

Low-k Polyimide상의 금속배선 형성을 위한 식각 기술 연구

문호성 · 김상훈 · 안진호
한양대학교 재료공학과

A Study on the Etching Technology for Metal Interconnection on Low-k Polyimide

Hosung Moon, Sang-Hoon Kim and Jinho Ahn

Department of Materials Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-ku, Seoul 133-791, Korea

(2000년 1월 22일 받음, 2000년 5월 24일 최종수정본 받음)

초 록 실리콘 소자가 더욱 미세화되면서, 발생되는 power consumption, crosstalk와 interconnection delay 등을 감소시키기 위해 SiO₂ 대신에 저유전 상수막의 적용이 고려되어진다. 본 논문에서는, 저유전 상수 층간 절연막 재료로 유망한 폴리이미드의 식각 특성에 O₂/SF₆ 가스가 미치는 영향을 연구하였다. 폴리이미드의 식각률은 SF₆ 가스의 첨가에 따라 산소와 hydrocarbon 폴리머 간의 반응을 억제하는 비휘발성 물질인 fluorine 화합물의 형성에 의해 감소되었다. 반면에, 기판 전극의 전압 증가는 물리적인 충격을 통해 식각 공정을 증가시켰다. 또한, 작은 량의 SF₆ 가스 첨가는 식각 topography에 바람직하였다. 폴리이미드 식각을 위해 SiO₂ hard mask 사용은 산소 플라즈마 식각 하에서 효과적이었다 (선택비~30). 반면에 O₂/SF₆ 가스 조성은 식각 선택비를 4로 저하시키게 되었다. 이러한 결과를 기초로, 1-2 μ m 선폭을 가진 PI 2610의 식각을 원활히 수행할 수 있었다.

Abstract For further scaling down of the silicon devices, the application of low dielectric constant materials instead of silicon oxide has been considered to reduce power consumption, crosstalk, and interconnection delay. In this paper, the effect of O₂/SF₆ plasma chemistry on the etching characteristics of polyimide—one of the promising low-k interlayer dielectrics—has been studied. The etch rate of polyimide decreases with the addition of SF₆ gas due to formation of nonvolatile fluorine compounds inhibiting reaction between oxygen and hydrocarbon polymer, while applying substrate bias enhances etching process through physical attack. However, addition of small amount of SF₆ is desirable for etching topography. SiO₂ hard mask for polyimide etching is effective under O₂ plasma etching(selectivity~30), while O₂/SF₆ chemistry degrades etching selectivity down to 4. Based on the above results, 1-2 μ m L&S PI2610 patterns were successfully etched.

Key words : Low-k, Interconnection, dry etching, damascene process, ECR etcher

1. 서 론

지난 수십여년 동안 집적회로는 눈부신 발전을 거듭하였고 회로 구현에 있어서 배선 길이와 배선층 수의 증가가 계속되어지고 있다. 또한 세대 교체에 따른 선폭의 감소 및 배선의 밀집화는 저항과 커패시턴스의 급격한 증가를 야기하고 있고 이로 인한 RC delay 등이 또다른 문제로 대두되고 있는 실정이다.^{1~3)} 따라서, 소자의 downsizing은 점점 더 능동소자의 크기 감소에 의한 이득보다 배선의 특성에 의존하게 되었다.

이러한 배선형성의 특성개선을 위해 기존의 알루미늄(비저항 2.8 $\mu\Omega$ -cm)보다 낮은 비저항(1.7 $\mu\Omega$ -cm)을 갖는 구리 배선과 SiO₂(ϵ ~4.1)보다 낮은 유전상수를 갖는 저유전상수 물질의 도입으로 이러한 문제를 해결해 나가려는 움직임이 보이고 있다.^{4,5)} 이런 저유전상수 물질로는 FSG(SiOF), 폴리이미드, Silsesquioxane, Fluorinated-Polyimide, Parylene, CYTOP, Teflon, Nanoform, Porous Silica, Amorphous Carbon 등이 있는데 이중에서 폴리이미

드는 뛰어난 평탄화 특성, 증착의 용이성, 낮은 유전상수(2.9~3.2), 비교적 큰 Breakdown voltage, 많은 용매들에서 안정한 화학적 특성, 우수한 Gap-fill 특성 등의 장점을 가지고 있어 기존의 SiO₂를 대체할 적절한 물질로 대두되고 있다.^{6~9)}

최근 배선기술에 있어 구리(Cu)의 도입은 알루미늄의 단점을 극복할 수 있는 여러가지 장점에도 불구하고 Cu배선기술이 식각의 어려움 등의 기술적 문제로 도입되지 못다가 damascene 공정의 개발에 따라 그 응용이 가속화될 것으로 보인다. 향후 Al/SiO₂ 배선구조를 대체하게 될 Cu/Low-k ILD 구조는 damascene 공정을 통해 배선이 이루어지게 될 것이다. 이러한 공정에서는 저유전상수 층간절연막의 식각이^{2~5,10~12)} 필수적이며, 본 실험에서는 차세대 Cu/Low-k ILD 구조 형성에 있어서 근간이 될 저유전상수 물질 식각의 일환으로 O₂/SF₆ 가스 조성에서 폴리이미드의 식각 특성에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험 방법

폴리이미드의 식각 특성을 알아보기 위하여 사용한 재료는 BPDA (biphenylene tetracarboxylic dianhydride) - PDA (para-phenylene diamine) 계열의 전구체인 Dupont Pyralin LX PI-2610이었다. 전처리된 Si wafer 기판 위에 폴리이미드 전구체를 떨어뜨린 후 spin coater 를 이용하여 균일한 막을 도포하였다. 이후 dry-oven을 이용하여 135℃ 대기 중에서 30분간 soft curing을 실시하고 350℃ 질소분위기에서 hard curing을 실시하여 2 μ m 두께를 구현하였다. 그 위에 hardmask로 e-beam evaporation을 이용한 SiO₂를 3000Å 증착하였다. 본 실험에서는 비교적 유전상수가 낮아 series capacitance를 줄일 수 있는 SiO₂를 hardmask로 사용하였고, hardmask pattern 형성을 위한 포토레지스트는 양성감광막인 AZ1512를 사용하였다. 최종적인 식각실험의 시편은 AZ1512(1.3 μ m)/hardmask(3000Å)/PI-2610(2 μ m)/Si의 구조로 이루어져 있다.

본 실험에서는 고밀도 플라즈마의 하나인 ECR (Electron Cyclotron Resonance) plasma etcher를 사용하여 식각실험을 실시하였다. 폴리이미드의 식각은 O₂/SF₆ 가스 조성에서 실시하였는데 먼저 총유량 15sccm에서 SF₆ 첨가량 변화에 따른 식각 특성을 살펴보았다. 또한, source power와 bias power의 독립적인 control이 가능한 ECR etcher의 특성을 살려 microwave power와 기판에 인가하는 RF bias power 변화에 따른 식각 특성도 살펴보았다. 각 공정에서의 식각율과 식각형상은 α -step과 SEM을 사

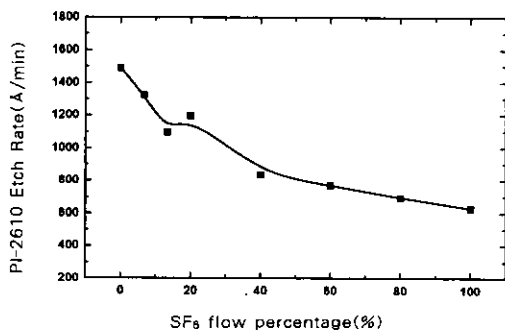


Fig. 1. Etch rate of PI-2610 as a function of gas composition in O₂/SF₆ ECR plasma.

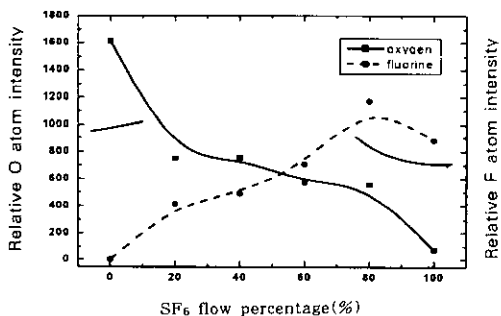


Fig. 2. Relative oxygen and fluorine atom intensity measured by OES as a function of gas composition in O₂/SF₆ ECR plasma.

용하여 살펴보았고 식각 플라즈마내의 원소 분석은 OES (Optical Emission Spectroscopy)를 사용하여 실시하였다. 폴리이미드의 성분원소와 화학결합상태 변화는 Nicolet사의 Magna-IR 장비로 FTIR (Fourier Transform Infrared spectroscopy) 분석을 실시하였으며, XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) 분석은 12kV, 20mA에서 Al anode를 사용한 SSI사의 2803-S를 사용하여 표면 화학상태를 알아보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1 SF₆ 가스 첨가에 따른 식각 특성

Etch rate

그림 1은 O₂/SF₆ 가스 조성에서 SF₆ 가스 첨가량 변화에 따른 PI-2610의 식각율을 보여주고 있다. 식각은 ECR plasma etcher를 이용하여 800W microwave power, 150W substrate bias power, 5mTorr working pressure에서 실시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 본 실험에서는 폴리이미드의 식각율이 SF₆ 가스 첨가량 증가에 따라 감소하는 것을 볼 수 있다. 본 실험에서 나온 결과를 토대로 플라즈마 내의 원소 분석을 위해 OES로 관측하였다. 그림 2는 SF₆ 가스 첨가량 변화에 따른 플라즈마 내에서 산소와 불소 원자의 농도변화를 OES로 측정된 결과이다. 그림 1의 폴리이미드 식각율 변화와 비교해 볼 때 산소원자의 농도가 감소하고 불소원자의 농도가 증가함에 따라 식각율이 감소함을 볼 수 있다. 이와 더불어 SF₆ 가스로 식각한 폴리이미드표면에 형성되는 화합물을 알아보고자 FTIR과 XPS 분석을 실행하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 SF₆ 플라즈마로 식각한 경우에는 730~745cm⁻¹의 -CF₂-CF₃ deformation과 950~1100cm⁻¹ 영역에서의 poly-fluorinated benzene compounds의 peak이 나타나고 있음을 볼 수 있다. XPS 분석결과 그림 4(a)를 보면 SF₆ 플라즈마로 식각한 폴리이미드에서 F(1s) peak이 확연하게 드러나고 있음을 볼 수 있다. Al의 peak도 약간 나타나는데 이는 chamber 오염에 의한 것이라 생각된다. 또, 그림 4(b)에서 보듯이 SF₆ 가스로 식각한 시편의 C1s peak이 as-cured 상태에서보다 binding energy가 큰 쪽

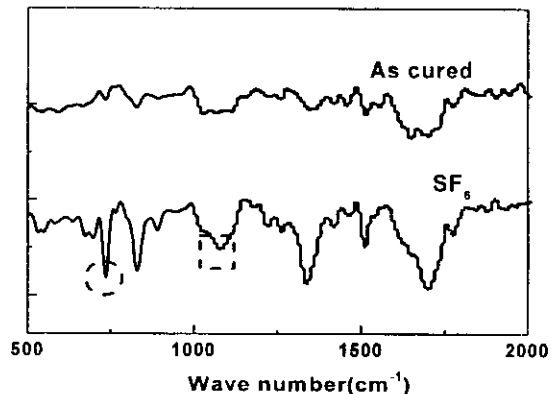


Fig. 3. Infrared spectra of PI-2610 exposed to SF₆ plasma.

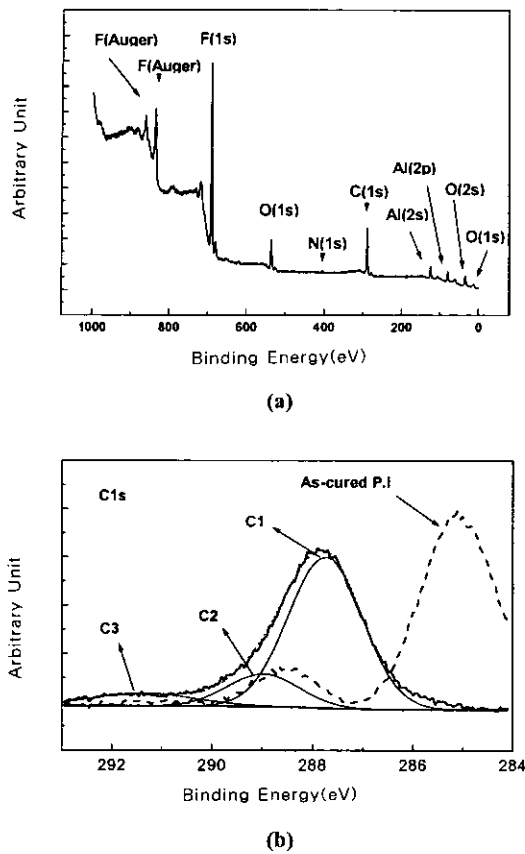


Fig. 4. XPS spectra of PI-2610 exposed to SF_6 plasma (a) widescan spectrum, (b) C1s spectrum.

으로 shift된 것을 볼 수 있으며 C1으로 표시한 287.8eV에서의 C-C, C-H bond, C2로 표시한 289eV의 $\text{CF}-\text{CF}_2$, $\text{CF}_3-\text{C}-\text{CF}_3$ bond, C3로 표시한 291.4eV의 CF_2-CF_2 , $\text{CF}-\text{CF}_2-\text{CF}$ bond 등이 관찰되고 있다. Hydrocarbon polymer의 식각 반응 초기단계에서는 hydrocarbon의 산화로 휘발성이 있는 carbonyl, water의 형태의 부산물을 형성하여 식각 반응이 진행되는 것이 주요한 화학반응으로 작용하는데 본 실험에서 SF_6 가스의 첨가는 이러한 산화반응을 억제하는 것으로 보인다.^{13,14} 실제로 organic polymer의 수소 탈착을 통해 이러한 식각 반응이 시작되는데, 이 때 F-H bond의 결합력이 O-H bond보다 35kcal/mol 정도 큰 것으로 알려지고 있고¹⁴, 이 때문에 산소와 불소가 함께 존재할 경우에는 불소의 흡착이 선행적으로 일어나는 것이다. 그리고 이 때 형성된 fluorinated compounds는 휘발성이 없어 표면에 잔류하기 때문에 계속되는 산소와 폴리이미드의 화학반응을 방해하게 되고 따라서 식각율의 감소를 초래하는 것이다. 다만, SF_6 만의 식각가스 조성에서도 식각이 되는 것은 기판에 인가하는 바이어스에 따른 물리적 식각에 의해 불소화합물이 제거되기 때문인 것으로 사료된다.

Selectivity and etched surface

PI-2610과 양성감광막인 AZ1512와의 선택비는 1내외로 식각율이 거의 흡사하고 굳이 선택비를 비교하자면 미량의 차이기는 하나 pure O_2 나 fluorine이 많은 가스 조성

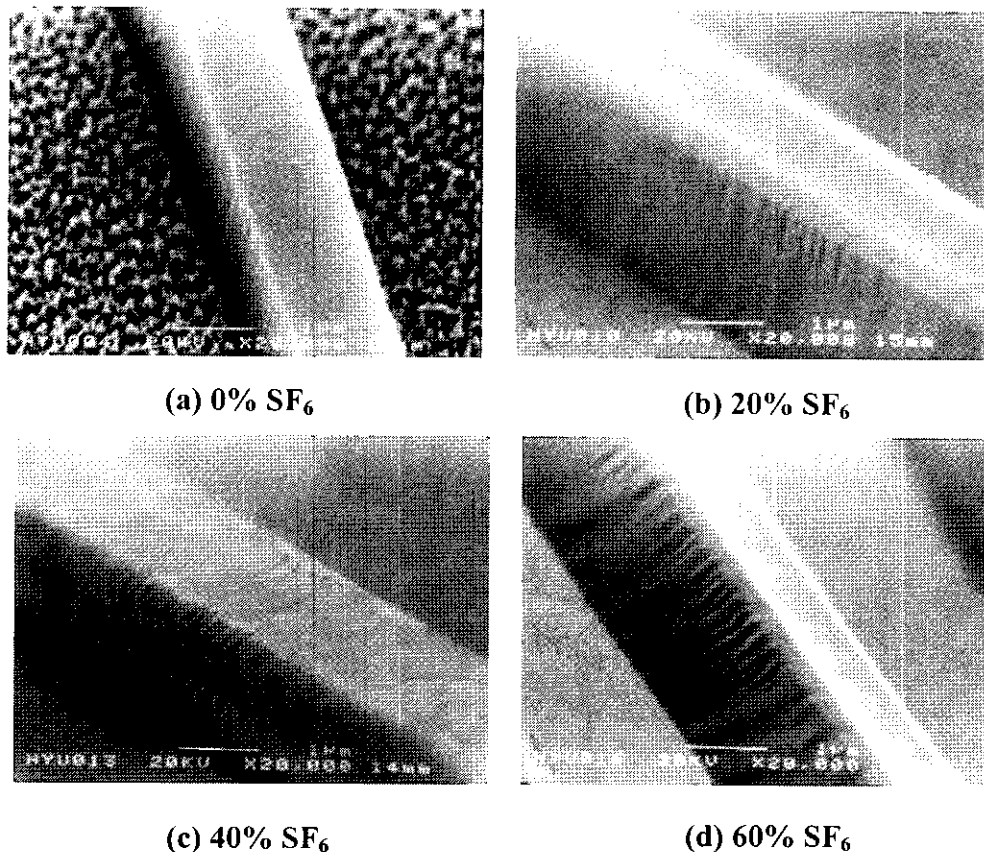


Fig. 5. SEM photographs of etched PI-2610 as a function of gas composition in O_2/SF_6 ECR plasma. Microwave power: 800W, substrate bias power: 150W, working pressure: 5mTorr, total flow rate: 15sccm.

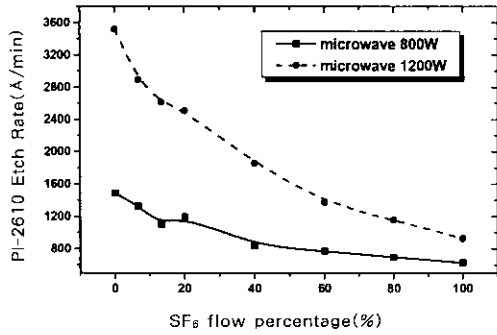


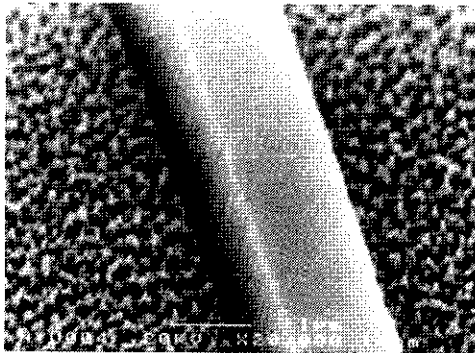
Fig. 6. Etch rate of PI-2610 as a function of gas composition in O₂/SF₆ ECR plasma at different microwave power. Substrate bias power: 150W, working pressure: 5mTorr, total flow rate: 15sccm.

에서의 선택비가 20~40%의 SF₆ 첨가함량 조성에서의 선택비보다 높게 나왔다. 다시 말하자면 20~40% 정도의 SF₆ 가스 첨가시에는 resist가 PI-2610보다 빨리 식각된다고 볼 수 있는 것이다. 그리고 본 실험에서는 hardmask로 SiO₂를 시도하였는데 산소 플라즈마에서 식각할 때에는 30 이상의 선택비를 가져 hardmask로서의 역할이 충분하다고 생각되어지나, SF₆ 가스 첨가시에는 선택비가 4 이하로 감소하여 hardmask로서 적절치 않은 것으로 판단되어진다. 이미 언급한 것처럼 SF₆ 가스를 첨가함에 따라 식각

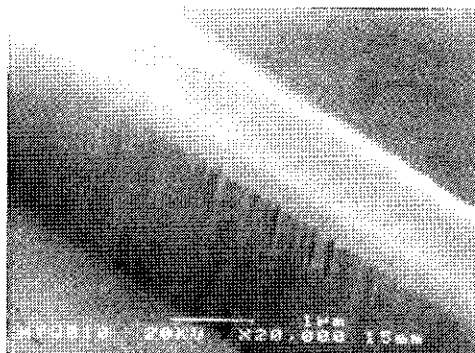
율은 감소하지만 그림 5를 보면 첨가함량이 증가할수록 etched surface는 매끄러워지는 것을 볼 수가 있다. SF₆ 가스를 첨가함에 따라 표면이 fluorinated surface를 형성하게 되고, 이것이 산소와의 격렬한 화학반응을 억제하기 때문인 것으로 사료된다. 그러므로 순수한 산소 플라즈마에 노출되어 전반적으로 빠르고 균일하지 못한 식각반응이 일어난 경우와 비교하여 볼 때, 보다 매끄러운 etched surface를 얻을 수 있다. 이러한 현상은 증간절연막 식각 과정에서 overetching에 의한 bottom metal의 redeposition등의 문제해결에 도움이 될 수 있을 것으로 사료되고, 이후의 gap-fill 특성을 고려하거나 매끄러운 표면을 얻기 위해서는 소량의 SF₆ 가스를 첨가함으로써 좋은 결과를 얻을 수 있겠다. 본 실험에서는 6~7% 이상의 SF₆ 가스를 첨가하여 매끄러운 표면을 얻을 수 있었다.

3.2 Microwave power 변화에 따른 식각 특성

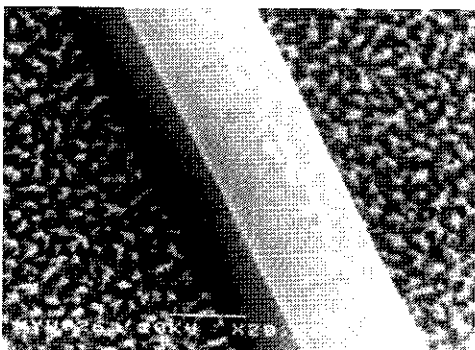
그림 6은 ECR plasma etcher의 microwave power 변화에 따른 식각을 변화를 보여주고 있다. Microwave power를 800W에서 1200W로 증가시켰을 때 식각율은 현저하게 증가하는데, 이는 산소분자의 해리율이 더욱 증가되어 반응에 참가하는 산소원자의 수가 현저히 증가되었기 때문인 것으로 사료된다. 그리고, microwave power가 800W일 때보다 1200W인 경우에, SF₆ 가스 첨가함량 증가에 따른 식각을 감소가 두드러지는 것을 볼 수 있다. 이



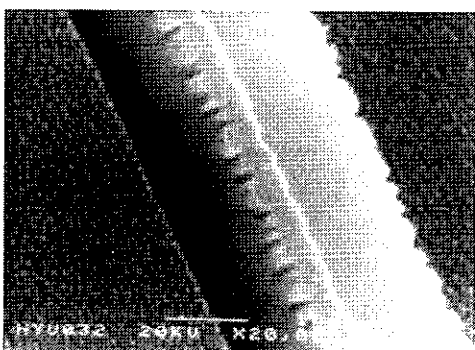
(a) Microwave 800W, SF₆ 0%



(b) Microwave 800W, SF₆ 20%

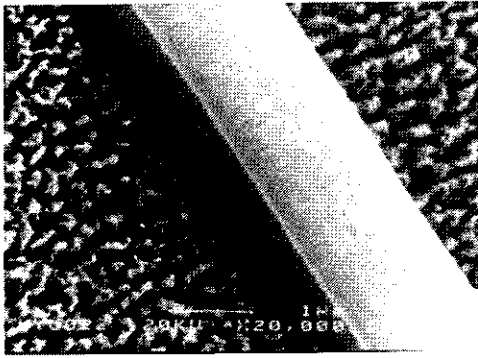


(c) Microwave 1200W, SF₆ 0%

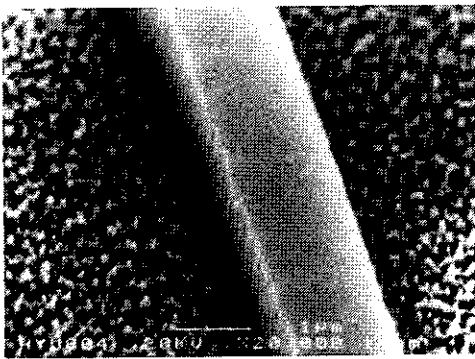


(d) Microwave 1200W, SF₆ 20%

Fig. 7. SEM photographs of etched PI-2610 as a function of microwave power at different gas composition. Substrate bias power: 150W, working pressure: 5mTorr, total flow rate: 15sccm.



(a) 50W



(b) 150W

Fig. 8. SEM photographs of etched PI-2610 as a function of substrate bias power. Microwave power: 800W, working pressure: 5mTorr, O₂ flow rate: 15sccm.

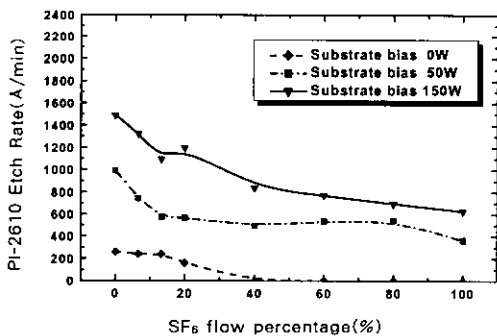


Fig. 9. Etch rate of PI-2610 as a function of gas composition in O₂/SF₆ ECR plasma at different substrate bias power. Microwave power: 800W, working pressure: 5mTorr, total flow rate: 15sccm.

는 OES에 의한 분석결과 불소원자의 농도 역시 microwave power 증가에 따라 현저히 증가하고, 이 때 비휘발성의 불소화합물 형성이 증가되어 식각을 지연시키는 것으로 생각된다. 또한, 산소가 많은 조성에서의 식각을 증가 불소가 풍부한 조성에서의 식각을 증가보다 두드러지는 것을 볼 수 있는데, 이것으로 PI-2610의 식각은 active한 산소원자의 농도에 의한 식각이 주요하다고 생각할 수 있겠다. 그림 7은 microwave power가 각각 800W, 1200W

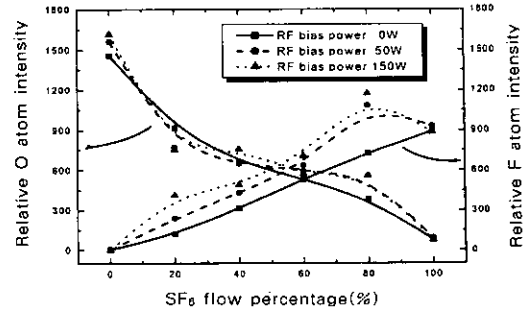


Fig. 10. Relative oxygen atom intensity measured by OES as a function of gas composition in O₂/SF₆ ECR plasma at different substrate bias power.

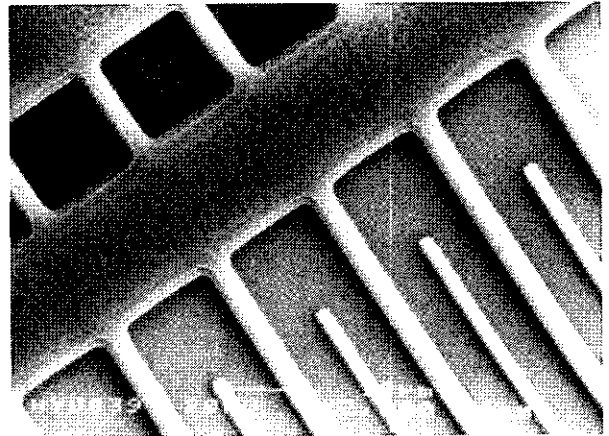


Fig. 11. SEM photograph of etched PI-2610. Microwave power: 1200W, substrate bias power: 150W, working pressure: 5mTorr, O₂ flow rate: 15sccm.

일 때의 식각 형상을 보여주고 있다. 산소 플라즈마 식각시에는 microwave power에 따른 식각 profile의 변화가 크지 않으나, SF₆ 가스를 20% 가량 첨가하고 microwave power가 1200W인 경우에는 상부의 SiO₂ hardmask 측면에 패턴의 왜곡이 일어나면서 이것이 hardmask 아래의 폴리이미드패턴에 영향을 준 것으로 보인다. 이러한 현상은 SF₆ 가스 첨가량 증가에 따라 더욱 심해지는 것을 실험을 통해 알 수가 있었다. 따라서, SF₆ 가스를 첨가할 경우에는 hardmask로 SiO₂가 아닌 다른 적절한 재료를 선택할 필요가 있을 것으로 생각된다. 그림 7(c)에서 패턴 위에 약간의 잔류물이 보이는데 이는 정확한 식각 시간 조절의 미흡으로 인해 resist의 strip이 떨어졌기 때문이다.

3.3 기판에 인가하는 bias power 효과

그림 8은 substrate bias power가 각각 50W, 150W 일 때의 식각 형상을 나타내고 있다. 일반적으로 기판에 인가하는 바이어스의 증가가 이루어질 때 ion bombardment로 인한 물리적 식각의 요소가 지배적이 되어 식각된 표면은 더욱 거칠어지는 현상을 볼 수 있는데, 여기서는 bias 증가에 의한 표면 거칠기는 눈에 띄지 않는다. 다만, bias power가 50W일 때의 패턴 가장자리가 약간 깨끗하게 형성된 것으로 보이며, bias power가 150W일 때에는 가속된 이온들에 의한 마스크 가장자리의 침식이 약간 나타나는 것으로 보인다.

그림 9는 기판에 인가하는 bias power를 각각 0W, 50W, 150W로 하였을 때 조성변화에 따른 식각율을 나타내고 있다. 먼저 기판에 인가하는 bias power가 0W일 때는 식각율이 현저히 감소하고 있음을 볼 수 있고, SF₆ 가스가 40% 이상 첨가되었을 때에는 식각이 되지 않음을 볼 수 있다. 이로써 40% 이상의 SF₆ 가스 첨가시에는 PI-2610의 표면이 거의 fluorinated된다고 볼 수 있겠다. 그러나, 기판에 bias를 인가함에 따라 전체적으로 식각율이 증가하고 있고 40% 이상의 SF₆ 가스 첨가시에도 식각이 일어나고 있음을 볼 수 있다. 그림 10은 RF bias power 변화에 따른 플라즈마 내에서의 산소와 불소 원자의 농도변화를 보여주고 있는데 bias power 증가에 따른 원자들의 농도변화가 크지 않고 특히 산소의 경우는 거의 흡사함을 볼 수 있다. 이것으로 볼 때 기판에 인가하는 bias는 플라즈마의 화학적인 조성 변화보다는 물리적인 식각을 야기하고 있음을 알 수가 있다. 앞서서도 언급했듯이 fluorinated compounds는 휘발성이 없기 때문에 bias가 인가되지 않을 때는 식각 반응이 일어나지 않고 bias가 인가되었을 때 ion bombardment에 의해 식각이 가능한 것이다. 따라서 bias가 인가되지 않은 채 source power에 의한 플라즈마에 노출되었을 때에는 어느 함량 이상의 F-containing 가스가 첨가되면 식각이 일어나지 않는 것이다. 하지만, bias가 인가됨에 따라 ion bombardment로 인해 40% 이상의 SF₆ 가스 첨가함량에서도 식각이 일어나고 있음을 볼 수가 있다.

이상과 같이 몇 가지 조건변화에 따른 PI-2610의 식각 특성을 살펴보았다. 이러한 결과를 바탕으로 microwave power 1200W, substrate bias power 150W, working pressure 5mTorr, O₂ flow rate 15sccm의 공정 조건하에서 SiO₂ hardmask를 이용한 PI-2610의 식각을 실시한 결과 약 3500 Å/min의 식각율을 얻을 수 있었으며 그림 11과 같이 1~2µm 선폭을 가진 PI-2610의 패턴을 원활히 형성할 수 있었다.

4. 결 론

O₂/SF₆ 가스 조성에서 SF₆ 첨가함량이 증가할수록 폴리이미드의 식각율이 감소하였다. 수소와의 결합력이 큰 불소가 산소보다 흡착이 선행되고, 이때 형성된 fluorinated compounds가 휘발성이 없어 표면에 잔류하기 때문에 산소와 폴리이미드의 화학반응을 방해하기 때문이다. 이러한 사실은 식각 플라즈마의 OES분석과 식각된 시편의 FTIR 및 XPS 분석결과를 통해 알 수 있었다. SF₆ 가스를 첨가함에 따라 식각율은 감소하지만 etched surface가 보다 smooth해진다. 따라서, 이후의 gap-fill 특성을 고려한다거나 overetching시 bottom metal의 redeposition을 억제하고 smooth한 표면을 얻기 위해서는 소량의 SF₆ 가스를 첨가하는 것이 좋으리라 생각되어진다. Hardmask로 사용된 SiO₂는 산소플라즈마의 경우 높은 선택비를 가지고 있으나 SF₆ 가스 첨가시에는 4 이하의 낮은 선택비를 보여 F-계 가스를 첨가할 시에는 적절하지 않은 것으로 생각되어진다. 한편, Microwave power 증가에 따른 PI-2610의 식각율 증가는 OES에 의한 분석결과, 산소분자 해리율의 증가로 식각 반응에 참가하는 산소원자의 수가 증가되었기 때문인 것으로 사료된다. 그리고, 기판에 bias를 인가하지 않는 경

우에는 40% 이상의 SF₆ 가스 첨가시 표면에 비휘발성의 불소화합물 형성으로 식각이 일어나지 않지만 bias를 가함에 따라 물리적인 식각이 야기되어 식각반응이 일어남을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 학술연구조성비(과제번호: 1998-017-E00110)에 의하여 수행되었기에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Robert D. Tacito and Christoph Steinbruchel, J. Electrochem. Soc., Vol. 143, No. 6, p. 1974-1977, 1996.
2. Ian Morey, Ashish Asthana, Solid State Technology, p. 71-78, June, 1999.
3. David T. Price, Ronald J. Gutmann, shyam P. Murarka, Thin Solid Films, 308-309, p. 523-528, 1997.
4. B. Zhao, D. Felier, V. Ramanathan, Q. Z. Liu, M. Brongo, J. Wu, H. Zhang, J. C. Kuei, D. Young, J. Brown, C. Vo, W-Xia, C. Chu, J. Zhou, C. Nguyen, L. Tsau, D. Dornish, L. Camilletti, 1998 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, p. 28-29, 1998.
5. J. C. Maisonobe, G. Passemard, C. Lacour, Ch. Lecornec, P. Motte, P. Noel, J. Torres, Digest of 1999 DUMIC Conference, p. 60-67, 1999.
6. Malay K.Ghosh, K. L. Mittal, POLYIMIDES: Fundamentals and Applications, Marcel Dekker, Inc., p. 309, 1996.
7. Jihperng Leu, Klavs F. Jensen, J. Vac. Sci. Technol. A 9 (6), p. 2948-2962, 1991.
8. Shien-Yang Wu, Denice D. Denton, Ressano De Souza-Machado, J. Vac. Sci. Technol. A 11 (2), p. 291-300, 1993.
9. Yasuko Yamada Maruo, Shigekuni Sasaki, Tsuneyuki Haga, Hiroo Kinoshita, Toshiyuki Horiuchi, Toshiaki Tamamura, J. Vac. Sci. Technol. A 14 (4), p. 2470-2474, 1996.
10. Youfan Liu, Chris McMillian, Fred Dall, Digest of 1998 DUMIC Conference, p. 305-308, 1998.
11. J. S. PARK, W. I. MILNE, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35, pp. L1550-L1553, 1996.
12. Bruno Lucas, Cyril Moussant, Andre Moliton, Joseph Zyss, Polymer International 47, p. 210-214, 1998.
13. K. Richter, M. Orfert, K. Drescher, Surface and Coatings Technology 97, p. 481-487, 1997.
14. M. R. Baklanov, S. Vanhaelemeersch, H. Bender, and K. Maex, J. Vac. Sci. Technol., B 17 (2), p. 372-379, 1999.