

고밀도 CHF₃ 플라즈마에서 바이어스 전압과 이온의 입사각이 Photoresist의 식각에 미치는 영향

강세구 · 민재호 · 이진관 · 문상흠*

서울대학교 화학공학부
151-742 서울시 관악구 신림동 산56-1
(2006년 2월 11일 접수, 2006년 7월 3일 채택)

Effects of Bias Voltage and Ion-incident Angle on the Etching of Photoresist in a High-density CHF₃ Plasma

Se-Koo Kang, Jae-Ho Min, Jin-Kwan Lee and Sang Heup Moon*

Dept. of Chem. Eng., Seoul National University, San 56-1, Shilim-dong, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea
(Received 11 February 2006; accepted 3 July 2006)

요 약

고밀도 CHF₃ 플라즈마를 이용한 식각에서 photoresist(PR)의 식각속도 및 SiO₂의 PR에 대한 식각 선택도가 이온의 입사 각도에 따라 변화하는 특성을 관찰하였다. 플라즈마 내에 파라데이 상자를 설치하여 이온의 입사 각도를 조절하였으며, 바이어스 전압을 변화시켜 이온의 입사 에너지를 조절하였다. 대부분의 바이어스 전압에서 SiO₂의 식각속도는 이온입사각도가 증가함에 따라 단조 감소함에 비해 PR의 식각속도는 중간각도 영역까지 일정하다가 그 이후에 감소하기 시작하였다. 이온입사각도가 0°인 조건에서의 식각속도를 기준으로 정규화된 식각속도(NER)는 SiO₂의 경우 cosine 함수와 거의 일치하였으나 PR의 경우 중간각도영역에서 over-cosine 형태를 보였다. PR에 대한 SiO₂의 식각선택도는 이온입사각도에 따라 점차로 감소하였는데, 이는 PR이 SiO₂에 비해 중간각도에서 물리적 스퍼터링에 의해 식각 수율이 크게 증가하였기 때문이다. 또한, 바이어스 전압의 증가에 따라 PR에 대한 식각선택도는 대부분의 이온입사각도에서 감소하였다.

Abstract – The etch rates of photoresist (PR) and the etch selectivity of SiO₂ to PR in a high density CHF₃ plasma were investigated at different ion-incident angles and bias voltages. A Faraday cage was employed for the accurate control of ion-incident angles. The ion energy was controlled by changing bias voltages. The etch rate of SiO₂ continuously decreased with ion-incident angles but the etch rate of PR remained constant up to the middle angle region and decreased afterwards. The etch rates of SiO₂ normalized to those at 0° incident angle changed with the ion-incident angle following a cosine(θ) curve. On the other hand, the normalized etch rates of the PR changed showing a drastic over-cosine shape in the middle angle region. The etch selectivity of SiO₂ to PR decreased with an increase in the ion-incident angle because the etch yields of PR were enhanced by physical sputtering in the middle angle region compared to the case of SiO₂ etching. The etch selectivity of SiO₂ to PR decreased with an increase in the bias voltage at nearly all ion-incident angles.

Key words: Plasma Etching, Faraday Cage, Photoresist, Ion-incident Angle, Etch Selectivity

1. 서 론

현재 반도체 회로에서 요구되는 미세회로를 구현하기 위해서는 반도체 기판 표면을 회로의 패턴대로 정확히 식각하는 과정이 필요하다. 여기에 플라즈마 식각이 독점적으로 사용되고 있는데 이는 높은 식각속도로 비등방성의 식각단면을 얻는데 유리한 특성을 가지기 때문이다[1]. 플라즈마 식각에서는 반응기 외부에서 가해주는 전

기적인 힘에 의해서 반응기 내부에서 발생하는 기체의 방전을 이용함으로써, 중성원자와 라디칼에 의한 화학적 식각, 전기장을 통해 가속되는 이온에 의한 물리적 식각 그리고 이 두 요소의 상호작용에 의한 식각을 이용하여 높은 비등방도를 얻을 수 있다. 그러나 식각속도, 비등방도, 마스크에 대한 식각선택도, 균일성 등이 반응기체의 종류, 반응기의 형태, 압력, 전압, 식각 대상의 기하학적 형태, 마스크의 형태 및 조성 등 수 많은 공정 변수에 의해 영향을 받기 때문에 식각 공정을 정확하게 제어하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 이러한 공정 변수들이 식각에 미치는 영향력을 연구하는 것

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: shmoon@surf.snu.ac.kr

은 플라즈마 식각 연구의 주요한 과제라 할 수 있다.

이 연구에서는 회로의 화상형성(image printing)용 사진식각에 사용되는 감광성 고분자인 포토레지스트(photoresist, PR)의 식각을 중심으로 연구를 진행하였다. 불화탄소 기반의 플라즈마에서 저유전 물질의 식각시 PR의 저항마스크로써 식각 선택도가 효과적이기 때문에 포토마스크를 이용한 공정은 고집적회로의 화상형성 및 미세 회로 가공의 핵심기술로 발전하였다. 회로의 고집적화가 진행됨에 따라 회로의 선폭은 줄어들고 식각 깊이는 유지되어야 하기 때문에 식각 단면의 종횡비(aspect ratio)는 커지고 있는 추세이다. 높은 식각단면 종횡비를 갖는 구조를 형성하기 위해서는 PR의 식각 저항성(resistance) 및 해상도(resolution), line edge roughness(LER), PR 각면의 기울기(faceting 정도) 등에 따라 발생하는 문제해결이 수반되어야 한다. PR의 식각 특성에 따라 그 하층구조의 식각 형태가 달라지게 되므로 PR의 식각 기구를 규명하는 일은 고집적화에 따라 요구되는 최종 식각 형태를 형성하는 데 반드시 수행되어야 할 과제이다. 본 연구에서는 PR에 대한 실리콘 산화막의 식각 선택도 메커니즘을 이온의 입사각과 바이어스 전압의 변화에 초점을 두고 조사하였다. PR의 식각에 있어서 플라즈마 화학종과 이온이 식각속도나 식각구조에 미치는 영향은 산화막의 식각에서와 어떻게 다르며, 특히 PR 식각속도의 각도의존성이 산화막의 그것과 어떠한 메커니즘에 의해 다른 형태를 보이게 되는지 정성적인 방법을 통해 고찰하였다. 여기서 PR 및 산화막의 각면 기율기에 따른 이온의 입사각도를 조절하기 어렵고 미세 패턴의 식각 양상을 관찰하는 것은 불가능하기 때문에 파라데이 상자(faraday cage)를 사용하여 이러한 문제점을 해결하고 각도에 따른 식각속도를 관찰하였다.

2. 실험

이 연구에서는 감광성 고분자 물질로서 서울대학교 반도체 공동연구소의 표준 제공 포토레지스트(photoresist, PR)인 AZ1512의 조건을 사용하여 식각 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 PR 시료의 두께는 약 12,000 Å으로 p-type Si wafer 위에 HMDS를 바른 후 4,000 rpm으로 35초 동안 spin coating하였다. 한편, 비교를 위하여 사용한 실리콘 산화막은 p-type Si wafer 위에 thermal oxidation 방법으로 약 5,000 Å의 두께로 성장시켜 준비하였다.

실험에 사용한 식각 장비는 Fig. 1과 같이 유도 결합형 플라즈마

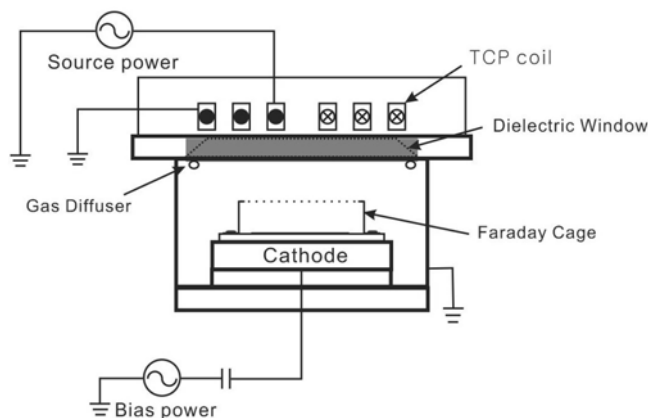


Fig. 1. TCP Etcher.

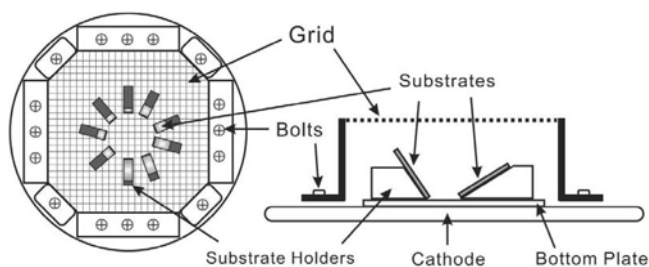


Fig. 2. Faraday cage and substrates arrangement.

(inductively coupled plasma, ICP) 가운데서도 TCP(transformer coupled plasma)라 불리는 ICP 유형의 플라즈마 소스를 사용한 식각 장비를 사용하였다.

식각 중 기관으로의 이온 입사각도는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 식각 장치 내부에 장착한 파라데이 상자를 사용하여 조절하였다. 파라데이 상자는 그 전기적 특성으로 인하여 내부에 장착된 시편 및 시편 지지대(sample holder)의 배치에 관계없이 이온들을 상자 위쪽의 grid 면에 수직으로 입사하게 한다[2]. 그러므로 이온의 평균 자유 행로(mean free path)가 충분히 큰 낮은 압력에서 시편 지지대의 각도를 조절함으로써 시편으로의 이온 입사각도를 조절할 수 있다. 실험에 사용한 파라데이 상자는 Fig. 2와 같이 높이가 15 mm인 구리 재질의 벽면과 덮개 grid로 구성되며, grid는 직경 0.1 mm의 황동선을 0.5 mm 간격으로 엮은 것이다. 또한, 각각 다른 각도의 경사면을 가진 높이 4 mm의 시편 지지대는 스테인리스 스틸로 제조되었으며, 이들을 파라데이 상자 내부에 측정 위치가 동심원을 이루도록 배치하여 고정하였다.

식각 실험은 CHF_3 플라즈마에서 수행하였으며, 탄소와 불소의 함량비율이 다른 CF_4 , C_4F_8 기체를 사용하여 추가적인 실험을 진행하고 CHF_3 플라즈마 조건에서의 상태와 비교하고자 하였다. 식각 기체는 4 sccm의 유속으로 공급하였으며, 반응기 내부의 압력은 5~6 mTorr로 유지하였다. Cathode의 표면 온도는 내부로 냉각수를 흘려 15°C로 고정하였으며, Source power는 150 Watt로 통일하였다. 또한, 바이어스 전압은 -100 V에서 최대 -400 V까지 변화시켰으며 각 바이어스 전압에서 2분 30초 동안 식각을 진행하여 식각속도의 재현성을 얻었다. 이온의 입사 각도는 0°, 15°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90°로 조절하여 이온 입사 각도에 따른 식각속도를 관찰하였다.

실험 전후의 두께는 두께 측정 장치(Spectra Thick 2000-Deluxe, K-mac)를 사용하여 측정하였다. 각도를 갖는 시편은 각 측정 지점의 식각 속도를 동일 조건에서 정규화된 0° 시편의 식각속도로 보정하여 이온 플럭스의 균일성을 유지하고 오차를 줄였다.

3. 결과 및 고찰

고밀도 CHF_3 를 이용한 PR과 SiO_2 의 식각 실험에서 이온의 입사각도에 따른 각각의 식각속도는 바이어스 전압에 따라 서로 판이하게 다른 형태를 보였다. 마스크로써 다른 형태를 보이는 PR의 각도의존적 식각 mechanism은 하층부에 위치하게 되는 SiO_2 의 선택적 식각에 큰 영향을 미친다. 이 연구에서는 바이어스 전압과 이온의 입사각이 PR과 SiO_2 의 식각 형태에 어떠한 변화를 주는지 알아보았다.

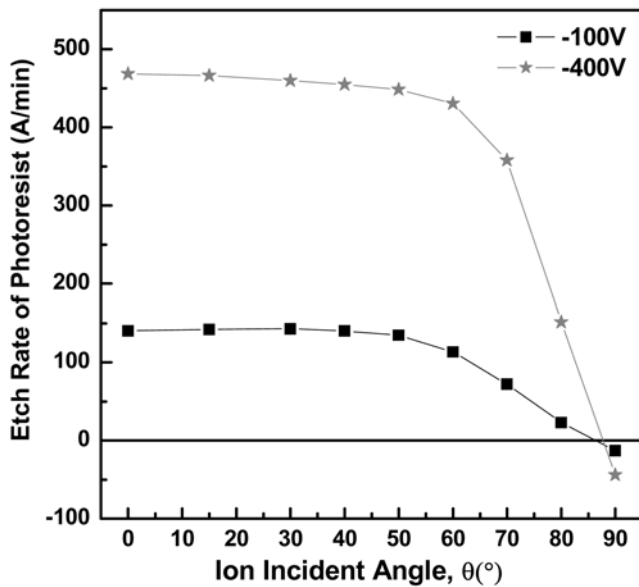


Fig. 3. Etch rates of photoresist.

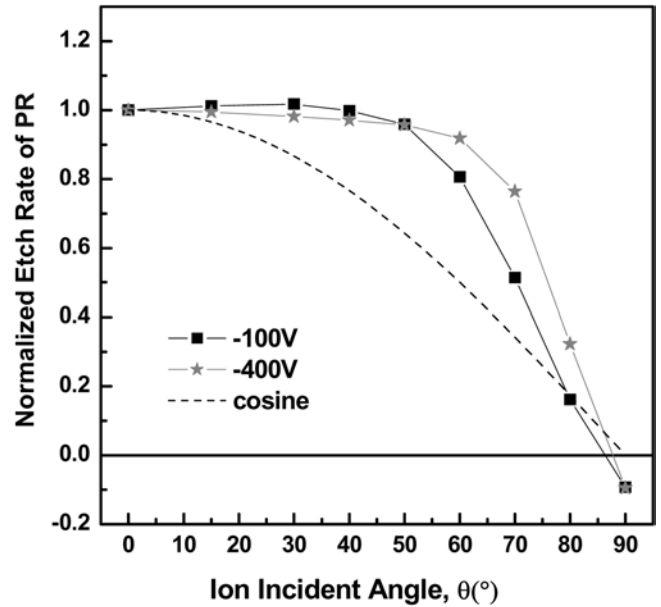


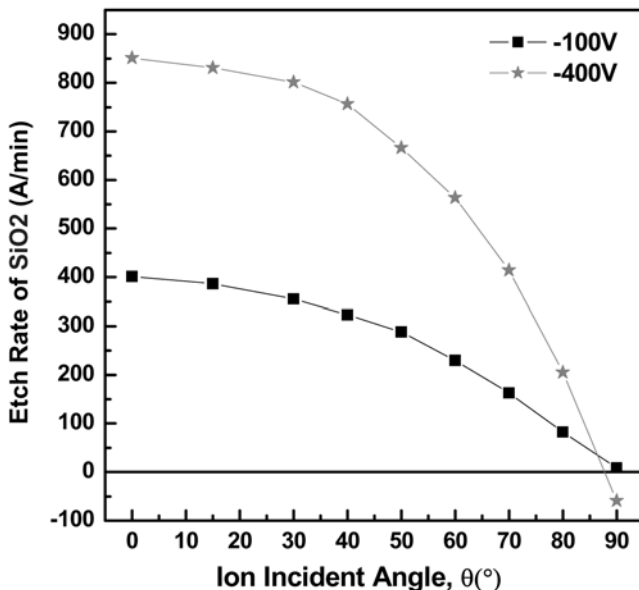
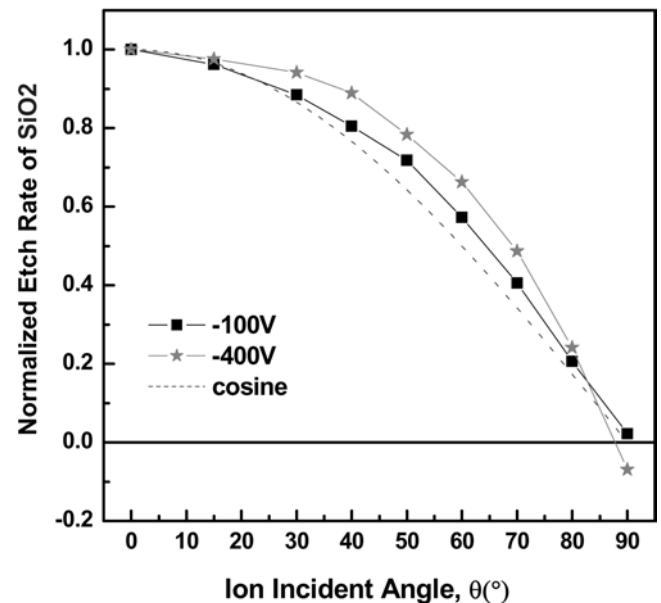
Fig. 5. NERs of photoresist.

3-1. Photoresist와 SiO₂의 식각 속도 비교

CHF₃ 플라즈마에서 Source power를 150 W로 고정하고 -100 V, -400 V의 바이어스 전압에 대하여 PR의 식각 속도를 이온의 입사 각도에 따라 나타내어 Fig. 3에 도시하였다. PR의 식각 속도는 이온의 입사 각도가 50°가 될 때까지는 큰 변화 없이 거의 일정하게 유지가 되고, 그 후부터 이온 입사 각도가 증가함에 따라 식각 속도가 감소하는 형태를 보였다. 또한, 90°에서는 식각 속도가 음의 값을 보이는 증착 현상을 나타내었으며, 바이어스 전압이 -400 V로 증가함에 따라 식각속도는 전체적으로 증가하였다. 한편, 이와는 대조적으로 SiO₂의 식각 속도의 각도 의존성은 코사인 곡선과 비슷한 경향을 보인다고 여러 논문에서 보고 되었다[2-5]. Fig. 4에서는 위

PR과 동일 식각 조건에서 실험하여 산출한 산화막의 식각 속도를 이온의 입사 각도에 따라 나타내었다. 식각 속도는 이온 입사 각도가 증가함에 따라 서서히 점진적으로 감소하였으며, -400 V의 90° 각도에서 증착현상을 관찰하였다. SiO₂의 식각 속도는 같은 바이어스 전압에서 PR의 식각 속도보다 높았다.

각도에 따른 식각 속도 및 식각 특성을 수월하고 효과적으로 비교하기 위해서 PR과 SiO₂에 대하여 각각 Fig. 5, Fig. 6에서처럼 다양한 각도를 가지는 시편의 식각 속도(etch rate, ER)를 0°에서의 식각 속도로 나눈 값, 즉, $ER(\theta)/ER(0^{\circ})$ 로 정의되는 정규화된 식각 속도(normalized etch rate, NER)를 구하였다. PR의 NER은 바이어스

Fig. 4. Etch rates of SiO₂.Fig. 6. NERs of SiO₂.

전압에 관계없이 50°까지는 대체적으로 일정하였으나 50° 이상의 각도에서 바이어스 전압의 증가에 따라 약간 증가하는 경향을 보였다. 또한, PR의 NER은 바이어스 전압에 관계없이 시편에 입사하는 입자의 플렉스 변화를 의미하는 코사인 곡선에서 상당히 위로 올라간 형태가 나타났다. 이러한 over-cosine 경향은 물리적 스퍼터링을 의미하는 것으로 알려져 있다[4]. 즉, 물리적 스퍼터링을 의미하는 over-cosine 경향이 바이어스 전압이 증가함에 따라 50° 이상의 이온 입사 각도에서 점점 더 심하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

이온의 입사 각도에 따라 나타난 SiO₂의 NER은 PR의 NER 그 래프와 비교함으로써 효과적으로 분석할 수 있다. SiO₂의 경우에는 -100 V의 NER 곡선이 코사인 곡선을 거의 따르면서 화학적 스퍼터링 경향을 나타냈으며[2], 바이어스 전압이 -400 V로 증가함에 따라 NER 곡선도 대부분의 이온 입사 각도에서 증가하는 경향을 보였다. 하지만 -400 V에서 SiO₂의 NER 최대값은 -100 V에서 PR의 NER 최소값 보다 작게 관찰되었다. 이 결과로부터, PR과 SiO₂의 식각은 서로 다른 식각 기구의 영향을 받으면서 진행되기 때문에 두 물질의 식각수율이 각도 및 바이어스 전압 등에 따라 서로 다른 형태를 보인다고 할 수 있다. 위에 언급한 각도에 따른 두 물질의 상이한 식각 속도 변화의 결과는 이온의 입사 각도가 증가할수록 감소하게 되는 이온 플렉스의 영향을 내포하고 있다. 따라서 이러한 이온 플렉스의 영향을 배제하고 각 각도에서의 상대적인 수율을 조사하기 위해 정규화된 식각수율(normalized etch yield, NEY)을 Fig. 7과 Fig. 8에 도시하였다. 나타난 NEY는 PR과 SiO₂의 NER을 코사인 값으로 나눈 것으로서 임의의 각도에서의 식각수율을 0°에서의 식각수율로 나눈 값[$EY(\theta)/EY(0^\circ)$]과 동일하다. Fig. 7로부터 PR의 식각수율이 50° 이상의 높은 이온 입사 각도 영역에서부터 바이어스 전압에 따라 차이를 보이고 있음을 확인하였으며, -100 V에서 -400 V로 증가함에 따라 최대 식각 수율을 보이는 각도가 60°에서 70°로 증가하였다. 높은 각도에서는 충돌 이온이 쉽게 반사되며, 바닥면으로부터 발생한 입자의 증착 또한 쉽게 일어나기 때문에 식각수율이 급격히 감소하는 현상이 나타난다.

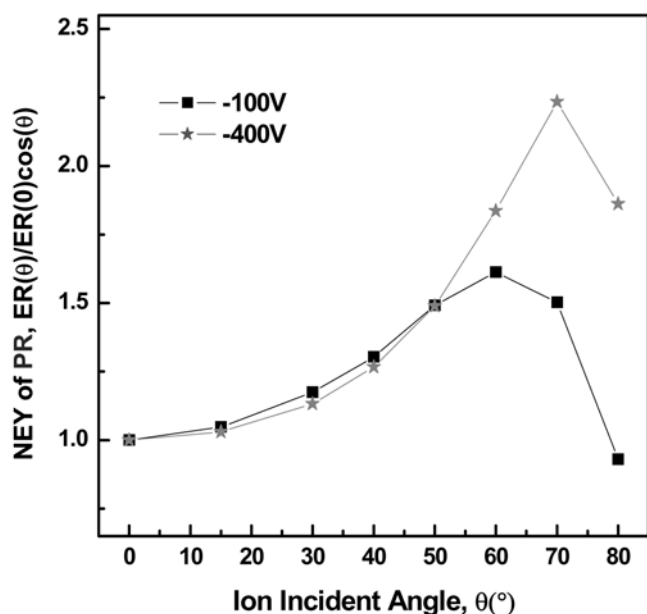


Fig. 7. NEYs of photoresist.

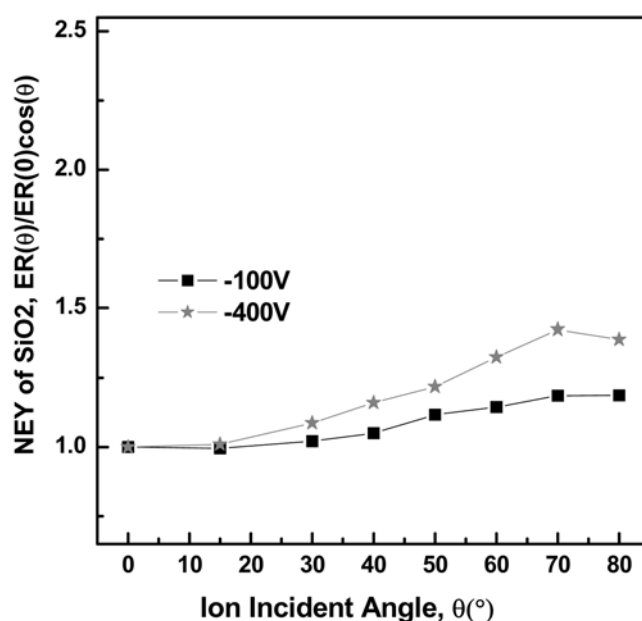


Fig. 8. NEYs of SiO₂.

이 연구에서 진행한 것과 같은 플라즈마 식각은 화학적 스퍼터링과 물리적 스퍼터링의 두 가지 식각 기구에 의해서 진행된다[4]. Cho 등은 식각이 완전히 화학적 스퍼터링에 의해 지배받을 경우, 표면에 전달되는 이온의 에너지가 $\cos^2\theta$ (θ , 이온의 입사 각도)에 비례한다는 가정을 바탕으로 식각수율은 입사 각도의 코사인 값에 비례함을 주장하였다[2]. 한편, Mayer 등은 Cl^+/Si 와 CF_x^+/Si 의 반응성 이온 빔 식각에서 코사인 곡선과 비슷한 식각수율 그래프를 얻었고, 이러한 결과를 입사 각도가 수직일 때 반응성 이온의 주입이 최대가 되어 표적 원자와 화학 결합에 의한 식각이 최대가 되기 때문으로 설명하였다[6]. 반면에, 지배 식각 기구가 화학 반응이 관여하지 않는 물리적인 스퍼터링인 경우에는 이온의 운동량 전달이 중간 각도(60~75°)에서 최대가 되므로[4] 이온 입사 각도에 따른 식각 수율도 중간 각도 영역에서 최대가 된다. 이와 같이 이온의 입사 각도에 따라 단조 감소하는 화학적 스퍼터링에 의한 식각 수율과 중간 각도에서 최대가 되는 물리적 스퍼터링 수율의 경쟁 반응과 그 조합 정도에 따라 Fig. 7과 Fig. 8에서 나타난 PR과 SiO₂의 특징적인 식각수율의 각도 의존성에 영향을 미치게 된다. 실제로, 물리적인 스퍼터링의 영향을 알아보기 위해 반응 식각 생성물이 생성되지 않는 Ar 조건의 플라즈마에서 식각 실험을 진행하였을 때, PR의 경우 NER과 NEY가 Fig. 9와 Fig. 10과 같이 나타났으며, 이로부터 PR의 고유 식각 특성이 물리적 스퍼터링으로부터 기인하고 있음을 확인할 수 있다. 이온의 입사 각도가 증가할수록 물리적 스퍼터링에 의한 식각 수율이 증가하고 있으며, 이것이 PR의 지배적 식각 기구를 형성하고 있다.

3-2. 정상상태 불화탄소 고분자 박막의 두께

불화탄소 기반의 플라즈마 식각에 있어서 여러 다양한 물질들의 표면에 정상상태의 얇은 불화탄소 고분자 박막(CF_x film)이 형성되고, 이 고분자 박막은 매우 중요한 식각 변수의 역할을 하고 있음을 여러 연구자들이 제시하였다[7-13]. 또한, 식각은 반드시 이 CF_x film

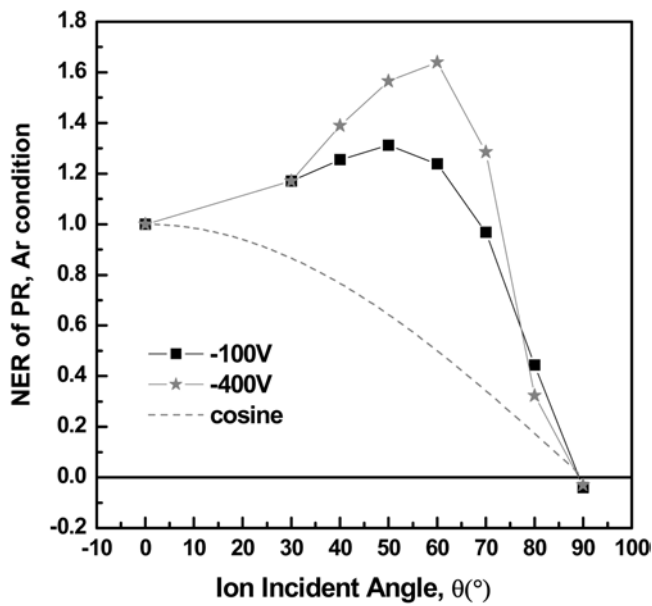


Fig. 9. NERs of PR at -100 V and -400 V in a Ar plasma.

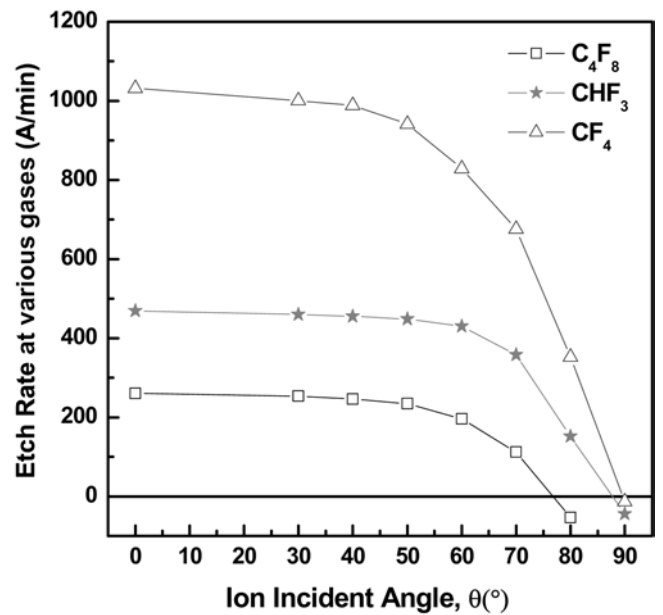


Fig. 11. Etch rates of PR at -400 V in various gases different in C/F ratio.

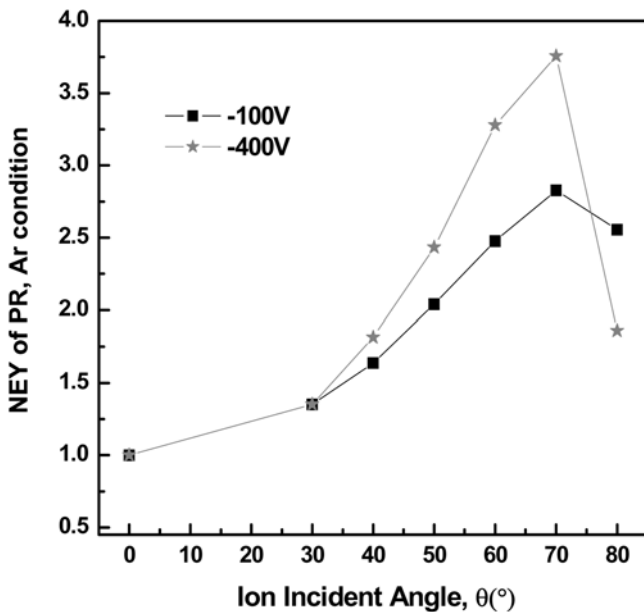
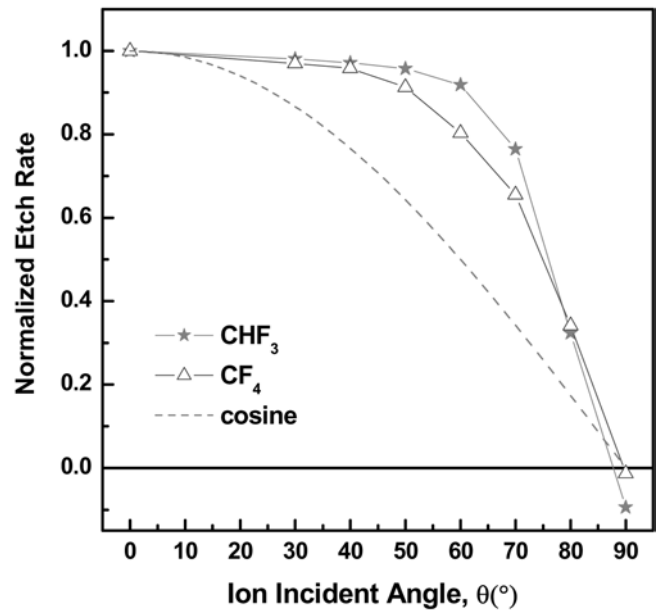


Fig. 10. NEYs of PR at -100 V and -400 V in a Ar plasma.

Fig. 12. NERs of PR in a CHF₃ and CF₄.

을 통하여 진행되어야만 한다는 것을 확인하였다. 일반적으로 CF_x film은 fluorine 비율이 상대적으로 적은 플라스마 기체에서 바이어스가 걸리지 않은 차가운 표면에 쉽게 증착되며, 고밀도 플라스마에서는 CF_x film의 증착률이 바이어스 전압에 따라 영향을 받는다. 이 실험의 결과에서도 관찰할 수 있듯이 식각을 진행할 때 특정 각도 이상의 영역에서 식각수율이 증가하는 현상이 나타난다. 이는 앞서 언급한 물리적 스퍼터링의 영향뿐만 아니라 시편의 표면에 형성되는 CF_x film의 두께 변화가 주요한 요소로서 식각에 영향을 미치고 있기 때문이다. CF_x 박막은 이온이 기판의 표면 위에 직접 충돌하는 것을 방지하고, 반응성 화학종이 식각 표면으로 확산하는 속

도를 억제함으로써 기판의 식각 속도에 영향을 준다. Fig. 11에서는 Fig. 3에서 보인 CHF₃ 플라스마 조건의 -400 V 결과에 식각 기체를 CF₄와 C₄F₈으로 바꾸어 얻은 결과를 추가하여 서로 비교하였다. 그림과 같이 탄소와 불소의 비율이 다른 식각 기체를 사용하여 식각을 진행함으로써 PR 위에 상당한 두께의 차이가 있는 CF_x 박막을 형성하였고, 그 두께에 따라 식각 속도가 달라짐을 확인하였다. 식각 주입 기체의 탄소 함량 비율이 적을수록 식각 속도가 높았는데, 이는 식각 기체의 탄소 함유율이 높을수록 형성되는 정상상태 불화탄소 고분자막의 두께가 두꺼워지기 때문이다. Fig. 12에서는

CHF_3 기체를 사용하여 보다 두꺼운 CF_x film을 형성했을 경우, 그보다 얇은 고분자막이 형성되는 CF_4 의 경우와 비교하여 각도가 증가할수록 NER은 보다 over-cosine의 형태를 보이며 중간각도 영역에서 식각수율이 증가함을 확인하였다. 이는, 식각을 억제하고 있던 두꺼운 CF_x film이 각도가 증가함에 따라 얇아져 중간각도에서는 이온의 에너지가 시편으로 충분히 전달되기 때문이다. 반면 두께가 두껍지 않았던 CF_x film의 경우에는 각도가 증가하여 CF_x film이 얇아져도 이온의 에너지 전달은 수평한 시편과 각도를 가진 시편 사이에 큰 차이가 없었기 때문에 중간 각도 영역에서의 식각수율의 증가 정도가 덜하였다고 판단된다.

PR과 SiO_2 위에 형성되는 서로 다른 두께의 CF_x film의 거동도 같은 경향을 보인다. 따라서 Fig. 7과 Fig. 8에 보인 PR과 SiO_2 의 식각 수율 그래프는 이온의 입사 각도 및 바이어스 전압 등에 따라 변화하는 CF_x 박막의 두께에 의해서 형태 및 특성이 다르게 나타난다. 반응성 이온에 의한 물리적인 식각이 진행될 때 이온 입사 각도가 증가할수록 이온의 운동량 전달이 증가하기 때문에 이온 운동량 전달이 최대가 되는 각도의 영역에서 최대의 식각 수율을 보인다. 기판의 표면 위에 형성되는 CF_x 박막도 입사하는 이온의 각도가 증가하면서 같은 영향을 받게 되며, 그 두께에 변화가 일어나게 된다. PR을 구성하는 화학적 특성상 PR 위의 CF_x 박막에 대한 두께의 정량적인 측정은 불가능하지만 위와 같은 정성적인 방법으로 분석이 가능하다고 하겠다.

식각 속도는 바이어스 전압과 이온의 에너지에 비례하여 표현된다. 이온 에너지가 증가하면 CF_x 박막의 식각 속도가 증가할 뿐만 아니라 PR의 식각 속도도 함께 증가하여 CF_x 박막의 소비량이 증가한다[14]. 때문에 바이어스 전압이 -100 V 에서 -400 V 로 증가하면서 CF_x 박막의 두께가 상당히 감소하게 된다. Fig. 7에서 확인한 바와 같이 PR의 식각수율이 약 50%까지는 각 바이어스 전압 영역에서 일정한 경향을 보이다가 그 이상의 각도에서 바이어스 전압 증가에 따라 증가하는 것은, 높은 바이어스 전압에서 기울어진 시편의 CF_x 박막의 두께 감소 비율이 커지기 때문이다. 또한, 이온 에너지가 높은 경우에는 이온이 CF_x 박막을 투과하여 표면과 직접 충돌함으로써 PR의 식각 수율을 증진시킬 수 있다.

불화탄소 플라즈마를 사용하여 SiO_2 를 식각하는 경우, Si 원자는 주로 F 라디칼과 반응하여 SiF_2 또는 SiF_4 등을 O 원자는 주로 CF_2 라디칼과 반응하여 CO , CO_2 , COF_2 등의 휘발성 생성물을 발생시킨다[15-17]. 같은 원리로 SiO_2 위에 형성된 CF_x 박막은 O 원자와 반응하여 휘발성 생성물로 제거되면서 PR보다 상대적으로 얇은 불화탄소 고분자 막으로 형성된다. 물질에 따라 다르게 형성된 CF_x 박막의 두께는 시편의 기울어진 정도에 따라 또 다르게 나타난다. 이는 CF_x 박막을 통해 입사하는 이온의 투과 깊이에 직접적인 영향을 주며 이온 입사 각도에 따른 식각 수율 차를 유발할 수 있다.

3.3. 식각 수율이 식각 선택도에 미치는 영향

Fig. 13은 PR에 대한 SiO_2 의 식각 선택도를 이온의 입사 각도에 대한 함수로 나타낸 그래프이다. 80° 이상의 시편 표면에서는 식각 속도의 현저한 저하로 인해 식각 선택비를 산출하는 과정에 상당한 오차를 유발할 수 있으며 증착만이 일어나는 경우도 있기 때문에 그 이상의 값들을 배제한 그래프로 도시하였다.

식각 선택도는 바이어스 전압과 이온의 입사각에 의존하며 변화했다. -100 V 일 때가 -400 V 일 때에 비하여 전 각도 영역에서 높

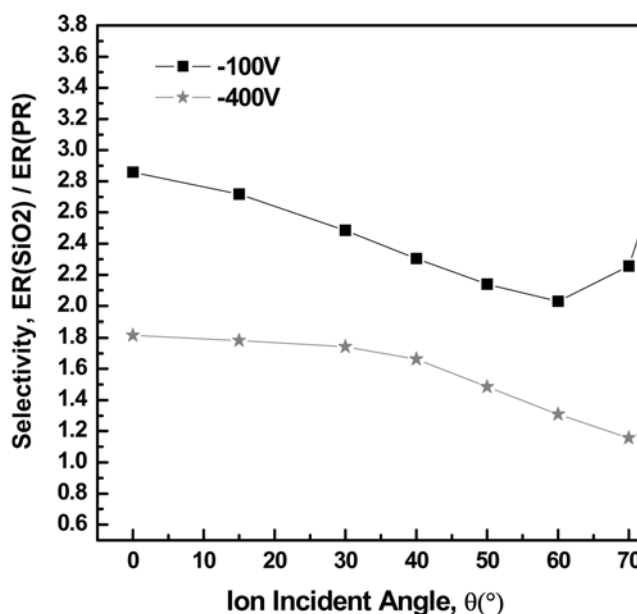


Fig. 13. Etch selectivity of SiO_2 to photoresist.

은 값을 보였으며, 바이어스 전압에 관계없이 이온 입사 각도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이 결과는 PR을 마스크로 사용하는 산화막의 식각이 각도에 따라 진행될 때 그 식각 형태를 유추할 수 있는 공정 모사 등에 매개변수 등을 제공할 수 있다. 이온 입사 각도에 따른 산화막의 식각 기구가 여러 연구를 통해 알려진 반면에 PR의 각도 의존성 자료는 부족하기 때문에 식각 선택비의 각도 의존성을 유추하기 위해서는 PR의 각도에 따른 식각 수율 데이터의 확보가 필요하다. 이와 같은 PR에 대한 SiO_2 의 식각 선택도의 각도 의존성은 각각의 식각 수율의 각도 의존성에 의해 결정된다. Fig. 13에 나타난 것과 같이 바이어스 전압에 관계없이 이온 입사 각도가 증가함에 따라 식각 선택도가 감소하는 것은 photoresist의 각도에 따른 식각 수율의 증가 폭이 산화막의 경우보다 크게 나타나기 때문이며 상대적으로 두껍게 형성된 PR 표면의 CF_x 박막 두께가 중간 각도 이상의 영역에서 큰 폭으로 감소하기 때문이다. 한편, 바이어스 전압이 증가함에 따라 식각 선택도의 전체적인 값이 감소하였는데, 이는 이온 에너지에 의한 물리적 식각이 지배적인 PR이 높은 바이어스 전압에서 높은 식각 수율을 보이기 때문이다.

4. 결 론

고밀도 CHF_3 플라즈마 식각에서 PR과 SiO_2 의 식각 속도의 각도 의존성 및 PR에 대한 SiO_2 의 식각 선택도가 이온 입사 각도와 바이어스 전압에 따라 변화하는 특성을 관찰하였다.

PR의 경우, 정규화된 식각 수율(NEY)은 이온 입사 각도에 따라 함께 증가하였으며, 그 값은 -400 V 일 때 70° 에서 2.3이었고, -100 V 일 때 60° 에서 1.6을 나타내었다. NEY가 중간 각도에서 증가하는 것은 PR 자체의 고유 식각 속성이 물리적인 스퍼터링에 지배적인 영향을 받기 때문이기도 하지만 표면에 형성되는 CF_x 박막의 두께가 물리적인 스퍼터링으로 인해 감소하는 탓도 있다.

PR에 대한 SiO_2 의 식각 선택도는 이온 입사 각도와 바이어스 전압

에 따라 큰 차이를 보였다. 0° 시편의 경우 바이어스 전압이 -100 V에서 -400 V로 증가할 때 식각 선택도가 2.9에서 1.8로 감소하였다. 즉, 식각 선택도는 전 각도에서 바이어스 전압이 증가할 때 감소하는 경향을 보였으며, 이는 바이어스 전압이 증가함에 따라 SiO₂보다 PR의 경우에 물리적인 영향에 의한 식각 속도가 빠르게 증가하였기 때문이다. 또한, 바이어스 전압에 관계없이 이온 입사 각도가 증가함에 따라 식각 선택도는 감소하는 경향을 나타내는데 이는 중간 각도 이상의 영역에서 급속히 증가하는 PR의 식각 수율이 원인이다.

감 사

이 논문은 Brain Korea 21 project, Center for Ultramicrochemical Systems(CUPS), National Research Laboratory program의 지원으로 수행되었는데, 그동안의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Samukawa, S. and Mukai, T., "High-Performance Silicon Dioxide Etching for Less Than 0.1- μ m-high-aspect Contact Holes," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **18**(1), 166-171(2000).
- Cho, B.-O., Hwang, S.-W., Lee, G.-R. and Moon, S. H., "Angular Dependence of SiO₂ Etching in Fluorocarbon Plasma," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **18**(6), 2991-2789(2000).
- Gray, D. C., Mohindra, V. and Sawin, H. H., "Redeposition Kinetics in Fluorocarbon Plasma Etching," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **12**(2), 354-364(1994).
- Lee, R. E., "Microfabrication by Ion-beam Etching," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **16**(2), 164-179(1979).
- Chen, F. F. and Chang, J. P., "Lecture Notes on Principles of Plasma Processing," Kluwer Academic/Plenum Publishers(2003).
- Barish, E. L., Vitkavage, D. J. and Mayer, T. M., "Sputtering of Chlorinated Silicon Surfaces Studied by Secondary ion Mass Spectrometry and ion Scattering Spectroscopy," *J. Appl. Phys.*, **57**(4), 1336-1342(1985).
- Coburn, J. W., "In Situ Auger Electron Spectroscopy of Si and SiO₂ Surfaces Plasma Etched in CF₄/H₂ Glow Discharges," *J. Appl. Phys.*, **50**(8), 5210-5213(1979).
- Oehrlein, G. S. and Williams, H. L., "Silicon Etching Mechanisms in a CF₄/H₂ Glow Discharge," *J. Appl. Phys.*, **62**(2), 662-672(1987).
- Oehrlein, G. S., Robey, S. W., Lindstrom, J. L., Chan, K. K., Kaso, M. A. and Scilla, G. J., "Surface Modifications of Electronic Materials Induced by Plasma Etching," *J. Electrochem. Soc.*, **136**(7), 2050-2057(1989).
- Oehrlein, G. S., Zhang, Y., Vender, D. and Joubert, O., "Fluorocarbon High-density Plasmas. II. Silicon Dioxide and Silicon Etching Using CF₄ and CHF₃," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **12**(2), 333-344(1994).
- Rueger, N. R., Beulens, J. J., Schaepkens, M., Doemling, M. F., Mirza, J. M., Standaert, T. E. F. M. and Oehrlein, G. S., "Role of Steady State Fluorocarbon Films in the Etching of Silicon Dioxide Using CHF₃ in an Inductively Coupled Plasma Reactor," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **15**(4), 1881-1889(1997).
- Standaert, T. E. F. M., Schaepkens, M., Rueger, N. R., Sebel, P. G. M., Oehrlein, G. S. and Cook, J. M., "Study on the SiO₂-to-Si₃N₄ Etch Selectivity Mechanism in Inductively Coupled Fluorocarbon Plasmas and a Comparison with SiO₂-to-Si Mechanism," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **17**(1), 26-37(1999).
- Vender, D., Haverlag, M. and Oehrlein, G. S., "Ion-induced Fluorination in Electron Cyclotron Resonance Etching of Silicon Studied by X-ray Photoelectron Spectroscopy," *Appl. Phys. Lett.*, **61**(26), 3136-3138(1998).
- Standaert, T. E. F. M., Hedlund, C., Joseph, E. A. and Oehrlein, G. S., "Role of Fluorocarbon Film Formation in the Etching of Silicon, Silicon Dioxide, Silicon Nitride, and Amorphous Hydrogenated Silicon Carbide," *J. Vac. Sci. Technol. A*, **22**(1), 53-60(2004).
- Butterbaugh, J. W., Gray, D. C. and Sawin, H. H., "Plasma-surface Interactions in Fluorocarbon Etching of Silicon Dioxide," *J. Vac. Sci. Technol. B*, **9**(3), 1461-1470(1991).
- Ikegami, N., Ozawa, N., Miyakawa, Y., Hirashita, N. and Kanamori, J., "Mechanism of Surface-reaction in Fluorocarbon Dry Etching of Silicon Dioxide - An Effective of Thermal Excitation," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31**, 2020-2024(1992).
- Pelletier, J., "A Model for the Halogen-based Plasma-etching of Silicon," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **20**(7), 858-869(1987).