 것을 의미하며 측정값에서도 같은 경향을 보여주고 있다.

이러한 결과로 볼 때, 적절한 보정을 고려한 시뮬레이션의 사용은 장비의 개발과정에서 기존의 경험적인 개발방법으로 소모되던 시간과 비용의 절감과 반도체 제조 공정에 있어서의 최적조건 확립에도 유용하게 사용될 것이다. 또한 최근의 웨이퍼 대면적화 추세에 따라 시뮬레이션을 통한 장비 개발 환경의 구축은 필수적인 것으로 전망된다.

참고문헌

- 1) A. Grill, "Cold plasma in Materials Fabrication", IEEE Press, pp.163-166, 1993.
- 2) I. Kaeata, T. Kubo, "Resist Etching with

Parallel-Plate RF Plasmas Enhanced by a Cusp Magnetic Field", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, pp.4879-4885, 1997.

- 3) Z. Falkenstein, J. Coogan, "Photoresist etching with dielectric barrier discharges in oxygen", J. Appl. Phys. 82(12), 1997.
- 4) J. Hopwood, "Review of Inductively Coupled Plasmas for Plasma Processing", Plasma Sources Sci. Tech. vol. 1, pp.109-116, 1992.
- 5) 정 형섭, 이 종근, 박 세근, "고밀도 산소 플라즈마를 이용한 감광제 제거공정에 관한 연구", 전기전자재료학회, Vol.11, No.2, pp.95-100, 1998.
- 6) M. Li, H-M Wu, Y-M Chen, "2-D Simulation of Inductive Plasma Sources with Self-Consistent Power Deposition", IEEE Trans. Plasma Sci. 23, 1995.
- 7) CFD Research Coporation, "CFD-PLASMA(ICP) User Manua", 1997.