

Multi-pole Inductively Coupled Plasma(MICP)를 이용한 Via Contact 및 Deep Contact Etch 특성 연구

설여송* · 김종천†

IPS 연구소

Via Contact and Deep Contact Hole Etch Process Using MICP Etching System

Yeo Song Seol* and Jong Cheon Kim†

IPS R&D

ABSTRACT

In this research, the etching characteristics of via contact and deep contact hole have been studied using multi-pole inductively coupled plasma(MICP) etching system. We investigated Plasma density of MICP source using the Langmuir probe and etching characteristics with RF frequency, wall temperature, chamber gap, and gas chemistry containing Carbon and Fluorine. As the etching time increases, formation of the polymer increases. To improve the polymer formation, we controlled the temperature of the reacting chamber, and we found that temperature of the chamber was very effective to decrease the polymer thickness. The deep contact etch profile and high selectivity(oxide to photoresist) have been achieved with the optimum mixed gas ratio containing C and F and the temperature control of the etching chamber.

Key Words : MICP source, Deep contact etch, High selectivity

1. 서 론

최근 반도체 소자의 집적도가 증가함에 따라 높은 aspect ratio를 갖는 contact hole을 형성하기 위하여 MERIE(magnetically enhanced reactive ion etching), DRM(Dipole Ring Magnetron)과 같은 medium density plasma($10^9 \sim 10^{10}/\text{cm}^3$) type 장비가 주로 사용되고 있다. 일반적으로 고밀도 플라즈마란 전자밀도가 $10^{11}/\text{cm}^3$ 이상인 고밀도 플라즈마를 소스로서 사용하고 바이어스 power를 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 conductor etch에서 양산 source임이 입증된 고밀도 플라즈마 type인 multi-pole inductively coupled plasma(MICP) source를 이용하여 높은 aspect ratio를 갖는 contact hole식각 특성을 연구하고자 하였다.

MICP는 유도코일에 RF 전력을 인가하여 플라즈마를 생성한다는 원리에 있어서는 일반 ICP와 동일하나, 코일속에 ferrite를 삽입하여 유도되는 자기장의 강도를 높일 수 있고 코일과 플라즈마 간의 power coupling 효율을 증대시켜 높은 플라즈마 밀도를 얻을 수 있다는 특징이 있다. 또한 multi-pole을 사용함으로써 균일도와 확장성을 개선할 수 있으며 power coupling 효율이 높아 저압·저전력 아래에서도 플라즈마의 유지가 가능하다는 장점이 있다. 본 연구의 목적은 MICP source를 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.

†E-mail : kimjc@ips-tech.com

2. 실험 방법

MICP는 균일도 및 확장성이 우수한 plasma source로서 기존 ICP의 단점을 보완하였다. 아래 그림 1에서 보듯이 MICP(Multi-pole ICP)는 기존 Mono-pole ICP Source(하나의 solenoid 또는 하나의 coil array)에서 발생하는 wafer의 center와 edge간의 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 높였다. 또 coil의 배열시 이웃하는 pole의 극성을 서로 반대되게 배열하여 유도 자기장의 투과 거리를 줄여 plasma damage를 최소화 하였다.

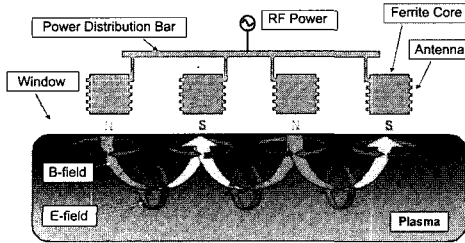


Fig. 1. Schematic diagram of MICP.

기존 ICP Source들은 현 200 mm 장비에서 뿐만 아니라 특히 300 mm 장비로의 확장 시 wafer 구경이 커진 만큼 나빠지는 균일도 문제를 해결하는 데 많은 어려움을 겪고 있다. 그러나 multi-pole을 채택하고 있는 MICP는 pole 수와 pole 배열의 조정만으로 균일도를 향상하였다.

Etch rate, uniformity를 측정하기 위하여 TEOS와 BPSG wafer를 사용하였고 측정은 ellipsometer에서

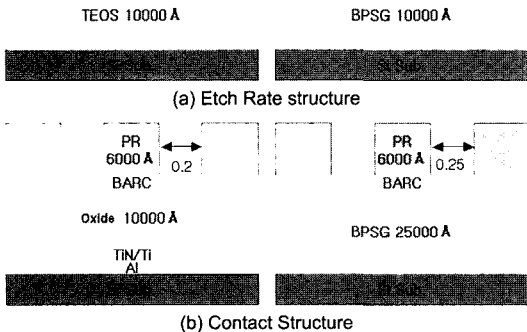


Fig. 2. Wafer structure.

17 Points 측정하여 etch rate map를 구하였다. 그림 2에 wafer structure를 나타내었다. Contact hole etch profile은 scanning electron microscopy(SEM)을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. Etch parameter에 따른 plasma 특성

그림 3에 Ar gas를 이용하여 10 mTorr에서 RF power에 따른 MICP source의 plasma density와 electron temperature의 변화를 나타내었으며, 그림 4에 500 W에서 pressure에 따른 MICP source의 plasma density와 electron temperature의 변화를 나타내었다.

Plasma density는 $10^{11}/\text{cm}^3$ 이상이고 uniformity는 5% 이하로 양호한 high density plasma 형성을 확인하였고, 4 eV이하의 낮은 electron energy를 나타내었다.

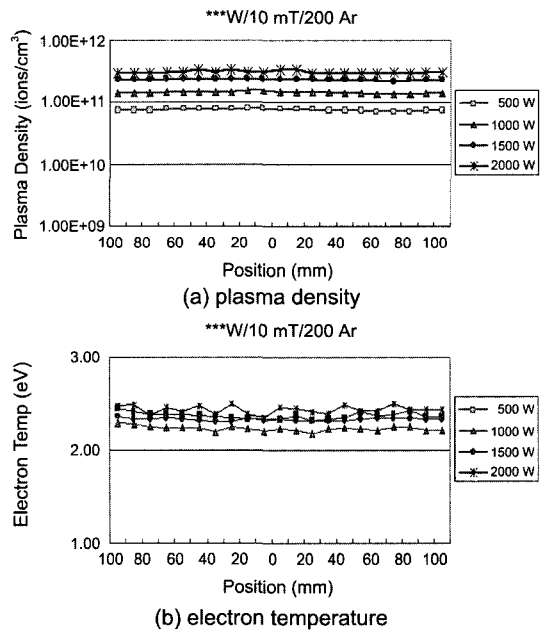


Fig. 3. Plasma density and electron temperature with various RF power (a)plasma density and (b) electron temperature.

3.2 Gas Chemistry에 따른 선택비 특성

$\text{CHF}_3/\text{CF}_4/\text{Ar}$ chemistry를 사용하여 선택비 특성을 관찰한 결과 photoresist(PR) 선택비가 현저히 낮았고, PR 선택비를 증가하기 위하여 카본성분이 많은 $\text{C}_4\text{F}_8/\text{CO}$ chemistry를 도입하여 PR선택비를 증가할 수 있었다. 반응 식각 챔버에서 Carbon Polymer를 형성시켜 PR etch를 감소시키고자 하였으나 oxide etch rate도 낮

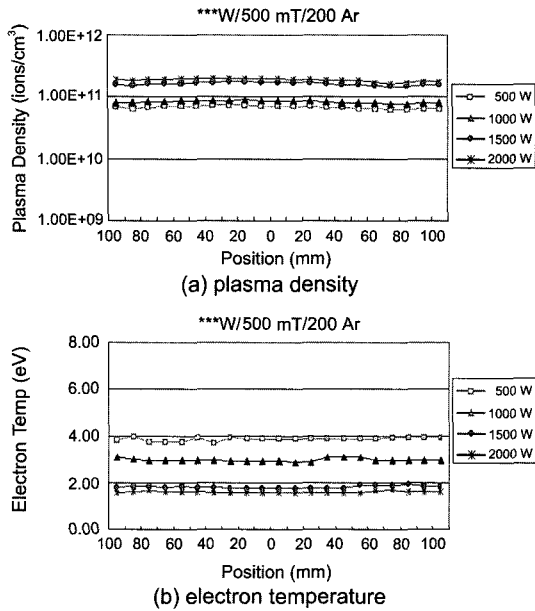


Fig. 4. Plasma density and electron temperature at various pressure (a) plasma density and (b) electron temperature.

아지는 현상으로 bias RF power를 높여 진행하였다. C_4F_8/Ar chemistry에서 식각 특성은 C_4F_8 flow량이 많을수록 Etch rate증가와 PR 선택비 증가 경향이 있고 일정량 이상에서는 etch rate에 큰 영향이 없는 것을 확인하였다. C_4F_8/Ar chemistry에서 CO 유량에 따른 식각 특성은 C_4F_8 과 1:1이하에서는 PR 선택비 개선에 영향이 없고 유량이 증가할수록 oxide etch rate 감소와 PR 선택비 증가 경향이 있는 것을 확인하였다.

CH_2F_2 gas 첨가에 따른 PR 선택비 변화를 그림 5에 나타내었다. C_4F_8/Ar 및 $C_4F_8/CO/Ar$ chemistry에서 CH_2F_2 유량에 따른 식각 특성은 CH_2F_2 유량이 증가하면서 PR 선택비가 증가하였다. $C_4F_8/O_2/Ar$ 에서 CH_2F_2 유량 증가에 따라 PR 선택비가 증가하지 않고

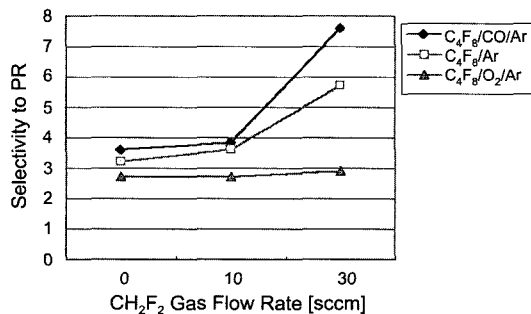


Fig. 5. Selectivity to PR with various CH_2F_2 gas.

별로 변화가 없었다.

3.3. RF power의 frequency에 따른 Oxide 식각 특성

Source frequency는 13.56 MHz사용하고 RF power frequency 차이에 의한 식각 특성 변화를 그림 6과 7에 나타내었다. Bias frequency가 13.56 MHz에서 4 MHz로 감소함에 따라 self bias에 의해 형성된 ion energy가 증가하여 oxide 식각 속도가 증가하였고 uniformity가 균일해졌다. 그림 7에서 source frequency증가에 따라 oxide etch가 증가하고 PR선택비는 감소하였다. 이는 source frequency 증가에 따른 plasma density가 증가하여 Oxide와 PR식각 속도가 모두 증가하나 특히 PR식각 속도가 더 증가하여 PR선택비가 감소한 것으로 보인다. Source frequency가 13.56 MHz이하에서 식각 특성은 향후 실험 예정이고 MICP에서는 ferrite고 유특성 때문에 low frequency가 유리할 것으로 보인다.

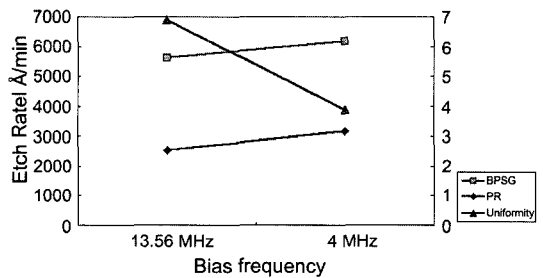


Fig. 6. Etching characteristics with Bias frequency.

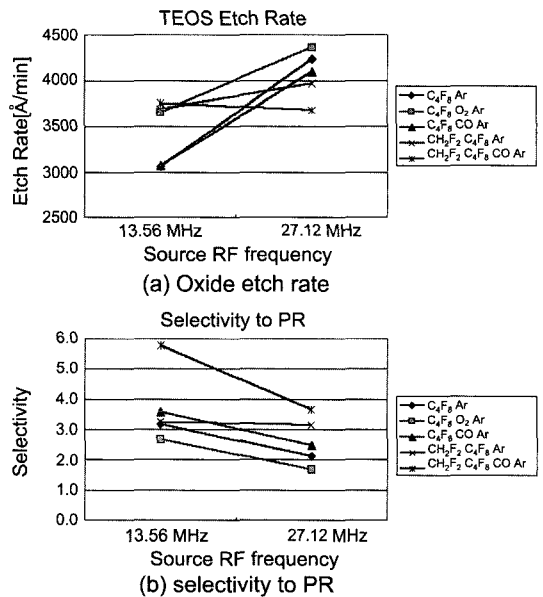


Fig. 7. Etching characteristics with Source RF frequency.

3.4 Wall heating에 따른 oxide 식각 특성

PR 선택비가 높은 $C_4F_8/CH_2F_2/CO/Ar$ chemistry에서 챔버벽의 온도에 따른 polymer형성을 관찰하였다. 그림 8에 나타나는 것처럼 챔버 내부벽의 온도가 증가함에 따라 oxide etch rate에는 영향이 적은 반면에 PR etch rate이 감소하여 선택비가 높아지는 것을 보여준다.

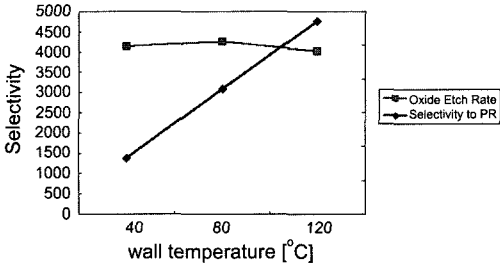


Fig. 8. Etching characteristics at various wall temperatures.

polymer 형성에 많은 영향을 주는 혼합가스를 사용할 경우 etch time이 길어 질수록 챔버 내부에 polymer가 많아지는 것을 개선해야 한다. 이를 위해서 챔버 내부에 온도를 높여 주어 polymer가 달라붙지 못하게 하여 챔버 외부로 배기되게 하여 polymer buildup이 적게 형성하고자 하였다. 그림 9에서 RF time 5시간 동안 식각이 진행된 후의 온도에 따른 polymer 형성된 결과이다. 또 온도 조절과 O_2 plasma를 통해서 polymer 형성이 일정량 이하가 되도록 조절할 수 있는 것을 확인하였다.

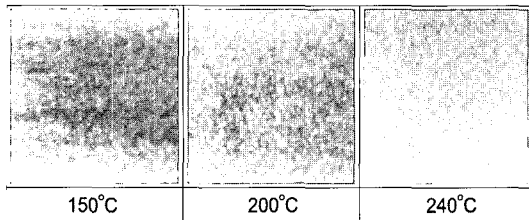


Fig. 9. Polymer formation with wall temperature.

3.5. Chamber Gap에 의한 식각 특성

그림 10는 챔버 내의 ESC(Electro Static Check)와 source사이의 거리에 따른 식각 특성을 나타내었다. 일반적으로 oxide etch에서는 PR선택비를 높이기 위해 high polymer 형성 가스를 사용하고, high polymer가 chamber wall에 부착되는 양을 최소화하고 polymer의 pumping out을 증가시키기 위해 gap을 최소한으로 유지한다. MICP에서 챔버 gap이 작을수록 oxide etch rate는 약간 증가하고 PR선택비는 크게 증가하였고 oxide etch uniformity는 저하되었다. MICP는 source

바로 밑에서는 multi-pole의 영향을 받아 plasma 균일도가 나쁘고 gap이 증가할수록 magnetic field가 uniform해지고 plasma균일도도 향상되어 다른 Plasma Source보다 충분한 gap을 유지할 필요가 있다.

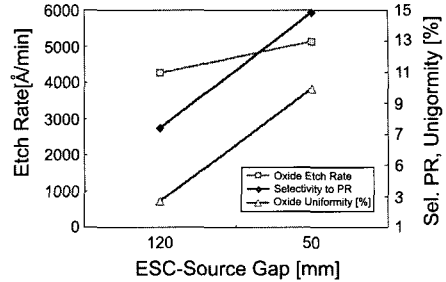


Fig. 10. Etching characteristics with chamber gap.

3.6. Via contact Etch

9 mTorr, $C_4F_8/CH_2F_2/CO/Ar$ chemistry를 사용하여 via contact hole etch를 진행하였다. 그림 11에 partial etch profile과 etch uniformity를 나타내었다. 그리고 이를 기준으로 via contact profile를 그림 12에 나타내었다. 양호한 via etch profile과 etch uniformity를 나타내었고 PR 선택비가 7~8로 고선택비를 확보하였다.

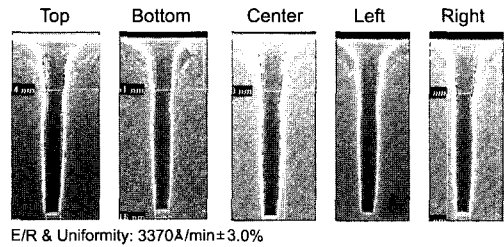


Fig. 11. Partial etch profile.

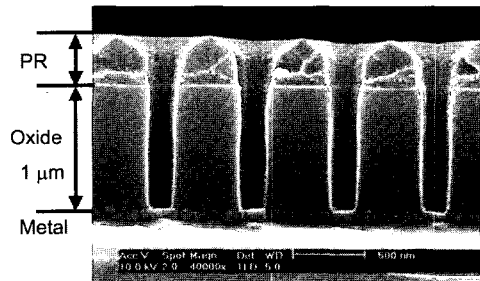


Fig. 12. Via contact profile.

3.7. Deep contact Etch

Source RF power frequency : 13.56 MHz, bias RF power frequency : 4 MHz, chemistry $C_4F_8/CH_2F_2/CO/$

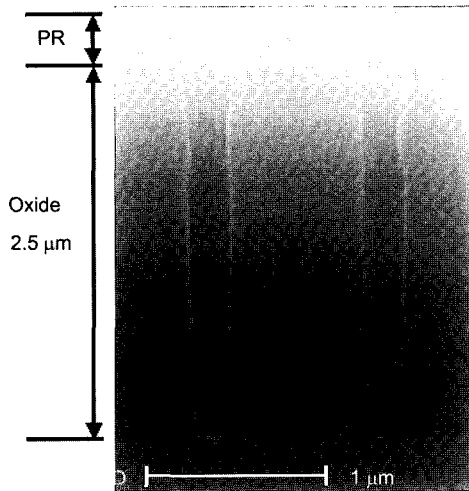


Fig. 13. Etching profile of deep contact hole.

Ar 상에서 챔버 내부온도를 조절하면서 aspect ratio가 10:1 수준의 contact에서 deep contact hole etch를 진행한 결과를 그림 13에 나타내었고 양호한 contact etch profile을 나타내었고 PR선택비 12:1 이상을 나타내었다. PR 모서리 부근 facet 현상 개선과 neck부근의 polymer 제거 유무 확인이 필요하다.

4. 결 론

MICP Etching system을 이용한 deep contact hole etch는 탄소와 플로우르를 포함하는 혼합 plasma를 형성하여 source RF power: 1700 W, bias RF power: 1500 W, 공정 압력: 9 mTorr에서 aspect ratio 10:1 수준의 Oxide 2.5 μm 두께에서 양호한 contact hole etch profile 및 12:1 이상의 고선택비(oxide to PR)을 얻을 수 있었다. Etch time 이 증가함에 따라 Polymer 형성이 많이 되는 것을 개선하기 위하여 반응 챔버의 온도 조절과 O_2 plasma를 통하여 polymer 증착 방지에 효과적인 것을 확인하였다.

참고문헌

1. Brian, C. "Glow Discharge Processes", John Wiley & Sons, 1980.
2. Lieberman, M. A. Lichtenberg, A. J. "Principles of Plasma Discharges and Materials Processing", John Wiley & Sons, Inc., 1994.
3. Coburn, J. W. "Plasma Etching and Reactive Ion Etching", American Institute of Physics, Inc., 1982.
4. Popov, O. A. "High Density Plasma Sources", NOYES PUBLICATIONS, 1995.