

# MICP(Multi-pole Inductively Coupled Plasma)를 이용한 deep contact etch 특성 연구

설여승(책임저자)\* , 김종천\* , 구병희\*

\*IPS

## 초록

본 연구에서는 MICP Etching system 을 이용한 Via contact 및 Deep contact hole etch process 특성을 연구하였다. Langmuir probe 를 이용한 MICP source 의 Plasma density & electron temperature 측정하였고 탄소와 플로우르를 포함하는 혼합 Plasma 를 형성하여 RF frequency, wall temperature, chamber gap, gas chemistry 등의 변화에 따른 식각 특성을 조사하였다. Plasma density 는 1000W 에서  $10^{11}/\text{cm}^3$  이상의 high density plasma 와 uniform plasma 형성을 확인하였고  $\text{CH}_2\text{F}_2$ 와 CO 의 적절한 혼합비를 이용하여 Oxide to PR 선택비가 10 이상인 고선택비 조건을 확보하였다. 고선택비 형성에 따라 Polymer 형성이 많이 되었고 이를 개선하기 위하여 반응 챔버의 온도 조절을 통하여 Polymer 증착 방지에 효과적인 것을 확인하였다. MICP source 를 이용하여 탄소와 플로우르의 혼합 가스와 식각 챔버의 온도 조절에 의한 선택비 증가를 확보하여 High Aspect Ratio Contact Hole Etch 가능성을 확보하였다.

## 1. 서론

최근 반도체 소자의 집적도가 증가함에 따라 높은 어스펙트 비(aspect ratio)를 갖는 컨택 홀을 형성하기 위하여 MERIE, DRM과 같은 Medium Density Plasma ( $10^9 \sim 10^{10}$ ) type 장비가 주로 사용되고 있다. 일반적으로 고밀도 플라즈마란 전자밀도가 E11 이상인 고밀도 플라즈마를 소스로서 사용하고 바이어스 파워를 독립적으로 사용하는 형태를 의미하는데, 예를 들면 ICP(Inductively Coupled Plasma), 헬리콘 웨이브(Helicon Wave)플라즈마, TCP(Transformer Coupled Plasma), ECR(Electron Cyclotron Resonance)등이 있고 고밀도 플라즈마는 Deep Contact Etch에 불리하다고 알려져 있다.

본 연구에서는 poly etch 에서 양산 source 임이 입증된 고밀도 플라즈마 type 인 MICP source 를 이용하여 높은 어스펙트 비를 갖는 컨택 홀 식각 특성을 연구하고자 하였다.

MICP 는 유도 Coil 에 RF Power 를 인가하여 Plasma 를 생성하는 원리는 일반 ICP 와 동일하고 특징은 Coil(Antenna)에 의해 유도되는 자기장의 강도를 높이기 위해 Coil 속에 Ferrite 를 삽입하여 Coil 과 Plasma 간의 Power Coupling 효율을 증대시켜서 보다 높은 Plasma Density 구현하고 Power Coupling 효율이 높아진 만큼 저압, 저전력 하에서도 Plasma 가 유지되며 또한 Multi-pole 을 사용하여 균일도 및 확장성 증대에 효과적이다.

본 연구의 목적은 MICP source 를 이용하여 상기 물질막과 하부막 사이의 식각 선택비를 증가시키고 다양한 깊이의 컨택 홀들을 식각 공정에 의해 형성시킬 수 있는 반도체 소자의 컨택 홀 형성을 위한 연구이다.

## 2. 실험 방법

식각하기 위한 Plasma형성은 Nano-Etch system에 MICP를 이용하였고 MICP 특성은 다음과 같다.

MICP Source는 균일도 및 확장성이 우수한 Plasma Source로서 기존 ICP의 단점을 보완한 Source이다. 아래 그림1에서 보듯이 MICP(Multi-pole ICP)는 기존 Mono-pole ICP Source(하나의 Solenoid 또는 하나의 Coil Array)에서 발생하는 Wafer의 Center와 Edge 간의 비균일도 문제를 해결하기 위해 여러 개의 Coil을 Chamber 위에 배치한 독특한 개념의 Source이다. 그리고 보다 높은 Plasma 밀도를 실현하고 저압, 저전력 하에서도 Plasma를 생성 및 유지하기 위해 Coil속에 Soft Ferrite를 삽입하여 Coil과 Plasma간의 Coupling효율을 높인 점도 특이할 만하다. 또 Coil의 배열 시 이웃하는 Pole의 극성을 서로 반대되게 배열하여 유도 자기장의 투과 거리가 Wafer에 미치지 못하도록 하였다.

무엇보다 뛰어난 MICP Source의 장점은 그 확장성이라 하겠다. 기존 ICP Source들은 현 200mm 장비에서 뿐만 아니라 특히 300mm 장비로의 확장 시 Wafer 구경이 커진 만큼 나빠지는 균일도 문제를 해결하는 데 많은 어려움을 겪고 있다. 하지만 Multi-pole을 채택하고 있는 MICP Source에서는 Pole 수와 Pole 배열의 조정만으로 200mm 못지 않는 균일도가 나타났다

Etch rate, Uniformity를 측정하기 위하여 TEOS와 BPSG wafer를 사용하였고 측정은 Ellipsometer에서 17Points 측정하여 Etch

rate map를 구하였다. 그림2.에 진행한 wafer structure 를 나타내었다. Contact hole etch profile 변화는 Scanning Electron Microscopy(SEM)을 이용하여 관찰하였다.

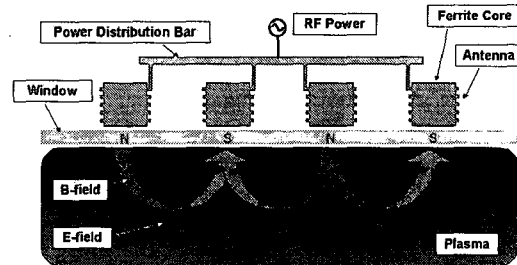


그림1 MICP의 단면도 및 Plasma 형성

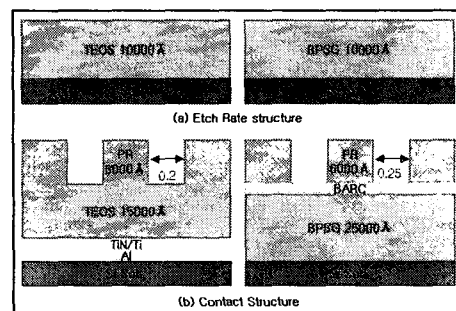
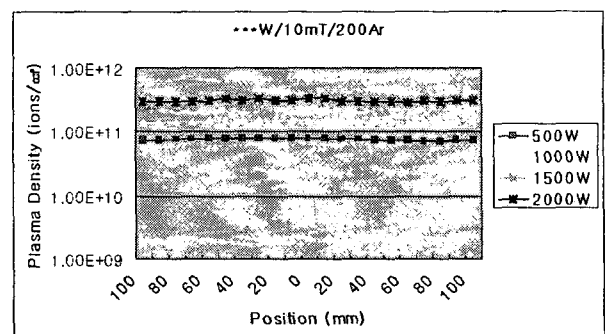


그림2. wafer structure

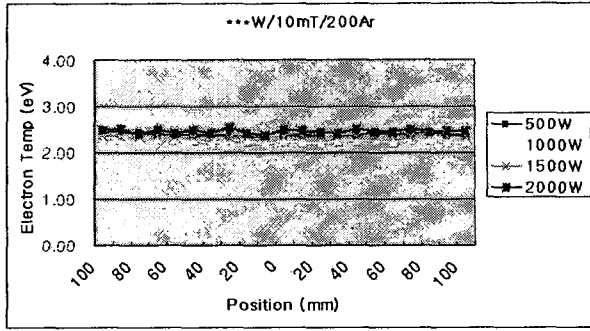
## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 Plasma density & electron temperature 측정

그림3에 10mTorr Ar상에서 RF power에 따른 MICP source의 Plasma density와 electron temperature의 변화를 나타내었으며, 그림4에서는 500W Ar상에서 Pressure에 따른 MICP source의 Plasma density와 electron temperature의 변화를 나타내었다.

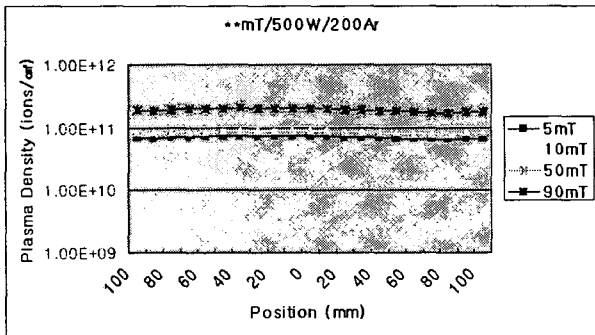


(a) Plasma density

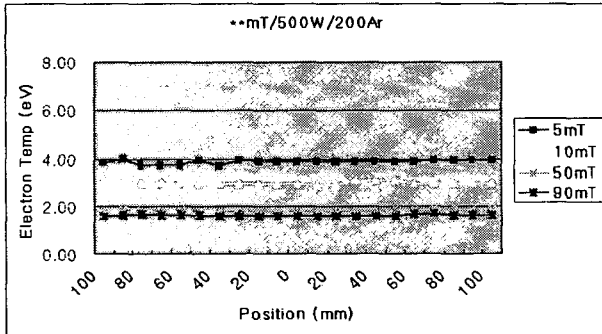


(b)electron temperature

그림3 RF power에 따른 Plasma density & electron temperature (a)Plasma density (b) electron temperature



(a) Plasma density



(b)electron temperature

그림4 Pressure에 따른 Plasma density & electron temperature (a)Plasma density (b) electron temperature

Plasma density는  $10^{11}/\text{cm}^3$  이상이고 uniformity는 5%이하로 양호한 High Density Plasma 형성을 확인하였고 Electron Temperature가 4eV이하의 low electron temperature를 나타내었다.

### 3.2 Gas Chemical 영향

$\text{CHF}_3/\text{CF}_4/\text{Ar}$  chemistry 에서 Oxide 식각 시 Pressure, Gas ratio, RF power 등을 split 통하여 PR Selectivity 를 높이고자 실험을 진행하였으나 PR 선택비가 현저히 낮아 PR 선택비를 증가하기 위하여 카본성분이 많은  $\text{C}_4\text{F}_8/\text{CO}$  chemistry 를 도입하여 PR 선택비를 증가할 수 있었다. 반응 식각 챔버에서 Carbon Polymer 를 형성시켜 PR etch 를 감소시키고자 하였으나 Oxide etch rate 도 낮아지는 현상으로 Bias RF power 를 높여 진행하였다.  $\text{C}_4\text{F}_8/\text{Ar}$  chemistry 에서 식각 특성은  $\text{C}_4\text{F}_8$  flow 량이 많을수록 Etch rate 증가와 PR 선택비 증가 경향이 있고 일정량 이상에서는 Etch rate 에 큰 영향이 없는 것을 확인하였다.  $\text{C}_4\text{F}_8/\text{Ar}$  chemistry 에서 CO 유량에 따른 식각 특성은  $\text{C}_4\text{F}_8$  과 1:1 이하에서는 PR 선택비 개선에 영향이 없고 유량이 증가할수록 Oxide etch rate 감소와 PR 선택비 증가 경향이 있는 것을 확인하였다.

$\text{CH}_2\text{F}_2$  gas 첨가에 따른 PR 선택비 변화는 3 가지 조건에 대해서 그림 5.에서 나타내었다. 첫째,  $\text{C}_4\text{F}_8/\text{Ar}$  에서  $\text{CH}_2\text{F}_2$  유량에 따른 식각 특성은 유량이 증가하면서 PR 선택비가 증가하고  $\text{C}_4\text{F}_8$  유량보다 많은 조건에서는 선택비가 감소 경향을 확인하였다. 둘째,  $\text{C}_4\text{F}_8/\text{O}_2/\text{Ar}$  에서  $\text{CH}_2\text{F}_2$  유량이 증가에 따라 PR 선택비에 영향이 크게 없는 것을 보여주고 있으며,  $\text{C}_4\text{F}_8/\text{CO}/\text{Ar}$  에  $\text{CH}_2\text{F}_2$  첨가한 조건에

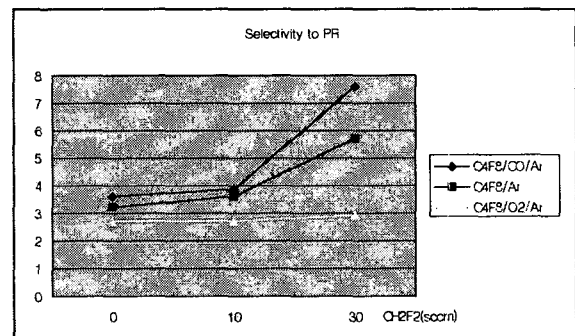


그림 5.  $\text{CH}_2\text{F}_2$  유량에 따른 PR 선택비 변화

서 다른 조건에 비하여 크게 영향을 주는 것을 확인 할 수 있었다.

### 3.3 RF Power 의 frequency 에 따른 영향

RF power 는 초기 source 에 13.56MHz, Bias 에 13.56MHz 를 인가하여 진행하였고 Frequency 에 따르는 식각 특성에서 PR 선택비에 영향이 적게 미치면서 oxide etch rate 를 높일 수 있고 Uniformity 가 좋아지는 방향으로 Frequency 를 적용하여 source 13.56MHz, Bias 4MHz 로 인가하여 사용하였다. Bias RF power 의 Frequency 차이에 의한 식각 특성 변화를 그림 6.에 나타내었다. Bias Frequency 를 13.56 MHz 에서 4MHz 로 줄여서 인가했을 경우 self bias 에 의해 형성된 electric field 에 의한 가속을 더 받아 ion 의 물리적인 효과가 더 크게 작용하는 것을 확인하였다. Source RF power 에 13.56MHz 와 27.12MHz 를 적용하였을 때 식각 특성 변화를 그림 7.에 나타내었다. Frequency 가 증가하면 radical, ion 등의 Plasma 에 변화를 가져와 Oxide etch rate 이

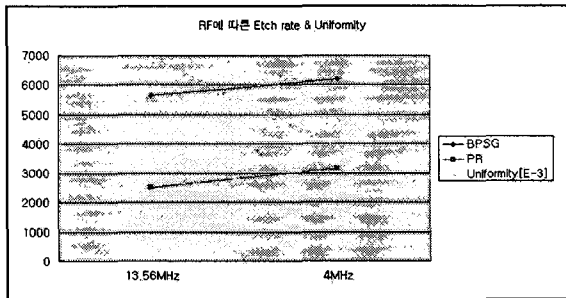
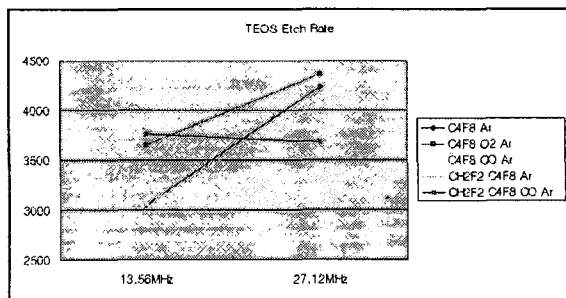
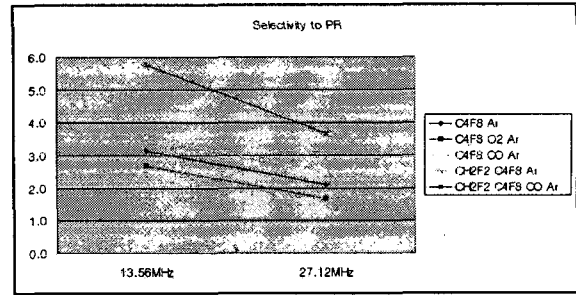


그림 6. Bias frequency 에 따른 식각 특성 변화



(a) Oxide Etch rate



(b) PR 선택비

그림 7. Source RF 에 따른 식각 특성 변화 (a) Oxide Etch rate (b) PR 선택비

대부분 증가 경향이고 상대적으로 PR etch rate 도 증가하여 선택비 감소의 결과를 가져왔다.

### 3.4 Wall heating 에 따른 영향

초기 chamber wall temperature 상온에서 시작하여  $C_4F_8/CH_2F_2/CO/Ar$  chemistry 에서 wall 온도를  $100^\circ C$  이상 조절하였다. 본 연구에서는 선택비를 높이기 위해 카본 성분이 많은 gas 를 사용하여 wall 내부에 heating 하므로써 탄소와 플로우르의 혼합가스에 비율의 변화를 주어 선택비가 높아지는 것을 확인하였다. 그림 8.에 나타나는 것처럼 챔버 내부벽의 온도가 증가함에 따라 Oxide etch rate 에는 영향이 적은 반면에 탄소에 의한 Polymer 작용이 많아 PR etch rate 이 감소하여 선택비가 높아지는 것을 보여준다.

Polymer 형성에 많은 영향을 주는 혼합가스를 사용하므로써 etch time 이 길어 질수록 챔버 내부에 Polymer 가 많아지는 것을 개선해야 한다. 이를 위해서 챔버 내부에 온도를 높여 주어 Polymer 가 달라붙지 못하게 하여 챔버 외부로 배기되게 하여 Polymer buildup 이 적게 되는 것을 확인하였다. 그림 9.에서 RF time 5 시간 동안 식각이 진행된 후의 온도에 따른 Polymer 형성 된 결과이다. 또 온도 조절과  $O_2$  Plasma 를 통해서 Polymer 형성이 일정량

이하가 되도록 조절할 수 있는 것을 확인하였다.

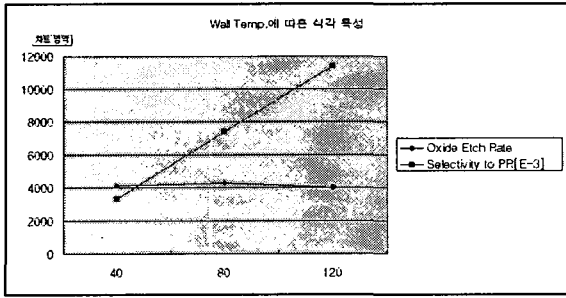


그림 8. Wall Temp.에 따른 식각 특성

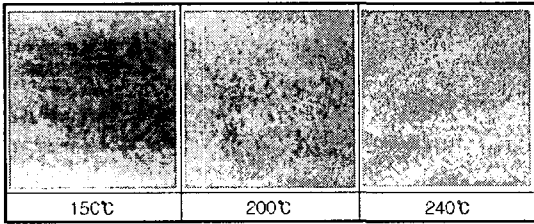


그림 9. Wall Temp.에 따른 Polymer 변화

### 3.5 Gap 에 의한 영향

그림 10.는 챔버 내의 ESC 와 Source 사이의 거리에 따른 식각 특성을 나타내었다. 일반적으로 Oxide Etch 에서는 PR 선택비를 높이기 위해 high polymer 형성 가스를 사용하고 high polymer 가 chamber wall 에 부착되는 양을 최소화하고 Polymer 의 pumping out 을 증가 시키기 위해 Gap 을 최소한으로 유지한다. MICP 에서 챔버 Gap 이 작을수록 Oxide Etch rate 는 약간 증가하고 PR 선택비는 크게 증가하였고 Oxide Etch Uniformity 는 저하되었다. MICP 는 source 바로 밑에서는 Multi-pole 의 영향을 받아 plasma 균일도가 나쁘고 Gap 이 증가할수록

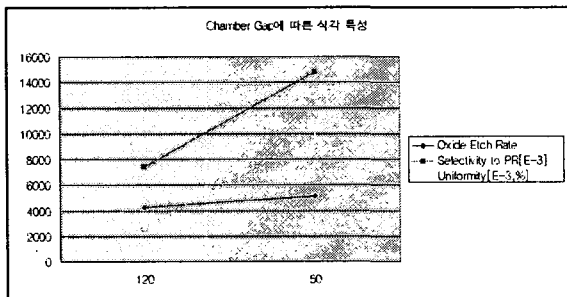


그림 10. Source Gap 에 따른 식각 특성 변화

Magnetic Field 가 Uniform 해지고 plasma 균일도도 향상되어 다른 Plasma Source 보다 충분한 Gap 을 유지할 필요가 있다.

### 3.6 Via contact Etch

9mTorr 의 공정 압력에서  $C_4F_8/CH_2F_2/CO/Ar$  chemistry 의 MICP Etching system 에서 PR 선택비 7~8 대 1 인 조건에서 Via contact hole etch 를 진행하였다. 그림 11.에 Partial etch profile 과 Etch uniformity 를 나타내었다. 그리고 이를 기준으로 Via contact profile 를 그림 12.에 나타내었다. 양호한 Via Etch profile 과 Etch Uniformity 를 나타내었고 Polymer 제거 유무 확인 필요하다.

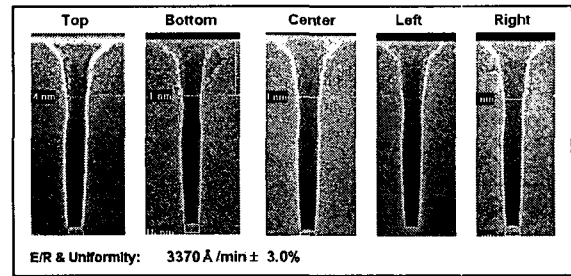


그림 11. Partial etch Profile

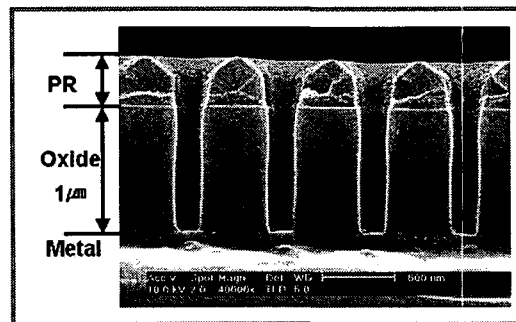


그림 12. Via contact profile

### 3.7 Deep contact Etch

Source RF power frequency 13.56MHz, Bias RF power frequency 4MHz, chemistry  $C_4F_8/CH_2F_2/CO/Ar$  상에서 챔버 내부온도를 조절하면서 PR 선택비 12:1 이상 유지하여 어스펙트 비( aspect ratio )가 10:1 수준의

Contact 에서 deep contact hole etch 를 진행한 결과를 그림 13.에 나타내었고 양호한 Contact Etch Profile 을 나타내었다. PR 모서리 부근 Facet 현상 개선과 neck 부근의 Polymer 제거 유무 확인이 필요하다.

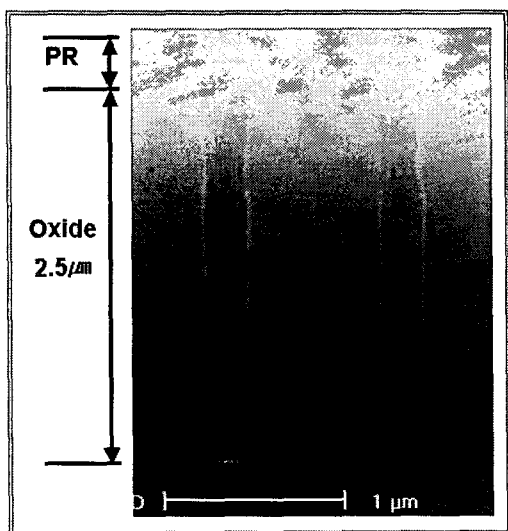


그림 13. Deep contact etch profile

#### 4. 결론

MICP Etching system 을 이용한 Deep contact hole etch 는 탄소와 플로우르를 포함하는 혼합 Plasma 를 형성하여 Source RF power 1700W, Bias RF power 1500W, 공정 압력 9mTorr 에서 aspect ratio 10:1 수준의 Oxide 2.5  $\mu\text{m}$  두께에서 양호한 contact hole etch profile 을 얻을 수 있었다. Etch time 이 증가함에 따라 Polymer 형성이 많이 되는 것을 개선하기 위하여 반응 챔버의 온도 조절과  $\text{O}_2$  Plasma 를 통하여 Polymer 증착 방지에 효과적인 것을 확인하였다.