

# 축방향 자기장의 주기적 단속을 이용한 유도결합형 플라즈마 식각장비의 고품위 플라즈마 형성

인하대학교 반도체 및 박막기술연구소  
정재성, 김철식, 김철호, 박세근, 오범환

## The Generation of Uniform High Density Plasma of Inductively Coupled Plasma Etcher Enhanced by Alternating Axial Magnetic Field

Institute of Semiconductor and Thin Film Technology, Inha university, Incheon, Korea  
Jae Seong Jeong, Chul Sik Kim, Chul ho Kim, Se-Geun Park, and Beom-hoan O  
E-mail: obh@inha.ac.kr

### Abstract

The performance of inductively coupled plasma (ICP) is enhanced by axial magnetic field driven by alternating current Helmholtz coils in this work. Langmuir probe is used to characterize the plasma, and the etching performance is demonstrated with photoresist stripping process. It is shown that its density and uniformity depends on the frequency of driving current to the magnetic field.

선택비<sup>3)</sup> 등의 어려움은 아직 완벽히 해결되고 있지 못하다.

본 논문에서는 기존의 유도결합형 플라즈마에서 위에서 언급된 문제들을 해결하기 위해 chamber 주위에 Helmholtz 코일을 설치하고 상, 하부의 코일에 교류와 직류를 조합하여 시간에 따라 변하는 축방향 자기장을 다양한 주기로 조절함으로써 플라즈마 밀도와 전자온도에 어떠한 영향을 미치는지 고찰해 보았으며, 감광제 제거공정에 적용하였다.

### 서론

반도체 집적회로소자의 제작공정에서 차세대 플라즈마 소스로 개발되어지고 있는 유도결합형 플라즈마 (ICP)는 그 성능과 특성을 보다 개선하기 위하여 여러 가지 시도가 있어왔다. 안테나의 구조나 위치의 변경, 반응로 주변에 영구자석의 배치, Helmholtz coil을 이용한 축방향자장 등이 그것이다. 그러나 이온의 분포는 중심에서 외곽방향으로 멀어질수록 감소하며, 이로 인하여 균일한 식각이 어렵고, 또한 낮은 압력에서 전자 온도의 증가로 인해 초미세패턴의 식각시에 charge accumulation이라는 심각한 문제점과<sup>3)</sup> 이로 인한 micro loading effect<sup>4)</sup>, notch effect<sup>5)</sup> 그리고 낮은 식각

### 실험

본 실험장치를 그림 1과 2에 나타내었다. 그림 1은 Helmholtz 코일을 설치한 후 chamber의 모습이다. 원형 coil의 지름은 400mm이고 두 코일 간격은 200mm에서 300mm로 코일 간격을 조절할 수 있도록 하였다. Coil 지름은 2mm이고 상, 하부 각각 200회를 감았고, 참고로 coil의 임피던스는 10.02ohm이고 단위 m당 저항은 약 6Ω 정도이다. chamber의 부에는 plasma 진단 장비로 QMS 그리고 Langmuir probe가 설치되어 있다.

그림 2는 본 실험에 쓰인 유도 결합형 플라즈마 소스의 시스템 개략도이다. Matching box는 본 연구팀이 직접 제작한 pi-type의 manual matching box를 Stum

안테나에 연결하였다. matching box의 RF출력과 ground에 연결되는 chamber electrode의 characteristic impedance는 약 1200( $\Omega$ )이었다. Langmuir probe는 wafer와 수직으로 1.5cm가량 떨어져 있다.



그림 1. Chamber 정면도

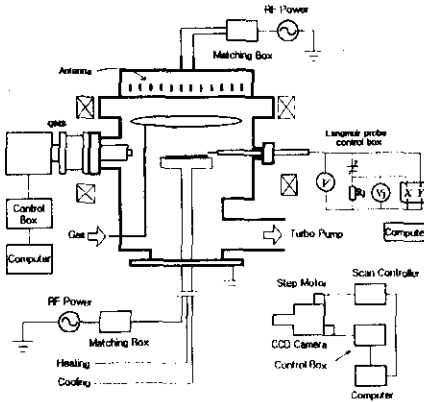


그림 2. 시스템 개략도

실험 조건으로 feed gas는 산소를 20sccm으로 고정시켰으며 pressure는 5, 10mTorr인 조건을 따랐으며 Helmholtz 코일에는 전류를 1A~3A의 조건을 주었다. Source power는 600W, 800W를 인가했고 Langmuir probe위치는 wafer center를 0으로 기준을 정하였다.

그림 3에서 보듯이 10gauss정도의 자장을 얻기 위한 조건을 알아보기 위해 simulation을 한 결과, Helmholtz coil간의 간격을 20cm이며 코일에의 전류값은 1A가 필요함을 예상하였다. 그림 3에서 s는 두 코일간의 거리를 나타낸다. Simulation에서 주어진 조건

으로 실제 공기 중에서 Helmholtz 코일 자장 실험 결과 1A에서 12gauss, 3A에서 22gauss정도의 자장이 코일 내에 균일하게 형성됨을 알 수 있었다.

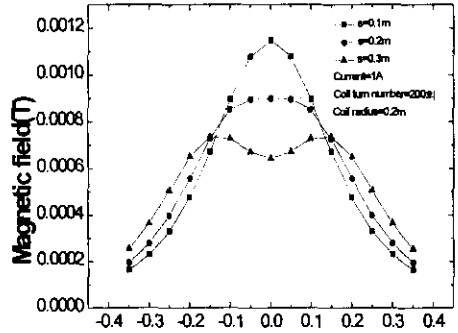


그림 3. 코일 간격에 따른 자기장 simulation

실험에서 상, 하부 코일에 AC와 DC의 전류를 흘림으로써 플라즈마를 발생시켰으며, 전류를 증가시키면서 Langmuir probe 측정을 수행하였다. 다른 모든 조건을 고정시키고 단지 주파수만을 변화시키면서 플라즈마의 이온밀도, 전자밀도, 전자온도 등을 관찰하였다. 주파수 변화를 위해서는 주파수 변환기를 제작하였고, 코일 쪽의 파형을 오실로스코프로 측정하여 직각파형태의 주기적인 단속이 되고 있음을 확인하였다. 마지막으로 실제 반도체 공정에 적용했을 경우 어떠한 결과를 얻을 수 있는지를 확인하기 위하여 본 연구에서는 산소 플라즈마를 source power 600W, bias power 40W, flow rate 20sccm, 압력 5mTorr의 조건에서 발생시키고 감광제 제거 공정을 수행하였다.

### 결과

그림 4, 5는 상부 코일에 교번 자기장을 형성하고 아래 코일에 직류 자기장을 형성할 때 (AC&DC라고 나타냄)와 그 반대의 경우(DC&AC라고 나타냄)에 이온 밀도와 전자 온도를 각각 비교한 실험 결과이다. AC&DC의 경우 이온 밀도는 전류의 증가에 따라 선형적으로 증가하고 있지만, DC&AC의 경우 증가율이 AC&DC의 경우에 비해 적다. 전자 온도의 경우 교번 자기장이 인가되는 두 조건에 대해 1(eV) 수준의 낮고 안정된 경향을 유지하였고 특정한 조건에서 electron kinetic energy가 낮아지고 안정되는 것을 확인하였다.

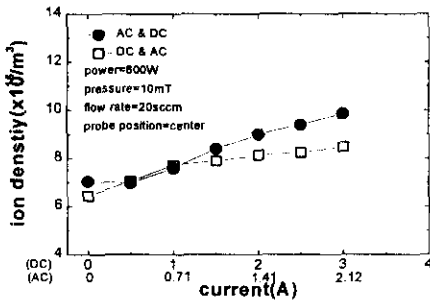


그림 4. 전류변화에 따른 이온 밀도 변화

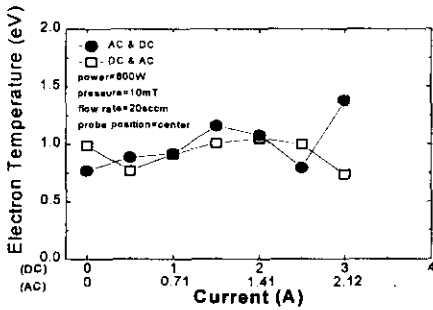


그림 5. 전류변화에 따른 전자 온도 변화

그림 6은 1.7A (약 15gauss)의 전류에 대해 세 위치에서의 주파수 변화에 따른 이온 밀도의 변화를 보여 주고 있다. 0Hz에서 주파수가 증가함에 따라 chamber 중심에서는 증가와 감소를 반복하고 있으며 40Hz~50Hz사이에서 이온 밀도가 가장 높아졌고 특정 주파수에서 이온 밀도가 낮은 chamber wall쪽의 밀도를 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

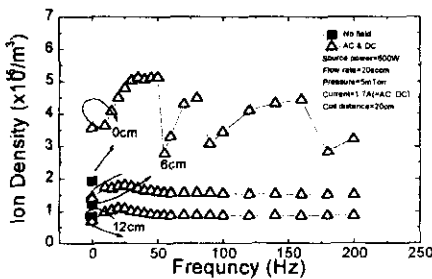


그림 6. 주파수 변화에 따른 이온밀도 변화

1(eV) 수준의 비교적 낮은 전자 온도와 chamber wall 부분에 미량의 이온 밀도 향상으로 etching시

wafer표면에서 발생하는 문제점을 최소화하고, 균일도 증가가 가능할 것이라 예상하고 감광제 제거 공정을 수행하였다.

그림 7, 8의 그래프에서 보여주듯이 40Hz에서 가장 좋은 ashing rate과 균일도를 얻을 수 있었고, 이온 밀도가 높고 전자 온도가 낮을 경우 감광제가 균일하게 효율적으로 제거되었다.

따라서 본 연구에서 개발한 alternating magnetic field에 의해 개선된 ICP는 (E-ICP로 부르기로 함) 기존의 유도 결합형 플라즈마보다도 높은 플라즈마 밀도와 낮은 전자 온도라는 특성을 가지고 있어 etching공정 중에 발생하는 여러 가지 문제들을 효과적으로 방지하는 것으로 사료된다.

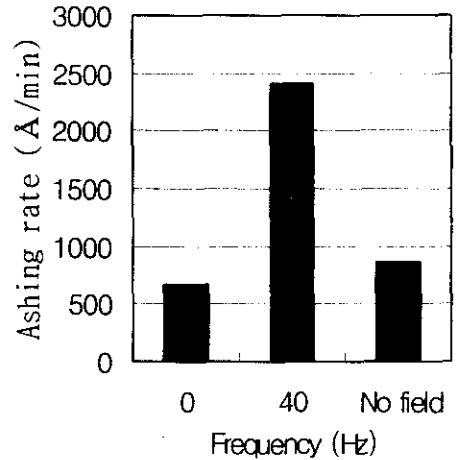


그림 7. 주파수 변화에 따른 ashing rate

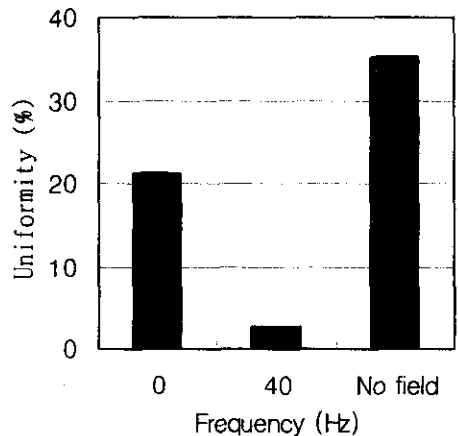


그림 8. 감광제 제거 균일도

## 결론

기존의 Inductively Coupled Plasma 반응로에 Helmholtz coil을 설치하되, 흐르는 전류의 방식의 바꾸고 주파수를 변화시킴으로써 개선된 플라즈마특성을 얻을 수 있었다. 즉, 낮은 강도의 축방향 자기장에 의해 플라즈마 밀도를 높이면서도 균일도를 향상시키기 위해 상, 하부 코일의 전류를 시간적으로 변화하여 축방향 자기장을 시간과 공간적으로 조절하는 기술을 사용하였다. 실험결과 주어진 공정 장비의 변수조건 하에서는 40Hz라는 특정 주파수에서 플라즈마 밀도가 증가하고 전자 온도가 감소하는 것을 확인하였으며 실제 감광제 제거 공정에 성공적으로 적용되었다.

## 감사의 글

본 연구는 산업자원부와 과학기술부에서 시행한 선도기술개발사업의 차세대평판표시장치기반기술개발의 1997-98년도 연구비 지원에 의해 수행되었습니다

## 참고문헌

- [1] 이호준, 신경섭, 황기웅, "평판형 RF 플라즈마에서 축방향 자장이 플라즈마 물성에 미치는 영향", 2차 반도체 학술대회, P47.
- [2] 이호준, 양일동, 황기웅, "약한 자장을 사용하는 평면형 유도결합 플라즈마 식각", 3차 반도체 학술대회, P23.
- [3] Seiji Samukawa, Tsutomu Tsukada, "Effect of electron temperature in high-density Cl<sub>2</sub> plasma for precise etching processes", Appl. Phys. Lett 69(8). 19 August 1996.
- [4] Oliver D. patterson and pramod P. Khargonekar, "Reduction of Loading Effect in Reactive Ion Etching Using Real-Time Closed-Loop Control" J.Electrochem. Soc. Vol. 144. No. 8. August 1997.
- [5] Satoshi Ogino, Nobuo Fujiwara, Hiroshi Miyatake, Masahire Yoneda, "Influence of Poly-Si Potential on Profile Distortion Caused by Charge Accumulation" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35(1996) pp 2445-2449 Part 1 No 4B April 1996.
- [6] 김철식, 김철호, 이현중, 이용규, 배경진, 이종근, 박세근, "유도 결합형 플라즈마를 이용한 감광제 제거 반응로의 설계", 전자공학회지, Vol.21, No1, pp.339~342, 1998.