

C₂F₆ 유도 결합 플라즈마를 이용한 질산화막 식각공정에 관한 연구

이덕우*, 김병환*, 이병택**

세종대학교, 전자공학과*, 전남대학교, 재료과학 공학과**

A study on etching of SiON films using C₂F₆ inductively coupled plasma

Duk-Woo Lee*, Byungwhan Kim*, Byung-Taek Lee**

Sejong University, Electronic Engineering*, Chonnam National University, Materials Science Engineering**

Abstract

질산화 (SiON) 막은 메모리와 광통신 소자 제조를 위해 활발한 응용이 기대되는 중요한 재료이다. SiON막 증착특성에 관해서는 많은 연구보고가 있었으나, 식각특성에 대해서는 그 발표가 매우 미미하다. 이에 본 연구에서는 PECVD를 이용하여 증착한 SiON 박막을 Ni 마스크를 이용하여 식각하였다. 공정변수에는 소스 전력, 바이어스 전력, 압력, 그리고 C₂F₆ 유량 등이며, 각 변수의 실험범위는 400-1000 W, 30-90 W, 6-12 mTorr, 그리고 30-60 sccm이다. 식각률은 소스전력의 증가에 따라 233에서 444 nm/min으로 거의 선형적으로 증가하였다. 비슷한 경향성이 바이어스 전력의 증가에 따라 관찰되었다. 이는 식각률이 플라즈마 밀도와 이온충돌 에너지에 강하게 영향을 받고 있음을 의미한다. 6-10 mTorr의 압력범위와 30-50 sccm의 C₂F₆ 유량범위 내에서의 식각률의 변화는 매우 미미하였다. 그러나 고압 (12 mTorr)과 고 유량 (60 sccm)에서 식각률은 크게 상승하거나 감소하였다. 전체 실험범위에서 관측된 식각률의 범위는 233-444 nm/min이었다.

Key Words : 플라즈마 식각, 질산화막, 식각률

1. 서론

Silicon oxynitride (SiON) 박막은 게이트 물질로 이용되고 열광학적인(themooptical) 능동 소자의 구현과 가시광선과 적외선 파장영역에서 낮은 흡수 손실을 가져 광 직접소자에 활발히 응용되고 있다. SiON 박막이 광소자 제조에 널리 응용되는 또 다른 이유는 박막 굴절률을 1.46(SiO₂)~2.02(Si₃N₄)사이의 큰 범위에서 [O]/[N]의 비율에 의해 쉽게 조절될 수 있다는 점이다. SiON 박막의 증착 특성 [1-3]에 대해서는 다수의 연구보고가 있었으나 그 식각 특성에 대해서는 별로 알려진 바가 없다.

이에, 본 논문에서는 유도결합 플라즈마 (Inductively coupled plasma-ICP)를 이용한 Ni이 도핑된 SiON 박막의 식각공정에 관한 연구를 하였다. 식각에 관련한 공정변수로는 소스전력, 바이어스 전력, 압력, 그리고 C₂F₆ 가스 유량 등이며, 공정변수의 식각률에 대한 영향과 식각 메커니즘을 정성적으로 연구한다. 공정변수에 따라 유도되는 DC Bias와 식각률과의 관계도 함께 고찰한다.

2. 실험

2.1 실험장치

증착된 SiON박막을 그림 1에 도시된 유도결합

플라즈마 시스템을 이용하여 식각하였다. 챔버안에서 발생한 플라즈마는 석영유리에 의해 Planar-coupled된 코일과 분리된다. 원통모양의 챔버는 각각 80mm의 반지름과 40mm의 높이를 가진다. 식각 가스를 공급하기에 앞서 챔버안은 (TUROVAC 3430MC)와 (Edward High Vacuum E2M40)펌프를 이용하여 배기되며, 약 10^{-6} Torr의 기본압력을 유지한다. 공정압력은 throat 밸브를 이용하여 조절하였고, 공정압력 측정을 위해 baratron gauge, pirany gauge, penning gauge를 이용하여 조절하였다. 반응 가스의 미세조절을 위해 각각 가스관에 MFC를 장착하여 유량을 조절하였다. 정전이나 기타의 문제로 인한 반응관의 오염을 제거하기 위해 모든 밸브를 공기 잠금 (air lock)장치를 사용 안전도를 향상시켰다. 또한 홀더 내부에 냉각수를 공급하여 식각 공정 중 발생하는 온도 상승에 의한 장비의 손상을 최소화하였다.

실험에 사용된 SiON 박막은 PECVD로 증착되었다. Ni 마스크는 박막위에 PR패턴을 형성한 후 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 Ni층을 0.15 μm 증착시킨 후 acetone으로 PR을 제거하여, Ni mask 마스크를 형성하였다. 그런 다음에, SiON 박막은 C_2F_6 플라즈마로 식각하였다. 식각 공정시간은 10분으로 설정하였다. 실험변수에는 소스전력, 바이어스 전력, 압력, 그리고 C_2F_6 등이 있으며, 각 변수의 실험범위는 400-1000 W, 30-90 W, 6-12 mTorr, C_2F_6 30-60 sccm 등이다. 식각률은 scanning electron microscope로 측정하였다.

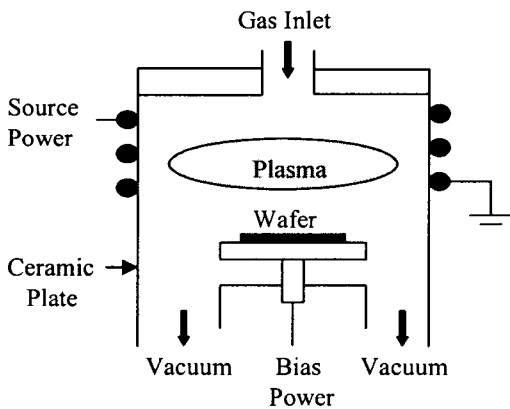


그림 1. 본 연구에 사용된 ICP 구조.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 소스전력에 따른 식각률과 DC bias간의 특성을 나타낸다. 다른 바이어스 전력, 압력, 그리고 C_2F_6 의 유량은 각 기 60 W, 9 mtorr, 그리고 45sccm에 고정하였다. 그림 2에서와 같이, 소스전력의 증가에 따라 식각률은 선형적으로 증가하며, 이는 플라즈마 이온 밀도와 식각에 관여하는 라디칼의 증가에 기인한다. 식각률과는 반대로, dc bias는 소스전력의 증가에 따라 감소되는데, 이는 증가된 플라즈마 밀도(density)에 의해 감소하는 sheath 두께로 인해 증가된 sheath 정전용량(capacitance)과 일반적으로 관계가 있다 [4].

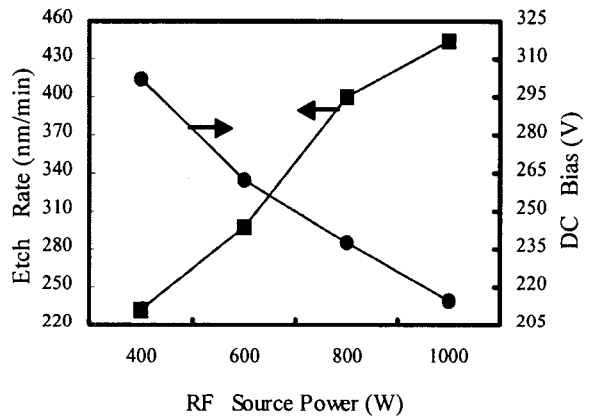


그림 2. 소스 전력에 따른 식각률과 DC Bias사이의 변화 특성.

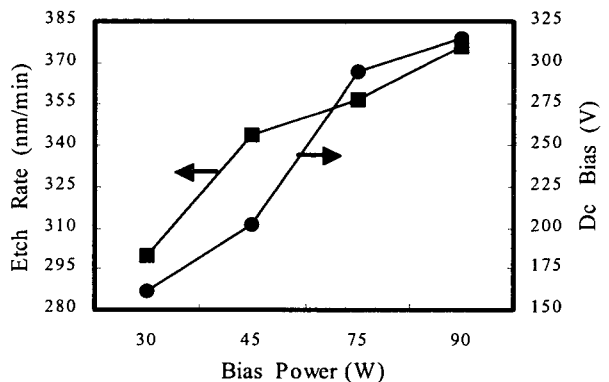


그림 3. 바이어스 전력에 따른 식각률과 DC Bias 사이의 변화 특성.

그림 3은 바이어스 전력에 따른 식각률과 DC bias 사이의 특성을 보여준다. 다른 소스전력, 압력, 그리고 C_2F_6 의 유량은 각 기 700 W, 9 mTorr, 그리고 45 sccm으로 고정시켰다. 그림 3에서와 같이, 식각률은 바이어스 전력의 증가에 따라 증가하고 있다. 이는 이온의 충돌에너지의 증가에 기인한 것이며, 증가하는 dc bias가 이를 뒷 받침한다.

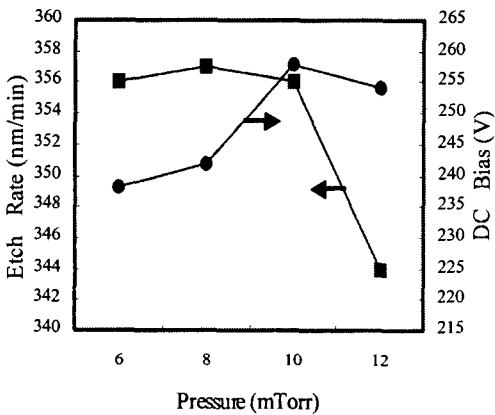


그림 4. 압력에 따른 식각률과 DC Bias사이의 변화 특성.

그림 4는 공정압력에 따른 식각률과 DC bias간의 특성을 보여준다. 다른 소스전력, 바이어스 전력, 그리고 C_2F_6 의 유량은 각 기 700 W, 60 W, 그리고 45 sccm으로 고정하였다. 그림 4에서와 같이, 압력이 6에서 10 mTorr로 증가할 때, dc bias는 증가한다. 또한, fluorine (F)의 증가도 동일한 플라즈마 chemistry에서 보고된 바 있다 [5]. 따라서 이온 충돌에너지와 식각종의 증가로 식각률의 증가를 예상할 수 있다. 예상과는 달리, 그림 4에서 동일 압력구간에서의 식각률은 변화하지 않고 있으며, 따라서 앞서의 영향을 상쇄하는 다른 영향이 존재함을 알 수 있다. 한편, 이전의 보고에서 비슷한 압력범위에서 이온 밀도와 CF_x ($x=1-2$) 라디칼의 증가가 보고된 바 있다 [5]. 후자의 CF_x 는 polymer 증착에 관여하는 주요 precursor이며, 따라서 polymer 두께의 증가를 예상할 수 있다. 결국 보고된 두 인자는 식각률을 감소시키는 영향을 주게 되며, 이는 전술한 식각률 상쇄요인으로 작용하고 있음을 추측할 수 있다. 한편, 그림 4에서 압력

이 10에서 12 mTorr로 증가할 때, 식각률은 356에서 344nm/min로 감소한다. 그림 4에서와 같이 해당 dc bias도 감소하고 있으며, 비슷한 압력범위에서 이전의 보고 [5]로 부터 얻을 수 있는 다른 유용한 진단 정보는 [F]과 이온밀도의 감소, $[CF_x]$ 의 미미한 증가 등이다. 이 모든 인자는 식각률을 감소시키는 요인으로 작용할 수 있으나, 이 들 각각의 영향을 분리하는 것은 현재의 수집된 자료만으로는 불가능하다.

그림 5는 C_2F_6 의 유량에 따른 식각률과 DC bias간의 특성을 나타낸다. 다른 소스전력, 바이어스 전력, 그리고 압력은 각 기 700 W, 60 W, 그리고 9 mTorr로 고정하였다. 그림 5에서와 같이 식각률은 C_2F_6 유량이 30에서 50 sccm으로 증가할 때, 일정한 값을 유지하고 있다. DC bias 변화와 비교할 때, 식각률과의 상관성이 미미한 것을 알 수 있다. 한편, C_2F_6 유량의 증가에 따라 [F]와 $[CF_x]$ 의 증가가 예상되며, 따라서 일정한 식각률은 화학적 식각과 polymer 증착의 상반된 영향에 기인하는 것으로 추측할 수 있다. C_2F_6 유량이 50에서 60 sccm으로 증가할 때, 식각률은 상당히 증진되고 있는데, 이는 polymer증착보다 증대된 [F]에 의한 화학적 식각이 더 우세한데 기인하는 것으로 이해할 수 있다.

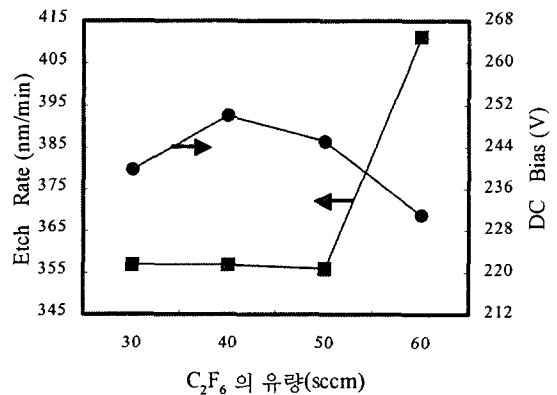


그림 5. C_2F_6 의 유량에 따른 식각률과 DC bias사이의 변화 특성.

4. 결론

본 연구에서, PECVD를 이용하여 증착한 SiON 박막의 식각공정 특성을 고찰하였다. 박막은 C_2F_6

ICP를 이용하여 식각되었으며, 공정변수에 따른 식각률의 변화를 해석하였다. 이온 충돌 에너지의 영향은 dc bias를 측정하여 이해하였다. 식각률은 소스전력과 바이어스 전력에 크게 영향을 받았으며, 압력의 영향은 다른 ICP 식각에서 보고한 결과와 비슷하였다. C₂F₆ 유량의 증가에 따른 식각률 변화는 매우 특이하였으며, 높은 C₂F₆ 유량에서의 증가된 식각률은 화학적 식각의 polymer 증착에 비해 우세한 영향에 기인하는 것으로 이해되었다. 본 연구에서는 보고되지 않았으나, 거의 모든 실험에서 프로파일 하단부에서의 microtrenching이 관측되었으며, 현재 관련 메커니즘을 연구 중이다.

참 고 문 헌

- [1] Germann, H. W. Salemink, R. Beyeler, G. L. Bona, F. Horst, I. Massarek, Offrein, J. *Electrochem. Soc.* 147, 2237 (2000).
- [2] Y. T. Kim, S. M. Cho, Y. G. Seo, H. D. Yoon, Y. M. Im, and D. H. Yoon, *Surf. Coat. Technol.* 173, 204 (2003).
- [3] K. J. Plucinski, M. Makawska, A. Mefleh, I. V. Kityk, and V. G. Yushanin, *Mat. Sci. Eng.* B64, 88 (1999).
- [4] S. Samukawa, *Appl. Phys. Lett.* 68, 316 (1996).
- [5] P. Ho, J. E. Johannes, R. J. Buss, and E. Meeks, *J. Vac. Sci. Technol. A* 19, 2344 (2001).